

Capítulo 4

Contaminación ambiental. Origen, clases, fuentes y efectos

Lilia A. Albert *

1. INTRODUCCIÓN

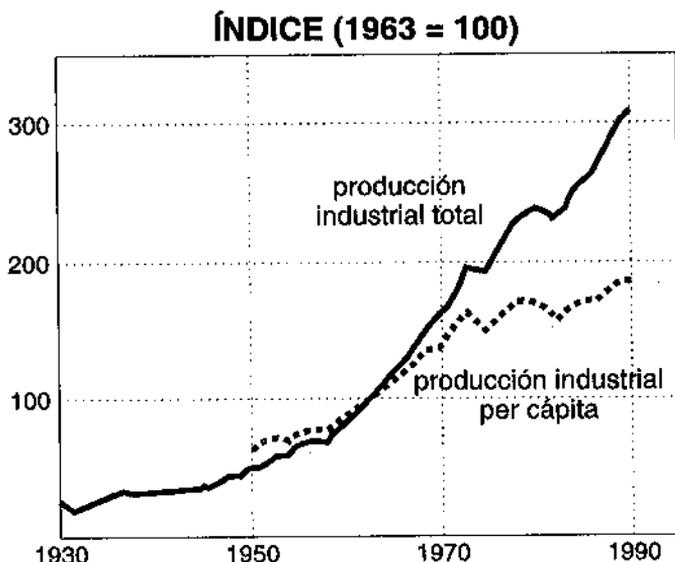
La contaminación ambiental siempre ha existido pues, en parte, es inherente a las actividades del ser humano. Sin embargo, en años recientes se le ha debido prestar cada vez mayor atención, ya que han aumentado la frecuencia y gravedad de los incidentes de contaminación en todo el mundo y cada día hay más pruebas de sus efectos adversos sobre el ambiente y la salud, aunque hasta hace relativamente poco se considerara que éstos no existían, que no había pruebas suficientes de ellos, o bien, que los efectos eran leves o, inclusive, signos de progreso.

Los efectos más graves de la contaminación ocurren cuando la entrada de sustancias (naturales o sintéticas) al ambiente rebasa la capacidad de los ecosistemas para asimilarlas y/o degradarlas. Aunque los casos de contaminación se iniciaron a fines del siglo XVIII, durante la Revolución Industrial, se agravaron considerablemente después de la Segunda Guerra Mundial, cuando en el mundo aumentó el consumo de energía, así como la extracción, producción y/o uso de diversas sustancias –tanto naturales como

* Sociedad Mexicana de Toxicología, A.C., Xalapa, Ver.

sintéticas— para las cuales los mecanismos naturales de asimilación o degradación han sido rebasados o no existen. Como ejemplo se puede ver la figura 4.1.

FIGURA 4.1
Producción Industrial Mundial



Fuente: Modificado de Meadows DH et al. (1992).

Existen muchas definiciones de contaminación ambiental pero, para fines prácticos, se puede considerar que es la *introducción o presencia de sustancias, organismos o formas de energía en ambientes o sustratos a los que no pertenecen o en cantidades superiores a las propias de dichos sustratos, por un tiempo suficiente, y bajo condiciones tales, que esas sustancias interfieren con la salud y la comodidad de las personas, dañan los recursos naturales o alteran el equilibrio ecológico de la zona.*

Otra definición útil es la que la considera simplemente como la “acumulación indeseable de sustancias, organismos o formas de energía en un sustrato”.

Un ejemplo de contaminación es la presencia de bióxido de carbono en el aire en concentraciones que excedan a las naturales, también llamadas concentraciones o niveles basales. Otros ejemplos pueden ser el ruido o el calor excesivos en los ambientes de trabajo, mientras que, en una discoteca, los mismos niveles de ruido o de calor pueden considerarse como deseables o, por lo menos, aceptables.

