

I. Degradación de suelo por contaminación y su repercusión en la salud humana

JUAN HERNANDO COSTA y ANTONIO LÓPEZ LAFUENTE



Juan Hernando Costa es Doctor en Farmacia. Profesor Titular del Departamento de Edafología de la Facultad de Farmacia de la Universidad de Edafología y Académico Correspondiente de la Real Academia Nacional de Farmacia. Es especialista en temas de contaminación del suelo. Fue Vicedecano de la Facultad de Farmacia de la UCM. El trabajo ha sido realizado en colaboración con el Doctor López Lafuente.

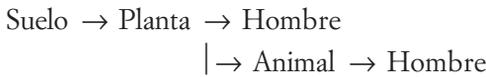
Nuestros antepasados del Paleolítico inferior eran poco numerosos y estaban muy dispersos sobre la superficie terrestre, por lo que ejercían sobre el medio natural una acción muy limitada. En realidad, eran parte integrante de los ecosistemas, uno de los múltiples elementos que constituyen las biocenosis, participando en los ciclos de la materia y en los flujos de energía en la biosfera. Pero en el momento que los cazadores paleolíticos dispusieron del fuego iniciaron una acción degradante sobre el medio natural desproporcionada en relación a su escaso número. Deevey (1) calculó que en el Paleolítico inferior la población total era de 125.000 personas, con una densidad de 0,00425 habitantes por kilómetro cuadrado y que el único continente poblado era África. Según estos datos, la biomasa humana era prácticamente despreciable frente a las biomásas vegetales y animales.

El descubrimiento de la agricultura en el Neolítico llevó aparejado un crecimiento demográfico sin precedentes, llegando la población total a $5,32 \times 10^6$, distribuida por todos los continentes y con una densidad de población de 0,04 habitantes por kilómetro cuadrado. Si consideramos el fuego como la primera adquisición tecnológica humana, la agricultura constituye la segunda revolución tecnológica de la humanidad.

La agricultura parece iniciarse en Mesopotamia (sur de Palestina, norte de Siria y oriente de Irán), hace más de 10.000 años, como indican los yacimientos de Zawwi Chemi en Irak (2). Al cabo de los años, este descubrimiento condujo

al «horror sylvanum» de la Edad Media, actitud destructora del hombre respecto al árbol, y al desarrollo creciente de las ciudades. A pesar de todo, hasta el comienzo del siglo XVIII, la civilización agraria no modificó irreversiblemente los flujos de materia y energía en la biosfera. Se puede afirmar que hasta esa fecha el hombre seguía integrado en el conjunto de fenómenos ecológicos naturales. A partir de entonces se iniciaron las primeras transformaciones que nos han conducido a la sociedad tecnológica en la que vivimos en la actualidad, llevándonos a reducir la biodiversidad, a romper el ciclo de la materia, a causa de una acumulación incesante de desechos no reciclados, que trastorna los ciclos biogeoquímicos, a un consumo exagerado de energía y a una explosión demográfica sin precedentes, que considera que en el año 2.015 la población mundial será de $10,5 \times 10^9$.

En la actualidad, la agricultura debe producir cada vez mayores cantidades de alimentos, al mismo tiempo que disminuye la superficie de suelo cultivable a causa del 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 químicos y pesticidas minerales y orgánicos, que llegan a contaminar los suelos bien por las impurezas que contienen, en el caso de los fertilizantes, bien por sí mismos, en el de los pesticidas, que pueden pasar a la biomasa y de ésta a los animales y al hombre, en una cadena trófica elemental:



Además, los suelos reciben de la atmósfera metales pesados y elementos radiactivos, que llegan con las precipitaciones. En muchos casos, los suelos son un intermediario entre la atmósfera y la hidrosfera para una parte de cada contaminante que el hombre vierte en el aire. Pero no sólo fertilizantes, pesticidas y precipitaciones contaminantes llegan al suelo. Grandes cantidades de desperdicios sólidos de origen agrícola o humano no son devueltos a los campos de cultivo, pero tampoco son reciclados, sino acumulados en basureros en los que la fermentación anaerobia producen compuestos sulfurosos y amoniacales que contaminan los suelos. La solución de quemar desperdicios en los incineradores es engañosa y conduce a sustituir la contaminación de suelos por la del aire.

El hombre transforma la naturaleza y, al hacerlo, se transforma a sí mismo. Utiliza los recursos para obtener productos que no siempre son benéficos y considera que la productividad es la guía y la máxima. A su vez, trata de inculcar que el logro de esta productividad es el responsable de la contaminación del medio. Ni la productividad ni la creación de bienes son malos en sí, malsano es la concepción de un sistema determinado de producción y el carácter inapropiado de las relaciones del hombre con la naturaleza. El hombre es parte de la naturaleza y ésta le entrega los elementos básicos que forman su

organismo, proteínas, minerales, vitaminas, etc., en la mayoría de las ocasiones en función de la cadena trófica elemental expuesta anteriormente, en la que el suelo es el punto de partida. Cuando estos elementos básicos penetran en el hombre se «humanizan» al convertirse en parte esencial de él. Si estas sustancias no están en estado puro, al ingresar en el organismo alteran todas las funciones metabólicas y pueden producir enfermedades e, incluso, la muerte.

El suelo es un componente clave del medio ambiente. Puede adsorber y perder iones en función de los tipos de partículas minerales presentes, de la cantidad y naturaleza de la materia orgánica, de la reacción (pH), del potencial redox, de la humedad, etc. El pH es importante porque controla el comportamiento de los metales, amén de otros muchos productos edáficos. Los cationes de metales pesados son más móviles cuando el pH de la solución del medio es ácido; estos elementos son, entonces, tomados por las plantas y de esta forma pasan a las cadenas tróficas, bien como tóxicos o bien en cantidades mínimas que producen deficiencia; pH básicos producen el efecto inverso, la inmovilización de estos elementos, excepto para el Molibdeno. El cambio iónico es otro factor determinante en la dinámica de los metales; en él intervienen factores como la naturaleza del cambiador y la del ión, la concentración de los iones en la solución, el efecto de contraión, etc.

En este artículo hacemos una revisión si no de todos los contaminantes del suelo, sí de aquellos que influyen en la salud humana, señalando las fuentes antropogénicas y los efectos en el hombre. Asimismo, revisaremos los fenómenos de geofagia, inhalación del polvo y las posibles enfermedades por entrada de partículas del suelo a través de absorciones en la piel.

PRINCIPALES CONTAMINANTES DEL SUELO

Son muchas las clasificaciones que pueden hacerse de los distintos contaminantes que afectan al suelo y repercuten en la salud humana. De forma general, y en función de su composición, los podemos dividir en dos grandes grupos: contaminantes de origen mayoritariamente agrario y contaminantes de origen mayoritariamente industrial.

