

Toxicología ambiental

Nilda A.G.G. de Fernícola

Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud,
Organización Panamericana de la Salud. México, D.F.

Toxicología

La toxicología es la ciencia que estudia los efectos nocivos de los agentes químicos sobre los organismos vivos; el profesional que trabaja en este campo, el toxicólogo, está especialmente preparado para reconocer dichos efectos y evaluar la probabilidad de que se presenten orientándose a alguna de las múltiples áreas en las cuales se divide esta ciencia.¹

En efecto, si se considera el concepto toxicología y los agentes químicos presentes en las diversas actividades realizadas por el hombre, esta ciencia puede dividirse, para fines prácticos y didácticos, en cinco áreas: toxicología de los alimentos, toxicología ambiental, toxicología de los medicamentos o farmacotoxicología, toxicología ocupacional y toxico-

logía social. Así mismo, los estudios realizados por el toxicólogo en cada una de ellas pueden abarcar tres aspectos: clínico, analítico y experimental.²

Medio ambiente

El medio ambiente ha sido definido como el conjunto del sistema externo físico y biológico en el cual viven el hombre y otros organismos; constituye, pues, un todo de gran complejidad en el cual interactúan muchos elementos.³

Así, se considera que el ambiente humano comprende aquellas influencias físicas, químicas, biológicas y sociales que tienen un efecto significativo y detectable sobre la salud y el bienestar del individuo o de las comunidades.⁴

El término contaminación del medio es una forma convencional para referirse a las sustancias biológicas, químicas y físicas que entran en contacto con el medio, sobre todo a causa de las actividades humanas.⁵

Agentes químicos

El *Chemical Abstracts Service* de la *American Chemical Society* ha llegado recientemente en sus registros a la sustancia número siete millones. Cada año aparecen en la bibliografía química mundial 420.000 nuevas sustancias. La información obtenida en los países industrializados muestra que, actualmente, se usan de manera general unos 70.000 productos químicos, es decir el 1% del total de los conocidos⁶ de los cuales unos 3.000 representan el 90% del volumen total en peso.⁷

Toxicología ambiental

A pesar de la larga historia de los problemas ambientales y del interés en el ambiente por parte de grupos de científicos, la salud y la toxicología ambientales, como disciplinas, son relativamente nuevas y han emergido a causa del deterioro del medio. El avance tecnológico de los países desarrollados ha hecho que una multitud de agentes químicos ingresen al ambiente y

afecten la salud de la población general.⁸

Según Trieff,⁸ la toxicología ambiental es un campo híbrido, una aplicación de los principios toxicológicos al ambiente, que se vale de disciplinas como la bioquímica, la anatomía, la fisiología, la microbiología, la patología, la salud pública, la higiene industrial, la química analítica y la ingeniería industrial.

Por otra parte, para Duffus,⁹ es el área de la toxicología que se encarga del estudio de los efectos de las sustancias químicas, naturales o sintéticas, que se encuentran en el ambiente, sobre el mismo.

Igualmente, Loomis¹⁰ la define como el área de dicha ciencia que estudia las causas, las condiciones, los efectos y los límites de seguridad de la exposición incidental de organismos vivos y, más específicamente, del hombre, a agentes químicos que contaminan el ambiente, los alimentos y el agua.

La tarea principal del toxicólogo ambiental es evaluar los riesgos relacionados con la presencia de esas sustancias. Con base en esta evaluación, se le puede solicitar asesoramiento sobre las medidas para prevenir que las sustancias alcancen niveles peligrosos o para disminuir el daño cuando éstos han sido alcanzados realmente.⁹

El término toxicología ambiental ha entrado en uso en los años recientes, en especial

desde que la contaminación ambiental producida por metales y sus efectos sobre la salud han sido reconocidos. Difiere de la ocupacional en que se ocupa de la exposición de la población general, incluyendo niños, ancianos y enfermos, a agentes químicos en dosis bajas.¹¹

