

## Ejercicio 1

Sobre lo leído hasta el momento en el presente capítulo y de lo expuesto en el artículo anexo "Productos Químicos y Medio Ambiente" del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente:

- 1 Identifique en el cuadro adjunto, las principales sustancias mencionadas en el artículo y sus áreas de aplicación, así como sus efectos beneficiosos y negativos, tanto para el ambiente como para la especie humana, (cuadro en página 34).
- 2 De acuerdo con sus conocimientos de fuentes y medios de transmisión de los contaminantes químicos ambientales, señale a su criterio cuáles ámbitos (agua, aire, ambiente urbano, etc.) tienen mayor importancia relativa para los fines de salud pública.
- 3 De acuerdo con su experiencia, ¿cuáles son las principales fuentes de contaminantes químicos en el nivel donde usted trabaja? y ¿cuáles son las principales sustancias contaminantes generadas por dichas fuentes?

## II PRODUCTOS QUIMICOS Y MEDIO AMBIENTE\*

9 En los hogares, en la industria, en la agricultura y en la lucha contra las enfermedades, la humanidad utiliza un gran número de sustancias químicas diferentes. Según estimaciones recientes, hasta la fecha se han identificado unos cuatro millones de sustancias químicas (1). De ellas, sólo 30 000 se producen comercialmente. Las restantes son en su mayor parte productos intermedios, residuos o productos de laboratorio que no llegan directamente al público. Muchas de ellas figuran como ingredientes en mezclas, soluciones, polvos y demás productos. El número de estos productos es probablemente superior a un millón (2). Todos los años se descubren varios millares de sustancias químicas nuevas. Aunque la mayoría de estos nuevos compuestos son curiosidades de laboratorio que no llegarán a producirse comercialmente, los productos químicos nuevos que ingresan cada año en el mercado suman varios centenares. Aunque no cabe la menor duda de que muchos productos químicos han surtido efectos beneficiosos para la humanidad y el medio ambiente, algunos, sin embargo, han acarreado perjuicios sin precedentes.

10 Las sustancias químicas ingresan en el medio ambiente-y en el mismo organismo humano-a través de vías complejas e interrelacionadas. Algunas de ellas, como los fertilizantes, plaguicidas y herbicidas, ingresan en el medio ambiente como resultado de su aplicación directa; otras, como los óxidos de azufre, los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos

\*Fuente: Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente. El estado del medio ambiente: temas seleccionados. Oxford: Pergamon Press. 1978.

aromáticos policíclicos, aparecen en los procesos de combustión. Una tercera fuente de sustancias químicas son los afluentes resultantes de la fabricación, transporte y consumo de casi todos los productos utilizados por la sociedad moderna. En muchos procesos de fabricación se generan subproductos y residuos transportados por el aire y las aguas que a veces resultan más tóxicos que las materias primas. Una vez que han ingresado en el medio ambiente, las sustancias químicas experimentan una serie de transformaciones físicas y químicas, incluida su combinación con otros productos químicos, que afectan a su toxicidad. Como consecuencia de estas transformaciones químicas puede ocurrir que un producto relativamente inofensivo se convierta en un subproducto tóxico en el medio ambiente e incluso ingrese en la cadena alimentaria y se acumule en los organismos vivos.

11 Hoy en día se dispone de un volumen ingente de información científica sobre los efectos a corto plazo de productos químicos bien conocidos que entrañan riesgos para la salud humana o para las especies animales, especialmente los animales domésticos. Cuando una persona se ve expuesta a una cantidad de arsénico suficiente para causar la enfermedad o la muerte, los efectos son inmediatos y patentes. Lo que aún no se conoce es qué puede ocurrir cuando el organismo se ve expuesto a concentraciones muy reducidas de un determinado producto químico durante un período prolongado de 20 ó 30 años. Los efectos pueden no manifestarse sino después de transcurrido un largo plazo tras la exposición a una gran dosis durante un período breve o a una dosis relativamente reducida durante un período prolongado. Las consecuencias se pueden medir en términos de mortalidad y morbilidad o de cambios fisiológicos precursores de la morbilidad. Mediante

mutagénesis química se pueden inducir en el protoplasma mutaciones genéticas (producción de rasgos hereditarios nuevos y en gran medida perjudiciales), que pueden revestir un carácter permanente (3). Entre los peligros que puede entrañar para la salud la exposición a largo plazo a sustancias tóxicas se puede incluir también la posibilidad de efectos carcinógenos (cáncer) y teratógenos (defectos de nacimiento)(4, 5, 6).