1. CONTAMINANTES DE ORIGEN AGRARIO

1.1. Fertilizantes

Los abonos químicos se añaden al suelo con el fin de aumentar el rendimiento de los cultivos. En la recolección se extraen elementos nutritivos (N, P, K, S, Ca, Mg...) que hay que devolver al suelo en forma de nitratos, fosfatos, sales de potasio, etc., en cantidades equivalentes a las extraídas, pero esto último

conllevaría el análisis constante de suelos y plantas, lo que encarecería el precio de los productos; por lo que la falta de análisis se solventa con la adición, cada vez en mayor proporción, de fertilizantes químicos, sin tener en cuenta el principio de los rendimientos decrecientes o menos que proporcionales y la ley del mínimo de los factores limitantes. Mientras que se incorporan al suelo cantidades excesivas de fertilizantes, se ha cesado, en nombre de la «rentabilidad», de devolver a las tierras de cultivo el humus que garantiza su fertilidad, lo que, además de su implicación, en algunos casos, en la salud humana, va en deterioro de la estructura edáfica no creándose el complejo adsorbente arcillo-húmico, que tiene, entre otros, el papel de facilitar los elementos nutritivos a las plantas debido a los fenómenos de cambio de iones. Asimismo, y debido a esta utilización excesiva de fertilizantes de síntesis química, se están cambiando los ciclos biogeoquímicos de las plantas, ya que la cabaña ganadera ingiere hierba durante períodos más largos en el año, lo que hace 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, que modifica los tiempos en la alteración de la materia orgánica. En la Figura 1 se muestra la distribución en España de los puntos donde la contaminación por fertilizantes es más intensa. Como se puede apreciar trazando una línea que una Cantabria con la costa de Granada, el aporte de fertilizantes se corresponde con la España silícica, a la izquierda de la línea. A la derecha, el incremento de abono está relacionado con la producción hortícola y de cítricos. Podemos observar que las provincias menos fertilizadas son aquellas cuyo cultivo son fundamentalmente olivar y viña.



FIGURA 1. Distribución de la contaminación por fertilizantes en España. Mapa extraído de <http://www.unex.es/edafo/GCSP/GCSL4CEFertilizantes.htm>

1.1.1. *Nitratos*

Además de la contaminación de las aguas que conlleva el aporte excesivo de nitratos y fosfatos, agentes que producen la «eutrofización» de ríos y lagos, los nitratos pueden contaminar los alimentos a través de los suelos. Ya Commoner (3) puso de manifiesto el contenido en N de lechugas plantadas en una tierra normal (0,1% de nitrógeno nítrico en relación a su peso seco) y las cultivadas en un suelo que ha sido fertilizado con 600 kg de nitratos por hectárea (0,6%). Algo similar, pero con más intensidad, sucede en las espinacas, capaces de acumular nitratos del orden de 3,5 g/kg puesto de manifiesto por Schuphan (4). Las espinacas producidas en grandes superficies por métodos industriales presentan riesgos para los consumidores, ya que pueden llegar a producir metahemoglobinemia. Durante la conservación en refrigeradora, el acondicionamiento industrial o incluso por acción de la flora bacteriana intestinal, los nitratos pueden ser transformados en nitritos que son los responsables de la producción de metahemoglobina. Además, los nitratos, por sí solos, tienen un efecto vasodilatador que agrava los efectos de la formación de la metahemoglobina.

En general, se considera que los síntomas de intoxicación aparecen cuando el contenido en metahemoglobina excede al 20% del total de la corporal (0,24 g/100 ml de sangre); síntomas iguales a los asociados con la anemia funcional y la asfixia, con un aumento en el número de contracciones cardíacas.

Existen mecanismos de defensa para regenerar la hemoglobina, es decir, para reducir la metahemoglobina y efectuar el intercambio normal de oxígeno, que consiste en un sistema enzimático llamado NADH-metahemoglobina-reductasa. En los lactantes menores de tres meses este sistema enzimático no está completamente desarrollado, por lo que son más susceptibles de este tipo de intoxicaciones. A esta susceptibilidad influyen, además, la menor acidez del estómago en los bebés, que favorece el desarrollo de microorganismos capaces de reducir los nitratos a nitritos; la presencia de hemoglobina fetal, que parece más susceptible a estas alteraciones; y la elevada ingesta de líquidos si la lactancia es artificial. Es importante en este último caso que el agua no contenga nitratos, lo que puede suceder en regiones en las que el suministro de agua es de pozos; pozos que pueden estar contaminados con los nitratos procedentes del abonado de suelos agrícolas. Pero hay algo todavía más grave; los nitritos formados en el tubo digestivo y en los alimentos mal conservados pueden transformarse en nitrosaminas, potentes agentes cancerígenos (5).

1.1.2. *Fosfatos*

El fósforo se aporta al suelo casi siempre en forma de superfosfatos (ortofosfato soluble). El problema que se presenta no es la contaminación del suelo por los superfosfatos, sino por las impurezas que contienen, dada la carestía del proceso de purificación de este abono, tales como arsénico, cadmio, cromo,

cobalto, cobre, plomo, níquel, selenio, vanadio y cinc; que no son demasiado importantes, pero que se suman a los aportados por otros fertilizantes y pesticidas tales como sales de cobre, arseniato de plomo y herbicidas orgánicos que contienen arsénico en su molécula.

1.2. Pesticidas

Existe una diferencia fundamental con el resto de los contaminantes; los pesticidas se distribuyen voluntariamente sobre el medio natural, bien para proteger al hombre o para proteger a los animales de ciertos parásitos, o bien para destruir las plagas de los cultivos, incluidas las malas hierbas, las cuales no suponen una enfermedad sino una competición por el agua y los minerales nutrientes del suelo. Se distinguen: insecticidas, fungicidas, herbicidas, rodenticidas, nematocidas, etc., pero en realidad, estas denominaciones son un abuso terminológico, porque no sólo afectan al término al que se refieren, sino a todos los seres vivos; es decir, los pesticidas afectan al conjunto del ecosistema. De todos ellos, los herbicidas son los que más afectan al suelo, porque, en muchas ocasiones, se depositan directamente sobre él, incluso, en su interior, como en el caso de las triacinas que actúan por absorción radicular, inhibiendo la fotosíntesis, aunque la mayoría de los herbicidas actúan por contacto. Los suelos contaminados por estos productos, pueden permanecer afectados largo tiempo (Tabla 1) durante el cual son incapaces de soportar cualquier tipo de vegetación, como ha sucedido en Vietnam después de utilizar picloran (piridina clorada), como defoliante. En ocasiones, estos productos afectan directamente a quien los usan, informes sobre malformaciones congénitas en los hijos de soldados de Estados Unidos de América se han relacionado con la aplicación masiva de un defoliante, el «agente naranja» (combinación de ésteres de 2-4-D y 2-4-5-T), derivados del ácido fenoxiacético y de la TCDD (tetracloro-debenzodioxina) durante la guerra de Vietnam.

TABLA 1. *Algunos ejemplos de persistencia de pesticidas en suelo manteniendo su actividad biológica*

<i>Tipo</i>	<i>Acción</i>	<i>Persistencia</i>
Organoclorados	Insecticida	2-5 años
Derivados benzoicos	Herbicida	3-12 meses
Derivados de la urea	Herbicida	4-10 meses
Amidas	Herbicida	2-10 meses
Ácidos alifáticos	Herbicida	3-10 semanas
Organofosforados	Insecticida	7-8 semanas
Carbamatos	Todas	2-8 semanas

Tanto los herbicidas como los plaguicidas son contaminantes de los suelos por sí mismos o como resultado de transformaciones químicas o biológicas. Desde los años cuarenta del pasado siglo, cuando el DDT irrumpió en los mercados, hasta los posteriores organoclorados o carbamatos, entre otros utilizados en la actualidad, constituye una gama de productos muy eficaces en los tratamientos de plagas, pero con secuelas graves para los ecosistemas y la salud humana (6). En la actualidad más de 600 compuestos orgánicos, con cerca de 50.000 formulaciones se utilizan en todo el mundo para el control de las diferentes plagas. Europa utiliza anualmente cantidades en torno a 350 millones de kg de pesticidas (7). Esta cantidad tan elevada tiene una relación directa con el aumento de enfermedades asociadas. No hay en la actualidad estudios comparados de los distintos orígenes de enfermedades relacionadas con actividades agrarias, pero según la OMS, dos millones de personas se intoxican por estas sustancias cada año, y unas 200.000 mueren por exposición directa o indirecta con plaguicidas.

