

## METALES PESADOS: FUENTES Y SU TOXICIDAD SOBRE LA SALUD HUMANA HEAVY METALS: SOURCES AND HIS TOXICITY ABOUT HUMAN HEALTH

Polo Bravo Carlos<sup>3</sup>,  
Sulca Quispe Liduvina<sup>4</sup>

### RESUMEN

Actualmente, los metales pesados tales como el plomo, mercurio, cadmio y arsénico cada día se bioacumulan en mayores concentraciones en el cuerpo humano que superan los máximos límites permisibles establecidos a nivel mundial y por muchos países, como consecuencia del contacto, consumo e inhalación, procesos denominados: toxicinética y toxidinámica en el cuerpo humano, estos metales cada día se encuentran más en aguas contaminadas antropogénicamente y en forma natural (aguas geotérmicas), en los alimentos por el uso de agroquímicos durante el cultivo: abonos químicos y fungicidas, y en el aire y suelo con material particulado proveniente de diferentes fuentes: plantas generadoras de energía, parque automotor, actividades mineras, metalúrgicas, otras; afectan los órganos vitales del cuerpo humano y cambios en la estructura genética del ADN, produciéndose una serie de tipos de cáncer, según los reportes de investigadores realizados en animales y encontrados en humanos. A nivel global, es de enorme importancia, toda vez que plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local, una realidad muy problemática que actualmente enfrenta la humanidad en su conjunto, considerando que el hombre para suplir sus necesidades de existencia y calidad de vida requiere de alimentos, energía y materias primas. Según estudios realizados por diversos investigadores a nivel mundial mediante estudios clínicos, patológicos, de biología molecular, contaminación atmosférica y estudios comparativos en animales de experimentación, han demostrado una elevada prevalencia de intoxicación en individuos expuestos al aire, suelo y agua con presencia de residuos peligrosos como el plomo, cadmio y arsénico en lugares contaminados con desechos de plantas metalúrgicas, aguas residuales y escorrentía agrícola. Se ha demostrado que la exposición prolongada a pequeñas dosis de plomo superiores a 5 µg/dL está asociada a efectos subclínicos tales como hipertensión, daño en la función renal, disfunción cognitiva y trastornos en la reproducción. Por lo indicado, el objetivo de esta revisión es presentar una descripción sobre las fuentes de contaminación e informar sobre los efectos tóxicos sobre la salud humana causada por la exposición a metales pesados en lugares contaminados, y métodos para la eliminación del cuerpo humano. Se hace referencia el caso del agua con alto contenido de arsénico y boro en los distritos de la región Tacna las cuales son consumidos por la población regional.

**Palabras clave:** arsénico, metales pesados, salud humana, tratamiento, toxicidad

<sup>3</sup> Departamento Académico de Física Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (Tacna - Perú), Facultad de Ciencias

<sup>4</sup> Departamento Académico de Biología Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann (Tacna - Perú), Facultad de Ciencias

SUMMARY

Currently, heavy metals such as lead, mercury, cadmium and arsenic every day bioaccumulate in higher concentrations in the human body that exceed the maximum permissible limits established worldwide and by many countries, as a result of contact, consumption and inhalation, so-called toxicokinetic and toxicodynamic processes in the human body, these metals are found more and more in anthropogenically and naturally contaminated waters (geothermal waters), in food by the use of agrochemicals during cultivation: chemical and fungicidal fertilizers, and in the air and soil with particulate material coming from different sources: power generation plants, automotive park, mining, metallurgical activities, others; affect the vital organs of the human body and changes in the genetic structure of DNA, producing a series of types of cancer, according to the reports of researchers carried out on animals and found in humans. At a global level, it is of enormous importance, since it poses a of the most severe problems that compromise food security and public health at a global and local level, a very problematic reality that currently faces humanity as a whole, considering that man to meet their needs for existence and quality of life requires food, energy and raw materials. According to studies conducted by various researchers worldwide through clinical, pathological, molecular biology, air pollution and comparative studies in experimental animals, have shown a high prevalence of poisoning in individuals exposed to air, soil and water with the presence of hazardous waste such as lead, cadmium and arsenic in places contaminated with waste from metallurgical plants, sewage and agricultural runoff. It has been shown that prolonged exposure to small doses of lead greater than 5 µg/dL is associated with subclinical effects such as hypertension, impaired renal function, cognitive dysfunction and disorders in reproduction. Therefore, the objective of this review is to present a description of the sources of contamination and to report on the toxic effects on human health caused by exposure to heavy metals in contaminated places, and methods for the elimination of the human body. Reference is made to the case of water with a high content of arsenic and boron in the districts of the Tacna region, which are consumed by the regional population.

**Keywords:** arsenic, heavy metals, human health, treatment, toxicity

µm	=	micras	SNP	=	Polimorfos de un solo nucleótido
nm	=	nanómetros	iAs	=	Arsénico inorgánico
ADN	=	ácido desoxirribonucleico	As	=	Arsénico
mg	=	miligramos	Hg	=	Mercurio
dl	=	decilitros	Cd	=	Cadmio
OMS	=	Organización Mundial de la salud	Zn	=	Zinc
CDC	=	Disease control and Prevention	Ni	=	Níquel
EUA	=	Estados Unidos de América	Cr	=	Cromo
Pb	=	Plomo	g	=	gramo
S	=	Azufre	ERC	=	Enfermedad Renal Crónica
µg	=	microgramos	IMC	=	Índice de masa corporal
CI	=	Cociente intelectual	PM2,5	=	material particulado 2,5
Kg	=	kilogramo	NK	=	Células asesinas
DM2	=	Diabetes mellitus tipo 2	ET	=	endotelina

BHE = Barrera hemato encefálica  
 SNC = Sistema nervioso central  
 Li = litio  
 EPA = Environment at protection agency

ANA = Autoridad nacional del agua  
 DIGESA = Dirección general de salud ambiental

## INTRODUCCIÓN

La contaminación por metales pesados y metaloides en recursos hídricos, suelos y aire plantea una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local. Una realidad muy problemática que actualmente enfrenta la humanidad en su conjunto, causada por diferentes sustancias químicas líquidas, gaseosas y sólidas que el hombre utiliza para suplir sus necesidades de existencia y calidad de vida (Alleva, et al. 2018). En estudios recientes se ha comprobado, por ejemplo, que hoy en día tenemos de 400 a 1000 veces más plomo en los huesos que hace 400 años (Dana Ullman, 2017), (Molina et al., 2010).

La contaminación del ambiente y la exposición prolongada de las personas a concentraciones superiores a los límites permisibles de los estándares de calidad del aire de los metales pesados, en áreas contaminadas de distintos países; causan efectos graves a la salud de la población humana, siendo los más vulnerables los niños (Castro de Esparza, 2006). El 25 % de la población mundial vive en áreas con agua y suelo contaminadas con metales pesados. Estos toxones, ponen en riesgo la salud humana. Los metales son persistentes, es decir, no pueden ser creados o degradados, ni mediante procesos biológicos ni antropogénicos (Chávez et al. 2017). Una vez que han entrado en los ecosistemas acuáticos, se transforman a través de procesos biogeoquímicos y se distribuyen entre varias especies con distintas características físico químicas, por ejemplo material particulado (>0,45 µm), coloidal (1 nm-0,45 µm) y especies disueltas (=1 nm) (Abd, et al., 2015), (Arnous O., 2015), (Bifeng et al., 2017),

(Reyes C., et al, 2016), (Faresh E., 2016). La

materia particulada y coloidal, tanto orgánica como inorgánica, desempeña un papel clave en la coagulación, la sedimentación y en los procesos de adsorción, los cuales influyen en los tiempos de residencia y transporte de los metales trazas desde la columna de agua a los sedimentos y a otras matrices (Faridah et al., 2018), (Salas, 2014), (Singh et al., 2010). La inhalación y la ingesta de alimentos, son dos de las causas más sobresalientes de contaminación en humanos (Londoño et al., 2016). Los efectos tóxicos dependen del tipo de metal, de la concentración y en algunos casos de la edad de la población expuesta (Ramirez et al., 2002). Algunos estudios que evalúan la contaminación de metales pesados en alimentos, carne y leche, han encontrado que el cadmio, el mercurio, el plomo y el arsénico, son cuatro de los elementos que por su impacto en la salud y concentración deben ser cuidadosamente evaluados y monitoreados. La inestabilidad del genoma es un requisito previo para el desarrollo del cáncer, ocurre cuando los sistemas de mantenimiento del genoma fallan el salvaguardar la integridad del genoma, ya sea como consecuencia de defectos heredados o inducida por la exposición al medio ambiente con productos químicos, agentes biológicos y a radiación (Tostado & García, 2014). Por lo tanto, la inestabilidad del genoma se puede definir como una tendencia mejorada para el genoma para adquirir mutaciones; que van desde cambios en la secuencia de nucleótidos hasta ganancia cromosómica, reordenamientos o pérdida. Se plantea la hipótesis de que, además de los carcinógenos humanos conocidos, la exposición a dosis bajas de otros productos químicos presentes en nuestra sociedad moderna podría contribuir a la carcinogénesis al afectar indirectamente la estabilidad del genoma (Peña et al., 2001).

