Salud alimentaria en las cadenas tróficas marinas

Food health in the marine trophic webs

Resumen

La salud de los océanos está estrechamente relacionada con la salud humana, principalmente a través del consumo de los recursos marinos (ej. pescados y mariscos), cuyos beneficios a la salud son reconocidos. Por tal motivo, países del mundo, incluido México, recomiendan consumir pescado entre dos y tres veces por semana. Sin embargo, la sobrepesca, la contaminación y el cambio climático son estresores que actualmente afectan las redes alimentarias, los ecosistemas marinos, y los bienes y servicios ecológicos que proporcionan. Reconocer que la naturaleza es compleja y que hay una conexión directa entre el medio marino, los animales que viven en él, y la salud pública es fundamental.

Recursos Naturales y Sociedad, 2023. Vol. 8 (3): 43-57. https://doi.org/10.18846renaysoc.2023.08.08.01.0005

Daniela A. Murillo Cisneros, Taryn E. Symon, Tania Zenteno-Savín*

Centro de Investigaciones Biológicas del Noroeste. Planeación Ambiental y Conservación. Instituto Politécnico Nacional 195, Playa Palo Santa Rita Sur, La Paz, Baja California Sur, 23096 – México, *Autor de correspondencia: tzenteno04@cibnor.mx

Por ello, se necesita un enfoque interdisciplinario para la formulación de políticas y el desarrollo de estrategias de sostenibilidad y mitigación efectivas para enfrentar los desafíos que tenemos enfrente.

Palabras clave: Cambio climático, contaminación, ecosistemas marinos, océano, sobrepesca

Abstract

The health of the oceans is related to human health, mostly through the consumption of marine resources (e.g., fish and shellfish), which have well-recognized health benefits. For this reason, countries around the world, including Mexico, recommend consuming fish two to three times per week. However, overfishing, pollution and climate change are current stressors that affect food webs, marine ecosystems, and the ecological goods and services they provide. Recognizing that nature is complex and that there is a connection between the marine environment, the animals that live in it, and public health is fundamental. For this reason, an interdisciplinary approach is needed for the formulation of policies, and the development of effective strategies for sustainability and mitigation to face the challenges before us.

Key words: Climate change, contamination, marine ecosystems, ocean, overfishing,

¿Qué es una cadena trófica?

Los recursos alimenticios, que conforman las cadenas tróficas marinas en los océanos, se encuentran entre los muchos bienes y servicios generados por los ecosistemas marinos. Desde tiempos remotos, las sociedades humanas han hecho uso de estos recursos, y con cada avance tecnológico y junto con el crecimiento poblacional, se ha podido observar la influencia que tiene el ser humano sobre las cadenas tróficas (Price, 2001; Strong y Frank, 2010).

Pero ¿qué es una cadena trófica? En pocas palabras, es la secuencia de comer (consumidor/depredador) y ser comido (presa) en la que se relacionan los organismos de un ecosistema. Así, se forman eslabones a través de los cuales se transfiere energía al ecosistema; la longitud de una cadena trófica dependerá del número de eslabones que la componen (Figura 1; Briand y Cohen, 1987).

Entonces, ¿cadena trófica es lo mismo que red trófica? No, la diferencia radica en que la cadena trófica sigue un solo camino, mientras que la red trófica es una conexión de múltiples cadenas tróficas que describen las relaciones de una comunidad de organismos (Figura 2). A continuación, describiremos sólo algunos

de los servicios ecosistémicos de las redes tróficas marinas, así como las amenazas potenciales a la salud de las mismas (Strong y Frank, 2010).



Figura 1. Cadena trófica marina.

El océano como fuente de alimento

Desde principios de los tiempos, los océanos han proveído de alimento, así como de otros servicios valiosos a más de un tercio de las poblaciones humanas alrededor del mundo. Por lo tanto, la salud de los ecosistemas marinos está estrechamente relacionada con la salud humana a través del consumo de los recursos marinos (ej. pescado, mariscos, algas, etc.), principalmente para las comunidades costeras que dependen del mar, y bajo el enfoque de "Una Salud", el cual reconoce que la salud de los humanos, de los animales y de los ecosistemas están estrechamente relacionadas