Su principal objetivo es proveer la información necesaria para establecer los patrones ambientales para agentes químicos. Otro de sus objetivos es el logro de un ambiente limpio, libre de contaminación por agentes químicos. Este sólo puede ser alcanzado si se dispone de estudios interdisciplinarios sobre una escala que pueda brindar la información precisa sobre la contaminación por agentes químicos en la época pasada, presente y futura y, en particular, sobre los efectos de esos agentes sobre la salud humana.¹¹

La toxicología ambiental es el área de la toxicología que crece más rápidamente. La preocupación del público por lo referente a los agentes contaminantes y a su posible efecto crónico, en especial carcinógeno, ha aumentado en Estados Unidos y se evidencia a través de las nuevas investigaciones y de la legislación.³ No ocurre lo mismo en otros países, especialmente en los tercermundistas.

El número de contaminantes ambientales es enorme e incluye efluentes domésticos e industriales, productos de la combustión de combustibles fósiles, agentes químicos de uso agrícola

y muchos otros que pueden ser encontrados en los alimentos, el aire y el agua.¹²

Agentes químicos contaminantes del ambiente

Los agentes químicos contaminantes ambientales pueden inducir en el hombre una amplia gama de efectos biológicos nocivos. Los efectos tóxicos agudos o crónicos pueden observarse en el feto, el niño o el adulto y comprenden desde alteraciones bioquímicas hasta la muerte. Como efectos más específicos pueden considerarse el cáncer, los efectos teratogénicos y los mutagénicos. Además, los contaminantes y sus precursores pueden interactuar in vivo y producir efectos sinérgicos.

No es de esperar que los efectos fisiopatológicos de la exposición a las sustancias químicas contaminantes ambientales varíen de un lugar a otro del mundo, pero su intensidad puede ser más pronunciada en los países tercermundistas debido a las deficientes condiciones de higiene y a la malnutrición, entre otras. Al estudiar las repercusiones de estas sustancias en la salud deben considerarse las interacciones de algunos factores peculiares en estos países, como las infecciones de las vías respiratorias altas, del tracto gastrointestinal y de la piel por microflora; la malnutrición, la cual influye en la toxicidad de los agentes químicos o en los meca-

nismos de biotransformación del organismo; el clima y los trastornos genéticos, entre otros.⁵

Para proteger a los grupos de población de los efectos adversos de los agentes químicos contaminantes ambientales es necesario obtener nociones básicas de su toxicidad para el hombre. Sin embargo, el conocimiento de los efectos de estos agentes químicos sobre la fisiología humana no es suficiente para determinar el riesgo del público, en general, ante dichos agentes. Se deben conocer, además, el número de personas expuestas y el grado de exposición, así como las fuentes de emisión de esos agentes químicos; esto último, para implementar estrategias de control, efectivas y nacionales.

Exposición significa el contacto físico con un agente y la severidad de este contacto. Por otro lado, se entiende por dosis la cantidad de agente que atraviesa las barreras físicas de la persona y entra en su sistema.¹³

Varios factores determinan el efecto específico que un agente químico contaminante ambiental produce sobre los individuos que viven en ese ambiente. Entre ellos se destacan el grado de absorción, los procesos de biotransformación y la rapidez y el grado de eliminación de los xenobióticos. Estas tres fases deciden, en última instancia, el destino de estos agentes y su influencia sobre los organismos con los cuales están en contacto.¹⁴

Debe recordarse que los mamíferos están en un constante estado de equilibrio, pues en ellos el ingreso de los agentes mencionados al organismo, se compensa con su salida de él. El ingreso está determinado en gran parte por la vía de exposición y por las características químicas del agente.

En condiciones normales de exposición a cantidades pequeñas y moderadas de agentes químicos contaminantes ambientales, el organismo es capaz de biotransformar tales sustancias en compuestos más solubles en agua y más fácilmente eliminables, especialmente, a través de la orina. En exposiciones masivas o en exposiciones repetidas a cantidades moderadas, se produce acumulación en el organismo vivo y, en última instancia, una intoxicación. Sin embargo, ésta última depende de los mecanismos biológicos de biotransformación y eliminación.