Los productos químicos seleccionados con sus mecanismos de acción propuestos para contribuir indirectamente a la inestabilidad del genoma son: Los metales pesados (reparación del ADN, señalización del daño del ADN, longitud de los telómeros), el acrilamida (reparación del ADN, segregación de cromosoma), el bisfenol A (modificación epigenética, señalización del daño del ADN, función mitocondrial), el benomil (segregación cromosómica), las quinonas (modificación epigenética) y las partículas nano-dimensionadas (epigenéticas por función mitocondrial, segregación cromosómica, longitud de los telómeros). (Sabine A. et al., 2015).

Por otra parte, está demostrado que la exposición prolongada a pequeñas dosis de plomo superiores a 5 mg/dl está asociada a efectos subclínicos, tales como hipertensión, daño en la función renal, disfunción cognitiva y trastornos en la reproducción (DIGESA, 2014). Según la OMS, el plomo es causante de 600 000 casos nuevos de discapacidad intelectual en el mundo cada año. El plomo es un metal pesado, tóxico para el ser humano y que está presente en el ambiente y en emisiones derivadas de actividades humanas. La toxicocinética del plomo empieza con la exposición de un individuo por vía respiratoria, gastrointestinal y, durante el embarazo, mediante la movilización del plomo en hueso materno, el cual ingresa al torrente sanguíneo y cruza la barrera fetoplacentaria, constituyendo una fuente de exposición endógena para el feto (Figueroa R., 2017).

Las fuentes de exposición varían por región, país y contexto local. En México, la fuente más común en la población no expuesta laboralmente es a través de la elaboración, almacenamiento y consumo de alimentos y bebidas en loza de barro vidriado con óxido de Pb horneada a bajas temperaturas (Téllez, 2017). De acuerdo con el Center for Disease Control and Prevention (CDC) de Estados Unidos (EUA), el valor a partir del cual se consideran niveles elevados de PbS en todos los grupos etarios de la población general es 5 µg/dl. En 2012, el Programa Nacional de Toxicología de EUA reconoció que las mujeres embarazadas y en periodo

de lactancia, así como la población infantil, constituyen la población más susceptible a la toxicidad del Pb. Las concentraciones de PbS materna mayores a 5 µg/dl se han asociado con la reducción del crecimiento fetal y aumento del riesgo de aborto espontáneo y parto prematuro. En niños con concentraciones mayores a 5 µg/dl se ha establecido una disminución de hasta 6.9 puntos de coeficiente intelectual (CI), menor rendimiento académico y de otras medidas cognitivas, así como aumento de la incidencia de trastornos relacionados con la atención y problemas de comportamiento. Estos efectos se ven incrementados en niños que presentan deficiencia de hierro o anemia. El plomo es también un disruptor endocrino que puede afectar la maduración. Concentraciones mayores a 10 µg/dl se han asociado con disminución de la audición y de la función renal. Los efectos de la toxicidad del Pb son mayores en personas que viven en condiciones de pobreza, situación que se ha expresado como una fuente de injusticia ambiental a nivel mundial (Téllez, 2017).

El cadmio es otro toxón que produce contaminación ambiental e industrial y, en el ser humano, causa alteraciones a nivel enzimático, renal, respiratorio y digestivo, con el agravante de no tener una vida media muy prolongada (Ramirez A., 2002). La ingestión de alimentos es una de las principales vías de exposición a metales pesados. La toxicocinética del cadmio en personas no fumadoras comienza con el consumo de agua, frutas, vegetales y peces contaminados con este toxón. Una característica especial de la exposición a metales pesados por medio de los alimentos es la capacidad que tienen de acumularse en los tejidos. Especialmente los organismos acuáticos acumulan cadmio en el tejido graso y en órganos como el hígado, lo que implica que la concentración se incrementa a medida que se avanza en la red trófica. Las mujeres en edad fértil acumulan más estos contaminantes debido a los cambios hormonales propios de la menarquia y la gestación, así como por presentar una mayor cantidad de grasa relativa. La población de estudio tuvo acceso a alimentos contaminados con metales pesados. Esto, sumado a las características metabólicas de las mujeres y a sus

condiciones socioeconómicas, incrementó su exposición y vulnerabilidad frente a los efectos de la contaminación (Figueroa, 2017).

Por otra parte, las concentraciones de plomo en sangre de niños a partir de 5 µg/dl, causa efecto negativo en la salud intelectual. El 81 % de los niños estudiados tienen niveles de plomo en sangre superiores a 5 µg/dl, siendo un riesgo en el desarrollo neuro madurativo. (Tschamber et al. 2015).

La incidencia de la diabetes mellitus tipo 2 (DM2) está aumentando en todo el mundo y diversos factores de riesgo ambientales y genéticos son bien reconocidos. Polimorfismos de un solo nucleótido (SNP) en el gen Calpain-10 (CAPN-10), que codifica una proteína involucrado en la secreción y acción de la insulina, y la exposición crónica al arsénico inorgánico (iAs) a través del agua potable se ha asociado independientemente con un aumento en el riesgo de DM2. Se encontró una asociación inversa entre la función de las células beta y la exposición al iAs, siendo la asociación más pronunciado en sujetos con DM2. Sujetos sin DM2 que fueron portadores del genotipo en riesgo SNP-43 o -44, también tenía una función de célula beta significativamente más baja. (Díaz et al., 2013).

El uso intensivo de fertilizantes sintéticos y los plaguicidas en la agricultura hace que, al consumir alimentos, los incorporemos a nuestro cuerpo aun sin saberlo. Además, el agua también suele estar compuesta de metales pesados procedentes de fuentes naturales y antropogénicas, al igual que el aire que respiramos y que ingresa por los poros de nuestra piel, compuesto por gran cantidad de carburantes debido a la contaminación que no pueden ser eliminados con facilidad. Si bien nuestro cuerpo requiere pequeñas cantidades de metales como el hierro o el zinc, las cantidades excesivas pueden dañar nuestro cuerpo. Con otros metales llamados "pesados", como el caso del mercurio y el plomo, la relación es diferente: en cualquier cantidad resultan tóxicos para el cuerpo,

depositándose en la sangre y especialmente en los tejidos grasos. Específicamente, la contaminación del agua por metales pesados ocasionada por vía antrópica y natural, está afectando drásticamente la seguridad alimentaria y salud pública (Huang et al., 2014). Estudios recientes reportan la presencia de metales pesados y metaloides tales como mercurio (Hg), arsénico (As), plomo (Pb), cadmio (Cd), zinc (Zn), níquel (Ni) y cromo (Cr) en hortalizas tales como la lechuga, repollo, calabaza, brócoli y papa (Singh et al., 2010), (Chen et al., 2013), (Abd El-Kawy et al., 2015). Esta contaminación, proviene, entre otros causales, del uso para riego de aguas afectadas (Singh et al., 2010); (Fransisca et al., 2015); (Li et al., 2015), (Chauhan G. & Chauhan U.K. 2014). De igual manera, se han encontrado metales en diferentes concentraciones en peces, carnes y leche resultado de la bio-acumulación y movilidad desde el ambiente a las fuentes hídricas (Singh et al., 2010). Algunas especies tales como ostras, mariscos y moluscos acumulan el cadmio proveniente del agua en forma de péptidos ligadores hasta alcanzar valores de concentración entre 100 y 1000 µg/kg. En la carne, el pescado y frutas se han reportado valores de concentración entre 1 y 50 µg/kg y en algunos granos entre 10 y 150 µg/kg (Li et al., 2015).

## MATERIALES Y MÉTODOS

Para realizar la investigación bibliográfica revisión, se han utilizados técnicas de búsqueda de información en a través de buscadores vía Google académico en la web, de papers, tesis de titulación, de maestría y de doctorado, libros, congresos utilizando diversas plataformas y base de datos como son los siguientes: Scopus, Dialnet, Redalyc, Scielo, Nature, WHO. Además se consultaron otras bases de datos como: revistas científicas, páginas de internet, guías, libros, tabla de valores máximos permisibles, relacionados con la temática (Cruz Gregorio et al, 2018).

