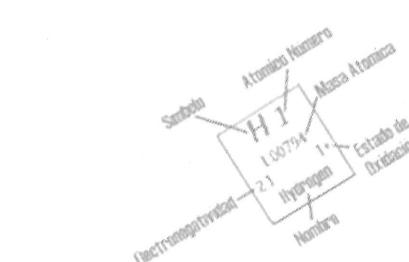


Los Metales Pesados en el Medio Ambiente

Estudio Comparativo de los residuos sólidos urbanos separados en fuente - $R_{su_{sf}}$ - y los Residuos Sólidos Urbanos no separados en fuente - $R_{su_{nsf}}$

Por Carlos Pelález *, Liliana Acevedo ** y Nora Restrepo ***



80 200,59 1,2
357 -38,4 16,6
Hg
[Xe]4f¹⁴5d¹⁰6s²
Mercurio

82 207,19 2,4
1725 327,4 11,4
Pb
[Xe]4f¹⁴5d¹⁰6s²6p²
Plomo

Los metales pesados, de acuerdo al papel que desempeñan en el medio, han sido definidos de diferentes maneras. El término, según Holding 2003, se refiere a cualquier elemento químico metálico que tenga una densidad relativamente alta, sea tóxico o venenoso en concentraciones bajas y no pueda ser degradado o destruido¹. Entre éstos se incluyen Mercurio (Hg), Cadmio (Cd), Arsénico (As), Cromo (Cr), Talio (Tl), Plomo (Pb), Cobre (Cu), Selenio (Se) y Zinc (Zn). Estos metales son componentes naturales de la corteza terrestre y a través de los alimentos, el agua de consumo y el aire, se incorporan en pequeñas cantidades en nuestros cuerpos. Metales pesados como Cu, Se y Zn son esenciales, en trazas, para mantener el metabolismo del cuerpo humano; sin embargo, en concentraciones más altas al nivel crítico pueden provocar envenenamiento², ya que no son metabolizados, persisten en el organismo y ejercen su efecto tóxico por combinación con uno o más grupos reactivos (ligandos) esenciales para las funciones fisiológicas normales. Los antagonistas de metales pesados o agentes quelantes, son diseñados especialmente para competir con

ellos por estos grupos y prevenir o revertir los efectos tóxicos provocando su excreción. Empero, con la sobreexposición al contacto se pueden generar efectos irreversibles que hacen insuficientes las medidas mencionadas.

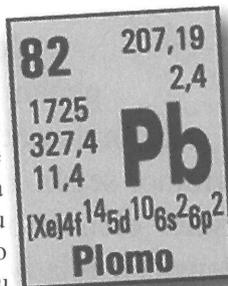
INCIDENCIA DE LOS METALES PESADOS EN LA SALUD.

La explotación y beneficio de los recursos minerales, históricamente no controlados desde el punto de vista ambiental, han provocado una extensa contaminación de los suelos en las áreas de aprovechamiento³. La actividad industrial y minera deposita en el ambiente, principalmente, plomo, mercurio, cadmio, arsénico y cromo; allí pueden permanecer cientos de años perjudicando la mayoría de formas de vida, incluidas la humana, ya que se acumulan en los tejidos orgánicos; su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados, puede provocar síntomas de intoxicación⁴. La peligrosidad de los metales pesados es mayor al no ser química ni biológicamente degradables.

CONTAMINACIÓN POR PLOMO.

El plomo es relativamente abundante en la corteza terrestre y sus múltiples usos se conocen desde hace miles de años; en las minas se extrae junto a metales como Plata, Oro y Cobre. Su extracción, refinación y amplio uso industrial han incrementado su concentración en el suelo, el agua y el aire de los centros urbanos y las zonas mineras, principalmente. En América Latina, es marcada la tendencia hacia el incremento en la producción y el consumo de plomo, aumentando el riesgo de exposición y de daños en la salud de la población⁵. Los más importantes productores de la región son Perú y México. Entre otros medios, se le halla en juguetes, pigmentos de pinturas (se utiliza para aumentar la adherencia a las paredes), cenizas y baterías; los alimentos y bebidas ácidas, como jugos y colas, pueden disolver el plomo de las soldaduras de las latas.