Dependiendo de la concentración, del tiempo de exposición y del tipo de contaminante, los efectos varían. Vómitos, diarreas, cefaleas, somnolencia están asociados a la ingestión de dosis únicas con altas concentraciones. Cánceres, leucemias, necrosis de hígado 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. Zumbado *et al.* (8), estudiaron los efectos de la acumulación del DDT en sueros procedentes de una población representativa de las Islas Canarias y pusieron de manifiesto la persistencia de los compuestos organoclorados en el organismo. Otros efectos que en la actualidad se están investigando son los relacionados con la homeostasis endocrina. Se ha acuñado el término disruptor endocrino para definir a cualquier sustancia química, contaminante ambiental, que, una vez incorporada al organismo, altera el sistema hormonal con graves consecuencias para la salud del individuo o de su descendencia. Estas disfunciones se analizan en pacientes de alto riesgo, entre los que destacan niños y trabajadores en áreas con agricultura intensiva, en las que se prodiga el uso de pesticidas, y en los habitantes que ocupan zonas circundantes (9).

2. CONTAMINANTES DE ORIGEN INDUSTRIAL

La concentración de metales pesados en suelos debería tener su origen únicamente en función de la composición litológica y de los procesos edafogénicos que dan lugar al suelo (Tabla 2).

TABLA 2. *Concentraciones naturales de metales en diversos materiales originales y suelos (mg/kg)*

<i>Elemento</i>	<i>Granito</i>	<i>Basalto</i>	<i>Esquisto</i>	<i>Caliza</i>	<i>Arenisca</i>	<i>Suelo</i>
Al	77.000	88.000	88.000	90.000	43.000	71.000
As	1,5	1,5	13	1	1	6
Cd	0,09	0,13	0,22	0,03	0,05	0,35
Co	1	35	19	0,1	0,3	8
Cr	4	90	90	11	35	70
Cu	13	90	39	5,5	30	30
Hg	0,08	0,01	0,01	0,18	0,29	0,06
Mo	2	1	2,6	0,16	0,2	1,2
Ni	0,5	150	68	7	9	50
Pb	24	3	23	5,7	10	35
Se	0,05	0,05	0,5	0,03	0,01	0,4
Zn	52	100	120	20	30	90

Sin embargo la actividad humana ha incrementado el contenido de estos metales en el suelo en cantidades considerables, siendo ésta, sin duda, la causa más frecuente de las concentraciones tóxicas detectadas. Describimos a continuación algunos ejemplos de la influencia que estos elementos tienen en la salud humana.

2.1. Plomo

Este metal ha sido utilizado por el hombre desde hace muchos años. Los egipcios ya lo utilizaban para vidriar vasijas 5.000 años a.C. Los romanos lo utilizaron para sus cañerías además de para innumerables objetos. Hay quienes aseguran que la caída del imperio romano se debe, en parte, a la exposición crónica de las clases dirigentes a este elemento.

Las concentraciones de plomo en el medio ambiente se elevaron a partir de la revolución industrial en el siglo XVIII, pero cuando el aumento se elevó sobremedida fue a finales de la segunda guerra mundial, por la introducción de compuestos orgánicos de este elemento como aditivos para la gasolina. En la actualidad la contaminación por este metal se detecta hasta en los hielos de Groenlandia. Hoy día se utiliza en la producción de acumuladores y baterías, pigmentos, insecticidas, explosivos, reactivos químicos, soldaduras, aditivos

antidetonantes para la gasolina, alfarería, cubiertas para la protección contra los rayos X, tuberías, etc.

Es un contaminante importante de la atmósfera, la hidrosfera y la edafosfera. A los suelos les llega a partir de residuos industriales, de minería, de la deposición atmosférica y a partir de la roca madre si ésta es rica en minerales que lo contienen. Aunque el suelo puede inmovilizarlo en la materia orgánica y en la arcilla, si el suelo es ácido el Pb es móvil y puede ser tomado por las plantas y de aquí a los animales y al hombre. Cuando realizamos la isoterma de sorción en horizontes superficiales de suelos desarrollados sobre materiales carbonatados, podemos observar (Fig. 2) que hasta concentraciones por encima de los 8.000 mg/kg son retenidos por el suelo. A partir de estas cantidades las concentraciones de este metal pueden pasar a la solución del suelo y contaminar otros sistemas.

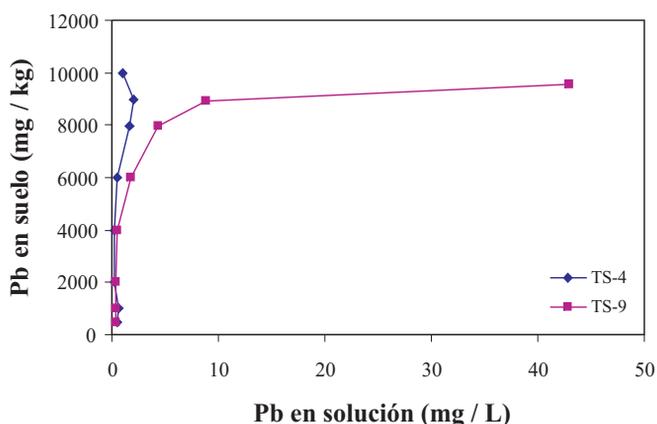


FIGURA 2. Sorción de plomo en horizontes superficiales de suelos carbonatados.

Las plantas que crecen en suelos contaminados por este metal lo concentran, principalmente, en su sistema radicular. Las lombrices de tierra tienden a acumular plomo y pueden ser una de las rutas por las que este elemento entra en la cadena alimenticia.

El plomo que proviene de suelos contaminados entra en el cuerpo humano por ingestión directa del suelo, por inhalación de polvo o por las rutas de diversas cadenas alimentarias. Culbard *et al.* (10) y Watt *et al.* (11), en estudios realizados en Gran Bretaña, mostraron que el 50% del Pb ingerido por los niños lo fue en el polvo doméstico. Por vía oral, en adultos, sólo es absorbido el 10%, pero en los niños este porcentaje puede alcanzar el 53% de la dosis ingerida. Sea cual sea la vía de absorción, el plomo se transporta por la sangre y, en un principio, se distribuye por todos los tejidos y órganos. El plomo se acumula en el tejido óseo (el 90% de la concentración corporal total). Menos importantes son sus concen-

traciones en hígado, corteza y médula renal y en los eritrocitos; en éstos su concentración es 16 veces más alta que en el plasma. La vía de eliminación más importante en el hombre es la orina (76% aproximadamente); el resto, por heces, sudor, cabello, secreciones gastrointestinales, etc. Es importante señalar la eliminación de este metal por la leche materna (hasta 12 mg l^{-1}).

La intoxicación por Pb afecta al sistema hematopoyético, produciendo anemia debido a la inhibición que hace el Pb sobre la síntesis del grupo hemo de la hemoglobina. También afecta al sistema nervioso central produciendo encefalopatías, principalmente en los niños, que se manifiestan por torpeza, irritabilidad, dolor de cabeza, dolor muscular, ataxia y pérdida de memoria. En casos extremos se puede llegar al coma o la muerte con o sin convulsiones. Afecta, asimismo, al sistema nervioso periférico con debilidad en los músculos extensores (12), (13), (14). El plomo fue el primer metal ligado a fallos en la reproducción, ya que puede atravesar la placenta fácilmente (15).