## METALOIDES, METALES PESADOS: FUENTES Y TOXICIDAD

### Arsénico

Considerada la sustancia más nociva para el organismo humano y los animales, el máximo nivel tolerable en el ganado es de 50 mg/Kg de tipo inorgánico y de 100 mg/Kg del tipo orgánico, el primero es el más tóxico, el As (III) es más tóxico que el As (IV), la intoxicación humana se produce por inhalación o ingestión del trióxido de arsénico ( $As_2O_3$ ), los síntomas son fuertes desórdenes gastrointestinales, calambres, y colapso circulatorio (Faridah et al., 2016). La intoxicación crónica puede ser causada por ingesta de alimentos y agua que contienen arseniuros, o por exposición laboral al inhalar durante mucho tiempo polvo en el lugar de trabajo, produciendo pigmentación en la piel lesiones en la médula ósea, sangre, hígado, vías respiratorias, y sistema nervioso central, además puede generar bronquitis; cáncer de esófago, laringe, pulmón y vejiga; así como también enfermedades vasculares. Suele encontrarse en las fuentes de agua potable a causa de la contaminación del agua por los procesos industriales, uso de pesticidas y por procesos naturales (Bifeng Hu, et al., 2017), (Castro de Esparza, 2006), (López D. et al., 2012), (litter et al., 2012)

### Cadmio

Presente en los suelos y rocas en forma natural, se incorpora al ambiente a través de los fertilizantes, plásticos, baterías, pilas, compuestos asociados al zinc, pinturas, aplicación de desechos al suelo y otros. Es tóxico para el hombre y para los animales con efectos agudos de corto plazo y crónicos de mediano y largo plazo, se acumula en el hígado y en los riñones, la vida media en el riñón es de 18 a 33 años (Alleva R. et al., 2018). La concentración crítica del cadmio que produce daño en la corteza renal es de 200  $\mu\text{g/g}$ , la dosis diaria para proteger la salud humana según la OMS es de 70  $\mu\text{g/g}$  (Ramirez A., 2002). Una dieta baja en Hierro contribuye al aumento de retención de cadmio, deficiencias de cadmio también aumentan la adsorción de cadmio. Puede generar bronquitis, infertilidad, alteraciones neurológicas, carcinogénesis, hipertensión

y enfermedades vasculares. Es utilizado en fertilizantes agrícolas y también resulta un subproducto de la contaminación de los automóviles. (Londoño & Franco L. 2016).

### Plomo

No es un elemento esencial para los humanos plantas y animales, es tóxico para humanos, particularmente los niños, se encuentra en el aire, agua, polvo, suelo y dieta y es tóxico para los animales para dosis de 30 mg/kg en la dieta. La principal fuente de contaminación es la gasolina con agregado de orgánico de plomo, es considerada como la segunda mayor toxina para el cuerpo, puede desencadenar alteraciones neurológicas, anemia o cáncer de riñón. Afecta al sistema nervioso y causa problemas en el crecimiento. Está presente en baterías y pesticidas (Londoño et al., 2016). De acuerdo con el Center for Disease Control and Prevention (CDC) de Estados Unidos, el valor a partir del cual se consideran niveles elevados de PbS en todos los grupos etarios de la población general es 5  $\mu\text{g/dl}$  (Molina Montoya et al., 2010).

### Mercurio

Elemento tóxico para el humano, animales y plantas en forma de metil, el metilmercurio es neurotóxico, los peces y semillas contaminadas con mercurio han producido serios envenenamientos en humanos. Llega al suelo por deposición de partículas atmosféricas o por la utilización en la agricultura en fungicidas, insecticidas y otros. Se acumula en los organismos y puede producir alteraciones neurológicas y problemas del sistema respiratorio (Nayhua G., 2016).

Vinculado con algunas afecciones como el asma, este metal destruye los micro túbulos celulares impidiendo la eliminación de tóxicos, por eso al eliminarlo del cuerpo, se facilita la eliminación de otros metales debido a la liberación del transporte axonal en las células nerviosas. El mercurio se libera al medio ambiente al quemar carbón o en otros procesos industriales como la incineración de residuos y finalmente se deposita en el suelo (Faridah O. et al., 2016).

**Aluminio**

Se utiliza en la cocina, en la elaboración de cosméticos, está presente en el agua e incluso forma parte de los aditivos de muchos alimentos. Puede generar daños en el sistema nervioso central, el sistema digestivo y los riñones (Faridah O. et al., 2018).

**Cromo**

Esencial para la vida del hombre y animales, en forma orgánica es un cofactor en la respuesta de la insulina al metabolismo de los carbohidratos, se han encontrado casos de concentración en el pulmón, su deficiencia en el organismo afecta la intolerancia a la glucosa, eleva el colesterol y los triglicéridos, eleva la concentración de insulina en la sangre, glicosuria, hiperglicemia, neuropatías y encefalopatías. La carne, queso, granos y cerveza constituyen buenas fuentes de cromo. El Cromo III puede provocar efectos cancerígenos o mutagénicos y el Cromo IV produce irritaciones cutáneas. Puede desencadenar, entre otras afecciones, cáncer de pulmón (Molina Montoya et al., 2010).

**Cobalto**

Se encuentra en forma natural en el suelo, rocas, aire, agua, plantas y animales; es esencial para la salud de los seres humanos y animales, por eso es importante que los alimentos contengan cantidades adecuadas. Tiene efectos beneficiosos como perjudiciales para la salud, para los humanos es beneficioso porque forma parte de la vitamina B<sub>12</sub>, estimula la producción de glóbulos rojos de la sangre, es un factor hipoglucemiante. Cuando el cuerpo humano absorbe mucho cobalto ocurren efectos perjudiciales, como respiratorios, exceso de glóbulos rojos con mucha hemoglobina (policitemia). (Vera J., 2017), (Unión Europea, 2017).

**Cobre**

Esencial para los humanos y animales, está asociado con las proteínas y enzimas, esencial para la reproducción. En concentraciones entre 25 a 100 mg/kg es tóxico para el ganado, se acumula en el cerebro, hígado y pelo. Tóxico para el hombre pero no venenoso, los efectos

agudos que puede causar son úlceras gastrointestinales, necrosis, hepática, y daño renal, su deficiencia puede producir anemia asociada a los problemas de absorción de hierro, desequilibrios mentales o nerviosos, problemas en los huesos y sistema cardiovascular, el hígado tiene la capacidad de reciclarlo. Dosis de 25 a 40 mg/kg es tóxico para las plantas (Vera J. 2015), (Unión Europea, 2017).

**Selenio**

Mineral esencial y de gran valor en nutrición humana, es un elemento traza que actúa conjuntamente con la vitamina E, aumentando la inmunidad y produciendo enzimas que protegen al organismos de los peróxidos perjudiciales, las personas con bajo nivel de selenio tienen mayor probabilidad de contraer cáncer, trastornos cardíacos, enfermedades inflamatorias y cataratas y de envejecimiento prematuro, una carencia mínima puede alterar el estado de ánimo, estados de angustia y afectar los niveles de energía. En muchas regiones del mundo se han encontrado relación estrecha entre deficiencia de selenio y la tasa de mortalidad por cáncer (Prieto et al., 2009). El Selenio evita el cáncer al esófago, estómago, colon y recto; en la mujer parece ejercer un poderoso efecto contra el cáncer de mama y es tóxico si se consumen dosis superiores a 900 microgramos/ día durante cierto tiempo. Entre los síntomas ocasionados por el exceso de selenio está la depresión, nerviosismo, problemas emocionales, náuseas, vómitos. Los niños que crecen en zonas ricas en selenio, padecen de caries, piezas dentarias faltantes u obturadas. Las megadosis de selenio son tóxicas, ocasionando caída del cabello, pérdida de las uñas, fatiga, náuseas, vómitos y aliento a leche agria. Las personas que trabajan en fábricas de vidrio, pesticidas, goma, semiconductores, o con cobre, se encuentran en riesgo de intoxicación con selenio por inhalación, absorción a través de la piel e ingestión, con trastornos como bronconeumonía, asma, disminución abrupta de la presión arterial, enrojecimiento de ojos, aliento y orina con olor a ajo, jaquecas, sabor metálico, irritación de nariz y garganta, dificultad respiratoria, vómitos y debilidad (Vera J., 2015).

