



**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

TRABAJO FIN DE GRADO

**TÍTULO: Metales pesados en suelos y sus
efectos sobre la salud.**

Autor: Noelia Barrio Vega

Tutor: Antonio López Lafuente

Convocatoria: Junio

RESUMEN

El sistema edáfico es un medio muy heterogéneo, formado por material orgánico y material inorgánico, que en condiciones naturales se encuentra en equilibrio dinámico. Este equilibrio puede romperse por acción natural o antrópica, siendo esta última la que va a influir más negativamente produciendo así una contaminación. El suelo tiene capacidad de autodepuración lo que le permite asimilar una cierta cantidad de contaminantes. Esta contaminación puede producirse de forma natural (un incendio, erupción volcánica...) o antrópica donde cabe destacar la contaminación industrial. La concentración de metales pesados en el suelo debería provenir únicamente de la composición de la roca, sin embargo por acción humana se produce un continuo vertido de metales pesados al medio ambiente cuyos efectos pueden repercutir gravemente en la salud de las personas. Un ejemplo de metal pesado es el plomo, que se encuentra disperso en el medio ambiente y tiene la capacidad de bioacumularse en animales y plantas. Para las personas la principal vía de exposición es la alimentaria, ya que diariamente ingerimos de 0,3 a 0,5 mg de plomo sin estar directamente expuestos a él. Sus efectos tóxicos en el organismo afectan al SNC, a la síntesis del grupo HEMO y pueden provocar saturnismo entre otras dolencias. Se elimina principalmente por orina y solo en casos insuficiencia renal o cuando la concentración es excesiva puede llegar a acumularse en el organismo.

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES

El suelo es la capa superficial de la corteza terrestre de naturaleza orgánica e inorgánica en equilibrio dinámico con la atmosfera, biosfera y litosfera. Actúa como aceptor y proveedor de agua y nutrientes para las raíces, como espacio vital para una gran comunidad de organismos y animales, como depurador del medio natural y como fuente de materiales para la construcción. Así mismo, el suelo es un componente básico del ecosistema, un recurso natural no renovable con un lento proceso de formación llamado edafogénesis. ^[1]

El funcionamiento del sistema edáfico está relacionado con el dinamismo de la corteza terrestre, derivado de los procesos biogeoquímicos que en ella tienen lugar. Los suelos son muy heterogéneos en la composición y en las funciones provocando una variabilidad enorme entre uno y otro, no pudiéndose establecer estándares que definan un suelo ideal.

Están formados por material inorgánico (arena, partículas arcillosas), materia orgánica (proveniente de vegetación y organismos vivos) que mejora la estructura del suelo y frena procesos de erosión.

La **calidad** del suelo es la capacidad que tiene el suelo para mantener su productividad biológica, calidad ambiental, promoviendo además la salud de animales, plantas y el propio ser humano y dependerá del uso que se le vaya a dar a dicho suelo (agrícola, forestal, urbano, industrial).^[2] No hay constituyentes fijos que marquen una composición ideal, dependerá del uso y lugar que ocupa en el ecosistema. En la agricultura el uso abusivo o indebido puede perjudicar enormemente la calidad, al igual que la contaminación por compuestos no deseables.^[3]

En condiciones naturales, el suelo presenta un estado de *equilibrio* que puede estar perturbado por acciones entre las que indudablemente merece la pena destacar las **antrópicas**. Las industrias, el tráfico, las calefacciones... constituyen los emisores antrópicas más importantes de elementos contaminantes tanto para la atmosfera como para el suelo. La concentración y el tipo de contaminante variarán según las características de la industria, alquitranes usados, construcciones, abonos y fitosanitarios empleados siendo más peligrosos cuanto mayor es su persistencia y biodisponibilidad.

CONTAMINACIÓN

Un suelo contaminado es considerado aquel cuyas características físicas, químicas y biológicas han sido alteradas negativamente en concentraciones que ha superado su capacidad de amortiguación del suelo y como consecuencia, pasa de actuar como un sistema protector a ser la causa de problemas.^[4]

El medio edáfico posee una capacidad de autodepuración principalmente en sus horizontes más superficiales, que le permite asimilar una cierta cantidad de contaminantes. Esta capacidad autodepuradora del suelo se basa en:

- Una *actividad biológica* que hace posible la descomposición parcial o total de la materia orgánica
- Una *actividad química* que desencadena una serie de reacciones químicas de hidrólisis, oxidación-reducción, precipitación...
- Una *capacidad de filtración* que retiene contaminantes por procesos de adsorción e intercambio iónico.

Sin embargo lo anteriormente expuesto es factible para contaminantes orgánicos y además eso no implica que los suelos sean capaces de depurar todo tipo de contaminantes y en cualquier concentración.

Los suelos pueden convertirse en vertederos camuflados, por ello interesa tener bien claro el concepto de peligrosidad de los diversos contaminantes que en el existen para ser conscientes de hasta donde se puede llegar en términos de sostenibilidad.

Causas de la contaminación

Las sustancias que llegan al suelo tienen diversos orígenes, por consecuencia de actividades naturales y humanas. Estas sustancias pueden contaminar la capa superior o el interior del suelo. Los contaminantes depositados en superficie proceden de deposiciones naturales, vertidos antrópicos, lluvia... pudiendo volatilizarse, biodegradarse o infiltrarse (atravesando el sustrato sin reaccionar con los constituyentes del suelo). En el interior del suelo las relaciones entre el tamaño, composición de agregados, grado de humectación o características del fluido condicionan procesos de transporte, disolución, transformación... pudiendo producir la retención de sustancias o su movilización a través de sus lixiviados a las capas freáticas. [5]

Hay tres procesos que pueden darse en el suelo ante la llegada del nuevo elemento:

1. Transporte

El transporte de los contaminantes en el suelo depende del movimiento del agua en su interior. Los contaminantes se encuentran en diferentes fases, por lo que su desplazamiento está condicionado por la movilidad y la interacción entre ellas. Hay dos procesos que tienen lugar en el interior del suelo: dispersión y difusión.