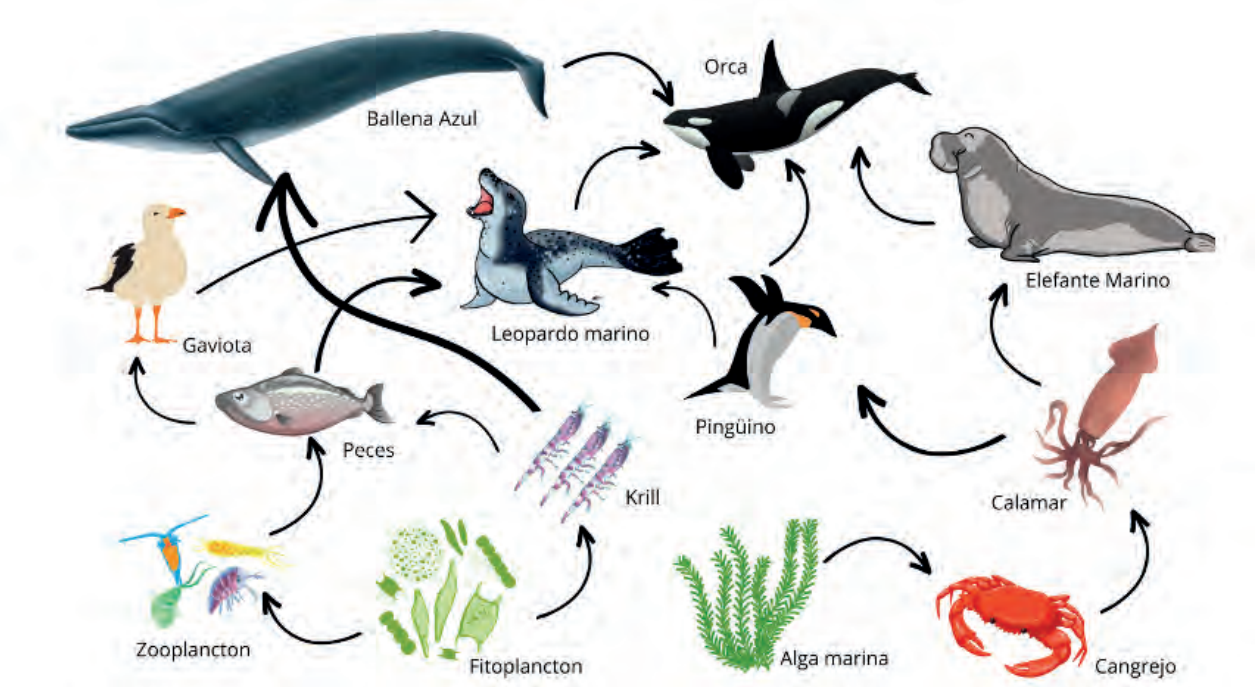


Figura 2. Red trófica marina

entre sí (Mendoza Montijo, L.M., Murillo-Cisneros, D.A., Gaxiola-Robles, R., Angulo, C., Lugo-Lugo, O., y Zenteno-Savín, T. One Health, Una Salud ¿Qué es? ¿Para qué sirve?. Recursos Naturales y Sociedad, 2023. Vol.9 (3): 17-30, https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.03.0003). Además, un gran número de estudios científicos han demostrado los múltiples beneficios del consumo de pescados y mariscos en la salud humana, incluyendo el crecimiento y desarrollo de niños, la disminución de casos de enfermedades, como el cáncer, y la prevención del deterioro cognitivo (Zhang *et al.* 2014; Domingo, 2016; Zenteno-Savín *et al.* 2019). Como resultado de esto, organizaciones nacionales e internacionales recomiendan el consumo regular de pescados y mariscos en la dieta y reconocen que es una parte importante de las tradiciones culturales de muchas poblaciones alrededor del mundo (Vianna *et al.* 2020). Además, los productos pesqueros se encuentran entre los alimentos más comercializados y desempeñan un papel fundamental en la economía mundial y local (Tacon y Metian, 2013; Gebremedhin *et al.* 2021).

En México, se recomienda consumir pescado de dos a tres veces por semana (Murillo-Cisneros *et al.* 2021), mientras que la organización mundial de la salud (OMS) recomienda consumirlo de una a dos veces a la semana (Vianna *et al.* 2020). Sin embargo, la salud y viabilidad de los océanos y, por ende, de los organismos y las cadenas tróficas que habitan en los ecosistemas marinos, son amenazadas por múltiples estresores (Gribble *et al.* 2016; Pellowe y Leslie, 2017).

Riesgo-beneficio del consumo de pescados y mariscos

Los pescados y mariscos son una fuente importante de exposición a contaminantes como el mercurio, particularmente la forma orgánica, monometilmercurio ($MeHg^{+}$), bifenilos policlorados (PCB), dioxinas, pesticidas organoclorados, entre otros (Verbeke *et al.* 2005). De hecho, eventos naturales como tormentas y huracanes pueden agravar la situación, principalmente sobre las poblaciones costeras, debido al acarreo de desechos urbanos e industriales a los océanos, y a la proliferación de algas nocivas que pueden causar enfermedades y muerte (Moore *et al.* 2013).

Esto ha generado una preocupación por el riesgo a la salud que puede representar el consumo de estos recursos marinos, lo que dependerá de la especie consumida, la frecuencia de consumo, y el tamaño de la porción ingerida (Domingo et al. 2007).

Se han realizado un número de estudios enfocados en evaluar los riesgos a la salud asociados al consumo de pescado. Por ejemplo, en Baja California Sur, se evaluó la exposición dietética al mercurio por el consumo de peces (Murillo-Cisneros *et al.* 2021). En dicho estudio se determinó que se pueden consumir, sin riesgo para la salud, especies como el cochito, pargo lunarejo, huachinango y serrano hasta tres veces a

la semana; se sugiere que el consumo de peces como jurel, mojarra y raya guitarra bandeada se limite a una vez por semana, en porciones de 200 gramos para hombres y mujeres de 70 y 60 kg, respectivamente (Murillo-Cisneros *et al.* 2021). Por otro lado, los florecimientos de algas nocivas también representan un serio riesgo para la salud de las cadenas tróficas marinas puesto que tienen el potencial de producir toxinas (ej. ácido domóico) que se acumulan y transfieren a través de la cadena trófica. El consumo de mariscos contaminados con esas toxinas puede causar discapacidad, amnesia, y muerte en humanos (Cavole *et al.* 2016).