El plomo afecta a los microorganismos retardando la degradación heterótrofa de la materia orgánica; en las plantas tiende a ubicarse en el sistema radicular; los animales pueden consumirlo en los alimentos, absorberlo en los glóbulos rojos y circular a través del cuerpo, pudiéndose concentrar inicialmente en el hígado y los riñones, pudiendo, a continuación, pasar a los huesos. En el organismo, el plomo inorgánico no se metaboliza. Una vez en la sangre, el plomo se distribuye en tres compartimentos: la sangre, los tejidos blandos (riñón, médula ósea, hígado y cerebro) y el tejido mineralizado (hueso y dientes)⁶.

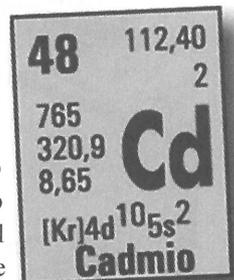


El plomo no tiene una función biológica útil en el cuerpo humano, a pesar de estar en nuestra dieta y ambiente, en grado tal que diariamente se ingieren unos 200 a 300 microgramos sin que ello cause daño conocido. En la sangre de poblaciones sanas se han encontrado de 10 a 15 microgramos/decilitro. En ambientes expuestos, como las fábrica de baterías, se halló en un estudio realizado en 1989, en Colombia, que de 90 trabajadores, 51 presentaron concentraciones de plomo en sangre de 60 o más microgramos/decilitro. En general, las concentraciones sanguíneas aparecen más elevadas en hombres que en mujeres y en áreas urbanas que en rurales, denotando la mayor contaminación prevaleciente en las ciudades⁷.

Al menos desde hace cien años, la ciencia médica reconoce los efectos del plomo. En principio, sólo se describía la toxicidad aguda que provoca dolores de cabeza y abdomen, estreñimiento, vómito, convulsiones, pérdida de la conciencia y muerte. Hasta los años cuarenta se creía que si un niño sobrevivía a la toxicidad aguda de este metal, no sufría secuelas; sin embargo, la información epidemiológica y toxicológica reunida permitió demostrar que los niños recuperados mostraban, con mucha frecuencia, desórdenes de comportamiento y aprendizaje⁸. Actualmente se conoce que el plomo se fija a los enzimas y altera la estructura y función de numerosas proteínas, interfiriendo así con la acción y la finalidad de muchos tipos diferentes de células del cuerpo; estos cambios pueden ocasionar daños permanentes a los órganos en crecimiento y es muy difícil revertir los efectos; también, puede causar lesiones al cerebro, los riñones y los órganos sexuales de los niños. Niveles bajos de intoxicación pueden causar reducción de la capacidad de concentración y pérdida de la audición; la exposición elevada puede provocar estado de coma, convulsiones e incluso la muerte.

CONTAMINACIÓN POR CADMIO.

Este metal es escaso en la corteza terrestre, sus minas son pocas y difíciles de encontrar. Aunque es un elemento químico esencial, necesario en muy pequeñas cantidades, es uno de los más tóxicos. Gran parte del utilizado con fines industriales se obtiene como subproducto del fundimiento de rocas que contienen Zinc, Plomo o Cobre; aproximadamente el 10% del cadmio consumido proviene del reciclado de chatarra de hierro y acero.⁹ Desde su descubrimiento a principios de siglo, su empleo se ha incrementado, especialmente en la fabricación de pilas, al igual que la contaminación en ciertas áreas. Debido a su parecido químico con el zinc, se le usa como sustituto en algunas aplicaciones.



