



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE ”

ISSN 2448-508X

División Académica de Ciencias Biológicas
« REVISTA DE DIVULGACIÓN CIENTÍFICA »

KUXULKAB'

-Tierra viva o naturaleza en voz Chontal-

—Número especial—

Patología Celular:
Aplicaciones
de la **Biología**
de Celular



Volumen 28

Número 60

Enero-Abril 2022

Dr. José Guadalupe Chan Quijano
Editor invitado; profesor de la Universidad Autónoma de Guadalajara,
Campus Tabasco



Powered by
Arizona State University



TRABAJO DE CAMPO: PROFESORA DE LA DACBioI-UJAT EN LA COLECTA DE MUESTRAS DE POLEN DE *Rizophora mangle*.
Laguna de Términos; Campeche; México.

Fotografía: cortesía de Marcela Alejandra Cid Martínez



UJAT

UNIVERSIDAD JUÁREZ
AUTÓNOMA DE TABASCO

“ ESTUDIO EN LA DUDA. ACCIÓN EN LA FE ”

DIRECTORIO

L.D. Guillermo Narváez Osorio
Rector

Dra. Dora María Frias Márquez
Secretaria de Servicios Académicos

Dr. Wilfrido Miguel Contreras Sánchez
Secretario de Investigación, Posgrado y Vinculación

Mtro. Jorge Membreño Juárez
Secretario de Servicios Administrativos

Mtro. Miguel Armando Vélez Téllez
Secretario de Finanzas

Dr. Arturo Garrido Mora
Director de la División Académica de Ciencias Biológicas

Dra. Ana Rosa Rodríguez Luna
Coordinadora de Investigación y Posgrado, DACBiología-UJAT

M. en A. Emilio Ocampo Morales
Coordinador Administrativo, DACBiología-UJAT

M.I.P.A. Araceli Guadalupe Pérez Gómez
Coordinadora de Docencia, DACBiología-UJAT

M.C.A. Yessenia Sánchez Alcudia
Coordinadora de Difusión Cultural y Extensión, DACBiología-UJAT

COMITÉ EDITORIAL DE KUXULKAB'

Dr. Andrés Reséndez Medina †
Editor fundador

Biól. Fernando Rodríguez Quevedo
Editor ejecutivo y encargado

Dra. Coral Jazvel Pacheco Figueroa

Dr. Jesús García Grajales

Dra. Carolina Zequeira Larios

Dr. Rodrigo García Morales

Dra. María Elena Macías Valadez-Treviño
Ocean. Rafael García de Quevedo Machain

M.C.A. Ma. Guadalupe Rivas Acuña

Dr. Nicolás Álvarez Pliego

Dra. Nelly del Carmen Jiménez Pérez

Dr. Marco Antonio Altamirano González Ortega

Dra. Rocío Guerrero Zárate

Dr. Eduardo Salvador López Hernández

Dra. Nadia Florencia Ojeda Robertos

Dr. Maximiano Antonio Estrada Botello

Dra. Melina del Carmen Uribe López

Dr. José Guadalupe Chan Quijano

Dra. Martha Alicia Perera García

Editores asociados

Dra. Ramona Elizabeth Sanlúcar Estrada

M.C.A. Alma Deysi Anacleto Rosas

Dra. Ena Edith Mata Zayas

M. en Pub. Magally Guadalupe Sánchez Domínguez

Correctores de estilo

M.C.A. María del Rosario Barragán Vázquez

M. en C. Leonardo Noriel López Jiménez

Dra. Violeta Ruiz Carrera

Correctores de pruebas

M.Arq. Marcela Zurita Macías-Valadez

M. en C. Sulma Guadalupe Gómez Jiménez

Traductoras

L.I.A. Ervey Baltazar Esponda

Soporte técnico institucional

Srta. Ydania del Carmen Rosado López

Téc. Juan Pablo Quiñonez Rodríguez †

Biól. José Francisco Juárez López

Est. Biól. Gloria Cecilia Arecha Soler

Est. G.A. Diana Cecilia Velázquez Leyva

Est. I.A. José Manuel Ramírez Cruz

Apoyo técnico

CONSEJO EDITORIAL (EXTERNO)

Dra. Lilia María Gama Campillo

División Académica de Ciencias Biológicas, UJAT - México

Dr. Roberto Carlos González Fócil

Jefe del Departamento de Revistas Científicas, UJAT - México

Dra. Juliana Álvarez Rodríguez

División Académica de Ciencias Económico Administrativas, UJAT - México

Dr. Jesús María San Martín Toro

Universidad de Valladolid (UVA) - España

ISSN 2448-508X

KUXULKAB'

La revista KUXULKAB' (vocablo chontal que significa «tierra viva» o «naturaleza») es una publicación cuatrimestral de divulgación científica la cual forma parte de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco; aquí se exhiben tópicos sobre la situación de nuestros recursos naturales, además de avances o resultados de las líneas de investigación dentro de las ciencias biológicas, agropecuarias y ambientales principalmente.

El objetivo fundamental de la revista es transmitir conocimientos con la aspiración de lograr su más amplia presencia dentro de la propia comunidad universitaria y fuera de ella, pretendiendo igualmente, una vinculación con la sociedad. Se publican trabajos de autores nacionales o extranjeros en español, con un breve resumen en inglés, así como también imágenes caricaturescas.

KUXULKAB' se encuentra disponible electrónicamente y en acceso abierto:



Revistas Universitarias (<https://revistas.ujat.mx/>)

Portal electrónico de las publicaciones periódicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).



Repositorio Institucional (<http://ri.ujat.mx/>)

Plataforma digital desarrollado con el aval del Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), se cuenta con un acervo académico, científico, tecnológico y de innovación de la UJAT.



Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal (www.latindex.ppl.unam.mx)

Red de instituciones que reúnen y diseminan información sobre las publicaciones científicas seriadas producidas en Iberoamérica.



PERIÓDICA (<http://periodica.unam.mx>)

Base de datos bibliográfica de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), con registros bibliográficos publicados América Latina y el Caribe, especializadas en ciencia y tecnología.



Nuestra portada:

Número especial «patología celular: aplicaciones de la biología celular».

Diseño de:

Fernando Rodríguez Quevedo (DACBiología-UJAT); José Guadalupe Chan Quijano (UAG-Tabasco).

Fotografías de:

Imagen alusiva al número especial y por la convocatoria de publicación.

KUXULKAB', año 28, No. 60, enero-abril 2022; es una publicación cuatrimestral editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT) a través de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiología). Av. Universidad s/n, Zona de la Cultura; Col. Magisterial; Villahermosa, Centro, Tabasco, México; C.P. 86040; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; <https://revistas.ujat.mx>; kuxulkab@ujat.mx. Editor responsable: Fernando Rodríguez Quevedo. Reservas de Derechos al Uso Exclusivo No. 04-2013-090610320400-203; ISSN: 2448-508X, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Editor ejecutivo, Fernando Rodríguez Quevedo; Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5; entronque a Bosques de Saloya; CP. 86039; Villahermosa, Centro, Tabasco; Tel. (993) 358 1500, 354 4308, extensión 6415; Fecha de la última modificación: 10 de enero de 2022.

Las opiniones expresadas por los autores no necesariamente reflejan la postura del editor de la revista, ni de la DACBiología y mucho menos de la UJAT. Queda estrictamente prohibida la reproducción total o parcial de los contenidos e imágenes de la publicación sin previa autorización de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco.



Editorial

Estimados lectores:

Este número de **Kuxulkab'** es resultado de la colaboración entre la *División Académica de Ciencias Biológicas de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco* y la *Universidad Autónoma de Guadalajara, Campus Tabasco* como parte del que hacer de las instituciones de educación superior y de posgrado para concatenar la vinculación entre universidad y académicos. Por ello, este producto editorial tiene como objetivo fomentar desde la divulgación científica la importancia de estudiar la célula desde las disciplinas clínicas, de la salud y la ambiental.

La célula es la unidad elemental de la vida y tiene una capacidad fascinante para dar a conocer y explicar enfermedades, trastornos, síntomas y funciones desde la biología celular animal y vegetal. Además, se ha reivindicado el estudio de la célula e interesados de este tópico siguen demostrando las grandes maravillas que la biología celular tiene en todo un sistema.

En nuestra manera de trabajo, proporcionamos una breve sinopsis de las aportaciones que conforman esta publicación:

«**MicroARN's (miARN's): como reguladores de la expresión génica y su importancia**»; aportación respecto a la importancia que tienen los miARN's como uso de biomarcadores para cuantificar niveles de expresión en enfermedades.

«**Follaje de 'Erythrina americana' Miller y 'Gliricidia sepium' (Jacq.) Walp., fuente de taninos: implicaciones de su consumo por los ovinos**»; material en donde se presenta la importancia de la biología celular vegetal, específicamente con los taninos, ya que ofrecen beneficios en la salud y en la producción animal de rumiantes al momento de alimentarse con leguminosas.

«**Percepción inicial de una paciente con el Síndrome de Horner: un estudio de caso**»; escrito donde se reporta un estudio de paciente femenino, encontrándose un deterioro muscular; dicho texto aporta datos respecto al comportamiento de la enfermedad en personas mayores y su contribución al tratamiento.

«**Efectos celulares de la exposición a micropartículas plásticas en organismos acuáticos**»; artículo donde se expone que, los microplásticos y nanoplásticos, provocan daños a nivel celular en organismos acuáticos, en donde se puede llegar a comprometer la función vital de los organismos e incluso alterar las funciones metabólicas, fisiológicas e histopatológicas pudiendo provocar la muerte.

«**Síndrome de Guillain-Barré (SGB): estudio de caso variedad AMAN en Tabasco, México**»; los autores afirman que esta neuropatía periférica presenta un componente humoral y celular de los nervios periféricos y que al ser un diagnóstico para Tabasco sirve como antecedente para otros casos.

No obstante, las investigaciones que se presentan por los autores coinciden en que hay que enriquecer y seguir investigando temas al respecto desde distintas áreas del saber biológico. Además, estos antecedentes fueron motivo de generar conocimiento para seguir aportando en este vasto mundo de la célula. Agradecemos a cada uno de quienes colaboraron con su apoyo y entusiasmo en la producción de esta edición especial, permitiendo la divulgación de la ciencia con estándares de calidad emanados por esta casa de estudios. Esperamos vernos pronto.