A pesar de ser una fuente de exposición a contaminantes, el consumo de pescados y mariscos brinda beneficios asociados a asegurar la sobrevivencia, el crecimiento, y la salud humana (Vianna *et al.* 2020). Esto se debe a que los pescados y mariscos constituyen una fuente importante de proteína de alta calidad, son ricos en ácidos grasos poliinsaturados omega-3, incluido el ácido eicosapentaenoico y el ácido docosahexaenoico, vitaminas como A, D y E, y minerales incluidos el calcio, magnesio, yodo, potasio, fósforo y selenio. Estos nutrientes ayudan a prevenir malformaciones, deficiencias cognitivas y cuestiones inmunológicas de los grupos vulnerables, como los fetos en desarrollo, mujeres embarazadas y niños, contribuyen a un buen desarrollo neurológico y reducen la probabilidad de enfermedades cardiovasculares, anemia, y demencia en adultos (Olmedo *et al.* 2013; Shahidi y Ambigaipalan, 2018; Vianna *et al.* 2020). La composición de dichos nutrientes varía de una especie a otra, e incluso entre miembros de la misma especie, como resultado de factores que incluyen la ubicación geográfica, hábitos alimenticios, estado de salud, condiciones ambientales, edad, temporada del año, entre otros (Zhang *et al.* 2014). Una serie de estudios realizados en mujeres lactantes en Baja California Sur concluyó que una dieta rica en pescados y mariscos de origen marino no es un factor determinante de las concentraciones de contaminantes orgánicos persistentes (COPs), y que la cantidad de nutrientes, incluyendo ácidos grasos, antioxidantes y vitaminas, que éstos proporcionan, en balance, ofrecen mayores beneficios que riesgos a la salud humana (Castillo-Castañeda *et al.* 2016; Zenteno-Savín *et al.* 2019).

Amenazas actuales sobre las cadenas tróficas marinas

Los ecosistemas marinos y las cadenas tróficas saludables son cruciales para la producción de alimentos y el sustento de las personas. Además de su valor cultural, son fuente de alegría, belleza, paz y recreación (Landrigan *et al.* 2020). Pero, factores ambientales y antropogénicos, como la contaminación, sobrepesca y el cambio climático, son serias amenazas que pueden impactar de manera negativa sobre la estructura, función y salud de las cadenas tróficas marinas (Alava, 2019; Vianna *et al.* 2020).

Pesca

Con una producción mundial anual estimada de 200 millones de toneladas de pescado y mariscos (Ritchie y Roser, 2021), la importancia de este recurso marino es innegable. La constante demanda de alimento para las poblaciones alrededor del mundo trae como consecuencia una mayor presión pesquera que busca suplir esa demanda, además que contribuye a la economía global (Vianna *et al.* 2020). Sin embargo, la inadecuada gestión ha resultado en una sobrepesca generalizada en todo el mundo, donde la mayoría de los stocks pesqueros se consideran sobreexplotados y la probabilidad de aprovechamiento a largo plazo de una especie determinada es poco probable, ya que disminuye si no se permiten las condiciones para que la población pueda reponerse del efecto de la pesca. Esto puede tener un fuerte impacto, en general negativo, sobre las cadenas tróficas marinas (Branch, 2015). Por ejemplo, en algunas partes del mundo se ha observado una disminución en el nivel trófico promedio de las especies capturadas, resultado de las reducciones en la abundancia de especies de nivel trófico alto causadas por la presión pesquera, lo que refleja una transición gradual de especies de vida larga y nivel trófico alto, hacia especies de nivel trófico más bajo, como invertebrados de vida corta, y peces pelágicos planctívoros en los desembarques (Alleway *et al.* 2014; Pauly *et al.* 1998). Además, la alta mortalidad de una especie en particular puede comprometer su diversidad genética conduciendo a que la población se vuelva menos resiliente a los cambios ambientales y más susceptible a enfermedades (Hočevar y Kuparinen, 2021). En consecuencia, la sobreexplotación es, en gran parte, responsable de alterar la estructura y el funcionamiento de muchos ecosistemas, poniéndolos en riesgo de colapso y poniendo en peligro una importante fuente de alimento para una población mundial en crecimiento. Por otro lado, la conexión existente entre el ser humano con la pesca se ha desarrollado por miles de años, por lo que debemos resaltar la enorme contribución de las pesquerías al bienestar humano. Además, las pesquerías desempeñan un papel fundamental como medio de subsistencia de gran parte de la población mundial siendo un elemento esencial para reducir la pobreza, el hambre y mejorar la salud y el bienestar humano (Gebremedhin *et al.* 2021).

Por lo tanto, un buen manejo pesquero es crucial. Esto es posible cuando los encargados de la toma de decisiones cuentan con la información necesaria, como la edad, las tasas de crecimiento y de mortalidad, el rendimiento máximo, etc.

