



*Citotoxicidad del arsénico en trabajadores mineros expuestos, análisis constitucional- marco medio ambiente*

*Arsenic cytotoxicity in exposed mining workers, constitutional analysis - environment framework*

*Citotoxicidade de arsênio em trabalhadores de mineração expostos, análise constitucional - estrutura ambiental*

Adriana Lam-Vivanco <sup>I</sup>  
alam@utmachala.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0003-1779-7469>

Juan José Torres-Espinoza <sup>II</sup>  
juanjo-torres26@hotmail.com  
<https://orcid.org/0000-0001-9352-5698>

Máxima Centeno-Sandoval <sup>III</sup>  
maxima\_centeno64@hotmail.com  
<https://orcid.org/0000-0002-1927-7179>

Jovanny Santos-Luna <sup>IV</sup>  
jsantos@utmachala.edu.ec  
<https://orcid.org/0000-0001-6179-106X>

**Correspondencia:** [alam@utmachala.edu.ec](mailto:alam@utmachala.edu.ec)

Ciencias naturales  
Artículo de revisión

\***Recibido:** 15 de octubre de 2020 \***Aceptado:** 10 de noviembre de 2020 \* **Publicado:** 05 de diciembre de 2020

- I. Magister en Bioquímica Clínica, Bioquímica Farmacéutica, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- II. Abogado de los Tribunales y Juzgados de la República del Ecuador, Maestría en Fiscalidad Internacional en Universidad de la Rioja, España.
- III. Magister en Gerencia Clínica en Salud Sexual y Reproductiva, Magister en Docencia Universitaria e Investigación Educativa, Licenciada en Enfermería, Doctora en Odontología, Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.
- IV. Diploma Superior en Docencia Universitaria, Especialista en Gerencia y Planificación Estratégica de Salud, Magister en Gerencia en Salud para el Desarrollo Local, Doctor en Ciencias Ambientales, Licenciado En Enfermería, Docente de la Universidad Técnica de Machala, Machala, Ecuador.



## Resumen

El arsénico es uno de los metaloides más tóxicos presentes en el medio ambiente, se ha convertido en un problema global por causar daños crónicos a la salud debido a la solubilidad en los tejidos lipídicos y a su capacidad para atravesar las membranas biológicas ser acumulado e ingresar por las vías respiratoria, digestiva o cutánea, permitiendo su acción de biotransformación en los ácidos dimetilarsínico y metilarsónico, causando alteraciones bioquímicas en los trabajadores mineros expuestos.

**Palabras claves:** Arsénico; trabajadores mineros; tóxicos.

## Abstract

Arsenic is one of the most toxic metalloids present in the environment, it has become a global problem for causing chronic damage to health due to its solubility in lipid tissues and its ability to cross biological membranes, accumulate and enter through the respiratory, digestive or skin tracts, allowing its action of biotransformation in dimethylarsinic and methylarsonic acids, causing biochemical alterations in exposed mining workers.

**Keywords:** Arsenic; mining workers; toxic.

## Resumo

O arsênio é um dos metalóides mais tóxicos presentes no meio ambiente, tornou-se um problema global por causar danos crônicos à saúde devido à sua solubilidade em tecidos lipídicos e sua capacidade de atravessar membranas biológicas, acumular e penetrar. o trato respiratório, digestivo ou cutâneo, permitindo sua ação de biotransformação nos ácidos dimetilarsínico e metilarsônico, causando alterações bioquímicas em mineradores expostos.

**Palavras-chave:** Arsênio; trabalhadores de mineração; tóxico.

## Introducción

El arsénico (As) es un metaloide tóxico que se encuentra en la naturaleza y su mecanismo varía de acuerdo a cambios tanto físicos, químicos y biológicos, que depende su toxicidad por la duración y dosis de exposición, provocando alteraciones en el ser humano, animales y plantas. Cabe rescatar que este elemento es un micronutriente importante para los seres vivos para que

completen su ciclo de vida, pero sobrepasando su umbral se vuelve tóxico, por lo que el cuerpo lo rechaza, presentando varias patologías y enfermedades graves con el pasar de los años. En la Provincia de El Oro en el Sur del Ecuador, que son Zaruma y Portovelo, encontramos las principales fuentes mineras del país con 200 concesiones mineras y 80 plantas de beneficio, concesionados por diferentes grupos mineros nacionales y extranjeros, que algunas de ellas son utilizadas con tecnología de bajo rendimiento y sea motivo para que aumente los niveles de contaminación.

Las ciudades de Portovelo y Zaruma han generado grandes riquezas en la minería y la producción de estos recursos es la más importante en la exportación del país que va desde 4 y 5 toneladas anuales, la actividad minera que se ha venido dando en Portovelo, ha provocado un gran impacto en la salud de los trabajadores de las distintas plantas de beneficio de este sector y por la descarga de desechos en el río Calera incrementa la incidencia de personas enfermas.

