

Calleja, Carlos E.; Ramírez, Enrique

Interpretación del contenido de mercurio en muestras nacionales de pez vela (*Istiophorus platypterus*) y marlín (*Makaira* spp. o *Tetrapturusspp.*) a partir de parámetros toxicológicos internacionales

Revista de Ciencias Ambientales, vol. 47, núm. 1, enero-junio, 2014, pp. 44-59
Universidad Nacional
Heredia, Costa Rica

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=665070680004>



Revista de CIENCIAS AMBIENTALES

Tropical Journal of Environmental Sciences



Interpretación del contenido de mercurio en muestras nacionales de pez vela (*Istiophorus platypterus*) y marlín (*Makaira spp.* o *Tetrapturus spp.*) a partir de parámetros toxicológicos internacionales

Interpretation of mercury content in national samples of sailfish (*Istiophorus platypterus*) and marlin (*Makaira spp.* Or *Tetrapturus spp.*) from international toxicological parameters

Carlos E. Calleja ^a y Enrique Ramírez ^b

^a Químico especialista en química ambiental y gestión ambiental, Costa Rica, cecallejaa@hotmail.com. ^b Biólogo y director ejecutivo de la Federación Costarricense de Pesca, Costa Rica, eramirezguier@gmail.com.

Director y Editor:

Dr. Eduardo Mora-Castellanos

Consejo Editorial:

Enrique Lahmann, UICN, Suiza
Enrique Leff, UNAM, México
Sergio Molina, Universidad Nacional, Costa Rica
Olman Segura, Universidad Nacional, Costa Rica
Rodrigo Zeledón, Universidad de Costa Rica
Gerardo Budowski, Universidad para la Paz, Costa Rica

Asistente:

Rebeca Bolaños-Cerdas

Interpretación del contenido de mercurio en muestras nacionales de pez vela (*Istiophorus platypterus*) y marlín (*Makaira spp.* o *Tetrapturus spp.*) a partir de parámetros toxicológicos internacionales

Carlos E. Calleja y Enrique Ramírez

C. Calleja es químico especialista en química ambiental y gestión ambiental.
E. Ramírez es biólogo y director ejecutivo de la Federación Costarricense de Pesca.

Resumen

Se presentan los datos sobre el contenido de mercurio total en 11 muestras de pez vela y 11 de marlín, tomadas en comercios nacionales –donde se expenden con esos nombres–, obtenidos en un estudio conducido por la Federación Costarricense de Pesca. En el pez vela, las concentraciones variaron entre 0,85 y 1,30 mg de mercurio/kg de pescado, con un promedio de $1,07 \pm 0,17$ mg de mercurio/kg de pescado, y en el marlín entre 0,41 y 1,18 mg de mercurio/kg de pescado, con un promedio de $0,83 \pm 0,27$ mg de mercurio/kg de pescado. Ambos casos exhiben valores cercanos al límite máximo recomendado por la Organización Mundial

Abstract

Total mercury results in 11 samples of sail fish and 11 samples of marlin from national market places (where they are called with those names), from a study by the Costarican Fishing Federation, are presented. Sail fish samples vary between 0,85 and 1,30 mg of mercury/kg of fish, with an average of $1,07 \pm 0,17$ mg of mercury/kg of fish, and marlin samples varied between 0,41 and 1,18 mg of mercury/kg of fish, with an average of $0,83 \pm 0,27$ mg of mercury/kg of fish. Both cases showed mercury concentrations close to the maximum recommended value of the World Health Organization (WHO) of 1 mg of mercury/kg of fish for predatory species.

Introducción

En Costa Rica el pez vela (*Istiophorus platypterus*) y diferentes variedades de marlín (*Makaira spp.* o *Tetrapturus spp.*) son especies de interés turístico deportivo (La Gaceta, 2005). Esto constituye un esfuerzo para la protección de este tipo de depredadores marinos en actividades autosustentables, que actualmente genera mayores ingresos al país que su pesca comercial. Sin embargo, por tener un precio más bajo, son de amplio consumo popular (Soto Jiménez, Yong Chacón, Gutiérrez Li, Fernández García, Lücke Bolaños, Rojas y González, 2010), lo cual pone en riesgo su sobrevivencia.

Además, existe otra razón para evitar que estas especies sean atrapadas con fines de consumo. Ambas, junto con una enorme variedad de otros depredadores marinos,

de la Salud (OMS) de 1 mg de mercurio/kg de pescado para peces depredadores. Al menos el 64% de las muestras iguala o supera el umbral toxicológico de la OMS para la ingesta semanal provisional tolerable, PTWI, calculado con base en porciones de pescado entre 100 g y 150 g. Los resultados indican la presencia de mercurio en estas muestras y se utilizan para interpretar el contenido de mercurio a partir de los parámetros de la OMS, así como para proponer recomendaciones de consumo para Costa Rica. Los resultados son coherentes con el fenómeno mundial de acumulación de mercurio en los mares y en depredadores marinos, documentados con un extenso número de referencias.

Palabras clave: pez vela, marlín, mercurio, metilmercurio, bioacumulación, biomagnificación.

At least 64% of the samples was equal to or above the toxicological threshold of WHO, defined as the provisional tolerable weekly intake, PTWI, calculated for portion sizes between 100 g and 150 g. Results show the presence of mercury in these samples, and are used to interpret mercury content compared to WHO values and propose recommendations for Costa Rica. These results are consistent with mercury accumulation in the ocean and in predatory fish observed worldwide, documented with a large number of references.

Keywords: sail fish, marlin, mercury, methylmercury, bioaccumulation, biomagnification.

acumulan metales pesados como cadmio, plomo y mercurio, en niveles que pueden llegar a ser tóxicos para el ser humano (Albert, 2001). Estos metales han sido estudiados desde hace más de 50 años en diferentes zonas marinas del mundo, y su acumulación en peces es motivo de alerta permanente entre los consumidores de zonas costeras de muchos países (Clarkson, 1987). Entre estos metales es especialmente importante el mercurio (United Nations Environmental Programme, 2004).

Se conocen dos intoxicaciones masivas con mercurio que provocaron la muerte de miles de personas. Una en la bahía de Minamata, Japón, a inicios de la década de 1950, y otra en Irak, a inicios de la década de 1970. El primer caso tuvo relación directa con el consumo de pescado contaminado con mercurio (Clarkson, 2002).

El mercurio se acumula en forma de metilmercurio (compuesto orgánico de mercurio) en el tejido de depredadores marinos,



Pez vela (tomado de www.fishidentificationblog.blogspot.com).

tales como el tiburón y el pez espada (United Nations Environmental Programme, 2004). Esta forma orgánica corresponde a no menos del 90% del mercurio total en el depredador (Clarkson, 1987). Diversas investigaciones han revelado que cuanto mayores sean el tamaño del pez y su masa corporal mayor será la concentración total de metilmercurio (Sonessten, 2003; Penningroth, 2010). Existe suficiente información internacional que lo demuestra, sin embargo, estudios semejantes para Costa Rica son escasos.