*Agentes químicos contaminantes
del ambiente y sus efectos
sobre la salud humana*

Una vez que las sustancias químicas han ingresado al ambiente, sufren cambios físicos y químicos —dentro de los cuales se incluyen su combinación con otros compuestos químicos que modifican su toxicidad—, y a través de lo cual una sustancia poco peligrosa puede producir en el ambiente un derivado tóxico, éste puede, posteriormente, entrar a la

cadena alimentaria y acumularse en los organismos vivos.¹⁵

Los contaminantes ambientales pueden agruparse en cuatro categorías.¹⁶ La primera comprende aquellos agentes químicos naturales que pueden encontrarse en exceso en la dieta, como los nitratos y los nitritos. Recientemente, el nitrito ha sido implicado indirectamente como un agente carcinógeno debido a que puede reaccionar con compuestos poseedores de grupos amino y formas nitrosaminas, los cuales, como se sabe, lo producen en animales.¹⁷

La segunda comprende toxinas naturales de hongos o de plantas cosechadas; entre las más notables pueden citarse las aflotoxinas. Estas son producidas por ciertas capas de *Aspergillus flavus* y de *Aspergillus parasiticus*, hongos ubicuos y con un gran potencial para contaminar alimentos y piensos.

La presencia y la magnitud de la contaminación con aflotoxinas varía en función de factores geográficos y estacionales y, también, de las condiciones en las cuales se cultiva, se cosecha y se almacena un producto agrícola.

La exposición a aflotoxinas debe mantenerse en el nivel más reducido posible dadas las pruebas relativas a sus efectos, especialmente, los carcinógenos, en varias especies de animales, y del vínculo entre la intensidad de la exposición a dichas toxinas y la incidencia del cáncer hepático en

seres humanos observada en algunas partes del mundo.¹⁸

La tercera categoría comprende mezclas complejas, orgánicas o inorgánicas, como los contaminantes del aire y del agua o los agentes químicos de origen industrial como los compuestos volátiles del alquitrán, los cuales abarcan, a su vez, un amplio número de compuestos.

Los epidemiólogos estiman que, actualmente, entre el 70 y el 90% de todos los tipos de cáncer humano pueden producirse por la exposición a agentes químicos carcinógenos presentes en el ambiente. Los hidrocarburos aromáticos policíclicos se encuentran dispersos en la atmósfera, el suelo y el agua. La combustión del carbón en quema de residuos, hornos domiciliarios y hornos de quema de coque son las mayores fuentes de producción y se calcula que contribuyeron, en Estados Unidos entre 1971 y 1973, en más del 87% del total de emisiones de benzo —a— pireno, el más prevalente de estos hidrocarburos, detectado en la atmósfera. Las emisiones de los vehículos, aunque menos significativas en el total, son fuentes importantes de los hidrocarburos antes mencionados, en muchas comunidades urbanas, especialmente en las regiones adyacentes a autopistas y aeropuertos.¹⁹

Por último, puede considerarse como otro grupo de agentes químicos sintéticos, aquellos de uso en la agricultura, los

plaguicidas, los aditivos de los alimentos, y los de los combustibles, los productos químicos de uso en el hogar y los de uso industrial.

Los compuestos orgánicos de manganeso, metilciclopentadienil-manganeso-tricarbonilo por ejemplo, son usados como aditivos de la gasolina, del aceite combustible y del aceite Diesel en motores de combustión interna y de turbina y, lógicamente, son una fuente de contaminación del aire con manganeso.²⁰

Los trihalometanos, nombre genérico con el cual se designan los derivados halogenados del metano, se forman durante la cloración del agua que contiene compuestos precursores, entre estos últimos las más comunes son las sustancias húmicas.^{21,22} Se ha encontrado, además, que algunos de ellos, como el cloroformo, CHCl_3 , producen cáncer en ratones. Esta revelación causó mucha preocupación en las áreas de salud pública acerca de la seguridad del agua para beber y se pidió una revisión de los procesos de desinfección de la misma, en especial, del de cloración.²³

