



**FACULTAD DE FARMACIA**  
**UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

**TÍTULO: “Relación de la contaminación del suelo  
con la salud ambiental: Toxicidad del Arsénico”**

Autor: Sonsoles Gómez Fernández

Fecha: Febrero 2020

Tutor: Antonio López Lafuente

## ÍNDICE

1. RESUMEN .....	3
2. INTRODUCCIÓN.....	3
2.1 ¿Qué es la contaminación del suelo?.....	3
2.2 Interacciones contaminante-suelo.....	4
2.3 Tipo de contaminación del suelo .....	4
2.4 Principales contaminantes del suelo.....	5
2.5 Papel del suelo en la salud humana .....	8
3. OBJETIVO .....	9
4. MATERIAL Y MÉTODOS .....	9
5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	9
5.1 Origen del Arsénico.....	9
5.2 Fuentes del Arsénico .....	10
5.3 Población de riesgo .....	11
5.4 Toxicidad del Arsénico en el cuerpo humano.....	11
5.5 Efectos en la salud .....	14
6. CONCLUSIONES .....	16
7. BIBLIOGRAFÍA .....	16

## 1. RESUMEN

La contaminación del suelo por metales pesados es un tema cada vez más importante debido a la mayor concienciación acerca de la contaminación. Dependiendo del origen de esta que puede ser agrario o industrial, puede ser contaminación local o difusa. Todos ellos tienen repercusión en la salud humana y dependiendo de cuál sea su vía de entrada en el organismo (ingestión, inhalación o absorción dérmica) serán de diferente etiología. Este trabajo se centra en el contaminante metaloide más generalizado, el Arsénico (As), pudiéndose encontrar en forma orgánica, inorgánica y gas arsina, siendo estas dos últimas las más tóxicas. Las fuentes a través de las cuales puede llegar el As al suelo, y de ahí al humano son alimentos y agua, procesos industriales y tabaco. Siendo la ruta de intoxicación más habitual la ingestión. A parte de ser un contaminante, el trióxido de arsénico también es utilizado en medicina como quimioterápico. La población de riesgo son todas aquellas personas que más cerca se encuentran del foco, que trabajan con los materiales que contienen este metaloide o los niños más pequeños. Los efectos de la exposición al arsénico se dividen en complicaciones preclínicas, clínicas, internas y etapas de malignidad. Tienen diversos síntomas y consecuencias dependiendo del sistema al que repercute, aunque generalmente se dan gastrointestinales. Además, el As es un potente carcinógeno humano, dando lugar a tumores en pulmones, piel, hígado, vejiga y próstata

## 2. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural, no renovable a corto plazo, que se despliega en el espacio y evoluciona con el tiempo. Son cinco los factores que intervienen en su formación: *material original, organismos, clima, topografía y tiempo*. Hay un sexto factor que cada vez se sabe que tiene más influencia en la formación del suelo y son los suelos modificados por *actividades humanas*.<sup>[1]</sup> Constituye el suelo natural un sistema complejo, termodinámicamente abierto, con un alto grado de organización y que en épocas de estabilidad climática puede alcanzar el equilibrio. Cuando alguno de los parámetros del sistema varía, rompe el equilibrio, lo que hace que el suelo sea un elemento dinámico del ecosistema. Estos parámetros pueden ser naturales, como las glaciaciones, procesos geológicos, catástrofes naturales, o como consecuencia de la intervención del hombre, que desde su aparición es quién más modificando el suelo. <sup>[1]</sup>

### 2.1 ¿QUÉ ES LA CONTAMINACIÓN DEL SUELO?

La preocupación por la contaminación del suelo no se produjo hasta mediados del siglo pasado, hasta entonces, solo había habido preocupación por la calidad del aire y, por la calidad del agua. Fue la “Carta de Europa de Suelos” (Consejo Europeo 1972) el primer documento en el que se reconoce: que el suelo es un recurso limitado, con regeneración lenta y que es necesario evitar su degradación por aporte de sustancias tóxicas.

A partir de entonces se empieza a entender que el suelo no solo un receptor y suministrador de nutrientes para las plantas, sino también es una barrera protectora de la contaminación ya que puede impedir la llegada de compuestos tóxicos a la cadena trófica. Su poder amortiguador depende de las propiedades fisicoquímicas y edáficas del suelo, de las condiciones ambientales y del tipo de contaminante. También se sabe que este poder amortiguador tiene un límite, traspasado el cual, el contaminante estaría en forma biodisponible con capacidad para afectar, tanto al medio, como a la salud humana.

En la legislación española este tipo de contaminación está regulada por el RD 9/2005 y la Ley 22/2011, donde se define suelo contaminado como: “*alteración negativa de las características del suelo por la presencia de compuestos químicos de carácter peligroso de origen humano en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, y así se haya declarado mediante resolución expresa*” [6] De acuerdo con dicha ley, para considerar el suelo como contaminado se necesita el cumplimiento de determinados requisitos:

- i) Sobrepasar los niveles genéricos de referencia (NGR). Este parámetro está destinado a evaluar la contaminación del suelo en función de determinadas sustancias agrupadas por peligrosidad para la salud humana y ecosistemas. Debido a esto, si un suelo muestra concentraciones de algún compuesto o elemento por encima de su NGR se debe hacer un análisis de riesgo y si el riesgo no es aceptable se determina que el suelo está contaminado, y es entonces cuando el propietario del suelo tiene que proceder a la remediación de este. [1][6]
- ii) Proceder de una actividad antrópica. [1]
- iii) Dictaminado por la autoridad administrativa. [1]

## 2.2 INTERACCIÓN CONTAMINANTE-SUELO

Cuando una sustancia **entra** en el suelo puede ser neutralizada, degradada de forma biótica (degradación causada por una actividad biológica, en particular por una acción enzimática que produce un cambio significativo de la estructura química de un material) o abiótica (descomposición mediante procesos físicos y/o químicos, por ejemplo: fotólisis, hidrólisis, oxidación y reducción), adsorbida por procesos de adsorción específica o cambio iónico, complejada o precipitada. La **salida** del sistema puede ser por volatilización, por lavado, por adsorción, por intercambio catiónico, o extraído por la vegetación y microorganismos.