En este artículo se presentan datos de concentración de mercurio total en muestras de pez vela (*Istiophorus platypterus*) y marlín (*Makaira spp.* o *Tetrapturus spp.*) en Costa Rica, obtenidas por la Federación Costarricense de Pesca (FECOP) en el comercio nacional, por ser depredadores marinos relevantes para la salud pública y debido al interés turístico-deportivo de ambas especies (M. E. Ramírez Guier, comunicación personal, marzo 22, 2012). Los datos se comparan con parámetros internacionales y se interpretan con base en los criterios toxicológicos de la OMS. Se incluyen referencias de estudios científicos realizados en los últimos 30 años sobre la toxicología del mercurio, que han permitido a gobiernos de diferentes países emitir recomendaciones para el consumo de depredadores marinos en la dieta, por existir una relación entre su consumo y la exposición de las personas al mercurio (United Nations Environmental Programme, 2004; Karatela, Paterson, Schluter y Antriss, 2011).



Pez marlín (tomado de www.ocean-images.com).

El objetivo de este trabajo es presentar los datos de concentración de mercurio en el pez vela y el marlín en Costa Rica, en las muestras obtenidas por FECOP, y compararlos con los valores recomendados de contenido de mercurio en pescado de la Organización Mundial de la Salud (OMS). Esta comparación sustenta la necesidad de prevenir la pesca del pez vela y del marlín en Costa Rica, para el consumo humano. Así mismo, permite comprender el riesgo por exposición que conlleva la bioacumulación de mercurio en ambas especies, para la salud de los habitantes del país, y promueve el cumplimiento de la legislación nacional (La Gaceta, 2005; La Gaceta, 2009), hecho que pone estos datos a disposición de las autoridades competentes.

Antecedentes históricos

El mercurio tiene un origen natural y posee diversos usos, tales como en la fabricación de componentes eléctricos y electrónicos, en la producción de papel, en la minería de oro, entre muchos. Como cualquier otro recurso natural para la producción, su ciclo de vida finaliza con la descarga de mercurio en distintas formas químicas, en el agua, el aire y

el suelo; la más común es la evaporación, debido a que es un líquido. El mercurio también tiene propiedades toxicológicas particulares que han sido estudiadas ampliamente (Clarkson, 2002). A inicios del siglo XX, se tenía conocimiento de intoxicaciones con mercurio. Sin embargo, no fue sino hasta inicios de la década de 1950 cuando se confirmaron eventos masivos de envenenamiento por mercurio y metilmercurio, como consecuencia de su acumulación en tejido vivo al ingerir pescado (Penningroth, 2010; Clarkson, 1987). En esa época, en Japón, la descarga de mercurio por parte de una empresa, en la Bahía de Minamata, durante varios años, provocó la muerte de varios pescadores artesanales y de sus familias, en 1953, por el consumo de pescado contaminado con mercurio. Con el tiempo se ha determinado que esta contaminación se conocía desde 1939, sin embargo, no se tomaron medidas oportunamente (Penningroth, 2010; Jobin, 2005; Ministry of the Environment Japan, 2011). A finales de la década de 1950, en Suecia se observó que algunas aves depredadoras manifestaban desórdenes neurológicos. La acumulación de mercurio en estas aves fue confirmada al analizar las plumas y encontrar concentraciones anormalmente altas de mercurio en aves marinas que cazaban peces (Clarkson, 2003). El evento más importante ocurrió en Irak, entre 1971 y 1972. Cerca de 6 000 casos fueron ingresados a los hospitales de ese país por envenenamiento con mercurio. Estudios epidemiológicos lograron determinar efectos neurológicos severos en 40 000 personas, aproximadamente (Skerfving y Copplestone, 1976; Bakir, Rustman, Tikriti, Al-Damluji y Shihristani, 1980).

Las investigaciones alrededor de estos eventos lograron dar inicio a un interés por conocer a fondo la toxicología del mercurio, que se mantiene en fuerte crecimiento. Un área de especial interés es el estudio de los procesos de acumulación en los tejidos vivos (bioacumulación) y cómo aumenta la concentración de mercurio y metilmercurio en los distintos niveles de la cadena alimentaria

(biomagnificación), en diferentes especies marinas. Existen estudios que evidencian cómo estos procesos afectan la salud de las personas que consumen pescado regularmente en su dieta (Penningroth, 2010; European Commision, 2008; World Health Organization, 2003).

Dispersión del mercurio

El mercurio es un contaminante global que carece de barreras ambientales (Munthe, Fjeld, Meili, Porvari, Rognerud y Verta, 2004; Goodsite, 2003). Por lo tanto, no es una preocupación exclusiva de algún país en particular, ni de una zona geográfica específica, sino mundial, y tiene un origen natural agravado por las actividades humanas. Las formas más comunes son las inorgánicas derivadas del mercurio metálico, que forman complejos estables, los cuales permanecen en el suelo. Las formas orgánicas, originadas del metabolismo del mercurio por parte de microorganismos, son solubles en agua, por lo tanto, se dispersan rápidamente en capas húmedas del suelo, o principalmente en sedimentos marinos donde son absorbidas por el zooplancton. En esta etapa se inicia su incorporación a la cadena alimentaria, hasta llegar a peces de gran tamaño, que representan un riesgo potencial de exposición a los efectos del mercurio en las personas que los comen (Morel, Kraepiel y Amyot, 1998; United Nations Environmental Programme, 2004; Clarkson, 2002).

Toxicidad del mercurio

Actualmente, se sabe que más del 90% del mercurio en los peces está en forma de metilmercurio. El mercurio inorgánico y el etilmercurio (otra forma orgánica) están presentes en concentraciones mucho menores (Clarkson, 2002; Martins do Nascimento, Oliveira, Crespo-López, Macchi, Maués, Pinheiro, Silveira y Herculano, 2008; Aschner y Aschner, 2007; Aschner, 2000).

Existe una enorme variedad de estudios que demuestra la acumulación de mercurio en peces. En ellos se ha identificado que el metilmercurio se

distribuye en los tejidos, debido a su solubilidad en agua, y no a un mecanismo de acumulación en tejido graso. En este proceso de distribución en el organismo de los peces, el mercurio se acumula, pues forma enlaces estables con aminoácidos que contienen azufre y, de este modo, se queda dentro del cuerpo del animal (Karatela et al., 2011; Hutcheson, Smith, Wallace, Rose, Eddy, Sullivan, Pancorbo y Rowan

West, 2007; Kamman, Burgess, Driscoll, Simonin, Goodale, Linehan, Estabrook, Hutcheson, Major, Scheuhammer y Scruton, 2005; Paterson, Blanchfield, Podemski, Hintelman, Gilmour, Harris, Ogrinc, Rudd y Sandilanks, 2006; Voegborlo, El-Methnan y Abedin, 1999; Chiou, Jiang y Kumar-Danaduri, 2001; Jaled Khaniki, Alli, Nowroozi y Nabizadeh, 2005; Sampaio da Silva, Lucotte, Roulet, Poirier, Mergler, Oliveira Santos y Crossa, 2005; Morrisey, Rasmussen y Okada, 2004).