Aunque industrialmente tiene numerosos usos, **la fuente más importante de descarga de cadmio al medio ambiente es la quema de combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo, y la incineración de la basura doméstica común.**

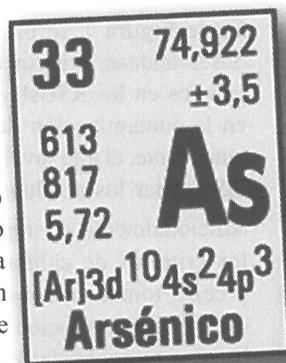
De manera general, tres cuartas partes del cadmio producido se aprovecha en la fabricación de baterías, especialmente de níquel-cadmio. Otras aplicaciones destacadas, son: recubrimiento en galvanoplastia; aleaciones de bajo punto de fusión; fabricación de aleaciones para cojinetes (debido a su bajo coeficiente de fricción y muy buena resistencia a la fatiga); soldaduras de muchos tipos; estabilizantes de plásticos como el PVC; elaboración de pigmentos a partir de sales como el sulfato de cadmio. Igualmente, se emplea en ciertos semiconductores y algunos compuestos fosforescentes de cadmio se aprovechan en televisores.

Aunque son claras las evidencias sobre la toxicidad del cadmio en algunos órganos vitales, la implicación real que este elemento tiene como agente tóxico ha sido poco estudiada y aún no se realizan estudios formales acerca de las consecuencias reales que tiene la acción de este metal en los organismos vivos, especialmente el humano. Existen actualmente algunas descripciones de posibles mecanismos de toxicidad del cadmio. Los estudios publicados determinan una función neuropsicológica deteriorada en niños expuestos ambientalmente al cadmio y efectos neurotóxicos en animales en desarrollo. Respecto a su incidencia en la carcinogenicidad, la Agencia Internacional de Investigación sobre el Cáncer¹⁰, plantea que hay suficientes evidencias sobre su efecto en animales y limitadas pruebas sobre lo mismo en las personas. Lo claro es que el cloruro de cadmio induce tumores testiculares y sarcomas locales en ratas inyectadas; en ratas sometidas a una exposición por inhalación se produce subcutáneamente un aumento dosis-dependiente en la incidencia de carcinomas pulmonares.

Por ello, el Cadmio debe ser monitoreado, máxime si se considera que padecimientos como el cáncer y enfermedades como las renales, hepáticas y pulmonares, pueden estar ligados con la exposición prolongada a este mineral.

CONTAMINACIÓN POR ARSÉNICO.

El arsénico fue descubierto en el siglo XIII por Alberto Magno, aunque se cree que mucho antes se empleó para dar un acabado lustroso al bronce. Paracelso (1493-1541) lo introdujo en la ciencia médica y Schroeder en 1649, publicó los métodos de preparación del elemento¹¹.



El arsénico, usualmente en los estados de oxidación +5 y +3, se encuentra disuelto en aguas con pH entre 5 a 9¹². Es usado comercial e industrialmente como agente en la manufactura de transistores, láser y semiconductores; procesos de bronceado; la fabricación de vidrio, pigmentos, textiles, papeles, adhesivos de metal, municiones, plaguicidas, productos farmacéuticos y preservantes de alimentos y madera¹³. El agua es el principal reservorio de contaminación por arsénico proveniente de la disolución natural de minerales de depósitos geológicos, la descarga de los efluentes industriales, la lixiviación de residuos urbanos y la sedimentación atmosférica. **Los microbios, plantas y animales pueden convertir todos los compuestos químicos de arsénico inorgánico en compuestos orgánicos comprometiendo átomos de carbono e hidrógeno vitales en la cadena trófica.**¹⁴

Las principales rutas de exposición de las personas al arsénico son la ingesta y la inhalación. Éste se acumula en el organismo por exposición crónica y superados ciertos niveles de concentración, puede ocasionar afecciones de la piel (relajamiento y dilatación de capilares cutáneos), lesiones dérmicas (neoplasias de piel), vasculopatías periféricas («enfermedad del pie negro»), enfermedades respiratorias, neurológicas (neuropatías periféricas), cardiovasculares y diversos tipos de cáncer (pulmón, riñón, hígado, vejiga y piel). Las personas que ingieren arsénico inorgánico, a través del agua de bebida, durante mucho tiempo, pueden presentar hiperqueratosis palmo-plantar cuya manifestación principal es pigmentación de la piel y callosidades en las palmas de las manos y pies.^{15, 16, 17}