José Guadalupe Chan Quijano

EDITOR ASOCIADO, PROFESOR DE LA UAG

Fernando Rodríguez Queredo

EDITOR EJECUTIVO DE KUXULKAB'

Arturo Garrido Mora

DIRECTOR DE LA DACBIOL-UJAT

Contenido

MicroARN's (miARN's) COMO REGULADORES DE LA EXPRESIÓN GÉNICA Y SU IMPORTANCIA CLÍNICA 05-13

MICRORNAs (miRNAs) AS REGULATORS OF GENE EXPRESSION AND THEIR CLINICAL IMPORTANCE

José Antonio Ovando Ricárdez, Viviana Beatriz Domínguez Méndez, María Isabel López García, María Lizbeth Sacramento Barranco, Thelma Beatriz González Castro, Yazmín Hernández Díaz, Carlos Alfonso Tovilla Zárate, Isela Esther Juárez Rojo & María Lilia López Narváez

FOLLAJE DE *Erythrina amaericana* Miller Y *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., FUENTE DE TANINOS: IMPLICACIONES DE SU CONSUMO POR LOS OVINOS 15-25

FOLIAGE OF *Erythrina americana* Miller AND *Gliricidia sepium* (Jacq.) Walp., SOURCE OF TANNINS: IMPLICATIONS OF ITS CONSUMPTION BY OVINE

Jorge Oliva Hernández, Erika Belem Castillo Linares, María Aurelia López Herrera & Alejandra Vélez Izquierdo

PERCEPCIÓN INICIAL DE UNA PACIENTE CON EL SÍNDROME DE HORNER: UN ESTUDIO DE CASO 27-33

INITIAL PERCEPTION OF A PATIENT WITH HORNER SYNDROME: A CASE STUDY

Nayelli Cristhell Gerónimo Flores, Jesús Antonio Álvarez de Dios, Argentina Magaña Méndez & Karina Michelle Mendoza Jiménez

EFFECTOS CELULARES DE LA EXPOSICIÓN A MICROPARTÍCULAS PLÁSTICAS EN ORGANISMOS ACUÁTICOS 35-51

CELLULAR EFFECTS OF EXPOSURE TO PLASTIC MICROPARTICLES IN AQUATIC ORGANISMS

Gabriel Núñez Nogueira, Mórvila Cruz Ascencio, Alejandra Pérez López & Carlos Alfonso Álvarez González

SÍNDROME DE GUILLAIN-BARRÉ (SGB): ESTUDIO DE CASO VARIEDAD AMAN EN TABASCO 53-59

GUILLAIN-BARRÉ SYNDROME (GBS): AMAN VARIETY CASE STUDY IN TABASCO, MEXICO

Alejandra Morales Peralta, Víctor Manuel Pérez Rosado & Daniela Alexandra Morales Jiménez



EFFECTOS CELULARES DE LA EXPOSICIÓN A MICROPARTÍCULAS PLÁSTICAS EN ORGANISMOS ACUÁTICOS

CELLULAR EFFECTS OF EXPOSURE TO PLASTIC MICROPARTICLES IN AQUATIC ORGANISMS

Gabriel Núñez Nogueira^{1✉}, Mórvila Cruz Ascencio², Alejandra Pérez López³ & Carlos Alfonso Álvarez González⁴

¹Biólogo por la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM); con doctorado realizado en la Universidad de Londres, Gran Bretaña. Su investigación se centra en la contaminación y toxicología acuática, así como contaminación ambiental y manejo de residuos. Responsable del Laboratorio de Hidrobiología y Contaminación Acuática (LHCA), así como profesor e investigador de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio), de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). ²Bióloga y Maestra en Ciencias Ambientales (MCA) por la UJAT. Estudiante de la fauna acuática y ecología de humedales. Colaboradora del LHCA y profesora e investigadora de la DACBio-UJAT. ³Estudiante de la MCA en la DACBio-UJAT. Interesada en toxicología de organismos acuáticos y contaminación acuática, colaboradora del LHCA. ⁴Doctor en Ciencias por el Centro Interdisciplinario de Ciencias Marinas. Responsable del Laboratorio de Fisiología y Recursos Acuáticos; profesor e investigador de la DACBio-UJAT.

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBio), Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT): Carretera Federal #180 (Villahermosa-Cárdenas) km 0.5 S/N; entronque a Bosques de Saloya; C.P. 86150. Villahermosa, Tabasco; México.

✉ gabriel.nunez@ujat.mx

ID¹ 0000-0001-9217-6959 ID² 0000-0002-9787-8383
ID³ 0000-0001-9671-4902 ID⁴ 0000-0001-9240-0041

Como referenciar:

Núñez Nogueira, G.; Cruz Ascencio, M.; Pérez López, A. & Álvarez González, C.A. (2022). Efectos celulares de la exposición a micropartículas plásticas en organismos acuáticos. *Kuxulkab'*, 28(60): 35-51, enero-abril. <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a28n60.4667>

Disponible en:

<https://revistas.ujat.mx>
<https://revistas.ujat.mx/index.php/kuxulkab>

DOI: <https://doi.org/10.19136/kuxulkab.a28n60.4667>

Resumen

Los microplásticos y nanoplásticos son de los contaminantes de mayor distribución en el mundo y que actualmente preocupa a la humanidad, principalmente por su durabilidad y los efectos adversos que muestra en diferentes organismos tanto de ambientes terrestres, como acuáticos. Se ha demostrado en estudios de laboratorio que los plásticos de diversos tipos, ya sea de forma simple o en combinación con otros compuestos o elementos tóxicos, provocan respuestas potencialmente dañinas a nivel celular, tales como la lisis de membrana celular, modulación de receptores de membrana, cambios en potenciales de membrana, alteraciones en la permeabilidad, daño mitocondrial, cambios en actividades metabólicas, generación de especies reactivas de oxígeno, genotoxicidad, daño en DNA y apoptosis. Sin embargo, seguimos en la necesidad de profundizar nuestro conocimiento en los efectos relacionados con las concentraciones de microplásticos en el ambiente natural.

Palabras clave: Daño celular; microplásticos; organismos acuáticos; peces; invertebrados.

Abstract

Microplastics and nanoplastics are among the most widely distributed pollutants globally and currently concern humanity, mainly because of their durability and the adverse effects it shows in different organisms, both in terrestrial and aquatic environments. It has been shown in laboratory studies that plastics of various types, either simply or in combination with other toxic compounds or elements, elicit potentially harmful responses at the cellular level, such as cell membrane lysis, modulation of membrane receptors, changes in membrane potentials, alterations in permeability, mitochondrial damage, changes in metabolic activities, generation of reactive oxygen species, genotoxicity, DNA damage and apoptosis. However, our knowledge about the effects of microplastics concentrations in the natural environment needs to be improved.

Keywords: Cellular damage; microplastics; aquatic organisms; fish; invertebrates.

La contaminación ambiental puede ejercer diferentes efectos sobre las células animales, así como a diferentes niveles subcelulares. Los desórdenes relacionados con contaminantes ambientales pueden producir estrés y alterar la estructura o forma celular, de organelos, del metabolismo o incluso las señales moleculares y la expresión genética (Ahrendt, Perez-Venegas, Urbina, Gonzalez, Echeveste, Aldana, Pulgar & Galbán-Malagón, 2020; Campos, Rodrigues, Rocha, Martins, Candeias-Mendes, Castanho, Soares, Pousão-Ferreira, Soares, Gravato & Patrício, 2021; González-Fernández, Díaz, Esteban & Cuesta, 2021). Estas alteraciones pueden disparar una respuesta preventiva o de remediación al estrés desencadenado por la interacción de las células con los agentes, moléculas o partículas contaminantes o tóxicas.

Estas alteraciones pueden disparar una respuesta preventiva o de remediación al estrés desencadenado por la interacción de las células con los agentes, moléculas o partículas contaminantes o tóxicas. Aquellos contaminantes que llegan a encontrarse en el ambiente en tamaños microscópicos (<1 mm) o nanoscópicos (<100 nm), pueden atravesar las membranas celulares e interactuar con los diferentes organelos y biomoléculas citoplasmáticas o membranales, así como a nivel nuclear y producir importantes cambios, que podrían incluso ocasionar modificaciones en su función metabólica o incluso la muerte celular (Mattsson, Ekvall, Hansson, Linse, Malmendal & Cedervall, 2015; Liu, Chen, Li, Ke, Huang, Bian, Guio, Wu, Han & Liu, 2020; Guerrero, Aragona, Porcino, Fazio, Laurà, Levanti, Montalbano, Germanà, Abbate & Germanà, 2021).

Uno de los contaminantes de distribución mundial más reciente y que actualmente preocupa a la humanidad por la enorme cantidad de desechos producidos anualmente, su durabilidad en el ambiente y los efectos adversos que muestra en diferentes organismos tanto de ambientes terrestres, como acuáticos, son los plásticos, particularmente los microplásticos y los nanoplasticos (Bojic, Falco, Stojkovic, Ljujic, Gazdic, Armstrong, Markovic, Dopazo, Lako, Bauer & Stojkovic, 2020). Es sabido que los plásticos han tenido un muy importante desarrollo gracias a los avances químicos que los ha llevado a una producción masiva a través de polímeros sintéticos, muchos han tenido un origen natural y uso en la antigüedad, como han sido la goma laca, el caucho, entre otras (García & San Andrés, 2002).

Históricamente Castañeta, Gutiérrez, Nacaratte & Manzano, (2020) hace un análisis cronológico de la invención de los principales plásticos, resaltando por ejemplo al caucho desde el siglo VI antes de Cristo, la goma laca desde el XIII, hasta llegar el XIX, periodo donde surgen los semisintéticos como el rayón o el celuloide. Ya para el siglo XX y gracias a los avances en el procesado del petróleo, surgen la mayoría de los productos sintéticos como el nylon, vinilo, poliestireno, resinas, copolímeros, entre muchos otros (Castañeta *et al.*, 2020). Considerando la durabilidad de los plásticos en el ambiente, en la actualidad no sería de extrañar ver afectaciones en la biota, producto de los desechos relacionados con estos materiales desde décadas pasadas. Los plásticos son de los productos que vinieron a revolucionar el consumo humano, alcanzando cerca de 368 millones de toneladas de producción en 2019, que aun con la actual pandemia de SARs-CoV-2 disminuyó sólo en un 0.3 %, ubicándose en 367 millones de toneladas en el 2020 (PlasticEurope, 2020).

«Contaminación, generalmente se refiere a cambios (nocivo o indeseable) que se originan como consecuencia de la actividad del hombre (emisión de sustancias químicas, radioactividad, materia orgánica, entre otros); aunque también hay contaminantes naturales, como el polvo volcánico o el agua salina»

Lawrence (2003, p. 147)
(2014, p. 136)



Se estima que, cerca de 6.9 billones de toneladas de plástico se han generado como desperdicio, de los cuales, cerca del 79 % ha terminado como contaminante ambiental y solo el 21 % se ha incinerado o reciclado (Bojic *et al.*, 2020).

Si bien es cierto, una importante cantidad del residuo sólido queda expuesto al intemperismo, que, como resultado del calor, agua y viento, se convierte en fragmentos pequeños que dan lugar a los microplásticos, otra notable cantidad de ellos, son producidos y manufacturados en tamaños micro o nanométricos, para diversas industrias como las de cosméticos, electrónica o medicina por ejemplo (Peacock & Calhoun, 2006; Allen, Allen, Phoenix, Le Roux, Durántez, Simonneau, Binet & Galop, 2019; Bollaín & Vicente, 2019; Chen, Feng & Wang, 2020). Así entonces, tanto por la erosión y deterioro, como por la producción misma industrial, se generan cantidades significativas de micro y nanoplásticos hacia el medio ambiente.

Se tienen identificados claramente diversos tipos de plásticos, como son el tereftalato de polietileno (PET), cloruro de polivinilo (PVC), poliestireno (PS), poliuretano (PU), polipropileno (PP), polimetilmetacrilato o acrílico (PMMA), policarbonato (PC), entre otros (Peacock & Calhoun, 2006; Lambert & Wagner, 2017; Alimi, Farner, Hernandez & Tufenkji, 2018; SAPEA, 2019), algunos de los cuales por su gran demanda y uso, es más común identificarlos entre los desechos sólidos de plásticos (DSP), como derivados del uso de botellas de agua, bolsas, y más recientemente, como resultado de la pandemia ocasionada por el SARs-CoV-2, el importante incremento en el uso de máscaras y pantallas de acrílico, para protegernos el rostro.

Gorrasi, Sorrentino & Lichtfouse (2021), resaltan que la demanda relacionada con los servicios médicos ha generado un 370 % de aumento en los residuos plásticos, así como la demanda de envases plásticos en un 40 %. Los diferentes tipos de máscaras como las KN95, KF-Ad, FFP1 p KF94, globalmente utilizadas para prevenir y proteger contra el coronavirus, contienen como material constitutivo polipropileno, cuyas fibras o partículas pueden ser liberadas al medio ambiente por su intemperización y uso (Fadare & Okoffo, 2020).

