



LOS CONTAMINANTES ACUÁTICOS EN OCÉANOS Y PESQUERÍAS

Abril de 2021



LOS CONTAMINANTES ACUÁTICOS EN OCÉANOS Y PESQUERÍAS

Autores principales

Matt Landos, BVSc (Hons) MANZCVS (*capítulo de salud de animales acuáticos*)

Mariann Lloyd Smith, PhD, Asesora principal, NTN

Joanna Immig, B.App.SC Coordinadora nacional, NTN

ABRIL DE 2021



IPEN es una red de organizaciones no-gubernamentales que trabajan en más de 100 países para reducir y eliminar los daños a la salud humana y al medio ambiente producidos por sustancias químicas tóxicas.

ipen.org



National Toxics Network (NTN) es una red sin fines de lucro de la sociedad civil que lucha por reducir la contaminación, proteger la salud ambiental y lograr justicia ambiental para todos. La red NTN ha asumido el compromiso de alcanzar un futuro libre de sustancias tóxicas.

ntn.org.au

ISBN: 978-1-955400-04-6

© 2021 Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (International Pollutants Elimination Network). Todos los derechos reservados.

Equipo de producción de IPEN: Bjorn Beeler, Tim Warner, Betty Wahlund

La traducción de este documento la realizó Leslie Pascoe Chalke de la agencia de servicios de traducción Diidxa.

Citar esta publicación como:

Landos, M., Lloyd-Smith, M. y Immig, J. *Los contaminantes acuáticos en océanos y pesquerías*. Red Internacional de Eliminación de Contaminantes (IPEN), abril de 2021.

HALLAZGOS CLAVE

- **La sobreexplotación no es la única causa de la caída de las pesquerías.** El mal manejo de las pesquerías y las cuencas hidrológicas ha destruido la calidad del agua y los hábitats de los criaderos que son de crucial importancia, así como ha reducido y suprimido recursos alimenticios acuáticos. Las exposiciones a contaminantes ambientales tienen un impacto adverso sobre la fecundidad, el comportamiento y la resiliencia de las especies acuáticas, además de tener una influencia negativa sobre el reclutamiento y la capacidad de supervivencia de las mismas. Hasta que se aborden todos los factores que contribuyen a la caída de las pesquerías, no podrá haber pesquerías sostenibles.
- **Por décadas, los contaminantes químicos han estado impactando las redes alimentarias, tanto oceánicas como acuáticas, y los impactos se están agravando.** Desde la década de los años setenta, la literatura científica ha estado documentando la contaminación causada por los seres humanos en los ecosistemas acuáticos. Los cálculos indican que hasta un 80% de la contaminación química marina se origina en la tierra y que la situación está empeorando. La gestión de las principales fuentes de origen de los contaminantes no ha logrado proteger a los ecosistemas acuáticos contra las fuentes difusas que existen por donde quiera. La acuicultura también está alcanzando un límite debido a los impactos de los contaminantes, cuya intensificación ya está provocando deterioros en algunas áreas; además, los contaminantes en los alimentos de la acuicultura están afectando la salud de los peces.
- **Los contaminantes, que incluyen productos químicos industriales, plaguicidas, productos farmacéuticos, metales pesados, plásticos y microplásticos, tienen un efecto nocivo sobre los ecosistemas acuáticos en todos los niveles tróficos, desde el plancton hasta las ballenas.** Las sustancias químicas que perturban el sistema endocrino, que son biológicamente activas a concentraciones extremadamente bajas, representan una amenaza particular a las pesquerías a largo plazo. Los contaminantes persistentes, como el mercurio, los compuestos bromados y los plásticos, se biomagnifican en la red alimentaria acuática y, finalmente, llega a los humanos.
- **Como resultado del cambio climático, los ecosistemas acuáticos que sustentan a las pesquerías están sufriendo cambios fundamentales.** Con la creciente deposición de dióxido de carbono, los océanos se están calentando y se están acidificando. El derretimiento del hielo marino, de los glaciares y de la capa de hielo permanente en las regiones polares (permafrost), está aumentando los niveles del mar y está alterando tanto las corrientes oceáni-



cas como los niveles de salinidad y oxígeno. Se está observando un aumento tanto en las 'zonas muertas' desoxigenadas como en la proliferación de algas costeras. Por otro lado, el cambio climático está re-movilizando los contaminantes históricos de sus 'sumideros polares'.

- **A través del aumento de las exposiciones, de la toxicidad y la bioacumulación de contaminantes en la red alimentaria, el cambio climático y las exposiciones crónicas a los plaguicidas, en su conjunto, pueden amplificar los impactos de la contaminación.** El metilmercurio (MeHg) y los PCB se encuentran entre los contaminantes más prevalentes y tóxicos en la red alimentaria marina.
- **Aunque estamos al borde del precipicio del desastre, tenemos la oportunidad de recuperarnos.** Para que haya progreso, se requieren cambios fundamentales en la industria, la economía y la gobernanza, que cese la minería en mares profundos y demás industrias destructivas, contar con una gestión ambientalmente racional de las sustancias químicas y con verdaderas economías circulares. Urge que haya enfoques regenerativos a la agricultura y la acuicultura, para así reducir el carbono, detener el crecimiento de la contaminación y empezar un proceso de restauración.

CONTENIDO

Prefacio	vi
1. Resumen.....	9
2. Los impactos de los contaminantes acuáticos y marinos.....	17
2.1 La perturbación del sistema endocrino – una amenaza a largo plazo para las pesquerías	22
2.1.1 Intersexualidad e imposex.....	25
2.1.2 Los impactos sobre el sistema inmunológico.....	29
2.1.3 Los impactos en el comportamiento y los impactos indirectos ...	30
2.2 Los impactos de la contaminación con microplásticos sobre las pesquerías	34
2.2.1 Los microplásticos y sus contaminantes.....	37
3. El clima, los contaminantes y las pesquerías.....	41
3.1 Las interacciones entre el cambio climático y los contaminantes persistentes.....	44
4. Las fuentes de contaminación y los elementos contribuyentes.....	49
4.1 Liberaciones industriales	50
4.2 Las plantas de tratamiento de aguas residuales	50
4.3 La contaminación farmacéutica	52
4.4 La contaminación de petróleo	53
4.4.1 Los hidrocarburos aromáticos policíclicos	54
4.5 Desechos de la minería - eliminación de residuos de la extracción minera en aguas profundas	61
4.6 El dragado y los sedimentos.....	62
4.7 Los plaguicidas.....	63
4.7.1 Los impactos ecológicos acumulativos de los plaguicidas	65
4.7.2 Los neonicotinoides.....	67
4.7.3 Los neonicotinoides son una amenaza para la producción acuícola de camarón.....	69
4.7.4 Los herbicidas basados en glifosato.....	70
4.7.5 Insecticidas organofosforados y carbamatos.....	75
5. Un camino a seguir	79
5.1 La agricultura regenerativa.....	80
5.2 Enfoques ecosistémicos a la acuicultura.....	81
Referencias.....	85
Agradecimientos.....	99

PREFACIO

Por mucho tiempo, los expertos en salud han promovido los beneficios de incorporar el pescado como parte de una alimentación sana para el corazón. Sin embargo, al mismo tiempo, se ha confirmado claramente que gran parte de los pescados y mariscos que consumimos, están contaminados a niveles peligrosos. La contaminación, aunada al hecho de que se explota plenamente, sobre explota o incluso agota casi un 90% de las pesquerías a nivel mundial, nos está llevando a limitar nuestro consumo de pescado para evitar ingerir especies con un mayor contenido de toxinas dañinas, así como las especies que están en riesgo de colapsar. No obstante, algunos no nos podemos dar el lujo de elegir alimentos del mar que constituyan opciones menos contaminadas o más sostenibles. Más de tres mil millones de personas dependen del pescado como fuente importante de proteína animal, sobre todo en los países más pobres del mundo.

A pesar de la importancia del pescado y los mariscos a nivel mundial, este informe demuestra cómo es que los científicos están descubriendo graves perturbaciones en cadenas alimenticias acuáticas completas en todo el mundo debido al uso de sustancias químicas peligrosas, el cambio climático, la contaminación con plásticos y otros factores producidos por los humanos. Es esencial contar con medios ambientes marinos sanos no sólo en función de la supervivencia de todos los organismos acuáticos, sino también de todas las formas de vida en tierra firme, incluyendo la vida humana. Lamentablemente, una vez que se vuelve “visible” el daño causado por estas supuestas amenazas “invisibles”, ya es demasiado tarde: el daño ya está hecho.

Desde la década de los años setenta, ha estado creciendo vertiginosamente la producción y el uso de sustancias químicas y, en la actualidad, existen entre 100,000 y 350,000 sustancias químicas disponibles comercialmente. Es un escándalo que tan sólo un 1% de las sustancias químicas en el mercado se haya sometido a pruebas para evaluar su impacto sobre la salud humana y el medio ambiente. Simultáneamente, el clima se está calentando a un ritmo sin precedentes y el plástico se está acumulando por todo el mundo y en el fondo de nuestros océanos.

Aunque seguimos aprendiendo sobre el impacto total de estos desarrollos sobre el medio ambiente marino, lo que sí sabemos es que la vida marina está dañada, se encuentra en peligro de extinción y está desapareciendo de manera acelerada. Los plaguicidas no sólo destruyen a los invertebrados de los que se alimentan los peces, sino que la escorrentía de plaguicidas también envenena los cauces de agua en los que los peces se reproducen y desovan. Las sustancias farmacéuticas viajan desde nuestras plantas de tratamiento del agua hacia el medio ambiente acuático en donde inhiben la fecundidad y dañan los sistemas hormonales de los animales marinos. Peces, cangrejos, mejillones y

langostas confunden los microplásticos, tomándolos por alimento, y terminan desnutriéndose; además, las sustancias químicas que se les adhieren se van acumulando en la cadena alimenticia. El cambio climático exagera estas amenazas a través de crear océanos más calientes y más ácidos que destruyen los hábitats esenciales y las pesquerías. Cuando se combinan todos estos procesos, los resultados pueden ser impredecibles y magnificarse.

El impacto más insidioso, se da en la red alimentaria misma. El mundo diverso en el que vivimos es un ecosistema complejo de interrelaciones que se han ido desarrollando a lo largo de millones de años. El plancton y las algas marinas, los microbios y las bacterias, los insectos y las aves, las larvas de peces y los peces depredadores, los osos polares y los seres humanos: todos y cada uno de ellos desempeñan un papel en la cadena alimenticia y su supervivencia depende de la existencia de un medio ambiente marino sano.

Por fortuna, todavía estamos a tiempo de revertir estas tendencias. Es extremadamente importante que:

- Exijamos y pongamos en práctica controles estrictos de la contaminación producida por sustancias químicas industriales;
- Limitemos la producción de plásticos nuevos e innovemos materiales nuevos y sistemas sin plásticos ni aditivos químicos dañinos;
- Abandonemos la dependencia de un uso intenso de plaguicidas y fertilizantes en la producción de los alimentos para el mundo; e
- Invirtamos en campesinos y pescadores artesanales involucrados en la agricultura y la acuicultura regenerativas.

Este informe es el primero que empezará a dar detalles sobre las numerosas formas y lugares en los cuales la contaminación química y el cambio climático están desestabilizando esta infraestructura marina y las pesquerías del mundo. Todavía estamos a tiempo de detener la destrucción. Sin embargo, cómo lo indica este informe, vamos a tener que ir más allá de tan solo pensar en cómo controlar el exceso de extracción de peces o cómo manejar los contaminantes contenidos en el pescado que consumimos. Nuestra supervivencia y la de las demás especies, depende de que garanticemos la salud de todos los océanos, una meta por la que debemos trabajar todos juntos.



Kristian Parker, Fundación Oak



Sara Lowell, Fundación Marisla





1. RESUMEN

Es gracias a la abundancia de peces y mariscos en los océanos otrora exuberantes que pareciera que los cerebros humanos lograron desarrollarse, contribuyendo así a nuestra evolución como *Homo sapiens*.^[30]

Efectivamente, hemos alcanzado tal éxito como especie que el crecimiento acelerado de la población, aunado al impacto que tienen sobre el planeta tanto nuestro nivel de consumo como nuestra generación de contaminantes, han llegado a amenazar al conjunto de los ecosistemas marinos y acuáticos que a lo largo de siglos han alimentado a la humanidad.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (la FAO por sus siglas en inglés)^[70], se extrae una tercera parte de los recursos pesqueros comerciales a niveles biológicamente insostenibles y se explota un 90% de las pesquerías a su máxima capacidad.

¿A DÓNDE SE FUERON TODOS LOS PECES?

- ¿Pescamos de más?
- ¿Mal administramos las pesquerías?
- ¿Destruimos su hábitat?
- ¿Les quitamos sus recursos alimenticios?
- ¿Drenamos sus zonas de reproducción?
- ¿Hemos disminuido su fecundidad?
- ¿Hemos cambiado su comportamiento?
- ¿Los estamos volviendo menos resilientes?

Todo lo anterior.

La población de atún de aleta azul del Pacífico, por ejemplo, se ha desplomado un 97% en relación con los niveles históricos a causa de la sobreexplotación realizada por uno de principales depredadores de los océanos. La persistencia de poblaciones sobreexplotadas es una preocupación significativa en términos de alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, para regular la actividad pesquera, ponerle fin a la sobreexplotación y restaurar las pesquerías.

Cuando se indaga por qué se están reduciendo los recursos pesqueros, prevalece la creencia común de que sencillamente se debe a la sobreexplotación. Si ese fuera el caso, bastaría entonces con el cambio actual hacia

AUNQUE LOS CASOS DE MUERTE MASIVA DE PECES SON EVIDENTES Y MUCHAS VECES CAPTAN LA ATENCIÓN DE LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN, EXISTEN ASESINOS LENTOS E INVISIBLES, COMO LOS CONTAMINANTES ORGÁNICOS PERSISTENTES Y EL EXCESO DE NUTRIENTES, QUE TIENEN UN IMPACTO MUCHO MÁS INSIDIOSO SOBRE LA VIDA ACUÁTICA. ACTUALMENTE EXISTE UNA RIQUEZA DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS QUE APUNTAN HACIA GRAVES IMPACTOS SOBRE LA INMUNIDAD, LA FECUNDIDAD, EL DESARROLLO Y LA SUPERVIVENCIA DE LOS ANIMALES ACUÁTICOS.

la acuicultura, que hoy en día produce prácticamente un 50% del pescado que se consume, y una mejor gestión de la pesca de captura “sostenible” para así resolver el problema. Sin embargo, no es el caso, ya que las razones que explican el declive continuo de las pesquerías son mucho más complejas que eso.

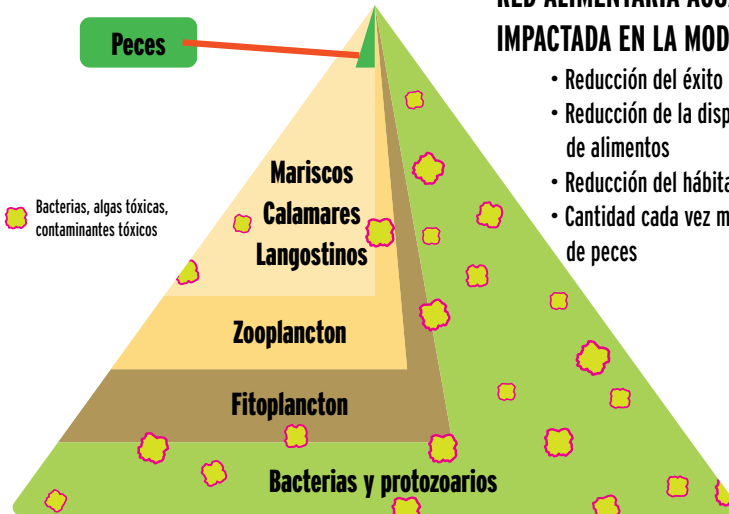
La regulación de las pesqueras no siempre se sustenta en datos biológica o científicamente relevantes sobre los factores que contribuyen a la salud de los recursos pesqueros. Esto ha llevado a una visión estrecha de por qué está disminuyendo el número de peces, la cual se enfoca, en gran medida, en las tasas de captura por unidades de esfuerzo. Los esfuerzos por gestionar las pesquerías sin tomar en cuenta su interfase con la tierra y los impactos que tiene la contaminación sobre el bienestar de los peces, de manera inevitable llevará a resultados deficientes. Si las bases que sustentan la calidad del agua y el hábitat están erradas, no se llegará a alcanzar la sostenibilidad o la elevada productividad sostenida que son capaces de

Antes de la industrialización, las poblaciones de peces ayudaban a mantener la red de alimentación acuática en equilibrio. Sin embargo, hoy en día, se alteró la red alimentaria, llevando a una proliferación de bacterias y algas tóxicas que más aún representan una amenaza a todos los niveles de la cadena alimentaria.

RED ALIMENTARIA ACUÁTICA DE LA PRE-INDUSTRIALIZACIÓN



RED ALIMENTARIA ACUÁTICA IMPACTADA EN LA MODERNIDAD



- Reducción del éxito reproductivo
- Reducción de la disponibilidad de alimentos
- Reducción del hábitat
- Cantidad cada vez menor de peces



Los Contaminantes Orgánicos Persistentes, como los plaguicidas, entran en los cauces de agua, en los lagos y el océano, impactando la vida silvestre de formas inesperadas.

alcanzar las pesquerías. Los reguladores todavía no han logrado entender el impacto real de la contaminación.

La contaminación está produciendo efectos dañinos en todos los aspectos de las redes tróficas acuáticas. Provoca una caída en la población de peces y demás organismos acuáticos, a través de afectar su supervivencia y su capacidad reproductiva. Se está dando un declive de la pesquería en medio de una tormenta perfecta de destrucción de los hábitats, pérdida de recursos alimenticios sanos dentro de las redes tróficas acuáticas, el drenado y el daño a las áreas de crianza, así como los impactos que tienen la contaminación y el cambio climático sobre la calidad del agua. Aunque los casos de muerte masiva de peces son evidentes y muchas veces captan la atención de los medios de comunicación, existen asesinos lentos e invisibles, como los contaminantes orgánicos persistentes y el exceso de nutrientes, que tienen un impacto mucho más insidioso sobre la vida acuática. Actualmente, existe una riqueza de investigaciones científicas que apuntan hacia graves impactos sobre la inmunidad, la fecundidad, el desarrollo y la supervivencia de los animales acuáticos.

Antes de la industrialización, la red trófica acuática contaba con una sana abundancia de peces, langostinos, calamares y mariscos cuya existencia partía de una amplia base de zooplancton, fitoplancton, bacterias y

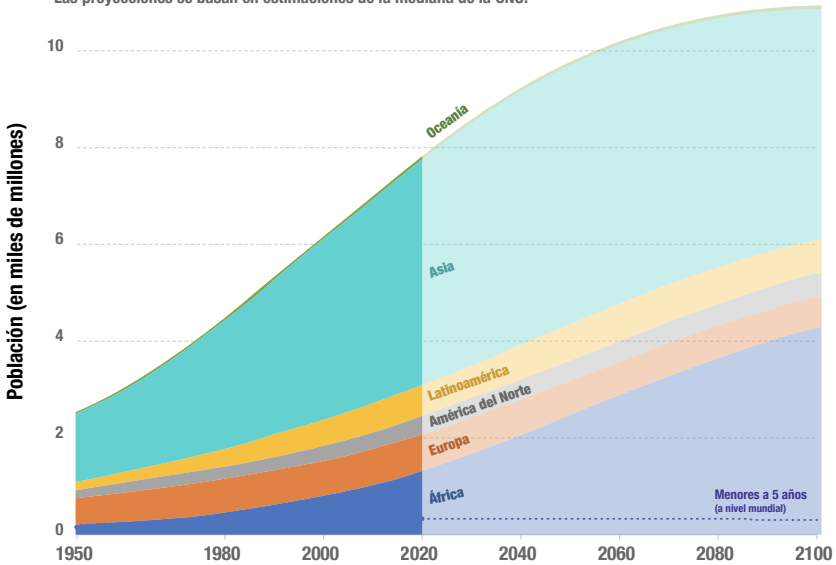
protozoarios. La integridad de la red trófica acuática posindustrial se ve gravemente comprometida, con cada vez menos peces en los eslabones superiores, pérdida de invertebrados en los sedimentos y las columnas de agua, pérdida de algas marinas, corales y demás productores primarios, así como la proliferación de bacterias y algas tóxicas.

El ecosistema marino se ve amenazado por los niveles cada vez mayores de contaminación por sustancias químicas y plásticos como resultado de escombrías industriales y urbanas, la extracción minera y la agricultura. Tienen un impacto significativo sobre las pesquerías, con niveles de contaminación evidentes tanto en los ecosistemas marinos y acuáticos como en las redes alimentarias. La contaminación afecta la salud de los peces y la calidad y cantidad de alimentos marinos naturales para consumo humano. Actualmente, además se está viendo comprometida la idoneidad de las aguas continentales para los acuicultivos.

Desde la década de los años setenta, se han estado midiendo los contaminantes organoclorados persistentes, como los bifenilos policlorados (PCB)

La población mundial y el crecimiento proyectado para el año 2100

Las proyecciones se basan en estimaciones de la mediana de la ONU.



Las poblaciones humanas se siguen incrementando a una tasa rápida, colocando una presión adicional sobre las redes alimentarias y aumentando las fuentes de contaminación.

y el DDT (dicloro difenil tricloroetano), en cauces de agua, océanos y en la vida marina y acuática. Sin embargo, en la actualidad, tanto en medios ambientes marinos y acuáticos como en sus habitantes, se encuentra una cantidad mucho mayor de sustancias químicas altamente persistentes y tóxicas, incluyendo plaguicidas, metales como mercurio, productos farmacéuticos y sustancias químicas industriales. Muchas veces, estos contaminantes tienen impactos totalmente inesperados sobre los ecosistemas acuáticos.

Hubo una época en la cual se consideraba que la solución a la contaminación era “diluir”, es decir, tirar los desechos a los ríos y océanos para que se diluyeran y fueran desapareciendo. Sin embargo, en muchos lugares básicamente se nos han agotado los “diluyentes” necesarios para mantener los niveles de contaminación bajo niveles “seguros”. Debido a la urbanización y a la intensificación de la industria, las nubes de contaminación localizada son tan intensas que muchas veces saturan la capacidad de dilución de los ecosistemas tanto fluviales de agua dulce como costeros-marinos.

La contaminación ya constituye una limitante para la producción acuícola y la productividad continua de la pesquería de captura. Existen muchas localidades cuya calidad de agua es tan mala debido a los contaminantes que los peces de granja que se cultivan en esas aguas tienen una salud muy deficiente y bajos niveles de supervivencia. Un ejemplo que ilustra esta situación es la que enfrenta la industria acuícola camaronera asiática.

Tendemos a pensar que los bosques son los pulmones del planeta. Sin embargo, de hecho, es el plancton el que constituye los “pulmones oceánicos” que generan las dos terceras partes del oxígeno global. Los océanos además proporcionan una cantidad sustancial de captura y almacenamiento de carbono en la naturaleza.

El cambio climático ya se ha constituido en una amenaza al crecimiento sostenible tanto de la actividad acuícola como de la captura de las pesquerías a nivel global. El aumento de las temperaturas está re-movilizando la contaminación histórica, mientras que el aumento de las temperaturas de los océanos está alterando las corrientes marinas esenciales, contribuyendo así al aumento de enfermedades bacterianas, decolorando los arrecifes de corales, dañando las zonas intermareales, destruyendo los bosques de kelp e impactando el ecosistema marino en su conjunto a través de un aumento en la acidificación.^[203]

En el contexto de la emergencia climática y el empeoramiento de los niveles de contaminación, la población mundial sigue creciendo y conforme va aumentando la riqueza, así también va creciendo la demanda de alimentos del mar. Sin embargo, la actividad pesquera de captura se está estancando y no está alcanzando a cubrir la creciente demanda mundial de productos del mar. Tanto la industria pesquera a nivel global como el sustento de millones de pescadores artesanales y de pequeña escala y comunidades pesqueras que dependen de los productos del mar se encuentran ante una encrucijada.

Se espera que las ventas actuales de combustibles fósiles basados en la industria petroquímica, que se acercan a los \$5.7 billones de dólares, se dupliquen para el año 2030, con lo cual aumentarían sustancialmente las emisiones peligrosas, los impactos sobre el cambio climático y la contaminación por plásticos de nuestros océanos



2. LOS IMPACTOS DE LOS CONTAMINANTES ACUÁTICOS Y MARINOS

Las liberaciones, muchas veces invisibles, de sustancias químicas industriales, plaguicidas, productos farmacéuticos y nutrientes que entran en nuestros cauces de agua, están contaminando los ecosistemas tanto acuáticos como marinos y están contribuyendo a la desaparición de la actividad pesquera y de la biodiversidad acuática.

Los contaminantes químicos entran en nuestros cauces de agua y océanos a través de las emisiones industriales, las escorrentías agrícolas y de aguas pluviales, los tiraderos de basura, el drenaje doméstico, la deriva de la pulverización agrícola y la extracción minera. Aunado al aumento de las temperaturas, la acidificación y la desoxigenación de los océanos, la exposición a la contaminación tóxica le agrega otro factor estresante a la vida acuática y marina.

Aunque desde la década de los años setenta, se han estado midiendo contaminantes como los PCB y el DDT, tanto en las aguas de ríos y océanos como en la vida acuática^[214], hoy en día una cantidad mucho mayor de sustancias químicas tóxicas y altamente persistentes, incluyendo los plaguicidas que se utilizan actualmente, productos farmacéuticos y sustancias químicas industriales como sustancias per- y poli-fluoroalquilos (PFAS)^[142] y éteres de difenilo polibromados (PBDE)^[91] contaminan una

LA EXPOSICIÓN A CONTAMINANTES PERSISTENTES [DAÑA] LA REPRODUCCIÓN, EL CRECIMIENTO Y EL DESARROLLO, ASÍ COMO DAÑA LAS RESPUESTAS INMUNOLÓGICAS A LAS ENFERMEDADES.

gran parte, si no es que la totalidad, del medio ambiente marino y acuático, así como a sus habitantes.