En los alimentos se admiten hasta 3,5 ppm. En el tabaco se han encontrado hasta 13 ppm, provenientes de los plaguicidas usados en el cultivo de la planta.⁸ Sin embargo, algunos estudios de toxicidad del arsénico plantean la necesidad de reevaluar los valores límites basándose en estudios epidemiológicos, ya que muchas de las normas actuales, fundamentadas en las guías de la Organización Mundial de la salud –O.M.S.–, son muy altas. En los últimos años se advierte una tendencia general en países industrializados a reducir los límites máximos permitidos de arsénico en agua de bebida, debido al riesgo carcinogénico para la piel y algunos órganos internos (pulmón, hígado, riñón y vejiga) del ser humano en⁸. La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos –USEPA– clasifica lo clasifica como carcinógeno en el grupo A y el Centro de Investigaciones sobre cáncer lo ha clasificado en el grupo 1, indicando con dos calificativos que el agente (o la mezcla) es carcinógeno para los seres humanos^{18, 19}.

CONTAMINACIÓN POR MERCURIO.

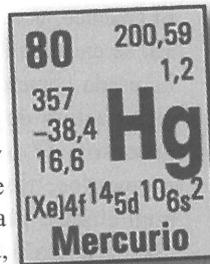
El mercurio ha sido utilizado en minería por más de 300 años. En Inglaterra, en 1800, fue usado para conservar y preservar el brillo de los sombreros de piel de castor; los empleados de esta industria desarrollaron, con frecuencia, síntomas de demencia atribuidos a la inhalación de mercurio elemental volatilizado. En Japón se presentó envenenamiento por este mineral cuando, desde 1932 hasta 1968, la Chisso Corporation, empresa de fertilizantes, petroquímicos y plásticos, vertió 27 toneladas de estos compuestos en la Bahía y el río de Minamata, que **se movieron a través de la cadena alimenticia y fueron consumido por los aldeanos en pescados tomados de la Bahía**. Miles de personas se afectaron entre 1953 y 1973 (20 años después) en lo que se llamó "La enfermedad de Minamata". En Iraq, entre 1971 y 1972, cientos de personas murieron y muchas fueron hospitalizadas después de comer pan que contenía en promedio 7.9 ppm de metilmercurio²⁰, elaborado con 90.000 toneladas de semillas de trigo importado previsto para plantar y tratado con fungicida de alquilmercurio. Las bolsas de las semillas fueron etiquetadas para no ser comidas pero la advertencia fue hecha en español.

El mercurio existe en tres formas básicas según su estado de valencia y los compuestos que puede formar con otros átomos: Elemental, inorgánico y orgánico. Estas formas difieren en sus características biológicas y toxicológicas, siendo los inorgánicos y principalmente los mucho más tóxicos orgánicos, verdaderas amenazas para el medio ambiente. Su peligro inminente radica en la forma en que el ciclo global puede alterarse debido a las emisiones producidas por la humanidad.

Respecto a sus fuentes, aproximadamente el 70-80% del impacto ambiental es generado por emisiones naturales (volcanes, evaporación de la corteza terrestre o de los océanos) y alrededor del 20-30% proviene de combustión de combustibles fósiles y fuentes antrópicas²¹, como las pilas de mercurio utilizadas en medicina e industrias electrónicas en aparatos contra la sordera, audífonos, calculadoras de bolsillo, relojes de pulsera y cámaras fotográficas electrónicas. Debido a su elevada toxicidad, poco a poco disminuye su uso, empleando en su lugar, pilas de Zn-aire.

CONTAMINACIÓN POR NIQUEL.

El níquel presente en los ecosistemas proviene de la meteorización de rocas y suelos, deposición atmosférica y actividades antrópicas como la minería, fundición y refinación del mismo a partir



de sulfuros y óxidos minerales; otros aportes, reportados por Nriagu y Pacyna (1988), son: líquidos y barros cloacales, centrales termoeléctricas, minería de metales, fundición y refinación de metales no ferrosos, producción manufacturera, productos químicos, pulpa y papel, productos de petróleo.