A pesar de ello, tenemos que reconocer que la gestión de los ecosistemas marinos es un tema complejo, especialmente frente a la creciente extracción de los recursos, el continuo crecimiento poblacional y el cambio climático (Holsman *et al.* 2017).

Contaminación

Los océanos constituyen el destino final de la mayoría de los contaminantes liberados en el planeta, problema que ha ido creciendo junto con el crecimiento urbano y el incremento de las industrias, especialmente en los países con economías emergentes, incluyendo México (Ramírez-Ayala *et al.* 2020). En consecuencia, a pesar de los múltiples beneficios del consumo de los recursos marinos, éstos también pueden ser una fuente de exposición a una amplia variedad de contaminantes químicos (ej. desechos plásticos, plaguicidas, productos farmacéuticos y de cuidado personal, COPs como los PCB y los dicloro difenil tricloroetanos (DDT), o metales pesados como el mercurio, cadmio, etc.), siendo éste uno de los principales problemas que enfrentan hoy en día las sociedades modernas alrededor del mundo (Panseri *et al.* 2019; Murillo-Cisneros *et al.* 2021).

Algunos de los contaminantes en el océano son heredados, es decir, contaminantes depositados desde hace décadas, mientras que otros son más recientes (Landrigan *et al.* 2020). Dichos contaminantes, que en su mayoría son resultado de la actividad humana (ej. industrias, agricultura y actividades domésticas, entre otros), pueden acumularse en los tejidos de la biota marina y afectar la salud de las cadenas tróficas marinas, la viabilidad de los océanos como fuente de alimento, y la salud humana a corto, mediano y largo plazo (WHO, 2019). Por ello, en las últimas décadas, se han estudiado la presencia y efectos de estos contaminantes en las redes tróficas marinas, con énfasis en ciertos contaminantes, como el mercurio (Murillo-Cisneros *et al.* 2018, 2019, 2021; Ramírez-Ayala *et al.* 2020).

Los efectos directos de los contaminantes, que dependen del contaminante en cuestión, pueden ir desde intoxicaciones agudas que pueden desencadenar una serie de efectos adversos para la salud, como arritmias cardíacas y ataques de asma, hasta efectos crónicos, como cáncer e inmunosupresión (Balbus *et al.* 2013). El mercurio es uno de los contaminantes más estudiados a partir de la intoxicación masiva ocurrida en Minamata, Japón en los años 1950s, en donde la población ingiere pescado y mariscos contaminados por el $MeHg^+$, que fue vertido en las aguas residuales de una planta química (Chisso Co. Ltd.) en la Bahía de Minamata. Entre sus efectos adversos, se encuentran parestesia (sensaciones anormales de cosquilleo, calor o frío en la piel), ataxia (falta de coordinación), daño sensorial, pérdida de la memoria, enfermedades cardiovasculares, etc. Debido a que el $MeHg^+$ puede atravesar la barrera placentaria, los fetos en desarrollo son más susceptibles a sus efectos adversos, incluyendo retraso mental, parálisis cerebral, bajo peso al nacer o la muerte (Bakir *et al.* 1973; Harada, 1995; Gribble *et al.* 2016).

La contaminación por plásticos es otro problema que

ha ido creciendo rápidamente (Landrigan *et al.* 2020). El inadecuado o nulo manejo de los residuos plásticos de las zonas urbanizadas los ha llevado a constituir la mayor proporción de los residuos municipales (Menéndez-Pedriza y Jaumot, 2020). Los océanos son el destino final de la mayoría de los plásticos, donde son expuestos a una variedad de compuestos químicos que pueden ser adsorbidos por las superficie de los plásticos (ej. COPs, elementos traza) convirtiéndolos en una ruta de exposición para los organismos marinos (Pelamatti *et al.* 2021). Tras la ingestión de plásticos por la biota marina, éstos pueden lixiviar (separar sustancias de un sólido usando líquidos) aditivos plásticos como monómeros residuales, retardantes de llama, plastificantes, estabilizadores, colorantes y otros. Este cóctel de contaminantes puede causar una variedad de efectos adversos a la salud de la biota marina que incluyen, cambios en el comportamiento, disrupción endocrina y hasta la muerte (Rochman, 2015).

A pesar del creciente número de estudios, las investigaciones se han centrado en un reducido número de contaminantes, como en el mercurio y los PCB (Domingo, 2016; Murillo-Cisneros *et al.* 2021). Sin embargo, la información sobre la exposición, efectos adversos, recomendaciones sobre el consumo (frecuencia de consumo, tamaño de porción, etc.) en humanos todavía es limitada para muchos contaminantes (Domingo *et al.* 2007).

Además, considerando que la contaminación de los océanos es un problema creciente, debido a la acción del hombre, urge convertir los monitoreos para evaluar las concentraciones de contaminantes en los recursos marinos de consumo humano en una práctica común y constante.