El resultado final es la retención de las sustancias o su movilización, bien por el interior del suelo, bien a través de sus lixiviados a las capas freáticas [13]

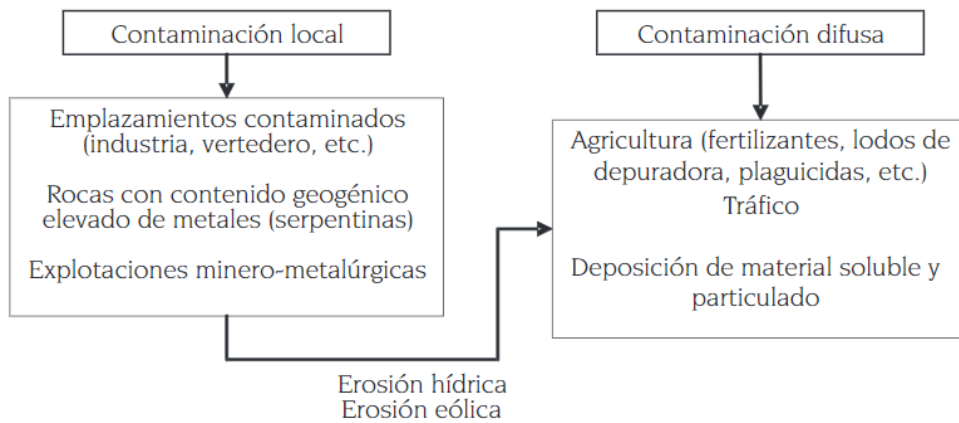
## 2.3 TIPO DE CONTAMINACIÓN DEL SUELO

Hay dos grandes tipos de contaminación del suelo, local y difusa:

La contaminación local consiste en la contaminación causada por un evento específico o una serie de eventos dentro de una zona determinada, por ejemplo, emplazamientos de antiguas fábricas, vertederos no controlados, explotaciones minerometalúrgicas, etc.,. En este tipo de contaminación la fuente de la contaminación es fácil de identificar y es más común en zonas urbanas. [20]

La contaminación difusa abarca territorios más amplios y la concentración de contaminantes suele ser menor, no tiene una fuente única o fácilmente identificable. En esta contaminación está implicado el transporte de los contaminantes a través del sistema aire-suelo-agua. Hay numerosos ejemplos como actividades relacionadas con armas nucleares y energía, uso agrícola de plaguicidas y fertilizantes que añaden metales pesados, transporte y deposición atmosféricas y/o erosión del suelo. [20]

Cuando las concentraciones de los metales son mayores a las correspondientes a su fondo geoquímico quiere decir que son metales de origen antrópico, y resultan de las actividades del hombre tanto agrícolas, mineras como industriales. [8]



**Figura 1.** Contaminación local y difusa del suelo. <sup>[12]</sup>

## 2.4 PRINCIPALES FUENTES DE CONTAMINACIÓN DEL SUELO.

Son dos las fuentes de contaminación: Fuentes geogénicas naturales y fuentes antropogénicas. Las primeras se deben a contaminación de elementos que tienen su origen en el medio natural pero que presentan altas concentraciones. Las segundas, mucho más importantes, se deben a actividades humanas: agrícolas y ganaderas, industriales, mineras, urbanas, desechos y reciclado, militares. Son estas en las que nos vamos a centrar.

En la actualidad, la agricultura debe producir cada vez mayores cantidades de alimentos, al mismo tiempo que disminuye la superficie del suelo cultivable debido al crecimiento demográfico, a la extensión creciente de las ciudades, a la industrialización y otros usos del suelo alejados de la agricultura. Es preciso, pues, intensificar los cultivos a base de abonos y pesticidas minerales y orgánicos, que llegan a contaminar los suelos bien por las impurezas que contienen, en el caso de los fertilizantes o bien por sí mismos en el de los pesticidas. Pueden pasar a la biomasa y de esta a los animales y al hombre, en la cadena trófica elemental: <sup>[2]</sup>

### Fertilizantes

Cada vez se añaden más fertilizantes debido a la necesidad de mayores cosechas. Durante el desarrollo del cultivo, por parte de la planta se produce la extracción de elementos nutritivos (N, P, K, S, Ca, Mg...). Para poder mantener la producción a lo largo del tiempo es necesario reponer al suelo estos nutrientes en forma de nitratos, fosfatos, sales de potasio, etc., en cantidades equivalentes a las extraídas. A causa de la complejidad que supone controlar de forma periódica las concentraciones de nutrientes el agricultor suele optar por el empleo de grandes cantidades de fertilizantes. Esto implica el deterioro de la estructura edáfica, no creándose el complejo absorbente arcillo-húmico que se encarga de facilitar los elementos nutritivos a las plantas. La falta de estos elementos nutritivos en las plantas que luego los seres humanos consumimos, deriva, de la misma manera, en un déficit de nutrientes en nosotros, comprometiendo nuestra salud. También están cambiando los ciclos biogeoquímicos de las plantas, ya que la ganadería ingiere más cantidades de hierba durante periodos más largos, lo que hace que se acorten los periodos de descanso entre cosechas. Esto afecta de forma directa tanto al desarrollo de la planta como a las condiciones del suelo. Existe una

relación inversa entre el uso de fertilizantes y otros agroquímicos con una disminución de la biodiversidad y en una reducción de la actividad biológica. [2]

Los principales componentes de los fertilizantes son los nitratos y fosfatos, los cuales, si se aportan en exceso pueden producir un proceso llamado eutrofización, tanto de ríos como de lagos y como consecuencia, puede contaminar alimentos a través de los suelos y con ello, pasar a la cadena trófica y contaminar a las personas [10].

En particular, los nitratos pueden ser transformados en nitritos que son los responsables de la producción de metahemoglobina, la cual, tiene menor capacidad de transporte de oxígeno que la hemoglobina, provocando una situación de hipoxia celular. Además, los nitratos por sí solos tienen efecto vasodilatador que agrava los efectos de la formación de metahemoglobina. El síntoma principal que hace sospechar de una metahemoglobinemia es la cianosis sobre todo de piel y mucosas o también, el color achocolatado de la orina y sangre arterial. Intoxicación se considera cuando el contenido de metahemoglobina excede al 20% del total de la corporal. [11]

### **Pesticidas**

Se distinguen insecticidas, fungicidas, herbicidas, rodenticidas, etc. Todos afectan al conjunto del ecosistema. De todos ellos, los que más afectan al suelo son los herbicidas porque se depositan directamente sobre el suelo o incluso en su interior. Los suelos contaminados por estos productos pueden permanecer afectados largo tiempo durante el cual son incapaces de soportar cualquier tipo de vegetación. [2] Estos pesticidas también se utilizan para proteger la salud humana evitando enfermedades que se transmiten por vectores y controlando las plagas. El problema surge cuando se realiza un mal uso de los pesticidas, es decir, cuando se utilizan en cantidades superiores a las necesarias o se realizan prácticas inadecuadas como rociarlos con un equipo de aplicación no adecuado provocando su propagación por el medio ambiente afectando a los habitantes y organismos para los que no estaban preparados. [26]

En las actividades industriales se utilizan muchos químicos y su impacto en el medio ambiente, y como consecuencia en la salud humana es muy amplio. Las actividades industriales liberan contaminantes a la atmósfera, al suelo y al agua. Las actividades más contaminantes son: industrias energéticas; producción y procesamiento de metales; industria mineral; industria química e instalaciones químicas; manejo de desechos y otras actividades (producción de cartón y papel, fabricación de fibras o textiles, etc.) [21] El incremento de actividades antropogénicas ha provocado el aumento de la concentración de distintos elementos, entre ellos encontramos los siguientes [2]:

- **Aluminio:** en el suelo es soluble a pH menores de 5,5 en forma de catión aluminio. Llega principalmente al ser humano por el agua de bebida. Las plantas lo asimilan muy poco, casi exclusivamente la planta de té es de las pocas que lo acumulan. [2]
- **Arsénico:** La ingesta de este elemento se debe principalmente a agua contaminada. Es un elemento conocido como veneno desde tiempos inmemorables, y hoy en día, además, se sabe que es carcinogénico. [2]
- **Cadmio:** ingresa vía inhalatoria u oral, se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y riñón principalmente, pero también llega a otros órganos y tejidos. Produce daños irreversibles en los órganos en los que se acumula. [25]  
La placenta en este caso es una barrera eficaz evitando su paso al feto. Su principal vía de eliminación es la orina. [2]

- **Cobre:** es el esencial para el hombre: forma metaloproteínas, complejos orgánicos, tiene alguna función en reacciones metabólicas, participa en el desarrollo de los huesos y en el metabolismo de los lípidos. El Zn y Fe son fuertes antagonistas del Cu, por lo que una gran ingestión de aquellos puede acarrear una deficiencia de este. Es muy rara la toxicidad por Cu; según la WHO se aconseja una dosis de  $12 \text{ mg/día}^{-1}$  para adultos y  $150 \text{ mg/día}^{-1}$  para niños. <sup>[2]</sup>
- **Cromo:** el Cr no se encuentra en forma libre en la naturaleza. La fuente mineral más importante del cromo es la cromita ( $\text{FeCr}_2\text{O}_4$ ) <sup>[33]</sup>, en la que se encuentra en forma trivalente pero al entrar en contacto el oxígeno del aire se oxida a  $\text{Cr}^{+6}$ , que es más tóxico y más móvil. Puede suceder que se produzca una intoxicación crómica por ingestión de compuestos de Cr durante mucho tiempo, pero sucede rara vez. En cambio, el Cr es un elemento esencial para el hombre, y su carencia puede producir perturbaciones en la salud. No se sabe cuál es el requerimiento mínimo para una salud óptima. <sup>[2]</sup>
- **Metales radioactivos:** Los suelos tienen alto poder de retención sobre los elementos radioactivos (estroncio 90, cesio 137, entre otros). El problema es cuando los suelos presentan un complejo arcillo-húmico evolucionado capaz de retener cantidades importantes de elementos radioactivos, los cuales, pueden producir efectos mutagénicos y cancerígenos en el ser humano. <sup>[2]</sup>
- **Plomo:** Sea cual sea la vía de absorción, el plomo se transporta por la sangre distribuyéndose por todos los tejidos y órganos. Se acumula en el tejido óseo principalmente (90%) y en menor concentración en hígado, corteza y médula renal y en los eritrocitos. La principal vía de eliminación es por orina (76%), el resto, por heces, sudor, cabello, etc. También se puede eliminar por leche materna y puede atravesar la placenta. <sup>[2]</sup>
- **Selenio:** el selenio del cuerpo procede de los alimentos. El Se es un componente del enzima glutatión-peroxidasa, un componente de uno de los sistemas de defensa antioxidante del cuerpo, es utilizado como índice del estado de Se en el hombre. En este caso es su déficit el que produce trastornos en la salud. Aunque también cuando la ingesta alcanza concentraciones de  $3,2$  a  $6,7 \text{ mg/día}^{-1}$ . <sup>[2]</sup>
- **Talio:** síntomas de toxicidad por comer alimentos contaminados por este elemento son depresión, insomnio y varios desórdenes nerviosos. <sup>[2]</sup>

En la tabla 1 se compara la cantidad de sitios contaminados según distintos lugares del mundo con el porcentaje correspondiente a la contaminación por metales pesados, observándose que es general es bastante alto.

País	Cantidad de sitios contaminados	% de contaminación por metales pesados
Global	>10000000	>50
EEUU	>100000	>70
Unión Europea	>80000	37
Australia	>50000	>60
China	1,0 millón de $\text{km}^2$	>80

**Tabla 1.** Contaminación del suelo en el mundo <sup>[3]</sup>

## 2.5 PAPEL DEL SUELO EN LA SALUD HUMANA

Los contaminantes del suelo pueden llegar a las personas mediante ingestión, inhalación o absorción dérmica, representando un peligro para la **salud de los habitantes**. Esto es así debido fundamentalmente a tres razones:

- 1- Los alimentos que se ingieren procedentes de cultivos que crecen en suelos contaminados, pueden contener compuestos peligrosos. La incorporación a la cadena trófica como consecuencia de la absorción que se produce a nivel de la rizosfera de la planta (Es una zona de interacción única y dinámica entre raíces de plantas y microorganismos del suelo), puede alcanzar a distintas partes: raíz, tallo, hojas, fruto, que en muchos casos son comestibles, bien directamente por el hombre, o bien por intermediación de animales. <sup>[1]</sup>
- 2- La ingesta, inhalación, o adhesión de polvo, es la forma en que se realiza la penetración directa de contaminantes en el organismo. Del polvo forma parte las partículas más finas que constituyen el suelo, es decir partículas de tamaño arcilla. El tamaño arcilla se refiere a todas las partículas minerales menores de 0,2  $\mu\text{m}$ , lo que incluiría a las más peligrosas, partículas ultrafinas, de tamaño  $<$  de 0,1  $\mu\text{m}$ . El principal efecto directo para la salud del polvo inhalado es la irritación de las vías respiratorias, y en ocasiones patologías relacionadas con el cáncer de pulmón. <sup>[1]</sup>
- 3- La degradación de los suelos produce, entre otras acciones, déficit en el contenido de nutrientes que la planta puede tomar y como consecuencia, un déficit de nutrientes en las personas que consumen estas plantas. Unas veces, la planta se degrada como consecuencia de la incorporación de iones contaminantes y otras, porque las características fisicoquímicas del suelo salinidad, pH, conductividad, impiden el desarrollo vegetal. <sup>[1]</sup>



Dependiendo de la concentración, el tiempo de exposición y del tipo de contaminante, los efectos varían. Vómitos, diarreas, somnolencia están asociados a la ingestión de dosis únicas con altas concentraciones. Cánceres, leucemias, necrosis hepáticas se deben a exposiciones repetidas. Los síntomas aparecen con el tiempo, dado que son sustancias de biotransformaciones lentas que provocan efectos acumulativos en los organismos. <sup>[2]</sup>

