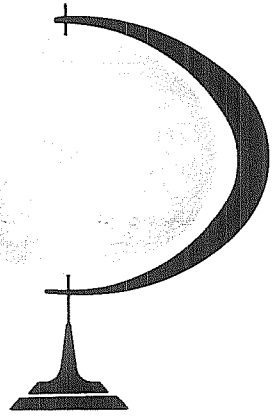
Preparatoria abierta Online | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com



McGraw-Hill Interamericana

ISBN 970104401-0

9 789701 044018

The McGraw-Hill Companies

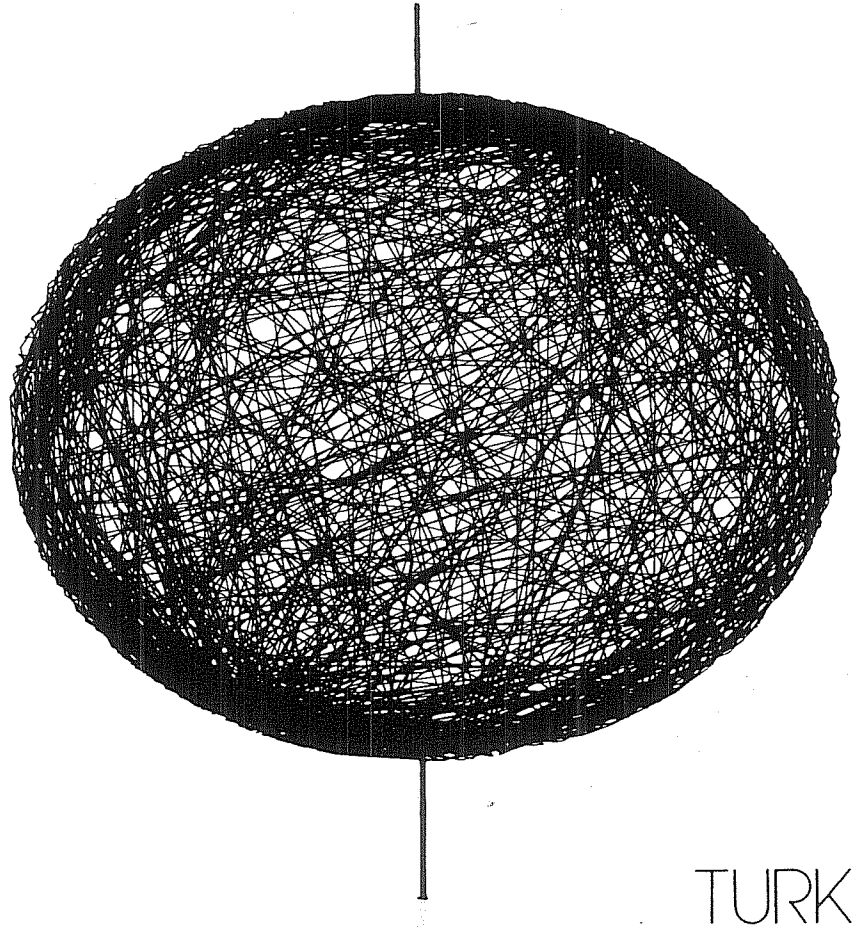
Visite nuestra página WEB
www.mcgraw-hill.com.mx

TURK TURK WITTES

ECOLOGIA • CONTAMINACION • MEDIO AMBIENTE

Mc Graw Hill

ECOLOGIA CONTAMINACION MEDIO AMBIENTE



Mc Graw Hill

TURK
TURK
WITTES

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

PREFACIO

La ciencia se ha definido adecuadamente como "el conjunto de conocimientos adquiridos por métodos basados en la observación".* Sin embargo, la separación de la ciencia en categorías o disciplinas, tales como la biología, la química y la física no se basa en división natural alguna de tales conocimientos, sino más bien en la actitud de los hombres de ciencia. En efecto, estos actúan de acuerdo con las demandas de sus patrocinadores respectivos, ya sean estos príncipes u organismos que fomentan la organización; con la disponibilidad de métodos y equipo de investigación previamente desarrollados; con lo que aprenden de sus maestros, de sus colegas y de sus alumnos, y con las modas científicas establecidas.

La preocupación general actual por los problemas del medio ambiente está produciendo una presión en el sentido de modificar algunas de estas "modas establecidas", con objeto de crear una disciplina de la ciencia de dicho medio. Las pruebas de semejante presión pueden apreciarse en los títulos de periódicos científicos, como los de *Environmental Science and Technology* (American Chemical Society, Washington, D. C.) y *Atmospheric Environment* (Pergamon Press, Oxford, Inglaterra); en los de organismos gubernamentales como la Environmental Protection Agency (U.S. Government) y el Department of Environmental Protection (Estado de New Jersey); así como en los de empresas industriales, tales como "Manager of Environmental Sciences" (Borg-Warner Corporation, Des Plaines, Illinois) y "Director of Environmental Control" (Owens-Corning Fiberglas Corporation, Toledo, Ohio).

¿Qué comprende la ciencia del medio ambiente? ¿Cómo se relaciona con las disciplinas más tradicionales establecidas? La observación atenta de las actividades de los hombres de ciencia del medio ambiente revela

* Robert B. Fischer, *Science, Man and Society* (Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1971) pág. 4.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

PREFACIO

La ciencia se ha definido adecuadamente como "el conjunto de conocimientos adquiridos por métodos basados en la observación".* Sin embargo, la separación de la ciencia en categorías o disciplinas, tales como la biología, la química y la física no se basa en división natural alguna de tales conocimientos, sino más bien en la actitud de los hombres de ciencia. En efecto, estos actúan de acuerdo con las demandas de sus patrocinadores respectivos, ya sean estos príncipes u organismos que fomentan la organización; con la disponibilidad de métodos y equipo de investigación previamente desarrollados; con lo que aprenden de sus maestros, de sus colegas y de sus alumnos, y con las modas científicas establecidas.

La preocupación general actual por los problemas del medio ambiente está produciendo una presión en el sentido de modificar algunas de estas "modas establecidas", con objeto de crear una disciplina de la ciencia de dicho medio. Las pruebas de semejante presión pueden apreciarse en los títulos de periódicos científicos, como los de *Environmental Science and Technology* (American Chemical Society, Washington, D. C.) y *Atmospheric Environment* (Pergamon Press, Oxford, Inglaterra); en los de organismos gubernamentales como la Environmental Protection Agency (U.S. Government) y el Department of Environmental Protection (Estado de New Jersey); así como en los de empresas industriales, tales como "Manager of Environmental Sciences" (Borg-Warner Corporation, Des Plaines, Illinois) y "Director of Environmental Control" (Owens-Corning Fiberglas Corporation, Toledo, Ohio).

¿Qué comprende la ciencia del medio ambiente? ¿Cómo se relaciona con las disciplinas más tradicionales establecidas? La observación atenta de las actividades de los hombres de ciencia del medio ambiente revela

* Robert B. Fischer, *Science, Man and Society* (Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1971) pág. 4.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

que se ocupan de aquellos aspectos de la biología, la química, la física, la demografía y la ingeniería que tratan de las acciones recíprocas entre el hombre y el resto de la Tierra, especialmente de aquellas que tienden a romper sistemas y procesos previamente establecidos. La especialidad biológica que se ocupa de las relaciones entre organismos y su medio ambiente es la ecología. El deterioro de la pureza de las substancias, especialmente de los componentes de la biosfera, es la contaminación. De aquí nuestro título: *Ecología, Contaminación, Medio Ambiente.*

Este libro introduce al estudiante en dos aspectos de la ciencia del medio ambiente. El primero es la materia de estudio propia de este campo. Se presentan antecedentes importantes de las ciencias físicas allí donde se necesitan, de modo que no se requiere preparación previa formal alguna. Hemos tratado de evitar la tentación de incluir material que no se relaciona con este estudio particular; por consiguiente, este libro no debe considerarse como base de un curso breve en una cualquiera de las ciencias físicas o biológicas tradicionales, aunque sí contiene algo de su materia de estudio. En cambio, satisfará tanto los fines de un curso de ciencia ambiental, como proporcionará un curso estándar de biología o química. Se presentan problemas de estudio en cada capítulo; los que requieren cálculos o razonamiento matemático están separados de los demás, y están previstas para ellos respuestas numéricas. Figura al final de cada capítulo una bibliografía comentada. El Apéndice proporciona información acerca de unidades de medición de fórmulas químicas.

El segundo aspecto de la ciencia ambiental del que aquí tratamos se refiere a las decisiones que la gente adopta en relación con los problemas del medio ambiente. Esta fase no se presenta como "ciencia", sino más bien como un examen de problemas y aspectos sociales. Nuestro propósito no está en proporcionar respuestas, sino en mostrar que deben tomarse en cuenta diversos factores científicos y económicos, con objeto de que los juicios finales no conduzcan a resultados que no se buscaban. Este procedimiento se designa en ocasiones como "racionalización de los cambalaches". Semejantes exámenes se presentan juntamente con la materia científica de estudio; actúan como puente entre la adquisición de conocimientos y su aplicación.

Damos las gracias a los numerosos colegas científicos que revisaron las partes del manuscrito; al personal de W. B. Saunders Company, que cuidó de la edición y la producción, y a Evelyn Manacek, que mecanografió el manuscrito.

AMOS TURK
JONATHAN TURK
JANET T. WITTES

INDICE

Capítulo 1

INTRODUCCION A LA ECOLOGIA 1

¿Qué es ecología? 1
Los ecosistemas y el equilibrio natural 2
Cadenas de alimentos 3
Trastorno y recuperación —la estabilidad de los ecosistemas . . . 12
Sucesión natural 18
La función del hombre 20
Problemas 24

Capítulo 2

MEDIO AMBIENTE AGRICOLA 27

Ecosistemas agrícolas 27
Las técnicas de la agricultura 29
Destrucciones agrícolas 30
La tierra y el hombre 40
Problemas 41

Capítulo 3

PESTICIDAS 43

Competencia para alimentos entre los insectos y el hombre 43
Los hidrocarburos clorados 45
Otros métodos de combate de plagas 53
Problemas 55

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Capítulo 4

DESECHOS RADIACTIVOS 57

El problema 57
Fundamentos de la estructura atómica 58
Radiactividad 62
Cómo ha producido el hombre más materia radiactiva 64
Cómo afecta la radiactividad aumentada la vida sobre la tierra 67
Puntos de vista opuestos en relación con la energía nuclear 71
Reactores nucleares y métodos de eliminación de desechos 72
Problemas y controversias en relación con la liberación y la eliminación de desechos radiactivos 77
Problemas 80

Capítulo 5

CONTAMINACION DEL AIRE 83

Introducción 83
Expresiones de la concentración; gases y partículas 84
Aire puro y aire contaminado 86
Contaminantes gaseosos del aire 87
Contaminación del aire por partículas 93
Los efectos de la contaminación del aire 96
El control de la contaminación del aire 103
Problemas y controversias relativos al control de la contaminación del aire 108
Problemas 112

Capítulo 6

CONTAMINACION DEL AGUA 115

El carácter de la contaminación del agua 115
Agua 118
Clases de impurezas del agua 119
La composición de las aguas naturales 121
Microorganismos en el agua 122
Elementos nutritivos y oxígeno en el agua 123

Detergentes, algas y la muerte de las aguas 126
Desechos industriales en el agua 130
Corrosividad 133
Purificación del agua 134
Problemas 139

Capítulo 7

DESECHOS SOLIDOS 141

Fuentes y ciclos 141
Las fuentes de los desperdicios sólidos 142
Métodos de eliminación 144
Recirculación 149
Problemas 151

Capítulo 8

EL CRECIMIENTO DE LAS POBLACIONES HUMANAS 153

Introducción 153
Extrapolación de las curvas del crecimiento de la población . . 157
Demografía 160
Predicción de volumen futuro de la población 170
La población humana extrema 177
Problemas 178

Capítulo 9

CONTAMINACION TERMICA 184

Definiciones e introducción 184
Dos cuestiones acerca del calor 185
Trabajo por el hombre, animal y la máquina 185
La Primera Ley de la Termodinámica (o "no puedes ganar") . . 186
Los termomotores y la Segunda Ley de la Termodinámica (o "no puedes empatar") 187
El efecto de los cambios de temperatura sobre la vida 191
Soluciones no milagrosas 195
Problemas 198

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Capítulo 10

EL RUIDO 200

El sonido 200
El ruido 203
La intensidad del ruido y la escala decibel 204
Los efectos del ruido 208
Control del ruido 209
Un caso particular: el transporte supersónico (SST) 211
Problemas 214

APENDICE 217

El sistema métrico 217
Símbolos, fórmulas y ecuaciones químicas 218

INDICE ALFABETICO 221

1

INTRODUCCION A LA ECOLOGIA

1-1 ¿QUE ES ECOLOGIA?

No hay máquina alguna que pueda compararse con los organismos vivos, ni en complejidad ni en diversidad. Los animales y las plantas, a diferencia de las máquinas, pueden alimentarse y repararse a sí mismos, adaptarse a nuevas influencias externas y reproducirse. Estas facultades dependen de relaciones recíprocas muy complejas entre las diversas partes del cuerpo. Así, pues, cada uno de nosotros, seres humanos, es mucho más que una suma de cerebro, corazón, hígado, estómago y otros órganos. Aquello que afecta una parte del cuerpo lo afecta todo. Cada uno de nosotros es, pues, un **sistema** vivo de partes interdependientes; el sistema funciona en forma sumamente compleja, tan compleja, que dista mucho de haber sido comprendida por completo. El estudio de este funcionamiento constituye la ciencia de la **fisiología**.

Sin embargo, aun con todos los mecanismos de la vida integral, la planta o el animal individuales no pueden existir como entidades aisladas, sino que dependen del medio ambiente. Concretamente, han de ingerir alimentos, agua y minerales, eliminar desperdicios y mantener una temperatura favorable. El estudio de las acciones recíprocas entre sistemas vivos y su medio ambiente constituye la ciencia de la **ecología**. Considerados juntamente, los organismos vivos y la materia inerte con la que actúen en reciprocidad, constituyen el **ecosistema**.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

1-2 LOS ECOSISTEMAS Y EL EQUILIBRIO NATURAL

Nos hemos acostumbrado a la idea de que el hombre y la naturaleza han operado en una armonía relativa durante miles de años. Se reprocha la exploración tecnológica del siglo xx, que contamina el aire y el agua y destruye todos los aspectos de la armonía ambiental. Pero existen, con todo, numerosos ejemplos tempranos de la destrucción del medio ambiente por el hombre. Se considera, en efecto, que la falta de respeto del hombre por la naturaleza contribuyó al hundimiento de los grandes centros religiosos mayas de Centroamérica alrededor del año 800 de nuestra era; a la Peste Negra, que mató a cerca de la mitad de la población de Europa durante el siglo xv, y a la devastadora carestía de la patata en Irlanda, en el siglo xix. Para apreciar los efectos del hombre sobre el equilibrio de la naturaleza y comprender por qué la tecnología constituye una amenaza tan poderosa para los procesos de la vida sobre la Tierra, es indispensable comprender cómo se comportan los ecosistemas.

Cuando hablamos de una persona "equilibrada", se supone, en algún modo, que todo está bien en ella y ella funciona normalmente. Estar "desequilibrado" equivale a estar trastornado en alguna forma, y esta situación se considera como anormal y perjudicial. Las mismas terminología y manera de pensar se aplican también a los ecosistemas. Un ecosistema equilibrado es el que se considera estar sano. Necesitamos, por consiguiente, examinar el concepto del equilibrio más de cerca.

El equilibrio es una igualdad de oposiciones; una ecuación química está equilibrada cuando los lados opuestos son iguales; una balanza está en equilibrio, cuando los pesos o fuerzas en cada plato son iguales; se considera que el volumen de una población está equilibrado cuando los procesos opuestos, a saber, la natalidad y la mortalidad, son iguales. ¿Qué ocurre cuando una balanza pierde el equilibrio? Esto depende de la naturaleza del sistema. Algunos sistemas pierden el equilibrio fácilmente, en tanto que otros resisten al cambio. A título de ejemplo de este último tipo, hay un equilibrio en nuestra sangre entre la acidez y la alcalinidad; esto es, unos procesos químicos opuestos mantienen un nivel constante (un nivel ligeramente alcalino). Supongamos ahora que cierta cantidad de ácido es añadida a nuestra sangre. La composición química de la sangre es tal, que tratará de oponerse al trastorno de su equilibrio ácido-álcali y de volver a su estado normal. Esta resistencia al trastorno del equilibrio ácido-álcali se designa como amortiguamiento. Así, pues, el amortiguamiento es una acción protectora. El organismo tiende a mantener un equilibrio de diversos procesos vitales, alimentándose, reparándose a sí mismo (curándose a sí mismo), y adaptándose a los cambios externos. Esta tendencia a mantener un medio ambiente interno estable se designa como homeostasia.

Un ecosistema natural, tal como una tierra de pasto, tiene muchas oposiciones. Los organismos nacen y mueren. La humedad y los elementos nutritivos salen de la tierra y son devueltos a ella. Por otra parte, muchas de estas oposiciones están delicadamente protegidas contra trastornos. Durante una temporada seca, cuando los ratones de una tierra de pasto tienen menos alimento y su natalidad decrece, regresan a sus madrigueras e invernan, de modo que su mortalidad decrece asimismo. En esta forma, su comportamiento protege tanto el equilibrio de su población como el de las hiervas, que no son consumidas por los ratones invernantes. Semejante tendencia se designa como homeostasia del ecosistema.

El "equilibrio de la naturaleza" es, pues, una expresión que se refiere al estado de los ecosistemas naturales que mantienen su existencia por medio de oposiciones apropiadas de procesos y mediante mecanismos reguladores, que protegen dichos procesos contra trastornos.

1-3 CADENAS DE ALIMENTOS

La tierra, en su desplazamiento a través del espacio, intercambia muy poca materia con el resto del universo. Así, pues, para todos los fines prácticos, la vida empezó en este planeta con una cantidad determinada de materias primas. Hay cantidades finitas de elementos diversos, por ejemplo, de oxígeno, nitrógeno, carbono, hidrógeno e hierro. La forma química y la situación física de cada elemento pueden cambiar, pero no puede cambiarse su cantidad.* En contraste, la Tierra está recibiendo continuamente energía del Sol y seguirá haciéndolo en el futuro, de modo que no necesitamos preocuparnos acerca de cuándo dejará de hacerlo. Sin embargo, hay dos limitaciones al empleo de la energía solar. Primero, una gran parte de ella es utilizada simplemente para calentar la Tierra hasta una temperatura a la que la vida pueda existir y, en segundo lugar, la cantidad de energía recibida diariamente es limitada. Sin embargo, según veremos, la energía puede almacenarse en la Tierra en diversas formas y ser utilizada más adelante.

Tanto las plantas como los animales necesitan materias primas (materia) y energía para vivir. Las plantas utilizan materias simples y energía solar para sintetizar compuestos orgánicos que almacenan energía. Luego los animales consumen estos productos vegetales como fuente tanto de materia como de energía.

Examinemos estos procesos con mayor detalle. Las plantas se caracterizan por la capacidad de convertir las materias primas, bióxido de

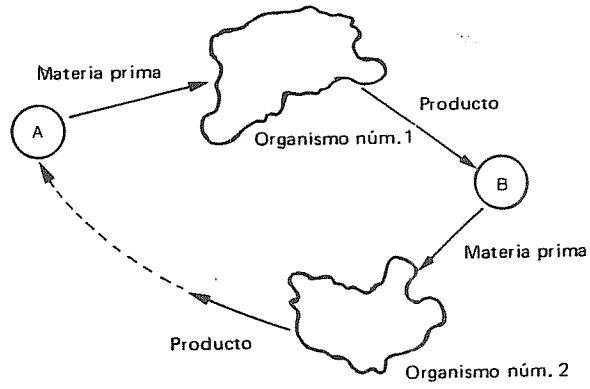
* Esta afirmación no se aplica a los elementos radiactivos. Este tema se examina separadamente en el capítulo 4.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

carbono y agua, en substancias orgánicas, con la ayuda de la energía obtenida de la luz solar. Este proceso se designa como fotosíntesis. El aspecto importante a retener aquí es que las materias primas utilizadas son pobres en energía almacenada, en tanto que los productos de la fotosíntesis son ricos en energía.* Podemos comprender el contenido de energía de las substancias en términos de su capacidad de producir calor cuando arden en el aire. Un material rico en energía es aquel que puede arder con producción de calor, en tanto que la substancia pobre en energía no puede hacerlo. Así, pues, la celulosa (madera), la grasa, el azúcar, el carbón y el petróleo son substancias ricas en energía, en tanto que el bióxido de carbono, el agua, el nitrógeno y el granito son pobres en energía.

Imaginemos ahora que las plantas pudieran transformar substancias pobres en energía en substancias ricas en energía indefinidamente y que no se produjeran otros tipos de cambios en la Tierra. Finalmente, las substancias pobres en energía, tales como el bióxido de carbono y el agua estarían agotados, y haría una acumulación ingente de substancias ricas en energía, tales como las que comprenden las hojas, las semillas, y las ramas, y la vida cesaría. Por supuesto, esto no ha ocurrido, porque las materias primas describen ciclos. Todos los organismos producen productos. Primero, hay productos de desecho que acompañan el acto de vivir. Las plantas producen más oxígeno del que sus procesos vitales requieren; los animales exhalan bióxido de carbono. Sin embargo, cabe considerar los organismos mismos como productos. El ardor produce hojas, ramas, un tronco; un león produce huesos, una melena, una cola. Todas estas partes de organismo, y en realidad el organismo entero, ya esté vivo o muerto, es un producto que puede ser consumido por otros organismos.

* La energía que estamos considerando se relaciona con los procesos que tienen lugar en la materia viva. No nos ocupamos aquí de la energía nuclear, que se examina en el capítulo 4.



Un ciclo generalizado puede representarse como sigue. Supongamos que la substancia A es una materia prima vital para una determinada especie de organismo (véase la figura de la página opuesta donde se representa el ciclo), y que la substancia B es uno de sus productos. La substancia B ha de ser luego una materia prima vital para otro organismo, que produce a su vez un nuevo producto. Esta alternancia de productos y de los organismos que los consumen ha de proseguirse hasta que el ciclo quede completo, esto es, hasta que algún organismo produzca de nuevo nuestra substancia original A. Si se considera el promedio de un periodo prolongado de tiempo, cada producto ha de ser producido y consumido al mismo ritmo; el consumo ha de equilibrar la producción. Si alguna substancia del ciclo, por ejemplo la substancia B, se produjera con mayor rapidez de aquella a que es consumida, empezaría a acumularse. La población del organismo núm. 2 aumentaría, pues, en respuesta a su mayor abastecimiento en alimentos, y empezaría a consumir más substancia B. Finalmente, el consumo de B aumentaría suficientemente para igualar su producción, y el ciclo se habría regulado en esta forma a sí mismo. Inversamente, si B fuera producida a un ritmo *inferior* al de su demanda, la población del organismo núm. 2 disminuiría a causa de su insuficiencia. La demanda reducida resultante permitiría que la producción igualara el consumo, y el equilibrio quedaría restablecido. Toda interrupción permanente del ciclo, por ejemplo por extinción de una de las especies de organismos y la incapacidad de cualquier otro organismo para cumplir su función, conduciría necesariamente a la muerte del sistema entero.

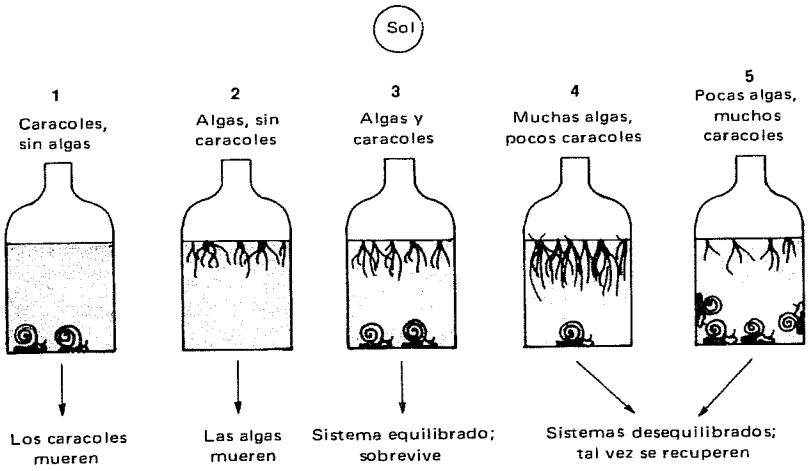
De modo general, cuanto mayor sea el sistema, tanto mayor será su capacidad de adaptarse a la desigualdad. En los ecosistemas muy pequeños, el equilibrio ha de ser casi exacto para que el sistema pueda sobrevivir. Un sencillo ejemplo servirá de paradigma de los ecosistemas viables. Supongamos que ponemos algo de agua de un estanque, que contiene microorganismos, en cada uno de cinco jarros grandes. Y añadimos a continuación lo que sigue:

Jarro núm. 1: unos pocos caracoles y nada de algas.
Jarro núm. 2: ningún caracol y algunas algas.
Jarro núm. 3: unos pocos caracoles y unas pocas algas.
Jarro núm. 4: unos pocos caracoles y una mayor cantidad de algas.
Jarro núm. 5: muchos caracoles y una pequeña cantidad de algas.

Sellamos a continuación los cinco jarros de modo que ninguna materia (incluido el aire) pueda entrar o salir. Exponemos todos los jarros a la luz del sol (véase fig. 1-1). ¿Qué sucederá con cada jarro?

En el primer jarro, los caracoles se asfixiarán sencillamente, de la misma manera exactamente que un ser humano se asfixiaría en un cuarto cerrado. En efecto, los animales se sirven del oxígeno como una de las materias primas necesarias para la vida. Si el oxígeno se agota, los animales mueren.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com



(Los caracoles son animales; las algas son vegetales.)

FIG. 1-1. Ecosistemas de caracoles y algas.

En el segundo jarro, las algas se asfixiarían, porque las plantas se sirven del bióxido de carbono como una de las materias primas necesarias para su vida, y después de algún tiempo, todo el bióxido de carbono disponible habría sido utilizado.

El tercer jarro tiene más probabilidades de convertirse en un sistema ecológico equilibrado y estable. En efecto, las algas utilizan agua, bióxido de carbono y luz solar para formar azúcares. El oxígeno es eliminado como producto de desecho. Puesto que las algas originalmente introducidas eran plantas vivas y sanas, contenían cantidades de nitrógeno, azufre, fósforo y diversos otros elementos almacenados. Estos materiales se utilizarían para la síntesis de proteínas, vitaminas y otras substancias necesarias.

Las plantas producen más alimento del que necesitan. Esta sobreproducción permite a los animales comer parte de las plantas y obtener así azúcares y otras substancias ricas en energía. Estas substancias, a su vez, se descomponen durante la respiración, proceso que utiliza oxígeno y libera bióxido de carbono. Otros productos de desecho animales, tales como la orina, aunque relativamente pobres en energía, son consumidos por microorganismos en el agua de estanque. Los productos de desecho de los microorganismos son moléculas más simples todavía, que pueden ser utilizadas por las algas como fuente de materias primas. El consumo de tejido muerto por microorganismos acuáticos es indispensable, tanto como medio de recirculación de las materias primas como para la eliminación de los desechos. La acción recíproca entre las diversas especies

vivas permite a la comunidad jarro sobrevivir indefinidamente. Y efectivamente, algunos laboratorios de biología han cerrado herméticamente acuarios en los que la vida ha sobrevivido durante una década o más. Quisiéramos advertir que el cuadro presentado de este título ha sido muy simplificado. En realidad, los diversos intercambios de materiales que tiene lugar en un sistema simple de esta clase son muy complejos, y exponerlos en detalle queda mucho más allá del objeto de este libro. Los ciclos que tienen lugar en la naturaleza son tan complicados, que no han sido comprendidos por completo todavía.

Consideremos ahora el cuarto jarro, que contenía muy pocos caracoles y una gran cantidad de algas. Los animales estarían sanos al principio, porque dispondrían de abundante comida. Debido también a la abundancia de comida, la población de caracoles aumentaría. Al mismo tiempo, debido a que la concentración de bióxido de carbono sería baja, el desarrollo de la planta se vería impedido y, durante algún tiempo, las algas serían comidas a un ritmo mayor que aquel a que se reproducían. Esta situación es inherentemente inestable, porque, a no tardar, el suministro de alimentos sería tan bajo, que el desarrollo de los animales disminuiría. Finalmente, podría llegarse acaso a un equilibrio. Es importante subrayar en este punto algunos factores. Primero, los sistemas naturales pueden volver a encontrar el equilibrio si alguna influencia exterior los ha trastornado. Sin embargo, el retorno al estado de equilibrio requiere tiempo, y si el trastorno es demasiado grande, el sistema podrá no recobrarse jamás. Supongamos, por ejemplo, que el exceso de las algas era muy grande y el suministro de aire pequeño. Las plantas podrían en tal caso asfixiarse, causando, a su vez, la muerte de los animales.

Por otra parte, si hubiera muchos caracoles y una pequeña cantidad de algas (como en el jarro número 5), los caracoles podrían comer todas las algas el primer día, y el ecosistema entero moriría.

El experimento que acabamos de describir esboza un ciclo alimentario engañosamente sencillo. En efecto, hay tres elementos en este ciclo, a saber, plantas, animales comedores de plantas (herbívoros) y organismos de desecho. Los productos de desecho son devueltos a la planta como materias primas, completando en esta forma el ciclo. En la naturaleza, en cambio, los ciclos alimentarios (llamados a menudo cadenas de alimentos) son mucho más complejos. En todos los sistemas vivos, la energía es puesta a contribución en los procesos de la fotosíntesis, que tiene lugar en los tejidos vegetales tanto en la tierra, en las hierbas y los árboles, como en el agua, en las hierbas marinas, las algas y el microscópico fitoplancton. El segundo paso del ciclo (o eslabón en la cadena) es efectuado por los herbívoros. En la tierra hay grandes animales de pezuña, roedores, aves, reptiles, gusanos, hongos e insectos, y muchas otras especies más. Y en el agua hay diversas esponjas y

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

FIG. 1-2. Véase leyenda en la página opuesta.

moluscos, peces de muchos tamaños y el minúsculo zooplancton, que se alimentan del fitoplancton. Los herbívoros no forman el extremo de la cadena, porque son consumidos a su vez por organismos llamados **carnívoros**. Así, por ejemplo, el león de montaña devora al venado, los buitres devoran a los roedores, y muchas clases de animales comen insectos. Un cuarto nivel, en la cadena de alimentos, está ocupado por los carnívoros que devoran carnívoros, como la trucha que devora la carpa, los zorros que devoran los búhos y los pájaros que comen insectos depredadores. Algunos animales, como el hombre, comen tanto plantas como otros animales. Estas especies se designan como **omnívoras**. El proceso de desintegración aumenta la complejidad tambaleante del ciclo de alimentos. Son millones de tipos diversos de organismos los que causan la corrupción; algunas especies devoran las especies corruptoras, y éstas se comen entre sí; los grandes organismos corruptores mueren y son objeto de corrupción a su vez. Nadie ha puesto al descubierto todavía la totalidad de los detalles.

La mayoría de las clasificaciones ecológicas ponen a los organismos de descomposición juntos en una sola categoría. Con el verdadero grado de complejidad disimulado en esta forma, se designa a las plantas como productores primarios, a los herbívoros como consumidores primarios, a los carnívoros que comen a los herbívoros se los designa como consumidores secundarios, y así sucesivamente. Un ciclo alimentario generalizado, de base terrestre, se muestra en la figura 1-3, y un ciclo acuático, en la figura 1-4. Algunos animales figuran en ambos ciclos. Las gaviotas, por ejemplo, comen peces, pero son devoradas a su vez por carnívoros terrestres.

Resulta interesante considerar la eficiencia de la transferencia de energía a lo largo de la cadena de alimentos.* Tomemos, a título de ejemplo, una planta que recibe 1 000 calorías de energía lumínica del Sol en un día determinado. Los experimentos han mostrado que unas 10 calorías solamente son utilizadas para producir material vegetal. ¿Qué sucede con las otras 900 calorías? Algunas de ellas las utiliza la planta misma para mantener su vida. Es de todos sabido, en efecto, que una persona ha de comer, aun si quiere conservar un peso constante. Dicha energía es utilizada para mantener el funcionamiento apropiado del

* Véase un examen de las unidades de energía en el Apéndice I.

FIG. 1-2. "Desintegrador" en acción. Electromicrografía profunda de un micelio de hongo, en una aguja de pino en vías de desintegración en la hojarasca del suelo de un bosque. La foto superior muestra una sección de las agujas de pino con un aumento de 100 veces, y la foto inferior muestra una vista de cerca del hongo ramificado, con un aumento de 500 veces. (Fotos del Dr. Robert Todd, Instituto de Ecología, de la Universidad de Georgia. De Odum: *Ecología,* 3a. edición. Nueva Editorial Interamericana, 1972. México.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

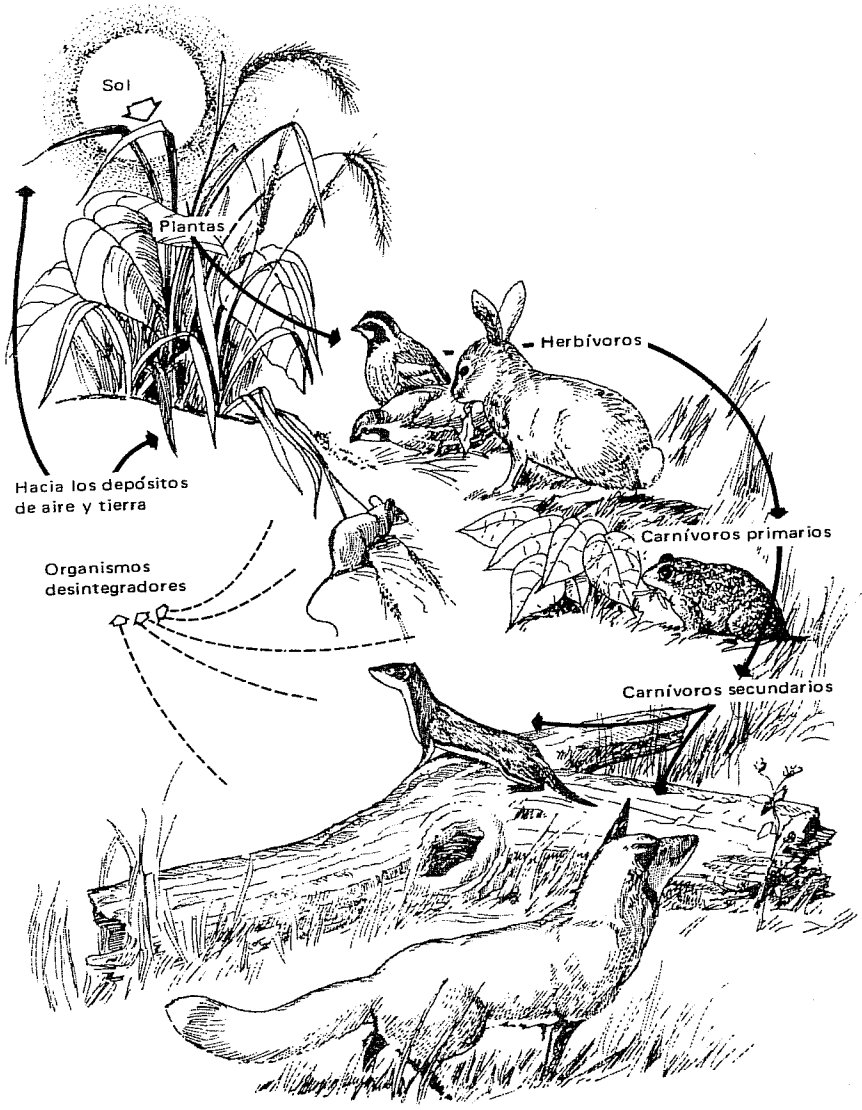


FIG. 1-3. Ciclo alimentario de base terrestre generalizado.

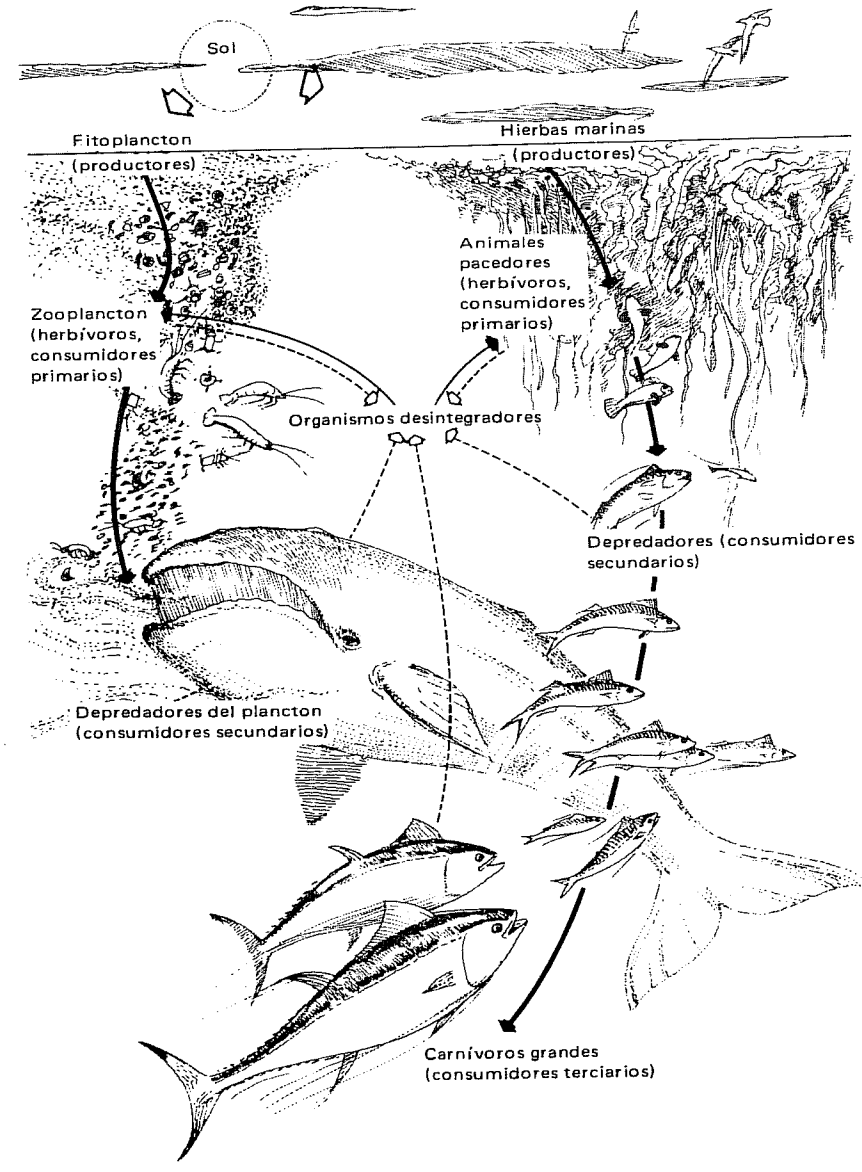


FIG. 1-4. Ciclo alimentario acuático.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

cuerpo. También las plantas necesitan energía para mantener su metabolismo. Algunas de las substancias químicas producidas por la fotosíntesis se utilizan para dicho fin. Además, el proceso de la fotosíntesis no es 100 por 100 eficiente y, por consiguiente, una parte de las 1 000 calorías recibidas se pierde simplemente como calor en el aire circundante. Supongamos ahora que un herbívoro, digamos una vaca, comiera dicha planta. Obtendría 10 calorías. Sin embargo, la vaca ha de mantener su propio metabolismo y retener además alguna energía para la acción muscular que le permita moverse en busca de más hierba. La producción neta de la vaca, su ganancia utilizable de energía, sería sólo de aproximadamente una caloría. Así, pues, por cada 10 calorías comidas por un herbívoro, solamente una queda disponible para el carnívoro. Y los consumidores terciarios, es decir los carnívoros que comen a los otros carnívoros, reciben menos todavía. De las 1 000 calorías originales, sólo pueden utilizar, para aumento de peso, una décima parte de calorías. La ventaja de los herbívoros en materia de energía es una razón importante de que haya tanto más herbívoros que carnívoros. Es obvio que el hombre, susceptible de ocupar en la cadena de los alimentos las posiciones primaria, secundaria y terciaria, utiliza la energía solar con mayor eficiencia cuando es un consumidor primario, esto es, cuando come vegetales.

1-4 TRASTORNO Y RECUPERACION —LA ESTABILIDAD DE LOS ECOSISTEMAS

Los ecosistemas no siempre están necesariamente en equilibrio, pero, si están en desequilibrio en una determinada dirección han de estarlo en el sentido opuesto en algún momento del futuro, para poder vivir sin cambio violento alguno de carácter. De hecho, todos los ecosistemas fluctúan naturalmente. Como quiera que ya no estamos tratando con una botella cerrada, otros factores complementarios adquieren importancia. Por ejemplo, el clima varía de un año a otro. Otros trastornos, tales como la migración, sequía, inundaciones, fuego o heladas a destiempo, pueden ocasionar desequilibrio en el ecosistema. La capacidad de sobrevivir de un ecosistema depende de su capacidad de adaptarse a un desequilibrio.

Consideremos, a título de ejemplo, las poblaciones relativas de tigres, herbívoros y hierva en un valle de Nepal. Supongamos que las montañas que rodean el valle son tan altas que ningún animal puede penetrar en el valle o salir de él. En uno de los años, la precipitación pluvial es limitada y se dan condiciones moderadas de sequía. Debido a que el agua se almacena naturalmente en estanques, el suministro de agua potable es apropiado. Sin embargo, las tierras de pasto padecen de la falta de

lluvia. Por consiguiente, el alimento es escaso para los herbívoros, y muchos están hambrientos y débiles. Semejante situación es, en realidad, beneficiosa para los tigres, porque la cacería se hace para ellos más fácil, y la población de tigres prospera.

La primavera siguiente, al llegar las lluvias, la población de herbívoros es baja. Esto permite que la hierba vuelva a crecer vigorosamente, porque no mucha de ella es comida. Sin embargo, debido a que el suministro de alimentos para los tigres es reducido (y los herbívoros que han subsistido son los más fuertes de la manada original), los tigres pasan por un periodo difícil el verano después de la sequía. El tercer año, hay menos tigres, de modo que la manada puede readquirir su pleno vigor, restableciéndose en esta forma nuevamente el equilibrio.

Si se los examina superficialmente, los ecosistemas estables no parecen experimentar desequilibrio alguno. De hecho, en efecto, sus mecanismos homeostáticos funcionan tan bien, que los ligeros desequilibrios quedan corregidos antes de que adquieran importancia. Estas respuestas sensibles constituyen, de hecho, la esencia de la estabilidad, porque, si se previenen desequilibrios graves, es muy poco probable que el sistema resulte destruido y, como consecuencia, subsiste durante mucho tiempo.

FIG. 1-5. Bosque húmedo de coníferas, ecosistema estable, en el Olympic National Forest, de Washington. (Foto del Servicio Forestal de EE. UU. de N.A. De Odum: *Ecología*. 3a. ed. Nueva Editorial Interamericana, 1972. México.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

De aquí que los buenos ejemplos de ecosistemas estables deban buscarse en lugares antiguos. Un ejemplo magnífico lo proporciona el bosque de madera roja (de pino gigantesco de California). Al paseante que penetra en uno de estos bosques en un día caluroso de verano, dos características del medio ambiente se le hacen inmediatamente aparentes. En efecto, el bosque es fresco y tiene un manto espeso de materia esponjosa. La frescura, ocasionada por la sombra extensa de los árboles grandes, reduce la pérdida de agua por causa de evaporación, y el manto esponjoso proporciona un excelente medio de retención del agua, en forma muy parecida a como una esponja tarda más en secarse que la superficie de una piedra. Así, pues, el efecto de la sequía no necesita equilibrarse por la muerte de árboles. En lugar de ello, la humedad del suelo del bosque sirve como depósito, del que puede extraerse agua a medida de las necesidades. La frescura del bosque ofrece aún otra ventaja. Las nubes que pasan por el cielo suelen descargar su humedad allí donde el medio ambiente es fresco, porque la frescura aumenta la tendencia del agua a aglomerarse en gotas de lluvia. Así, pues, el bosque de madera roja tiende a producir lluvia, a restringir la evaporación y a retener una reserva substancial de agua. Por otra parte, los organismos putrefactores necesitan medios ambientes húmedos para ser eficaces, de modo que el bosque de madera roja asegura su propia recirculación de materiales por medio del control ambiental.

Este ecosistema, excepcionalmente estable, presenta también otras capacidades homeostáticas sumamente eficaces. Una de ellas puede observarse fácilmente caminando por el bosque en el lado oeste de la Ruta Número 1 cuando pasa por la ciudad de Big Sur, California. Hace algún tiempo, un incendio enorme azotó el bosque. Sin embargo, debido a que la corteza y la madera del árbol de madera roja son resistentes al fuego, los grandes árboles fueron chamuscados, pero no murieron, y debido a que el medio ambiente del bosque fue preservado, la comunidad de éste no tardó en regenerarse. Si un fuego de igual intensidad hubiera quemado un plantel de pinos, los árboles habrían muerto y se habrían necesitado muchos más años para reconstituir el bosque.

Hemos definido el ecosistema estable como aquel que es difícil de trastornar porque sus mecanismos reguladores son sumamente eficaces. Y ahora preguntamos, "¿cuáles factores favorecen la estabilidad?" Un dato para la respuesta proviene de la observación de que los ecosistemas naturales suelen ser más estables que los artificiales. Es notable, en efecto, que, en todos los ecosistemas naturales estables, tanto la cantidad de materia orgánica como el número y la diversidad de las especies son muy grandes. La función de la cantidad de la materia orgánica en la estabilización del sistema no se ha explicado por completo todavía. Está claro que las cantidades de vegetación en descomposición sirven para absorber y retener agua. La vegetación en descomposición proporciona

asimismo un depósito de minerales que son liberados continuamente por los organismos putrefactores. Existen además algunas pruebas de que algunas substancias químicas incompletamente desintegradas disueltas en el agua actúan como hormonas ambientales, exactamente del mismo modo como algunas substancias químicas en la sangre de los animales actúan como hormonas para la regulación de la homeostasia. Por ejemplo, cuando determinadas especies de algas se hacen demasiado densas en una región, son excretadas en el agua substancias químicas que inhiben su desarrollo. Es posible asimismo que diversas especies actúen conjuntamente para controlar el medio ambiente. Por ejemplo, determinados mohos producen antibióticos que matan las bacterias. Este control de la población bacteriana asegura a su vez la supervivencia de la población animal y contribuye a mantener el equilibrio del ecosistema entero.

Por supuesto, hay muchas especies distintas de plantas y de animales sobre la Tierra. Nadie sabe cuántas, pero sabemos, con todo, que el número es muy grande. De los solos insectos hay más de 600 000 especies conocidas. Cada especie ejecuta determinadas funciones y ocupa determinados lugares o hábitats. La combinación de función y hábitat se designa como nicho ecológico. De modo natural, los nichos ocupados por diversas especies no son en modo alguno exclusivos, y esta superposición produce competencia. Los ecosistemas naturales se caracterizan por el hecho de que contienen muchas especies y que muchos de los nichos ocupados por estas especies son muy afines entre sí. Un estudio reveló que en un determinado bosque había 60 especies de ácaros (pequeños animales que comen hojarasca de plantas caídas). Todas ellas comían aproximadamente el mismo alimento y, pese a que una de las especies fuera predominante, todas las demás parecían viables. Así, pues, parece existir cierta relación entre la estabilidad de un ecosistema y la presencia de numerosas especies que ocupan nichos parcialmente sobrepuestos. ¿Por qué favorecen estas circunstancias la estabilidad?

La respuesta se deja ilustrar por medio de un ejemplo sencillo. Los jardineros domésticos están familiarizados todos ellos con el hecho de que puede comprarse semilla de césped que germina en áreas asoleadas o, si lo prefiere, semilla que brota en la sombra. Si se planta una mezcla en un lugar expuesto al sol, crece una mayor cantidad de la semilla asoleada que de la umbrosa, aunque sobrevive, con todo, algo de ésta. Supongamos ahora que se deja el césped sin segar, que se deja que la hierba se reproduzca espontáneamente y que empiece a crecer un árbol. A medida que va creciendo la sombra, la población pasa de una hierba más ávida de sol a otra más ávida de sombra. Para el observador superficial no se ha producido cambio alguno: existía una hierba sana antes de que estuviera presente el árbol y sigue existiendo un césped sano después de haber crecido aquel. En cambio, si sólo se hubiera plantado

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

semilla de césped asoleado (una sola especie), el crecimiento de un árbol habría destruido la población herbácea.

Otro ejemplo que cabe citar es el de la sierra oriental del Colorado Rockies, en donde los dos lados del desfiladero exhiben a menudo dos ecosistemas distintos, pese a que estén a la misma altura y estén sólo separados acaso por unos cuantos centenares de metros. Así, por ejemplo, el pino de la especie ponderosa, el junípero y los cactos pequeños predominarán en el lado asoleado, en tanto que el abeto azul, el pinabeto Douglas y plantas de flor lo harán en el lado umbroso. Si bien ambos lados del desfiladero contienen representantes de todas las especies, el nicho del pino es suficientemente distinto, con todo, de aquel del abeto para mantener la separación. Si una sequía prolongada afectara el desfiladero, se produciría probablemente cierto desplazamiento de la población vegetal en favor de las especies que son más eficaces en el control del agua. Así, pues, unas condiciones cambiantes modifican a menudo el orden de dominancia de las especies. La ventaja de la diversidad está en que los cambios que tienen lugar son relativamente moderados y el ecosistema no resulta trastornado.

Cabría preguntar, con todo, de qué modo pueden existir diversas poblaciones sin que unas pocas de ellas dominen tan completamente que acaben por destruir las demás. La respuesta parece ser que las especies que ocupan nichos estrechamente relacionados evolucionaron en forma que el conflicto entre ellas se ve reducido al mínimo o mantenido, al menos, a un nivel en que todas puedan subsistir. Consideremos otro ejemplo del Colorado Rockies. Dos depredadores, el zorro y el coyote, viven en la misma región. El zorro es más pequeño y más furtivo, en tanto que el coyote es mayor, más fuerte y más rápido. Los dos cazan conejos y roedores grandes. Además, el zorro, pero no generalmente, el coyote, mata aves y roedores pequeños. Por otra parte, los coyotes que cazan en grupos pueden capturar pequeños venados. Así, pues, por el hecho de tener pequeñas capacidades distintas, el zorro y el coyote ocupan nichos ecológicos ligeramente distintos y sobreviven ambos.

Hemos subrayado que las diversas especies dentro de un ecosistema son interdependientes. ¿Cuán cerca han de estar unas de otras las especies dependientes? La respuesta es que el margen de distancia varía considerablemente. Un ejemplo de una proximidad muy estrecha entre especies interdependientes lo ofrece el liquen de roca. Este liquen crece en piedra desnuda y presenta el aspecto de una capa sumamente delgada de vegetación. En realidad, el liquen es una mezcla de un hongo y una alga. El hongo, que no contiene clorofila y no puede producir, por consiguiente, su propio alimento por fotosíntesis, obtiene toda su energía alimenticia del alga. Esta, a su vez, no puede retener el agua y se deshidrataría y moriría si no estuviera rodeada por el hongo. Aquí la dependencia es directa, porque los dos organismos han de crecer juntos

para poder sobrevivir. La relación de esta clase se designa con el nombre de simbiosis.

Por otra parte, algunas especies pueden depender de otras que viven a distancias de varios kilómetros. Por ejemplo, en un bosque hay tanto vida vegetal abundante como herbívoros y depredadores. En un ecosistema estable de bosque, los árboles proporcionan abrigo, sombra, humedad y control de la temperatura. Los herbívoros se sirven de los árboles y demás vegetales para alimento. A su vez, los animales rapaces comen a los herbívoros. Hongos y bacterias realizan la descomposición necesaria de los desechos. Sabemos, a partir de nuestro examen anterior de los ciclos de alimentos, que el sistema necesita tanto de las plantas como de los herbívoros para subsistir, pero, ¿cuál función aportan los depredadores al sistema? Los depredadores contribuyen a mantener el control de la población de diversas especies. Si no hubiera depredadores, cabría esperar que el volumen de la población de los herbívoros presentara cambios cíclicos espectaculares. Crecería rápidamente hasta que la densidad de población fuera demasiado grande en relación con la reserva de alimento disponible. Entonces se producirían muerte y enfermedades, por hambre, en masa, con un rápido descenso subsiguiente de la población. Una vez que el volumen de la población fuera bajo, la reserva de alimentos volvería a ser abundante y el ciclo de crecimiento y descenso podría volver a empezar de nuevo. Es poco probable, con todo, que semejante sistema subsista por muchos ciclos, por que es el caso que cuando la población de herbívoros es muy baja, la extinción se convierte en una amenaza significativa. Así, pues, los animales rapaces, al limitar el volumen de población de los herbívoros, tienden a prevenir la sobrepoblación que conduce finalmente a la muerte por hambre y a la extinción posible.*

En las áreas continentales grandes, algunos ecosistemas enteros dependen de otros ecosistemas situados acaso a miles de kilómetros de distancia. La vida alrededor de un gran río depende de los ciclos anuales de la corriente de éste. A su vez, la corriente del río depende del equilibrio del agua en los afluentes. Este equilibrio del agua está controlado por los sistemas de bosques. Así, pues, el estado general de los bosques en los bordes de un pequeño arroyo ejerce una influencia directa sobre los ciclos vitales de organismos que se encuentran en la desembocadura del río.

Hay inclusive algunas pruebas de que la estabilidad de un ecosistema grande en una parte de la Tierra podría ser vital para la estabilidad del resto del ecosistema mundial. Han tenido lugar discusiones recientemente acerca de la construcción de un dique a través del río Amazonas. La

* En el capítulo 7 veremos que estos mismos principios se aplican al estudio del volumen de la población humana.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

energía producida podría ser de un beneficio tecnológico enorme para los pueblos de América del Sur. Sin embargo, el sistema inundaría y destruiría, por consiguiente, la selva virgen de la cuenca del río Amazonas. Esta selva virgen, uno de los bosques más grandes y densos de la tierra, es el lugar de una gran cantidad de fotosíntesis. Y se ha calculado que si la selva fuera inundada, la concentración de bióxido de carbono en la atmósfera subiría notablemente, debido a que la cantidad de fotosíntesis que tiene lugar en la superficie de la Tierra disminuiría pronunciadamente. Y puesto que el bióxido de carbono tiene la capacidad de absorber calor solar, es posible que, si el Amazonas fuera embalzado, la concentración del CO_2 complementario absorbiera un calor solar extra, suficiente para fundir los casquetes de hielo polares.* Esto produciría a su vez agua suficiente para inundar la mayor parte de las áreas costales terrestres (y de aquí la mayoría de las regiones pobladas de la Tierra).

1-5 SUCESION NATURAL

Necesitamos tener en cuenta los periodos de tiempo en que tienen lugar los cambios ecológicos. Dijimos ya que una sequía afectaba primero las tierras de pasto, en segundo lugar las manadas de herbívoros y, en tercer lugar, tal vez un año más tarde, a los animales rapaces. En cambio, los efectos de una inundación o de un incendio pueden ser inmediatos. Sería interesante seguir la vida de un estanque para ilustrar los efectos tanto a breve plazo como a largo plazo. Se utiliza a menudo un estanque pequeño como ejemplo de un sistema ecológico estable. Los animales, los microorganismos y las plantas existen en él en forma análoga a la de los jarros experimentales examinados anteriormente. Se producen desequilibrios y reajustes como en todos los sistemas naturales. En cambio, en el caso de la mayoría de los estanques, los ríos y las corrientes que desembocan en ellos aportan al medio ambiente más lodo del que se llevan las corrientes salientes. El efecto es pequeño, y podrá acaso no observarse en la vida de un solo hombre, pero existe, con todo. Un estudio a breve plazo de la ecología de un estanque llegaría a la conclusión de que el ecosistema estaba en equilibrio. Es el caso, sin embargo, que el equilibrio masivo es trastornado por la adición constante de materia sólida aportada por las corrientes que en él desembocan. Con el tiempo, el lago empezará a llenarse con lodo. Las vidas vegetal y animal cambiarán. Harán su aparición plantas nuevas, susceptibles de echar raíces en el fondo y de extenderse hasta la superficie donde hay luz disponible. La trucha cederá el paso a la carpa y al

* Véase un examen de este fenómeno en el capítulo 5.

barbo. Si un ecólogo estudiara el lago en este momento, podría decir nuevamente que se trataba de un sistema estable. Una vez más, cabría observar desequilibrios y ajustes, pero el sistema conjunto se presenta como estable.* Sin embargo, sigue llegando lodo al lago. Además, puesto que es corriente que las plantas del lago produzcan en esta etapa más alimento del que es consumido por los herbívoros, el fondo se llena con humus. Finalmente, el lago podrá hacerse tan poco profundo, que pueda crecer en él la hierba de los pantanos. Una vez más un pantano es considerado como un sistema estable durante una observación a breve plazo, pero, en la mayoría de los casos, se está convirtiendo gradualmente en un prado. Si el clima es apropiado, empezarán acaso a crecer árboles. Aparecerán primero arbustos, y luego árboles de madera blanda y crecimiento rápido, tales como el abedul, el tiemblo y el chopo. Los árboles de madera blanda son reemplazados por el pino y, finalmente, en lo que se designa como clímax, el pino es reemplazado a su vez por los árboles de madera dura.

Durante la sucesión de las especies vegetales, cada una de ellas prepara el camino para la próxima, pero contribuye a su propia extinción. La hierba de los pantanos nunca podría haber crecido sin el suelo rico de las algas parcialmente descompuestas. En cambio, al producir el suelo rico, las algas ayudan a llenar el lago y destruyen en esta forma su propio medio ambiente.

No podemos calcular la cantidad de tiempo típicamente necesaria para llenar un lago, porque esto depende de numerosos factores, tales como el volumen original del lago y la velocidad neta de la acumulación de sólidos. Sin embargo, se ha medido la progresión de una tierra de pasto a bosque clímax. En el sudoeste de Estados Unidos de Norteamérica, las hierbas de pasto ceden el paso a un matorral de arbustos en un periodo de uno a 10 años, los arbustos se convierten en bosques de pino en 10 a 25 años, y los bosques de pino ceden el paso a árboles de madera dura después de 100 años. Insistimos una vez más en que, para que un ecosistema permanezca indefinidamente estable ha de haber un equilibrio completo. Y esto nunca es el caso en la Tierra. En efecto, aun en los sistemas más estables tienen lugar, en todos los ecosistemas naturales, fluctuaciones diarias, de temporada, anuales y a largo plazo. La consideración final, de interés en relación con la continuación de la vida en nuestro planeta es que la suma total de todos los cambios se traduzca en un equilibrio total universal.

El cambio de estanque a prado y a bosque, descrito anteriormente, constituye un ejemplo de sucesión natural. La sucesión se define como la serie de cambios a través de los cuales un ecosistema va pasando a

* La aceleración de estos procesos constituye uno de los efectos de la contaminación del agua examinados en el capítulo 6.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

medida que transcurre el tiempo. El clímax es la etapa "final", la etapa que ya "no cambia". Por supuesto, la palabra final se utiliza con reserva, porque es el caso que el lento proceso de la evolución va cambiando todas las cosas. La composición del clímax depende de la temperatura, de la altura, de los cambios de temporada y de los tipos de precipitación fluvial y de luz solar. He aquí la descripción de algunos de los ecosistemas principales de clímax de Norteamérica:

Los bosques que constan en gran parte de árboles deciduos necesitan una humedad apropiada y un clima relativamente templado. Por consiguiente, no existen más al norte del Maine central o del Quebec sudoriental, ni más al sur de la Georgia central o de la Louisiana meridional. La precipitación pluvial ha de situarse entre 75 y 150 cm por año, y el promedio de la temperatura durante la temporada de crecimiento debería ser de alrededor de 16° C a 18° C.

Si el promedio de temperatura y los niveles de precipitación pluvial son más bajos y los inviernos más largos, como ocurre en partes de Maine, Alaska, Minnesota y Canadá, así como en las regiones montañosas del Oeste, los bosques de clímax están compuestos en gran parte de diversas especies siempre verdes.

En regiones todavía más frías, el clímax consta de vegetación casi desprovista de árboles. Este ecosistema de clímax, conocido como **tundra**, consta de plantas cuya temporada de desarrollo es de dos meses o menos y que son capaces de sobrevivir en condiciones severas de frío y de hielo (véase fig. 1-6). El desarrollo es todo bajo, denso, de florecimiento rápido y, podríamos añadir, muy bello.

En las áreas templadas, en las que la precipitación pluvial es demasiado baja para soportar bosques, el ecosistema de clímax consta de pradera (véase fig. 1-7). En las áreas más secas (de menos de 25 cm de precipitación pluvial al año) el clímax es un desierto, ya sea árido o capaz de soportar monte bajo y cactos (véase fig. 1-8).

En el curso de las edades geológicas, el ciclo de las materias primas ha sido muy eficaz, ya que, en otro caso, la vida no habría podido subsistir durante estos últimos millones de años. Es evidente, con todo, que los ciclos no son completos. Por ejemplo, la acumulación de grandes depósitos de carbón y petróleo constituye una prueba del hecho de que algunas materias primas han sido eliminadas del ciclo. La salinidad creciente de los mares constituye otro ejemplo de esta clase. Tal vez, con el tiempo, algunas convulsiones geológicas sirvan para redistribuir dichas materias.

1-6 LA FUNCION DEL HOMBRE

Por supuesto, el hombre forma parte del ecosistema de la Tierra. Su supervivencia depende de la supervivencia de centenares de miles de

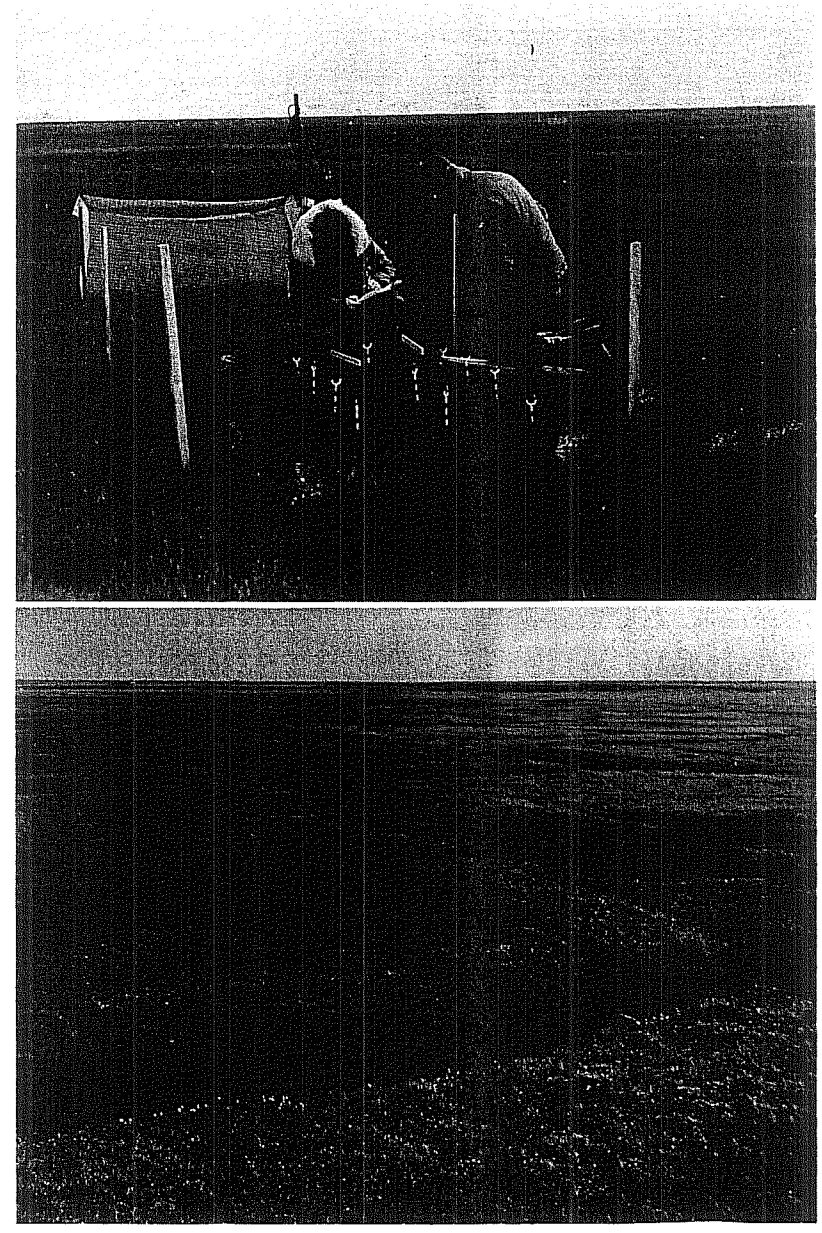


FIG. 1-6. Tundra en julio, en el llano costero cerca del Arctic Research Laboratory, de Point Barrow, Alaska. (Fotos del difunto Royal E. Shanks, de E. E. Clebsch y de John Koranda. De Odum: *Ecología.* 3a. ed. Nueva Editorial Interamericana, 1972. México.)

Preparatoria abierta Online | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

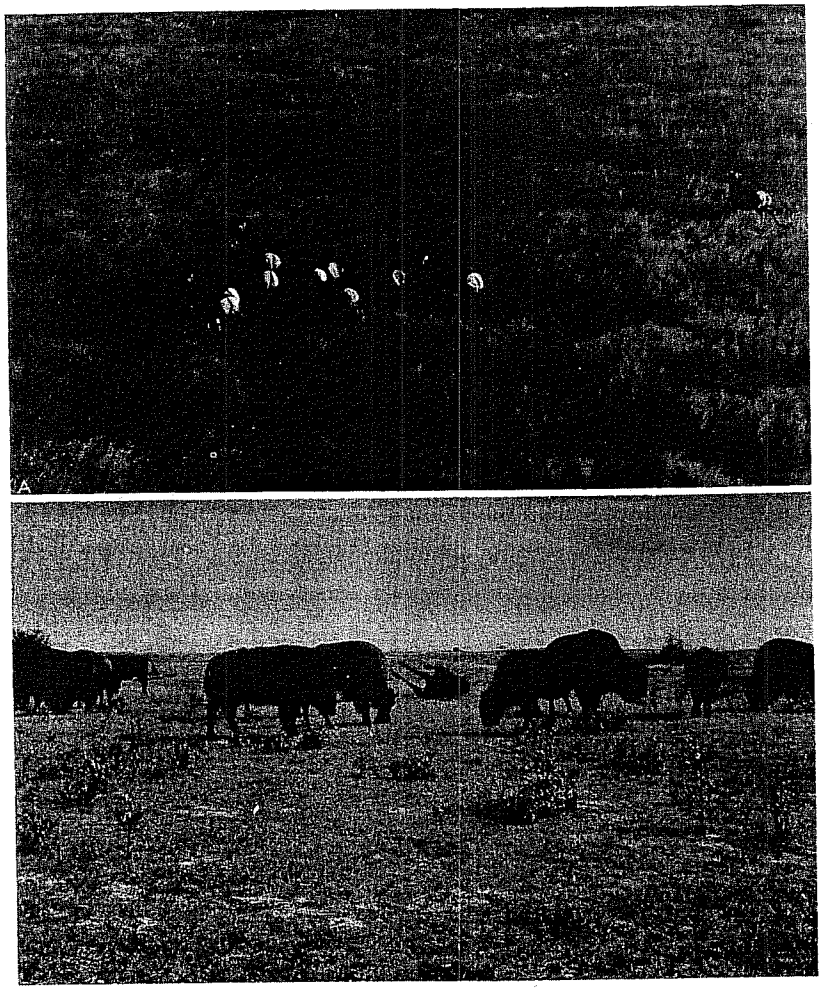


FIG. 1-7. Tierra de pasto templada natural (pradera), en Norteamérica central. *A*, Tierra de pasto, ligeramente pacida, en el Red Rock Lakes National Wildlife Refuge, Montana, con una pequeña manada de antílopes americanos. *B*, Tierra de pasto de hierba corta, en el Wainwright National Park, Alberta, Canadá, con una manada de bisontes. (De Odum: *Ecología*. 3a. ed. Nueva Editorial Interamericana, 1972. México.)