Cambio climático

El calentamiento global, debido al cambio climático, impacta la estructura y función de las redes tróficas marinas, alterando la composición y sobrevivencia de las especies, con graves consecuencias para la salud y la sostenibilidad de los ecosistemas marinos (Ullah *et al.* 2018). No cabe duda que el cambio climático constituye uno de los grandes retos que enfrenta el mundo en la actualidad. Hoy en día, las temperaturas globales continúan aumentando; las temperaturas han incrementado 1.5°C en relación con los niveles preindustriales debido al aumento de las emisiones de carbón (principalmente en forma de CO_2; Trainer *et al.* 2020). Estos cambios han disminuido la calidad, cantidad y seguridad alimentaria de diferentes formas. Por ejemplo, las altas temperaturas superficiales del agua pueden afectar las varias etapas del ciclo de vida del salmón en el noroeste del Pacífico, afectando así su pesquería; además, dichos aumentos en temperatura combinados con una disminución en la abundancia de sus presas de agua fría, incluyendo el krill y copépodos, provocan una mayor mortalidad de salmones juveniles, así como

una disminución del tamaño de los adultos, y un reclutamiento pobre (Cavole *et al.* 2016).

Durante los fenómenos de La Mancha y El Niño de 2013 – 2015, se presentaron florecimientos algales nocivos masivos que afectaron la salud de las redes tróficas y provocaron el cierre de varias pesquerías comerciales y recreacionales, lo cual tuvo un impacto importante en la economía y el suministro de alimentos de origen marino (Cavole *et al.* 2016; Trainer *et al.* 2020; Ullah *et al.* 2018). Reportes previos han demostrado que el calentamiento de los océanos resulta en cambios en el rango de distribución de varias especies de bajas a altas latitudes, debido a cambios en la distribución de sus presas, una vez más, impactando negativamente sobre las pesquerías y la seguridad alimentaria (Alava *et al.* 2017; Trainer *et al.* 2020).

El cambio climático también tiene un impacto sobre la distribución y toxicidad de los contaminantes químicos ya que altera los procesos físicos, químicos, biológicos y ecológicos de los océanos, influyendo en la persistencia, movilidad, destino y exposición a contaminantes (Alava, 2019; Alava *et al.* 2017; Balbus *et al.* 2013). Por ejemplo, el incremento en la temperatura puede impulsar mayores tasas de metilación de mercurio en los sistemas acuáticos dado que este proceso depende de la temperatura (Maulvault *et al.* 2017).

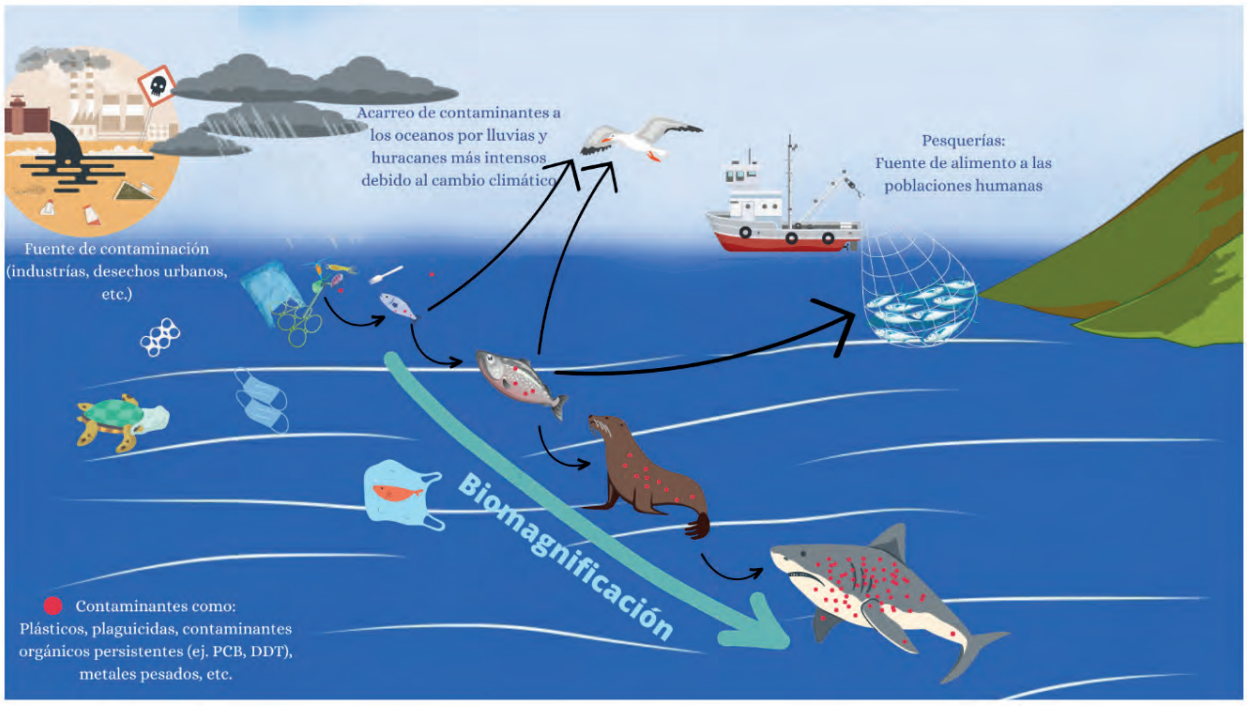


Figura 3. Amenazas que afectan la estructura, función y salud de las cadenas tróficas marinas. PCB- bifenilos policlorados; DDT- dicloro difenil tricloroetanos.