12 Los productos farmacéuticos han supuesto una importante aportación para el tratamiento y prevención de las enfermedades humanas. No obstante, en los últimos años se ha prestado una especial atención a los peligros de la medicación. Ciertos tipos de medicamentos o la administración simultánea de varios medicamentos pueden dar lugar a reacciones adversas inesperadas. La acción de un determinado medicamento puede verse afectada no sólo por la administración simultánea de otro medicamento, sino también, según se ha encontrado, por la exposición del paciente a ciertos productos químicos, como insecticidas, contaminantes atmosféricos y compuestos contenidos en cigarrillos. También se ha manifestado cierta preocupación por la seguridad y eficacia de nuevos medicamentos que se han de administrar durante períodos prolongados, así como de otros que se han venido utilizando durante varios años. La tragedia de la talidomida a comienzos del decenio de 1960 despertó gran preocupación acerca de la posibilidad de que ciertos medicamentos produjeran malformaciones congénitas. Hoy día se sabe que algunos de los fármacos administrados normalmente bajo supervisión médica pueden producir cáncer (7, 8); los experimentos realizados con animales han demostrado que otros medicamentos u hormonas tienen también efectos carcinógenos (9) Los conocimientos científicos necesarios para interpretar los resultados de estos ensayos realizados con animales en tér-

minos de posibles daños al organismo humano son aún muy primitivos. El largo período de latencia que transcurre entre la exposición del organismo humano y la manifestación de los efectos hace difícil establecer una relación causa-efecto. Esto hace esencial que estos medicamentos sean detenidamente examinados antes de que sean ampliamente utilizados y distribuidos. Esto resulta especialmente cierto en el caso de los miles de fármacos y cosméticos de venta directa y utilización cotidiana (10, 11).

13 Los antibióticos y las hormonas se han venido utilizando ampliamente en las explotaciones ganaderas, como agentes de crecimiento y como medicinas (12, 13, 14). Se calcula que en los Estados Unidos de América el 80% de las proteínas de origen animal producidas para fines alimentarios proceden de animales que recibieron piensos medicinados durante una parte al menos de sus vidas (15). La medida en que estas sustancias constituyen un peligro sigue siendo, a pesar de la experiencia adquirida en esa esfera, una cuestión controvertible y sujeta a gran incertidumbre. Los peligros latentes son de varios tipos: a) aparición de residuos de los fármacos utilizados en los piensos animales en la carne destinada al consumo humano; b) aparición de bacterias patógenas resistentes y perjudiciales para otros animales; c) aparición de bacterias resistentes y potencialmente patógenas para el hombre.

14 Los plaguicidas químicos se están utilizando mundialmente cada vez a mayor escala. Actualmente son de uso común unos mil plaguicidas químicos. Las ventas anuales de insecticidas superan el cuarto de millón de toneladas. El 10% aproximadamente de la producción anual se aplica a fines relacionados con la salud pública: el resto se destina a la agricultura,

la silvicultura, la preservación y almacenamiento de productos alimenticios, la horticultura y las aplicaciones domésticas. A lo largo de los años, los plaguicidas han evitado sufrimientos incalculables en muchos países tropicales y semitropicales mediante la lucha contra el mosquito portador de la malaria (16). Su contribución al incremento de la producción agropecuaria es innegable. No obstante, los plaguicidas también han causado daños ecológicos sin precedentes. Aunque los hidrocarburos clorados (por ejemplo, DDT, aldrín, dieldrín) no son tan tóxicos como los carbamatos o los organofosfatos, algunas de sus características (especialmente su reducida tasa de biodegradabilidad) los han hecho peligrosos, sobre todo por sus efectos indirectos sobre organismos contra los que no están dirigidos. Su persistencia y su carácter ubicuo, junto con su tendencia a concentrarse en los organismos a lo largo de la cadena alimentaria, hacen que aumente su toxicidad para los peces, las aves y demás animales silvestres y, en última instancia, al organismo humano. Aunque no hay pruebas directas de que los plaguicidas actualmente en uso hayan sido causa de cánceres o defectos de nacimientos en los seres humanos, unos pocos estudios realizados con animales sometidos a altas dosis han puesto de manifiesto efectos de esta índole, así como algunos casos de posible mutagénesis (3). Aunque en el futuro seguirá siendo necesario combatir las plagas, ello no implica necesariamente la utilización de los plaguicidas del tipo actualmente en uso. Mucho se ha dicho y se ha escrito en los últimos años sobre posibles opciones para sustituir a los plaguicidas químicos. Se confía en que, mediante la combinación de métodos biológicos y químicos, sea posible combatir las plagas con mayor eficacia, mitigando así las posibles consecuencias adversas para el medio ambiente.