Aunque los PCB están prohibidos en muchos países, siguen contaminando incluso los ambientes marinos más remotos de los polos. Mientras que parte de la contaminación más alta con PCB ocurre en las áreas costeras y los estuarios de China^[84], siguen aumentando las concentraciones de PCB en los peces del Antártico^[207], mientras que, en algunas áreas del Ártico, se están incrementando los metabolitos de PCB.^[244]

La exposición a contaminantes persistentes afecta de manera adversa a peces, invertebrados acuáticos y mamíferos marinos, dañando su reproducción, crecimiento y desarrollo, así como a sus respuestas inmunológicas a las enfermedades. Se sabe que las exposiciones a plaguicidas son causa de muerte, cánceres y lesiones, inhibición y fallas reproductivas, supresión del sistema inmunológico, perturbación del sistema endocrino, además de daño celular y al ADN.^[168] La exposición a sustancias químicas también puede causar cambios de comportamiento que alteran la capacidad de supervivencia de un animal^[152] y, a su vez, afecta la dinámica poblacional.

Los insecticidas piretroides que se utilizan ampliamente, son tóxicos para los macroinvertebrados acuáticos (cangrejo de río y caracol acuático, gusanos e insectos acuáticos) y el zooplancton a niveles que ya resultan evidentes en el medio ambiente.^[86] Los insecticidas neonicotinoides, imidacloprid y clotianidina, además de fipronil, un insecticida químicamente parecido, son extremadamente tóxicos para los crustáceos, incluyendo el camarón, los cangrejos, la langosta, los insectos acuáticos y el zooplancton en dosis muy pequeñas. Además, pueden causar efectos subletales, como deterioro de la función inmunológica, una reducción del crecimiento y del éxito reproductivo y efectos genotóxicos, dañando así la información genética. Estos efectos se dan a las concentraciones de exposición que actualmente se ven en el medio ambiente y en niveles muy por debajo de aquellos asociados con la mortalidad.^[80]

Algunas sustancias químicas industriales retardantes de llama, como los PBDE, pueden actuar de manera combinada, causando neurotoxicidad con impactos sobre el desarrollo, afectando de manera adversa el sistema nervioso en desarrollo cuando aparece en concentraciones ambientalmente relevantes.^[45, 221] En el medio ambiente marino, siguen aumentando los niveles de estos PBDE altamente persistentes, como se evidencia en las concentraciones cada vez mayores que aparecen en el kril del Antártico y el fitoplancton.^[143]

Las sustancias químicas tóxicas y los metales se pueden bio-magnificar conforme van subiendo en la cadena alimentaria acuática, alcanzando concentraciones muy elevadas entre los depredadores de la parte superior de la cadena alimentaria, como los tiburones, pez fletan, pez de roca, atún, y pez espada.



Muchos dispositivos electrónicos contienen retardantes de llama bromados. En los ambientes marinos, están aumentando los niveles de estas toxinas.

Es impredecible el impacto que tienen estas mezclas químicas sobre la vida marina. Los efectos pueden ser aditivos o incluso sinérgicos, es decir, que las sustancias químicas van aumentando su toxicidad entre sí.^[225] Cuando las larvas acuáticas de los quironómidos *Chironomus dilutus* quedaron expuestas a una mezcla de plaguicidas neonicotinoides, se observó un impacto sinérgico, que resultó ser mucho más tóxico de lo que se hubiera podido predecir con base en las toxicidades individuales.^[142]

Tanto la secuencia como los momentos en que se dan las exposiciones afectan la toxicidad de un contaminante con respecto a un organismo acuático. Los crustáceos de agua dulce experimentaron diferentes efectos tóxicos cuando se revirtió el orden de la exposición a dos sustancias químicas, manteniendo la misma dosis.^[111] Las exposiciones que se dan en etapas críticas y sensibles de desarrollo pueden perturbar los procesos naturales, cambiando la estructura o las funciones de los organismos vivos, a veces de manera irreversible. Estos impactos pueden ser transgeneracionales, sintiéndose los efectos de la contaminación a lo largo de varias generaciones.^[31] Por ejemplo, al hacer un seguimiento de la exposición de los peces cebra (*Danio rerio*) a los PFOS, se observaron caídas en las tasas de supervivencia a lo largo de un número de generaciones.^[119]

La contaminación del agua también puede tener impactos indirectos sobre las poblaciones de peces a través de afectar su fuente alimentaria de manera adversa, como es la destrucción de invertebrados que habitan en los sedimentos. La reducción de la disponibilidad de forraje para las larvas de los peces, de manera inevitable reduce su supervivencia lo cual, a su vez, tiene un impacto sobre las poblaciones de peces.^[80]

Sigue en la página 22

EL MERCURIO Y LOS PECES

Se anticipa que para el año 2050, se habrán duplicado las concentraciones de mercurio en el Océano Pacífico Norte.^[211] La combustión de carbón y la extracción de oro a pequeña escala representan más de las dos terceras partes del total de emisiones antropogénicas de mercurio a nivel mundial.^[112]

En ambientes acuáticos, las bacterias convierten el mercurio metálico inorgánico en metilmercurio, que es altamente tóxico. Parecido a los contaminantes orgánicos persistentes (COP), en términos de su toxicidad, persistencia, bioacumulación y su capacidad para transportarse a largas distancias, el metilmercurio se bioacumula en los organismos acuáticos.

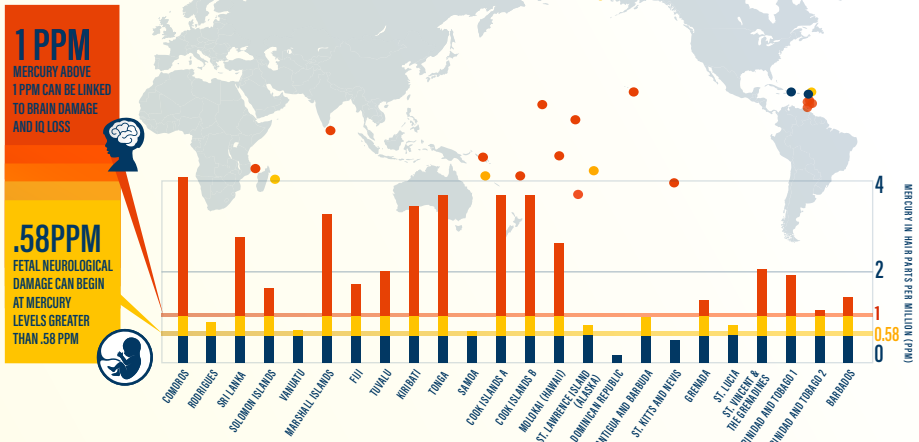
El mercurio es una neurotoxina potente y la acumulación de mercurio le puede causar daño al cerebro de los peces. El mercurio además está ligado a alteraciones reproductivas en un gran número de especies de peces.^[248] La exposición de peces al mercurio en niveles ambientalmente relevantes resulta en una reducción significativa del número de células en el hipotálamo, el nervio óptico y el cerebelo y se acompaña de cambios en el comportamiento natatorio, relacionado tanto con la función motriz como con el estado de ánimo (de tipo ansioso).^[249]



Las comunidades isleñas altamente dependientes de los alimentos del mar como fuente para obtener proteína sufren un perfil de exposición crónica, desproporcionada y más peligrosa al mercurio tóxico.

Los niveles de metilmercurio en algunas especies de peces en los niveles superiores de la cadena alimentaria pueden llegar a ser un millón de veces más altos que los niveles en las aguas circundantes.^[98] Los peces que se encuentran en los eslabones superiores de la cadena alimentaria, como el pez espada del Océano Atlántico Sur, tienen los niveles de mercurio más altos, seguidos por el atún de aleta azul del Pacífico proveniente del Océano Pacífico Norte.^[112]

Las comunidades isleñas altamente dependientes de los alimentos marinos como fuente de proteína tienen un perfil de exposición al mercurio tóxico que es crónico, desproporcionado y más peligroso. Las mujeres de pequeños estados insulares en desarrollo (PEID) en el Pacífico tienen niveles muy elevados de mercurio en su cuerpo en comparación con las mujeres de otros sitios, ya que su alimentación



es rica en mariscos. Los grandes peces depredadores que consumen tienen concentraciones elevadas de metilmercurio en la carne.^[113]

Casi un 90% de las muestras de cabello provenientes de residentes de las Islas Cook excedieron la dosis de referencia (RfD) de la EPA de Estados Unidos, que es de 0.1 microgramos por kilo (*1 ppm*) del peso corporal por día.^[112] Es probable que ni siquiera sea adecuada una “dosis aceptable” de metilmercurio ya que puede que no haya un umbral para los efectos neuropsicológicos adversos del metilmercurio.^[185]

Altos niveles de metilmercurio en el torrente sanguíneo de bebés nonatos y niños pequeños pueden dañar su sistema nervioso en desarrollo y tener un impacto sobre su desarrollo, reduciendo potencialmente su coeficiente intelectual. Los niveles extremadamente altos que se presenciaron en el caso de la Bahía de Minamata en Japón causaron un síndrome neurológico devastador con un rango de síntomas destructivos, incluyendo ataxia, insensibilidad en manos y pies, debilitamiento general de los músculos, un estrechamiento del campo visual y daños a la escucha y el habla. Fueron efectos transgeneracionales, transmitidos de madre a hijos.

En un esfuerzo por proteger a las personas de las exposiciones al mercurio, los reguladores han introducido guías alimentarias, sobre todo para mujeres embarazadas. En el Pacífico Norte y el Mar de Bering, también existen alertas nacionales en contra del consumo del fletán y otros peces grandes con altos niveles tróficos, incluyendo ciertos peces de agua dulce, como el lucio norteamericano.^[245] En 2017, los reguladores de Estados Unidos advirtieron a las mujeres en edad reproductiva que no consumieran cierto tipo de peces, incluyendo caballa gigante, marlín, pez reloj anaranjado, pez espada y tiburón. También emitieron advertencias en contra de algunos peces de agua dulce de pesca recreativa, como carpa grande, bagre, trucha y perca.^[212]

2.1 LA PERTURBACIÓN DEL SISTEMA ENDOCRINO - UNA AMENAZA A LARGO PLAZO PARA LAS PESQUERÍAS

Las sustancias químicas que perturban el sistema endocrino (EDCs por sus siglas en inglés, PE en español) representan una amenaza a largo plazo para toda la vida acuática. La exposición a PE perturba el sistema endocrino de un organismo a través de interferir en la actividad hormonal normal. Esto puede causar daños de desarrollo, reproductivos, neurológicos y cardiovasculares, así como efectos inmunológicos que resultan en un aumento de la susceptibilidad a las enfermedades y los parásitos.^[220]

Primero, se identificaron impactos de los PE sobre los gasterópodos (los caracoles marinos) y no tardaron en ser evidentes en peces, ranas, lagartos y, finalmente, en los seres humanos también. En los casos más extremos, los animales desarrollaron características sexuales tanto masculinas como femeninas, impidiendo así la reproducción. Los PE pueden afectar a los sistemas biológicos de todas las especies acuáticas.



Los PE afectan a todas las criaturas acuáticas: los peces, los anfibios, los reptiles, los mamíferos y las aves marinas, así como una amplia gama de insectos e invertebrados acuáticos de los que dependen.

Existen muchos PE, tanto naturales como sintéticos, que se encuentran en medios ambientes marinos y acuáticos, incluyendo sustancias químicas industriales, como los PCB y las dioxinas, los compuestos perfluorados (como las PFAS) y las sustancias químicas brominadas (como los PBDE) que se utilizan en muchos bienes de consumo, en el DDT y actualmente se utilizan en plaguicidas, productos farmacéuticos, detergentes (como alquilfenoles), así como en aditivos plásticos como el bisfenol A (BPA) y los ftalatos.^[198, 229]

Un organismo en desarrollo es particularmente vulnerable a los PE y la exposición en las primeras etapas de la vida puede resultar en defectos estructurales y fisiológicos.^[40] En la toxicología humana, se reconocen “ventanas de susceptibilidad” de orden crítico cuyo efecto es similar en animales acuáticos como peces, camarón y mariscos.

Sin embargo, en vez de que el embrión se localice en el vientre, como se da en la reproducción de los mamíferos, muchos animales acuáticos desovan directamente en el agua y el embrión se incuba en el “vientre” del cuerpo de agua. Un embrión enfrenta la exposición a contaminantes —depositados en los huevos y el saco vitelino de los peces y las múltiples sustancias químicas que se encuentran en el agua— la cual puede causar mortalidad, deformidades y mutaciones de por vida en el metabolismo. Por ejemplo, los hidrocarburos que provienen de los derrames de petróleo y la perforación de pozos afectaron el desarrollo cardíaco en las larvas del atún y de la corvina.^[157, 29]

Los PE persistentes y bioacumulativos que se encuentran en la yema de los huevos, llevaron a exposiciones tóxicas en las etapas más tempranas de desarrollo de las larvas, que es cuando el organismo en desarrollo recurre a las reservas de la yema para crecer. En un estudio sobre los estuarios de la costa este de Estados Unidos, se detectaron niveles biológicamente significativos de PCB, PBDE, y tanto la presencia actual como el legado tóxico de plaguicidas en todas las muestras de huevos de los peces capturados en los ríos. Las larvas provenientes de peces capturados en ríos evidenciaron un desarrollo anormal del cerebro y el hígado, además de impactos en su crecimiento general.^[169]

Se sabe que los PBDE afectan las hormonas tiroideas^[222] y causan toxicidad en el desarrollo físico, reproductivo y neurológico, así como efectos sobre el sistema inmunológico.^[221, 222, 223] En las larvas y los embriones de peces expuestos a PBDE, se dieron anomalías de desarrollo aún con concentraciones de exposición muy bajas. La descendencia de padres expuestos a COP experimentaron una disminución en las tasas de eclosión de sus huevos, niveles alterados de hormonas tiroideas e inhibición de crecimiento.^[117]

Los peces de agua dulce con una exposición de por vida a mezclas de COP (como metabolitos de PBDE, PCB, DDT) en concentraciones ambientalmente relevantes, mostraron impactos en su desarrollo y reproducción, incluyendo un desarrollo sexual prematuro, cambios en la proporción sexual entre machos y hembras, diferencias en el peso corporal y cambios en la regulación de sus genes.^[141] La tasa de deformidad aumentó en los peces con mayor proximidad a los estuarios contaminados^[133], afectando tanto el éxito reproductivo como la viabilidad de las poblaciones ya que se reduce la supervivencia de los peces con deformaciones.

Conforme los peces marinos bioconcentran PE persistentes, como los COP, se va reduciendo su fecundidad. En los peces macho de varias especies silvestres, se observaron alteraciones de la densidad espermática y en

la fecundidad, mientras que, en los peces hembra, se evidenciaron resultados negativos en el crecimiento de los huevos.

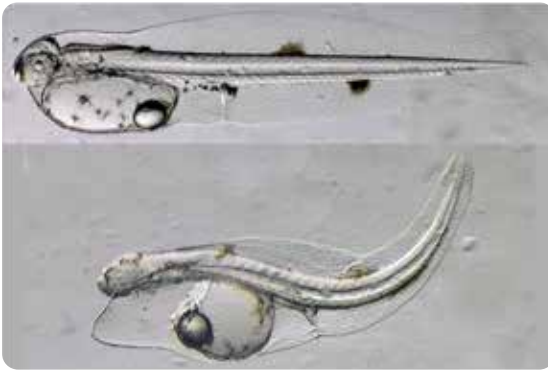
Los PE incluso afectan a los crustáceos acuáticos más pequeños. La exposición del camarón místico *Americamysis bahia*, un pequeño crustáceo parecido a un camarón que se encuentra en aguas marinas, dulces y salobres, a concentraciones ambientalmente relevantes de nonilfenol (NP), resultó en una reducción del largo de su cuerpo y en el número total de mudas, lo cual afecta su crecimiento general de manera negativa.^[146] Se ha demostrado que los plaguicidas organofosforados interfieren con las hormonas tiroideas y ralentizan la metamorfosis en el pez platija, lo cual hace que no se formen los ojos en la superficie superior del pez.^[247]

Los PE frecuentemente tienen una reacción no convencional a la relación dosis-respuesta denominada respuesta de dosis no monotónica.^[130] Los efectos no son lineales y no resulta posible predecir los impactos de la exposición a dosis bajas con base en experimentos realizados con altas dosis de exposición. En algunos casos, puede que una dosis baja llegue a causar un mayor impacto biológico relacionado con una respuesta específica que una dosis alta. No obstante, en general, se encuentran tasas más altas de problemas reproductivos en animales con exposiciones más altas a PE.^[220]

Algunos PE pueden mutar el ADN o bien causar cambios epigenéticos^[36] — cambios heredables que afectan la lectura que hacen las células de los

genes. Estas modificaciones, aunque tienen la capacidad de transmitirse a la generación subsiguiente, no cambian la secuencia misma del ADN.

Actualmente, se encuentran ampliamente difundidos los PE en ambientes de aguas tanto dulces como marinas, incluso en las áreas más remotas.^[207, 84, 114, 166, 216] En los cuerpos de crustáceos anfípodos que viven casi 10 kilómetros por debajo de la superficie



En comparación a las larvas normales del atún aleta amarilla (arriba), una larva expuesta al petróleo crudo derramado por la plataforma petrolera Deepwater Horizon durante su desarrollo embrionario (abajo) muestra un conjunto de anomalías fatales en el corazón, las aletas y los ojos. Foto de John Incardona, NOAA



del océano, se encontraron altas concentraciones de PCB, que es bien sabido que son PE.^[114]

Sin embargo, en las aguas costeras existen mayores riesgos asociados con PE que en el mar abierto.^[135] En la zona de captación de la Gran Barrera de Coral de Australia, los peces costeros se encuentran expuestos a compuestos estrogénicos asociados con la escorrentía de plaguicidas proveniente de la producción de caña de azúcar y plátanos, así como de otras actividades agrícolas.^[128]

Existe amplia evidencia del papel que juegan los PE en la reducción de las poblaciones de anfibios, reptiles, peces de agua dulce y marina, así como de invertebrados.^[220]

2.1.1 INTERSEXUALIDAD E IMPOSEX

La intersexualidad o imposex es la presencia de características sexuales tanto masculinas como femeninas dentro del mismo organismo. Se trata de una manifestación claramente observable de la perturbación endocrina en especies acuáticas, incluyendo peces, ranas y otros reptiles. Aunque esta perturbación primero se reportó en moluscos hace más de tres décadas^[182,62], actualmente se observa en peces en muchos ríos por todo Estados Unidos.^[229]

El tributilestaño (TBT), anteriormente utilizado en la pintura antiincrustante aplicada a los barcos, destruyó los bancos marisqueros comerciales. En concentraciones muy bajas, el TBT causó que los moluscos hembra desarrollaran características sexuales masculinas, que bloquearon la liberación de huevos.^[182] En 1995, una encuesta sobre gasterópodos marinos de la costa del Sur de Australia reveló que el 100% mostraban “imposex”.^[62] La sensibilidad de los moluscos marinos a PE se volvió un indicador importante de la perturbación endocrina en el ecosistema marino.^[106]

En los sistemas de agua dulce, se demostró que la herbicida atrazina, uno de los plaguicidas que más comúnmente se detectan en aguas subterráneas, aguas superficiales y la precipitación pluvial, altera el tejido reproductivo de los peces machos cuando resultan expuestos durante su desarrollo. La atrazina desmasculiniza y feminiza a peces, anfibios, y reptiles machos. Esto es evidente en la reducción en la espermatogénesis, la

LAS PFAS: SUSTANCIAS QUÍMICAS ETERNAS SIEMPRE PRESENTES TÓXICAS PARA EL SISTEMA INMUNOLÓGICO

Se sabe que un gran número de COP y demás contaminantes afectan los sistemas inmunológicos de los organismos vivos. Las PFAS, contaminantes marinos ubicuas son de gran preocupación, incluyendo tres sustancias químicas COP, el ácido perfluorooctano sulfónico (PFOS), el ácido perfluorooctanoico (PFOA) y el sulfonato de perfluorohexano (PFHxS). Son extremadamente persistentes, bioacumulativos

y dañan el sistema inmunológico de animales y humanos.^[227] Las PFASs son contaminantes ubicuos que se encuentran incluso en las áreas más remotas, incluyendo los ambientes marinos en el Ártico y el Antártico y sus habitantes.



Hasta ahora, la atención regulatoria sólo se ha enfocado en unas pocas PFAS, aunque existen entre 3,000^[65] y 4,730 compuestos de PFAS^[99], mu-

chos de los cuáles -aunque se encuentran en ambientes marinos- no se han evaluado para identificar sus efectos adversos. Se ha detectado uno de estos grupos, los ácidos carboxílicos perfluoroalquílicos, en más de un 80% de las 30 muestras de agua marina superficial tomadas de los océanos del Pacífico Norte y del Ártico.^[132]

En la superficie del mar se hallaron concentraciones significativamente más elevadas de PFAS que en las aguas debajo de la superficie del mar (>30 cm de profundi-

aparición de ovarios en peces machos, la producción de proteína, vitelogenina, normalmente sintetizada por las hembras y la producción de huevos por parte de los machos.^[189]

La producción del fenómeno de la intersexualidad en peces lobina de boca chica machos en el río Potomac y sus tributarios en el estado de Virginia, en Estados Unidos, fue particularmente elevada durante la temporada de desove con una mayor incidencia de intersexualidad en los ríos que drenan áreas con una producción agrícola intensiva y con alta población humana, en comparación con áreas no-agrícolas y subdesarrolladas.^[22]

De manera parecida, se han feminizado los peces machos río abajo de donde hay descargas de aguas residuales.^[230, 125] En algunos casos, produjeron vitelogenina y en sus testículos mostraron huevos en etapas tempranas. Este fenómeno se le atribuye a la presencia de sustancias estrogé-

dad).^[239] La micro capa superficial del mar, la capa de <50 μm de grueso en la cual se da un intercambio entre la atmósfera y el océano, proporciona un hábitat vital para la biota, incluyendo los huevos y las larvas de los peces de muchas especies comerciales y sus recursos alimenticios de fitoplancton. La contaminación de la micro capa superficial del mar en áreas contaminadas ha llevado a tasas de mortalidad y anomalías en los embriones y larvas de los peces significativamente más elevados.^[242]

Las PFAS se encuentran en los peces y demás vida marina silvestre en todo el planeta.^[166, 216] En Australia, se encontraron altos niveles de PFAS en cangrejos de río y peces de agua dulce asociados con bases militares.^[96] En China, se analizaron los peces del Río Yangtze y del Lago Tangxun para identificar las PFAS que pudieran contener. Además de las PFASs comunes (como PFOS, PFOA, PFHxS y PFBS), en los hígados de los peces, se detectaron más de otras 330 sustancias químicas fluoradas.^[136] En el estado de Carolina del Sur, en los Estados Unidos, se hallaron nueve PFASs en los filetes de pescado de seis especies con PFOS a niveles que excedían los valores de cribado y que se consideran que representan un riesgo potencial para los depredadores silvestres.^[67]

El consumo frecuente de peces silvestres podría representar un riesgo de salud para algunas poblaciones. La cocción de la mayoría de los mariscos no reduce las concentraciones de PFAS y en algunos casos puede aumentar la exposición alimentaria. Las concentraciones de PFOS, PFHxS y PFOA en los langostinos tropicales, de hecho, se duplicaron al hervirlos y al hornearlos, también aumentaron las concentraciones de PFOS.^[213]



Los herbicidas, como la atrazina, pueden alterar los procesos sexuales y reproductivos en los animales.

nicas, como las que contienen las píldoras anticonceptivas con estrógeno sintético, y de sustancias químicas imitadoras del estrógeno, como el nonilfenol que se encuentra en las aguas residuales.^[125] En Argentina, los peces en los lagos poco profundos ubicados en una región agrícola también produjeron vitelogenina y desarrollaron lesiones en su branquias e hígado, asociadas con los altos niveles del perturbador endocrino llamado endosulfán en esos órganos.^[16] Los peces que viven río arriba y río abajo de sitios de defensa utilizados anteriormente (Formerly Used Defense / FUD) en la isla de San Lorenzo en el Mar de Bering se contaminaron con PCB y las concentraciones de vitelogenina en los machos indicaban la exposición a contaminantes estrogénicos. Los peces río abajo también mostraron impactos sobre su ADN.^[246]

Los científicos del Servicio Geológico de Estados Unidos (U.S. Geological Survey) que documentaron la presencia de perturbadores endocrinos contaminantes en ríos y arroyos a lo largo y ancho de Estados Unidos han advertido sobre “los impactos desastrosos” que tienen los PE sobre las poblaciones piscícolas.^[229]

2.1.2 LOS IMPACTOS SOBRE EL SISTEMA INMUNOLÓGICO

La contaminación por PE también puede tener impactos sobre el sistema inmunológico y aumentar la susceptibilidad de las especies acuáticas y marinas, incluyendo peces e invertebrados, a padecer enfermedades.^[77] Ya desde la década de los años setenta, la investigación demostraba que la infección con *Baculovirus* en los camarones aumentaba de intensidad cuando los crustáceos quedaban expuestos a mayores niveles de PCB.^[46]

Para mediados de la década de los noventa, los COP incluyendo los PCB, ya se habían ligado a la inmunosupresión y a enfermedades en las focas.^[167] Los investigadores además concluyeron que un número de metales pesados contaminantes, incluyendo el cadmio, el cromo, el cobre, el plomo, el manganeso, el níquel y el zinc, eran inmunotóxicos. Se demostró que estos metales pesados alteran las funciones inmunoregulatorias en una variedad de especies de peces y finalmente conducen a una mayor susceptibilidad de ser anfitrión de enfermedades infecciosas y malignas.^[241]

Una revisión integral^[51] de los impactos de los COP sobre la biota del Ártico (como el oso marino ártico, el león marino de Steller, los osos polares y la trucha ártica) reportó asociaciones entre las concentraciones de algunos COP y biomarcadores relacionados con la resistencia a las infecciones. De manera similar, existen estudios que han demostrado que concentraciones ambientalmente relevantes de mercurio, bifenilos policlorados (PCB) y 4,4'-DDE (diclorodifenil-dicloroetileno) pueden afectar la función inmunológica y la salud de las tortugas marinas caguama, *Caretta caretta*.^[231] Por ejemplo, en el caso de las tortugas caguama de los estados de Carolina del Sur y Florida, conforme ascendían los niveles de mercurio en la sangre, se reducían tanto los números de linfocitos, como sus respuestas inmunológicas. Se observaron estos impactos negativos sobre la función inmunológica en concentraciones ambientalmente relevantes.^[49]

Las investigaciones sobre la muerte masiva del ostión del Pacífico *Crassostrea gigas*, reveló que la exposición al herbicida diurón suprime diferentes genes involucrados en las respuestas inmunológicas.^[138] De manera parecida, la exposición de los moluscos de agua dulce a insecticidas pire-



Se ha ligado el glifosato a enfermedades en los peces.

troides, cipermetrina y fenvalerato, resultó en daños significativos a sus hemocitos, las células de los moluscos que realizan varias funciones inmunológicas.^[181] Estudios sobre la muerte extensiva de peces en el río Sheandoah, Estados Unidos, reportaron que muchos de los peces no lograban producir glóbulos blancos normales que combaten enfermedades.^[187]

Los parásitos en los peces representan una parte importante de la biodiversidad acuática.^[170] El equilibrio entre parásitos y anfitriones se puede ver afectado por muchos factores, incluyendo la presencia de la contaminación química, calor y estrés nutricional, así como de alguna infección con ciertos patógenos; todos estos elementos afectan la respuesta inmunológica del anfitrión con respecto al parásito.