El calentamiento oceánico puede alterar la biotransformación de contaminantes (ej. COPs, pesticidas, etc.) en metabolitos más bioactivos siendo, presuntamente, el mecanismo por el cual el

calentamiento global aumenta la toxicidad química. Además, estas interacciones entre el cambio climático y los contaminantes podrían comprometer la homeostasis y las respuestas fisiológicas de seres vivos, lo que podría perjudicar la aptitud, la reproducción, el desarrollo y sobrevivencia de las especies (Noyes *et al.* 2009).

Perspectivas y consideraciones

Los seres humanos y la vida silvestre están continuamente expuestos a una amplia variedad de estresores químicos, físicos y biológicos que surgen, en su mayoría, de las actividades antropogénicas, pero también de fuentes naturales. Mientras el ser humano siga dependiendo de los recursos marinos, seguirá alterando continuamente su ambiente (Noyes *et al.* 2009). La habilidad de la población mundial de obtener alimento saludable del mar depende en gran medida del buen manejo de los ecosistemas marinos, y para esto, se necesita un enfoque transdisciplinario para comprender las conexiones entre el medio ambiente marino, los animales que viven en él y la salud humana a través del enfoque "Una Salud" (Mendoza Montijo, L.M., Murillo-Cisneros, D.A., Gaxiola-Robles, R., Angulo, C., Lugo-Lugo, O., y Zenteno-Savín, T. One Health, Una Salud ¿Qué es? ¿Para qué sirve?. Recursos Naturales y Sociedad, 2023. Vol.9 (3): 17-30, https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.03.0003). Reconocer que la naturaleza es compleja y que existe una conexión del medio marino con la salud pública es fundamental para comprender las relaciones involucradas y, con base en ello, formular políticas y estrategias efectivas de sostenibilidad y mitigación para enfrentar los desafíos que tenemos enfrente (Moore *et al.* 2013).

Agradecimientos

Los autores agradecen el IBQ O. Lugo-Lugo por su apoyo técnico en el laboratorio de Estrés Oxidativo de CIBNOR y a Andrea Murillo Cisneros por su apoyo en el diseño gráfico. El trabajo de investigación es financiado por CONACYT (CB-2016-01-283669 y 2016-01-2305). TES es receptor de una beca CONACYT (802788; CVU: 922584). TZS es miembro de la red CYTED RIESCOS (ref. 419RT0578).

Literatura citada

Alava, J.J. 2019. *Ocean pollution and warming oceans: toward ocean solutions and natural marine bioremediation*. pp. 495-518. En: Cisneros-Montemayor, A.M., W.W.L. Cheung, y Y. Ota. (Eds.). Predicting future oceans: Sustainability of ocean and human systems amidst global environmental change. Elsevier.

Alava, J.J., W.W.L. Cheung., P.S. Ross y U.R. Sumaila. 2017. *Climate change-contaminant interactions in marine food webs: Toward a conceptual framework*. Global Change Biology 23; 3984-4001.

Alleway, H.K., S.D. Connell., T.M. Ward y B.M. Gillanders. 2014. *Historical changes in mean trophic level of southern Australian fisheries*. Marine and Freshwater Research 65(10); 884-893.

Bakir, F., S.F. Damluji., L. Amin-Zaki., M. Murtadha., A. Khalidi., N.Y. Al-Rawi., S. Tikriti., H. Dhahir., T.W. Clarkson., J.C. Smith y R.A. Doherty. 1973. *Methylmercury poisoning in Iraq*. Science 181: 230-241.

Balbus, J.M., A.B.A. Boxall., R.A. Fenske., T.E. McKone y L. Zeise. 2013. *Implications of global climate change for the assessment and management of human health risks of chemicals in the natural environment*. Environmental Toxicology and Chemistry 32(1): 62–78.

Branch, T.A. 2015. *Fishing impacts on food webs: Multiple working hypotheses*. Fisheries 40(8): 373–375.

Briand, F y J.E. Cohen. 1987. *Environmental Correlates of Food Chain Length*. Science 4829(238): 956–996.

Castillo-Castañeda, P.C., R. Gaxiola-Robles., L.C. Méndez-Rodríguez., V. Labrada-Martagón y T. Zenteno-Savín. 2016. *Antioxidantes, especies reactivas de oxígeno y daño oxidativo asociado a la presencia de plaguicidas organoclorados en la leche materna*. Nutrición Hospitalaria 33(2): 422–430.

Cavole, L., A.M. Demko., R.E. Diner., A. Giddings., I. Koester., C.M.L.S Pagniello., M.-L. Paulsen., A. Ramirez-Valdez., S.M. Schwenck., N.K. Yen., M.E. Zill y P.J.S. Franks. 2016. *Biological impacts of the 2013–2015 warm-water anomaly in the Northeast Pacific: Winners, losers, and the future*. Oceanography 29(2): 273–285.

Domingo, J.L. 2016. *Nutrients and chemical pollutants in fish and shellfish. Balancing health benefits and risks of regular fish consumption*. Critical Reviews in Food Science and Nutrition 56(6): 979–988.

Domingo, J.L., A. Bocio., G. Falcó y J.M. Llobet. 2007. *Benefits and risks of fish consumption*. Toxicology 230(2-3): 219–226.