Cuando las personas consumen pescado con altos niveles de mercurio, el metilmercurio es ingerido y en el ser humano ocurre un proceso de bioacumulación semejante al que ocurrió en el pez (Sousa Passos, Sampaio da Silva, Lemire, Fillion, Guimaraes, Lucotte y Mergler, 2008; Pinheiro, Okiwa, Vieira, Gomes, Guimaraes, Crespo-López, Müller, Amoras, Ribeiro, Rodrigues, Cortés y Silveira, 2006). En humanos el metilmercurio se absorbe por vía intestinal en un 95% y se intercambia por medio del torrente sanguíneo. Esto se ha demostrado por análisis de biomarcadores específicos en humanos, tales como la sangre (Timbrell, 2000; Cole, Kearney,



Pez vela (tomado de www.pronaturephotographer.com).

Sanin, Leblanc y Weber, 2004; Rowland, Robinson y Doherty, 1983), la orina, la leche materna, el líquido amniótico, el cordón umbilical (Counter y Buchanan, 2004; Delgard, Grandjean, Jørgensen y Weihe, 1994; Geier y Geier, 2007), así como el cabello y las uñas (Clarkson, 2002). En las matrices líquidas, el mercurio se mantiene como metilmercurio. Su distribución en el cuerpo causa daño renal, daños neurológicos y, en mujeres embarazadas, traspasa la barrera placentaria, disminuye la concentración total en la madre y la aumenta en el feto que no es capaz de eliminarlo. Esto ocurre a concentraciones tan bajas como 0,3 microgramos de mercurio/kg de masa corporal (World Health Organization, 2008). El mercurio en uñas y cabello se acumula porque se enlaza fuertemente a los aminoácidos que contienen azufre, donde permanece en forma estable durante años (Johnsson, Sällsten, Schütz, Sjörs y Barregård, 2004). Se ha comprobado que las concentraciones de mercurio en estos biomarcadores son muchas veces superiores entre las personas que consumen depredadores marinos en sus dietas (Sousa Passos et al., 2008; Cole et al., 2004).

Un fenómeno similar ocurre en las plumas de aves marinas que se alimentan de pescado (Bond y Lavers, 2005).

Estudios en Costa Rica

Entre la literatura revisada sobre el tema, se encontraron únicamente tres estudios realizados en Costa Rica relacionados con la determinación de mercurio. El primero de ellos reporta el desarrollo de un método de análisis químico para medir mercurio total en pescado en el nivel de microgramos por kilogramo (Barquero, 1997).

El segundo estudio corresponde a una evaluación de los niveles de mercurio en arrecifes coralinos a lo largo de la costa caribeña entre Costa Rica y Panamá. En esa investigación los autores analizaron 23 arrecifes; encontraron que los

niveles más altos de los 23 sitios estudiados están en Moín, Limón (Guzmán y García, 2002).

El tercer estudio corresponde al monitoreo de metales pesados en plumas de aves residentes en Costa Rica y Panamá. Los autores encontraron que el ave con mayor contenido de mercurio es el martín pescador estadounidense enano (*Chloroceryle aenea*), un ave marina en Caño Palma, Refugio de Vida Silvestre Barra del Colorado. El nivel encontrado fue 11,29 ppm de mercurio en las plumas. Niveles superiores a 4,6 ppm se consideran elevados (Lane, Brenes, Doherty, Elizondo, Taylor y Rinker, 2011).

Metodología

Las especies se seleccionaron considerando su interés turístico-deportivo, las restricciones para su pesca comercial, y la existencia de suficiente evidencia científica que demuestra la bioacumulación y biomagnificación de mercurio en grandes pelágicos (M. E. Ramírez Guier, comunicación personal, marzo 22, 2012; La Gaceta, 2005; La Gaceta, 2009; Choi y Grandjean, 2012).

Muestras

Se estudiaron 11 muestras de pez vela (*Istiophorus platypterus*) y 11 de marlín (*Makaira spp.* o *Tetrapturus spp.*) tomadas directamente del comercio, donde se expenden con esos nombres, en presencia de un abogado con fe pública, entre agosto de 2011 y abril de 2012. Debido a que las muestras se tomaron en pescaderías nacionales, no se puede identificar específicamente la

Cuadro 1. Resultados reportados por muestra, valor promedio y desviación estándar del promedio por especie, para n = 11.

Muestra	Resultado / (mg/kg)	Valor promedio / (mg/kg)
Vela	1,26	
Vela	0,94	
Vela	1,28	
Vela	1,07	
Vela	0,94	
Vela	0,85	(1,07±0,17)
Vela	1,30	
Vela	1,25	
Vela	0,95	
Vela	0,87	
Vela	1,10	
Marlín	0,75	
Marlín	1,18	
Marlín	1,17	
Marlín	0,82	
Marlín	0,72	
Marlín	0,58	(0,83±0,27)
Marlín	1,00	
Marlín	0,98	
Marlín	0,41	
Marlín	1,07	
Marlín	0,50	

variedad de marlín. Las muestras fueron enviadas a analizar a laboratorios costarricenses acreditados, para medir la concentración de mercurio total. Los resultados pueden ser verificados en los informes reportados a FECOP (M. E. Ramírez Guier, comunicación personal, mayo 15, 2012).

Metodología de análisis

Los reportes de los laboratorios indican que las determinaciones se realizaron con el método FSIS MER 1991 por espectroscopia de absorción atómica sin llama, que es el método estándar para analizar mercurio (La Gaceta, 1996). Los resultados se refieren exclusivamente a las muestras tomadas. Los reportes oficiales originales de los análisis se encuentran en las oficinas de la Federación Costarricense de Pesca (M. E. Ramírez Guier, comunicación personal, marzo 22, 2012). Se recopiló información internacional disponible del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (UNEP), de la OMS, de la Agencia NorTEAMERICANA de Protección Ambiental (USEPA) y de la Organización no Gubernamental Salud Sin Daño (SSD). Para comparar las concentraciones de mercurio en las muestras recolectadas, se utilizaron los niveles máximos recomendados por la OMS desde 1995, que corresponden a los mismos valores que rigen en Costa Rica (La Gaceta, 2008). Para documentar el proceso de biomagnificación de mercurio en grandes pelágicos en regiones geográficas cercanas a Costa Rica, se utilizó el estudio realizado en el Golfo de California por Soto-Jiménez y otros en 2010.