Se han vinculado los herbicidas basados en glifosato (HBG) con un aumento del riesgo de los peces de padecer una enfermedad, ya que los parásitos y los HBG pueden actuar de manera sinérgica en concentraciones ambientalmente relevantes, magnificando los efectos adversos de unos y otros.^[121]

No obstante, la multiplicidad de exposiciones hace que siga siendo difícil establecer vínculos causativos claros entre las poblaciones de peces silvestres expuestas a contaminantes y las enfermedades infecciosas. Muchos peces son portadores asintomáticos de bacterias y virus que bajo condiciones normales no causarían enfermedades. Sin embargo, cuando los contaminantes o el aumento de temperatura u otros estresantes dañan sus sistemas inmunológicos, se pueden multiplicar los agentes patógenos y enfermar al anfitrión. Alterar las relaciones consolidadas entre anfitrión y parásito o entre anfitrión y patógeno con sustancias tóxicas que afectan el sistema inmunológico produce consecuencias adversas.^[46]

2.1.3 LOS IMPACTOS EN EL COMPORTAMIENTO Y LOS IMPACTOS INDIRECTOS

Puede que no siempre sean evidentes de inmediato los impactos de los contaminantes sobre las especies marinas. Los animales marinos expuestos a sustancias tóxicas pueden sufrir una pérdida de resiliencia, ya que la exposición subletal a contaminantes químicos hace que los peces sean más susceptibles al calor y a otros estresores, lo cual altera su comportamiento.^[199]

Cambios sutiles de comportamiento y de hábitos alimenticios y de “muda”, pueden afectar de manera significativa la viabilidad de la población de peces o invertebrados. Por ejemplo, el plaguicida neonicotinoide imida-

Sigue en la página 34

EL DECLIVE DEL PUYE DE NUEVA ZELANDA: EFECTOS SINÉRGICOS DE LA FORMULACIÓN DEL GLIFOSATO Y LAS INFECCIONES PARASITARIAS

El puye, *Galaxias anomalus*, es un pez de agua dulce de desove masivo que sube y baja por los ríos para realizar sus recorridos de desove y acceder al hábitat y los alimentos para sus crías. Una gama de especies de peces por todo el mundo realiza heroicos viajes semejantes por ríos para cerrar sus ciclos reproductivos.

En tiempos pasados, eran tan abundantes las poblaciones de puye que la gente literalmente se podía parar a la orilla de río y sacarlos en grandes cantidades tan solo con redes manuales. Los convertían en tortitas de puye, consideradas un manjar nacional en Nueva Zelanda. Cuando la actividad ganadera lechera a escala industrial se empezó a expandir hacia las cuencas hidrológicas, se observó que las poblaciones de peces puyen se empezaron a reducir. Se empezaron a drenar los humedales, se entubaron los arroyos artificialmente y se retiró la vegetación de las riberas de los ríos a través de la aplicación del herbicida glifosato para que el ganado pudiera acceder al agua.

Los científicos empezaron a encontrar tasas cada vez mayores de peces deformes en estas cuencas hidrológicas.^[121] Se determinó que la causa de las deformidades era un parásito que se incrusta en la columna vertebral de los peces, haciendo que se doble. Los peces con la columna deforme no logran nadar tan rápido, con lo cual se vuelven más vulnerables a la depredación. Al profundizar en la

investigación, se reveló que los parásitos que causan las deformaciones ya habían estado en ese medio ambiente desde hace tiempo y, de hecho, se les había descrito desde 1945. Las poblaciones de puye habían coexistido y prosperado ante su presencia. ¿Qué era lo que había cambiado, entonces?

La investigación ^[120] descubrió que la fumigación de la vegetación de la ribera con formulaciones de glifosato con polioxietilaminas (POEAs) había cambiado el equilibrio natural. Las formulaciones de glifosato que contienen POEAs son más citotóxicas y muestran mayores efectos perturbadores del sistema endocrino que el ingrediente activo del glifosato por cuenta propia.^[243] Si se colocan peces en una concentración ambientalmente relevante de formulaciones de glifosato que contengan POEA, los peces se vuelven más susceptibles a infecciones y aumenta la intensidad del parasitismo.

El parásito en cuestión tiene un ciclo de vida con dos anfitriones, que también involucra al caracol de río. La investigación también halló que exponer a los caracoles a la formulación de glifosato resultó en que terminaran produciendo una cantidad mucho mayor de parásitos. Los peces puye enfrentan un doble golpe insidioso: un mayor desafío al enfrentar un mayor número de parásitos y una menor resiliencia y tolerancia a deshacerse de los parásitos.



LOS IMPACTOS SOBRE LAS REDES ALIMENTARIAS

Los contaminantes también pueden afectar los recursos alimenticios de los que dependen los animales acuáticos. Por ejemplo, los herbicidas afectan la viabilidad de la vegetación marina y con la pérdida de la vegetación marina, los recursos alimenticios y los hábitats para los camarones jóvenes y los peces se van reduciendo. Muchos peces se alimentan de insectos o dependen de ellos para criar sus alevines. Cuando se reduce la cantidad de pequeñas presas invertebradas, debido a la exposición a plaguicidas neonicotinoides, como imidacloprid y fipronil, existe una menor cantidad de alimentos que puedan consumir los peces, lo cual resulta en tasas de crecimiento más bajas.^[80]

Puede que más de un 40% de las especies de insectos se encuentren bajo amenaza de extinción y cuatro de las principales órdenes de insectos acuáticos base se encuentran en riesgo: (*Odonata*, libélulas y caballitos del diablo; *Plecoptera*, plecópteros; *Trichoptera*, tricópteros o friganeas; y *Ephemeroptera*, efémeras). Esta situación se debe a la pérdida de hábitat a causa de la agricultura intensiva, los contaminantes industriales y agrícolas, especies invasoras y el cambio climático. En ambientes acuáticos, los residuos persistentes de fipronil en sedimentos inhiben la emergencia de libélulas y el desarrollo de quironómidos (mosquitos no picadores o moscas de los lagos) y otras larvas de insectos con efectos negativos en cascada sobre la supervivencia de peces dependientes. En los arroyos en los que la acidificación debida a actividades de fundición o minería han hecho bajar el pH del agua por debajo de 5.5, se han eliminado las efémeras. Las ninfas de efémera proporcionan alimentos para muchos tipos de peces de agua dulce.^[193]

La red de alimentos acuáticos quedó severamente perturbada cuando el estrógeno sintético utilizado en las píldoras anticonceptivas, 17α - etinilestradiol (EE2), decimó la población de peces pequeños de un lago, que tuvo por resultado una disminución de los alimentos para los grandes depredadores como la trucha, llevando a una correspondiente pérdida de condición en esas especies de depredadores.^[124]

La contaminación de nutrientes y el calentamiento climático están impulsando tanto la proliferación de algas en aguas marinas como la de algas tóxicas verde-azules y la dominancia bacteriana en aguas dulces. Los dinoflagelados (una especie de algas unicelulares) son muy comunes y generalizados, aunque bajo determinadas condiciones ambientales (como mayores nutrientes) pueden crecer muy rápidamente. Los dinoflagelados *Karenia brevis* tiñen de rojo la superficie del océano; de ahí su nombre de “marea roja.”

Las mareas rojas crean océanos temporalmente tóxicos, aunque también pueden llegar a reducir el oxígeno disuelto en el agua, causando un fenómeno conocido como “zonas muertas”. Cuando mueren las algas, las bacterias y otros microbios se las comen. Como todos los animales, los microbios requieren de oxígeno. Al consumir las algas muertas, se multiplican y mueren, consumiendo gran parte del oxígeno, dejando una muy pequeña disponibilidad para los peces y otras criaturas acuáticas.

Las algas tóxicas, tanto en aguas dulces como marinas, se asocian con la muerte masiva de peces, que se está convirtiendo en un fenómeno cada vez más común. La mayoría de las muertes de peces se deben a la descomposición de la proliferación de algas que conducen a que haya menos oxígeno en el agua; además, algunas algas, como las algas azul-verde *Cyanobacteria* o las algas doradas *Prymnesium parvum* producen toxinas que afectan la vida acuática.

Las algas doradas que se encuentran en aguas dulces y en lagos, estanques y ríos salobres, pueden producir una toxina que altera la respiración en los organismos que respiran a través de las branquias, como los peces, los cangrejos de río y algunos anfibios. Una vez expuestos, las branquias dejan de absorber oxígeno adecuadamente, lo cual causa sangrados internos y finalmente los lleva a la muerte por asfixia. La presencia de estos tóxicos ha causado la muerte de peces a gran escala por todo el suroeste de Estados Unidos.^[100] Los crustáceos de manera natural van acumulando estas toxinas conforme van filtrando algas del agua para su alimentación y el consumo de mariscos contaminados pueden llegar a causar enfermedades graves en los humanos.

Los impactos cada vez mayores de la contaminación de nutrientes, proliferación de algas tóxicas y la acidificación inducida por condiciones climáticas de microorganismos como diatomeas y foraminíferos bentónicos, organismos unicelulares que forman la base misma de las cadenas alimentarias acuáticas y marinas, aunadas con los impactos de contaminantes persistentes, aumento de temperatura y demás estreses, representan graves riesgos para la salud marina y las redes alimentarias acuáticas a lo largo del planeta y las pesquerías de las que dependen tantas comunidades.

clorpid tiene el potencial de indirectamente causar daños letales a las poblaciones de invertebrados acuáticos con concentraciones bajas, subletales a través de afectar sus movimientos y, por lo tanto, su alimentación.^[164] Con constantes exposiciones a dosis bajas de imidacloprid, los artrópodos acuáticos *Gammarus pulex*^[81] sencillamente terminan muriendo de hambre.

La exposición al plaguicida de tipo organofosforado diclorvos durante las primeras fases de desarrollo de los peces, también causó trastornos de comportamiento perceptibles durante el periodo posterior a la eclosión.^[204] El clorpirifós, un insecticida organofosforado con gran movilidad que se utiliza ampliamente, representa riesgos graves para los organismos acuáticos y los ecosistemas ya que tiene efectos subletales sobre el comportamiento y la percepción olfativa de los artrópodos y los peces.^[145, 81]

Los embriones y las larvas de los peces expuestos a un conjunto de dosis subletales de una mezcla de COP, sufrieron cambios de comportamiento tales como alteraciones de la velocidad de desplazamiento de las larvas.^[123] De manera semejante, la exposición embrionica aguda a PFASs individuales llevó -seis meses después de la exposición- a significativos cambios bioquímicos y de comportamiento en los peces cebra en su etapa adulta joven. Estos cambios incluyen reducciones en la distancia total que viajan, así como cambios en su comportamiento agresivo. La exposición de corto plazo de los embriones a los contaminantes de las PFAS resultó en impactos persistentes y a largo plazo, llegando incluso a afectar a los peces durante la edad adulta.^[115, 8]

2.2 LOS IMPACTOS DE LA CONTAMINACIÓN CON MICROPLÁSTICOS SOBRE LAS PESQUERÍAS

Los microplásticos son una forma de contaminación que afecta los hábitats acuáticos y marinos, incluyendo los estuarios, que son zonas de apareamiento para muchas especies de peces.^[15] Más de 690 especies marinas han sufrido el impacto de la basura de plásticos y microplásticos, que están afectando de manera adversa a un número cada vez mayor de organismos marinos de todos los niveles tróficos, incluyendo el zooplankton, las lapas, los bivalvos, los crustáceos decápodos, los peces, los mamíferos marinos y las aves marinas.^[34]

Se han encontrado microplásticos en especies de peces comerciales (que viven en el fondo del mar, o “bentónicas”, y que viven en mar abierto o



Los microplásticos bajo la forma de micro escamas provenientes de desechos plásticos degradados, microfibras de ropa sintética y microperlas de la industria terminan en los cauces de agua y los océanos. Con la diseminación del coronavirus COVID 19 (SARS-CoV-2), los guantes de latex, las mascarillas de polipropileno y las botellas de desinfectante antibacterial para las manos son una nueva fuente de plásticos en los océanos. Fuente: NOAA.com

“pelágicas”) en el Canal de la Mancha, el Mar del Norte, el Mar Báltico, el Océano Indo-Pacífico, el Mar Mediterráneo, el Mar Adriático y el noreste del Océano Atlántico.^[26] Todos los peces de aguas profundas de las muestras que se tomaron en el Mar del Sur de China estaban contaminados con microplásticos.^[194] Los peces del Golfo Pérsico también tenían microplásticos en el tracto gastrointestinal, la piel, los músculos, las branquias y el hígado, mientras que también se hallaron microplásticos en el exo-esqueleto y, más importante todavía, en los músculos de los langostinos tigre del Golfo Pérsico.^[192]

En el tracto digestivo de peces silvestres del Canal de la Mancha y en sus larvas^[140] y en un 63% de las muestras de camarón de los crustáceos llamados *Crangon crangon* del Mar del Norte y de la región del Canal de la Marcha, también se encontraron fibras de microplásticos (como las que se encuentran en la ropa hecha con fibras sintéticas y en las sogas).^[53] Los

mariscos y otros animales acuáticos que se consumen enteros son motivo de particular preocupación para la exposición humana.^[205]

Los microplásticos en la columna de agua y en los sedimentos proporcionan una ruta de exposición directa para los organismos acuáticos y marinos, mientras que los nanoplásticos se transfieren fácilmente a través de las cadenas alimentarias acuáticas.^[38]

Muchos suspensívoros, como ostiones y mejillones, así como peces de fondo, como pepinos de mar, cangrejos y langostas, consumen microplásticos ya que no pueden diferenciar entre microplásticos y alimentos.^[147] Los microplásticos caen dentro del mismo rango de tamaño que el plancton y los granos de arena, y dada la importancia actual de la contaminación biológica, la vida marina fácilmente confunde un plástico con una fuente nutritiva de alimentación.^[34]

Se ha asociado la exposición de los organismos acuáticos a los microplásticos con efectos negativos sobre la salud, como una mayor respuesta inmunológica, una disminución en el consumo de alimentos, pérdida de peso y desgaste energético, una disminución de la tasa de crecimiento, una caída en la fecundidad e impactos sobre las generaciones subsiguientes.^[139]

Las pulgas de agua *Daphnia* que quedaron expuestas a nanoplásticos de poliestireno, mostraron una reducción de sus dimensiones corporales y severas alteraciones reproductivas.^[18] Los camarones mísidos expuestos a altas concentraciones de microplásticos de poliestireno, tuvieron una tasa de mortalidad de un 30%.^[151] Una especie de copépodos denominada *Tigriopus japonicas*, un crustáceo acuático pequeño, mostró un retraso significativo en el tiempo de desarrollo y una caída en la tasa de supervivencia^[39], mientras que otros crustáceos, al resultar expuestos de manera crónica a lo largo de generaciones sucesivas, experimentaron un aumento en su tasa de mortalidad.^[139]

En los moluscos, la exposición a microplásticos alteró sus respuestas inmunológicas, causando efectos neurotóxicos y genotoxicidad, además de dañar la información genética. Los microplásticos también afectaron la reproducción y el crecimiento poblacional de la ostra japonesa^[14], mientras que la mayor abundancia de plásticos PVC ha llevado a una caída en la supervivencia de los mejillones, probablemente debido a los periodos prolongados en los que las válvulas permanecen cerradas en reacción a las partículas.^[188]

Los microplásticos localizados en las branquias, el hígado y el tracto digestivo de los peces cebra resultaron en inflamación, estrés oxidativo y un metabolismo energético perturbado.^[137] La exposición a plásticos de poliestireno a escala nano, afecta la actividad de los peces, mientras que se demostró que los nanoplásticos penetran las paredes del embrión y logran llegar al saco vitelino de los alevines eclosionados.^[38]

2.2.1 LOS MICROPLÁSTICOS Y SUS CONTAMINANTES

Los microplásticos en ambientes marinos portan contaminantes ecotoxicológicos^[79] incluyendo aditivos químicos provenientes de su manufactura. Algunos aditivos plásticos como los retardantes de llama a base de PBDE son PE y pueden estar presentes en los plásticos en niveles muy altos.^[76]

Los microplásticos también atraen contaminantes como PCB, DDT, HCB, PAH y otros hidrocarburos de petróleo provenientes del medio ambiente circundante (como sedimentos, aguas marinas) y concentran estos contaminantes en su superficie plástica hasta en seis órdenes de magnitud más grandes que en las aguas marinas circundantes.^[34]

Los ecosistemas marinos y sus habitantes están en riesgo tanto por los microplásticos como por los contaminantes que se concentran en ellos. En el Océano Atlántico Sur, en los peces mictofidos se asocia una mayor densidad de microplásticos con concentraciones significativamente más elevadas de PBDE.^[189] Mientras que en los mejillones (*Mytilus galloprovincialis*) expuestos a microplásticos contaminados por PAH, se encontraron plásticos en su hemolinfa (un tejido líquido homólogo a la sangre), branquias y tejidos digestivos, así como una acumulación marcada de un PAH denominado pireno, los mejillones también experimentaron alteraciones adversas en sus respuestas inmunológicas, además de efectos neurotóxicos.^[14] En los ostiones de granjas acuícolas, en las cuales se utilizaban boyas de poliestireno que contenían HBCDD, se encontró hexabromociclododecano (HBCDD), una sustancia que se utiliza en la espuma de poliestireno (EPS/XPS).^[76]

Los microplásticos contienen ftalatos tóxicos que se utilizan ampliamente en los plastificantes. En un estudio, más de la mitad de las muestras de plancton superficial que se analizaron contenían partículas de microplástico con altas concentraciones de ftalatos. En la grasa de ballenas de aleta varadas, se encontraron concentraciones de mono-(2-etilhexil) ftalato (MEHP), lo cual pudiera indicar que la vida marina se encuentra amenazada por los microplásticos y sus contaminantes.^[75]



El poliestireno ligero viaja fácilmente a través de los cauces de agua y los desagües pluviales y finalmente llega al océano en donde se descompone en fragmentos más pequeños no biodegradables que terminan siendo ingeridos por la vida marina.



Hay evidencia de que existe una transferencia trófica tanto de microplásticos como de contaminantes asociados, a través de la cadena alimentaria marina.^[34] Existe una creciente preocupación de que los impactos de los volúmenes cada vez mayores de microplásticos y los contaminantes que los acompañan están aumentando los estresores existentes y es probable que incrementen la mortalidad en las poblaciones de peces naturales.^[165]



3. EL CLIMA, LOS CONTAMINANTES Y LAS PESQUERÍAS

Como resultado del cambio climático, nuestros océanos están más calientes y ácidos y resultan menos productivos; además, está aumentando tanto la frecuencia como la intensidad de las tormentas.^[111] Una de las consecuencias del cambio climático es que los ecosistemas sobre los que se sustentan las pesquerías y la actividad acuícola están sufriendo cambios significativos.

Las proyecciones indican que, en el futuro, estos cambios se irán agravando.^[71] Muchas regiones han reportado caídas en la abundancia de las poblaciones de peces y mariscos debido a los efectos directos e indirectos tanto del calentamiento global como de los cambios bio-geoquímicos que ya han contribuido a reducir la captura de las pesquerías.^[111]

Aunque cuando la gente piensa en el cambio climático, la elevación del nivel del mar adquiere primordial importancia, los efectos del cambio climático sobre el ecosistema marino llegarán a afectar a cada uno de los aspectos de la red alimentaria marina. Las temperaturas crecientes están derritiendo el hielo marino, los glaciares y el permahielo, lo cual contribuye no sólo a aumentar los niveles del mar cada vez mayores de por sí, sino además a cambios en las corrientes marinas y los niveles tanto de salinidad como de oxígeno, así como en las temperaturas del agua; a la par, la creciente deposición de dióxido de carbono (CO₂) está volviendo a los océanos mucho más ácidos.

Ha aumentado significativamente la desoxigenación o las “zonas muertas” en los océanos como un resultado combinado de la contaminación y el calentamiento de las aguas marinas.^[28] La disminución de los niveles de oxígeno en el agua y la eutrofización, así como la proliferación de parásitos y patógenos^[219] tienen un impacto sobre la capacidad de respuesta y de adaptación a condiciones cambiantes que puedan tener los peces y otras

especies acuáticas. Una precipitación pluvial de mayor intensidad conlleva una mayor escorrentía de sedimentos, que viene acompañado de contaminantes adheridos como productos químicos agrícolas e hidrocarburos.

Desde la década de los años ochenta, ha aumentado la frecuencia de la proliferación de algas dañinas en las zonas costeras en respuesta a impulsores tanto climáticos (el calentamiento de los océanos, las olas de calor marinas, la pérdida de oxígeno, la eutroficación) como no climáticos, como la contaminación y el aumento de la escorrentía de nutrientes hacia los ríos.^[111]

El cambio climático también causa una caída en el estado nutricional ya que afecta a las especies de las que depende la cadena alimentaria marina, como el fitoplancton marino e invertebrados como el kril. Existen proyecciones que prevén que el Océano Austral, el hábitat del kril antártico, una especie presa de importancia clave para los pingüinos, las focas y las ballenas, se va a ir contrayendo hacia el sur. También se están reduciendo las algas que crecen debajo del hielo marino, con lo cual se reduce también parte de la fuente nutritiva en la base de la cadena alimentaria.

Muchas especies marinas ya han sufrido cambios tanto en su rango como sus actividades en respuesta al cambio climático y la pérdida de su hábitat. Los cambios que han experimentado la composición de las especies, la abundancia y la producción de la biomasa de los ecosistemas han contribuido a caídas en la captura potencial de muchas especies marinas.^[111]





LA ACIDIFICACIÓN DE LOS OCÉANOS

Conforme aumenta la concentración de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera, debido al uso de combustibles fósiles y de otras actividades como la tala de bosques, se va disolviendo más CO_2 en las aguas marinas, acidificando así los océanos. Desde los inicios de la revolución industrial, la acidez del agua ha aumentado en un 26%.^[71]

Mientras que los impactos de la mayor acidez varían de una especie de peces a otra, la acidificación de los océanos causa daños sensoriales y de comportamiento en muchas especies de peces.^[44] Las aguas ácidas pueden interferir en los neurotransmisores de los peces, afectando así su comportamiento.^[56] El aumento de la acidificación también daña a los peces a través de corroer sus branquias, atacar el contenido de calcio del esqueleto^[177] y afectar su capacidad para reproducirse.^[149] Es probable que las crías o los peces pequeños no logren tolerar el aumento de la acidez de las aguas.

La acidificación tiene graves impactos sobre otras formas de vida marina, incluyendo los pólipos, que forman la base de muchos arrecifes de coral, moluscos pequeños como los pterópodos^[78] y los krils,^[95] de los que dependen tantos peces, ballenas y especies de aves. Las diatomeas, que se encuentran en la base de la red alimentaria acuática, construyen la capa externa que les rodea con silicato, pero la mayor acidez ha reducido su capacidad para hacerlo.^[175] Las grandes poblaciones de foraminíferos bentónicos que habitan los arrecifes de coral de plataforma son importantes productores de carbonato de calcio (CaCO_3) en los ecosistemas de los arrecifes, aunque el calentamiento y la contaminación de los océanos también están llevando a una disminución significativa de su producción de CaCO_3 . Esto tiene graves implicaciones para el futuro de los arrecifes de coral.^[58, 184] Los criaderos comerciales de ostiones ya están experimentando los efectos de la acidificación con una tasa reducida de supervivencia de las ostras larvares.^[17]

3.1 LAS INTERACCIONES ENTRE EL CAMBIO CLIMÁTICO Y LOS CONTAMINANTES PERSISTENTES

Los cambios inducidos por el clima pueden aumentar los efectos tóxicos de los contaminantes. En los crustáceos de los cauces de agua de uso agrícola, resultaron evidentes las interacciones sinérgicas entre los plaguicidas y el estrés térmico^[190], mientras que la exposición crónica a ciertos plaguicidas (como endosulfán, fenol y clorpirifós) pueden reducir la tolerancia de los peces a los aumentos de temperatura.^[172]

El calentamiento climático también está cambiando la distribución de los contaminantes. Las crecientes temperaturas están re-movilizando los contaminantes históricos de sus “sumideros polares”.^[19] Los contaminantes generados en latitudes templadas son transportados a las regiones polares por medio de procesos atmosféricos y oceánicos en donde quedan depositados en la nieve, el hielo, el agua, los suelos y sedimentos. El aumento de las temperaturas incrementa la liberación y las emisiones de estas sustancias tóxicas persistentes y la intensificación de los vientos, las inundaciones y eventos climáticos extremos aumentan su distribución.^[219, 178]

El calentamiento, la desoxigenación y la acidificación de los océanos, pueden amplificar los impactos de la contaminación a través de aumentar tanto la exposición como la bioacumulación de muchos contaminantes en la red alimentaria marina. Un clima más cálido afecta a los organismos



Los retardantes de fuego, así como las cenizas provenientes de los incendios forestales llegan a los ríos. Los efectos tóxicos y la aguda desoxigenación pueden dañar la vida acuática.



