



**Universidad  
Zaragoza**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**Investigación sobre la influencia de la contaminación ambiental por metales  
pesados sobre la salud pública y el sistema nervioso humano**

Research on the influence of environmental pollution by heavy metals on public health  
and human nervous system

Alumno/a: **Javier Arrechea Toni**

NIA: **699695**

Director/a: **Caridad López Granero**

Grado de Psicología

Curso 2018-2019

Facultad de Ciencias Sociales y Humanas Teruel

Universidad de Zaragoza

## **Índice de contenidos**

1. Resumen
2. Introducción
3. Objetivo e hipótesis
4. Metodología
  - a. Diseño
  - b. Estrategias de búsqueda
  - c. Criterios de inclusión y exclusión
5. Análisis de datos y resultados
6. Discusión
7. Conclusión
8. Bibliografía

## **Resumen**

El estudio de los metales pesados y sus características toxicológicas ha sido objeto de estudio reiterado entre investigadores y autoridades. Esta preocupación tiene su razón en los efectos adversos que la contaminación ambiental por metales pesados provoca tanto para el medio ambiente como para los seres humanos particularmente. Es importante investigar sobre estos efectos porque tienen un papel importante en la etiología de diversas enfermedades del ser humano. Diversos estudios han demostrado que ciertos metales que son tóxicos para el ser humano pueden provocar, en concreto, graves problemas en el sistema nervioso. Entre los metales más tóxicos para el ser humano se destaca el plomo, el cadmio, el mercurio y el arsénico. En conjunto, se hace necesaria una adecuada revisión sistemática acerca de la contaminación ambiental y los metales pesados y cuáles son los mecanismos y potenciales consecuencias que tienen sobre el ser humano, concretamente sobre nuestro sistema nervioso.

*Palabras clave:* contaminación ambiental, metales pesados, sistema nervioso, plomo, cadmio, mercurio, arsénico, toxicidad.

## **Abstract**

The study of heavy metals and their toxicological characteristics has been reiterated object of study by researchers and authorities. This concern is based on adverse effects that environmental contamination by heavy metals causes for the environment and for humans in particular. It is important to investigate these effects because they have an important role in the etiology of various diseases of humans. Several studies have shown that certain metals that are toxic to humans can cause, in particular, serious problems in the nervous system. Among the most toxic metals for humans are lead, cadmium, mercury and arsenic. On the whole, an adequate systematic

review of environmental contamination and heavy metals is necessary and what are the mechanisms and potential consequences they have on humans, specifically on our nervous system.

*Keywords:* environmental pollution, heavy metals, nervous system, lead, cadmium, mercury, arsenic, toxicity.

## **Introducción**

La contaminación ambiental se debe a factores ambientales físicos, químicos y biológicos, tales como mezcla de gases, material articulado o componentes orgánicos, que están presentes en el entorno de los individuos y actúan como tóxicos asociados con diversas enfermedades (Parra, 2014; Morales, Sánchez-Vergara, Rubio-López y Llopis-González, 2014). Entre las características o propiedades de estos factores ambientales tóxicos encontramos que pueden afectar al aire, agua y suelo (Parra, 2014). La contaminación ambiental se genera, principalmente, por el aumento intenso y constante de las actividades humanas (González-Montaña, 2009). Así, estos productos pueden ser generados por una mala gestión de residuos, fugas de componentes o la emisión directa de sustancias contaminantes hacia los ecosistemas (Guzmán-Morales, Cruz-La Paz y Valdés-Carmenate, 2019; González-Montaña, 2009).

La mayoría de seres humanos sufren a diario exposiciones de forma crónica a bajas dosis de contaminantes ambientales (Parra, 2014). La exposición a contaminantes ambientales en edades tempranas puede suponer graves riesgos para la salud y calidad de vida posterior (Martínez, Feldman, Granger, Chain y Soria, 2012).