15 Los abonos nitrogenados y fosfatados se utilizan en grandes cantidades para aumentar la producción agrícola. Parte de estas sales inorgánicas no son utilizadas por las plantas y terminan en los ríos y lagos y en el mar (vía lixiviación). Cuando se encuentran en altas concentraciones, estos nutrientes inorgánicos determinan una excesiva fertilidad de las aguas. Esta eutrofización de las aguas da lugar a manifestaciones orgánicas molestas, por ejemplo, floraciones perpetuas de algas, y a la deterioración del medio acuático. La utilización excesiva de fertilizantes también puede surtir efectos perjudiciales sobre las plantas y los suelos (17). Se ha encontrado que la acumulación de nitrato en algunas plantas alimenticias, por ejemplo, en las espinacas, es peligrosa para los niños (18).

16 Como consecuencia de los adelantos realizados por las técnicas de producción y elaboración alimentarias y de ciertos cambios socioeconómicos (por ejemplo, el predominio creciente de los alimentos elaborados sobre los alimentos naturales, las nuevas pautas de consumo alimentario, las facilidades para el consumidor y la amplia comercialización), en la actualidad se utilizan miles de aditivos, como nutrientes, intensificadores del sabor, agentes de conservación, antioxidantes, emulsionadores, estabilizadores, etc. Aunque se ha trabajado mucho para normalizar el empleo de tales aditivos, los conocimientos de que se dispone acerca de sus efectos sobre la salud a largo plazo no son suficientes. De algunos aditivos se sospecha que son carcinógenos; otros podrían transformarse en compuestos carcinógenos en condiciones favorables (19, 20).

17 Los oligoelementos metálicos están ampliamente distribui-

dos por la atmósfera, la litosfera, la biosfera y la hidrosfera. Sus concentraciones naturales rara vez alcanzan niveles perjudiciales. Muchos de ellos resultan esenciales para la vida vegetal y animal. Sin embargo, en concentraciones excesivas pueden llegar a constituir una amenaza para la salud humana y el medio ambiente. Aunque se ha prestado bastante atención a ciertos metales pesados, como el cadmio, el plomo y el mercurio, otros metales, como el arsénico, el berilio, el zinc, el cobre, el antimonio y el selenio, también resultan peligrosos. Ciertos metales pueden combinarse con sustancias orgánicas para formar complejos metalo-orgánicos sumamente tóxicos, por ejemplo, cloruro de metilmercurio; en algunos casos, estas transformaciones las llevan a cabo microorganismos (21, 22). En los decenios de 1950 a 1960, la aparición de la enfermedad de Minamata en Japón como consecuencia del consumo de pescado procedente de la bahía de Minamata (donde se descargaban residuos de mercurio procedentes de una fábrica de cloruro de formaldehído y de vinilo en la que se utilizaba óxido de mercurio como catalizador) y del estuario de Agano, concentró la atención no sólo en la absorción y enriquecimiento del mercurio contenido en las aguas por los organismos marinos, sino también en la capacidad de éstos para transformar el mercurio en cloruro de metilmercurio, que es más tóxico (21). Ciertos organismos hacen gala de gran afinidad por determinados elementos, por ejemplo, las ostras concentran el zinc y otros mariscos son capaces de acumular grandes concentraciones de cadmio. Aunque el mecanismo y las causas de esta bioacumulación aún no son entendidos, hay pruebas de graves lesiones directas a los organismos que contienen altas concentraciones de estos metales. La descarga en tierra o aire de residuos que contienen elementos metálicos pesados entraña consecuencias ambientales serias. En Japón, el consumo de arroz contaminado con

los residuos de una fundición de zinc indujo una epidemia de envenenamiento por cadmio (enfermedad Itai-Itai)(22, 23). El plomo emitido con los gases de escape de los vehículos de motor contribuye a las concentraciones anormales de este elemento en las calles muy transitadas (24). La preocupación por los efectos nocivos del plomo en la salud humana ha llevado a reducir el contenido de plomo de los aditivos de la gasolina en algunos países y a buscarle sucedáneos en otros. En varios países se han registrado concentraciones excesivamente elevadas de varios elementos metálicos pesados asociadas con la descarga de residuos en el medio ambiente; en colaboración con el PNUMA y otras organizaciones, la OMS ha emprendido un programa para la formulación de criterios de salud ambiental en relación con estos elementos (25).