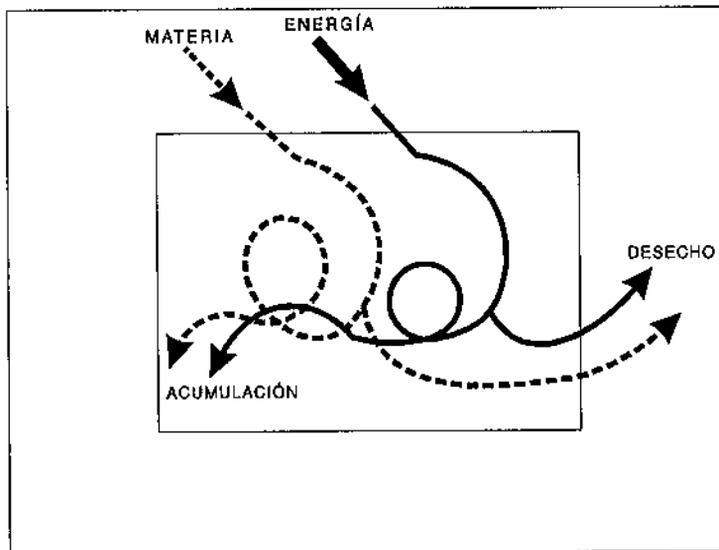
Por lo tanto, para que se considere que hay contaminación, se debe tomar en cuenta que ésta depende del lugar, el tiempo, el tipo de contaminante y la cantidad en que éste se encuentre y, hasta cierto punto, también de la situación específica y/o la percepción subjetiva.

2. ORIGEN DE LA CONTAMINACIÓN

Conforme a la primera Ley de la Termodinámica, la materia y la energía no se crean ni se destruyen (véase también el Cap. 3). Por lo tanto, para que se mantenga el equilibrio en un sistema —por ejemplo, el planeta, un organismo, una ciudad, un río— cualquier forma o cantidad de materia o energía que entre en él, deberá salir tarde o temprano. Si esto no ocurre, la materia o energía que se encuentren en exceso se acumularán en el sistema y darán origen a la contaminación, como se resume en la figura 4.2. En consecuencia, por ejemplo cuando se explotan los depósitos naturales de un metal, éste y sus impurezas entrarán al ambiente y, si se considera al mundo como un sistema cerrado, es evidente que se generará contaminación. Lo mismo ocurre cuando se producen, utilizan o desechan sustancias sintéticas (xenobióticas).

Existe también la contaminación debida a causas naturales, como las erupciones volcánicas y la erosión. Sin embargo, en términos generales, la contaminación de origen natural nunca es tan grave como la de origen antropogénico, de la misma manera que sus efectos adversos, sobre todo a largo plazo, son menores. En síntesis, la contaminación puede ser natural o antropogénica, esto es, generada por las actividades humanas.

FIGURA 4.2
Contaminación, Materia y Energía



Fuente: Modificado de Flores J et al. (1995).

3. CAUSAS DE LA CONTAMINACIÓN

Como ya se dijo, las principales son las actividades del hombre, en particular, las productivas, por ejemplo, las relacionadas con la generación de energía –incluyendo la explotación de los recursos naturales no renovables, como el petróleo o los diversos minerales– la industria en general, o la agricultura. Sin embargo, también pueden causar contaminación las actividades no productivas, como las que se realizan dentro del hogar o las asociadas con el transporte o los servicios.

La contaminación también puede ser consecuencia de procesos sociales como el crecimiento demográfico, los movimientos migratorios y la urbanización a causa de los cuales, por ejemplo, en un sitio determinado se pueden generar mayores cantidades de desechos. Una causa adicional son los patrones culturales, en particular, los asociados con la economía de

consumo. Actualmente un factor de gran importancia es el uso generalizado –en el hogar, la industria o la agricultura– de sustancias sintéticas para diversos fines. En un lugar en particular, y en un momento dado, pueden existir simultáneamente varias de estas causas.

4. CLASES DE CONTAMINACIÓN

La contaminación ambiental se puede clasificar de diversas maneras, las que se eligen, a menudo, conforme a los intereses de un estudio o el objetivo de la clasificación, por ejemplo, para fines de control legal. Las siguientes son las clasificaciones principales.