Las actividades antropogénicas elaboradas en estas zonas han provocado alta contaminación principalmente de Arsénico y Mercurio donde son utilizados para diferentes procesos: el mercurio es utilizado en el proceso de refinación y biomagnificación del oro, y el arsénico en cambio es resultado de los fenómenos geológicos de sulfuros para el proceso de meteorización.

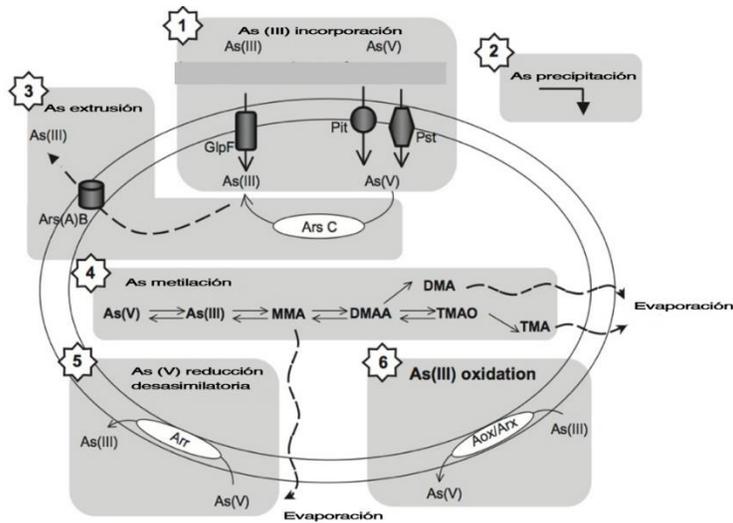
#### Toxicidad del Arsénico

La exposición a este metaloide dentro del organismo, se puede dar por la ingestión de alimentos contaminados, agua o exposición a productos químicos que estén realizados con este elemento. La penetración de este compuesto a la célula se debe a su gran liposolubilidad, lo cual facilita la absorción celular de este compuesto; es importante mencionar que el arsénico inorgánico es absorbido por vía gastrointestinal a proporción de su solubilidad en agua, mientras que el arsénico orgánico es absorbido casi en su totalidad por el tracto digestivo. (Huamaní Pacsi, C., Huamaní Azorza, J. A., Huamolles Barreto, A. O., & Villa Gonzales, G. F. 2020). Este arsénico se distribuye a los distintos tejidos y órganos usando las vías de distribución sanguínea, y almacenándose en cabello, uñas, piel, etc.; normalmente el arsénico que llega al cuerpo se vuelve menos tóxico y se expulsa por medio de la orina. Cuando se llega a una exposición de arsénico inorgánico, este se procesa dentro del hígado, para realizar un cambio del arsénico pentavalente al trivalente mediante la reducción y biometilación a MMA y DMA (que es el proceso en el cual se agrega un grupo metil a una molécula). (García-Salgado, 2013) (Contreras Acuña, M., 2014).

Proceso de metilación de arsénico en el hígado (García-Salgado, 2013)

En la mitocondria, con el azufre de los grupos mercapto forma enlaces covalentes y desacopla la fosforilación oxidativa, sugiriendo una acción inhibitoria no hidrolítica a ese nivel. Es cancerígeno para varios órganos. Se excreta por orina, heces y piel. Los peces y mariscos contienen arsénico orgánico.

**Gráfico 1:** Rutas de resistencia de arsénico (As): principales mecanismos de transformación de arsénico y resistencia en bacterias. Figura adaptada de D. Slyemi y V. Bonnefoy, 2011. Env.Mic



Principales mecanismos de transformación de arsénico y resistencia en bacterias. (1) El arsénico entra en la célula a través de los canales de fosfato (arseniato) o de agua?glicerolporinas (arsenito). (2) Una vez en el interior de las células, el arseniato es reducido a arsenito a través de ArsC, para posteriormente ser expulsado a través de ArsB. (4) El arsenito puede servir como donador de electrones, oxidándose a arseniato. (6) El arseniato puede utilizarse como aceptor final de electrones durante la respiración celular. (3) El arsénico inorgánico puede acomplejarse con residuos de cisteína de los péptidos o transformarse en especies orgánicas a partir de complejos con cascadas de metilación (6). Figura adaptada de Páez-Espino et al., 2009

Los compuestos de arsénico más tóxicos son los trivalentes, mientras que los pentavalentes tienen escaso efecto sobre la actividad enzimática. (Canalis, A. M., Pérez, R. D., Falchini, G. E., & Soria, E. A. 2020). El arsénico inhibe la actividad de la succínica deshidrogenasa y desacopla la