Las sustancias químicas entran al ambiente por vías complejas e interrelacionadas. Algunas de ellas como los fertilizantes, los insecticidas y los herbicidas lo hacen como resultado de la aplicación directa; otros, como el dióxido de azufre, los óxidos de nitrógeno, y los hidrocarburos

aromáticos policíclicos se originan en procesos de combustión.¹⁵

Otras sustancias químicas contaminantes del ambiente son los residuos de procesos de manufactura, transporte y consumo de, casi todos, los productos usados por la población. Muchos de estos procesos originan desechos y subproductos indeseables que contaminan el aire y el agua y que, a veces, son más tóxicos que la materia prima que les dio origen.¹⁵

Los plaguicidas, debido a su característica de combatir las plagas y a su amplia difusión, son uno de los principales grupos de compuestos químicos identificados como peligrosos para el ambiente.

Puesto que el DDT se ha rociado sobre individuos, animales domésticos, construcciones, cosechas y bosques, no es extraño que se halle ampliamente distribuido en el medio ambiente. Así mismo, no hay duda de que la exposición a este producto aumenta la producción de oxidasas microsómicas de función mixta y causa notables alteraciones morfológicas en el hígado de algunos roedores. Algo semejante a un umbral de estímulo en la inducción de la producción de enzimas microsómicas se observó en trabajadores con concentración media p,p' DDT en suero sanguíneo de 0,573 mg/l, no así en aquellos cuya concentración fue 0,052 mg/l la cual sería la más al-

ta detectada en los individuos de la población general.²⁴

El potencial de los metales pesados de producir efectos sobre el ambiente fue reconocido con ocasión de las denominadas enfermedades de Minamata e Itai-Itai, causadas por concentraciones locales altas de metilmercurio y cadmio, respectivamente.

El metilmercurio, $\text{CH}_3\text{Hg(II)}$, es una de las formas más tóxicas del mercurio y causa daño irreversible en el sistema nervioso central. En Japón, en la bahía de Minamata, ocurrieron casos de intoxicación debido al consumo de pescado contaminado con tal compuesto y obtenido en ese lugar.

Se estableció que el origen del metilmercurio eran los residuos de una fábrica, los cuales eran lanzados al agua; los microorganismos allí presentes, por vía enzimática y no enzimática, producían la metilación del mercurio metálico y de los compuestos inorgánicos.²⁵

Del mismo modo, los efectos crónicos del cadmio fueron reconocidos primero en la exposición industrial. A fines del decenio de 1960, se estableció que la contaminación ambiental por cadmio era la causa de una enfermedad ósea detectada en Japón y denominada enfermedad Itai-Itai. Desde entonces, el interés de los científicos hacia los estudios de dicho elemento, como contaminante ambiental, ha ido aumentando.²⁶

El problema de los bifenilospoliclorados, conocidos en inglés como PCB, fue identificado debido a su interferencia en el análisis de plaguicidas organoclorados en muestras de suero humano. *Yusho* es el término oficial con el cual se designa la intoxicación en masa causada por los bifenilospoliclorados, ocurrida en Japón, en 1968. Estos fueron ingeridos por la población en el aceite de arroz, contaminado durante el proceso de manufactura. El diagnóstico de esta intoxicación depende principalmente de los signos cutáneos.²⁷

Estos hallazgos exigen una aproximación sistemática para identificar aquellas sustancias con el potencial mayor de producir efectos ambientales.²⁸

Referencias

1. DOULL, J.; KLAASSEN, C. D. and AM-DUR, M.O. *Casarett and doull toxicology*. The basic science of poisons. 2. ed. New York, McMillan Publishing, 1980.
2. FERNICOLA, N. A. G. G. de. *Contribución de la toxicología para alcanzar la meta de salud para todos en el año 2000*. Boletín de la Oficina Sanitaria Panamericana 99(6): 586-593, 1985.
3. PROGRAMA DE las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. *El estado del medio ambiente*, 1976.
4. WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Health hazards of the human environment*. Geneva, 1972.
5. ORGANIZACION MUNDIAL DE LA SALUD. *Vigilancia de la contamina-*