En este trabajo vamos a tratar la contaminación ambiental provocada por metales. Dentro de los elementos metales existen diversos subconjuntos, tales como metales alcalinos, metales alcalinotérreos, metales de transición o pesados, y metaloides

(Liu, Goyer & Waalkes, 2008). Para este trabajo nos centramos principalmente en algunos metales pesados, como plomo (Pb), cadmio (Cd) y mercurio (Hg), aunque también hemos incluido un semimetal o metaloide como el arsénico (As).

Los metales pesados son aquellos metales cuya gravedad específica es mayor a 5 gr/cm<sup>3</sup> (Parra, 2014). Se pueden encontrar de forma natural en la corteza terrestre, y son de vital importancia para el ser humano, dadas sus aplicaciones industriales, domésticas y medicinales (Liu et al., 2008; Bharatraj & Yathapu, 2018). Además, se caracterizan generalmente por ser naturales y omnipresentes, lo que ha provocado que la vida del planeta haya tenido que evolucionar en presencia de estos elementos metálicos, que en muchos casos son potencialmente tóxicos (Liu et al., 2008; Bharatraj & Yathapu, 2018).

La contribución antropogénica ha provocado cambios con respecto a la presencia de los metales en el medio ambiente (Liu et al., 2008). Algunos impactos de dicha contribución son: 1) la acumulación de metales en aire, agua, suelos y alimentos, 2) el incremento del nivel medio de metales en el medio ambiente, 3) y la alteración de la forma química o la especificación de los elementos metálicos, lo que ha tenido impacto en sus potenciales tóxicos (Liu et al., 2008). La introducción de grandes cantidades de metales pesados en los ecosistemas ha ocasionado un grave impacto ecológico: los metales pesados se han bioacumulado y biomagnificado en la red trófica (Parra, 2014). La vida silvestre va acumulando y concentrando metales pesados según van pasando a través de los niveles tróficos. Esto provoca que los organismos que ocupan los niveles más altos, entre los que nos encontramos los humanos, sufren de concentraciones aumentadas de metales pesados, que pueden provocar graves problemas al organismo (Parra, 2014; Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011).

Algunos elementos metálicos, como cobre, hierro, magnesio o zinc, ejercen como micronutrientes esenciales que tienen gran relevancia en ciertas funciones celulares y subcelulares (Bharatraj & Yathapu, 2018). Por ello, estos elementos metálicos son esenciales para diversos procesos biológicos en los organismos (Liu et al., 2008). Sin embargo, algunas clases de metales, como los metales pesados, son sustancias tóxicas que producen una toxicidad significativa en humanos, que puede ocasionar, entre otros, problemas carcinogénicos, mutagénicos y teratogénicos (Liu et al., 2008; Parra, 2014; Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011). La genotoxicidad de los metales pesados no sólo afecta a seres humanos, sino también a la salud de animales y plantas (Parra, 2014; Bharatraj & Yathapu, 2018).

Uno de los riesgos para la salud de los metales es que los metales no esenciales pueden imitar a los metales esenciales para los organismos, obteniendo así acceso a funciones celulares clave que potencialmente interrumpen (Liu et al., 2008). Otro problema es que los metales, aunque puedan ser esenciales, una vez absorbidos pueden persistir en el cuerpo humano durante elevados períodos de tiempo; esto conlleva un aumento de la exposición y, por tanto, del riesgo de toxicidad (Liu et al., 2008; Bharatraj & Yathapu, 2018).

Dada la ya mencionada característica de ser omnipresentes, la exposición a los metales es casi inevitable, lo que hace a los metales únicos entre los tóxicos contaminantes (Liu et al., 2008). Los metales pesados se encuentran en el ambiente en el aire, el agua, el polvo, los alimentos y en otras fuentes no convencionales (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011; Bharatraj & Yathapu, 2018).