ESTUDIO DE CASO

EL CAMBIO CLIMÁTICO IMPACTA LOS BOSQUES DE ALGA KELP

Los bosques de alga kelp son sumideros dinámicos de carbono, que atraen más CO₂ de la atmósfera que las selvas tropicales. Además, proporcionan un hábitat y son una parte crucial de la red alimentaria de los océanos.

Lamentablemente, el calentamiento de los océanos está teniendo un impacto sobre la capacidad de los bosques de kelp tanto de absorber carbono como de sobrevivir. Los bosques de alga kelp en aguas con niveles más altos de temperatura, se encuentran bajo grave estrés debido a la elevación de las temperaturas de los océanos.^[174] Las oleadas de calor oceánico ya han destruido más de 100 kilómetros (km) de bosques de kelp y han impactado otros 500 km a lo largo de la costa sur de Australia Occidental.^[235]

En 2016, se dio la muerte masiva de abalón rojo en el ecosistema marino de California del Norte como resultado de niveles sostenidos de temperaturas oceánicas extremas, impuestos por una confluencia de eventos. Una proliferación de algas tóxicas en el año 2011 cerca de la costa de Sonoma en el estado de California destruyó un gran número de invertebrados impactando gravemente a

las estrellas de mar, que están a cargo de mantener bajo control a las poblaciones de erizos de mar.

La destrucción de estrellas de mar disparó una explosión de erizos de mar púrpura que, a su vez, devastaron los bosques de kelp, provocando inanición entre los abalones. Además, los bosques de kelp, ya de por sí estresados, fueron víctimas de la ola de calor marino llamada el *Blob*, de 2014 a 2016. El ambiente cálido y desprovisto de nutrientes causado por el *Blob* creó condiciones insostenibles para los bosques de kelp que desaparecieron junto con el abalón.^[90]

En Asia, tanto las aguas más calientes como la contaminación estresaron los cultivos de algas marinas, las cuales produjeron una sustancia que atrae a las bacterias a su superficie y procede a endurecer los tejidos y a volverlos color blanco: una enfermedad denominada *ice-ice*. Con el empuje de *ice-ice*, se está reduciendo la producción de algas marinas. Sin embargo, debido a que no es una enfermedad contagiosa, una posible forma de abordar este problema, podría ser trasladar las algas marinas a aguas profundas más frías.^[217]

de sangre fría, como los invertebrados, peces, anfibios y reptiles, a través de aumentar directamente la absorción interna de contaminantes en sus branquias e intestinos.^[219] Los cambios que sufra la acidez de las aguas pueden aumentar la bioacumulación de sustancias tóxicas como el cadmio en los bivalvos marinos.^[233]

El cambio climático también está aumentando la bioacumulación en peces y otros organismos marinos de neurotoxinas, metilmercurio (MeHg) y PCB^[5], que se encuentran entre los contaminantes más tóxicos y con una mayor prevalencia en la red alimentaria marina. La elevación de las temperaturas puede también aumentar la exposición humana al MeHg, a través de aumentar la producción de MeHg, la bioacumulación y la transferencia trófica a través de las redes alimentarias marinas.^[55]

El cambio climático tiene otros impactos indirectos sobre la calidad del agua. Por ejemplo, el aumento significativo de los incendios ha implicado un incremento del uso de retardantes de llamas como Phos-Chek. Esto ha resultado en la aplicación de sustancias químicas peligrosas a zonas de captación de agua, ya que se sabe que algunas de las sustancias resultan ser tóxicas para los peces en diferentes etapas de su ciclo de vida.^[54] Las cenizas provenientes de los incendios también se deslavan hacia los ríos, lo cual puede causar agudos eventos de desoxigenación que causan mayores daños a la vida acuática.



4. LAS FUENTES DE CONTAMINACIÓN Y LOS ELEMENTOS CONTRIBUYENTES

Los contaminantes presentes en los ecosistemas marinos y de aguas dulces provienen de muchas fuentes distintas. Se estima que un 80% de la contaminación marina por sustancias químicas se origina desde la tierra.^[226] Cada año, la incineración de desechos, las centrales eléctricas de carbón, y la producción de combustibles fósiles liberan toneladas de emisiones peligrosas a la atmósfera.^[161] La combustión de combustibles en automóviles, fábricas y fundiciones introduce hidrocarburos y metales al medio ambiente.

Muchos de estos contaminantes finalmente llegan a nuestros océanos y lagos a través de la deposición atmosférica. Esto se da cuando la lluvia o la nieve arrastran a los contaminantes, transportados por el aire ambiental (ya sea como vapor o unidas a partículas de polvo), o bien regresan a la tierra bajo condiciones climáticas más frías.

Las instalaciones industriales, como las dedicadas a la manufactura de productos químicos y las plantas industriales procesadoras de pulpa y papel, así como las descargas de los drenajes, los desagües pluviales, la agricultura, las actividades de extracción minera, todas ellas contribuyen a la escorrentía directa de sustancias químicas tóxicas al medio ambiente acuático. Miles de productos farmacéuticos, productos de cuidado personal, plastificantes y materiales industriales emergentes (como las nanopartículas manufacturadas) de manera regular entran en lagos, ríos, estuarios y medios ambientes marinos próximos a los litorales.

Estas sustancias químicas contaminantes pueden resultar tóxicas para organismos marinos y acuáticos individuales, con efectos que también se

magnifican, impactando la totalidad de poblaciones, especies, comunidades y ecosistemas. Los contaminantes también interactúan con otros estresores químicos y no-químicos, pudiéndolos exacerbar.^[197]

Históricamente, la preocupación por los contaminantes del agua y su regulación se ha enfocado en gran medida en las descargas finales, o en los llamados *puntos fuente*, sobre todo en relación con los nutrientes, los sedimentos y las licencias para la descarga de desechos. Sin embargo, las sustancias químicas tóxicas cuentan con otras vías más difusas de deposición y de escorrentía desde la tierra. Las emisiones difusas de contaminantes son mucho más generalizadas y difíciles de detectar, monitorear, o regular. Su movimiento a través de los ecosistemas acuáticos es complejo y, muchas veces, resulta un desafío poder predecirlo de manera confiable a través de modelos de predicción.

4.1 LIBERACIONES INDUSTRIALES

Cada año, las instalaciones industriales siguen liberando millones de kilos de sustancias químicas tóxicas en las aguas de ríos, arroyos, lagos y océanos. Por ejemplo, en 2010, instalaciones industriales en localidades en Estados Unidos vertieron 226 millones de libras (aprox. 102.5 millones de kilos) de sustancias químicas tóxicas en vías fluviales de ese país. Según el Inventario de Liberación de Sustancias Tóxicas del gobierno federal de Estados Unidos, se descargaron sustancias químicas tóxicas en más de 1,900 vías fluviales en los 50 estados de la federación. Aproximadamente 1.5 millones de libras de estas sustancias tóxicas tenían que ver con el cáncer, mientras que 619,000 libras con desordenes de desarrollo y aproximadamente 342,000 libras eran toxinas reproductivas.^[63] Las industrias de la pulpa y el papel, hierro y acero, suministro de energía, metales no-ferrosos y de productos químicos son responsables de algunas de las liberaciones directas más elevadas de sustancias tóxicas al agua.^[66]

4.2 LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Aunque en Europa las grandes industrias han reducido la liberación directa de contaminantes a los cuerpos de agua, han aumentado los contaminantes industriales que se transfieren a través de los sistemas de drenaje a las plantas urbanas de tratamiento de las aguas residuales.^[66] Estas plantas de tratamiento, muchas veces no pueden capturar o destruir muchos de los contaminantes, los cuales, en consecuencia, se encuentran en los lodos que se forman en las aguas residuales y los efluentes. Las plantas de tratamiento vierten sustancias químicas halogenadas, tanto industriales como en productos de consumo, como los PBDE^[154, 85] y las



LOS MEDICAMENTOS FARMACÉUTICOS EN EL MEDIO AMBIENTE

Las plantas de tratamiento de aguas residuales no están diseñadas para retirar residuos farmacéuticos. Las sustancias químicas contenidas en los productos farmacéuticos y los productos de cuidado personal (PCCP) se encuentran en todas las aguas marinas y costeras, así como en ríos y arroyos. A través de datos de más de 71 países, se identificaron 631 agentes farmacéuticos diferentes (incluyendo sus metabolitos y productos de transformación) en el medio ambiente, incluyendo antibióticos, medicamentos antiinflamatorios no esteroideos (NSAIDs), analgésicos, medicamentos reductores de lípidos, estrógenos, medicamentos de otros grupos terapéuticos^[13], así como medicamentos genotóxicos utilizados en quimioterapia para el cáncer y como inmunodepresores.

En una encuesta global de antibióticos efectuada en 2019, se realizaron pruebas a 165 ríos en 72 países diferentes.^[236] En un 66% de los sitios, por lo menos se encontró un antibiótico, mientras que en muchos sitios se encontraron más de uno y aproximadamente un 15% contenían niveles peligrosos de antibióticos. El antibiótico más común que se halló fue trimetoprima, que se utiliza para el tratamiento de infecciones del tracto urinario. En Bangladesh, se detectó metronidazol a niveles 300 veces más altos que los niveles seguros; en varios ríos africanos también se detectaron niveles elevados de antibióticos.

El Danubio resultó ser el río más contaminado de Europa; conteniendo siete antibióticos, incluyendo claritromicina a niveles casi cuatro veces más elevados que el nivel considerado seguro. El Támesis, generalmente considerado uno de los ríos más limpios de Europa, en algunos sitios estaba contaminado más allá del nivel seguro. Un 8% de los sitios examinados en Europa rebasaban los niveles seguros.

PFAS^[92, 3], en los efluentes con lo cual contaminan océanos, ríos y lagos en todo el planeta.

Los plaguicidas también están presentes como contaminantes de las aguas residuales tratadas. En Estados Unidos, se identificaron a los plaguicidas imidacloprid, acetamiprid y clotianidin como “componentes recalcitrantes de aguas residuales” que persisten a través del tratamiento que se les da a las aguas residuales para entrar en los cuerpos de agua con cargas significativas que son potencialmente dañinas para los invertebrados acuáticos sensibles. Datos de 13 plantas de tratamiento de aguas residuales en Estados Unidos, sugieren la existencia de descargas anuales de entre 1000 y 3400 kilogramos por año de imidacloprid en efluentes tratados liberados a ríos y lagos.^[191]

4.3 LA CONTAMINACIÓN FARMACÉUTICA

Los productos farmacéuticos pueden tener efectos dañinos sobre los organismos acuáticos, como alteraciones metabólicas y sexuales, o bien pueden inducir una resistencia antibiótica en microorganismos acuáticos. Se encontró que por lo menos 10 sustancias farmacéuticas (alendronato, amitriptilina, carvedilol, etinilestradiol, fluticasona, fluoxetina, fluvoxamina, midazolam, paclitaxel y tioridazina) son muy tóxicas o extremadamente tóxicas para diferentes especies acuáticas.^[24]

Los peces pueden acumular las sustancias químicas contenidas en los productos farmacéuticos y los productos químicos de cuidado personal (PCCP). Se detectaron 15 PCCP, en el plasma de peces dorados en jaulas expuestos a aguas residuales sometidas por el municipio a tratamiento terciario que fluían por el efluente. Las mayores concentraciones correspondían a un antidepresivo llamado fluoxetina y a los ansiolíticos diazepam y oxazepam.^[156]

Muchas veces se diseñan los productos farmacéuticos para que sean activos en concentraciones bajas. La exposición crónica de peces cabeza gorda en un lago de agua dulce a concentraciones bajas (5–6 ng/l) al estrógeno sintético 17 α -etinilestradiol (EE2), que se encuentra en las píldoras anticonceptivas, produjo fallas reproductivas y el colapso de la población de peces pequeños en el lago.^[125] Una vez que se dejó de añadir EE2 a las aguas del lago, a la población de peces les tomó 4 años regresar a la normalidad.^[21]

En las aguas marinas tanto costeras como en alta mar que rodean el Mar Báltico se encontró el medicamento antiepiléptico carbamazepina.^[20] La exposición de los embriones de peces a carbamazepina y otros medicamentos antiepilépticos, en concentraciones ambientalmente relevantes,



altera su crecimiento normal y provoca daños al desarrollo y comportamiento de los peces. Este tipo de impacto puede tener repercusiones de largo alcance en las poblaciones de peces.^[179]

Algunos filtros solares y productos de cuidado personal contienen ingredientes tóxicos para la vida marina. La exposición de los corales a la oxibenzona con filtro UV puede promover infecciones virales^[48], causar deformidades en los corales bebé y dañar el ADN. El efecto de la perturbación endocrina hace que el coral bebé se encapsule en su propio esqueleto, llevando a la muerte.^[59] Entre 6,000 toneladas (aprox. 5,400 toneladas) y 14,000 toneladas (aprox. 12,700 toneladas) de protector solar llega a los arrecifes de coral, con aproximadamente un 10% de los arrecifes del mundo se encuentran en un alto riesgo de estar expuestos a daños por los protectores solares.^[108]

4.4 LA CONTAMINACIÓN DE PETRÓLEO

La contaminación por petróleo con sus constituyentes tóxicos, como los hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP), es una de las formas de contaminación acuática más notorias y extremadamente dañinas. Al entrar en los medios ambientes de las aguas dulces y marinas a través de desagües pluviales, descargas industriales, desechos no tratados y de la minería, así como de accidentes marítimos y navegación recreativa, la contaminación por petróleo causa daños significativos a la biota acuática y a las pescaderías litorales.

La exposición al petróleo crudo puede alterar la función cardíaca y causar malformaciones del corazón en los peces en desarrollo.^[157, 29] La exposición al petróleo y la ingesta de este puede dañar los sistemas reproductivos de los peces, cambiar las tasas de crecimiento y alterar los comportamientos

de los peces.^[163] La exposición a derrames de petróleo puede causar una supresión inmunológica en los peces, volviéndolos más vulnerables a los patógenos. En los arenques del Pacífico expuestos a petróleo crudo, resultó evidente la inmunosupresión.^[35]

Después de derrames importantes de petróleo, las especies con importancia comercial, como los ostiones, los camarones y el atún, pueden sufrir una caída poblacional y quedar demasiado contaminadas para ser capturados y consumidos de manera segura.

4.4.1 LOS HIDROCARBUROS AROMÁTICOS POLICÍCLICOS

El desastre petrolero que ocurriera en 2010 en la plataforma petrolera de Deepwater Horizon en el Golfo de México derramó 5 millones de barriles de petróleo y liberó grandes cantidades de mezclas complejas de hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAP) directamente en los hábitats de desove de crucial importancia para el atún, los peces picudos y otros depredadores de nivel superior.^[29] Además, se utilizaron aproximadamente 47,000 barriles de los dispersantes Corexit 9500 y 9527.^[87] La combinación del disolvente hidrocarburo éter monobutílico etilenglicol con tensoactivos no iónicos y aniónicos^[153], hace que estos dispersantes resulten tóxicos para los sistemas inmunológicos, neurológicos, cardiovasculares y respiratorios de los peces.^[41]

El derrame masivo resultó en la desaparición de los pequeños foraminíferos en el recorrido de la columna explosiva de calor, aunque se fueron recuperando en años posteriores.^[200] También existe evidencia de lesiones anormales en la piel de los peces^[158] y de una aparente caída en la población de algunas especies de peces. Un mes después de la primera fuga de petróleo, se recolectaron muestras de mariscos provenientes de la costa del Golfo de Mississippi afectados por el derrame de petróleo de la plataforma Deepwater Horizon y se detectaron elevados niveles de HAP totales en los cuatro tipos de mariscos que se recolectaron.^[238]

Los HAP son muy persistentes y permanecieron en los sedimentos de la zona costera décadas después del desastre del buque-cisterna Exxon Valdez en 1989 en las costas de Alaska.^[97] Los HAP no se disuelven con facilidad en el agua y tienden a acumularse o adherirse a las partículas de los sedimentos. Los HAP son motivo de gran preocupación por los efectos que pueden tener sobre los sedimentos de los ríos y los lagos en lo que muchos peces ovan, se desarrollan sus embriones y habitan muchos recursos alimentarios invertebrados.

Sigue en la página 60

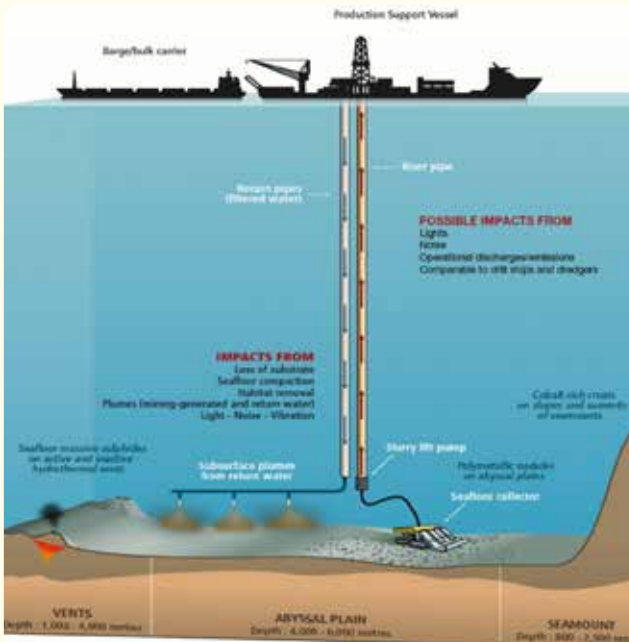
LA MINERÍA EN EL FONDO DEL MAR EN EL OCÉANO PACÍFICO

“Nadie está considerando los impactos potenciales de las sustancias tóxicas y los desechos producidos durante la extracción de minerales del fondo del mar ... Existe tan poca información sobre cómo funcionan las corrientes marinas a esas profundidades y es probable que los sedimentos que contienen toxinas se levanten en una columna cuando los dispositivos al alto vacío de control remoto extraigan los nódulos y puede que se forme una segunda pluma cuando se regresen las aguas residuales a esas profundidades ... En la mayoría de los países, existen reglamentos para asegurar que la compañía minera restituya la tierra a sus condiciones anteriores, pero ¿cómo se restituye el lecho marino a 6,000 metros debajo de la superficie del océano?”

- Imogen Ingram, investigador ambiental y propietario tradicional de tierra en las Islas Cook Islands, a la minería en aguas profundas en la zona económica exclusiva de las Islas de Cook.

La minería en aguas profundas es el proceso de recuperar depósitos de minerales en las profundidades del mar más allá de los 200 metros de profundidad. Existen tres tipos de depósitos: los nódulos polimetálicos, conformados por óxidos de hierro y manganeso con metales

asociados, como en los depósitos de la Isla de Cook; sulfuros polimetálicos, que son depósitos concentrados de minerales sulfurados, resultado de la actividad hidrotérmica en el lecho marino, como los depósitos en Papúa Nueva Guinea; y las costras polimetálicas.^[47]



De manera inevitable, la minería en aguas profundas afecta a las comunidades de organismos vivos que se encuentran cerca de los sitios mineros. El ruido, la luz, la perturbación de los sedimentos y hábitats, las columnas de sedimentos, las fugas de pulpa de minerales, la contaminación, la interacción con otros usuarios del océano (como los barcos pescadores o las ballenas), todos estos elementos implican el riesgo de dañar la biodiversidad

Sigue en la página 56

única y los ecosistemas.^[176] Los invertebrados, como los gusanos, los crustáceos, las esponjas, los moluscos, los pepinos de mar, las estrellas de mar, las ofiuras y los erizos de mar están particularmente en riesgo.

Se sabe que los montes marinos, además de contener altos niveles de cobalto valioso, también son puntos calientes de biodiversidad a los que están asociados cientos de especies de peces y están dominados por filtradores como los corales y las esponjas adheridos a sustratos duros. Estas conforman jardines marinos ricos en especies, que a su vez atraen a otros crustáceos, moluscos y equinodermos. La remoción de los nódulos o costras polimetálicos tendría graves impactos sobre estos ecosistemas marinos.^[176]

La perturbación de los sedimentos del lecho marino crea columnas de partículas en suspensión que pueden afectar el medio ambiente marino mucho más allá del sitio de extracción minera. Estudios de modelos^[23] sugieren que se podría dispersar ampliamente la descarga de sedimentos hasta a 10 kilómetros del sitio. Esto podría tanto asfixiar a organismos y esparcir metales tóxicos y otros contaminantes. Es probable que las columnas que se descargan desde las profundidades del mar debido al proceso de achique también lleven contaminantes tóxicos.

Estos impactos no sólo afectan a las comunidades bentónicas, sino también a las especies pelágicas, perjudicando la alimentación, el crecimiento y la reproducción. Los cambios en las comunidades bentónicas podrían persistir por periodos

prolongados, afectar la disponibilidad de alimentos y causar alteraciones a largo plazo en la composición de las comunidades marinas y las redes alimentarias, en última instancia, llevando a una pérdida de biodiversidad.^[43]

Mientras que la minería en aguas profundas tiene impactos significativos sobre el medio ambiente del fondo del mar, se desconocen la plena naturaleza y la extensión de estos efectos. En ese sentido, el Banco Mundial recomienda que: “considerando la inmensa incertidumbre”, que los países ejerzan el grado más alto de precaución para evitar daños irreversibles al ecosistema.^[237]

Sin embargo, existe un interés comercial cada vez mayor en los depósitos minerales en el fondo del mar: cobre, aluminio, cobalto y otros metales que se utilizan para la producción de aplicaciones de alta tecnología, como los celulares inteligentes y las baterías de almacenamiento eléctrico. Aunque la legislación todavía está en pañales, para el mes de mayo de 2018, la Autoridad Internacional de los Fondos Marinos (ISA por sus siglas en inglés) había expedido 29 contratos para la exploración de depósitos minerales en aguas profundas. Aunque Fiyi, Papúa Nueva Guinea, las Islas Salomón, Tonga y Vanuatu han otorgado permisos para la exploración minera en aguas profundas y las Islas Cook recientemente establecieron un proceso de licitación para la exploración de minerales^[47], hasta este momento, sólo Papúa Nueva Guinea ha otorgado una licencia para la extracción minera en el lecho marino.

La maquinaria para la extracción
minera en el fondo del mar
son gigantescas cosechadoras
robóticas del tamaño
de un autobús





ESTUDIO DE CASO

EL DRAGADO DEL PUERTO DE GLADSTONE

En 2010, dio inicio la operación más grande de dragado en Australia en Puerto Gladstone, dentro del área de la Gran Barrera de Coral, Patrimonio de la Humanidad. A lo largo de un periodo de tres años, entre 2010 y 2013, se retiraron más de 23 millones de metros cúbicos de lecho marino, resultando en la destrucción de grandes áreas de vegetación marina del interior de la bahía, lo cual coincidió con un brote de enfermedad entre múltiples especies marinas, peces, mariscos y crustáceos.^[52]

El proyecto de dragado de Puerto Gladstone buscaba posibilitar el acceso de buques de gran calado a un nuevo puerto de exportación de gas natural líquido (GNL). El puerto había albergado toda una amplia gama de industrias que se remontan a la década de los años cincuenta, incluyendo una fundición de alúmina, un puerto de carbón y una central eléctrica de carbón, una gran fábrica de cemento y una planta productora de cianuro. Como resultado de toda esta actividad, cuando la velocidad del agua se aletarga y se reduce el intercambio de aguas oceánicas, se contami-

nan los sedimentos en las áreas costeras. En el ambiente acuático y la biota de la bahía, se han medido metales pesados incluyendo cobre, arsénico, níquel, cromo, aluminio, manganeso y zinc, así como PAHs y TBT.^[52]

Puerto Gladstone también alberga el área más grande de vegetación marina costera en la región central del estado de Queensland y es parte del área del parque de la Gran Barrera de Coral, Patrimonio de la Humanidad, el hogar de una amplia gama de peces, crustáceos y animales marinos protegidos. Antes del dragado, operaba una pesquería viable, que comerciaba cangrejos de fango, langostines y vieiras, además de una gama de pesquerías que se dedican a la pesca de especies de peces costeros.

La evaluación ambiental del proyecto de dragado, estimado en \$5 millones de dólares australianos, identificó fauna "en riesgo" bajo la legislación australiana, incluyendo dugones, tortugas y delfines, todos los cuales residen en la bahía. También había un arrecife de coral dentro

de la huella del proyecto. Se preveía que solamente se perderían pequeñas cantidades de vegetación marina en un área, encima de una pradera marina, en donde se proponía que se eliminaran los residuos de dragado. El resto de los impactos previstos se limitaban a la huella del dragado y el canal.

Lo que finalmente sucedió fue un impacto que abarcó más de 50 kilómetros. Los residuos del dragado estaban contaminados con metales pesados y sedimentos sulfatados ácidos, que al movilizarse pueden activar metales en una forma más tóxica con un impacto biológico mayor. A tan solo un kilómetro de los límites del Parque Marino de la Gran Barrera de Coral, se depositaron varios millones de toneladas de residuos del dragado para eliminarlos en el océano.