Otro proceso importante de liberación y producción de partículas diminutas de plásticos al ambiente, particularmente hacia el agua y el aire, es el lavado de ropa, ya que se ha detectado que, mediante nuestros procesos de lavado, se generan importantes cantidades de microfibras como residuo (Browne, Crump, Niven, Teuten, Tonkin, Galloway & Thompson, 2011; Castañeta *et al.*; Chen *et al.*, 2020; Evangelidou, Grythe, Klimont, Heyes, Eckhardt, Lopez-Aparicio & Stohl, 2020; Wright, Ulke, Font, Chan & Kelly, 2020), las cuales pasan directamente al aire, o bien, mediante las descargas de aguas jabonosas, son transferidos a los cuerpos de agua (Castañeta *et al.*).

Es así entonces, que los organismos podemos estar expuestos a los desechos sólidos de plásticos (DSP) a través del alimento, aire, agua y piel (Mattsson *et al.*, 2015). Pero ¿cuáles son los efectos de esta interacción?, ¿qué ocurre en nuestros cuerpos?, y sobre todo ¿qué pasa en las células al entrar en contacto con estos materiales?, ¿cómo responden las células ante esta exposición?, son algunas de las interrogantes que los científicos, sobre todo en las últimas décadas y más aún, hoy día nos hacemos; si consideramos que, aun suspendiendo toda la producción

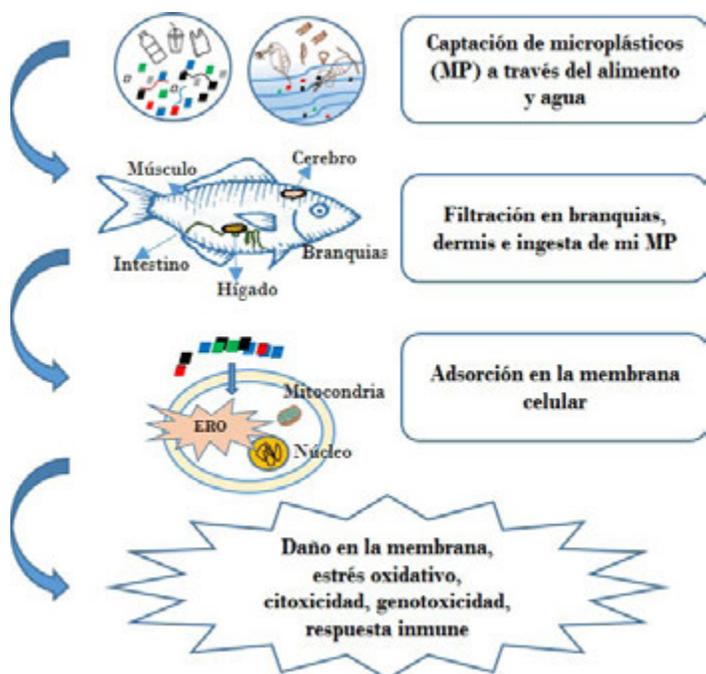


Figura 1. Vía de captación de micropartículas (MP) y sus efectos en organismos acuáticos a nivel organismo, tejido y célula (por ejemplo en peces).

actual de plásticos en el mundo, los desechos generados a la fecha, tardarán cientos de años en fragmentarse, partículas contaminantes plásticas permanecerán por muchas décadas, sino es que centenares de años, en el ambiente.

Las afectaciones celulares e intracelulares relacionadas con los micropartículas y nanopartículas dependerán de diversos factores, como el tamaño y tipo de partícula, la ruta y el tiempo de exposición, el órgano blanco involucrado, la composición química de la misma, entre otros (Klaine, Alvarez, Batley, Fernandes, Handy, Lyon, Mahendra, McLaughlin & Lead, 2008; Domingos, Baalousha, Ju-Nam, Reid, Tufenkji, Lead, Leppard & Wilkinson, 2009).

Es por ello, que éste texto recopila algunas de las afectaciones que se han observado, tanto en directo (*in vivo*), como en laboratorio (*in vitro*) sobre diferentes tipos celulares animales, principalmente en organismos acuáticos como peces, crustáceos y moluscos, o en su caso, en algunos otros modelos más comúnmente estudiados como el humano, y se resaltan algunas de las implicaciones que estos efectos pueden representar en la conservación y ecología de este tipo de organismos.

Cabe resaltar que mucho del conocimiento actual sobre el impacto y efectos biológicos de los micropartículas (MP) es más amplio en especies marinas que en dulceacuícolas (Ding, Zhang, Razanajatovo, Zou & Zhu, 2018).

Formas de captación de partículas plásticas por peces e invertebrados acuáticos

Es ampliamente reconocido que cantidades considerables de desechos plásticos liberados al medio ambiente, llegan a los ambientes acuáticos tanto dulceacuícolas, como salobres y marinos (Mattsson *et al.*). Miles de toneladas métricas (35,000 ton) se estiman que corresponden a los plásticos flotantes en aguas oceánicas (Mattsson *et al.*), cantidades que cada vez se ven incrementadas en los cuerpos de agua (Thompson, Moore, vom Saal & Swan, 2009), las cuales posteriormente son fragmentadas en pedazos más pequeños, como resultado de la exposición a la radiación ultravioleta (UV), por abrasión mecánica ocasionada por el oleaje, temperatura y vientos (Imhof, Schmid, Niessner, Ivleva & Laforsch, 2012; Wegner, Besseling, Foekema, Kamermans & Koelmans, 2012).

Estos fragmentos pueden ser incorporados por los organismos a través de las branquias, piel o ingesta (Oberdörster, 2004; Moore, 2006) (figura 1), siendo esta última la más comúnmente evaluada (Mattsson *et al.*; Mazurais, Ernande, Quazuguel, Severe, Huelvan, Madec, Mouchel, Soudant, Robbens, Huet & Zambonino-Infante, 2015; Parker, Andreou, Green & Britton, 2021). Bajo ciertas circunstancias, también se reconoce la existencia de una transferencia de la madre a sus crías como otra ruta de adquisición para los neonatos (Banerjee & Shelver 2021).

La conducta alimenticia de los organismos acuáticos, ya sean herbívoros o consumidores intermedios o predadores tope, permite que una amplia gama de organismos pueda incorporar a sus cuerpos partículas plásticas mediante la ingesta (Amelia, Khalik, Ong, Shao, Pan & Bhubalan, 2021), ya sea por estar combinados con el alimento o al ser confundidos con éstos.

A nivel celular, procesos como son la endocitosis o difusión pasiva a través de la membrana celular, permiten la incorporación de partículas más pequeñas (<100nm), mientras que otras partículas más grandes son fagocitadas (Alberts, Johnson, Lewis, Raff, Roberts & Walter, 2002) y su transferencia hacia otras células

o torrente sanguíneo se realiza por exocitosis (Banerjee & Shelver, 2021). Una vez en el torrente sanguíneo, son distribuidos por el cuerpo, alojándose en aquellos órganos blanco, donde son retenidos y son acumulados, neutralizados, o bien, donde terminan ejerciendo sus efectos adversos, al rebasar la capacidad celular de neutralizarlos o expulsarlos.

Órganos blancos. Los efectos adversos de la ingesta o aspiración (durante la respiración) de plásticos son muy variados. Se ha observado que partículas grandes plásticas pueden ocasionar daños físicos (Wright, Thompson & Galloway, 2013) y los microplásticos pueden liberar sustancias tóxicas dentro del tracto digestivo, que posteriormente son absorbidos y distribuidos por el cuerpo a través del torrente sanguíneo (Amelia *et al.*, 2021). Los microplásticos o sus nanopartículas al encontrarse libres en el ambiente acuático, pueden interactuar o interaccionar con otras partículas o compuestos a su alrededor (Mattsson *et al.*) convirtiéndose en vectores hacia los organismos, al ser posteriormente incorporados en sus cuerpos, donde los fluidos corporales o actividades enzimáticas, producen su posterior liberación dentro de los organismos (Mattsson *et al.*).

Las diversas sustancias hidrofóbicas orgánicas presentes en los microplásticos pueden venir como sustancias aditivas adicionadas durante su producción o fabricación, o bien, haberse acumulado en su superficie a partir de la interacción con dichas sustancias, compuestos o elementos, presentes en el agua, producto de la

alta capacidad de absorción o adsorción de las mismas partículas plásticas. Partículas como los reconocidos y altamente tóxicos compuestos orgánicos persistentes como bifenilos policlorados (BPC), hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), hexabromociclohexano (HBCD), metales (Ag, Hg, Cd, Sb, Al, Co, Ba, Mn, entre otros) son algunos de los agentes que han mostrado ser transferidos hacia la biota acuática a partir de microplásticos (Amelia *et al.*; Banerjee & Shelver, 2021).

Debido a lo anterior, los órganos blancos más comúnmente observados en los organismos acuáticos son aquellos relacionados con las afinidades bioquímicas de las partículas asimiladas y a las respuestas de defensa desarrolladas para tratar de neutralizar a las partículas exógenas. Es por ello que tejidos como el intestino, branquias, cerebro, músculos, gónadas, hígado sean los más comúnmente afectados (cuadro 1 y 2), no sin menospreciar los alcances en otras estructuras corporales, como lo son el bazo, riñones, dermis o la sangre misma.

Efectos y toxicidad celular. La citotoxicidad de los plásticos depende de diversos factores, como son tipo de célula, tamaño de partícula, tipo de plástico, carga, tiempo de exposición y dosis (Banerjee & Shelver, 2021). Aunque algunos estudios no han evidenciado efectos tóxicos de microplásticos libres de contaminantes exógenos (absorbidos, adsorbidos o adicionados) sobre algunas líneas celulares de peces (Rochman, Hoh, Kurobe & Teh, 2013; Dawson, Huston, Kawaguchi, King, Cropp, Wild, Eisenmann, Townsend & Bengtson, 2018), muchos otros estudios si han detectado alteraciones en peces, invertebrados acuáticos y mamíferos (Yu, Liu, Wu, Chen, Lv & Zhao, 2018; Banerjee & Shelver, 2021; Sendra, Saco, Yeste, Romero, Novoa & Figueras, 2020; Sendra, Sparaventi, Blasco, Moreno-Garrido & Araujo, 2020; Sendra, Pereiro, Yeste, Mercado, Figueras & Novoa, 2021).

Las etapas tempranas de desarrollo son comúnmente las más vulnerables o sensibles a los contaminantes, por lo que se considera que la ingesta de microplásticos durante estas etapas, pueden afectar considerablemente a las poblaciones adultas (Mazurais *et al.*, 2015).

Figura 2. Efectos de los microplásticos a nivel celular, reportados en organismos acuáticos (ERO= Especies reactivas de oxígeno; ADN= Ácido desoxirribonucleico; PE= polietileno; PS= poliestireno; PP= polipropileno; PET= tereftalato de polietileno).