## Zinc

Esencial para los humanos, los animales y las plantas, está asociado a una serie de procesos metabólicos importantes, es un nutriente indispensable para la salud humana y animal, las mayores concentraciones se encuentran en los huesos, músculos, piel y otros tejidos corporales, es excretado por la vía urinaria y por las heces, mucha población mundial padece carencias de este mineral. Ayuda a la formación de insulina, participa en la contracción muscular, esencial para la síntesis de las proteínas, importante para el equilibrio ácido-alcalino de la sangre, normaliza la función de la glándula prostática, necesario para la síntesis del ADN, colabora con el desarrollo del esqueleto, sistema nervioso y cerebro del feto (Vera J., 2015).

La falta de zinc puede provocar baja tasa de crecimiento, alteraciones mentales, alteraciones en la forma y función de los órganos reproductores masculinos, alteraciones en el sentido del gusto y el olfato, depresión inmunitaria, baja tolerancia a la glucosa, es tóxico cuando se ingieren en cantidades elevadas superiores a 150 mg/kg con síntomas de náuseas, vómitos y fiebre. (Arnous & Hassan, 2015).

Las fuentes de contaminación del agua, aire, suelo y plantas con metales pesados y su incorporación en la cadena alimenticia son variadas (Figura 1).



Figura 1. Fuentes de contaminación por metales pesados en el aire, agua, suelo y planta  
Fuente: (Reyes et al. 2016)

## TOXICIDAD SOBRE LA SALUD HUMANA

### Enfermedad renal crónica (ERC)

Los metales pesados como el plomo, el arsénico, el cadmio y el mercurio se han relacionado con nefropatías. En muchos países aún persisten niveles elevados de estos compuestos en lugares de trabajo, suelo, sedimentos y aire, lo que condiciona una exposición continua y prolongada en la población. Los residuos con metales pesados de las actividades industriales persisten en el medio ambiente durante largos periodos por ser no biodegradable. Las estrictas medidas de control ocupacional y ambiental en Europa y Norteamérica han disminuido sus riesgos. En México, los niveles de Pb en sangre en algunos pobladores que podría deberse al uso extendido de utensilios de barro vidriado, la producción de plomo y la fabricación de baterías constituyen un factor de riesgo para la salud de la población mexicana. En este país, se estimó entre 1990 y 2010 la carga de enfermedades crónicas y se observó el incremento de más del 300 % de ERC, que afecta a ambos sexos y ocupó los primeros lugares de morbilidad y mortalidad trayendo como consecuencia económica social el deterioro de la calidad de vida, disminución de la esperanza de vida y discapacidad laboral generando impacto a nivel económico (Vera J., 2015).

La estimación de la población afectada con ERC, a nivel mundial oscila entre 8 y 15 %. La insuficiencia de recursos económicos de los sistemas de salud por el elevado costo de atención y complejo manejo terapéutico y multidisciplinario de esta enfermedad es una limitante en la recuperación de los pacientes afectados (Huang, Z. et al, 2014).

Las principales causas de la ERC incluyen la diabetes mellitus, la hipertensión arterial, las infecciones renales del tracto urinario recurrentes, así como los riesgos ambientales y ocupacionales. Esto último no es considerado como antecedentes de importancia por los médicos debido a la falta de información al respecto (Dana, 2017)

En la ciudad de México al considerarse la carga de la enfermedad atribuible a factores de riesgo, aquellos que se incrementaron de manera relevante en el periodo entre 1990 y



2010 fueron los niveles elevados de plomo en sangre (308 %), el índice de masa corporal (IMC) (185%), la glucosa alterada en ayuno (149%) y el colesterol elevado (111%), todos ellos importantes en el desarrollo de la ERC (Chávez, 2017), (Tschamber, 2015)

### Efecto sistémico

La exposición continua a contaminantes atmosféricos afectan las vías respiratorias altas y bajas en los niños produciendo inflamación sistémica. El incremento de mediadores pro-inflamatorios y el factor de necrosis tumoral  $\alpha$  son observados con frecuencia en suero sanguíneo de niños (Stone et al., 2015).

Los marcadores inflamatorios críticos para efectos cardiovasculares adversos, como la proteína C reactiva, se correlacionan significativamente con las exposiciones acumulativas de 24 y 48 horas (previas a la toma de una muestra de sangre) de partículas finas suspendidas de menos de  $2,5 \mu\text{m}$  en diámetro (PM<sub>2.5</sub>). Las alteraciones en la respuesta innata y adaptativa en niños deben a la exposición de partículas suspendidas lo que genera endotoxinas como lo muestran los incrementos significativos de la expresión sistémica de varias proteínas, como la lactoferrina, la proteína de choque de calor 60 y la elevación de la expresión de CD14 en monocitos de sangre periférica. En estos niños también se reduce considerablemente el número de las células asesinas (NK), el interferón gamma, y el factor estimulante de granulocitos y macrófagos, que en conjunto representan un estado de tolerancia a las endotoxinas, lo cual establece una asociación crítica con un estado de desregulación inmune. La inflamación sistémica se acompaña de alteraciones en las funciones endoteliales, de tal manera que estos niños tienen concentraciones elevadas de la endotelina-1 (ET-1), un vasoconstrictor muy potente del organismo humano. Los niveles de ET-1 se relacionan con el número de horas que los niños se exponen al medio ambiente fuera de sus hogares y a los niveles acumulados en una semana a PM<sub>2.5</sub>. El incremento de ET-1 es un marcador de daño endotelial, un evento

fundamental en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares (Faresh et al., 2016), (Faridah, et al., 2016)

### Efectos al sistema respiratorio

Las biopsias de mucosa nasal en niños muestran hiperplasia basal y gran disminución de las células ciliadas, infiltración de células inflamatorias, metaplasia escamosa y cambios displásicos con lesiones positivas para el p53, gene que protege las células somáticas del daño al ADN y que cuando está mutado se convierte en marcador de lesiones con potencial cancerígeno. Estos niños sufren de epistaxis, obstrucción nasal, costras en la nariz (Londoño, 2016). A la exploración nasal muestran áreas blanquecinas en los cornetes inferior y medio. Se recomienda que los niños con estas lesiones nasales sean vigilados por el otorrinolaringólogo pediatra y que se tome una biopsia si las lesiones persisten (Stone et al., 2015). El estudio patológico debe incluir inmuno histoquímica para el p53. La función olfatoria también se afecta, lo cual es muy importante, ya que el epitelio olfatorio tiene una conexión directa con el cerebro. Los axones de las neuronas olfatorias del epitelio olfatorio nasal, se unen dentro del nervio olfatorio, y establecen una conexión sináptica con neuronas mitrales del bulbo olfatorio. A su vez, los axones de neuronas mitrales se proyectan al núcleo olfatorio anterior, a la corteza piriforme y entorrinal, al núcleo cortical de la amígdala y al hipocampo, estructuras importantes del sistema límbico cuyo papel relevante en la memoria y el aprendizaje. La vía olfatoria proporciona una ruta de acceso directo al SNC de los tóxicos sin la interferencia de la barrera hemato encefálica (BHE) (Reyes et al., 2016), En los pulmones de residentes no fumadores de la CM encontramos una acentuada patología bronquiolar: hiperplasia del epitelio y de las células de músculo liso, con fibrosis peribronquial e infiltrados inflamatorios mononucleares alrededor de los bronquiólos de las venas y de las arterias pulmonares. En adolescentes y adultos jóvenes, frecuentemente se identifican neutrófilos adheridos al endotelio del lecho capilar pulmonar, lo cual explicaría la gran disminución de neutrófilos en la sangre periférica de algunos de estos niños.

Este fenómeno también se observa en vasos capilares cerebrales, lo cual se traduciría en daño capilar y subsecuente hipoxia cerebral (Sabine et al., 2016).

### Efecto cerebral

La exposición crónica al aire urbano contaminado causa inflamación cerebral y genera moléculas de oxígeno reactivo, estas alteraciones se confirmaron ampliamente en un grupo de adultos residentes en la ciudad de México comparados con controles de cuya autopsia se obtuvo tejido cerebral de víctimas de muerte súbita accidental. Se encontraron elevados mediadores inflamatorios del tipo de la ciclo oxigenasa 2 en la corteza frontal e hipocampo. En un estudio subsecuente enfocado a un grupo de niños, adolescentes y adultos jóvenes se observó una sobre regulación en la expresión de IL-1 $\beta$  y COX2 mRNA en el bulbo olfatorio, en la corteza frontal, en la sustancia nigrae del mesencéfalo y en los nervios vagos. La inmunorreactividad al amiloide beta- una de las proteínas acumuladas en los pacientes con enfermedad de Alzheimer-se observó en el 58.8% de los individuos con un Apo E 3/3 y en el 100% de los que tenían un alelo 4 que es un factor de riesgo para Alzheimer (Diaz et al., 2013).