fosforilación oxidativa; este proceso estimula la actividad de la ATPasa mitocondrial. El arsénico inhibe las funciones energéticas de las mitocondrias por dos vías diferentes: compite con el fosfato durante la fosforilación oxidativa que es la función principal de los procesos explicados hasta ahora es suministrar el hidrógeno de la molécula de glucosa en formas oxidables. SALGADO, S. G. (2013). La oxidación del hidrógeno sucede a través de una serie de reacciones que desdoblán cada átomo de H en un protón y un electrón ( $H_2 + H^+ + e^-$ ). Los electrones se combinarán con el oxígeno disuelto con las moléculas de agua y generar iones hidroxilo y, después, éstos junto con el hidrógeno se combinan para formar agua. Durante esta secuencia se liberan enormes cantidades de energía para formar ATP. Esta síntesis de ATP recibe el nombre de fosforilación oxidativa y se produce enteramente en las mitocondrias, en la llamada cadena transportadora de electrones (CTE), que esencialmente constituye la respiración interna y tiene lugar en la membrana interna mitocondrial, mediante un proceso muy especializado llamado mecanismo quimiosmótico. Básicamente la CTE comprende 2 procesos: 1) los electrones son transportados a lo largo de la membrana, de un complejo de proteínas transportador a otro y 2) los protones son translocados a través de la membrana, lo que significa que son pasados desde el interior o matriz mitocondrial hacia el espacio intermembrana provocando un gradiente de protones. El oxígeno es el aceptor final del electrón, combinándose con ellos y con el ión H para producir agua. (Casan, García Rio, & Gea Guiral, 2007) e inhibe la reducción del NAD acoplada a la energía. La inhibición de la respiración mitocondrial reduce la producción de ATP en la célula y aumenta la formación de peróxido de hidrógeno, el cual puede causar un estrés oxidativo a través de la producción de especies reactivas del oxígeno. (Abraham Felipe, A. 2018).

La biotransformación del arsénico y su capacidad de metilación varía y depende de su forma química, de la dosis, del tiempo de exposición, de una dieta rica en metionina y proteínas y de la especie expuesta. Aún no está bien establecida toda la vía metabólica, pero se sabe que su metabolismo ocurre en el hígado con intervención de procesos secuenciales de metilación oxidativa. Así, la biotransformación del  $iAs^{+3}$  requiere de un primer paso de metilación para obtener ácido monometilarsónico, MMA, y luego en una segunda metilación se alcanza el ácido dimetilarsónico, DMA. La S-adenosinmetionina actuaría como donador de los grupos metilo y el glutatión, un tripéptido no proteínico, como principal agente reductor y detoxificador al donar electrones y transportar al As. (Gonzalez-Cortes, Tania y otros 2017) Ramírez, A. V. (2013).

En el metabolismo del arsénico intervienen dos pasos de metilación que dependen del folato: primero, el arsénico inorgánico (InAs) es convertido en ácido monometilarsónico (MMA), el cual a su vez es convertido en ácido dimetilarsónico (DMA), que es menos tóxico; este proceso facilita la eliminación del arsénico por vía urinaria. SALGADO, S. G. (2013).

Gráfico 2: Biotransformación

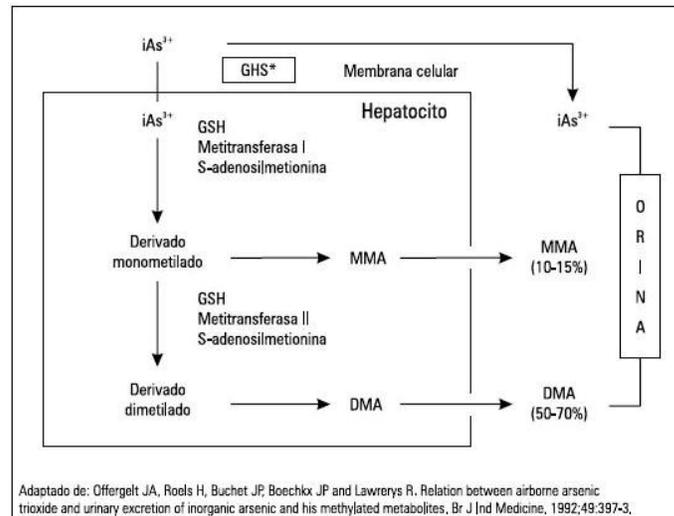


Figura 3. Biotransformación del arsénico inorgánico. GSH\* = Glutathion Sulfhidroliol

Fuente: (García-Salgado, 2013)

En el proceso de biometilación actúa la enzima metiltransferasa que media el proceso de metilación, en el cual el S-adenosil metilasa (SAM) que actúa como un agente metilante, pues es encargado de transferir grupos metilos a cualquier sustancia, y de igual forma se presenta la glutatión-S-transferasa (gsh), que es una enzima que protege las macromoléculas biológicas. (García-Salgado, 2013).