La **dispersión** produce variaciones del flujo del agua en el suelo. Esta dispersión ocurre por la concentración inicial del contaminante y por los cambios en la velocidad de la solución al atravesar distintos poros. La dispersión aumenta con la velocidad del flujo del agua, con el tiempo y con la profundidad del suelo.

La **difusión molecular** es un mecanismo de transporte donde el flujo de agua es pequeño y es la responsable del movimiento transversal del soluto en áreas con distintos gradientes de concentración.

Volatilización es un mecanismo que debemos considerar al tratar el transporte de contaminantes donde los elementos pasan de la superficie a la atmosfera *Ley de Henry*. [6]

2. Retención

La retención tiene una relación directa con la biodisponibilidad y la degradación de los elementos tóxicos. [5] El tipo de carga influye en la retención de contaminantes, estas se producen como consecuencia de la diferencia de valencia entre los elementos sustituyentes y sustituidos, generando un exceso de electrones libres en la superficie del cristal y manifestándose como una determinada densidad de carga, que es característica de cada mineral. Los minerales de la arcilla y la materia orgánica son los constituyentes más activos al presentar cargas que permiten la unión con diferentes compuestos químicos.

Son diversos los mecanismos que tienen lugar en el interior del suelo para la retención de compuestos químicos, aunque los más importantes son la adsorción y el intercambio iónico.

La **adsorción** es la asociación de sustancias (moléculas, átomos o iones) a la superficie de los receptores. La sustancia se adsorbe se llama adsorbato y la fase adsorbente se llama adsorbente. Los mecanismos que producen esta asociación son las fuerzas de van del Waals y las fuerzas de enlace puente de hidrogeno o iónico.

El **intercambio iónico** es el mecanismo de retención de elementos contaminantes donde el ion de un mineral es reemplazado por otro que este en la solución del suelo.

La **precipitación química** es otro de los mecanismos que interviene en la retención. Esta adquiere importancia en suelos muy contaminados, donde la concentración del elemento supera su producto de solubilidad, originando un compuesto cristalino.

3. Transformación

En el suelo hay transformaciones que provocan una evolución hacia formas más complejas de organización. La mineralización, meteorización, humificación, cementación son algunos de los procesos que modifican las características del medio.

Mineralización es una transformación completa de elementos orgánicos en formas inorgánicas como resultado de la actividad de los microorganismos, teniendo en cuenta los parámetros de la modificación del medio como la temperatura, humedad, aireación, pH o conductividad.

El proceso de **humificación** implica cambios en la complejidad química de la materia orgánica que hace aumentar la resistencia a la biodegradación. En la humificación pueden tener lugar *reacciones químicas* (oxidación, condensación y polimerización), *procesos biológicos* y de *síntesis microbiana* con formación de compuestos constituyentes típicos

del suelo. Hay que realizar un análisis de los elementos obtenidos como producto final de la transformación biológica, porque no siempre el compuesto transformado es menos tóxico que el contaminante original. [7]

Se pueden realizar estudios de transformación en el laboratorio que estarán condicionadas por las características que ponemos en la incubación de la muestra y no representará las condiciones naturales. También se puede realizar el estudio en el campo, pero las condiciones experimentales no son reproducibles debido a la gran variabilidad. Por ello es necesario el uso de ambas técnicas para conseguir datos y realizar previsiones válidas

Origen de la contaminación

La contaminación del suelo genera una serie de impactos en el hombre y en los ecosistemas. Dependiendo de los tipos de contaminantes y de sus orígenes tendrá unas consecuencias a corto o a largo plazo.

La contaminación del suelo en función de su origen puede ser:

- **Natural:** erupción volcánica, incendios naturales, deposiciones, productos de reacciones químicas...
- **Antropogénicas:** derivadas de actuaciones del hombre en cualquiera de sus actividades (agrícola, industrial, urbana...). Hay contaminantes inorgánicos u orgánicos y su toxicidad puede ser primaria (procede de la fuente original) o secundaria (si es producto de alguna transformación en el interior del suelo).

Tipo de compuestos	Procedencia	Capacidad de dispersión	Efectos tóxicos
Metales pesados, cianuros, ácidos, hidrocarburos	Industrias manufactureras, granjas fumigación, minería	Generalmente baja a moderada	Enfermedades del sistema nervioso, cáncer
Hidrocarburos, ácidos, álcalis	Estaciones de servicio refineras	De baja a moderada	Cáncer
Sales, residuos plásticos, álcalis, residuos biológicos	Vertederos urbanos	De moderada a alta	Daños del sistema nervioso. Cáncer

Hidrocarburos, plásticos, metales, cianuros, aminas	Industrias automovilísticas	De moderada a alta	Daños en el sistema nervioso, cáncer
Hidrocarburos aromáticos, fenoles	Industrias metalúrgicas	De baja a moderada	Cáncer
Hidrocarburos simples, aromáticos, semiconductores	Transformadores eléctricos	Baja a moderada	cáncer
Dioxinas, metales pesados	Combustión de gasolinas	Baja	Formación de tumores

Tabla 1: Clasificación de contaminantes en función de sus características. ^[8]

La presencia en suelos de potenciales contaminantes como algunos iones metálicos, no es necesariamente perjudicial ya que son micronutrientes necesarios para el crecimiento de las plantas. En estos casos habrá que analizar el límite de concentración a partir del cual es peligroso para la salud.