Históricamente, la toxicología por metales pesados se centraba en los efectos agudos o manifiestos de alta dosis (Liu et al., 2008). En la actualidad, la toxicología ha

enfocado su estudio hacia efectos sutiles, crónicos, de baja dosis y que no son fácilmente discernibles clínicamente (Liu et al., 2008; Goyer, 1993).

### **Objetivo e hipótesis**

El objetivo de esta revisión es analizar e investigar cuáles son los metales considerados perjudiciales para el ser humano por su toxicidad y cuáles son sus posibles consecuencias sobre el sistema nervioso. Se propone este objetivo con el fin de conocer de cerca estas consecuencias y tenerlas en cuenta para programas de prevención futuros.

La hipótesis con la que se trabaja en esta revisión es que la contaminación ambiental, y más en concreto la exposición a diversos tipos de metales pesados, tiene graves consecuencias sobre la salud de los seres humanos. Además de las consecuencias sobre los seres humanos, las consecuencias de la contaminación ambiental por metales pesados también recaen y afectan al equilibrio del medio ambiente.

### **Metodología**

#### *Diseño*

Se ha realizado una revisión sistemática y el oportuno análisis de la bibliografía presente en bases de datos. Los artículos que se han buscado tratan la contaminación ambiental desde el caso concreto de los metales pesados y las consecuencias que éstos tienen sobre el medio ambiente y la salud del ser humano. En esta revisión, los metales pesados que han sido tratados son algunos de los considerados por el Ministerio para la Transición Ecológica del Gobierno de España en su página web (<https://www.miteco.gob.es/es/>) como tóxicos “por su tendencia a representar serios problemas medioambientales”, como plomo, cadmio, mercurio y arsénico.

#### *Estrategias de búsqueda*

La búsqueda de artículos se ha llevado a cabo en las siguientes bases de datos: Pubmed, Google Academy, Dialnet y Alcorze. Las palabras para la búsqueda son aquellas que se refirieren al tema escogido para el trabajo, siendo las siguientes: “environmental pollution” (contaminación ambiental), “nervous system” (sistema nervioso), “heavy metals” (metales pesados), “toxicity” (toxicidad) y “neurological damage” (daño neurológico); la búsqueda de estas palabras se ha hecho tanto en español como en inglés.

Para acotar la búsqueda de artículos se han buscado aquellos publicados en los últimos diez años, es decir, desde el año 2009, pero finalmente se ha optado también por artículos más antiguos, dada su relevancia sobre el tema del trabajo. También se han buscado artículos que tuvieran texto completo (en línea).

#### *Criterios de inclusión y exclusión*

Los criterios de inclusión han sido los siguientes: 1) revisiones teóricas, 2) experimentos que asocien la contaminación ambiental, concretamente por metales pesados, con la salud pública, 3) y experimentos que relacionan las consecuencias que los metales pesados tienen sobre los diferentes sistemas y órganos del ser humano.

Los criterios de exclusión han sido los siguientes: 1) artículos que no se encontraron con texto completo en las bases de datos y 2) artículos que asociaban únicamente la contaminación ambiental con riesgos para el medio ambiente.

#### **Análisis de datos y resultados**

En primer lugar, se ha procedido a la búsqueda de artículos sobre el tema, bajo los criterios establecidos, y la posterior lectura del resumen/*abstract*. Con ello se ha decidido cuáles eran útiles para su aplicación en este trabajo. Tras la revisión de 40

artículos, se han seleccionado 11 para su análisis y se ha obtenido de ellos la información más relevante. Dicha información ha sido recogida en la siguiente tabla:

*Tabla 1. Síntesis de resultados de las publicaciones seleccionadas.*

<b>Autor/es y año</b>	<b>Tipo de artículo</b>	<b>Objetivo de la investigación</b>	<b>Conclusión</b>
Nava Ruíz y Méndez-Armenta (2011)	Revisión	Fijar mecanismos celulares mediante los cuales metales como cadmio, plomo, arsénico o talio inducen neurotoxicidad.	Los metales pesados causan daño neuronal a través de procesos como estrés oxidativo, interferencia con calcio y unión a proteínas por medio de los grupos sulfhídricos.
León y Peñuela (2011)	Revisión	Mostrar la problemática evidente que causa el mercurio en el ambiente y en la salud de las personas.	La exposición a las diferentes formas de mercurio, especialmente el metilmercurio, puede generar una gran variedad de efectos adversos para la salud humana.
Kimáko vá et al. (2018)	Experimento	Monitorear las concentraciones de mercurio en el pescado y los productos pesqueros en una región de Eslovaquia.	Existe exposición tóxica al metilmercurio de los organismos, los ecosistemas y los seres humanos a través de, principalmente, alimentos marinos y acuáticos contaminados. Se han

			establecido niveles límite para concentraciones de mercurio.
Clarkson et al. (2003)	Revisión	Realizar una revisión acerca de las manifestaciones clínicas que tiene la exposición tóxica a las diferentes formas de mercurio.	Todas las formas de mercurio generan problemas sobre la salud en dosis altas, pero está por determinar los efectos adversos que tiene la exposición a las dosis bajas.
Kumar & Reddy (2018)	Revisión	Recopilar resultados de estudios realizados sobre la interacción-contaminación y así poder facilitar el desarrollo de estrategias para contrarrestar la exposición a metales pesados.	La exposición crónica a metales pesados de bajo nivel, como el plomo, provoca daño subclínico. La toxicidad por plomo se agrava en la desnutrición o con la deficiencia de elementos esenciales.
Goyer (1993)	Revisión	Identificar los avances y las inquietudes actuales que puedan permitir oportunidades para las estrategias de prevención e intervención de la exposición al plomo.	La toxicidad de la exposición al plomo puede provocar, entre otros, efectos neurológicos de vital importancia para la salud humana, por lo que es importante conocer los principales factores de riesgo de cara a desarrollar estrategias de prevención.

Martínez et al. (2011)	Experimento	Conocer y evaluar los efectos clínicos, bioquímicos y vasculares en niños con exposición a fuentes de plomo.	Existen efectos que la exposición ambiental al plomo puede producir en niños no expuestos laboralmente.
Nogara et al. (2019)	Revisión	Realizar una revisión acerca de las manifestaciones clínicas que tiene la ingesta de metilmercurio a través de los alimentos.	El cerebro es muy sensible a los efectos del metilmercurio y éste provoca graves efectos neurotoxicológicos, afectando especialmente a los neurotransmisores.
Karri et al. (2016)	Revisión	Ayudar a la toxicología ilustrando los mecanismos y procesos de acción por los que plomo, cadmio, arsénico y metilmercurio, o las combinaciones entre ellos, ocasionan disfunciones cognitivas en el ser humano.	Plomo, cadmio, arsénico y metilmercurio poseen una neurotoxicidad que afecta especialmente al cerebro, con diversos efectos adversos cognitivos.
Antunes et al. (2018)	Revisión	Analizar la interacción existente entre el metilmercurio y los reguladores del sistema de respuesta antioxidante.	El metilmercurio afecta a la salud pública dados sus efectos neurotóxicos, siendo principalmente causante de estrés oxidativo y toxicidad

			celular.
Pinkas et al. (2018)	Revisión	Estudiar los efectos de algunos metales y metaloides, como metilmercurio y arsénico, en la expresión y activación de los productos finales de glicación avanzada (cuyas siglas en inglés son RAGE).	Tanto el metilmercurio como el arsénico pueden causar neurotoxicidad y provocar alteraciones del sistema nervioso, e incluso cáncer en el caso del arsénico.