Resultados y discusión

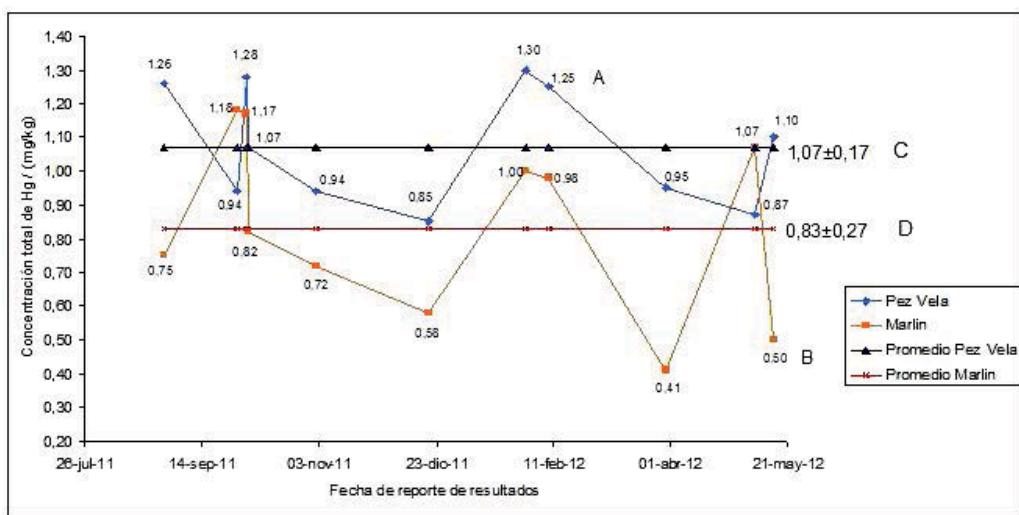
En el cuadro 1 se presentan los resultados reportados para las muestras analizadas (M. E. Ramírez Guier, comunicación personal, marzo 22 y mayo 15, 2012).

En la figura 1 se observa la comparación de los resultados, así como los valores promedio indicados en el cuadro 1.

En el cuadro 1 y en la figura 1 se observan las concentraciones de mercurio total en mg de mercurio/kg de pescado, en las muestras de pez vela y marlín recolectadas por FECOP (líneas A y B). Los resultados reportados indican que el 100% de las muestras recolectadas por FECOP contiene mercurio.

En las muestras de pez vela (línea A) se aprecian concentraciones que varían entre 0,85 y 1,30 mg de mercurio/kg de pescado, con un promedio de $1,07 \pm 0,17$ mg/kg (línea C). En las muestras de marlín (línea B) las concentraciones varían entre 0,41 y 1,18 mg/kg, con un valor promedio de $0,83 \pm 0,27$ mg/kg (línea D). La OMS establece un

Figura 1. Comparación de las concentraciones de mercurio total en las muestras de pez vela (*Istiophorus platypterus*) y marlín (*Makaira spp.* o *Tetrapturus spp.*) recolectadas por FECOP (A y B), valores promedio y desviación estándar del promedio por especie (C y D).



límite máximo recomendado de 1 mg de mercurio/kg de pescado para peces depredadores (World Health Organization, 1995). El promedio para el pez vela es mayor a este umbral y el del marlín muy cercano.

El límite máximo recomendado por la OMS para mercurio en pescado es un valor de referencia para proteger la salud pública. Este valor se basa en la ingesta semanal provisional recomendada para las personas, PTWI (PTWI son las siglas de "Provisional Tolerable Weekly Intake", la Ingesta Semanal Provisional Tolerable), que es el nivel toxicológico recomendado por la misma OMS igual a 1,6 µg de metilmercurio/kg de masa corporal de la persona por semana (1,6 µg/kg equivale a 0,0016 mg/kg) (World Health Organization, 1995). La Comisión Conjunta de la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO) y la OMS han realizado los cálculos para la estimación del valor PTWI, a partir de porciones de pescado de 100 g (por ejemplo, las latas de atún tienen un peso escurrido de 120 g), para personas con una masa corporal de 60 kg, asumiendo que el 100% del mercurio se encuentra en forma de metilmercurio (World Health Organization, 2010). Aplicando estos parámetros a las muestras nacionales se obtienen los valores que se indican en el cuadro 2. Esos valores se calcularon de la siguiente forma:

$$\text{(Conc. Hg en muestra)}^*(0,100 \text{ kg}) / (60 \text{ kg}) = \text{Ingesta semanal}$$

Con. Hg en muestra = concentración total de mercurio en la muestra en mg/kg

0,100 kg = porción equivalente a 100 g de pescado por semana

60 kg = masa corporal promedio utilizada en los estudios de la OMS

Cuadro 2. Valores calculados de la ingesta semanal de mercurio para las muestras recolectadas por FECOP, utilizando los parámetros del CODEX Alimentarius y la Comisión FAO/OMS (World Health Organization, 2010).

Muestra	Concentración de mercurio / (mg/kg)	Ingesta semanal / (µg/kg * semana)	Valor de referencia CODEX / (µg/kg * semana) (PTWI)
Vela	1,26	2,1	
Vela	0,94	1,6	
Vela	1,28	2,1	
Vela	1,07	1,8	
Vela	0,94	1,6	
Vela	0,85	1,4	
Vela	1,30	2,2	
Vela	1,25	2,1	
Vela	0,95	1,6	
Vela	0,87	1,5	
Vela	1,10	1,8	
Marlín	0,75	1,3	1,6
Marlín	1,18	2,0	
Marlín	1,17	2,0	
Marlín	0,82	1,4	
Marlín	0,72	1,2	
Marlín	0,58	1,0	
Marlín	1,00	1,7	
Marlín	0,98	1,6	
Marlín	0,41	0,7	
Marlín	1,07	1,8	
Marlín	0,50	0,8	

En el cuadro 2 se presentan valores comparables con el PTWI, calculados a partir de las concentraciones de mercurio en las muestras recolectadas por FECOP y los parámetros utilizados por la Comisión Conjunta FAO/OMS, para estimar el riesgo por exposición a mercurio (World Health Organization, 2010). Como puede apreciarse, dos terceras partes de los valores

calculados para las muestras son iguales o superan el valor PTWI recomendado por la OMS.

Si las porciones fueran diferentes, entonces la exposición a mercurio también cambiaría, tal como se muestra a continuación. En el cuadro 3 se

presentan valores de ingesta calculados con base en porciones de diferente tamaño en las muestras recolectadas por FECOP.

Como se ve en el cuadro 3, incrementar la porción de 100 g en 25 g provocaría que 18 de las

Cuadro 3. Valores calculados de la ingesta semanal de mercurio para las muestras recolectadas por FECOP, utilizando los parámetros del CODEX Alimentarius, la Comisión FAO/OMS (World Health Organization, 2010) y porciones mayores.