La toxicidad del níquel es de gran interés debido a su amplia presencia en el ambiente. La exposición usual es por inhalación y la principal ruta de absorción humana es la respiratoria, ya sea por exposición laboral o por el hábito de fumar, dado que **se ha reportado presencia de níquel en el humo del cigarrillo debido a la utilización en el cultivo del tabaco de pesticidas y abonos preparados con residuos municipales contaminados con el metal**. Los estudios epidemiológicos realizados en individuos expuestos han evidenciado la toxicidad del níquel y se ha observado el incremento del riesgo de contraer cáncer de pulmón y sinusal. Numerosos estudios realizados para evaluar la toxicidad de este metal han encontrado una gran evidencia de su genotoxicidad, concluyendo que puede provocar mutagénesis en células, producir la ruptura de DNA, aberraciones cromosómicas e intercambios de cromátidas hermanas²².

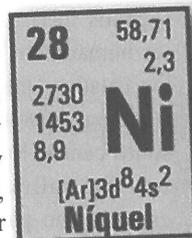
PROMEDIOS COMPARATIVOS DE LOS METALES PESADOS EN RSU_{sf} Y RSU_{nsf}

Con el propósito de establecer el nivel general de polución del suelo con metales pesados si se utiliza el potencial de los Residuos Sólidos Urbanos -RSU- como abonos orgánicos, los autores determinaron la concentración de los metales en mención en compost obtenido a partir de los Residuos Urbanos separados en fuente (RSU_{sf}) y los no separados en fuente (RSU_{nsf})²³, tomando los valores aportados por un total de 60 muestras obtenidas de diferentes municipios del departamento de Antioquia.

Es menester considerar que los RSU tiene su origen en la actividad doméstica y comercial de ciudades y pueblos. La recogida selectiva o separación en fuente es realizada por quien genera el residuo y se basa en dos pasos: primero, clasificación de los desechos en reutilizables, no reutilizables y orgánicos; y segundo, disposición de los residuos clasificados en contenedores específicos.

En la Figura 1 se presentan los resultados hallados, observándose, a partir de la sumatoria total de metales pesados en los RSU_{sf} y los RSU_{nsf}, una gran diferencia en la contaminación de ambos materiales. Ello indica, igualmente, el alto nivel de pertinencia del parámetro para diferenciar los residuos.

Adicionalmente es importante resaltar que para definir los criterios de calidad de una enmienda orgánica es preciso tomar en consideración la evidente diferencia entre la contaminación del material producido a partir de basuras no separadas en fuente y la del «bio-residuo» o



fracción orgánica recogida y seleccionada²⁴. Estudios comparativos como éste, aclaran el argumento de que los residuos debidamente separados y los desechos agropecuarios con muy bajos niveles de contaminación con metales pesados, son la base para el desarrollo y adopción de normatividades concernientes a la actividad agrícola.

BIBLIOGRAFIA:

¹ HOLDING, B.V. Metales Pesados. Agua residual y purificación del aire. Netherlands, 2003.
² Ibid.
³ Population Information Program. La contaminación y los riesgos para la salud. Baltimore. The Johns Hopkins University School of Public Health, 2000. p. 28-33.
⁴ Revista. Consumer.es. n°48 Octubre, 2001. <http://revista.consumer>
⁵ COREY, G. y GALVAO, L. Plomo. Serie Vigilancia 8. Metepec: Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud. O.P.S./O.M.S., 1989.
⁶ Ibid.
⁷ COREY, G. y GALVAO, L. Op.cit.
⁸ BUKA, Irena. Plomo y salud infantil. Boletín de la comisión para la cooperación ambiental de América del Norte, 2000. <http://www.cec.org/trio/stories/index..2000>.
⁹ REDDY, J; SVOBODA, S; AZARNOFF, D y DAWAR, R. Cadmium-induced cell tumors of rat testis: morphologic and cytochemical study, J. Natl. Cancer Inst. 1973. pp 51: 891-903.
¹⁰ TAKENAKA S, et al. Carcinogenicity of cadmium chloride aerosols in W rats. J. Natl. Cancer Inst. 1983. pp 70, 367-373.
¹¹ Miliarium Aureum, 2003. <http://www.miliarium.com/Monografias/Arsenic>
¹² Ibid.
¹³ WHO. Guidelines for drinking – water quality. 2nd. Ed. Vol II. Geneva: 1996.
¹⁴ SMITH, Allan H. et al. Contamination of drinking-water by arsenic. 2000.
¹⁵ TAKENAKA S, et al. Op. cit.