Existen dos tipos de toxicidad de arsénico son: aguda y crónica, la intoxicación aguda se caracteriza por la aparición de un cuadro gastroenterítico grave con vómitos, dolor abdominal, diarrea, dolor muscular lo cual requiere atención médica y esto por lo general ocurre mediante la ingesta de alimentos o bebidas contaminados (Costa, 2019). En cambio, la toxicidad crónica incluye la disfunción multiorgánica, enfermedades de la piel, problemas respiratorios, gastrointestinales, parálisis, complicaciones reproductivas (Jain & Ali, 2000). El efecto resultante más grave de esta exposición es un mayor riesgo de cáncer de piel, vejiga, arritmias cardíacas, también existen cambios comportamiento como pérdida de memoria, exposiciones a altas

concentraciones se asocia con un aumento de riesgo de diabetes mellitus, este metaloide se acumula en el hígado, riñones y pulmones y en pequeñas cantidades tejidos ricos en queratina como cabello, uñas y piel (Kapp Jr, 2016). (Torres, S., Caiza, E., Ordoñez, K., & Lam, A. 2020, August)

### **Marco constitucional – Marco Medio Ambiente en Ecuador**

La República del Ecuador, en torno a la protección del ambiente ha desarrollado un abultado aparato normativo, que empieza desde la premisa del Sumak Kawsay.

Es así que en el artículo 10 de la Constitución de la República del Ecuador (desde ahora CRE), se establecen como sujetos de deberes y derechos a las personas, comunidades, pueblos, nacionalidades y colectivos; y únicamente como sujeto de derechos a la naturaleza. (Asamblea, Constitución de la Republica del Ecuador, 2008)

En virtud de la carta magna ecuatoriana, el ambiente sano es uno de los derechos del buen vivir, que tenemos los ciudadanos desde el momento de nuestro nacimiento; asimismo se recalca la importancia acerca de las vertientes que genera un ambiente sano, como es el derecho de acceso al agua y a una alimentación saludable.

Es así que la CRE protege directamente al ambiente, prohíbe expresamente cualquier producto químico o nocivo que pueda afectar el mismo, y declara de interés nacional la preservación de ecosistemas, la flora, la fauna ecuatoriana, garantizando cualquier forma de prevención de daño ambiental y de recuperación de espacios afectados, sin perjuicio de cualquier otra medida legal o administrativa que pueda ejercerse en contra del vulnerador de derechos.

Otras disposiciones importantes en la CRE, son las siguientes:

El desarrollo sustentable.- es decir el hecho de que tanto los recursos renovables como los contaminantes, no deberán ser utilizados en un ritmo superior al de desarrollo de su generación; es decir deberá otorgársele un tiempo prudente al ambiente, para que éste pueda absorber y neutralizar distintos productos químicos, o pueda recuperarse de aquella sana explotación de recolección de distintos bienes productivos (como verduras, frutas, etc) (Cortés Moura & Peña Reyes, 2015)

Indubio pro natura.- Dicho principio, busca en primer lugar un enfoque social que consiste en que las personas en sociedad, naturales o jurídicas, desarrollen un comportamiento solidario análogo para con el medio ambiente, y que teniendo que elegir entre distintas acciones posibles,

encaminadas a desarrollar negocios o producir la tierra, escojan aquella que produzca un menor impacto ambiental negativo. (Olivares & Lucero, 2018)

El in dubio pro natura también se encuentra planteado en el artículo 9 numeral 5 del Código Orgánico del Ambiente vigente en Ecuador, que manifiesta que cuando exista contradicción entre dos normas legales pertinentes al ámbito ambiental, o cuando existan lagunas o dudas, se preferirán siempre aquellas normas que favorezcan al ambiente y a la naturaleza. Dentro de este mismo cuerpo legal y a manera de complemento se encuentra el numeral 4 del mismo artículo citado, que manifiesta el principio “el que contamina paga”, el cual advierte, que aquellas sociedades, que contaminen o que potencialmente puedan hacerlo, deberán incluir en sus costos de producción las medidas necesarias para prevenir, reducir o erradicar dicha contaminación a futuro, sin perjuicio de la utilización de medidas a manera de indemnización hacia sujetos de derechos afectados. (Asamblea, Código Orgánico del Ambiente, 2017)

Principio precautorio.- Este principio doctrinalmente afirma, que respecto al medio ambiente, se deberá actuar con celeridad y precautelar potenciales deterioros hacia el ecosistema, aun cuando no exista evidencia científica suficiente para comprobar dichos daños. (Vergel, 2018)

En base al principio precautorio, de solidaridad y responsabilidad integral, las autoridades ecuatorianas podrán ordenar la adopción de medidas de protección por potenciales daños que pudiera sufrir en un futuro el medio ambiente; asimismo las partes intervinientes en cadenas productivas, que incluyen: producción, transformación, comercialización y consumo, tendrán responsabilidad directa respecto de la protección medioambiental.

En el ámbito internacional, este principio se encuentra descrito en el artículo 15 de la Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo del año 1992, en donde se afirma que la duda, no podrá utilizarse a manera de criterio para postergar la adopción de medidas destinadas a evitar la degradación de los ecosistemas. (ONU, 1992)

Tutela efectiva e inversión de la carga de la prueba.- Respecto a este principio, las autoridades y jueces serán los garantes de los derechos de la naturaleza, por ende si existe cualquier tipo de amenaza potencial o actual vulneración de derecho, estarán en la obligación de interponer medidas cautelares con el fin de cesar estas prácticas nocivas en contra del ecosistema. Cuando se traten de temas ambientales, se realizará un ejercicio de ponderación entre el bien común de

la sociedad y la presunción de inocencia, dejando a dicha presunción sin efecto en este tipo de procesos judiciales; y recaerá la carga de la prueba en el supuesto infractor.