2.2. Cadmio

El hombre ha liberado cadmio al ambiente sin saberlo desde que empezó a fundir metales: cinc, cobre y plomo. En la actualidad es considerado como uno de los elementos más tóxicos y es importante aclarar que los procesos naturales por los que se libera Cd son insignificantes como fuente de contaminación en comparación con el que procede de las actividades del hombre. Como el cadmio es relativamente volátil, se elimina en la etapa de cocción o desulfuración de todos los productos que contienen cinc, es capturado para someterlo a un tratamiento para la obtención de Cd metálico de alta pureza como producto final. Las principales fuentes antropogénicas son los usos de este elemento: pigmentos y pinturas, baterías, estabilizadores del cloruro de polivinilo (PVC), recubrimiento de otros metales, galvanoplastia, electroplateado, aleaciones, acumuladores, soldaduras, reactores nucleares, joyería, etc., sin despreciar su presencia en fertilizantes químicos fosfatados, que son, en la mayoría de los casos el origen de la contaminación, por Cd, del suelo. En ellos este elemento pueden presentar concentraciones que van de 2 a 156 mg kg^{-1} . Generalmente, las concentraciones de Cd en el suelo son inferiores 1 mg kg^{-1} y suelen mantenerse en rangos de 0,01 a $0,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (Tabla 2). El Cd se acumula en los horizontes superficiales de los suelos, pero puede emigrar a los subsuperficiales e, incluso, llegar a la capa freática subyacente. Tiene una vida media en el suelo de 15 a 1.100 años, lo que supone un problema a largo plazo una vez contaminado el suelo con dicho elemento. En la Figura 3 se muestra la isoterma de sorción del Cd en dos muestras de horizontes superficiales. Como podemos ver, desde concentraciones próximas a 1.000 mg/kg en suelo, empieza a ser móvil ya que lo encontramos en la solución del suelo. Este comportamiento ratifica la movilidad de este metal y por tanto su peligro en los procesos de contaminación, tanto para la cadena trófica (adsorción por la planta), como para las aguas subterráneas.

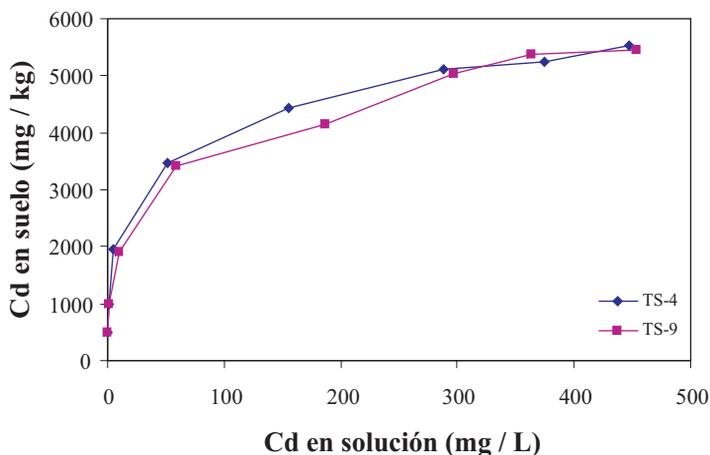


FIGURA 3. Sorción de Cadmio en horizontes superficiales de suelos carbonatados.

Los óxidos hidratados de Al y de Fe adsorben Cd e impiden su paso a las plantas a corto plazo. A bajos pH se incrementa su asimilación por las plantas (16). Por ejemplo, en ciertas regiones de Japón, en suelos contaminados por Cd, se han encontrado concentraciones del mismo de hasta 69 mg kg^{-1} en plantaciones de arroz.

Las plantas no tienen mecanismos para excretar el Cd y la acumulación suele ser mayor en las raíces que en la parte aérea de la planta. Sin embargo, algunos cereales como el arroz, la avena y el trigo pueden asimilar cantidades considerables de Cd a partir de suelos contaminados. También son sensibles al metal la espinaca y la soja, mientras que el tomate y la col son completamente resistentes (17).

Considerables cantidades de Cd se ingieren a través de alimentos. Estudios realizados con Cd radioactivo se observó que en los seres humanos la absorción de este elemento fluctúa entre el 3 y el 8%. Las personas con baja proporción de hierro en sangre tienen una absorción promedio cuatro veces mayor que los individuos con concentraciones normales de hierro. También favorecen la absorción la deficiencia de proteínas y calcio. Después de ser absorbido se transporta por la sangre a todas las partes del cuerpo, pero hígado y riñones, páncreas y glándulas salivares lo acumulan más que el resto de órganos y tejidos. La placenta actúa como una barrera eficaz para este elemento y no permite su paso al feto (12). La principal vía de eliminación del Cd en el hombre es la orina. Gran parte del Cd (70-80%) que se acumula en hígado y riñones se une a una proteína soluble de bajo peso molecular, que gracias a su gran número de grupos sulfhídricos se puede unir no sólo al Cd, sino también al Cu y al Zn, formándose metalotioneínas, que son las causantes del largo período de vida media del Cd en el hombre.

La ingestión de Cd en alimentos contaminados puede causar trastornos agudos en el tracto gastrointestinal con náuseas, salivación, vómitos, dolor abdominal tipo cólico y dolor de cabeza. En 1947 se detectó en Japón una enfermedad extraña y dolorosa de naturaleza «reumática» en pacientes procedentes de varios pueblos situados en los márgenes del río Jintsu, en la Prefectura de Toyama. Posteriormente, esta enfermedad se conoció con el nombre de Itai-Itai (en español ¡ay! ay!), debido a las quejas asociadas con los dolores que provocan las deformaciones en el esqueleto de los afectados. La fuente de Cd era una mina de cinc y plomo que se localizó a 50 km río arriba (Fig. 4). Las personas que sufrían esta enfermedad habían ingerido Cd en elevadas concentraciones junto con el arroz y el agua potable contaminados.

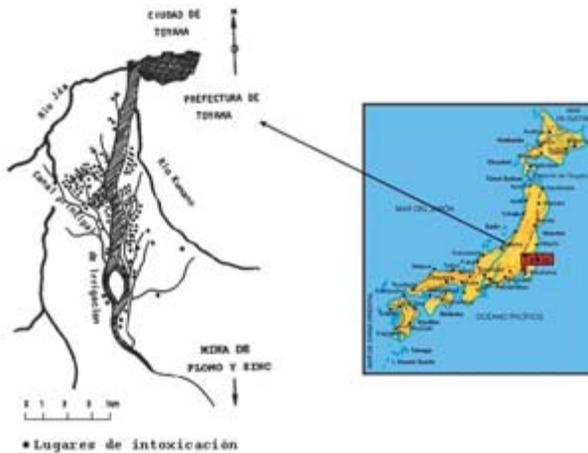


FIGURA 4. Contaminación por Cadmio en el río Jintsu (Japón).

En los suelos encharcados de los arrozales, en condiciones reductoras, el potencial redox del suelo es bajo y el Cd se encuentra en forma de CdS insoluble y poco asimilable por las plantas. Cuando el Eh se incrementa, al desecarse los suelos, el CdS se oxida a sulfato y el Cd²⁺ es fácilmente asimilable. La característica principal de una intoxicación crónica con Cd es el daño al riñón, ya que afecta a las funciones de reabsorción de los túbulos proximales. El primer síntoma suele ser un aumento en la excreción de proteínas de bajo peso molecular (β_2 -microglobulina), lo que se conoce como proteinuria tubular.