Gebremedhin, S., S. Bruneel., A. Getahun., W. Anteneh y P. Goethals. 2021. *Scientific methods to understand fish population dynamics and support sustainable fisheries managemen*t. Water 13(4): 574.

Gribble, M.O., R. Karimi., B.J. Feingold., J.F. Nyland., T.M. O'Hara., M.I. Gladyshev y C.Y. Chen. 2016. *Mercury, selenium and fish oils in marine food webs and implications for human health*. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom 96(1): 43–59.

Harada, M. 1995. *Minamata disease: Methylmercury poisoning in Japan caused by environmental pollution*. Critical Reviews in Toxicology 25(1): 1–24..

Hočevar, S y A. Kuparinen. 2021. *Marine food web perspective to fisheries-induced evolution*. Evolutionary Applications 14: 2378–2391.

Holsman, K., J. Samhouri., G. Cook., E. Hazen., E. Olsen., M. Dillard., S. Kasperski., S. Gaichas., C.R. Kelble., M. Fogarty y K. Andrews. 2017. *An ecosystem-based approach to marine risk assessment*. Ecosystem Health and Sustainability 3(1): e0125.

Landrigan, P.J., J.J. Stegeman., L.E. Fleming., D. Allemand., D.M. Anderson., L.C. Backer., F. Brucker-Davis., N. Chevalier., L. Corra., D. Czerucka., M.D. Bottein., B. Bemeneix., M. Depledge., D.D. Deheyn., C.J. Dorman., P. Fénichel., S. Fisher., F. Gaill., F. Galgani., W.H. Gaze., L. Giuliano., P. Grandjean., M.E. Hahn., A. Hamdoun., P. Hess., B. Judson., A. Laborde., J. McGlade., J. Mu., A. Mustapha., M. Neira., R.T. Noble., M.L. Pedrotti., C. Reddy., J. Rocklöv., U.M. Scharler., H. Shanmugam., G. Taghian., J.A.J.M. van de Water., L. Vezzulli., P. Weihe., A. Zeka., H. Raps y P. Rampal. (2020). *Human health and ocean pollution*. Annals of Global Health 86 (1): 151.

Maulvault, A.L., V. Barbosa., R. Alves., A. Custódio., P. Anacleto., T. Repolho., P.P. Ferreira., R. Rosa., A. Marques y M. Diniz. 2017. *Ecophysiological responses of juvenile seabass (Dicentrarchus labrax) exposed to increased temperature and dietary methylmercury*. Science of the Total Environment 586: 551–558.

Mendoza Montijo, L.M., Murillo-Cisneros, D.A., Gaxiola-Robles, R., Angulo, C., Lugo-Lugo, O., y Zenteno-Savín, T. One Health, Una Salud ¿Qué es? ¿Para qué sirve?. Recursos Naturales y Sociedad, 2023. Vol.9 (3): 17-30, https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.03.0003

Menéndez-Pedriza, A y J. Jaumot. 2020. *Interaction of environmental pollutants with microplastics: A critical review of sorption factors, bioaccumulation and ecotoxicological effects*. Toxics 8(2): 40.

Moore, M.N., M.H. Depledge., L. Fleming., P. Hess., D, Lees., P. Leonard., L. Madsen., R. Owen., H. Pirlet., J. Seys., V. Vasconcelos., A. Viarengo y Marine Board-ESD Working Group on Oceans and Human Health. 2013. *Oceans and Human Health (OHH): A European perspective from the Marine Board of the European Science Foundation (Marine Board-ESF)*. Microbial Ecology 65: 889–900.

Murillo-Cisneros, D.A., T.M. O'Hara, J.M. Castellini., A. Sánchez-González., F.R. Elorriaga-Verplancken., A.J. Marmolejo-Rodríguez., E. Marín-Enríquez y F. Galván-Magaña. 2018. *Mercury concentrations in three ray species from the Pacific coast of Baja California Sur, Mexico: Variations by tissue type, sex and length*. Marine Pollution Bulletin 126: 77–85.

Murillo-Cisneros, D.A., T.M. O'Hara., F.R. Elorriaga-Verplancken., A. Sánchez-González., E. Marín-Enríquez., A.J. Marmolejo-Rodríguez y F. Galván-Magaña. 2019. *Trophic structure and biomagnification of total mercury in ray species within a benthic food web*. Archives of Environmental Contamination and Toxicology 77: 321–329.

Murillo-Cisneros, D.A., T. Zenteno-Savín., J. Harley., A. Cyr., P. Hernández-Almaraz., R. Gaxiola-Robles., F. Galván-Magaña y T.M. O´Hara. 2021. *Mercury concentrations in Baja California Sur fish: Dietary exposure assessment*. Chemosphere 267: 129233.

Noyes, P.D., M.K. McElwee., H.D. Miller., B.W. Clark., L.A. Van Tiem., K.C. Walcott., K.N. Erwin y E.D. Levin. 2009. *The toxicology of climate change: Environmental contaminants in a warming world*. Environment International 35(6): 971–986.

Olmedo, P., A. Pla., A.F. Hernández., F. Barbier., L. Ayouni y F. Gil. 2013. *Determination of toxic elements (mercury, cadmium, lead, tin and arsenic) in fish and shellfish samples. Risk assessment for the consumers*. Environment International 59: 63–72.