Se hallaron datos de neuro inflamación, alteración de las respuestas innatas inmunes y ruptura de la barrera hemato encefálica (BHE) en los residentes de la CM. Concluimos que la exposición sostenida a ambientes urbanos con elevada contaminación es un factor de riesgo para dos enfermedades neurodegenerativas: Alzheimer y Parkinson. La contaminación del aire puede producir efectos adversos en el cerebro a través de diferentes mecanismos. Mediadores inflamatorios, producidos en las vías respiratorias debido a la contaminación crónica que induce daño epitelial y endotelial, se liberan a la circulación, lo cual puede activar el endotelio cerebral y atravesar la barrera hemato encefálica. Los vasos sanguíneos cerebrales expresan receptores para TNF- $\alpha$ , IL-1 $\beta$ , y IL-6. Estos mediadores inflamatorios pueden evocar la expresión de genes como la COX2 y la inducción de la sintetasa del óxido nítrico (iNOS) dentro del

endotelio de los capilares cerebrales. Una vez que se activan los receptores endoteliales de las citocinas mencionadas, se puede evocar la expresión de mediadores inflamatorios adicionales a través de la microglia vascular asociada, lo cual eleva la permeabilidad de la BHE. La producción de óxido nítrico puede llevar a la apertura de la BHE y compromete su capacidad para excluir el sistema nervioso central (SNC) de mediadores inflamatorios y neurotoxinas (Diaz et al., 2013).

La presencia en las neuronas, el endotelio y los eritrocitos, de material con partículas ultrafinas que contienen endotoxinas, derivados de la combustión, metales tales como el vanadio, níquel y manganeso, son potencialmente capaces de producir inflamación cerebral por acción directa. La expresión controlada de ratas a partículas extrafinas de metales, sugieren que se acumulan en el bulbo olfatorio y el trigémino y subsecuentemente pasan al cerebro. La ruptura de las barreras nasales (respiratoria y olfatoria) en sujetos expuestos a la contaminación crónica pueden contribuir a la inflamación cerebral por el ingreso de PM (finas) y ultrafinas (incluyendo endotoxinas) al cerebro a través de las vías olfatorias y trigeminales. Las partículas extrafinas también pueden ser transportadas al cerebro a través de la circulación sistémica o por monocitos (Tostado & Garrosa, 2014). Estudios cognitivos y de resonancia magnética cerebral en niños clínicamente sanos y sin ningún factor de riesgo con alteraciones neurológicas, cognitivas o ambas, han mostrado importantes alteraciones: estructurales en la sustancia blanca del lóbulo frontal caracterizadas por áreas hiperintensas visibles en estudios de resonancia cerebral. Estas lesiones persisten en la resonancia, se expanden y se acompañan de acentuadas deficiencias cognitivas que afectan particularmente la memoria fluida. Cincuenta y seis por ciento de los niños de la CM muestran lesiones hiper intensas en la región prefrontal. En un estudio concomitante en perros sanos de menos de dos años, en nuestro bioterio del INP, hallamos las mismas lesiones por resonancia magnética en la vasculatura de la región prefrontal, con ruptura de la BHE, neuro inflamación, gliosis y depósito de partículas ultrafinas. Nuestras más

publicaciones recientes muestran que la inflamación infratentorial se asocia a cambios intensos de los núcleos auditivos y vestibulares. El núcleo olivar medial superior que está íntimamente asociado a los potenciales auditivos provocados, se encuentra dañado en nuestras poblaciones pediátricas (Sabine et al., 2015). Por lo tanto, las alteraciones auditivas y vestibulares son parte de la morbilidad esperada en los niños de la CM. Es alarmante que el 40% de los niños y adultos jóvenes residentes en la CM comparados con los controles (0%), exhiben en muestras de lóbulos frontales, la proteína tau hiperfosforilada neuronal y el 51% muestran placas difusas de amiloide, los dos marcadores más importantes de Alzheimer. Es de gran interés, que los portadores de un alelo e 4 del gene de la Apolipoproteína E (que confiere un riesgo mayor para la enfermedad de Alzheimer) tienen más tau y placas de amiloide que quienes tienen más tau y placas de amiloide que quienes no tienen dicho alelo ( $Q = 7,82, p = 0.005$ ). En un estudio que comparó niños de siete años de la CM con y sin lesiones hiperintensas en la resonancia magnética versus controles sin lesiones, hubo diferencias altamente significativas en las pruebas cognitivas que involucran memoria entre los niños expuestos en la CM y los que radican en una área donde las concentraciones de contaminantes son inferiores a los estándares. Las deficiencias cognitivas estuvieron asociadas a cambios volumétricos de la sustancia blanca en el lóbulo parietal derecho y en ambos lóbulos temporales. Basados en los hallazgos de resonancia magnética cerebral y en las pruebas cognitivas del grupo de niños de la CM comparados con un grupo pareado para la edad, el coeficiente intelectual (CI), la educación de las madres y el estado socioeconómico, concluimos que la corteza pre-frontal es un blanco de la exposición a contaminantes urbanos, especialmente partículas. El daño que causa contribuye a las deficiencias cognitivas que afectan sobre todo la memoria fluida. Las alteraciones en la memoria fluida predicen una deficiencia en el rendimiento escolar, aprendizaje complejo, la capacidad para mantener la atención y evitar distracciones, comprensión de la lectura, razonamiento y de gran

importancia desde el punto de vista social, la capacidad de bloquear conductas antisociales y agresivas (Peña et al., 2001).

### METALES PESADOS EN EL PERÚ

Numerosos volcanes, aguas geotermales, fumarolas y pozos geotérmicos se encuentran en la región del Pacífico de América Latina. Estos sistemas se caracterizan por altas concentraciones de As y otros elementos geotérmicos típicos como Li y B. Dos fuentes de As puede reconocerse en los sitios investigados: arsénico dividido en gases volcánicos y emitido en penachos y fumarolas; y arsénico en rocas de edificios volcánicos que son lixiviados por aguas subterráneas enriquecidas con gases volcánicos. Las aguas se descargan en la superficie del suelo, el As (III) se oxida a As (V) y la atenuación de la concentración de As puede ocurrir debido a procesos de sorción y coprecipitación con minerales de hierro y materia orgánica presente en los sedimentos (López et al., 2012), (Litter et al., 2012).

Según (DIRESA, 2017), en la Tabla 2, se muestra los límites máximos permisibles de elementos químicos orgánicos e inorgánicos, establecidos para nuestro país.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de elementos químicos en el Perú.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE PARÁMETROS QUÍMICOS INORGÁNICOS Y ORGÁNICOS		
Parámetros Inorgánicos	Unidad de medidas	Límite máximo permisible
1. Antimonio	mg Sb L <sup>-1</sup>	0,020
2. Arsénico (nota)	mg As	0,010
3. Bario	mg Ba	0,700
4. Boro	mg B	1,500
5. Cadmio	mg Cd	0,003
6. Cianuro	mg CN <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	0,070
7. Cloro (nota2)	mg L <sup>-1</sup>	5
8. Clorito	mg L <sup>-1</sup>	0,7
9. Clorato	mg L <sup>-1</sup>	0,7
10. Cromo total	mg Cr L <sup>-1</sup>	0,050
11. Flúor	mg F <sup>-</sup> L <sup>-1</sup>	1,000
12. Mercurio	mg Hg L <sup>-1</sup>	0,001
13. Niquel	mg Ni L <sup>-1</sup>	0,020
14. Nitratos	mg NO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup>	50,00
15. Nitritos	mg NO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup>	3,00 Exposición corta 0,20 Exposición larga
16. Plomo	mg Pb L <sup>-1</sup>	0,010
17. Selenio	mg Se L <sup>-1</sup>	0,010
18. Molibdeno	mg Mo L <sup>-1</sup>	0,07
19. Uranio	Mg U L <sup>-1</sup>	0,015

Fuente: (DIRESA, 2017)