Tras la exposición general de la información extraída de los artículos revisados, se ha procedido a crear una tabla donde se resume la información ya analizada de cara a conocer cuál de los metales evaluados tiene más incidencia en cuanto a sus consecuencias negativas sobre la salud pública. Dicha tabla es la siguiente:

*Tabla 2. Relación metales pesados con efectos negativos en la salud pública. Tasa de aparición en artículos.*

<b>Nombre del metal</b>	<b>Porcentaje de artículos</b>
Plomo (Pb)	5/11 → 45'5%
Cadmio (Cd)	2/11 → 18'2%
Mercurio (Hg)	7/11 → 63'6%
Arsénico (As)	3/11 → 27'3%

\* Para obtener los porcentajes se ha entendido el total de los artículos como el 100%.

## Discusión

Como se ha mencionado anteriormente en este trabajo de revisión, algunos subconjuntos de metales se caracterizan por sus propiedades toxicológicas, las cuales provocan efectos negativos sobre la salud (Liu et al., 2008; Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011). De acuerdo a la revisión sistemática que se ha llevado a cabo, hemos observado que metales pesados como el plomo y el mercurio producen una toxicidad significativa en humanos. En segundo lugar, la literatura nos muestra también los efectos del cadmio y el arsénico, aunque estos metales han sido estudiados en menor medida (Liu et al., 2008; Parra, 2014).

Las manifestaciones clínicas de la toxicidad por metales son muy variadas (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011) y así lo hemos comprobado en la presente revisión. La contaminación por metales pesados, a rasgos generales, pueden ocasionar: enfermedades respiratorias, enfermedades cardíacas, cáncer de pulmón, retraso en el desarrollo intrauterino, embriotoxicidad, estrés oxidativo, daño genético, daño celular, necrosis o apoptosis, e incluso en muchos casos la muerte (Parra, 2014). A nivel del sistema nervioso, los metales pesados causan enfermedades cerebrovasculares, daño cerebral, alteraciones en la estructura del cerebro, retraso en el desarrollo cognitivo, neurodegeneración, neuroinflamación o neuropatologías que afectan al Sistema Nervioso Central, como las enfermedades de Alzheimer y de Parkinson. También se encuentran detrás de enfermedades como la enfermedad de Itai-Itai o la enfermedad de Minamata (Parra, 2014; Bharatraj & Yathapu, 2018).

El plomo es uno de los metales más usados por el ser humano y está presente en numerosas actividades humanas (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011; Martínez et al., 2012; Alvarado, Dasgupta-Schubert, Ambriz, Sánchez-Yáñez y Villejas, 2011). El

plomo en el organismo provoca múltiples daños (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011; Bharatraj & Yathapu, 2018; Goyer, 1993; Martínez et al., 2012; Alvarado et al., 2011). En el caso concreto del sistema nervioso y el cerebro, se conoce que el plomo tiene diversos efectos neuropsicológicos en el desarrollo cognitivo y conductual del sistema nervioso central y efectos complejos en el caso del cerebro. Por ejemplo, afecta a los mecanismos esenciales para la potenciación a largo plazo neuronal, relacionada con la formación y consolidación de la memoria y el aprendizaje (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011; Goyer, 1993). Algunos síntomas comunes de la exposición al plomo son encefalopatía, neuropatía principalmente periférica, disminución de la función cognitiva, incremento de desórdenes de desarrollo, agresividad, psicosis, confusión o déficit mental (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011).

En el caso de la revisión de las consecuencias de la exposición al cadmio, encontramos la particularidad de que este metal se inhala a través del humo de los cigarrillos, entre otras vías (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011). La intoxicación por cadmio afecta a diversos tejidos, órganos y sistemas, entre otros, al sistema nervioso central y al sistema nervioso periférico, en los que puede provocar, por ejemplo, edema cerebral, pincosis, hemorragias o necrosis en diferentes áreas (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011).