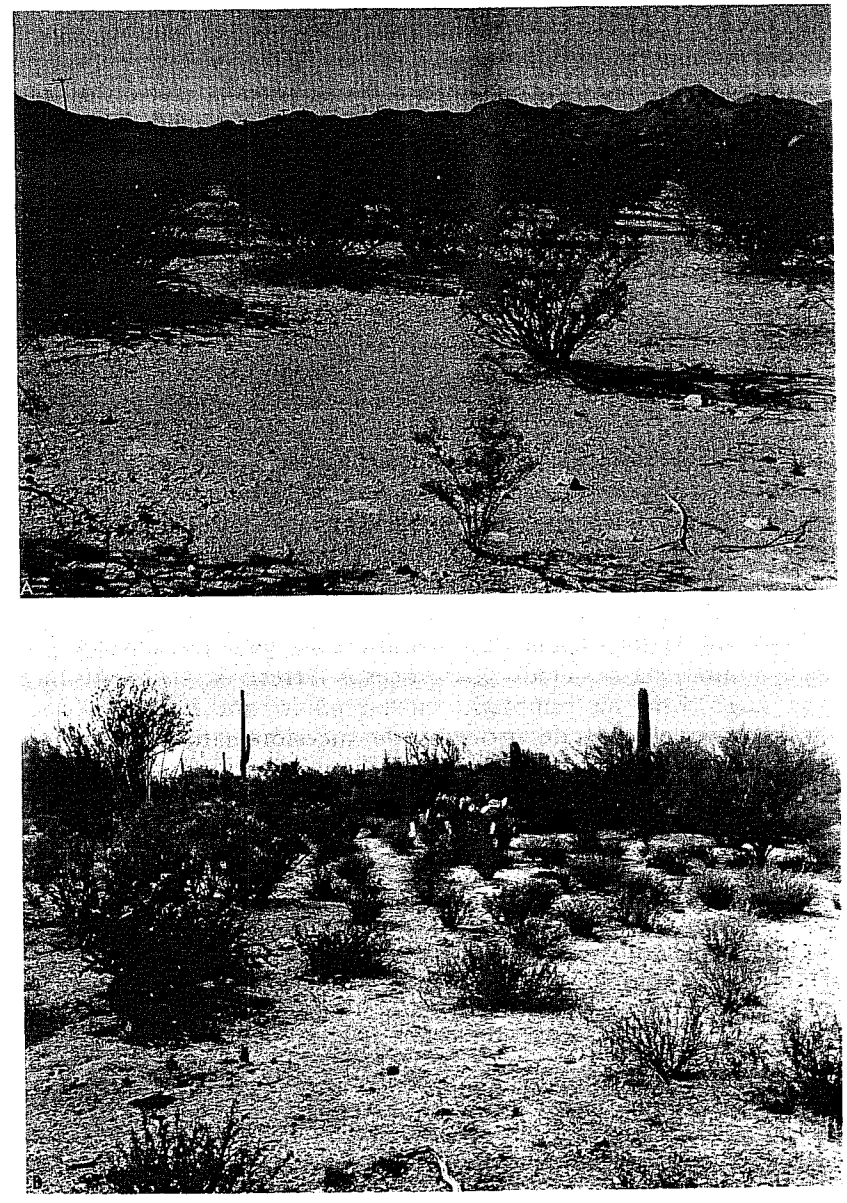


FIG. 1-8. Dos tipos de desierto en el occidente de Norteamérica. *A*, Desierto "cálido" de poca altitud, en el sur de Arizona. *B*, Desierto de Arizona a una altitud un poco mayor, con algunas clases de cactos y una diversidad mayor de arbustos y pequeños árboles de desierto. (De Odum: *Ecología*. 3a. ed. Nueva Editorial Interamericana, 1972. México.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

especies de plantas y animales. ¿Por qué, pues, consideramos al hombre separadamente? La respuesta es que, actualmente, el hombre está alterando violentamente los ecosistemas de la Tierra, y está en su poder destruir muchas de aquellas totalmente. Semejantes alteración o destrucción podrán pasar acaso inadvertidas. Por ejemplo, cuando un empresario llena un pantano para construir casas, está destruyendo el terreno de cría de miles de aves migratorias, provocando así cambios considerables en los numerosos ecosistemas a los que dichas especies pertenecen. En algunos casos, esta destrucción es intencionada. En efecto el rociar un pantano con DDT, con objeto de erradicar a los mosquitos portadores del paludismo, constituye un intento deliberado, aunque no necesariamente poco razonable, de destruir un determinado elemento de un ecosistema natural. Ya dijimos que los ecosistemas cambian con el tiempo debido a variaciones climáticas, sucesión natural y evolución. Pero es el caso que estos cambios implican largos periodos de tiempo. En efecto, los cambios evolutivos importantes, en los animales y las plantas superiores, requieren millones de años. El hombre, en cambio, puede cambiar la faz de la Tierra en cuestión de décadas. Antes del hombre, los procesos evolutivos de adaptación han sido lo bastante rápidos para asegurar la supervivencia de la vida sobre la Tierra, pero no podemos seguir confiando con que la evolución mantenga el paso con los cambios producidos por la tecnología. Un ejemplo nos dará una idea de en qué forma el hombre ha acelerado los procesos terrestres: en los últimos 50 años, el Lago Erie ha cambiado en un grado que habría necesitado 15 000 años en el caso de procesos de sucesión natural. Se considera que está ahora en peligro eminente de convertirse en un enorme pantano.

¿Cuáles son las consecuencias de la tecnología humana en relación con la supervivencia de la humanidad y de la vida sobre la Tierra? He aquí una pregunta grave y trascendente para la que no se da una respuesta fácil. Los capítulos siguientes examinarán diversas facetas del ecosistema del hombre, introducirán al lector en algunos conceptos importantes y lo equiparán para el estudio ulterior.

PROBLEMAS

1. Defínanse la ecología, el ecosistema y la homeostasia.
2. Considérense dos piscinas al aire libre, de exactamente el mismo tamaño, llenas ambas de agua hasta el mismo nivel. La primera no tiene ni entrada ni salida de agua corriente. La segunda es alimentada por una corriente continua de agua y tiene un drenaje a través del cual el agua sale a la misma velocidad de entrada. ¿Cuál de las dos piscinas está mejor protegida contra trastornos de su nivel de agua como los que podrían ser causados por la lluvia o la evaporación? ¿Cuáles mecanismos reguladores proporcionan esta protección?
3. Clasifíquese cada una de las substancias siguientes como rica o pobre en energía, con referencia específica a su capacidad para servir como alimento o combustible, a saber: arena, mantequilla, papel, piel, hielo, mármol, parafina.
4. ¿Qué es un ciclo alimentario? Esbócese un diagrama de un ciclo alimentario que implique sobre todo la vida en el aire, tal como las aves y los insectos, sus depredadores y plantas terrestres o acuáticas que suministran su energía.
5. Se desea establecer una región grande pero aislada con una reserva adecuada de alimento vegetal, números iguales de leones y antílopes, sin otro animal grande alguno. Los antílopes sólo comen materia vegetal, los leones sólo comen antílopes. ¿Es acaso posible que las poblaciones de las dos especies permanezcan aproximadamente iguales si empezamos con números iguales de cada una de ellas y luego dejamos que el sistema funcione por sí mismo? ¿Cabría esperar que la proporción de la población final fuera diferente si empezábamos con un número doble de antílopes? ¿Con un número doble de leones? Explique el estudiante sus respuestas. (Supóngase que los leones y los antílopes tienen el mismo peso.)
6. Enúnciense y explíquense tres factores que tienden a estabilizar un ecosistema.
7. Defínase el nicho ecológico; la simbiosis.
8. Explíquese la función de los animales rapaces en un ecosistema.
9. ¿Cómo contribuye la diversidad a la estabilidad de un ecosistema?
10. Defínase la sucesión natural. ¿Cuáles factores provocan cambios en un ecosistema? ¿Qué es el clímax de un ecosistema? Cítense tres ejemplos de un ecosistema de clímax.
11. ¿Diríamos que la Tierra comprende muchos ecosistemas relativamente independientes uno de otro, o que contiene solamente un ecosistema que ocupa la biosfera entera, o que los dos enunciados son correctos? Presente el estudiante argumentos en favor de su opinión.

La pregunta siguiente requiere cálculo aritmético:

12. Supóngase que una planta convierte el 1 por 100 de la energía lumínica que recibe del Sol en material vegetal, y que un animal almacena en su cuerpo 10 por 100 de la energía alimentaria que come. Empezando con una energía lumínica de 10 000 calorías. ¿De cuánta energía dispone un individuo si come maíz? ¿Si come carne de res? ¿Si come ranas, que comen insectos, que comen hojas?

RESPUESTA

12. 100 cal., 10 cal., 1 cal.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

BIBLIOGRAFIA

El libro de texto básico en materia de ecología es

Eugene P. Odum. *Ecología.* Tercera edición. Nueva Editorial Interamericana, 1972. 639 págs. México.

Una revista periódica dedicada por completo a la "Biosfera" es:

Scientific American, septiembre de 1970. 267 págs.

Un libro científico muy valioso orientado en el sentido de la biología teórica es:

Philip Handler, dir. *Biology and the Future of Man.* New York: Oxford University Press, 1970. 936 págs.

Hay algunos libros que no se limitan a la ecología, sino que se ocupan de modo general de los problemas del medio ambiente. Citamos a continuación tres de ellos; el primero es de orientación química, en tanto que el segundo y el tercero son de tipo más general:

American Chemical Society. *Cleaning Our Environment: The Chemical Basis For Action.* Washington, D. C., 1969, 249 págs.
Paul R. Ehrlich y Anne M. Ehrlich. *Population, Resources, Environment.* San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1970. 383 págs.
Ernest Flack y Margaret C. Shipley, dirs. *Man and the Quality of his Environment.* Boulder: University of Colorado Press, 1968, 251 págs.

Cierto número de libros populares dan la voz de alarma acerca de los peligros del medio ambiente para la supervivencia del hombre. He aquí cinco de ellos:

Ron M. Linton. *Terracide.* Boston: Little, Brown and Co., 1970. 376 págs.
J. Rose, dir. *Technological Injury.* New York: Gordon and Breach, Science Publishers, 1969. 224 págs.
Robert Rienow y Leona Train Rienow. *Moment in the Sun.* New York: Ballantine Books, 1967. 365 págs.
Melvina A. Benarde. *Our Precarious Habitat.* New York: W. W. Norton and Co., 1970. 362 págs.
Osborn Segerberg, Jr. *Where Have All the Flowers Fishes Birds Trees Water and Air Gone?* New York: David McKay Co., 1971. 303 págs.

Los lectores interesados en el costo del control ambiental pueden consultar:

Thomas D. Crocker y A. J.. Rogers III. *Environmental Economics.* Hinsdale, Ill.: Holt, Rinehart and Winston, The Dryden Press, 1971. 150 págs.

2

MEDIO AMBIENTE AGRICOLA

2-1 ECOSISTEMAS AGRICOLAS

Al evolucionar el hombre a partir de sus antecesores simiescos, empezó comiendo carne y diversos productos vegetales, según lo que lograba conseguir de un día a otro. Cazaba y llevaba su alimento a su cueva, o era cazado y llevado a la cueva de algún otro depredador. Competía con otros herbívoros por alimentos vegetales, y la vida resultaba muy dura durante las sequías, las inundaciones y las pestilencias.

El medio ambiente de la Tierra no resultaba apreciablemente alterado por la existencia del hombre primitivo. Las razones de esto eran dos. Primero, la tecnología primitiva del hombre era muy limitada. Sus utensilios de piedra y de madera para cavar y cazar podían competir sin duda con el colmillo del mamut o la zarpa del tigre, pero no eran ciertamente muy superiores. En segundo lugar, la población del hombre primitivo era muy reducida e, inclusive si él hubiera sido técnicamente avanzado, su presencia sobre la Tierra era demasiado esparcida para poder afectar el medio ambiente en grado significativo alguno.

Sin embargo, la carrera entre la evolución social y la evolución biológica no constituye en modo alguno una contienda. Y una vez que el hombre hubo adquirido su capacidad de crear alguna tecnología, siquiera un hacha de piedra, y de transmitir su conocimiento de generación en generación, una invención fue sucediendo a la otra, y su predominio sobre sus competidores se fue afianzando. Sus éxitos lo hicieron más numeroso; su población aumentada y sus capacidades mejoradas se reforzaron mutuamente y, finalmente, los efectos combinados de estas circunstancias empezaron a alterar la Tierra en forma apreciable.

El primer invento importante del hombre en relación con la alteración de la Tierra fue la agricultura. (Nos servimos aquí del vocablo en su sentido más amplio, que comprende tanto el cultivo de cosechas como la cría de ganado.) Para comprender por qué la agricultura crea un tipo fundamentalmente nuevo de ecosistema, recuérdese, del capítulo 1, que el sistema naturalmente equilibrado es autosuficiente y no necesita intercambiar materia alguna, ya sea dándola o tomándola, con el exterior. El consumo y la producción de elementos nutritivos recorren el ciclo alimentario incesantemente, sin pérdida ni ganancia alguna. Un sistema así podrá ser una región aislada, como por ejemplo, un valle rodeado por un sistema de altas montañas, o un jarro sellado, con caracoles, algas y microorganismos.

Imaginemos ahora que contemplamos el jarro sellado de los caracoles y las algas cuando estamos hambrientos: nos darán ganas de comer algunos caracoles. Nosotros mismos no formamos parte del sistema del jarro, sino que somos el exterior. Así, pues, abrimos el jarro y sacamos algunos caracoles. Esto podrá satisfacernos por algún tiempo, pero, si la situación persiste, el resultado final es inevitable. O bien agotamos el elemento nutritivo del jarro, y necesitaremos ir a otro sitio en busca de otra fuente de alimento, o bien habremos de rellenar el jarro con una cantidad de elemento nutricio equivalente a la que extrajimos. Este ejemplo constituye un modelo ilustrativo de un ecosistema agrícola en cuanto opuesto al sistema naturalmente equilibrado. Dijimos que la agricultura era un invento técnico. En efecto, capacitó al hombre para obtener alimentos de la tierra en forma mucho más eficaz de lo que jamás hubiera sido el caso colectando o cazando, y aun en forma tan eficiente, de hecho, que a una superficie determinada de tierra se le podía hacer alimentar a más gente que los solos cultivadores o pastores que la cuidaban. En esta forma, algunos hombres se vieron libres de la imprecación bíblica del "comerás el pan con el sudor de tu frente". Lograron abandonar el campo y congregarse en ciudades, donde pudieron dedicarse a actividades distintas de la recolección de alimentos, tales como las artes y la tecnología, incluido el desarrollo proseguido de elementos para mejorar la agricultura. Pero es el caso que los individuos que viven en la ciudad están fuera del sistema productor de alimentos: son un drenaje, como la persona que extrae caracoles del jarro. Semejante drenaje interrumpe el ciclo de los alimentos y produce un desequilibrio ecológico. Y cuanto más eficiente se hace la técnica productora de alimentos, tanto peor resulta el trastorno ecológico. Por supuesto, el hombre ha comprendido desde hace ya mucho que su alternativa consistía en refertilizar la tierra o acabar yéndose a otro sitio. En algunas regiones, el hombre ha tenido mucho éxito en la tarea de conservar fértil la tierra de cultivo. Por ejemplo, algunas regiones de Europa han sido cultivadas eficazmente por espacio de miles de años. Durante este

periodo, el suelo se ha enriquecido inclusive, con estiércol (humano y animal). En cambio, en otros lugares, el hombre sigue destruyendo, según veremos, vastas superficies de tierra otrora fértil.

Señalamos en el capítulo 1 que la diversidad de un ecosistema contribuye a su estabilidad. Por ejemplo, la existencia de dos tipos de pinos, uno que prefiere una sequedad relativa y otro que prefiere una humedad relativa, contribuye a asegurar la supervivencia del bosque, aun después de años de precipitación pluvial baja. Y a su vez, la presencia del bosque mantiene la salud del suelo, que contiene los organismos desintegradores necesarios para la putrefacción de los árboles, las hojas y las ramas caídos y de otros elementos del manto del bosque. Por su propia naturaleza, la agricultura no es tan diversa; a ningún campesino le gusta, por ejemplo, tener conejos en su parcela dedicada al cultivo de zanahorias, ni pájaros en su campo de grano, ni siquiera zanahorias en este último.

En este capítulo esbozaremos los métodos tradicionales mediante los cuales el hombre ha aumentado la producción de sus granjas, y mostraremos que estos métodos han trastornado a menudo los ecosistemas y se han traducido, en ocasiones, en desastre. Consideraremos al propio tiempo algunos de los difíciles problemas inherentes a la solución.

2-2 TECNICAS DE LA AGRICULTURA

Desde tiempos antiguos se han venido aplicando cuatro técnicas agrícolas importantes para ayudar al hombre a llevar el rendimiento de la tierra al grado máximo, a saber:

a) Los grandes consumidores no humanos (mamíferos, reptiles y pájaros) se mantienen alejados físicamente de los cultivos. Es obvio que el rendimiento cosechable de una determinada superficie aumentará si no se permite que los animales se coman las cosechas. El ecosistema maduro se mantiene en equilibrio porque los animales comen el excedente producido por las plantas. Si el cultivador es el único herbívoro en un campo dado, cosechará más de lo que necesita para comer, quedándole así un excedente que podrá vender. De este modo, pues, el empleo de cercados para mantener a los herbívoros alejados de los cultivos puede aumentar el rendimiento de las cosechas. Por supuesto, el efecto es menos agradable para los herbívoros. Su libertad de buscar alimento se ve mermada y, en tiempos de carestía, podrán sucumbir. Por ejemplo, el venado ha sido reducido a áreas cada vez menores en Norteamérica, a medida que se han ido talando más bosques y las tierras de cultivo se han ido cercando. (Por otra parte, el hombre ha reducido también la población de los depredadores naturales del venado, de modo que algunas de la [illegible] mo están actualmente

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Constituye una tarea relativamente fácil mantener a los grandes animales alejados de las áreas de cultivo; el efecto consiste en aumentar el número de los humanos sobre la Tierra a expensas de los demás animales. El problema de reducir la competencia de los insectos es mucho más complicado, según veremos en el capítulo 3.

b) Sólo se cultivan las plantas útiles al hombre. Las plantas son útiles como alimento si producen grandes semillas comestibles, ricas en proteínas, o si concentran vitaminas o almidón en sus raíces, sus hojas o sus frutos. Algunas plantas, como el algodón y el tabaco, se cultivan con fines distintos del alimento. En todo caso, el hombre puede incrementar su rendimiento agrícola cultivando plantas de alta productividad, en lugar de las de rendimiento menor —como la cizaña. Las técnicas agrícolas permiten a los cultivos del hombre desarrollarse con una competencia mucho menor por el agua, la luz solar y los elementos nutritivos del suelo que si vivieran al estado silvestre. El exterminio de la mala hierba, al igual que la protección contra los herbívoros no humanos, es indispensable para la agricultura. Es el caso, sin embargo, según veremos más adelante, que la "mala hierba" forma a menudo parte del equilibrio natural, y su supresión ha destruido, en el pasado, la tierra. Sin duda, la teoría de no cultivar más que las plantas más productivas es consistente. Pero, en la práctica, la destrucción de la mala hierba arando ha sido causa directa de la desaparición del manto del suelo más rápidamente de lo que puede formarse mediante el proceso natural de la erosión de las rocas.

c) Se refertiliza la tierra. La recirculación o fertilización artificial de las tierras de cultivo es indispensable si el hombre ha de obtener de la tierra los elementos nutritivos en forma de granos, fruta, hortaliza y demás. En otro caso, la tierra perderá su fertilidad.

d) Se riega la tierra. La menos generalizada de las cuatro técnicas de la agricultura es el riego. Esta técnica sólo es necesaria en regiones secas, donde el hombre quiere cultivar más alimentos de lo que sería posible en otro caso.

Todas estas cuatro técnicas son necesarias para el desarrollo de la agricultura moderna. Cada una ha conducido, cuando se abusa de ellas, a la destrucción de tierra de cultivo. Actualmente, millones de hectáreas de esta tierra se pierden cada año. La tierra fértil se está destruyendo en la actualidad más rápidamente de lo que se reconstituye. Es obvio, pues, que esto no puede proseguirse indefinidamente. Por consiguiente, consideremos algunos de los errores clásicos del hombre, para comprender de qué modo tales pérdidas suelen producirse.

2-3 DESTRUCCIONES AGRICOLAS

Es bien sabido que la agricultura de India no puede seguir por completo el paso de las necesidades de su población y que, por consiguiente, la carestía no está nunca más que a unas pocas estaciones secas de distancia. Pero se sabe menos, en cambio, que aproximadamente las dos terceras partes de la tierra de cultivo han sido parcial o totalmente destruidas por la erosión o por agotamiento del suelo causado por el hombre. En efecto, la región alrededor del Sind, cerca de la desembocadura del Indo es típica de una tierra de cultivo destruida. Con excepción de unas cuantas extensiones irrigadas, Sind es ahora una región estéril, árida y medio desértica. Y sin embargo, las excavaciones arqueológicas han puesto al descubierto las ruinas de una civilización avanzada que cultivaba allí la tierra hace cosa de 4 000 años. Además, los fósiles de los animales nativos de la región, muestran que vivían allí elefantes, búfalos acuáticos, tigres, osos, venados, loros, lobos y otros habitantes similares de los bosques. Los colonizadores primitivos construyeron templos de ladrillo; ahora bien, no cabe duda que alimentaban el fuego con leña, y la leña hubo de provenir de bosques de las regiones vecinas, que son ahora desierto. Los detalles de la transformación de bosque en desierto son conjeturas en gran parte, porque no existen datos metereológicos consignados de estos 4 000 años. Cabe, sin embargo, sugerir un mecanismo plausible. En efecto, recuérdese que un bosque mantiene un medio ambiente más fresco que la tierra de pasto. Una parte de esta frescura se debe a la capacidad del ecosistema de bosque para retener el agua. En cambio, las nubes que pasan arriba de una estepa tropical cálida subirán, por regla general, y la lluvia raramente se producirá, en tanto que las nubes que pasan arriba de una selva fresca se verán inducidas a soltar su contenido de lluvia. Así, pues, el cambio de clima que destruyó la tierra de Sind fue ocasionado probablemente por desforestación. Esto plantea un dilema interesante. Hemos señalado ya que el campesino sólo debería cultivar aquellas plantas que producen una cantidad abundante de alimento. Ahora bien, los bosques son pobres productores de alimento para el hombre. Es el caso, sin embargo, que la devastación del bosque de Sind acabó destruyendo la tierra, y la tierra muerta no produce alimento en absoluto. Así, pues, si los habitantes primitivos de la región hubieran comprendido la importancia de la diversidad natural y si hubieran sido capaces de establecer una proporción adecuada de bosque y tierra de cultivo, podrían haber producido alimento suficiente, sin destruir su ecosistema.

A la luz de este ejemplo hipotético resulta interesante observar lo que tiene lugar en India actualmente. Puesto que el pastoreo excesivo destruye el manto del suelo, los cabreros, sirviéndose de hoces de seis metros de largo cortan las ramas de los árboles, para alimento de sus cabras. Los árboles se mueren y la tierra se la lleva el viento. Pero, ¡vaya alguien a decirle a un hombre que tiene en casa un niño que se está muriendo de hambre que respete los árboles en beneficio de las generaciones futuras!

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Otro relato de destrucción de tierra proviene de la región del cuarto creciente fértil: de la "cuna de la civilización". El valle del Tigris y el Eufrates dio origen a varias grandes civilizaciones. Sabemos que sistemas muy complicados de letras, matemáticas, derecho y astronomía se originaron en dicha región. Obviamente, pues, los hombres tenían allí tiempo para instruirse y practicar la filosofía. Podemos inferir, pues, que el abastecimiento en alimentos hubo de ser, al menos, apropiado. Hoy, en cambio, una gran parte de dicha región es árida, medio desértica, desolada y está gravemente erosionada. Los arqueólogos ponen al descubierto, mediante excavaciones, antiguos canales de riego, antiguos azadones y muelas harineras en el medio del desierto. ¿Qué ocurriría?

Una parte de la explicación deriva de la fuente de los grandes ríos en las mesetas armenianas. Se roturaron los bosques para dedicar la tierra a pasto y al cultivo del viñedo y del trigo. Pero es el caso que la tierra de cultivo del hombre es incapaz, sobre todo si está mal administrada, de retener tan bien el suelo y la humedad, año tras año, como los bosques o las tierras de pasto naturales. Como resultado, los grandes torrentes, como los que originan las lluvias primaverales o el derretir de la nieve en las montañas, tendieron más bien a precipitarse cuesta abajo que a imbibirse en el suelo. Estas aguas incontroladas se convierten en inundaciones primaverales. A título de medida preventiva se excavaron canales, en el valle, para desaguar los campos en primavera y regarlos durante el verano y el otoño. Pero es el caso que la agricultura floreciente excitaba la codicia de los vecinos, y una guerra tras otra asolaron la región. Decenas de miles de soldados la invadieron, comieron los alimentos, mataron, esclavizaron y expulsaron a la población rural. El resultado fue que los canales y las tierras de cultivo fueron abandonados. Los canales descuidados se convirtieron en pantanos, los pantanos redujeron el caudal de los ríos, y los ríos reducidos ya no podían seguir utilizándose para regar otras partes de la región. La capa freática bajó, y los rendimientos son menores actualmente que 4 000 años atrás.

Esta historia de la destrucción de tierra fértil se deja repetir con fastidiosa monotonía. La antigua Cartago fue fundada en las orillas del Mediterráneo, en Africa del Norte, en medio de una tierra de pasto seco pero fértil. Los granos producían en abundancia. Actualmente, una gran extensión de dicha región se ha convertido en parte del desierto del Sahara. Y de hecho, una gran parte de este desierto es un producto accesorio del arado y el cultivo excesivos de tierra fértil, conducentes al agotamiento de la cantidad de humedad disponible. Con objeto de estudiar este proceso con mayor detalle, examinaremos un gran fracaso norteamericano: el Cuenco del Polvo.

Los primeros colonos europeos encontraron millones de hectáreas de tierra virgen (esto es, no utilizada por el hombre) en América. La costa oriental, a donde llegaron primero, era muy boscosa, y la tarea de

roturar la tierra, arrancar tocones y establecer cultivos fue ardua. En Nueva Inglaterra, especialmente, los prolongados inviernos y las laderas rocosas de las montañas contribuían a hacer el cultivo más difícil. Era natural, pues, que los colonos fueran atraídos hacia el Oeste, porque allí, más allá del Mississippi, había extensiones de pradera hasta perderse de vista. Un manto de tierra rico, profundo y sin piedras, y grandes extensiones sin árboles prometían un arado, un sembrado y una recolección fáciles. En 1889 fue abierto el Territorio de Oklahoma al establecimiento regular. A las pocas semanas, la población blanca subió allí de casi cero a 60 mil habitantes. Para 1 900 eran ya 390 mil, que vivían de la riqueza del suelo. En 1924, una espesa nube de polvo sobrevoló la ciudad de Nueva York y se perdió en el Oceáno Atlántico. Este polvo había sido el manto de tierra de Oklahoma.

En cada uno de los ejemplos anteriores cabría sostener que la destrucción de la tierra fue causada en realidad más bien por cambios de clima que por la mala administración del hombre. Sin embargo, las pruebas indirectas hablan con fuerza en contra de éste. Por ejemplo, en las regiones entre los ríos Eufrates y Tigris donde los canales no fueron destruidos la tierra sigue siendo fértil. Y en forma análoga, algunas regiones de Africa del Norte, cerca del Sahara, conservan todavía árboles de los que se supone que fueron plantados por los romanos, y las pruebas geológicas indican en dichas regiones unos tipos de clima relativamente constantes. En cambio, en el caso del Cuenco del Polvo, de Oklahoma, *nos consta* que el desierto fue obra del hombre, sin que el clima cambiara.

En una gran extensión del centro occidental de Estados Unidos de Norteamérica, la precipitación pluvial es demasiado baja para mantener un sistema de bosque. Por ello la verdadera pradera, o tierras de pastos, representa el clímax ecológico de allí. Las tierras de pasto, al igual que los bosques, deben una buena parte de su éxito ecológico a su diversidad. En efecto, crecen en la pradera tanto plantas anuales como perennes. Estas últimas y algunos arbustos bajos tienen raíces profundas, en tanto que las plantas anuales dependen de sistemas de raíces mucho más cortos y menos extensos. Durante los años secos, hay tan poca agua, que muchas plantas anuales mueren. En cambio, las perennes, que aprovechan el agua profunda bajo el suelo, pueden subsistir y, al hacerlo, retienen la tierra e impiden que se la lleven los vientos de los veranos secos. En años de lluvias abundantes, las plantas anuales retoñan vigorosamente, llenan los lugares vacíos y, con sus sistemas de extensas raíces superficiales previenen la erosión de la tierra por los torrentes. La supervivencia de ambos tipos de hierba está asegurada por una competencia mínima de las raíces, porque cada una de las dos plantas cuenta con un sistema de raíces que llega a profundidades distintas. Además, no todas las especies florecen en la misma época del año, de modo que

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

las estaciones de desarrollo máximo y, por consiguiente, de consumo máximo de agua difieren unas de otras.

Antes del Acta de Establecimiento, el herbívoro dominante era allí el bisonte. Millones de estos animales vagaban por los llanos. Su número era mantenido bajo control por las fuerzas naturales. En efecto, los cazaban manadas de lobos; sin embargo, debido a que en los primeros años de vida los bisontes, tanto machos como hembras, eran demasiado rápidos y demasiado fuertes para el lobo, solamente sucumbían y eran devorados los adultos enfermos y viejos y los lentos terneros. Cuando los bisontes escaseaban, los lobos comían ratones campestres, marmotas de los llanos y otros roedores. También los coyotes y los zorros tenían como presa a los roedores pequeños. El ecosistema era estable.

La contribución del hombre no fue particularmente providente. En efecto, mató los bisontes para crear lugar para su ganado, y luego mató a los lobos y los coyotes para prevenir la depredación de sus rebaños. Además, permitía con frecuencia que su ganado paciera con exceso. Y en las tierras de pastoreo excesivo, las plantas, especialmente las anuales, se dispersan a tal punto unas respecto de otras, que no pueden fecundarse por sí mismas. Por consiguiente, la tierra misma se hace muy susceptible a la erosión del suelo durante las fuertes lluvias. Por otra parte, en lugar de imbibirse en el suelo, el agua se escurre, lo que produce un descenso de la capa freática. Y puesto que las plantas perennes dependen de los niveles del agua subterránea, el agotamiento del manto freático representa la muerte para todas las hierbas de la pradera. Y el proceso conjunto resulta todavía acelerado por el hecho de que, al pacer, el ganado aprieta la tierra con sus pezuñas, obstruyendo así el filtrado natural de aire y agua a través del suelo.

La introducción del arado en la pradera por el hombre produjo un efecto todavía más grave. Cavó y revolvió la tierra de la pradera para procurarse espacio para sus cultivos. Ya vimos que la diversidad confiere estabilidad a la pradera. El cultivo con miras al comercio, en cambio, dedica grandes extensiones a una sola planta, destruyendo así el sistema naturalmente equilibrado. El primer paso para convertir un prado en granja consiste en arar el suelo, preparándolo para la siembra. Por supuesto, en este momento el suelo es vulnerable, puesto que las hierbas perennes que normalmente retienen la tierra durante la sequía han sido ya muertas.

Si las lluvias de la primavera fallan, las nuevas semillas no germinan, y la tierra se secará y será arrastrada por el viento. A título de medida de urgencia, los granjeros practican a menudo la "protección del polvo". En efecto, triturando algunos centímetros de la tierra superficial en finos gránulos, se forma una capa de polvo. Esta capa facilita la acción capilar, mediante la cual el agua profunda es llevada a la superficie. De este modo, la tierra permanece húmeda justamente debajo del

polvo, y las semillas germinan. Sin embargo, antes de calificar la protección del polvo como un éxito, hay que considerar el conjunto de los aspectos. Y es el caso que la tierra es algo más que mera piedra pulverizada; consta, en efecto, de organismos desintegradores y de materia orgánica parcialmente descompuesta. Por otra parte, los mantos de tierra de la pradera han desarrollado un mecanismo de equilibrio, gracias al cual la concentración de materia orgánica descompuesta permanece aproximadamente constante. La protección del polvo, en cambio, lleva a la superficie una gran parte del material orgánico anteriormente subterráneo. Y una vez en la superficie, la materia orgánica reacciona con el oxígeno del aire (se oxida) mucho más rápidamente de lo que sería el caso si hubiera permanecido donde estaba. El resultado es una reducción tanto de la concentración de la materia orgánica en el suelo como de la fertilidad de éste. Y si estas pérdidas se prosiguen, llega finalmente un momento en que el suelo es tan árido, que no puede mantener siquiera el desarrollo de las hierbas resistentes de la pradera. Por supuesto, el granjero puede reponer la materia orgánica perdida esparciendo estiércol u otros fertilizantes, pero es lo cierto, con todo, que millones de hectáreas de tierra de cultivo anteriormente fértil han sido arruinadas porque los granjeros no refertilizaron apropiadamente (véase fig. 2-1).

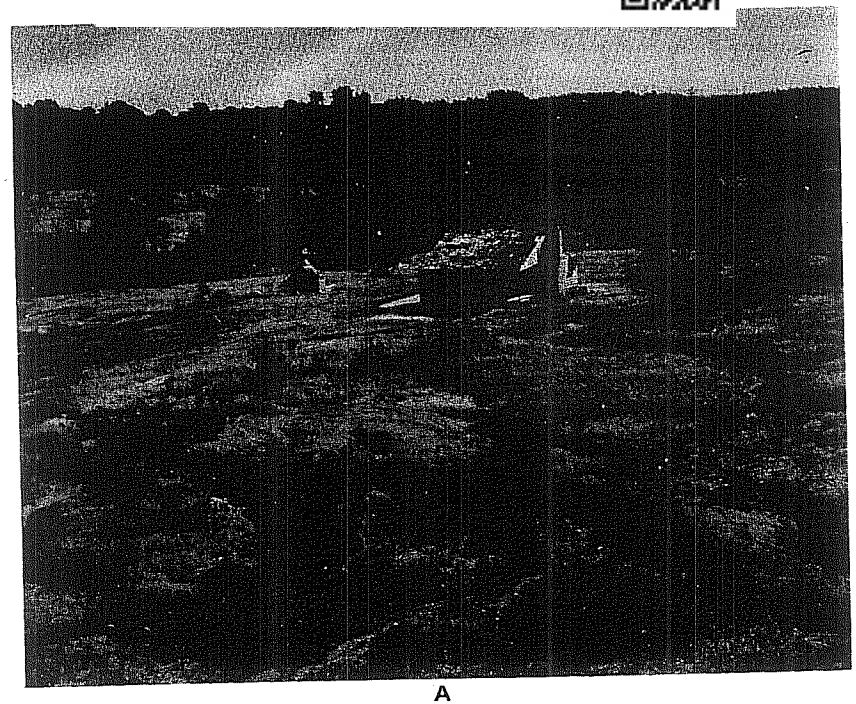
Por otra parte, si después de arar resulta que las lluvias primaverales son demasiado fuertes, la tierra será acaso arrastrada por el agua antes de que las semillas hayan tenido la oportunidad de desarrollarse. Pero inclusive después de haber germinado las semillas, la práctica de arrancar la mala hierba entre las hileras deja algún suelo susceptible de ser erosionado por lluvias fuertes.

A partir del conocimiento de estos hechos resulta fácil comprender lo que ocurrió en Oklahoma. En efecto, durante un periodo de 20 a 35 años, la fertilidad del suelo fue decreciendo lentamente. La refertilización incompleta y la pérdida debida a viento y agua cobraron su tributo. Finalmente, al producirse una sequía prolongada, las semillas no germinaron, y un vendaval veraniego se llevó el manto de tierra hacia el Océano Atlántico, al este, a más de mil kilómetros de distancia.

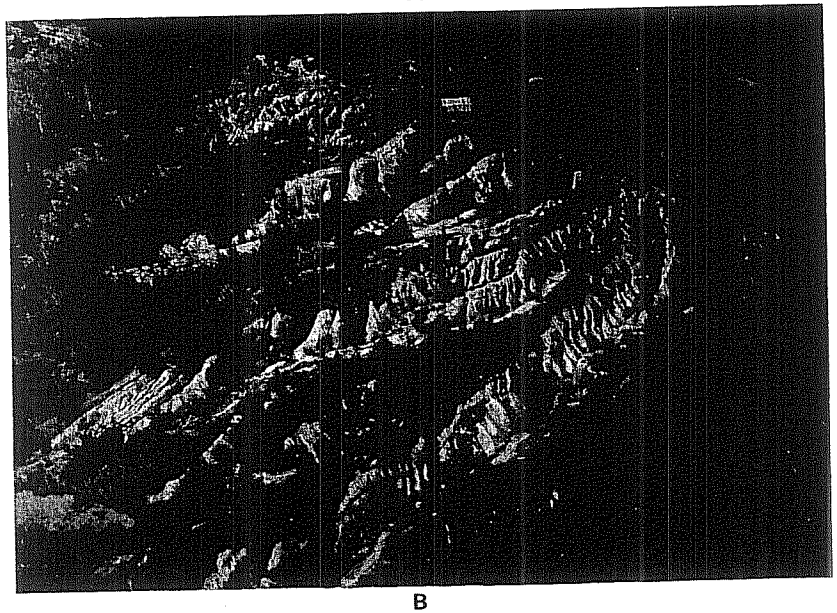
Las sequías que destruyeron la tierra de cultivo de Oklahoma no produjeron efecto duradero alguno sobre las praderas que el hombre había dejado intactas y, de hecho, dichas tierras vírgenes siguen siendo fértiles. Es posible que, en algunos miles de años, el Cuenco del Polvo, erosionado por el viento, recobre su fertilidad. Decimos "es posible", porque es el caso que una destrucción similar de la pradera norafricana dejó la tierra tan árida, que nada quedó para retener la lluvia que caía. Dos mil años después de haber fracasado los cultivos, uno puede estarse en medio de las ruinas de una rica hacienda rural y contemplar cómo las arenas del gran Sahara son llevadas por el viento.

Cabría pensar que era imposible destruir tierra importando agua (regadío). Pero es el caso que también el riego puede resultar destructor.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com



A



B

FIG. 2-1. *A*, Uso agrícola negligente de la tierra, que se tradujo en erosión masiva, hogares abandonados y pobreza. *B*, Tierra de cultivo en Mississippi, arruinada por la erosión del suelo. (U. S. Forest Service photos. De Odum: *Ecología*. 3a. ed. Nueva Editorial Interamericana, 1972. México.)

En efecto, cuando el agua pluvial cae en las laderas de las montañas, se reúne en pequeñas corrientes, en la superficie y debajo del suelo, y se filtra por sobre, por debajo y a través de las formaciones rocosas. En los procesos de correr hacia un gran río, el agua disuelve diversas sales minerales presentes en las rocas y la tierra de la montaña. Por regla general, estas sales se concentran en los mares. Pero, si el agua del río es utilizada para riego, el hombre está llevando a su tierra agua salada. Al evaporarse el agua, la sal se queda y, con el correr de los años, el contenido de sal del suelo aumenta. Y puesto que la mayoría de las plantas no crecen en suelo salado, la fertilidad de la tierra decrece. En Pakistán, un aumento en la salinidad redujo la fertilidad de modo alarmante después de 100 años de riego. En algunas partes de lo que ahora es Siria, los arqueólogos han puesto al descubierto las ruinas de unas ricas civilizaciones agrícolas. En cambio, la tierra adyacente a los antiguos canales de irrigación es ahora demasiado salada para permitir el desarrollo de la vegetación.

Además, es sabido que un riego extenso pero descuidado ha hecho subir la capa freática de la tierra irrigada. Y si esta capa es demasiado alta, las raíces de las plantas quedan sumergidas en agua y mueren por falta de aire. A principios de los años sesentas, problemas de anegación y salinidad causaron la pérdida de unas 25 mil hectáreas en sólo Pakistán.

En ocasiones, inclusive una alteración al parecer bien concebida del equilibrio de la naturaleza ha producido resultados desastrosos. Durante miles de años, por ejemplo, el valle del Nilo ha sido cultivado. Cada primavera, el río se desbordaba y llevaba consigo agua y tierra fresca de las montañas de Abisinia. Al bajar el nivel de las aguas, los campesinos cultivaban lo que podían durante el largo verano. Con objeto de aumentar el rendimiento agrícola para una población en vías de aumento, los ingenieros habían estado estudiando durante mucho tiempo la posibilidad de represar el Nilo, almacenando así el exceso de agua de las estaciones de inundación para su empleo racional durante el verano. La Presa del Alto Asuán, construida en un periodo de 11 años e inaugurada en 1971, había de realizar este objetivo, proporcionando al propio tiempo abundante energía hidroeléctrica. El almacenamiento de agua empezó en 1964, en que el Nilo fue desviado por un canal provisional durante la construcción, y se ha estado produciendo energía desde 1967. Otros de los beneficios obtenidos han sido rendimientos más abundantes de algodón, granos, fruta y hortalizas mediante riego durante el verano y gracias a la recuperación de tierra anteriormente árida. Pero, no han faltado los problemas. En primer lugar, el sedimento que anteriormente las aguas de la inundación se llevaban al mar, aunque de ninguna utilidad para los cultivadores, alimentaba, con todo, una rica diversidad de vida acuática. Pues bien, la ausencia de este elemento nutritivo se ha

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

traducido en la pérdida anual de 18 mil toneladas de sardina. En segundo lugar, las aguas de inundación se llevaban anteriormente sales de la tierra que, en otro caso, se habrían acumulado reduciendo la fertilidad del suelo, en tanto que, con la inundación controlada, las sales se quedan en él. El aumento consiguiente de la salinidad del suelo constituye una amenaza para la productividad de la región. En tercer lugar, el limo protegía anteriormente la tierra del delta de diversas maneras: servía, en efecto, de obturador subterráneo que reducía al mínimo la filtración capaz, en otro caso, de drenar diversos lagos de agua dulce, y contribuía a reforzar los diques naturales de arena que protegían la línea costera contra la erosión por las poderosas corrientes del Mediterráneo. También estas acciones moderadoras han desaparecido a medida que el sedimento de las montañas de Abisinia se deposita, en lugar de ello, detrás del Alto Dique, mientras el agua clara, sin limo, corre río abajo más rápidamente que antes, erosionando los márgenes del río y socavando los fundamentos de miles de puentes tendidos sobre el mismo. En cuarto lugar, la pérdida de limo depositado anteriormente en los campos río abajo constituye una pérdida de elemento nutritivo que debe compensarse con fertilizantes químicos. En quinto lugar, los periodos secos entre las inundaciones, ahora eliminados por el riego, solían limitar la población de unos caracoles acuáticos portadores de un trematodo llamado Bilharzia. Este parásito se propaga fácilmente al hombre y deposita sus larvas debajo de su piel, de donde éstas proceden a invadir los tubos digestivo y urinario. La enfermedad debilitante que resulta, llamada **bilharziasis**, sigue el curso de los canales de irrigación e infecta a 80 por 100 aproximadamente de la gente que allí trabaja. ¿Cómo pueden compararse la pérdida de mano de obra y el aumento de malestar humano con mayores rendimientos de los cultivos?

Finalmente, el Alto Dique parece ser la causa de una grave pérdida de agua, la única substancia indispensable que no debería faltar nunca. En efecto, el lago detrás de la presa había de llenarse para 1970; pues bien, no se había llenado ni siquiera hasta la mitad en 1971. Algunos limnólogos (científicos que estudian los fenómenos físicos de los lagos) predicen que no se llenará ni en 100 años. En efecto, se producen pérdidas por filtración a través de roca porosa y por evaporación en los vientos cálidos de Egipto Superior. Por supuesto, la tecnología podrá ayudarse a sí misma. Todos los problemas que acabamos de enumerar están siendo estudiados, y es posible que se encuentren medios de controlar la erosión, los parásitos, la filtración y la salinidad, y de producir energía suficiente para alimentar fábricas capaces de manufacturar elementos nutritivos que substituyan los que antes eran llevados río abajo en forma de limo de las montañas. No existe ley alguna de física o química que niegue la posibilidad de semejante remedio técnico de los trastornos técnicos; pero es lo cierto, con todo, que hasta el presente

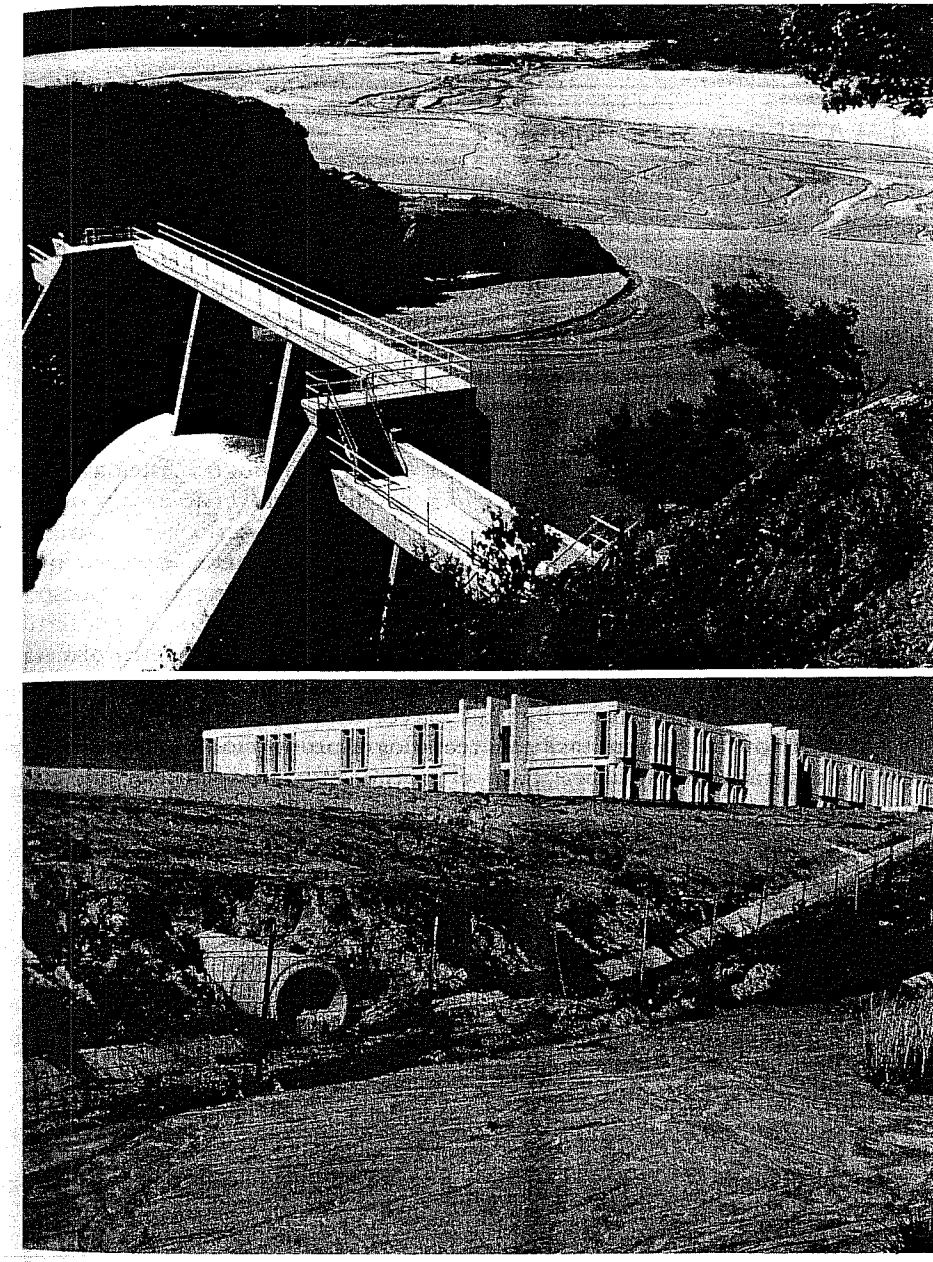


FIG. 2-2. Depósito de embalsamiento en una vertiente sin protección, que quedó totalmente obstruido por sedimentos en menos de seis años. (U. S. Forest Service photo. De Odum: *Ecología*. 3a. ed. Nueva Editorial Interamericana, 1972. México.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

estamos observando que este objetivo resulta ser bastante más elusivo de lo que parecía.

2-4 LA TIERRA Y EL HOMBRE

En el capítulo 1 esbozamos las líneas generales de los ecosistemas naturales. En este capítulo hemos visto de qué modo el hombre, en calidad de agricultor, ha destruido su tierra mediante abuso y falta de juicio. En cambio, el hombre ha proporcionado también una gran abundancia de alimentos y, para mucha gente en la Tierra, una dieta rica y variada. En los capítulos sucesivos veremos otros ejemplos de cómo la tecnología del hombre aumenta su comodidad y su seguridad, pero amenaza también con trastornar los ecosistemas naturales a un grado susceptible de anular dichos beneficios.

El hombre se ha hecho dependiente de su tecnología. Además, una gran parte de esta tecnología es, según veremos, irreversible. Sin duda, no podemos abandonar la agricultura. En efecto, hacerlo equivaldría a condenar a muerte por hambre a la humanidad entera, excepto una pequeña fracción, y conduciría probablemente a la extinción de nuestra especie. Pero el hecho es que, si la destrucción presente de tierra fértil se prosigue, la capacidad de producción de alimentos de nuestro planeta se verá muy mermada, porque es el caso que se esté destruyendo corrientemente tierra a una velocidad mayor de la que se repara.

¿Cuáles son las respuestas? La tecnología proporciona muchas bases para la esperanza e inclusive para el optimismo. Las semillas híbridas dan origen a plantas de granos que producen rendimientos aumentados. Las medidas contra la erosión practicadas actualmente en Estados Unidos de Norteamérica recuperan de hecho alguna tierra agotada y reducen al mínimo la erosión debida al cultivo en regiones fértiles. Problemas de anegación y salinidad se han resuelto en algunos lugares de la Tierra. El hombre está comprendiendo mejor la razón de sus fracasos pasados. De hecho, la producción mundial de alimentos ha aumentado constantemente en el curso de los años, con sólo unas pequeñas irregularidades menores. Semejantes progresos han conducido a algunos científicos (llamados a menudo los "Revolucionarios Verdes") a la conclusión de que el problema alimentario mundial puede resolverse satisfactoriamente.

Sin embargo, pese a que la tierra produzca más alimentos que nunca antes, hay todavía gente que padece hambre, y la extensión fértil total va disminuyendo. Además, la producción mundial de alimentos no mostró en 1969 incremento alguno con respecto al año anterior, lo que constituye el primer revés en los tiempos recientes. Así, pues, lo que deba hacerse en relación con el pastoreo excesivo y la gente que padece hambre sigue constituyendo un problema básico para la humanidad.

PROBLEMAS

1. Explíquese por qué la agricultura trastorna los ecosistemas naturales en mayor grado que la caza y la recolección de alimentos.

2. Si una determinada extensión de tierra es cultivada durante muchos años, ¿disminuye acaso la producción necesariamente? Documéntese la respuesta.

3. ¿Cuáles son las técnicas principales de la agricultura? ¿En cuáles circunstancias de uso o abuso puede cada uno de estos métodos provocar una pérdida de fertilidad de la tierra?

4. La defolicación química fue introducida como táctica de guerra, en los años sesentas, en el sudeste asiático, y un grupo de estudio de la Asociación Americana para el Progreso de la Ciencia concluyó que "cabe prever que, en todas las guerras futuras de este carácter, se hará un uso más extenso de la misma (la defoliación)". Los mangles que crecen en el delta del río pueden matarse con una sola aplicación de defoliante, y muchas áreas de bosque de mangle han sido hecho áridas con esta táctica. Esboce el estudiante los factores ecológicos que decidirán si dichos bosques acabarán o no por restablecerse por sí mismos. ¿Cree el lector que este restablecimiento es cierto, o dudoso, o que no tiene perspectiva alguna? Argumente su respuesta.

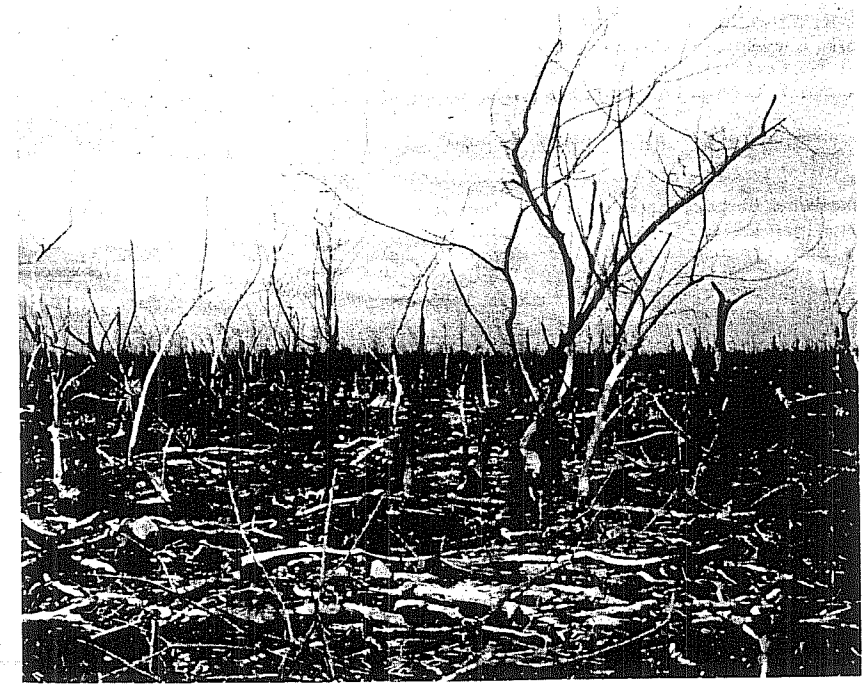


Fig. 2.3. La destrucción de Indochina. (Del *Bulletin of the Atomic Scientists*, mayo de 1971.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

5. ¿Cuál posición adopta con respecto a la productividad futura de la agricultura el grupo de científicos agrícolas conocidos con el nombre de los "Revolucionarios Verdes"? ¿Cuáles hechos apoyan su posición?

6. Un padre y dos hijos caminan por un llano en la India, conduciendo algunas vacas delante de sí. La madre sigue, llevando un cesto sobre la cabeza. Cada vez que una de las vacas defeca, la madre recoge los excrementos en su cesto. Más adelante pone el estiércol a secar en una pared. La mayoría de éste se intercambia por arroz, y una parte la guarda la familia para utilizarlo como combustible para cocer el arroz. ¿La situación que acabamos de describir representa acaso el estado más bajo de pobreza de la tierra, o conduce, antes bien, a nuevos trastornos todavía?

BIBLIOGRAFIA

Un libro encantador acerca de la alimentación humana desde tiempos prehistóricos a la actualidad es:

Lloyd B. Jensen. *Man's Foods.* Champaign, Ill.: Garrard Publishing Co., 1953. 278 págs.

El lector que desee investigar los puntos de vista más optimistas sobre el futuro de la agricultura debería leer:

Lester R. Brown. *Seeds of Change: The Green Revolution and Development in the 1970's.* New York: Encyclopaedia Brittanica, Praeger Publishers, 1970. 205 págs.

Willard W. Cochrane. *The World Food Problem: A Guardedly Optimistic View.* New York: Thomas Y. Crowell Co., 1969. 331 págs.

Se exponen puntos de vista más pesimistas en la última serie de referencias de la bibliografía del capítulo 1.

Dos excelentes libros recientes sobre agricultura son:

Kusum Nair. *The Lonely Furrow: Farming in the United States, Japan, and India.* Ann Arbor: University of Michigan Press, 1970. 336 págs.

N. W. Pirie. *Food Resources, Conventional and Novel.* New York: Penguin Books, 1970. 208 págs.

3

PESTICIDAS *

3-1 COMPETENCIA PARA ALIMENTOS ENTRE LOS INSECTOS Y EL HOMBRE

Por miles de años el hombre ha considerado a los insectos como una plaga que había que destruir. La descripción de la plaga de la langosta en el libro del Exodo, del Antiguo Testamento, por ejemplo, atestigua la hostilidad histórica del hombre para con los insectos y su temor de los mismos. Y efectivamente, desde que la agricultura empezó, invasiones de insectos han destruido en reiteradas ocasiones las cosechas del hombre. Cuando hablamos de los herbívoros de la tierra pensamos normalmente en los grandes animales de pezuña. Sin embargo, una proporción mucho mayor de materia vegetal es devorada por los insectos, los roedores, las aves y los microorganismos.

A todo lo largo de la historia, le ha resultado más difícil al hombre aislar sus cultivos con respecto a los pequeños herbívoros que con respecto a los grandes. La cosa es muy sencilla. En efecto, si una vaca penetra en un terreno cultivado, el hijo del granjero puede expulsarla. En cambio, resulta más difícil tratar con una bacteria, la espora de un hongo o el saco de huevos de una langosta. Y puesto que las especies pequeñas se reproducen muy rápidamente, su capacidad total de comida es muy grande. Además, los insectos han constituido una plaga grave, porque actúan como portadores de organismos patógenos. El paludismo y la fiebre amarilla han matado a más gente que todas la guerras de hombre juntas. La peste bubónica, transmitida por una pulga que vive sobre las ratas, barrió Europa durante la Edad Media y mató no menos de una tercera parte de la población total en una sola epidemia.

Sin embargo, constituye un grave error considerar a todos los insectos como plagas. En efecto, muchos insectos no afectan en nada al

* *N. del T.* El Diccionario de la Lengua Española acepta el término plaguicida en el suplemento de su última edición, pero hemos preferido por esta vez utilizar la palabra pesticida ya sancionada por el uso.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

hombre, otros son directamente útiles, y todos ellos forman parte del ecosistema que se ha ido desarrollando a través de los milenios. Sabemos, por ejemplo, que las abejas son absolutamente indispensables para el ciclo vital de la mayoría de las plantas que florecen. En su busca de alimento, las abejas transportan inadvertidamente el polen de una flor a otra, asegurando en esta forma la fecundación. Pero es menos sabido, en cambio, que muchos insectos, tales como las especies de brincadores, forman parte del proceso de desintegración, que es necesario para la recirculación de la materia prima. Los insectos constituyen la primera fuente de alimento para muchos animales, que son indispensables, a su vez, para el mantenimiento del equilibrio natural. Por ejemplo, la dieta de muchas especies de aves incluye tanto insectos como fruta. Las semillas de algunos frutos transmitidas intactas a grandes distancias, a través del tubo digestivo de algunos pájaros, han constituido un elemento de contribución importante en la supervivencia de algunas plantas. Así, pues, los insectos son necesarios para la supervivencia de muchas especies de aves, que son indispensables, a su vez, en el ciclo vital de muchos árboles frutales. Además, muchos insectos carnívoros o parasíticos se alimentan de insectos que devoran las cosechas del hombre. (¡Recuérdese que no se necesita comer "carne" para ser carnívoro! , el comedor de insectos es un carnívoro.) La invasión periódica de algunas aldeas africanas por las hormigas conductoras constituye una ilustración fascinante de la ecología de los insectos. En efecto, viven en las casas de la aldea muchos roedores e insectos portadores de enfermedades, lo que constituye una amenaza permanente para la población. Sin embargo, a intervalos periódicos, millones de grandes hormigas conductoras invaden las aldeas, ahuyentan a los habitantes y devoran todo lo que queda. Cuando la gente regresa, se encuentran con que sus reservas de alimentos han desaparecido, pero así lo han hecho también todas las demás cucarachas, ratas y otros bichos: todo ha sido devorado. No queremos decir, con esto, que las hormigas conductoras sean un bien o un mal, sino sólo que forman parte del orden natural. El hombre, en cambio, ha encontrado útil combatir determinadas plagas que destruyen grandes cantidades de sus cultivos.

Importa subrayar en este punto que los insectos que constituyen plaga han convivido con el hombre por espacio de millones de años. Diversos factores han concurrido a hacer esta convivencia posible, aunque no siempre agradable. En primer lugar, algunas poblaciones de insectos han sido controladas por sus depredadores naturales. Por otra parte, muchas especies vegetales han desarrollado medios de sintetizar diversos insecticidas para protegerse. Por ejemplo, el abeto balsámico produce un insecticida que le confiere inmunidad natural contra la chinche del tilo; y los crisantemos elaboran el insecticida pyrethrum, y las raíces de algunas legumbres de las Indias Orientales contienen el

veneno rotenone contra insectos. Pero al hombre semejantes adaptaciones le parecen ahora insuficientes. Su población es tan grande y sus necesidades alimentarias son tan apremiantes, que ha de competir con los insectos a vida o muerte. Las barreras físicas suelen ser insuficientes para proteger los cultivos de los insectos; en lugar de ello, la agricultura moderna se sirve para dicho fin del veneno. El resto de este capítulo se ocupa de los pesticidas: su composición y uso y sus consecuencias ecológicas.

3.2 LOS HIDROCARBUROS CLORADOS

A fines de los años treintas y principios de los cuarentas fue sintetizado en diversos laboratorios un nuevo grupo de pesticidas. Estos compuestos no se dan al estado natural. Debido a que contienen carbono, hidrógeno y cloro se los designa como "hidrocarburos clorados". Constituyen ahora una clase de compuestos químicos reconocidos. A algunos se los conoce corrientemente por sus nombres comerciales, tales como DDT, aldrina, clordano, dieldrina, endrina y heptacloro. Estos pesticidas fueron inicialmente celebrados como uno de los grandes descubrimientos del siglo xx. Son fáciles de elaborar, baratos, y constituyen venenos muy eficaces. El DDT, por ejemplo, puede utilizarse con cierto éxito contra cualquier clase de insectos.

En Estados Unidos de Norteamérica, las pérdidas de alimentos atribuibles a insectos se calcula en un 10 por 100 de la cosecha total, en tanto que, en muchos países subdesarrollados, se considera que son del 30 al 40 por 100. (Sin embargo, una gran parte de esta pérdida lo es de almacenamiento, que podría reducirse al mínimo mediante un mejor aislamiento de los granos después de cosechados.) De ahí que el DDT y otros productos similares fueran acogidos como medios de salvar el suministro mundial de alimentos. Además, los programas de control de los mosquitos a base de DDT se consideraron como un medio para reducir las enfermedades en regiones de la Tierra donde viven más de mil millones de habitantes. Antes de señalar algunos de los peligros de los pesticidas clorados, queremos subrayar que el empleo apropiado del DDT ha salvado a muchos millones de personas de una muerte inmediata por enfermedad, por hambre, o por ambas cosas a la vez. ¿Por qué, pues, se produce una campaña concertada para prohibir el empleo de DDT y de otros pesticidas por el estilo? Se dan contra los hidrocarburos clorados tres argumentos principales:

a) Son venenos universales.
b) Se degradan lentamente.
c) Son solubles en la grasa.

a) Los hidrocarburos clorados son venenos universales. Los detalles de la acción de los hidrocarburos clorados no se han dilucidado por

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

completo, pero es sabido, con todo, que son venenos no selectivos contra animales. Estos pesticidas matan no sólo insectos, sino también peces, aves, invertebrados y mamíferos (incluido el hombre). Por ejemplo, en 1954, varias comunidades del Illinois oriental fueron rociadas desde el aire, en un intento de detener el avance hacia oeste del escarabajo japonés. El resultado fue que muchas especies de aves fueron aniquiladas casi por completo en la región rociada, las ardillas del suelo fueron casi erradicadas, 90 por 100 de los gatos de las granjas perecieron, murieron algunos corderos, y las ratas almizcleras, los conejos y los faisanes fueron envenenados. Estos efectos secundarios perjudiciales habrían podido considerarse acaso como el precio que había que pagar por el éxito de los pesticidas, pero es el caso que el precio no produjo el beneficio esperado, ya que la población del escarabajo japonés prosiguió su avance hacia oeste.

Una consecuencia complementaria del envenenamiento no selectivo es la de que resultan destruidos insectos tanto carnívoros como herbívoros. Recuérdese que en los sistemas naturalmente equilibrados las poblaciones están controladas. Por otra parte, el empleo de rociados no selectivos puede conducir a la destrucción de los controles naturales sobre volúmenes relativos de población. A título de ejemplo, al utilizarse extensamente el DDT y otros dos hidrocarburos clorados para combatir una plaga en un valle del Perú, el éxito inicial dio lugar a un desastre diferido. En efecto, en sólo cuatro años, la producción de algodón aumentó de 480 a 700 Kg por hectárea. Pero, un año después, cayó precipitadamente a 380 Kg por hectárea, o sea prácticamente 100 Kg menos por hectárea que antes de introducir los insecticidas. Los estudios indicaron que el insecticida había destruido tanto insectos carnívoros y aves como los insectos causantes de la plaga. De hecho, aunque la población de estos últimos insectos se redujo primero, no tardó, con todo, en recobrarse y volvió a florecer, y además resistente, ahora, a los pesticidas.

El examen del mecanismo de esta aparente contradicción ilustra mucho acerca de las ventajas y los peligros relativos de los pesticidas. En efecto, las funestas consecuencias ambientales de los hidrocarburos clorados tienen una base bioquímica, y es que el exceso de pesticida no suelen excretarlo los animales. Por consiguiente, el DDT y los pesticidas similares son por regla general más eficaces contra los depredadores que contra las plagas que se trata de combatir. Para ayudar a comprender la razón del por qué, supongamos que un campo es rociado y que los insectos que constituyen la plaga se alimentan de las hojas envenenadas. Puesto que el exceso de DDT no es excretado por los insectos, la concentración de esta substancia en sus organismos se hace mayor que en las hojas de las plantas. Además, puesto que la muerte podrá verse diferida por espacio de días o aun de semanas, muchos insectos

envenenados, pero vivos todavía, serán devorados por otros insectos que son sus enemigos naturales. Así, pues, los depredadores ingieren una dieta de una concentración mayor de DDT que la de los herbívoros, o sea la plaga original. Y a su vez, cuando los pájaros se tragan a los insectos carnívoros, sus comidas tienen también una concentración mayor de DDT que la de los insectos que están devorando. En esta forma, pues, el DDT se va concentrando a medida que sube en la cadena de los alimentos.

Un estudio examinó las concentraciones sucesivas del pesticida **toxafeno** en diversas partes de un determinado pantano. Tanto el lodo del fondo del pantano como los cuerpos de pequeños invertebrados contenían 0.2 ppm de toxafeno.* Esta concentración no era letal para los invertebrados. Los peces que los devoraban tenían en sus músculos concentraciones de toxafeno de hasta 8 ppm. Y el nivel residual de pesticida en el tejido graso de las aves ictiófagas llegaba a 650 ppm.

Otro problema con los pesticidas es que tienden a hacerse menos eficaces después de algunos años de uso. Por supuesto, la composición del pesticida sigue siendo la misma, pero su empleo tiende a traducirse en el desarrollo, en las plagas, de una población inmune. Tal parece como si el pesticida hubiera perdido su fuerza. Este deterioro gradual de la acción de los pesticidas requiere el empleo de cantidades de pesticida cada vez mayores para conseguir el mismo efecto. Para comprender la razón de este fenómeno necesitamos considerar el carácter de la adaptación genética. La química de las plantas y los animales cambia de cuando en cuando como resultado de alteraciones accidentales al azar —**mutaciones**— de sus células reproductoras. El mutante tiene buenas probabilidades de supervivencia, si su mutación particular lo protege contra un medio ambiente hostil. Este mecanismo de mutación al azar ha permitido a los insectos adaptarse a su medio ambiente durante millones de años, y es este proceso el que protege a los insectos de los pesticidas. En regiones donde el rociado de DDT es importante, se han desarrollado especies de insectos cuya química orgánica es inmune al pesticida. Esta inmunidad genética a los hidrocarburos clorados constituye un problema sumamente grave. En efecto, en 1945 se informó que una docena de especies habían desarrollado resistencia al DDT, pero para 1960 el número había subido a 137 especies. De éstas, 65 eran especies destructoras de cultivos, en tanto que muchas otras eran portadoras de enfermedades. Es importante recordar que los progenitores inmunes suelen pasar su inmunidad a las generaciones subsiguientes, con lo que convierten el antiguo pesticida en inofensivo. Este efecto se

* ppm = partes por millón. Esto significa que por cada millón de unidades de peso del sedimento del pantano habría 2/10 de dicha unidad de toxafeno. Aunque esto no parezca mucho, es el caso, con todo, que muchos venenos son activos en concentraciones sumamente pequeñas.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

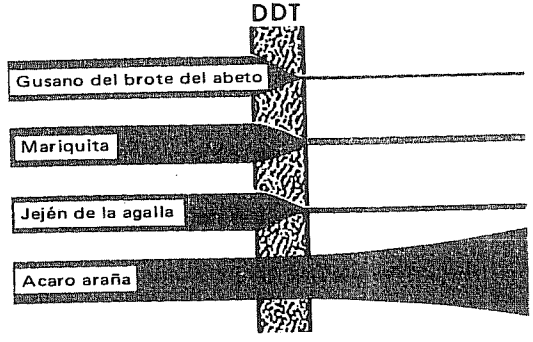
demostró directamente en un experimento en que unas chinches comunes resistentes al DDT fueron colocadas en un trapo impregnado con este pesticida. Pues bien, prosperaron, se aparearon y las hembras pusieron huevos normalmente. Las crías, nacidas sobre un trapo impregnado de DDT, crecieron y se criaron sanas. Los intentos de cambiar los plaguicidas en muchos casos simplemente han producido variedades de insectos resistentes a más de un producto químico.

La resistencia de los insectos a los venenos es un grave problema por sí mismo, pero puede complicarse si la plaga adquiere resistencia y varios depredadores no. Si esto ocurre, las plagas poseen una nueva ventaja biológica y pueden prosperar en forma mucho más numerosa que anteriormente. Esto se ve favorecido por tres factores, a saber:

1) Los insectos causantes de plagas suelen ser más pequeños y se reproducen con mayor frecuencia que sus depredadores. Además, los organismos mayores necesitan más tiempo para desarrollarse que los pequeños. Más reproducción significa más mutación y, por consiguiente, tanto la frecuencia de mutación de los insectos causantes de plagas como las probabilidades de mutaciones susceptibles de conferir inmunidad contra los pesticidas serán también mayores. De este modo, las especies que constituyen plaga desarrollan inmunidad más rápidamente que las especies de sus depredadores.

2) Los depredadores ingieren una dieta más rica en pesticida que la de las plagas originales. Por consiguiente, dada una cantidad igual de resistencia, un número mayor de depredadores sucumbirá lógicamente.

3) En un ecosistema hay siempre menos depredadores que herbívoros (incluidos los que constituyen plagas). Ahora bien, para cualquier especie, tener una población pequeña equivale a correr el riesgo de extinción, porque es obviamente más fácil que sea eliminado un grupo que sólo contenga unos pocos individuos que aquel que contiene muchos. Por consiguiente, es más probable que sobreviva la especie de los herbívoros (las plagas, que son más numerosas) que las especies de los depredadores.



Podemos reconstruir ahora lo que tuvo lugar en Perú. Pese a que los pesticidas provocaran un descenso pronunciado del volumen de la población de la plaga, unos mutantes resistentes no tardaron, con todo, a desplazar a los individuos susceptibles. En este momento, la situación se había hecho peor de lo que fuera antes, porque los depredadores naturales no consiguieron inmunidad tan bien como los insectos que constituían la plaga y, por consiguiente, estos últimos se vieron menos controlados que nunca.