Los efectos de la contaminación del suelo sobre la salud humana tardan años en describirse debido a la falta de estudios sobre procesos de contaminación. Es muy difícil determinar la causa principal o incluso, las causas de las enfermedades, sobre todo en el caso de las neurodegenerativas. En cambio, sí que tenemos estudios sobre distintos compuestos que llegan al suelo o se forman en él y sus posibles efectos sobre la salud de la población que habita en ese ambiente. Los suelos que más estudio necesitan son los urbanos, ya que es donde se realizan la mayoría de las actividades antropogénicas, añadiendo que tienen unos patrones de exposición complejos debido a las interacciones con otros determinantes de salud como la nutrición, calidad del aire y el acceso a servicios de salud para prevenir enfermedades. <sup>[15]</sup>

Los emisores más importantes de elementos contaminantes, tanto a la atmósfera como al suelo son las industrias, tráfico, agricultura y calefacciones. La concentración de compuestos tóxicos depende de múltiples factores que van desde el grado de desarrollo



socioeconómico, hasta las condiciones ambientales de la zona. Además de la concentración y tipo de contaminante que también varía. <sup>[7]</sup>

Es difícil cuantificar el número de enfermedades infecciosas, parasitarias, alérgicas, respiratorias, degenerativas que se producen, y que están directamente relacionadas con la contaminación del suelo, sin embargo, parece evidente que el suelo es un reservorio de compuestos tóxicos y que son más peligrosos cuanto mayor sea su persistencia y biodisponibilidad. <sup>[7]</sup> La población infantil es la más afectada por la contaminación de los suelos. Es debido a la mayor cantidad de actividades que realizan en el exterior, a menores hábitos higiénicos, a mayor actividad mano-boca, etc. es por lo que los niños tienen más riesgo que los adultos. <sup>[21]</sup>

El continuo aumento de los niveles de metales ha hecho que los gobiernos de la mayoría de los países industrializados hayan modificado sus legislaciones para reducir la presencia ambiental de estos elementos. <sup>[7]</sup>

### 3. OBJETIVO

Actualmente, la contaminación de metales pesados y metaloides es un tema que va ganando importancia debido al impacto que genera sobre la salud humana por medio de la contaminación del medio ambiente. Chaney <sup>[13]</sup> clasificó a los metales y metaloides en cuatro grupos según su potencial riesgo para la cadena alimentaria a través de la absorción por las plantas <sup>[14]</sup>. Atendiendo a esta clasificación, el Arsénico es uno de los metales del grupo 4, y, por tanto, se encuentra entre los que más riesgo suponen para la salud. Por esto junto con el gran desconocimiento de la población hacia el arsénico, el trabajo se va a centrar en la influencia del As presente en el suelo sobre la salud humana, con el objeto de dar a conocer y concienciar sobre el origen del As, su toxicidad y efectos y repercusiones en la salud humana.

### 4. MATERIAL Y MÉTODOS

Para la realización de esta recopilación bibliográfica sobre los efectos del As presente en el suelo sobre la salud humana se han utilizado distintas fuentes como libros, artículos y páginas web como web of science, Google academic y organismos oficiales como WHO, FAO, BOE.

Empleando las palabras clave: contaminación del suelo, metales pesados, arsénico, salud humana.

Key words: *soil pollution, heavy metals, arsenic, soil science, human health.*

Se seleccionaron aquellas revisiones bibliográficas de mayor relevancia y relación con los puntos desarrollados en el trabajo.

### 5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 5.1 ORIGEN DEL ARSÉNICO

El arsénico es el contaminante metaloide más generalizado de la naturaleza. Puede encontrarse en dos estados de oxidación: forma trivalente, arsenito ( $\text{As}_2\text{O}_3$ ; As III) y forma pentavalente, arsenato ( $\text{As}_2\text{O}_5$ ; As V). As III es 60 veces más tóxico que As V <sup>[16]</sup>. Se encuentra en el agua, aire y tierra. Por tanto, las rutas por las que el As puede penetrar en el cuerpo humano son mediante ingestión, inhalación o absorción dérmica. Pero la mayor causa de intoxicación humana por arsénico se debe a la ingestión de agua de fuentes geológicas naturales. Depende de la forma en la que encontremos el As será más

o menos tóxico, siendo la presentación de mayor toxicidad el gas arsina, después, la forma inorgánica y por último, la de menor toxicidad es la forma orgánica<sup>[4]</sup>. En la tabla 2 se reflejan las normas y regulaciones para el As inorgánico, ya que hemos visto que es el más importante debido a su toxicidad.

También cambiará el grado de toxicidad y con ello, sus consecuencias, dependiendo si es una exposición aguda o crónica al As siendo esta última la más peligrosa. <sup>[4][9]</sup>

Organismo	Énfasis	Nivel	Comentarios
<b>ACGIH</b>	Aire-lugar de trabajo	10 microgramos/m <sup>3</sup>	Advertencia; TLV/TWA+
<b>NIOSH</b>	Aire-lugar de trabajo	2 microgramos/m <sup>3</sup>	Advertencia; límite tope de 15 minutos
<b>OSHA</b>	Aire- lugar de trabajo	10 microgramos/m <sup>3</sup>	Norma; PEL en una jornada laboral de 8 horas
<b>EPA</b>	Aire-ambiente	NA	NA
<b>FDA</b>	Agua-agua de bebida	10 partes por billón	Norma; nivel máximo de contaminante en los suministros públicos de agua potable
<b>FDA</b>	Alimentos	0.5-2 partes por millón	Norma; aplicable a los animales tratados con medicamentos veterinarios

• ACGIH = Conferencia Americana de Higienistas Industriales Gubernamentales  
 • EPA = Agencia de Protección del Medioambiente de EE. UU.  
 • FDA = Administración de Alimentos y Drogas de EE. UU.  
 • NIOSH = Instituto Nacional para la Seguridad y la Salud Ocupacional  
 • OSHA = Administración de Seguridad y Salud Ocupacional de EE. UU.

o TLV/TWA (Valor Umbral Límite/Tiempo promedio ponderado) = concentración en un tiempo promedio ponderado, para una jornada laboral normal de 8 horas, o una semana laboral de 40 horas. Casi todos los trabajadores pueden estar expuestos a estas concentraciones.  
 o PEL (Límite de Exposición Permisible) = Nivel más alto al que puede estar expuesto un trabajador durante una jornada laboral de 8 horas.