El mercurio ha sido explotado durante siglos por el ser humano pese a ser uno de los elementos más tóxicos (Nogara, Farina, Aschner & Rocha, 2019). Hoy en día, el mercurio es ampliamente utilizado comercial y médicamente, lo que puede dar lugar a múltiples formas de exposición (Antunes, Ferrer, Marques, Tsatsakis, Renieri, Skalny, Farina, Rocha & Aschner, 2018; Clarkson, Magos & Myers, 2003; Harada, 2003; Kimáková, Kuzmová, Nevolná & Bencko, 2018; León y Peñuela, 2011; Pinkas, Cunha & Aschner, 2018). La forma más común de mercurio a la que se puede exponer el ser

humano es el metilmercurio (MeHg) (Kimáková et al., 2018). Éste es una forma orgánica del mercurio caracterizada por ser la más tóxica, y está asociado a una amplia variedad de efectos adversos para la salud humana (León y Peñuela, 2011; Kimáková et al., 2018). Es particularmente tóxico para el sistema nervioso, y provoca efectos neurológicos sutiles y de larga duración, tales como perturbación distal sensorial, constricción del campo visual, ataxia, disartria, trastornos auditivos o temblores, e incluso déficits cognitivos graves (León y Peñuela, 2011; Kimáková et al., 2018; Nogara et al., 2019; Antunes et al., 2018). Una consecuencia derivada de la exposición a mercurio es la enfermedad de Minamata (Harada, 2003; Nogara et al., 2019).

Principalmente, el arsénico es considerado carcinógeno, pero aparte la intoxicación por éste puede provocar múltiples manifestaciones clínicas específicas (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011; Pinkas et al., 2018). En el caso concreto del cerebro, el arsénico provoca daños neurológicos que pueden derivar principalmente en fenómenos neurodegenerativos, diversas clases de neuropatía o en una encefalopatía con alteraciones en las funciones neurológicas superiores. Otras manifestaciones clínicas son disfunción cognitiva, defectos del sistema neuronal, neurodegeneración, alteraciones de un gran número de neurotransmisores o supresión de receptores del hipocampo que desempeñan un papel fundamental en la plasticidad sináptica, el aprendizaje y la memoria (Nava-Ruíz y Méndez-Armenta, 2011; Karri, Schuhmacher & Kumar, 2016; Pinkas et al., 2018).

El análisis de las publicaciones sobre los metales revisados (ver tabla 2), nos ha llevado a la conclusión de que en la mayoría de los artículos revisados se habla del mercurio, más concretamente del metilmercurio. Así, podemos concluir que es el metal pesado cuyas consecuencias sobre la salud humana deben ser más atendidas. Ahora bien, esto podría deberse a una falta de estudios concretos acerca de los otros metales.

En cuanto al análisis individual de cada metal, se puede observar que todos presentan ciertas similitudes en cuanto a los efectos adversos que provocan sobre los seres humanos y su sistema nervioso. Por lo tanto, no se puede concluir que haya uno que sea más tóxico que otro; aunque hay que destacar la característica carcinógena de alguno de ellos, como es el caso tras la exposición al arsénico.

## **Conclusión**

En la presente revisión sistemática se ha realizado un resumen de la información más relevante sobre las consecuencias de la exposición a metales pesados en la salud de los seres humanos y, más concretamente, en el sistema nervioso. La principal conclusión es que los humanos estamos expuestos casi continuamente a metales tóxicos y otros contaminantes en nuestra vida diaria. En nuestros puestos de trabajo o incluso a través de nuestra dieta, por lo que es muy importante conocer y entender la contaminación ambiental y sus riesgos sobre la salud pública.

En el presente trabajo se defiende que es necesario otorgar un verdadero reconocimiento del valor ecológico y de la relación con la salud humana a ciertos elementos y factores del ambiente. Así, hemos observado una mayor prevalencia del estudio de metales pesados como el mercurio y el plomo en mayor medida y del cadmio y el arsénico en menor medida. Pese a la cantidad de publicaciones al respecto, aún queda mucho por investigar por lo que el estudio de los metales pesados y sus efectos toxicológicos plantea un gran desafío para el ser humano.