4.1 POR EL PROCESO QUE LA CAUSA

Si la contaminación es resultado de un proceso en el cual los seres humanos no participan y que, por lo tanto, no pueden controlar, se le considera de origen natural; algunos ejemplos son la emisión de diversas sustancias durante una erupción volcánica o el transporte río abajo de los materiales que son arrastrados por las aguas durante las inundaciones.

En cambio, si independientemente de la naturaleza del contaminante, como resultado de las actividades humanas, dicho contaminante se encuentra en un medio al que no corresponde, o en concentraciones por arriba de las naturales –tal como sucede con la presencia de plomo en el aire de las ciudades o con las concentraciones actuales de bióxido de carbono en la atmósfera– se dice que la contaminación es de origen antropogénico.

4.2 POR EL TIPO DE CONTAMINANTE

Conforme a esta clasificación, los contaminantes pueden ser biológicos, físicos y químicos. Entre los primeros están, por ejemplo, el *Vibrio cholerae* cuando se encuentra en el agua o diversas especies de *Salmonella* cuando están en los alimentos. Ejemplos de contaminantes físicos son el ruido, las radiaciones y el calor. Algunos contaminantes químicos son los clorofluorocarbonos (CFC) en la estratosfera, o los detergentes en los cuerpos acuáticos.

4.3 POR EL ORIGEN DE LOS CONTAMINANTES

En general, los contaminantes pueden ser de origen natural o artificial, esto es, generados por el hombre. Los contaminantes biológicos sólo pueden ser naturales, mientras que los contaminantes físicos pueden ser de las dos clases. Los contaminantes químicos también pueden ser de las dos clases: naturales, –como las aflatoxinas, el bióxido de carbono o los metales pesados– y sintéticos, como los detergentes y la mayoría de los plaguicidas.

Entre los contaminantes químicos de origen natural hay dos casos: aquéllos que se encuentran en un sustrato, como el agua o el aire, por arriba de su concentración natural (concentración basal), como puede ocurrir por ejemplo con el plomo y otros metales pesados y sólo entonces se pueden considerar como contaminantes; o bien, los que no deben encontrarse en un medio y, por lo tanto, en cualquier concentración en que se encuentren en ellos se consideran como contaminantes; tal es el caso de las aflatoxinas cuando están presentes en los alimentos.

Los contaminantes químicos sintéticos han sido generados por el hombre y, por lo tanto, no existen de manera natural, por lo que también se les llama xenobióticos. La presencia de cualquier contaminante sintético, en cualquier medio y en cualquier cantidad, se considera nociva porque:

- La concentración basal de estas sustancias es cero, y
- No existen mecanismos naturales para degradarlas.

En resumen, según el origen de los contaminantes químicos, éstos pueden ser:

- Naturales, pero que rebasen los límites dentro de los que se consideran inofensivos
- Naturales, pero que estén en un ambiente o sustrato al que no pertenecen, o
- Nuevos en el mundo (xenobióticos).

El plomo es un ejemplo de una sustancia natural cuya concentración en el aire aumenta como resultado de las actividades del hombre, por lo que, como contaminante, se considera de origen antropogénico. El ozono es una sustancia cuya alta concentración es natural en otro entorno, pero no en el aire respirable, por lo que se considera como contaminante atmosférico (véase el Capítulo 9) y, finalmente, los CFC son ejemplos de sustancias que nunca antes existieron en el ambiente (véanse los Capítulos 10 y 20).

CUADRO 4.1
Origen y Clase de los Contaminantes Químicos

		PROCESO CONTAMINANTE	
		Natural	Antropogénico
Natural	-	Bacterias	- Plomo
	-	Virus	- CO ₂
	-	Hongos	- Calor
	-	Radiaciones	- Radiaciones
Xenobiótico (Artificial)	NO EXISTEN		- CFC
			- DDT
			- Detergentes

En el cuadro 4.1 se muestran las combinaciones que pueden existir entre la manera en que se producen los contaminantes (origen natural y antropogénico), y su clase (natural y xenobiótico), así como algunos ejemplos de cada caso.