Los daños en el sistema óseo se relacionan con el daño renal, ya que este elemento interfiere en el metabolismo del calcio. Enfermedades de los huesos, tales como osteomalosis y osteoporosis, solamente se han detectado en Japón, en donde los efectos de la toxicidad del Cd aumentaron por dietas deficitarias de calcio, vitamina D y proteínas (18). Los trastornos que produce el Cd en el metabolismo del calcio se manifiestan en un ablandamiento de los huesos, fractura y deformidades del esqueleto. Incluso puede producirse una disminución de la

estatura del enfermo. También parece influir en trastornos cardiovasculares, hipertensión e, incluso, puede tener efectos carcinogénicos.

2.3. Selenio

El selenio es el componente primario de los magmas intrusivos y efusivos y de los gases volcánicos. Se encuentra difundido en toda la corteza terrestre ($6 \times 10^{-5}\%$), en pequeñas cantidades en minerales como piritita, tiemanita, estilleita, etc. Se utiliza como pigmento en manufacturas de vidrio y cerámica, en celdas fotoeléctricas, ingrediente en el baño de viraje en fotografía, rectificadores en aparatos de televisión y radio, en el procesamiento de caucho, en mezclas para semiconductores de fusión, productos químicos y medicamentos.

En los suelos aparece en cantidades muy pequeñas desde $0,1 \text{ mg kg}^{-1}$ hasta 8.000 mg kg^{-1} en áreas contaminadas (19). Ciertas plantas acumulan Se a través del suelo natural o contaminado. Se ha encontrado este elemento en leguminosas (*Veza*), compuestas (*Xylorhiza* y *Oonopris*), rubiaceas (*Standlega*), etc. Estos vegetales pueden concentrar hasta 1,5% de selenio en sus tejidos, por lo que se las considera plantas indicadoras de suelos con más o menos cantidad de selenio. Por otro lado, estos vegetales pueden llegar a intoxicar el ganado que se alimenta en regiones seleníferas. Pequeñas concentraciones pueden aparecer en alimentos que utiliza el hombre, que se deben bien a que el contenido en el suelo es bajo o bien, si es más elevado, porque se encuentra fijado de forma no asimilable por las plantas. En el suelo la disponibilidad de este elemento para los vegetales depende de otros iones; por ejemplo: el Fe restringe su absorción al igual que la materia orgánica. En otro sentido, los fosfatos desplazan al selenio, por lo que cuando son añadidos, como abono, incrementan su contenido en plantas. En suelos alcalinos de regiones áridas, generalmente aparece como selenato que es soluble y asimilable, mientras que en áreas húmedas, aparece como selenito menos soluble. La adsorción de selenio por las arcillas depende más del pH del suelo que del tipo de arcilla. Con la adición de caliza aumenta su disponibilidad para las plantas.

Se puede generalizar que todo el selenio en el cuerpo humano procede de los alimentos, y que, a su vez, el contenido depende de la dieta y del origen geográfico del alimento. El selenio es un componente del enzima glutation-peroxidasa, un componente de uno de los sistemas de defensa antioxidante del cuerpo; hasta tal punto que es utilizado como un índice del estado de Selenio en el hombre (14).

En el caso de este elemento, es su deficiencia la que causa, además de efectos tóxicos, trastornos en la salud. La primera enfermedad asociada a esas deficiencias se descubrió en China en el siglo XIV. Apareció en las montañas y colinas de China central extendiéndose a través del país desde el NE al SO. Se trata de una osteoartropatía causada por una perturbación al final de los huesos, con la aparición de una artritis crónica y deformidades en niños y jóvenes (20). La otra enfer-

medad típica ligada a la deficiencia de selenio es la enfermedad de Keshan, que aparece, principalmente, en áreas rurales con una agricultura de subsistencia y alimentos casi exclusivamente locales. Se trata de una cardiomiopatía hallada en mujeres jóvenes y niños, con múltiples necrosaciones en el miocardio y fibrosis del corazón. Parece que esta enfermedad está asociada a las deficiencias de vitamina E. El Selenio y esta vitamina actúan sinérgicamente como antioxidantes (21). También se han encontrado deficiencias de selenio en Escandinavia, Serbia y Finlandia. En este último país se ha incrementado el contenido de este elemento en fertilizantes, con el consecuente aumento del mismo en los cereales (22).

También existen enfermedades asociadas con la toxicidad del selenio, como fue puesto de manifiesto en China, en la provincia de Harabi, en donde la ingesta de selenio alcanzaba cifras tales como de 3,2 a 6,7 mg/día⁻¹. La enfermedad apareció cuando se encalaron los suelos para subir el pH, lo que hizo que el selenio fuera disponible por las plantas, sobre todo en el maíz. La mortalidad llegó hasta el 50% en las áreas más afectadas (14). Han aparecido enfermedades asociadas al selenio en California y Turkestan.

2.4. Arsénico

Este elemento es bien conocido como veneno desde tiempos inmemoriales. Hoy se sabe que, además, es carcinogénico. Fue descubierto en tiempo de los alquimistas, atribuyéndose a San Alberto Magno su obtención en 1250. Si se alea con cobre de un producto parecido a la plata, lo que hizo creer en la conversión del cobre en plata. Durante la Edad Media, en la que la administración de venenos era considerada como una de las «bellas artes», fue ampliamente utilizado el arsénico blanco (anhídrido arsenioso). Hoy día se utilizan compuestos de arsénico en la fabricación de vidrio, en taxidermia, como pigmento (verde París), insecticidas contra el gorgojo del algodón y los gusanos del manzano, rodenticidas, herbicidas, etc. Con los residuos de estas industrias y los de minería se pueden contaminar los suelos.

Las especies de As presentes en el suelo y su forma, depende del pH, Eh y actividad biológica. Sin embargo, su disponibilidad para las plantas se ve restringida por la presencia de hierro, arcilla y materia orgánica, por lo que suelen contener poco As, solamente cuando los suelos son arenosos, pasa a cereales y hortalizas. La ingesta de este elemento se debe fundamentalmente al consumo de agua contaminada y, todo lo más, a la ingestión de partículas del suelo que lo contienen (23) de forma directa, pero indirectamente puede contribuir a la contaminación de aguas que atraviesan suelos contaminados con As. Tan conocida como la intoxicación masiva con Hg en Minamata, es el caso de intoxicación con As en Taiwan, donde se produjeron cánceres de piel, hiperqueratosis, hiperpigmentación, desórdenes vasculares, etc. Se supo que la intoxicación se producía al beber agua de pozos diseminados por una región en la que el arroz

era el cultivo principal. El As llega al agua a partir de los suelos contaminados con este elemento al usar, años atrás, un rodenticida rico en As, que fue retenido en el suelo durante mucho tiempo y que, al final, contaminó las aguas freáticas. En el Norte de Chile suelos y aguas contienen concentraciones elevadas de As.

2.5. Aluminio

En el suelo es soluble a pH menores de 5,5 en forma de catión aluminio (Fig. 5). Proviene de la alteración de los silicatos que contienen dicho elemento, muy extendido en la naturaleza. En procesos de acidificación del suelo, a causa de la lluvia ácida, el Al aumenta en los cursos de agua y puede llegar fácilmente al ser humano. Las plantas lo asimilan muy poco, y casi exclusivamente el té es una de las plantas que lo acumulan. Pero es el agua de bebida el camino por el cual el Al entra en la dieta humana (24).