La base legal constitucional de los principios citados, es respectivamente la siguiente: Art. 395 numeral 1, 395 numeral 4, 71, 11 numeral 5, 396, 73, 396, 397 numeral 1 y art. 87. De la misma manera existen otros principios constitucionales de vital importancia, como es el de “prevención” (art.396 numeral 1 CRE), “regulación integral” (art.395 numeral 2 CRE), “imprescriptibilidad de acciones en contra del daño ambiental” (art.395), “consulta previa” (art.398 y 424). (Martinez Moscoso, 2019)

Según el CODA (Código Orgánico del Ambiente), las decisiones respecto a una defensa y preservación del medio ambiente les corresponde expresamente al Ministerio del Ambiente (a manera de Autoridad Ambiental Nacional), sin embargo, en virtud del principio de desconcentración, el mismo cuerpo normativo, en su artículo 26 numeral 8, afirma que corresponderá a cada Gobierno Autónomo descentralizado, velar por el cumplimiento de parámetros ambientales en pro de proteger componentes agua, suelo, aire y ruido; así como desarrollar incentivos ambientales de distinta índole. (Asamblea, Código Organico del Ambiente, 2017)

Además, es importante citar la norma penal en Ecuador, que servirá como coacción para evitar cualquier tipo de vulneración de derechos hacia los recursos naturales; es así que el artículo 251 del Código Orgánico Integral Penal (a partir de ahora COIP), trata acerca de los delitos contra el agua, menciona que ninguna persona podrá vulnerar o alterar de ninguna manera el flujo o caudales de agua en cualquiera de sus formas, ni verter ningún tipo de sustancia nociva en el mar, en el caso de que así se realice, podrá imputarse una pena privativa de libertad de tres a cinco años al agresor; sin perjuicio de la de restauración y reparación del ecosistema afectado, que deberá imponerse obligatoriamente por parte del juzgador del órgano jurisdiccional competente. (Asamblea, Código Organico Integral Penal, 2014)

Cuando la vulneración de derechos sea perpetrada por personas jurídicas, se aplicarán sanciones pecuniarias que podrán ser desde cien hasta mil salarios básicos unificados del trabajador en general, tal cual lo establecen las disposiciones del artículo 258 del COIP. (Asamblea, Código Organico Integral Penal, 2014)

De la misma manera, existen derechos internacionales para aquellos trabajadores que arriesgan su integridad trabajando en sectores expuestos a contaminación.

La Organización Internacional del Trabajo (desde ahora OIT) es una institución que se encarga de establecer principios y derechos básicos de trabajo, por medio de convenios (cuerpos jurídicos vinculantes) y recomendaciones (directrices no vinculantes).

Con tal enfoque, Ecuador es miembro actual de la OIT, y ha ratificado más de sesenta convenios en forma de hard law; es decir que las leyes internas de los países miembros de la OIT, deberán modificarse acorde a los convenios internacionales antes mencionados.

Respecto al tema desarrollado, se puede tomar en cuenta el convenio Nro.148; este cuerpo legal busca la limitación de riesgos profesionales generados por la contaminación de aire, ruido, vibraciones, e intrínsecamente al agua. Este documento no describe casos específicos de peligros laborales, sin embargo otorga en base a la generalidad y en conjunto, protecciones fundamentales al trabajador. (Sanchez Perez, 2019)

Se deberá hacer especial mención a los artículos 10 y 11 del Convenio Nro. 148, que afirman que el trabajador debe garantizar en todo momento un ambiente de trabajo seguro y apropiado, brindándole todos los utensilios que precautelen su integridad, no pudiendo obligar a trabajar a sus empleados sin el equipo de protección personal apropiado; sin embargo cuando por cualquier motivo sea imposible reducir el riesgo en determinado ambiente laboral, deberá realizarse una vigilancia exhaustiva por parte del empleador hacia sus trabajadores, que constara de un examen médico previo al empleo y exámenes periódicos; cuando un trabajador muestre cualquier tipo de malestar a causa de su labor, el mismo deberá ser trasladado a otras funciones de la empresa que no envuelvan riesgos y que estén acorde a su preparación técnica. (OIT, 1977).