**Tabla 2.** Normas y regulaciones para el arsénico inorgánico <sup>[5]</sup>

## 5.2 FUENTES DE ARSÉNICO

Las diferentes fuentes, a través de las cuales, el As puede llegar al suelo y con ello, encontrarse accesible para nosotros son:

- Consumo de agua y alimentos: el arsénico representa una amenaza importante para la salud cuando se encuentra en aguas subterráneas contaminadas, al igual que todos los alimentos que han estado regados o preparados por esta. Esto es así porque la forma en la que se encuentra el As en estas fuentes es la inorgánica, es decir, como hemos visto antes, la más tóxica. En cambio, el As en los alimentos se encuentra en forma de compuestos orgánicos, por lo tanto, relativamente poco tóxicos. Los mariscos y las algas, por ejemplo, son los más ricos en compuestos orgánicos de As. Lo que ocurre con estos compuestos orgánicos es que aumentan

los niveles de As en sangre, pero se excretan rápidamente por orina, 48 horas después de haber sido ingeridos. <sup>[4][5][9]</sup>

- Procesos industriales: El As se utiliza como agente de aleación y también para el proceso de vidrio, pigmentos, textiles, papel, adhesivos metálicos, protectores de madera y municiones, durante la realización de estos procesos se libera el As a la atmósfera, suelo y agua mediante vertidos o gases. Asimismo, utilizado en aditivos para piensos y fabricación de plaguicidas. <sup>[4]</sup>  
En EE. UU. ha cesado la producción industrial de As. Se ha retirado de pesticidas domésticos, aunque el uso comercial del As importado todavía es considerable. <sup>[5]</sup>
- Tabaco: las personas que fuman también pueden estar expuestas a este metal debido al arsénico inorgánico que tiene el tabaco natural, ya que las plantas de tabaco absorben esencialmente el As presente de forma natural en el suelo. Este riesgo era mucho mayor hace unos años cuando era costumbre tratar las plantas de tabaco con insecticidas a base de arseniato de plomo. <sup>[4]</sup>

A parte de las diferentes fuentes a través de las cuáles podemos entrar en contacto con el As a través del suelo, existe otra fuente en la que el As es utilizado como medicamento. Actualmente el trióxido de arsénico ( $As_2O_3$ ) se utiliza en la quimioterapia para tratar leucemia promielocítica aguda basándose en la liberación de un factor inductor de apoptosis (AIF), así como para tratar otros cánceres <sup>[30]</sup>. Se puede encontrar también en algunos remedios caseros, naturópatos u homeopáticos. Por ejemplo, alguna medicina natural china lleva *realgar* (sulfuro de arsénico) y está disponible en pastillas, tabletas u otras preparaciones. Es usada para psoriasis, sífilis, asma, reuma, hemorroides, prurito y tos, también es utilizado como analgésico, antiinflamatorio e incluso, como tratamiento hacia algunos tumores malignos <sup>[23]</sup>. La arsfenamina fue la primera cura efectiva para el Sífilis, hasta que fue reemplazada por los antibióticos en la Segunda Guerra Mundial. La “solución de Fowlers” (1% de trióxido As) se utilizó para enfermedades cutáneas, al igual que para la leucemia y estomatitis. Se redujo el uso de As para fines médicos al asociarse su uso con el cáncer de piel <sup>[5]</sup>.

### 5.3 POBLACION EN RIESGO

Los grupos poblacionales en riesgo de una sobreexposición al As incluyen a:

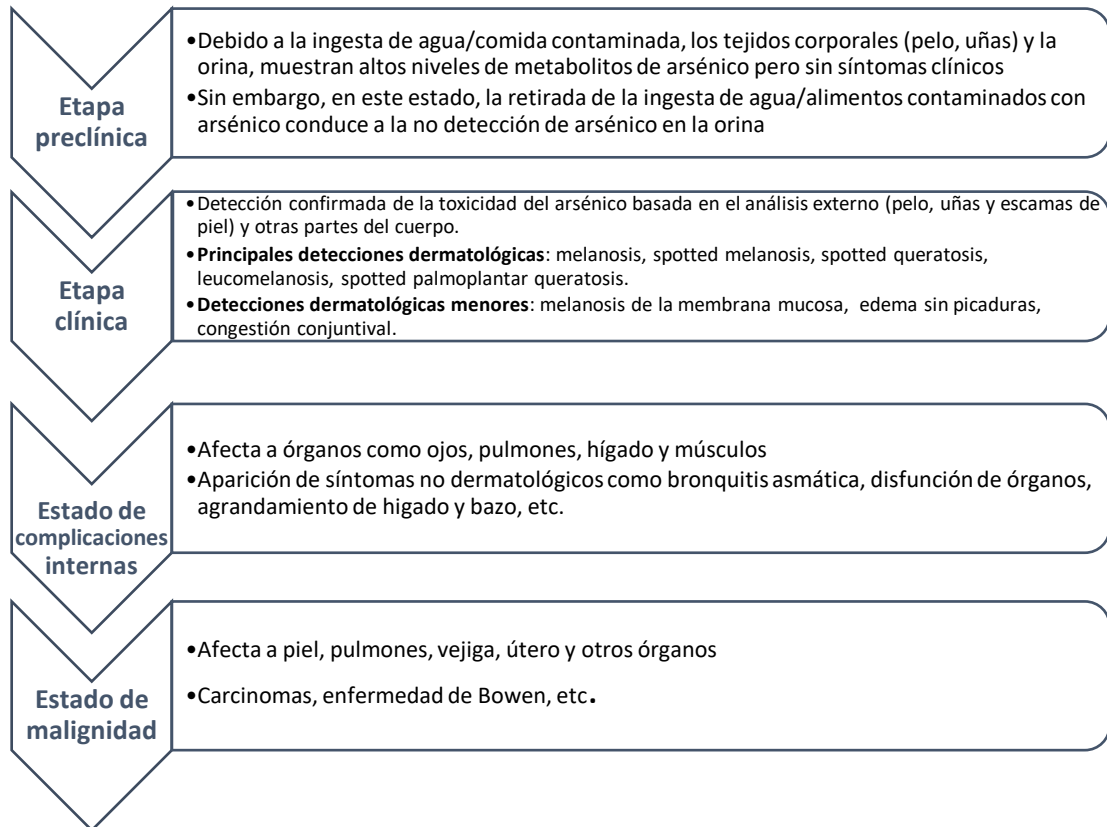
- Trabajadores de industrias que utilizan compuestos que contienen Arsénico como, por ejemplo, los trabajadores de fundidoras o los que utilizan pesticidas, entre otros. <sup>[32]</sup>
- Personas que trabajan con madera tratada con arsenato cromado de cobre. El cual se utiliza como preservativo de la madera, para que ésta no se deteriore o pudra. <sup>[31]</sup>
- Personas que consumen agua de pozos derivados que tienen altos niveles de As, en determinadas áreas geográficas. <sup>[5]</sup>
- El feto de una madre que ha estado expuesta al arsénico, ya que este metaloide es capaz de atravesar la membrana placentaria. <sup>[5]</sup>
- La población infantil, en general, tiene más riesgo que la adulta, debido a que están más en contacto con el suelo y tienen menos medidas higiénicas. <sup>[5]</sup>

### 5.4 TOXICIDAD DEL ARSÉNICO EN EL CUERPO HUMANO

La exposición al arsénico desde niveles bajos a moderados (10-300 g/L) a través del agua tienen múltiples efectos adversos y complicaciones incluyendo enfermedades

mortales provocadas por enfermedades crónicas <sup>[18]</sup>. Alrededor de 100 millones de personas en todo el mundo están expuestas a niveles de arsénico mayores de 50 µg/L a través del agua, pero también a través de procesos industriales. <sup>[19]</sup>

Los efectos de la exposición al arsénico se dividen en cuatro etapas (Figura 2): complicaciones preclínicas, clínicas, internas y etapas de malignidad.