## Bibliografía

- Alvarado, C. J., Dasgupta-Schubert, N., Ambriz, E., Sánchez-Yáñez, J. M. & Villegas, J. (2011). Hongos micorrízicosarbusculares y la fitorremediación de plomo. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(4), 357–364.
- Antunes, A., Ferrer, B., Marques, F., Tsatsakis, A. M., Renieri, E. A., Skalny, A. V., Farina, M., Rocha, J. B. T. & Aschner, M. (2018). Oxidative stress in methylmercury-induced cell toxicity. *Toxics*, 6(3), 47.  
doi:10.3390/toxics6030047
- Bharatraj, D. K. & Yathapu, S. R. (2018). Nutrition-pollution interaction: An emerging research area. *The Indian Journal of Medical Research*, 148(6), 697–704. doi:10.4103/ijmr.IJMR\_1733\_18
- Clarkson, T. W., Magos, L. & Myers, G. J. (2003). The toxicology of mercury - Current exposures and clinical manifestations. *The New England Journal of Medicine*, 349(18), 1731–1737.
- González-Montaña, J.R. (2009). Metales pesados en carne y leche y certificación para la Unión Europea (UE). *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*, 22(3), 305–310.
- Goyer, R. A. (1993). Lead toxicity: Current concerns. *Environmental Health Perspectives*, 100, 177–187. doi:10.1289/ehp.93100177
- Guzmán-Morales, A. R., Cruz-La Paz, O. & Valdés-Carmenate, R. (2019). Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 28(1).

- Harada, M. (2003). Minamata disease and the mercury pollution of the globe. Recuperado el 6 junio de 2019 de <http://www.einap.org/envdis/Minamata.html>
- Karri, V., Schuhmacher, M. & Kumar, V. (2016). Heavy metals (Pb, Cd, As and MeHg) as risk factors for cognitive dysfunction: A general review of metal mixture mechanism in brain. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 48, 203-213. doi:10.1016/j.etap.2016.09.016
- Kimáková, T., Kuzmová, L., Nevolná, Z. & Bencko, V. (2018). Fish and fish products as risk factors of mercury exposure. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 28(3), 488–493. doi:10.26444/aaem/84934
- León, D. E. & Peñuela, G. A. (2011). Trascendencia del metilmercurio en el ambiente, la alimentación y la salud humana. *Producción + Limpia*, 6(2), 108–116.
- Liu, J., Goyer, R. A. & Waalkes, M. P. (2008). Toxic effects of metals. In C. D. Klaassen (Ed.), *Casarett & Doull's Toxicology: The Basic Science of Poisons* (7<sup>a</sup> ed., pp. 931–979). doi:10.1036/0071470514
- Martínez, N., Feldman, G., Granger, S., Chain, S. & Soria, N. (2012). Intoxicación con plomo: Evaluación clínica y estudios complementarios en niños. *Revista Ciencias de la Salud*, 10(Especial), 9–15.
- Morales, M. M., Sánchez-Vergara, A. L., Rubio-López, N., & Llopis-González, A. (2014). Exposición a factores ambientales y riesgo de tumores en el sistema nervioso central en niños: Revisión sistemática y metaanálisis. *Revista de Salud ambiental*, 14(2), 74–86.

Nava-Ruíz, C. & Méndez-Armenta, M. (2011). Efectos neurotóxicos de metales pesados (cadmio, plomo, arsénico y talio). *Archivos de Neurociencias (México, D.F.)*, 16(3), 140–147.

Nogara, P. A., Farina, M., Aschner, M. & Rocha, J. B. T. (2019). Mercury in our food. *Chemical Research in Toxicology*.  
doi:10.1021/acs.chemrestox.9b00126

Parra, E. (2014). Aves silvestres como bioindicadores de contaminación ambiental y metales pesados. *Revista CES Salud Pública*, 5(1), 59–69.

Pinkas, A., Cunha, A., & Aschner, M. (2018). An emerging model to study metal-induced RAGE-related pathologies. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(7), 1407. doi:10.3390/ijerph15071407