Otro efecto de los pesticidas de amplio alcance es que en ocasiones crean nuevas poblaciones de plaga. Consideremos, en efecto, la historia del ácaro de la araña en los bosques del oeste de Estados Unidos de Norteamérica. Este ácaro se alimenta de la clorofila de las hojas y de las agujas siempre verdes. Debido a que en un ecosistema normal de bosque los depredadores y la competencia han mantenido bajo el número de los ácaros en cuestión, éstos nunca han constituido un problema grave. Sin embargo, en 1956, el Servicio Forestal de Estados Unidos de Norteamérica emprendió una campaña para combatir otra plaga, la del gusano del brote del pinabete, rociando con DDT. El resultado fue que el gusano en cuestión murió, pero murieron también unos enemigos naturales de los ácaros de la araña como las mariquitas, el jején de la agalla y otros ácaros depredadores. El año siguiente, los bosques estaban infestados con una invasión de ácaros de la araña. Así, pues, pese a que el gusano del brote del pinabete había sido combatido eficazmente, el nuevo problema creado por el ácaro de la araña se reveló como más desastroso.

De modo, pues, que el empleo de venenos universales como pesticidas constituye otro caso en que el hombre, por ignorar los principios básicos del equilibrio natural, ha complicado, en realidad, sus problemas. La respuesta a semejantes fracasos ha sido con frecuencia la de incrementar el número de los rociados o la cantidad de insecticida aplicada en cada rociado. Es obvio que esta "solución" no hará más, acaso, que complicar mayormente todavía el problema.

b) Los hidrocarburos clorados se degradan lentamente. La mayoría de los compuestos químicos que se encuentran en estado natural son biodegradables, esto es, son degradados (desintegrados) por alguna forma de vida. La biodegradabilidad es un fenómeno que se ha desarrollado con la evolución de las especies; si hay energía o materias primas susceptibles de ser liberadas por medio de desintegración de la molécula de un compuesto, entonces se ha desarrollado algún organismo adaptado al nicho correspondiente y capaz de servirse de dicho compuesto. Sin embargo, muchos nuevos compuestos han sido sintetizados por los químicos en años recientes. Sólo algunos de estos son lo bastante semejantes a los compuestos que se encuentran al estado natural para ser biodegradables. Los hidrocarburos clorados se descomponen lentamente en la naturaleza, y muchos tienen una media vida de descomposición de

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

10 a 15 años.* El resultado es que estos venenos existen un tiempo suficiente para producir efectos nocivos.

Mencionamos ya que los pesticidas clorados se concentraban en los depredadores muy arriba de la cadena de alimentos. Esta característica es resultado, en parte, de la longevidad de estas substancias químicas, porque se requiere cierto tiempo para pasar de un insecto a otro insecto, a un ave canora y a un halcón.

Debido a que la mayoría de los campos que se rocían son rociados al menos una vez al año, la concentración de DDT y compuestos similares se acumula en el suelo. Se ha encontrado que las tierras regularmente rociadas en campos de cultivo contenían hasta 20 Kg de DDT por hectárea. El peligro de altas concentraciones de venenos en el suelo resulta del hecho de que la tierra fértil contiene mucha materia viva. Un Kg de tierra rica de cultivo contiene hasta un millón de millones de bacterias, doscientos millones de hongos, 25 millones de algas y 15 millones de protozoarios, y además gusanos, insectos y ácaros. Estos organismos son vitales para una fertilidad proseguida. Fijan el nitrógeno, descomponen la piedra y ponen en esta forma minerales a disposición de las plantas, retienen la humedad, ventilan el suelo y realizan los procesos fundamentales de la desintegración. Sin estos organismos, las plantas de arriba del suelo morirían. El efecto sobre estos organismos de una concentración aumentada de veneno en el suelo lo desconocemos en gran parte. En muchas regiones fuertemente rociadas del mundo, el hombre está cosechando más productos que nunca antes. Sin embargo, se están poniendo de manifiesto algunos hechos que bien podrían presagiar un futuro desastre. Unos estudios en Florida han revelado que algunos pesticidas clorados impiden fuertemente la nitrificación por las bacterias del suelo. Los termitas no han logrado sobrevivir en suelos que habían sido rociados con toxafeno 10 años antes. Como en el caso de muchas clases de trastornos ecológicos, los resultados a largo plazo son desconocidos. Tal vez las bacterias sean inmunes, o se hagan inmunes, al rociado con pesticida. Pero es el caso, con todo, que lo que se arriesga es importante, porque si los microorganismos del suelo mueren, las plantas y los animales grandes no pueden sobrevivir.

c) Los hidrocarburos clorados son solubles en grasa. Cuando dos substancias se ponen en contacto una con otra, podrán mezclarse tan íntimamente que sus moléculas individuales se dispersen unas en otras. Semejante mezcla se designa con el nombre de **solución**, y de las dos substancias se dice que son solubles una en otra. Por ejemplo, si 10 g de sal se agitan con 100 g de agua, la mezcla resultante es una verdadera solución —está tan íntimamente mezclada, que es igualmente salada en todos sus puntos. No todas las mezclas se comportan en esta forma. Por

* El concepto de media vida se examina en el capítulo cuarto.

ejemplo, después de mezclar aceite y agua se observan dos capas distintas, el aceite arriba y el agua abajo. Se dice de las dos substancias que son **insolubles** una en otra. Las substancias que son mutuamente solubles tienen cierta semejanza química y cierta afinidad una por otra, y de aquí que sea generalmente difícil separarlas. (Es más fácil separar el agua de la arena que de la sal). Los hidrocarburos clorados son solubles en grasa pero insolubles en agua o sangre. Si pequeñas cantidades de estas substancias penetran en el cuerpo, se concentrarán en el tejido graso y no pueden ser arrastradas muy eficazmente por la sangre. Así, pues, las concentraciones de pesticidas se van acumulando en los organismos de los animales.

El efecto de esta acumulación constante de venenos en el tejido animal podrá ir desde un grado imperceptible a un grado desastroso. El promedio de los americanos tiene una concentración de 12 ppm de DDT en su tejido graso. Este nivel de DDT parece no ejercer efecto alguno perceptible sobre su metabolismo. Sin embargo, no se conocen todavía los efectos a largo plazo. Algunos datos sugieren que determinados pesticidas producen cáncer. Grandes concentraciones ingeridas por accidente se han revelado como directamente fatales para el hombre. Sin embargo, las pruebas parecen innegables de que el envenenamiento por DDT es el causante del descenso pronunciado en la población de muchas aves, especialmente las que son consumidores secundarios o terciarios. Una manifestación de las primeras etapas de envenenamiento por DDT es la incapacidad de metabolizar apropiadamente el calcio. En las aves, esto ha conducido a la producción de huevos de cáscara delgada. Con frecuencia, estos huevos débiles se agrietan o rompen en el nido, con la muerte prenatal consiguiente. Las aves de laboratorio que se alimentan con bajas concentraciones de DDT en su dieta producen todas ellas huevos de cáscaras delgadas y débiles. Las poblaciones de determinadas especies de aves —entre ellas, el halcón peregrino, el pelícano y algunas águilas— decrecen tan rápidamente, que algunos conservacionistas temen que se extingan en un futuro próximo. El efecto del DDT sobre el desarrollo de los huesos en los bebés humanos y en otros mamíferos se desconoce todavía.

Debido a su solubilidad en la grasa, los pesticidas pueden ser fatales a aquellos animales que almacenan energía en forma de grasa para su empleo durante los meses de invierno. Las truchas forman una capa de grasa durante los meses de verano en que el alimento es abundante. En regiones en que la tierra ha sido rociada, esta grasa contiene altas concentraciones de DDT. Durante el invierno, esta grasa es utilizada como fuente de energía. Se sabe que el DDT liberado en la circulación sanguínea a continuación de su desintegración ha matado a animales. Los huevos de peces contienen también una cantidad considerable de grasa que es utilizada como alimento por los peces antes del nacimiento.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

En un caso, 700 000 salmones en incubación fueron envenenados por DDT en sus propios huevos.

Debido a que estos pesticidas son duraderos y solubles en grasa, pueden trasladarse a grandes distancias. Unas pruebas con pingüinos que viven en el Antártico han revelado trazas de DDT en su organismo, pese a que nadie rocíe las cosechas en dicho continente. Indudablemente, la substancia química ha sido transportada allá a través de una larga sucesión de pasos en la cadena de los alimentos.

Acabamos de formular contra los pesticidas tres cargos, a saber: toxicidad, estabilidad, y solubilidad en grasa. ¿Por qué, pues, los utilizamos siquiera? El primero y principal argumento en favor de los pesticidas es que su empleo aumentará la reserva de alimentos del hombre. Hasta aquí, el efecto total de los pesticidas de hidrocarburos clorados sobre las producción de alimentos del hombre ha sido efectivamente favorable, debido al gran aumento que se ha obtenido en materia de rendimientos agrícolas. Sin embargo, se están desarrollando ciertas tendencias ominosas. Una que ya se mencionó es el envenenamiento del suelo. Otra es el envenenamiento progresivo de las pesquerías de la tierra. En efecto, el rociado de DDT aniquiló virtualmente, en Canadá Oriental, la población de salmones de un año en determinados ríos. Algunos peces fueron envenenados directamente, porque las corrientes en las que desovaban contenían altas concentraciones de pesticida; otros murieron de hambre, porque los insectos de los que normalmente se alimentaban habían sido muertos. Así, pues, una parte de una fuente valiosa de alimento para el hombre había sido envenenada. En otro caso, los pesticidas arrojados al sistema del río Mississippi por una empresa industrial envenenaron, en un periodo de cuatro años, un número de peces calculado entre 10 y 15 millones. En las Filipinas, en donde el cultivo de pez de leche producen una fuente importante de proteína para la gente de la región, el rociado aéreo contra los mosquitos mató en una sola granja 60 000 peces. Pero tal vez más ominoso todavía, para el futuro, sea el efecto del DDT sobre el fitoplancton del mar. El fitoplancton está formado por plantas minúsculas que flotan libremente en los mares y constituyen la base de la mayor parte de la producción primaria de alimento marítimo. El mar sin fitoplancton sería semejante a la tierra sin granos. Se ha demostrado que concentraciones de DDT de unas pocas partes por mil millones reducían la eficiencia fotosintética de dichas plantas marinas. Y se han observado concentraciones mucho más altas en diversas áreas costeras. Una vez más, el hombre se enfrenta aquí a un "cambalache". ¿Vale el aumento posible de la productividad terrestre el riesgo que imponemos a los mares?

Por supuesto, la solución ideal sería la de matar las plagas sin causar daño ni directo ni indirecto alguno a otras especies. Las secciones que siguen describen diversos pasos que se han adoptado en dicha dirección.

3-3 OTROS METODOS DE COMBATE DE PLAGAS

a) Empleo de pesticidas de vida corta. Algunas clases de pesticidas, tales como los fosfatos orgánicos, se descomponen en la naturaleza en una escala de tiempo que se mide en días o semanas, en lugar de años. Semejante desaparición rápida ofrece grandes ventajas, porque estos materiales presentan una menor tendencia a propagarse y moverse a lo largo de las cadenas de alimentos. Sin embargo, debido a que también ellos son venenos no selectivos, trastornan también el ecosistema, al destruir a los enemigos naturales de las plagas combatidas. Esta es la razón de que los fosfatos orgánicos hayan causado muchos de los mismos efectos secundarios perniciosos que los hidrocarburos clorados. Han sido muertos animales (incluido el hombre) que no se combatían; muchos insectos se han hecho resistentes, y han sido diezmadas poblaciones de insectos depredadores y parásitos.

b) Empleo de enemigos naturales de los insectos: depredadores, bacterias o parásitos. Hemos visto que la destrucción de poblaciones de depredadores por medio de un rociado no selectivo ha producido auges en algunas poblaciones de plagas. Resulta razonable, pues, suponer que el tratamiento opuesto, esto es, la importación de depredadores, podría constituir una medida eficaz de control.

Se han obtenido excelentes resultados con semejantes técnicas en diversos casos. Mencionamos anteriormente que el rociado de DDT contra el escarabajo japonés en Illinois había causado extensos estragos entre otras especies. El escarabajo de Japón, natural de Oriente, fue importado inadvertidamente con un cargamento de algunas plantas asiáticas. Los escarabajos prosperaron en la costa oriental de Estados Unidos de Norteamérica, y se fueron convirtiendo gradualmente en una plaga importante. Los científicos buscaron entonces depredadores naturales e importaron diversas especies consideradas como tales. Una de éstas, una avispa oriental, proporciona alimento a sus crías paralizando la larva del escarabajo japonés y fijando a ella un huevo. Al salir la avispa del huevo, devora la larva como primer alimento. El ciclo vital de la avispa depende de la larva del escarabajo japonés, ya que no incuba naturalmente en las larvas de otros insectos. Por consiguiente, este tipo de control es específico de la especie en cuestión y no afecta seriamente el resto del ecosistema.

Una técnica semejante se ha venido utilizando desde aproximadamente el año 1885 para combatir un determinado insecto cóccido que estaba destruyendo virtualmente las plantaciones de cítricos en California. Se encontró un parásito de este pulgón y se lo importó en las plantaciones. Este escarabajo parasítico mantuvo al pulgón bajo control hasta en 1940, en que se utilizó DDT para rociar los vergeles. La destrucción de la población de escarabajos por el DDT condujo a un aumento rápido e incontrolado de la población de pulgones.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Otros programas similares de control comprenden la introducción de bacterias que destruyen los escarabajos japoneses (pero casi nada más), y la importación de moscas que parasitizan la lagarta. Por supuesto, existe el peligro de que un parásito importado pueda prosperar y trastornar el ecosistema en alguna forma no prevista.

c) Técnicas de esterilización. El gusano brincador (la larva parasítica de la mosca del gusano brincador) constituye una plaga importante del ganado y ha causado grandes pérdidas financieras a muchos rancheros. Hace algunos años, el Departamento de Agricultura de Estados Unidos de Norteamérica inició un programa para criar machos de mosca del gusano brincador, esterilizarlas mediante radiación y soltarlas en sus medios naturales de cría. Las hembras de los machos irradiados no podían poner huevos. En la primavera siguiente, la amenaza del gusano brincador había sido puesta bajo control. Esta técnica es otra de las que son específicas de una plaga determinada y no trastornan, por consiguiente, el ecosistema entero. Además, no se distribuyen con ella, substancias químicas venenosas.

d) El empleo de hormonas de insectos. En algún momento de su desarrollo, los insectos se metamorfosean de la etapa larval a la etapa adulta. Mientras un insecto se encuentra en la etapa larval produce continuamente una hormona específica de la especie. Cuando cesa el flujo de esta hormona, el animal se metamorfosea. Ahora bien, rociando insectos con la hormona juvenil particular de su propia especie, los científicos han logrado inhibir las metamorfosis. Y puesto que los insectos no pueden sobrevivir o aparearse como larvas, dichas aplicaciones de rociado acaban siendo mortales. Por otra parte, puesto que se supone que cada especie de insectos tenga una hormona juvenil única, cabe desarrollar, en teoría, un rociado específico para cada especie de insecto. Y en esta forma las poblaciones de los depredadores no son diezmadas por el método de control de la plaga.

e) Elementos atrayentes sexuales. En muchas especies de insectos, la hembra emite una pequeña cantidad de elemento atrayente sexual químico cuando está lista para aparearse. Los machos descubren (huelen) cantidades muy diminutas de estas substancias químicas y siguen el olor hasta su origen. Se han obtenido algunos éxitos poniendo estos elementos sexuales atrayentes como cebo en trampas, llevando así los machos a su muerte. También este tipo de control es altamente específico.

f) Empleo de cepas resistentes de cultivos. Mencionamos ya que algunas plantas son naturalmente resistentes a las plagas, porque sintetizan su propio insecticida. Los cultivadores están tratando ahora de desarrollar más especies de esta clase. Un caso, coronado por el éxito, ha sido el de la producción de una diversidad de alfalfa que es resistente al gorgojo de esta planta.

g) Controles culturales. La uniformidad no es típica de las masas de tierra virgen. Los sistemas creados por la agricultura moderna difieren de los sistemas naturales en que las granjas propenden a especializarse en un número muy reducido de especies de plantas, en tanto que las regiones no tocadas por el hombre no lo hacen. Por ejemplo, en Kansas y Nebraska, extensiones de diversos miles de hectáreas son casi exclusivamente de campos de trigo. El resultado de semejante especialización es que un moho, o un hongo, o un insecto que consume trigo tiene una reserva casi ilimitada de alimento y un medio ambiente sumamente hospitalario. No existe barrera alguna a la propagación, y la plaga puede desarrollarse rápidamente en proporciones incontroladas. La ventaja de la diversidad en la naturaleza se examinó ya en relación con la capacidad de un ecosistema para sobrevivir a perturbaciones (véase capítulo 2). Una de estas perturbaciones es la del ataque por consumidores específicos. Un hongo que ataca el trigo se propagará más lentamente si la mitad de las plantas de un campo no son de trigo, porque las esporas tienen menos probabilidades de aterrizar así en una planta de trigo. Por otra parte, si la enfermedad se propaga lentamente, hay más tiempo para el desarrollo de enemigos naturales del hongo o de las cepas de trigo naturalmente resistentes al mismo. Por consiguiente, una de las soluciones del problema de las plagas consiste en cultivar plantas en campos pequeños, con especies distintas cultivadas en campos adyacentes. Sin embargo, esta técnica es menos eficiente que la de plantar, cultivar y cosechar grandes campos homogéneos.

Todo método de combate de plagas —y el hecho de no combatirlas igualmente— presenta tanto ventajas como inconvenientes. La esperanza para la humanidad está en que personas informadas e interesadas adopten las decisiones correctas acerca de cómo alimentar apropiadamente a los que tienen hambre, sin trastornar los equilibrios naturales ni destruir la capacidad futura de la tierra para producir.

PROBLEMAS

1. ¿Cuáles son los perjuicios y los beneficios que los insectos le proporcionan al hombre? ¿Mediante cuáles mecanismos se adaptó el hombre a los insectos antes de la producción de los pesticidas modernos?

2. ¿Cuáles ventajas pueden obtenerse mediante el empleo de los pesticidas del hidrocarburo clorado? ¿Cuáles son los argumentos en contra de su uso?

3. Explíquese por qué resulta a menudo necesario emplear cantidades mayores, a medida que pasa el tiempo, de un determinado pesticida, para obtener los mismos resultados.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

4. Se han observado pesticidas que eran más perjudiciales para los depredadores que para las plagas que estaban destinados a controlar. ¿Cuáles factores podrían explicar esta selectividad?

5. Los compuestos sintetizados por el hombre suelen ser menos biodegradables que los compuestos que se encuentran al estado natural. Explíquese el por qué de esta diferencia.

6. ¿Cuáles ventajas e inconvenientes resultarían del empleo de un pesticida que fuera soluble en agua? ¿Cree el lector que sería práctico servirse de un pesticida soluble en agua? Argumente su respuesta.

7. ¿Cuáles métodos de control de plagas pueden utilizarse como alternativas al empleo de los hidrocarburos clorados?

Las preguntas siguientes requieren razonamiento aritmético.

8. En la sección 3-2 (a) se dan datos acerca de la concentración creciente del pesticida toxafeno a medida que se va desplazando hacia arriba en la cadena de los alimentos, desde los peces a las aves. ¿Son estos aumentos constantes, acelerados o frenados? ¿Puede sugerir el lector una razón para esta progresión de concentración?

BIBLIOGRAFIA

Los libros que promovieron una gran parte de la preocupación actual acerca de los pesticidas y de una consecuencia más reciente de los mismos son los siguientes:

Rachel Carson. *Silent Spring.* Boston: Houghton Mifflin Co., 1962, 368 págs.
Frank Graham, Jr. *Since Silent Spring.* Boston: Houghton Mifflin Co., 1970. 333 págs.

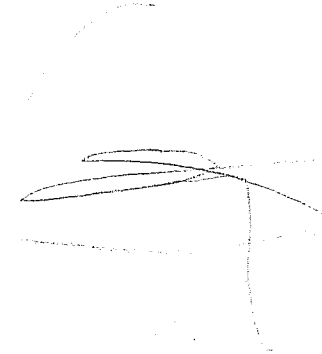
Puede obtenerse información técnica más detallada en las siguientes fuentes:

U. S. Department of Health, Education, and Welfare. *Report of the Secretary's Commission on Pesticides and Their Relationship to Environmental Health.* Washington, D. C., 1969. 677 págs.

Persistent Pesticides in the Environment. Cleveland: Chemical Rubber Company Press, 1970. 80 págs.

Se exponen consideraciones legales y de reglamentación en:

Sandra C. Bloom y Stanley E. Degler. *Pesticides and Pollution.* Washington, D. C.: Bureau of National Affairs, Environmental Management Series, 1960. 99 págs.



4

DESECHOS RADIACTIVOS

4-1 EL PROBLEMA

Desde el momento del descubrimiento de la fisión atómica (nuclear) en 1939, el hombre ha manipulado grandes cantidades de material radiactivo. Y lo que es más notable, ha desarrollado, probado y utilizado bombas atómicas y otras armas atómicas (nucleares) y ha construido y puesto en funcionamiento reactores atómicos (nucleares) para la generación de energía.

La producción y la eliminación de los desechos radiactivos han acompañado necesariamente todas estas actividades. Existen diferencias muy pronunciadas de opinión acerca de si el problema de los desechos radiactivos puede o no resolverse en forma aceptable, y acerca de si los beneficios, para el hombre, de la manipulación de materiales atómicos compensarán o no con ventaja el trastorno de su ecosistema global. En cambio, nadie discute el hecho de que existe un vasto problema. Además, todo el mundo está de acuerdo en que es imposible inventar algo que prevenga la producción de estos desechos en los diversos procesos nucleares actualmente utilizados. Es muy importante que comprendamos en qué forma esta situación difiere, por ejemplo, de la del escape de un automóvil. Los contaminantes producidos por los automóviles (como el monóxido de carbono) podrían eliminarse si se inventaran dispositivos apropiados. No tenemos todavía automóvil alguno que no produzca contaminación en absoluto, pero es posible teóricamente desarrollar uno que descargue bióxido de carbono y agua (los mismos productos que los de la respiración de animales) y nada, en cambio, de monóxido de carbono o de otros contaminantes (véase capítulo 5). Algunos científicos consideran que esta tarea sería tan difícil, que

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

probablemente no podría realizarse en un tiempo razonable; pero no deja, con todo, de ser teóricamente posible. La producción de bióxido de carbono, CO_2 en cambio, es una consecuencia *necesaria* de la combustión completa de la gasolina en el aire; nadie puede inventar un sistema o un dispositivo que la impida. La producción de desechos radiactivos como resultado de los procesos atómicos (nucleares) presentes es inevitable al mismo título que la producción de CO_2 resultante de la combustión completa de carbono, $C + O_2 \rightarrow CO_2$, es inevitable. Puesto que la producción de desechos no puede ser evitada, estos han de entrar necesariamente en el ecosistema global del hombre. La única influencia que podemos ejercer en esta materia es la de decidir cómo y dónde estos desechos serán introducidos, de modo que produzcan el menor trastorno posible a la vida sobre la Tierra.

En este capítulo vamos a explicar algunos de los fundamentos de los diversos procesos productores de desechos radiactivos (algunas veces designados como **desechos rad.**). Vamos a exponer también los conceptos necesarios para formular juicios acerca de los beneficios frente a los costos, para el hombre, en relación con los materiales atómicos (nucleares). Sin embargo, para comprender estas materias, necesitamos aprender primero algo de los fundamentos de la química nuclear, empezando con la estructura y la masa del átomo.

4-2 FUNDAMENTOS DE LA ESTRUCTURA ATOMICA

La **masa** es la propiedad fundamental de la materia, pero resulta algo difícil de definir. Tal vez la mejor manera de hacerlo está en concebir la masa de una muestra como la cantidad de materia que contiene. Así, por ejemplo, la masa de un gato es (aproximadamente) 100 veces la masa de un ratón. Esto significa que hay 100 veces más materia en el gato de la que hay en el ratón. Sobre la Tierra, el peso de un cuerpo está determinado por su masa; por consiguiente, podemos decir que un gato pesa 100 veces más que un ratón. Si colocamos un gato en uno de los platillos de la balanza y 100 ratones en el otro, la balanza indicará que el peso (masa) del gato es igual al peso (masa) de 100 ratones. Sin embargo, este experimento ha de hacerse en la Tierra. En un navío espacial no hay gravedad y, por consiguiente, no hay peso. Pero hay masa, y en el navío espacial la masa del gato sigue siendo 100 veces la masa del ratón.

También los átomos tienen masa, aunque no podamos pesar los átomos individualmente en una balanza. Las masas atómicas se expresan por medio de números enteros llamados **números de masa**. El número de masa del átomo ordinario de hidrógeno se ha tomado arbitrariamente como unidad. Una clase de átomo de oxígeno tiene 15.99 veces más

masa que el átomo de hidrógeno; el número de masa de este oxígeno se define como el número entero más vecino de 15.99, o sea 16.

El núcleo atómico. Supongamos que teníamos una pieza de oro sólido exactamente del tamaño y la forma de este libro (con el libro cerrado). Por supuesto, esta muestra de oro tendría una determinada masa (peso). Si tratáramos de introducir un alfiler a través del grueso de este libro de oro, la cosa nos resultaría difícil. La dificultad sería aproximadamente la misma en cualquier lugar que trataramos de clavar el alfiler. La conclusión de este burdo experimento es que, por lo que podamos decir, la materia en una pieza de oro sólido está igualmente distribuida en todo el espacio ocupado por el oro. Supongamos ahora que repetíamos el experimento en una forma mucho más delicada. Amartillamos el oro, por ejemplo, hasta convertirlo en una hoja muy delgada (mucho más delgada que una página de este libro). Tratemos ahora de agujerear esta hoja delgada de oro no con un alfiler, sino con un haz de partículas muy pequeñas*, y observemos si las partículas atraviesan el oro o rebotan. El resultado de este experimento es que la mayoría de las partículas atraviesan la hoja de oro, pero que una pequeña proporción (una entre varios millares) rebota. La conclusión es exactamente opuesta a la del experimento rudo con el alfiler, descrito anteriormente. Los resultados de este nuevo experimento nos indican que la materia *no* está distribuida uniformemente en una pieza sólida de oro, sino que está concentrada aquí y allá en masas densas. Las partículas que rebotan de la hoja de oro han de ser aquellas que acaecen dar en las masas densas.

Este y otros experimentos similares proporcionan la prueba fundamental a partir de la cual concluimos que la masa en cualquier muestra de materia está concentrada en lo que designamos como **núcleos atómicos**. Observamos la misma clase de resultado con otros tipos de hojas delgadas, tales como las hechas de cobre o de plata. Creemos que la masa de toda la materia tal como la conocemos en la Tierra está concentrada en núcleos atómicos.

Hemos examinado los núcleos atómicos antes de examinar los átomos, lo que es totalmente opuesto a lo que encontramos por regla general en los libros de texto. Pero en este capítulo nos interesamos más concretamente por los núcleos, y esto es lo que quisiéramos subrayar. En este momento, sin embargo, conviene repasar alguna información acerca del átomo mismo.

Estamos familiarizados con la existencia de electricidad a partir de fenómenos naturales como los de la iluminación, chispas obtenidas por fricción entre diferentes clases de materia, y corrientes eléctricas de

* Las partículas inicialmente utilizadas en este experimento eran partículas alfa (núcleos de átomos de helio). Este ensayo fue llevado a cabo por Lord Rutherford en 1911. No es necesario conocer los detalles de dicho experimento para comprender este capítulo.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

organismos vivientes, tales como las anguilas. Sabemos también que hay dos clases de electricidad,* que designamos como positiva y negativa. A partir de los resultados de experimentos en los que corrientes eléctricas pasan a través de muestras de materia**, sabemos también que las propiedades eléctricas de la materia están directamente asociadas con las unidades fundamentales que deciden las propiedades químicas de la materia. Las pruebas obtenidas de los experimentos electroquímicos, más muchas pruebas de otras varias clases, apoyan la conclusión de que toda la materia de la clase con que estamos familiarizados sobre la Tierra puede considerarse como reuniones de unidades fundamentales que llamamos **átomos**, y que estos átomos constan de partículas eléctricamente negativas, positivas y neutras. Estas partículas son respectivamente electrones, protones y neutrones.

Partícula	Carga eléctrica	Número de masa
Electrón	−1	0
Protón	+1	1
Neutrón	0	1

El núcleo del átomo contiene los protones y los neutrones y, por consiguiente, toda la carga positiva y prácticamente toda la masa. (Los electrones representan una pequeña porción de la masa del átomo; la masa real de un electrón es de aproximadamente 1 sobre 2 000 de la del protón.) Si el núcleo de un átomo de oro fuera tan grande como el punto sobre la letra *i*, entonces la distancia entre dos núcleos de oro de una pieza de oro sólido sería de aproximadamente 30 cm. Los electrones del átomo contienen toda la carga negativa y están dispersados por la mayor parte del espacio, pero contienen una parte muy pequeña de la masa. El átomo contiene un número igual de protones y electrones; así, pues, es eléctricamente neutro. Los núcleos atómicos pueden describirse por medio de dos números, que se definen como sigue:

Número atómico = carga nuclear.
= número de protones en el núcleo.

Número de masa = número de protones en el núcleo más el número de neutrones en el núcleo.

Un elemento químico es una substancia que consta de átomos del mismo número atómico. Se considera que los elementos son clases de materias primas químicas íntimas; todas las substancias están compuestas de elementos. Cada elemento tiene un nombre común y está representado por una o dos letras. Se encuentran 88 elementos al estado natural sobre la Tierra. Estos son los elementos del 1 al 92 (faltando los números 43, 61, 85 y 87). Los cuatro elementos faltantes, juntamente con 12 más por encima de los 92, han sido hechos por el hombre, de modo que el número total ahora conocido es de 104. He aquí algunos ejemplos:

* Esta información se obtuvo inicialmente, en gran parte, a partir de los experimentos de Benjamin Franklin.

** Estos experimentos fueron realizados inicialmente por Michael Faraday en 1833.

Nombre	Composición nuclear: *Protones*	Composición nuclear: *Neutrones*	Número atómico *(protones)*	Número de electrones	Número de masa *(protones + neutrones)*	Símbolo
Carbono-12	6	6	6	6	12	^{12}C
Carbono-14	6	8	6	6	14	^{14}C
Calcio-40	20	20	20	20	40	^{40}Ca
Calcio-44	20	24	20	20	44	^{44}Ca
Uranio-235	92	143	92	92	235	^{235}U
Uranio-238	92	146	92	92	238	^{238}U
Uranio-239	92	147	92	92	239	^{239}U

Obsérvese que cada elemento está representado simbólicamente por su letra y su número de masa.

Obsérvese también que un determinado elemento puede tener más de un número de masa. Los átomos del mismo elemento (esto es, los átomos del mismo número atómico) que tienen números de masa diferentes se designan como **isótopos**. Así, por ejemplo, ^{12}C y ^{14}C son isótopos de carbono. Los dos, ^{12}C y ^{14}C, representan átomos de carbono (o núcleos de carbono), porque los dos tienen seis protones nucleares. Son isótopos porque tienen diferente número de masa. Esta diferencia resulta del hecho de que hay diferentes números de neutrones en los dos núcleos. Los isótopos del elemento son químicamente equivalentes (o casi equivalentes): tienen la misma capacidad para combinarse. Así, por ejemplo, ^{12}C y ^{14}C son químicamente la misma substancia los dos: el carbono. Una de las propiedades del carbono es su capacidad de arder en el aire. Por consiguiente, podemos escribir las siguientes ecuaciones para la combustión de los isótopos de carbono:

$$^{12}C + O_2 \rightarrow {}^{12}CO_2$$

$$^{14}C + O_2 \rightarrow {}^{14}CO_2$$

Obsérvese que los dos núcleos de carbono, ^{12}C y ^{14}C, no resultan alterados por la reacción química y, por consiguiente, persisten en el bióxido de carbono moléculas producidas por combinación con oxígeno.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

4-3 RADIACTIVIDAD

Algunos núcleos atómicos son inestables; se los designa como radioisótopos, y de las substancias en que existen se dice que son radiactivas. Algunos de estos núcleos inestables se encuentran sobre la Tierra al estado natural, en tanto que otros han sido elaborados por el hombre. Un ejemplo de radioisótopo que se encuentra al estado natural es el radio-226, ó ^{226}Ra. La radiactividad natural fue descubierta accidentalmente en 1896, cuando el francés Henri Becquerel encontró que los minerales de uranio emiten una radiación algo parecida a la de los rayos X. Más adelante se averiguó que la energía de esta emisión estaba almacenada en alguna forma en los núcleos atómicos mismos. Se encontró que las emisiones constaban de partículas eléctricamente positivas, de partículas eléctricamente negativas y de rayos eléctricamente neutros (parecidos a los rayos X), que designamos como rayos gamma. Cuando se descompone un radioisótopo, queda atrás un nuevo átomo. En algunos casos, el átomo subsistente es estable (no radiactivo); en tanto que en otros es radiactivo. Por ejemplo, el núcleo del radio-226 se descompone para producir una partícula positiva (una partícula alfa; véase nota al calce de la página 59) y un nuevo elemento, el radón-222, que es un gas radiactivo:

$$^{226}\text{Ra} \rightarrow \text{partícula alfa} + {}^{222}\text{Rn}$$

El radón-222 se descompone también para producir una partícula alfa y además otro radioisótopo, el polonio-218. Las descomposiciones siguen siete pasos más, hasta formarse un isótopo estable, el plomo-206, o ^{206}Pb.

Ahora ponemos dos preguntas relacionadas entre sí, a saber: primero, si los núcleos de índice ^{226}Ra son inestables, ¿cómo es que se los encuentra sobre la Tierra? En segundo lugar, si no tuviéramos más que un solo átomo de ^{226}Ra conteniendo un núcleo, ¿cuándo se descompondría? La segunda pregunta no puede contestarse directamente. Pensemos en el núcleo de ^{226}Ra como un haz energético de materia elétricamente cargada; ésta podrá dispersarse o no en cualquier momento. Pero no sabemos cuáles son las probabilidades de que el núcleo de ^{226}Ra se descomponga en un minuto, un día, un año, o un siglo dados. Para comprender mejor esta idea, dejemos por un momento el núcleo de Ra y consideremos un ejemplo más familiar. Un pájaro pone un huevo y lo deja en el nido. En cualquier momento puede presentarse un depredador por ejemplo un lince, y destruir el huevo. ¿Cuánto tiempo subsistirá el huevo? Es obvio que no podemos responder a dicha pregunta, ya que el huevo particular que estamos considerando podrá tener suerte o no. Pero, si comprendemos el sistema

completamente, podemos decir cuáles probabilidades de destrucción tiene el huevo en un periodo de tiempo determinado. Digamos, por ejemplo, que en un día determinado, un huevo tiene 50 probabilidades contra 50 de sobrevivir, de modo que la probabilidad de supervivencia es igual a la de destrucción. Imaginemos, ahora, que vemos 64 de estos huevos individuales, cada uno de ellos con una probabilidad de supervivencia de 50 contra 50 en un día determinado. Si volvemos un día más tarde, esperaremos encontrar la mitad de ellos destruidos y la mitad intactos. Por consiguiente, esperaremos encontrar 32 huevos. Después de otro día, el número se habrá reducido nuevamente a la mitad, y sólo esperaremos que subsistan 16 huevos. El tercer día esperaríamos encontrar ocho, el cuarto, cuatro, y así sucesivamente. Debido a que se supone que la mitad de los huevos sean destruidos en un día determinado, este intervalo de tiempo (en este caso, un día) se designa como **media vida.**

El concepto de media vida se aplica a los radioisótopos. Un núcleo de un átomo de índice ^{226}Ra tiene 50 probabilidades contra 50 de sobrevivir en un intervalo determinado de 1 600 años. Esto significa que la media vida de ^{226}Ra es de 1 600 años. Por consiguiente, si se colocaba 1 g de ^{226}Ra en un recipiente en 1971, sólo quedaría medio gramo después de 1 600 años (en el año 3571), y únicamente un cuarto de gramo después de otros 1 600 años (en el año 5171), y así sucesivamente. Este proceso se designa como **desintegración radiactiva.**

El concepto de media vida no implica que después de 1 600 años quietos la mitad del ^{226}Ra se descomponga súbitamente. En efecto, puesto que hay una probabilidad de 50 contra 50 de que todo átomo de ^{226}Ra se descomponga en 1 600 años, hay también una probabilidad de 50 contra 50 de que un átomo de ^{226}Ra entre 1 600 se descomponga en un año —o de que 1 entre 1 600 × 365, esto es, 1 entre cada 584 000, se descomponga en un día, o de que aproximadamente 1 de entre 50 000 millones se descomponga en un segundo. Pero es el caso que 1 gramo de radio-226 contiene aproximadamente 2 650 000 000 000 000 000 000 átomos. Este número es tan grande, comparado con la proporción de átomos de los que se espera que se descompongan cada segundo, que el proceso de desintegración parece ser continuo, y todo aparato Geiger que se encuentra cerca responderá haciendo tic tac continuamente.

La velocidad a que las partículas alfa son emitidas por una muestra de ^{226}Ra depende de la cantidad de este material. Puesto que esta cantidad va decreciendo continuamente, la velocidad de emisión o radiactividad de la muestra de ^{226}Ra es asimismo decreciente. Recuérdese, sin embargo, que el ^{226}Ra produce, al descomponerse, otros radioisótopos. Cualquier muestra que se haya estado descomponiendo durante un tiempo finito contendrá algo del ^{226}Ra original, más algo de

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

cada una de sus "hijas" radiactivas, así como algo del producto final, esto es, plomo-206. Estos radioisótopos tienen diferentes medias vidas, que van de fracciones de segundo a aproximadamente 20 años. Por consiguiente, la radiactividad total producida por una muestra de radio juntamente con sus productos de desecho es mayor que la que es producida por la muestra simple de ^{226}Ra sola.

La radiactividad presente sobre la Tierra antes del siglo xx era derivada de radioisótopos que han sobrevivido a la historia de ésta. Por consiguiente, estos radioisótopos han de tener medias vidas muy largas. La media vida del uranio-238 natural, ^{238}U, por ejemplo, es de 4 500 millones de años. Las radiaciones de estos materiales más el efecto de la radiación que llega a la Tierra del espacio exterior se designa como **radiación de fondo.** Se ha demostrado que la radiación acelera el proceso de la mutación genética. La vida sobre la Tierra ha existido siempre en presencia de una radiación de fondo y, de hecho, las mutaciones inducidas por la radiación han constituido un factor en el desarrollo de las especies.

En años recientes el hombre ha aumentado enormemente la cantidad de materiales radiactivos sobre la Tierra y, por consiguiente, la radiactividad total en ésta ha aumentado. Según dijimos al principio de este capítulo, no podemos inventar nada que detenga esta radiactividad. Esta se va haciendo más lenta, por desintegración radiactiva, a una velocidad condicionada por la media vida de dos radioisótopos que intervienen. Para comprender mejor esta situación, hemos de considerar que el hombre ha producido más materia radiactiva, que la radiactividad aumentada afecta la Tierra, y también cuáles problemas plantea la eliminación de los desechos radiactivos.

4-4 COMO HA PRODUCIDO EL HOMBRE MAS MATERIA RADIACTIVA

Lord Rutherford y Frederick Soddy fueron los primeros en afirmar en 1902, que la desintegración radiactiva se traduce en el cambio de átomos de un elemento en átomos de otro elemento.* Diecisiete años después de esto, en 1919, Rutherford produjo transmutaciones artificialmente, exponiendo nitrógeno a partículas alfa para producir oxígeno-17:

$$^{14}N + \text{partícula alfa} \rightarrow {}^{17}O + \text{protón}$$

* "Soddy . . . se volvió hacia su colega y exclamó: 'Rutherford, esto es ¡transmutación!' Rutherford replicó: 'por favor, Soddy, no lo llames transmutación, porque en otro caso, nos van a cortar la cabeza por alquimistas.' Rutherford y Soddy pusieron cuidado en servirse más bien del término 'transformación', que de 'transmutación'." *(Scientific American,* agosto de 1966, pág. 91.)

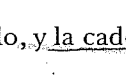
Sin embargo, ^{17}O no es radiactivo.

Quince años después, en 1934, Irène y Frédéric Joliot-Curie, la hija y el yerno respectivamente de la señora Curie, bombardearon boro con partículas alfa y produjeron nitrógeno-13, que es radiactivo:

$$^{10}B + \text{partícula alfa} \rightarrow {}^{13}N + \text{neutrón}$$

El ^{13}N fue el primer radioisótopo producido artificialmente. Este proceso se tradujo, por consiguiente, en un aumento de radiactividad, debido al hombre, sobre la Tierra. Fue la primera producción de desechos atómicos. Es el caso, sin embargo, que la cantidad de radiactividad producida por un experimento como el que acabamos de mencionar no produce efecto alguno sobre la Tierra, porque no intervienen en él más que cantidades muy pequeñas de materia radiactiva. Las partículas alfa utilizadas para producir la transformación provienen de fuentes radiactivas naturales como el radio y, por consiguiente, su disponibilidad es limitada.

Todo esto cambió radicalmente con el descubrimiento de la reacción **nuclear en cadena,** que tiene lugar en la fisión nuclear. Para nuestros fines, es importante comprender primero lo que es una reacción en cadena, y luego veremos por qué la reacción en cadena convierte la producción de desechos radiactivos en un problema real para la vida sobre la Tierra.

Una cadena es una serie de eslabones. Pensemos en el proceso de hacer una cadena; implica la adición sucesiva de eslabones. El proceso de adicionar eslabones a una cadena se designa como **alargamiento de la cadena.** Si el final de una cadena se enlaza con el principio, forma un ciclo, y la cadena termina  Esta es una forma de **terminación de cadena.** Si a un eslabón determinado se añade más de un eslabón, se desarrollan diversos brazos de la cadena, y esto se designa como **ramificación de la cadena.**

Una serie de pasos en un proceso que tiene lugar uno después de otro, en sucesión, añadiéndose cada paso al precedente como los eslabones en una cadena, se designa como proceso de cadena o **reacción en cadena.** Las reacciones en cadenas químicas pueden también experimentar ramificación. Un ejemplo de una reacción en cadena química en ramificación es el fuego de un bosque. El calor de uno de los árboles podrá iniciar la reacción (combustión) de dos o tres otros árboles, cada uno de los cuales encenderá, a su vez, a varios otros. Si el alargamiento de una cadena tiene lugar a una velocidad determinada, la producción

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

de 10 ramas significa que 10 reacciones tienen lugar al mismo tiempo, de modo que la velocidad ha aumentado en 10 veces. Una reacción de cadena química que siga bifurcándose puede producir una explosión. La condición bajo la cual una reacción en cadena se prosigue exactamente a una velocidad fija, sin bifurcar ni hacerse más lenta, se designa como la **condición crítica**.

La producción de la bomba atómica (fisión) y de reactores nucleares depende de reacciones en cadena nucleares bifurcadas. El proceso se inicia cuando un neutrón pega contra un núcleo de ^{235}U, y puede proceder a una de varias formas. He aquí, dos ejemplos:

^{235}uranio + 1 neutrón → ^{142}bario + ^{91}criptón + 3 neutrones

^{235}uranio + 1 neutrón → ^{137}yodo + ^{97}itrio + 2 neutrones

Obsérvense los siguientes puntos importantes acerca de estas ecuaciones:

a) La reacción es iniciada por un neutrón, pero produce dos o tres neutrones. Estos neutrones pueden iniciar dos o tres nuevas reacciones, las que a su vez producen más neutrones y así sucesivamente. Se trata, por consiguiente de una reacción en cadena ramificada. Así, pues, la repetición de la primera reacción podría escribirse como sigue:

$$3\ ^{235}U + 3 \text{ neutrones} \rightarrow 3\ ^{142}Ba + 3\ ^{91}Kr + 9 \text{ neutrones}$$

$$9\ ^{235}U + 9 \text{ neutrones} \rightarrow 9\ ^{142}Ba + 9\ ^{91}Kr + 27 \text{ neutrones}$$

y así sucesivamente.

b) El núcleo de ^{235}U es partido aproximadamente en dos por estas reacciones. Esto se designa como **fisión atómica** o **nuclear**. La fisión libera una cantidad considerable de energía. Si la reacción en cadena bifurcada se prosigue muy rápidamente, tenemos una explosión atómica. Si la bifurcación en cadena es controlada cuidadosamente, la energía puede liberarse lentamente, y tenemos así el reactor nuclear, que puede utilizarse para la producción de energía.

c) Las ecuaciones están equilibradas, porque las sumas de los números de masa permanecen constantes:

$$235 + 1 = 142 + 91 + 3$$

y

$$235 + 1 = 137 + 97 + 2$$

d) Las reacciones de fisión producen desechos radiactivos. ^{142}Ba, ^{91}Kr, ^{137}I, y ^{97}Y, o sean los productos que figuran en las ecuaciones precedentes, son todos ellos radiactivos. Por otra parte, las reacciones

presentadas por estas ecuaciones no son más que dos de las numerosas que ocurren en la fisión atómica. Se producen muchos radioisótopos diferentes en la fisión atómica. Además, los productos de fisión en cuanto grupo son mucho más radiactivos que el uranio, que es una materia prima. Según dijimos ya anteriormente, la media vida del isótopo uranio, ^{238}U, que abunda al estado natural, es de cuatro y medio millones de millones de años.* Muchos hogares americanos contienen antigua cerámica de cocina de color naranja (de antes de la segunda guerra mundial) manufacturada a partir de un pigmento de óxido de uranio. El nivel de radiación de tales materiales es bajo. (Sin embargo, sería mejor sacarlos de la cocina. Pueden regalarse a la universidad más cercana.) Pero es el caso que las medias vidas de los productos de fisión son mucho más cortas; algunas se miden en siglos, algunas en años, días, minutos, segundos, o en fracciones de segundo. Por consiguiente, sus niveles de radiación son mucho más altos. Estos materiales, producidos en abundancia por las reacciones en cadena nuclear, son los desechos atómicos que nos preocupan.

4-5 COMO AFECTA LA RADIACTIVIDAD AUMENTADA LA VIDA SOBRE LA TIERRA

Un punto central que conviene recordar es que los isótopos del mismo elemento tienen, para todos los efectos prácticos, la misma química. Por ejemplo, el yodo es utilizado en la glándula tiroides, en el cuello del hombre. Este yodo forma parte de la **tiroxina**, regulador químico básico del crecimiento, cuya fórmula es $C_{15}H_{11}O_4NI_4$. El yodo natural, que proviene de fuentes como los mariscos, es prácticamente todo ^{127}I, esto es, un isótopo estable (no radiactivo). Así, pues, la tiroxina de nuestro cuerpo es $C_{15}H_{11}O_4N^{127}I_4$. Como hemos visto, el yodo radiactivo es un producto de la fisión nuclear. Uno de los radioisótopos es ^{131}I.

La glándula tiroides responde a la composición química del yodo, no a su composición nuclear; no distingue la diferencia entre ^{127}I y ^{131}I. Por consiguiente, si el radioisótopo se encuentra en el alimento del hombre, hallará su camino hacia la tiroxina, para producir $C_{15}H_{11}O_4N^{131}I_4$. Por supuesto, la radiactividad del ^{131}I es la misma en la molécula de tiroxina que en cualquier otra parte. Es importante, por consiguiente, considerar lo que le podrá ocurrir a una persona con un exceso de radiactividad en su organismo.

El efecto de la radiactividad sobre la vida depende de dos clases de factores: *a)* de la clase de radiactividad presente (la intensidad y los

* ^{238}U no es un isótopo fisionable él mismo, pero es la materia prima para la producción de tonio-239, que es fisionable. Esta conversión se explica más adelante, en la sección 4-6.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

tipos de rayos producidos), y *b)* de la química de los radioisótopos que influyen sobre la traslación de estos y, especialmente sobre su traslación a lo largo de las cadenas de alimentos.

Veamos el efecto de la radiactividad ella misma. Refirámonos primero a las unidades del cuadro 4-1. La alta energía que acompaña la radiactividad produce cambios químicos. Estos cambios incluyen alteraciones de las células vivas y son prácticamente siempre nocivos.* Las dosis grandes pueden ser fatales para el hombre. Las relaciones se muestran en la figura 4-1. Como ya se hizo observar en la sección 4-3, la vida sobre la Tierra ha evolucionado en presencia del nivel natural de radiación de fondo. Esta radiación puede ser tan perniciosa como la de las fuentes artificiales; sin embargo, su nivel es bajo, y la vida sobre la Tierra se ajusta a las mutaciones que causa. Los pocos organismos dañados por esta radiación no sobreviven a la competencia con los que no

* Hay alguna probabilidad de que un determinado cambio sea beneficioso, pero esta probabilidad es muy pequeña. El hecho de producirse un cambio favorable en las células debido a radiación sería algo por el estilo de hacer imprimir un nuevo conjunto de las obras de Shakespeare y encontrar que los diversos errores accidentales de impresión habían mejorado la calidad literaria de las obras.

CUADRO 4-1. Unidades relativas a la radiactividad

Unidad	Abreviaciones	Definición y aplicación
Desintegración por segundo	dps	Velocidad de radiactividad en la que un núcleo se desintegra cada segundo. La radiación de fondo natural para el organismo humano es de aproximadamente 2 a 3 dps. Esto no comprende la "precipitación radiactiva" de las fuentes creadas por el hombre, tales como las bombas atómicas.
Curie	Ci	Otra medida de la radiactividad. Un Ci = 37 000 miles de millones de dps.
Microcurie	μCi	Una millonésima de curie, o 37 000 dps.
Roentgen	R	Medida de la intensidad de los rayos X o rayos gamma, en términos de la energía de la radiación absorbida por un cuerpo. (1 R libera 84 ergs* de energía a 1 g de aire.) El roentgen puede considerarse como una medida de la dosis radiactiva recibida por un organismo. La dosis de radiactividad natural para el ser humano es de 5 R durante los 30 primeros años de vida. Una simple radiografía dental da aproximadamente 1 R, y una serie de radiografías de la boca entera, aproximadamente 15 R.
Rad		Otra medida de la dosis de radiación, equivalente a la absorción de 100 ergs por gramo de tejido biológico.

* Véase en el Apéndice una exposición de las unidades de energía.

han sido dañados y, por consiguiente, mueren. Por supuesto, los organismos, más raros todavía, a los que la mutación mejora, sobreviven preferentemente; este proceso selectivo constituye la evolución. Pero es el caso que, cuando los niveles de radiación se hacen demasiado altos, los mecanismos reguladores mediante los cuales los organismos dañados son eliminados se ven abrumados y no pueden hacer frente al trastorno. En otros términos, resultan dañados tantos organismos, que la especie entera se enfrenta a la extinción. Hay que considerar también, independientemente del efecto sobre la especie en su conjunto, el daño inflingido a los seres individuales.

La radiación puede afectar cualquier parte del organismo humano. Por ejemplo, la radiactividad perjudica la sangre destruyendo leucocitos y mediante lesión de la médula ósea, el bazo y los nódulos linfáticos. Otros efectos específicos, susceptibles de ser producidos por grandes dosis de radiación, son los tumores pulmonares, cáncer de la piel, daño en los huesos, esterilidad y cataratas (enturbiamiento del cristalino del ojo).

Los efectos de pequeñas dosis son más difíciles de precisar, pero, por lo que actualmente sabemos, inclusive la cantidad más pequeña de radiación intensa (una partícula) puede dañar el núcleo de una célula individual. Una célula dañada, o una de sus descendientes, puede convertirse en cancerosa.

Si una célula germen es alterada, la lesión genética resultante puede transmitirse a las generaciones futuras.

Ya mencionamos que la química de los radioisótopos influye sobre su modo de traslación a través del ecosistema global. Ilustremos este

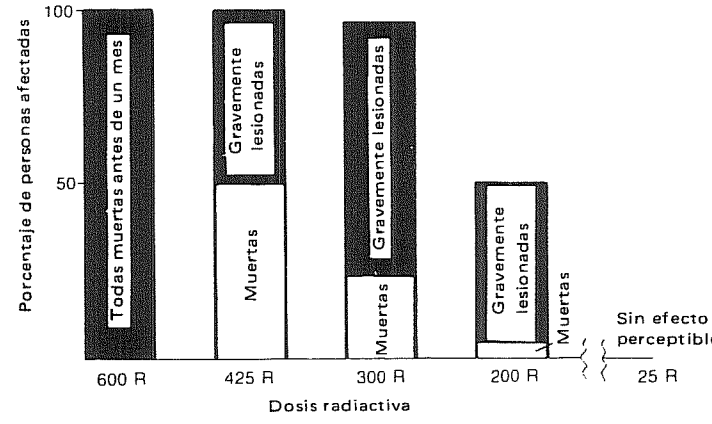


FIG. 4-1. Efectos de la radiactividad sobre el hombre.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

punto con referencia al estroncio-90, ^{90}Sr. Este isótopo es un producto de desecho de la fisión radiactiva, con una media vida de aproximadamente 27 años; es uno de los componentes de la "precipitación radiactiva", o sea la mezcla de los desechos radiactivos liberados por los procesos nucleares hacia la atmósfera y que gradualmente se depositan sobre la superficie de la Tierra, juntamente con otros polvos diversos. El estroncio (cualquier isótopo de estroncio, radiactivo o no) es químicamente similar al calcio, que constituye un elemento importante en los huesos de los animales. En los mamíferos, el calcio es transmitido a las crías por la leche de la madre. Así, pues, la leche es una fuente importante de calcio. Los herbívoros, como las vacas, obtienen su calcio de la materia vegetal de sus alimentos. Si una vaca pace en una zona contaminada por la lluvia radiactiva, el ^{90}Sr será transportado juntamente con el calcio y se acumulará en los huesos de la vaca y en su leche. Este proceso orgánico concentra el ^{90}Sr, y habrá mucho más del mismo en 1 g de leche que en 1 g de hierba. La leche de vaca es utilizada como alimento por los humanos, especialmente por los niños, de modos que estos tienen probabilidades de ingerir cantidades relativamente grandes de ^{90}Sr. Las madres que amamanten a sus bebés concentran ^{90}Sr en *su* leche y, como consecuencia, el bebé lactante ingerirá este radioisótopo en el pecho de su madre. La concentración de los radioisótopos en la cadena de los alimentos en las regiones árticas es particularmente eficiente. El efecto de esta concentración se observó al ver que los esquimales absorbían más radiactividad de la lluvia radiactiva que la gente que vivía en otras zonas de la Tierra, en donde tenía en realidad lugar más precipitación radiactiva. El primer paso en esta concentración altamente eficiente lo realiza el liquen ártico, planta que obtiene su alimento mineral directamente de las partículas de polvo que se depositan sobre ella. Esta es la razón de que el liquen reúna el polvo de la lluvia radiactiva de modo particularmente eficiente. En el verano, el caribú emigra al norte hacia la tundra, en donde sus manadas recorren vastas extensiones en busca de liquen, que se convierte en un elemento importante de su dieta. El efecto es como si alguien enviara los caribús a recoger y traer el ^{90}Sr, y es el caso que realizan esta tarea muy bien. Luego, por supuesto, los esquimales comen caribú, en ocasiones como alimento único, y así, pues, en la cima de la cadena de alimentos, reciben la radiactividad más concentrada.

Hay, por supuesto, muchos otros ejemplos de cadenas de alimento radioisotópicas en nuestro sistema global. Lo que hay que recordar es que el ecosistema, que es un mecanismo biológico, trata la materia según su naturaleza bioquímica, y no según su composición isotópica. Por consiguiente, no distingue entre materia radiactiva y no radiactiva, y cualquier elemento radiactivo seguirá siempre las mismas vías que las de sus isótopos estables.

Una media vida de 27 años es corta si se compara con la de cuatro y medio millones de millones de años, y es larga, en cambio, si se compara a la de un segundo. Sin embargo, lo importante es que 27 años representan un periodo de tiempo ordinario (ni muy largo ni muy corto), en comparación con la duración de la vida humana. La dosis radiactiva de una cantidad determinada de ^{90}Sr sólo se reducirá en 50 por 100 en 27 años. La dosis de ^{238}U (4 $1/2$ millones de millones de años de vida media) apenas se reducirá en absoluto, pero no es muy alta, para empezar, de modo que la dosis total durante el tiempo de la vida humana es baja. La dosis de un material de radiactividad muy alta (como la que acompaña a una media vida de un segundo) es intensa, pero no dura mucho y, por consiguiente, no adquiere una magnitud significativa en la cadena de alimentos, por consiguiente, la media vida radiactiva que se encuentre dentro del margen de duración de la vida de organismos vivos puede ser particularmente peligrosa.

4-6 PUNTOS DE VISTA OPUESTOS EN RELACION CON LA ENERGIA NUCLEAR

Vimos que los desechos radiactivos son productos necesarios de las reacciones nucleares en cadena; que la radiactividad puede perjudicar los organismos vivos, y que la materia radiactiva tiende a distribuirse a través de un ecosistema como si no fuera radiactiva. Por supuesto, el hombre interviene para controlar esta distribución. No vierte los desechos radiactivos del medio ambiente en forma fortuita y accidental. Adopta decisiones y establece normas. Estas decisiones y estas normas han sido objeto de desacuerdos muy pronunciados. En uno de los extremos, el desarrollo y la acción de la energía nuclear se han considerado como un gran beneficio para futuro de la humanidad, susceptible de proporcionar energía barata por mucho tiempo. Se ha afirmado que las medidas para la eliminación de los desechos atómicos eran tan seguras, que estos desechos no constituyen amenaza alguna para el bienestar del hombre y, en todo caso, ciertamente no en comparación con los beneficios que se esperan obtener de la energía nuclear; inclusive la proliferación de las armas atómicas a sido celebrada como una garantía de paz, porque acrecienta eficazmente el miedo de la guerra (nuclear). En el otro extremo, estos mismos desarrollos se han designado como una amenaza inminente a la supervivencia del hombre como especie; se ha dicho que la disponibilidad de energía barata a partir de las reacciones nucleares se había exagerado burdamente; se han denunciado las medidas para la eliminación segura de los desechos atómicos como insuficientes e inseguras; se ha considerado que el peligro de la radiactividad para la salud humana había sido

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

sistemáticamente subestimado, y se ha recomendado que todas las armas atómicas fueran descartadas y se abandonara en este momento el programa nuclear entero, limitándonos a satisfacer todas nuestras necesidades de energía a partir de fuentes no nucleares, como el carbón.

Los problemas implicados en esta discusión son tanto sociales como técnicos. Para apreciarlos, necesitamos comprender primero, de modo general, cómo funcionan los reactores nucleares, lo que se hace con los desechos, y cuáles clases de posibles "cambalaches" este asunto nos obliga a enfrentar.*

4-7 REACTORES NUCLEARES Y METODOS DE ELIMINACION DE DESECHOS

Empecemos con las ecuaciones fundamentales de la fisión nuclear:

$$^{235}U + 1 \text{ neutrón} \rightarrow \text{productos de fisión} + 2 \text{ a } 3 \text{ neutrones} + \text{energía} \quad (1)$$
(rara)

y

$$^{238}U + 1 \text{ neutrón} \rightarrow \text{plutonio-239, ó } ^{239}Pu \quad (2)$$
(abundante)

$$^{239}Pu + 1 \text{ neutrón} \rightarrow \text{productos de fisión}^{**} + 2 \text{ a } 3 \text{ neutrones} + \text{energía} \quad (3)$$

Las reacciones (1) y (3) son fuentes de energía. La reacción (2) no es una fuente de energía, pero utiliza el ^{238}U abundante pero no fisionable, para hacer un nuevo elemento fisionable, esto es, el ^{239}Pu. Este elemento es la base para la reacción productora de energía (3).

El reactor nuclear (fig. 4-2), que produce energía, necesita lo siguiente:

a) Un medio de controlar los neutrones. Un exceso de neutrones representan el peligro de una reacción en cadena ramificada incontrolada, reacción susceptible de crear energía y productos de desecho en forma tan rápida, que resultarían difíciles de manejar apropiadamente. Demasiado pocos neutrones, en cambio, hacen la reacción en cadena más lenta y producen demasiada poca energía. El control del número de electrones se efectúa por medio de barras absorbentes de neutrones que contienen cobalto o boro y que pueden introducirse más o menos pro-

* Decimos "cambalache" en el sentido de un intercambio o negocio entre beneficios y riesgos. Cuantos más beneficios se obtengan tanto más podrán costar.

** Recuérdese que, en cuanto grupo, los productos de fisión son altamente radiactivos.

fundamente en el reactor. El control de la energía de los neutrones, que influye sobre la velocidad de las reacciones que experimentan, es efectuado por un "**moderador**", esto es, una substancia que hace los neutrones más lentos, pero sin absorberlos. El moderador utilizado en el primer reactor experimental fue el grafito, esto es, una forma de carbono, en tanto que los reactores actuales utilizan el agua.

b) Una manera de extraer la energía calorífica producida. La energía obtenida en los procesos del reactor ha de transferirse a un líquido circulante, por ejemplo, a metal sodio fundido. El calor de este líquido se utiliza a continuación para convertir el agua en vapor (en un transformador de calor o condensador), que impele turbinas para producir electricidad.

c) Un medio de contener y eliminar los desechos rad. El uranio, que representa el "combustible", se injerta en el reactor en forma de cartuchos largos y delgados. Estos cartuchos de combustible están recubiertos (o "vestidos", como dicen en las plantas de energía nuclear) de acero inoxidable o de otras aleaciones. Cuando se ha acumulado una cantidad suficiente de impurezas, la absorción de neutrones por los productos de fisión hace la reacción en cadena más lenta, y los cartuchos de combustible han de quitarse. Es aquí donde los desechos están más concentrados, son más radiactivos y, por consiguiente, más peligrosos. El combustible consumido ha de volver a tratarse; el uranio y el plutonio han de recobrarse, y los desechos han de eliminarse apropiadamente. El

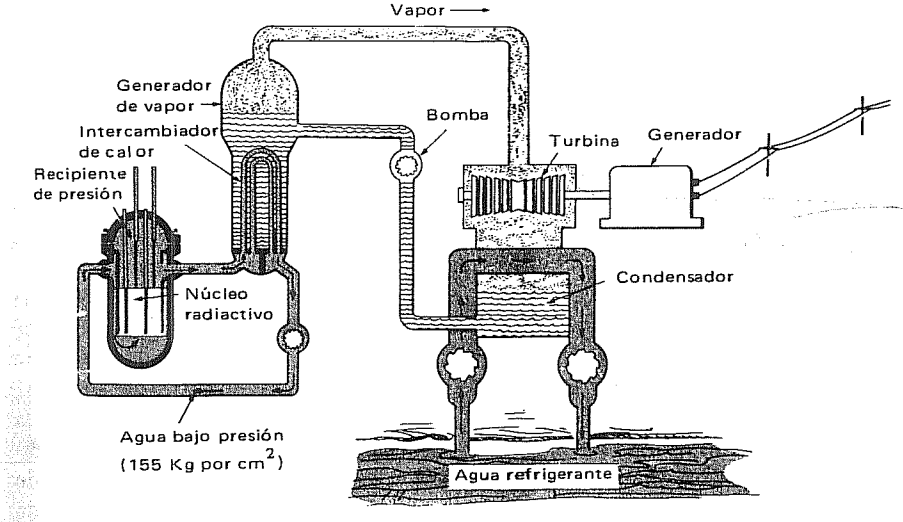


FIG. 4-2. Ilustración esquemática de una planta de energía nuclear.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

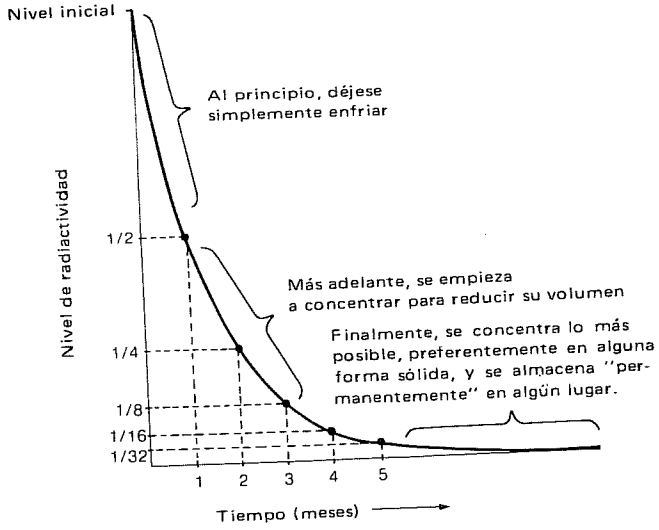


FIG. 4-3. Eliminación de desechos radiactivos, en el caso de un producto de desecho hipotético de un mes de media vida.

método de eliminación implica una serie complicada de operaciones. Los objetivos últimos están en concentrar los desechos rad lo más posible, con objeto de ahorrar espacio y de almacenarlos allí donde no causen perjuicio. Pero inicialmente están demasiado calientes para que se puedan manipular. (Están "calientes" en dos formas: son altamente radiactivos y hierven a causa de energía liberada por ellos mismos.) Después de algún tiempo, empieza a ser posible tratar los desechos: han de concentrarse y, cuando sea posible, han de convertirse a una forma, sólida, susceptible de ser manipulada fácilmente. Este tratamiento implica etapas tanto físicas como químicas y, por supuesto, el transporte de un lugar a otro. La figura 4-3 ilustra una curva de desintegración de un producto de desecho hipotético, cuya media vida es de un mes. (Obsérvese que la radiactividad se reduce cada vez en la mitad, pero que la curva es continua, esto es, no baja en peldaños.) Así, pues, la clase de operación que puede realizarse con los desechos cambia a medida que transcurre el tiempo.

El paso final que se considera actualmente como el mejor para la eliminación última consiste en colocar los desechos enfriados, concentrados y solidificados, en una mina de sal o cueva de sal abandonadas, de las que se espera que permanecerán secas y sin trastornos por miles de años (fig. 4-4).

Un procedimiento alternativo posible consiste en producir una especie de cemento que incorpore la materia de desecho radiactivo. Este "cemento caliente" se inyecta luego en grietas subterráneas de roca biológicamente estable, en donde se endurece y se convierte en parte de la estructura sólida de la costra de la Tierra.

d) Un conjunto general de procedimientos de seguridad para protegerse contra las liberaciones accidentales de material radiactivo. El criterio de seguridad utilizado por la industria de la energía nuclear es que una triple capa de defensa hace todo accidente grave casi inconcebible.

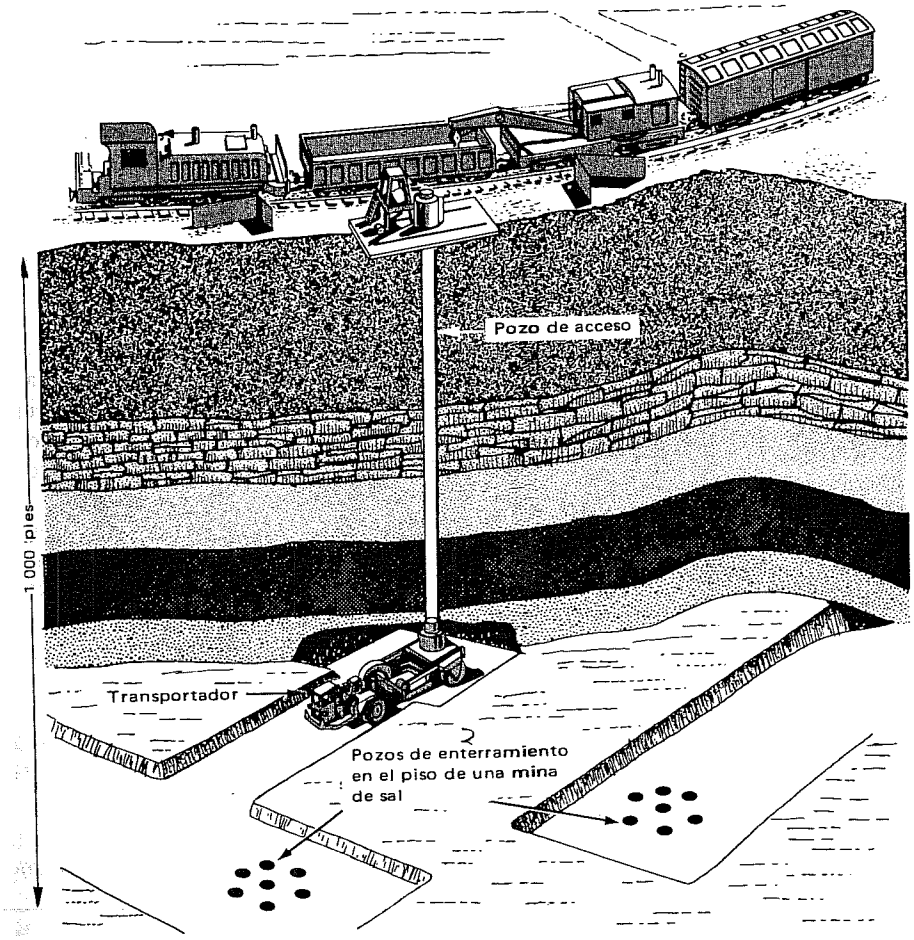


FIG. 4-4. Eliminación final de desechos radiactivos en una mina de sal. (© 1971 por The New York Times Company. Reproducción autorizada.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

La primera línea de defensa consiste en la incorporación de factores de seguridad en el diseño básico, la construcción y el funcionamiento del reactor. Por ejemplo, el combustible nuclear no es el elemento metálico uranio puro, sino más bien una forma cerámica de bióxido de uranio. Este compuesto es mucho más capaz de retener la mayoría de los productos de fisión, aun estando sobrecalentados. En esta forma, el revestimiento del combustible está mejor protegido contra rotura. El combustible de uranio mismo consiste en el isótopo natural no fisionable ^{238}U, enriquecido con el ^{235}U fisionable, mediante un factor sólo tres o cuatro veces por encima del nivel a que se encuentra en el estado natural. Este bajo nivel de enriquecimiento proporciona una proyección automática contra una velocidad de fisión aumentada si la temperatura llegara a subir accidentalmente, por ejemplo, en el caso de una falla del sistema de refrigeración. Así, pues, el reactor nuclear moderno en nada se parece a una bomba atómica, ni siquiera potencialmente, aun si todos los sistemas de defensa vinieran a fallar. El empleo de agua ordinaria como refrigerante y moderador de neutrones proporciona también una protección automática; en efecto, un aumento imprevisto del nivel de energía eliminaría por ebullición una parte del agua, y esta pérdida se utiliza como señal para iniciar una sucesión de operaciones de cierre del reactor. Esta descripción de la "primera línea de defensa" dista mucho de ser completa, y sólo tiene por objeto ilustrar que la seguridad ha de ser inicialmente inherente al proceso mismo.