## **Discusión**

El arsénico es uno de los metaloides más tóxicos presentes en el medio ambiente, las altas concentraciones de arsénico en agua y orina, se han convertido en un problema global por causar daños crónicos a la salud debido a su mayor solubilidad en los tejidos lipídicos y a su capacidad para atravesar las membranas biológicas, permitiendo dar la toxicidad del arsénico, esto dependerá de su forma y su estado de oxidación, además de otros factores, tales como dosis, duración y frecuencia de exposición, especie biológica en estudio; edad; sexo; sensibilidad individual; genética; y factores nutricionales. En el cuerpo humano, se dan una serie de reducciones sucesivas y reacciones oxidativas, así como reacciones de metilación, que

transforman el iAs para producir diferentes metabolitos, produciendo daño oxidativo a la célula, que dará como consecuencias alteraciones bioquímicas, en esta revisión bibliográfica se da a conocer el proceso de la biotransformación dentro de celular, afectando a la funcionalidad de la célula.

La arsenicosis es una enfermedad crónica que resulta de beber agua con altos niveles de As durante un largo periodo (de 5 a 20 años), (Monroy-Torres and Espinoza-Pérez 2018), afectando los aparatos y sistemas del cuerpo, los efectos más claros de la exposición al arsénico se observan en la piel, salud reproductiva, y la formación de células malignas en diferentes partes del cuerpo en especial pulmón e hígado, principalmente por la capacidad para inducir efectos epigenéticos al modular la metilación del ADN y las modificaciones de las histonas postraduccionales (Cheng et al. 2018), por que interfiere con reacciones enzimáticas de amplia distribución por vía respiratoria, digestiva y percutánea. (Mateen et al. 2017) (Rasheed et al. 2017)(Cheng et al. 2018)(Wei et al. 2017). (Solar, Pizarro, & Román, 2012).

Un estudio publicado en la Revista Visión Contable, redactado por docentes de la Universidad de Granma y Técnica de Cotopaxi, considera fundamentales los derechos a un ambiente sano y al agua, para el ejercicio de otros derechos del Buen Vivir, como son: la cultura, la salud, la soberanía alimentaria que garantiza el derecho a la alimentación saludable sin degradar al ecosistema, a un hábitat seguro y saludable para presentes y futuras generaciones, a conservar la identidad cultural ecuatoriana. El mismo trabajo menciona que aún no existe una solución palpable en la preservación del medio ambiente y al agua, aunque existan diversas disposiciones jurídicas que protejan estos recursos naturales. (Antúnez Sánchez & Guanoquiza Tello, 2019). En nuestro estudio se recalca una análoga apreciación en el ámbito constitucional, acerca de otorgarle a la naturaleza la consideración de sujeto de derechos; sin embargo respecto a las la lucha para la preservación del medio ambiente, se mencionó al COIP (Código Orgánico Integral Penal) que si bien no es una solución, genera gran coercibilidad y temor a la ley, principalmente a las empresas por las altas sanciones pecuniarias que establece la normativa penal. Un artículo publicado en la revista cubana Universidad y Sociedad, acerca de diversas formas de protección de energías renovables, plasma además de la autoridad ambiental nacional (Ministerio del Ambiente), a otros ministerios que velarán por la protección medio ambiental; entre estos el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, que impulsará un desarrollo energético con tecnologías ecológicamente ambientales, por ejemplo, sustituyendo el uso de combustibles en el

transporte por gas natural comprimido, electricidad o tecnologías híbridas. (Correa Alvarez, González González , & Pacheco Alemán , 2016). En nuestro estudio, especialmente se trato acerca de la protección del medio ambiente en general y del agua, sin embargo no acerca de la contaminación del aire; respecto a la misma es importante mencionar que con la sustitución de combustibles en transporte por otras opciones más saludables para con el ecosistema, se podrá alcanzar un punto de vista macro referente a la protección de la Pachamama.

## **Conclusión**

La contaminación de los ríos y de la naturaleza en general, es una amenaza extensamente combatida por la legislación de Ecuador. Es así que la Constitución ecuatoriana, cataloga a la naturaleza como sujeto de derechos, y que cualquier persona o colectivo podrá tomar las acciones legales pertinentes en el caso de vulneraciones de ecosistema, sin perjuicio de la existencia de otros derechos que permitan precautelar los daños en medio ambiente y permitir la normal recuperación de recursos renovables; de la misma manera el Código Orgánico del Ambiente marca diversos principios, como “el que contamina paga” o el indubio pro natura. Todos los principios mencionados marcan diversos escenarios, pero tienen un mismo objetivo: que las autoridades ecuatorianas pertinentes(específicamente el Ministerio del Ambiente como Autoridad Ambiental Nacional o en virtud del principio de desconcentración, los Gobiernos Autónomos descentralizados), puedan ordenar eficazmente la adopción de medidas de protección de medio ambiente para evitar su vulneración, y si ésta ya se produjo, que el Estado sea proactivo en exigir la reparación de daños y perjuicios hacia la naturaleza y entendiendo como autores directos del daño a las partes intervinientes en cadenas productivas, de las empresas causantes. La normal penal ecuatoriana, el Código Orgánico Integral Penal también protege especialmente a recursos naturales como el agua, suelo y aire, además de marcar como antijurídica la conducta referente a la gestión prohibida o tratamiento no autorizado de residuos químicos o diversos tipos de sustancias peligrosas o contaminantes. Este cuerpo legal también expresa la obligación de restauración o reparación a la persona infractora; en el caso de las personas jurídicas, el órgano jurisdiccional pertinente podrá imponer sanciones pecuniarias que van desde cien hasta mil salarios básicos unificados (SBU) del trabajador en general. Respecto a la protección de personas que trabajan en ecosistemas contaminados y peligrosos, la Organización Internacional del