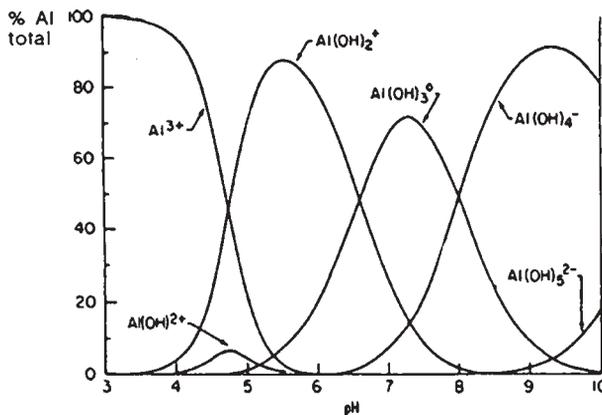


FIGURA 5. Distribución de especies de aluminio en función del pH.

El hecho de mencionarlo se debe a que está implicado en la etiología de desórdenes neurológicos, incluso en la enfermedad de Alzheimer, asunto muy controvertido en la actualidad (25).

2.6. Cromo

El Cr nunca se halla en estado libre en la naturaleza, pero sus compuestos están muy diseminados. La fuente mineral más importante del cromo es la cromita, en la que se encuentra en forma trivalente, pero al entrar en contacto con el oxígeno del aire se oxida convirtiéndose en Cr^{+6} , que es más tóxico. El Cr

siempre ha estado presente en el suelo, aire y agua del planeta; en el suelo se presenta con mayores concentraciones (5-1.500 mg kg⁻¹) (26).

Las principales fuentes antropogénicas del cromo son: fabricación de colorantes y pigmentos, mordiente de textiles, curtido de pieles, minería, industrias químicas, cromado electrolítico, fotograbado, explosivos, etc. Sin embargo, la causa más frecuente de contaminación de suelos es la aplicación de fangos y aguas residuales. No obstante, la toxicidad del cromo es incierta excepto en suelos muy ácidos en los que permanece como catión de cambio fuertemente retenido, lo que hace que las plantas, especialmente los cereales, presenten muy bajas concentraciones de este elemento. Puede suceder que se produzca una intoxicación crómica por ingestión de compuestos de cromo durante mucho tiempo, con efectos tales como irritación gastrointestinal, úlcera gástrica, hepatitis, nefritis y erosión y coloración amarilla de los dientes, etc.; pero esto 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 conoce aún cuál es el requerimiento mínimo para una salud óptima, porque el cromo no fue reconocido como esencial hasta 1970. Anderson (27) considera que la mayoría de las dietas son deficientes en cromo. Los alimentos frescos son una buena fuente de cromo, el organismo lo necesita para el metabolismo de carbohidratos y lípidos y para la utilización de aminoácidos. Estudios epidemiológicos a pequeña escala encuentran una relación entre la carencia de Cr y problemas cardiovasculares. La función biológica del mismo parece estar íntimamente asociada con la de la insulina. Si el balance de Cr en el cuerpo es óptimo, se reduce la demanda de insulina, aunque no puede reemplazarla.

Figueroa (26) cita un caso ocurrido en México en 1976. Una industria de cromatos, para eliminar sus desechos los cedió para tapar los baches de la población de Lechería en Tultitlan. Además, infiltró sus residuos líquidos a través de un pozo de la propia industria. Así que el cromo impregnó a la población y murieron varias personas. Para evitar que continuaran las intoxicaciones se quitó la capa superficial del suelo que contenía cromo y la industria se trasladó a otro lugar.

2.7. Cobre

El contenido de Cu disponible para plantas en el suelo depende del material original y las características del suelo. La disponibilidad se reduce a altos valores de pH, altos contenidos en materia orgánica y arcilla y un buen drenaje. La concentración de cobre en las cosechas depende de su concentración en el suelo, del pH, de la especie vegetal, etc., pero la concentración de Cu en los suelos no es una indicación segura de la deficiencia en vegetales a causa de la gran variedad de condiciones que influyen su disponibilidad (28).

El cobre es esencial para el hombre: forma metaloproteínas, tales como ceruloplasmina, así como complejos orgánicos, tiene alguna función en reacciones metabólicas, participa en el desarrollo de los huesos y en el metabolismo de lípidos. Su deficiencia es seria con riesgo de anemia hipocuprémica, neutropenia, hipopigmentación del cabello y de la piel, osteoporosis, trastornos neurológicos y deformidades vasculares. El Zn y el Fe son fuertes antagonistas del Cu, por lo que una gran ingestión de aquellos puede acarrear una deficiencia de éste. Es muy rara la toxicidad por Cu; WHO (14) aconseja dosis de 12 mg/día⁻¹ para adultos y 150 mg día⁻¹ para niños.

2.8. Talio

La concentración de suelos por Tl se debe siempre al hombre y las plantas que viven en suelos contaminados contienen bastante cantidad de este elemento. Son síntomas de su toxicidad, producida por comer alimentos contaminados, depresión, insomnio y varios desórdenes nerviosos. Envenenamientos por Tl se han producido en el Oeste de Alemania y en Ucrania (29).

Además de las posibles complicaciones debidas a la mayor o menor toxicidad de los elementos anteriormente citados, se pueden producir enfermedades por ingestión directa del suelo, inhalación y a través de lesiones producidas en la piel en contacto con el suelo, pero, generalmente, están muy localizadas, por lo que no hemos creído necesario su desarrollo en este artículo. Asimismo, se pueden producir tanto carencias como toxicidad por otros elementos tales como el F y el I. En el primer caso, la posible carencia o exceso se produce en el agua más que en el suelo, y en el caso del yodo se está trabajando en relacionar su presencia en suelos con las posibles deficiencias en alimentos; así se ha encontrado esta relación suelo-enfermedad carencial (bocio), pero de forma variable, sin una seguridad que pueda conducirnos a una generalización. Parece ser que los suelos arenosos contienen menos yodo que los arcilloso-francos y los más ricos en materia orgánica. Además, y al contrario de lo que sucede con los metales pesados, salvo con el Se, en medio ácido disminuye la disponibilidad del I para las plantas.

La determinación de efectos directos sobre la salud humana de los diferentes elementos en el suelo y en el agua es difícil porque se ponen en juego muchos factores junto a diferencias de clases sociales, dieta, estilo de vida, factores genéticos, salud general, edad y otros muchos. Tampoco se conoce la dosis óptima diaria procedente del medio ambiente, los límites de seguridad para las concentraciones de los elementos traza y sus concentraciones en el suelo, atmósfera o agua que conlleva deficiencias o toxicidad en la dieta.

2.9. Metales radiactivos

Los suelos presentan un alto poder de retención sobre los elementos radiactivos, el estroncio 90 y el cesio 137. Los suelos ácidos fijan y retienen cantidades importantes de Sr^{90} . El problema se acusa cuando los suelos presentan un complejo arcillo-húmico evolucionado capaz de retener cantidades importantes de elementos radiactivos. Por ejemplo, los coloides minerales de dicho complejo pueden fijar el Cs^{137} a un grado tal que puede resultar una peligrosa contaminación, incluso a partir de la lluvia o aguas de riego con muy bajos niveles de este elemento. El Sr^{90} es más móvil en los suelos, por lo que en zonas lluviosas con suelos permeables puede llegar a contaminar las aguas freáticas. A pesar de la gran retención que sufren estos elementos por los coloides edáficos, pasan a la vegetación, penetrando así en las cadenas tróficas. Sin embargo, existen diferencias específicas entre los diversos vegetales respecto a la cantidad de elementos absorbidos.

El paso de Sr^{90} a los vegetales cultivados es más intenso en los suelos pobres en materia orgánica, de tal manera que la contaminación de remolacha es seis veces mayor en un suelo con 2,1% de materia orgánica que en otro con 10%, como pusieron de manifiesto Adans *et al.* (30). Existen numerosos trabajos acerca de contaminación radiactiva a partir de los años cincuenta del pasado siglo, en función de las experiencias termonucleares y de bombas atómicas que provocaron rápidamente una sistemática contaminación de las cadenas tróficas.