18 Además de elementos metálicos pesados, los desechos líquidos industriales suelen contener una amplia gama de productos químicos (por ejemplo, productos bioquímicos no degradables, ácidos, etc.). Cuando se descargan en el medio ambiente sin haber sido sometidos al tratamiento apropiado, estos residuos ocasionan una degradación ecológica considerable. Las consecuencias de los residuos industriales para las poblaciones acuáticas se han puesto de manifiesto de varias maneras en el Rin. Ejemplos análogos de degradación ambiental existen también en muchos otros países y han sido la causa de que se hayan emprendido diversas actividades tecnológicas y reglamentarias para el tratamiento de tales residuos antes de su evacuación.

19 Las emisiones gaseosas se dan también con frecuencia en la industria. Estas emisiones consisten en gran medida en óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, monóxido de carbono, bióxido de carbono e hidrocarburos. A lo largo de los años

se han registrado varios episodios graves de contaminación del aire. La interacción de los óxidos de azufre con partículas contenidas en el aire ha contribuido considerablemente a los efectos sobre la salud asociados con estos episodios. El smog fotoquímico (producido por reacción del  $\text{NO}_x$ , la luz solar y los hidrocarburos) tiene efectos perjudiciales para la salud humana, la vegetación y los materiales. Los óxidos de nitrógeno emitidos por distintas fuentes, el clorofluorometano utilizado como propulsor de aerosoles y refrigerante y varios otros compuestos clorados, como el tetracloruro de carbono y el metilcloroformo, constituyen otras tantas posibles fuentes de agentes catalíticos que penetran en la estratosfera terrestre y descomponen la capa de ozono que protege a los seres vivos de las radiaciones ultravioletas solares (26).

20 No todos los productos químicos elaborados por la industria alcanzan al público en general. Muchos de ellos son productos "intermedios" que se emplean en la elaboración o manufactura de productos "finales" para el consumo público. El PCB (policloruro de bifenilo), el acrilonitrilo y el cloruro de vinilo constituyen sendos ejemplos de tales productos intermedios, algunos de los cuales pueden resultar peligrosos. Por ejemplo, se ha reconocido que, cuando está presente en la atmósfera, el cloruro de vinilo constituye un potente carcinógeno para los seres humanos (27). El PCB, las dioxinas y varios otros compuestos "intermedios" son sumamente tóxicos, carcinógenos, teratógenos o mutagénicos. La higiene laboral es una cuestión que interesa a un número cada vez mayor de industriales, trabajadores y gobiernos. En muchos países se han promulgado normas de seguridad para el medio laboral a fin de reducir la exposición a las partículas contenidas en el aire, a los gases y a los vapores. En algunos de ellos se han fijado límites máximos permisibles

para unas 500 substancias nocivas (28, 29). En muchos países en desarrollo se tiende a adoptar las normas de exposición laboral recomendadas por la OIT. Sin embargo, el cumplimiento de estas normas puede no ser muy estricto o no abarcar a los trabajadores de las pequeñas industrias, a pesar de que éstas pueden emplear a una fracción considerable de la fuerza laboral (30).

21 La descarga accidental de tales productos químicos peligrosos en el medio ambiente ha dado lugar a diversos efectos perjudiciales. El policloruro de bifenilo ocupa una posición central entre las sustancias descargadas inadvertidamente en el medio ambiente debido a escapes, rotura de contenedores o demás accidentes. En una fuga a gran escala ocurrida en el Japón, que determinó la contaminación de aceite de arroz con PCB fugado de unos intercambiadores de calor, se registraron varios casos de enfermedad entre los consumidores humanos, que llegaron a producir la muerte de los pacientes graves y causaron una erupción cutánea de tipo cloracné en los casos más suaves. También se ha encontrado que el PCB es sumamente tóxico para los crustáceos marinos: la descarga accidental de un gran volumen de PCB en la bahía de Escambia (Florida) causó una gran mortalidad entre los camarones. La dioxina descargada en la atmósfera tras la explosión de una planta química en Seveso (Italia) en 1976 produjo daños ecológicos considerables en la zona y tuvo unos efectos perjudiciales para la salud. Entre los escolares expuestos a la dioxina se han registrado unos 340 casos de cloracné (31, 32).