### METALES PESADOS Y METALOIDES EN LA REGIÓN TACNA

Los niveles de contaminación por metales y metaloides ecotóxicos en los sedimentos marinos superficiales de la Bahía de Ite, provincia de Jorge Basadre Grohmann de Tacna, reportó valores superiores a los límites máximos permisibles, estipulados por la Environmental Protection Agency (EPA) en cobre (608,063 mg/kg), hierro (33078,63 mg/kg) y arsénico (8,66 mg/kg); catalogando a la zona como contaminada por estos elementos. Los niveles de zinc (39,923 mg/kg), plomo (8,472 mg/kg) y cadmio (0,41 mg/kg) no superaron los límites máximos permisibles para zonas contaminadas establecidos por la EPA, en consecuencia la zona de estudio estaría catalogada como no contaminada por estos metales ecotóxicos. Al efectuar la comparación de los resultados obtenidos en la Bahía de Ite con los valores reportados en la zona sur de Las Mesas o Punta Mesa, libre de efectos antropogénicos, obtenemos diferencias significativas en las concentraciones en los metales ecotóxicos: Fe, Cu, Zn, As, Pb y Cd. Todos los metales a excepción del Hg, tienen niveles superiores a Las Mesas, lo que significa que existe contaminación antropogénica en la zona. La proyección de la contaminación a la zona norte de Santa Rosa desde la Bahía de Ite se produce en algunos de los elementos analizados como el cobre, zinc y menor proporción el arsénico (Ibárcena F., 2011), (Morales et al., 2017)

El nivel de riesgo del arsénico por el consumo humano e agua en la región Tacna (Diario Correo, ANA, 2015), (DIRESA-MCLCPT, 2017) Mesa de concertación para la Lucha Contra la Pobreza, 2017), (Tabla 3)

Tabla 3. Nivel de riesgo del arsénico por el consumo humano de agua en la región Tacna

N°	PROVINCIA	DISTRITO	NIVEL DE RIESGO QUÍMICO 2010	AGENTE PELIGROSO
1	TACNA	TACNA - CIUDAD	MEDIANO	Aluminio (0.31 mg/L)
2		POCOLLAY	MEDIANO	Aluminio (0.31 mg/L)
3		G. ALBARRACIN	BAJO	
4		CIUDAD NUEVA	MEDIANO	Aluminio (0.31 mg/L)
5		ALTO DE LA ALIANZA	MEDIANO	Aluminio (0.31 mg/L)

6	TACNA	SAMA INCLAN	ALTO	Arsenico (0.24 mg/L)
7		SAMA LAS YARAS	ALTO	Arsenico (0.15 mg/L)
8		PACHIA	ALTO	Arsenico (0.519 mg/L); Cadmio (0.0099 mg/L); plomo (0.062 mg/L) Antimonio (0.035 mg/L);
9		CALANA	ALTO	Aluminio (0.45 mg/L); Plomo (0.046 mg/L); Cadmio (0.0067 mg/L)
10		PALCA	BAJO	
11	TARATA	TARATA	MEDIANO	Aluminio (0.42 mg/L); Hierro (0.221 mg/L)
12		TICACO	MEDIANO	Hierro (0.416 mg/L)
13		TARUCACHI	ALTO	Plomo (0.038 mg/L) Sulfatos (9000 mg/L)
14		SUSAPAYA	BAJO	
15		SITAJARA	BAJO	
16		CHUCATAMANI		Boro (1.7 mg/L) Hierro (1,3 mg/L)
17		ESTIQUE	BAJO	
18		ESTIQUE PAMPA	ALTO	Plomo (0.028 mg/L)
19	CANDARAVE	CANDARAVE	ALTO	Arsénico (0.3 mg/L)
20		CAIRANI	ALTO	Arsénico (0.58 mg/L)
21		CAMILACA	BAJO	
22		CURIBAYA	ALTO	Arsénico (0.60 mg/L)
23		QUILAHUANI	ALTO	Arsénico (0.27 mg/L)
24		HUANUARA	ALTO	Arsénico (0.40 mg/L)
25	JORGE BASADRE	ITE	ALTO	Arsénico (0.33 mg/L)
26		LOCUMBA	BAJO	
27		ILABAYA	ALTO	Arsénico (0.059 mg/L); Boro (3,5 mg/L)

Fuente: (Mesa de concertación Tacna, 2017)

De los 23 distritos que cuenta la región Tacna, tan sólo siete cuenta hidrográficas con aguas superficiales en sus cuencas de contenido de arsénico por debajo del límite máximo permisible a 0,001 mg/L, siete distritos con contenidos de aluminio de (0,059 - 0,42) mg/L, y trece con contenidos de plomo entre (0,048 a 0,062) mg/L, en tanto el de boro fluctúa entre (1,7 – 3,5) mg/L catalogados entre mediano y alto contenido, la concentración de arsénico fluctúa entre (0,059 – 0,60) mg/L, catalogado como alto. Estos valores nos indican que los pobladores de 16 distritos incluyendo la ciudad de Tacna, vienen consumiendo de por vida aguas con alto contenido de metales y metaloides que estarían afectando no solo a la salud poblacional en su conjunto, sino también limita la productividad agrícola y ganadera, sobre todo que se bio acumulan en plantas, suelos y animales cuyos alimentos luego son consumidos por la población regional y de otras regiones (DIRESA-MCLCPT, 2017).

## TRATAMIENTO PARA LA DESTOXICACIÓN DE METALES PESADOS

### Los cambios dietéticos

Se emplean para apoyar el tratamiento de la intoxicación por metales pesados. Las dietas de desintoxicación son sobre todo vegetarianas, y reducen o evitan los alimentos que pueden suponer un estrés para el sistema inmunitario, como los procesados, fritos, azúcar, grasas, alcohol, cafeína, carne y productos lácteos. Se recomiendan alimentos orgánicos para evitar la exposición a pesticidas y otros productos químicos. Las dietas de desintoxicación incluyen una gran cantidad de productos ricos en fibras, como la avena y la zaragatona, para ayudar a limpiar el tracto digestivo. Las manzanas, las peras y las legumbres son ricas en pectinas, que se cree tienen efectos quelantes (sustancia que tiene la propiedad de eliminar metales pesados) sobre los metales pesados. Los alimentos ricos en antioxidantes también son muy recomendados, por ejemplo, frutas, verduras y zumos frescos. Los alimentos que contienen azufre, como el ajo, la cebolla y los huevos (orgánicamente producidos), se utilizan en estos casos, al igual que las verduras de hoja verde oscuro que contienen grandes cantidades de clorofila. Los alimentos que pueden contener metales pesados (muchos pescados y mariscos) deben evitarse (López A., 2016).

### Los suplementos nutricionales

Incluyen vitaminas antioxidantes A, C y E y suplementos multiminerales que contienen calcio, hierro, magnesio, cobre, cromo, selenio y zinc. Cisteína, metionina y dimetilsuccinato son otros suplementos útiles. (Vera Juarez, 2015)

### El tratamiento Fitoterapéutico

Consiste en el uso de plantas que tienen efectos de desintoxicación, como el cardo mariano, la bardana y otras muchas. La espirulina (suplemento dietético obtenido a partir de una cianobacteria denominada *Arthrospira platensis*) y otras algas de mar se emplean también, al igual que la bacteria

*Lactobacillus acidophilus*, para ayudar a recuperar el tracto digestivo (López A., 2016).

### Los remedios homeopáticos

Estudios realizados en animales y seres humanos han demostrado que los remedios homeopáticos sí que ofrecen algunos beneficios terapéuticos potencialmente valiosos (Vera J., 2015). De manera específica, varios investigadores administraron (en general a ratas y ratones) dosis brutas de arsénico, bismuto, cadmio, bismuto, cloruro de mercurio o plomo. Su investigación demostró que los animales que fueron pretratados con dosis homeopáticas de estas mismas sustancias y luego recibieron dosis homeopáticas repetidas después de la exposición a las dosis de sustancias tóxicas, excretaron mucho mejor las toxinas a través de la orina, las heces y el sudor. Además, en 9 estudios, los ratones que habían recibido dosis homeopáticas superiores a una potencia de 15C, una potencia más alta contiene menos sustancia base que una potencia 15C, demostraron una disminución del 40% en la mortalidad en comparación con los ratones del grupo de control).