Los efectos masivos para la salud humana provocados por los residuos procedentes de las precipitaciones nucleares ha dado lugar a muchas controversias. No obstante, el hecho es la evidente acción acumulativa de los efectos mutágenos y cancerígenos en el ser humano.

Desde los últimos años se viene investigando acerca del radón y la salud humana. El radón es un gas radiactivo que pasa al estado sólido como ^{218}Po , ^{214}Po , ^{214}Pb y ^{214}Bi . Estudios epidemiológicos sugieren que al inhalar radón y transformarse éste en los pulmones, interviene o contribuye en el cáncer de pulmón, y parece ser que interviene en otros tipos de cánceres. Peake and Hess (31) estiman que de 5.000 a 7.000 fallecimientos por cáncer de pulmón en Estados Unidos se deben al Rn, comparado con el número total de fallecimientos por otros tipos de cáncer (500.000). Aunque sea una pequeña proporción frente al total, debe tenerse en cuenta porque es posible prevenir la enfermedad causada por el radón.

Este elemento gaseoso se forma en las rocas y en los suelos que contienen uranio o thorio. La vida media del Rn es de 3,83 días, de aquí que se crea que el detectado en las casas provenga del suelo, dado el tiempo que necesitaría para desplazarse por las rocas subyacentes. Jones (32) dice que el Rn proviene del uranio diseminado en el suelo y del uranio atrapado en minerales tales como zircón, esfena y apatito.

La concentración de Rn en las casas depende de varios factores del suelo: permeabilidad, contenido en dióxido de carbono, que actúa como transportador,

y humedad, que reduce el transporte. En general, la concentración de radón en el suelo es mayor cuando la roca madre es granito, aunque no se puede despreciar su presencia en suelos sobre calizas (33).

PAPEL DEL SUELO EN LA SALUD

Los conocimientos acerca de los riesgos que la contaminación del suelo tiene en la salud del hombre son todavía limitados. La falta de estudios concretos sobre procesos difusos de contaminación hace que los efectos de los mismos tarden años en describirse, sin olvidar que es difícil en las enfermedades degenerativas determinar su causa, y en muchos casos, las causas son múltiples.

De lo que sí podemos reflexionar, y cada vez son más numerosos los trabajos de investigación que encontramos en la bibliografía, es de la contribución que ciertos compuestos que llegan, o se forman en los suelos, ejercen sobre la salud de la población y su carácter multiplicador cuando se localizan en ambientes urbanos.

Industrias, tráfico, calefacciones, constituyen los emisores más importantes de elementos contaminantes, tanto a la atmósfera como al suelo. La concentración de compuestos tóxicos depende de múltiples factores, que van desde el grado de desarrollo socioeconómico, hasta las condiciones ambientales de la zona. La concentración y tipo de contaminante también varía: características de las industrias, alquitranes utilizados, construcciones, parque móvil, abonos y fitosanitarios empleados, son algunos de los elementos que configuran el espacio urbano, todos diferentes y con distinto grado de control en función del desarrollo del país (34). Lo que en todos los casos es común son los lugares donde se deposita la contaminación: suelos naturales, cultivados, parques, jardines, espacios de ocio, campos de deporte. Zonas, todas ellas, donde transita el hombre.

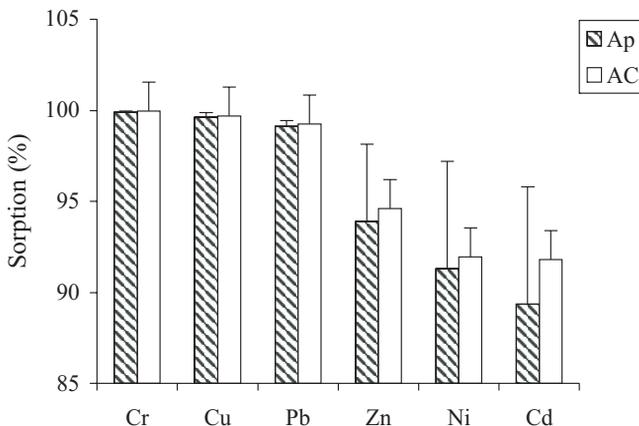


FIGURA 6. Retención de metales pesados en horizontes superficiales de suelos calcáreos.

Estudios realizados en suelos cultivados de naturaleza calcárea muestran la gran retención que los metales presentan en estos medios. Como podemos apreciar en la Figura 6, más del 90% de los metales que llegan al suelo son sorbidos en los horizontes superficiales, no existiendo diferencias apreciables en los 30 primeros centímetros de profundidad independientemente del número de horizontes.

Este hecho confiere a la contaminación de suelos en general, y de áreas urbanas en particular, un especial significado, pues las consecuencias pueden tener carácter de inmediatez (35). Es difícil cuantificar el número de enfermedades infecciosas, parasitarias, alérgicas, respiratorias, degenerativas que se producen, y que están directamente relacionadas con la contaminación de los suelos, sin embargo, parece evidente que el suelo es un reservorio de compuestos tóxicos y que son tanto más peligrosos cuanto mayor sea su persistencia y biodisponibilidad.

Esta nueva forma de estudiar el suelo ha hecho que las instituciones oficiales tomen conciencia de la importante relación que existe entre el suelo y la salud humana, lo que ha permitido promulgar normativas donde se incluyen los suelos cuando se analiza la salud de las poblaciones. Únicamente, y a modo de recordatorio, referiremos las normativas que desde distintos organismos internacionales han ido apareciendo en los últimos años.

Las primeras referencias surgen a finales de los años setenta del pasado siglo, cuando la Organización Mundial de la Salud (OMS) publica en el año 1977 una ambiciosa estrategia con el lema «Salud para todos en el año 2000» (36). Para alcanzar esta meta, Europa fue de las primeras en aceptar el reto y en el año 1984 promulgó un plan donde se incluían distintos objetivos a desarrollar durante los siguientes años.

El proyecto se dividía en cinco áreas: 1) reducción de la mortalidad y morbilidad, 2) estilos de vida, 3) obtención de un medio ambiente saludable, 4) servicios sanitarios, y 5) planificación de las estrategias del plan. Dentro del área tercera «obtención de un medio ambiente saludable» se desarrollaban estrategias que relacionaban medio ambiente y salud. Las actuaciones se referían, entre otras, a la gestión de la salud ambiental, a la mejora en la calidad del agua, del aire y de los alimentos, así como a mejorar el control de residuos y a la contaminación del suelo. Junto a estos proyectos, la National Academy of Sciences USA (37) propuso un modelo para valorar los riesgos ambientales y su relación con la salud humana que, posteriormente, fue adoptado por la Environmental Protection Agency (38), y que más tarde se impuso como estándar en la UE. Está basado en la valoración de tres factores: concentración de contaminantes en el suelo, exposición a la contaminación por distintas vías, y la toxicidad del contaminante.