- ción del medio en relación con el desarrollo.* Ginebra, 1985. (Informes Técnicos, 718).
6. EDITORIAL: QUEST for chemical safety. IRPTC Bulletin 7(2): 1-2, 1985.
 7. ABOUT CHEMICALS and Chemophobia. IRPTC Bulletin 6(1): 2, 1983.
 8. TRIEFF, N. M. *Environment and Health.* Ann Arbor Science Publisher, 1980.
 9. DUFFUS, J. H. *Environmental toxicology.* London. Edward Arnold, 1980.
 10. LOOMIS, T. A. *Essentials of toxicology.* Lea and Febiger, Philadelphia, USA, 2. ed., 1976.
 11. TSUCHIYA, K. *Perspectives in the environmental toxicology on trace metals.* IN: International Symposium. Proceedings Recent Advances in the Assessment of the Health Effects of Environmental Pollution. CCE/WHO/USEPA, EUR 5360, París 24-28, June 1974; Vol. IV, pág. 2351-2363.
 12. HODGSON, E. and GUTHRIE, F. E. *Introduction to biochemical toxicology.* New York, Elsvivier, 1980.
 13. RIORDAN, C. *Human exposure to environmental pollutants.* Journal Toxicology. Clinical Toxicology 21(1-2): 1-8, 1983-84.
 14. OEHME, F. *Absorption, biotransformation and excretion of environmental chemicals.* Clinical Toxicology 17(1): 147-158, 1980.
 15. CHEMICALS AND the environment. Ambio 7(5-6): 240-243, 1978.
 16. EPSTEIN, S. S. *Assessment of the influences of environmental pollutants on cancer and the other chronic diseases.* IN: International Symposium. Proceedings Recent Advances in the Assessment of the Health Effects of Environmental Pollution. CCE/WHO/USEPA, EUR, París 24-28, June 1974; Vol. IV, pp. 2367-2386.
 17. E.M.L. *Nitrite and food-preservation.* News Report 32(7): 14-17, 1982.
 18. ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. *Criterios de Salud Ambiental 11: Micotoxina.* Washington, 1983. (Publicación Científica, 453).
 19. HARVEY, R. G. *Polycyclic hydrocarbons and cancer.* American Scientific 70: 386-393, 1982.
 20. TOLONEN, M. *Industrial toxicology of manganese.* Work Environmental Health 9: 53-60, 1972.
 21. AMY, G. L.; CHADIK, P. A. and KING, P. H. *Chlorine utilization during trihalomethane formation in the presence of ammonia and bromide.* Environmental Science Technology 18: 781-786, 1984.
 22. FERNICOLA, N. A. G. G. de. and ACEVEDO, F.A. *Water levels of trihalomethanes (THM) in four different supply systems from São Paulo State (Brazil)* Journal Environmental Health 46(4): 187-188, 1984.
 23. CHANG, S. L. Ann Rev Public Health 3: 393-418, 1983.
 24. ORGANIZACION PANAMERICANA DE LA SALUD. *Criterios de Salud Ambiental 9: DDT y sus derivados.* Washington, 1982. (Publicación Científica, 425).
 25. RABENSTEIN, D. L. *The chemistry of methylmercury toxicology.* Journal Chemical Education 54(5): 292-296.
 26. NORDBERG, G. F. *Health hazards of environmental cadmium pollution.* Ambio 3(2): 55-66, 1974.
 27. URABE, H. and ASHI, M. *Past and current dermatological status of yusho patients.* Environmental Health Perspectives 59: 11-15, 1985.
 28. KORTE, F. *Approaches for prospective environmental protection.* Presentado en el Seminario sobre Química Ambiental y Ecotoxicología, CETESB, São Paulo, 1979.