Trabajo (OIT) en su convenio Nro. 148, garantiza en todo momento al trabajador, un ambiente seguro y apropiado de trabajo. El empleador deberá brindar un equipo de protección personal adecuado al trabajador, cuando las actividades se realicen en ecosistemas peligrosos, bajo estragos de sustancias químicas o de cualquier índole, que representen cualquier tipo de peligrosidad.

La seguridad y salud en el trabajo por muchos años se ha visto como un gasto innecesario, es importante que cambiemos esa idea, y sea visto como lo que realmente es: una inversión, que a mediano o largo plazo le dará al empleador sus ganancias. Al implementar un sistema de seguridad y salud ocupacional acorde a los riesgos, prevenimos accidentes y enfermedades laborales y por ende, reducimos ausencias laborales, reducimos gastos de indemnizaciones y lo más importante reducimos la pérdida de vidas humanas.

## Referencias

1. Abraham Felipe, A. (2018). Estrés oxidativo inducido por arsénico en branquia de carpa común *Cyprinus carpio*.
2. Asamblea, A. N. (2008). Constitución de la República del Ecuador. Montecristi, Manabí, Ecuador. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de [https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4\\_ecu\\_const.pdf](https://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_const.pdf).
3. Asamblea, A. N. (2014). Código Orgánico Integral Penal. Ecuador. Recuperado el 18 de 11 de 2020, de [https://tbinternet.ohchr.org/Treaties/CEDAW/Shared%20Documents/EQU/INT\\_CEDAW\\_ARL\\_ECU\\_18950\\_S.pdf](https://tbinternet.ohchr.org/Treaties/CEDAW/Shared%20Documents/EQU/INT_CEDAW_ARL_ECU_18950_S.pdf)
4. Asamblea, A. N. (2017). Código Orgánico del Ambiente. Quito, Pichincha, Ecuador. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de [https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO\\_ORGANICO\\_AMBIENTE.pdf](https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/01/CODIGO_ORGANICO_AMBIENTE.pdf)
5. Brown E., A. F., Ferrari R., S. D., Goodpaster B, D. B., & al, e. (2012). Arsenic exposure in Latin America: biomarkers, risk assessments and related health effects. *Sci Total Environ*
6. Canalis, A. M., Pérez, R. D., Falchini, G. E., & Soria, E. A. (2020). Arsenotoxicidad aguda experimental en ratones Balb/c: marcadores orgánicos y compromiso esplénico. *Biomédica*, 41(1).

7. Cortés Moura, H. G., & Peña Reyes, J. I. (10 de 01 de 2015). De la sostenibilidad a la sustentabilidad. Modelo de desarrollo sustentable para su implementación en políticas y proyectos. *Revista Escuela de Administración de Negocios.*, 44. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=206/20640430004>
8. Contreras Acuña, M. (2014). Especiación de arsénico en alimentos de origen marino : efectos del cocinado y su consumo en el metabolismo humano. Universidad de Huelva: Departamento de Química y Ciencia de los Materiales.
9. Cheng, Ya-yun, Yu-tzu Chang, Hong-lin Cheng, and Kun-hung Shen. 2018. “Science of the Total Environment Associations between Arsenic in Drinking Water and Occurrence of End-Stage Renal Disease with Modi Fi Cations by Comorbidities : A Nationwide Population-Based Study in Taiwan.” *Science of the Total Environment* 626. Elsevier B.V.: 581–91. doi:10.1016/j.scitotenv.2018.01.043.
10. Huamaní Pacsi, C., Huamaní Azorza, J. A., Huamolle Barreto, A. O., & Villa Gonzales, G. F. (2020). Consideraciones en la estimación de la exposición humana al arsénico.
11. García-Alvarado, F. J., Neri-Meléndez, H., Pérez Armendáriz, L., & Rivera Guillen, M. (2018). POLIMORFISMOS DEL GEN ARSÉNICO 3 METILTRANSFERASA (As3MT) Y LA EFICIENCIA URINARIA DEL METABOLISMO DEL ARSÉNICO EN UNA POBLACIÓN DEL NORTE DE MÉXICO. *Rev Peru Med Exp Salud Publica*
12. Gonzalez-cortes, Tania, Rogelio Recio-vega, Robert Clark, and Binh T Chau. 2017. “DNA Methylation of Extracellular Matrix Remodeling Genes in Children Exposed to Arsenic.” *Toxicology and Applied Pharmacology* 329. Elsevier Inc.: 140–47. doi:10.1016/j.taap.2017.06.001
13. Mateen, Farrah J, Maria Grau-perez, Jonathan S Pollak, Katherine A Moon, Barbara V Howard, Jason G Umans, Lyle G Best, et al. 2017. “Chronic Arsenic Exposure and Risk of Carotid Artery Disease : The Strong Heart Study.” *Environmental Research* 157 (May). Elsevier Inc.: 127–34. doi:10.1016/j.envres.2017.05.020.
14. Martínez Moscoso, A. (08 de 04 de 2019). El nuevo marco jurídico en materia ambiental en Ecuador. Estudio sobre el Código Orgánico del Ambiente. (M. y. Centro de Investigaciones Energéticas, & C. I. (CIEDA)., Edits.) *Actualidad Juridica Ambiental*, 89, 4. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de