Muestra	Concentración de mercurio / (mg/kg)	Ingesta semanal / ($\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{semana}$)			Valor de referencia CODEX / ($\mu\text{g}/\text{kg}^*\text{semana}$) (PTWI)
		Porción de 100 g	Porción de 125 g	Porción de 150 g	
Vela	1,26	2,1	2,6	3,2	
Vela	0,94	1,6	2,0	2,4	
Vela	1,28	2,1	2,7	3,2	
Vela	1,07	1,8	2,2	2,7	
Vela	0,94	1,6	2,0	2,4	
Vela	0,85	1,4	1,8	2,1	
Vela	1,30	2,2	2,7	3,3	
Vela	1,25	2,1	2,6	3,1	
Vela	0,95	1,6	2,0	2,4	
Vela	0,87	1,5	1,8	2,2	
Vela	1,10	1,8	2,3	2,8	
Marlín	0,75	1,3	1,6	1,9	1,6
Marlín	1,18	2,0	2,5	3,0	
Marlín	1,17	2,0	2,4	2,9	
Marlín	0,82	1,4	1,7	2,1	
Marlín	0,72	1,2	1,5	1,8	
Marlín	0,58	1,0	1,2	1,5	
Marlín	1,00	1,7	2,1	2,5	
Marlín	0,98	1,6	2,0	2,5	
Marlín	0,41	0,7	0,9	1,0	
Marlín	1,07	1,8	2,2	2,7	
Marlín	0,50	0,8	1,0	1,3	

22 muestras conduzcan a una ingesta igual o superior al valor PTWI. Incrementarla en 50 g conduciría a que la ingesta supere ese valor en 19 de las 22 muestras. Si la porción fuera de 200 g, todas las muestras superarían el umbral. En el CODEX Alimentarius de la OMS se indica que, cuando los niveles son excedidos, los gobiernos deben decidir cuáles recomendaciones deben darse para restringir el consumo, especialmente en poblaciones vulnerables (World Health Organization, 1995).

Los resultados se han comparado con el PTWI por ser un parámetro toxicológico relacionado con la concentración de mercurio en pescado. El PTWI es común tanto en depredadores marinos como en especies pequeñas no depredadoras que poseen un límite máximo recomendado de mercurio menor. Los peces depredadores tienen una concentración máxima recomendada de mercurio de 1 mg de mercurio/kg de pescado. Esto es el doble de la recomendada para peces no depredadores, 0,50 mg de mercurio/kg de pescado. La razón de esto no es que el consumo de especies depredadoras sea menos riesgoso para la salud, sino que estas especies acumulan más mercurio debido a su mayor peso corporal y tamaño, así como por sus hábitos alimenticios en aguas más profundas donde consumen más mercurio (Morel et al., 1998; Choy, Popp, Kaneko y Drazen, 2009). Esto conlleva un mayor riesgo para la salud, pues la ingesta de una porción de cualquier especie depredadora, menor a la de una especie no depredadora, podría conducir a una mayor exposición a los consumidores. Esto se refleja en el hecho de que ambas concentraciones límite convergen en el mismo PTWI. En los cuadros 1 y 2 se aprecia que 21 de las 22 muestras tienen concentraciones de mercurio superiores al umbral para especies no depredadoras (World Health Organization, 1995; World Health Organization, 2008).

Los resultados anteriores también tienen relación con la bioacumulación y biomagnificación del mercurio. Existe una tendencia hacia el

incremento de su concentración en el ambiente (Morel et al., 1998) y en los peces depredadores. Por eso los depredadores marinos tienden a exhibir concentraciones de mercurio superiores al nivel máximo recomendado por la OMS para peces no depredadores. Esto ha motivado que la OMS recomiende limitar su consumo, pues la concentración de mercurio en especies depredadoras no tenderá a bajar (World Health Organization, 2010; European Comision, 2008).

La OMS posee un registro de las concentraciones de mercurio encontradas por diferentes investigadores entre 1997 y 2008. Las especies reportadas por los investigadores son diversas en tamaño, origen y consumo, y confirman la tendencia de los grandes pelágicos a acumular más mercurio. Este mismo comportamiento ha sido verificado por la Administración de Medicamentos y Alimentos de los Estados Unidos de América (US-FDA). Los resultados de la OMS y de la FDA evidencian la presencia de concentraciones de mercurio perjudiciales para la salud de las personas que consumen depredadores marinos. También confirman que esas concentraciones no tienden a ser inferiores al umbral de la OMS, sino más bien van en aumento. El nivel de referencia más alto de OMS para los depredadores marinos no significa que el consumo de estos sea más seguro, significa que contienen más mercurio (World Health Organization, 2008; United Status Food and Drug Administration, 2012).

En la figura 1 se observó que las muestras de pez vela tienen concentraciones promedio de mercurio superiores al nivel recomendado por la OMS, y las de marlín están cerca. Esto se agrava con el hecho de que la bioacumulación va en aumento y se sabe que los síntomas por exposición a mercurio podrían tardar años en manifestarse (Weiss, Clarkson y Simon, 2002).

Los datos de la OMS y la FDA son coherentes con un estudio realizado en el Golfo de California en 2010. En ese estudio, los autores incluyeron

la medición de tamaño y masa corporal de los peces. Esas mediciones, junto con la determinación de mercurio en las muestras del marlín (*Tetrapturus audax*) y del pez vela (*Istiophorus platypterus*), confirman el proceso de biomagnificación reportado por la OMS en el nivel mundial, y por la FDA en los Estados Unidos, pues la concentración de mercurio fue mayor cuanto más grandes fueron los especímenes (World Health Organization, 2008; United States Food and Drug Administration, 2012; Soto-Jiménez et al., 2010).

Con respecto a las muestras del estudio del Golfo de California, es importante hacer notar que el estudio de Soto-Jiménez et al. (2010) es

concluyente en los siguientes aspectos: 1) hay mercurio en el pez vela y el marlín de las mismas variedades presentes en Costa Rica, y 2) la concentración de mercurio es mayor cuanto mayor sea el tamaño del espécimen. Esto resulta muy importante para Costa Rica, pues el Golfo de California es una zona geográfica más cercana, ambas especies son migratorias y se carece de estudios científicos similares en nuestro país.

La exposición de especies marinas a mercurio es un problema global (Morel et al., 1998) y la información disponible es aplicable a diferentes zonas geográficas. Sobre el uso de estudios



Pez vela (tomado de www.saltwatersports.com).

realizados en zonas geográficas diferentes, la misma OMS indica que "...en regiones donde la fuente primaria de la carga de mercurio sea global (esto es, en ausencia de fuentes locales de mercurio) ..., los datos registrados en otras áreas diferentes del área de interés son útiles para proporcionar estimaciones de los niveles de metilmercurio en peces, siempre que sean especies idénticas o similares, que sean parte de redes alimenticias similares ..." (World Health Organization, 2008). Esto sustenta la utilidad de la información anterior en el caso de Costa Rica, donde también es necesario estudiar las fuentes locales de mercurio.