22 Naturalmente, la forma más eficaz de controlar el flujo de productos químicos nocivos en el medio ambiente consiste en reducir al mínimo o interrumpir del todo su producción y

descarga. La cantidad y el tipo de las emisiones y subproductos tóxicos vienen determinados en gran medida por la tecnología utilizada; por consiguiente, uno de los elementos claves para controlar la existencia de sustancias peligrosas es el mejoramiento de los equipos y el desarrollo de técnicas alternas. Muchos de los productos químicos que se aplican intencionadamente en el medio ambiente en razón de sus propiedades tóxicas pueden llegar a constituir una amenaza para la salud humana y dañar a otros organismos vivos distintos de aquellos a los que estaban destinados. Aunque los riesgos reales de varias familias de productos químicos no están aún plenamente documentados, las pruebas reunidas hasta la fecha indican claramente que es necesario esforzarse en encontrarles sustitutos no tóxicos. El rápido crecimiento de la producción y el consumo de bienes ha hecho que el control de flujo de desechos peligrosos en el medio ambiente se convierta en una de las principales preocupaciones de casi todos los gobiernos. El primer problema con que se tropieza es el de los criterios para abordar la identificación, definición y clasificación de los desechos tóxicos. En segundo lugar, es preciso optar por uno u otro de los distintos conceptos de ordenación de los desechos, conceptos que van desde la recuperación y utilización completas hasta la eliminación de los residuos en emplazamientos adecuados y seguros. La reducción de los desechos en la misma fuente podría conseguirse mediante modificaciones de las tecnologías, restricciones a la utilización de productos químicos peligrosos o sustitución de los mismos por otras sustancias menos tóxicas y mejora del control de calidad para reducir los desperdicios. Los procesos de tratamiento pueden incluir la separación y concentración de desechos, la recuperación de materiales y energía, la incineración, la destoxificación y la

neutralización. Por último, en el caso de residuos tóxicos que no se presten a ninguno de los métodos que se acaban de mencionar, un método adecuado de eliminación puede ser su almacenamiento en condiciones de seguridad.

23. Varios países han establecido mecanismos para regular la utilización de los productos químicos: se han definido requisitos de ensayo, se han fijado normas y niveles de tolerancia y se han elaborado listas de ingredientes permitidos o prohibidos. Además, se han reglamentado las emisiones de productos químicos a través de chimeneas y desagües. Mediante leyes sobre la contaminación del aire y las aguas, se han adoptado medidas para reducir la deterioración del medio ambiente o los efectos del medio contaminado sobre el hombre. No obstante, ante el incesante crecimiento del número de productos químicos resulta absolutamente necesario emprender una investigación a fondo para evaluar sus repercusiones ambientales. Se ha venido observando en el pasado que, cuando en un país se prohíben ciertos productos químicos peligrosos, los fabricantes se limitan a exportarlos a otros países donde no están prohibidos. En su decisión 85 (V), del 25 de mayo de 1977, el Consejo de Administración reconoció la necesidad de prestar atención a este tipo de comercio de productos químicos peligrosos.

24 Por conducto del programa de evaluación mundial llamado "Vigilancia Mundial", el PNUMA promueve y coordina muchas actividades destinadas a perfeccionar la evaluación de las tendencias y repercusiones ambientales de los compuestos químicos, especialmente sus efectos a largo plazo. Entre los participantes activos en el plano internacional hay que citar a la Organización Mundial de la Salud (OMS) y a la Orga-

nización Internacional del Trabajo (OIT), en lo que se refiere a la higiene laboral, al Centro Internacional de Investigaciones sobre el Cáncer (CIIC), en lo que se refiere a la evaluación de los efectos carcinógenos de los productos químicos, y al Registro Internacional de Productos Químicos Potencialmente Tóxicos (RIPQPT) y al Sistema Mundial de Vigilancia del Medio Ambiente (SIMUVIMA), donde muchos órganos nacionales e internacionales aúnan sus esfuerzos para vigilar la aparición de productos químicos peligrosos en el medio ambiente.

## REFERENCIAS DEL ARTICULO

- 1 Chemical Abstracts Service, informe N° 5, octubre de 1976, pág. 2.
- 2 ECE: Control of the flow of toxic substances throughout the environment. ENV/R.69 (1977).
- 3 H.V. Malling y J.S. Wasson, "Action of mutagenic agents", en Wilson y Fraser, Handbook of teratology, (1977), págs. 99 a 152.
- 4 L. Tomatis y colaboradores, "Evaluation of the carcinogenicity of Chemicals; A review of the IARC Monograph Programme (1971-1977)" , Cancer Research (en prensa), 1978.
- 5 R. Montesano y L. Tomatis, "Les Cancerogenes Chimiques", Lyon Med. 14: 107 a 117 (1977).
- 6 J. G. Wilson y C.F. Fraser, Handbook of Teratology, 4 vols. (1977).
- 7 J. Higginson, "Cancer Etiology and Prevention", en: J.F. Fraumeni, Persons at high risk of cancer (Nueva York, Academic Press, 1975), pág. 385.
- 8 R. Hoover y J.F. Fraumeni, "Drugs", en J.F. Fraumeni, Persons at high risk of cancer (Nueva York, Academic Press, 1975), pág. 185.
- 9 IARC Monographs on the Evaluation of the Carcinogenic Risk of Chemicals to Man, Vol. 1-Vol. 17 (Lyon, 1972 a 1978).