La segunda línea de defensa se basa en el supuesto de que la primera línea, contrariamente a todas las previsiones, pudiera fallar. Viene a ser algo parecido a tener en un hospital un sistema eléctrico bien concebido para proporcionar energía a los servicios esenciales, como las salas de operaciones, y tener además un generador auxiliar de energía accionado por gasolina, para el caso en que el sistema primario viniera a fallar. De este modo, si los mecanismos que refrigeran el núcleo del reactor fallaran, se cuenta al menos con otros *dos* sistemas de refrigeración independientes. Si el sistema de energía de que dependen las medidas de urgencia fallara a su vez, cabe utilizar una fuente de energía de fuera. Y si *esta* falla también generadores de diesel o turbinas de gas sobre el lugar pueden hacerse cargo. Los sistemas secundarios de esta clase son muy complejos y se relacionan entre sí de tal modo que sus respuestas son específicamente apropiadas al carácter de la urgencia. Por otra parte, estas respuestas son completamente automáticas, o sea que no necesitan ser iniciadas por operador humano alguno.

La tercera línea de defensa supone que fallen tanto la primera como la segunda líneas. Esta barrera final a la contaminación radiactiva del medio ambiente es una estructura masiva de contención (fig. 4-5), consistente en un alojamiento grueso, impermeable al vapor y reforzado, de concreto, que protege el reactor y los generadores de vapor. Esta barrera

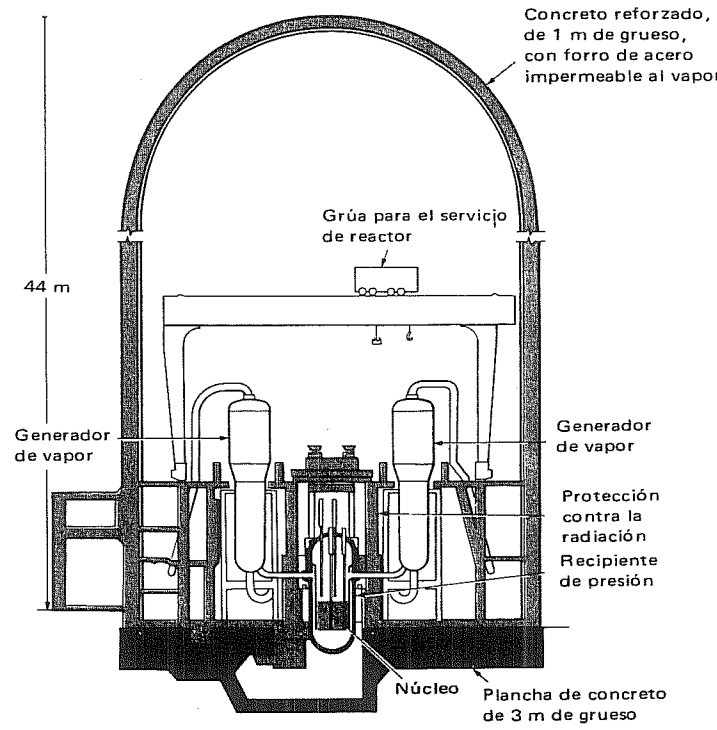


FIG. 4-5. Estructura de contención para una planta de energía nuclear. (© 1971 por The New York Times Company. Reproducción autorizada.)

está concebida para resistir terremotos y huracanes y para contener todas las materias que pudieran ser liberadas en el interior, aun si el sistema primario mayor de tubería del reactor quedara instantáneamente destruido.

4-8 PROBLEMAS Y CONTROVERSIAS EN RELACION CON LA LIBERACION Y LA ELIMINACION DE DESECHOS RADIACTIVOS

Las cuestiones aquí debatidas implican cambalaches de un riesgo muy alto para toda la humanidad.

En primer lugar, no vamos a considerar el desarrollo y la prueba de armas nucleares como tema válido para el análisis de costos y beneficios. Si la "seguridad de la destrucción mutua" existente entre dos países ha de considerarse como un "beneficio", porque la paz queda garantizada

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

por el temor de represalia, entonces la forma más barata de conseguir ese objetivo sería, para cada país, la de minar las ciudades del otro y conservar el control de un "botón destructor". Esto costaría mucho menos que flotas de jets, proyectiles o submarinos. El hecho de que nunca podría llegarse a semejante acuerdo ilustra su carácter absurdo, y si es absurdo hacer esto a bajo costo, no puede ser cuerdo hacerlo a un costo alto.

El desarrollo de la energía nuclear, sin embargo, es algo totalmente distinto. En efecto, no podemos "renunciar" a la energía, como no podemos renunciar a la agricultura. Por consiguiente, necesitamos ponderar los riesgos nucleares contra la contaminación del aire que podría resultar de la combustión de gas, petróleo o carbón (combustibles fósiles) para obtener una cantidad equivalente de energía. Hemos de considerar también de qué modo los recursos de la Tierra han de explotarse. El gas, el petróleo y el carbón no son solamente combustibles, sino también materias primas indispensables para la producción de muchos productos químicos orgánicos, tales como medicinas, plásticos y colorantes, que son útiles para el hombre. Quemarlos para la producción de energía equivale a perderlos para la síntesis química.

¿Cuál *es* la situación actual de los riesgos inherentes a la producción de energía nuclear? En primer lugar, inclusive con el mejor de los diseños y con un funcionamiento libre totalmente de accidentes, alguna materia radiactiva es liberada automáticamente hacia el aire y el agua fuera de la fábrica. Esta liberación puede apreciarse de la mejor manera en términos de la dosis de radiactividad que impone al individuo corriente. Refirámonos nuevamente a la figura 4-1 y a la definición de la unidad R (roentgen) del cuadro 4-1. Un nivel de 0.17 R se ha sugerido como dosis máxima "razonable" impuesta por la industria de energía nuclear. ¿Qué debemos pensar de semejante nivel (qué supone que todo va bien y que no haya accidentes), como precio personal a pagar para la energía que utilizamos? En seis años, la exposición es equivalente a la de una sola radiografía dental. Semejante comparación dará acaso la impresión de que el riesgo es insignificante, pero hemos de reconocer que semejantes niveles, ya provengan de plantas de energía nuclear o de fuentes médicas, pueden ser causa de un gran número de muertes. Esto no significa que la víctima muera en el momento de la exposición, sino más bien que la mortalidad de los individuos expuestos es más alta que la de los individuos no expuestos. Es el caso, sin embargo, que la mayoría de los americanos no viven cerca de las fábricas de energía nuclear y, por consiguiente, no están expuestos a la dosis potencial máxima de dichas fuentes. Se ha calculado que inclusive una industria de energía nuclear americana extensa no representaría más de una a cinco muertes al año entre la gente de fuera de las fábricas. Y recuérdese, que estas muertes han de ponderarse contra las que serían provocadas por la

contaminación del aire si nos sirviéramos de combustible fósil en lugar de nuclear.

Ahora, ¿qué hay de los accidentes? ¿Qué garantía ofrecen los dispositivos de seguridad? Se deja concebir que un trastorno en algún punto pudiera tener consecuencias extensas, como en el ecosistema biológico. Una pieza de metal floja en el reactor podría retardar la corriente del refrigerante, lo que podría hacer que los elementos del combustible se sobrecalentaran, lo que podría ocasionar la rotura del revestimiento, lo que podría impedir el control de las barras, lo que podría aumentar la corriente de neutrones, lo que podría calentar más todavía los elementos del combustible y fundirlos, lo que podría liberar grandes cantidades de radiactividad, las que podrían ser contenidas o no apropiadamente por la barrera final. Una serie semejante de acontecimientos ha tenido lugar ya. Un ejemplo notable es el de la fusión del combustible que tuvo lugar en 1966 en la Planta de Energía Enrico Fermi, cerca de Monroe, Michigan, no lejos de Detroit. Este incidente ha sido esgrimido por ambos lados de la controversia relativa a la seguridad nuclear. Los opositores de la energía nuclear han insistido en la inseguridad inherente de inclusive los sistemas de seguridad más avanzados y han señalado la amenaza de catástrofes importantes contra la ciudad de Detroit. Del otro lado, los partidarios de la energía nuclear han subrayado que las líneas finales de defensa *funcionaron,* puesto que, de hecho, no fue liberada nube radiactiva alguna.

Finalmente, ¿cuán apropiados son los métodos de eliminación de desechos? Antes de que los desechos radiactivos lleguen al lugar final, presentan riesgos de manipulación y transporte. Las medidas de seguridad fuera de la fábrica no pueden ser, por regla general, tan rigurosas como las de dentro. Por ejemplo, las barreras masivas de contención no acompañan, por supuesto, los camiones y los trenes. Hay casos supuestos, aunque no siempre bien documentados, de pérdidas de materia radiactiva en tránsito, ya sea por descuido, accidente, o robo. Semejante material puede incluir tanto radioisótopos para la medicina y la industria como desechos radiactivos. Resulta difícil apreciar los efectos de semejantes pérdidas reales o posibles; son locales, irregulares, imprevisibles, y se desconoce su extensión exacta. Su control es materia en gran parte de la observación mejorada de los procedimientos de manipulación segura establecidos.

El almacenamiento "permanente" plantea cuestiones de otra clase. En efecto, inclusive si los lugares de depósito son seguros por "miles de años", cabe preguntar si tales periodos de tiempo son suficientemente largos. En efecto, los productos de desecho que almacenamos actualmente, podrán ser relativamente inofensivos después de algunos miles de años, pero si los procesos de eliminación de desechos son continuos, habrá siempre algún material fresco presente y, de esta forma, el peligro

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

no disminuye. El hombre ha vivido sobre la Tierra durante millones de años, ¿vamos acaso a poner ahora un límite a dicha posesión mediante la intromisión persistente en los ecosistemas de la Tierra?

O bien, ¿avanzamos acaso hacia fuentes de energía cada vez más abundantes, especialmente de la energía potencialmente obtenible de la fusión nuclear de los átomos de hidrógeno, tan inagotablemente accesibles en el agua, y que promete ser fundamentalmente no contaminante? *

PROBLEMAS

1. Explíquese la diferencia entre la masa y el número de masa de un átomo.

2. Defínanse la radiactividad, el radioisótopo y el isótopo.

3. ¿Qué es una reacción en cadena? Explíquese la propagación en cadena (alargamiento); la ramificación en cadena; la terminación en cadena; la condición crítica. ¿Puede la propagación de un rumor entre un gran grupo de gente funcionar como una reacción en cadena? En su caso, ilústrese de qué modo la cadena podría ramificarse o terminar. Defínase la condición crítica de semejante sistema.

4. Expónganse en grandes líneas las clases de daño para el organismo que podrían resultar de la exposición a una radiación de alta energía; ¿puede resultar acaso de ella algún beneficio? Explíquese.

5. ¿Cuáles son las características fundamentales de un reactor de fisión nuclear?

6. Residuos radiactivos en forma de arena, procedentes de los molinos del tratamiento de mineral uranio, llamados "colas de molino", se han utilizado para preparar cemento para la construcción de casas en Colorado, Arizona, Nuevo México, Utah, Wyoming, Texas, Dakota del Sur y Washington. Estas colas contienen radio (media vida de 1 620 años) y su hija radón (un gas, de una vida media de 3.8 días), así como formas radiactivas de polonio, bismuto y plomo. El gas radón rezuma a través de concreto, pero es químicamente inerte. ¿Son los siguientes enunciados correctos o falsos? Defienda el lector su respuesta en cada caso:

   a) Puesto que el radón tiene una media vida tan breve el peligro desaparecerá rápidamente; por consiguiente, las colas antiguas no plantean problema alguno en relación con la salud.

   b) Inclusive si el gas radón está presente, no puede representar problema alguno para la salud, porque es inerte y no penetra en reacción química alguna del organismo.

   c) La ventilación continua que expulsaría el gas radón hacia afuera reduciría el peligro para la salud en el interior de dicha clase de casas.

* Véase problema 11 por lo que se refiere a las ecuaciones de la fusión nuclear.

7. Expónganse el concepto general y el método de seguridad utilizado en las plantas de energía nuclear. ¿Puede el lector imaginar alguna serie concreta de acontecimientos capaces de provocar la falla de todas las medidas de seguridad y de liberar hacia la atmósfera una nube radiactiva? En caso afirmativo, descríbalos.

8. ¿Cree el lector que sería razonable poner límites de seguridad en las fábricas de energía eléctrica, capaces de impedir cualquier liberación de materia radiactiva? Defienda su respuesta. Si la respuesta es negativa, ¿de qué criterio se serviría el lector para establecer dichos límites?

Las preguntas siguientes implican algunos cálculos.

9. Complétese el cuadro siguiente poniendo el valor numérico correcto allí donde aparece un punto interrogante. (Obsérvese que los números atómicos, pero no, en cambio, los números de masa, figuran en el cuadro.)

Isótopo	Número atómico	Número de masa	Número de neutrones en en el núcleo
Oxígeno-18	?	?	?
Estroncio-90	?	?	?
Uranio-?	?	?	141
Yodo-?	?	131	?

10. Un contador Geiger registra 512 cuentas por segundo cerca de una muestra de substancia radiactiva. Cuarenta y ocho horas más tarde la velocidad es de 256 cps (cuentas por segundo). ¿Cuál es la media vida de la substancia radiactiva? ¿Qué velocidad registrará el contador después de otras 144 horas?

11. Las siguientes ecuaciones representan la fusión de núcleos de hidrógeno para producir helio y liberar una gran cantidad de energía:

$$^{2}H + {}^{x}H \rightarrow {}^{4}He + 1 \text{ neutrón}$$

$$^{2}H + {}^{y}H \rightarrow {}^{3}He + 1 \text{ neutrón}$$

   a) ¿Cuáles son los números de masa de los isótopos de hidrógeno representados por x e y? ¿Cuáles son los nombres de estos isótopos?

   b) ¿Puede sugerir el lector, con fundamento en estas ecuaciones, por qué la fusión nuclear, si se la puede controlar para producir energía útil, se supone que planteará un problema de desechos radiactivos mucho menor que el que resulta de los reactores de fisión?

12. El cesio-137 es un desecho radiactivo cuya media vida es de 30 años. Es semejante químicamente al potasio, que es un elemento esencial en las plantas y animales. Sus compuestos son fácilmente solubles en agua.

   a) ¿Cuánto tiempo necesitarán 1 000 mg de cesio-137 para quedar reducida a 125 mg?

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

b) Puesto que los compuestos de cesio son solubles, ¿sería prudente verter este isótopo en un estanque de contención al aire libre y dejar que se disolviera y desintegrara hasta que no quedaran más que cantidades negligibles? Defienda el lector su respuesta.

RESPUESTAS

9. 8, 18, 10, neutrones; 38, 90, 52 neutrones; uranio-233, 92, 233; yodo-131, 53, 78 neutrones
10. 48 horas: 32 cps
11. x = 3, ^{3}H es tritio; y = 2, ^{2}H es deuterión
12. 90 años

BIBLIOGRAFIA

Existen muchos libros sobre la energía atómica y la ingeniería nuclear; muchos de ellos suponen una preparación previa en física y química. En cambio, los dos textos siguientes representan sendas introducciones algo más elementales:

Alvin Glassner. *Introduction to Nuclear Science.* New York: Litton Educational Publisher, Van Nostrand-Reinhold Books, 1961.

Samuel Glasstone. *Sourcebook on Atomic Energy.* New York: Litton Educational Publisher, Van Nostrand-Reinhold Books, 1958.

El libro de Glassner se basa en un breve curso dado en el Laboratorio Nacional de Argonne desde 1957 y presupone solamente un año de física de escuela superior. Glasstone es más completo y presenta más materia introductora.

Una compilación excelente reciente de ensayos que tratan de los diversos aspectos de los desechos radiactivos y presenta los puntos de vista, tanto alarmantes como tranquilizante, es:

Harry Foreman, dir. *Nuclear Power and the Public.* Minneapolis: University of Minnesota Press, 1970. 272 págs.

Los libros siguientes se dedican casi exclusivamente a los aspectos negativos de la energía nuclear.

Richard Curtis y Elizabeth Hogan. *Perils of the Peaceful Atom.* New York: Doubleday and Co., 1969. 274 págs.

Sheldon Novick. *The Careless Atom.* Boston: Houghton Mifflin Co., 1968. 225 págs.

Se encuentra un breve examen de los métodos de eliminación de los desechos radiactivos en:

G. C. Collins. *Radioactive Wastes: Their Treatment and Disposal.* New York: John Wiley y Sons, 1961. 239 págs.

5

CONTAMINACION DEL AIRE

5-1 INTRODUCCION

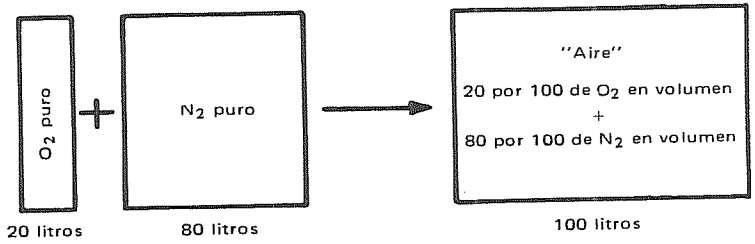
El aire es indispensable para la vida sobre la Tierra. La adición de materia indeseable transportada por el aire, como el humo, cambia la composición de la atmósfera de la Tierra, perjudicando posiblemente la vida y alterando materiales. Designamos este fenómeno atmosférico como **contaminación del aire.** Solemos reservar la palabra de "contaminación" para la alteración de la atmósfera al aire libre por las actividades del hombre, aunque la contaminación del aire podrá resultar acaso de acontecimientos en los que el hombre nada tenga que ver, como, por ejemplo, en la dispersión del polen, las erupciones volcánicas o los incendios de bosques provocados por el rayo. Comprendemos que la contaminación del aire pueda controlarse por medio de filtros y otros dispositivos técnicos. ¿Por qué no aplicar, pues, estos métodos de control para prevenir la liberación de contaminantes en la atmósfera y gozar así, sin contrapartida alguna, de las comodidades humanas que la tecnología nos proporciona? Si ha leído la primera parte de este libro, el lector sabe que los problemas surgidos por la alteración de un ecosistema son sutiles, complejos, de vastas consecuencias, duraderos y, en algunos, casos diferidos. Si el ecosistema considerado es la comunidad entera de la vida sobre la Tierra, y si el trastorno afecta a una parte tan importante del ecosistema como es la atmósfera, sabemos que la solución no será sencilla.

Empezamos nuestro examen de la contaminación del aire con algunos conceptos fundamentales. Primero, repasaremos la aritmética necesaria para describir la composición del aire.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

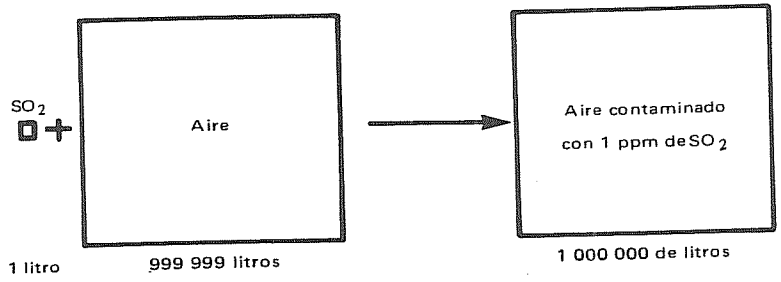
5-2 EXPRESIONES DE LA CONCENTRACION; GASES Y PARTICULAS

La concentración de una substancia es la cantidad de la misma en un volumen determinado de espacio o en una cantidad dada de otra materia. Las concentraciones de los gases del aire suelen expresarse en razones o volúmenes.* Para ilustrarlo, imaginemos que efectuamos una mezcla que designaremos como "aire", consistente en 20 litros de oxígeno (O_2) y 80 litros de nitrógeno (N_2). (Esta no es la misma composición que la atmósfera de la Tierra, pero es muy parecida a ella.) Entonces la composición será de 20/100 ó 20 por 100, O_2 en volumen y 80/100 ó 80 por 100 de N_2 en volumen.



(Suponiendo temperatura y presión constante)

Imaginemos ahora que mezclamos el aire con un contaminante, como el bióxido de azufre, SO_2. Las concentraciones podrán expresarse como sigue:

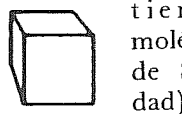


En la ilustración superior, 1 ppm significa "una parte por millón", o un volumen de SO_2 en un millón de volúmenes de aire contaminado. Al tratar con concentraciones más pequeñas todavía, nos servimos algunas veces de la expresión "partes por 1 000 millones", o ppb, lo que significa volúmenes de contaminante por 1 000 millones (o un billón de volúmenes de aire).

* Los gases son substancias dispersas en el aire como moléculas individuales.

En los gases a temperatura y presión constantes, los volúmenes ocupados son directamente proporcionales al número de moléculas contenidas. Por consiguiente, decir que hay 1 ppm de SO_2 en el aire significa que una molécula entre un millón es una molécula de SO_2.

Pero no basta comprender la aritmética. Hay que adquirir también algún sentido de los volúmenes de estos números. ¿Es una parte por 1 000 millones una concentración grande o una concentración pequeña? 1 000 millones de centavos dispuestos borde a borde en línea recta se extenderían unos 20 000 kilómetros, o sea una distancia casi igual a la mitad del camino alrededor del ecuador de la Tierra. Si uno de estos centavos fuera malo (un "contaminante") sería ciertamente difícil de encontrar. Este ejemplo hace que una ppb parezca pequeña. Pero 1 cm^3 (este volumen:) de aire contiene aproximadamente 27 000 000 000 000 000 000 moléculas. Si este aire estuviera contaminado con 1 ppb de SO_2 (mucho menos que en las atmósferas de la ciudad), habría 27 000 000 000 (27 000 mil millones) de moléculas de SO_2 por cm^3. Este ejemplo hace que 1 ppb parezca grande. No permita el lector que ninguno de estos dos ejemplos lo desoriente. En efecto, los valores de concentración no proporcionan por sí mismos información alguna sobre los efectos de los contaminantes. En el caso de algunas substancias, 1 ppb no tiene importancia alguna; en el caso de otras, en cambio, es altamente significativa. Por consiguiente, hemos de considerar tanto las concentraciones de los contaminantes como sus efectos sobre los organismos vivos y los materiales.



No todos los contaminantes del aire son gases. Algunos son partículas sólidas o pequeñas gotas líquidas transportadas por el aire, que son

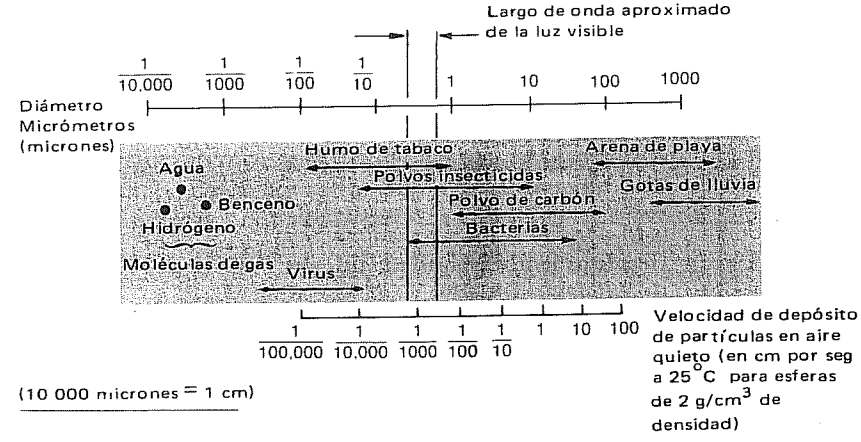


FIG. 5-1. Partículas pequeñas en el aire.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

cuerpos mucho más grandes que las moléculas individuales. Por ejemplo, el diámetro de una partícula de polvo podrá ser 100 000 veces mayor que el de una molécula de gas. Las concentraciones de partículas suelen expresarse en términos de peso del contaminante por unidad de volumen de aire. La figura 5-1, ilustra los volúmenes relativos.

Medimos en ocasiones la velocidad a que las partículas se depositan del aire. El lector habrá acaso leído informes de contaminación del aire, expresada en unidades tales como "toneladas de precipitación de polvo por kilómetro cuadrado y por mes". Sin embargo, tales cifras nos dicen muy poco acerca de las concentraciones totales en el aire. Obsérvese en la figura 5-1, por ejemplo, que una partícula de polvo de carbón de 10 micrómetros se deposita a aproximadamente 1 cm, por segundo, en tanto que una partícula de 1/10 micrómetro de humo se deposita a una velocidad varios miles de veces más lenta, y las moléculas de gas no se depositan en absoluto.

5-3 AIRE PURO Y AIRE CONTAMINADO

Ahora que conocemos la aritmética, examinemos la atmósfera de la Tierra y sus contaminantes. El elemento componente más variable del

CUADRO 5-1. Composición gaseosa del aire seco natural

	Gas	Concentración (en volumen) *ppm*	*porcentaje*
Aire "puro"	Nitrógeno, N_2	780 900	78.09
	Oxígeno, O_2	209 400	20.94
	Gases inertes, en su mayor parte argón (9 300 ppm), con una concentración mucho menor de neón (18 ppm), helio (5 ppm), criptón y xenón (1 ppm de cada uno)	9 325	0.93
	Bióxido de carbono, CO_2	315	0.03
	Metano, CH_4, parte natural del ciclo del carbono de la biosfera y, por consiguiente, no es contaminante, aunque se lo confunde en ocasiones con otros hidrocarburos al calcular la contaminación total	1	
	Hidrógeno, H_2	0.5	
Contaminantes naturales	Oxidos de nitrógeno, en su mayor parte N_2O (0.5 ppm) y NO_2 (0.02 ppm), producidos ambos por la radiación solar y por los rayos	0.52	
	Ozono, O_3, producido también por la radiación solar y por los rayos	0.02	

aire es el vapor de agua, o humedad, cuya concentración puede variar de negligible, en un desierto, a aproximadamente 5 por 100 en una selva cálida. Si negligimos la humedad y consideramos solamente el aire seco, su composición en volumen es de aproximadamente 78 por 100 de nitrógeno, 21 por 100 de oxígeno y 1 por 100 de otros gases. Un análisis más detallado se da en el cuadro 5-1. Este cuadro no incluye los componentes no gaseosos o en "partículas". Las concentraciones "naturales" de partículas de materia en el aire varían mucho más que las de materia gaseosa. Así, si analizáramos el aire en diversas partes de la Tierra alejadas de las actividades del hombre, la composición de los gases quedaría muy cerca de las cifras del cuadro 5-5. En cambio, la materia en partículas variaría mucho de un lugar a otro. Incluiría partículas no viables (no capaces de vida) tales como gránulos de tierra elevados por el aire, polvo volcánico y sales de la evaporación de la espuma del mar. Incluiría también partículas viables, tales como materia vegetal y de insectos.

Algunas personas definen los contaminantes del aire como substancias que no se consideran componentes "naturales" del mismo. Sin embargo, el individuo que padece fiebre del heno considerará acaso el polen de la ambrosía como un contaminante del aire, pese a que en algunas partes de la Tierra sea un componente natural del mismo. Nosotros también consideraríamos el polen como contaminante, porque nos parece más satisfactorio, desde el punto de vista conceptual, definir una substancia llamada "aire puro" y considerar todos los demás componentes como contaminantes. Digamos que el aire puro es una mezcla gaseosa de los seis primeros componentes del cuadro 5-1, esto es: nitrógeno, oxígeno, gases inertes, bióxido de carbono, metano e hidrógeno, en las concentraciones que se indican en el cuadro, más cualquiera humedad complementaria que pueda estar presente. Por supuesto, toda variación significativa de estas composiciones podría resultar perjudicial; por ejemplo, un aire que contuviera 10 por 100 de CO_2 sería venenoso, y un aire que contuviera H_2 o 10 por 100 de CH_4 sería explosivo. Así, pues, el CO_2 en altas concentraciones es un contaminante. Y en forma análoga consideraremos todos los demás gases, independientemente de la concentración y de si son o no de origen humano, así como la materia en partículas, como contaminantes. Sin duda, esta definición es arbitraria, pero resulta cómoda y coincide además con la manera de pensar y la práctica de muchas personas que se ocupan profesionalmente de problemas de contaminación del aire.

5-4 CONTAMINANTES GASEOSOS DEL AIRE

En esta sección describiremos las clases principales de contaminantes gaseosos y algunos importantes compuestos contaminantes individuales.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

a) Oxidos de carbono. El bióxido de carbono, CO_2, es un componente normal del aire (véase cuadro 5-1) y parte del ciclo de carbono de la biosfera; por consiguiente, no se le considerará por regla general como contaminante. Sin embargo, el quemar carbón, petróleo y gas natural como combustibles produce grandes cantidades de CO_2. Las ecuaciones químicas son:

(combustión del carbón) $C + O_2 \rightarrow CO_2$

(combustión del gas natural) $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$

Se calcula que la velocidad actual de aumento de la concentración de CO_2 en el mundo es de aproximadamente 0.7 ppm por año. Hemos de considerar, por consiguiente, los efectos posibles de un aumento proseguido de la concentración de CO_2 en la atmósfera de la Tierra.

Las moléculas de bióxido de carbono, a diferencia de los demás componentes del aire puro, poseen la propiedad de absorber la radiación infrarroja (calor) del sol. Por consiguiente, cuanto más CO_2 haya en la atmósfera, tanto más calor puede ésta absorber. No sabemos cuán grave pueda ser el efecto de esto sobre la Tierra. Una de las consecuencias posibles más graves sería el derretirse los casquetes de hielo polares, con la inundación consiguiente de vastas áreas costeras en todo el globo.

El monóxido de carbono, CO, no es un componente del aire seco normal, sino un producto de la combustión incompleta de carbón o de compuestos de carbón.

$$2C + O_2 \rightarrow 2CO$$

Este gas, aunque sea incoloro, inodoro y no irritante, es muy tóxico. La fuente principal de CO a la que la gente se halla expuesta en la atmósfera al aire libre es el escape de los automóviles. El nivel de concentración al interior de un automóvil que se desplace en una fuerte corriente de tráfico por una carretera de varias pistas se situará a proximidad de 25 a 50 ppm. La concentración máxima permisible en la industria, para trabajadores sanos, en una jornada de ocho horas, es de 50 ppm. Una concentración de 1 000 ppm puede producir pérdidas de conocimiento en una hora y la muerte en cuatro horas.

b) Compuestos que contienen carbono e hidrógeno, o carbono, hidrógeno y oxígeno. La primera categoría (carbono e hidrógeno solamente) es la clase de los **hidrocarburos**. El otro grupo (carbono, hidrógeno y oxígeno), designado en ocasiones como hidrocarburos oxigenados, o solamente **oxigenados**, incluye varias clases, tales como los alcoholes y los ácidos orgánicos. Estas substancias son introducidas en la atmósfera por la combustión incompleta de combustibles que contienen carbono, juntamente con el monóxido de carbono anteriormente mencionado. La evaporación de líquidos, como la que resulta de la manipulación de gasolina o del rociado de pintura, contribuye a esta contaminación. La diversidad de los efectos de tales substancias es muy grande. Algunos de estos materiales son carcinogénicos (susceptibles de inducir cáncer), algunos son irritantes o malolientes, algunos experimentan cambios químicos en la atmósfera para producir otros contaminantes, y algunos son inofensivos.

c) Compuestos que contienen azufre. Los óxidos importantes del azufre son el bióxido de azufre, SO_2, y el trióxido de azufre, SO_3. Desde el punto de vista de los efectos dañinos sobre el hombre y de las dificultades que presenta la prevención de su descarga en la atmósfera, el SO_2 es probablemente el contaminante del aire individual más significativo. Altas concentraciones de SO_2 se han relacionado con los principales desastres de contaminación del aire, del tipo de los que han tenido lugar en grandes ciudades, tales como Londres, y que causaron numerosas muertes. SO_2 se produce cuando se quema azufre o combustibles que lo contienen:

$$S + O_2 \rightarrow SO_2$$

Puesto que el azufre se halla presente en el carbón y en el petróleo, la combustión de estos materiales para obtener calor y energía produce SO_2.

El otro óxido importante del azufre, SO_3 se produce en la atmósfera por oxidación de SO_2 bajo la influencia de la luz solar:

$$2SO_2 + O_2 \rightarrow 2SO_3$$

Además, algo de SO_3 es introducido directamente a partir del proceso de combustión juntamente con SO_2. La humedad del aire reacciona rápidamente con SO_3 para formar una niebla de ácido sulfúrico.

$$SO_3 + H_2O \rightarrow H_2SO_4$$

Cuando tienen lugar conversiones de esta clase, el material inicialmente introducido en la atmósfera se designa como **contaminante primario del aire**. Los nuevos materiales producidos por reacción química en el aire se designan como **contaminantes secundarios del aire.**

El ácido sulfúrico es un ácido muy fuerte, corrosivo, que destruye el tejido viviente, los calcetines de nilón y los monumentos de mármol. La niebla de ácido sulfúrico en el aire consta de gotitas que miden, por regla general, de 1 a 4 micrómetros de diámetro; este margen particular de tamaño favorece la penetración profunda del ácido en los pulmones, con los efectos perjudiciales consiguientes.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Otro compuesto importante que contiene azufre es el sulfuro de hidrógeno, H_2S, que tiene el olor de huevos podridos. Ennegrece los colores de base de plomo (fig. 5-2) y es inclusive más venenoso que el monóxido de carbono. El H_2S no es un contaminante abundante, como el SO_2 o los hidrocarburos; su presencia suele relacionarse con alguna fuente específica, tal como materia orgánica en descomposición, aguas negras o alguna operación industrial. Algunos otros compuestos del azufre son todavía más malolientes que el H_2S.

d) Compuestos que contienen nitrógeno. Los óxidos importantes de nitrógeno que se encuentran en el aire como contaminantes son el óxido de nitrógeno, NO, y el bióxido de nitrógeno, NO_2. Los dos son producidos por cualquier proceso de combustión que tenga lugar en el aire, porque es el caso que alguna oxidación del nitrógeno atmosférico tiene lugar a las temperaturas de la llama:

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO$$

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2$$

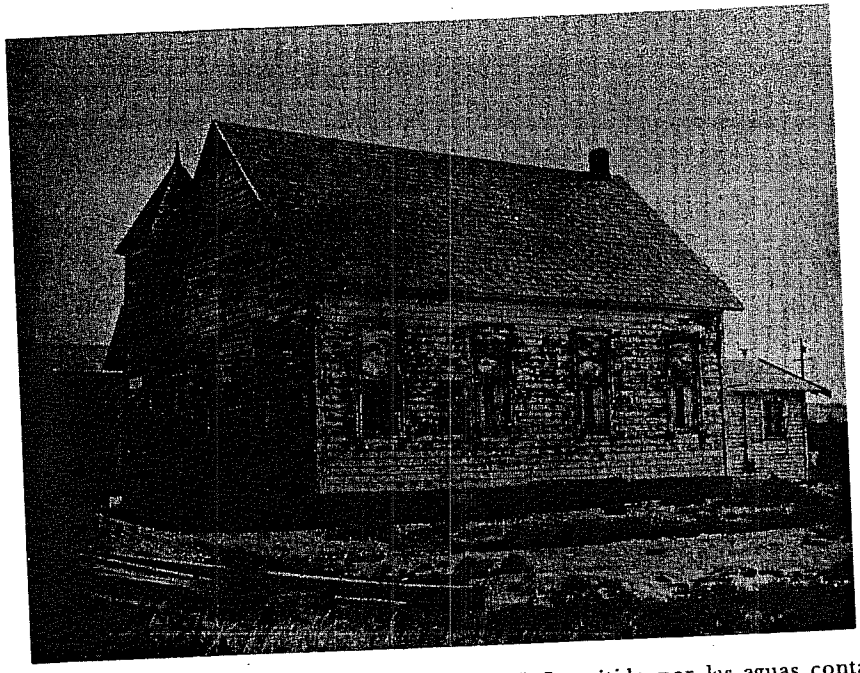


FIG. 5-2. Daño en la pintura causado por H_2S emitido por las aguas contaminadas de la Bahía de San Francisco. (Foto de J. E. Yocom. De Stern: *Air Pollution*, 2a. ed. New York: Academic Press, 1968).

Así, pues, el gas de escape de los autos constituye una fuente significativa de óxido de nitrógeno.

Al considerar la toxicidad de estas substancias, basta, por regla general, centrar la atención en el NO_2, porque todos los demás óxidos de nitrógeno se convierten en NO_2 en el aire. Los efectos del NO_2, sobre el hombre van desde un olor desagradable y una irritación moderada a una congestión pulmonar grave y a la muerte, según la concentración del NO_2 y la duración de la exposición. Las concentraciones de NO_2 en el aire exterior contaminado no suelen ser suficientemente altas para producir efectos tóxicos, pero pueden producir o contribuir a producir efectos crónicos, por lo regular, en forma de enfermedades de las vías respiratorias.

El NO_2 es también significativo como contaminante del aire, porque es una de las substancias clave que entran en la cadena de las reacciones químicas que producen el "smog", que examinaremos en la sección siguiente.

Algunos compuestos orgánicos de nitrógeno, llamados **aminas**, son fuertemente malolientes y huelen a pescado podrido.

e) Ozono y oxidantes. El ozono, O_3, se encuentra en cierto grado en el aire "normal" (véase cuadro 5-1), pero, en concentraciones mayores, es una substancia tóxica. La concentración máxima permisible, para los trabajadores industriales sanos en una jornada de ocho horas, es de 0.1 ppm.

Es curioso que el ozono haya llegado a relacionarse, en la representación popular, con el aire puro, y que los aparatos que producen ozono se hayan considerado como "purificadores de aire". De hecho, el ozono es producido de modo natural al aire libre por el rayo, y es probable que su olor picante característico, en tales condiciones se haya relacionado con el aire libre y con la acción purificadora de los aguaceros. Estas circunstancias han conducido a los poseedores de bienes inmuebles a llamar sus propiedades con nombres tan fantasiosos, pero químicamente inapropiados, como "Parque Ozono", y a los autores de folletos de viajes, a escribir absurdos como ". . . un mar tibio, azul, siempre cambiante, centelleante, en la cálida luz solar del verano, que llena el aire de ozono". (Si esto fuera cierto, todos los turistas habrían muerto.) Pero son más serios y menos risibles los aparatos domésticos y hospitalarios que pretenden purificar el aire produciendo ozono. También aquí, la confusión tiene sus raíces en algunos fenómenos químicos bien conocidos, pero sin importancia. El ozono es una substancia químicamente reactiva que en ocasiones se utiliza para combatir el olor de gases de escape (como los que provienen del tratamiento de aguas negras), oxidándolos en productos de olor menos objetables antes de ser liberados en la atmósfera. Las concentraciones de ozono necesitadas para este tratamiento varían entre 10 y 20 ppm. Tales concentraciones serían

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

rápidamente fatales para el ser humano. Por otra parte, el ozono producido por los aparatos de uso doméstico es demasiado diluido (alrededor de 0.1 ppm) para afectar en algún grado perceptible los olores corrientes del hogar. El ozono se ha utilizado también desde hace muchos años como agente germicida, y se utilizan, por consiguiente, generadores de ozono, en ocasiones, con la esperanza de que impedirán la propagación de organismos infecciosos. El valor práctico de esta idea fue puesto en tela de juicio ya en 1913, cuando se mostró que las concentraciones de ozono capaces de matar patógenos bacterianos mataban también, más rápidamente todavía, a conejillos de india. Un estudio más reciente, del gobierno de Estados Unidos de Norteamérica, ha llegado a la solución de que "no puede esperarse que el ozono en concentraciones bajas que, por lo demás, no provocan irritación de las vías respiratorias humanas proporcione protección eficaz alguna contra la infección bacteriana transmitida a través del aire, mediante inactivación directa de las partículas portadoras de aquella".* Así, pues, los aparatos domésticos que producen ozono no purifican el aire, sino que lo contaminan.

Existen otros varios gases contaminantes relacionados químicamente con el ozono, que se designan colectivamente como **oxidantes**. Las propiedades que tienen en común incluyen determinados efectos tóxicos e irritantes sobre la gente; diversas clases de daños a la vegetación, y la capacidad de producir grietas en el caucho natural (véase fig. 5.3). Estos materiales son producidos, por regla general, por las reacciones de

* U. S. Department of Health, Education, and Welfare, National Air Pollution Control Administration, *Air Quality Criteria for Photochemical Oxidants* (Washington, D. C., 1970), pág. 6-18.

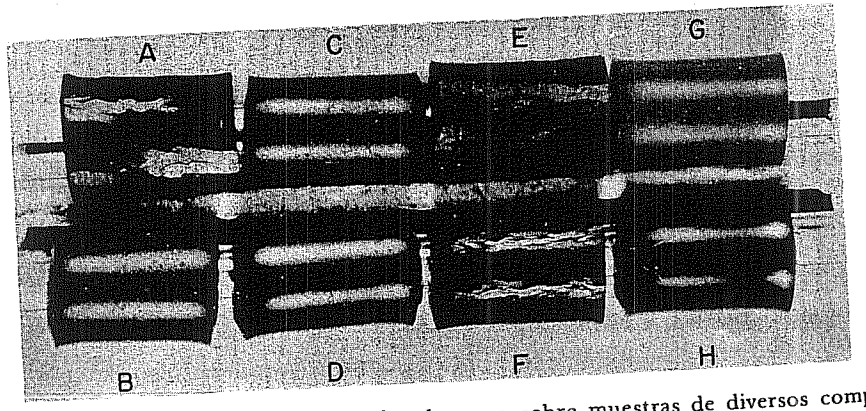
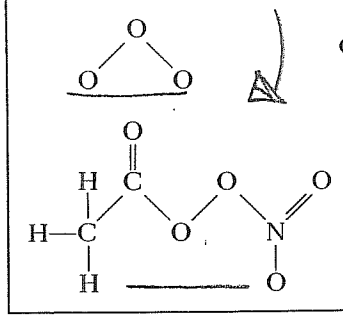


FIG. 5-3. Efecto de la exposición al ozono sobre muestras de diversos componentes de caucho. *A*, GR-S. *B*, Butil. *C* y *D*, Neopreno. *E*, "Buna-N". *F*, Caucho natural. *G*, Silicón. *H*, "Hipalón". (Foto cortesía de F. H. Winslow, Bell Telephone Laboratories. De Stern: *Air Pollution.* 2a, ed. New York: Academic Press, 1968.)

hidrocarburos y otros vapores orgánicos con óxido de nitrógeno, a la luz solar y son, por consiguiente, contaminantes típicos de las atmósferas de las zonas urbanas asoleadas, de tráfico automovilístico considerable, como en Los Angeles etc. El componente visible de esta contaminación se designa corrientemente como "smog".

Fórmulas químicas de ozono y de un oxidante químico típico



Ozono, O_3

Nitrato de peroxiacetil, $C_2H_3O_5N$, componente oxidante del "smog"

f) Fluoruro de hidrógeno, HF. Este gas es un contaminante importante porque se ha demostrado que causa perjuicios graves y extensos a la vegetación. Sin embargo, no es un componente general de las atmósferas contaminadas, sino que resulta más bien de diversas actividades industriales específicas, tales como la producción de aluminio.

5-5 CONTAMINACION DEL AIRE POR PARTICULAS

Los nombres utilizados para describir la materia transportada por el aire en partículas son un poco confusos e inapropiados, y se refieren en ocasiones al tamaño y en ocasiones al origen, así como también a los estados líquido o sólido. La clasificación siguiente constituye una solución burda, pero útil, de esta cuestión.

	Diámetro inferior a un micrómetro*	Diámetro mayor que un micrómetro*
Aerosoles Humos Vapores	Pueden ser sólidos o líquidos, según su origen	Polvos (partículas sólidas) Nieblas (gotitas líquidas)

* 10 000 micrómetros = 1 cm. Al micrómetro se le llama también micrón (véase Apéndice)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

La palabra **aerosol** se usa muy corrientemente y debería recordarse, ya que se refiere, por regla general, a cualquier partícula pequeña en el aire. La distinción, con fundamento en el diámetro de un micrómetro, entre el aerosol y el polvo o la niebla no es en modo alguno precisa; en efecto, muchos autores en materia de contaminación aérea se refieren, por ejemplo, a partículas de aerosol de 10 micrones (micrómetros).

El tamaño de la partícula se relaciona positivamente con la velocidad de depósito (véase fig. 5-1). De ahí que las partículas de polvo sean molestas solamente a distancias relativamente cortas de su origen. Las partículas muy pequeñas se depositan tan lentamente que permanecen en el aire durante largos periodos de tiempo y pueden ser llevadas a grandes distancias, a menudo de muchos kilómetros.

Los contaminantes en forma de partícula pueden obstaculizar la transmisión de calor del Sol a la Tierra, reflejando una porción de los rayos solares lejos de ésta. No sabemos qué intensidad esta pérdida de calor podría adquirir si la contaminación de la atmósfera por partículas aumenta. Una pérdida importante de la energía del Sol reduciría, en última instancia, el promedio de temperatura de la Tierra, lo que sería capaz de producir otra época glaciar. Este efecto es directamente opuesto al de la absorción de calor por el CO_2 atmosférico. Se ha sugerido, en broma, que la pérdida de radiación solar por reflejo causado por la contaminación podría compensar exactamente la ganancia de calor proveniente de una concentración aumentada de CO_2. Esto constituye, por supuesto, una broma, ya que no existe perspectiva alguna de que el hombre pueda controlar un equilibrio tan delicado de procesos cósmicos.

Hay una gran diversidad entre los tipos de partículas en el aire. Para los fines de estudio, resulta conveniente clasificarlas en tres categorías, esto es: viables (capaces de vivir), no viables y radiactivas. Examinaremos las dos primeras, puesto que la radiactividad la vimos ya en el capítulo cuarto.

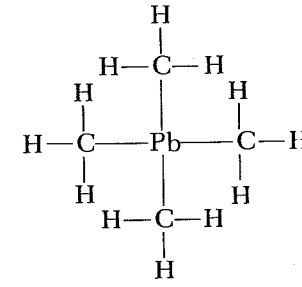
a) Partículas viables. Estas comprenden los granos de polen, microorganismos como las bacterias, los hongos, los mohos o las esporas, e insectos o, partes de insectos, tales como pelos, alas y piernas. Las partículas viables son causantes de muchos efectos perjudiciales para el hombre, incluidas la fiebre del heno, algunas formas de asma bronquial, diversas infecciones por hongos y enfermedades bacterianas transportadas por el aire.

b) Partículas no viables. Este grupo comprende una gran cantidad de materiales, algunos de fuentes naturales y otros resultantes de actividades del hombre. Los materiales naturales incluyen la arena y partículas de tierra, gotitas saladas cerca de la orilla del mar, polvo volcánico e inclusive partículas de origen extraterrestre. Los contaminantes en partículas producidas por el hombre incluyen tanto materia

orgánica como inorgánica.* Una gran parte de la materia orgánica en partículas es en forma de humo proveniente de la combustión de carbón, petróleo, madera y basura. Estas partículas constan, las más de las veces, de carbono e incluyen diversos compuestos carcinogénicos (que producen cáncer). Otras partículas orgánicas transportadas por el aire son polvos, insecticidas y algunos productos liberados por la elaboración de alimentos y la manufactura química. La materia inorgánica en partículas proviene en gran parte de las actividades metalúrgicas, de las industrias productoras de mineral no metálico, de la manufactura química inorgánica y del plomo utilizado en la gasolina.

Desde el punto de vista de la contaminación del aire, las actividades metalúrgicas más significativas son las que intervienen en la producción de hierro y acero, cobre, plomo, cinc y aluminio. La materia en partículas descargada en la atmósfera en cualquier proceso metalúrgico no es el metal puro mismo, sino uno o más de sus compuestos, algunos de los cuales podrán ser venenosos para los organismos vivos. Los productos minerales no metálicos comprenden cemento, vidrio, cerámica y asbesto. Las operaciones que en la manufactura de estos productos son susceptibles de producir partículas transportadas por el aire son la voladura, la perforación, trituración, la molienda, la mezcla y el secado. Otros contaminantes inorgánicos en partículas son específicos de diversas operaciones de la manufactura química, tales como nieblas de ácido, debidas a la producción de los ácidos nítrico o sulfúrico y el polvo de fosfatos minerales provenientes de la manufactura de fertilizantes fosfatados.

El plomo se utiliza como agente antidetonante, en la gasolina, en forma de un compuesto orgánico, el tetraetilplomo o tetrametilplomo:



Tetrametilplomo

Las cantidades totales producidas en Estados Unidos de Norteamérica en 1962 fueron de 220 millones y ocho millones de Kg, respectivamente, de tetraetilplomo y tetrametilplomo Estos compuestos del plomo se mezclan con algunos hidrocarburos simples, clorados o bromados, antes

* La substancia "orgánica" es aquella cuyas moléculas contienen uniones de C-C o C-H, y no es necesariamente viable.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

de añadirse a la gasolina. ¿Qué ocurre con todo este plomo? Aproximadamente del 70 al 80 por 100 es expulsado a la atmósfera en forma de partículas pequeñas (que van de unas pocas centésimas de micrómetro a varios micrómetros de tamaño) de compuestos de plomo, por regla general, plomo combinado con cloro y bromo, tal como PbClBr. Del 20 a 30 por 100 restante, aproximadamente la mitad es expulsada hacia el aceite de lubricación, y la otra mitad es retenida en el motor y el sistema de escape. Sabemos que los compuestos de plomo son venenosos, pero no sabemos exactamente cuán perjudiciales sean para el medio ambiente las partículas de plomo procedentes de los gases de expulsión de los automóviles.

5-6 LOS EFECTOS DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

La idea de que el aire contaminado pueda ser perjudicial para el hombre se remonta al menos a la Edad Media y al concepto de aires venenosos o "miasmas". La expresión italiana para aire malo es *mala aria*, de la que se deriva la palabra "malaria" (paludismo), esto es, una enfermedad relacionada erróneamente en su día con los olores de los pantanos, más bien que con los gérmenes transportados por los mosquitos que allí se crían. Pruebas más directas de los malos efectos del aire contaminado empezaron a acumularse después del primer empleo del carbón, alrededor de principios del siglo XIV. El humo negro, los olores desagradables, el ennegrecimiento de los edificios y los monumentos (véase fig. 5-4), todo esto resultaba manifiestamente de la adición a la atmósfera de substancias antinaturales e insalubres. Sin embargo, solamente en los últimos decenios hemos empezado a percatarnos de la extensión y la complejidad de los efectos de la contaminación del aire y del carácter impreciso de nuestros conocimientos a su respecto. Podemos clasificar estos efectos en cinco divisiones, a saber: *a)* reducción de la visibilidad y otros efectos atmosféricos; *b)* daños causados a la vegetación; *c)* efectos directos sobre el hombre; *d)* daños causados a los animales, y *e)* deterioración de materiales.

a) Efectos sobre la atmósfera. El primer efecto perceptible de la contaminación del aire es que la visión se hace más difícil, según se ilustra en las figuras 5-5 y 5-6. En ocasiones, en Londres y en algunas ciudades americanas, el efecto ha sido lo bastante grave como para reducir la corriente del tráfico. La reducción de la visibilidad es causada por la dispersión de la luz, debida a pequeñas partículas en el aire; la reducción más pronunciada es producida por partículas entre 0.5 y 1 micrómetro de diámetro.

Los contaminantes pueden afectar también mecanismos meteorológicos, tales como la formación de niebla y la reducción de la cantidad

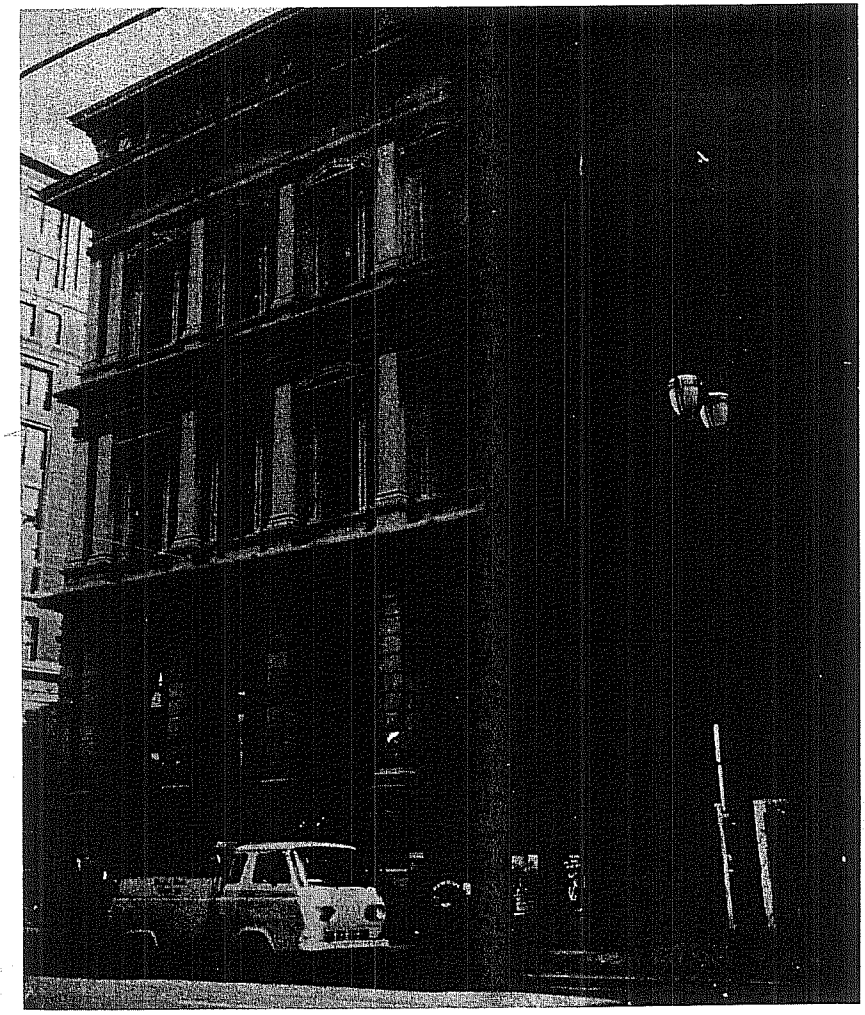


FIG. 5-4. El viejo edificio de la Administración de Correos es limpiado en St. Louis, Missouri, 1963 (Foto de H. Neff Jenkins. De Stern: *Air Pollution.* 2a. ed. New York: Academic Press, 1968.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

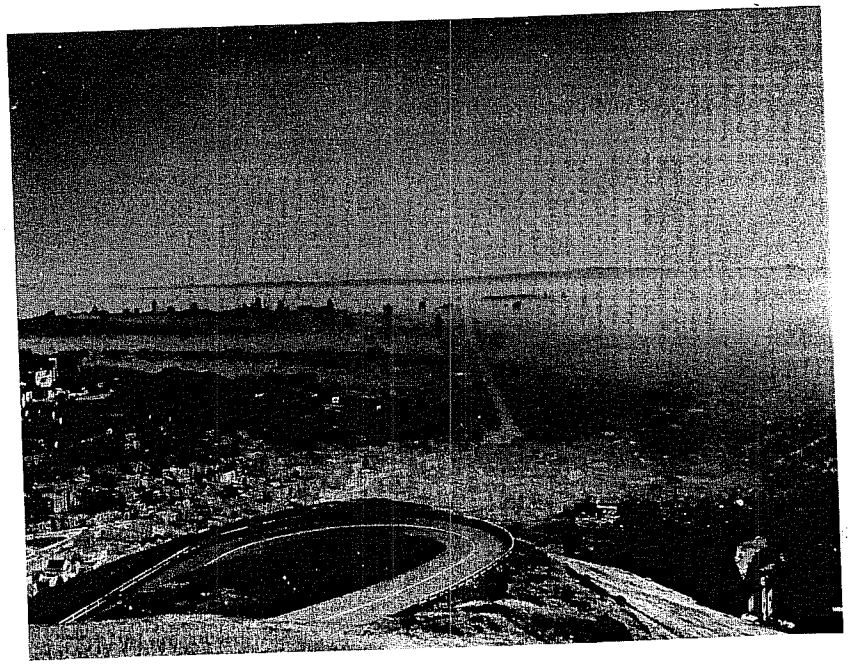


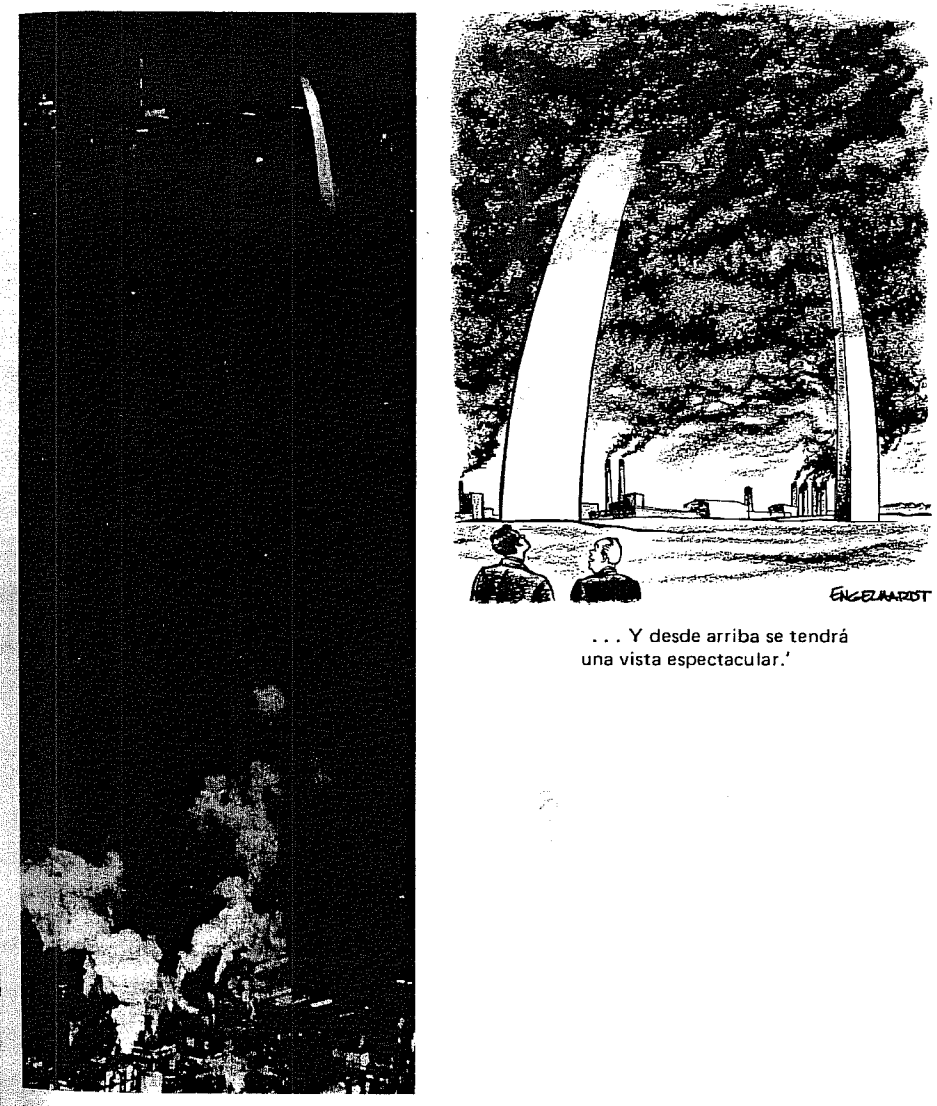
FIG. 5-5. Contaminación del aire en forma de materia en partículas que restringen la visibilidad sumerge San Francisco el 2 de junio de 1960. (Foto del San Francisco News-Call Bulletin. De Stern: *Air Pollution.* 2a. ed. New York: Academic Press, 1968.)

de luz solar que llega a la Tierra. Estos procesos son muy complejos, y nuestros conocimientos al respecto son incompletos. Algunos de estos efectos se examinan brevemente al final de este libro, en relación con el funcionamiento del avión de transporte supersónico.

b) Daños causados a la vegetación. La contaminación del aire ha causado daños extensos a árboles, frutos, hortalizas y flores de adorno. Los primeros casos espectaculares de semejantes efectos se observaron en la destrucción total de la vegetación por el bióxido de azufre en las regiones circundantes a las fundidoras, donde el gas es producido por el "tostado" de mena de sulfuro, según la ecuación siguiente:

$$2CuS + 3O_2 \rightarrow 2CuO + 2SO_2$$

Sabemos ahora que hay una gran diversidad de daños causados a las plantas por los contaminantes del aire. Por ejemplo, todos los fluoruros resultan actuar como venenos cumulativos para las plantas, causando la



. . . Y desde arriba se tendrá una vista espectacular.'

FIG. 5-6. La Entrada al Arco Hacia el Oeste, en St. Louis, Missouri. A la izquierda: un caricaturista especula, antes de su terminación. A la derecha: La construcción terminada. (Caricatura de Engelhardt, en el *St. Louis Post-Dispatch,* De la publicación núm. 1561: *No Laughing Matter.* del U. S. Public Health Service. Foto de O'Sullivan: Air Pollution. *Chemical and Engineering News,* 8 de junio de 1970.)

Preparatoria abierta Online | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

FIG. 5-7. El Copper Basin en Copperhill, Tennessee. En un tiempo cubría esta área un frondoso bosque, hasta que los vapores de unas fundiciones mataron toda la vegetación. (Foto del U. S. Forest Service. De Odum: *Ecología.* 3a. ed. Nueva Editorial Interamericana, 1972. México.)

ruina del tejido de las hojas. El smog fotoquímico (oxidante) blanquea y vitrifica las espinacas, la lechuga, el cardo, la alfalfa, el tabaco y otras plantas de hoja. El etileno, hidrocarburo que se encuentra en los gases de escape de los automóviles y los motores diesel, hace que los pétalos de los claveles se encrespen hacia adentro y destruye las orquídeas decolorando y secando sus sépalos. El costo anual de los daños causados a las plantas en Estados Unidos de Norteamérica se ha calculado en cerca de mil millones de dólares.

c) Efectos directos sobre el hombre. Se ha prestado mucha atención a diversos desastres de contaminación que se han producido durante estos últimos 50 años. El episodio americano más notable empezó en la mañana nublada, de calma chicha, del martes 26 de octubre de 1948 en Donora, Pennsylvania. Esta ciudad, situada en una curva del río Monongahela, contaba con una fábrica de ácido sulfúrico, una fábrica de producción de cinc y una fundición de acero, además de otras industrias. La niebla pareció acumularse rápidamente durante el primer día y el siguiente, y el desagradable gusto dulzarrón del bióxido de azufre se fue intensificando. (El bióxido de azufre suele ser poco corriente entre los contaminantes del aire, por cuanto se le percibe en el gusto a concentraciones inferiores que aquella que se huele.) De las 14 000 personas que viven en el valle, unas 600 enfermaron. Los síntomas de tos e

irritación de los ojos, nariz y garganta empezaron, para la mayoría de ellos, en el segundo día. Sin embargo, no se dio señal alguna de alarma, y las fábricas siguieron funcionando al ritmo normal. En la tarde del jueves, o sea el tercer día, la niebla negra se había hecho tan espesa, que resultaba difícil ver a través de la calle, y todo lo que podía verse de las fábricas eran las cimas de sus chimeneas, que seguían descargando contaminantes en el aire. La mayoría de las 20 defunciones que en definitiva resultaron de este episodio tuvieron lugar en el tercer día. Este acontecimiento desastroso y el gran smog de Londres de diciembre de 1952, que causó de 3 000 a 4 000 defunciones, despertaron en muchas personas la conciencia de los peligros que la contaminación del aire representaba para la salud y dio lugar a muchos estudios del problema. Sabemos ahora que estos efectos sobre la salud pueden adoptar diversas formas. Estas pueden agruparse convenientemente en tres categorías, a saber:

1. Enfermedad aguda, susceptible de causar la muerte.
2. Enfermedad crónica, como bronquitis crónica, enfisema pulmonar o asma. Las relaciones precisas entre estas enfermedades y la contaminación del aire resultan a veces muy difíciles de establecer; en muchos casos podrá haber más de una causa; por ejemplo, la combinación de la contaminación del aire y del fumar cigarrillos.
3. Síntomas desfavorables generales e irritaciones, incluidos malestar general, estado nervioso, irritación de los ojos y reacciones molestas a los olores ofensivos.

d) Daños causados a los animales. El efecto más grave en Estados Unidos de Norteamérica, ha sido el envenenamiento de ganado por fluoruros y arsénico. El efecto del fluoruro, que es el más grave, proviene de la precipitación de diversos compuestos de fluoruro sobre el forraje. La ingestión de estos contaminantes por el ganado produce una calcificación anormal de los huesos y los dientes, llamada **fluorosis**, que se traduce en pérdida de peso y cojera. El envenenamiento por arsénico, que es menos corriente, ha sido transmitido por gases contaminados cerca de algunas fundiciones.

e) Deterioración de materiales. Los contaminantes acidificadores son los causantes de muchos efectos perjudiciales, tales como la corrosión de metales y el debilitamiento o la desintegración de textiles, papel y mármol. El sulfuro de hidrógeno, H_2S, empaña la plata y ennegrece las pinturas a base de plomo de los interiores. El ozono, según ya se indicó anteriormente, produce grietas en el caucho. Los contaminantes en partículas, arrastrados a grandes velocidades por el viento, producen una erosión destructiva de las superficies de las construcciones. Y el depósito de basura sobre un edificio de oficina, lo mismo que sobre una pieza de ropa, ocasiona el gasto de la limpieza y el desgaste que resulta de ésta.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

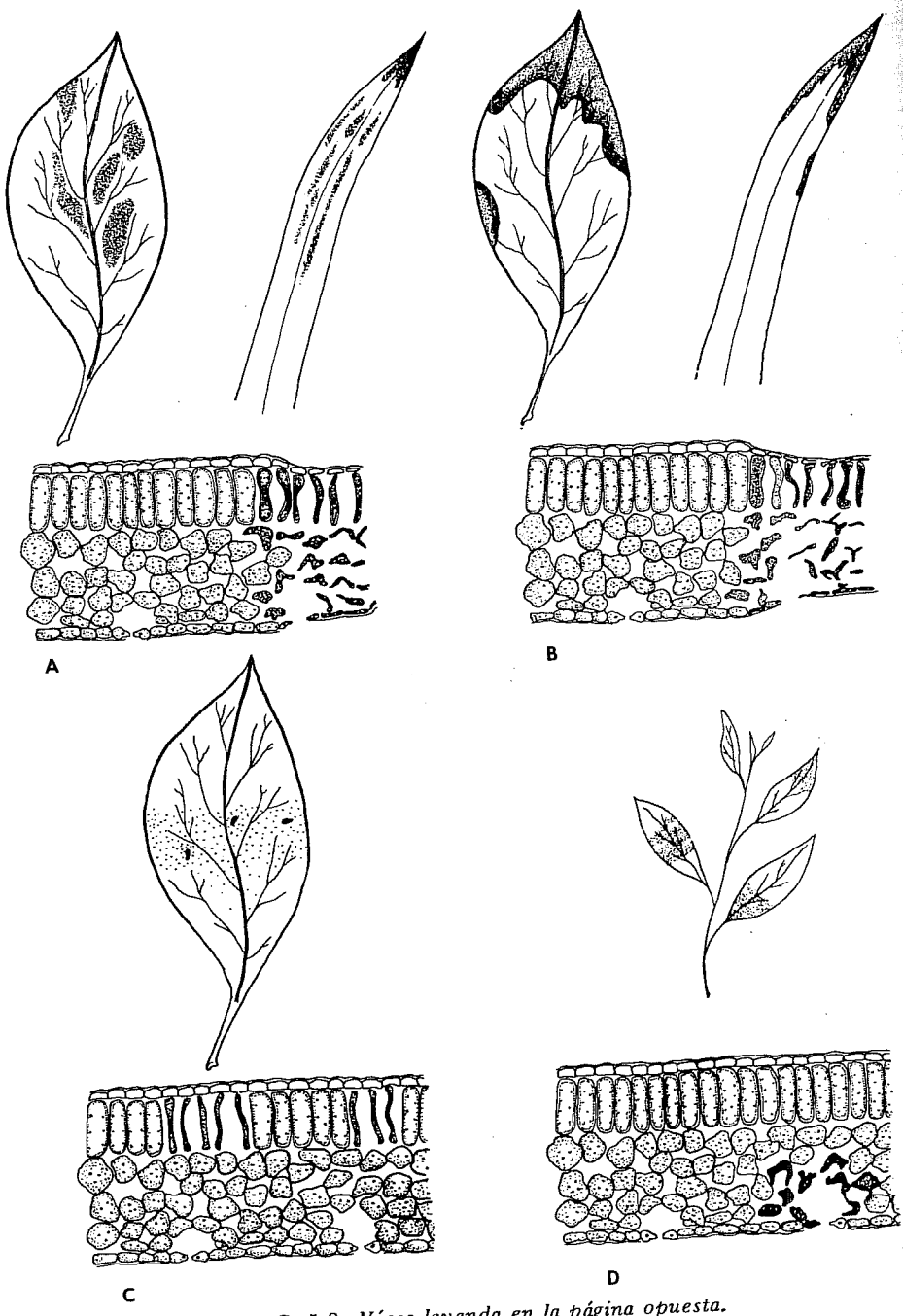


FIG. 5-8. *Véase leyenda en la página opuesta.*

El costo anual total de estos efectos en Estados Unidos de Norteamérica es muy difícil de apreciar, pero se ha calculado en varios miles de millones de dólares.