La información de la figura 1 y los cuadros 1, 2 y 3 es clara en cuanto a la presencia de mercurio en las muestras nacionales, en niveles superiores al PTWI para las porciones indicadas. La información internacional demuestra la tendencia global hacia la biomagnificación y bioacumulación del mercurio en depredadores marinos y el riesgo de su consumo por parte de la población. A continuación, se presentan consideraciones adicionales sobre dicho riesgo, reconociendo el valor nutricional del pescado en la dieta de las personas.

Análisis riesgo-beneficio acerca del consumo de pescado, realizado por la Comisión Conjunta FAO/OMS

La Comisión Conjunta FAO/OMS, reconociendo el valor nutricional del pescado, analizó la relación que existe entre los beneficios del consumo de pescado, debido al efecto nutricional y neurológico de los ácidos grasos omega 3 en la dieta, contra los riesgos para la salud por la ingesta, debidos al contenido de mercurio (World Health Organization, 2010). Para ello, usaron como referencia la suma de las concentraciones EPA + DHA (ácido eicosapantenoico y ácido docosahexaenoico, respectivamente), que son los ácidos tipo omega 3 más abundantes en el pescado, y la concentración total de mercurio. La comparación de las concentraciones de ácidos omega 3 contra la concentración de mercurio total provee una herramienta para decidir cuáles pescados comer. En general, recomiendan que se deben comer pescados muy ricos en omega 3 y lo más bajos posible en mercurio. De acuerdo con distintas fuentes, los efectos negativos del mercurio son superiores a los efectos positivos de los ácidos omega 3, cuando la concentración de mercurio es superior a 0,50 mg/kg (World Health Organization, 2010; Choi y Grandjean, 2012).

Algunos ejemplos reportados como altos en omega 3 y bajos en mercurio son: el salmón (*Oncorhynchus spp.*) (1590 mg de omega 3/100 g de

pescado y 0,04-0,13 mg de mercurio/kg de pescado), la sardina (*Sardina pilchardus*) (980 mg de omega 3/100 g de pescado y 0,02-0,03 mg de mercurio/kg de pescado) y la trucha (*Oncorhynchus mykiss*) (580 mg de omega 3/100 g de pescado y 0,14-0,15 mg de mercurio/kg de pescado). Sin embargo, especies como el tiburón (*Selachimorpha spp.*) (220 mg de omega 3/100 g de pescado y 0,75-0,99 mg de mercurio/kg de pescado) y el pez espada (*Xiphias gladius*) (580 mg de omega 3/100 g de pescado y 0,98-1,03 mg de mercurio/kg de pescado) tienen menos omega 3 y más mercurio (Choi y Grandjean, 2012; World Health Organization, 2010). La Comisión Conjunta FAO/OMS cuenta con registros similares, entre los que se incluye el marlín (*Makaira spp.*) (con 30 mg de omega 3/100 g de pescado y 0,78 mg de mercurio/kg de pescado); es decir, es pobre en omega 3 y rico en mercurio. Esto confirma que es más beneficioso para la dieta consumir pescados pequeños, y no grandes depredadores. En las referencias no se encontraron datos similares de pez vela.

Principio precautorio y percepción del riesgo

Existen muchos estudios que demuestran la toxicidad del mercurio, los mecanismos a partir de los cuales se incorpora y actúa dentro del cuerpo, y que existe una mayor acumulación entre individuos que comen especies pelágicas. También hay evidencia de que la concentración de mercurio tiende a aumentar al ascender hacia niveles tróficos superiores y esto provoca un incremento en los niveles de mercurio en diferentes biomarcadores. Incluso, algunos autores resaltan la importancia de estudiar cuáles son las rutas que siguen las emisiones antrópicas desde diferentes puntos geográficos hacia ríos y mares, incluyendo la dispersión del aire, o cuáles son las actividades que aportan las concentraciones más elevadas de mercurio al ambiente, como la minería artesanal, para estimar los efectos crónicos y agudos (Saiki, Martin, May y Alpers, 2010; Weiss et al., 2002).

Anteriormente, se mencionó que en Minamata se conoció evidencia de la contaminación con mercurio desde 1939, no obstante, los primeros eventos sobre la salud se detectaron hasta 1953. Sin embargo, no existen estudios similares en Costa Rica. En estos casos, la OMS recomienda la aplicación del principio precautorio. Esto incluye establecer una efectiva comunicación de riesgos por parte de las autoridades, dirigida a los consumidores para seleccionar alternativas más saludables y mejor informadas, cerrando la brecha entre la población y los expertos (World Health Organization, 2008).

Medidas recomendadas en otros países

En varios países de Europa y en Estados Unidos existen recomendaciones para prevenir a la población acerca de los riesgos del consumo de pescado como el marlín, pez espada, tiburón, atún y otros depredadores (World Health Organization, 2008; United Status Food and Drug Administration, 2012; Health Care Without Harm, 2006). Las recomendaciones están dirigidas a una población vulnerable claramente identificada, con base en diferentes estudios científicos, y en razón de la evidencia de que las concentraciones de mercurio en estas especies, lejos de disminuir, más bien tiende a aumentar (Sousa Passos et al., 2008; Cole et al., 2004; Counter y Buchanan, 2004; Delgard et al., 1994; Geier y Geier, 2007; Henry y Heink, 1999).



E. Ramírez. Pez vela en pescadería, San José

Los grupos son: mujeres en edad fértil, mujeres embarazadas y niños. En general, no recomiendan comer las especies indicadas por cada fuente (World Health Organization, 2008; United Status Food and Drug Administration, 2012; Health Care Without Harm, 2006) más de una vez a la semana, en cantidades mayores a los 170 g, cuando el riesgo es moderado, y 60 g, cuando el riesgo es alto. Estos datos han sido compilados por la ONG Health Care Without Harm (2006).

Las recomendaciones de la OMS (World Health Organization, 2008), de la Unión Europea (2008) y del Programa de Monitoreo de la FDA en los Estados Unidos (United Status Food and Drug Administration, 2012) son alternativas que podrían ser tomadas como modelo para establecer un conjunto de medidas para la vigilancia de los niveles de mercurio y la protección de la salud de la población.