Se suponía que otros sedimentos más tóxicos se contendrían en un área construida con un muro de retención. Sin embargo, debido a consideraciones económicas, se cambiaron los diseños y el muro de retención resultó ser poroso. Como resultado, el muro de retención presentó fugas de grandes cantidades de lodos de sedimentos dragados. Los sedimentos eran muy ácidos y contenían cargas muy altas de metales que se movilizaron hacia

la ecología local y las redes alimentarias locales.

Después de una inundación considerable resultado de un ciclón, la bahía de agua salina tuvo un influjo de agua dulce. Aunque se esperaba una elevación temporal de la turbiedad, debido al dragado y a las actividades de eliminación del material dragado, una turbiedad excesiva permaneció en la bahía por más de un año. Esto impidió el desarrollo de gran parte de la vegetación marina y causó la pérdida de considerables praderas marinas.

Se modificaron los parámetros para definir los niveles aceptables de turbiedad, lo cual permitió que pudiera seguir el proyecto de dragado, aunque los niveles eran excesivos y se asociaban con la afectación a las praderas marinas. Toda esta situación se da en el contexto de una pérdida global de un 30% de la vegetación marina, pérdida que se está acelerando a una tasa de alrededor de un 7% anual.^[232]

El dragado coincidió con el brote de una enfermedad que afectó a múltiples especies marinas de peces, moluscos y crustáceos. Diferentes especies acuáticas de la bahía, incluyendo peces óseos, tiburones

Sigue en la página 60





La isla Curtis, Gladstone, Australia, en donde la construcción de tres plantas de compresión de gas requirió un extenso dragado de un área de Patrimonio de la Humanidad, matando una gran cantidad de vida silvestre con los sedimentos, metales, ácidos y contaminantes de nutrientes

Viene de la página 59

y mantarrayas, crustáceos, moluscos, tortugas, delfines y dugones.^[52]

Hubo una tasa muy alta de enfermedades de la piel entre todas las especies de peces en la bahía y una prevalencia signi-

ficativamente más elevada de parasitismo en un rango de especies. Los elevados niveles de parásitos sugieren que, debido a la degradación de la calidad del agua, los peces sufrían procesos de inmunodepresión.

Viene de la página 54

Algunos HAP y los productos de su degradación son altamente tóxicos, causando diferentes tipos de cáncer, mutaciones, y defectos congénitos en peces y otros animales.^[183] La exposición de embriones de

peces a mezclas de PAH y a sedimentos contaminados resultó en mortalidad, anomalías, como malformaciones cardíacas, además de cambios locomotores y de comportamiento a largo plazo.^[32, 157]

Entre las tortugas marinas verdes moribundas y muertas de las litorales de Gladstone, se encontraron elevados niveles de parasitismo.^[72] Durante los inicios de 2011, la tasa de mortalidad entre las tortugas marinas del área era aproximadamente 5 veces mayores que en años anteriores. En la sangre de las tortugas, se encontraron elevados niveles de metales, incluyendo cadmio, cobalto, mercurio y arsénico.^[37] Es probable que hayan comido algas marinas en las que se había acumulado algunos de los metales movilizados y conforme atravesaron desde sus estómagos hacia su torrente sanguíneo, provocó que enfermaran debido a una intoxicación por metales pesados. Como resultado, también aumentaron las tasas de mortalidad de otras especies silvestres.

Los cangrejos de ciénaga mostraron una prevalencia mucho más alta de lesiones en sus caparazones.^[52] Se sabe que los niveles excesivos de cobre y aluminio, además de otros metales interfieren con el proceso de muda y de recalcificar sus caparazones. Un gran número de cangrejos desarrollaron hoyos en sus caparazones o bien manchas de óxido, lo cual implica que no se pueden vender como

captura comercial y que presentaban tasas de mortalidad más elevadas. Los daños abarcaron un área considerable y causaron un colapso en la pesquería local dedicada a las vieiras ya que son muy sensibles a los sedimentos.

El dragado perturba profundamente el medio ambiente acuático. A través de la resuspensión del lecho marino, se movilizan los contaminantes presentes en los sedimentos, como los metales pesados y los COP, volviéndose más biodisponibles para la biota marina. En este caso, las enfermedades de los animales marinos claramente corresponden a la distribución de los sedimentos resuspendidos producto del dragado y de la eliminación basada en las mediciones directas de la turbiedad, así como de la interpretación de las imágenes satelitales correspondientes.^[52]

Un litigio está pendiente, ya que los pescadores comerciales están demandando a la Corporación de Puertos de Gladstone (Gladstone Ports Corporation) que son quienes propusieron el proyecto. Están reclamando pérdidas de muchos millones de dólares como resultado de la operación de dragado.

4.5 DESECHOS DE LA MINERÍA - ELIMINACIÓN DE RESIDUOS DE LA EXTRACCIÓN MINERA EN AGUAS PROFUNDAS

La industria minera es uno de los mayores productores de desechos en el mundo.^[57] Los residuos de la extracción minera consisten en materia particulada contenida en el limo, metales (incluyendo zinc, cobre, arsénico, cadmio, mercurio y plomo), productos químicos de proceso (como agentes de flotación) y grandes cantidades de sulfuros. La dificultad y el costo de gestionar estos desechos de la minería ha despertado el interés en eliminar los residuos de la extracción minera en aguas marinas profundas. La disposición de colas en aguas profundas (DCAP), por lo general, invo-

lucra descargar desechos, como lodos hechos de piedra finamente molida, a profundidades mayores de los 1,000 metros. Es muy probable que los metales pesados disueltos de los relaves tengan una influencia duradera sobre el medio ambiente de las aguas profundas por un periodo de hasta 60-70 años.^[234]

La DCAP representa riesgos significativos a una gama de ecosistemas y sus habitantes^[155], sin embargo, ya se está efectuando la DCAP provenientes de minas terrestres. En los sitios alrededor de Papúa Nueva Guinea en los cuales se recogieron muestras, las deposiciones de relaves tuvieron impactos severos sobre las comunidades de animales bentónicos en aguas profundas que viven en el sustrato de un cuerpo de agua, especialmente en el fondo del mar. La abundancia de estos habitantes de los sedimentos (como las almejas, gusanos tubícolas y cangrejos excavadores), se ha visto sustancialmente reducida a lo largo del rango de profundidad muestreado (800–2020 m).^[109]

4.6 EL DRAGADO Y LOS SEDIMENTOS

El dragado implica retirar o reubicar los sedimentos para crear canales más profundos con el fin de mejorar el acceso a un puerto marino o a un río. También se recurre al dragado como remediación de sedimentos contaminados y para la recuperación de tierras. De manera inevitable, los sedimentos vuelven a quedar suspendidos en la columna de agua, aumentando la turbiedad. Esta contaminación por sedimentos tiene un efecto asfixiante sobre la vegetación marina y las camas de crustáceos ya que el exceso de sedimentos rellena el hábitat de aguas profundas de los peces. Las larvas de los peces pueden llegar a confundir los sedimentos con partículas de alimento, lo cual impacta tanto su nutrición como su supervivencia.^[171]

El proceso de dragado además moviliza los contaminantes heredados, como metales, hidrocarburos, nutrientes y ácidos, en el cuerpo de agua.^[52] En los puertos y muelles adyacentes a áreas urbanizadas o industrializadas, los sedimentos pueden contener niveles elevados de contaminantes orgánicos e inorgánicos, incluyendo COP, plaguicidas, hidrocarburos de petróleo y HAP, así como metales pesados, incluyendo cobre, plomo, cromo, cadmio, mercurio y arsénico.^[64] La resuspensión de estos contaminantes ha producido lesiones, ha aumentado el parasitismo, el enrojecimiento de la piel y la ulceración en peces y cangrejos, mientras que las tortugas cuando consumen vegetación marina contaminada por metales pesados pueden llegar a enfermar y morir.^[73]

4.7 LOS PLAGUICIDAS

Los plaguicidas —que incluyen insecticidas, fungicidas, herbicidas, miticidas— se utilizan en la agricultura y el control de plagas urbanas. Entran en los ambientes acuáticos y marinos a través de las escorrentías directas de las plantas de tratamiento de aguas residuales y los sistemas de aguas pluviales, los ríos y arroyos, de la deriva de las evaporaciones y fumigaciones de plaguicidas provenientes de la agricultura, la actividad forestal, las actividades acuícolas, los campos de golf, parques y jardines, canchas deportivas, empresas de servicios públicos, el mantenimiento de la vegetación en los márgenes de las carreteras y las propiedades residenciales.

Las diferentes clases de plaguicidas tienen diferentes efectos sobre la vida acuática y otros estresores, como los aumentos de temperatura, los niveles de oxígeno, el pH/la acidificación, los patógenos y los niveles de nutrientes, influyen sobre los efectos que puedan tener las exposiciones a plaguicidas sobre el medio ambiente acuático.

La historia de la producción de plaguicidas sintéticos y su uso a lo largo de los últimos ochenta años revela una gama de diferentes tipos de plaguicidas —organoclorados, organofosforados y carbamatos, piretroides sintéticos y neonicotinoides— y aunque se anuncia que cada uno que va surgiendo es más seguro que sus antecesores, invariablemente, una vez





EL ENDOSULFÁN CONTAMINA LOS KRILS

En todo el mundo, se utilizaba ampliamente endosulfán, un insecticida organoclorado y COP para el cultivo del algodón. Es altamente tóxico para los invertebrados acuáticos y para los peces; el sulfato de endosulfán, producto de su descomposición, es incluso más persistente y tóxico. El endosulfán, que persiste en la atmósfera, en el agua y los sedimentos, se encontró en 40% de las muestras del kril antártico.^[224] En Groenlandia, se midió el endosulfán en peces de agua dulce, aves marinas, organismos marinos, como camarones y cangrejos, y mamíferos marinos. A pesar de haber pregonado por décadas que se trataba de un producto seguro, en 2011 el Convenio de Estocolmo prohibió su producción, uso y exportación a nivel mundial, ya que se reconoció que era genotóxico, neurotóxico y perturbador endocrino.

que se les utiliza a escala comercial, se ha demostrado que causan daños “no intencionales”.

Se halló que los insecticidas piretroides, por ejemplo, de manera consistente resultaban más tóxicos para los macroartrópodos acuáticos (cangrejos de río e insectos de agua) que los organofosforados.^[186] Se está demostrando que los insecticidas neonicotinoides alternativos son altamente persistentes y extremadamente tóxicos para los organismos a los que no estaban destinados (ver la sección 4.7.2).

Los reglamentos sobre plaguicidas difieren a lo largo y ancho de la planta. A pesar de que, debido a décadas de uso de plaguicidas, ha habido mejoras

en la toxicología, los métodos de detección en laboratorios y la regulación de los plaguicidas, se siguen utilizando de manera generalizada plaguicidas que se sabe causan daño a los organismos acuáticos y se siguen detectando a estos plaguicidas a niveles inseguros en medios ambientes acuáticos.

La mayoría de las formulaciones comerciales de plaguicidas son mezclas complejas de ingredientes activos y otros ingredientes. La información sobre los “otros ingredientes”, por lo general, se considera información comercial reservada y muchas veces no está disponible públicamente. Muchos de los ingredientes contenidos en las actuales formulaciones de plaguicidas son potencialmente tóxicas para los organismos marinos, incluyendo sus constituyentes activos, así como los ingredientes químicos como los tensoactivos, así como las impurezas y los metabolitos. Los tensoactivos, como los alquilfenoles etoxilados que comúnmente se co-aplican en herbicidas y otros plaguicidas para aumentar su ingesta por parte de las hierbas a las que se les destina, aunque su presencia podría también aumentar la biodisponibilidad de los insecticidas.

El impacto que tienen los residuos de plaguicidas sobre la ecología en gran medida pasa desapercibido, a menos que se realicen monitoreos e investigaciones específicas para detectarlos. Eventos de envenenamiento agudo, como la muerte masiva de peces, son altamente visibles y generan tanto publicidad como especulación. Aunque puede que resulte difícil atribuir la muerte masiva de peces a plaguicidas, ciertamente sí tienen que ver. Por ejemplo, una base de datos de muertes de peces llevada por gobiernos de los estados de Australia demuestra que las muertes de peces que se reportan más frecuentemente provienen de zonas de cultivo de algodón y durante la temporada de cultivo, habiéndose registrado más de 98 casos de muerte de peces asociados con plaguicidas.^[159]

4.7.1 LOS IMPACTOS ECOLÓGICOS ACUMULATIVOS DE LOS PLAGUICIDAS

A pesar de la importancia que tiene saber cómo reaccionan y se recuperan los ecosistemas acuáticos a las exposiciones a plaguicidas, actualmente son deficientes los conocimientos con los que contamos para poder realizar evaluaciones realistas y efectivas del impacto de los plaguicidas.

Las exposiciones a plaguicidas impactan a las comunidades de macroinvertebrados y los microorganismos en los ambientes acuáticos. En 24 sitios fluviales en el sureste de Australia, se levantaron muestras de macroinvertebrados y una selección de microorganismos (bacteria, flagelados, ciliados, amebas, nemátodos y gastrotrichos) a las cuales se les estudió los efectos que tenían con 97 plaguicidas diferentes. El estudio de-

LOS HERBICIDAS Y EL CAMBIO CLIMÁTICO - UNA COMBINACIÓN MORTÍFERA PARA LA SUPERVIVENCIA DE LOS MANGLARES

Los manglares y las marismas son ecosistemas ecológicamente importantes que proporcionan un hábitat para organismos tanto marinos como terrestres. Son de vital importancia para la productividad biológica y las redes alimentarias de aguas costeras, además de proporcionar áreas de criadero esenciales para muchos peces y crustáceos, incluyendo especies de importancia comercial y recreativa. Atrapan, procesan y almacenan grandes cantidades de sedimentos y materia orgánica, además de filtrar contaminantes como los fertilizantes y plaguicidas.^[83]

En el noreste de Australia, los herbicidas, en particular diurón, se han ligado con una grave extinción paulatina de los manglares.^[61] Se detectó este proceso a inicios de la década de los noventa y ya para el año 2002, se había afectado a más de 30 kilómetros cuadrados de manglares. A lo largo de ese mismo periodo, tanto la población como la agricultura se habían expandido en la región y con el uso creciente de productos químicos para la agricultura, muchos herbicidas empezaron a llegar tanto a los estuarios como a las aguas costeras y a los sedimentos.

Una de las consecuencias de la extinción paulatina de los manglares es una caída en la calidad de las aguas costeras, incluyendo un aumento en la turbiedad, el depósito de nutrientes y sedimentos, así como una mayor diseminación de plaguicidas tóxicos. El grave deterioro de los manglares afecta la reproducción y el hábitat de los peces. También puede tener efectos directos e indirectos sobre otros hábitats estuarinos y marinos, incluyendo los lechos de algas marinas y los arrecifes de coral de la laguna de la Gran Barrera de Coral. Al irse extinguiendo los manglares, se puede perder la estabilidad costera, llevando a tasas más elevadas de erosión costera. También se sabe que la escorrentía de herbicidas estresa a los corales.^[162]

Los manglares ya se encuentran en una situación de riesgo grave debido al cambio climático, lo cual, aunado al fenómeno de El Niño, causó la peor extinción de manglares que se haya registrado en la historia a lo largo de 700 km del Golfo de Carpentaria en Australia.^[60] La extinción masiva coincidió con un catastrófico evento global de decoloración de los corales, cuando murieron casi una cuarta parte de los corales de la Gran Barrera de Coral y casi 100 km de importantes bosques de kelp en la costa de Australia Occidental.



mostró de manera clara, que los insecticidas y fungicidas actualmente en uso, pueden afectar a las comunidades de macroinvertebrados de manera compleja incluso en dosis bajas.^[196]

De manera similar, en Francia, un estudio sobre los impactos de plaguicidas sobre los estanques de agua halló que independientemente del plaguicida que se use, o del número de tratamientos y de la tasa de aplicación, seguía habiendo significativos efectos negativos directos sobre varios grupos de invertebrados, en particular *Gammarus pulex*, una especie de crustáceos anfípodos de agua dulce. Los anfípodos juegan un rol funcional importante en la descomposición de material vegetal y otros materiales bióticos en los estanques de agua. Se identificaron el insecticida bifentrina y el fungicida ciprodinil como los principales causantes de la destrucción de los anfípodos.^[12]

4.7.2 LOS NEONICOTINOIDES

Los neonicotinoides (también conocidos como “neónicos”) se han convertido en el tipo de insecticida cuyo consumo ha crecido más rápidamente en todo el mundo. Desarrollados para reemplazar los insecticidas organofosforados y carbamatos, estructuralmente se asemejan a la nicotina. Cuando primero se les liberó, se supuso que mostrarían una alta especificidad con respecto a los insectos debido a su modo de acción específi-

co. Sin embargo, varios estudios han demostrado que otros artrópodos, incluyendo los crustáceos, son igualmente vulnerables ya que comparten un sistema nervioso parecido.

Se han encontrado neonicotinoides en muchos cuerpos de agua diferentes, por ejemplo, en la mayoría de las aguas superficiales en Ontario, Canadá, se ha detectado un uso extenso de neonicotinoides; imidacloprid, tiame-toxam y clotianidina.^[7] En los ríos de Australia, se encuentran cantidades cada vez mayores de neónicos y en todas las áreas de captación de la costa del noreste de Australia, excepto dos, se detectó imidacloprid, sustancia que también se midió en 12 de las 13 muestras recolectadas en ríos de la región de Sidney posterior a precipitaciones pluviales considerables.^[93]

En 193 muestras provenientes de cuatro sitios estuarinos en el Mar Interior de Seto en Japón, se identificaron cinco neonicotinoides además del insecticida fipronil. Dinotefuran fue el neonicotinoide que se detectó con más frecuencia (en 98% de las muestras) con la concentración más elevada, seguido por imidacloprid y clotianidina (35% cada uno), tiame-toxam (19%) y acetamiprid y fipronil (12% cada uno). También se detectó el metabolito de imidacloprid, desnitro-imidacloprid.^[88] Imidacloprid es muy persistente en muestras de agua y no se biodegrada fácilmente en ambientes acuáticos.^[215]

LOS NEONICOTINOIDES (“NEÓNICOS”) SE HAN CONVERTIDO EN EL TIPO DE INSECTICIDA QUE CRECE MÁS RÁPIDO A NIVEL MUNDIAL.

Una revisión de 150 estudios reveló efectos tóxicos e indirectos (por ejemplo, en la cadena alimentaria) sobre invertebrados en la vida silvestre, incluyendo peces, anfibios y reptiles.^[80] La revisión se enfocó en dos neonicotinoides: imidacloprid y clotianidina, así como en fipronil, que también actúa de la misma manera sistémica.

Se halló que tanto imidacloprid como fipronil resultaron tóxicos para muchas aves y la mayoría de los peces, respectivamente. Muchas veces, en concentraciones muy por debajo de las que se asocian con la mortalidad, ejercen efectos subletales, que van desde efectos genotóxicos y citotóxicos (que resultan tóxicos para las células), así como dañan la función inmunológica y reducen tanto el crecimiento como el éxito reproductivo. La toxicidad de los neonicotinoides se complica cuando se les mezcla y no se le puede predecir con base en usar la premisa de la toxicidad adicional.^[142]



Imidacloprid perturbó la alimentación de los crustáceos anfípodos de aguas dulce *Gammarus pulex* en concentraciones de dos órdenes de magnitud menor de la que causa la muerte y niveles parecidos a los que se encuentran en el medio ambiente.^[2] El crecimiento del camarón místico marino *Americamysis bahia* se vio dañado al estar expuestos a niveles muy bajos de imidacloprid (0.163 µg/L).^[228]

Los efectos indirectos de los neónicos incluyen disminuciones de presas invertebradas, que pueden dañar el crecimiento de los peces que dependen de esa fuente alimentaria. Imidacloprid tiene el potencial de causar letalidad indirectamente a poblaciones de invertebrados acuáticos en concentraciones bajas y subletales al afectar su capacidad de movimiento y en consecuencia su capacidad para alimentarse.^[164]

4.7.3 LOS NEONICOTINOIDES SON UNA AMENAZA PARA LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA DE CAMARÓN

A pesar de que las especies de camarones y langostinos de importancia comercial son extremadamente sensibles a los insecticidas neonicotinoides, muchas granjas camaroneras se ubican adyacentes a estuarios que río arriba tienen múltiples usos, como plantaciones de caña de azúcar, cultivos de plátano, cultivos de macadamia, crianza de ganado vacuno y urbanización. Los usos asociados y la movilidad de los plaguicidas impactan la calidad de las aguas de tanto ríos como estuarios.

Como resultado, se han detectado neónicos en las tomas de agua de las granjas camarónicas comerciales australianas. Según indican estudios de laboratorio, es muy probable que algunas concentraciones hayan sido suficientemente elevadas como para causar impactos negativos sobre el crecimiento y la supervivencia de los langostinos tigre (*Penaeus monodon*).^[93]

Los camarones larvarios y pos-larvarios son particularmente susceptibles a los impactos de los plaguicidas debido tanto a la alta proporción que existe entre el área de superficie de estos camarones y su volumen como a las exigencias de su crecimiento rápido. Además, los camarones juveniles y adultos se entierran en los sedimentos, por lo es muy probable que sean particularmente susceptibles a contaminantes relacionados con los sedimentos, como fipronil. Los plaguicidas que se van acumulando en los sedimentos de los estanques acuícolas pueden representar un riesgo mayor para la producción acuícola de camarón de lo que se hubiera anticipado con base en la mera medición de los plaguicidas en la columna de agua.^[93]

Los herbicidas en las mezclas contaminantes a las que están expuestas las granjas de langostinos, pueden alterar la sensibilidad de los crustáceos a diferentes insecticidas. Las larvas del camarón de coral, por ejemplo, son comparativamente insensibles al herbicida, atrazina, sin embargo, una exposición simultánea, ya sea de atrazina y el neónico imidacloprid, o bien atrazina y fipronil, resulta más tóxica que la exposición únicamente a imidacloprid o fipronil.^[93]

4.7.4 LOS HERBICIDAS BASADOS EN GLIFOSATO

Los herbicidas que se utilizan más extensamente por el mundo son los herbicidas basados en glifosato (HBG), en parte debido a la introducción de cultivos transgénicos tolerantes al glifosato y a sus nuevas aplicaciones para el secado de los cultivos antes de la cosecha.

Los HBG actúan sobre la enzima que bloquea la producción de ciertos aminoácidos que causan la muerte de las plantas. Este camino bioquímico sólo existe en los organismos vegetales, sin embargo, a pesar de la acción dirigida, se han relacionado los HBG a efectos tóxicos en invertebrados, peces, anfibios, reptiles, aves y mamíferos, incluyendo a los humanos.^[82]

Se ha demostrado que los herbicidas basados en glifosato perturban la actividad endocrina^[144] y pueden alterar la diversidad microbiana y la composición de la comunidad vegetal.^[206] Los HBG también pueden promover la proliferación de algas.^[180, 173]

Aunque la mayoría de los HBG no están aprobados para su uso en ambientes acuáticos, se han detectado cantidades medibles del ingrediente



LOS PLAGUICIDAS EN EL ÁREA DE LA GRAN BARRERA DE CORAL - PATRIMONIO DE LA HUMANIDAD

La escorrentía agrícola es un estresante importante para los estuarios y los ecosistemas marinos dentro del área de la Gran Barrera de Coral (GBC) - Patrimonio de la Humanidad, incluyendo las praderas marinas y los sistemas de manglares. La escorrentía agrícola hacia la GBC contiene fertilizantes, sedimentos y plaguicidas que llegan al medio ambiente marino a través de los ríos. Es un estresante significativo en la caída de la cubierta de coral de gran parte de la GBC.^[126] Se cree que los herbicidas persistentes representan uno de los mayores riesgos a los ecosistemas y a los organismos que forman parte del área de la Gran Barrera de Coral - Patrimonio de la Humanidad.^[118] Los plaguicidas pueden afectar la reproducción, el crecimiento y otros procesos fisiológicos del coral. Los herbicidas, en particular, pueden afectar a las algas simbióticas, dañando su asociación con los corales y llevando a una decoloración de los mismos.

Los residuos de plaguicidas detectados en los ríos y canales de la GBC durante inundaciones incluyen los herbicidas diurón, atrazina (y los productos de degradación asociados desetil- y desisopropil-atrazina), hexazinona, ametrina, tebutiurón, simazina, metolaclo, bromacilo, 2,4-D y MCPA, además de los insecticidas imidacloprid, endosulfán y malatión. Con frecuencia, se detectó diurón, atrazina, hexazinona y ametrina en concentraciones altísimas en sitios donde se drenaban los cultivos de caña de azúcar.^[131] Los peces costeros en y cerca de ríos que descargan sus aguas a la laguna de la GBC están expuestos a compuestos estrogénicos asociados con la escorrentía de plaguicidas de los cultivos de caña de azúcar en la cuenca de la GBC.^[128]



activo y de los tensoactivos en aguas superficiales. También se han encontrado residuos de HBG en la tierra, el aire y las aguas subterráneas^[110], además de en los sedimentos marinos.^[10, 206] En las aguas marinas, el glifosato es moderado o altamente persistente, dependiendo de las condiciones de luz.

Se ha denunciado que los tensoactivos y los agentes humectantes contenidos en las formulaciones de glifosato comercial son más tóxicos y aumentan tanto la biodisponibilidad como la toxicidad del glifosato con respecto a las especies a las que no va dirigido el herbicida.^[186] Aunque existe una variedad de tensoactivos, el más común es polioxietileno amina (POEA). El ácido aminometilfosfónico (AMPA) es uno de los principales productos de degradación microbiana del glifosato y la toxicidad del AMPA es comparable a la del glifosato mismo.

El efecto de los herbicidas sobre las plantas acuáticas a las que no van dirigidos es un problema que está emergiendo en el campo de la conservación de la biodiversidad acuática. El glifosato en los ambientes acuáticos causa la muerte de la comunidad de macrofitas (plantas acuáticas que crecen en o cerca del agua), que sirven de microhábitat para las comunidades planctónicas (bacterias, arqueas, algas, protozoarios y animales nadadores o flotantes que habitan los océanos, los mares o las aguas dulces).