Panseri, S., L. Chiesa., G. Ghisleni., G. Marano., P. Boracchi., V. Ranghieri., R.M. Malandra., P. Roccabianca y M. Tecilla. 2019. *Persistent organic pollutants in fish: biomonitoring and cocktail effect with implications for food safety*. Food Additives and Contaminantes: Part A 36(4): 601–611.

Pauly, D., V. Christensen., J. Dalsgaard., R. Froese y F. Torres Jr. 1998. *Fishing down marine food webs*. Science 279(5352): 860–863.

Pelamatti, T., L.M. Rios-Mendoza., E.M. Hoyos-Padilla., F. Galván-Magaña., R. De Camillis., A.J. Marmolejo-Rodríguez y R. González-Armas. 2021. *Contamination knows no borders: Toxic organic compounds pollute plastics in the biodiversity hotspot of Revillagigedo Archipelago National Park, Mexico*. Marine Pollution Bulletin 170: 112623.

Pellowe, K.E y H.M. Leslie. 2017. *Seasonal variability shapes resilience of small-scale fisheries in Baja California Sur, Mexico*. PLoS ONE 12(8): e0182200.

Price, A.R.G. 2001. *The marine food chain in relation to biodiversity*. The Scientific World Journal 1: 579–587.

Ramírez-Ayala, E., M.A. Arguello-Pérez., A. Tintos-Gómez., R.Y. Pérez-Rodríguez., J.A. Díaz-Gómez., I. Borja-Gómez., C.A. Sepúlveda-Quiroz., M. Patiño-Barragán; C. Lezama-Cervantes y J. Salomé-Baylón. 2020. *Review of the biomonitoring of persistent, bioaccumulative, and toxic substances in aquatic ecosystems of Mexico: 2001-2016*. Latin American Journal of Aquatic Research 48(5), 705–738.

Rochman, C.M. 2015. *The complex mixture, fate and toxicity of chemicals associated with plastic debris in the marine environment*. pp. 117-140. En: Bergmann, M., L. Gutow y M. Klages Cham (Eds.). Marine anthropogenic litter. Springer International Publishing. Switzerland. 456 pp.

Ritchie, H y M. Roser. 2021. *Fish and Overfishing*. En; https://ourworldindata.org/fish-and-overfishing#global-fish-production. (consultado el 31/10/2022).

Shahidi, F y P. Ambigaipalan. 2018. *Omega-3 polyunsaturated fatty acids and their health benefits*. Annual Review of Food Science and Technology 9: 345–381.

Strong, D.R y K.T. Frank. 2010. *Human involvement in food webs*. Annual Review of Environment and Resources 35: 1–23.

Tacon, A.G.J y M. Metian. 2013. *Fish matters: Importance of aquatic foods in human nutrition and global food supply*. Reviews in Fisheries Science 21(1): 22–38.

Trainer, V.L., R.M. Kudela., M.V. Hunter., N.G. Adams y R.M. McCabe. 2020. *Climate extreme seeds a new domoic acid hotspot on the US West Coast*. Frontiers in Climate 2: 571836.

Ullah, H., I. Nagelkerken., S.U. Goldenberg y D.A. Fordham. 2018. *Climate change could drive marine food web collapse through altered trophic flows and cyanobacterial proliferation*. PLoS Biology 16(1): e2003446.

Verbeke, W., I. Sioen., Z. Pieniak., J. Van Camp y S. De Henauw. 2005. *Consumer perception versus scientific evidence about health benefits and safety risks from fish consumption*. Public Health Nutrition 8(4): 422–429.

Vianna, G.M.S., D. Zeller y D. Pauly. 2020. *Fisheries and policy implications for human nutrition*. Current Environmental Health Reports 7: 161–169.

WHO. 2019. *Health, the global ocean and marine resources*. En: http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0009/404496/SDG-14-policy-brief.pdf?ua=1. (Consultado el 31/10/2022).

Zenteno-Savín, T., P.C. Castillo-Castañeda., L.C. Méndez-Rodríguez y R. Gaxiola-Robles. 2019. *Balance between contaminants and antioxidants in breast milk*. Recursos Naturales y Sociedad 5(1): 24–39.

Zhang, Z., L. Liu., C. Xie., D. Li., J. Xu., M. Zhang., M. Zhang. 2014. *Lipid contents, fatty acid profiles and nutritional quality of nine wild caught freshwater fish species of the Yangtze Basin, China*. Journal of Food and Nutrition Research 2(7): 388–394.

Cita:

Murillo Cisneros, D.A., Symon, T.E., y Zenteno-Savín, T. Salud alimentaria en las cadenas tróficas marinas. Recursos Naturales y Sociedad, 2023. Vol. 9 (3): 43-57, https://doi.org/10.18846/renaysoc.2023.09.09.03.0005

Sometido: 18 de noviembre de 2022
Aceptado: 22 de febrero de 2023
Editor Asociado: Dr. Alejandro López Cortés
Diseño gráfico editorial: Lic. Gerardo Hernández

Fotos portada: pexels-btgl-3894157.jpg, pexels-pok-rie-16727325.jpg