5-7 EL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

Volvemos ahora a la pregunta planteada al principio de este capítulo. Si los contaminantes son descargados en la atmósfera por una chimenea o un tubo de escape, ¿por qué no instalar algún artefacto que elimine los contaminantes y deje pasar solamente los gases inofensivos, tales como el aire y la humedad? Semejante objetivo es, en realidad, perfectamente razonable, y pueden adquirirse diversos tipos de equipo de control de la contaminación del aire. Sin embargo, la reducción de las emisiones del punto de descarga en la atmósfera no es más que uno de diversos métodos alternativos. En esta sección, vamos a examinar brevemente algunos tipos de equipo que pueden utilizarse para el control en el lugar de origen. Luego, la última sección de este capítulo considerará aspectos de la selección de procesos menos susceptibles de producir contaminantes.

Hay dos clases generales de métodos para controlar la contaminación en el punto de origen, a saber: separar los contaminantes de los gases inofensivos y eliminarlos en alguna otra forma que la de descarga en la atmósfera; o bien, los contaminantes se convierten en alguna forma en productos innocuos que puedan descargarse en la atmósfera.

EL CONTROL DE LOS CONTAMINANTES POR SEPARACION

Antes de examinar métodos concretos, debemos percatarnos de que la separación de los contaminantes de una corriente de gas no puede representar el procedimiento definitivo en la acción de reducción de aquellos ya que el material reunido no desaparece y, por consiguiente, ha de tratarse en alguna forma. Y si la eliminación de este residuo no se

FIG. 5-8. Efectos de la contaminación del aire sobre plantas. *A*, Daño por bióxido de azufre. Obsérvense las áreas intervenales manchadas en una hoja de dicotiledónea y las áreas rayadas en la hoja de monocotiledónea (tipo hierba). *B*, Daño por flúor. Obsérvese la necrosis de la punta y el borde en ambas clases de hojas. La sección transversa muestra hundimiento y encogimiento graves de la estructura interna. *C*, Daño por ozono. Obsérvese el efecto vareteado o punteado en la hoja. En la sección, solamente la capa de células en palizada está afectada. *D*, Lesión de tipo smog. Obsérvese el cambio en la posición del efecto con la edad de la hoja. En la sección, el hundimiento inicial está en la región de los estomas. (De Stern: *Air Pollution*. New York: Academic Press, 1962.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

toma en cuenta, la solución de un problema de contaminación de aire podrá crear acaso un problema de desechos sólidos o de contaminación de agua. Sin embargo, semejante conversión alivia, al menos, la situación, porque resulta mucho más cómodo tratar un pequeño volumen de materia sólida que un volumen grande de aire. (Típicamente, el volumen de la materia contaminada en una corriente de aire es del orden de 1/1 000 a 1/10 000 del volumen total.)

La materia en partículas se deja retener en medios porosos (filtros) que dejan pasar el gas. Tales separaciones son posibles, porque las partículas son mucho más grandes que las moléculas de gas. Para tratar grandes corrientes de gas, los filtros son a menudo en forma de bolsas cilíndricas, parecidas a calcetines gigantes, de las que la materia en partículas recogida se vacía periódicamente por sacudida.

Hay varios aparatos mecánicos de recolección basados en el hecho de que las partículas son **más pesadas** que las moléculas de gas. Como consecuencia, las partículas se depositan con mayor rapidez y pueden recogerse en una cámara que les deje tiempo suficiente para depositarse. Sin embargo, según lo han demostrado los datos sobre las velocidades de depósito que se muestran en la figura 5-1, estos métodos sólo son prac-

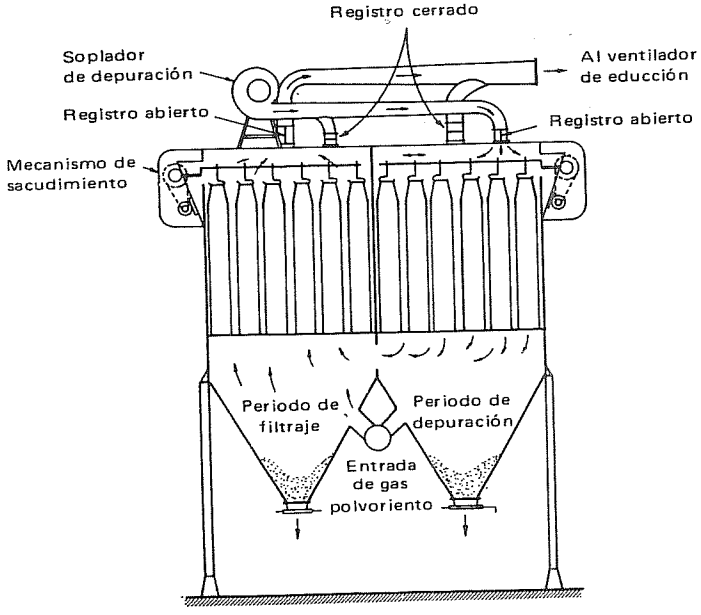


FIG. 5-9. Filtro típico de bolsa que combina el flujo inverso y el sacudimiento mecánico para la depuración. (De Stern: *Air Pollution.* New York: Academic Press, 1968.)

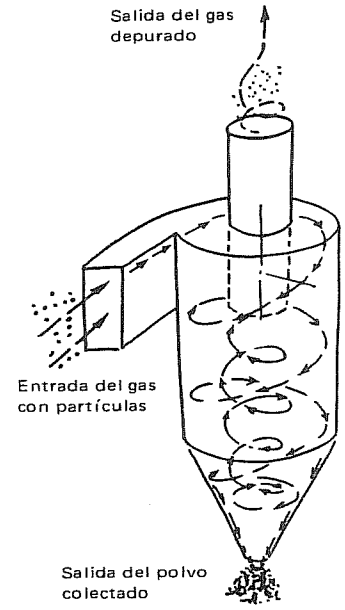


FIG. 5-10. Colector básico de ciclón. (De Walker: *Operating Principles of Air Pollution Control Equipment.* Bound Brook, N. J. Research-Cottrell, Inc., 1968.)

ticables en el caso de partículas muy grandes. Más importante que su velocidad de depósito es el hecho de que las partículas más pesadas poseen más **inercia**. Por consiguiente, si una corriente de gas que contiene contaminantes en partículas se hace girar en remolino, las partículas podrán ser expulsadas a lugares de donde se las pueda eliminar cómodamente. Un dispositivo de esta clase, llamado **ciclón**, se muestra en la figura 5-10.

Las partículas pueden también estar cargadas eléctricamente, y una superficie colectora que lleve una carga de signo contrario las atraerá. Dispositivos de esta clase, llamados **precipitadores electrostáticos**, se utilizan en gran escala, sobre todo para reducir el humo de las plantas de energía que queman combustibles fósiles.

Los gases contaminantes no pueden recogerse fácilmente por medios mecánicos, porque sus moléculas no son lo bastante más grandes o más pesadas que las del aire. Sin embargo, algunos gases contaminantes podrán ser acaso más solubles en un líquido determinado (por regla general el agua) de lo que es el aire. Se los podrá recoger, por consiguiente, por un proceso que los lleve a un contacto íntimo con el líquido. Los aparatos que realizan semejante separación se designan como **depuradores**. Los medios de establecer contacto entre el gas y el líquido incluyen el rociado del líquido en el gas y el burbujeo del gas a través del líquido. El amoniaco, NH_3, constituye un ejemplo de gas soluble en agua que se deja extraer de una corriente de aire.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

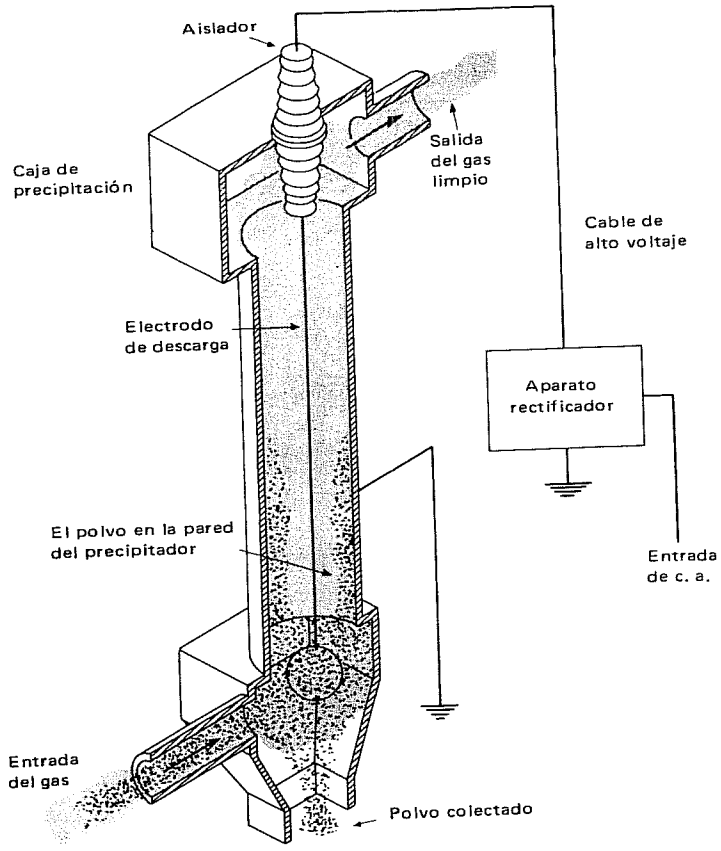


FIG. 5-11. Elementos básicos de un precipitador electrostático. (De White: "Industrial Electrostatic Precipitation." Readings, Mass.: Addison-Wesley.)

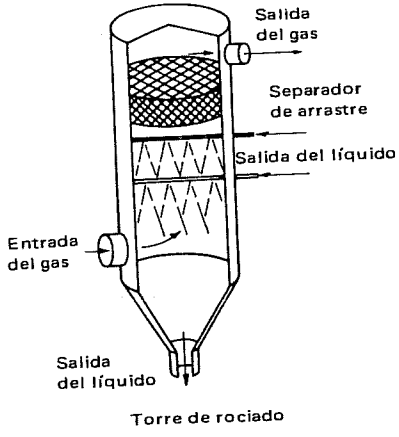


FIG. 5-12. Esbozo esquemático de un colector de rociado o depurador. (De Stern: *Air Pollution*. 2a. ed. New York: Academic Press, 1968.)

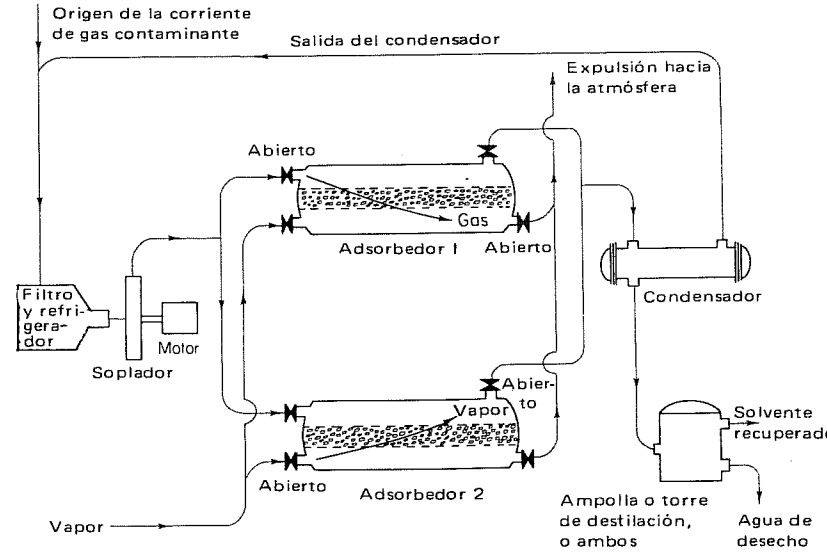


FIG. 5-13. Sistema de dos etapas para absorber y colectar gases contaminantes del aire.

Las moléculas gaseosas se adhieren a superficies sólidas. Inclusive una superficie aparentemente limpia, como la de una pieza brillante de plata, está cubierta con una capa de moléculas de todo gas con la que esté en contacto. Se dice que el gas está **adsorbido** en el sodio. "Adsorbido" significa "retenido sobre la superficie de una substancia", y es distinto de "absorbido", que significa "retenido en el interior de una substancia". La cantidad de gas que puede ser adsorbida sobre una pieza ordinaria de materia no porosa, como una moneda, es demasiado pequeña para poder servir prácticamente como medio de recolección de contaminantes. Sin embargo, si un sólido es perforado por una red de finos poros, el área de su superficie total, que comprende las superficies interiores de los poros, podrá aumentar a tal punto que su capacidad para la recolección de gas se haga significativa. Un sólido de esta clase es el carbón activado, que puede tener varios miles de metros cuadrados de superficie por Kg. El carbón activado se hace a partir de elementos naturales que contienen carbono, preferentemente duros, tales como las cáscaras de coco o huesos de durazno, carbonizándolos y haciéndoles reaccionar con vapor a temperaturas muy altas. El material resultante es capaz de retener aproximadamente, en muchas aplicaciones de purificación de aire, el 10 por 100 de su peso de materia adsorbida. Por otra parte, la materia adsorbida puede recuperarse del carbón y, si es valiosa,

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

puede hacerse circular nuevamente en el proceso o producto de lo que había escapado.

EL CONTROL DE LOS CONTAMINANTES POR CONVERSION

La conversión más importante, con mucho, de los contaminantes es la oxidación en el aire. La oxidación se aplica las más de las veces a los gases y vapores contaminantes orgánicos; y rara vez a la materia en partículas. Cuando las substancias orgánicas, que sólo contienen carbono, hidrógeno y oxígeno, se oxidan por completo, los únicos productos son bióxido de carbono y agua, inofensivos ambos. Sin embargo, el proceso es a menudo muy dispendioso, porque se necesita utilizar una cantidad de energía considerable para mantener la totalidad de la corriente de gas suficientemente caliente (aproximadamente a 700° C) para que tenga lugar la oxidación completa. Si el contaminante está suficientemente concentrado, su propio valor de combustible podrá proporcionar acaso una gran parte de esta energía. Además, la temperatura necesaria para la combustión podrá reducirse utilizando un catalizador.

Hay cierto número de conversiones químicas de contaminantes posibles, aparte de la combustión en el aire. Estas comprenden la neutralización química de un ácido o una base y la oxidación de contaminantes por agentes distintos del aire.

5-8 PROBLEMAS Y CONTROVERSIAS RELATIVOS AL CONTROL DE LA CONTAMINACION DEL AIRE

El problema de la reducción de la contaminación del aire va más allá de la cuestión acerca de cuál método deba aplicarse en el lugar de origen. En efecto, el problema implica factores tanto sociales y económicos como técnicos. Ilustraremos el carácter de estos aspectos mediante dos ejemplos.

El primer ejemplo es el control de la contaminación del aire por SO_2 a partir de las fuentes de combustión. No consideraremos otras fuentes de SO_2, como las fundiciones de cobre, las refinerías de petróleo, las fábricas de ácido sulfúrico, las fundiciones de acero y los volcanes.

Quemamos carbón, petróleo o gas natural, que contienen azufre, para producir calor y energía. El azufre contenido en el combustible se oxida en SO_2 y contamina el aire. Se dejan concebir los siguientes métodos de control.

Cambiar a otra fuente de energía. Cabe utilizar energía hidroeléctrica, energía nuclear o energía solar. Sin embargo, las fuentes hidroeléctricas son insuficientes para el consumo presente. La energía solar es

abundante, sin duda, pero no ha sido suficientemente desarrollada todavía. A título de solución parcial podríamos cambiar a combustibles de contenido menor de azufre, pasando, por ejemplo, de un carbón de alto contenido de azufre a un petróleo o gas de bajo contenido. Sin embargo, el abastecimiento de tales combustibles es limitado.

Extraer el azufre del combustible antes de quemarlo. Este método se está investigando, pero aumentaría necesariamente el costo del combustible. Por ejemplo, se calculó, en 1966, que la reducción del contenido de azufre del petróleo crudo del 5 por 100 a 0.5 por 100 costaría aproximadamente 30 centavos de dólar por barril. Este precio, que en última instancia habría de pagar el consumidor, representa aproximadamente 12 por 100 del costo de un barril de petróleo sin tratar.

Extraer el azufre de los gases de escape antes de descargarlos en la atmósfera. Se están ensayando diversos procedimientos. Resulta difícil predecir sus efectos sobre los costos de la energía, porque esto depende hasta cierto punto del valor del azufre recuperado. En términos generales, estos sistemas requieren trabajos complicados de ingeniería y aumentarían significativamente el costo de la inversión de la planta de energía.

Utilizar métodos más eficientes de combustión. Todo aumento en la eficiencia de la producción de energía significa que se utiliza menos combustible y, por consiguiente, se produce menos SO_2.

Pasar con menos combustible por persona. En lugar de poner nuestros termostatos a 23°C y llevar en el interior ropa ligera, podríamos ponerlos a 18°C y llevar suéteres.

Reducir la velocidad del crecimiento de la población. Menos gente significaría un menor uso de combustible, y así se produciría menos SO_2.

Este breve esbozo señala métodos posibles de enfoque del control de un contaminante individual del aire, el SO_2, a partir de un tipo único de origen. Los problemas relativos a la apreciación de costos y la ponderación de las diversas compensaciones necesarias para obtener una reducción de concentración de contaminantes son difíciles en sí mismos. Pero, aquello de lo cual no estamos totalmente seguros es cuánta reducción se necesita para prevenir efectos adversos específicos. En los desastres por contaminación del aire de Donora, Pennsylvania en 1948, y Londres, Inglaterra, en 1952, por ejemplo, las concentraciones de SO_2, aunque excepcionalmente altas, no lo eran lo suficiente, con todo, para explicar por sí mismas las defunciones señaladas. Se piensa que la combinación de SO_2 y aerosoles es más tóxica que cualquiera de los dos contaminantes solos. Los trabajos recientes sobre las reacciones de SO_2 en el aire, bajo la influencia de la luz solar, indican que se producen otros gases que contienen azufre; algunos de estos podrían ser más tóxicos que el propio SO_2. Algunos estudios de los efectos de la conta-

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

minación del aire sobre la salud han revelado reinteradamente que determinados contaminantes no descubiertos anteriormente pueden ser tóxicos en concentraciones sorprendentemente bajas. Por consiguiente, los criterios por lo que se refiere a la calidad aceptable del aire no han sido aplicados todavía, sino que están sujetos a cambiar a medida que vayan teniendo lugar nuevos descubrimientos. Así, pues, el problema del control apropiado se complica por el hecho de los conocimientos incompletos de los objetivos y por las diversas cuestiones de compensación que hay que resolver si queremos relacionar la eficacia de los controles con sus costos respectivos.

Nuesto segundo ejemplo de este problema de los valores relativos subrayará los aspectos de compensación del mismo. Escogeremos, a tal efecto, la fuente bien conocida de contaminación del aire, esto es, el automóvil movido por gasolina, y una solución atrayente, el coche eléctrico. El coche eléctrico es accionado por baterías y es, por consiguiente, prácticamente no contaminante. Sin embargo, el paso de un automóvil a otro crearía diversos problemas, como los que siguen:

a) Necesidad de más centrales de energía. La energía para los automóviles eléctricos no es gratuita. Se traduciría necesariamente en una producción aumentada de las centrales eléctricas, que sería la fuente de energía requerida para la carga de las baterías. Se calcula que se necesitaría un aumento de aproximadamente un 50 por 100, con un costo de más de 20 000 millones de dólares. Las centrales de energía experimentan actualmente dificultades para satisfacer la demanda, especialmente durante la estación de verano (aire acondicionado). El aumento de capacidad requerida necesitaría cierto tiempo para establecerse, de modo que el traspaso había de ser gradual. Por otra parte, las centrales de energía eléctrica crean su propia contaminación. Este hecho constituiría un fuerte argumento en favor de las centrales de energía nuclear, cuyos problemas se examinaron en el capítulo cuarto. Sin embargo, en términos generales, se supone que ha de ser más fácil controlar las emisiones de un número pequeño de grandes centrales de energía que las de millones de automóviles. Por consiguiente, el resultado global consistiría en una disminución de la contaminación del aire.

b) Depresión económica en la industria del petróleo. Resulta difícil predecir con alguna precisión las pérdidas que habría de experimentar la industria del petróleo; esto dependería, en parte del número de las nuevas centrales de energía eléctrica que utilizaran petróleo. Una apreciación bastante razonable es que el total de las ventas se reduciría en la mitad. El resultado serían necesariamente sectores de desempleo y depresión, y el cambio a nuevas industrias implicaría desplazamientos de población.

c) Cambios en los automóviles y en la industria automotriz. No es posible manufacturar automóviles eléctricos que tengan potencia suficiente para parecerse al automóvil pesado, de lujo, alimentado por gasolina. Es probable, por consiguiente, que los coches eléctricos se parecerían a los nuevos "mini" subcompactos. Se venderían menos "extras", porque habría menos lugar para accesorios en los coches más pequeños. Esta pérdida de beneficios del productor, añadida al hecho de que los elementos de la batería son caros, podría hacer que los pequeños coches eléctricos costaran aproximadamente tanto como los automóviles movidos por gasolina, o inclusive más. La industria entera de los "accesorios" había de cambiar. En lugar de servir bujías, silenciadores, carburadores, etc., había de suministrar conmutadores de motor, controles eléctricos y otras cosas por el estilo. Durante el traspaso, que requeriría años, se necesitarían las dos clases de accesorios. De hecho, el traspaso podría requerir el desarrollo de un vehículo híbrido, esto es, un vehículo que utilizara ambas cosas: un motor accionado por batería y un motor movido por gasolina. El motor de gasolina de semejante vehículo sería pequeño y funcionaría continuamente, en tanto que la batería proporcionaría puntas de energía para la aceleración y absorbería poder de freno del motor. Se calcula que semejante sistema reduciría las emisiones masivas en al menos 50 por 100, en comparación con un vehículo de la misma potencia accionado totalmente por gasolina. El empleo de diseños intermedios de esta clase prolongaría considerablemente transición definitiva al coche totalmente eléctrico.

d) Cambios en las estaciones de servicios. Las reparaciones mecánicas cederían el paso a las reparaciones eléctricas. Las ventas de gasolina habrían de reemplazarse por servicios de venta, renta, cambio y carga de baterías.

e) Cambios en el diseño de las carreteras. El sistema actual de carreteras interestatales de alta velocidad está concebido para los automóviles movidos por gasolina, de aceleración rápida. La necesidad de aceleración rápida es particularmente crítica cuando un automóvil penetra en la corriente del tráfico de alta velocidad en una autopista. Las vías de aceleración existentes serían insuficientes para la entrada segura de los coches eléctricos más lentos. Esta diferencia podría revelarse acaso como particularmente difícil durante el periodo de transición, en que ambos tipos de vehículo estuvieran en circulación.

f) Impuestos. El gobierno federal y los estados obtienen ingresos de los impuestos sobre la gasolina. El dinero procedente de estos impuestos suele destinarse, en principio a la construcción y la conservación de carreteras; en esta forma, la gente que paga por el sistema de las autopistas es aquella que las utiliza. Con el empleo de coches eléctricos y el descenso cosiguiente de las ventas de gasolina, este ingreso debía ser reemplazado por un aumento, muy probablemente, del impuesto sobre la electricidad. Sin embargo, este impuesto gravaría a todo el mundo, de

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

modo que el individuo que no utiliza coche pagaría unos impuestos que beneficiarían ante todo a los usuarios de automóviles. Además, el costo aumentado resultante de la electricidad induciría a la gente a evitar su uso siempre que fuera posible. Esto se traduciría, por ejemplo, en el empleo de menos estufas y menos calentadores de agua eléctricos. En su lugar, se utilizarían más gas y petróleo, lo que, en última instancia, conduciría a la misma fase de contaminación que el automóvil eléctrico se proponía eliminar.

Este ejemplo debería recordarnos que, al igual que los otros sistemas, las civilizaciones humanas son también sistemas delicadamente equilibrados, esto es, productos de la evolución cultural. Debemos reconocer que los trastornos culturales, inclusive con el propósito de mejorar un elemento tan vital del medio ambiente de la Tierra como es la atmósfera, acarrean consecuencias sociales complicadas y graves.

PROBLEMAS

1. ¿En qué consiste la contaminación del aire? Enúmerense 10 contaminantes gaseosos y 10 de partículas.

2. Una concentración de 1 ppb de etileno, (C_2H_4) en el aire no puede olerse y no ejerce efecto demostrable alguno sobre las personas, los animales o los materiales. Sin embargo, hace que se sequen los pétalos en las orquídeas en desarrollo, a tal punto que ya no sirven para la venta. ¿Es una ppb de C_2H_4 una concentración alta o baja? ¿Dependerá acaso la respuesta si somos o no cultivadores de orquídeas?

3. Distinga el lector entre contaminantes del aire. Primarios y secundarios. Dé tres ejemplos de contaminantes secundarios del aire.

4. Supongamos que tenemos una jaula con animales en nuestro cuarto y que su olor nos molesta. Comente el lector cada uno de los siguientes remedios posibles, o de alguna combinación de los mismos, para combatir el olor:
   a) Rociar un desinfectante en el aire para matar los gérmenes;
   b) Instalar un dispositivo que haga circular el aire del cuarto a través de un lecho de carbón activado;
   c) Limpiar la jaula cada día;
   d) Instalar un ventilador de expulsión en la ventana para expeler el aire malo hacia afuera;
   e) Instalar una unidad de acondicionamiento de aire en una ventana, que haga circular el aire del cuarto y lo refresque;
   f) Instalar un aparato productor de ozono;
   g) Rociar un perfume agradable en el cuarto para que huela mejor;
   h) Prender en el cuarto un quemador de gas para incinerar los olores;
   i) Poner en el cuarto un recipiente de agua de modo que los olores se disuelvan en ella.

5. Defínanse los conceptos aerosol, polvo, niebla.

6. Distíngase entre "oxigenado" y "oxidante". ¿Qué es un hidrocarburo?

7. Explíquese la diferencia entre los términos orgánico, viable y no viable.

8. De las cinco categorías de los efectos de contaminación del aire examinados en la sección 5-6, ¿cuántas cree el lector que podrían ser producidas por el bióxido de azufre, SO_2, o por contaminantes secundarios del aire derivados del SO_2? Arguméntese la respuesta para cada categoría.

9. Distíngase entre métodos de separación y métodos de conversión para el control de la contaminación del aire en el punto de origen. ¿Cuál es el principio general de cada tipo de método?

10. Explíquese la acción de control de la contaminación del aire de un ciclón; de una cámara de sedimentación; de un depurador; del carbón activado; de un precipitador electrostático, y de un incinerador.

11. Examínense los problemas de compensación en la conversión de la gasolina con plomo en gasolina sin plomo. Enumérense algunos de los factores y problemas económicos que podrían surgir durante el periodo de traspaso. Pueden tomarse también en cuenta los hechos siguientes, si el lector cree que son importantes, a saber:
    a) Si la gasolina sin plomo ha de ser el equivalente, en proporción de octano (capacidad antidetonante), de la gasolina con plomo, la gasolina habrá de modificarse en alguna forma, o deberá encontrarse algún agente antidetonante sin plomo. Considérense las consecuencias posibles de estos requisitos.
    b) Si la gasolina sin plomo ha de tener una proporción de octano inferior, habrán de modificarse en alguna forma los automóviles. Esto se ha efectuado ya en los coches de 1971, en Estados Unidos de Norteamérica, cuyos motores están construidos para una compresión menor.

Las preguntas siguientes requieren cálculo o razonamiento aritméticos.

12. ¿Es la velocidad de depósito de las partículas en el aire directamente proporcional a su diámetro? (Si el diámetro se multiplica por 10, ¿es la velocidad de depósito 10 veces más rápida?) Justifique el lector su respuesta, con fundamento en los datos de la figura 5-1 ¿Es una cámara de precipitación un buen método general de control de la contaminación del aire? Explíquese el por qué.

13. Un litro de monóxido de carbono CO, se mezcla con 99 999 litros de aire, sin cambiar ni la temperatura ni la presión. ¿Cuál es la concentración de CO en la mezcla, en ppm por volumen?, ¿en ppb por volumen?

RESPUESTA

13. 10 ppm; 10 000 ppb.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

BIBLIOGRAFIA

El texto básico sobre la contaminación del aire es una obra en tres volúmenes:

Arthur C. Stern. *Air Pollution.* New York: Academic Press, 1968. volumen I, 694 págs.; volumen II, 684 págs; volumen III, 866 págs.

El gobierno de Estados Unidos de Norteamérica, publica dos series importantes de documentos sobre contaminantes específicos del aire. Una de las series trata de los "criterios de la calidad del aire", establecidos con fundamento en nuestros conocimientos de los efectos de los contaminantes del aire. La otra serie esboza "técnicas de control". La publicación de estos volúmenes se inició en enero de 1969, bajo el patrocinio de la National Air Pollution Control Administration, Washington, D. C. El organismo actualmente responsable de estas publicaciones es la Environmental Protection Administration. Son ejemplos de capítulos específicos los siguientes:

Criterios de calidad de aire para los óxidos de azufre.
Criterios de calidad de aire para materia en partículas.
Técnicas de control para contaminantes del aire en partículas.

Un breve texto introductorio es:

National Tuberculosis and Respiratory Disease Association. *Air Pollution Primer.* New York: 1969, 104 págs.

Han aparecido en años recientes varios libros populares que ponen en guardia contra los peligros de la contaminación del aire. Algunos de los más representativos son los siguientes:

L. J. Battan. *The Unclean Sky.* New York: Doubleday and Co., 1966, 141 págs.
D. E. Carr. *The Breath of Life.* New York; W. W. Norton and Co., 1965. 175 págs.
Howard R. Lewis. *With Every Breath You Take.* New York: Crown Publishers, 1965. 322 págs.

6

CONTAMINACION DEL AGUA

6-1 EL CARACTER DE LA CONTAMINACION DEL AGUA

Los términos contaminación del agua y contaminación del aire implican ambos la presencia de materia extraña indeseable en una substancia, por lo demás, "pura" o "natural". Sin embargo, el concepto del agua pura es muy distinto del de aire puro. Según vimos en el capítulo anterior, el aire es una mezcla de diversos componentes, y el "aire puro" se considera, por consiguiente, como una mezcla particular que representa una especie de atmósfera terrestre ideal. El agua, en cambio, es un compuesto simple, y no una mezcla. Por consiguiente, el químico concibe el "agua pura" como una substancia que consta de moléculas de un solo tipo, esto es, las moléculas representadas por la fórmula H_2O.* Es el caso, sin embargo, que la mayoría del agua contiene pequeñas cantidades de sales minerales disueltas, y estas substancias contribuyen a menudo a darle gusto. Así, hablamos, por ejemplo, de "agua pura de manantial", en el sentido de una mezcla natural de agua y una pequeña cantidad de materia mineral inofensiva y tal vez gustosa.

Así, pues, la contaminación del agua es la adición a la misma de materia extraña indeseable que deteriora su *calidad.* La calidad del agua puede definirse como su aptitud para los usos beneficiosos a que se ha venido dedicando en el pasado, esto es, para bebida del hombre y de los animales, para soporte de una vida marina sana, para riego de la tierra y para recreación. La materia extraña contaminante podrá ser o materia inerte, como la de los compuestos de plomo o mercurio, o materia viva, como la de los microorganismos. Una vez más, hay diferencias impor-

* Hacemos caso omiso de las diferencias en los números de masa debidas a la presencia de diversos isótopos.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

(Foto de Donald Chandler, cortesía del Dr. Arthur D. Hasler, Profesor de Zoología, Universidad de Wisconsin.)

tantes entre el aire y el agua. La contaminación del aire puede considerarse normalmente como debida a la descarga de materia extraña en el espacio vacío, esto es, en el espacio no ocupado por moléculas de aire. Estas moléculas de aire ni atraen ni rechazan a la materia extraña, sino que dejan simplemente espacio suficiente para ella.*

Consideremos ahora una situación muy distinta. No resulta fácil contaminar una barra de hierro, como no sea en su superficie. En efecto, tanto si la sumergimos en agua o aceite, como si la exponemos a bacterias o virus, su composición interna no cambia. La razón de esta resistencia está en que los átomos de hierro están fuerte e íntimamente ligados unos a otros y son muy difíciles de desplazar. Esta fuerte tendencia de los átomos de conservar sus posiciones respectivas y de no dejarse desplazar es lo que hace sólido al hielo. (Por lo demás, tampoco

* No pensamos aquí en los contaminantes *secundarios* del aire, que se forman por subsiguientes reacciones químicas, tales como las de la materia orgánica con el oxígeno y el nitrógeno bajo la influencia de la luz solar.

resulta fácil contaminar al hielo, y el hielo contaminado se produce congelando agua contaminada, y no por contaminación del hielo puro.)

En su susceptibilidad de contaminación, los líquidos son intermedios entre los gases y los sólidos. Las fuerzas atractivas entre moléculas del estado líquido son lo bastante fuertes para que la muestra de líquido (por ejemplo una gota de agua) se mantenga junta. En cambio, las fuerzas atractivas no son tan fuertes como lo son en los sólidos: no son lo bastante fuertes para prevenir que las moléculas se deslicen unas junto a otras. Estos desplazamientos moleculares se manifiestan en el fenómeno familiar de la corriente de los líquidos. Ahora bien, si una molécula de líquido se desplaza, deja tras sí un sitio vacío, o un "agujero". Este vacío puede ser ocupado por otras molécula, ya sea del mismo tipo o por una molécula de una substancia extraña.

¿Qué es lo que decide si un líquido determinado aceptará o rechazará un determinado tipo de materia extraña? Dejamos caer un pedazo de azúcar en un vaso de agua y observamos que se disuelve. En cambio, un pedazo de plomo no lo hace. Puesto que el azúcar es un sólido, las moléculas de azúcar han de estar atraídas unas por las otras, ya que, en otro caso, se separarían y el azúcar sería un gas. Pero es el caso que las moléculas del azúcar son atraídas también fuertemente por las moléculas de agua y pueden ser separadas, así para ocupar lugares rodeados por moléculas de agua. Así es como el azúcar se disuelve en el agua. Los átomos de plomo, en cambio, están atraídos unos hacia otros mucho más fuertemente de lo que es el caso de las moléculas de agua, y así, pues, el plomo es insoluble. Por consiguiente, la facilidad con que un líquido puede ser contaminado por materia extraña disuelta depende de las relaciones químicas entre las moléculas del líquido y las de la materia extraña.

Un contaminante podrá estar contenido en un líquido sin disolverse en él. Si esmerilamos nuestro pedazo de plomo hasta dejarlo convertido en un fino polvo y lo agitamos en el agua, el plomo suspendido es un contaminante. Sin embargo, la facilidad con que una materia extraña puede quedar suspendida en un líquido depende también, hasta cierto punto, de la atracción mutua entre las partículas extrañas y las moléculas del líquido.

El agua no es un líquido típico. El aceite de maíz es más parecido al aceite de la semilla de algodón; el queroseno es más parecido a la gasolina, y el acohol de los granos es más parecido al alcohol de madera de lo que *cosa alguna* es parecida al agua. Una de las consecuencias de estas propiedades físicas y químicas únicas del agua es que admite o acepta la contaminación fácilmente, en ocasiones aun a través de mecanismos que son totalmente insospechados. Por supuesto, el agua es el medio ambiente líquido universal para la materia viva y, por consiguiente, es también propensa en forma excepcional a la contaminación

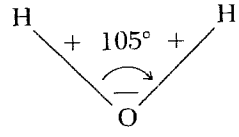
Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

por organismos vivos, incluidos los que producen enfermedad en el hombre. Los medios de contaminación que implican suspensión, disolución, y cambio bioquímico no son necesariamente separados y distintos unos de otros, y muchos de estos procesos complejos *sólo* pueden tener lugar en el agua.

Por consiguiente, para comprender la contaminación del agua, necesitamos considerar primero la naturaleza del agua misma.

6-2 AGUA

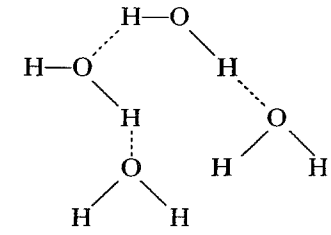
Frotemos un vaso de vidrio con una servilleta seca hasta que brille de limpio. Mantengamos el vaso invertido, arriba exactamente de la llama de una bujía durante cinco a 10 segundos. La superficie interior del vidrio se pondrá empañada y húmeda. Hemos producido agua a partir del hidrógeno de la bujía y del oxígeno del aire. El oxígeno del aire es gas oxígeno, y el hidrógeno en la bujía está ligado químicamente al carbono. La composición química del agua puede averiguarse pesando los ingredientes que se combinan para producirla, aunque la cera de la bujía más el aire no sea la mejor forma de semejante experimento. Encontramos que el agua contiene ocho partes de oxígeno por una parte de hidrógeno, en peso. Por ejemplo, 9 Kg de agua contienen 8 Kg de oxígeno y 1 Kg de hidrógeno. El peso atómico del oxígeno es 16, el del hidrógeno es 1. Así, pues, un átomo de oxígeno es 16 veces más pesado que un átomo de hidrógeno.* La composición del agua y los pesos atómicos del oxígeno y el hidrógeno están expresados en la fórmula H_2O, esto es, la composición del agua es O (16) es a H (1 + 1) como 16 es a 2, o como 8 es a 1. La suma de los pesos atómicos, esto es, 1 + 1 + 16 = 18, es el peso molecular del agua. El oxígeno está ligado a los dos hidrógenos, y la molécula tiene una figura inclinada con un ángulo de 105 grados entre las dos ligazones.



Las cargas negativas (electrones) están amontonadas en forma más apretada alrededor del átomo de oxígeno que las cargas positivas (protones). Esto ocasiona una separación de las cargas con la parte de la molécula cargada negativamente, más cerca de los átomos de oxígeno, y

* Hablando estrictamente, esta proporción se refiere a los números de masa de los isótopos más abundantes. Sin embargo, representa una buena aproximación de los pesos atómicos medios (véase el interior de la cubierta trasera).

de las partes cargadas positivamente, más cerca de los hidrógenos. Estas cargas eléctricas atraen a sus opuestas en otras moléculas de agua, con el resultado de que el agua líquida consta de agregados de moléculas de H_2O ligadas unas a otras como aquí se indica.



Esta fuerte agregación es la que explica el hecho de que el agua permanezca al estado líquido hasta la temperatura de 100° C a presión normal, en fuerte contraste con el comportamiento de otras substancias de peso molecular similar o inclusive más alto. (Por ejemplo, el éter, de peso molecular 74, hierve a sólo 35°C.) Las fuerzas eléctricas que ligan las moléculas de agua unas a otras pueden servir también para ligar moléculas de agua a las de substancias extrañas. Por consiguiente, el agua es un solvente excepcionalmente bueno, especialmente en el caso de substancias que tienen centros de cargas eléctricas positiva y negativa separadas. Estas substancias son, en forma típica, compuestos inorgánicos, tales como los compuestos de elementos metálicos. En cambio, el agua es un solvente mediocre para substancias cuyas moléculas no tienen centros de cargas eléctrica positiva y negativa separadas; son ejemplos de esto último las substancias de los hidrocarburos derivadas del petróleo, tales como la gasolina, el aceite mineral y la grasa.

6-3 CLASES DE IMPUREZAS DEL AGUA

Resulta práctico clasificar las substancias extrañas en el agua según el volumen de sus partículas, porque es este volumen el que con frecuencia condiciona la eficacia de los diversos métodos de purificación. La figura 6-1 muestra un espectro de partículas arbitrariamente divididas en tres clases, a saber: en suspensión, coloidal y en disolución. Consideremos alternativamente cada una de ellas al referirnos a la figura.

Las *partículas suspendidas* son las mayores, esto es, las que tienen diámetro de aproximadamente un micrómetro. Son lo bastante grandes para depositarse a velocidades razonables y ser retenidas por los filtros comunes. Son también lo suficientemente grandes para absorber la luz y hacer, en esta forma, que el agua que contaminan se vea turbia y sucia.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

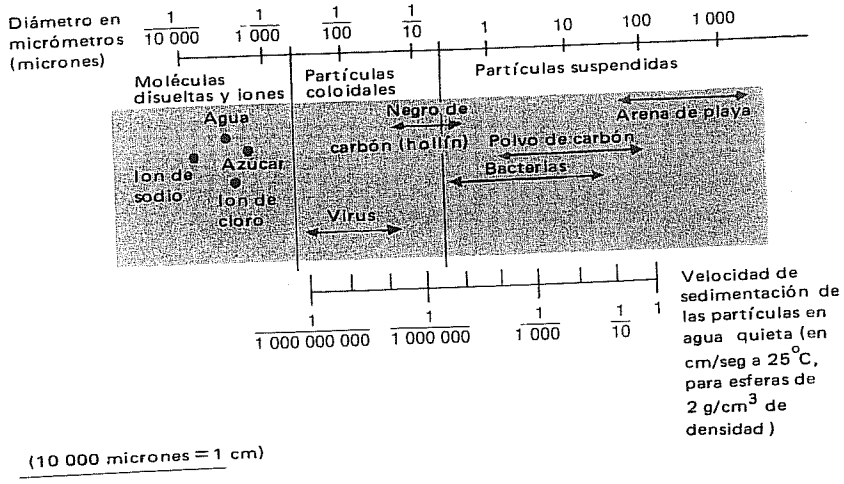


FIG. 6-1. Partículas pequeñas en agua.

Las *partículas coloidales* son tan pequeñas, que su velocidad de depósito es insignificante, y pasan a través de los agujeros de la mayoría de los medios filtrantes; por consiguiente, no se las puede eliminar del agua por sedimentación o filtración ordinaria. El agua que contiene partículas coloidales se aclara en el trayecto directo de la luz que la ilumina, pero se podrá ver acaso turbia si se la observa a un ángulo recto con respecto al haz lumínico. (El mismo fenómeno tiene lugar en el aire, esto es: las partículas coloidales de polvo se perciben mejor a un ángulo recto con respecto a un haz de luz de foco muy preciso, en un cuarto, por lo demás, obscuro.) Los colores de las aguas naturales, tales como el azul, el verde y el rojo de los lagos o mares, son debidos en gran parte a partículas coloidales.

La *materia disuelta* no se deposita, no es retenida por los filtros y no enturbia el agua, inclusive si se la mira a un ángulo recto con respecto al haz de luz. Las partículas de las que dicha materia consta no son mayores de aproximadamente 1/1 000 de micrómetro de diámetro. Si son eléctricamente neutras se las llama moléculas. Y si llevan una carga eléctrica, se las designa como iones. El azúcar de caña (sucrosa), el alcohol de granos (etanol) y el anticongelante "permanente" (glicol de etileno) son substancias que se disuelven en el agua como moléculas eléctricamente neutras. La sal de mesa (cloruro de sodio), por otra parte, se disuelve como sodio positivo y iones negativos de cloruro.

Por supuesto, las substancias extrañas pueden clasificarse con base en otras propiedades que las del tamaño de la partícula; por ejemplo, pueden ser vivas o inertes, orgánicas o minerales, radiactivas o no radiac-

tivas, tóxicas o inofensivas, naturales o añadidas por el hombre. Será del mayor interés para nosotros centrar nuestra atención en aquellas impurezas que afectan adversamente la calidad del agua, estudiar sus efectos nocivos y considerar los problemas que implica su eliminación. Puesto que el agua natural es químicamente pura, veamos primero si las impurezas que se encuentran en ella pueden o no considerarse como contaminantes.

6-4 LA COMPOSICION DE LAS AGUAS NATURALES

Las aguas naturales nunca son puras. Los orígenes y la naturaleza de sus impurezas se relacionan en el cuadro 6-1. Por supuesto, las proporciones de estas substancias varían dentro de grandes límites. Las

CUADRO 6-1. Impurezas en las aguas naturales

Origen	Clasificación del tamaño de las partículas				
	Suspendidas	*Coloidales*		*Disueltas*	
			Moléculas	*Iones positivos*	*Iones negativos*
Atmósfera	← Polvos →		Bióxido de carbono, CO_2 Bióxido de azufre, SO_2 Oxígeno, O_2 Nitrógeno, N_2	Hidrógeno, H^+	Bicarbonato, HCO_3^- Sulfatos, SO_4^{2-}
Tierra mineral y piedras	← Arena → ← Arcillas → ← Partículas de tierra mineral →		Bióxido de carbono, CO_2	Sodio, Na^+ Potasio, K^+ Calcio, Ca^{2+} Magnesio, Mg^{2+} Hierro, Fe^{2+} Manganeso, Mn^{2+}	Cloruro, Cl^- Fluoruro, F^- Sulfatos, SO_4^{2-} Carbonato, CO_3^{2-} Bicarbonato, HCO_3^- Nitrato, NO_3^- Diversos fosfatos
Organismos vivos y sus productos de descomposición	Algas Diatomeas Bacterias ← Tierra orgánica (manto) → Peces y otros organismos	Virus Materia colorante orgánica	Bióxido de carbono, CO_2 Oxígeno, O_2 Nitrógeno, N_2 Sulfuro de hidrógeno, H_2S Metano, CH_4 Diversos desechos orgánicos, algunos de los cuales producen olor y color	Hidrógeno, H^+ Sodio, Na^+ Amonio, NH_4^+	Cloruro, Cl^- Bicarbonato, HCO_3^- Nitrato, NO_3^-

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

aguas naturales van, en cuanto a la calidad, desde potables gustosas hasta venenosas; en cuanto a salinidad, van de agua pura de lluvia (no salada) a salobre (parcialmente salada, como cuando el agua de un río comienza a mezclarse con el agua de mar), al agua de mar y a las grandes concentraciones de una cuenca de evaporación rodeada de tierra, como el Mar Muerto o el Gran Lago Salado.

6-5 MICROORGANISMOS EN EL AGUA

El agua contaminada podrá ser sucia, mal oliente, corrosiva, poco apta para lavar en ella la ropa, o desagradable al gusto. Sin embargo, el efecto más perjudicial del agua contaminada para el hombre ha sido ciertamente el de la trasmisión de enfermedades. La fiebre tifoidea, en el Hemisferio Occidental, y el cólera, en el Hemisferio Oriental, han sido las causas del mayor número de defunciones producidas por el agua. Otras enfermedades humanas transmitidas al hombre por microorganismos del agua son la disentería, la hepatitis infecciosa y la gastroenteritis. Es posible que algunas otras enfermedades virales, tales como la poliomielitis sean también transmitidas por el agua.

El hombre vive en relación íntima con microorganismos sobre su piel y en su sistema digestivo. El total de la población microbiana en un humano normal es tal vez de 10 millones de millones (10^{13}), lo que en volumen apenas representa el de una taza limosa. En estado de salud, los humanos y los microbios viven juntos para beneficio mutuo. El excremento de un ser humano sano no es necesariamente un manantial de enfermedad si se dispersa en el agua. Sin embargo, algunas personas sanas viven en armonía con organismos que pueden resultar patógenos para otros. Por ejemplo, muchos mexicanos están adaptados a aguas con bacilos que provocan disentería en los turistas. Por otra parte, no todos los seres humanos (o animales) están sanos, y la presencia en el agua de cualesquiera microorganismos que acompañen las aguas negras o los excrementos significa que el agua puede contener también organismos portadores de enfermedad. Ha de suponerse, por consiguiente, que dicha agua no es sana. Sin embargo, es ilusorio pedir que el agua potable esté absolutamente libre de bacterias intestinales. En efecto, semejante norma haría que el agua potable resultara demasiado cara, y además esto tampoco es indispensable para la salud. En Estados Unidos de Norteamérica, se considera, por regla general, que el agua es aceptable para beber, si: *a)* contiene menos de 10 bacterias intestinales por litro; *b)* si no contiene impurezas químicas en concentraciones que puedan ser peligrosas para la salud del consumidor o corrosivas con respecto al sistema de conducción de agua; *c)* si no presenta un gusto, olor, color o turbiedad objetables, y *d)* si no proviene de un manantial que esté

sujeto a contaminación por aguas negras u otros contaminantes, tales como un pozo exactamente cuesta abajo de una fosa séptica.

Se supone que el número de microorganismos portadores de enfermedad en el agua es proporcional al número total de los microorganismos, y que un total bajo implica, por consiguiente, seguridad. Sin embargo, se han dado algunos casos en que enfermedades virales han sido transmitidas por un agua que satisface normas bacterianas estrictas. Por consiguiente, la presencia de cualesquiera impurezas típicas de las aguas negras, inclusive si no son perjudiciales en sí mismas, implica que el agua en la que se encuentran no está protegida contra la enfermedad y es, por tanto, peligrosa. Las concentraciones anormales de compuestos de nitrógeno, tales como el amoniaco (NH_3), o de cloruros, sirven de índice de la presencia de dichas impurezas.

6-6 ELEMENTOS NUTRITIVOS Y OXIGENO EN EL AGUA

La mayoría de la materia orgánica procedente de desechos de alimentos, de aguas negras domésticas y de residuos de fábricas, tales como partículas de tierra, es desintegrada en el agua por bacterias, protozoarios y diversos organismos mayores. Semejantes descomposiciones convierten substancias ricas en energía en substancias pobres en energía, mediante reacciones químicas que utilizan oxígeno; este proceso forma parte del ciclo de alimentos descrito en el capítulo 1. Por supuesto, estas conversiones tienen lugar tanto en la tierra como en el agua. Sin embargo, la diferencia importante entre estos dos medios es que el oxígeno atmosférico a disposición de los animales terrestres es reemplazado en forma relativamente rápida por la vida vegetal y, en esta forma, no se agota —los insectos, las aves y los mamíferos podrán competir por los granos, pero no necesitan hacerlo, por oxígeno. En cambio, el oxígeno disuelto en las aguas puede agotarse más rápidamente de lo que es reemplazado desde la atmósfera y, por consiguiente, las bacterias, los protozoarios, los gusanos del lodo y la trucha compiten por oxígeno cuando los elementos nutritivos orgánicos son abundantes. Semejante competición afecta la distribución de las formas de vida en el agua. Cuando la introducción de una materia nutritiva (como basura o desechos industriales orgánicos) altera esta distribución en una forma que resulta desfavorable para el hombre (por ejemplo, de modo que cohíba la trucha y favorezca los protozoarios), la calidad del agua ha de considerarse como deteriorada y, por consiguiente, los elementos nutritivos añadidos son contaminantes.

Cuando un combustible, como la madera o la cera de bujía o el gas metano, es quemado en el aire, tiene lugar una liberación de energía y la formación de las substancias bióxido de carbono y agua, pobres en

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

energía. Semejante conversión la ilustra la ecuación química de la combustión del metano, CH_4:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

La descomposición bacteriana no tiene lugar a las temperaturas de la llama. De aquí que las sucesiones específicas de alteraciones de los enlaces químicos sean totalmente distintas de las que tienen lugar en la combustión. Sin embargo, la liberación total de energía depende solamente de los materiales iniciales y de los productos finales, y no de los pasos intermedios.* Resulta lícito, por consiguiente, considerar ecuaciones químicas generales simplificadas en el estudio de las relaciones entre la producción de energía y la contaminación del agua.

La descomposición bacteriana en presencia del aire se designa como **aerobiosis**, y es el proceso que rinde la mayor energía a partir de un peso dado de elementos nutritivos. Por ejemplo, la aerobiosis completa de la glucosa (un azúcar, $C_6H_{12}O_6$) puede representarse por la ecuación:

$$C_6H_{12}O_6 + 6O_2 \rightarrow 6CO_2 + 6H_2O + 3\,600 \text{ cal. por g de glucosa}$$

Las proteínas contienen tanto azufre y nitrógeno como carbono, hidrógeno y oxígeno. La descomposición aeróbica de la proteína está representada por la siguiente ecuación no equilibrada, en la que la molécula muy compleja de proteína está sólo representada por una fórmula general, $C_xH_yO_zN_2S$:

$$C_xH_yO_zN_2S + O_2 \rightarrow CO_2 + H_2O + \underset{\text{ion de amonio}}{NH_4^+} + \underset{\text{ion de sulfato}}{SO_4^{2-}}$$

+ 5 090 calorías por gramo de proteína

Las reacciones aquí representadas son típicas de la primera etapa de la acción bacteriana en la desoxigenación de las aguas contaminadas. Cuando el elemento nutritivo orgánico está agotado, cabe obtener energía suplementaria mediante la oxigenación de sales de amonio:

$$\underset{\text{ion de amonio}}{NH_4^+} + 2O_2 \rightarrow \underset{\text{ion de hidrógeno}}{2H^+} + H_2O + \underset{\text{ion de nitrato}}{NO_3^-}$$

+ 4 350 calorías por gramo de ion de amonio

* Este es uno de los enunciados de la Primera Ley de la Termodinámica. Véase capítulo 9.

Este proceso se designa como **nitrificación**.

Lo más significativo en conexión con estas reacciones es, desde el punto de vista de la contaminación del agua, que agotan el contenido de oxígeno del agua; en efecto, se requirieron moléculas de oxígeno para que cada una de las reacciones anteriores pudiera tener lugar. Sin embargo, la acción bacteriana no se detiene cuando el oxígeno molecular ha desaparecido. En lugar de ello, se produce una nueva serie de descomposiciones a través del proceso llamado **anaerobiosis**. La descomposición anaeróbica de los azúcares y otros carbohidratos se designa como fermentación y la de las proteínas se llama **putrefacción**. Este último proceso se deja representar por la ecuación no equilibrada simplificada siguiente:

$$\underset{\text{proteína}}{C_xH_yO_zN_2S} + H_2O \rightarrow NH_4^+ + CO_2 + \underset{\text{metano}}{CH_4} + \underset{\text{sulfuro de hidrógeno}}{H_2S}$$

+ 368 calorías por gramo de proteína.

Obsérvese que la putrefacción rinde mucho menos energía (menos calorías) que la oxidación, pero sigue siendo energéticamente aprovechable todavía. El metano es muy insoluble en agua y es despedido, prácticamente en su totalidad, en forma de gas. El sulfuro de hidrógeno es altamente oloroso y huele a huevos podridos. Por consiguiente, la putrefacción hace que el agua burbujee con olores fétidos y que los peces u otros animales que respiran oxígeno no puedan vivir en ella. Se la puede considerar como la forma peor de la contaminación bacteriana.

Hemos visto que la materia alimentaria contamina el agua porque sirve de alimento para los microorganismos. Los microorganismos, incluidos todos los patógenos que puedan encontrarse entre ellos, se multiplican; el oxígeno se agota y resulta inaccesible así para formas de vida (como los peces) que el hombre prefiere y, finalmente, se producen los olores fétidos de la putrefacción. ¿Cuál es la medida de semejante contaminación? Cabría pensar que el análisis de una muestra de agua para averiguar la cantidad total de materia orgánica que contiene proporcionaría el índice en cuestión. Pero es el caso que no toda la materia orgánica es igualmente digerible por las bacterias. En efecto, algunas materias orgánicas manufacturadas por los procesos industriales y que son extrañas a las cadenas naturales de alimentos podrán no estar en absoluto en condiciones de funcionar como elementos nutritivos. De semejantes materias se dice que son **no biodegradables**. Algunas materias, como el aceite mineral, podrán descomponerse acaso muy lentamente, de modo que no se las podrá considerar como equivalentes, desde el punto de vista nutritivo, del azúcar, pongamos por caso. Por consiguiente una medida apropiada de la contaminación del agua por

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

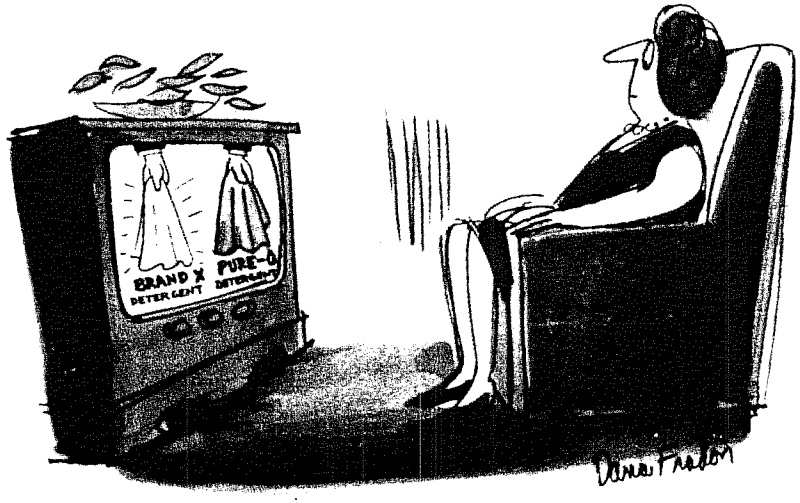


FIG. 6-2. *"Obsérvese qué brillo y blancura la marca X le da a su ropa, debido a las substancias químicas y las enzimas nocivas que contiene. En cambio, el O puro, que no contiene ingrediente nocivo alguno, deja su ropa deslustrada y gris, pero protege su medio ambiente."* (Dibujo de Dana Fradon; © 1971, The New Yorker Magazine, Inc.)

elementos nutritivos orgánicos es la averiguación de la velocidad a que su materia alimentaria puede consumir oxígeno por descomposición bacteriana. Esta velocidad se designa como la **demanda bioquímica de oxígeno, BOD**. Por supuesto, la velocidad de la oxidación bioquímica depende de la temperatura del medio ambiente, de las clases particulares de microorganismos y de los elementos nutritivos presentes. Si estos factores son constantes, la velocidad de la oxidación puede expresarse en términos de la media vida del elemento nutritivo. Este concepto es exactamente el mismo que se aplica a la desintegración radiactiva (véase capítulo 4). La media vida es el tiempo requerido para la descomposición de la mitad del elemento nutritivo, y la velocidad continuamente decreciente puede representarse en forma de una curva de decadencia ("decadencia" tiene aquí los dos significados biológico y matemático), como la de la figura 4-3.

6-7 DETERGENTES, ALGAS Y LA MUERTE DE LAS AGUAS

Las algas son plantas acuáticas; se las puede percibir en ocasiones como un limo verde azul sobre la superficie del agua inmóvil. En cuanto

plantas, las algas extraen energía de la fotosíntesis. Por consiguiente, consumen bióxido de carbono, CO_2, en presencia de la luz solar, y liberan oxígeno. Al igual que otras plantas, las algas necesitan también diversos elementos nutritivos inorgánicos, tales como compuestos de nitrógeno, de potasio, fósforo, azufre e hierro. La medida en que una extensión de agua, como un lago, puede soportar algas depende de los elementos nutritivos inorgánicos que puede proporcionar; estos elementos se van haciendo gradualmente más abundantes a medida que la materia mineral es llevada al lago por los ríos. Cuando la reserva de elementos nutritivos se hace suficientemente abundante, las algas crecen rápidamente y pueden cubrir la superficie del agua en capas tan gruesas como una estera limosa. A medida que algunas algas mueren, ya sea por agotamiento de algún elemento nutritivo indispensable o por otras razones, se convierten, a su vez, en alimento para las bacterias. Según ya vimos, la descomposición bacteriana consume oxígeno, con los efectos contaminantes consiguientes. Semejante sucesión de procesos se traduce en un estado en que el agua por debajo de la superficie limosa es pobre en oxígeno y, por consiguiente, incapaz de soportar formas de vida que son útiles para el hombre. La perca y la lobina ceden el paso a variedades menos deseables de animales, que se alimentan de basura, tales como el siluro, sanguijuelas y gusanos. De un lago en este estado se dice que es **eutrófico**, y el proceso mediante el cual dicho estado es alcanzado se designa como **eutroficación**. Cuando esto tiene lugar sin la intervención del hombre, el proceso suele ser, por regla general, lento, duracientos o miles de años y forma parte de la transformación general del lago en pantano y, finalmente, en prado.

El hombre acelera la eutroficación de un lago siempre que le añade elementos nutritivos vegetales. Los fertilizantes agrícolas son elementos nutritivos vegetales y, cuando se aplican a la tierra, algo de ellos podrá ser acaso arrastrado por el agua corriente hacia los lagos, acelerando en esta forma su envejecimiento.

El empleo de detergentes modernos ha contribuido asimismo a la sobrealimentación de las algas. Para apreciar esta situación algo compleja, será útil comprender algo acerca de la naturaleza y el modo de acción de los detergentes. Ya dijimos anteriormente, en este capítulo, que la facilidad con que una substancia extraña puede disolverse en un líquido depende de cuán fuertemente las moléculas de las dos substancias distintas se atraen mutuamente, en relación con las atracciones mutuas de moléculas semejantes. El azúcar se disuelve en el agua, y si tenemos las manos enganchosas con miel o arropía, podemos limpiárnoslas lavándolas en agua pura. En cambio, el aceite vegetal o la grasa animal son insolubles en agua, y el agua pura que nos había lavado las manos de la miel dejará atrás, en ellas, la grasa. Era cosa sabida, en la antigua Roma, que el calentar una mezcla de grasa animal y cenizas de

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

madera producía una substancia capaz de disolverse tanto en agua como en grasa y que, en alguna forma, podía juntar estas dos substancias, en otro caso incompatibles. Por consiguiente, si nos lavamos las manos grasosas con una mezcla de agua y de esta nueva substancia, que ahora llamamos **jabón**, la grasa puede quitarse. El jabón funciona en esta forma porque está hecho de moléculas largas que tienen, en uno de los extremos, regiones separadas de cargas eléctricas positiva y negativa, las cuales son fuertemente atraídas hacia las moléculas de agua, y en el otro extremo, un carácter de hidrocarburo, que es atraído por las moléculas de grasa. Esta acción de la molécula de jabón se designa como **detergencia.**

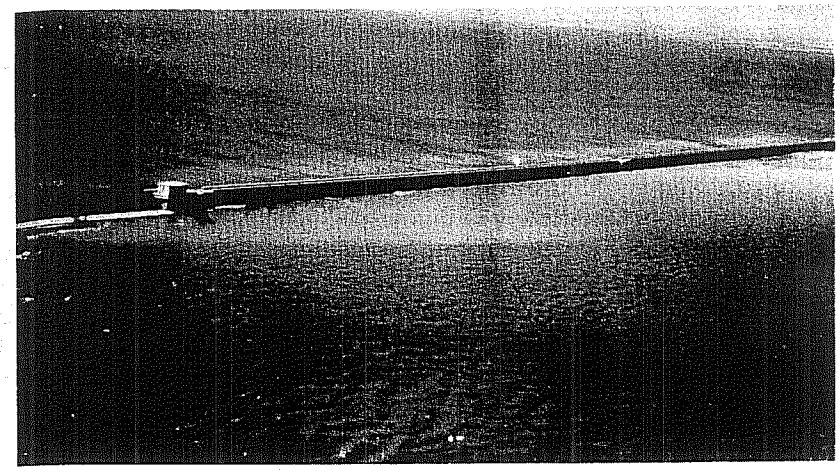
El empleo del jabón no ha contribuido a la eutroficación de los lagos. El jabón es un elemento nutritivo para las bacterias, pero no para las plantas, y es degradado normalmente por la acción bacteriana en las aguas negras. Sin embargo, el jabón no ha sido un detergente satisfactorio bajo todos los aspectos. En efecto, la materia mineral en el agua subterránea contiene iones metálicos que hacen al jabón insoluble y lo privan, por consiguiente, de su detergencia. Este jabón insoluble se manifiesta como un "anillo alrededor del tubo para baño", o como un "gris que salta a la vista" en un tejido, por lo demás, blanco. El agua que contiene semejante materia mineral se designa como "agua dura". Y el agua de la que está ausente, como el agua de lluvia, se designa como "blanda". Los años a partir de la segunda guerra mundial han presenciado el desarrollo y uso crecientes de detergentes sintéticos que son eficaces en el agua dura y poseen diversas otras propiedades que aventajan al jabón. Sin embargo, estos detergentes sintéticos contienen elementos nutritivos vegetales y aceleran, por consiguiente, la eutroficación. Los fosfatos* se hallan a menudo en pequeña cantidad en las aguas naturales y, su aportación a partir de los detergentes, ha sido denunciada, por consiguiente, como particularmente causante de la alimentación aumentada de las algas y de la deterioración eutrófica consiguiente de los lagos.

Es importante reconocer que las vías acuáticas constituyen con frecuencia ecosistemas delicadamente equilibrados, susceptibles de ser trastornados por los contaminantes a un grado que excede con mucho las

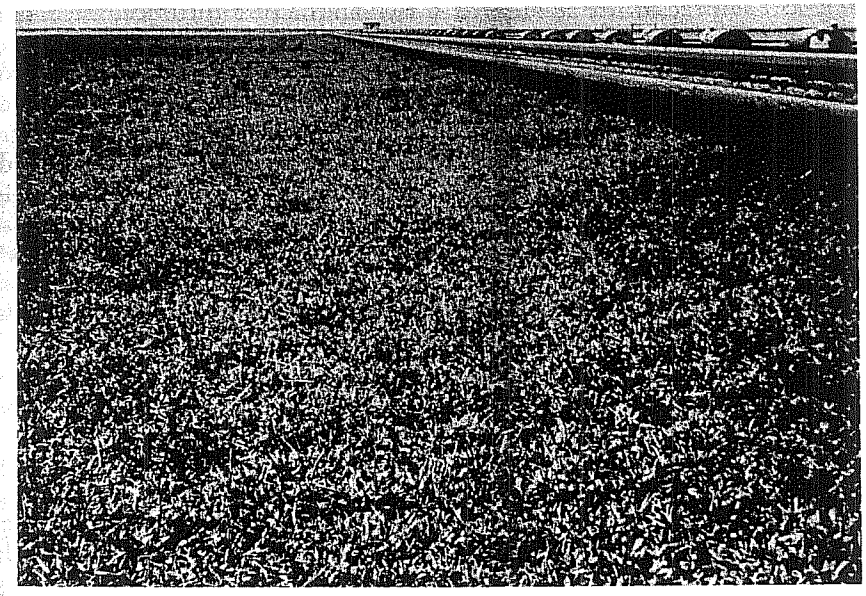
* Los fosfatos son iones que contienen los elementos fósforo, oxígeno y tal vez hidrógeno. Ejemplos:

Ortofosfato, PO_4^{3-}
Pirofosfato, $P_2O_7^{4-}$
Metafosfato, PO_3^-
Fosfato de monohidrógeno, HPO_4^{2-}
Fosfato de dihidrógeno, $H_2PO_4^-$

En 1967, el detergente sintético corriente manufacturado en Estados Unidos de Norteamérica contenía aproximadamente 9.4 por 100 de fósforo. En 1969, el contenido en fósforo de los "prerremojos enzimáticos" iba del 15 al 17 por 100.



A



B

FIG. 6-3. La obturación de las aguas por la mala hierba. *A*, El dique del Nilo blanco, en Jebel Aulia, cerca de Khartoum, Sudán. Este lugar estaba limpio cuando fue fotografiado en octubre de 1958. *B*, El mismo lugar muestra, en octubre de 1965, la acumulación de jacinto de agua arriba del dique. (De Holm: Aquatic Weeds. *Science* 166:699-709 (7 de noviembre de 1969). © 1969, de la American Association for the Advancement of Science.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

especulaciones simplistas. En muchas regiones del mundo, especialmente en los grandes ríos de los grandes lagos y las regiones tropicales y subtropicales, las hierbas acuáticas se han multiplicado explosivamente. Han obstaculizado la pesca, la navegación, el riego y la producción de energía hidroeléctrica. Han llevado enfermedad y hambre a comunidades que dependían de dichas extensiones de agua. El jacinto de agua en los ríos Congo, Nilo y Mississippi y en otras aguas de India, Pakistán Occidental, Sudeste asiático y Filipinas; el helecho acuático, en Africa del Sur, y la lechuga de agua, en Ghana, constituyen algunos ejemplos de semejantes infestaciones catastróficas. Al hombre siempre le han gustado las orillas del agua. Destruir la calidad de estas regiones limitadas de la Tierra equivale a reducir tanto su humanidad como los recursos que lo sustentan.

6-8 DESECHOS INDUSTRIALES EN EL AGUA

La actividad industrial, especialmente la producción de pulpa y de papel, la elaboración de alimentos y la manufactura química, engendran una gran variedad de productos de desecho que pueden ser descargados en las corrientes de agua. De algunos de estos desechos se sabe que son venenosos para el hombre, en tanto que los efectos de otros son obscuros. Algunos se conocen desde la antigüedad, en tanto que muchos son muy recientes, y nuevos tipos de desechos van apareciendo a medida que se desarrolla la tecnología. Muchos desechos industriales son compuestos orgánicos que pueden ser degradados por las bacterias, pero sólo muy lentamente, de modo que podrán llevar acaso olores y gustos desagradables hasta distancias considerables a lo largo de una vía acuática. (Inclusive las aguas negras domésticas contienen cantidades significativas de substancias no biodegradables de origen desconocido.) Y para complicar más las cosas, algunos de estos desechos reaccionan con el cloro que se utiliza como desinfectante del agua potable. El resultado de semejante reacción es la producción de compuestos orgánicos clorados que huelen y saben mucho peor que el producto de desecho original.

Uno de los venenos industriales acarreados por el agua conocido desde la antigüedad es el plomo. A través de la historia, su fuente predominante ha sido la tubería de plomo utilizada anteriormente en las redes de distribución de agua. Más recientemente, el empleo del rociado de arseniato de plomo como insecticida ha contaminado aguas superficiales y profundas tanto con plomo como con arsénico. El plomo es un veneno cumulativo, e inclusive pequeñas concentraciones, si están presentes constantemente en el agua potable, podrán conducir a enfermedad grave o a la muerte. El arsénico, que en algunas ocasiones se

encuentra en las aguas naturales que corren a través de minerales que contienen arsénico, es también un veneno cumulativo. Se recomienda que los límites de "seguridad" del agua potable, tanto para el plomo como para el arsénico, no sean superiores a aproximadamente 0.01 ppm.