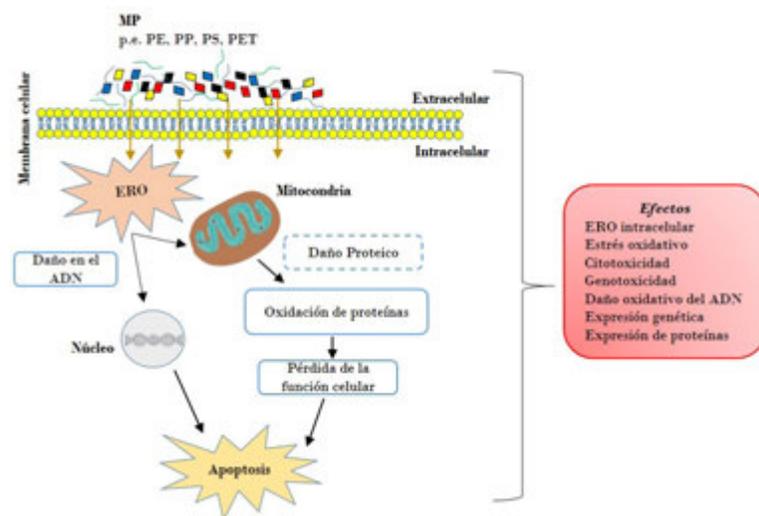
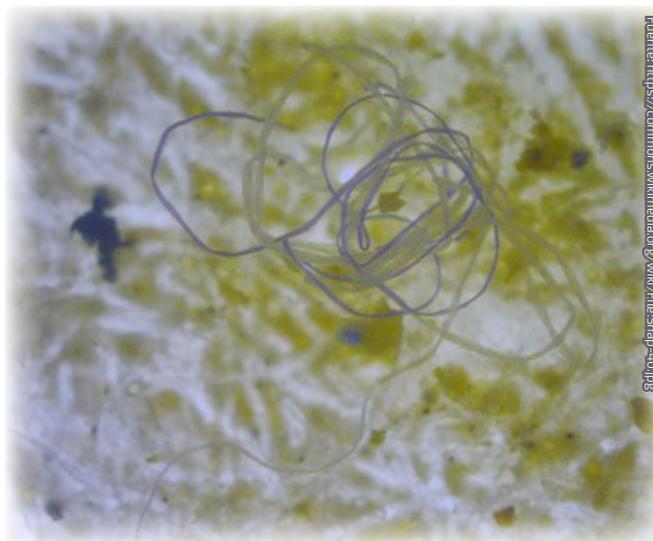


Tabla 1. Efectos de la captación de micro y nanoplásticos en órganos blanco de invertebrados acuáticos.

| Especie | Polímero | Exposición | Órgano blanco | Efectos |
|--|--|---|---|--|
| ' <i>Mytilus edulis</i> ' (bivalvo) | HDPE 0-80 μm | 2.5 g/L por 3, 6, 12, 24, 48, y 96 h | Glándula digestiva. Hemolinfa. | Captación de partículas en el sistema lisosomal de las células epiteliales ductulares y tubulares de la glándula digestiva, desestabilización de la membrana lisosomal y respuesta inflamatoria, formación de granulocitomas (granulocitos eosinófilos con vacuolas con microplásticos) en el tejido conectivo. |
| | Esferas de PS; 3.0 o 9.6 μm | 15,000 microesferas por 3 horas | Hemolinfa. | Respuesta antioxidante, viabilidad celular, fagocitosis y la tasa de eliminación de MP fluctuaron significativamente a lo largo del tiempo de depuración (48 días). |
| ' <i>Mytilus galloprovincialis</i> ' (bivalvo) | Esferas de PS; 50 nm, 100 nm y 1.0 μm | <i>in vivo</i> | Músculo, branquias, glándula digestiva y hemolinfa. | Acumulación en el músculo, branquias y glándula digestiva. Translocación de las partículas dependiente del tamaño a la hemolinfa (hemocitos y suero) desde las 3 h de exposición. |
| | | <i>in vitro</i> : 10 mg/L | Hemolinfa. | Los hemocitos presentaron cambios en la motilidad, apoptosis, ERO y capacidad fagocítica. Disminución de la expresión génica de mitina C, miticina C. La internalización por vía fagocítica o endocítica depende del tamaño de partícula. |
| ' <i>Eriocheir sinensis</i> ' (crustáceo) | Esferas de PS; 5 μm | 40, 400, 4,000 y 40,000 $\mu\text{g/L}$ por 21 días | Branquias, hígado y músculo. | Inhibición del crecimiento, disminución del índice hepatosomático, respuesta antioxidante (alteración de SOD, CAT, GSH Y MDA), inflamatoria (GOT) y neurotóxica (acetilcolinesterasa). |
| ' <i>Artemia salina</i> ' (crustáceo) | PS; 5 μm | 25, 50, 75 y 100 mg/L; 24 y 48 h | Análisis realizados en organismo completo. | Cambios morfológicos y efectos en el crecimiento, generación de ERO, estrés oxidativo. Deformación epitelial y el desarreglo celular. Apoptosis. |
| | | 25, 50, 75 y 100 mg/L; 14 días | | Apoptosis, menor crecimiento, fracaso en el desarrollo de las antenas y el pelo sensorial, y muerte del organismo. |
| | | 1 mg/L; 14 días | | Apoptosis, aumento de ERO, afectación de las vías de respuesta inmunitaria. |
| | | 100 mg/L por 48 h y 1 mg/L por 14 días | | Células intestinales (enterocitos) columnares muy delgadas sin distinciones propias de las secciones intestinales. Capas epiteliales casi reemplazadas por la lámina basal. |
| ' <i>Paracyclopsina nana</i> ' (copépodo) | Esferas de PS; 0.05, 0.5 y 6.0 μm | 20 $\mu\text{g/mL}$ por 24 h | Análisis realizados en organismo completo. | Las partículas se dispersaron por la mayor parte del cuerpo, resultando en aumento de ROS. Alteración de la respuesta antioxidante (GR, GPx y GST). |
| ' <i>Brachionus koreanus</i> ' (rotíferos) | Esferas de PS; 0.05, 0.5 y 6 μm | 0.1, 1.0, 10 y 20 $\mu\text{g/mL}$ por 12 días | Análisis realizados en organismo completo. | Disminución de la tasa de crecimiento, vida útil y fecundidad dependiente de la concentración y el tamaño de las partículas. |
| | | 10 $\mu\text{g/mL}$ por 24 h | | Aumento de los niveles de ERO dependiente del tamaño, componente clave para activar la vía de respuesta inmune MAPK (expresión de p-JNK y p-38 aumentaron) que genera la respuesta al estrés oxidativo, alteración de marcadores de respuesta antioxidante (SOD, GPx, GR, GSH), disminución del potencial de la membrana mitocondrial. En conjunto, lo anterior induce a la apoptosis. |

Claves: HDPE= Polietileno de alta densidad; PS= Poliestireno; SOD= Súper Óxido Dismutasa; CAT= Catalasa; GPx= glutatión peroxidasa; GSH= glutatión; GST= glutatión S transferasa; G= glutatión reductasa; MDA= Malondialdehído; GOT= Aspartato aminotransferasa; ERO= Especies Reactivas de Oxígeno.

| Referencias |
|--------------------------------|
| Von Moos <i>et al.</i> , 2012. |
| Browne <i>et al.</i> , 2008. |
| Sendra <i>et al.</i> , 2020. |
| Yu <i>et al.</i> , 2018. |
| Suman <i>et al.</i> , 2020. |
| Jeong <i>et al.</i> , 2017. |
| Jeong <i>et al.</i> , 2017. |



Fotografía 1. Microfilamento plástico en ambiente marino.

Dentro de los efectos que se han observado en células de mamíferos y organismos acuáticos (figura 2) se incluyen la lisis de membrana celular, modulación de receptores de membrana, cambios en potenciales de membrana, alteraciones en la permeabilidad, daño mitocondrial, cambios en actividades metabólicas, cambios en la regulación de genes proinflamatorios como interleucinas (IL), generación de especies reactivas de oxígenos (ERO), autofagia, reducción de viabilidad, genotoxicidad, daño en ADN y muerte celular (Von, Burkhardt-Holm & Köhler, 2012; Banerjee & Shelver, 2021; Sendra *et al.*, 2021; Suman, Jia, Li, Junaid, Xin, Wang & Pei, 2020). Embolia vascular, respuestas inflamatorias de células fagocitarias o potenciación de la respuesta (auto) inmunitaria en biomoléculas adsorbidas en la superficie de las partículas (Gómez, Timoner, Castell, Salas-Salvadó, Sanchís & Nadal, 2019), son otros de los efectos que se han asociado a la exposición a los microplásticos.

Diferencias entre especies

Crustáceos. Estudios realizados *in vivo* con copépodos (*'Paracyclops nana'*), cangrejos (*'Eriocheir sinensis'*) y artemias (*'Artemia salina'*), han evidenciado que partículas de poliestireno (PS) de tamaños muy pequeños (0.05-6 μm) y en diferentes concentraciones (20-100,000 $\mu\text{g/L}$) por periodos de exposición superiores a 20 o 40 días en intestino y hepatopáncreas, inducen la formación de especies reactivas de oxígenos (ERO), lo que provoca como respuesta el aumento en la producción de moléculas antioxidantes como son glutatión peroxidasa (GPx), glutatión S transferasa (GST), glutatión (GSH), superóxido dismutasa (SOD) y aspartato aminotransferasa (GOT), aunque también se han observado disminuciones de acetilcolinesterasa (AChE) y malondialdehído (MDA) dependientes del tamaño y concentración de PS involucrado (Jeong, Kang, Lee, Kim, Han, Hwang, Souissi, Lee, Shin, Park & Lee, 2017; Yu *et al.*, 2018; Suman *et al.*, 2020) (cuadro 1).

Tabla 2. Efectos de la captación de micro y nanoplasticos en órganos blanco de peces.

| Especie | Polímero | Contaminante/aditivo | Exposición | Órgano blanco |
|----------------------------------|---|---|---|--|
| Agua dulce | | | | |
| ' <i>Carassius auratus</i> ' | Cloruro de polivinilo (PVC-MP) | No aplica | 0, 0.1 o 0.5 mg / L. 4 días | Branquias, hígado, intestinos y cerebro. |
| | Poliestireno (PS) 70 nm y 5 µm | No aplica | 10, 100 y 1,000 µg / L. 1, 3 y 7 días. | Branquias, hígado, intestinos y tejido muscular. |
| ' <i>Clarias gariepinus</i> ' | Cloruro de polivinilo (PVC) | No aplica | Control, 0.5 %, 1.5 % y 3.0 % | Cerebro y branquias. |
| ' <i>Danio rerio</i> ' | Polietileno y poliestireno | No aplica | Control (C), 100 µg/L MPs (L), 1,000 µg/L MPs (H). 20 días | Branquias, hígado. |
| ' <i>Oreochromis niloticus</i> ' | Poliestireno | No aplica | 1, 10, y 100 µg L ⁻¹ . 14 días | Intestino, branquias, hígado, cerebro. |
| ' <i>Oryzias latipes</i> ' | Polietileno de baja densidad | No aplica | 3 mg/0.3 mg PE. 2 meses | Hígado. |
| ' <i>Poecilia reticulata</i> ' | Poliestireno | No aplica | 100 and 1,000 µg/L. 28 días | Branquia, estómago e intestino. |
| Marino | | | | |
| ' <i>Argyrosomus regius</i> ' | Polietileno | No aplica | 0.1, 1.0, 10 mg/L. 7 h | Larvas de 4 mm de promedio (15 días después de la eclosión). |
| ' <i>Dicentrarchus labrax</i> ' | Partículas de microesferas fluorescentes rojas | Mercurio (Hg) | Grupo control, 0.26 mg/L MPs, 0.69 mg/L MPs, 0.010 mg/L MPs, 0.016 mg/L MPs y cada tratamiento de MPs en combinación con 0.010 mg/L Hg, 0.016 mg/L Hg, 0.010 mg/L Hg, 0.016 mg/L Hg, respectivamente. 96 h | Branquias e hígado. |
| | Microplásticos ambientales (EMPs) | No aplica | 0.33 mg / g de pienso (correspondiente a 5 mg de EMP/150 g de pienso). 3 y 5 días | Branquias, intestinos e hígado. |
| ' <i>Girella laevis</i> ' | Poli (estireno-co-divinilbenceno) | No aplica | 0 (Ct, control), 0.001 (grupo A) y 0.1 g de MP (grupo B) por 0.5 g de alimento. 45 días | Intestinos. |
| ' <i>Oncorhynchus mykiss</i> ' | Poliestireno | Benzo[a]pireno (BaP) y 3-nitrobenzantrona (0, 0.1, 1 y 10 µM) | 0.3 y 3 mM. 48 h | Branquia, epitelio intestinal. |
| ' <i>Sebastes schlegelii</i> ' | Poliestireno PS | No aplica | 190 µg / L. 14 días | Vesícula biliar, el hígado, intestino y branquias. |
| ' <i>Sparus aurata</i> ' | Nanopartículas de poliestireno (prístinas PS-libres, carboxiladas PS-COOH y aminadas PS-NH ₂) | Arsénico (As) y metilmercurio (MeHg) | Solución madre de NP en agua ultrapura (1 mg mL ⁻¹). 24 h. | Línea de células cerebrales. |