- 10 Handbook of non-prescriptive drugs, 5a. edición (American Pharmaceutical Association, 1977).
- 11 R. Gosselin y colaboradores, Clinical Toxicology of Commercial Products, 4a. edición (Williams and Wilkins Co., 1976).
- 12 E.M. Umberger, "Products marketed to promote growth in food-producing animals: steroids and hormone products", Toxicology 3: 3 a 21 (1975).
- 13 P.R. Moore y colaboradores, "Use of sulfasuxidine, streptothricin and streptomycin in nutritional studies with the chick", J. Biol. Chem. 165, 437 (1946).
- 14 National Academy of Sciences: The use of drugs in animal feeds, Proceedings of a symposium (Washington, D.C., 1969).
- 15 FDA: Use of antibiotics in animal feeds, Informe de un grupo de trabajo de la FDA (Washington, D.C., 1972).
- 16 Organización Mundial de la Salud, Documentos Oficiales N° 190, apéndice 14, págs. 174 a 181 (1971).
- 17 J. Phillips, "Problems in the use of chemical fertilizers", en: M.T. Farvar y J.P. Milton, The careless Technology (Garden City, Nueva York, The Natural History Press, 1972), pág. 549.
- 18 W. Schupan, "Nitrate Problems and Nitrate-Hazards as influenced by ecological conditions and by fertilization of plants", ibid. pág. 577.

- 19 UNEP/GC/88 (1977).
- 20 V.L. Zarazian, "Cancer hazards in food", *The Ecologist*, 7, 12 (1977).
- 21 J. Cook, "Environmental pollution by heavy metals", *Intern. J. Environmental Studies*, 10, 253 (1977).
- 22 E.D. Goldberg, *The health of the oceans* (París, UNESCO Press, 1976).
- 23 V Hiatt y J.E. Hulf, "The environmental impact of cadmium", *Intern. J. Environmental Studies* 7: 277-285 (1975).
- 24 UNEP/GC/61/Add.1 (1976).
- 25 OMS, *Environmental Health Criteria: Mercurio (1976) y Cadmio* (en preparación).
- 26 UNEP/GC/88 (1977).
- 27 IARC Monograph N° 16, Lyon (1978).
- 28 M.A. Winell, "An international comparison of hygienic standards for chemicals in the work environment", *Ambio*, 4, 34 (1975).
- 29 A.V. Roschin y L.A. Timofeevskaya, "Chemical substances in the work environment, some comparative aspects of USSR and US Hygienic standards", *Ambio*, 4, 30 (1975).

- 30 E.P. Eckholm, The picture of health (Nueva York, Norton and Co., 1977).
- 31 A. Hay, "Dioxin damage", Nature, 226, 7 (1977).
- 32 "Seveso: un crimine di pace", Sapere, N° 796 (1976).

TIPO DE SUBSTANCIA	AREAS DE APLICACION	E F E C T O S	
		BENEFICIOSOS	NEGATIVOS

## 5 METALES

### 5.1 Introducción

Los metales son aquellos elementos químicos que presentan ciertas propiedades comunes, a saber: conductividad eléctrica y térmica altas, maleabilidad, ductibilidad y brillo (1).

Los metales se encuentran en forma aislada como tales o combinados formando minerales. Los minerales constituyen parte de la corteza terrestre, formando depósitos superficiales o profundos en donde se encuentran concentrados, o bien, se encuentran disueltos en el agua de los océanos.

En ciertos medios del ecosistema, la concentración de algunos metales se puede elevar tanto que llega a constituir una contaminación, la cual puede ser de origen natural, de acuerdo a un ciclo biogeoquímico, o bien puede ser una contaminación causada por una actividad humana, entonces considerada antropogénica.

La contaminación natural por metales se produce a partir de las actividades volcánicas, los procesos de erosión, los escapes de depósitos profundos y superficiales, etc.

Nos referimos a algunos de los metales más ubicuos y a aquéllos que en concentraciones elevadas tienen efectos tóxicos. Con las características anteriores tenemos el aluminio (Al), el arsénico (As), el Cadmio (Cd), el Cromo (Cr), el mercurio (Hg), el manganeso (Mn) y el plomo (Pb).