Los compuestos de diversos otros metales, tales como el cobre, el cadmio, el cromio y la plata, han sido denunciados en ocasiones como contaminantes industriales del agua. En años muy recientes, la mayor atención se ha prestado al problema del envenenamiento por mercurio, y vamos a dedicar el resto de esta sección a dicho tema, a título de ejemplo de contaminación metálica. El mercurio se ha considerado siempre con fascinación y alarma. Es el único metal que es líquido a temperaturas ordinarias (de aquí su otro nombre de azogue), y resulta divertido jugar con él. (Pero no debe hacerse, ya que su vapor es venenoso y, a temperaturas más altas, puede evaporarse con suficiente rapidez para ser mortal.) Algunos de sus compuestos, cuya toxicidad ha sido bien conocida desde la Edad Media, han sido utilizados como agentes de asesinato y suicidio. Sin embargo, hasta hace muy poco, el mercurio no era considerado como un contaminante peligroso del agua, por las siguientes razones: aunque el mercurio esté extensamente distribuido por la tierra, suele presentarse solamente en concentraciones minúsculas. En forma típica, las aguas naturales sólo contienen unas pocas partes por mil millones de mercurio. El mismo mercurio metálico, aunque venenoso en forma de vapor, no es particularmente peligroso si se toma por la boca como líquido. Se ha mostrado que el empleo de mercurio como componente de los empastes dentales era inofensivo, ya que el mercurio de los dientes no emigra a otras partes del cuerpo. Muchos compuestos de mercurio son altamente insolubles; por ejemplo, ¡se ha calculado que se necesitarán aproximadamente 100 litros de agua para disolver una molécula de sulfuro mercúrico, HgS!

Estas consideraciones implican que el mercurio en el agua no es un contaminante potencial y explican tal vez la despreocupación anterior con respecto al hecho de que la mitad de la cantidad total de mercurio anualmente extraída sea liberada en el medio ambiente. (Se extraen aproximadamente 10 000 toneladas, de las que 5 000 toneladas se "pierden" en alguna forma.) Estas descargas tienen lugar como efluentes de desecho desde las fábricas productoras o bien como incorporación de trazas de mercurio en productos a los que no pertenece. Un ejemplo lo tenemos en la conversión electroquímica de la salmuera, esto es, NaCl disuelto en agua, en fluoruro e hidróxido de sodio, tal como se representa en la ecuación:

$$2NaCl + 2H_2O \rightarrow \underset{\text{cloruro}}{Cl_2} + \underset{\substack{\text{hidróxido}\\ \text{de sodio}\\ \text{(sosa}\\ \text{cáustica)}}}{2NaOH} + \underset{\substack{\text{hidrógeno}\\ \text{liberado}\\ \text{en la}\\ \text{atmósfera}}}{H_2}$$

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

El mercurio no aparece en la ecuación, pero corre por el fondo de la célula de reacción como límite eléctrico (electrodo) a que el hidróxido de sodio y el hidrógeno son producidos. Cuando la solución salina (salmuera) se hace demasiado débil, es desechada. Este desecho contiene mercurio, que sigue luego cualquier curso de agua que se le presente. También el producto hidróxido de sodio está contaminado con mercurio y lo lleva a muchos productos para los cuales el hidróxido de sodio es una materia prima. Finalmente, el hidrógeno descargado en la atmósfera transporta también algo de vapor de mercurio consigo.

La idea complaciente de que semejantes descargas son tolerables ha sido invalidada por diversos casos de envenenamiento agudo por mercurio. El más notable fue el que tuvo lugar en los años cincuentas en una región costera de Japón, conocida como Bahía de Minamata, en donde los pescadores, sus familias y sus gatos domésticos se vieron afectados todos de una misteriosa enfermedad que debilitaba sus músculos, afectaba su visión, conducía a retraso mental y se traducía en ocasiones en parálisis y muerte. Lo que la gente y sus gatos tenían en común era una dieta de pescado, y lo que los peces tenían en sus cuerpos era una alta concentración de mercurio que provenía de las aguas de la bahía. La Bahía de Minamata recibía el efluente que contenía mercurio de una fábrica local de plásticos. Además, el mercurio estaba presente, en los peces en formas ligadas orgánicamente, que son particularmente peligrosas para el hombre. Estos compuestos se relacionan todos con el metilmercurio, $H_3C{\cdot}Hg{\cdot}CH_3$. Se utilizan en ocasiones como pesticidas y fungicidas y la descarga de estos residuos en las aguas constituye, por consiguiente, un grave riesgo. A continuación de este episodio, la investigación condujo al hallazgo inquietante de que el mercurio metálico y algunos compuestos inorgánicos de mercurio podrían metilarse (convertirse en metilmercurio) por bacterias anaerobias en el lodo del fondo de los lagos, y también por peces y mamíferos. Por consiguiente, los desechos mercuriales que se han ido acumulando en los fondos fangosos de los lagos no pueden considerarse como barros inertes, sino que constituyen fuentes potenciales de conversión bioquímica en forma de mercurio, susceptibles de penetrar en la cadena de los alimentos y seguirla en concentraciones crecientes, convirtiéndose así en venenosas para el hombre.

Resultaría fácil extraer la conclusión, a partir de estas circunstancias inquietantes, que sería conveniente "abolir" el mercurio, si esto fuera posible en alguna forma. Esta conclusión, con todo, sería incorrecta. En efecto, el mercurio ha estado presente en el medio ambiente, incluidas las cadenas de alimentos, durante toda la historia de la vida sobre la Tierra, y el hombre ha desarrollado necesariamente una tolerancia a las concentraciones a las que ha sido expuesto durante su evolución. La "tolerancia" no es un desprendimiento pasivo, sino una adaptación

bioquímica, y una adaptación de esta clase suele conducir a la dependencia. Es probable, por consiguiente, que el hombre necesite pequeñas cantidades de mercurio, lo mismo que necesita trazas de otros elementos metálicos que resultarían venenosos en concentraciones superiores. Por consiguiente, decir que el mercurio constituye el peligro es solamente una verdad limitada, y la conclusión más general es que el peligro reside en el trastorno inadvertido de un ecosistema delicadamente equilibrado.

6-9 CORROSIVIDAD

Los ácidos corroen (enmohecen, oxidan) los metales y, según vimos, los compuestos solubles de metales pueden contaminar el agua. Por consiguiente, el agua que es ácida puede contaminarse con elementos metálicos más fácilmente de lo que puede hacerlo el agua pura.

El significado original de la palabra "ácido" es "agrio", con referencia al gusto de substancias tales como vinagre, jugo de limón, las manzanas verdes y la leche agriada. Se observó que todas estas substancias agrias o ácidas tenían algunas propiedades en común. Su presencia alteraba diversos colores vegetales naturales; por ejemplo, el jugo de limón aclara el color de la tez. Se observó también que la corrosión de los metales por los ácidos iba acompañada de un desprendimiento de hidrógeno. La presencia de hidrógeno es, efectivamente, indispensable para la calidad de la acidez en el agua. El hidrógeno ha de estar en forma de átomos de hidrógeno cargados positivamente, que se designan como iones de hidrógeno, H^+, fijados a moléculas de agua. La concentración de los iones de hidrógeno se mide en términos de una expresión llamada pH (de "potencia de hidrógeno"). La relación entre las dos unidades se muestra en el cuadro siguiente:

Concentración de iones de H^+ (gramos/litro)	pH
$\frac{1}{10}$	1
$\frac{1}{100}$	2
$\frac{1}{1\,000}$	3
$\frac{1}{1\,000\,000}$	6
$\frac{1}{10\,000\,000}$	7

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

El valor del pH es, así, el número de ceros del denominador de una fracción que expresa la concentración de iones H^+ cuyo numerador es 1 y cuyo denominador es un múltiple de 10.*

El agua pura a 25°C tiene una concentración de H^+ de 1/10 000 000, o un pH de 7, y se dice que es "neutra". Todo pH inferior a 7 implica acidez. Cuanto más bajo sea el pH de una extensión de agua, tanto más propensa será ésta a ser corrosiva y, por consiguiente, a convertirse en contaminada con compuestos metálicos. Así, pues, las aguas ácidas que corren por tubos de plomo se harán más tóxicas que el agua pura. Y el jugo de toronja conservado en una taza de hierro desarrolla un gusto terrible.

6-10 PURIFICACION DEL AGUA

La purificación del agua se ha convertido en una tecnología minuciosa y complicada, una gran parte de la cual va más allá del objeto de este libro. Sin embargo, los métodos generales de purificación han de comprenderse, y, en algunos casos, han de ser inclusive obvios a partir de una comprensión general del carácter de la contaminación del agua. Si el agua contiene impurezas susceptibles de depositarse, déjesela el tiempo suficiente para que se produzca la precipitación, o bien fíltrense las impurezas que pueden ser retenidas por un filtro. Si las partículas son demasiado pequeñas para cualquiera de ambos procesos, háganse mayores, consiguiendo que se peguen unas a otras o que coagulen, en alguna forma, de modo que el depósito o la filtración resulten posibles. Si el agua es tan ácida que es corrosiva, neutralícese el ácido. Oxídense los desechos orgánicos. Mátense los microorganismos. Elimínense los malos olores y sabores mediante algún agente apropiado, tal como el carbón activado. "Ablándese" el agua dura, de modo que puedan utilizarse eficazmente detergentes no contaminantes.

Se obtendrán algunas ideas del funcionamiento de los sistemas de purificación de agua describiendo el curso de un proceso típico. Vamos a examinar, pues, el método de tratamiento de las aguas negras.

Los desechos transportados por el agua de fuentes tales como los hogares, hospitales, las escuelas y los edificios comerciales contienen desechos de alimentos, excrementos humanos, papel, jabón, detergentes, polvo, ropa y otros residuos diversos y, por supuesto, microorganismos. Esta mezcla se designa como **aguas negras sanitarias o domésticas.** (El adjetivo "sanitarias" es más bien inapropiado, puesto que apenas puede

* Esta explicación del pH es muy simplificada. Un tratamiento más completo se encontrará en cualquier manual de química estándar. Los valores de pH son en realidad expresiones logarítmicas, y una explicación de la escala log con ellos relacionada, esto es, la escala decibel del sonido, aparece en el capítulo 10.

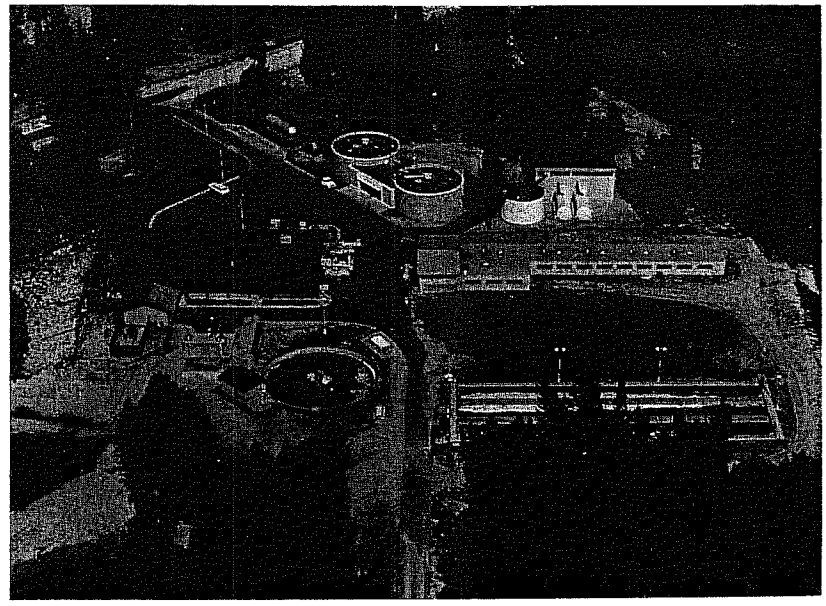


FIG. 6-4. Planta de tratamientos secundario y terciario de las aguas negras del Distrito de Servicio Público de South Tahoe, en 1965. Desde que esta foto fue tomada, la capacidad de esta planta ha aumentado de 10 millones a 35 millones de litros por día, y se ha proporcionado un tratamiento más avanzado todavía. Esto fue necesario para prevenir la eutroficación del Lago de Tahoe, en lo alto de las Montañas de la Sierra Nevada, situadas entre California y Nevada. Atraídos por este bello lago, los vacacionistas y los residentes permanentes han aumentado varias veces su número en años recientes. La planta, tal como era antes de su ampliación, proporcionaba sedimentación primaria (construcción del centro a la derecha), tratamiento de barro activado (más abajo a la derecha), sedimentación secundaria (estanque circular), digestión del barro (los grandes tanques circulares) y tratamiento terciario (construcción en la parte superior a la derecha). (De Warren: *Biology and Water Pollution Control.* Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1971. La foto es cortesía de Cornell, Howland, Hayes y Merryfield, Ingenieros y planificadores, de Corvallis, Oregon.)

decirse que describa el estado de las aguas negras; se refiere pues, probablemente, al de los lugares de donde dichos desechos han sido eliminados.) Las aguas que contienen desechos, aumentadas en ocasiones por el agua de lluvia que se escurre, corren por una red de tubos de desagüe de las calles. La acción microbiana tiene lugar durante el curso: los productos químicos alimentarios de alta energía se degradan en compuestos de energía baja, con consumo de oxígeno. Es como si las aguas ardieran lentamente. Cuanta más actividad de ésta tiene lugar antes de que las aguas negras se viertan en agua libre, tanto menos tiene lugar

Preparatoria abierta Online | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

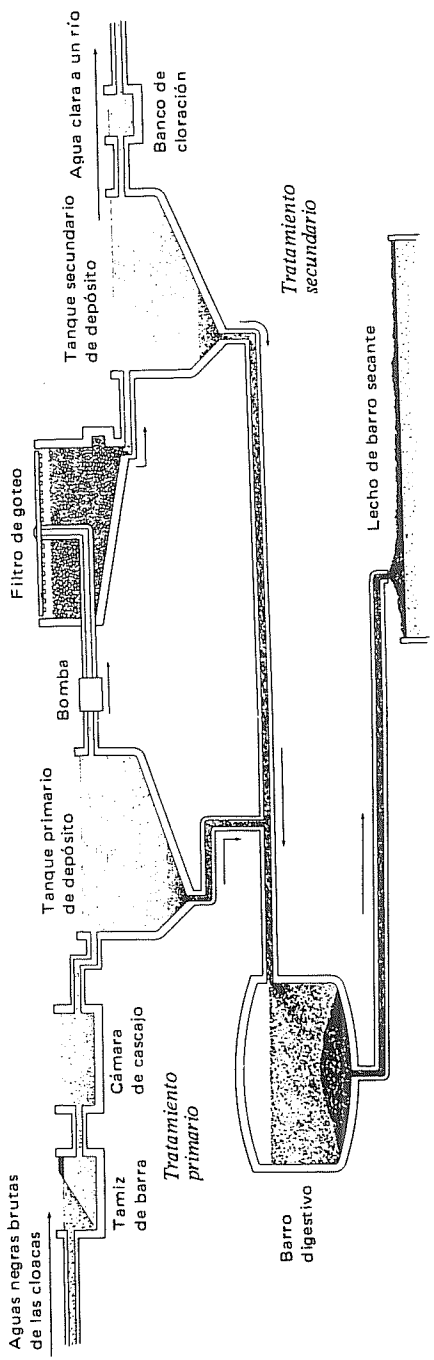


FIG. 6-5. Esquema de planta de aguas negras, en el que se aprecian las instalaciones para los tratamientos primario y secundari
(De *The Living Waters*, U. S. Public Health Service Publication No. 382.)

después; por consiguiente, este proceso ha de considerarse como el comienzo de la purificación. Cuando las aguas negras llegan a la planta de tratamiento, pasan primero a través de una serie de tamices que eliminan los objetos grandes, tales como ratas o toronjas; luego a través de un mecanismo de trituración, que reduce todos los objetos remanentes a un tamaño lo suficientemente pequeño para ser tratado eficazmente durante el periodo siguiente. El paso siguiente consiste en una serie de cámaras de depósito, diseñadas para eliminar primero, el cascajo pesado, tal como la arena que el agua de lluvia arrastra de las superficies de las carreteras, y luego, más lentamente, cualesquiera otros sólidos suspendidos —incluidos los elementos nutritivos orgánicos— susceptibles de depositarse en una hora más o menos. (Véase la figura 6-1 por lo que se refiere a la relación entre la velocidad de depósito y el tamaño de la partícula.) El tratamiento entero hasta este punto ha sido relativamente poco costoso, pero no se ha logrado todavía gran cosa. Si las aguas negras son vertidas ahora en un río (como desafortunadamente suele ser a menudo el caso) esto, no se ve tan mal, porque la corriente no lleva sólidos visibles, pero sigue constituyendo, con todo, un poderoso contaminante, que lleva una fuerte carga de microorganismos, muchos de los cuales son patógenos, y elementos nutritivos orgánicos considerables, que requerirán más oxígeno a medida que su descomposición avance..

El paso siguiente del tratamiento está destinado a reducir considerablemente la materia orgánica disuelta o en suspensión fina, por medio de alguna forma de acción biológica acelerada. Lo que se necesita para semejante descomposición es oxígeno y organismos, y un medio ambiente en el que los dos tengan un acceso fácil a los elementos nutritivos. Un aparato para la consecución de este objetivo es el filtro de goteo, que se muestra en la figura 6-6. En este dispositivo, unos tubos largos giran lentamente sobre una capa de piedras, distribuyendo el agua contaminada en rociados continuos. A medida que el agua gotea sobre las piedras y a su alrededor, ofrece sus elementos nutritivos, en presencia de aire, a una abundancia de formas de vida más bien poco apetitosas Se pone en función una cadena de alimentos de movimiento rápido. Las bacterias consumen moléculas de proteína, grasa y carbohidratos. Los protozoarios consumen bacterias. Más arriba, en la cadena, se encuentran gusanos, caracoles, moscas y arañas. Cada forma de vida desempeña su papel en la conversión de substancias químicas de alta energía en substancias de energía baja. Es como si el fuego lento de la cloaca ardiera aquí con mayor brillo. Todo el oxígeno consumido en esta etapa representa oxígeno que no se necesitará más adelante cuando las aguas negras sean vertidas al agua libre. Por consiguiente, este proceso constituye una purificación muy significativa. Sin embargo, el efluente de este tratamiento biológico podrá ser "quemado", y su

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

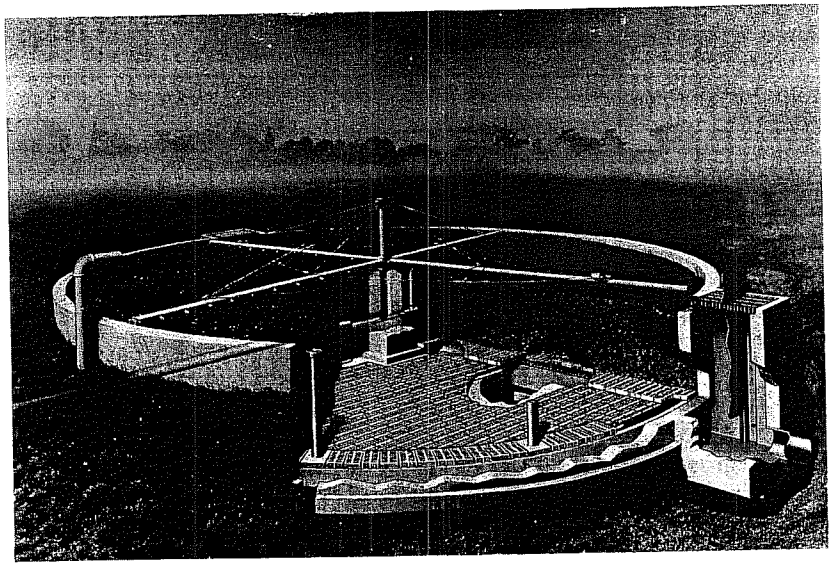


FIG. 6-.6. Reproducción de un filtro de goteo al que se le ha quitado una sección para que puedan apreciarse los detalles de construcción. (De Warren: *Biology and Water Pollution Control.* Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1971. La foto es cortesía de Link-Belt/FMC.)

demanda de oxígeno podrá ser suficientemente reducida, pero no está libre, con todo, de microorganismos y, por consiguiente, podrá seguir transportando enfermedades. Puesto que los microorganismos han efectuado su trabajo, se los puede ahora matar. Por consiguiente, el paso final es un proceso de desinfección; por regla general, una cloración.

Por supuesto, hay complicaciones. Algunos desechos orgánicos industriales son elementos nutritivos mediocres y no sólo son difíciles de descomponer, sino que pueden envenenar las bacterias e impedir así la acción bioquímica sobre materiales en otro caso degradables. Los detergentes no degradables no pueden distinguir entre la planta de tratamiento de aguas negras y la lavadora doméstica, de modo que siguen produciendo una espuma altamente indeseable.

Por otra parte, no siempre resulta ventajoso oxidar *todos* los elementos nutritivos. Después de todo, dichos elementos pueden utilizarse para alimentar formas de vida más apetitosas que los gusanos y las moscas. Propiamente tratados en relación con el oxígeno, los elementos nutritivos pueden ser vertidos en estanques abastecidos con peces comestibles, tales como la carpa o la trucha. En esta forma, al menos una parte de los desechos de la mesa podrá volver acaso a circular finalmente hacia la mesa.

PROBLEMAS

1. Defínase la contaminación del agua; la calidad del agua.

2. Expóngase la facilidad relativa de contaminación de los gases, los líquidos y los sólidos.

3. Defínanse la molécula, el ion, la partícula coloidal, y la partícula suspendida.

4. La persona sana vive en armonía con las bacterias en su sistema digestivo. ¿Por qué, pues, deberá considerarse como contaminada el agua que contiene bacterias digestivas?

5. ¿Cuáles son los criterios que se utilizan para considerar el agua como potable? ¿Es esta agua siempre segura? ¿Es el agua que no satisface dichos criterios siempre nociva? Explíquese el por qué.

6. Explíquese por qué una substancia orgánica no tóxica, tal como una sopa de pollo, puede convertirse en contaminante del agua.

7. Defínanse los términos aerobiosis, anaerobiosis, nitrificación, fermentación y putrefacción.

8. ¿Cuáles efectos perjudiciales a la calidad del agua resultan del agotamiento del oxígeno molecular?

9. Defínanse la biodegradabilidad, y la demanda bioquímica de oxígeno. ¿En qué forma es esta última una medida de la contaminación del agua?

10. ¿Qué es eutroficación? Explíquese cómo tiene lugar y por qué resulta acelerada por la adición de materia inorgánica, tal como los fosfatos.

11. Enumérense algunos metales cuyos compuestos pueden haber sido denunciados como contaminantes del agua.

12. Las propiedades venenosas del mercurio se conocen desde los últimos años del imperio Romano, en que los mineros del mercurio en España sufrieron síntomas crónicos o agudos, tales como temblores y pérdida del pelo y los dientes, debido a la exposición al vapor de mercurio. En años más recientes, algunos sombrereros han presentado los mismos síntomas (que se designaron como "el temblor de los sombrereros") debido a compuestos de mercurio utilizados para convertir la piel en fieltro. ¿Cree el lector que esas circunstancias hubieran debido conducir necesariamente a la conclusión de que el mercurio constituiría un contaminante del agua si el metal se descargara en ríos o lagos? ¿Cuáles hechos condujeron, en realidad, a la conclusión opuesta? ¿Es el mercurio peligroso, como contaminante del agua, en la misma forma en que lo es en las minas o las fábricas de sombreros? Explíquese.

13. Los contenidos de nuestros estómagos son ácidos, y nosotros bebemos jugos de fruta ácidos sin experimentar perjuicio alguno. ¿Por qué, pues, se consideran los ácidos como contaminantes en el agua potable?

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

14. Se ha hecho la siguiente recomendación a los turistas que quieren evitar los efectos perjudiciales de beber agua en regiones en donde las medidas sanitarias son inseguras o donde los trastornos intestinales son corrientes: no beban agua fría de la llave. No beban ustedes *nunca* agua de cántaros, garrafas o botellas, que puedan haber sido vueltas a utilizar, aun si han sido lavadas. Por otra parte, si el agua de la llave es lo suficientemente caliente para quemar la mano, puede utilizarse directamente para enjuagar y llenar una taza y, una vez enfriada, se puede beber sin peligro. Sugieren el lector una justificación razonable de cada uno de estos enunciados.

Las preguntas siguientes requieren razonamiento aritmético.

15. ¿Es la velocidad de depósito de las partículas en el agua directamente proporcional a sus diámetros? ¿Si el diámetro se multiplica por 10, es la velocidad de depósito 10 veces más rápida? (Justifique el lector su respuesta con los datos de la figura 6-1.) ¿Constituye un estanque de depósito un buen método general de control de la contaminación del agua? Explíquese el por qué.

16. Si el peso atómico del oxígeno fuera 8 en lugar de 16, ¿cuál sería la fórmula química del agua?

RESPUESTA

16. HO

BIBLIOGRAFIA

Existe un volumen considerable de literatura sobre el agua, el análisis de sus impurezas y sobre varios aspectos de su purificación, incluido el tratamiento de las aguas negras. Un texto básico de las propiedades del agua misma es:

Ernest Dorsey. *Properties of Ordinary Water-Substance.* New York: Litton Educational Publisher, Van Nostrand – Reinhold Books, 1940. 704 págs.

Los siguientes textos son buenas fuentes de información sobre la contaminación del agua y su control:

Charles E. Warren. *Biology and Water Pollution Control.* Philadelphia: W. B. Saunders Co., 1971, 434, págs.

T. R. Camp. *Water and its Impurities.* New York: Litton Educational Publisher, Van Nostrand – Reinhold Books, 1963.

G. V. James y F. T. K. Pentelow. 3a. ed. *Water Treatment.* Londres: Technical Press, 1963.

Los siguientes se citan como libros populares representativos, que se ocupan de la crisis de la contaminación del agua:

D. E. Carr. *Death of the Sweet Waters.* New York: W. W. Norton and Co., 1966. 257 págs.

F. E. Moss. *The Water Crisis.* New York: Encyclopaedia Britannica, Praeger Publisher, 1967, 305 págs.

G. A. Nikolaieff, dir. *The Water Crisis.* Bronx, New York: H. W. Wilson Co., 1969. 192 págs.

7

DESECHOS SOLIDOS

7-1 FUENTES Y CICLOS

Según mencionamos en el capítulo 1, la masa de la Tierra es relativamente constante. La materia obtenida de regiones más allá de nuestra atmósfera (como los meteoritos) y la materia perdida (como las moléculas de la atmósfera superior y, recientemente, los vehículos espaciales) son totalmente negligibles en comparación con la masa de la Tierra o inclusive con la masa de la biosfera, esto es, la parte de la Tierra en la que hay vida. Sin embargo, los materiales de la Tierra no permanecen estancados: hay vientos, corrientes de los mares, ríos, evaporación, precipitación pluvial y de nieve, el desplazamiento de los glaciares y los diversos movimientos de la materia en la que interviene la vida.

En términos de los intervalos de tiempo vecinos de la duración de la vida de los animales grandes (décadas) o de las plantas grandes (siglos), estos movimientos naturales de la materia están equilibrados y son típicos. Así, por ejemplo, la evaporación compensa la precipitación, y los niveles del mar permanecen constantes. El carácter equilibrado de los ciclos de alimentos ya se examinó en el capítulo 1. Por supuesto, este equilibrio no es universal, ya que las erupciones volcánicas, por ejemplo, son acontecimientos estrictamente unilaterales. Y los efectos a largo plazo, tales como los desplazamientos continentales o los levantamientos de las edades glaciales, no ocurren como ciclos en la duración de la vida de organismo alguno.

Las fábricas del hombre consumen materia prima para manufacturar productos que acaban siendo descartados como desechos. En el capítulo 1 señalamos que estos productos de desecho de los organismos vivos son

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

consumidos como materia prima por otros organismos. Si esto no fuera así, los productos de desecho se irían acumulando incesantemente, de lo que resultaría la destrucción del ecosistema. Es el caso, sin embargo, que los procesos de las fábricas difieren de los que tienen lugar en las plantas o en los animales vivos, y de aquí que la materia que pasa por las fábricas siga nuevos caminos. Por regla general, estos caminos no implican nueva circulación. Por ejemplo, el coque, que es producido a partir del carbón, se utiliza como nueva materia prima para la manufactura del gas acetileno, el cual es utilizado a su vez para manufacturar diversos plásticos y caucho sintético. Los plásticos y el caucho acaban acumulándose en algún lugar, por ejemplo un depósito de basura, y no vuelven a la mina en forma de carbón. En realidad, muchos de los nuevos materiales sintéticos, especialmente los plásticos y los recubrimientos resistentes a la corrosión para metales, fueron desarrollados para resistir a los cambios químicos, de modo que no se deterioraran durante su tiempo de servicio útil. Desafortunadamente, sin embargo, esta resistencia subsiste después de haber sido descartados los productos en cuestión. Por consiguiente, el movimiento de la materia a través de los procesos industriales, a diferencia del movimiento a través de los procesos vitales, engendra una cantidad, en crecimiento constante, de desechos, la mayoría de ellos en forma de material sólido. Esto no significa que **todo** producto industrial acabe convirtiéndose en un desecho definitivo. En efecto, algunos productos se utilizan como materia prima para otras manufacturas, en tanto que algunos otros, por ejemplo el jabón, pueden ser utilizados como alimentos por organismos vivos. Según se indicó ya anteriormente, los materiales que pueden ser consumidos por organismos vivos son **biodegradables.** Sin embargo, el hecho de que un producto de desecho sea biodegradable no significa necesariamente que sea innocuo para el ecosistema en el que es descartado. Por ejemplo, si bien el petróleo es degradado por las bacterias, el proceso es muy lento, y los productos bituminosos vertidos a lo largo de una línea costera destruirán acaso más alla de toda recuperación, un ecosistema determinado, mucho antes de que las bacterias consuman alquitrán.

En este capítulo vamos a examinar los orígenes de los desechos sólidos, la extensión en que vuelven a la circulación y los problemas y cuestiones que implica su eliminación. Excluimos los desechos radiactivos, que se examinaron ya en el capítulo 4.

7-2 LAS FUENTES DE LOS DESPERDICIOS SOLIDOS

Tal vez la característica más notable de los desechos sólidos sea su diversidad. Estamos familiarizados con las clases de desecho de nuestros

CUADRO 7-1. Principales categorías de desechos industriales

Acetileno, desechos	Hortalizas, desechos
Agrícolas, desechos	Inorgánicos, residuos
Algodón	Ladrillos, manufactura, desechos
Alimentos, preparación, desechos	Lana
Almidón	Latón
Aluminio	Lechería, desechos
Amapola	Madera, desechos
Animales, productos, residuos	Magnesio
Antimonio	Manganeso
Avena	Melazas
Arroz	Mica
Asbesto	Mineral, lana
Asfalto	Molibdeno
Azúcar, fibra de caña	Muebles
Azúcar, remolachas	Municipales, desechos
Azufre	Nilón
Bauxita, residuo	No ferroso, metal viejo
Berilio	Nueces
Bismuto	Orgánicos, desechos
Bronce	Papel
Cadmio	Pescado
Café	Pescado y mariscos
Cal	Petróleo, residuos
Calcio	Piedra, astillas
Cáñamo	Pintura
Carbonáceas, conchas	Pirita, escoria y desechos
Carbón	Plástico
Carburos	Plomo
Caucho	Preciosos, metales
Cenizas, escoria y polvo de chimenea	Pulpa y papel
Ceniza, muy fina	Químicos, desperdicios
Cerámica, desechos	Refractario
Cerveza, desechos de destilación y fermentación	Sal, destilaciones
Cinc	Salmuera, líquido
Circonio	Sisal
Cobalto	Sodio
Cobre	Tabaco
Coque, residuos de gas de estufa	Tántalo
Cromio	Tejas
Cuero, fabricación y curtido, desechos	Tetraetilplomo
Chatarra	Textiles
Chimenea, polvo	Titanio
Desechos de papel	Tungsteno
Destilación, desechos	Uranio
Diamante, polvo de rueda de esmerilar	Vanadio
Escorias	Vidrio
Estaño	Vidrio, lana de
Fermentación, desechos	Yeso
Flúor, desechos	Ytrio
Fotográfico, papel	Zircón, aleación
Fruta, desechos	
Fundición, desechos	
Galvanización, residuos	
Germanio	
Hidrógeno, fluoruro, escoria	
Hierro	
Hojas	

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

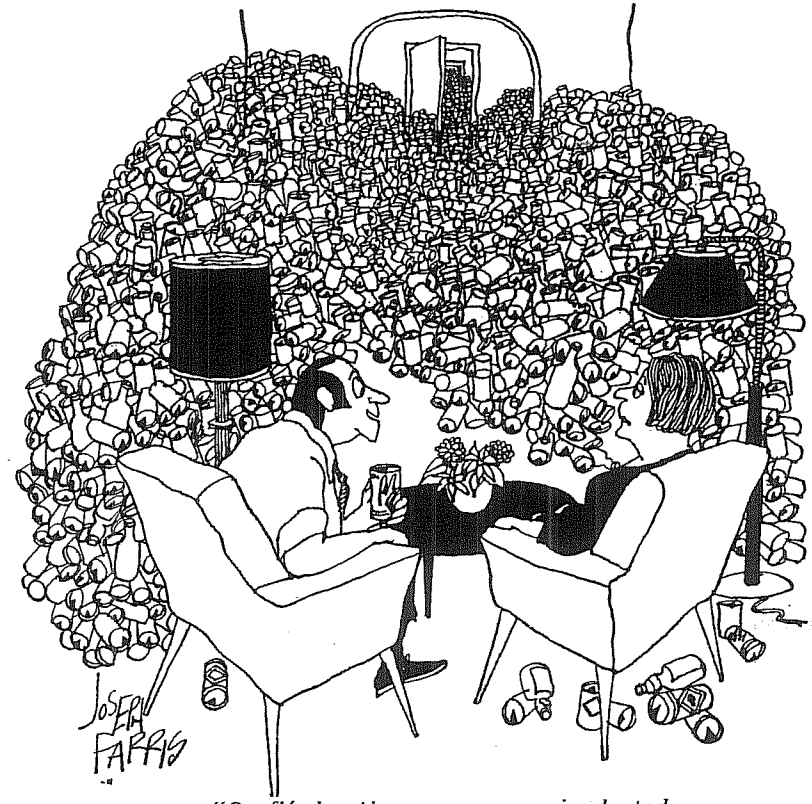
botes de basura. Además, hay desperdicios combustibles, tales como papel, cartón, madera y hojas; los hay no combustibles, como el vidrio, las botellas, la loza, las latas, la escoria y la ceniza de los hornos, y hay además grandes objetos, como los automóviles, los muebles, los aparatos y las alfombras desechados. Sin embargo, los hogares sólo contribuyen en una pequeña proporción al total de los desechos sólidos descartados en Estados Unidos de Norteamérica, y no constituyen más que una fracción de su diversidad. El cuadro 7-1 es una clasificación de las fuentes industriales, compilada por la Oficina de Administración de los Desechos Sólidos, del U. S. Department of Health, Education, and Welfare. Algunos de estos materiales de desecho son más o menos biodegradables, algunos son combustibles, algunos son tóxicos, algunos despiden olores repelentes y algunos son inertes, pero todos ellos ocupan lugar.

7-3. METODOS DE ELIMINACION

Hay dos clases de caminos posibles para los materiales de desecho sólidos: se los puede volver a la circulación en algún otro proceso, o se van acumulando en algún lugar. Por supuesto, una determinada fuente de desecho podrá volver a circularse parcialmente y, en parte, acumularse. Las botellas de refrescos no retornables no vuelven a la circulación, de modo que han de acumularse todas en algún lugar, aunque no necesariamente juntas. Las botellas de depósito, en cambio, sí vuelven a la circulación, pero no completamente, ya que algunas no vuelven nunca porque se rompen, se pierden o se descuidan. El número promedio de recorridos que una botella de depósito solía hacer era de aproximadamente 30, pero es el caso que la indiferencia del consumidor ante un depósito de dos a cinco centavos de dólar reducía, de hecho, los recorridos a aproximadamente cuatro, antes de que se pasara a las botellas no retornables. La última cifra significa que la botella "corriente" saldrá cinco veces de la fábrica y volverá a ella cuatro veces, para no volver a ser vista jamás después de la quinta salida. Así, pues, si un gran número de botellas, de historias fortuitas, deja la planta de embotellamiento en un momento dado, cuatro de cada cinco tendrán por delante un recorrido circular, y una estará destinada al depósito de hierro viejo. Por consiguiente, la fracción que vuelve a ser circulada es de cuatro quintas partes, u 80 por 100; lo que sigue siendo una proporción relativamente alta.

Las cantidades totales de desechos sólidos son grandes y van en aumento. El promedio fue en Estados Unidos de Norteamérica, en 1920, de aproximadamente 1 Kg per capita en un día, y de unos 2 Kg en 1965. En las áreas urbanas, el promedio es mucho mayor, y llega a unos 3.5 Kg diarios en algunas ciudades.

El automóvil de desecho constituye un problema particularmente molesto, y lo que ha ocurrido en este dominio en los años recientes es parecido, en cierto modo, a lo que tuvo lugar en el paso de las botellas de depósito a las botellas no retornables. Hasta hace unos pocos años, en efecto, el valor del acero y otras partes de un coche viejo eran lo bastante altos para inducir a su propietario a venderlo como chatarra. Sin embargo, debido a los cambios en la producción y la economía, que han reducido la necesidad de hierro viejo, resulta que, ahora, llevar un coche al depósito de chatarra cuesta con frecuencia más de lo que vale. Es como si al automóvil, al igual que a la botella de refresco, se le pusiera una etiqueta de "sin depósito, no retornable". Esta situación se ha traducido en una proporción creciente de abandono de coches viejos



"Confiésalo. Ahora que van a recircular toda esta basura, ¿no te alegras que no la echara?

FIG. 7-1. (De Saturday Review of Literature, 3 de julio de 1971. Por Joseph Farris.)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

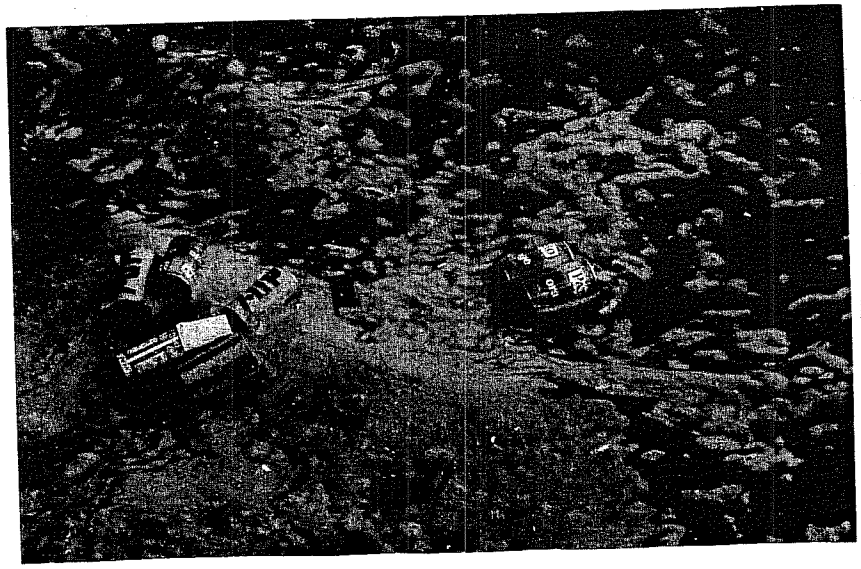


FIG. 7-2. *Medio ambiente* — Robert Charles Smith.

en las calles de las ciudades. El total para la ciudad de Nueva York, fue, por ejemplo, en 1969, de 57 000.

¿Adónde van todos estos desechos sólidos? En ocasiones tenemos la impresión que hay chatarra por todo el paisaje. Pero es lo cierto, con todo, que la distribución dista mucho de ser casual. Aunque una parte sea vertida en extensiones de agua, los desechos sólidos suelen amontonarse en su mayor parte en la tierra, por regla general, después de algunos tratamientos y concentraciones preliminares.

ELIMINACION TERRESTRE

El depósito más primitivo de desechos es el vaciadero al aire libre. Su funcionamiento es más bien sencillo. Los desechos se reúnen y, para ahorrar espacio y gastos de transporte, se comprimen. La compresión es efectuada por un ama de casa, cuando aplana o aprieta un saco de basura, o mediante un equipo especialmente concebido para viviendas individuales o múltiples, o por camiones de desechos del tipo envasador, utilizados en Estados Unidos de Norteamérica desde 1950, que reducen el material hasta no más de un tercio de su volumen inicial. Los desechos comprimidos son llevados al vaciadero, por lo regular en la mañana, y se esparcen por el suelo, efectuándose en ocasiones otra compresión por medio de rasadoras mecánicas. La materia orgánica se pudre o es consumida por insectos, ratas o, si se permite, por cerdos. Durante el día podrán tener lugar diversas operaciones de recuperación. En efecto, las botellas, los trapos, las baratijas y especialmente el hierro viejo son recogidos por ropavejeros o por individuos particulares para su propio uso. En algunas comunidades, la acumulación es quemada al atardecer (o se enciende acaso espontáneamente), para reducir el volumen total y dejar expuesto más hierro viejo para su recuperación. Por supuesto, la degradación orgánica, la combustión y la recuperación son operaciones de recirculación. Sin embargo, el vaciadero al aire libre presenta algunos inconvenientes graves. En efecto, el medio ambiente biológico difiere de aquellos concebidos por el hombre (agricultura y ganadería) y de aquellos que se han ido constituyendo en los ecosistemas naturales, y no está controlado, por consiguiente, por los mecanismos reguladores comunes a uno y otro. El resultado es que los organismos que se multiplican en el vaciadero no suelen ser del tipo inofensivo para el hombre. En otros términos, el vaciadero es un manantial potencial de enfermedades, especialmente de las que son transmitidas por las moscas y las ratas. Tampoco los fuegos están controlados y, por consiguiente, desprenden humo y son contaminantes. El agua de lluvia, al circular, penetra en el vaciadero y agita una cantidad de materia disuelta y en suspensión, incluidos microorganismos patógenos, que son contaminantes del agua. Y además, por supuesto, los vaciaderos son feos.

Un método más ventajoso de eliminación terrestre es el relleno higiénico de tierra, en el que cada capa de desechos es recubierta por una capa de tierra, arcilla o grava. Para el funcionamiento eficiente, los desechos han de estar bien comprimidos, y los objetos grandes (como los muebles) han de hacerse pedazos. En esta forma, los desechos no están expuestos al aire, a los bichos o a los roedores, pero sí están sujetos a la descomposición bacteriana, de modo que la biodegradación tiene lugar en una forma que evita la contaminación, las enfermedades y la fealdad. En la práctica, la distinción entre el relleno higiénico de tierra y el vaciadero al aire libre no siempre es muy estricta. Por ejemplo, una capa delgada de tierra constituirá acaso una barrera ineficaz contra las ratas que excavan, las moscas que emergen de las larvas, los gases que se forman en la descomposición o los contaminantes que se disuelven en el agua.

Hay dos aspectos a largo plazo de la eliminación terrestre, que merecen particular atención. Uno de ellos es que semejante eliminación representa una pérdida efectiva de determinados suministros no renovables de metales, especialmente de cobre, cinc y plomo. El segundo es ciertamente el más obvio, esto es: el carácter de la tierra cambia. En algunos casos, esto se ha considerado como una ventaja; por ejemplo, allí donde se rellena una tierra pantanosa y se crean nuevas zonas para

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

el desarrollo de residencias, comercios o industrias. Sin embargo, semejante conversión no representa en modo alguno una ganancia gratuita, ya que las tierras pantanosas son necesarias para la subsistencia de muchas variedades de aves y de vida acuática, y su pérdida conduce a graves trastornos ecológicos.

Cuando no se dispone de tierras pantanosas, suelen utilizarse como vaciaderos otras zonas bajas, porque se necesita menos trabajo para llenar un hoyo que para formar un montón. Pero es el caso que la pérdida de las zonas bajas trastorna en ocasiones los tipos de desagüe, dando lugar a una contaminación aumentada del agua y a riesgos de inundación. Desde el punto de vista ecológico, suele ser más satisfactorio evitar semejantes problemas formando montones de desechos en lugares que sean lo suficientemente altos, de modo que no constituyan partes necesarias del curso natural del agua. Un nombre que no deja de ser apropiado para semejante rasgo, en crecimiento, del paisaje es el de "Monte Basurero".

INCINERACION

Un método cada vez más utilizado en las áres metropolitanas es el de la incineración. El proceso, en cuanto aplicado a la eliminación de desechos, es más complicado que el que consiste simplemente en prender fuego a un montón de basura en un vaciadero al aire libre. Habrá acaso que considerar en la incineración no menos de cuatro aspectos. El primero es la combustión misma del material de desecho; la cámara en que tiene lugar se designa como horno. El segundo comprende la eliminación del residuo: las cenizas o "escoria". El tercero es el del control de los contaminantes que resultan del proceso de la combustión. Esto puede tener lugar mediante una segunda cámara de combustión para completar la oxidación de todos los gases no quemados que provienen del horno, así como por otros dispositivos, para eliminar la materia en partículas llevadas por el aire antes de que el gas de escape sea liberado hacia la atmósfera. Finalmente, el calor podrá ser recuperado para algún propósito útil, tal como la generación de vapor de proceso o de energía eléctrica. Este último aspecto, el empleo de basura para producir electricidad, suena atractivo. Semejante recuperación se ha practicado en Europa durante muchos años, pero no, en cambio, en Estados Unidos de Norteamérica, donde la compensación de los costos con otros métodos de generación de energía antiguos se ha considerado como desfavorable. Sin embargo, el contenido calórico potencial de nuestros desechos aumenta, por que se está descartando, cada vez más y más, celulosa seca (en forma de papel y carbón). Este factor, juntamente con el costo aumentado de la tierra, contribuirá tal vez a que las operaciones de recuperación del calor de los desechos sean consideradas más favorablemente.

El proceso de incineración presenta las siguientes ventajas: *a)* elimina el problema de la salud inherente a la acumulación de desperdicios; *b)* reduce el volumen de los desechos sólidos en aproximadamente 80 por 100 y requiere, por consiguiente, mucha menos tierra para la eliminación final de sus residuos; *c)* puede tratar una mezcla de basura y cascajo sin separación previa; *d)* puede utilizarse en ella equipo de una gran diversidad de tamaños, desde unidades de vivienda hasta grandes incineradores municipales centrales, capaces de tratar más de 1 000 toneladas al día; *e)* los residuos (escoria) son inertes e inodoros y relativamente fáciles de manipular. Sin embargo, la incineración tiene el inconveniente, exactamente lo mismo que el montón de basura, de desperdiciar materias primas.

7-4 RECIRCULACION

El examen de la sección precedente ha mostrado que la acumulación y la recirculación no siempre se excluyen mutuamente. La putrefacción y la combustión sirven para recircular algunos desechos, pero no todos, de modo que los vaciaderos siguen creciendo. Sin embargo, determinados procesos implican fundamentalmente una recirculación total. Algunos ejemplos notables de ellos son la conversión en abono, el derretir la pirólisis y la recuperación industrial.

La **conversión en abono**, es la biodegradación acelerada controlada de la materia orgánica húmeda en un producto parecido al humus, que puede utilizarse como fertilizante o acondicionador de la tierra.

El **derretir** consiste en cocer desechos animales, tales como la grasa, los huesos, las plumas y la sangre, para obtener tanto un producto graso llamado sebo, que constituye una materia prima para el jabón, como un producto no graso, que tiene un alto contenido en proteína y puede utilizarse como ingrediente del alimento para animales.

La **destilación destructiva o pirólisis** es el proceso mediante el cual un material es descompuesto por calentamiento en ausencia de aire. Se ha encontrado que pueden recuperarse productos valiosos mediante la pirólisis de desechos municipales (fig. 7-3), y este método está siendo adoptado en algunas localidades. Otra ventaja es la de que el equipo para la pirólisis es esencialmente un sistema cerrado y, por consiguiente, no descarga contaminantes en la atmósfera.

La **recuperación industrial** comprende una diversidad muy grande de procesos; sin embargo, el objetivo común es el de recircular materiales de desecho reconduciéndolos a los procesos de manufactura. La recuperación de desperdicios de metal tiene además el efecto importante complementario de conservar recursos no renovables.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

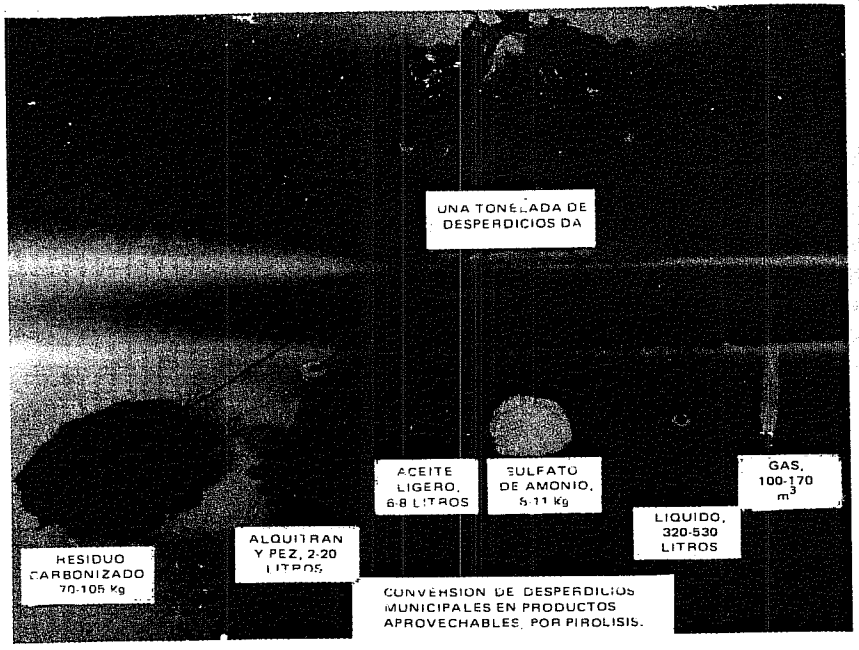


FIG. 7-3. Destilación destructora. Las fracciones orgánicas de los desperdicios municipales pueden pirolizarse térmicamente para producir varios productos secundarios. (De Kenahan: Solid wastes. Environmental Science and Technology 7:597 [julio de] 1971. Cortesía de American Chemical Society.)

Se comprende fácilmente que las operaciones de recirculación alteran en menor grado el ecosistema de la Tierra y, por consiguiente, son más deseables que las operaciones de no recirculación. Sin embargo, las decisiones no siempre favorecen las primeras. La razón está en que no todas las personas susceptibles de estar afectadas por la compensación necesaria participan en la decisión. A título de ejemplo, consideremos brevemente el proceso del derretimiento descrito más arriba. La materia prima para la planta de derretir comprende desechos de una gran diversidad de orígenes —granjas, mataderos, carnicerías, plantas de elaboración de pescado, plantas avícolas y fábricas de conservas. Si no hubiera plantas de derretir, estos desechos impondrían por una parte una grave carga complementaria a las plantas de tratamiento de aguas negras, y añadirían, por otra parte, contaminantes a los ríos y los lagos y alimentarían organismos patógenos. En cambio, en la planta de derretimiento, los materiales de desechos son esterilizados y convertidos en productos útiles, tales como el sebo, y alimento para pollos. Pero es el caso que el proceso de la cocción engendra olores. Esto sólo puede controlarse por

medios tales como la incineración, pero es el caso que todo método de control está sujeto a interrupciones ocasionales, como las que podrían tener lugar a consecuencia de una falta de corriente. La localidad cerca de la planta de derretir juzgará acaso que los inconvenientes son mayores que las ventajas, pero la decisión se basa únicamente en consideraciones locales, en tanto que otras localidades, cuyos desperdicios animales son objeto de nuevo tratamiento, no participan en la decisión. En esta forma, los criterios de compensación no son establecidos por ecólogos sino que los fijan la ley y la costumbre. No podemos predecir si los criterios de compensación ecológicamente sanos empezarán o no a preferirse a tiempo para prevenir trastornos de los que no nos podamos recobrar.

PROBLEMAS

1. Clasifíquese el destino de cada uno de los productos manufacturados siguientes, en cuanto a si será objeto de recirculación biológica, de recirculación industrial, o se acumulará en forma de desechos sólidos, a saber: la pasta hecha de caseína (una proteína de la leche); una botella de exprimir, de polietileno, utilizada como recipiente para mostaza; un tubo de drenaje de cobre de una casa derrocada, vendido a un tratante en hierro viejo; un suéter de lana, una corona de oro de un diente extraído; el acero de un automóvil que es devuelto a la fundición como chatarra; una botella de refresco "sin depósito"; el poso de café que el lector ha utilizado esta mañana para preparar su café matutino.

2. Se ha sugerido que dispongamos de los desperdicios sólidos poniéndolos en órbita alrededor de la Tierra. ¿Qué piensa el lector de la viabilidad de este plan? Apoye su respuesta con argumentos.

3. Explíquese la diferencia entre un vaciadero al aire libre y un relleno higiénico de tierra.

4. Expónganse las compensaciones económicas y ecológicas entre el empleo de tierras bajas o altas como lugares de depósito de desechos.

5. Examínense las ventajas y los inconvenientes ecónomicos y ecológicos de la incineración y la recirculación, como métodos de eliminación de desechos.

Los problemas siguientes requieren cálculos aritméticos.

6. Calcúlese el porcentaje de recirculación de botellas de depósito si el número medio de recorrido por botella era de 30.

RESPUESTA

6. 30/31, ó 97 por 100.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

BIBLIOGRAFIA

Hay considerablemente menos literatura sobre el tema de los desechos sólidos de la que hay sobre las contaminaciones del aire o del agua. La mayoría de los libros populares sobre el medio ambiente que se citan en la bibliografía del capítulo 1 incluyen algún examen de los desperdicios sólidos. Para mayor información técnica, véanse:

Richard B. Engdahl. *Solid Waste Processing.* Public Health Service Publication No. 1856. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1969. 72 págs.

R. A. *Fox. Incineration of Solid Wastes.* New York: Robert A. Fox, 1967. 81 págs.

C. H. Lipsett. *Industrial Wastes and Salvage.* New York: Atlas Publishing Co., 1967.

R. D. Ross, dir. *Industrial Waste Disposal.* New York: Litton Educational Publisher, Van Nostrand – Reinhold Books, 1968. 340 págs.

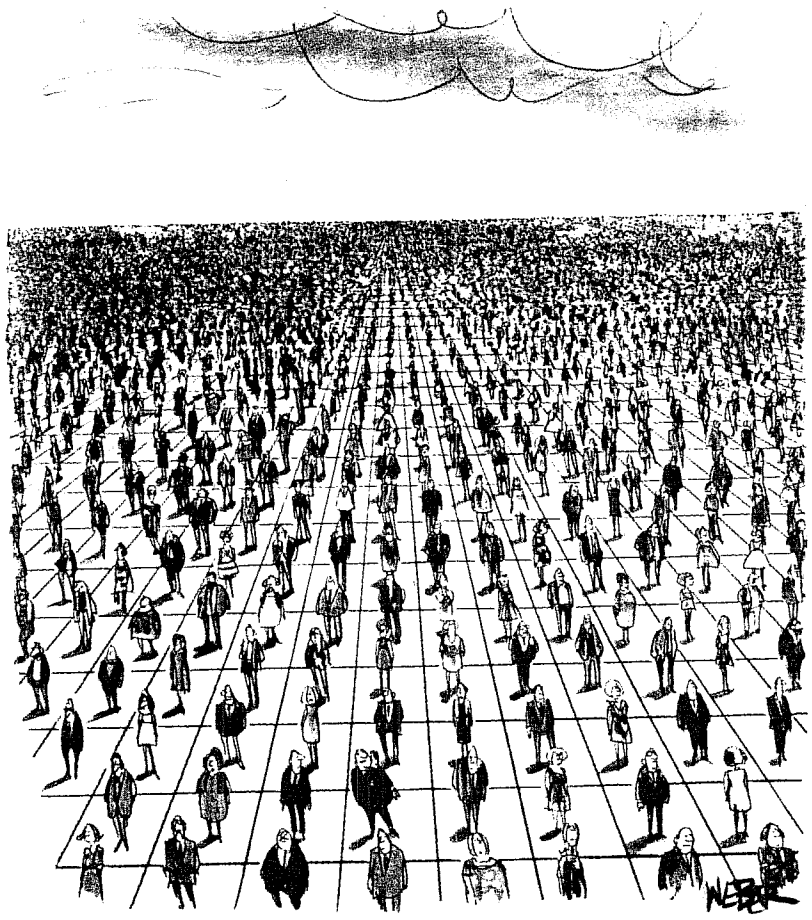
Automobile Disposal – A National Problem. United States Bureau of Mines. Washington, D. C.: U. S. Government Printing Office, 1967, 869 págs.

8

EL CRECIMIENTO DE LAS POBLACIONES HUMANAS

8-1 INTRODUCCION

Los años setentas prometen ser un decenio de un crecimiento sin precedentes de la población. No sólo traerá cada año un aumento en el número total de las personas sobre la Tierra, y no sólo se espera que se haga mayor cada año la proporción del crecimiento, sino también la proporción de esta proporción, esto es, la aceleración experimentará también probablemente un rápido ascenso. Nuestros abuelos no vivieron tiempos de un cambio tan rápido. Las apreciaciones relativas a las poblaciones del mundo antes del siglo xx son muy imprecisas. (En efecto, inclusive los datos actuales son aproximados para una parte muy grande de Africa, para toda China y para varias otras regiones.) Las pruebas antropológicas sugieren que el hombre moderno hizo su aparición en el curso de la evolución hace unos 100 000 años. Durante los tiempos prehistóricos, la población humana total de la Tierra hubo de fluctuar grandemente. En algunos años había más defunciones que nacimientos, lo que ocasionaba un descenso temporal de la población humana. En cambio, para el siglo I de nuestra era, la población había establecido ya su ritmo actual de crecimiento continuo. Sin duda, las tasas de crecimiento eran muy lentas y sumamente variables, pero es el caso que cada decenio se veía a más gente en la Tierra. El Renacimiento señaló en Europa el comienzo de un rápido aumento en la población mundial. En la época del descubrimiento de América había aproximadamente 250 millones de personas vivas sobre la Tierra. En 1650, aproximadamente un siglo y medio más tarde, la población mundial había doblado, siendo



"Perdone, señor, estoy dispuesto a hacerle a usted una proposición interesante por su cuadro." (Dibujo de Weber; ©1971, The New Yorker Magazine, Inc.)

de aproximadamente de 500 millones. En otros 300 años, la población mundial había de aumentar en cinco veces, hasta 2 500 millones de personas. Durante los años cincuentas, la población aumentó casi otros 500 millones y, para 1970, la población del mundo era de aproximadamente 3 500 millones de personas. En otros términos, el *aumento* de la población mundial de 1950 a 1970 fue de aproximadamente dos veces el *volumen* de la población mundial en 1650. O bien, consideremos otra comparación. Hoy en día hay más gente en China de la que había sobre la Tierra en 1650. U otra: viven actualmente las dos terceras partes de todas las personas nacidas desde el año 1500.

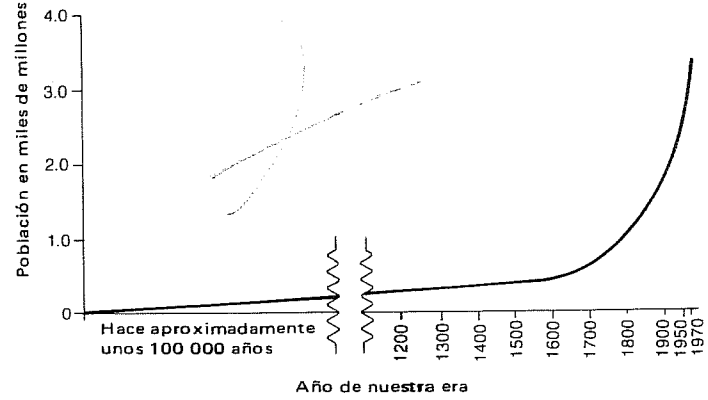


FIG. 8-1. Volumen de la población mundial, desde la aparición del *Homo sapiens* hasta 1970.

La figura 8-1 presenta una gráfica esquemática del volumen de la población mundial desde la aparición del hombre moderno. Téngase presente, con todo, que la regularidad de la curva refleja ignorancia de los detalles de los datos relativos a la población, más bien que regularidad en el aumento de ésta. Es obvio que la curva del crecimiento se está poniendo cada vez más empinada. Y de hecho, una mirada a la figura 8-1 podrá causarnos pánico, ya que si la población sigue creciendo en forma cada vez más rápida, o inclusive si siguie creciendo a su velocidad actual, no transcurrirá mucho tiempo antes de que haya más gente de la que la Tierra puede soportar. Y si hay pobreza y hambre ahora, ¿cómo podría esperarse que el desarrollo económico y agrícola mantenga el paso con una población que crece en forma explosiva? Cabe esperar que la destrucción de tierra, el agotamiento de los recursos naturales, la producción de desechos y la contaminación de la Tierra aumentarán con el crecimiento de población. El lector habrá oído probablemente predicciones funestas con fundamento en la extrapolación de la curva de crecimiento de la figura 8-1. Una profecía que ha adquirido carta de naturaleza, tanto en revistas legas como en periódicos científicos, dice que si la velocidad presente del aumento de la población mundial sigue en esta forma, habrá una persona por metro cuadrado de la superficie de la Tierra en menos de 700 años. Si aceptamos la premisa, la conclusión se hace necesaria. Pero sabemos que la conclusión ha de ser falsa. En efecto es imposible que los individuos subsistan en este planeta con los codos tocando. Un metro cuadrado de superficie terrestre no puede alimentar, vestir ni abrigar una persona. Así, pues, la premisa ha de ser insostenible. En otras palabras, la población humana no puede seguir creciendo a la velocidad actual de modo indefinido. En realidad, esta

Preparatoria abierta Online | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

forma de razonamiento debe convencernos de que el *tamaño de la población no puede crecer indefinidamente*, ni siquiera muy lentamente. Se verá obstaculizado, en efecto, por factores tales como los límites de espacio y alimento, por decisiones concretas de las familias y las naciones, por hambre y enfermedades, y por fuerzas sociales complicadas que se relacionan entre sí.

Con todo, es de la mayor importancia, manifiestamente, saber a dónde va la curva de la figura 8-1. Una de las razones por las que necesitamos semejantes apreciaciones es la de que podamos planear para el futuro. Cuántos alimentos han de producirse durante el próximo decenio. ¿Cuántas escuelas habría que construir? ¿Por dónde deberían pasar las carreteras? ¿Dónde deberían situarse los parques? ¿Las centrales eléctricas? Sin algunos métodos para anticipar el crecimiento futuro de la población, los planificadores se encontrarían ante dificultades insuperables. A fin de que estas preguntas no parezcan implicar que el crecimiento de la población actúa como una fuerza inexorable e independiente, queremos subrayar que los factores económicos y sociales contribuyen a condicionar el volumen de la población del mismo modo que el volumen de la población es uno de los condicionantes de las situaciones sociales y económicas. Por ejemplo, una sociedad cultivada y bien alimentada tiende típicamente a aumentar lentamente. Porque los individuos se dan cuenta, en ella, de la necesidad del control de población y se sienten motivados a practicarlo. E inversamente, una sociedad que crece lentamente tiene probabilidades de estar bien alimentada.

Otra razón en favor de que necesitemos saber cómo predecir el crecimiento de la población es de carácter político. En efecto, si podemos llegar a una apreciación razonablemente aproximada del volumen de la población en alguna fecha futura y podemos mostrar que es demasiado grande para ser compatible con el bienestar social, tenemos en manos un arma numérica con que luchar para la aplicación de las medidas de control de la población. Y para poder apreciar por nosotros mismos la validez de los enunciados, las predicciones y las propuestas relativas al volumen de la población, también nosotros necesitamos comprender el mecanismo del crecimiento de la misma.

Terminamos esta introducción con cuatro enunciados falaces, que sirven de ejemplos de la manera poco crítica de pensar acerca de la población. El primer enunciado proviene de la recomendación de un grupo que aboga por el control de población, en tanto que los otros tres son parafrasis de enunciados tomados de textos sobre la ecología humana. Más adelante, al final de la sección 8-3, nos serviremos de los instrumentos desarrollados en ese capítulo para analizar las cuatro falacias.

a) Para mantener una población humana constante, ninguna familia debería tener más de dos hijos.

Preparatoria abierta Online | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

b) La medicina moderna, al prolongar la vida de las personas ancianas, ha contribuido en gran medida a la explosión de la población.

c) Puesto que la explosión de la población presenta un carácter universal, resulta indicado estudiar el crecimiento de la población mundial, en lugar de fijarnos solamente en el de una región determinada.

d) Puesto que no hay migración alguna hacia la Tierra y fuera de ella, para estudiar el crecimiento de la población humana sólo necesitamos considerar las muertes y los nacimientos, pudiendo prescindir de las migraciones de un país a otro.

8-2 EXTRAPOLACION DE LAS CURVAS DEL CRECIMIENTO DE LA POBLACION

Hicimos observar en la sección precedente que el método más obvio para predecir el crecimiento de la población consistía en construir una gráfica que relacione el volumen de la población con el tiempo y conjeturar cómo la curva se prolongará. El conjeturar puntos en una curva fuera del margen de la observación se designa como **extrapolación**. La extrapolación es un arte sutil. Véase la figura 8-1. Si no supiéramos las funciones respectivas de los ejes y se nos invitara a prolongar la curva, ¿qué haríamos? Semejante ejercicio es frívolo. En efecto, una persona supondrá acaso que la curva seguirá subiendo indefinidamente, en tanto que otra dibujará tal vez una curva que suba hasta un punto culminante y luego caiga por debajo de cero. Y otra la proseguirá por ventura haciéndola subir un rato, para dejar luego que corra plana. Y otra más pensará acaso que la curva podría hacerse oscilante y errática. En cambio, si supiéramos que estamos haciendo una gráfica de la población, podríamos excluir rápidamente determinadas clases de curvas. En efecto las poblaciones tanto infinitas como negativas serían imposibles; una población cero sería sumamente improbable por muchos años, y las grandes fluctuaciones serían asimismo poco probables. Es el caso, sin embargo, que con exclusiones no lograríamos construir nuestra curva. Por otra parte, si tuviéramos una teoría del crecimiento de la población, dispondríamos de una base para la extrapolación.

Un modelo de mecanismos de crecimiento de población fue introducido en 1798 por el Reverendo Thomas Robert Malthus. Este observó que la población, si no se la controlaba, crecía en **proporción geométrica**. Por ejemplo, si había x personas en el año 0 y ax en el año 1 (en que a es mayor que 1), habría $a(ax)$, o a^2x, en el año 2; a^3x en el año, 3, y a^nx en el año n. Y Malthus seguía diciendo que, en cambio, la reserva de alimentos sólo aumenta en **proporción aritmética**, esto es, que si había y Kg de alimentos en el año 0, habría $y + a$ en el año 1, $y + 2a$ en el año 2, $y + na$ en el año n. El cuadro 8-1 presenta ejemplos de

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

ambos tipos de crecimiento. En la figura 8-2*A*, los dos tipos de curva de crecimiento están representados gráficamente. El crecimiento geométrico es mucho más rápido que el aritmético; por consiguiente, predecía Malthus, cualquier población, si no se la controla, acabará haciéndose demasiado grande para la reserva de alimentos. Y proseguía:

> Según esta ley de nuestra naturaleza, que hace que el alimento sea necesario para la vida del hombre, los efectos de esas dos fuerzas desiguales han de mantenerse iguales.
>
> Esto implica un control vigoroso y constante sobre la población, por la dificultad de la subsistencia. Esta dificultad se situará en algún sitio y habrá de ser percibida gravemente por una gran parte de la humanidad . . .
>
> . . . La raza de las plantas y la raza de los animales se reducen por efecto de esta ley restrictiva. Y la raza del hombre no puede, por esfuerzo alguno de la razón, substraerse a ella. Entre las plantas y los animales, sus efectos son desperdicios de semillas, enfermedad y muerte prematuras. Y entre la humanidad, son pobreza y vicio.*

Las premisas en que se basa la teoría de Malthus no se han revelado históricamente como ciertas. Primero, debido a las rápidas mejoras en las técnicas agrícolas, la reserva de los alimentos humanos ha aumentado mucho más rápidamente que en proporción aritmética y, en segundo lugar, las curvas de crecimiento en proporción geométrica no describen apropiadamente los aumentos de la población humana. Sin embargo, no

CUADRO 8-1. Comparación entre los crecimientos geométrico y aritmético

Ejemplo:

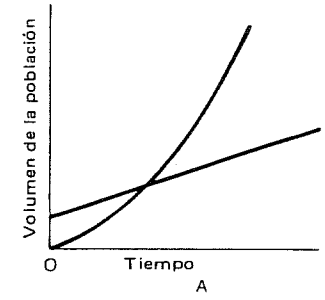
x = 10 personas
y = 45 Kg de alimentos
a = 2

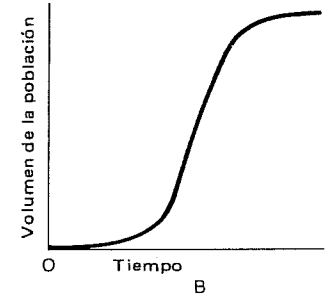
Año	*Crecimiento geométrico*	*Crecimiento aritmético*
0	10 personas	45 Kg
1	$2 \times 10 = 20$	$(2 \times 1) + 45 = 47$
2	$2^2 \times 10 = 40$	$(2 \times 2) + 45 = 49$
3	$2^3 \times 10 = 80$	$(2 \times 3) + 45 = 51$
4	$2^4 \times 10 = 160$	$(2 \times 4) + 45 = 53$
.	.	.
.	.	.
.	.	.

* T. R. Malthus, *An essay on the principle of population.* Publicado originalmente en 1798. Reimpreso en G. Hardin, dir. *Population, Evolution and Birth Control* (San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1969). págs. 7-8.

puede negarse el fondo del argumento maltusiano, porque existen efectivamente límites al número de las personas que la Tierra puede soportar y, a menos que el crecimiento se controle relativamente, algo por el estilo de "la miseria y el vicio" maltusianos *afligirá* efectivamente a la humanidad.