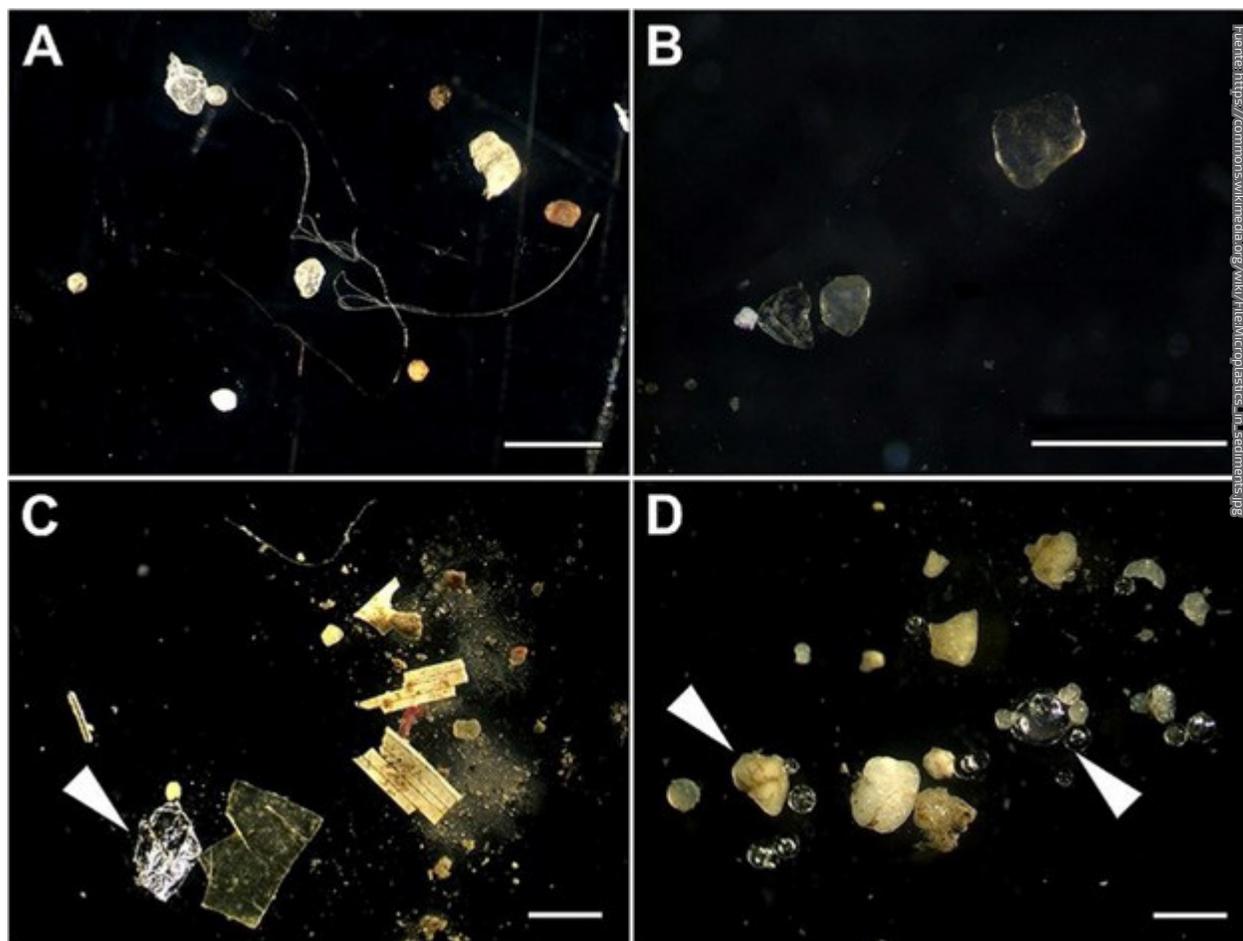
| Efectos | Referencia |
|---|--|
| Daño oxidativo en el cerebro y el hígado, cambios histomorfológicos adversos en el intestino y el hígado, alteración de la expresión génica. | Romano <i>et al.</i> , 2020. |
| Estrés oxidativo, destrucción de los tejidos del intestino, el hígado y las branquias, aumento de la frecuencia cardíaca, inhibición del crecimiento y la velocidad de nado de las larvas. Además, daño al tejido muscular y destrucción de las fibras nerviosas. | Yang <i>et al.</i> , 2020. |
| Alteraciones en los índices hematológicos, elevación del estrés oxidativo, la neurotoxicidad y la peroxidación lipídica. | Iheanacho & Odo, 2020. |
| Alteraciones del epitelio branquial, alteración de la expresión de genes relacionados con la inmunidad y las vías metabólicas en el hígado. | Limonta <i>et al.</i> , 2019. |
| Reducción de acetilcolinesterasa (AChE), aumento de superóxido dismutasa (SOD). | Ding <i>et al.</i> , 2018. |
| Lesiones Hepáticas (progresión de hepatocitos neoplásicos, adenoma hepatocelular). | Rochman <i>et al.</i> , 2013. |
| Actividad debilitada de sodio/potasio ATPasa en branquias. | Huang <i>et al.</i> , 2020. |
| Estrés oxidativo, neurotoxicidad. | Campos <i>et al.</i> , 2021. |
| Aumento actividad de superóxido dismutasa (SOD) – Inducción de la catalasa (CAT), glutatión-S-transferasa (GST) Y superóxido dismutasa (SOD) y aumento de niveles de peróxidos lípidos. | Barboza <i>et al.</i> , 2018. |
| Alteraciones oxidativas, aumento de glutatión-S-transferasa (GST) y de actividad de peróxidos lípidos. | Zitouni <i>et al.</i> , 2021. |
| Inflamación por infiltrado leucocitario, trastornos circulatorios (Hiperemia), pérdida de células de la cripta y de células de las vellosidades. | Ahrendt <i>et al.</i> , 2020. |
| Genotoxicidad en células epiteliales. | Bussolaro <i>et al.</i> , 2019. |
| Daño tisular, inhibición del crecimiento, alteración de reserva de energía, hipoxia respiratoria. | Yin <i>et al.</i> , 2019. |
| Solo el PS-NH2 fue tóxico para las células. Alteración de la transcripción de genes relacionados con la protección de metales, estrés oxidativo y la apoptosis. Tanto el As como el MeHg resultaron tóxicos e inducen la desintoxicación de metales, estrés oxidativo y apoptosis a nivel genético. | González-Fernández <i>et al.</i> , 2021. |

También pueden ocasionar problemas de fecundidad con partículas más pequeñas (0.05-0.5 μm). Un estudio reciente con '*A. salina*', desarrollado por Suman *et al.* ha demostrado que los efectos del PS también dependen de si la exposición es crónica o aguda.

A nivel celular, las condiciones agudas llegan a inducir apoptosis a concentraciones entre 25 y 100 mg/L, además del aumento en la generación de ERO. Ambas condiciones agudas y crónicas también han mostrado efectos sobre los enterocitos columnares en el epitelio intestinal, viéndose estos adelgazados e incluso capas epiteliales se ven reemplazadas por la lámina basal (Suman *et al.*), como resultado de la pérdida de la capa celular superior.

Ahora bien, a nivel de expresión génica, los análisis de transcriptomas mostraron la diferenciación en la expresión de más de 721 genes esenciales ("DEG-Database of Essential Genes"), relacionados con 156 vías identificadas en la base de datos de KEGG ("Kyoto Encyclopedia of Genes and Genomes"), que es una colección de bases de datos en línea, que registra la información relacionada con los genomas, rutas enzimáticas, y químicos biológicos relacionadas con las redes de interacciones moleculares dentro de las células (Suman *et al.*).

Gusanos y rotíferos. Algunos organismos invertebrados pueden encontrarse tanto en las zonas intermareales costeras, viviendo en la arena, o bien, muchos otros llegan a formar parte del zooplancton, a niveles superficiales en la columna de agua. Ejemplo de ellos son los gusanos marinos, como los poliquetos y los rotíferos, respectivamente. Ambos casos no están exentos de quedar expuestos a la contaminación plástica y sufrir afectaciones por dicha interacción. El gusano poliqueto marino '*Arenicola marina*' es uno de los organismos de playa que ha mostrado que la combinación de cloruro de polivinilo (PVC) con nonifenoles, alteran su capacidad fagocítica en células epiteliales intestinales, generando incluso cambios en sus tasas de alimentación y sobrevivencia (Browne, Niven, Galloway, Rowland & Thompson, 2013).



Fotografía 2. Microplásticos en sedimentos.

Fuente: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Microplastics_in_sediment.jpg

En el caso de organismos planctónicos, como los rotíferos, un estudio realizado por Jeong *et al.* (2017), observaron que exposiciones a poliestireno (PS) en forma de esferas de entre 0.05 y 6 μm a concentraciones de 10 $\mu\text{g}/\text{mL}$ durante 24 horas, generan cambios intracelulares, disminuyendo los potenciales de membrana de las mitocondrias en las células de '*Brachionus koreanus*', lo cual, junto con el incremento en la producción de especies reactivas de oxígeno (ERO), induce cambios en la respuesta inmune mediada por MAPK, que es una proteína encargada de modular la expresión de genes de p-JNK y p-38, relacionados con la respuesta defensiva celular contra el estrés oxidativo (Jeong *et al.*). Igualmente, estos autores observaron que una exposición ante un gradiente de PS desde 0.1 hasta 20 $\mu\text{g}/\text{mL}$ por 12 días, son suficientes para inducir una disminución en la tasa de crecimiento y fecundidad del rotífero (cuadro 1).

Moluscos. En el caso de los moluscos, los bivalvos se caracterizan por su alta capacidad de filtración y de selección de tamaños de partículas durante el proceso de alimentación. Estudios realizados en los mejillones '*Mytilus edulis*' y '*M. galloprovincialis*' expuestos a polietileno de alta densidad (PEAD o HDPE, por sus siglas en inglés) de hasta 80 μm y esferas de polietileno (PE) de entre 50 nm hasta 9.6 μm , en el caso de pruebas *in vitro*, han mostrado la captación de las partículas plásticas de HDPE por el sistema lisosomal de las células epiteliales de la glándula digestiva, ocasionando desestabilización de la membrana lisosomal y provocando procesos inflamatorios promovidos por eosinófilos productores de granulocitomas a nivel del tejido conectivo de '*M. edulis*' (Von Moos *et al.*, 2012) (cuadro 1).



Fotografía 3. Microplásticos comparados con un alevín.

En el caso de PS, exposiciones a concentraciones de 15 mil esferas plásticas por tres horas, son suficientes para que partículas de 9 μm se transfieran desde los epitelios intestinales, hasta la hemolinfa (sangre en los moluscos) y partículas más pequeñas de hasta 3 μm , penetren las células sanguíneas como son los hemocitos (Browne, Dissanayake, Galloway, Lowe & Thompson, 2008).