Estas comunidades son importantes para los peces ya que las usan como refugio o para su alimentación.

LOS PLAGUICIDAS Y LAS ENFERMEDADES EN LA PRODUCCIÓN ACUÍCOLA DE CAMARONES

La acuicultura intensiva de langostinos comenzó en Asia en la década de los años ochenta y actualmente Asia es responsable de alrededor de un 85% de la producción acuícola global de camarones y langostinos; siendo China, la India, Vietnam, Ecuador e Indonesia los cinco productores globales más importantes.^[69] Los camarones y langostinos son un gran negocio; en 2015, la producción global se valoró en \$38 mil millones de dólares y la acuicultura representó más de dos terceras partes de este valor.^[68]

Como todas las criaturas marinas, los camarones tienen su propio espectro de virus y bacterias. Poco después de la intensificación de la acuicultura de los camarones, empezaron a darse significativas enfermedades virales. A pesar de casi cuarenta años de investigación y desarrollo, estos brotes se siguen dando y causan pérdidas enormes en la acuicultura del sector del cultivo de langostinos. En Brasil, el tercer país productor más grande de camarones, la acuicultura de los camarones se ha visto afectada de manera dramática por cinco virus diferentes (el virus de la necrosis infecciosa hipodérmica y hematopoyética, el virus de la cabeza amarilla, el virus del síndrome de Taura, el virus del síndrome de las manchas blancas y el virus de la mionecrosis infecciosa).^[201]

Aunque el éxito de la acuicultura depende de la disponibilidad de agua de buena calidad, la contaminación ambiental continúa impactando la salud y la resiliencia

de los langostinos. El problema es tan generalizado que en gran medida no se le controla. En vez, se enfoca en el patógeno que causa la enfermedad sin entender el papel significativo que juega el medio ambiente contaminado en el que viven los animales en los brotes continuos de enfermedades.

Aunque son muchos los factores que contribuyen a las caídas en la producción de langostinos, los insecticidas de manera específica han demostrado aumentar la incidencia de las enfermedades.^[33] La investigación ha mostrado que la mortalidad de los camarones patiblanco (*Penaeus vannamei*) fue significativamente más alta después de la exposición combinada al insecticida organofosforado, metil paratión y la bacteria *Vibrio parahaemolyticus*, que a cualquiera de los dos estresantes individualmente.^[129]

Conforme la acuicultura se siga expandiendo hacia tierras tradicionalmente agrícolas, existe un riesgo aún mayor de exposición a plaguicidas. Exponer a los camarones a pesticidas induce una respuesta de estrés^[195], reduce la energía disponible para la supervivencia y el crecimiento^[6], y aumenta la posibilidad de que surjan enfermedades.^[80]

Los alimentos para la acuicultura, que incluyen ingredientes cultivados comercialmente como el trigo, la soya y altramuz o lupino, también representan otra vía de exposición de los langostinos



y peces cultivados a los plaguicidas. En cultivos alternativos de arroz y camarón en Vietnam, los productos químicos para la agricultura que se utilizan para el arroz pueden generar residuos persistentes en cultivos subsecuentes de camarón, mientras que se han detectado los antibióticos utilizados en la acuicultura del camarón en productos agrícolas subsecuentes; en ambos casos, se aumenta el riesgo de exposiciones humanas indeseables.^[27]

Los plaguicidas están presentes en el medio ambiente como resultado de las derivas y escorrentías producto de las fumigaciones, la lixiviación y la deposición foliar. En Paquistán, se realizó un estudio de los organoclorados persistentes^[209] en el consumo de agua de la acuicultura y en los camarones de una cuenca de captación agrícola. En las muestras de agua y de camarón, se detectaron un total de 36 plaguicidas organoclorados o sus metabolitos. Todas las muestras de agua contenían 4-DDT, dieldrina y metoxicloro; además, se observó que el metoxicloro también se había acumulado en los camarones de las especies *Penaus merguensis* y *P. penicillatus*.

Las muestras recolectadas en Australia^[93] hallaron concentraciones elevadas de pesticidas en las aguas utilizadas en la acuicultura de siete cuencas de captación agrícola de usos múltiples a lo largo de la costa noreste de Australia. Se detectó una mezcla de insecticidas, herbicidas, fungicidas y adyuvantes, incluyendo los neonicotinoides (imidacloprid y clotianidina), un piretroide (bifentrina), un organofosforado (clorpirifós), un fenil-pirazol (fipronil) y DEET. Las granjas de langostinos en Australia se localizan de manera predominante adyacentes a los estuarios y reciben el impacto de múltiples usos de las tierras agrícolas ubicadas río arriba.

Debido a su lejanía geográfica y a sus granjas de cultivo de langostinos relativamente bien manejadas, anteriormente Australia, en general, se encontraba libre de virus de langostinos. Sin embargo, en 2016, el virus del síndrome de las manchas blancas llegó al río Logan en el estado de Queensland, a través de langostinos crudos pelados y congelados de importación. Los pescadores recreativos estaban utilizando estos langostinos importados como cebo y los estaban depositando

en el río Logan River y en los canales de entrada de agua de las granjas de langostinos en donde les gustaba pescar desde las orillas.

El virus había llegado a las costas de Australia debido a violaciones a las medidas de bioseguridad. Se suponía que los langostinos importados estaban libres de virus, pero no era así. Subsecuentemente, se han detectado muchos virus en langostinos importados comprados al menudeo en los supermercados australianos.^[1]

Inmediatamente antes del brote del virus de las manchas blancas, programas de monitoreo de plaguicidas en el río Logan,

habían detectado residuos de neonicotinoides, piretroides y organofosforados en las aguas del río Logan. Es probable que la mezcla de exposiciones subletales haya comprometido la salud de los langostinos expuestos, como se documenta entre los invertebrados terrestres, sobre los cuales se han realizado estudios más profundos^[25], con lo cual se facilita la expresión y la propagación de las enfermedades. Las interacciones entre las mezclas de plaguicidas y la inmunidad y la resiliencia de los langostinos a las enfermedades requieren de una mayor investigación para así poder elucidar los mecanismos que operan con mayor claridad.

4.7.5 INSECTICIDAS ORGANOFOSFORADOS Y CARBAMATOS

Los organofosforados y los carbamates, se utilizan en ambientes tanto urbanos como agrícolas. Son agudamente tóxicos y su modo de acción consiste en bloquear la enzima acetilcolinesterasa (AChE), que es esencial para el funcionamiento de los neurotransmisores, los mensajeros químicos del cuerpo.

Incluso las exposiciones breves a plaguicidas organofosforados, a concentraciones muy bajas, tienen un impacto sobre la condición ecológica de los peces expuestos, en los cuales una exposición subletal al organofosforado etoprofos causó una disminución significativa

(de un 54%) de la actividad de las colinesterasas (ChE) en el cerebro de los peces. Esto modificó la respuesta de huida y la capacidad de los peces expuestos de evitar ser detectados, ya que se ralentizó su capacidad de huir y esconderse ante una simulación de ataque.^[194]

La exposición al organofosforado sumitió redujo significativamente la abundancia de invertebrados bentónicos en los estanques de agua tratados con sumitió^[218], mientras que se han identificado los siguientes organo-

**EN 2020, SE PROHIBIÓ
CLORPIRIFÓS EN TAILANDIA
DEBIDO A LOS EFECTOS
TÓXICOS QUE TIENE EN LOS
SERES HUMANOS**

fosforados: azinfos-metil, malatión, fenitrotión y dimetoato como una preocupación potencial para el ambiente marino. Las mezclas de carbamatos y plaguicidas organofosforados tienen el mismo modo de acción por lo que sus efectos tóxicos pueden ser aditivos o a veces incluso sinérgicos.

Clorpirifós, un organofosforado que se utiliza ampliamente, además de ser un PE^[240], representa graves riesgos para los organismos acuáticos y los ecosistemas.^[81] Afecta el comportamiento de los crustáceos y de los peces ya que tiene efectos subletales sobre los peces consistentes en cambios en la percepción olfativa y en el comportamiento.

Clorpirifós se bioacumula en organismos acuáticos y sus residuos se han medido en peces de la Represa de Tono, en la República de Ghana^[4], en peces de granja^[210], en muestras de mercados de pescado de diferentes regiones del estado de Punjab, en la India^[160], y en la sangre de nutrias marinas en estado silvestre en Alaska y California.^[116]





5. UN CAMINO A SEGUIR

Uno de los mayores desafíos que se enfrentan al abordar la caída de las pesquerías, a la par que el combate al cambio climático es el impacto negativo que tiene la contaminación sobre los ecosistemas marinos. No se trata tan solo de las muertes evidentes de los peces que terminan flotando sobre la superficie del agua, sino también de los impactos invisibles que tiene la contaminación sobre las futuras generaciones producidos por la manera en la que socava su resiliencia, su éxito reproductivo, sus recursos alimentarios y su supervivencia como resultado de la exposición a los contaminantes.

Hace casi dos décadas, los gobiernos de diferentes países de todo el mundo acordaron reducir al mínimo los efectos dañinos que tienen las sustancias químicas y sus desechos sobre nuestra salud y el medio ambiente. Se comprometieron a *“producir y utilizar las sustancias químicas de maneras que reduzcan al mínimo los significativos efectos adversos para la salud humana y el medio ambiente”* para el año 2020.^[102]

Mientras que ha habido avances hacia un uso más sostenible de las sustancias químicas, habiendo logrado que se prohíba un número reducido de los contaminantes más persistentes a nivel mundial, los gobiernos, en general, no han realizado avances significativos en dirección a alcanzar esta meta.

Se estima que actualmente hay entre 100,000 y 350,000 sustancias químicas comercialmente disponibles^[250]; los impactos de muchas de ellas permanecen sin ser evaluados y potencialmente podrían resultar ser tóxicos para los ambientes acuáticos. Existen más de 5,000 sustancias químicas producidas en volúmenes que exceden un millón de toneladas al año. En general, la producción de sustancias químicas sigue creciendo de manera constante, a aproximadamente un 4% anual.^[107]

La contaminación de cauces de agua y océanos por desechos industriales, productos químicos de consumo, plaguicidas y plásticos continua sin dis-

minuir. La agricultura industrial con su gran dependencia de fertilizantes y plaguicidas no sólo ha reducido las reservas de carbono de los suelos, liberando carbono a la atmósfera, sino que además es responsable de depositar grandes volúmenes de contaminantes, incluyendo nutrientes y plaguicidas, en el ambiente acuático por medio de escarnecias. Además, ha introducido residuos químicos a las materias primas que se utilizan para la alimentación acuícola, los cuales, en general, no se someten a pruebas para identificar qué tan seguro es que las ingieran las especies acuáticas.

Los causes de agua y los océanos también enfrentan nuevas amenazas por parte de grupos de sustancias químicas que podrían no descomponerse, así como de la extracción minera tóxica en aguas profundas y las crecientes presiones del crecimiento poblacional, la mayor urbanización y la emergencia climática.

5.1 LA AGRICULTURA REGENERATIVA

Aunque los causes de agua y los océanos enfrentan un gran número de desafíos, nos alienta saber que ya existen algunas soluciones efectivas. La agricultura regenerativa desempeña un papel central en abordar la combinación de desafíos conformada por el cambio climático y las cargas de contaminación en los ambientes acuáticos.

Como su nombre lo implica, la agricultura regenerativa busca restablecer la salud de los ecosistemas a través de enfocarse en prácticas que capturen carbono, aumenten el almacenamiento de agua en el subsuelo, aumenten la biodiversidad, estabilicen los suelos y ayuden a restaurar la salud de la tierra y de los océanos a través de mejorar la calidad del agua que proviene de los mismos.

En la tierra, las prácticas de la agricultura regenerativa utilizan diferentes cultivos de cobertura, fertilización agrícola, rotación de cultivos, métodos de agricultura con labranza cero, cero plaguicidas y cero fertilizantes sintéticos.

La reducción del carbono es de crucial importancia para mitigar los impactos del cambio climático, y se ha clasificado la agricultura regenerativa como una de las mayores oportunidades para abordarla. Los cálculos sugieren que la agricultura regenerativa podría reducir hasta 60 toneladas de carbono por acre, con aumentos en la productividad de las cosechas, una mejor absorción de nutrientes, retención de agua en los suelos y una mejor resistencia a las plagas y mayor sostenibilidad financiera para los agricultores.^[104] Es muy probable que contar con cosechas más limpias,



mejore las materias primas de la alimentación acuícola sin la presencia de residuos de plaguicidas.

5.2 ENFOQUES ECOSISTÉMICOS A LA ACUICULTURA

No nada más se necesita realizar agricultura regenerativa sobre la tierra, también es de crucial importancia repensar cómo se realiza la agricultura acuícola. En la mayoría de los casos, la agricultura acuícola es básicamente otra forma de agricultura industrial que utiliza especies de monocultivo, insumos alimenticios no sostenibles, productos farmacéuticos y plaguicidas, cada uno de los cuales crea desechos y contamina el medio ambiente.

El desarrollo acelerado de la agricultura acuícola en el mundo muchas veces se concentra geográficamente en aguas ya de por sí contaminadas, lo cual implica desafíos significativos para la salud de los peces y de otras especies cultivadas.

Las estrategias de la agricultura acuícola regenerativa podrían contribuir a abordar la contaminación y proporcionar una red positiva tanto para el



ecosistema marino como para la comunidad. Los modelos como la acuicultura multitrófica integrada (AMTI) tiene el potencial para lograr estos objetivos y proveer alimentos sanos, a la vez que contribuye a limpiar los océanos y a mantenerlos sanos.

A través de la AMTI, se vuelven a capturar algunos de los alimentos no consumidos y de los desechos, nutrientes y subproductos y se convierten en alimentos marinos cosechables y sanos con valor comercial, mientras se da la bio-mitigación para retirar los nutrientes y el CO₂ y seguir abasteciendo oxígeno.^[42]

Un estudio^[74] que observó los impactos de la cría de salmón en jaulas en mar abierto en el Atlántico, concluyó que hasta un 60% del nitrógeno contenido en el alimento y un 70% del fósforo en el alimento se liberan al océano como desechos metabólicos. Esto equivale a tirar 52,000 toneladas de nitrógeno y 10,000 toneladas de fósforo anualmente en la costa de Noruega. Esta acumulación puede llevar al crecimiento del fitoplancton y a la eutrofización de los ecosistemas pelágicos.

Uno de los posibles métodos para mitigar estos impactos es co-cultivar el salmón junto con especies de niveles tróficos más bajos. Alrededor de dos terceras partes de los desechos de nitrógeno provenientes de las granjas de salmón son amoníaco inorgánico, que se absorbe fácilmente por productores primarios como el fitoplancton y las macroalgas. Las macroalgas

cultivadas en las inmediaciones de las granjas de salmón podrían utilizar los nutrientes inorgánicos disueltos liberados de las granjas de camarón en los sistemas integrados de acuicultura multi-trófica en aguas abiertas.

También existe un potencial para la policultura, es decir, sistemas de agricultura oceánica vertical que utilizan macroalgas y mariscos para ayudar a atraer dióxido de carbono y a amortiguar la acidez de los océanos, produciendo a la par cosechas viables.^[105]

A nivel mundial, anualmente se cultivan y cosechan alrededor de 12 millones de toneladas de algas marinas; produciendo China alrededor de tres cuartas partes de la oferta total. Las algas marinas se desarrollan muy rápidamente, a tasas de crecimiento 30 veces mayores que las plantas cultivadas en tierra.

Aumentar las tasas de producción de algas marinas a través de la forestación oceánica con macroalgas (OMA)^[50] a lo largo de áreas extensas, tiene el potencial de reducir las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono, reducir la acidificación de los océanos y mejorar las poblaciones de peces.

También se están utilizando innovadores sistemas acuapónicos terrestres^[202] para cerrar los ciclos de nutrientes, reducir los requisitos de uso de agua para las cosechas, eliminar los efluentes en los arroyos y generar volúmenes significativos de producción sin utilizar plaguicidas.

La acuaponía es un sistema para la producción de alimentos que utiliza la acuicultura y la hidroponía para cultivar peces y cosechas sin tierra. Se trata de un ciclo simbiótico entre los peces y las plantas que resulta económico. Se utilizan los residuos de los peces (amoníaco) para alimentar las camas de las plantas, que actúan como bio-filtro y absorben el nitrato que es esencial para el cultivo de las plantas. El agua recién renovada se regresa al recinto donde se encuentran los peces para volver a iniciar el ciclo o bien se transpira a través de las plantas como una descarga limpia.^[9]

Mientras que los ecosistemas acuáticos en equilibrio son asombrosamente resilientes y productivos, la contaminación, las demandas de la población humana y el cambio climático representan una amenaza para ese equili-

LA INDUSTRIA DE PRODUCTOS DEL MAR A NIVEL GLOBAL, ADEMÁS DEL SUSTENTO Y LA SUPERVIVENCIA DE MILLONES DE PESCADORES ARTESANALES Y DE COMUNIDADES QUE DEPENDEN DE LOS PRODUCTOS DEL MAR, SE ENCUENTRAN FRENTE A UNA ENCRUCIJADA.

brio y están poniendo en riesgo el crecimiento sostenible tanto en la acuicultura como en la producción pesquera silvestre a nivel mundial. Muchos ríos y ambientes costeros de manera urgente necesitan que se les restaure.

Tanto la industria marisquera global como el sustento y la supervivencia de millones de pescadores artesanales y de las comunidades que dependen de los mariscos, se encuentran ante una encrucijada. La situación exige acción global inmediata y la priorización de los recursos, así como la aceptación de que vivimos en un mundo precario en el cual no es una opción seguir como de costumbre.

REFERENCIAS

- [1] ABC Report. "Prawns carrying white spot virus discovered in Queensland supermarkets" <https://www.abc.net.au/news/2018-07-02/prawns-carrying-white-spot-discovered-in-queensland-supermarkets/9914610>
- [2] Agatz, Annika et al., (2014) Imidacloprid perturbs feeding of *Gammarus pulex* at environmentally relevant concentrations, *Environmental Toxicology and Chemistry* 33(3) DOI 10.1002/etc.2480
- [3] Ahrens, Lutz et al., Source tracking and impact of per and polyfluoroalkyl substances at Svalbard – FluoroImpact – *Department of Aquatic Sciences and Assessment, Swedish University of Agricultural Sciences April 2016*. <https://www.syssemmannen.no/globalassets/svalbards-miljogvern-fond-dokument/prosjekter/rapporter/2016/14-103-slutrapport.pdf>
- [4] Akoto, Osei et al., Pesticide residues in water, sediment and fish from Tono Reservoir and their health risk implications. *SpringerPlus* vol. 5,1 1849. 22 Oct. 2016, doi:10.1186/s40064-016-3544-z
- [5] Alava J.J. et al., Projected amplification of food web bioaccumulation of MeHg and PCBs under climate change in the Northeastern Pacific. *Sci Rep.* 2018;8(1):13460. doi:10.1038/s41598-018-31824-5
- [6] Ali Abdulameer Al-Badran et al., Effects of insecticides, fipronil and imidacloprid, on the growth, survival, and behavior of brown shrimp *Farfantepenaeus aztecus* *PLOS ONE* October 10, 2019 <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0223641>
- [7] Anderson, J.C. et al., (2015) Neonicotinoids in the Canadian aquatic environment: A literature review on current use products with a focus on fate, exposure, and biological effects, *Science of The Total Environment*, Vol. 505, doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.09.090.
- [8] Annunziato, K., et al., Subtle morphometric, behavioral and gene expression effects in larval zebrafish exposed to PFHxA, PFHxS and 6:2 FTOH, *Aquatic Toxicology*, Vol. 208, 2019 DOI: 10.1016/j.aquatox.2019.01.009
- [9] Aquaponics Food Production Systems Combined Aquaculture and Hydroponic Production *Technologies for the Future*, Eds Simon Goddek et al., <https://doi.org/10.1007/978-3-030-15943-6>
- [10] ARC, Emerging Environmental Concern in Auckland's Aquatic Sediments. ARC Technical Report 2009/021. Prepared by National Institute of Water and Atmosphere for Auckland Regional Council, Auckland https://www.researchgate.net/publication/256498161_Field_Analysis_of_Chemicals_of_Emerging_Environmental_Concern_in_Auckland%27s_Aquatic_Sediments_Prepared_by_NIWA_for_Auckland_Regional_Council_Auckland_Regional_Council_Technical_Report_2009021
- [11] Ashauer R, et al., (2017) Toxic Mixtures in Time-The Sequence Makes the Poison. *Environ Sci Technol.* Mar 7;51(5):3084-3092. doi: 10.1021/acs.est.6b01613.
- [12] Auber et al., (2011). Structural and functional effects of conventional and low pesticide input crop-protection programs on benthic macroinvertebrate communities in outdoor pond mesocosms. *Ecotoxicology (London, England)*. 20. 2042-55. 10.1007/s10646-011-0747-5.
- [13] Aus der Beek T. et al., Pharmaceuticals in the environment-Global occurrences and perspectives. *Environ Toxicol Chem.* 2016 Apr;35(4):823-35. doi: 10.1002/etc.3339.
- [14] Avio, C. G. et al., (2015) Pollutants bioavailability and toxicological risk from microplastics to marine mussels. *Environmental Pollution* 198 211-222 DOI: 10.1016/j.envpol.2014.12.021
- [15] Bakir A. et al. (2014) Transport of persistent organic pollutants by microplastics in estuarine conditions, *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 140
- [16] Barni M.F.S et al., (2016) Persistent organic pollutants (POPs) in fish with different feeding habits inhabiting a shallow lake ecosystem. *Sci Total Environ.* 15;550:900-909. doi:10.1016/j.scitotenv.2016.01.176.

- [17] Barton A. et al., The Pacific oyster, *Crassostrea gigas*, shows negative correlation to naturally elevated carbon dioxide levels: Implications for near-term ocean acidification effects. *Limnol. Oceanogr.*, 57(3), 2012, 698–710 doi:10.4319/lo.2012.57.3.0698
- [18] Besseling, E. et al., (2014) Nanoplastic Affects Growth of *S. obliquus* and Reproduction of *D. magna*. *Environmental Science and Technology* 48(20):12336-12343 DOI 10.1021/es503001d
- [19] Bigot, M. et al., (2016) Air–Seawater Exchange of Organochlorine Pesticides in the Southern Ocean between Australia and Antarctica. *Environ. Sci. Technol.* 50(15) 8001–8009 DOI: 10.1021/acs.est.6b01970
- [20] Björlenius, Berndt et al., Pharmaceutical residues are widespread in Baltic Sea coastal and offshore waters – Screening for pharmaceuticals and modelling of environmental concentrations of carbamazepine. *Science of The Total Environment Volume 633, 15 August 2018, 1496–1509.* <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.276>
- [21] Blanchfield P. et al., Recovery of a Wild Fish Population from Whole-Lake Additions of a Synthetic Estrogen. *Environ. Sci. Technol.* 2015,49,5 pp. 3136–3144, <https://doi.org/10.1021/es5060513>
- [22] Blazer V. S. et al., Intersex (Testicular Oocytes) in Smallmouth Bass from the Potomac River and Selected Nearby Drainages], Vol. 19, Issue 4, December 2007, pp. 242–253, <https://doi.org/10.1577/H07-031.1>
- [23] Boschen R.E. et al., (2013) Mining of deep-sea sea floor massive sulfides: A review of the deposits, their benthic communities, impacts from mining, regulatory frameworks and management strategies. *Ocean & Coastal Management. Vol. 84*, pp. 54–67.
- [24] Bottoni, P et al., (2010) Pharmaceuticals as priority water contaminants, *Toxicological & Environmental Chemistry*, 92:3, pp. 549–565, DOI: 10.1080/02772241003614320
- [25] Brandt, A. et al., The neonicotinoids thiacloprid, imidacloprid, and clothianidin affect the immunocompetence of honey bees (*Apis mellifera* L.). *Journal of Insect Physiology Vol. 86, March 2016*, pp. 40–47 doi: 10.1016/j.jinsphys.2016.01.001
- [26] Bråte, I. L. N. et al., (2017) Micro-and macro-plastics in marine species from Nordic waters. *Nordic Council of Ministers. (TemaNord; No.2017:549)*. DOI: 10.6027/TN2017-549
- [27] Braun, M. et al., Pesticides and antibiotics in permanent rice, alternating rice-shrimp and permanent shrimp systems of the coastal Mekong Delta, *Vietnam Environment International, Vol. 127, June 2019*, pp. 442–451, <https://doi.org/10.1016/j.envint.2019.03.038>
- [28] Breitburg D. et al., (2018) Declining oxygen in the global ocean and coastal waters, *Science, Vol. 359*, Issue 6371, DOI: 10.1126/science.aam7240
- [29] Brette, Fabien et al., A Novel Cardiotoxic Mechanism for a Pervasive Global Pollutant. *Scientific Reports* 7:41476, DOI: 10.1038/srep41476
- [30] Broadhurst C.L. et al., Rift Valley lake fish and shellfish provided brain-specific nutrition for early Homo. *British Journal of Nutrition, 1998 Jan;79(1):3-21*.
- [31] Browde, Joan A. et al., (1993) A major developmental defect observed in several Biscayne Bay, Florida, fish species, *Environmental Biology of Fishes* 37: 181–188, DOI: 10.1007/BF00000593
- [32] Brown D.R. et al., (2016) Developmental exposure to a complex PAH mixture causes persistent behavioral effects in naive *Fundulus heteroclitus* (killifish) but not in a population of PAH-adapted killifish *Neurotoxicol Teratol.* pp. 53: 55–63, DOI: 10.1016/j.ntt.2015.10.007
- [33] Butcherine, Peter et al., (2018). The risk of neonicotinoid exposure to shrimp aquaculture. *Chemosphere* 217:329–348. DOI:10.1016/j.chemosphere.2018.10.197
- [34] Carbery M. et al., Trophic transfer of microplastics and mixed contaminants in the marine food web and implications for human health. *Environ Int.* 2018 Jun;115:400–409. DOI:10.1016/j.envint.2018.03.007
- [35] Caris, M.G. et al., Expression of viral hemorrhagic septicemia virus in prespawning Pacific herring (*Clupea pallasii*) exposed to weathered crude oil, *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 55 (10). DOI: 10.1139/cjfas-55-10-2300