**Figura 2.** Etapas de las manifestaciones clínicas en la toxicidad del arsénico. <sup>[17]</sup>

Si el As ingerido es soluble, los síntomas comienzan a los 30-60 minutos, pero si es poco soluble o se toma con comidas, el cuadro empieza más tarde <sup>[2]</sup>.

Intoxicaciones por cantidades pequeñas de As (<5 mg) conllevan a síntomas como náuseas y vómitos, y diarrea, pero esto se suele resolver en las siguientes 12 horas y no es necesario ningún tratamiento. La dosis letal de arsénico inorgánico se ha estimado según la ATSDR (Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades) que es de aproximadamente 0,6 mg/kg/día. Dependiendo de la cantidad consumida, la muerte se puede producir entre las primeras 24 horas o hasta 4 días después.

Las características clínicas se relacionan inicialmente con una intoxicación alimentaria, es decir, síntomas gastrointestinales: náuseas, vómitos, cólicos abdominales y una profunda diarrea acuosa. Otras características clínicas son psicosis aguda, erupción cutánea difusa, miocardiopatías y convulsiones. <sup>[23]</sup>

La diarrea se atribuye al aumento de permeabilidad de los vasos sanguíneos. Las heces tan acuosas se describen como “diarrea coleriforme”, en el caso del cólera se describen este tipo de heces como “agua de arroz” debido a la semejanza a los granos de arroz. Pero en el caso del envenenamiento por As, como consecuencia de la sangre en el tracto gastrointestinal, se denominan “agua de arroz con sangre”. Al final, lo que se produce es la pérdida masiva de líquidos provocando deshidratación intensa. Debido a esto

también se produce una sed intensa y estado de confusión, palidez, ojos hundidos, hipotermia, sudoración intensa y fría, calambres en los pies, etc. [5]

Por lo general, si no hay más aporte de As, los síntomas a partir del segundo o tercer día van remitiendo, aunque persiste la deshidratación y la sed intensa, la lengua está roja y descamada, fiebre alta, pulso bajo y frecuente y el abdomen dolorido. En el caso de que la sitio no sea favorable, el paciente se va debilitando y aparece postración, coma y finalmente la muerte a los 8-10 días. Por lo contrario, si la situación sí que es favorable el enfermo empieza a alimentarse, va recuperando fuerzas y mejorando su función renal, aunque todo vaya encaminado bien hay que tenerlo bien controlado porque pueden surgir complicaciones y finalmente acabar muriendo. [5]

#### Destino biológico:

El As puede entrar en el organismo mediante tres vías: ingestión e inhalación principalmente y en menor medida, por vía dérmica. A partir de esta entrada pueden llegar a diferentes lugares del cuerpo teniendo sus correspondientes consecuencias en cada uno de ellos.

- Tracto digestivo: el principal sitio de absorción del As es el intestino delgado (95%) y el pH óptimo para esto es de 5.0. [22] Los efectos se observan de manera aguda después de la ingestión, son menos comunes después de la inhalación o absorción dérmica. [5]
- Pulmones: el arsénico en el aire de los centros laborales generalmente se encuentra en forma de trióxido de arsénico ( $As_2O_3$ ). Aún no se determina con precisión cuál es la cantidad de As que se absorbe por inhalación, pero se piensa que es entre un 60 y 90%, y la inhalación de altas concentraciones provoca una irritación de la mucosa respiratoria. Las partículas de tamaño más pequeño alcanzan a depositarse más a fondo en el tracto respiratorio. [5]
- Absorción dérmica: esta vía de absorción es prácticamente insignificante, aunque se han reportado efectos sistémicos tóxicos en accidentes laborales en los que el tricloruro de arsénico o el ácido arsénico cayeron en la piel de algunos trabajadores. [5]

#### Distribución:

Después de haber sido absorbido en los pulmones o en el tracto digestivo, el As se distribuye ampliamente por el cuerpo a través del torrente sanguíneo. Durante la fase de absorción y distribución, la mayor parte del arsénico inorgánico se acumula en el hígado, el cual, luego es eliminado a través de la micción. [28]

La mayoría de los tejidos desecha el As dependiendo de las proteínas presentes en cada tejido y el grado de exposición. Excepto en la piel, el pelo y las uñas ya que se unen los metabolitos trivalentes a los grupos sulfhidrilo de proteínas de queratina, pudiéndose encontrar ahí de dos a cuatro semanas después de cesar la exposición al As. [28] [5]

#### Metabolismo:

El arsénico se absorbe en el torrente sanguíneo a nivel celular y se incorpora en glóbulos blancos, glóbulos rojos y otras células que reducen el arsenato (As V) a arsenito (As III) [24].

El arsénico absorbido sufre biometilación hepática para formar ácido monometilarsénico y ácido dimetilarsínico que son menos tóxicos, pero no completamente inocuos [22]. Este es el principal método de metabolización del As en los seres humanos y, por tanto, la principal vía de desintoxicación.

Se ha observado, que a dosis altas de arsénico la eficiencia de la metilación como desintoxicante disminuye. Además, se puede observar un aumento en la retención de As en los tejidos blandos en el caso de que la persona siga expuesta a altos niveles de As inorgánico y haya sobrepasado la capacidad de metilación del hígado.<sup>[5]</sup>

#### Excreción:

La principal vía de excreción en los seres humanos es a través de los riñones por la orina. Alrededor del 50 % de la dosis ingerida es eliminada por orina de tres a cinco días después. Se excreta una combinación de arsénico inorgánico sin alterar y sus metabolitos monometilados y dimetilados, siendo estos últimos los predominantes (60% -70%).<sup>[23] [5]</sup>

Existen otras vías de eliminación del As residual, estas son: descamación de la piel, incorporación en cabello y uñas, heces y sudor. Es después de dos semanas de ingestión cuando se deposita el As en pelo y uñas.<sup>[23] [5]</sup>

### 5.5 EFECTOS EN LA SALUD

El As una vez que penetra en nuestro organismo puede tener diversas repercusiones dependiendo del lugar. En la tabla 3 se exponen los efectos producidos por este metaloide en el cuerpo humano.