Un grupo de investigadores universitarios de la India ha llevado a cabo un número significativo de ensayos de laboratorio evaluando los tratamientos homeopáticos de ratones expuestos a metales pesados tóxicos. En comparación con los ratones que recibieron un placebo, los ratones tratados homeopáticamente mostraron una activación de diversas enzimas detoxificantes del hígado, así como otras mejoras, tales como mejoras citogenéticas (aberraciones cromosómicas, micronúcleos, índice mitótico, anomalías en la cabeza de los espermatozoides) y mejoras bioquímicas (fosfatasa ácida y alcalina, peroxidación lipídica). Los investigadores concluyeron que la administración de *Arsenicum album* 200C mejora considerablemente los síntomas de la toxicidad por arsénico a largo plazo y puede recomendarse para su uso provisional, particularmente en las aldeas más remotas de la India en donde hay alto riesgo por

carecer de instalaciones médicas modernas y de agua potable sin arsénico (Vera J., 2015)

### Las terapias de desintoxicación

También están muy recomendadas, entre ellas el ayuno, la sudoración, las irrigaciones del colon y los vómitos terapéuticos. La medicina ayurvédica tiene un intenso programa de desintoxicación y curación denominado pancha karma (López A., 2016)

### Prevención

La exposición a los metales pesados suele ser un riesgo ocupacional, por lo que es necesario llevar ropas y mascarillas para evitar la exposición a estos productos. La ropa protectora debe dejarse en el lugar de labores y no hay que llevarla a casa, porque puede transportar polvo tóxico y exponer a los miembros de la familia. Es preciso que las industrias reduzcan o sustituyan los metales pesados en sus procesos, siempre que sea posible. La exposición a fuentes ambientales de plomo, como las pinturas a base de plomo, la gasolina con plomo y el suelo contaminado, debe ser reducida o eliminada (Peña et al., 2001).

## MÉTODOS NATURALES PARA ELIMINAR LAS TOXINAS

### Baños de inmersión con sales minerales para desintoxicar la piel

Limpia, relaja y purifica la piel de tu cuerpo agregándole al agua caliente de tu bañera con sales minerales. Puedes incorporar también hojas de abedul o de pino. (López Albela J., 2016)

### Carbón vegetal

El carbón vegetal activado tiene la propiedad de absorber los ingredientes peligrosos y eliminarlos por vía intestinal (López Albela J., 2016).

### Sílice

Este elemento permite absorber metales pesados como el mercurio y el plomo. Produce un efecto beneficioso en la

extracción de toxinas o impurezas y la neutralización de ácidos o de residuos químicos bajo la piel (López Albela J., 2016).

### Aceite de piña

Este aceite es excelente para ayudar a descongestionar los pulmones, disolver ciertas resinas producidas por el tabaco y otras sustancias.

### Ajo u otros alimentos

Algunos vegetales, debido a sus cualidades nutricionales y antioxidantes pueden ayudar a desintoxicar el cuerpo. Algunos de estos son: el brócoli, la coliflor y las coles de Bruselas. El ajo, por su parte, es un alimento con cualidades antibióticas, antivirales y componentes depurativos que ayudarán a eliminar todo tipo de toxinas fuera del organismo (López Albela J., 2016).

## CONCLUSIONES

A nivel mundial, nacional y local, encontramos que la contaminación ambiental por metales pesados y metaloides se ha incrementado, de modo tal que compromete severamente la salud, seguridad alimentaria poblacional y al medio ambiente.

Los metales pesados y metaloides que causan mayores efectos tóxicos en la salud humana son el plomo, mercurio, arsénico y cadmio.

Los metales pesados se encuentran en fuentes naturales y antropogénicas, en el suelo, el agua, el aire, en plantas, en residuos industriales, en la agricultura intensiva con agroquímicos, las industrias y los combustibles fósiles.

La región Tacna y otras del sur del Perú y la de otros países que se encuentran en la zona del cinturón de fuego del Pacífico, sus aguas naturales están contaminadas por alto contenido de arsénico y otros metales.

A nivel global, los límites máximos permisibles de concentración de metales, está muy bien establecido en aguas; sin embargo aún falta por definir estos valores en hortalizas, legumbres, cereales y alimentos envasados que permita

estandarizar y consensuar los estudios de contaminación que se están realizando, así como los efectos tóxicos en la población humana y el ambiente.

Las aguas superficiales y algunas subterráneas de la región Tacna, para uso agrícola, pecuario y humano requieren de un sistema de gestión para su tratamiento de descontaminación integral, dada su alta concentración de metales y metaloides pesados.

En muchos países se conoce los diversos efectos tóxicos que causan los metales pesados sobre la salud humana, sin embargo en muchos países como el nuestro no se realiza un diagnóstico integral de presencia de metales pesados en sangre para diagnosticar enfermedades.

Recomendamos realizar monitoreo y de estudios científicos para la detección de contaminantes por metales pesados y metaloides en agua, fauna, flora y fluido sanguíneo para favorecer un plan de gestión integral para la evaluación de riesgos y prevención sobre la salud humana.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abd El-Kawy Zahran<sup>1</sup> M., Ahmed El-Amier Y., Ahmed Elnaggar A., Hoda Abd El-Azim Mohamed, Muhammad Abd El-Hady El-Alfy, (2015), Assessment and distribution of Heavy Metals Pollutants in Manzala Lake, Egypt, *Journal of Geoscience and Environment Protection*, pp. (107-122), Egypto

Alleva Renata, Nicola Manzella, Simona Gaetani, Tiziana Bacchetti, Massimo Bracci, Veronica Ciarapica, Federica Monaco, Battista Borghi, Monica Amati, Gianna Ferretti, Marco Tomasetti, (2018), Mechanism underlying the effect of long-term exposure to low dose of pesticides on DNA integrity; *Wiley Environmental Toxicology*; Department of Biomedical and Neuromotor Sciences, University of Bologna, Bologna, Italy. rena.alleva@gmail.com

Arnous O.M, Hassan A.A.M. (2015). Heavy metals risk assessment in water and bottom sediments of the eastern part of Lake Manzala, Egypt, based on remote sensing and GIS. *Arabian Journal of Geosciences*, 8, (10), pp. 7899 - 7918. DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12517-014-1763-6>

Bifeng Hu, Xiaolin Jia, Jie Hu, Dongyun Xu, Fang Xia and Yan Li, (2017), Assessment of Heavy Metal Pollution and Health Risks in the Soil-Plant-Human System in the Yangtze River Delta, China, *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 14, 1042, China

Castro de Esparza M. L., (2006), Presencia de arsénico en el agua de bebida en América Latina y su efecto en la salud pública, *International Congress Mexico City, 20-24 June 2006, Natural Arsenic in Ground waters of Latin America*, Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS-SB/SDE/OPS), Lima, Perú.

Chauhan G., Chauhan U.K., (2014), Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Rewa (M.P.), India, *International Journal of Advanced Technology in Engineering and Science*, Volume N° 02, Issue No. 08, pp. 2348 – 7550, A.P.S. University Rewa-486003, Madhya Pradesh, India

Chávez Rodríguez L. (2014), Fitorremediación con especies nativas en suelos contaminados por plomo, Universidad Nacional Agraria La Molina, Tesis de titulación, Lima-Perú

Chávez-Gómez, L., Cabello-López, N., Alejandro, Gopar-Nieto, Aguilar-Madrid R., Guadalupe, Stephanie Marin López, Kennia, Aceves-Valdez, Maricruz, Jiménez-Ramírez, Carminadel Carmen Cruz-Angulo, María Arturo Juárez-Pérez, Cuauhtémoc, (2017), Enfermedad renal crónica en México y su relación con los metales pesados, *Revista Médica del IMSS*; Vol. 55, Issue 6, p725-734, 10p. México

DIGESA (2014), Comisión Intersectorial para la prevención de la contaminación por el plomo y otros metales pesados, (2014), Plan nacional de participación social y compromiso multisectorial para fortalecer la gestión ambiental y reducir la morbi-mortalidad relacionada a la contaminación por plomo y otros metales pesados, DIGESA, Perú, 2005-2014

Cruz-Gregorio A., Manzo-Merino, J. González-García M., Pedraza-Chaverri, J., Medina-Campos, O., Valverde M., Rojas E., Rodríguez-Sastre M., García-Cuellar C., Lizano M., (2018), Human Papillomavirus Types 16 and 18 Early-expressed Proteins