Tanto las respuestas antioxidantes como la viabilidad celular y la eliminación de las micropartículas plásticas varían o fluctúan significativamente durante periodos de depuración de hasta 48 horas (Browne *et al.*, 2008) (cuadro 1). Este patrón de respuesta en la acumulación dependiente del tamaño de la partícula plástica, también se volvió a observar en '*M. galloprovincialis*', donde los hemocitos, granulocitos y lisosomas internalizan las partículas en función de su tamaño (Sendra *et al.*, 2020) (cuadro 1). Como resultado de esta incorporación de PS, la motilidad, la generación de especies reactivas de oxígeno (ERO), la capacidad fagocítica y la inducción de apoptosis se ven alterados (Sendra *et al.*, 2020).

En el caso de pruebas *in vivo*, '*M. galloprovincialis*' ha mostrado acumulación de esferas de PS en músculo, branquias y glándula digestiva, las cuales llegan a ser trasladadas a la hemolinfa en un lapso de tres horas de haber sido expuestos los mejillones (Sendra *et al.*, 2020).

Peces. Este grupo de organismos acuáticos es el más ampliamente estudiado respecto a los efectos que pueden tener los microplásticos sobre la fauna acuática. Algunas pruebas con peces alimentados con microplásticos en condiciones de laboratorio, han mostrado alteraciones histopatológicas estructurales en el intestino distal como ensanchamiento de la lámina propia, desprendimiento del epitelio mucoso de la lámina propia, acortamiento e hinchazón de las vellosidades, vacuolización de enterocitos, aumento de células caliciformes e hiperplasia de células caliciformes, y pérdida de la estructura regular de la serosa (Pedà, Caccamo, Fossi, Gai, Andaloro, Genovese, Perdichizzi, Romeo & Maricchiolo, 2016; Jovanović, Gökdağ, Güven, Emre, Whitley & Kideys, 2018) (cuadro 2).

La secuencia de efectos dentro del tracto digestivo parece iniciar con una abrasión mecánica sobre el epitelio intestinal, particularmente sobre las células Villi o con vellosidades y las células de la cripta o de Lieberkuhn, ocasionando daño estructural e incluso pérdida de células (Ahrendt *et al.*, 2020). Parece ser que el grado o nivel de afectación de los tejidos epiteliales, varía dependiendo del tipo de plástico, de su tamaño y de la especie de pez involucrada (Ahrendt *et al.*) (cuadro 2).

Una vez que los microplásticos (MP) son asimilados y transferidos al sistema circulatorio, los primeros mecanismos de defensa inmune celular se activan, viendo incrementada la actividad y presencia de neutrófilos, los cuales aumentan la producción de gránulos primarios que son liberados por las células, como trampas para capturar nanoplasticos (Greven, Merk, Karagöz, Mohr, Klapper, Jovanović & Palić, 2016), lo que a su vez induce una respuesta de las células fagocíticas como acción para disminuir el estrés inducido por este tipo de agentes externos.

En el cuadro 2, se muestra una variedad de especies de peces, tanto dulceacuícolas como marinos, que han mostrado afectaciones por la exposición directa a los micro o nanoplasticos, así como a las asociadas a los compuestos o elementos aditivos contaminantes adsorbidos o absorbidos en ellos. Se puede apreciar que además de los efectos antes señalados, se puede llegar a observar efectos a nivel neurotóxico (Campos *et al.*, 2021), lesiones hepáticas (Rochman *et al.*, 2013) causados por polietileno (PE); por poliéster una aneurisma e inflamación branquial (Hu, Chernick, Lewis, Lee & Hinton, 2020); he incluso a nivel larval, desarreglo celular desordenado en el pez dorado ('*Carassius auratus*') a casua de poliestireno (PS); (Yang, Xiong, Mi, Xue, Wei & Zhang, 2020).

Viendo los impactos a nivel celular, podemos entender que los daños pueden llegar a comprometer la función vital de diversos órganos, los procesos de asimilación y captación de nutrientes, la capacidad de defensa inmune, de reproducción, crecimiento y desarrollo, por lo que las especies pueden verse comprometidas en su estabilidad poblacional, resultando en impactos adversos sobre recursos ecológicos, alimenticios y económicos.

A pesar de ser un grupo ampliamente estudiado, aún falta mucho por investigar sobre las alteraciones metabólicas, fisiológicas e histopatológicas que las partículas más pequeñas plásticas, pueden ejercer en muchas especies tropicales, sobre todo endémicas y de relevancia ecosistémica y económica como recurso explotable, tanto en ambientes dulceacuícolas y salobres-marinos.

Aditivos/contaminantes asociados a los plásticos.

Las afectaciones de las partículas plásticas sobre los seres vivos y sus células, no puede verse de forma aislada, sin considerar la presencia de otros compuestos o elementos tóxicos que están presentes en sus superficies, o formando parte de la propia matriz constitutiva del mismo plástico. Los efectos a la exposición de microplásticos (MP) tanto de forma directa como en combinación con otros contaminantes, también muestran respuestas diversas, dependiendo de las combinaciones presentes de plásticos y contaminantes.

Tal es el caso del mercurio, que en algunos casos produce estrés oxidativo en branquias e hígado y en concentraciones altas de MP hay daño oxidativo lipídico. Todos estos daños celulares son dependientes a su vez, de la especie de pez involucrado y del periodo de exposición a estos contaminantes (Escobar, Izquierdo, Macedo, Remuzgo & Huiman, 2019). El mismo patrón lo observaron en el pez '*Dicentrarchus labrax*' al ser expuesto a microesferas plásticas con mercurio (Barboza, Vieira, Branco, Carvalho, & Guilhermino, 2018).

Más recientemente González-Fernández *et al.* (2021), observaron que en '*Sparus aurata*' (pez de ambientes costeros estuarinos), expuesto a diversos tipos de poliestireno en forma de nanopartículas combinadas con arsénico y metilmercurio, podían inducir apoptosis y estrés oxidativo en líneas celulares cerebrales SaB-1 (cuadro 2).

En el pez cebra ('*Danio rerio*') partículas de polietileno (PE) adicionadas con plata, han mostrado la facilitación en la acumulación y captación del metal, comparado con la

exposición a la plata libre de poliestireno, demostrando así una alteración en los patrones normales de adquisición del metal (Khan, Syberg, Shashoua & Bury, 2015). Este tipo de facilitación en la captación de sustancias tóxicas a través de los plásticos como vectores, también se ha observado en casos como PCB en PE (Besseling, Foekema, van den Heuvel-Greve & Koelmans, 2017) o PeCB o HeCB (penta- o hexaclorobenceno) (Lee, Lee & Kwon, 2019); HAP, PCB y PBDE (Rochman *et al.*; Chua, Shimeta, Nugedoda, Morrison & Clarke, 2014), sobre todo mediante procesos de bioacumulación a través de los diferentes niveles de la cadena trófica. En el pez medaka japones ('*Oryzias latipes*'), microplásticos de polietileno de baja densidad (PEBD o LDPE, por sus siglas en inglés) con contaminantes adsorbidos han ocasionado daño hepático (Rochman *et al.*) (cuadro 2).

Por los ejemplos anteriores, podemos comprender que, en algunos casos, los efectos adversos celulares se deben más a los contaminantes y aditivos de las partículas, que al propio plástico en sí.

Desintoxicación

Si bien es cierto, la ingesta es una importante ruta de adquisición de partículas plásticas, también se reconoce que un elevado porcentaje es expulsado a través de los procesos excretores en las heces, del material no asimilado durante la digestión. En el caso de los humanos, se maneja más del 90 % del micro y nanoplastico ingerido, excretado a través de las heces (Smith, Love, Rochman & Neff, 2018).

Algunos ejemplos son las partículas del polipropileno (PP) y el tereftalato de polietileno (PET) (Schwabl, Köppel, Königshofer, Bucsics, Trauner, Reiberger & Liebmann, 2019). Otros estudios reportan que las bajas concentraciones de microplásticos y exposiciones por periodos cortos, favorecen también una menor generación de efectos adversos, a consecuencia del poco tiempo de exposición intestinal a los contaminantes asociados a los plásticos, como lo son algunos compuestos orgánicos de HAP y bifenol A (BPA) (Amelia *et al.*).

Es importante evaluar y estudiar más ampliamente los procesos de excreción, así como los procesos de la respuesta antioxidante tan comúnmente observada en todos los organismos acuáticos estudiados, independientemente del grupo de invertebrados o vertebrados involucrado, para entender mejor los límites de tolerancia y acumulación de partículas plásticas en la biota acuática.

Conclusiones e investigación futura

Es evidente que uno de los resultados adversos del mal manejo y disposición de los desechos sólidos de plásticos (DSP), conlleva importantes afectaciones tanto a nivel de organismos, como tisular y celular. Igualmente, la exposición directa a las micro y nanopartículas plásticas, provocan importantes alteraciones celulares, sobre todo las asociadas a la respuesta antioxidante, cambios en la conformación de células, en la estructura celular, en la expresión y regulación de genes, e incluso inducir muerte programada o apoptosis.

El hecho de que la mayoría de los procesos o rutas de incorporación, como la endocitosis, la difusión y la fagocitosis no requieran un gasto energético considerable por parte de la célula, permite que la captación de este tipo de materiales, sea alta, con consecuencias negativas en plazos relativamente cortos de tiempo y que además facilitan la transferencia desde los sitios de captación, como son las branquias o el intestino, hacia el torrente sanguíneo y de ahí al resto de cuerpo, alcanzando tejidos como son el cerebro o las gónadas, lo que podría poner en riesgo la estabilidad reproductiva de algunas poblaciones.

Aunque las respuestas celulares parecen ser muy similares entre los diversos grupos taxonómicos, es evidente la necesidad de ampliar los estudios en especies de invertebrados, ya que los esfuerzos científicos de evaluación se han centrado principalmente en los peces, lo que nos limita en la comprensión de los efectos que, a nivel ecológico, de cadenas tróficas y de impactos ecosistémicos, se refiere.

Pese a los esfuerzos de las últimas décadas por comprender las afectaciones de los desechos plásticos en los ambientes acuáticos, seguimos estando en la necesidad de ampliar nuestro conocimiento al respecto, sobre muchas especies, principalmente dulceacuícolas, empleando concentraciones más realistas, y formas de partículas más acordes con lo encontrado más comúnmente en muestras ambientales, como sería el uso de partículas en forma de fibras.

Sin duda el estudio de los impactos de la contaminación por micro y nanoplasticos sobre las células, es un campo que demandará mucha investigación en el mediano plazo.

Reconocimientos

Al QFB. Jesús Alberto Valentino y a la Biól. Juanita Sánchez Córdova por el apoyo en la obtención de material bibliográfico.