Los metales pesados suelen llegar procedentes de actividades industriales, por pesticidas o tráfico rodado. Los más vertidos son Mn, ZN, Cu, Pb, Ni, Mo... y su grado de contaminación dependerá del estado en el que estén y las condiciones del medio. El pH del suelo controla el comportamiento de los metales:

- Los cationes son más móviles cuando el pH de la solución del medio es ácido pudiendo pasar a las cadenas tróficas, bien como tóxicos o en cantidades que producen deficiencia
- A pH básicos producen el efecto inverso, quedándose inmovilizados en el medio.

El cambio iónico es otro factor determinante en la dinámica de los metales, en el intervienen factores como la naturaleza del cambiador y la del ion, la concentración etc.

También hay contaminación por compuestos orgánicos de origen antropogénico que presentan alta variabilidad y compleja composición haciendo que adquieran relevancia en la conservación del medio natural. Vertidos de hidrocarburos, derivados del petróleo y el uso de fitosanitarios para la lucha contra plagas favorecen la llegada al suelo de compuestos orgánicos muy diversos.

Los fertilizantes son otro de los de los elementos contaminantes y el problema deriva de su aplicación abusiva para aumentar el rendimiento de las cosechas. En su

composición presentan nitrógeno, fósforo, potasio (NPK) y diferentes compuestos orgánicos. La solubilidad de los nitratos posibilita la lixiviación del anión, haciendo que llegue una elevada concentración de nitrógeno a las capas freáticas o a las aguas superficiales provocando la eutrofización del medio. [9]

Tipos de contaminación

1. Contaminantes de origen agrario

Actualmente hay una disminución de la superficie del suelo cultivable a causa del crecimiento demográfico siendo necesario intensificar los cultivos a base de abonos químicos y pesticidas llegando a contaminar los suelos.

Los efectos que producen estos contaminantes orgánicos en el suelo influyen en la degradación del medio. Las transformaciones necesarias para producir la degradación biológica de un determinado compuesto pueden implicar cambios como oxidaciones, reducciones, pérdidas de grupos funcionales...

La eliminación completa de un contaminante orgánico mediante una biodegradación se llama mineralización. Si esta mineralización es aerobia, llegamos a una formación de biomasa adicional, CO₂ y agua, mientras que si es anaerobia, se obtendría lo que se conoce como biogás (metano, incluso ácidos orgánicos u otros compuestos).

Tipos de contaminantes de origen agrario

- **Fertilizantes:** Se añaden al suelo para aumentar el rendimiento de los cultivos. En cada recolección se extraen elementos nutritivos (N, P, K, S, Ca, Mg) que hay que devolver al suelo en forma de nitratos, fosfatos, sales... en cantidades equivalentes a las extraídas. Sin embargo, cada vez se añaden en mayor proporción y ha cesado la devolución a la tierra del humus que garantiza su fertilidad, deteriorándose así la estructura edáfica al no crear el complejo adsorbente arcillo-húmico.

- **Nitratos y fosfatos:** Su aporte excesivo produce eutrofización de ríos y lagos. Los nitratos contaminan alimentos a través de suelos, durante su conservación, acondicionamiento, etc. Los nitratos pueden ser transformados en nitritos, siendo estos los responsables de la metahemoglobina.

- **Pesticidas:** Son distribuidos de manera voluntaria sobre el medio natural. Se usan para proteger a animales de ciertos parásitos o para destruir plagas de cultivos, pero los pesticidas afectan al conjunto del ecosistema.

Tanto herbicidas como plaguicidas son contaminantes de los suelos por si mismos o como resultado de transformaciones químicas o biológicas. Dependiendo de la concentración, tiempo de exposición y tipo de contaminante, los efectos varían apareciendo con el tiempo por tener biotransformaciones lentas y provocar efectos acumulativos en los organismos.

2. Contaminantes de origen industrial

La concentración de metales pesados en los suelos debería tener un origen únicamente en función de la composición litológica y de los procesos edafogenéticos que dan lugar al suelo, determinando así la cantidad de metales de manera natural. Sin embargo con la actividad humana se ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo, siendo esta la causa de las concentraciones toxicas detectadas. [5]

En el suelo la concentración de metales varía considerablemente, pudiendo encontrarse como iones libres, adsorbidos, formado complejos organominerales o precipitados. Entre las diferentes formas donde se queda un metal pesado en el suelo existe un equilibrio dinámico sobre el que influirán las condiciones del medio, el tipo de planta y los microorganismos que subsistan en él.

La acumulación de los metales pesados en el suelo se reduce ligeramente por la lixiviación, absorción por las plantas, erosión, etc, pero sin duda, el suelo puede convertirse en un almacén de estos contaminantes durante cientos de miles de años, puesto que contendrá aquellos metales que no hayan sido capaces de salir del sistema. Las actividades que incrementan las cantidades de estos metales pesados son:

- *Actividades de minería y fundición:* El proceso de minería implica una serie de operaciones que pueden producir contaminación, como el polvo originado en estas actividades o en capas superiores de suelos minerales donde hay altas concentraciones de Cu, Ni, Se, Fe...
- *Generación de electricidad:* La combustión de carbón genera deposición de metales en suelos y la de petróleo puede ser fuente de plomo, níquel y vanadio.
- *Las fábricas* de hierro y acero emiten metales como el níquel, las de baterías emiten cantidades considerables de plomo. Los metales asociados con áreas altamente industrializadas, incluyen Cd, Cr, Fe, Pb, Zn y Hg.
- *Residuos domésticos.* El 10% de la basura está compuesta de metales. Para deshacerse del volumen de basuras hay varias alternativas:

- Basureros donde la fermentación anaerobia produce compuestos sulfurosos y amoniacales pudiendo contaminar los suelos.
- Enterramiento pudiendo contaminar las aguas subterráneas
- Incineración contaminando la atmosfera al liberar algunos metales volátiles.
- Conversión de la fracción orgánica en compost para su uso como enmendades orgánicas es también una posible vía de introducción de metal pesado en el suelo.