- Differentially Modulate the Cellular Redox State and DNA Damage, *International Journal of Biological Sciences* 2018; Vol. 14(1): pp. 21-35, México.
- Dana Ullman G. (2017). Tratamiento homeopático por la exposición al plomo, arsénico, Roundup y otros tóxicos ambientales. Recuperado de <https://noticiasdeabajo.wordpress.com/2017/03/05/tratamiento-homeopatico-por-la-exposicion-al-plomo-arsenico-roundup-y-otros-toxicos-ambientales/>
- Diario Correo, Autoridad Nacional del Agua (ANA), (2015), Tacna: población consume agua con alto niveles de arsénico, Diciembre 2015; Tacna, Perú; <https://diariocorreo.pe/edicion/tacna/tacna-poblacion-consume-agua-con-alto-niveles-de-arsenico-638243/>
- Díaz-Villasenor, Cruz L., Cebrián, A., R. Hernandez-Ramirez, R., Hiriarte M., García-Vargas G., Bassol S., Sordo M., Jay Gandolfi A., et al, (2013), Arsenic Exposure and Calpain-10 Polymorphisms Impair the Function of Pancreatic Beta-Cells in Humans: A Pilot Study of Risk Factors for T2DM, *PLOS ONE* [www.plosone.org](http://www.plosone.org), January 2013 Volume 8, Issue 1.
- Dirección Regional de Salud (DIRESA), Mesa de concertación para la Lucha Contra la Pobreza, (2017); Situación de la calidad de agua para consumo humano en la región Tacna; diciembre 2017, Tacna.
- Faresh E. M. Mohammad, S. M. Shirazi (2016), Assessing Risk Sources of Heavy Metals in a tropical river Basin: A case study of the Selangor River, Malaysia, *Pol. J. Environ. Stud* Vol. 27, N° 4, pp. 1659-1671, Malasia.
- Faridah Othman, Md. Sadek Uddin Chowdhury<sup>1</sup>, Wan Zurina Wan Jaafar, E.M. Mohammad Faresh, S.M. Shirazi, (2018), Assessing Risk and Sources of Heavy Metals in vegetables and the health risk to population in Zhejiang, China. *Food Control*, 36(1), pp.248–252. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodcont.2013.08.036>.
- Faridah Othman<sup>1</sup>, Md. Sadek Uddin Chowdhury, Wan Zurina Wan Jaafar, E.M. Mohammad Faresh, S.M. Shirazi (2016), Assessing Risk and Sources of Heavy Metals in a Tropical River Basin: A Case Study of the Selangor River, Malaysia, *Pol. J. Environ. Stud.* Vol. 27, No. 4, pp.1659-1671, Malasia
- Figueroa, Roger. (2017). Condición socioeconómica, patrones de alimentación y exposición a metales pesados en mujeres en edad fértil de Cali, Colombia <file:///C:/Documents%20and%20Settings/USUARIO/Mis%20documentos/Downloads/3286-18990-1-PB.pdf>
- Ibárcena Fernández W., (2011), Estudio de la Contaminación por Metales Ecotóxicos en Sedimentos en la Bahía de Ite, Tacna, *Ciencia & Desarrollo, UNJBG*, Volumen 13.
- Litter María I. Litter, María Teresa Alarcón-Herrera, María J. Arenas, María A. Armienta, María Avilés, Roberto E. Cáceres, Henrique Nery Cipriani, Lorena Cornejo Ponce, Luiz E. Dias, Alicia Fernandez Cirellij, Elsa M. farfán, Sofía Garrido, Liliana Lorenzo, María E. Morgada, Mario A. Olmos-Marquez, Alejo Pérez-Carrera, (2012), Small-scale and from wáter for drinking porposes in Latin America, *Elsevier, Science of the Total Environment* 429, pp. 107-122
- Londoño-Franco L.F.; Londoño-Muñoz P.T.; Muñoz-García. F.G.; (2016), los riesgos de los metales pesados en la salud humana y animal, *biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial* vol 14 no. 2 (145-153), Colombia
- López Albela, J.L., (2016), Bien de salud, *Artículos de divulgación*; [Peruhttp://www.revistabiendesalud.com/articulos/cuerpo/evita-la-intoxicacion-por-metales-pesados/](http://www.revistabiendesalud.com/articulos/cuerpo/evita-la-intoxicacion-por-metales-pesados/), Lima, Lima, Perú
- López D., Bundschuh J., Birkle P., Armienta M., L. Srarek, Cornejo Ponce, L., Ormachea M., (2012), Arsenic in volcanic geothermal fluids of Latin América, *Science of the Total Environment*, Elsevier, pp. 57-75
- Molina Montoya Nancy, Patricia Aguilar Casas, Clemencia Cordovez Wandurraga (2010), Plomo, Cromo III y Cromo VI y sus efectos sobre la salud humana, *Ciencia & Tecnología para la Salud Visual y Ocular* Vol. 8, N° 1 / pp. 77-88, Lima.
- Morales Cabrera U., Avendaño Cáceres F., Zevallos Ramos D., Fernández Prado J., Mendoza Rodas Z., Amparo Torres Ventura, (2017), Arsénico total no deseado ante valores referenciales de pH en agua superficial, cuenca hidrográfica Sama, Región Tacna-Perú, *Revista de Investigación Altoandina*, Vol. 19 N° 03, Puno, jul/set. 2017, <http://dx.doi.org/10.182717/ria.2017.295>



- Nayhua Gamarra L., (2016), Vigilancia Epidemiológica de Metales pesados. Semana Epidemiológica N° 52 – 2016, (A1 31/12/2016), Centro Nacional de Epidemiología, Prevención y Control de Enfermedades-MINSA, Lima-Perú
- Peña C.E., Carter D.E., Ayala Fierro F., (2001), Toxicología Ambiental, Evaluación de Riesgos y restauración ambiental, Southwets Hazardous Waste Program at the College of Pharmacy the University of Arizona, <http://superfund.pharmacy.arizona.edu/toxamb/>
- Prieto Méndez, Judith; González Ramírez, César A.; Román Gutiérrez, Alma D.; Prieto García, Francisco, (2009), Contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua, *Tropical and Subtropical Agroeco systems*, vol. 10, núm. 1, 2009, pp. 29-44, Universidad Autónoma de Yucatán, Mérida, Yucatán, México
- Ramírez, A., (2002), Toxicología del cadmio. Conceptos actuales para evaluar exposición ambiental u ocupacional con indicadores biológicos. *Anales de la Facultad de Medicina, UNMSM*, Vol. 63, N° 1 – 2002, pp. 51 – 64, Lima, Perú
- Reyes Y.C.; Vergara I.; Torres O.E.; Díaz M.; et al (2016), Contaminación por metales pesados: Implicaciones en salud, ambiente y seguridad alimentaria; revista de Ingeniería, Investigación y desarrollo, Vol. 16 N° 2, pp. 66-77, Sogamoso-Boyacá, Colombia.
- Sabine A.S. Langie, Gudrun Koppen, Daniel Desaulniers, Fahd Al-Mulla, Rabeah Al-Temaimi, Amedeo Amedei, Amaya Azqueta, et al, (2015), Causes of genome instability: the effect of low dose chemical exposures in modern society; Review, Published by Oxford University Press, *Carcinogenesis*, 2015, Vol. 36, Supplement 1, pp: 61–88.
- Salas Urviola F.B. (2014), Determinación de metales pesados en las aguas del río Ananea debido a la actividad minera aurífera, Puno-Perú, *Revista Investigación V* 5, N° 4, Universidad Nacional del Altiplano (UNA), Puno
- Singh, A. et al., (2010). Risk assessment of heavy metal toxicity through contaminated vegetables from waste water irrigated area of Varanasi, India. *Tropical Ecology*, 51(2 SUPPL.), pp.375–387. Available at: DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.fct.2009.11.041>
- Stone Vicki, Mark R. Miller, Martin J.D. Clift, Alison Elder, Nicholas L. Mills, Peter Møller, Roel P.F. Schins, Ulla
- Vogel, Wolfgang G. Kreyling, Keld Alstrup Jensen, Thomas A.J. Kuhlbusch, Per E. Schwarze, Peter Hoet, Antonio Pietroiusti, Andrea De Vizcaya-Ruiz, Armelle Baeza-Squiban, João Paulo Teixeira, C. Lang Tran, and Flemming R. Cassee, (2015), Nanomaterials Versus Ambient Ultrafine Particles: An Opportunity to Exchange Toxicology Knowledge, Review, <https://doi.org/10.1289/EHP424>
- Téllez Rojo, Martha. (2017). Intoxicación por plomo y nivel de marginación en recién nacidos de Morelos, México. <file:///C:/Documents%20and%20Settings/USUARIO/Mis%20documentos/Downloads/8045-29272-3-PB.pdf>
- Tostado Martín E., Garrosa García M., (2014), Neurotoxicidad de los metales pesados: Plomo, Mercurio y Aluminio. Una revisión sistemática, Tesis de maestría, Universidad de Valladolid, Valladolid, España
- Tschambler JA. (2015). Niveles de plomo en sangre de niños expuestos a los residuos metalúrgicos en Abra Pampa, Jujuy (Argentina).
- Unión Europea, (2017), Contenidos máximos en metales pesados en procesos alimenticios, recuperado de <http://plaguicidas.comercio.es/MetalPesa.pdf>, Valencia, España
- Vera Juarez, (2015), La Bio guía; <http://www.labioguia.com/notas/como-afectan-los-metales-pesados-a-la-salud-y-como-eliminar-sus-efecto>