## 5.2 Contaminación atmosférica

La contaminación antropogénica del aire por metales se produce a partir de gases y partículas derivados de la combustión de los carburantes fósiles (carbón y petróleo) utilizados en fuentes fijas de la industria o bien de la combustión de los mismos originada en los vehículos. Otras fuentes importantes de contaminación son los procesos de minería y fundición de metales. Debido a que los metales tienen una presión de vapor baja, son poco volátiles y por lo tanto, su tasa de emisión es poco elevada; sin embargo, en los procesos en donde se utilizan temperaturas muy altas (fundición y combustión de carburantes fósiles) la emisión de metales se eleva considerablemente.

Entre los metales, aquéllos cuyo depósito en la atmósfera está controlado por procesos naturales, son escasos, y como caso excepcional se encuentra el aluminio que debido a su ubicuidad y a su concentración alta en los materiales geológicos se sigue considerando un contaminante de origen natural; para el resto de los metales su concentración atmosférica ha aumentado debido a causas antropogénicas.

### 5.2.1 Factor de interferencia

Lantzy y Machenzie (2) obtuvieron datos relativos a los flujos de emisiones naturales y de emisiones antropogénicas para 20 metales. Para cada metal calcularon la relación entre ambos flujos, llamando factor de interferencia atmosférica a esta relación. Este factor sirve para determinar la importancia de los flujos antropogénicos.

La fórmula del factor de interferencia es la siguiente:

$$\text{Factor de interferencia} = \frac{\text{Flujos de emisión antropogénica}}{\text{Flujos de emisión natural}} \times 100$$

Las emisiones antropogénicas son las emisiones particuladas de la industria más las emisiones de la combustión de carburantes fósiles. Las emisiones naturales son las detectadas como flujos de polvos terrestres más los flujos de gases y polvos volcánicos.

FIGURA 4  
FLUJOS DE LAS EMISIONES NATURALES Y ANTROPOGENICAS DE ALGUNOS  
METALES PARA TODO EL PLANETA (2)

M E T A L	FLUJO (tons/año)	
	EMISIONES NATURALES	EMISIONES ANTROPOGENICAS
Aluminio	48 925 840	7 200 000
Arsénico	2 810	78 000
Cadmio	290	5 500
Cromo	58 400	94 000
Fierro	27 775 370	10 700 000
Manganeso	605 210	316 000
Mercurio	40	11 000
Plomo	5 871	2 030 000
Selenio	413	14 000

### 5.2.2 Depósitos atmosféricos

Los metales se encuentran dispersos en la atmósfera en forma de partículas o gases disueltos en el agua atmosférica. Los metales en la atmósfera se transportan, movilizan y finalmente se depositan sobre el agua, los suelos y la biota terrestre.

- a) Depósito de partículas. Las partículas mayores de 10 micras ( $\mu\text{m}$ ) se depositan por efecto de la gravedad y las de menor tamaño por impactación del aerosol y por adsorción gaseosa, siendo este último mecanismo válido tan sólo para los metales que llegan a formar gases, como son el arsénico, el mercurio, el selenio, el cadmio, el zinc y el plomo.
- b) Depósito húmedo. No se conoce ni la proporción ni la magnitud del depósito de los metales disueltos en el vapor de agua.

### 5.2.3 Especies fisicoquímicas

El potencial de interacción de los metales con los elementos del ecosistema está relacionado con las formas fisicoquímicas en las que se encuentra el metal.

El estado físico de los metales está definido por el tamaño de las partículas, que pueden ser pequeñas y disueltas en una solución, partículas medianas suspendidas formando un coloide o partículas de mayor

tamaño suspendidas en un medio gaseoso.

La especie química de los metales está definida por: a) el estado de óxido-reducción, b) el tipo de uniones químicas (iónicas o covalentes) y, c) el tipo de asociación de las diferentes especies físicas. A continuación se muestra en la figura una ejemplificación sobre la materia, referida al mercurio.

FIGURA 5  
ESTADOS FISICOQUIMICOS EN QUE SE PUEDE PRESENTAR EL  
MERCURIO EN EL AMBIENTE

ESTADOS QUIMICOS	OXIDOREDUCCION	Hg <sup>0</sup> (neutro) Hg I (oxidado) Hg II (oxidado)
	I O N I C O	Hg <sup>+2</sup> S <sup>-2</sup>
	COVALENTE	CH <sub>3</sub> -Hg CH <sub>3</sub> -Hg-CH <sub>3</sub>
ESTADOS FISICOS	Vapor Solución Coloide	

### 5.3 Contaminación terrestre

En los suelos la concentración de metales varía de región a región. Por otro lado, no se conoce cual es la

contribución a esta concentración por parte de los metales presentes en la atmósfera. Sólo se conoce el hecho de que al acidificarse los suelos, aumenta la movilización de algunos metales y consecuentemente aumenta su absorción por las plantas.