Tipos de metales pesados

Plomo ^[5]: Es un contaminante de la atmosfera, hidrosfera y la edafoesfera. A los suelos llega a partir de residuos industriales, de la minería, de la deposición atmosférica y a partir de la roca madre, si presenta este compuesto. El suelo puede inmovilizarlo gracias a la materia orgánica y la arcilla, pero si hay pH ácido el Pb es móvil y será tomado por las plantas.

El Pb entra en el cuerpo humano por ingestión directa, por inhalación de polvo o por la cadena alimentaria. En el organismo se acumula principalmente en el tejido óseo, pero también en el hígado, medula renal y eritrocitos. Su principal vía de eliminación es la orina, aunque también lo hará por las heces, sudor, leche materna. La intoxicación por este metal afecta al sistema hematopoyético produciendo anemia, al SNC produciendo encefalopatías y en casos extremos puede producir la muerte.

Cadmio ^[5]: Los procesos naturales de liberación de Cd como fuente de contaminación son insignificantes en comparación con el procedente de la actividad humana. La contaminación del suelo proviene de pigmentos, pinturas, baterías, PVC, aleaciones y fertilizantes químicos fosfatados.

El cadmio se acumula en los horizontes superficiales de los suelos pero puede emigrar hasta la capa freática. Su vida media es de 15 a 1.100 años suponiendo un problema a largo plazo. A bajo pH aumenta la asimilación de Cd por las plantas.

Se ingieren grandes cantidades de Cd a través de alimentos, presentando entre el 3-8% de absorción en los seres humanos. Se distribuye por todo el organismo, aunque se acumula en mayor concentración en el hígado, riñón y páncreas. Sus manifestaciones son trastornos en el tracto gastrointestinal (náuseas, vómitos...) y no es capaz de atravesar la barrera placentaria eliminándose por orina y produciendo daño renal.

En 1912 en una región de Japón apareció la enfermedad "ITAI ITAY" donde se produjo una liberación de Cd al río Jinzu por las empresas mineras de la zona. Esto provocó una intoxicación por cadmio a los campesinos de la zona, ya que usaban este río

para el riego de campos de arroz y suministro de agua potable. El principal síntoma de la intoxicación es osteomalacia e insuficiencia renal, pero también anemia y dolor espinal siendo más susceptibles las mujeres postmenopáusicas y mujeres embarazadas. (Indaga ciencias: Historias de algunos elementos de la tabla periódica).

Selenio ^[5]: Se encuentra en pequeñas cantidades en algunos minerales de la corteza terrestre. Se usa como pigmento en manufacturas de vidrio y cerámica, en celdas fotoeléctricas y como ingrediente en el baño de viraje en fotografía...

Ciertas plantas lo acumulan concentrándose hasta un 1,5% en sus tejidos, y considerándolas plantas indicadoras de suelos. La biodisponibilidad del Se en el suelo depende de otros iones, como el Fe y la materia orgánica que restringe su absorción. En suelos alcalinos es soluble y asimilable aumentando su disposición para las plantas.

Todo el Se presente en el cuerpo humano depende de la dieta que tengamos ya que el Se proviene de los alimentos. Hay enfermedades ligadas a su exceso y a su deficiencia produciendo cardiomiopatía.

Arsénico ^[5]: Se utiliza para la fabricación de vidrio, como pigmento, insecticidas etc. La cantidad de As en el suelo dependerá del pH y actividad biológica, estando su disponibilidad para las plantas restringida por la presencia de hierro, arcilla y materia orgánica. La ingesta de este elemento se debe sobre todo por consumir agua contaminada y los síntomas son cánceres de piel, hiperpigmentación, desordenes vasculares...

Aluminio ^[5]: Proviene de la alteración de silicatos que tienen dicho elemento. A pH menores de 5.5 es soluble en el suelo y por ello en procesos de acidificación a casusa de la lluvia acida, el Al aumenta en los cursos de agua llegando al ser humano y pudiendo provocar desórdenes neurológicos e incluso Alzheimer.

Cromo ^[5]: No está de forma libre en la naturaleza, las principales fuentes antropogénicas son la fabricación de colorantes y pigmentos, minería, en la aplicación de fangos y aguas residuales. El Cr es un elemento esencial para el hombre, su carencia puede producir perturbaciones en la salud, pero si hay ingestión crónica puede producirse una intoxicación, con efectos tales como irritación gastrointestinal, ulcera gástrica...

Cobre ^[5]: En el suelo el contenido de Cu dependerá de la roca madre. Su biodisponibilidad varía según los valores de pH, de materia orgánica y arcilla. El cobre forma metaloproteinas, participa en el desarrollo de los huesos y en el metabolismo de lípidos. Su deficiencia es seria con riesgo de anemia hipocupremica, neutropenia...