4.4 POR LA NATURALEZA QUÍMICA DEL CONTAMINANTE

Los contaminantes de origen natural, a su vez, se clasifican en orgánicos, por ejemplo las toxinas naturales, como las micotoxinas, e inorgánicos, como el asbesto, el plomo y los polvos.

El caso de las toxinas naturales es extremadamente importante para los países de América Latina y en la región existen numerosos casos docu-

mentados, pero debido a limitaciones de espacio no se tratará en este documento.

4.5 POR SUS EFECTOS

Independientemente de su origen, algunos contaminantes causan efectos indeseables en los seres vivos, por lo que se les llama contaminantes tóxicos. Usualmente, este término se reserva para las sustancias químicas sintéticas (xenobióticas), mientras que a las procedentes de organismos vivos y que causan efectos adversos de cualquier tipo, por lo común se les conoce como toxinas.

En términos generales, se considera que una sustancia es tóxica si causa:

- Daño funcional o anatómico en los organismos expuestos
- Cambios irreversibles en el equilibrio fisiológico (homeostasia) del organismo
- Aumento en la sensibilidad a otros agentes químicos, físicos o biológicos, incluyendo los organismos patógenos que causan las enfermedades infecciosas, o bien
- Si su presencia es incompatible con la vida.

Para mayores detalles sobre este tema, véase el Capítulo 5.

4.6 POR EL SUSTRATO AFECTADO

Dependiendo del medio en que se acumulen los contaminantes, se habla de contaminación del agua, del aire, de los alimentos, etc. Esta clasificación es la que se emplea más comúnmente con fines de vigilancia y control legal y puede tener subclasificaciones, por ejemplo, contaminación del agua subterránea, de los suelos agrícolas o del aire urbano. Sin embargo, con fines de investigación, para evaluar por separado los efectos de cada contaminante y asignar de manera correcta los impactos ambientales correspondientes, usualmente se prefiere usar alguna de las otras clasificaciones.

Esto se debe a que, en un medio en particular, pueden existir, de manera simultánea, diversos contaminantes de varios tipos y orígenes los que, además, estarán pasando continuamente de un medio a otro, por ejemplo, del aire al agua o del agua hacia los alimentos, los suelos o los organismos, o bien, se encontrarán al mismo tiempo en varios medios (sustratos), por lo que, para fines de investigación, no se puede aislar su presencia en un medio dado, de su presencia en todo el ecosistema, incluyendo a los organismos.

5. PRINCIPALES CLASES DE CONTAMINACIÓN

5.1 CONTAMINACIÓN BIOLÓGICA

Ocurre cuando un microorganismo –por ejemplo, una bacteria– se encuentra en un sustrato al que no pertenece o bien, en uno al que sí pertenece, pero en concentraciones que exceden a las naturales en ese sustrato. Comúnmente, esta contaminación se debe a deficiencias en los servicios de saneamiento básico como drenajes y sistemas de tratamiento de aguas, a un bajo nivel de educación o a hábitos higiénicos incorrectos. En este caso, la asociación entre la causa de la contaminación y su efecto se puede establecer con facilidad, y también es factible tomar oportunamente medidas adecuadas de prevención y control, por ejemplo: vacunación, recolección de la basura y su confinamiento en rellenos sanitarios, educación para la salud, etcétera.

En general, en la actualidad la contaminación biológica se puede reducir, evitar o controlar con relativa facilidad mediante sistemas cuya técnica es ampliamente accesible. Sus efectos adversos suelen estar bien localizados en el tiempo y en el espacio, lo que permite identificar su origen y, eventualmente, controlarla. Sin embargo, si no existe este control, la contaminación biológica puede causar graves epidemias con gran número de enfermos y muertos.

En los países industrializados, la contaminación biológica está bien controlada y, por lo tanto, no causa grandes problemas, sin embargo, en muchos países de América Latina todavía es motivo importante de preocupación y origina diversos problemas recurrentes de salud pública, de

los cuales el más grave en este momento es la epidemia del cólera que afecta desde hace algunos años a varios países de la región.