- [36] Carnevali O. et al., Endocrine-disrupting chemicals in aquatic environment: what are the risks for fish gametes? *Fish Physiol Biochem.* 2018 Dec;44(6):1561-1576. DOI: 10.1007/s10695-018-0507-z
- [37] Caroline Gaus et al., National Research Centre for Environmental Toxicology, Final Report Investigation Of Contaminant Levels In Green Turtles From Gladstone, 31 March 2012. Available at <https://espace.library.uq.edu.au/view/UQ:344347>
- [38] Chae, Y., et al., (2018) Trophic transfer and individual impact of nano-sized polystyrene in a four-species freshwater food chain, *Scientific Reports* 8(1):284. DOI:10.1038/s41598-017-18849-y
- [39] Chang-Bum Jeong et al., (2017) Adverse effects of microplastics and oxidative stress-induced MAPK/Nrf2 pathway-mediated defense mechanisms in the marine copepod (*Paracyclopsina nana*). *Scientific Reports volume 7*, Article number: 41323. DOI:10.1038/srep41323
- [40] Chen, J. et al., Early life perfluorooctanesulphonic acid (PFOS) exposure impairs zebrafish organogenesis, *Aquatic Toxicology*, Vol. 150, 2014. DOI: 10.1016/j.aquatox.2014.03.005
- [41] Chen, Y. & Reese D.H. (2016), Corexit-EC9527A Disrupts Retinol Signaling and Neuronal Differentiation in P19 Embryonal Pluripotent Cells, *PLoS One.* 2016; 11(9): e0163724. DOI: 10.1371/journal.pone.0163724
- [42] Chopin, T., Aquaculture, Integrated Multi-Trophic (IMTA), *Encyclopedia of Sustainability Science and Technology Chapter: Aquaculture*, Integrated Multi-Trophic (IMTA). Publisher: Springer, Dordrecht Editors: R.A. Meyers. DOI: 10.1007/978-1-4614-5797-8_173s
- [43] Christiansen, Bernd et al., Potential effects of deep seabed mining on pelagic and benthopelagic biota, *Marine Policy*, <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2019.02.014>
- [44] Convention on Biological Diversity (2014). An Updated Synthesis of the Impacts of Ocean Acidification on Marine Biodiversity (Eds: S. Hennige, J.M. Roberts & P. Williamson). Montreal, *Technical Series No. 75*, p. 99. <https://www.cbd.int/doc/publications/cbd-ts-75-en.pdf>
- [45] Costa, L.G. et al., (2007) Developmental neurotoxicity of polybrominated diphenyl ether (PBDE) flame retardants, *NeuroToxicology* 28(6):1047-1067. DOI:10.1016/j.neuro.2007.08.007
- [46] Couch, John A. and Courtney, L. Interaction of chemical pollutants and virus in a crustacean: a novel bioassay system, *1977 Report for Gulf Breeze Environmental Research Laboratory*, United States Environmental Protection Agency Sabine Island. Gulf Breeze, Florida 32561
- [47] Cuyvers, Luc et al., Deep seabed mining: a rising environmental challenge, IUCN, *Global Marine and Polar Programme*, 2018, DOI: 10.2305/IUCN.CH.2018.16.en
- [48] Danovaro, R. et al., (2008), Sunscreens Cause Coral Bleaching by Promoting Viral Infections, *Environ Health Perspect.* 116(4): 441-447. DOI: 10.1289/ehp.10966
- [49] Day R.D. et al., (2007) Relationship of Blood Mercury Levels to Health Parameters in the Loggerhead Sea Turtle (*Caretta caretta*), *Environ Health Perspect.* 115(10): 1421-1428. DOI: 10.1289/ehp.9918
- [50] De Ramon N'Yeurt et al., (2012), Negative Carbon Via Ocean Afforestation. *Process Safety and Environmental Protection.* 90. Pp. 467-474. DOI: 10.1016/j.psep.2012.10.008
- [51] De Wit, Cynthia et al., (2005), Effects of Persistent Organic Pollutants (POPs) in Arctic Wildlife. *Organohalogen Compounds Vol. 67*. <https://pdfs.semanticscholar.org/9488/7756c4c2bf2641fcee-7d6a14f61e91def301.pdf>
- [52] Dennis, M. et al., (2016), Pathology of finfish and mud crabs *Scylla serrata* during a mortality event associated with a harbor development project in Port Curtis, Australia, *Dis Aquat Org* 121: 173-188. DOI: 10.3354/dao03011
- [53] Devriese L.I. et al., (2015), Microplastic contamination in brown shrimp (*Crangon crangon*, Linnaeus 1758) from coastal waters of the Southern North Sea and Channel area. *Mar Pollut Bull.* 15:98(1-2):179-87. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2015.06.051.
- [54] Dietrich, J.P. et al., Toxicity of PHOS-CHEK LC-95A and 259F fire retardants to ocean- and stream-type Chinook salmon and their potential to recover before seawater entry. *Science of the Total Environment* 490 (2014) 610-621. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.05.038

- [55] Dijkstra J.A. et al., Experimental and natural warming elevates mercury concentrations in estuarine fish. *PLOS One*. 2013;8(3):e58401. DOI: 10.1371/journal.pone.0058401
- [56] Dixon, Danielle L., Ocean Acidification Effects Fish Behavior and Survival as a Consequence of Impaired Chemoreception, September 2011, Conference: American Fisheries Society 140th Annual Meeting https://www.researchgate.net/publication/267876820_Ocean_Acidification_Effects_Fish_Behavior_and_Survival_as_a_Consequence_of_Impaired_Chemoreception
- [57] Dold, Bernhard (2014) Submarine Tailings Disposal (STD) - A Review. *Minerals* 4, 642-666. DOI:10.3390/min4030642
- [58] Doo, S. S., Hamylton, S. & Byrne, M. (2012), Reef-scale assessment of intertidal large benthic foraminifera populations on one tree Island, great barrier reef and their future carbonate production potential in a warming ocean. *Zoological Studies*, 51 (8), 1298-1307
- [59] Downs, C.A. et al., (2016), Toxicopathological Effects of the Sunscreen UV Filter, Oxybenzone (Benzophenone-3), on Coral Planulae and Cultured Primary Cells and Its Environmental Contamination in Hawaii and the U.S. Virgin Islands Arch. Environ. Contam. Toxicol. 70: 265. <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0227-7>
- [60] Duke N.C. et al., Large-scale dieback of mangroves in Australia, 2017, *Marine and Freshwater Research* 68(10):1816-1829. DOI:10.1071/MF16322
- [61] Duke, N.C. et al., Herbicides implicated as the cause of severe mangrove dieback in the Mackay region, NE Australia: consequences for marine plant habitats of the GBR World Heritage Area, *Marine Pollution Bulletin* 51 (2005) 308-324. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15757730>
- [62] Edyvane, K. (1995), Issues in the South Australian Marine Environment, State of the Marine Environment Report for Australia. South Australia Research & Development Institute, eLibrary. gbrmpa.gov.au
- [63] Environment America Research & Policy Center, Wasting Our Waterways 2012. Toxic Industrial Pollution and the Unfulfilled Promise of the Clean Water Act. May 2012, <https://environmentamerica.org/sites/environment/files/reports/Wasting%20Our%20Waterways%20vUS.pdf>
- [64] *Environment Australia, National Ocean Disposal Guidelines for Dredged Material May 2002*, Commonwealth of Australia, <https://www.environment.gov.au/marine/publications/national-assessment-guidelines-dredging-2009>
- [65] EPA Victoria, PFAS National Environmental Management Plan January 2018, http://www.epa.vic.gov.au/-/media/Files/Your%20environment/Land%20and%20groundwater/PFAS%20in%20Victoria/PFAS%20NEMP/FINAL_PFAS-NEMP-20180110.pdf
- [66] European Environment Agency, EEA Report No 7/2018, European waters, Assessment of status and pressures. 2018 ISSN 1977-8449, <https://www.eea.europa.eu/themes/water/european-waters/water-quality-and-water-assessment/water-assessments/eea-2018-water-assessment>
- [67] Faira P.A. et al., Perfluoroalkyl substances (PFASs) in edible fish species from Charleston Harbor and tributaries, South Carolina, United States: Exposure and risk assessment. *Environmental Research Vol.171, April 2019*, 266-277
- [68] FAO, 2017. FAO Yearbook. Fishery and Aquaculture Statistics. 2015. Food and Agriculture Organization of the United Nations <http://www.fao.org/fishery/statistics/yearbook/en>
- [69] FAO, 2018. GLOBEFISH Highlights. A Quarterly Update on World Seafood Markets. January 2018 Issue, with Jan-Sept 2017 Statistics. Food and Agriculture Organization of the United Nations <http://www.fao.org>
- [70] FAO, 2018. The State of World Fisheries and Aquaculture. Meeting the Sustainable Development Goals. Food and Agriculture Organization of the United Nation, <http://www.fao.org/documents/card/en/c/19540EN/>
- [71] FAO Impacts of climate change on fisheries and aquaculture, Synthesis of current knowledge, adaptation and mitigation options, FAO Fisheries And Aquaculture Technical Paper ISSN 2070-7010627; <http://www.fao.org/3/I9705EN/I9705en.pdf>

- [72] Flint M. et al., (2015), Clinical and Pathological Findings in Green Turtles (*Chelonia mydas*) from Gladstone, Queensland: Investigations of a Stranding Epidemic. *Ecohealth*. 12(2):298-309. DOI: 10.1007/s10393-014-0972-5
- [73] Flint, M. et al., Monitoring the health of green turtles in northern Queensland post catastrophic events. *Science of The Total Environment*, 2019; 660: 586. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2019.01.065
- [74] Fossberg J. et al., (2018), The Potential for Upscaling Kelp (*Saccharina latissima*) Cultivation in Salmon-Driven Integrated Multi-Trophic Aquaculture (IMTA). *Front. Mar. Sci.* 5:418. DOI: 10.3389/fmars.2018.00418
- [75] Fossi, M.C. et al., (2012), Are baleen whales exposed to the threat of microplastics? A case study of the Mediterranean fin whale (*Balaenoptera physalus*), *Marine Pollution Bulletin Vol. 64, Issue 11*, 2374–2379. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.08.013.
- [76] Gallo, F. et al., Marine litter plastics and microplastics and their toxic chemicals components: the need for urgent preventive measures, *Environ. Sci. Eur.* (2018), 30:13, <https://doi.org/10.1186/s12302-018-0139-z>
- [77] Galloway, T.S. and Depledge, M.H., Immunotoxicity in Invertebrates: Measurement and Ecotoxicological Relevance: *Ecotoxicology Vol. 10*, no. 1, pp. 5-23. Feb 2001. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11227817>
- [78] Gardner, J., et al., (2018) Southern Ocean pteropods at risk from ocean warming and acidification, *Mar Biol.*165(1):8. DOI: 10.1007/s00227-017-3261-3
- [79] GESAMP (2015). Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment. (Kershaw, P. J., ed.). (IMO/FAO/UNESCO-IOC/UNIDO/WMO/LAEA/UN/NEP/UNDP Joint Group of Experts on, Rep. Stud. GESAMP No. 90, 96 p.
- [80] Gibbons, David et al., (2014). A review of the direct and indirect effects of neonicotinoids and fipronil on vertebrate wildlife. *Env. Science & Pollution Research International*. 22. 10. DOI: 1007/s11356-014-3180-5.
- [81] Giddings J.M. et al., (2014), Risks to Aquatic Organisms from Use of Chlorpyrifos in the United States. In: Giesy J., Solomon K. (eds), *Ecological Risk Assessment for Chlorpyrifos in Terrestrial and Aquatic Systems in the United States. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology (Continuation of Residue Reviews), Vol 231*. Springer, Cham
- [82] Gonçalves, Bruno Bastos et al., *Ecotoxicology of Glyphosate-Based Herbicides on Aquatic Environment*, 2019 ONLINE FIRST. DOI:0.5772/intechopen.85157
- [83] Goudkamp, K. and Chin, A., June 2006, "Mangroves and Saltmarshes" in Chin, A. (ed) *The State of the Great Barrier Reef On-line*, Great Barrier Reef Marine Park Authority, Townsville. http://www.gbrmpa.gov.au/publications/sort/mangroves_saltmarshes
- [84] Guo, F. et al., (2012) Acute and Chronic Toxicity of Polychlorinated Biphenyl 126 to *Tigriopus Japonicus*: Effects on Survival, Growth, Reproduction and Intrinsic Rate of Population Growth; *Environmental Toxicology and Chemistry, Vol. 31*, No. 3, pp. 639–645. DOI: 10.1002/etc.1728
- [85] Hale, R.C. et al., (2003), Polybrominated diphenyl ether flame retardants in the North American environment. *Environ Int* 29:771-779, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12850095>
- [86] Halstead N.T. et al., (2015), Comparative toxicities of organophosphate and pyrethroid insecticides to aquatic macroarthropods, *Chemosphere* 135:265-271. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2015.03.091
- [87] Hamdan, Leila J. et al., (2018), The impact of the Deepwater Horizon blowout on historic shipwreck-associated sediment microbiomes in the northern Gulf of Mexico. *Scientific Reports Vol. 8*, Article: 9057 <https://www.nature.com/articles/s41598-018-27350-z>
- [88] Hano, Takeshi et al., Occurrence of neonicotinoids and fipronil in estuaries and their potential risks to aquatic invertebrates, *Environmental Pollution* 252 (2019) 205-215, *Environmental Pollution* 252(Pt A). DOI: 10.1016/j.envpol.2019.05.067
- [89] Hayes T.B. et al., Demasculinization and feminization of male gonads by atrazine: Consistent effects across vertebrate classes, *The Journal of Steroid Biochemistry and Molecular Biology, Vol. 127*, Issues 1–2, 2011. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2011.03.015

- [90] Hertzberg, Richie, "California's disappearing sea snails carry a grim climate warning", <https://www.nationalgeographic.com/environment/2019/08/red-abalone-closure-kelp-die-off-documentary-environment/>
- [91] Herzke D. et al., (2005), Brominated flame retardants and other organobromines in Norwegian predatory bird eggs. *Chemosphere* 61: 441-449. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.01.066
- [92] Higgins CP, Field JA, Criddle CS, & Luthy RG., (2005), Quantitative determination of perfluorochemicals in sediments and domestic sludge. *Environ Sci Technol. June 1;39 (11):3946-56*, <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15984769>
- [93] Hook S. et al., (2018), The impacts of modern-use pesticides on shrimp aquaculture: An assessment for north eastern Australia, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, Vol. 148, doi. org/10.1016/j.ecoenv.2017.11.028.
- [94] http://ntp.niehs.nih.gov/ntp/about_ntp/monopeer/vw/2016/july/draftsystematicreviewimmunotoxicityassociatedpfoa_pfos_508.pdf.
- [95] <http://www.antarctica.gov.au/news/2010/krill-face-deadly-cost-of-ocean-acidification>
- [96] <http://www.defence.gov.au/Environment/PFAS/docs/Albatross/Reports/20171116HMASAlbatrossHHERAFullReport.pdf>
- [97] <http://www.enr.gov.nt.ca/files/polycyclic-aromatic-hydrocarbons-pahs-fact-sheet>
- [98] http://www.hc-sc.gc.ca/ewh-semt/pubs/contaminants/mercur/q47-q56_e.html
- [99] <http://www.oecd.org/chemicalsafety/portal-perfluorinated-chemicals/>
- [100] https://aces.nmsu.edu/pubs/_circulars/CR647/welcome.html
- [101] <https://environmentamerica.org/sites/environment/files/reports/Wasting%20Our%20Waterways%20vUS.pdf>
- [102] <https://sustainabledevelopment.un.org/topics/chemicalsandwaste>
- [103] https://usrtk.org/wp-content/uploads/2018/05/NTP_GBF-paper.pdf
- [104] <https://www.drawdown.org/solutions/food/regenerative-agriculture>
- [105] <https://www.greenwave.org>
- [106] https://www.ospar.org/site/assets/files/7413/ospar_assessment_sheet_cemp_imposex_2014.pdf
- [107] <https://www.statista.com/statistics/272157/chemical-production-forecast-worldwide/>
- [108] <https://www.theguardian.com/travel/2018/may/03/hawaii-becomes-first-us-state-to-ban-sunscreen-harmful-to-coral-reefs>
- [109] Hughes, D. J. et al., (2015), Ecological impacts of large-scale disposal of mining waste in the deep sea *Scientific Reports* 5:9985. DOI: 10.1038/srep09985
- [110] IARC Monographs, Some organophosphate and insecticides and herbicides, Vol. 112 2017. <https://monographs.iarc.fr/wp-content/uploads/2018/07/mono112.pdf>
- [111] IPCC, 2019: Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner et al., (eds.)]. <https://www.ipcc.ch/srocc/home/>
- [112] *IPEN Global Mercury Hotspots*. A Publication by the Biodiversity Research Institute and IPEN Updated: October 2014, <https://ipen.org/dummy/hgmonitoring>
- [113] IPEN Mercury monitoring in women of child-bearing age in Asia and the Pacific Region April 2017, Lee Bell, IPEN Mercury Adviser, <https://ipen.org/Mercury-Monitoring-in-Women>
- [114] Jamieson, A.J. et al., (2017), Bioaccumulation of persistent organic pollutants in the deepest ocean fauna. *Nature Ecology & Evolution* 1, 0051. DOI: 10.1038/s41559-016-0051, www.nature.com/natecolevol

- [115] Jantzen, C. E. et al., Behavioral, morphometric, and gene expression effects in adult zebrafish (*Danio rerio*) embryonically exposed to PFOA, PFOS, and PFNA, *Aquatic Toxicology*, Volume 180, 2016
- [116] Jessup, D.A. et al., (2010), Persistent organic pollutants in the blood of free-ranging sea otters (*Enhydra lutris*ssp.) in Alaska and California. *J. Wildlife Dis* 46(4):1214-33. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20966272>
- [117] Johnson, L., et al., (2013), Effects of Legacy Persistent Organic Pollutants (POPs) in Fish-Current and Future Challenges, *Fish Physiology* 33:53-140. DOI: 10.1016/B978-0-12-398254-4.00002-9
- [118] Kefford, B.J. et al., (2014), Biomonitoring effects of pesticides in rivers draining on to the Great Barrier Reef. Final report for project number RRRD058: A novel biological method of monitoring herbicides. Report to the Reef Rescue Water Quality Research & Development Program. Reef and Rainforest Research Centre Limited, Cairns (109pp.). ISBN: 978-1-925088-18-2
- [119] Keiter, S., et al., (2012), Long-term effects of a binary mixture of perfluorooctane sulfonate (PFOS) and bisphenol A (BPA) in zebrafish (*Danio rerio*). *Aquatic toxicology (Amsterdam, Netherlands)* 118-119:116-29
- [120] Kelly, D. et al., (2009), Trematode infection causes malformations and population effects in a declining New Zealand fish. *Journal of Animal Ecology*. 79(2):445-52. DOI: 10.1111/j.1365-2656.2009.01636.x
- [121] Kelly, D. W. et al., (2010), Synergistic effects of glyphosate formulation and parasite infection on fish malformations and survival. *Journal of Applied Ecology*, 47: 498-504. DOI: 10.1111/j.1365-2664.2010.01791.x
- [122] Kelly, D.W. et al., Synergistic effects of glyphosate formulation and parasite infection on fish malformations and survival, *Journal of Applied Ecology*, Vol. 47: 2 April 2010, pp. 498-504, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01791.x>
- [123] Khezri, A. et al., A Mixture of Persistent Organic Pollutants and Perfluorooctanesulfonic Acid Induces Similar Behavioral Responses, but Different Gene Expression Profiles in Zebrafish Larvae. *Int. J. Mol. Sci.* 2017, 18, 291. DOI: 10.3390/ijms18020291
- [124] Kidd, K. A. et al., (2014), Direct and indirect responses of a freshwater food web to a potent synthetic oestrogen. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.* 2014, Nov 19;369(1656). pii: 20130578. DOI: 10.1098/rstb.2013.0578.
- [125] Kidd, K. et al., (2007). Collapse of a Fish Population After Exposure to a Synthetic Estrogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 104. 8897-901. DOI: 10.1073/pnas.0609568104.
- [126] King, J., et al., (2013), Regulation of pesticides in Australia: The Great Barrier Reef as a case study for evaluating effectiveness, *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 180, 54-67 DOI: 10.1016/j.agee.2012.07.001
- [127] Knudsen L.B. et al., Temporal trends of brominated flame retardants, cyclododeca-1,5,9-triene, and mercury in eggs of four seabird species from Northern Norway and Svalbard, Norwegian Polar Institute, Tromsø University Museum, National Veterinary Institute of Norway, Norwegian School of Veterinary Science. SPFO-Report 942/2005, December 2005, <https://www.semanticscholar.org/paper/Temporal-trends-of-brominated-flame-retardants%2C-and-Knudsen-Gabriel-sen/ceafc9156af75c64fa299f8b434abb4da29da8dd>
- [128] Kroon, F.J., et al., (2015), Altered transcription levels of endocrine associated genes in two fisheries species collected from the Great Barrier Reef catchment and lagoon, *Marine Environmental Research* 104C:51-61. DOI: 10.1016/j.marenvres.2015.01.00
- [129] Labrie, L. et al., (2003), Effect of methyl parathion on the susceptibility of shrimp *Litopenaeus vannamei* to experimental vibriosis. *Dis. Aquat. Org.* 57 (3), 265-270. DOI: 10.3354/dao057265
- [130] Lagarde, Fabien et al., (2015), Non-monotonic dose-response relationships and endocrine disruptors: a qualitative method of assessment. *Environ Health* 2015 Feb 11;14:13. DOI: 10.1186/1476-069X-14-13.

- [131] Lewis S.E. et al., (2009), Herbicides: A new threat to the Great Barrier Reef, *Environmental Pollution* 157 2470-2484. DOI: 10.1016/j.envpol.2009.03.006
- [132] Li L. et al., (2018), Perfluoroalkyl acids in surface seawater from the North Pacific to the Arctic Ocean: Contamination, distribution and transportation. *Environ Pollut.* 16;238:168-176. DOI: 10.1016/j.envpol.2018.03.018.
- [133] Lin Sun P. et al., Morphological Deformities as Biomarkers in Fish from Contaminated Rivers in Taiwan. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2009, 6, 2307-2331. DOI: 10.3390/ijerph6082307
- [134] Lin Zhu et al., Microplastic ingestion in deep-sea fish from the South China Sea. *Science of The Total Environment Volume 677*, 10 August 2019, pp. 493-501. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.04.380>
- [135] Li-Peng Zhang et al., Levels of endocrine disrupting compounds in South China Sea, *Marine Pollution Bulletin, Volume 85*, Issue 2, 2014. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2013.12.040
- [136] Liu, Y. et al., (2018), Nontarget Mass Spectrometry Reveals New Perfluoroalkyl Substances in Fish from the Yangtze River and Tangxun Lake, *China Environ. Sci. Technol.* DOI: 10.1021/acs.est.8b00779
- [137] Liu, Y. et al., (2016) Uptake and Accumulation of Polystyrene Microplastics in Zebrafish (*Danio rerio*) and Toxic Effects in Liver. *Environ. Sci. Technol.*, 50(7): 4054-4060.
- [138] Luna-Acosta, A. et al., Detection of early effects of a single herbicide (diuron) and a mix of herbicides and pharmaceuticals (diuron, isoproturon, ibuprofen) on immunological parameters of Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) spat. *Chemosphere, Volume 87, Issue 11, 2012*
- [139] Lusher, A. and Mendoza-Hill, J. Microplastics in fisheries and aquaculture Status of knowledge on their occurrence and implications for aquatic organisms and food safety, *FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper* 615, Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome, 2017
- [140] Lusher, A. et al., (2013), Occurrence of microplastics in the gastrointestinal tract of pelagic and demersal fish from the English Channel, *Marine Pollution Bulletin, Vol. 67*, Issues 1-2, 2013. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2012.11.028
- [141] Lyche, Jan L. et al., (2010), Natural Mixtures of Persistent Organic Pollutants (POP) Increase Weight Gain, Advance Puberty, and Induce Changes in Gene Expression Associated with Steroid Hormones and Obesity in Female Zebrafish, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 73:15, 1032-1057. DOI: 10.1080/15287394.2010.481618
- [142] Maloney, E. M., et al., (2017), Cumulative toxicity of neonicotinoid insecticide mixtures to *Chironomus dilutus* under acute exposure scenarios. *Environ. Toxicol. Chem.*, 36: 3091-3101. DOI: 10.1002/etc.3878
- [143] Markham, E. et al., (2018), Time Trends of Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in *Antarctic Biota ACS Omega*, 3 (6), pp. 6595-6604. DOI: 10.1021/acsomega.8b00440
- [144] Marlise Guerrero Schimpf, et al., (2017), Neonatal exposure to a glyphosate based herbicide alters the development of the rat uterus, *Toxicology*, 1;376:2-14. DOI: 10.1016/j.tox.2016.06.004.
- [145] Maryoung L.A. et al., Sublethal toxicity of chlorpyrifos to salmonid olfaction after hypersaline acclimation. *Aquat. Toxicol.* 2015 Apr;161:94-101. DOI: 10.1016/j.aquatox.2015.01.026..
- [146] Masashi Hirano et al., (2009), Effects of environmentally relevant concentrations of nonylphenol on growth and 20-hydroxyecdysone levels in mysid crustacean, *Americamysis bahia*, *Comparative Biochemistry and Physiology Part C: Toxicology & Pharmacology*, 149(3):368-73. DOI: 10.1016/j.cbpc.2008.09.005
- [147] Matthew Savoca et al., (2016), Marine plastic debris emits a keystone infochemical for olfactory foraging seabirds. *Science Advances; Vol. 2*, no. 11, e1600395. DOI: 10.1126/sciadv.1600395
- [148] Mercurio P. et al., (2014), Glyphosate persistence in seawater, *Marine Pollution Bulletin, Vol. 85*, Issue 2, 385-390. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2014.01.021>
- [149] Milazzo, M. et al., 2016, Ocean acidification affects fish spawning but not paternity at CO₂ seeps. *Proc. R. Soc. B*283:20161021. <http://dx.doi.org/10.1098/rspb.2016.1021>