En el caso de España, se comienza con el Real Decreto 1310/1990, sobre Lodos de Depuradora, sigue la Ley básica sobre Residuos Tóxicos (Ley 10/1998), la que corresponde a Fertilizantes y Afines (Orden 28/05/1998), y termi-

na, por ahora, con el Real Decreto 9/2005, por el que se establece la relación de actividades potencialmente contaminantes del suelo. Este Real Decreto lo emite el Ministerio de la Presidencia a propuesta de los Ministerios de Medio Ambiente y de Sanidad y Consumo.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) DEEVEY, E. S. (1960): The human population. *Sci. Am.*, Vol. 209. n.º 9. Mineral cycles. *Sci. Am.*, Vol. 223. n.º 3: 148-158.
- (2) RAMADE, F. (1974): Éléments d'écologie appliquée. Ediscience/McGraw-Hill. París, p. 242.
- (3) COMMONER, B. (1970): Threats to the integrity of the nitrogen cycle: nitrogen compounds in soil, water atmosphere and precipitation. En singer, global effect of environmental pollution. Reide ed. pp. 70-95.
- (4) SCHUPHAN (VON), W. (1965): Der Nitrat gehalt von spinat *Spinacia oleracea* L., beziehung sur methänoglobulinämie der Säuglinge. *Z. Ernährungswiss* **5**, p. 207.
- (5) RONDEST, J. (1972): Les process des Nitrates. *La Recherche*. Vol. 3. n.º 29: 109-405.
- (6) SILBERGER, E. K., PATRICK, T. E. (2005): Environmentalexposures, toxicologic mechanisms, and adverse pregnancy outcomes. *American Journal of Obstetrics and Gynecology*, **192**: S11-21.
- (7) FAO (2002): Código de conducta sobre la distribución y el uso de pesticidas. Revised Versión. 123 Session of the FAO Council.
- (8) ZUMBADO, M.; GOETHALS, M.; ÁLVAREZ-LEO, E.; LUZARDO, O.; CABRERA, F.; SERRA-MAJEM, L., DOMÍNGUEZ-BOADA, L. (2005): Inadvertent exposure to organochlorine pesticidas DDT and derivatives in people from the Canary Island (Spain). *Science of the Total Environ* **339**: 49-62.
- (9) PAZOS, P.; OLEA-SERRANO, M. F.; ZULUAGA, A., OLEA, N. (1998): Endocrine Disruptig Chemicals: Xenoestrogens. *Med. Biol. Environm. Int. J.* **26**: 41-47.
- (10) CULBARD, E. B.; THORNTON, I.; WATT, J.; WHEATLEY, M.; MOORCROFT, S., THOMPSON, M. (1988): Metal contamination in British urban dusts and soils. *J. Environ. Qual.* **17**: 226-234.
- (11) WATT, J.; THORNTON, I., COTTER-HOWELLS, J. (1993): Physical evidence suggesting the transfer of soil Pb into young children via hand-to-mouth activity. *Applied Geochemistry, Supplementary Issue*, n.º 2: 269-272.
- (12) FRIBERG, L.; NÖRDBERG, G. F., VOUK, V. B. (1979): Handbook on the Toxicology of metals. *Elservier*: 451-484.
- (13) DUFFUS, J. H. (1980): Environmental Toxicology. Edaward London: Arnold Pub: 1-74.
- (14) WHO (1996): Trace Elements in Human Nutrition and Health. Word Health Organization. Geneva.
- (15) PEREBOOM-STEGEMAN, J. H. J. C. (1987): Toxic trace elements and reproduction. *Tox. Environ. Chem.* **15**: 273-292.
- (16) OLIVER, M. A. (1997): Soil and human health: a review. *Eur. Jour. Soil Scie.* **48**: 573-592.
- (17) BADILLO, J. F. (1988): *Curso básico de Toxicología Ambiental*. 2.ª ed., Limusa. México: 145-169.
- (18) WHO (1992): Environmental Health Criteria 134. Cadmiun. World Health Organization. Geneva.
- (19) NEAL, R. H. (1995): Selenio. In: Health Metals in Soils. 2.ª ed. (Ed. B. J. Alloway). *Blactril Academic and Profesional*, Glasgow.

- (20) XU, G. L., JIANG, Y. F. (1986): Selenium and the prevalence of Keshan disease and Kashin-Beck disease in China. In: Proceedings of the first International Symposium on Geochemistry and Health (ed. I. Thornton). *Science Reviews Ltd. Northwood*. U.K.: 192-204.
- (21) YANG, G.; CHEN, J., WEN, Z., *et al.* (1984): The role of selenium in Keshan disease. *Advances in Nutrition Research*. 6: 203-231.
- (22) VARO, P.; ALFTHAN, G.; HUTHUMEN, J. K., ARO, A. (1994): Nationwide selenium supplementation in Finland. Effects on diet, blood and tissue levels and health. In: Selenium in Biology and Human Health. Ed. R. F. Burk. Springer. New York: 197-218.
- (23) MITCHELL, P., BARR, D. (1995): The nature and significance of public exposure to arsenic: a review of its relevance to South West England. *Environ. Geochem. Health*. 17: 57-82.
- (24) MARION *et al.* (1976): In: PORTA, J.; LÓPEZ-ACEVEDO, M., ROQUERO, C. (1999). *Edafología*. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, p. 224.
- (25) MARTYN, C. N.; BARKER, D. J. P.; OSMOND, C.; HARRIS, E. C.; EDWARDSON, J. A., LACEY, R. F. (1989): Geographical relation between Alzheimer's disease and Al in drinking water. *The Lancet*, I, n.º 8629: 59-62.
- (26) FIGUEROA, A. (1988): Cromo. Curso básico de Toxicología ambiental. 2.ª ed. Limusa. Mexico: 171-183.
- (27) ANDERSON, R. A. (1981): Nutricional role of chromium. *Sci. Total Environ*. 17: 13-29.
- (28) McDOWELL, L. R. (1992): *Minerals in Animal and Human Nutrition*, 3: 341-412.
- (29) ALLOWAY, B. J. (1995 b): The origin of heavy metals in soils. In: *Heavy metals in soils*. Ed B. J. Alloway. Blackie Academic and Professional. Glasgow: 38-55.
- (30) ADAMS, W. A.; CHRISTENSON, C. W., FOWLER, E. B. (1965): Relationship of soil, plant and radionucleidos. In Fowler, E. R., radioactive fallout, soil, plant, man. Elocvier ed.: 30-51.
- (31) PEAKE, R. T., HESS, C. T. (1987): Radon and geology: some observations. In: trace substances in Environmental Health. XXI. Proceeding of the 21st Annual Conference. Ed D. D. Hemplill. University of Missouri. Columbia: 186-194.
- (32) JONES, R. L. (1995): Soil uranium, basement radon and lung cancer in Illinois. USA. *Environmental Geochemistry and Health*. 17: 21-24.
- (33) OLIVER, M. A., BADR, I. (1995): Determining the spatial scale of variation in soil radon concentration. *Mathematical Geology* 27: 893-922.
- (34) CRAUL, P. J. (1985): A description of urban soils and their desired characteristics. *Journal of Arboriculture* 11: 330-339.
- (35) IBÁÑEZ MARTÍN, J. J.; LÓPEZ LAFUENTE, A., IBÁÑEZ MARTÍ, M. C. (2005): *La pérdida y transformación acelerada de la edafosfera: Sellado, Tecnosuelos y Urbisuelos*. II Simposio Nacional. Control de la degradación de suelos. CDS. Madrid, 151-174.
- (36) WORLD HEALTH ORGANISATION (1979): *Formulación de estrategias con el fin de alcanzar la salud para todos en el año 2000. Principios básicos y cuestiones esenciales*. Serie «Salud para todos», n.º 2 WHO.
- (37) NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES (1983): Risk assessment in the Federal Government: Managing the process. *National Academy Press*. Washington, D.C.
- (38) U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (1989): Risk assessment guidance for superfund. Vol. I: Human Health Evaluation Manual. Interim Final. Office of Emergency and Remedial Response. EPA/540/2-89/002.