5.2. CONTAMINACIÓN FÍSICA

Como ya se dijo, se debe a la presencia en un sustrato determinado, de formas de energía que sobrepasan los niveles basales respectivos en dicho sustrato. Las contaminaciones por calor (contaminación térmica), ruido y radiaciones ionizantes son algunos ejemplos. Este tipo de contaminación puede presentarse tanto en ambientes cerrados como abiertos.

En el caso de la contaminación física, con frecuencia es difícil establecer la asociación entre el contaminante y sus efectos pues, en general, estos aparecen a largo plazo y frecuentemente son ambiguos, por lo que pueden pasar varios años antes de que se observen y, muchos más, antes de que se asocien con una forma especial de contaminación, se identifique su origen y se controle.

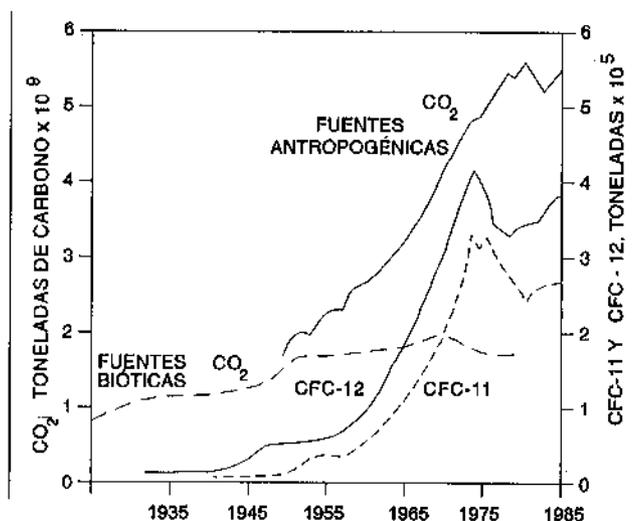
La contaminación física puede ocasionar diversos efectos indeseables, entre ellos, muerte de animales y plantas, mutaciones, cáncer, efectos siconeurológicos, defectos congénitos y otros igualmente graves.

5.3. CONTAMINACIÓN QUÍMICA

Este tipo de contaminación ha aumentado considerablemente después de la Segunda Guerra Mundial, sobre todo, como consecuencia del desarrollo tecnológico acelerado y de la industrialización en países que, hasta hace relativamente poco, eran principalmente agrícolas. Entre los resultados de estos cambios se encuentran:

- El aumento en las fuentes de contaminación química
- La entrada masiva al ambiente de numerosas sustancias de origen sintético y, desde luego
- La movilización y uso crecientes de sustancias naturales, como los metales pesados o el petróleo, que los seres humanos extraen de los yacimientos y que, al incorporarse a los ciclos biogeoquímicos, los desequilibran (véanse las figuras 4.3 y 4.4 y el Capítulo 3).

FIGURA 4.3
Emisiones de Gases que Contribuyen al Efecto de Invernadero y a la Destrucción de la Capa de Ozono



Fuente: Modificado de Flores J et al. (1995).

Todo esto, aunado a la urbanización creciente y a la dependencia del transporte a base de vehículos con motor de combustión interna, ha causado diversos efectos adversos derivados de este tipo de contaminación, que son cada vez más notorios y motivan una creciente preocupación social.