El carácter inapropiado de las curvas geométricas para predecir los volúmenes futuros de la población ha conducido a la busca de otras





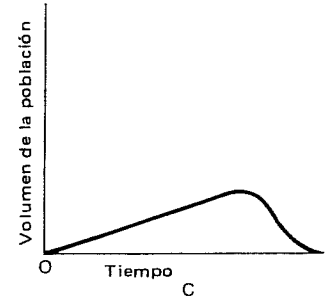


FIG. 8-2. Curvas esquemáticas de crecimiento. *A*, Tipos de crecimiento aritmético (recta) y geométrico (línea curva). *B*, Curva sigmoide de crecimiento. *C*, Curva de crecimiento de una población que se extingue.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

representaciones gráficas del crecimiento. Observando que los volúmenes de población han de tener límites, los ecólogos describen a menudo el crecimiento de la población en los términos siguientes. Consideremos alguna población que inicialmente sea muy pequeña. El mismo hecho de que sea pequeña la pone en peligro de extinción, porque podrá no estar en condiciones de recuperarse de reveses como son las epidemias, la carestía o una reproducción mediocre. Inclusive si tales factores no destruyen totalmente la población, limitarán, sin embargo, su velocidad de crecimiento y, por consiguiente, la población sólo crecerá al principio lentamente. En cambio, una vez la población establecida, su volumen subirá más rápidamente, a condición de que haya alimento suficiente, relativamente pocos depredadores, y condiciones favorables de vida. Cuando la población se hace grande con respecto tanto a la reserva de alimentos como a la vulnerabilidad a los depredadores, y tan densa que las enfermedades se propaguen rápidamente, la velocidad de crecimiento disminuye. La curva conjunta de crecimiento se ve como una S y se designa como "sigmoide", o parecida a una S. La figura 8-2*B* muestra la forma de una curva sigmoide. Sin embargo, la curva sigmoide, aunque con frecuencia resulte útil, no describe, con todo, todas las poblaciones. Sin duda, las poblaciones que se extinguen exhiben una curva de crecimiento muy distinta (véase fig. 8-2*C*). Por otra parte, la curva sigmoide es rara vez útil para predecir los innumerables cambios que tienen lugar en los tipos de crecimiento de las poblaciones humanas. Por ejemplo, veamos una vez más la figura 8-1 de la gráfica del volumen total de población desde la llegada del hombre sobre la Tierra. Inclusive si todos estamos de acuerdo en que la curva acabará haciéndose sigmoide, el examen de la figura 8-1 no proporciona dato alguno, con todo, acerca de cuándo empezará a formarse la cabeza de la S. En efecto, si hubiéramos contemplado la curva que describe el crecimiento desde los comienzos del hombre hasta 1 600 no hubiéramos obtenido idea alguna de cuándo la población empezaría a crecer rápidamente. Un método mucho más seguro es el que consiste en considerar no los cambios del volumen total de la población con el tiempo, sino los tipos de cambio en las *velocidades de crecimiento*. Para este fin, el lector necesita comprender qué son los ritmos de crecimiento y de qué modo la mortalidad y la natalidad afectan el volumen de las poblaciones. Ha de estar en condiciones de percibir la relación entre el crecimiento actual y futuro, y el descenso. En resumen, necesita conocer los elementos de la demografía.

8-3 DEMOGRAFIA

La demografía es la rama de la antropología que trata del estudio estadístico de las características de las poblaciones humanas, con referencia al volumen total, a la densidad, al número de muertes, a las enfermedades y migraciones, etc. El demógrafo trata de construir un perfil numérico de la población que estudia. Considera las poblaciones como grupos de gente, pero no se interesa profesionalmente por lo que le ocurre a un individuo determinado cualquiera. Quiere conocer hechos relativos al volumen y la composición de las poblaciones. Por ejemplo, le interesará acaso conocer el número de varones en una determinada población, o el número de bebés nacidos en un año determinado.

Además de estudiar la composición de las poblaciones, el demógrafo está interesado en averiguar cómo cambian las poblaciones con el tiempo. Estudia los cambios contando el número de **acontecimientos vitales**. Esto es, los nacimientos, las muertes, los matrimonios y las migraciones. Si supiera la composición de una población en un momento determinado y el número de acontecimientos vitales que tienen lugar entre dicho momento y otro, sabría la composición de la población al final del periodo. Por ejemplo, supongamos que en 1924 la población de alguna aldea era de 732. Si en los dos años siguientes hubo 28 nacimientos y 15 defunciones, y si cuatro personas se establecieron y una se fue, habrían: 732 + 28 − 15 + 4 − 1 = 748 personas al final de 1926.

Los demógrafos estudian a menudo las **tasas vitales** esto es, el número de acontecimientos vitales que le ocurren a una población durante un periodo determinado de tiempo, dividido entre el volumen de la población. Por ejemplo, la natalidad de 1968 en Estados Unidos de Norteamérica es el número de nacimientos de 1968 dividido entre la población de 1968. (Puesto que la población misma cambia durante un año determinado, el volumen de la población se define a menudo como el número de personas vivas en la mitad del año, esto es, el 30 de junio.)

Antes de considerar las tasas demográficas, hemos de comprender cómo crece la población. Si tenemos 100 dólares en el banco al interés acumulado del 3 por 100, sabemos que al final del año tendremos 103 dólares. Podemos concebir el 3 por 100 como actuando sobre cada dólar en la población de dólares que tenemos en el banco. Por consiguiente, cada dólar individual crece hasta 1.03 dólares; o podemos también decir que cada dólar está creciendo al ritmo anual de 3 por 100. El hecho de que saquemos un dólar del banco no afectará la tasa de crecimiento de los dólares restantes.

Pero, ¿qué significa decir que una población crece al 3 por 100? Sin duda, si supiéramos que 100 personas estaban vivas el 1o. de enero y 103 el 31 de diciembre siguiente, la tasa anual de crecimiento habrá sido de

$$\frac{(103 - 100)}{100} \times 100 \text{ por } 100 = 3 \text{ por } 100$$

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

En cambio, si pensáramos que el 3 por 100 actuaba sobre cada persona, necesitaríamos pensar que cada persona se había convertido en 1.03 personas. ¿Qué significa esto? Una tasa de crecimiento del 3 por 100 significa solamente que, por cada 100 personas, hubo tres nacimientos e inmigraciones más que muertes y emigraciones. Inclusive en el caso muy simple en que solamente hay nacimientos, la eliminación de una persona de la población afectará la tasa de crecimiento de los demás. Supongamos que tenemos 100 personas el 1o. de enero y que hay tres nacimientos, ninguna defunción y ninguna migración durante el año. El 31 de diciembre tendríamos 103 personas, o sea un aumento del 3 por 100. Supongamos ahora que sólo consideramos 99 personas, dejando de lado un bebé. Seguiría habiendo tres nacimientos, porque los nacimientos no les ocurren a los bebés. Así, pues, habría 99 + 3 = 102 personas, y la tasa anual de crecimientos sería de:

$$\frac{102 - 99}{99} \times 100 \text{ por } 100 = 3.03 \text{ por } 100$$

Por otra parte, supongamos que consideramos la tasa de crecimiento de la población excluyendo no un bebé, sino una de las mujeres que tuvo un niño. Ahora tendríamos dos nacimientos por 99 personas, y la tasa de crecimiento sería:

$$\frac{101 - 99}{99} \times 100 \text{ por } 100 = 2.02 \text{ por } 100$$

Este ejemplo, muy sencillo, ha puesto de manifiesto, con todo, algunas de las dificultades a las que se enfrenta el que estudia el volumen de la población, pero conduce también a tres puntos importantes de comprensión que son necesarios para un enfoque eficaz de la investigación del crecimiento, a saber:

a) La "tasa general de crecimiento" es realmente la diferencia entre una tasa de adición (por nacimiento o inmigración) y una tasa de substracción (por muerte o emigración). La tasa de crecimiento es solamente positiva si hay más adiciones que substracciones.

b) La probabilidad de morir o de dar a luz en un año determinado varía según la edad y el sexo.

c) La composición por edad y sexo, o **distribución**, de la población ejerce un efecto profundo sobre las tasas de crecimiento.

Para investigar el crecimiento de la población, resulta útil suponer que la población que estamos estudiando consta de tres subpoblaciones definidas por la edad. La clase de edad prerreproductiva es la que comprende todas las personas de menos de 15 años, la clase de la edad reproductiva comprende a todo el mundo entre los 15 y los 45 años, y

la clase posreproductiva comprende a todas las personas de más de 45 años. ¿Cómo afectan los acontecimientos vitales cada una de estas clases? Suponemos que solamente un número negligible de nacimientos tiene lugar fuera de la clase de edad reproductiva.

La muerte le puede ocurrir a cualquiera. Es el caso, sin embargo, que las tasas de las muertes son funciones de la edad. Nos interesan, pues, las tasas de mortalidad específicas de cada edad, esto es: el número de personas de una determinada edad que mueren en un año determinado, dividido entre el número total de personas de aquella edad. En términos generales, dichas tasas suelen ser altas en la infancia, llegan a su nivel más bajo a aproximadamente los 10 años, y luego aumentan lentamente. Se hacen más altas que las tasas de mortalidad infantil en algún momento después de los 60 años.* Determinados acontecimientos o condiciones de carácter social producirán cambios en este tipo general de tasa de mortalidad. Por ejemplo, la mortalidad de las madres es muy alta en las sociedades primitivas. Y los jóvenes en los países azotados por la guerra tienen tasas de mortalidad excepcionalmente altas. Además, en los países pobres, las tasas de mortalidad específicas de la edad no alcanzan el nivel de la mortalidad infantil hasta muy tarde en la vida. Esta edad es en Tailandia, por ejemplo, más de 80 años. La figura 8-3 presenta algunos datos recientes de mortalidad correspondientes a cuatro países. Suecia representa una nación de muy baja mortalidad durante toda la vida; Estados Unidos de Norteamérica es un ejemplo de un país rico con tasas muy altas de mortalidad infantil; Tailandia ejemplifica una sociedad falta, en gran parte, de atención médica moderna. Los datos de la población africana de Guinea, en 1955, muestran una tasa de mortalidad sumamente alta. Obsérvese especialmente que las gráficas de las tasas de mortalidad específica de la edad se cruzan mutuamente. En particular, para las personas de más de 75 años, la tasa de mortalidad es más alta en Suecia que en Estados Unidos de Norteamérica, y estos dos países tienen tasas considerablemente más altas que Tailandia.

Se sostiene a menudo que las enfermedades infecciosas, la carestía y los desastres naturales limitan pronunciadamente las poblaciones. En términos generales, esto es cierto, pero el efecto preciso de ello sobre el crecimiento futuro depende de la edad de las víctimas de la catástrofe.

* La mortalidad infantil suele definirse como:

$$\frac{\text{Número de muertes de bebés de menos de un año de edad en un periodo de tiempo determinado}}{\text{Número de nacimientos vivos en el mismo periodo dado de tiempo}}$$

La definición de "nacimiento vivo" varía de un país a otro, lo que hace que las comparaciones de las tasas internacionales de mortalidad infantil resulten más bien equívocas.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

En efecto, si las víctimas se encuentran en el grupo de edad posreproductivo, el desastre ejercerá poco efecto sobre el volumen futuro de la población. Puesto que con frecuencia una gran proporción de las víctimas son las personas ancianas, permitir que los desastres restrinjan el crecimiento de la población es a la vez ineficaz e inmoral.

Los nacimientos, aunque les ocurran a miembros de la clase de edad reproductiva, añaden nuevos miembros a la clase prerreproductiva. Al examinar las tasas de natalidad, resulta útil considerar únicamente a las mujeres. **La fecundidad** de una mujer es la probabilidad que tiene de dar lugar a un nacimiento. La fecundidad está influenciada por factores tanto biológicos como sociológicos. Se dice que una mujer es **fecunda** si es biológicamente capaz de concebir y dar a luz niños. La fecundidad de una mujer es cero antes de la pubertad, aumenta durante la adolescencia y los primeros de los años veintes, y luego decae, al principio lentemente y luego rápidamente, para volver, finalmente, a cero. Por supuesto, sin embargo, las mujeres no tienen bebés durante todo su periodo fecundo. Determinados tipos de patrones sociales influyen grandemente sobre las probabilidades de dar a luz. Considérese primero la edad a la que las mujeres se casan. En aquellas sociedades primitivas en las que la edad corriente del matrimonio es muy temprana, las mujeres tienden a tener bebés durante todo su periodo reproductivo. En las sociedades en las que el matrimonio se difiere, el número efectivo de años durante los cuales las mujeres conciben es mucho más reducido. En Irlanda, por ejemplo, en donde la edad promedia de las mujeres que han llegado a casarse durante una gran parte de este siglo ha sido de 30 años, la reproducción ha resultado diferida hasta después del periodo más fecundo. (Sin embargo, en el decenio pasado, el promedio de edad ha bajado a 25 años.)

Otros factores sociales que afectan fuertemente los niveles de fertilidad son las actitudes políticas y religiosas que estimulan o frenan los nacimientos; el papel que desempeña la mujer en la sociedad; la cantidad de tiempo que pasa el padre fuera del hogar, y las actitudes relativas al deber del niño como productor durante la infancia y como soporte de sus progenitores en su edad avanzada.

El número de nacimientos está condicionado no sólo por los tipos de fecundidad, sino también por el número de mujeres en las clases de edad reproductiva, lo que, a su vez, depende del número de las que llegan a los 15 años, de los patrones de migración y, por supuesto, de la mortalidad durante los años reproductivos.

Los tipos de migración no afectan grandemente el crecimiento, excepto cuando migra una proporción importante de la población, especialmente si los migradores son predominantemente de un sexo. Por ejemplo, en el siglo pasado, muchos jóvenes irlandeses emigraron, dejando atrás un excedente de mujeres. Por consiguiente, hubo muchas

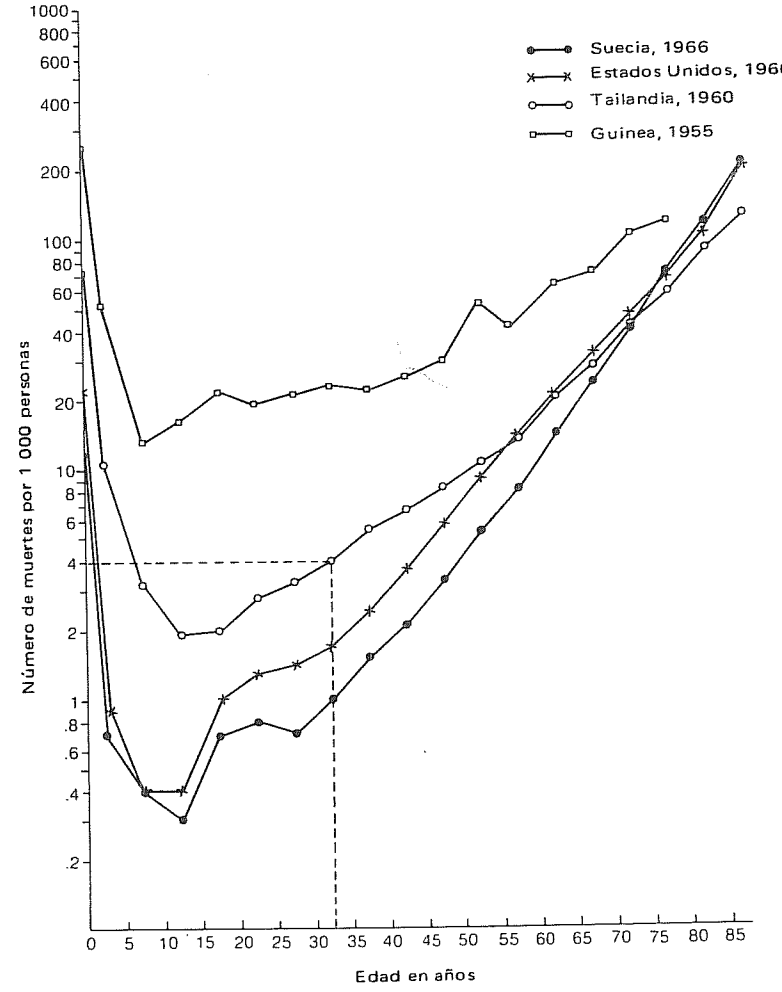


FIG. 8-3. Tasas de defunción específicas de la edad, de 4 países seleccionados.

Ejemplo. El punto de intersección en las líneas punteadas nos indica que en Tailandia la tasa de mortalidad fue, en 1960, para el grupo de edad de 30 a 35 años, de 4 por cada 1 000. Este enunciado puede expresarse asimismo por medio de la ecuación siguiente:

$$\text{Tasa de mortalidad en Tailandia en 1960} = \frac{\text{Número de personas del grupo de edad de 30 a 35 años en Tailandia, que murieron en 1960}}{\text{Número total de personas del grupo de edad de 30 a 35 años, en Tailandia, en 1960}} \times 1\,000$$

$$= 4$$

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

mujeres sin niños. E inversamente, a principios de este siglo, había muchos más hombres que mujeres en Estados Unidos de Norteamérica. La diferencia puede atribuirse en gran parte al hecho de que las fuertes inmigraciones de aquel periodo fueron de tipo predominantemente masculino. La guerra y el servicio militar constituyen ejemplos de los otros patrones sociales que eliminan a individuos de la edad reproductiva, con carácter temporal o permanente, de la población.

El número real de bebés nacidos cada año depende tanto de la proporción de mujeres de la edad reproductiva que dan lugar a un nacimiento en un año determinado como del volumen de la categoría de la edad reproductiva. Por consiguiente, han de tenerse en cuenta los dos elementos para poder predecir con cierta aproximación los cambios de población que tendrán lugar.

Además de considerar los acontecimientos vitales, nuestra división tripartita de la población nos obliga a recordar que, en cualquier momento dado, los miembros de una población están avanzando en edad. En efecto, cada año, los individuos que llegan a 15 años o que llegan a los 45 dejan un grupo de edad para ingresar en el otro.

Consideremos ahora una población hipotética, de tasas vitales específicas fijas de la edad, por ejemplo, una población representada por una de las curvas de la figura 8-3. Además, supongamos que podemos doblar el número de los que viven en cualquier año de edad que nosotros elijamos. (Esto supone una población con tasas de mortalidad no inferiores a 50 por 100. Véase en el cuadro 8-2 una demostración del hecho de que doblar a los supervivientes no es lo mismo que dividir en dos la tasa de mortalidad.) ¿Qué edad deberíamos elegir para doblar si buscamos el aumento mayor posible de población? Obviamente, obtendremos el máximo efecto si reducimos la mortalidad infantil (las muertes de la edad 0 a la edad 1), porque si a largo plazo no hubiera más cambios en las tasas, dos veces tantos bebés viables conducirían, en exactamente un siglo, a doblar el volumen de la población. Por otra parte, si fuéramos a doblar el número de las personas sobrevivientes de más de 80 años, el volumen de la población apenas cambiaría. ¿Por qué? En primer lugar, no son muchas las personas que llegan a 80 años y, en segundo lugar, aun las personas sanas de más de 80 años no pueden sobrevivir por mucho tiempo más y, finalmente, la gente anciana no tiene bebés.

Para comprender los efectos numéricos de la reducción de la mortalidad infantil compararemos Chile, en 1934, con Suecia, en 1970. En Chile, la tasa de mortalidad infantil fue sumamente alta en 1934 —¡262 muertes por cada 1 000 nacimientos vivos! En contraste, la mortalidad infantil fue en Suecia, en 1970, de aproximadamente 13 defunciones por 1 000 nacimientos vivos. ¿Qué habría sucedido con la población de Chile, después de 1934, si todas las tasas de nacimiento y de mortalidad

CUADRO 8-2. ¿Por qué no es lo mismo dividir la tasa de mortalidad entre dos que doblar la tasa de supervivencia?

Ejemplo 1.* División de la tasa de mortalidad entre dos

	(1) *Tasa de mortalidad/1 000*	(2) *Tasa de supervivencia/1 000*	
Partición sucesiva ↘	1 000	0	Cambio decreciente ↓
	500	500	
	250	750	
	125	875	
	.		
	.		
	.		
	8	992	
	4	996	
	2	998	
	1	999	

Ejemplo 2. Duplicación de la tasa de supervivencia

	Tasa de supervivencia/1 000	*Tasa de mortalidad/1 000*	
Duplicación sucesiva ↗	1	999	Cambio creciente ↓
	2	998	
	4	996	
	8	992	
	.		
	.		
	.		
	100	900	
	200	800	
	400	600	
	800	200	

* En ambos ejemplos, la columna (2) = 1 000 − columna (1)

hubieran permanecido constantes, pero la mortalidad infantil hubiera bajado repentinamente en cambio, a niveles vecinos de los de Suecia? Resulta fácil comprender que la reducción repentina de la mortalidad infantil, sin cambio concomitante en la tasa de nacimientos, habría conducido prontamente a un aumento rápido de la población total. En 1934, la probabilidad de que todo bebé nacido en Chile llegara a la edad de un año era de 75 por 100. Si llegaba al año, la probabilidad de que llegara a los 15 años era de aproximadamente 90 por 100. Así, pues, por cada 1 000 bebés nacidos, solamente 650 llegaban a la edad reproductiva. Por otra parte, si la mortalidad infantil se hubiera reducido a aproximadamente 13 por 1 000 al año, y si todas las demás tasas de mortalidad hubieran permanecido inalteradas, aproximadamente 900 de cada 1 000 bebés habrían llegado a los 15 años. Esto habría

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

representado aproximadamente un 30 por 100 de aumento en el número de las personas que habrían alcanzado la edad reproductiva. Además, si las tasas de mortalidad en la edad prerreproductiva entera se hubieran reducido al nivel de Suecia, 950 de cada 1 000 personas habrían llegado a los 15 años, produciendo otro pequeño aumento más en el crecimiento de la población.* Así, pues, la reducción de las tasas de mortalidad en los años prerreproductivos, sin cambiar las tasas de nacimiento, puede provocar un aumento muy rápido de la población.

Históricamente, una gran parte de la explosión actual de la población es precisamente esto, a saber: un rápido descenso en la mortalidad infantil sin descenso alguno en la tasa de natalidad. En Europa Occidental, Estados Unidos de Norteamérica, Canadá, Rusia y Japón, tanto las tasas de natalidad como las de mortalidad han decrecido más bien lentamente durante el siglo pasado. En muchos países de Asia, Africa y Latinoamérica, la introducción de la medicina moderna ha conducido a cambios en los tipos de mortalidad, en tanto que las tasas de natalidad se han mantenido relativamente constantes. En forma típica, las sociedades primitivas, desde el punto de vista médico mantienen un equilibrio de población de tasas altas tanto de natalidad como de mortalidad. Cuando la mortalidad infantil baja, las tasas de natalidad se mantienen altas por cierto tiempo, conduciendo a un periodo caracterizado por un crecimiento rápido, resultante de las elevadas tasas de natalidad y de las tasas, de consecución reciente, de baja mortalidad. Este periodo se designa como tiempo de transición demográfica. Las llamadas sociedades desarrolladas se caracterizan por tasas bajas tanto de natalidad como de mortalidad. Han completado la transición bajando las tasas de natalidad. El lector debe comprender que la baja de las tasas de natalidad no se ha producido simplemente, por lo regular, a causa de propaganda o de declaraciones públicas invitando a un cambio. Antes bien, las familias poco numerosas han sido resultado de fuerzas sociales y económicas muy complicadas. Los países desarrollados han ido bajando sus tasas de mortalidad desde hace aproximadamente un siglo. En esta forma, han tenido muchos años para que los tipos de fecundidad cambiaran, y han evitado tasas explosivas de crecimiento. Por otra parte, el desarrollo técnico y económico de dichos países ha conducido a patrones sociales que estimulan, al menos implícitamente, una reducción del número de los nacimientos.

Los países subdesarrollados permanecen hoy en un periodo de transición. Con la asistencia de programas de ayuda, misionarios y otros, estos países han estado en condiciones de bajar sus tasas de mortalidad de modo significativo en unos pocos decenios. Desafortunadamente, sólo

* De hecho, la tasa de mortalidad infantil fue en Chile, en 1967, de 92 muertes por cada 1 000 nacimientos vivos; el porcentaje de los niños nacidos vivos que habían de alcanzar los 15 años fue de aproximadamente 85 por 100.

han dispuesto de tiempo limitado y de recursos escasos para desarrollar los patrones técnicos y sociales que en otros países precedieron el descenso en las tasas de natalidad o coincidieron con él. Esta falta de preparación es una de las razones de que sus tasas de crecimiento suelan ser consideradas con alarma.

Contamos ahora con conceptos demográficos suficientes para analizar las cuatro falacias de la sección 8-1.

a) Para mantener una población humana constante, ninguna familia debería tener más de dos niños.

El limitar el volumen de la familia a dos niños produciría un rápido descenso de la población. Si el tamaño de la familia se limitara a dos, habría muchos menos niños que adultos; algunos adultos no se casarían, y muchas familias o no tendrían hijos o tendrían uno solo; además, no todos los niños sobreviven a la niñez.

b) La medicina moderna, al prolongar las vidas de las personas ancianas, ha contribuido en gran medida a la explosión de la población.

Este enunciado contiene elementos de verdad. Sin duda, los progresos médicos han conducido a un rápido crecimiento de la población. Sin embargo, los progresos en materia de geriatría han ejercido efectos relativamente pequeños sobre el volumen de la población, porque la cantidad real de años de vida añadidos sólo puede ser muy pequeña. (Por ejemplo, aun en las condiciones óptimas de atención médica, es poco probable que a la persona de 80 años le queden todavía muchos años de vida.) Por otra parte, como ya se dijo anteriormente, los ancianos no producen bebés.

c) Puesto que la explosión de la población es de alcance mundial, resulta apropiado estudiar el crecimiento de la población nundial, más bien que centrar la atención en tal o cual regiones determinadas.

Este enunciado revela el descuido o la ignorancia de la complejidad de las curvas de crecimiento de la población. Decir que la población mundial está creciendo en un año determinado en 2.5 por 100 anualmente disimula el hecho de que algunos países están creciendo rápidamente, otros lentamente, y que algunos están inclusive perdiendo población. Inclusive si suponemos que la tasa de crecimiento de cada país vaya a permanecer inalterada durante un decenio, la tasa anual del crecimiento mundial podrá ser acaso muy distinta de 2.5 por 100, en exactamente 10 años. El cuadro 8-3 muestra algunos ejemplos del efecto de diversos componentes del crecimiento sobre la tasa conjunta.

d) Puesto que no se da migración alguna hacia la Tierra ni fuera de ella, para estudiar el crecimiento de la población humana sólo necesitamos tener en cuenta los nacimientos y las defunciones, y podemos prescindir de las migraciones de un país a otro.

Si las migraciones fueran esporádicas y fortuitas, este enunciado tendría más validez. Pero es el caso que los grupos de migradores suelen

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

CUADRO 8-3. ¿Cómo se presentará dentro de 10 años una tasa de crecimiento de la población mundial de 2.5 por 100 anual, si las tasas de crecimiento de los países permanecen iguales?

Tasas particulares	Tasa del crecimiento mundial 10 años más tarde*
Todos los países tienen una tasa de crecimiento de 2.5 por 100	2.5 por 100
La mitad de la población del mundo tiene una tasa de crecimiento de 2 por 100, y la otra mitad de 3 por 100	2.52 por 100
La mitad de la población mundial tiene una tasa de crecimiento de 1 por 100, y la otra mitad de 4 por 100	2.70 por 100

* Fórmula de las tasas de crecimiento:
P_1 = proporción de la población mundial con una tasa de crecimiento de r_1.
y P_2 = proporción de la población mundial con una tasa de crecimiento de r_2.

$$\text{Tasa de crecimiento mundial en 10 años} = \frac{p_1(1+r_1)^{10} + p_2(1+r_2)^{10} - p_1(1+r_1)^9 - p_2(1+r_2)^9}{p_1(1+r_1)^9 + p_2(1+r_2)^9} \times 100 \text{ por } 100$$

ser muy distintos, con respecto a la edad, el sexo y las tasas vitales, de los habitantes de los países que dejan o a los que van. En particular, los migradores suelen ser varones sanos de la edad reproductiva.

8-4 PREDICCION DEL VOLUMEN FUTURO DE LA POBLACION

El examen precedente ha demostrado que la tasa de crecimiento de una población depende, en gran parte, de su distribución en relación con la edad y el sexo. Supongamos, por ejemplo, que conocemos el volumen de población de una determinada ciudad el día 1o. de enero de 1950. Esta información por sí sola nos serviría de poco para predecir cualquier volumen futuro de población; nos sería más útil saber el número de varones y mujeres en edad reproductiva, el número de niños que llegarán pronto a dicha edad y el número de personas ancianas. Una distribución hipotética con respecto a la edad y el sexo de nuestra población se representa gráficamente en la figura 8-4. Obsérvese que la gráfica muestra que hay el mismo número de varones y de mujeres en cada grupo de edad. En particular, hay 500 muchachos y 500 muchachas de menos de 10 años, y 50 varones y 50 mujeres entre los 90 y los 100 años de edad. Por otra parte, hay exactamente 50 varones y 50 mujeres menos en cada década de edad sucesiva. Así, pues, mientras hay

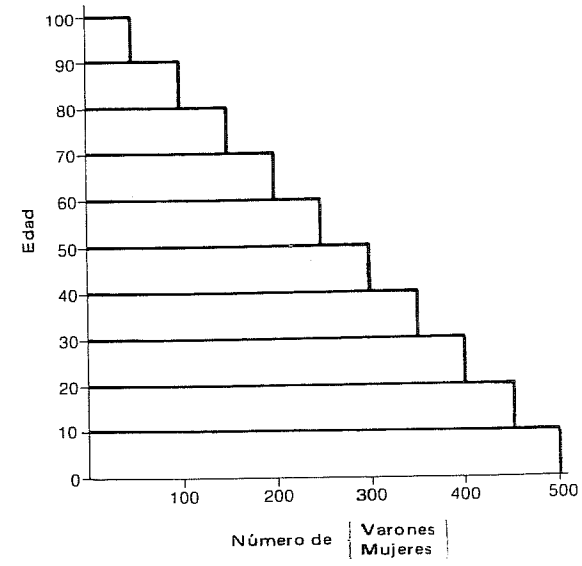


FIG. 8-4. Distribución, relativa a la edad y el sexo, de una población ideal.

300 individuos de cada sexo entre las edades de 40 y 50 años, sólo hay 250 de cada uno entre las de 50 y 60.

¿Se presenta acaso la distribución humana con respecto a la edad y el sexo como en la figura 8-4? En absoluto. La figura 8-4 representaría una población en la que: *a)* los muchachos y las muchachas nacieran a una frecuencia igual; *b)* nacería cada año, durante un siglo, el mismo número de personas; *c)* todo el mundo moriría a la edad de 100 años, y *d)* cada persona tendría, al nacimiento, una probabilidad igual de morir en cada año de su vida. En cambio, en la población humana real, nacen aproximadamente 106 muchachos por cada 100 muchachas.* Ni es tampoco, la probabilidad de morir, constante durante todo el curso de la vida del individuo. En lugar de ello, una proporción relativamente grande de personas muere, según vimos en la sección 8-3, siendo muy jóvenes; relativamente pocos mueren entre las edades de 10 y 50 años, y la proporción de las personas que mueren cada año después de los 50 aumenta rápidamente. Además, hay pronunciadas diferencias en la mortalidad en relación con el sexo (la mortalidad es el número de muertes que tienen lugar en un periodo determinado). Las mujeres tienen una mayor probabilidad de sobrevivir de un año al siguiente, durante todo el curso de la vida, excepto, en algunas sociedades, durante los años de parto.

* Esta cifra representa un promedio mundial. Pero se da una considerable variación topográfica.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

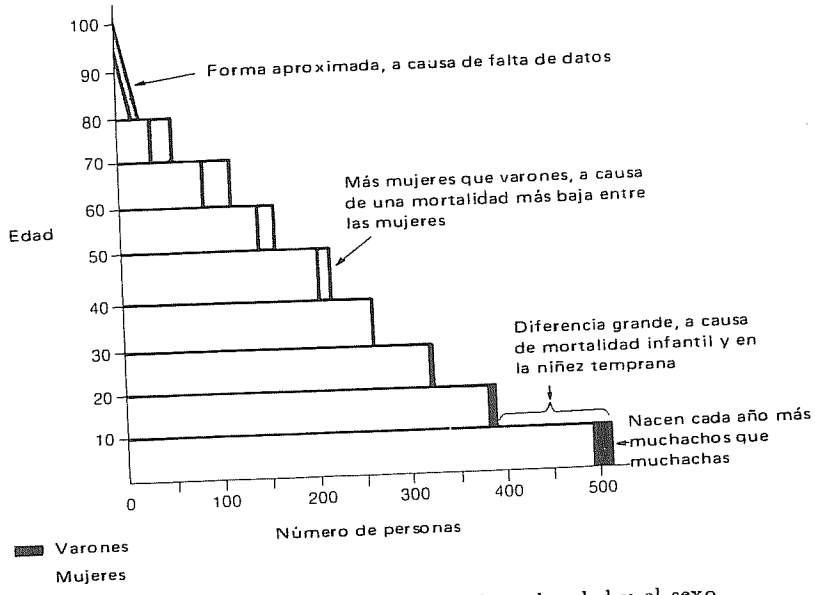


FIG. 8-5. Distribución típica relativa a la edad y el sexo.

Consideremos los efectos de patrones reales de acontecimientos vitales sobre un grupo de personas nacidas todas en un mismo año determinado. (Semejante grupo se designa como **cohorte de nacimiento**. En términos generales, una cohorte es un grupo de personas que tienen algo en común. La cohorte de nacimiento la definen, pues, los demógrafos como un grupo de personas nacidas en un determinado periodo de tiempo, como por ejemplo, un determinado año.) La mayor supervivencia de las mujeres sobre los varones significa que, aunque nazcan más muchachos que muchachas, la proporción de las mujeres con respecto a los hombres aumenta a medida que la cohorte va avanzando en edad. En el momento en que la cohorte es de edad más avanzada, hay considerablemente más mujeres que hombres. Además, los datos suelen reunirse de tal modo que sólo conocemos la población total, de cada sexo, de más de 70, 80 u 85 años. Por consiguiente, las gráficas sólo pueden ser aproximadas para los grupos de edad muy ancianos. La figura 8-5 presenta una distribución en relación con la edad y el sexo que refleja con mayor aproximación estas características demográficas.

Además de estos fenómenos razonablemente predecibles, pueden tener cambios que lo sean menos. En efecto, el crecimiento de la población se ve afectado por acontecimientos tales como la guerra, la carestía, los progresos médicos y los cambios en las costumbres sociales.

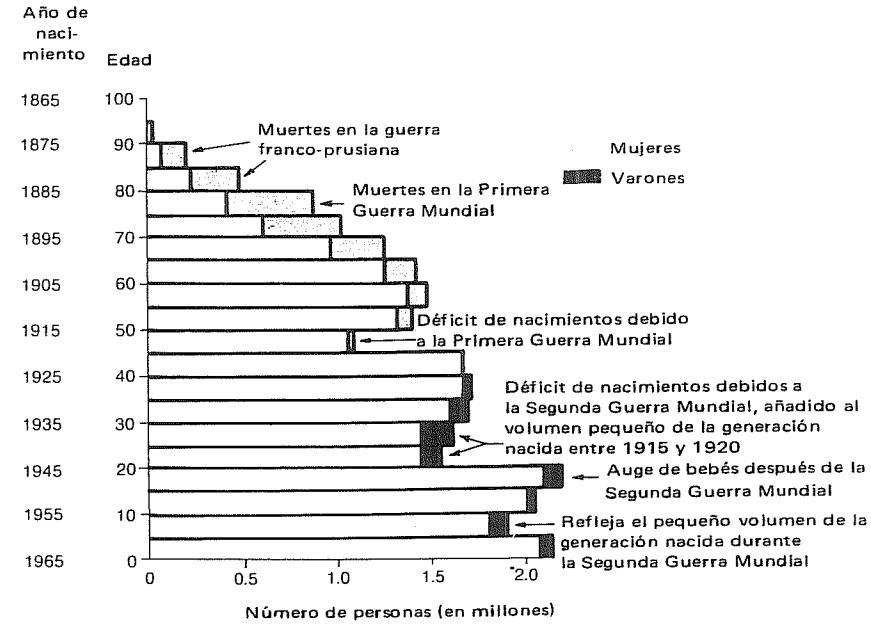


FIG. 8-6. Población de Francia en 1965.

Por ejemplo, la figura 8-6 presenta la distribución en relación con la edad y el sexo, de Francia, en el año 1965. Se trata de una curva muy irregular. Para interpretarla necesitamos conocimientos de muchas disciplinas. Por ejemplo, la gráfica muestra que, en 1965, solamente el 38 por 100 de la población de Francia entre 70 y 74 años eran varones. ¿Por qué tan pocos? Hemos indicado ya que los hombres morían más tempranamente que las mujeres, pero es el caso que la discrepancia observada es mucho mayor de lo que puedan explicar las solas diferencias naturales en las tasas. La historia proporciona la respuesta. Esta cohorte había nacido entre 1890 y 1894. Al estallar la primera guerra mundial, en 1914, la cohorte nacida en aquel periodo de cinco años contaba entre 19 y 23 años de edad. Por consiguiente, sus miembros comprendían a muchos de los hombres que lucharon en aquella guerra. Así, pues, una gran parte de la diferencia en los números de hombres y mujeres en 1965 refleja la mortalidad de los varones franceses durante la primera guerra mundial. Podemos ver inmediatamente de qué modo las curvas de distribución pueden ayudarnos, en ocasiones, a predecir el crecimiento futuro de una población. Podríamos esperar que, puesto que los varones de la cohorte de 1890 a 1894 estuvieron fuera del hogar durante una parte de sus años reproductivos y puesto que tantos fueron

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

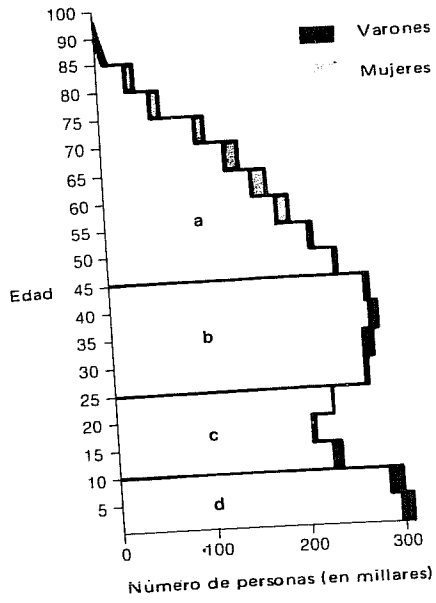


FIG. 8-7. Distribución relativa a la edad y el sexo, en Suecia, en 1950.

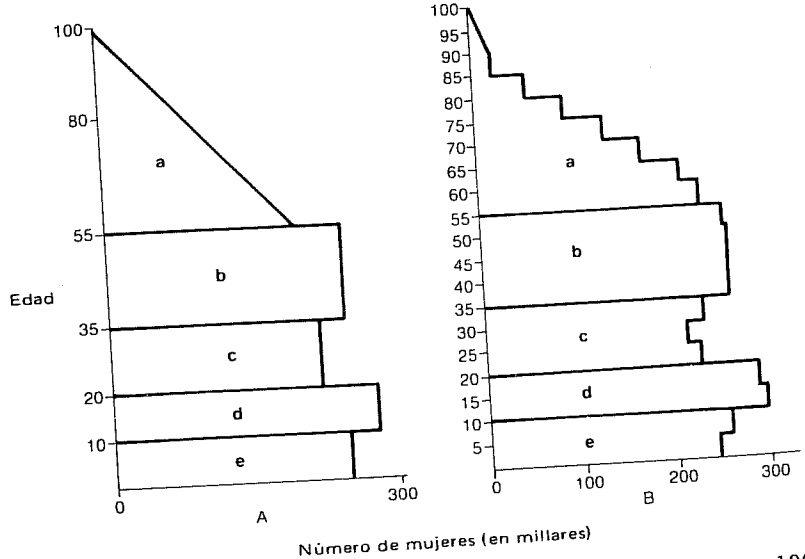


FIG. 8-8. Distribución relativa a la edad de las mujeres, en Suecia, en 1960. *A*, Distribución conjeturada a partir de la distribución de 1950. *B*, Distribución basada en datos del gobierno sueco relativos a la población en 1960.

muertos, debería darse una cohorte muy pequeña aproximadamente una generación más tarde. Y efectivamente, la cohorte de nacimiento de 1915-1920, esto es, de las personas nacidas en su mayor parte durante la primera guerra mundial es muy pequeña.

Para ilustrar otro ejemplo de predicción de crecimiento de la población a partir de la distribución relativa a la edad, examinamos la distribución de la población de Suecia en 1950 (fig. 8-7). La población total era aproximadamente de siete millones de personas en 1950. Obsérvese, primero, que las distribuciones de varones y mujeres son muy similares. Por consiguiente, sólo necesitamos considerar uno de los sexos para examinar el crecimiento de población. Luego vemos que la distribución se separa en cuatro partes distintas. Puesto que la distribución es muy angosta para las personas de edad reproductiva, cabría esperar que la distribución relativa a la edad para las mujeres, 10 años más tarde, se presente en forma algo parecida a la de la figura 8-8*A*. Cada una de estas secciones distintas de la figura 8-7 subiría 10 años en el eje de la edad, cada uno disminuiría en volumen a causa de mortalidad, y la pequeña clase reproductiva produciría un número reducido de nacimientos. Y efectivamente, la forma de la curva real de distribución en 1960, que se muestra en la figura 8-8*B*, es notablemente semejante a la de la figura 8-8*A*. La distribución de los varones relativa a la edad tiene aproximadamente la misma forma.

La curva de población no necesita ser irregular para constituir un buen elemento predictor del crecimiento. La distribución relativa a la edad de las mujeres en India, en 1951, que se muestra en la figura 8-9, parece un triángulo con una base muy ancha. Con fundamento en esta gráfica, cabría esperar que semejante población había de aumentar rápidamente. Por consiguiente supondríamos que la base del triángulo descrita por la distribución relativa a la edad (en 1961) habría de ser, 10 años más tarde, muy ancha. La figura 8-9 muestra que en 1961 la base se había ensanchado considerablemente, que la población total había aumentado en aproximadamente 25 por 100, y que la proporción de la población de menos de 10 años había aumentado de aproximadamente 25 por 100 a aproximadamente 30 por 100.* La distribución de población de 1961 predice una población de aumento más rápido todavía durante los próximos decenios.

Las formas de curvas regulares de población dicen mucho acerca del crecimiento de esta. Las poblaciones de crecimiento rápido tienen bases muy anchas. Las poblaciones que están cambiando en volumen tienen bases relativamente angostas, y las poblaciones en descenso tienen bases contraídas. (Véase la fig. 8-10.)

* El déficit de los de 15 a 20 años no podría haberse predicho en 1951 a partir del examen de la sola distribución.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

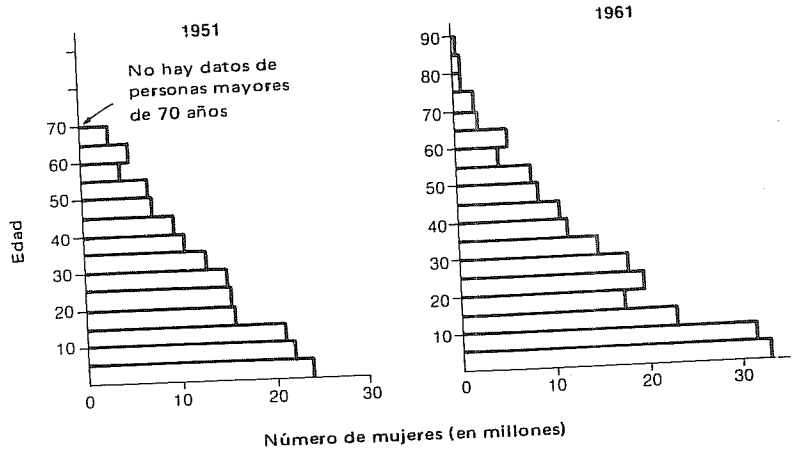


FIG. 8-9. Distribuciones de la edad de las mujeres en India, en 1951 y 1961.

Las predicciones acerca del crecimiento de la población a partir de la sola distribución relativa a la edad no son suficientes si se producen cambios en mortalidad y fecundidad. Por ejemplo, la figura 8-11 muestra que la distribución para Suecia se parecía en 1910 a un triángulo. No sabiendo nada acerca de los cambios en materia de tasas vitales, predeciríamos un triángulo en 1930. Sin embargo, en 1930 la base de la distribución relativa a la edad fue contraída. Un nuevo examen de la figura 8-5 muestra que la base contraída persistió durante la cohorte de nacimiento de 1940. El demógrafo hubiera debido predecir la primera guerra mundial y sus profundos efectos económicos y sociales sobre toda Europa para poder conjeturar apropiadamente el movimiento de la población de Suecia de 1910 a 1930.

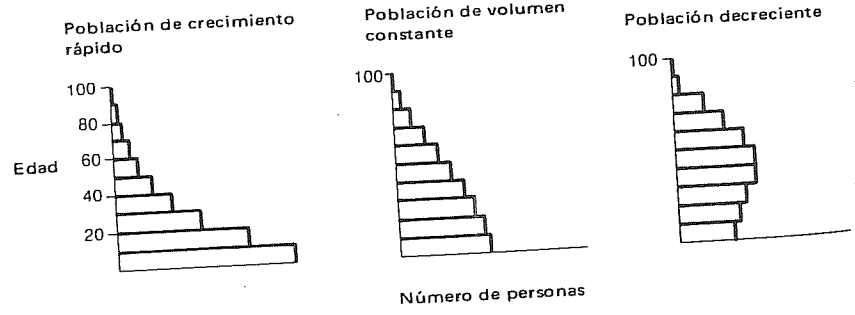


FIG. 8-10. Distribuciones esquemáticas de la edad de la población.

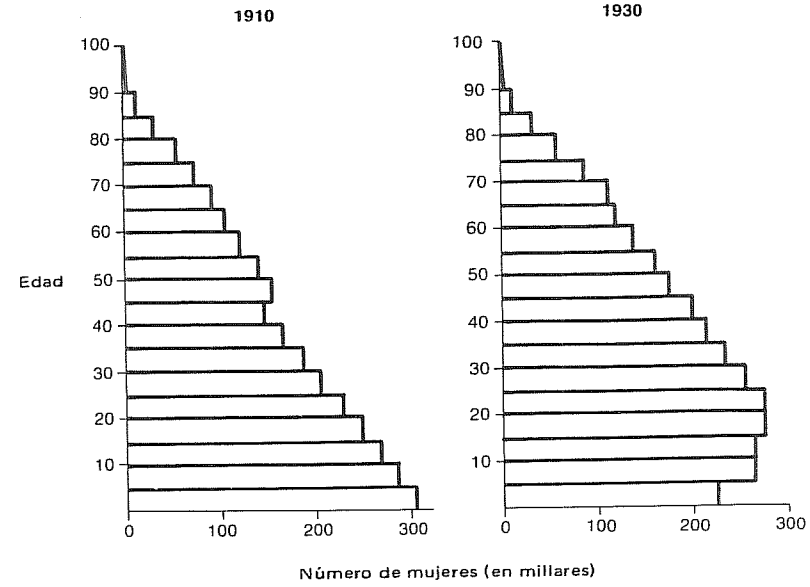


FIG. 8-11. Distribuciones relativas a la edad de las mujeres, en Suecia, en 1910 y 1930.

8-5 LA POBLACION HUMANA EXTREMA

Los ejemplos precedentes han mostrado una forma sencilla de predecir el futuro crecimiento de la población, directamente a partir de las distribuciones actuales relativas a la edad. Hemos mostrado asimismo que las predicciones dependían de conjeturas acerca de las tasas vitales futuras. Los demógrafos cuentan con métodos complicados para conjeturar acerca de los cambios en las tasas, y sus predicciones para periodos breves son con frecuencia muy exactas. Sin embargo, en cuanto a un futuro más distante, no puede efectuarse apreciación segura alguna.

No podemos saber qué será lo que, en última instancia, limite el crecimiento de la población humana. Los pesimistas predicen muerte por hambre en masa, guerra total, destrucción irremediable del agua potable y un trastorno mortal en el equilibrio entre el oxígeno y el bióxido de carbono. Citan las pruebas de canibalismo entre las ratas amontonadas y el suicidio en los lemmings. Los optimistas en cambio, hablan de una autolimitación racional. Sin embargo, resulta razonable conjeturar que los límites, ya sean por cataclismo o racionales, no tendrán lugar sobre una base mundial, sino que dependerán más bien de factores dentro de unidades geográficas más pequeñas. En efecto, los

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

países o las regiones de tasas de natalidad creciente lograrán acaso la autolimitación con pequeñas alteraciones de la vida y del medio ambiente. En países de tasas de crecimiento rápido, en cambio, amenazados con la escasez de alimentos, los mecanismos que limiten la población no serán ciertamente agradables. Es probable que varios reveses precedan las disminuciones significativas de la tasa de natalidad, y eludan así la muerte en masa, real, por hambre. Por ejemplo, podrá darse gradualmente un estado general de subalimentación, conducente tanto a una susceptibilidad aumentada a las enfermedades como a una fecundidad reducida. La destrucción de las aguas potables podrá conducir a epidemias extensas de enfermedades contagiosas. El desarrollo tecnológico, si sigue causando una contaminación aumentada, reducirá la salud general de las poblaciones. Además, estos factores afectan también a otras formas de vida. Por ejemplo, si el agua pura se hace rara, disminuyen las poblaciones de muchas especies, reduciendo las reservas de alimentos del hombre.

Las predicciones acerca del crecimiento posible del hombre han de tener en cuenta las relaciones recíprocas entre el hombre y su medio ambiente. Cuando predecimos la magnitud del crecimiento en algún periodo de tiempo pequeño, es razonable ignorar las poblaciones de otras especies. En cambio, si predecimos a distancia en el futuro, necesitamos tener en cuenta otras formas de vida. No debemos pensar en un crecimiento desenfrenado de la población mundial hasta que ya no haya bastantes alimentos, aire, agua o espacio en que caber. Podemos esperar más bien que el aumento en el volumen de la población produzca una deterioración gradual de los niveles de salud y nutrición y conduzca a aumentos en el número de las regiones del mundo en las que imperen la pobreza y el hacinamiento. Este punto de vista es fundamentalmente malthusiano, pero sin especificar tasas particulares de crecimiento. El único punto optimista en este cuadro, profundamente inquietante, del futuro es que los mismos síntomas que acabamos de enumerar aumentarán los niveles de mortalidad y reducirán los de natalidad, y tenderán, en esta forma, a reducir la población. La cuestión a la que debemos enfrentarnos es si la reducción será o no suficientemente rápida. Después de todo, algunas especies se extinguen porque ellas y su medio ambiente son incapaces de adaptarse mutuamente. Este libro no puede predecir el destino humano. Pedimos al lector que se percate de la gravedad de la cuestión y de que no se la puede resolver considerando gráficas y trazando curvas a ciegas.

PROBLEMAS

1. Defínanse los siguientes términos: tasa, tasa de crecimiento, tasa de cambio.

2. Explíquese por qué el volumen de la población mundial no puede crecer indefinidamente.

3. Examínense algunas de las predicciones relativas al volumen de la población.

4. Esbócese la teoría del crecimiento de la población de Malthus. ¿Cuál es la diferencia entre los crecimientos aritmético y geométrico? La acumulación de los intereses del dinero en un banco, ¿tiene lugar en progresión aritmética o geométrica? ¿Y cómo es esto en el crecimiento en la edad de una persona?

5. ¿Qué es una curva sigmoide? Examínese su utilidad como modelo para el crecimiento de la población humana.

6. Defínanse: demografía, acontecimiento vital, tasa vital.

7. Examínense explicaciones posibles del hecho de que las gráficas de las tasas de mortalidad de la figura 8-3 se cruzan mutuamente.

8. Compárense fecundidad y fertilidad. Examínense factores que las afectan una y otra.

9. ¿Cómo afecta la migración el crecimiento de la población?

10. ¿Cómo sirven las curvas de distribución relativas a la edad y el sexo para predecir el crecimiento futuro? Cítense algunas de sus limitaciones.

11. ¿Cómo esperaríamos que cada uno de los elementos siguientes afecte el crecimiento de la población? Consideremos cuáles son los grupos que tienen más probabilidad de verse afectados por cada acontecimiento y las relaciones recíprocas entre el acontecimiento y el cambio de población: *a)* el hambre; *b)* la guerra; *c)* el descenso de la edad marital; *d)* el desarrollo de un método eficaz de control de la natalidad; *e)* la aparición de una epidemia de cólera; *f)* contaminación grave y crónica del aire; *g)* el descenso de la mortalidad infantil; *h)* la institución de sistemas de seguridad social; *i)* la depresión económica; *j)* el auge económico; *k)* la promulgación de leyes relativas al trabajo de los menores; *l)* el aumento de oportunidades de empleo para las mujeres.

Las preguntas siguientes requieren algunos razonamientos y cálculo aritméticos.

12. Demuéstrese la fórmula al pie del cuadro 8-2.

13. Este problema estudia el tamaño de la familia en su relación con el crecimiento de la población: considérese una población en la que el 10 por 100 de todas las mujeres no tienen niños. El 10 por 100 aproximadamente tienen solamente un niño. Supóngase que todas las demás tienen exactamente dos niños, y que no se produce migración alguna.
    a) ¿Cuántos niños producirá una cohorte de 1 000 mujeres?
    b) Supóngase que el 90 por 100 de los bebés llegan a la edad reproductiva. ¿Cuántos niños susceptibles de llegar a la edad reproductiva producirá la cohorte.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

c) ¿Cuántos niños susceptibles de llegar a la edad reproductiva ha de producir una cohorte de 1 000 mujeres para reemplazarse exactamente a sí misma? (Supónganse números iguales de muchachos y muchachas.)

d) ¿Cuántos niños han de nacer en una cohorte para que ésta se reemplace a sí misma. Esto es, para producir un crecimiento de población igual a cero?

e) ¿Cuál ha de ser el número promedio de bebés producidos por mujer para llegar a un crecimiento de población igual a cero?

f) Cuál ha de ser el número de bebés producido por el 80 por 100 de las mujeres que tienen más de un niño, con objeto de llegar a un crecimiento de población igual a cero.

g) Si las mujeres produjeran el número promedio de bebés supuesto en la parte (e), ¿por qué un crecimiento de población igual a cero no se produciría acaso necesariamente en seguida?

14. En este problema vamos a estudiar las tasas vitales y los cambios en la distribución de la población. Consideremos una población el 1o. de enero de 1970, con la siguiente distribución relativa a la edad y las siguientes tasas vitales. Supóngase que no se da migración alguna.

DISTRIBUCION DE LA POBLACION: 1o. DE ENERO DE 1970

Edad	Población de ambos sexos en millones	Tasa de natalidad/1 000	Tasa de mortalidad/1 000
<1	4	150	0
1–14	40	15	0
15–44	44	10	100
45–64	10	20	0
65+	2	100	0

a) ¿Cuál es la población total representada por el cuadro?

b) ¿Cuál es la tasa de natalidad conjunta (aproximada) por millar y año?

c) ¿Cuál es la tasa aproximada de mortalidad?

d) ¿Cuál es la tasa del aumento natural, esto es, la diferencia en porcentajes entre las tasas de natalidad y de mortalidad aproximadas?

e) Supongamos que hay tres millones de individuos de 14 años de edad, un millón de 44 años, y 500 000 de 64 años. Supongamos que las tasas de mortalidad son las mismas para cada clase de edad (por ejemplo, la tasa de mortalidad de los individuos de 20 años y la de los de 44 años es de 10 muertos por millar y por año). Supongamos que todos los nacimientos ocurren el 1o. de enero y todas las defunciones el 31 de diciembre. Demuéstrese que la distribución de edades el 1o. de enero de 1971 es como sigue:

DISTRIBUCION DE LA POBLACION : 1o. DE ENERO DE 1971

Edad	Población de ambos sexos en millones
<1	4.400
1–14	39.845
15–44	45.525
45–64	10.300
65+	2.290

f) ¿Cuál es la población total del 1o. de enero de 1971?

g) ¿Cuál ha sido la tasa de crecimiento durante 1970? ¿Cómo se relaciona esta respuesta con la respuesta a la pregunta del párrafo (d)? Explíquese.

h) ¿Cómo ha cambiado la forma de la curva de distribución de la población en 1970? Examínense las implicaciones del descenso del grupo de los individuos de 1 a 14 años. ¿Cuál grupo de edad tuvo el mayor porcentaje de aumento?

i) Con objeto de calcular una distribución de la población para 1971, efectuamos en el párrafo (e) muchas simplificaciones. ¿Cuáles fueron? ¿Cuáles serían los efectos sobre nuestras conclusiones, si se hubieran hecho supuestos más realistas?

j) Si hubiera habido migración, ¿cómo se presentaría el crecimiento de la tasa general de población frente a la tasa del aumento general considerado en el apartado (d)?

RESPUESTAS

13. *a)* $[(0 \times 0.10) + (1 \times 0.10) + (2 \times 0.80)] \times 1\,000 = 1\,700$
b) 1 530
c) 2 000
d) $(2\,000/0.9) = 2\,222$
e) 2.2
f) 2.65
g) Depende de la distribución actual relativa a la edad y el sexo. (Véase problema 14.)

14. *a)* 100 millones de personas
b) 44
c) $(.04 \times 150) + (.4 \times 15) + \ldots + (.02 \times 100) = 20.4$
d) 2.36 por 100
f) 102 360 000
g) 2.36 por 100

BIBLIOGRAFIA

Este capítulo ha introducido técnicas demográficas para análisis del crecimiento de la población. Hay varios textos a disposición de aquellos que se interesen por un estudio más detallado de la demografía. Un texto breve pero algo complicado es:

George W. Barclay. *Techniques of Population Analysis.* New York: John Wiley y Sons, 1958. 311 págs.

Una referencia más avanzada y técnica aunque no de carácter matemático es:

Mortimer Spiegelman. *Introduction to Demography,* ed. rev. Cambridge: Harvard University Press, 1968. 514 págs.

Spiegelman incluye una bibliografía muy grande, aunque sin anotaciones, que trata de una gran diversidad de sujetos relacionados con el volumen, el control, la medición, etc. de la población.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Finalmente, para aquellos a quienes gusten las matemáticas, un tratado elegante del análisis demográfico es:

Nathan Keyfitz. *Introduction to the Mathematics of Population.* Reading, Mass.: Addison-Wesley Publishing Co., 1968. 450 págs.

Este texto, muy técnico y matemático, está particularmente cuidado en su presentación de las relaciones recíprocas entre diversas medidas de la composición de la población y las tasas vitales.

Según vimos, los factores sociológicos revisten vital importancia para el estudio del crecimiento de la población. Un texto introductorio práctico que combina la sociografía y l demografía, es:

William Petersen. *Population,* 2a. ed. New York: Macmillan Co., 1969. 735 págs.

Petersen incluye una selecta bibliografía anotada al final de cada capítulo. Un examen sociológico más avanzado es el que presenta:

James M. Beshers. *Population Processes in Social Systems.* New York: Macmillan Co., The Free Press, 1967. 207 págs.

Este libro es útil para aprender las relaciones recíprocas entre los sistemas sociales y los patrones de transición demográfica, fecundidad, migración y mortalidad.

Varios volúmenes de artículos seleccionados ofrecen una lectura sumamente interesante en muchos campos de importancia para el estudiante de la población. Una colección fascinante de ensayos se encuentra en:

Stuart Mudd, dir. *The Population Crisis and the Use of World Resources.* The Hague: Dr. W. Junk, Publishers, 1964. 562 págs.

Otra lectura recomendada es:

Garrett Hardin, dir. *Population, Evolution, and Birth Control,* 2a. ed. San Francisco: W. H. Freeman and Co., 1969. 386 págs.

Algunos libros dan la señal de alarma acerca de nuestro planeta sobrepoblado. Uno de los más populares es:

Paul R. Ehrlich. *The Population Bomb.* New York: Ballantine Books, 1968. 201 págs.

Ehrlich incluye una bibliografía de estudios similares.

Por otra parte hay un argumento importante en favor de un crecimiento moderado de la población en un libro muy atractivo, a saber:

Alfred Sauvy. *General Theory of Population.* Translated by Christophe Compos. New York: Basic Books, 1969. 550 págs.

Para los estudiantes interesados en las fuentes de datos, se recomiendan encarecidamente dos obras, a saber: La fuente más práctica y completa de los datos relativos a la población mundial es el *United Nations Demographic Yearbook,* publicado anualmente desde 1948. Para muchas naciones y regiones del mundo, el *Yearbook* comprende la información más reciente disponible sobre volúmenes de población, tasas vitales y muchas estadísticas demográficas especializadas más.

Otra fuente interesante de datos es:

Nathan Keyfitz y Wilhelm Flieger. *World Population: An Analysis of Vital Data.* Chicago: University of Chicago Press, 1968. 672 págs.

Los autores resumen los datos relativos a varios países, extrapolan diversas medidas demográficas hacia el futuro y efectúan muchos cálculos útiles para el estudiante de la población.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

9

CONTAMINACION TERMICA

9-1 DEFINICIONES E INTRODUCCION

Durante muchos años, la palabra contaminar ha significado "afectar la pureza", ya sea moral* o físicamente.** Los términos de contaminación del aire y contaminación del agua se refieren a la desmejora de las composiciones normales del aire y el agua por la adición de materia extraña, tal como, por ejemplo, ácido sulfúrico. Dos nuevas expresiones, esto es, contaminación térmica y contaminación por el ruido, se han hecho corrientes. Ninguna de éstas se refiere a la disminución de la pureza mediante la adición de materia extraña. En efecto, la contaminación térmica es el deterioro de la calidad del aire o el agua ambientales elevando su temperatura. La intensidad relativa de la contaminación térmica no puede apreciarse con un termómetro, porque lo que representa un agua agradablemente tibia para un hombre causará acaso la muerte de una trucha. Por consiguiente, la contaminación térmica debe apreciarse observando el efecto de un aumento de temperatura sobre un ecosistema. Y en forma análoga, la contaminación por el ruido no tiene nada que ver con la pureza; en efecto, el aire corrompido podrá ser silencioso, y el aire puro podrá ser ruidoso. La contaminación por el ruido (que examinaremos en el capítulo siguiente) es el deterioro de la calidad ambiental del aire por el ruido. Ninguna de estas expresiones se encuentra actualmente en los diccionarios; el que lleguen o no a aceptarse dependería de la extensión en que sigan empleándose en el lenguaje y los escritos.

* (1857) Buckle, *Civilization*, I, viii, pág. 526: "el clero . . . apremiándole a que exterminara los herejes, cuya presencia decían que contaminaba a Francia".

** (1585) T. Washington, trans. *Nicholay's Voyage*, IV; ii; pág. 115: "ni una sola gota de sangre había de caer en el agua, para que esta no se contaminara".

Las circunstancias que intervienen en la producción de calor por los motores que funcionan nos conducen a unos conceptos más bien sutiles en la rama de la física llamada **termodinámica** (*termo* significando calor y *dinámica* trabajo). Es importante examinar estos conceptos si queremos apreciar el carácter de la contaminación térmica. Además, se ha dicho que ninguna persona puede considerarse como intelectualmente cultivada si no comprende la Segunda Ley de la Termodinámica. Por consiguiente, la primera parte de este capítulo debería ayudar al lector a comprender por qué la contaminación térmica es inevitable, y debería eliminar al menos un obstáculo al complemento de su educación.

9-2 DOS CUESTIONES ACERCA DEL CALOR

Se pone petróleo en un quemador, donde reacciona con el oxígeno del aire para producir calor.

Se proporciona petróleo a un motor diesel, donde reacciona con el oxígeno para realizar trabajo, tal como mover un camión cuesta arriba. Pero produce también calor, ya que el motor que trabaja está siempre más caliente que sus alrededores.

Se proporciona petróleo a una planta de energía, donde reacciona con el oxígeno para realizar trabajo, tal como accionar un generador que produzca electricidad, pero también aquí, una vez más, produce calor.

En este capítulo vamos a examinar dos cuestiones: *a)* ¿Es inevitable que se produzca calor, tanto si lo deseamos como no, al realizar trabajo? *b)* ¿Cómo afecta la producción de calor el medio ambiente? Estas dos preguntas no son en modo alguno sencillas, sino que nos conducen a conceptos más bien sutiles y ricos de consecuencias. Para contestar a la primera pregunta, empezaremos examinando el carácter del trabajo.

9-3 TRABAJO POR EL HOMBRE, EL ANIMAL Y LA MAQUINA

Vamos a describir una situación imaginaria —un problema—, que sólo puede resolverse realizando trabajo. Consideraremos luego cuáles métodos podría utilizar el hombre para realizar el trabajo necesario y de qué modo estos métodos afectan la producción de calor.

El problema es este: un deslave hace que una gran roca vaya rodando cuesta abajo; llega a detenerse en una posición en que obstruye la entrada de una cueva, y un hombre desea eliminar esta obstrucción. ¿Qué puede hacer? El hombre primitivo habría tratado de empujarla,

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

hacerla rodar o arrastrarla. Si carecía de la fuerza para apartarla del camino, se hubiera visto obligado a buscar otra cueva. Sin embargo, si podía cooperar con sus congéneres. Tal vez un grupo de hombres trabajando juntos pudo haber estado en condiciones de empujar, o hacer rodar, o arrastrar la piedra fuera del camino. La situación resultaría mejorada todavía si el individuo hubiera aprendido a domesticar animales grandes y a utilizarlos como bestias de carga y de labor. Sin embargo, un desarrollo mucho más eficaz para realizar trabajo sería la invención de máquinas. La palanca, la rueda, el rodillo, el tornillo, el plano inclinado, y más adelante, el engranaje y el aparejo de poleas fueron todos ellos dispositivos susceptibles de aumentar la fuerza que el hombre o sus animales podían ejercer.

Estas tres técnicas, cooperación entre personas, el empleo de la energía animal, y la aplicación de máquinas, permitieron al hombre construir (y en ocasiones destruir) maravillas, tales como las Pirámides de Egipto, la Gran Muralla de China y las ciudades de Atenas, Roma y Cartago.

Vamos a examinar ahora otras formas de realizar trabajo. Pero, no olvidemos al cavernícola y su piedra, pues no tardaremos en volver a él.

9-4 LA PRIMERA LEY DE LA TERMODINAMICA (O "NO PUEDES GANAR")

A medida que las máquinas se fueron haciendo cada vez más eficaces en cuanto a extender la fuerza del músculo vivo, los inventores no vieron razón alguna para dudar de que, proporcionando máquinas susceptibles de producir indefinidamente trabajo, simplemente porque sus mecanismos eran tan ingeniosos, el mejoramiento continuo en el diseño acabaría por liberar al hombre y sus animales totalmente de su trabajo. Si el hombre de la caverna hubiera tenido semejante aparato (que designamos como "máquina de movimiento perpetuo de primer grado"), pudo haber movido todas las rocas que quisiera a su voluntad. Tal vez le parezca difícil al lector moderno percatarse del hecho de que este objetivo parecía perfectamente razonable, no requiriendo más, al parecer, que un progreso proseguido a lo largo de las trayectorias en las que había logrado ya tanto éxito.* Sin embargo, todos los intentos fallaron. Estos fracasos fueron tan proseguidos, que estamos convencidos ahora de que el esfuerzo es inútil. Este convencimiento se ha enunciado como una ley de la naturaleza y se designa como la **Primera Ley de la Termodinámica.**

* Antes de reírse de lo que acaso le parezca una ingenuidad de los intentos de lograr el "movimiento perpetuo", puede el lector tratar de resolver el problema 4 al final de este capítulo.

Esta ley puede expresarse asimismo en términos de conservación de la energía, mediante el enunciado de que "la energía no puede ni crearse ni destruirse".

Que el lector no pida una prueba de la Primera Ley. No la hay. La Primera Ley es sencillamente un enunciado conciso acerca de la experiencia del hombre con las máquinas. En efecto, si es imposible crear energía, entonces es inútil tratar de inventar una máquina de movimiento perpetuo, y haremos mejor devolvernos hacia algún otro método de realizar trabajo.

9-5 LOS TERMOMOTORES Y LA SEGUNDA LEY DE LA TERMODINAMICA (O "NO PUEDES EMPATAR")

La tecnología moderna requiere mucha más energía de la que pueden proporcionar los hombres y las bestias, inclusive con la ayuda de máquinas. En su lugar, se sirven de termomotores, que consumen combustibles para producir calor y convertir el calor en trabajo.* La idea de que el calor podía convertirse en trabajo distaba mucho de ser obvia. En efecto, los termomotores sólo se han utilizado con éxito durante los últimos 200 años más o menos. (James Watt desarrolló su máquina de vapor en 1769.) La primera prueba experimental de que la energía podría convertirse, sin ganancia o pérdida, de una forma a otra fue proporcionada por James Joule en 1849. El calor y el trabajo son dos formas de energía, y es posible, por consiguiente convertir calor en trabajo y trabajo en calor. Así, por ejemplo, podemos producir calor frotando dos bastones uno con otro, y el calor producido es exactamente equivalente, en energía, al trabajo requerido para frotar los bastones. Se descubrió asimismo que los combustibles contienen calor potencial. Así, por ejemplo, 1 Kg de carbón contiene energía almacenada que puede ser liberada por la combustión. Pero el calor está almacenado también en substancias que no son combustibles, como, por ejemplo, en substancias tan corrientes como el agua. El agua pierde energía cuando se convierte en hielo; por consiguiente, *ha de tener* energía. ¿Por qué no, pues, servirnos de esta energía para accionar una máquina que realice trabajo? Semejante máquina, aunque al parecer no tan milagrosa como la máquina del movimiento perpetuo de la primera clase, extraería energía de sus alrededores (por ejemplo del aire o del

* Por supuesto, el hombre (o un buey) es también un termomotor. Consume alimentos, que son su combustible, y convierte su energía en el trabajo de la contracción de los músculos. Sin embargo, los termomotores mecánicos pueden ser mucho más grandes que los animales y pueden consumir combustibles tales como el gas, el petróleo y el carbón, que los animales no comen. El resultado es que el total de la cantidad de trabajo realizado y de calor producido aumenta en un grado tal, que ejerce efectos sobre el medio ambiente.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

mar) y la convertiría en trabajo útil. El aire o el agua se enfriarían por la extracción de la energía que contienen, y podrían ser devueltos al medio ambiente. En esta forma, los automóviles podrían ser movidos por aire, y el escape sería aire frío. Una planta de energía situada junto a un río podría enfriar el río mientras iluminaba la ciudad. Semejante máquina *no* violaría la primera Ley, porque la energía se conservaría. En efecto, el trabajo provendría de la energía extraída del aire o del agua y no de una creación de energía de aprovechamiento imposible. Semejante invento se designa como "una máquina de movimiento perpetuo de segundo grado"; pero, desafortunadamente, tampoco ésta se ha construido jamás, y estamos convencidos que jamás lo será.