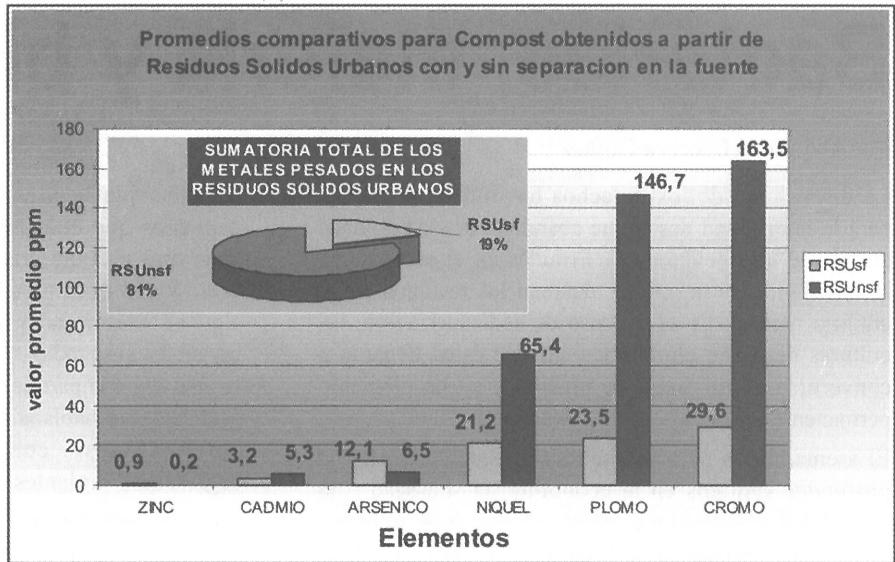


Figura 1. Comparación de los metales pesados en los RSUsf y RSUnsf.

¹⁶ SMITH, Allan H. et al. Op. cit.
¹⁷ MONROY, M. et al. Evaluación de la contaminación por arsénico y metales pesados (Pb, Cu, Zn) y análisis de riesgos en salud. Sierra Leona, San Luis de Potosí: Instituto de metalurgia, 2002.
¹⁸ Miliarium Aureum. Op. cit.
¹⁹ BCAS Newsletter. Arsenic Special Issue. 8, 1, 1997. <http://bicn.com/acic/r/..esources/infobank/asibcas.htm>
²⁰ KIMBROUGH, D.E; COHEN, Y; WINER, A.M.; CREELMAN, L.; y MABUNI, C. A critical assessment of chromium in the Environment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, 1999. pp 29, 1, 1-46.
²¹ Ibid.
²² PATIERNO SR, COSTA M. DNA-protein cross-links induced by nickel compounds in intact cultured mammalian cells. Chem. Biol. Interac, 1985; pp 55, 75-91.
²³ Datos no publicados. GIEM - Corporación de Patologías Tropicales – Universidad de Antioquia.
²⁴ BRINTON, William F. Compost Quality Standards & Guidelines; Final Report. New York State: Association of Recyclers, 2000.
 * Director Grupo de Investigaciones y Estudios Moleculares - GIEM-, Universidad de Antioquia -U de A-
 ** Investigadora GIEM, U de A. - macedo@matematicas.edu.co
 *** Corporación de Patologías Tropicales, U de A.

Trabajando por la cultura y el medio ambiente para que primen los intereses colectivos sobre los particulares

Corporación Ancón

Calle 82 sur No. 61-63 Int. 202 / Tel 279 1098 / E-mail: corancon@epm.net.co / La Estrella - Antioquia