Referencias

- Ahrendt, C.; Perez-Venegas, D.J.; Urbina, M.; Gonzalez, C.; Echeveste, P.; Aldana, M.; Pulgar J. & Galbán-Malagón, C.** (2020). Microplastic ingestion cause intestinal lesions in the intertidal fish '*Girella laevis*'. *Marine Pollution Bulletin*, 151: 110795. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2019.110795>»
- Alberts, B.; Johnson, A.; Lewis, J.; Raff, M.; Roberts, K. & Walter, P.** (2002). Transport into the cell from the plasma membrane: endocytosis. In: Authors; *Molecular Biology of the Cell* (4th ed.; website). New York; United States of America: Garland Science. Available from «<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK26870/>»
- Alimi, O.S.; Farnier Budarz, J.; Hernandez, L.M. & Tufenkji, N.** (2018). Microplastics and nanoplastics in aquatic environments: aggregation, deposition, and enhanced contaminant transport. *Environmental Science & Technology*, 52(4): 1704-1724. DOI «<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05559>»
- Allen, S.; Allen, D.; Phoenix, V.R.; Le Roux, G.; Durántez Jiménez, P.; Simonneau, A.; Binet, S. & Galop, D.** (2019). Atmospheric transport and deposition of microplastics in a remote mountain catchment. *Nature Geoscience*, 12(5): 339-344. DOI «<https://doi.org/10.1038/s41561-019-0335-5>»
- Amelia, T.S.M.; Khalik, W.M.A.W.M.; Ong, M.C.; Shao, Y.T.; Pan, H.J. & Bhubalan, K.** (2021). Marine microplastics as vectors of major ocean pollutants and its hazards to the marine ecosystem and humans. *Progress in Earth and Planetary Science*, 8:12. DOI «<https://doi.org/10.1186/s40645-020-00405-4>»

Banerjee, A. & Shelver, W.L. (2021). Micro- and nanoplastic induced cellular toxicity in mammals: a review. *Science of the Total Environment*, 755: 142518. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142518>»

Barboza, L.G.A.; Vieira, L.R.; Branco, V.; Carvalho, C. & Guilhermino, L. (2018). Microplastics increase mercury bioconcentration in gills and bioaccumulation in the liver, and cause oxidative stress and damage in '*Dicentrarchus labrax*' juveniles. *Scientific Reports*, 8(1): 15655. DOI «<https://doi.org/10.1038/s41598-018-34125-z>»

Besseling, E.; Foekema, E.M.; van den Heuvel-Greve, M.J. & Koelmans, A.A. (2017). The effect of microplastic on the uptake of chemicals by the Lugworm '*Arenicola marina*' (L.) under environmentally relevant exposure conditions. *Environmental Science and Technology*, 51(15): 8795-8804. DOI «<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b02286>»

Bojic, S.; Falco, M.M.; Stojkovic, P.; Lujic, B.; Gazdic Jankovic, M.; Armstrong, L.; Markovic, N.; Dopazo, J.; Lako, M.; Bauer, R. & Stojkovic, M. (2020). Platform to study intracellular polystyrene nanoplastic pollution and clinical outcomes. *Stem Cells*, 38(10): 1321-1325. DOI «<https://doi.org/10.1002/stem.3244>»

Bollaín Pastor, C. & Vicente Agulló, D. (2019). Presencia de microplásticos en aguas y su potencial impacto en salud pública. *Revista Española de Salud Pública*, 93: e1-10. Recuperado de «<https://scielo.isciii.es/pdf/resp/v93/1135-5727-resp-93-e201908064.pdf>»

Browne, M.A.; Crump, P.; Niven, S.J.; Teuten, E.; Tonkin, A.; Galloway, T. & Thompson, R. (2011). Accumulation of microplastic on shorelines worldwide: sources and sinks. *Environmental Science and Technology*, 45(21): 9175-9179. DOI «<https://doi.org/10.1021/es201811s>»

Browne, M.A.; Dissanayake, A.; Galloway, T.S.; Lowe, D.M. & Thompson, R.C. (2008). Ingested microscopic plastic translocates to the circulatory system of the mussel, '*Mytilus edulis*' (L.). *Environmental Science and Technology*, 42(13): 5026-5031. DOI «<https://doi.org/10.1021/es800249a>»

Browne, M.A.; Niven, S.J.; Galloway, T.S.; Rowland, S.J. & Thompson, R.C. (2013). Microplastic moves pollutants and additives to worms, reducing functions linked to health and biodiversity. *Current Biology*, 23(23): 2388-2392. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.cub.2013.10.012>»

Bussolaro, D.; Wright, S.L.; Schnell, S.; Schirmer, K.; Bury, N.R. & Arlt, V.M. (2019). Co-exposure to polystyrene plastic beads and polycyclic aromatic hydrocarbon contaminants in fish gill (RTgill-W1) and intestinal (RTgutGC) epithelial cells derived from rainbow trout ('*Oncorhynchus mykiss*'). *Environmental Pollution*, 248: 706-714. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.02.066>»

Campos, D.; Rodrigues, A.C.M.; Rocha, R.J.M.; Martins, R.; Candeias-Mendes, A.; Castanho, S.; Soares, F.; Pousão-Ferreira, P.; Soares, A.M.V.M.; Gravato, C. & Patrício Silva, A.L. (2021). Are microplastics impairing marine fish larviculture? — preliminary results with '*Argyrosomus regius*'. *Water*, 13(1): 104. DOI «<https://doi.org/10.3390/w13010104>»

Castañeta, G.; Gutiérrez, A.F.; Nacaratte, F. & Manzano, C.A. (2020). Microplásticos: un contaminante que crece en todas las esferas ambientales, sus características y posibles riesgos para la salud pública por exposición. *Revista Boliviana de Química*, 37(3): 160-175. DOI «<https://doi.org/10.34098/2078-3949.37.3.4>»

Chen, G.; Feng, Q. & Wang, J. (2020). Mini-review of microplastics in the atmosphere and their risks to humans. *Science of the Total Environment*, 703: 135504. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135504>»

Chua, E.M.; Shimeta, J.; Nugegoda, D.; Morrison, P.D. & Clarke, B.O. (2014). Assimilation of polybrominated diphenyl ethers from microplastics by the marine amphipod, '*Allorchestes compressa*'. *Environmental Science and Technology*, 48(14): 8127-8134. «<https://doi.org/10.1021/es405717z>»

Dawson, A.; Huston, W.; Kawaguchi, S.; King, C.; Cropp, R.; Wild, S.; Eisenmann, P.; Townsend, K. & Bengtson, N.S. (2018). Uptake and depuration kinetics influence microplastic bioaccumulation and toxicity in antarctic krill ('*Euphausia superba*'). *Environmental Science & Technology*, 52(5): 3195-3201. DOI «<https://doi.org/10.1021/acs.est.7b05759>»

Ding, J.; Zhang, S.; Razanajatovo, R.M.; Zou, H. & Zhu, W. (2018). Accumulation, tissue distribution, and biochemical effects of polystyrene microplastics in the freshwater fish red tilapia ('*Oreochromis niloticus*'). *Environmental Pollution*, 238: 1-9. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2018.03.001>»

Domingos, R.F.; Baalousha, M.A.; Ju-Nam, Y.; Reid, M.M.; Tufenkji, N.; Lead, J.R.; Leppard, G.G. & Wilkinson, K.J. (2009). Characterizing manufactured nanoparticles in the environment: multimethod determination of particle sizes. *Environmental Science & Technology*, 43(19): 7277-7284. DOI «<https://doi.org/10.1021/es900249m>»

Escobar Condor, E.W.; Izquierdo Villasante, Y.; Macedo Riva, A.; Remuzgo Panduro, G. & Huiman Cruz, A. (2019). Impacto de la ingesta de residuos plásticos en peces. *Revista Kawsaypacha: Sociedad y Medio Ambiente*, (4): 79-92. DOI «<https://doi.org/10.18800/kawsaypacha.201902.004>»

Evangelidou, N.; Grythe, H.; Klimont, Z.; Heyes, C.; Eckhardt, S.; Lopez-Aparicio, S. & Stohl, A. (2020). Atmospheric transport is a major pathway of microplastics to remote regions. *Nature Communications*, 11(1): 3381. DOI «<https://doi.org/10.1038/s41467-020-17201-9>»

- Fadare, O.O. & Okoffo, E.D.** (2020). COVID-19 face masks: a potential source of microplastic fibers in the environment. *Science of the Total Environment*, 737: 140279. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.140279>»
- García Fernández-Villa, S. & San Andrés Moya, M.** (2002). El plástico como bien de interés cultural (I): aproximación a la historia y composición de los plásticos de moldeo naturales y artificiales. *PH Boletín*, 40/41: 87-102. DOI «<https://doi.org/10.33349/2002.40.1415>»
- Gómez Catalán, J.; Timoner Alonso, I.; Castell Garralda, V.; Salas-Salvadó, J.; Sanchís Almenar, V. & Nadal Lomas, M.** (2019). *Microplásticos y nanoplásticos en la cadena alimentaria: situación actual* (Informe por el Comité Científico Asesor de Seguridad Alimentaria; p. 33). Barcelona; España: Agencia Catalana de Seguridad Alimentaria (ACSA). Recuperado de «<https://acortar.link/PehA5j>»
- González-Fernández, C.; Díaz Baños, F.G.; Esteban, M.Á. & Cuesta, A.** (2021). Functionalized nanoplastics (NPs) increase the toxicity of metals in fish cell lines. *International Journal of Molecular Sciences*, 22(13): 7141 DOI «<https://doi.org/10.3390/ijms22137141>»
- Gorrasi, G.; Sorrentino, A. & Lichtfouse, E.** (2021). Back to plastic pollution in COVID times. *Environmental Chemistry Letters*, 19(1): 1-4. DOI «<https://doi.org/10.1007/s10311-020-01129-z>»
- Greven, A.C.; Merk, T.; Karagöz, F.; Mohr, K.; Klapper, M.; Jovanović, B. & Palić, D.** (2016). Polycarbonate and polystyrene nanoplastic particles act as stressors to the innate immune system of fathead minnow (*Pimephales promelas*). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 35(12): 3093-3100. DOI «<https://doi.org/https://doi.org/10.1002/etc.3501>»
- Guerrera, M. C.; Aragona, M.; Porcino, C.; Fazio, F.; Laurà, R.; Levanti, M.; Montalbano, G.; Germanà, G.; Abbate, F. & Germanà, A.** (2021). Micro and nano plastics distribution in fish as model organisms: histopathology, blood response and bioaccumulation in different organs. *Applied Sciences*, 11(13): 5768. DOI «<https://doi.org/10.3390/app11135768>»
- Hu, L.; Chernick, M.; Lewis, A.M.; Lee Ferguson, P. & Hinton, D.E.** (2020). Chronic microfiber exposure in adult japanese medaka (*Oryzias latipes*). *PLoS ONE*, 15(3): e0229962. DOI «<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0229962>»
- Huang, J.S.; Koongolla, J.B.; Li, H.X.; Lin, L.; Pan, Y.F.; Liu, S.; He, W.H.; Maharana, D. & Xu, X.R.** (2020). Microplastic accumulation in fish from Zhanjiang mangrove wetland, South China. *Science of the Total Environment*, 708: 134839. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134839>»
- Iheanacho, S.C. & Odo, G.E.** (2020). Neurotoxicity, oxidative stress biomarkers and haematological responses in African catfish (*Clarias gariepinus*) exposed to polyvinyl chloride microparticles. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology and Pharmacology*, 232: 108741. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108741>»
- Imhof, H.K.; Schmid, J.; Niessner, R.; Ivleva, N.P. & Laforsch, C.** (2012). A novel, highly efficient method for the separation and quantification of plastic particles in sediments of aquatic environments. *Limnology and Oceanography: Methods*, 10(7): 524-537. DOI «<https://doi.org/10.4319/lom.2012.10.524>»
- Jeong, C.B.; Kang, H.M.; Lee, M.C.; Kim, D.H.; Han, J.; Hwang, D.S.; Souissi, S.; Lee, S.J.; Shin, K.H.; Park, H.G. & Lee, J.S.** (2017). Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod '*Paracyclops nana*'. *Scientific Reports*, 7: 41323. DOI «<https://doi.org/10.1038/srep41323>»
- Jovanović, B.; Gökdag, K.; Güven, O.; Emre, Y.; Whitley, E.M. & Kideys, A.E.** (2018). Virgin microplastics are not causing imminent harm to fish after dietary exposure. *Marine Pollution Bulletin*, 130: 123-131. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2018.03.016>»
- Khan, F.R.; Syberg, K.; Shashoua, Y. & Bury, N.R.** (2015). Influence of polyethylene microplastic beads on the uptake and localization of silver in zebrafish (*Danio rerio*). *Environmental Pollution*, 206: 73-79. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2015.06.009>»
- Klaine, S.J.; Alvarez, P.J.J.; Batley, G.E.; Fernandes, T.F.; Handy, R.D.; Lyon, D.Y.; Mahendra, S.; Mclaughlin, M.J. & Lead, J.R.** (2008). Nanomaterials in the environment: behaviour, fate, bioavailability, and effects. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(9): 1825-1851. DOI «<https://doi.org/10.1897/08-090.1>»
- Lambert, S. & Wagner, M.** (2017). Environmental performance of bio-based and biodegradable plastics: the road ahead. *Chemical Society Reviews*, 46(22): 6855-6871. DOI «<https://doi.org/10.1039/c7cs00149e>»
- Lawrence, E.** (Comp.). (2014). *Diccionario de Biología*, (Trad. Henderson's Dictionary of Biology; p. 622). México: Editorial Trillas. ISBN 978-607-17-2057-3
- Lawrence, E.** (Edit.). (2003). *Diccionario Akal de Términos Biológicos*, (12^{va} ed.; Henderson's Dictionary of Biological Terms; R. Codes Valcarce & Fco. J. Espino Nuño, Trad.; p. 688). Madrid, España: Ediciones Akal. ISBN 84-460-1582X.
- Lee, H.; Lee, H.J. & Kwon, J.H.** (2019). Estimating microplastic-bound intake of hydrophobic organic chemicals by fish using measured desorption rates to artificial gut fluid. *Science of the Total Environment*, 651-1: 162-170. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.09.068>»
- Limonta, G.; Mancina, A.; Benkhalqui, A.; Bertolucci, C.; Abelli, L.; Fossi, M.C. & Panti, C.** (2019). Microplastics induce transcriptional changes, immune response and behavioral alterations in adult zebrafish. *Scientific Reports*, 9(1): 15775. DOI «<https://doi.org/10.1038/s41598-019-52292-5>»