Metales radiactivos ^[5]: Los suelos tienen alto poder de retención de estos elementos. El problema es cuando los suelos presentan un complejo arcillo-húmico evolucionado capaz de retener cantidades importantes de elementos radiactivos que pueden provocar efectos muta génicos y cancerígenos en el ser humano.

OBJETIVO

La contaminación de metales pesados es un problema actual y cada vez presenta mayor impacto sobre la salud y el medio ambiente. Por este motivo el trabajo tratará de forma más profunda sobre la contaminación producida por el plomo y su efecto sobre diferentes ámbitos.

METODOLOGÍA

Para la realización de este trabajo bibliográfico he usado artículos recopilados en libros, revistas e información obtenida de internet. Todos los documentos revisados y utilizados, estaban relacionados con el suelo y la alteración de su composición por culpa de elementos externos que producen una contaminación.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El plomo es un metal pesado no esencial con capacidad de bioacumularse por lo que su concentración en plantas y animales se magnifica a lo largo de la cadena alimentaria. ^[10]

El uso y la polución ambiental de plomo han aumentado enormemente en los últimos 50 años. En la Revolución Industrial la intoxicación por plomo se convirtió en un problema de la Medicina Ocupacional, siendo el mayor número de intoxicados operarios de industrias que manipulaban plomo, pero también muchos pintores sufrieron intoxicaciones por el repetido contacto con pinturas a base de este metal. ^[11] Aun hoy siguen existiendo numerosas viviendas de esa época que ocasionan serios y fatales niveles de plomo en niños. ^[18-19]

Hoy en día, sin embargo, preocupa principalmente la exposición alimentaria a este metal. Las fuentes de exposición al plomo y sus derivados se encuentran en todas partes del medio ambiente, como por ejemplo, en el aire, en las plantas, en animales de uso alimentario, en el suelo (siendo en suelos cercanos a zonas industriales o grandes ciudades la cantidad de plomo muy superior a zonas rurales), en el agua de la bebida, en ríos, océanos, etc. ^[12-13]

Es el uso de plomo como aditivo antidetonante en las gasolinas ha sido lo que más ha contribuido a la acumulación de este metal en el medio ambiente, ya que supone un 76% de las emisiones de este metal a la atmósfera, pero su uso se prohibió en nuestro país con el *Real Decreto 403/2000* de 24 de marzo, se prohíbe la comercialización de gasolinas con plomo a partir del 1 de enero de 2002 ayudando así a disminuir el plomo ambiental. ^[10-11] A pesar de ello sigue teniendo numerosas aplicaciones en la industria (fabricación de pigmentos, recubrimientos, recipientes, ungüentos, pilas eléctricas e incluso algunos licores) ^[14-16], y en metalurgia (munición de armas, metal para cojinetes, cobertura de cables, compuestos de calafateo, plomo laminado, soldaduras, pigmentos, vidriado de cerámica y ciertos tipos de cristal). El límite de exposición laboral ha sido establecido en 0,15 mg (Pb)/m³. ^[17]

La dieta es una fuente importante de exposición de plomo. Un adulto sano no expuesto al plomo ingiere diariamente de 0,3 a 0,5 mg de este metal, el 80% del mismo es eliminado por el riñón. Si la ingesta es superior a 0,6 mg/día el plomo se acumula y puede provocar una intoxicación. ^[20] El contenido de plomo en productos alimenticios no parece ser una causa de alarma, pero hay que seguir disminuyendo su contenido. (*Reglamento (CE) 466/2001 de la Comisión*).

Otras fuentes de ingesta de plomo importantes son las provenientes de las cerámicas con vidriados a base de sales de plomo para el envase de alimentos artesanales, los escabeches preparados en cacerolas de barro, envases de hojalata, soldadura blanda (aleación de plomo y estaño con hasta un 50-60% o más de plomo). La FDA calculó en 1979 que aproximadamente el 20% del Pb presente en la dieta de las personas procedía de los alimentos envasados. Por eso son tan interesantes los envases metálicos ya que evitan las soldaduras laterales de los botes. La EPA estima que las conservas aportan actualmente el 15% del plomo vehiculizado por los alimentos que recibe el consumidor. ^[21-22] Por otra parte se ha demostrado la presencia de plomo en las cápsulas que recubren los tapones de las botellas de vino para evitar su avinagrado. ^[23] Finalmente señalar que el Comité Mixto FAO/OMS ha establecido para el plomo una PTWI (Provisional Tolerable Weekly Intake) de 25 µg/Kg/semana.

Toxicocinética

El plomo puede penetrar en el organismo por tres vías: respiratoria, digestiva y cutánea, siendo ésta última de escasa entidad. ^[12] El Pb atraviesa la piel, los folículos pilosos y glándulas sebáceas pasando al torrente circulatorio. En la especie humana la absorción de plomo por vía inhalatoria es mínima en comparación con la vía digestiva.

[24] Pero por vía respiratoria se llega a absorber el 40 % del plomo, donde parte de Pb se fija en la saliva y se traga, considerando así la vía respiratoria como la más peligrosa.