Conclusiones y recomendaciones

Los resultados del cuadro 1 y la figura 1 evindencian la presencia de mercurio en el 100% de las muestras de pez vela y marlín, tomadas por FECOP en comercios de nuestro país. Al comparar esos resultados con el parámetro toxicológico de la OMS (World Health Organization, 1995), queda clara la dependencia de la exposición a mercurio con el tamaño de las porciones que se coman, y que aún porciones pequeñas de tales muestras hubieran conducido a exposiciones superiores al PTWI. La información internacional revisada comprueba la problemática mundial del mercurio asociado a depredadores marinos, documentada desde hace más de 50 años (Clarkson, 2002; Health Care Without Harm, 2006; World Health Organization, 2004), y evidencia los riesgos de comer depredadores marinos, tales como el pez vela y el marlín. El estudio conducido en el Golfo de California (Soto-Jiménez et al., 2010) aporta elementos regionales acerca de dicha evidencia aplicables a Costa Rica, por tratarse de las mismas especies que además son migratorias. Por esta razón, es necesario formular recomendaciones de consumo a grupos en riesgo en Costa Rica, semejantes a las existentes en Europa y Estados Unidos con base en la aplicación del principio precautorio a favor de la salud pública. Además, es preciso reconocer los elementos científicos para seleccionar especies de alto valor nutricional, bajas en mercurio y altas en ácidos grasos omega 3 (Choi y Grandjean, 2012), así como evitar el consumo de pez vela y marlín, y contribuir con su preservación y aprovechamiento en actividades sustentables.

Referencias

- Albert, L. A. (2001). *Curso Básico de Toxicología Ambiental*. México: Noriega Editores.
- Aschner, J. L. y Aschner, M. (2007). Methylmercury neurotoxicity: exploring potential novel targets. *The Open Toxicology Journal* 1, 1-10.
- Aschner, M. (2000). Possible mechanisms of methylmercury toxicity. *Molecular Biology Today* 1 (2), 43-48.
- Bakir, F., Rustam, H., Tikriti, S., Al-Damluji, S. F. y Shihristani, H. (1980). *Clinical and epidemiological aspects of methylmercury poisoning*. *Postgraduate Medical Journal* 56, 1-10.
- Barquero, M. (1997). Determinación de mercurio total a nivel de µg/kg en tejidos liofilizados de pescado. *Ing. Cienc. Quím.* 12 (2), 61- 64.
- Bond, A. L. y Lavers, J. L. (2010). Trace element concentrations in feathers of flesh-footed Shearwaters (*Puffinus carneipes*) from across their breeding range. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 61 (2), 318-326.
- Chiou, C. S., Jiang, S. J. y Kumar Danadurai, K. S. (2001). Determination of mercury compounds in fish by microwave-assisted extraction and liquid chromatography-vapor generation-inductively coupled plasma mass spectrometry. *Spectrochimica Acta Part B*. 56, 1133-1142.
- Choi, A. L. y Grandjean, P. (2012). Human Health Significance of Dietary Exposures to Methylmercury. En Liu, G., Cai, Y. y O'Driscoll, N. (Eds.) *Environmental Chemistry and Toxicology of Mercury* (pp. 546-548, 561). New Jersey: Wiley.
- Choy, C. A., Popp, B. N., Kaneko, J. J. y Drazen, J. C. (2009). The influence of depth on mercury levels in pelagic fishes and their prey. *PNAS* 16 (33), 13865-13869.
- Clarkson, T. W. (1983). Molecular Targets of Metal Toxicity. En Brown, S. y Savory, J. (Eds.) *Chemical Toxicology and Clinical Chemistry of Metals* (pp. 220-225). London: Academic Press.
- Clarkson, T. W. (1987). Metal Toxicity in the Central Nervous System. *Environmental Health Perspectives* 75, 59-64.
- Clarkson, T. W. (2002). The three modern faces of mercury. *Environmental Health Perspectives* 110 (1), 11-23.
- Cole, D. C., Kearney, J., Sanin, L. H., Leblanc, A. y Weber, J. P. (2004). Blood mercury levels among Ontario anglers and sport-fish eaters. *Environmental Research* 95, 305-314.
- Counter, S. A. y Buchanan, L. H. (2004). Mercury exposure in children: a review. *Toxicology and Applied Pharmacology* 198, 209-230.
- Delgard, C., Grandjean, P., Jørgensen, P. J. y Weihe, P. (1994). Mercury in the umbilical cord: implications for the risk assessment for the Minamata Disease. *Environmental Health Perspectives* 102 (6-7), 548-550.
- European Commission. (2008). Information Note. Methylmercury in fish a fishery products. Brussels, Belgium.
- European Commission. (2008). Methylmercury in Fish and Fishery Products. Brussels, Belgium.
- Geier, D. A. y Geier, M. R. (2007). A case series of children with apparent mercury toxic encephalopathies manifesting with clinical symptoms of regressive autistic