Liu, Q.; Chen, C.; Li, M.; Ke, J.; Huang, Y.; Bian, Y.; Guio, S.; Wu, Y.; Han, Y. & Liu, M. (2020). Neurodevelopmental toxicity of polystyrene nanoplastics in '*Caenorhabditis elegans*' and the regulating effect of presenilin. *ACS Omega*, 5(51): 33170-33177. DOI «<https://doi.org/10.1021/acsomega.0c04830>»

Mattsson, K.; Ekvall, M.T.; Hansson, L.A.; Linse, S.; Malmendal, A. & Cedervall, T. (2015). Altered behavior, physiology, and metabolism in fish exposed to polystyrene nanoparticles. *Environmental Science and Technology*, 49(1): 553-561. DOI «<https://doi.org/10.1021/es50536655>»

Mazurais, D.; Ernande, B.; Quazuguel, P.; Severe, A.; Huelvan, C.; Madec, L.; Mouchel, O.; Soudant, P.; Robbens, J.; Huvet, A. & Zambonino-Infante, J. (2015). Evaluation of the impact of polyethylene microbeads ingestion in European sea bass ('*Dicentrarchus labrax*') larvae. *Marine Environmental Research*, 112-a: 78-85. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2015.09.009>»

Moore, M.N. (2006). Do nanoparticles present ecotoxicological risks for the health of the aquatic environment? *Environment International*, 32(8): 967-976. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envint.2006.06.014>»

Oberdörster, E. (2004). Manufactured nanomaterials (fullerenes, C60) induce oxidative stress in the brain of juvenile largemouth bass. *Environmental Health Perspectives*, 112(10): 1058-1062. DOI «<https://doi.org/10.1289/ehp.7021>»

Parker, B.; Andreou, D.; Green, I.D. & Britton, J.R. (2021). Microplastics in freshwater fishes: occurrence, impacts and future perspectives. *Fish and Fisheries*, 22(3): 467-488. DOI «<https://doi.org/10.1111/faf.12528>»

Peacock, A.J. & Calhoun, A. (2006). *Polymer chemistry: properties and applications* (p. 397). Munich: Hanser Gardner Publications. ISBN-10: 1569903972, ISBN-13: 978-1569903971

Pedà, C.; Caccamo, L.; Fossi, M.C.; Gai, F.; Andaloro, F.; Genovese, L.; Perdichizzi, A.; Romeo, T. & Maricchiolo, G. (2016). Intestinal alterations in european sea bass '*Dicentrarchus labrax*' (Linnaeus, 1758) exposed to microplastics: preliminary results. *Environmental Pollution*, 212: 251-256. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2016.01.083>»

PlasticEurope. (2020). *Plásticos-Situación en 2020: un análisis de los datos sobre producción, demanda y residuos de plásticos en Europa* (p. 64). Madrid; España: PlasticEurope; European Association of Plastics Recycling & Recovery Organisations (EPRO). Recuperado de «<https://acortar.link/a1NdTV>»

Rochman, C.M.; Hoh, E.; Kurobe, T. & Teh, S.J. (2013). Ingested plastic transfers hazardous chemicals to fish and induces hepatic stress. *Scientific Reports*, 3: 3263. DOI «<https://doi.org/10.1038/srep03263>»

Romano, N.; Renukdas, N.; Fischer, H.; Shrivastava, J.; Baruah, K.; Egnew, N. & Sinha, A.K. (2020). Differential modulation of oxidative stress, antioxidant defense, histomorphology, ion-regulation and growth marker gene expression in goldfish ('*Carassius auratus*') following exposure to different dose of virgin microplastics. *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 238: 108862. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.cbpc.2020.108862>»

SAPEA (Science Advice for Policy by European Academies). (2019). *A scientific perspective on microplastics in nature and society* (Evidence Review Report #4, p. 176). Berlin; Germany: author. ISBN 978-3-9820301-0-4. DOI «<https://doi.org/10.26356/microplastics>»

Schwabl, P.; Köppel, S.; Königshofer, P.; Bucsecs, T.; Trauner, M.; Reiberger, T. & Liebmann, B. (2019). Detection of various microplastics in human stool: a prospective case series. *Annals of Internal Medicine*, 171(7): 453-457. DOI «<https://doi.org/10.7326/M19-0618>»

Sendra, M.; Pereiro, P.; Yeste, M.P.; Mercado, L.; Figueras, A. & Novoa, B. (2021). Size matters: Zebrafish ('*Danio rerio*') as a model to study toxicity of nanoplastics from cells to the whole organism. *Environmental Pollution*, 268-a: 115769. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115769>»

Sendra, M.; Saco, A., Yeste, M.P.; Romero, A.; Novoa, B. & Figueras, A. (2020). Nanoplastics: from tissue accumulation to cell translocation into '*Mytilus galloprovincialis*' hemocytes. resilience of immune cells exposed to nanoplastics and nanoplastics plus '*Vibrio splendidus*' combination. *Journal of Hazardous Materials*, 388: 121788. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.121788>»

Sendra, M.; Sparaventi, E.; Blasco, J.; Moreno-Garrido, I. & Araujo, C.V.M. (2020). Ingestion and bioaccumulation of polystyrene nanoplastics and their effects on the microalgal feeding of '*Artemia franciscana*'. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 188: 109853. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109853>»

Smith, M.; Love, D.C.; Rochman, C.M. & Neff, R.A. (2018). Microplastics in seafood and the implications for human health. *Current Environmental Health Reports*, 5(3): 375-386. DOI «<https://doi.org/10.1007/s40572-018-0206-z>»

Suman, T.Y.; Jia, P.P.; Li, W.G.; Junaid, M.; Xin, G.Y.; Wang, Y. & Pei, D.S. (2020). Acute and chronic effects of polystyrene microplastics on brine shrimp: first evidence highlighting the molecular mechanism through transcriptome analysis. *Journal of Hazardous Materials*, 400: 123220. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123220>»

Thompson, R.C.; Moore, C.J.; vom Saal, F.S. & Swan, S.H. (2009). Plastics, the environment and human health: current consensus and future trends. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: biological sciences*, 364(1526): 2153-2166. DOI «<https://doi.org/10.1098/rstb.2009.0053>»

Von Moos, N.; Burkhardt-Holm, P. & Köhler, A. (2012). Uptake and effects of microplastics on cells and tissue of the blue mussel '*Mytilus edulis*' L. after an experimental exposure. *Environmental Science and Technology*, 46(20): 11327-11335. DOI «<https://doi.org/10.1021/es302332w>»

Wegner, A.; Besseling, E.; Foekema, E.M.; Kamermans, P. & Koelmans, A.A. (2012). Effects of nanopolystyrene on the feeding behavior of the blue mussel ('*Mytilus edulis*' L.). *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(11): 2490-2497. DOI «<https://doi.org/10.1002/etc.1984>»

Wright, S.L.; Thompson, R.C. & Galloway, T.S. (2013). The physical impacts of microplastics on marine organisms: a review. *Environmental Pollution (Barking, Essex: 1987)*, 178: 483-492. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envpol.2013.02.031>»

Wright, S.L.; Ulke, J.; Font, A.; Chan, K.L.A. & Kelly, F.J. (2020). Atmospheric microplastic deposition in an urban environment and an evaluation of transport. *Environment International*, 136: 105411. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.105411>»

Yang, H.; Xiong, H.; Mi, K.; Xue, W.; Wei, W. & Zhang, Y. (2020). Toxicity comparison of nano-sized and micron-sized microplastics to Goldfish '*Carassius auratus*' Larvae. *Journal of Hazardous Materials*, 388: 122058. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.122058>»

Yin, L.; Liu, H.; Cui, H.; Chen, B.; Li, L. & Wu, F. (2019). Impacts of polystyrene microplastics on the behavior and metabolism in a marine demersal teleost, black rockfish ('*Sebastes schlegelii*'). *Journal of Hazardous Materials*, 380: 120861. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.120861>»

Yu, P.; Liu, Z.; Wu, D.; Chen, M.; Lv, W. & Zhao, Y. (2018). Accumulation of polystyrene microplastics in juvenile '*Eriocheir sinensis*' and oxidative stress effects in the liver. *Aquatic Toxicology*, 200: 28-36. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.aquatox.2018.04.015>»

Zitouni, N.; Bousserhine, N.; Missawi, O.; Boughattas, I.; Chèvre, N.; Santos, R.; Belbekhouche, S.; Alphonse, V.; Tisserand, F.; Balmassiere, L.; Pereira Dos Santos, S.; Mokni, M.; Guerbej, H. & Banni, M. (2021). Uptake, tissue distribution and toxicological effects of environmental microplastics in early juvenile fish '*Dicentrarchus labrax*'. *Journal of Hazardous Materials*, 403: 124055. DOI «<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124055>»



**ESTUDIANTE DE LA LICENCIATURA EN BIOLOGÍA EN PRÁCTICA DE CAMPO COMO PARTE DE LA ASIGNATURA «ALGAS Y BRIOFITAS»
EN LAS INSTALACIONES DE LA DACBIOL.**

**División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.**

Fotografía: cortesía de Ma. Guadalupe Rivas Acuña.

«La disciplina es no perder de vista lo que se desea alcanzar»

DACBIOL

EJEMPLAR DE MACULÍS *Tabebuia roseae* (Bertol.) Bertero ex A.D.C.; UBICADO FRENTE AL EDIFICIO 'C' Y PARTE DE LOS JARDINES DE LA DACBIOL.

División Académica de Ciencias Biológicas (DACBIOL); Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT).
Villahermosa, Tabasco; México.

Fotografía: cortesía de Marcela Alejandra Cid Martínez



KUXULKAB'

División Académica de Ciencias Biológicas; Universidad Juárez Autónoma de Tabasco

+52 (993) 358 1500, 354 4308 ext. 6415

kuxulkab@ujat.mx • kuxulkab@outlook.com

www.revistas.ujat.mx

Carretera Villahermosa-Cárdenas km 0.5, entronque a Bosques de Saloya. C.P. 86039.
Villahermosa, Tabasco. México.