Respecto a la absorción digestiva, mientras los adultos absorben el 10%, los niños absorben hasta el 50% del Pb ingerido. [25-26] Tras ser absorbido, el plomo en el organismo sigue un modelo tricompartmental:

- El sanguíneo (el 2% del contenido total, cuya vida media es de 36 ± 5 días).
- El óseo (representa el 90% del contenido total con una vida media entre 10 y 28 años)
- El de los tejidos blandos (cuya vida media es algo más prolongada)

El plomo circula en un 95-99% transportado por los hematíes, unido a la Hb y otros compuestos. Se distribuye desigualmente, el 10% del plomo es almacenado en los tejidos blandos y el 90% restante lo contiene el tejido óseo. [27-29] Si hay gran concentración de Pb en la sangre se favorece su acumulación en huesos, y se puede observar radiológicamente en casos avanzados de saturnismo, que las metafisis de los huesos largos han aumentado de espesor y de densidad, apareciendo unas bandas radiopacas en los huesos de los antebrazos, rodillas, piernas y en el borde del omoplato de personas que no han finalizado su crecimiento.

Cualquier vía de ingestión de plomo tiene su punto final en el hígado que lo metaboliza y elimina una parte por la bilis. Se excreta fundamentalmente por orina (80%) pero cuando existe una insuficiencia hepática o la concentración del metal es excesiva se elimina por el sudor, la saliva y el páncreas. En el caso de baja exposición al plomo, existe un equilibrio entre el aporte del tóxico y la eliminación. Pero, pasado un cierto nivel, comienza a acumularse. Este nivel depende no sólo del grado de exposición, sino también de la edad y de la integridad de órganos como el hígado y el riñón. [30-31] La semivida del plomo circulante es de unos 25 días, la del plomo de los tejidos blandos de unos 40 días y la del plomo depositado en los huesos puede ser de hasta 30 años. Por ello, el plomo en hueso puede ser utilizado para describir, en el tiempo, el contenido corporal del mismo. [32]

Toxicodinamia

El Pb interacciona con metales pesados esenciales como Ca, Fe, Zn y Cu compitiendo con ellos o modificando sus concentraciones celulares. Además, inhibe la ATPasa Na/K, la síntesis del grupo hemo y la hemoglobina por inhibición específica de la ALAD (δ -aminolevulínico-deshidrasa), coprofibrinógeno-oxidasa y ferroquelatasa

Prácticamente todos los efectos tóxicos tienen lugar a nivel del SNC y no suelen presentarse efectos hematológicos de importancia. [33] La intoxicación por plomo puede ser aguda o crónica y las principales manifestaciones clínicas son:

- **Aguda:** dolor cólico, anemia hemolítica, elevación de enzimas hepáticas, encefalopatía aguda y neuropatía. [19]
- **Crónica:** Se producen alteraciones orales como el Ribete de Burton, manifestaciones gastrointestinales, alteraciones hematológicas (anemia microcítica-hipocrómica) [34], parálisis motoras, encefalopatía, alteraciones renales y cólicos saturninos.

Los principales efectos tóxicos del Pb originan daños sobre el tracto gastrointestinal “Cólico Saturnino”, nefropatías y daños en el SNC y periférico, así como interferencias con sistemas enzimáticos implicados en la síntesis del grupo HEMO [35] (Tabla 2). El plomo afecta al sistema reproductor humano y la exposición al plomo es especialmente peligrosa para el neonato, ya que la exposición a este metal de una mujer embarazada puede dar lugar a un parto prematuro, a niños con bajo peso al nacer, e incluso a abortos. A nivel del SNC los niños parece que son más sensibles a la encefalopatía saturnina. Sufren disminución del cociente intelectual, retrasos en el desarrollo y problemas de audición. Otros efectos tóxicos del plomo son hipertensión y enfermedades cardiovasculares en adultos.

Gastrointestinales	anorexia, dispepsia, estreñimiento, sabor metálico en la boca, dolor abdominal
Hematopoyéticos	anemia, punteado basófilo
Neurológicos	encefalopatía, muñeca caída o pie caído
Renales	albuminuria, hematuria, cilindros en la orina.
Cavidad oral	ribete de Burton, estomatitis ulcerosa
Endocrinos y del sistema reproductor	anormalidades del ciclo ovárico, infertilidad, aborto espontáneo, alteraciones en los espermogramas
Fetales	macrocefalia, poco peso, alteraciones del sistema nervioso, tasa de mortalidad aumentada durante el primer año

Tabla 2. Signos y síntomas de la intoxicación crónica por plomo.

Saturnismo [36-37]

Enfermedad que aparece cuando hay una acumulación de plomo en el cuerpo. Esta acumulación puede ser durante meses o años y es especialmente venenoso en niños de corta edad, aunque cualquier persona es susceptible.

El plomo es venenoso e interfiere con algunas de las funciones básicas del organismo. Este metal en pequeñas cantidades perjudica la salud dificultando el aprendizaje, dando problemas de conducta, disminuir el cociente intelectual... mientras

que en grandes cantidades provoca convulsiones, pérdida de conciencia o incluso la muerte.

El saturnismo no es fácil de detectar, ya que a veces no hay síntomas o los que hay se parecen a otras enfermedades. En niños algunos indicios son cansancio, irritabilidad, pérdida de peso, atención disminuida o dificultad para conciliar el sueño entre otros. En mujeres embarazadas puede suponer un riesgo para la salud la intoxicación por el plomo produciendo daños cerebrales o la muerte del feto. En adultos puede producir anomalías como esterilidad, tensión arterial alta, dificultades digestivas, trastornos nerviosos, dolor muscular y de las articulaciones.

El diagnóstico de esta patología es difícil, únicamente se detecta con un análisis que determine la concentración de plomo en la sangre y se puede realizar a cualquier persona presente o no síntomas de intoxicación.