<b>Efectos gastrointestinales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La principal lesión consiste en un aumento de la permeabilidad de los vasos sanguíneos pequeños del tracto GI, que lleva a la pérdida de fluidos y a la hipotensión.</li> <li>- También puede presentarse una inflamación extensiva y una necrosis en la mucosa y submucosa del estómago e intestino, las cuales pueden derivar en la perforación de la pared de la víscera.</li> <li>- Por último, puede ocurrir una gastroenteritis hemorrágica que provoca diarrea sanguinolenta.</li> </ul>
<b>Efectos hepáticos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hepatitis tóxica, con niveles elevados de enzimas hepáticas.</li> <li>- Hipertensión portal cirrótica o no-cirrótica.</li> </ul>
<b>Efectos renales</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Necrosis tubular aguda junto con un fallo renal agudo</li> <li>- Insuficiencia renal crónica</li> <li>- El gas arsina tiene más efectos nefrotóxicos que el arsénico aunque ambos son capaces de causar una necrosis tubular.</li> </ul>
<b>Efectos cardiovasculares</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asociación entre exposición crónica al As y la enfermedad cardiovascular periférica, la hipertensión y la enfermedad cardiovascular</li> <li>- La intoxicación aguda puede causar tanto una fuga capilar difusa como una cardiomiopatía, pudiendo conducir a un shock.</li> <li>- La amplitud de daño cardiovascular puede variar dependiendo de la edad, dosis de As y la susceptibilidad individual.</li> <li>- En Taiwán se ha visto una gangrena de las extremidades en aquellos habitantes que consumieron agua de pozos contaminados por As. A esta enfermedad se la conoce con el nombre de “<i>enfermedad del pie negro</i>”</li> <li>- Otra enfermedad es la “<i>enfermedad de Raynaud</i>” (Enfermedad vasoespástica) que se ha visto en trabajadores de fundidoras y viñedos expuestos a As. Actualmente, ya no se usan en los viñedos</li> </ul>

	<p>pesticidas fabricados con As inorgánico, y los que utilizan es As orgánico que no se asocia con cambios vasoespásticos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Puede provocar una despolarización del miocardio y causar arritmias cardiacas e hipertensión.</li> </ul>
<b>Efectos Neurológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Destrucción de los cilindros del axón → neuropatía periférica El inicio de la neuropatía puede ocurrir después de 7-14 días presentándose de manera intensa (adormecimiento, calambres musculares, dolor espontáneo, parestesia, sensibilidad muscular y sudoración)</li> <li>- El efecto más común es una neuropatía periférica predominantemente sensitiva en un patrón “guante y calcetín”</li> <li>- Encefalopatía</li> </ul>
<b>Efectos dérmicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las principales consecuencias son las hiperqueratosis palmo-plantares y los cambios en la pigmentación de la piel, estos últimos ocurren particularmente en axilas, cuello, pezones, ingle, párpados y sienes.</li> <li>- Un efecto retardado de la exposición crónica o aguda al arsénico es la aparición de líneas de Mee (líneas horizontales) en las uñas de los dedos.</li> </ul>
<b>Efectos respiratorios</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los trabajadores de fundidoras estuvieron expuestos a concentraciones muy altas, las cuales en la actualidad ya no se encuentran, y se observó que presentaron lesiones inflamatorias y erosivas en la mucosa respiratoria pudiendo llegar a la perforación del tabique nasal.</li> <li>- Esta exposición crónica al As en los trabajadores de fundidoras y de industrias que producen pesticidas, se asoció con cáncer de pulmón.</li> </ul>
<b>Efectos hematológicos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Abatimiento en la actividad de la médula ósea manifestándose inicialmente como una pancitopenia (Reducción simultánea en número de glóbulos rojos, blancos y plaquetas de sangre)</li> <li>- Anemia y leucopenia</li> <li>- En caso de intoxicación por gas arsina, puede causar una hemólisis intravascular fulminante.</li> </ul>
<b>Efectos reproductivos</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El As es un potente teratógeno, por lo que, su exposición está ligada a un aumento en la frecuencia de abortos y mal formaciones congénitas.</li> </ul>

**Tabla 3:** Efectos producidos por el As en el organismo. <sup>[5]</sup>

**Carcinogénesis:** La proliferación celular es un mecanismo esencial para el crecimiento, desarrollo y regeneración de organismos eucariotas; sin embargo, cuando la proliferación celular no está controlada, es la causa del cáncer. <sup>[29]</sup>

El Arsénico es un potente carcinógeno humano, clasificado en el grupo-1 de carcinógenos por la Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC) <sup>[27]</sup> La exposición al As ha demostrado la capacidad de inducir tumores en humanos en los pulmones, piel, vejiga, hígado y próstata. Sin embargo, los mecanismos detrás del desarrollo del cáncer son siendo un tema delicado y siguen bajo investigaciones. <sup>[16]</sup> Los mecanismos posiblemente son un defecto en la reparación del DNA, metilación del DNA y un aumento de radicales libres. <sup>[23]</sup>

## 6. CONCLUSIONES

- El suelo es un recurso natural no renovable a corto plazo. Es un elemento dinámico del ecosistema y la intervención del hombre es lo que más está modificando el suelo. Debido a esto, es muy importante el estudio.
- La contaminación del suelo dependiendo de la concentración, el tiempo de exposición y tipo de contaminantes, así como de las condiciones ambientales, tiene efectos que pueden causar tanto en el sistema suelo como en el ser humano, graves alteraciones.
- El arsénico es uno de los metaloides más contaminantes, se puede encontrar de forma orgánica, inorgánica o de gas arsina, siendo los dos últimos los más contaminantes. Provocan distintos efectos en el organismo dependiendo de su vía de entrada, aunque la más efectiva es la ingestión. Los síntomas más comunes y rápidos son los gastrointestinales.
- Es importante el estudio del Arsénico debido a que los efectos a largo plazo son los más graves, es un elemento tóxico y provoca cáncer, no se sabe a qué concentraciones exactamente pero sí que hay estudios que cercioren estos hechos.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. López Lafuente, A. 2018. Algunas claves para entender la relación entre contaminación del suelo y salud humana. Ed. Academia de Farmacia Santa María de España de la Región de Murcia. ISBN 978-84-09-03917-3
2. Jiménez Gómez, S y Doadrio Villarejo, A.L. 2007. Contaminación y Salud. Monografía XXII. Ed. RANF. ISBN 978-84-934430-6-1
3. Journal of Environmental Indicators, 9:17-18, 2015. Heavy Metal Contamination of Soils: Sources, Indicators, and Assessment.
4. Arsénico. 2018. Organización Mundial de la Salud.  
<https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/arsenic>
5. Kim Gehle, M.D., M.P.H., 2009. La toxicidad del arsénico. Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) Estudios de Caso en Medicina Ambiental (CSEM).  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic\\_csem\\_spanish.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic_csem_spanish.pdf)
6. BOE núm. 15, de 18 de enero de 2005. Real Decreto 9/2005, de 14 de enero, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo y los criterios y estándares para la declaración de suelos contaminados.  
<https://www.boe.es/boe/dias/2005/01/18/pdfs/A01833-01843.pdf>
7. Granero, S., Domingo, J.L., 2002. Levels of metals in soils of Alcalá de Henares, Spain: Human health risks. Environment International. Vol 28. 159-164
8. Metales pesados en el suelo. 66  
[http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio\\_ambiente/criterios\\_calidad\\_suelos\\_aguas\\_agricolas/pdf\\_suelos/5\\_metales\\_pesados\\_suelo.pdf](http://biblioteca-digital.sag.gob.cl/documentos/medio_ambiente/criterios_calidad_suelos_aguas_agricolas/pdf_suelos/5_metales_pesados_suelo.pdf)
9. RAPAL, Uruguay. 2010. Impactos del modelo de agricultura industrial. Contaminación y eutrofización del agua. 15-16