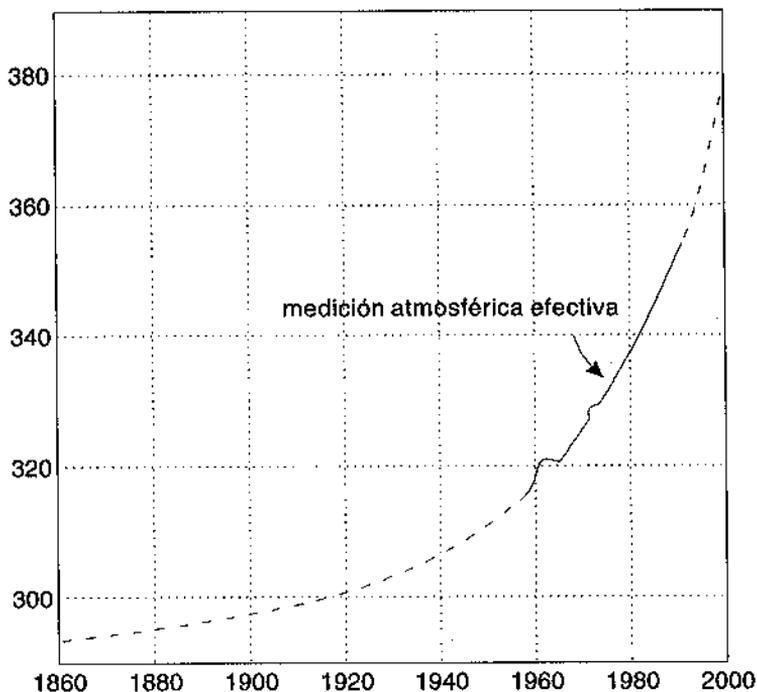
Como ya se dijo, la contaminación química puede ser de origen natural o antropogénico, enseguida se discuten brevemente ambos tipos.

5.3.1 Contaminación química de origen natural

Por lo común está limitada en el tiempo y en el espacio, ya que suele estar asociada con circunstancias específicas. Debido a que, en este caso, los contaminantes son naturales, con facilidad se integran a los ciclos biogeoquímicos del lugar y se dispersan o se degradan. Esto significa que, en

general, este tipo de contaminación no causa problemas a largo plazo ni en sitios muy distantes de su origen.

FIGURA 4.4
Concentraciones de Bióxido de Carbono en la Atmosfera



Fuente: Modificado de Meadows DH et al. (1992).

5.3.2 Contaminación química de origen antropogénico

En contraste con la anterior, ésta puede ocurrir por la entrada al ambiente de sustancias naturales en cantidades que rebasan la capacidad de los mecanismos naturales de degradación, o bien, por la entrada de sustancias xenobióticas, para las que estos mecanismos no existen. Actualmente, éste es uno de los tipos de contaminación que causan más problemas en todo el mundo, a corto o largo plazo, y que son más difíciles de controlar.

6. FUENTES DE LA CONTAMINACIÓN

Estas pueden ser naturales y antropogénicas. Por lo general, las fuentes naturales están relacionadas con la composición de suelos y aguas, los componentes de algunos alimentos, las emanaciones volcánicas, etc., y representan un porcentaje bajo de los problemas de salud pública debidos a la contaminación. Sin embargo, en ciertas zonas, por ejemplo, aquéllas en que hay concentraciones elevadas de arsénico en el agua para el consumo humano o de selenio en los suelos, pueden causar problemas graves.

Las fuentes antropogénicas de la contaminación son más importantes como causas de problemas de salud pública, su naturaleza y el tipo de contaminantes que emiten son muy variados. Por la actividad que las origina pueden clasificarse en:

- Industriales
- Mineras
- Agropecuarias
- Artesanales
- Domésticas.

Por otra parte, en el caso particular de la contaminación atmosférica, se clasifican adicionalmente en:

- Fijas, y
- Móviles.

Finalmente, dependiendo de su localización, ocasionalmente también se clasifican como fuentes dispersas y localizadas, a las que en algunos documentos se les llama “puntuales” (*point sources*).

7. LOS CONTAMINANTES QUÍMICOS Y EL AMBIENTE

Cuando un contaminante químico entra al ambiente, su comportamiento en él dependerá, en primer lugar, de:

- Su naturaleza química
- Sus características fisicoquímicas
- Su cantidad, y
- La frecuencia de las emisiones.

Sin embargo, también influirán los factores característicos del ambiente de que se trate, entre ellos:

- Temperatura
- pH
- Humedad
- Luz
- Calor
- Naturaleza de los organismos presentes en el medio, y las
- Interacciones de estos con la sustancia.