Para el tratamiento del saturnismo la primera medida que hay que tomar es evitar cualquier contacto con el metal, es decir será necesario eliminar cualquier vestigio de plomo al que podamos estar expuestos. También hacer modificaciones dietéticas para evitar la ingesta de plomo. Los niños deben hacer al menos tres comidas al día ya que con el estómago lleno absorben menos cantidad de plomo, tomar alimentos ricos en hierro y calcio ya que el organismo confunde estos minerales con el plomo, y de ahí que se absorba y se deposite en los tejidos orgánicos una mayor cantidad de plomo.

Si al hacer el análisis la concentración de plomo es elevada, ser recetará un quelante (agente químico que se une al plomo presente en el organismo) que ayudara a eliminar el plomo con la orina. Algunas medidas preventivas para prevenir la intoxicación por plomo son:

- Lavarse las manos con frecuencia
- Impedir que niños muerdan superficies o juguetes si están pintadas
- Procurar que niños jueguen en el césped y no en suelos de tierra.
- Lavar a menudo biberones, chupetes...
- Seguir régimen escaso en grasas y rico en hierro y calcio.

Plomo en alimentos

Es fácil la contaminación de determinados alimentos con plomo. Puede ocurrir por vía ambiental donde cerca de zonas agrícolas se encuentran industrias o tráfico

rodado muy intenso o por la fácil solubilizarían del plomo en ácidos débiles inorgánicos y orgánicos. [38-39]

La legislación alimentaria sobre plomo se ha ido actualizando, siendo actualmente la unión europea la encargada de fijar las concentraciones máximas de plomo en los alimentos [40] pero en febrero de 2002 se modificó el reglamento anterior (466/2001) [41] ampliando las especies de carne y pescado donde se autorizaba un contenido máximo de 0.4mg/kg de peso fresco. (Tabla 3)

Alimentos	[] mg/Kg
Leche de vaca	0.02
Carnes de animales bovinos, ovinos, cerdos y aves de corral	0.1
Despojos comestibles de vacas, ovejas, cerdos y aves de corral	0.5
Carne de pescado	0.2
Carne de anguila, jurel, lisa, mojarra, sardina...	0.4
Moluscos bivalvos	0.5
Cefalópodos	1
Hortalizas del genero brassica, de hoja y setas cultivadas	0.3
Otras hortalizas	0.1
Bayas y frutas pequeñas	0.2
Zumos de frutas	0.05
Cereales, verduras y legumbres secas	0.2

Tabla 3. Concentraciones máximas admisibles en diferentes grupos de alimentos. Reglamentos 466/2001 y 221/2002 de la Comisión.

En lo referente al agua de consumo humano, el contenido de plomo está regulado y se establece el límite máximo en 10 µg/L. [42]

La cesión de plomo por parte de las tuberías de las redes de distribución de agua urbana ocupa también un papel importante estando actualmente prohibido el empleo de este tipo de cañerías.

CONCLUSIONES

A la vista de todo lo expuesto en este trabajo podemos indicar las siguientes conclusiones:

- La problemática de la contaminación del suelo merece toda nuestra atención, en particular aquella producida por metales pesados

- La generalización de criterios en base a los efectos de una contaminación metálica es difícil, ya que dichos efectos no se producen de igual manera con suelos de condiciones diferentes (en particular, con diferente pH), o con diferentes metales

- La peligrosidad de los metales como contaminantes de suelos hay que buscarla en su “biodisponibilidad”. Si dicha biodisponibilidad es elevada, la contaminación metálica puede incluso a llegar a la cadena trófica e incidir sobre la salud humana.

- La contaminación de suelos por metales pesados no es un problema únicamente en el lugar donde eliminamos estos compuestos, si no que llegan a los alimentos y por tanto a nuestro organismo produciendo deficiencias e intoxicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Ibañez, J.J.; Jiménez, R. y García Álvarez, A. 1990: Sistemología y termodinámica en edafología I. Los suelos y el estado de equilibrio termodinámico.
2. Doran, J.W. and T.B. Parkin. 1994. Defining and assessing soil quality. In: Defining Soil Quality for sustainable Environment. J.W. Doran, D.C Coleman, D.F Beezdecke y B.A Stewart editores. SSSA Madison.
3. Albadalejo, J. and E. Díaz, 1990. Degradación y regeneración del suelo en el mediterráneo español: Experiencias en el proyecto Lucdeme.
4. Macías García, J. 1993. Formulación y nomenclatura en química inorgánica.
5. Jiménez Gómez, S y Doadrio Villarejo, A.L Contaminación y salud, monografía XXII
6. Stumm, W and Morgan, J.J. (1996): Aquatic chemistry. Chemical equilibria and rates in natural waters.
7. Tate, R. L. (1987): Soil organic matter. Biological and ecological effects.
8. Ley 10/1998, de 21 de abril. Ley básica de residuos Tóxicos. BOE de 22 de abril de 1998.
9. Ryan, J. R; Loehr, R. C and Rucker, E. (1991): Biorremediación of organic contaminated soils. Journal of Hazardous Materials.
10. Halliwell D, Turoczy N, Stagnitti F (2000). Lead concentrations in Eucalyptus sp. In a small coastal town. Bull Environ Contam Toxicol 65: 583-590.
11. Baran EJ (1994). Química Bioinorgánica. Mc Graw-Hill. Madrid.
12. ARTSDR (Agency for Toxic Substances and Disease Registry) (1993). Toxicological profile for lead. U.S. Department of Health and Human Services. Atlanta.
13. Llobet JM, Granero S, Schuhmacher M, Corbella J, Domingo JL (1998). Biological monitoring of environmental pollution and human exposure to metals in Tarragona, Spain. IV. Estimation of the dietary intake. Trace Elem Electroly. 15 (3). 136- 141.
14. Viarengo A (1985). Biochemical effects of trace metals. Marine Pollution Bulletin.