- <http://ww.rapaluruaguay.org/agrotoxicos/Uruguay/Eutrofizacion.pdf>
10. Labandeira-Pazos, J.M., Metahemoglobinemia. Libro electrónico de Toxicología clínica. 1-7.  
<file:///C:/Users/sonso/Downloads/Metahemoglobinemia.pdf>
  11. Milena-Silva, S., Correa-Restrepo, F.J., 2011. Análisis de la contaminación del suelo: revisión de la normativa y posibilidad de regulación económica. Semestre Económico. Vol. 12 Núm 23, 13-34.  
<https://revistas.udem.edu.co/index.php/economico/article/view/1156/2435>
  12. AEMA (Agencia Europea de Medio Ambiente)- PNUMA (Programa de las Naciones Unidas Ambiente). 2002. Con los pies en la Tierra: la degradación del suelo y el desarrollo sostenible en Europa: un desafío para el siglo XXI. Problemas medioambientales. Nº 16, 34.
  13. Chaney, R.L., 1980. Health risk associated with toxic metals in municipal sludges. In Bitton, B.L. Damron, G.T. Edds & J.M. (eds) Davidson, eds. Sludge: health risk of land application. 59-83. Ann Arbor, MI.
  14. WHO. 2013. Contaminated sites and health. Copenhagen, Denmark.
  15. Ueki, K., Kondo, T., Tseng, Y.H., Kahn, C.R., 2004. Central role of suppressors of cytokine signaling proteins in hepatic steatosis, insulin resistance, and the metabolic syndrome in the mouse. Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 101,10422-10427
  16. Khaja-Shameem, M.A., Sudheera-Sammanthi, J., Ediriweera, P.S.C., Channa, J., De Silva, P.M., 2015. Arsenic and human health effects: A review. Environmental Toxicology and Pharmacology. 829-842.  
<https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S1382668915300946?token=DBA2F5CB25594978E599B21022434658E5D0C135A594A029AD3966BF5D7A1F16A741C8775BD672100199EC8EB5779DB6>
  17. Chen, Y., Parvez, F., Gamble, M., Islam, T., Ahmed, A., Argos, M., Graziano, J.H., Ahsan, H., 2009. Arsenic exposure at low-to-moderate levels and skin lesions, arsenic metabolism, neurological functions, and biomarkers for respiratory and cardiovascular diseases: Review of recent findings from the Health Effects of Arsenic Longitudinal Study (HEALS) in Bangladesh. Toxicology and Applied Pharmacology. 239, 184-192.
  18. Moon, K., Guallar, E., Navas-Acien, A., 2012. Arsenic exposure and cardiovascular disease: an update systematic review. Current Atherosclerosis Reports. 14, 542-555.
  19. Rodríguez-Eugenio, N., McLaughlin, M., Pennock, D., 2019. La contaminación del suelo: una realidad oculta. Roma, FAO.
  20. Calabrese, E.J., Stanek, E.J., James, R.C., Roberts, S.M., 1997. Soil ingestion: a concern for acute toxicity in children. Environ Health Perspect. 105, 1354-1358.
  21. García-Pérez, J., Boldo, E., Ramis, R., Pollán, M., Pérez-Gómez, B., Aragonés, N., López-Abente, G. 2007. Description of industrial pollution in Spain. BMC Public Health, 7(I).
  22. Aposhian, H.V. 1997. Enzymatic methylation of arsenic species and other approaches to arsenic toxicity. Ann Rev Pharmacol Toxicol. 37, 397-419.
  23. Ratnaik, R.N., 2003. Acute and chronic arsenic toxicity. Postgrad Med. 79, 391-396.  
<https://pmj.bmj.com/content/postgradmedj/79/933/391.full.pdf>
  24. Wang, Z., Dey, S., Rosen, B.P., Rossman, T.G., 1996. Efflux mediated resistance to arsenicals in arsenic-resistant and hypersensitive Chinese hamster cells. Toxicol Appl Pharmacol. 137:112-119

25. Reyes, Y.C., Vergara, I., Torres, O.E., Díaz, M., González, E.E., 2016. Heavy metals contamination: implications for health and food safety. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo*. Vol 16, 66-77.  
<file:///C:/Users/sonso/Downloads/Dialnet-ContaminacionPorMetalesPesados-6096110.pdf>
26. Carvalho, F.P., 2017. Pesticides, environment, and food safety. *Food and Energy Security*. 6, 48-60.
27. Chen, Y.C., Su, H.J.J., Guo, Y.L.L., Hsueh, Y.M., Smith, T.J., Ryan, L.M., Lee, M.S., Christiani, D.C., 2003. Arsenic methylation and bladder cancer risk in Taiwan. *Cancer Causes Control*. 14,303-310.
28. Watanabe, T., Hirano, S., 2013. Metabolism of arsenic and its toxicological relevance. *Archives of Toxicology*. 87, 969-979.
29. Díaz-Moralli, S., Tarrado-Castellarnau, M., Miranda, A., Cascante, M., 2013. Targeting cell cycle regulation in cancer therapy. *Pharmacology & Therapeutics*. 138, 255-271.
30. Zhu, J., Chen, Z., Lallemand-Breitenbach, V., 2002. How acute promyelocytic leukaemia revived arsenic. *Nature Reviews Cancer*. 13-705.
31. Agencia para Sustancia Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR). Resúmenes de Salud Pública-Arsénico. 2007.  
[https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es\\_phs2.html](https://www.atsdr.cdc.gov/es/phs/es_phs2.html)
32. Rossman, T., 2007. Arsenic. *Environmental and Occupational Medicine*. 4, 1006-1017.
33. Wuana, R.A., Okieimen, F.E., 2011. Heavy metals in contaminated soils: A review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *ISRN Ecology*, vol. 2011, Article ID 402647.  
<https://www.hindawi.com/journals/isrn/2011/402647/>