- disorders. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A* 70, 837-851.
- Goodsite, M. E. (2003). *Fate of Mercury in the Arctic*. (Tesis de Ph. D.). University of Copenhagen, Dinamarca.
- Guamán, H. M. y García, E. M. (2002). Mercury levels in coral reefs along the Caribbean coast of Central America. *Marine Pollution Bulletin* 44, 1415-1420.
- Health Care Without Harm. (2006). Mercury and Fish Consumption. Belgium, Brussels.
- Henry, J. G. y Heink, G. W. (1999). *Ingeniería Ambiental* (ed. 2). México: Ed. Prentice-Hall.
- Hutcheson, M. S., Smith, C. M., Wallace, G. T., Rose, J., Eddy, B., Sullivan, J., Pancorbo, O. y Rowan West, C. (2008). Freshwater fish mercury concentrations in a regionally high mercury deposition area. *Water, Air, Soil Pollut.* 191 (1-4), 15-31.
- Jahed Khaniki, G. R., Alli, I., Nowroozi, E. y Nabizadeh, R. (2005). Mercury contamination in fish and public health aspects: a review. *Pakistan Journal of Nutrition* 4 (5), 276-281.
- Jobin, P. (2005). Making Things Public. En Latour, P. y Weibel, P. (Eds.) *Atmospheres of Democracy* (pp. 988-993). Cambridge: MIT Press.
- Johnsson, C., Sällsten, G., Schütz, A., Sjörs, A. y Barregård, L. (2004). Hair mercury levels versus freshwater fish consumption in household members of Swedish angling societies. *Environmental Research* 96, 257-263.
- Kamman, N. C., Burgess, N. M., Driscoll, C. T., Simonin, H. A., Goodale, W., Linehan, J., Estabrook, R., Hutchesson, M., Major, A., Scheuhammer, A. M. y Scruton, D. A. (2005). Mercury in freshwater fish of northeast North America – A geographic perspective based on fish tissue monitoring databases. *Ecotoxicology* 14, 163-180.
- Karatela, S., Paterson, J., Schluter, P. J. y Anstiss, R. (2011). Methylmercury exposure through seafood diet and health in New Zealand: Are seafood eating communities at a greater risk? *Australian Epidemiologist* 18, 21-25.
- Ley de pesca y acuicultura. (2005). La Gaceta 78. San José, Costa Rica.
- Acuerdo 090 INCOPESCA. (2009). La Gaceta 69. San José, Costa Rica.
- Decreto 25018-MEIC. (1996). La Gaceta 59. San José, Costa Rica.
- Decreto 34687-MAG. (2008). La Gaceta 160. San José, Costa Rica.
- Lane, O., Brenes, O., Doherty, P., Elizondo, P., Taylor, R. y Rinker, B. (2011). Biodiversity Research Institute [Póster].
- Martins do Nascimento, J. L., Oliveira, K. R. M., Crespo-López, M. E., Macchi, B. M., Maués, L. A. L., Pinheiro, M. C. N., Silveira, L. C. L. y Herculano, A. M. (2008). Methylmercury neurotoxicity & antioxidant defenses. *Indian J. Med. Res.* 128, 373-382.
- Ministry of Environment Japan. (2011). *Lessons from Minamata Disease and Mercury Management in Japan*. Japan.
- Morel, F. M. M., Kraepiel, A. M. L. y Amyot, M. (1998). The chemical cycle and bioaccumulation of mercury. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 29, 543-566.
- Morrisey, M. T., Rasmussen, R. y Okada, T. (2004). Mercury content in Pacific troll-caught Albacore Tuna (*Thunnus alalunga*). *Journal of Aquatic Food Product Technology* 13 (4), 41-52.
- Munthe, J., Fjeld, E., Meili, M., Porvari, P., Rognerud, S. y Verta, M. (2004). Mercury in Nordic Freshwater Fish: an assessment of spatial variability in relation to atmospheric deposition. 7th International Conference on Mercury as a Global Pollutant. United Nations Environmental Programme.
- Nebel, B. J. y Wright, R. T. (1999). *Ciencias Ambientales. Ecología y Desarrollo Sostenible* (ed. 6). México: Pearson Educación.
- Paterson, M. J., Blanchfield, P. J., Podemsky, C., Hintelmann, H. H., Gilmour, C. C., Harris, R., Ogrinc, N., Rudd, J. W. M. y Sandilands, K. A. (2006). Bioaccumulation of newly deposited mercury by fish and invertebrates: an enclosure study using stable mercury isotopes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 63, 2213-2224.
- Penningroth, S. (2010). *Essentials of Toxic Chemical Risk. Science and Society*. London: Taylor & Francis.
- Pinheiro, M. C. N., Oikawa, T., Vieira, J. L. F., Gomes, M. S. V., Guimaraes, G. A., Crespo-López, M. E., Müller, R. C. S., Amoras, W. W., Ribeiro, D. R. G., Rodrigues, A. R., Côrtes, M. I. T. y Silveira, L. C. L. (2006). Comparative study of human exposure to mercury in riverside communities in the Amazon region. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research* 39, 411-414.
- Rowland, I. R., Robinson, R. D. y Doherty, R. A. (1983). Influence of diet on methylmercury excretion and demethylation in mice – role of the intestinal microflora. En Brown, S. y Savory, J. (Eds.) *Chemical Toxicology and Clinical Chemistry of Metals* (pp. 381-384). London: Academic Press.
- Saiki, M. K., Martin, B. A., May, T. W. y Alpers, C. N. (2010). Mercury concentrations in fish from a Sierra Nevada foothill reservoir located downhill from historic gold-mining operations. *Environ. Monit. Assess.* 163, 313-326.
- Sampaio da Silva, D., Lucotte, M., Roulet, M., Poirier, H., Mergler, D., Oliveira Santos, E. y Crossa, M. (2005). Trophic structure and bioaccumulation of mercury in fish of three natural lakes of the Brazilian Amazon. *Water, Air, and Soil Pollution* 165, 77-94.

- Skerfving, S. B. y Copplestone, J. F. (1976). Poisoning caused by the consumption of organomercury-dressed seed in Iraq. *Bull. World Health Organ* 54, 101-112.
- Sonesten, L. (2003). Fish Mercury levels in lakes – adjusting for Mercury and fish size covariation. *Environmental Pollution* 125, 255-265.
- Soto Jiménez, M., Yong Chacón, M., Gutiérrez Li, A., Fernández García, C., Lücke Bolaños, R., Rojas, F. y González, G. (2010). *Informe Final: Un Análisis de la Contribución Económica de la Pesca Deportiva y Comercial a la Economía de Costa Rica*. San José: Instituto de Investigaciones en Ciencias Económicas, Universidad de Costa Rica.
- Soto-Jiménez, M. F., Amezcua, F. y González-Ledesma, R. (2010). Nonessential metals in Stripped Marlin and Indo-Pacific Sailfish in the Southeast Gulf of California, Mexico: concentration and assessment of human health risk. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 58, 810-818.
- Sousa Passos, C. J., Sampaio da Silva, D., Lemire, M., Filion, M., Guimaraes, J. R. D., Lucotte, M. y Mergler, D. (2008). Daily mercury intake in fish-eating populations in the Brazilian Amazon. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology* 18, 76-87.
- Timbrell, J. (2000). *Principles of Biochemical Toxicology* (ed. 3). United Kingdom: Taylor & Francis.
- United Nations Environmental Programme. (2004). *Regional Awareness Raising Workshop on Mercury Pollution. A Global Problem that needs to be addressed*. Buenos Aires, Argentina.
- United States Environmental Protection Agency. (2009). *Comments on the Draft FDA Report Assessing Risks and Benefits from Fish*. Washington: Office of Science & Technology.
- United States Food and Drug Administration. (2012). *Mercury Concentrations in Fish FDA Monitoring Programme 1990-2010*. Washington. Disponible en <http://www.fda.gov/Food/FoodSafety/Product-SpecificInformation/Seafood/FoodbornePathogensContaminants/Methylmercury/ucm191007.htm>
- Voegborlo, R. B., El-Methnani, A. M. y Abedin, M. Z. (1999). Mercury, cadmium and lead content of canned tuna fish. *Food Chemistry* 67, 341-345.
- Weiss, B., Clarkson, T. W. y Simon, W. (2002). Silent latency periods in methylmercury poisoning and in neurodegenerative disease. *Environmental Health Perspectives* 110 (5), 851-854.
- World Health Organization. (1995). Codex Standard 193-1995. *CODEX Alimentarius*, p. 31.
- World Health Organization. (2003). *Elemental Mercury and Inorganic Mercury Compounds: Human Health Aspects*. Geneva, Switzerland.
- World Health Organization. (2004). *The precautionary principle: protecting public health, the environment, and the future of our children*. Copenhagen, Denmark.
- World Health Organization. (2008). *Guidance for Identifying Populations at Risk from Mercury Exposure*. Inter-Organization Programme for the Sound Management of Chemicals. Geneva: United Nations Environmental Programme.
- World Health Organization. (2010). *Joint FAO/WHO Expert Consultation On The Risks And Benefits Of Fish Consumption*. FAO Fisheries and Aquaculture [Report No. 978]. Roma.

Agradecimiento

Los autores agradecen a la Federación Costarricense de Pesca por el financiamiento de este trabajo y la autorización para utilizar la información presentada.