- [150] Milesi, M., et al., Perinatal exposure to a glyphosate-based herbicide impairs female reproductive outcomes and induces second-generation adverse effects in Wistar rats. *Archives of Toxicology August 2018*, Volume 92, Issue 8, pp 2629–2643. <https://link.springer.com/article/10.1007/s00204-018-2236-6>
- [151] Mingxin Wang et al., (2017), Short-term toxicity of polystyrene microplastics on mysid shrimps *Neomysis japonica* IOP Conf. Ser.: *Earth Environ. Sci.*61 012136
- [152] Mishra B.P. et al., Bioclinical stress of Rogor pesticide in the fish *Amphipnous cuchia*. *Int J Clin Trials*. 2016 Aug;3(3):159-164. <http://www.ijclinicaltrials.com>
- [153] Mitchell, F. and Holdway, D., (2000), The Acute and Chronic Toxicity of the Dispersants Corexit 9527 and 9500, Water Accommodated Fraction (WAF) of Crude Oil, And Dispersant Enhanced Waf (DEWAF) To Hydra Viridissima (Green Hydra). *Wat. Res. Vol. 34*, No. 1, pp. 343-348. DOI: 10.1016/S0043-1354(99)00144-X
- [154] Moche, W. and Thanner G., Federal Environment Agency of Austria, Vienna, Austria. Levels of PBDE in effluents and sludge from sewage treatment plants in Austria. Brominated Diphenyl Ether (BDE) Residues in Canadian Human Fetal Liver and Placenta. *Third International Workshop on Brominated Flame Retardants, University of Toronto, Ontario, Canada, June 6-9, 2004*
- [155] Morello, E.B. et al., (2016), The Ecological Impacts of Submarine Tailings Placement. *Oceanography and Marine Biology: An Annual Review*, 54, 315-366. DOI: 10.1201/9781315368597-7
- [156] Muir, Derek et al., Bioaccumulation of pharmaceuticals and personal care product chemicals in fish exposed to wastewater effluent in an urban wetland. *Scientific Reports* 7(1). DOI: 10.1038/s41598-017-15462-x
- [157] Muncaster S.P. et al., (2016), Effects of MV Rena heavy fuel oil and dispersed oil on yellowtail kingfish early life stages, *New Zealand Journal of Marine and Freshwater Research*, 50:1, 131-143. DOI: 10.1080/00288330.2015.1078821
- [158] Murawski S. et al., (2014), Prevalence of External Skin Lesions and Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Concentrations in Gulf of Mexico Fishes, Post-Deepwater Horizon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 143:4, 1084-1097. DOI: 10.1080/00028487.2014.911205
- [159] Napier, G.M. et al., Records of Fish Kills in Inland Waters of NSW & QLD in Relation to Cotton Pesticides, *Wetlands (Australia)* 17 (2) 1998.
- [160] Nasir Hafiz Zargar & Jatinder Paul Singh Gill, Studies on Levels of Pesticides Residues in Market Fish of Punjab (India). *Int.J.Curr.Microbiol.App.Sci* (2018)7(8): 2899-2905. <https://doi.org/10.20546/ijcmas.2018.708.307>
- [161] National Pollutant Inventory, <http://www.npi.gov.au>
- [162] Negri, A.P. et al., Herbicides increase the vulnerability of corals to rising sea surface temperature, *American Society of Limnology and Oceanography*, 56 (1), 2011
- [163] NOAA, Oil spills: A major marine ecosystem threat, <http://www.noaa.gov/explainers/oil-spills-major-marine-ecosystem-threat>
- [164] Nyman A M et al., (2013), The Insecticide Imidacloprid Causes Mortality of the Freshwater Amphipod *Gammarus pulex* by Interfering with Feeding Behavior. *PLOS ONE* 8(5): e62472. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0062472>
- [165] Oliveira, M. et al., Single and combined effects of microplastics and pyrene on juveniles (0+ group) of the common goby *Pomatoschistus microps* (Teleostei, Gobiidae). *Ecological Indicators Vol. 34*, 2013 pp. 641-647. DOI: 10.1016/j.ecolind.2013.06.019
- [166] Olivero-Verbel, J. et al., (2006), Perfluorooctanesulfonate and related fluorochemicals in biological samples from the north coast of Colombia. *Environmental Pollution*, 142(2):367-372. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16303219>
- [167] Olsson, M. et al., (1994), Disease and environmental contaminants in seals from the Baltic and the Swedish west coast. *Sci. Total Environ.* 154, 217-227. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(94\)90089-2](https://doi.org/10.1016/0048-9697(94)90089-2)

- [168] Ongley, E. D. Control of water pollution from agriculture - FAO irrigation and drainage paper 55, Chapter 4: Pesticides as water pollutants, *Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, 1996*, <http://www.fao.org/3/w2598e/w2598e07.htm>
- [169] Ostrach, D. J. et al., Maternal transfer of xenobiotics and effects on larval striped bass in the San Francisco Estuary. *PNAS December 9, 2008* vol. 105 no. 49 pp. 19354–19359. [www.pnas.org/cgi-
doi/10.1073/pnas.0802616105](http://www.pnas.org/cgi-
doi/10.1073/pnas.0802616105)
- [170] Palm, H. W. Fish Parasites as Biological Indicators in a Changing World: Can We Monitor Environmental Impact and Climate Change? Chapter 12 H. Mehlhorn (ed.), *Progress in Parasitology, Parasitology Research Monographs 2*, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2011. DOI: 10.1007/978-3-642-21396-0_12
- [171] Partridge, G.J. and R.J. Michael, Direct and indirect effects of simulated calcareous dredge material on eggs and larvae of pink snapper *Pagrus auratus*, *Journal of Fish Biology* (2010) 77, 227-240. DOI: 10.1111/j.1095-8649.2010.02679.x
- [172] Patra R.W. et al., Interactions between water temperature and contaminant toxicity to freshwater fish (2015). *Environmental Toxicology* 34(8). <https://doi.org/10.1002/etc.2990>
- [173] Pérez, G.L. et al., (2007), Effects of the herbicide Roundup on freshwater microbial communities: a mesocosm study. *Ecol. Appl.* 17(8):2310-22. <https://doi.org/10.1890/07-0499.1>
- [174] Pessarrodona, A. et al., Carbon assimilation and transfer through kelp forests in the NE Atlantic is diminished under a warmer ocean climate. *Glob Change Biol.* 2018; 24: 4386– 4398. <https://doi.org/10.1111/gcb.14303>
- [175] Petrou, K. et al., (2019), Acidification diminishes diatom silica production in the Southern Ocean. *In Nature Climate change* 462, p. 346. DOI: 10.1038/s41558-019-0557-y.
- [176] Petterson, M.G. & Tawake, A. The Cook Islands (South Pacific) experience in governance of seabed manganese nodule mining. *Ocean and Coastal Management* 167 (2019), pp. 271–287. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.09.010
- [177] Phinney, L., Air Quality Sciences, Meteorological Service of Canada, Environment Canada, “Environmental Impacts of Air Pollution,” Presentation to 2004 Canadian Acid Deposition Science Assessment. <https://novascotia.ca/nse/air/docs/Phinney-EnvironmentallImpacts.pdf>
- [178] Potapowicz, J. et al., The influence of global climate change on the environmental fate of anthropogenic pollution released from the permafrost Part I. *Case study of Antarctica. Science of the Total Environment* 651 (2019), pp. 1534–1548. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.09.16
- [179] Qiang L et al., Environmental concentration of carbamazepine accelerates fish embryonic development and disturbs larvae behavior. *Ecotoxicology.* 2016 Sep;25(7):1426-37. DOI: 10.1007/s10646-016-1694-y.
- [180] Qiu H et al., (2013), Physiological and biochemical responses of *Microcystis aeruginosa* to glyphosate and its Roundup® formulation. *J Hazard Mater* 248-249:172- 6. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2012.12.033.
- [181] Ray M. et al., Density shift, morphological damage, lysosomal fragility and apoptosis of hemocytes of Indian molluscs exposed to pyrethroid pesticides. *Fish Shellfish Immunol.* 2013 Aug;35(2):499-512. DOI: 10.1016/j.fsi.2013.05.008
- [182] Rejinders, Peter J.H., (1994), Toxicokinetics of chlorobiphenyls and associated physiological responses in marine mammals, with particular reference to their potential for ecotoxicological risk assessment. *Sci. Total Environ.* 154, pp. 229-236. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pub-med/7973609>
- [183] Rengarajan, T. et al., (2015), Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons with special focus on cancer *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine Vol. 5*, Issue 3, pp. 182-189. [https://doi.org/10.1016/S2221-1691\(15\)30003-4](https://doi.org/10.1016/S2221-1691(15)30003-4)
- [184] Reymond, Claire E. et al., Decline in growth of foraminifer *Marginopora rossi* under eutrophication and ocean acidification scenarios. *Global Change Biology* (2013) 19, pp. 291–302. DOI: 10.1111/gcb.12035

- [185] Rice DC., The US EPA reference dose for methylmercury: sources of uncertainty. *Environ. Res.* 2004 Jul;95(3):406-13. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/15220074>
- [186] Rice, J. et al., Effects Of Glyphosate And Its Formulations On Markers Of Oxidative Stress And Cell Viability In HepaRG And HaCaT Cell Lines. *U.S. National Toxicology Program*, 2018
- [187] Ripley, J. et al., Utilization of protein expression profiles as indicators of environmental impairment of smallmouth bass (*Micropterus dolomieu*) from the Shenandoah River, Virginia, USA. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 27(8):1756-67. DOI: 10.1897/07-588
- [188] Rist SE et al., Suspended micro-sized PVC particles impair the performance and decrease survival in the Asian green mussel *Perna viridis*. *Mar Pollut. Bull.* 2016 Oct 15;111(1-2):213-220. DOI: 10.1016/j.marpolbul.2016.07.006.
- [189] Rochman CM et al., (2014), Polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) in fish tissue may be an indicator of plastic contamination in marine habitats. *Sci. Total Environ.* 1;476-477:622-33. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2014.01.058.
- [190] Russo, Renato et al., (2018), Sequential exposure to low levels of pesticides and temperature stress increase toxicological sensitivity of crustaceans. *Science of The Total Environment* 610-611:563-569. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.08.073)
- [191] Sadaria, Akash et al., (2016). Mass Balance Assessment for Six Neonicotinoid Insecticides During Conventional Wastewater and Wetland Treatment: Nationwide Reconnaissance in U.S. Wastewater. *Environmental Science & Technology*. 50. DOI: 10.1021/acs.est.6b01032.
- [192] Sajjad Abbasi et al., (2018), Microplastics in different tissues of fish and prawn from the Musa Estuary, Persian Gulf. *Chemosphere Vol. 205*, pp. 80-87. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2018.04.076>
- [193] Sánchez-Bayo, F. et al., Review Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation Volume 232, April 2019*, pp. 8-27. doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020
- [194] Sandoval-Herrera N. et al., (2019), Neurotoxicity of organophosphate pesticides could reduce the ability of fish to escape predation under low doses of exposure. *Scientific Reports Volume 9*, Article number: 10530
- [195] Saravana Bhavan P. & Pitchairaj Geraldine (2001). Biochemical Stress Responses in Tissues of the Prawn *Macrobrachium malcolmsonii* on Exposure to Endosulfan. *Pesticide Biochemistry and Physiology* 70(1):27-41. DOI:10.1006/pest.2001.2531
- [196] Schäfer, Ralf Bernhard et al., (2011). Effects of Pesticides Monitored with Three Sampling Methods in 24 Sites on Macroinvertebrates and Microorganisms. *Environmental science & technology*. 45. DOI: 10.1021/es103227q.
- [197] Scholz N. L. et al., A Perspective on Modern Pesticides, Pelagic Fish Declines, and Unknown Ecological Resilience in Highly Managed Ecosystems. *BioScience, Volume 62, Issue 4, April 2012*, pp. 428-434. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.4.13>
- [198] Schug T.T. et al., Endocrine disrupting chemicals and disease susceptibility. *J. Steroid Biochem Mol Biol.* 2011;127(3-5):204-215. DOI: 10.1016/j.jsbmb.2011.08.007
- [199] Schultz, M.M. et al., (2012), Effects of Triclosan and Triclocarban, Two Ubiquitous Environmental Contaminants, on Anatomy, Physiology, and Behavior of the Fathead Minnow (*Pimephales promelas*). *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 63(1):114-24. DOI: 10.1007/s00244-011-9748-x
- [200] Schwing P., et al., (2018), Resilience of benthic foraminifera in the Northern Gulf of Mexico following the Deepwater Horizon event (2011-2015). *Ecological Indicators* 84:753-764. DOI: 10.1016/j.ecolind.2017.09.044
- [201] Seibert, Ca. H. and Aguinaldo R. Pinto, Challenges in shrimp aquaculture due to viral diseases: distribution and biology of the five major penaeid viruses and interventions to avoid viral incidence and dispersion. *Braz J Microbiol.* 2012 Jul-Sep; 43(3): pp. 857-864. DOI: 10.1590/S1517-83822012000300002

- [202] Shafahi, M. and Woolston, D. Aquaponics: A Sustainable Food Production System, November 2014. Proceedings of Conference, *ASME 2014 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, Montreal, Canada Volume 3*. DOI: 10.1115/IMECE2014-39441
- [203] Shane, D. et al., Marine Heatwave, Harmful Algae Blooms and an Extensive Fish Kill Event During 2013 in South Australia. *Front. Mar. Sci.*, 09 October 2019. <https://doi.org/10.3389/fmars.2019.00610>
- [204] Sisman, T. Dichlorvos-induced developmental toxicity in Zebrafish. *Toxicol. Ind. Health* 2010 Oct;26(9):pp. 567-73. DOI: 10.1177/0748233710373089.
- [205] Smith, Madeleine et al. Microplastics in Seafood and the Implications for Human Health. *Current environmental health reports vol. 5,3* (2018): pp. 375-386. DOI: 10.1007/s40572-018-0206-z
- [206] Stachowski-Haberknorn S. et al., (2008), Impact of Roundup on the marine microbial community, as shown by an in situ microcosm experiment. *Aquat. Toxicol.* 89(4): pp. 232-41. DOI: 10.1016/j.aquatox.2008.07.004
- [207] Strobel, A. et al., (2016,) Persistent organic pollutants in tissues of the white-blooded Antarctic fish *amsocephalusgunnari* and *Chaenocephalus aceratus*. *Chemosphere* 161:pp. 555-562. <http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.01.089>
- [208] Struger, J. et al., (2017), Factors influencing the occurrence and distribution of neonicotinoid insecticides in surface waters of southern Ontario, Canada. *Chemosphere, Vol. 169*. doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.11.036.
- [209] Sultana, R. et al., 2012. Accumulation of pesticide residues by shrimp, fish and brine shrimp during pond culture at ghorabari (district Thatta). *J. Chem. Soc. Pakistan* 34 (3), 541e549. <https://jcs.org.pk/ArticleUpload/4398-20726-1-CE.pdf>
- [210] Sun F. & Chen HS., Monitoring of pesticide chlorpyrifos residue in farmed fish: investigation of possible sources. *Chemosphere.* 2008 May;71(10):1866-9. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2008.01.034.
- [211] Sunderland, E. M. et al., (2009), Mercury sources, distribution, and bioavailability in the North Pacific Ocean: Insights from data and models, *Global Biogeochem. Cycles*, 23, GB2010. DOI: 10.1029/2008GB003425.
- [212] Taylor, C. M. et al., A review of guidance on fish consumption in pregnancy: is it fit for purpose? (2018). *Public Health Nutrition, Volume 21*, Issue 11, pp. 2149-2159. DOI: 10.1017/S1368980018000599
- [213] Taylor, M.D. et al., Do conventional cooking methods alter concentrations of per- and polyfluoroalkyl substances (PFASs) in seafood? *Food and Chemical Toxicology, Volume 127, May 2019*, pp. 280-287. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2019.03.032>
- [214] Thompson N.P. et al., (1974), Polychlorinated biphenyls and p,p' DDE in green turtle eggs from Ascension Island, South Atlantic Ocean. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 11(5):399-406. DOI: 10.1007/bf01685294
- [215] Tisler et al., (2009), Hazard identification of imidacloprid to aquatic environment. *Chemosphere.* 76, pp. 907-14. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2009.05.002
- [216] Tomy, Gregg T. et al., (2004), Fluorinated Organic Compounds in an Eastern Arctic Marine Food Web. *Environ. Sci. Technol.*, 38 (24), pp. 6475-6481. <https://doi.org/10.1021/es049620g>
- [217] Tumampos, S. "Seaweed farming face dilemma with ice-ice disease" <https://businessmirror.com.ph/2019/06/09/seaweed-farming-face-dilemma-with-ice-ice-disease/>
- [218] Uddin, Md. Hanif et al., Impacts of organophosphate pesticide, sumithion on water quality and benthic invertebrates in aquaculture ponds. *Aquaculture Reports Vol.3, May 2016*, pp. 88-92. DOI: 10.1016/j.aqrep.2016.01.002
- [219] UNEP 2011. Climate Change and POPs: Predicting the Impacts. Report of the UNEP/AMAP Expert Group. <https://www.amap.no/documents/doc/climate-change-and-pops-predicting-the-impacts/753>

- [220] UNEP State of the Science of Endocrine Disrupting Chemicals 2012, United Nations Environment Programme and the World Health Organization, 2013. <http://www.who.int/ceh/publications/endocrine/en/>
- [221] UNEP/POPS/POPRC.10/10/Add.2, Risk profile on decabromodiphenyl ether (commercial mixture, c-decaBDE), Nov.2014. <http://www.pops.int>
- [222] UNEP/POPS/POPRC.2/17/Add.1, Risk profile on commercial pentabromodiphenyl ether, Nov. 2006. <http://www.pops.int>
- [223] UNEP/POPS/POPRC.3/20/Add.6, Commercial Octabromodiphenyl Ether Risk Profile, Dec 2007. <http://www.pops.int>
- [224] UNEP/POPS/POPRC.5/10/Add.2, Risk profile on endosulfan, Oct. 2009. <http://www.pops.int>
- [225] UNEP/POPS/POPRC.8/16/Annex V, Annex V Guidance for drafters of risk profiles on consideration of toxicological interactions when evaluating chemicals proposed for listing, Qualitative literature-based approach to assessing mixture toxicity under Annex. www.pops.int/TheConvention/POPsReviewCommittee/Guidance/
- [226] US Department of Commerce, National Oceanic and Atmospheric Administration, What is the biggest source of pollution in the ocean? www.oceanservice.noaa.gov.
- [227] US NIEHS 2016 National Toxicology Program. Systematic Review of Immunotoxicity Associated With Exposure To Perfluorooctanoic Acid (PFOA) Or Perfluorooctane Sulfonate (PFOS), https://ntp.niehs.nih.gov/ntp/ohat/pfoa_pfos/pfoa_pfosmonograph_508.pdf
- [228] USEPA 2017 Preliminary Aquatic Risk Assessment to Support the Registration Review of Imidacloprid. Office of Chemical Safety and Pollution Prevention. Washington DC, <https://www.epa.gov/pesticides/epa-releases-neonicotinoid-assessments-public-comment>
- [229] USGS, Tackling Fish Endocrine Disruption U.S. Geological Survey Environmental Health - Toxic Substances Hydrology Program. https://toxics.usgs.gov/highlights/fish_endocrine_disruption.html
- [230] Vadja, A.M. et al, (2008), Reproductive Disruption in Fish Downstream from an Estrogenic Wastewater Effluent, *Environ. Sci. Technol.* 42(9):3407-14. DOI: 10.1021/es0720661
- [231] van de Merwe, Jason P. et al., (2009), Chemical Contamination of Green Turtle (*Chelonia mydas*) Eggs in Peninsular Malaysia: Implications for Conservation and Public Health. *Environ. Health Perspect.* Sep; 117(9):1397-1401. DOI: 10.1289/ehp.0900813
- [232] Waycott M et al., (2009), Accelerating loss of seagrasses across the globe threatens coastal ecosystems. Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA *PNAS* July 28, 2009 106 (30) 12377-12381; <https://doi.org/10.1073/pnas.0905620106>
- [233] Wei Shi et al., (2016), Ocean acidification increases cadmium accumulation in marine bivalves: a potential threat to seafood safety. *Scientific Reports* 6:20197. DOI: 10.1038/srep20197
- [234] Wenbin Ma et al., (2017), A New Procedure for Deep Sea Mining Tailings Disposal Minerals, 7, 47. DOI: 10.3390/min7040047 www.mdpi.com/journal/minerals
- [235] Wernberg, T. et al., (2016), Climate-driven regime shift of a temperate marine ecosystem. *Science*. 353. 169-172. DOI: 10.1126/science.aad8745
- [236] Wilkinson, J. and Boxall, A., The first global study of pharmaceutical contamination in riverine environments. *SETAC Europe 29th Annual Meeting, Helsinki, Finland. May 28, 2019.*
- [237] World Bank Report Urges Caution in Deep Sea Mining in the Pacific, PRESS RELEASE April 28, 2016. <https://www.worldbank.org/en/news/press-release/2016/04/28/world-bank-report-urges-caution-in-deep-sea-mining-in-the-pacific>
- [238] Xia, K., et al., (2012), Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Mississippi Seafood from Areas Affected by the Deepwater Horizon Oil Spill. *Environ. Sci. Technol.*, 46 (10), pp. 5310-5318. DOI: 10.1021/es2042433.

- [239] Xiaodong Ju et al. (2008), Perfluorinated Surfactants in Surface, Subsurface Water and Microlayer from Dalian Coastal Waters in China, *Environmental Science and Technology* 42(10):3538-42. DOI: 10.1021/es703006d
- [240] Yu, K., et al., (2015), Chlorpyrifos is estrogenic and alters embryonic hatching, cell proliferation and apoptosis in zebrafish. *Chem. Biol. Interact.* Sep 5;239:26-33. DOI: 10.1016/j.cbi.2015.06.010
- [241] Zelikoff, Judith T. Metal Pollution-Induced Immunomodulation In Fish. *Annual Rev. of Fish Diseases*, pp. 305-325, 1993. [https://doi.org/10.1016/0959-8030\(93\)90041-9](https://doi.org/10.1016/0959-8030(93)90041-9)
- [242] Wurl O, Obbard JP. A review of pollutants in the sea-surface microlayer (SML): a unique habitat for marine organisms. *Mar. Pollut. Bull.* 2004 Jun;48(11-12):1016-30.
- [243] Defarge, N., Spiroux de Vendômois, J., Séralini, G.E. Toxicity of formulants and heavy metals in glyphosate-based herbicides and other pesticides. *Toxicology Reports*, Volume 5, 2018.
- [244] Yanna Liu, et al., Hundreds of Unrecognized Halogenated Contaminants Discovered in Polar Bear Serum. *Angewandte Chemie International Edition*, 2018. DOI: 10.1002/anie.201809906
- [245] Fish Consumption Advice for Alaskans; A Risk Management Strategy To Optimize the Public's Health, Alaska Scientific Advisory Committee for Fish Consumption, Section of Epidemiology Division of Public Health, Department of Health and Social Services, State of Alaska Updated July 21, 2014. <http://dhss.alaska.gov/dph/Epi/eph/Documents/fish/FishConsumptionAdvice2014.pdf>
- [246] von Hippel FA, et al. Endocrine disruption and differential gene expression in sentinel fish on St. Lawrence Island, Alaska: health implications for indigenous residents. *Environ. Pollut.* 2018 Mar;234:279-287.
- [247] Ortiz-Delgado et al. The organophosphate pesticide-OP malathion inducing thyroidal disruptions and failures in the metamorphosis of the Senegalese sole, *Solea senegalensis*. *BMC Veterinary Research* (2019). <https://doi.org/10.1186/s12917-019-1786-z>
- [248] Kate L. Crump and Vance L. Trudeau (2009). Mercury-Induced Reproductive Impairment In Fish. *Toxicology and Chemistry*, Vol. 28, No. 5, pp. 895-907.
- [249] Pereira, P., et al., (2015), Inorganic mercury accumulation in brain following waterborne exposure elicits a deficit on the number of brain cells and impairs swimming behavior in fish (white sea-bream *Diplodus sargus*). *Aquat. Toxicol.*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.aquatox.2015.11.031>
- [250] Wang et al., Toward a Global Understanding of Chemical Pollution: A First Comprehensive Analysis of National and Regional Chemical Inventories. *Environ. Sci. Technol.* 2020, 54, 5, 2575-2584. <https://doi.org/10.1021/acs.est.9b06379>

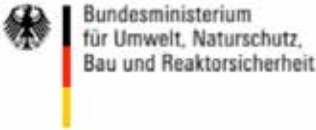
AGRADECIMIENTOS

IPEN agradece el apoyo financiero brindado por:

- Gobierno de Alemania
- Gobierno de Suecia
- La Sociedad Sueca para la Conservación de la Naturaleza
- y otros donantes que hicieron la producción de este documento posible.

Los puntos de vista e interpretaciones expresados en este documento no necesariamente expresan la opinión oficial de ninguna de las instituciones que brindan apoyo financiero. La responsabilidad del contenido recae completamente en IPEN.

Esta guía es una herramienta educativa de la Campaña de Objetivos de Desarrollo Sostenible Libre de Tóxicos de IPEN.





por un futuro sin tóxicos

www.ipen.org

ipen@ipen.org

[@ToxicsFree](#)