15. García Ariño C (1996). Síntesis diagnóstica de las enfermedades profesionales producidas por metales, productos químicos y agentes vivos. MAPFRE. Madrid.
16. Pérez-Olleros L, Martín-Casero M, Varela G, Ruiz-Roso B (2002). Posibles efectos preventivos del consumo de vino tinto sobre la exposición a plomo ingerido en la dieta. Libro de resúmenes del V Congreso de la Sociedad Española de Nutrición Comunitaria y III Congreso Iberoamericano de Nutrición y Salud Pública. Madrid, 26-29 de Septiembre de 2002: 286.
17. Soria ML, Repetto G, Repetto M (1995). Revisión general de la toxicología de los metales. En: M. Repetto, ed. Toxicología Avanzada. Díaz de Santos, Madrid, pp 293-358.
18. Concon JM (1988). Inorganic and organometallic contaminants in foodstuffs. Food Toxicology. Part B: Contaminants and Additives, Marcel Dekkers, pp 1033-1132.
19. Gottlieb S (1998). Sustained fall in UK blood lead levels reported. Brit Med J 317: 99.
20. Rubio C, Frías I, Hardisson A (1999). Toxicología del plomo y su presencia en los alimentos. Alimentaria 305: 77-85.
21. Brito G, Díaz G, Galindo LR, Hardisson A, Santiago Laguna D, García-Montelongo F (1990). Concentration Levels of Cd, Pb, Cu, Zn, Fe, Ni and Mn in canned meat products. Intermetallic correlations. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 44: 309-316.
22. González-Soto E, González-Rodríguez V, López-Suárez C, Castro-Romero JM, Pérez-Iglesias J, Fernández-Solis JM (2000). Migration of lead and cadmium from ceramic materials used in food preparation. Bull Environ Contam Toxicol 65: 598- 603.
23. Pedersen GA, Mortensen GK, Larsen EH (1994). Beverages as a source of toxic trace element intake. Food Addit Contam 3: 351-363.
24. Goyer RA (1996). Toxic effects of metals. En: Klaassen CD (ed) Casarett and Doull's Toxicology. The Basic Science of Poisons. McGrawHill, New York.
25. Wittmers L, Aufderheide A (1988). Lead in bone. Distribution of lead in the human skeleton. Arch Environ Health 43: 381- 391.
26. Gerhardsson L, Englyst V, Lundström NG (1995). Lead in tissues of diseased lead smelter workers. J Trace Elem Med Bio 9: 136-143.
27. Aufderheide A, Wittmers L (1992). Selected aspects of the spatial distribution of lead in bone. Neurotoxicology 13: 809-820.
28. Sanín LH, González-Cossío T, Romieu I (1998). Acumulación de plomo en hueso y sus efectos en la salud. Salud Pública Mex 40: 359-368.
29. Berkowitz GS, Moline JM, Todd AC (1999). Methodological issues related to studies of lead mobilization during menopause. Salud Pública Mex 41: 88-92.

30. Liou S, Wu T, Chiang H (1996). Blood lead levels in taiwanese adults and influencing factors. *Sci Total Environ.* 180: 211-219.
31. González M, Banderas JA, Raya C (1997). Cuantificación de plomo, cadmio y cromo mediante sialoquímica. *Salud Pública Mex* 39: 179-186.
32. Drasch G, Wanghofer E, Roider G (1997). Are blood, urine, hair and muscle valid biomonitoring for the internal burden of men with heavy metals mercury, lead and cadmium... *Trace Elem Electroly* 14: 116-123.
33. Alday E, Bartual J, Berenguer MJ, Delgado P, Huici A, Márquez F, Martí A, Porcel J, Urbietta MJ (1988). *Toxicología laboral básica*. Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. Madrid.
34. Kurasaki M, Hartoto DI, Saito T, Suzuki-Kurasaki M, Iwakuma T (2000). Metals in water in the Central Kalimantan, Indonesia. *Bull Environ Contam Toxicol* 65: 591-597
35. Sierra A, Hardisson A (1991). La contaminación química de los alimentos. Aditivos alimentarios. En: Piédrola G, Domínguez M, Cortina P et al., eds. *Medicina Preventiva y Salud pública* 9ª ed. Salvat, Barcelona, pp 293-303.
36. C.D. Klassen; J.B. Watkins III (2005). *Casarett y Doull. Fundamentos de Toxicología*. McGraw-Hill Interamericana de España
37. Flórez, J.; Armijo, J.A.; Mediavilla, A. (2008). 5ª, ed. *Farmacología humana*. Elsevier España.
38. De la Torre Boronat MC (1993). Toxicología alimentaria. En: *Nutrición y Dietética. Aspectos Sanitarios (Tomo II)*. Consejo General de Colegios Oficiales de Farmacéuticos. Madrid, pp 1035-1039.
39. Glooschenko WA, Azcue JM (1993). Metales en los suelos. En: A Mas y JM Azcue, eds. *Metales en sistemas biológicos*. PPU. Barcelona, pp 207-225.
40. Orden 7 de junio de 1994 del Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación publicada en el BOE 146/ 1994 de 20 de junio de 1994.
41. Reglamento (CE) 466/2001 de la Comisión de 8 de marzo de 2001. Por el que se fija el contenido máximo de determinados contaminantes en productos alimenticios.
42. Directiva 98/83/CE del Consejo, de 3 de noviembre de 1998, relativa a la calidad de las aguas destinadas al consumo humano. DOCE del 5 del 12 de 1998; 32 – 54.