Desde luego lo más importante es la naturaleza química del contaminante, pues de ella dependen sus características fisicoquímicas y, de éstas, su persistencia, movilidad ambiental y, finalmente, su capacidad de interactuar con los organismos vivos e incorporarse a las redes tróficas y contaminarlas.

8. EFECTOS ADVERSOS DE LA CONTAMINACIÓN

La contaminación puede causar efectos adversos muy variados, ya sea sobre los organismos aislados (efectos tóxicos), o sobre los ecosistemas y el equilibrio ambiental en general (efectos ecotóxicos).

La contaminación también puede causar efectos adversos de tipo estético, económico, social y político a los que, con frecuencia, no se les da oportunamente la debida atención y han llegado a causar graves problemas socio-políticos.

En seguida se presentan las relaciones de estos efectos con el tiempo, la distancia a la fuente y los sistemas afectados (véase también el Capítulo 5).

8.1 EFECTOS Y TIEMPO

La contaminación puede causar efectos inmediatos, esto es, que se observan a corto plazo, o bien, efectos mediatos, que sólo aparecen a largo plazo, es decir, después de varios años y, ocasionalmente, en generaciones posteriores a la que estuvo expuesta al agente.

8.2 EFECTOS Y DISTANCIA A LA FUENTE

Por lo común, los efectos ocurren en lugares cercanos al origen del contaminante, en cuyo caso se conocen como efectos microambientales, como los daños a la vegetación o a la salud de las poblaciones humanas en una zona en particular, a causa de los contaminantes que se generan en ella.

Sin embargo, también pueden ocurrir efectos adversos en sitios remotos de aquél en el cual se generaron los contaminantes y estos efectos pueden alterar varios ecosistemas en todo el mundo, en cuyo caso se conocen como efectos macroambientales, globales o transfronterizos. Este tipo de efectos son resultado indirecto del desequilibrio ambiental inducido por uno o más contaminantes de efecto similar que se generan al mismo tiempo en diversos lugares del planeta. Entre los efectos macroambientales de importancia actual están la lluvia ácida, el efecto de invernadero (véase el Capítulo 10) o la contaminación global por diversas sustancias persistentes (véase el Capítulo 20).

8.3 EFECTOS Y ORGANISMOS

Aquéllos que afectan a los organismos vivos se llaman efectos biológicos; como ya se dijo, estos pueden ser tóxicos si afectan a un organismo en particular; o ecotóxicos, si afectan a uno o más ecosistemas, como ocurre con la desaparición de especies o la alteración del hábitat.

Los efectos sobre los ciclos biogeoquímicos en general se llaman efectos no biológicos. Pueden ser de diversas clases e incluyen efectos físicos como el de invernadero, y químicos, como la destrucción de la capa de ozono o la lluvia ácida.

También puede ocurrir que un mismo contaminante cause varios tipos de efectos, es decir, tóxicos, ecotóxicos, físicos y químicos. Los estudios recientes indican que los contaminantes persistentes tienen esta capacidad y de ello depende la importancia de su control.

9. CONCLUSIONES

En síntesis, en la actualidad la contaminación tiene múltiples orígenes y fuentes y es una causa importante de graves trastornos ambientales y daños a la salud, no sólo locales, sino también regionales y globales. Por esto cada vez se toman más medidas para controlarla, algunas de ellas de carácter internacional, como el Protocolo de Montreal para la reducción de la producción y uso de los CFC en todo el mundo.

LITERATURA RECOMENDADA

Flores J, López-Moreno S y Albert LA. (1995) *La Contaminación y sus Efectos en la Salud y el Ambiente*. Centro de Ecología y Desarrollo, A.C., México, DF.

Meadows DH, Meadows, DL, y Randers J. (1992) *Más Allá de los Límites del Crecimiento*. Ed. El País/Aguilar, Madrid.

PNUMA (1984) *Salvemos el Planeta. Problemas y esperanzas*. Cap. 10, PNUMA, Nairobi.

WHO. (1992) *Our Planet, Our Health*. Caps. 1,2,6, Geneva.