Los metales que tienen una gran movilidad (dispersión) en los suelos son el aluminio, el cadmio, el manganeso y el fierro. El cobre y el níquel tienen una movilidad media, en tanto que el cobalto y el plomo tienen una movilidad baja, (3).

No se cuenta con datos suficientes para clasificar el arsénico, el berilio, el mercurio, el molibdeno, el selenio y el estaño (3).

Los metales son absorbidos por las plantas tanto a través de la superficie de las hojas como a través de las raíces. La toxicidad vegetal de los metales dependerá de su solubilidad y de su facilidad para ser absorbidos; estas características están favorecidas por la acidez del agua de interfase de las hojas y del suelo.

En los suelos muy ácidos se elevan los niveles de aluminio libre; en general en estos suelos las plantas de tipo anual no crecen. Al aumentar la acidez de los suelos de regiones boscosas los árboles presentan un aspecto enfermizo, se defolian y llegan a morir; se presupone que este estado es debido a la acción tóxica del aluminio (4).

Entre las plantas, los líquenes tienen la propiedad de acumular los metales en forma proporcional a la concentración atmosférica de los mismos. Existen también

plantas superiores que acumulan un tipo específico de metal, como es el caso del Astragalous sp, que acumula selenio en sus raíces y en sus brotes (5).

Para los vegetales sólo se ha demostrado la toxicidad del aluminio y se considera como posibles tóxicos al manganeso y al zinc (3).

#### 5.4 Contaminación acuática

Los metales disueltos en el medio acuoso son fácilmente absorbidos por la biota acuática; es decir, tienen una alta biodisponibilidad en este medio. Se conoce como biodisponibilidad a la capacidad de interacción de un contaminante con el sistema biológico.

A la relación de la concentración del contaminante en los tejidos de la biota con la concentración de ese mismo contaminante en el medio, se le llama factor de bioconcentración. Cuando el valor de este factor es mayor a uno se dice que ese contaminante se bioconcentra.

En otros medios, como el terrestre, la biodisponibilidad y la bioconcentración son significativamente inferiores que en el acuoso.

FIGURA 6  
 FACTOR DE BIOCONCENTRACION DE ALGUNOS METALES (6)\*

MEDIO	ARSENICO	CADMIO	MERCURIO	PLOMO
<u>Acuático</u>				
Agua	1	1	1	1
Plantas	170	1 000	1 000	200
Invertebrados	330	2 000	100 000	100
Peces	330	200	1 000	300
<u>Terrestre</u>				
Suelo	1	1	1	1
Plantas	0,01	0,03	0,4	0,07
Invertebrados	0,01	17	- -	0,02
Mamíferos	0,001	0,008	5	0,001
Aves	0,001	- -	50	0,001

\*Los valores expresados en la tabla son promedios obtenidos a partir de diversos experimentos.

Se dice que un contaminante se bioacumula cuando el factor de bioconcentración aumenta con el tiempo de exposición, lo que se mide a través de la edad del organismo.

Los metales que se bioconcentran en las algas marinas son el aluminio, el cobre, el mercurio, el manganeso, el níquel, el plomo y el zinc. En la biota acuática se acumulan principalmente el cadmio y el mercurio; el manganeso en el esqueleto de los peces (3). Esta acumulación depende de la acidez del medio acuoso y de la disminución en la concentración acuática del calcio. De los metales, el más tóxico para los peces es el aluminio (3).

El fenómeno de la biomagnificación consiste en la acumulación de un contaminante que se transfiere a través de la cadena alimentaria. Dicho fenómeno se da con los metales mercurio y aluminio, en mamíferos consumidores de pescado y en pájaros insectívoros respectivamente (3).

### Ejercicio 2

Calcule los factores de interferencia atmosférica de los metales que aparecen en la figura 4. Forme además dos grupos: un grupo con los metales cuyo depósito atmosférico depende principalmente de las emisiones naturales, y otro de metales depositados preferentemente por procesos antropogénicos. De los metales en estudio, ¿cuáles son los que "más contaminan" la atmósfera y diga si esta contaminación es debida principalmente a procesos naturales o antropogénicos?

### Ejercicio 3

Se encontró que los peces de un estuario contenían por kilogramo de tejido 0,5  $\mu\text{g}$  de As, 2  $\mu\text{g}$  de Hg, 0,3  $\mu\text{g}$  de Cd y 5  $\mu\text{g}$  de Pb.

Con estos datos y con los de la tabla de bioconcentración (figura 6), calcule la concentración de metales contaminantes en el agua del estuario y en los crustáceos (invertebrados) que habitan dicho estuario.

Observe en 3.4.1 de este capítulo la fórmula y guíese por ella.