[https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2019/04/2019\\_04\\_08\\_Martinez\\_Nuevo-marco-juridico-ambiental-Ecuador.pdf](https://www.actualidadjuridicaambiental.com/wp-content/uploads/2019/04/2019_04_08_Martinez_Nuevo-marco-juridico-ambiental-Ecuador.pdf)

15. Monroy-Torres, Rebeca, and Antonio Espinoza-Pérez. 2018. “Factores Que Intensifican El Riesgo Toxicológico En Comunidades Expuestas Al Arsénico En Agua Factors That Intensify Toxicological Risk in Communities Exposed to Arsenic in Water” 12 (2): 148–57.
16. Municipio Cantonal de Portovelo. Actualización Del Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial Del Cantón Portovelo; 2018.
17. OIT, O. I. (1977). C148 - Convenio sobre el medio ambiente de trabajo (contaminación del aire, ruido y vibraciones), 1977 (núm. 148). Recuperado el 18 de 11 de 2020, de [https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO:12100:P12100\\_INSTRUMENT\\_ID:312293:NO](https://www.ilo.org/dyn/normlex/es/f?p=NORMLEXPUB:12100:0::NO:12100:P12100_INSTRUMENT_ID:312293:NO)
18. Olivares, A., & Lucero, J. (2018). Contenido y desarrollo del principio in dubio pro natura. Hacia la proteccion integral del medio ambiente. *Ius et Praxis*, 24(3), 62. doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-00122018000300619>
19. ONU, O. d. (1992). Declaración de Río sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo. Rio de Janeiro, Brasil. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de <https://www.un.org/spanish/esa/sustdev/documents/declaracionrio.htm>
20. SALGADO, S. G. (2013). Estudios de especiación de arsénico y acumulación de metales en muestras de interés medioambiental. Universidad politécnica de Madrid - Escuela universitaria de ingeniería técnica- de obras públicas, 67
21. Rasheed, Hifza, Paul Kay, Rebecca Slack, and Yun Yun Gong. 2017. “NU SC.” *Toxicology and Applied Pharmacology*. Elsevier Inc. doi:10.1016/j.taap.2017.11.026.
22. Sanchez Perez, J. (2019). Convenio sobre el medio ambiente de trabajo (contaminacion de aire, ruido y vibraciones)1977 (núm. 148). *Revista Internacional y Comparada de Relaciones Laborales y Derecho del Empleo*. Recuperado el 18 de 11 de 2020, de [http://ejcls.adapt.it/index.php/rlde\\_adapt/article/view/783](http://ejcls.adapt.it/index.php/rlde_adapt/article/view/783).
23. Sattar, Adeel, Shuyu Xie, Mian Abdul Hafeez, Xu Wang, Hafiz Iftikhar Hussain, Zahid Iqbal, Yuanhu Pan, Mujahid Iqbal, Muhammad Abubakr Shabbir, and Zonghui Yuan.

2016. "Metabolism and Toxicity of Arsenicals in Mammals." *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.etap.2016.10.020.
24. Torres, S., Caiza, E., Ordoñez, K., & Lam, A. (2020, August). Evaluación de biomarcadores en trabajadores mineros relacionados con arsénico urinario. Sector Pache, Cantón Portovelo. In *Conference Proceedings* (Vol. 4, No. 1, pp. 77-93).
25. Ramírez, A. V. (2013). Exposición ocupacional y ambiental al arsénico. Actualización bibliográfica para investigación científica. *An Fac med.*, 74(3), 237-47
26. Vergel, S. (2018). El principio precautorio y los riesgos en el cultivo de variedades transgénicas. *Revista Alegatos*, 331. Recuperado el 10 de 11 de 2020, de <http://alegatos.azc.uam.mx/index.php/ra/article/view/499>
27. Wei, Binggan, Jiangping Yu, Jing Wang, Linsheng Yang, Hairong Li, Chang Kong, Yajuan Xia, and Kegong Wu. 2017. "The Relationships between Arsenic Methylation and Both Skin Lesions and Hypertension Caused by Chronic Exposure to Arsenic in Drinking Water." *Environmental Toxicology and Pharmacology*. Elsevier B.V. doi:10.1016/j.etap.2017.05.009.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons

Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).