Volvamos de lo imposible a los termomotores que utilizan combustible, donde la situación sigue siendo decepcionante. Aprendimos, en efecto, a través de experimentos, que la energía potencial inherente a un combustible nunca podría ser convertida completamente en calor; algo de ella se perdía siempre necesariamente en el medio. Decimos "se perdía" únicamente en el sentido de que esta energía ya no seguía disponible para realizar trabajo; lo que hacía, en cambio, era calentar el medio ambiente. Individuos ingeniosos trataron de inventar termomotores que convirtieran la *totalidad* de la energía de un combustible en trabajo, pero fracasaron siempre. Se encontró, en cambio, que un termomotor *sólo* podría hacerse trabajar mediante dos conjuntos de procesos, a saber: *a)* Había de ser absorbido calor, por las partes accionadas, de alguna fuente caliente. La fuente caliente suele estar proporcionada cuando alguna substancia, tal como el agua o el aire (llamada la "substancia accionante") es calentada por la energía obtenida de un combustible, tal como leña, carbón, petróleo o uranio. *b)* El calor de desecho ha de ser pasado a un depósito externo, a una temperatura inferior.

Un termomotor no puede trabajar en otra forma. La forma original de este enunciado negativo, tal como lo formuló Lord Kelvin (1824-1907) es: "es imposible, por medio de la acción de un material inanimado, obtener efecto mecánico de una porción cualquiera de materia, enfriándola por debajo de la temperatura del más frío de los objetos circundantes". Esta es una formulación de la **Segunda Ley de la Termodinámica.**

Para tratar de comprender mejor este concepto realmente fundamental, volvamos por última vez a nuestro hombre de la caverna. Imaginemos que descubre que puede mover su roca introduciendo entre ella y la pared rocosa, a manera de cuña, una barra de cobre y calentando luego la barra con una llama. Ya que el metal calentado se dilata y la pared rocosa es fija, la gran roca se moverá. Aquel ha construido un termomotor básico. Supongamos ahora las siguientes circunstancias:

a) El hombre de la caverna dispone de varias barras de cobre, de un metro de largo cada una.

b) Resulta muy engorroso encender un fuego debajo de la barra de cobre entre la roca y la pared rocosa, y es más conveniente tener allí cerca un fuego para calentar las barras de cobre a una temperatura de 100°C.

c) La temperatura exterior es de 20°C.*

d) La barra se dilata en 0.17 cm por cada grado de elevación de la temperatura.

El hombre de la caverna, pensando que ha descubierto que las barras calientes de cobre pueden realizar trabajo, calienta una de sus barras en el fuego, la introduce a manera de cuña entre su piedra y la pared rocosa y espera y observa. La barra se enfría y se contrae y no se realiza trabajo alguno. Este fracaso le enseña su primera lección en el diseño de termomotores, a saber: el trabajo sólo se realiza calentando materiales y permitiendo que se dilaten. Por consiguiente, son más importantes las diferencias de temperatura que las temperaturas absolutas. Habiendo aprendido esto, nuestro hombre de la caverna decide ahora introducir una barra *fría* entre la piedra y la pared rocosa y llevar barras calientes a la barra fría. Digamos que calienta tres barras a 100°C (prescindiremos de las pérdidas de calor en el aire). Coloca la primera barra caliente sobre la fría, tal como se muestra en la figura 9-1. La barra fría se calienta y se dilata, en tanto que la caliente se enfría y se contrae. Cuando las dos alcanzan la misma temperatura, toda trans-

* Véase en el Apéndice el examen de la temperatura.

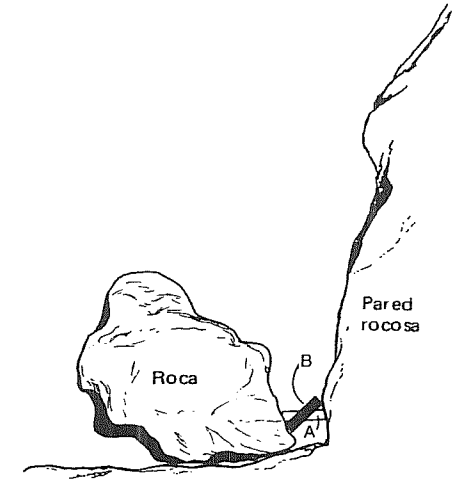


FIG. 9-1. Un termomotor simple. La barra *A*, inicialmente a 20°C, es calentada a 60°C. La barra *B*, inicialmente a 100°C, se enfría a 60°C.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

ferencia de calor (y por consiguiente todo trabajo) cesa. La temperatura de la barra actuante, que era inicialmente de 20°C, sube 40°C mientras que la temperatura de la barra caliente baja 40°C. La temperatura final de ambas barras es de 60°C. Con objeto de mover un poco más la roca, coloca la segunda barra caliente sobre la barra de trabajo, y observa que ésta se calienta de 60 a 80°C, mientras que la nueva barra caliente se enfría de 100 a 80°C. Si repite el proceso una tercera vez, la barra de trabajo se calienta de 80° a 90°C. Recuérdese que, por cada aumento de temperatura de un grado, la barra de trabajo se dilata en 0.17 cm. Así, pues, la primera vez que calienta la barra la piedra se mueve 6.8 cm, la segunda, se mueve 3.4 cm, y la última se mueve sólo 1.7 cm. Por consiguiente, la cantidad de trabajo que puede extraerse de una determinada cantidad de calor depende de la diferencia de temperatura entre las barras caliente y fría. Esta limitación *no* la impone la Primera Ley; si la barra caliente pudiera enfriarse a 20°C y la fría pudiera calentarse a 100°C, sus energías totales se conservarían, pero es el caso que semejante acontecimiento es contrario a toda la experiencia. En efecto, la observación universal de que dos cuerpos en contacto térmico acaban alcanzando una temperatura común puede tomarse como otra expresión de la Segunda Ley.

Por supuesto, si nuestro hombre de la caverna fuera listo, no necesitaría esperar un rendimiento disminuido de trabajo después del empleo de cada barra caliente sucesiva. En lugar de ello, después de cada calentamiento volvería a enfriar su barra de trabajo a 20°C en alguna corriente de agua cercana, la volvería a colocar en la pared rocosa (con una cuña complementaria de piedra para que apretara) y desplazaría la roca en 6.8 cm por cada barra caliente que utilizara. Tal vez lo consideraríamos en tal caso más bien como un hombre moderno que como un hombre de caverna, porque su tecnología avanzada habría provocado una contaminación de su corriente de agua.

Por supuesto, el hombre moderno utiliza termomotores más complicados, pero las relaciones entre el trabajo y el calor no han cambiado. La substancia de trabajo suele ser un gas que se dilata, para realizar trabajo, contra un émbolo o la hoja de una turbina. El gas se enfría al realizar trabajo, pero no puede enfriarse por debajo de la temperatura de aquello que lo rodea. Por consiguiente, hay que *adoptar* alguna medida para eliminar el desecho de calor de un termomotor. Estas relaciones se muestran en forma esquemática en la figura 9-2.

En la práctica, el enfriamiento suele realizarse ya sea haciendo pasar aire por el motor o bien vertiendo agua sobre el mismo. En la mayoría de los automóviles, por ejemplo, el agua circula a través del motor, se enfría al pasar por el radiador, y vuelve a circular. En las grandes centrales eléctricas, donde se crea una gran cantidad de calor, el elemento refrescante es a menudo un río, un lago o el mar.

9-6 EL EFECTO DE LOS CAMBIOS DE TEMPERATURA SOBRE LA VIDA

Los procesos de la vida implican reacciones químicas, y las velocidades de estas reacciones son muy sensibles a los cambios de temperatura. A título de aproximación burda, la velocidad de una reacción química dobla por cada aumento de 10°centígrados en la temperatura, lo que es igual a 18°F. Sabemos que si la temperatura de nuestro cuerpo sube 5°C, lo que daría una temperatura de 42°C, la fiebre podrá ser fatal. ¿Qué le sucede, pues, a nuestro sistema cuando la temperatura del aire exterior sube o baja en aproximadamente 10°C? Nos ajustamos por medio de mecanismos reguladores internos que mantienen una temperatura constante. Esta capacidad es característica de los animales de sangre caliente, tales como los mamíferos y las aves. En esta forma, la temperatura de un individuo, o un perro, en una habitación no puede averiguarse leyendo el termómetro de pared. En contraste, los organismos acuáticos no mamíferos, tales como los peces, son de sangre fría, esto es, son incapaces de regular sus temperaturas en forma tan eficaz como los animales de sangre caliente.

¿Cómo responde, pues, un pez a un aumento de temperatura? Todos sus procesos orgánicos (su metabolismo) se aceleran y, por consiguiente, su necesidad de oxígeno y su velocidad de respiración aumen-

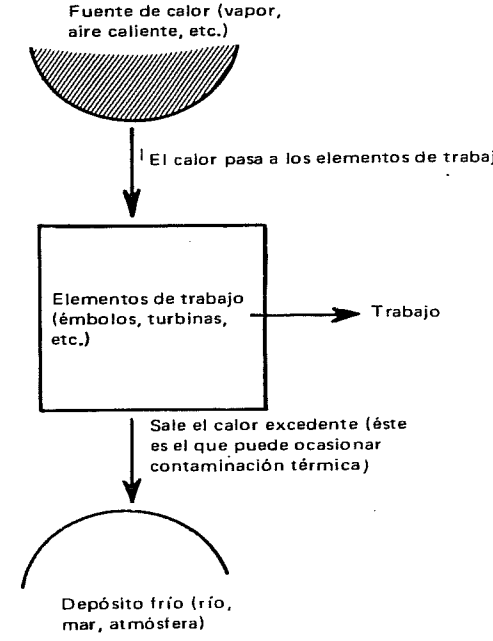


FIG. 9-2. Generalización esquemática de un termomotor.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

tan. Más arriba de un grado máximo tolerable de temperatura, se produce la muerte por falla del sistema nervioso, del sistema respiratorio o de procesos celulares. Según la Administración Federal de Control de la Contaminación del Agua, de Estados Unidos de Norteamérica, casi ninguna especie de pez, común en dicho país, puede sobrevivir en aguas de más de 34°C de temperatura. La trucha de arroyo, por ejemplo, nada muy rápidamente y suele ser más activa cuando la temperatura sube de 4.5°C a 9°C. En cambio, en el margen de 10° a 15°C, su actividad y la velocidad de natación disminuyen, con la reducción consiguiente de la capacidad de la trucha para cazar los peces pequeños de los que se alimenta. Esta inactividad resulta tanto más crítica, que la trucha *necesita* más alimento para mantener su metabolismo aumentado cuando el agua es más caliente. La muerte instantánea tiene lugar a los 22.5°C. Además, el desove y otros mecanismos reproductivos de los peces son desencadenados por cambios de temperatura, como el calentamiento de las aguas en la primavera. Los cambios anormales a los que los peces no están adaptados pueden trastornar el ciclo reproductivo.

Como consecuencias de estas circunstancias, el aumento de temperatura de una extensión de agua puede ocasionar la substitución de una población de peces por otra. Algunos ejemplos de temperaturas letales para varias especies de peces en Wisconsin y Minnesota son las siguientes: para la trucha, 22.5°C; para la rémora, 29°C; para el sarco, 30°C; para la perca amarilla, de 29 a 31°C, y para el pez pequeño de cabeza gruesa, 34°C. Uno de los medios individuales mayores de agua fría de Estados Unidos de Norteamérica, el río Columbia, está ahora solamente unos pocos grados por debajo de la temperatura que es susceptible de convertir su población de peces, de trucha y salmón a sarco, lobina de boca pequeña y otras especies menos deseables.

Se han citado diversas observaciones como prueba de que nuestra preocupación acerca de los efectos de la contaminación térmica es exagerada y que el agua calentada puede resultar, de hecho, beneficiosa para las poblaciones de peces. Por ejemplo, se encuentran peces en aguas a temperaturas superiores a su nivel letal supuesto. Se ve a menudo que las descargas de agua calentada de centrales eléctricas, al esparcirse por los ríos o el mar, hierven de peces, como si éstos hubieran sido atraídos a un medio ambiente caliente beneficioso. Hay que tener presente, sin embargo, que una temperatura excesivamente alta no es inmediatamente letal, y que sus efectos sólo se hacen sentir a menudo después de algunas horas o algunos días. Por otra parte, la población densa que se ve en las descargas de las centrales de energía consta a menudo de peces rudos, menos deseables que las variedades más apreciadas, que prefieren las aguas frías.

En términos generales, no sólo los peces, sino los ecosistemas acuáticos enteros se ven afectados en forma relativamente sensible por los

cambios de temperatura. Cualquier ruptura de la cadena de alimentos, por ejemplo, podrá trastornar el sistema entero. Si un cambio de temperatura modifica las variaciones estacionales de los tipos y la abundancia de organismos inferiores, a los peces podrá faltarles acaso el alimento adecuado en el momento propicio. Por ejemplo, los peces inmaduros (de época de "cría") sólo pueden comer organismos pequeños, tales como los copépodos no maduros todavía. Ahora bien, si el desarrollo de estos organismos se ha anticipado o retrasado a causa de cambios de temperatura, podrán estar acaso ausentes precisamente en el momento en que la cría depende por completo de ellos. Podrá resultar muy difícil predecir semejantes efectos estudiando las temperaturas de los ríos, porque una gran parte de la corriente total de un río determinado podrá ser tal vez desviada a través de una central hidroeléctrica, para llevarse su calor sobrante. Y si bien resulta fácil excluir a los peces, por medio de tamices, de semejantes rodeos indeseables, no lo es tanto en cambio mantener, alejados a los organismos microscópicos que constituyen una parte importante de la cadena de alimentos. Estos organismos están sujetos a temperaturas que excederán de la temperatura máxima de la corriente. Ignoramos todavía cuán graves puedan ser las consecuencias: las indicaciones de diversos estudios van desde un efecto cero al 95 por 100 de aniquilamiento del plancton.

Según vimos ya en el capítulo 6, la vida está fuertemente influida en el ecosistema acuático por el crecimiento de las algas. La combinación de la contaminación térmica con un aumento de elemento nutritivo puede conducir a un crecimiento rápido y excesivo de las algas, con la aceleración consiguiente del efecto eutrófico y de otros efectos indeseables, que examinamos anteriormente.

Las temperaturas superiores se revelan a menudo como más hospitalarias para los organismos patógenos, y, por consiguiente, la contaminación térmica podrá acaso convertir una frecuencia pequeña de enfermedades entre los peces en una mortandad en masa de los mismos, a medida que los patógenos se vayan haciendo más virulentos y los peces menos resistentes. Semejantes situaciones se han observado desde hace ya mucho en los medios ambientes cerrados de los estanques de granja y de incubación, susceptibles de calentarse rápidamente, porque el volumen total de agua que contienen es pequeño. Al aumentar la carga de la contaminación térmica en grandes extensiones de agua, aumentará la pérdida posible de peces debida a enfermedades.

También los venenos fabricados por el hombre se hacen más peligrosos para los peces a medida que sube la temperatura del agua. En primer lugar, todos los efectos bioquímicos, incluidos los que se manifiestan en forma de toxicosis, resultan acelerados a temperaturas superiores. En segundo lugar, el agua caliente favorece el crecimiento aumentado de diversidades de plantas, tales como las algas, y si éstas

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

han de destruirse por medio de venenos químicos, como resulta a menudo necesario en las reservas de agua industrial o doméstica, se necesita más veneno. Así, pues, en el agua más caliente, no sólo tienen los peces más probabilidades de resistir menos a los venenos, sino que es además más probable que se vean expuestos a ellos en mayor grado.

Según lo explicamos ya anteriormente, la industria de la energía eléctrica y particularmente las plantas de energía nuclear, producen necesariamente calor sobrante, y este calor resulta más práctico descargarlo en las aguas corrientes.* Se calcula que para el año 2000 la proporción de agua refrigerante necesitada por las centrales de energía será igual a la tercera parte del agua corriente total en Estados Unidos de Norteamérica. Y puesto que semejante calor no podrá distribuirse fácilmente con uniformidad entre las grandes y las pequeñas extensiones de agua del país, sino que habrá de concentrarse ya sea en los litorales o a lo largo de los ríos de capacidad suficiente para el establecimiento de

* Se excluyen las plantas hidroeléctricas, que fundamentalmente no son contaminantes.

FIG. 9-3. Efluente de una central de energía en el Río Connecticut. Tres grandes tubos descargan agua calentada (a 30°C), que se desparrama a través del río cuando éste está bajo y tiende a correr río abajo cuando sube. (Cortesía de Barnes Engineering Co.)

grandes centrales, el resultado podrá ser acaso, que muchos de los ríos de Estados Unidos de Norteamérica se hagan inhabitables para los peces.

9-7 SOLUCIONES NO MILAGROSAS

Ya vimos que no podemos inventar una salida que nos substraiga a la contaminación térmica. Mientras engendremos energía, produciremos un excedente de calor, y necesitamos tratar este problema con medios que nada tienen de milagroso.

El calor excedente de las centrales térmicas ha de ir al medio ambiente por un camino u otro. A lo largo del camino, el calor podría sin duda realizar alguna función útil, tal como la calefacción de edificios o la desalinización de agua de mar por evaporación, o proporcionar calor suficiente a grandes invernaderos para permitir el cultivo de hortalizas en invierno. Es el caso, sin embargo, que el costo de entubar el agua caliente es elevado, y no se han encontrado todavía métodos viables para la utilización de semejante calor. La situación es fundamentalmente desalentadora, porque es el caso que el agua de desecho es lo bastante caliente para perjudicar el ecosistema acuático, pero no lo es bastante, con todo, para ser atrayente para su empleo comercial.

La única otra alternativa concebible es la de descargar el calor en el aire.* El aire tiene una capacidad mucho menor, por unidad de volumen, para absorber calor, que el agua; tanto menor, en efecto, que la refrigeración directa de las centrales de energía no es viable. Esta es la razón de que semejantes centrales deban establecerse todavía cerca de alguna corriente de agua, que es el único otro refrigerante disponible. Cabe conseguir sin embargo, que el agua abandone algo de su calor a la atmósfera antes de ser devuelta al río o al mar, de los que se tomó. Existen varios dispositivos capaces de efectuar esta transferencia, tales como torres de refrigeración o lagos artificiales de enfriamiento. No vamos a examinar aquí los detalles de estos procedimientos, pero es importante subrayar que el establecimiento y el funcionamiento de todos ellos cuestan dinero y que este costo se traducirá finalmente en un aumento de las facturas de electricidad.

Nos enfrentamos pues, una vez más, con la dura realidad de la compensación o el cambalache. ¿Cuánto estamos dispuestos a pagar por un determinado beneficio en forma de protección del ecosistema terrestre? ¿Y en qué moneda? ¿Más dólares mensuales? ¿Una temperatura más baja en el termostato por el mismo precio? ¿Menos artefactos accio-

* Sin duda, podríamos preguntar si *esto* no constituiría sencillamente otra forma de trastorno ecológico. Pero la situación del calor en la atmósfera es distinta, con todo, de la del agua, porque resulta complicada por los efectos de las reacciones de los contaminantes del aire con la radiación solar. Véase capítulo 5, en el que se examina este problema.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

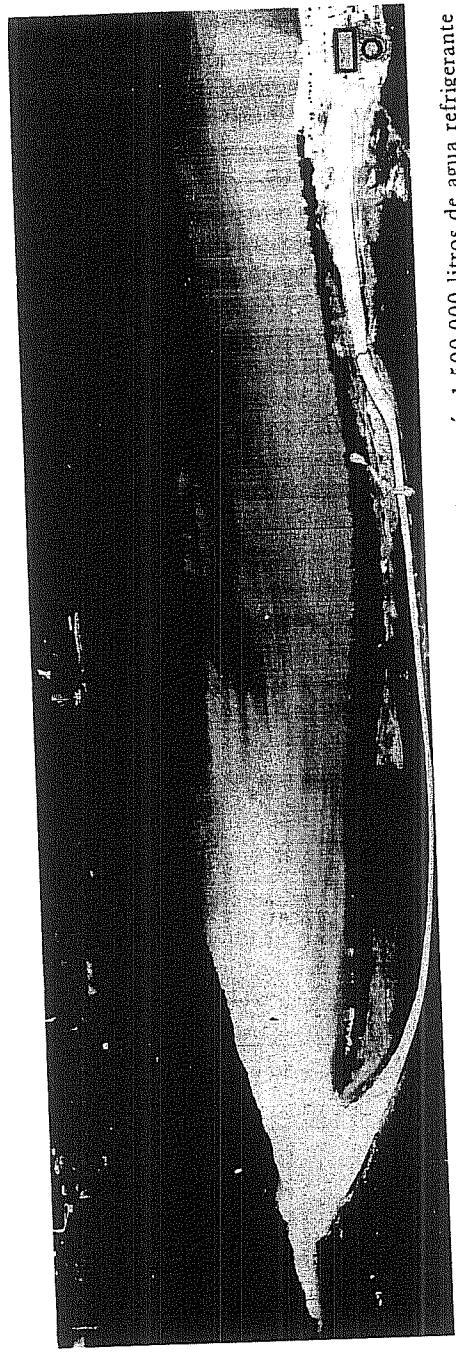


FIG. 9-4. La central de energía nuclear de Haddam sobre el Río Connecticut vacía 1 500 000 litros de agua refrigerante por minuto, a través de un canal de descarga (en la parte inferior), en el río. En este termograma aéreo, realizado por HRB-Singer Inc., para la U. S. Geological Survey Water Resources Division, la temperatura está representada por sombras de color gris. El efluente caliente (blanco) está aproximadamente a 34°C; la temperatura del río ambiente (gris obscuro) es de 25°C. (Cortesía del U. S. Geological Survey.)

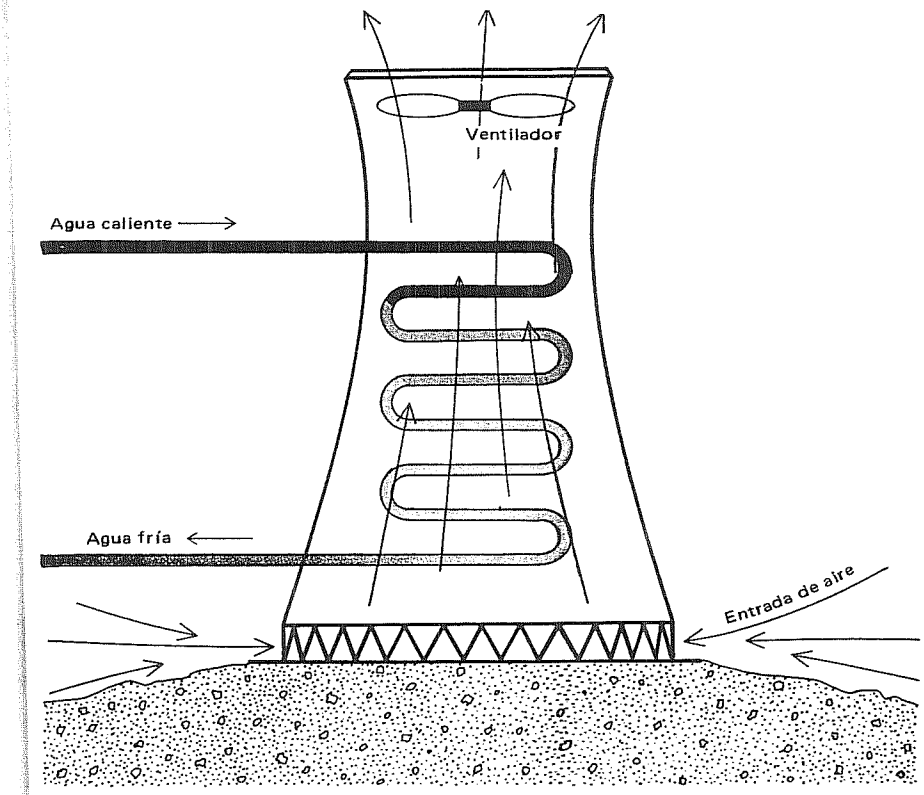


FIG. 9-5. Torre de enfriamiento. El agua caliente circula por una tubería expuesta a la corriente de aire y resulta enfriada. De Clark, J. R.: Thermal Pollution and Aquatic Life. Copyright ©1969, de Scientific American, Inc. Todos los derechos reservados.

nados eléctricamente? ¿O bien las mismas comodidades y los mismos costos, pero para menos gente?

PROBLEMAS

1. ¿Qué es la contaminación térmica? ¿Cómo difiere en principio de las contaminaciones del aire o del agua?
2. Escríbanse tantas formulaciones como se sepa de la Primera Ley de la Termodinámica. (Una de las formulaciones aparece en la sección 6-6 del capítulo sobre la contaminación del agua)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

3. Escríbanse tantas formulaciones como se pueda de la Segunda Ley de la Termodinámica.

4. La figura 9-6 muestra un invento de máquina, de movimiento perpetuo, basado en la ósmosis. Las dos membranas idénticas son permeables al agua, pero no al azúcar. El agua del depósito sube a través de la membrana número 1 a una altura condicionada por la presión osmótica de la solución. El agua atraviesa también la membrana número 2, vuelve al depósito y realiza trabajo en su caída. ¿Cree el lector que esta máquina funcionará? En caso negativo, ¿por qué no?

5. Los perros viven en todas las partes de la Tierra desde los trópicos hasta el Artico. La trucha, en cambio, esta confinada a aguas de temperatura no superior a aproximadamente 16° C. ¿Por qué son las temperaturas convenientes para la trucha tanto más limitadas?

6. Puesto que la vida marina es abundante en las aguas calientes tropicales, por qué debería representar el calentamiento de las aguas en las zonas templadas amenaza alguna para el medio ambiente?

7. Expónganse métodos susceptibles de controlar o reducir la contaminación térmica.

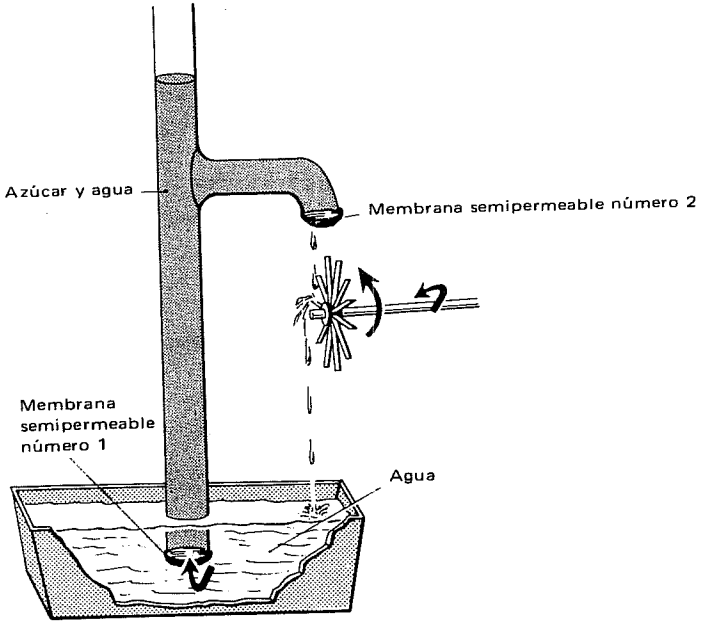


FIG. 9-6. Esquema de una máquina de movimiento perpetuo.

BIBLIOGRAFIA

Constituye una fuente básica de información sobre la medición y el control de la temperatura la siguiente obra, más bien voluminosa, en tres tomos:

American Institute of Physics. *Temperature: Its Measurement and Control in Science and Industry.* New York: Litton Educational Publisher, Van Nostrand-Reinhold Books, vol. 1, 1941. 1362 págs. vol. 2, 1955. 477 págs. vol. 3 (partes, 1, 2, y 3), 1963, 1962, 1963.

El tema de la termodinámica lo tratan muchos textos estándar a diversos niveles, de modo que no necesitamos dar aquí referencia específica alguna. La "contaminación térmica" ella misma constituye un tema relativamente nuevo. Algunos aspectos interesantes que se ocupan especialmente de las centrales de energía nuclear se tratan en el libro siguiente, al que ya nos referimos en la bibliografía correspondiente al capítulo 4.

Harry Foreman. *Nuclear Power and the Public.* Minneapolis: University of Minnesota Press, 1970. 272 págs.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

10

EL RUIDO

10-1 EL SONIDO

Para darnos mejor cuenta del sonido, lo mejor es experimentar el silencio. Piense el lector en los momentos más quietos de su vida. Tal vez el detenerse en un bosque después de una nevada en un día de invierno sin viento fue uno de estos casos. Indudablemente, el lector no pensará en ocasión alguna en la que se estuviera moviendo, ya fuera paseando, corriendo o montando a caballo, porque es el caso que el movimiento mismo produce ruido. De hecho, la correlación entre el movimiento y el sonido la sugiere el empleo de la palabra *quieto,* que significa tanto ausencia de movimiento como de ruido. El movimiento se relaciona también con la energía; en efecto, todo cuerpo en movimiento posee una energía de movimiento y depende de su velocidad: cuanto más rápidamente se mueve tanta más energía consume.* Puesto que el sonido se relaciona con el movimiento y el movimiento con la energía, resulta razonable pensar que el sonido es una forma de energía y, efectivamente, así es.

¿Cómo se transmite un sonido a partir de un manantial, tal como una campana, a un receptor, tal como nuestro oído? Observamos que si golpeamos la campana, ésta vibra. Al detenerse la vibración, cesa también el sonido. Si la campana es golpeada en un vacío, vibrará lo mismo, pero no se percibe sonido alguno. Con fundamento en este experimento, cabe inferir que el movimiento de la campana pone, en alguna forma, en movimiento el aire, el cual hace luego mover algún dispositivo receptor en el oído. Esta transferencia de energía sonora a

* La relación exacta es: energía = 1/2 × masa × (la velocidad)^2

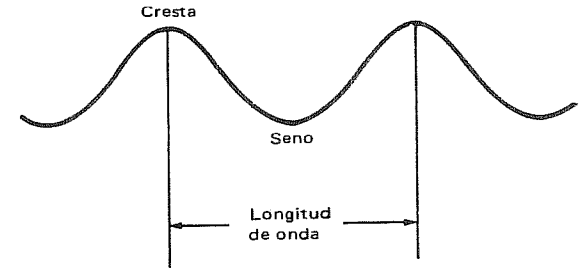


FIG. 10-1. Longitud de onda.

través del aire tiene lugar en forma de onda. Solemos representar el movimiento ondular como ondas de agua, especialmente como ondas de mar, que baten la orilla, o rizos en un estanque o en una piscina. El agua tranquila (agua "quieta") tiene una superficie plana lisa. Las ondas de agua son trastornos; alteran el nivel normal de modo que resulta un poco más alto en algunos lugares y más bajo en otros. Los lugares altos se designan como crestas, y los bajos como senos. La distancia entre trastornos sucesivos del mismo tipo, tal como entre crestas vecinas, se designa como longitud de onda (fig. 10-1). La velocidad a que se mueve el trastorno es la velocidad de la onda. El número de trastornos que pasan por un punto determinado en la unidad de tiempo es la frecuencia. La relación entre estos tres atributos es:

$$\text{velocidad} = \text{longitud de onda} \times \text{frecuencia}$$

Todas estas características de la onda del agua se aplican asimismo a la onda de sonido, excepto en que el carácter del trastorno es distinto. En efecto, en lugar de manifestarse como crestas y senos, como en las alteraciones del nivel del agua, la onda de sonido consiste en una sucesión de compresiones y dilataciones que alteran la densidad normal del medio (tal como el aire) en el que se propagan. Este tipo de onda se designa como **onda elástica,** y puede ilustrarse mediante la acción de un resorte en espiral, como el que se ve en la figura 10-2. Supongamos que un saliente de la rueda, que da vueltas, pega en el extremo del resorte dos veces por segundo. Las compresiones resultantes, y las expansiones que las siguen se desplazan a lo largo del resorte a una velocidad que depende de las propiedades del resorte (no de la velocidad de rotación de la rueda). Digamos que esta velocidad es de 30 cm por segundo. La frecuencia ha de ser de dos golpes por segundo, porque esto es lo que establece la velocidad de rotación de la rueda. Por consiguiente la longitud de onda se calcula como sigue:

$$\text{longitud de onda} = \frac{\text{velocidad}}{\text{frecuencia}} = \frac{30 \text{ cm por segundo}}{2 \text{ por segundo}} = 15 \text{ cm}$$

Preparatoria abierta Online | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

El aire es una substancia elástica; en efecto, un balón apretado vuelve instantáneamente a su forma primitiva cuando se deja de apretarlo. Por consiguiente, las ondas elásticas pueden propagarse por el aire; esto es el sonido. Hay que realizar trabajo para eliminar las compresiones sucesivas; así, pues, el sonido es una forma de transmisión de energía. La velocidad del sonido en condiciones normales del aire sobre la Tierra es de aproximadamente 33 m por segundo. Cualquier objeto, como un aeroplano, que se desplaza a menor velocidad que el sonido se designa como **subsónico**, y el que viaja a una velocidad superior es **supersónico**.

El tono, o la altura de un sonido dado, está condicionado por la frecuencia de las ondas que lo producen. Sin embargo, la energía de un sonido determinado no está condicionada por la frecuencia, la longitud de onda o la velocidad de ésta. Así, por ejemplo, si golpeamos suavemente la superficie de un estanque una vez por segundo con una cuchara, formaremos ondas de una frecuencia de un golpe por segundo. Si golpeamos el agua fuertemente con un remo una vez por segundo, seguiremos haciendo ondas a una frecuencia de un golpe por segundo, y éstas no se desplazarán más rápidamente, pero serán ondas mayores. Los trastornos, o la altura de las crestas y la profundidad de los senos, serán mayores. La diferencia de altura entre la cresta y el seno se designa como **amplitud** (fig. 10-3). Así, pues, la energía de una onda depende del trabajo que hay que realizar para provocar el trastorno.

Para pensar en la energía del sonido, imaginemos un avión de cuatro motores, con uno solo funcionando. La frecuencia del sonido depende del tipo de motor y de su funcionamiento; la velocidad del sonido es

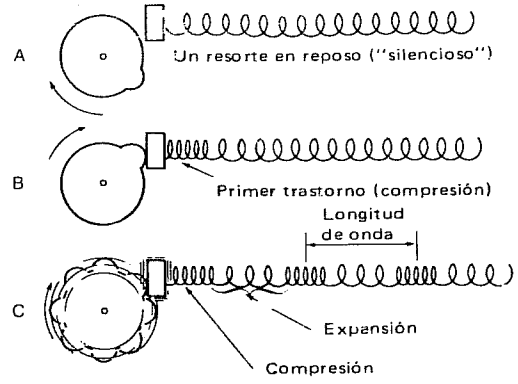


Fig. 10-2. Ondas elásticas. *A*, La rueda empieza a girar a dos revoluciones por segundo. *B*, Primer golpe. *C*, Producción continua de ondas. Frecuencia = 2 por segundo. Velocidad de la onda = 0.33 m por segundo.

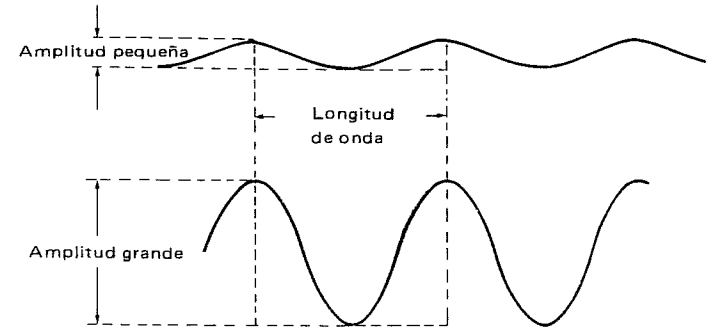


FIG. 10-3. Amplitud.

una propiedad del aire, no del motor. Ahora ponemos en movimiento los otros tres motores, de modo que funcionen igual que el primero. La frecuencia del sonido no ha cambiado, ni tampoco la velocidad de la onda, pero estamos efectuando cuatro veces más trabajo. (Nuestra factura de gasolina será cuatro veces mayor.) Por consiguiente, la energía sonora provocada es cuatro veces más grande. La energía del sonido se relaciona con su intensidad, pero las dos cosas no son lo mismo. Examinaremos la intensidad sonora más detalladamente en la sección 10-3.

10-2 EL RUIDO

La descripción física completa de un sonido determinado no puede anticipar si a nosotros, individualmente, nos gustará o no. Si el sonido no nos gusta, este sonido es un ruido. De hecho, el ruido puede definirse en dos palabras: **sonido indeseable**. Sin embargo, este concepto aparentemente sencillo disimula muchas sutilezas imprevistas. En efecto, un determinado sonido podrá constituir música para una persona y ruido para otra; podrá ser agradable si es poco intenso, pero ruido si es intenso. Podrá ser acaso aceptable durante un breve tiempo, pero será ruido, si se prolonga; intrigante si es rítmico, pero ruido si es repetido el azar, o bien razonable, si lo hacemos nosotros, pero ruido, si lo hace alguien otro. De todos los atributos que distinguen entre un sonido deseado y otro desagradable, el que por regla general consideramos como el más significativo es la intensidad. Existen muchas pruebas de que la exposición a sonidos intensos es perjudicial de modos diversos, y a la mayoría de la gente no les gusta ser perjudicados; por consiguiente, cuanto más intenso es un sonido, tanto más probable es que se lo considere como ruido (con algunas excepciones en las discotecas).

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

10-3 LA INTENSIDAD DEL RUIDO Y LA ESCALA DECIBEL

La intensidad, dijimos, se relaciona con la energía. Consideremos una máquina que convierte energía en sonido, como, por ejemplo, una sirena. Supongamos que tenemos una sirena eléctrica de 50 vatios. Esta consumirá tanta energía en un tiempo determinado como otro aparato cualquiera de 50 vatios, tal como una bombilla eléctrica de esta intensidad. Nuestra factura de corriente eléctrica, que se establece sobre la base de la energía eléctrica que consumimos, será la misma para nuestra bombilla de 50 vatios prendida todo el mes como para la sirena de 50 vatios aullando todo el mes. Pero la bombilla es más eficaz produciendo luz, y la sirena es más eficaz produciendo sonido. De los dos, la sirena realiza mejor su labor, porque la energía que emite en realidad como sonido por segundo es de aproximadamente 10 vatios, en tanto que los otros 40 se gastan en calor. En contraste, la energía emitida realmente por segundo por la bombilla de 50 vatios como luz visible es sólo de aproximadamente 1 vatio. Esta diferencia explica, en parte, por qué la bombilla de luz se percibe como más caliente que las sirenas. Concluimos, a partir de estos hechos, que sería correcto expresar la intensidad de sonido en vatios. Por ejemplo, se ha averiguado que un piano tiene una intensidad de sonido equivalente al de una sirena de 0.1 vatio; que una orquesta sinfónica tiene una intensidad de sonido como la de una sirena de 10 vatios, y que un gran motor de retropropulsión emite un ruido equivalente al de una sirena de 10 millones de vatios. Lo notable acerca de la intensidad del sonido es su amplio margen. Un susurro muy bajo de una voz humana tiene una intensidad de sonido equivalente sólo a una mil millonésima de vatio. Por consiguiente, si pudiéramos expresar la intensidad sonora en vatios, nos encontraríamos con el inconveniente de haber de utilizar números muy bajos y muy grandes. Además, la escala sería poco práctica, porque no partiría de cero, sino de algún número que representara el sonido audible más bajo. Para obviar estos defectos y simplificar la medición de la intensidad sonora, hacemos lo siguiente:

a) Creamos una nueva unidad de medición de intensidad sonora llamada el decibel (*deci* que significa diez, o sea una referencia a la base de los logaritmos comunes, y *bel,* de Alexander Graham Bell), y la definimos en términos de la razón de la intensidad de un sonido con respecto a otro.

b) Establecemos que el sonido más bajo perceptible para el oído tendrá el valor de cero decibeles (dB) y constituirá el punto de partida de nuestra escala de medición del sonido.

c) Nos servimos de los logaritmos de las razones de los sonidos de intensidades distintas de sonido para expresar los grados de intensidad sonora. Obsérvese, a partir de las cifras anteriormente indicadas, que la

razón de un sonido muy intenso (por ejemplo, 10 millones de vatios) a un sonido muy bajo (tal como 0.000000001 vatios) es un número muy grande y difícil de manipular. Para obtener números más pequeños, más cómodos, nos serviremos de los logaritmos de la razón. Recuérdese que el *logaritmo* de un número "de base 10" es sencillamente el *número de veces que 10 es multiplicado por sí mismo* para dar el número en cuestión. Según vemos inmediatamente, si el número considerado es un múltiple de 10, su logaritmo es sencillamente el número de ceros que contiene. Así, pues,

10 tiene 1 cero, por consiguiente, log 10 = 1
100 tiene 2 ceros, por consiguiente, log 100 = 2
1 000 000 tiene 6 ceros, por consiguiente, log 1 000 000 = 6
1 no tiene cero alguno, por consiguiente, log 1 = 0

d) Creamos una ecuación que defina la intensidad de sonido como sigue:

$$\text{Intensidad de decibeles de un sonido dado} = 10 \times \log_{10}\left(\frac{\text{fuerza* de un sonido dado}}{\text{fuerza de un sonido justamente perceptible}}\right)$$

Ejemplo 10-1. El sonido de una aspiradora en una habitación tiene una fuerza 10 millones de veces mayor que el sonido más débil perceptible, ¿cuál es la intensidad del sonido en decibeles?

Respuesta:

$$\left(\frac{\text{fuerza de sonido de la aspiradora}}{\text{sonido más débil audible}}\right) = 10\,000\,000$$

$$\log 10\,000\,000 = 7$$

$$\begin{aligned}\text{Intensidad} &= 10 \times \log 10\,000\,000\\ &= 10 \times 7\\ &= 70 \text{ decibeles}\end{aligned}$$

Ejemplo 10-2. ¿Cuál es la intensidad en decibeles del sonido audible más débil?

Respuesta: Lo mejor sería que este fuera cero, que es lo que prometimos que la escala log proporcionaría:

$$\left(\frac{\text{fuerza del sonido más débil audible}}{\text{fuerza del sonido más débil audible}}\right) = 1, \text{ y } \log 1 = 0$$

Así, pues,

$$\text{Intensidad} = 10 \times \log 1 = 10 \times 0 = 0 \text{ decibeles}$$

* Fuerza es la energía por unidad de tiempo, expresada normalmente en vatios. Para que la comparación sea lícita, las áreas de las dos fuentes de sonido han de ser las mismas. La "fuerza de un sonido justamente perceptible" se supone, por regla general, que es de 10^{-12} vatios/m^2 o una billonésima de vatio por metro cuadrado.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Todo esto podrá parecer acaso muy sencillo, pero existen algunas complicaciones. Un oído mecánico, tal como un micrófono, convierte sonido en energía eléctrica, y esta energía puede expresarse en vatios o en decibeles. El aparato que realiza semejante tarea se designa como "medidor de decibeles", y es insensible a la altura tono; en efecto, sólo mide la fuerza del sonido. Los seres humanos, cuando se les pide realizar esta tarea, suelen introducir en sus apreciaciones cierto elemento de subjetividad. En efecto, la gente propende a considerar como más intensos los sonidos más altos que los sonidos más bajos de la misma intensidad. Así, pues, una escala de intensidad, tal como la gente la concibe, dependería de la frecuencia y sería distinta, por consiguiente, de la del medidor de decibeles.

Para conciliar esta diferencia entre el hombre y la máquina, se ha desarrollado una escala de intensidad subjetiva. Esta escala se basa en la comparación de cualquier sonido dado con un sonido puro que tenga una frecuencia de 1 000 golpes (o ciclos) por segundo. Digamos que deseamos apreciar la intensidad sonora subjetiva de un sonido determinado —por ejemplo, el de una motocicleta a distancia de 10 m. A una determinada persona se le ofrece una selección de sonidos puros, de 1 000 ciclos, de diferentes intensidades, y se la invita a escoger aquel de los sonidos que sea exactamente tan fuerte como el de la motocicleta. Supongamos que elige un sonido de 90 decibeles como el que mejor concuerda en su oído con aquel. Si dicha elección representa la respuesta típica o promedia de muchas personas, entonces se dice que la motocicleta a 10 metros de distancia tiene un "nivel de intensidad" de 90 fones, aun si la intensidad real del sonido en término de decibeles fuera otro número, como, por ejemplo, 88 decibeles. Así, pues, el fon es una unidad de intensidad de sonido subjetiva, que se equipara, en la escala de decibeles, a un sonido puro de 1 000 ciclos.

Por supuesto, necesitamos considerar la descripción subjetiva de la intensidad sonora. En efecto, si dijéramos a alguien, que no estuviera familiarizado con las escalas de intensidad de sonido, que una motocicleta tenía un nivel de intensidad de sonido de 90 fones, o producía un sonido de 88 decibeles, esto no le diría absolutamente nada. Sería más informativo, aunque menos preciso, decirle que una motocicleta suena "muy fuerte". Por consiguiente, resulta conveniente yuxtaponer a lo largo de una escala de intensidad sonora en decibeles una escala de descripción puramente verbal, tal como "bajo" "muy fuerte", etc. La figura 10-4 muestra los niveles decibel y las descripciones verbales de la intensidad de sonido de algunos de éstos. El nivel superior es aproximadamente de 120 decibeles, o un poco más; semejantes sonidos saturan efectivamente nuestro sentido del oído, y las intensidades mayores de sonido ya no se perciben como más intensas. Por supuesto, podrán ser más perjudiciales, pero aquí sólo estamos hablando de sensaciones.

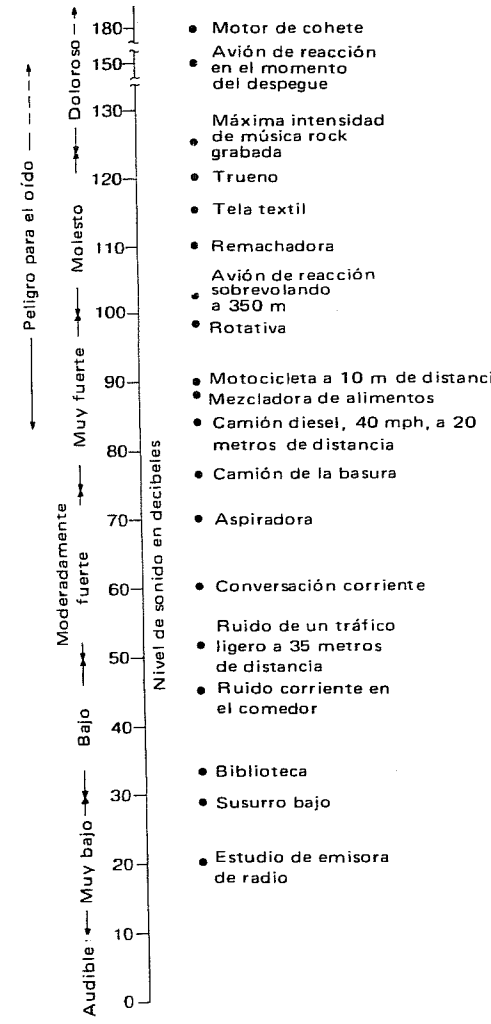


FIG. 10-4. Niveles de ruido.

Obsérvese que el margen extremo de la escala, esto es el sonido de 120 decibeles, es un billón de veces más intenso que el sonido de cero decibeles.

Se han propuesto diversas escalas relacionadas con la escala decibel, destinadas a reflejar diversos factores de molestia. Una de estas escalas se ha creado específicamente para apreciar el ruido de los aviones. Sin embargo, todas ellas adoptan la misma forma logarítmica que expusimos anteriormente.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

10-4 LOS EFECTOS DEL RUIDO

El ruido puede impedir nuestra comunicación, reducir nuestro oído y afectár nuestra salud y nuestra conducta.

Obstáculo para la comunicación. Hemos definido el ruido como un sonido indeseable. Pensemos por un momento en algunos sonidos que nos gustan: la voz humana o la música, directas o en grabación; advertencias de peligro, tales como el llanto de un bebé en un cuarto distante, o el castañetear de una serpiente de cascabel; sonidos naturales agradables, como el trino de un pájaro o el rumor de las hojas movidas por un viento suave. Queremos oír estos ruidos al nivel apropiado —ni demasiado fuerte ni demasiado bajo— y sin intromisión alguna. El ruido nos distrae de lo que queremos oír, con el resultado de que no oímos tan bien o no oímos en absoluto, o que el sonido que deseamos percibir ha de ser desagradablemente fuerte para que nosotros percibamos el mensaje. Una conversación en el bosque quieto mencionado al principio de este capítulo puede ser llevada a cabo en susurros, en tanto que, en una manufactura de calderas, necesitamos gritar para oírnos mutuamente.

Pérdida del oído. El ruido ocasional se combina con sonidos indeseables, pero nos recuperamos inmediatamente al restablecerse la quietud. En cambio, si la exposición al ruido fuerte se prolonga, cierta pérdida de oído podrá hacerse permanente. El nivel general del ruido de la ciudad, por ejemplo, es suficientemente fuerte para ensordecernos gradualmente a medida que vamos envejeciendo. En ausencia de semejante ruido, la capacidad de oído no debería deteriorarse necesariamente con los años. Así, pues, los habitantes de sociedades quietas, tales como los individuos de las tribus en el Sudán Sudoriental, oyen tan bien a los 70 años de edad como los neoyorquinos en sus años veintes.

Por regla general, los niveles de ruidos de aproximadamente 80 decibeles, o más altos, pueden producir pérdida permanente del oído, aunque, por supuesto, el efecto es más rápido en el caso de ruidos más intensos y depende también, hasta cierto punto, de la frecuencia. A la frecuencia de 2 000 ciclos, por ejemplo, se calcula que la exposición a un ruido de 95 decibeles (aproximadamente tan fuerte como una cortadora de césped eléctrica) reducirá nuestra capacidad auditiva en aproximadamente 15 decibeles en 10 años. El ruido laboral, tal como el que producen las rasadoras, los martinetes, los camiones diesel, y los aeroplanos, está ensordeciendo a muchos millones de trabajadores. El hecho de que en las sociedades técnicamente desarrolladas las mujeres oigan mejor que los hombres se relaciona indudablemente con el hecho de que aquellas, están menos expuestas al ruido laboral, ya que en las sociedades subdesarrolladas, más quietas, las mujeres y los hombres oyen igualmente bien. Esta diferencia entre los sexos, en las sociedades

desarrolladas, podrá disminuir a medida que se realicen mayores esfuerzos para que la industria sea menos ruidosa, y que un mayor número de mujeres estén expuestas a los aparatos domésticos ruidosos o a los altavoces de radio o televisión expuestos muy altos, de modo que puedan oírse pese a la aspiradora. Los ruidos de las batallas, tales como los que hacen los tanques, los helicópteros, los aviones de retropropulsión y la artillería, son tan ensordecedores, que más de la mitad de los soldados americanos sometidos al entrenamiento de combate sufren una pérdida de oído suficiente para poder ser considerados como físicamente ineptos para el combate.

La preocupación reciente acerca de la exposición de la gente a la música rock proviene del hecho de que dicha música es efectivamente, a menudo, muy fuerte. Se han registrado en algunas discotecas niveles de sonido de 125 decibeles. Semejante ruido se sitúa en los límites de la percepción dolorosa y es indiscutiblemente ensordecedor. Sería análogo a escuchar música ensordecedora el mirar fijamente al Sol, lo que produce ceguera.

Otros efectos sobre la salud y la conducta. Según vimos ya en diversas ocasiones, el organismo vivo, como por ejemplo, el ser humano, es un sistema muy complicado, y los efectos de tensión o trastorno siguen caminos muy intrincados que a veces resultan difíciles de descubrir. Habiendo leído este libro hasta el punto presente, el lector se mostrará ciertamente escéptico si le dicen que un trastorno suficientemente fuerte, como para ensordecerle, no producirá otro efecto alguno. En efecto, muchos investigadores creen que la pérdida de oído no es la consecuencia más grave del ruido excesivo. Los primeros efectos son reacciones de ansiedad y tensión o, en casos extremos, de miedo. Estas reacciones suelen acompañar un cambio en el contenido de hormonas de la sangre, lo que, a su vez, produce cambios en el organismo, tales como velocidad aumentada del latido del corazón, constricción de los vasos sanguíneos, espasmos digestivos y dilatación de las pupilas de los ojos.* Resulta difícil apreciar los efectos a largo plazo de semejante sobreestimulación, pero sabemos que, en los animales, daña el corazón, el cerebro, y el hígado, y produce trastornos emocionales. Los efectos emocionales sobre la gente son, por supuesto, difíciles también de medir. Pero sabemos, con todo, que la eficiencia del trabajo disminuye al aumentar el sonido.

10-5 CONTROL DEL RUIDO

El ruido es transmitido desde su lugar de origen a un receptor. Por consiguiente, para controlar el ruido podemos reducir el manantial, interrumpir la vía de transmisión o proteger al receptor.

* Las hormonas son substancias bioquímicas reguladoras, que actúan en cantidades de trazas. Son producidas por diversas glándulas del organismo.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Reducción del manantial. La reducción más obvia del manantial es sencillamente la reducción de la intensidad del sonido. No le peguemos tan fuerte al tambor, o no toquemos tan fuerte la campana, o no hagamos correr tantos camiones o motocicletas, o no cortemos el césped tan a menudo con una cortadora eléctrica. Por supuesto, esta clase de solución tiene limitaciones manifiestas; por ejemplo, si hacemos correr menos camiones, nos serán entregados menos alimentos y menos cosas indispensables.

Inclusive si no reducimos la fuerza del sonido, podremos reducir acaso el ruido, cambiando la fuente en alguna forma. Nuestro propósito, cuando empujamos un cochecito de bebé que chirría, no es el de hacer ruido, sino el de trasladar al bebé. Por consiguiente, podemos lubricar las ruedas para reducir el chirrido. Además, las máquinas deberían concebirse de tal modo, que las partes no peguen o rocen innecesariamente unas con otras.

Debería ser posible modificar los métodos tecnológicos, en forma que los objetivos pudieran realizarse más quedamente. Deberían emplearse sierras circulares, en vez de martinetes, para abrir el pavimento de las calles. Martillos pilones ultrasónicos deberían reemplazar a los de golpe, de vapor, más ruidosos.

Podríamos cambiar también nuestros procedimientos. Si hay que abrir una acera en la ciudad por medio de una perforadora de mano, sería mejor no empezar tan tempranamente en la mañana, cuando mucha gente está durmiendo todavía, sino más tarde durante el día, cuando muchas personas se han trasladado al lugar de trabajo. Los despegues de aviones podrían hacerse pasar preferentemente por zonas menos densamente habitadas.

Interrupción de la vía. Sabemos que el sonido se desplaza a través del aire mediante compresiones y expansiones. Se traslada también a través de otros medios elásticos, incluidos algunos sólidos como la madera. Estos sólidos vibran en respuesta al sonido y, por consiguiente, no interrumpen eficazmente la transmisión, como podrán atestiguarlo muchos residentes de viviendas multifamiliares. Sin embargo, podríamos servirnos de diversos materiales que vibran muy poco, tales como lana, y absorber la energía del sonido, convirtiéndola en calor. (El calor que interviene es muy poco; por ejemplo, la intensidad de sonido de una orquesta sinfónica calentaría una habitación aproximadamente tanto como un calentador eléctrico de 10 vatios.) Se han desarrollado extensamente diversos medios absorbentes del sonido; se los designa como **materiales acústicos.** Podríamos incorporar también interrupción mecánica de las ondas sonoras en muchas clases de máquinas; los dispositivos que funcionan en esta forma se designan como **silenciadores.** Finalmente, podríamos desviar la vía del sonido con respecto al receptor, dirigiendo mecánicamente, el sonido de escape de los aviones de

reacción, por ejemplo, hacia arriba, en lugar de hacia abajo. Semejante desviación constituye, efectivamente, una interrupción entre el lugar de origen y el receptor.

Protección del receptor. Nos protegemos instintivamente a nosotros mismos cuando nos tapamos los oídos con los dedos. En forma alternativa, podemos utilizar tapones con manguitos para los oídos. (El ponerse un poco de algodón en las orejas sirve de muy poco.) Una combinación de tapones y orejeras puede reducir el ruido en 40 ó 50 decibeles, lo que haría que el ruido de un avión de reacción no se oyera más fuerte que una aspiradora. Semejante protección podría prevenir la sordera causada por el entrenamiento para el combate, y debería adoptarse también para el tiro deportivo.

Podemos también protegernos a nosotros mismos de una fuente de ruido alejándonos de ella. En una fábrica, semejante reducción de exposición podría adoptar la forma de rotación de tareas, de modo que trabajadores diferentes fueran realizando las tareas ruidosas por turnos.

10-6 UN CASO PARTICULAR: EL TRANSPORTE SUPERSONICO (SST)

El SST (o en español TSS) es un avión de pasajeros que viaja más rápido que el sonido y a alturas mucho más altas que los aeroplanos subsónicos. Una velocidad superior requiere más energía, y más energía hace más ruido. Cerca de los aeropuertos, el problema del ruido se relaciona con el despegue y el ascenso rápido poco después, aunque estas velocidades sean subsónicas. Los motores de un SST han de ser más pequeños en diámetro, para proporcionar la línea aerodinámica óptima, y el ruido del escape aumenta muy rápidamente (por un empuje determinado del motor) a medida que el diámetro del chorro se reduce y la velocidad aumenta. Se ha dicho que el SST americano propuesto sonaría, en la pista, como 50 aviones ordinarios de reacción despegando al mismo tiempo. Esta afirmación ha suscitado considerable controversia, porque ha sido interpretada por algunos en el sentido de que el SST sería 50 veces más ruidoso que un avión de reacción ordinario. Comprenderemos la situación mejor mediante referencia a una fórmula anterior en decibeles, esto es:

$$\text{Intensidad de sonido (comparada con la de un avión de reacción)} = 10 \times \log_{10}\left(\frac{\text{fuerza de sonido de 50 jets}}{\text{fuerza de sonido de un jet}}\right)$$

$$= 10 \times \log_{10} 50$$

$$= 10 \times 1.7 = 17 \text{ decibeles}$$

(Nota: El log de 50, tal como se obtiene en las tablas de logaritmos es 1.7)

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Obsérvese que esta escala *no* es la misma que la que se basa en el sonido audible más débil. Se basa, antes bien, en el ruido de un avión de reacción. (Sin embargo, el mismo resultado se habría obtenido si cada avión se hubiera comparado separadamente con el sonido más débil audible de la escala decibel estándar. Véase problema 10.) Los cálculos nos dicen que 50 aviones de reacción, o su equivalente con respecto al sonido, (un SST), son 17 decibeles más fuertes que un solo avión de reacción. En cambio, el cálculo no nos dice cuánta más molestia esto nos causaría; ni nos dice lo que haríamos al respecto. Los experimentos muestran que un sonido 17 decibeles más fuerte que otro se juzga como "tres o cuatro veces más fuerte", pero se percibe, no obstante, exactamente como 50 de los sonidos más débiles que sonaran todos simultáneamente. Los experimentos en materia de ruido, en los aeropuertos, muestran que un solo avión de una intensidad de ruido 10 decibeles más fuerte que otro produce aproximadamente la misma molestia que 10 vuelos separados del avión menos ruidoso distribuidos durante el día. Esta relación es utilizada por el gobierno y por los operadores del aeropuerto, al planificar el empleo de la tierra alrededor de éste.

Cuando el SST alcanza velocidad supersónica en pleno vuelo, se produce otro efecto, esto es, el "**boom**" **sónico**. Para representarnos este efecto, imaginemos una canoa automóvil que se moviera rápidamente en el agua. Su velocidad es mayor que las de las olas que crea y, por consiguiente deja las olas atrás. Además, la energía de la ola sigue siendo reforzada continuamente por el movimiento de la canoa hacia adelante. El resultado es una ola de alta energía llamada **estela**, que queda atrás de la canoa en forma de una V y que pega duro contra otras embarcaciones o contra la orilla. El boom sónico es una ola de alta energía aérea de la misma clase. La punta de la estela avanza con el aeroplano, en tanto que el ruido mismo se va moviendo fuera de la estela, a su velocidad usual. Cuanto más rápido es el avión, tanto más angosta es la estela.

El verse uno afectado inesperadamente por un boom sónico podrá ser muy irritante. Suena como el retumbar fuerte cercano del trueno, lo que parecerá acaso muy misterioso si viene de un cielo sin nubes. La duración del boom es sólo aproximadamente de 1/10 a 1/2 de segundo, durante los cuales la presión sube más arriba de la normal, cayendo luego más abajo que ésta. Según la fuerza que engendra, el boom sónico puede hacer vibrar las ventanas o romperlas, o inclusive destruir edificios.

Es importante evitar la concepción errónea de que el boom sónico sólo tiene lugar cuando el avión "rompe la barrera del sonido", esto es, cuando pasa de la velocidad subsónica a la velocidad supersónica. Por lo contrario, el boom sónico es continuo y, al igual que la estela de la canoa automóvil, sigue al avión durante todo el tiempo en que su velocidad es supersónica. Por otra parte, la energía del boom sónico aumenta a medida que la velocidad supersónica del avión aumenta.

Las velocidades supersónicas suelen medirse en números mach:*

$$\text{número mach} = \frac{\text{velocidad del objeto}}{\text{velocidad del sonido}}$$

Si un objeto se mueve a la velocidad del sonido, el numerador y el denominador de la ecuación son los mismos, y el número mach es igual a 1. Mach 2 equivale a dos veces la velocidad del sonido, y mach 3 es tres veces dicha velocidad, y así sucesivamente. Cuanto más alto sea el número de mach en una determinada altura, tanto mayor será la energía y, por consiguiente, el efecto destructivo del boom sónico.

La gran altura de algunos tipos de vuelo SST (de 20 a 25 mil metros) plantea otra clase de problema, esto es, el de la contaminación del aire estratosférico. El SST descarga agua, bióxido de carbono, óxidos y nitrógeno y materia en partículas. Ahora bien, la cuestión es, ¿pueden ser los efectos de estos contaminantes nocivos? La respuesta, en el momento actual, es de carácter especulativo. Por ejemplo, se ha calculado que una flota de 500 SST durante un periodo de años podrían aumentar el contenido de agua de la estratosfera en un 50 a 100 por 100, lo que podría traducirse en un aumento de la temperatura media de la superficie de la Tierra, de tal vez 0.16°C y podría causar tal vez la destrucción de algo del ozono estratosférico que protege a la Tierra de la radiación ultravioleta. No podemos predecir con seguridad si estos efectos serían insignificantes o graves. Por una parte, podemos adoptar la actitud de que no deberíamos jugar a la ligera con la condición natural de la Tierra, con objeto de ahorrar unas pocas horas de un viaje de larga distancia para una fracción de la población. Por la otra podríamos decir que el viaje supersónico acelerará el progreso en todo el mundo, transportando rápidamente expertos a los lugares donde sean necesitados, creará muchas nuevas fuentes de trabajo y que la investigación proseguida nos enseñará la manera de reducir los problemas relativos a la contaminación. Se trata aquí, una vez más, de cambalaches o compensaciones.

Pero, detengámonos. ¿Por qué hemos estado examinando la contaminación del aire en un capítulo relativo al ruido? Pues, es así: las diversas partes de un ecosistema están funcionalmente relacionadas entre sí; lo que afecta a una de ellas las afecta a todas. Esta interdependencia, esta dificultad en delimitar estrictamente compartimientos separados, se aplica no sólo a los ecosistemas, sino también a los libros de ecología.

* Del nombre de Ernst Mach, 1838-1916, físico que realizó descubrimientos importantes acerca del sonido.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

PROBLEMAS

1. Defínanse la onda elástica; la longitud de onda; la frecuencia, y la amplitud.

2. ¿Qué es el ruido? ¿Cree el lector que podría desarrollarse un instrumento susceptible de indicar cuán ruidoso es un determinado sonido? Sostenga su respuesta.

3. Defínanse o explíquense: el número mach; el boom sónico.

4. Un individuo lleva consigo un medidor decibel durante un día y registra en su diario las siguientes lecturas:

7:00 a.m.	Llanto de un niño	84 dB
7:30	Lavadora de platos en la cocina	70
7:45	Camión de basura a 50 metros de distancia	90
8:00	Ruido del tráfico durante la espera del camión	81
8:45	Llegada a la entrada de la oficina. Ruido de una perforadora en la acera	106
9-12 mediodía	Ruido corriente en la oficina	45
12:00-1:00 p.m.	Ruido en el restaurante: platos, etc	45
5:00-5:30	Regreso a la casa en el metro (con las ventanas abiertas)	90-111
6:00	Podando la hierba con la cortadora de césped	93

Presente el lector sugerencias para reducir la intensidad percibida de cada uno de estos diversos ruidos.

Las preguntas siguientes requieren razonamiento o cálculo aritmético o algebraico.

5. Según se dijo en la sección 10-3, la escala de la intensidad subjetiva del ruido se basa en un tono puro de 1 000 ciclos por segundo. Calcúlese la longitud de onda de este sonido, si la velocidad es de 370 metros por segundo.

6. Una persona emite en una sala un sonido de cantar que tiene 10 mil veces la fuerza del sonido audible más débil. ¿Cuál es su intensidad sonora en decibeles?

7. La intensidad de ruido de una motocicleta a una distancia de 10 metros es de 90 decibeles. ¿Cuánta más fuerza de sonido tiene esta motocicleta que el sonido audible más débil?

8. En la sección 10-3 se afirma que un sonido de 120 decibeles es un billón de veces más fuerte que el sonido de 0 decibeles. Demuéstrese que esta afirmación es correcta.

9. En la sección 10-6 hay un cálculo que demuestra que 50 aviones de reacción, equivalentes en cuanto al sonido a un SST, son 17 decibeles más fuertes que el sonido de un solo avión de reacción. La fórmula utilizada se basó en la fuerza de sonido de un jet, en lugar de en la fuerza del sonido más débil audible. Muéstrese que el mismo resultado podía obtenerse utilizando la fórmula basada en dicho sonido más débil audible. (Se puede suponer que la intensidad de sonido de un avión de reacción es de 100 decibeles. Calcúlese la razón de esta fuerza de sonido al sonido audible más débil: calcúlese a continuación la intensidad de sonido en decibeles de 50 veces dicha fuerza de sonido, y substráigase para obtener la diferencia.)

10. A partir de los enunciados de la sección 10-6, ¿cuántos *despegues* separados de un avión de reacción ordinario esparcidos durante el día serían tan molestos, en la pista, como un SST? ¿Cuántos despegues separados de un avión de reacción ordinario serían tan molestos en la pista como 50 aviones ordinarios de reacción despegando todos al mismo tiempo?

11. Un cohete se mueve a través de la atmósfera inferior en donde la velocidad del sonido es de 37 metros por segundo, a 2.5 mach. ¿Cuál es la velocidad del cohete en metros por segundo?

RESPUESTAS

5. 0.33 m

6. 40 dB

7. 1 000 000 000

8. Un billón = 10^{12}; 10 log 10^{12} = 120

9. Sea x = fuerza de sonido de un avión de reacción en comparación con el sonido más débil audible.
   Luego, la intensidad de ruido de un avión de reacción = (10 log x) dB, y la intensidad de sonidos de 50 aviones de reacción = (10 log 50 x) dB = (10 log 50 + 10 log x) dB = (17 + 10 log x) dB. Diferencia = (17 + 10 log x) - 10 log x = 17 decibeles. Puede suponerse que el valor de x sea de 100 dB o cualquier otra cifra; los 50 aviones de reacción, o un SST, seguirán siendo 17 dB más fuertes que un avión de reacción.

10. 17; 17

11. 825 m/sec

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

BIBLIOGRAFIA

A título de texto básico sobre el control del ruido puede consultarse cualquiera de los siguientes libros:

Leo L. Beranek. *Noise Reduction.* New York: McGraw-Hill Book C., 1960. 752 págs.

Tres libros recientes de amplia difusión que consideran los aspectos ambientales del ruido son:

Theodore Berland. *The Fight For Quiet.* New York: Prentice-Hall, 1970. 370 págs.
Robert Alex Baron. *The Tyranny of Noise.* New York: St. Martin's Press, 1970. 294 págs.
Henry Still. *In Quest of Quiet.* Harrisburg, Pa.: Stackpole Books, 1970. 220 págs.

APENDICE

A-1 EL SISTEMA METRICO

Se utilizan sistemas de medición para la adquisición de conocimientos relativos a las cantidades en términos de unidades estándar. El sistema métrico, utilizado ahora internacionalmente en las ciencias, fue establecido inicialmente por un tratado internacional en la Convención Métrica de París, en 1875, y desde entonces se ha extendido y ha mejorado. En este libro nos ocupamos de cuatro de las unidades métricas fundamentales. Estas son:

Cantidad	Unidad	Abreviación
longitud	metro	m
masa	Kilogramo	Kg
tiempo	segundo	seg
temperatura	grado	°C

Las unidades mayores o menores en el sistema métrico se expresan por medio de los siguientes prefijos;

Múltiple o fracción	Prejifo	Símbolo
1 000	Kilogramo	Kg
1/100	centi	c
1/1 000	mili	m
1/1 000 000	micro	μ

LONGITUD

El **metro** se definió, en su día, de términos de la longitud de una barra estándar, pero se define ahora en términos de las longitudes de onda de la luz. Un metro equivale aproximadamente a 1.1 yardas.

Un **centímetro,** cm, es 1/100 de un metro, o aproximadamente 0.4 pulgadas.

La unidad utilizada comúnmente para expresar tamaños de partículas de polvo es el **micrómetro, um,** llamado también **micrón.** Hay un millón de micrómetros en un metro, o aproximadamente 25 000 micrómetros por pulgadas.

MASA

El kilogramo, Kg, es la masa de una pieza del metal platino-iridio, llamada el Kilogramo Prototipo Número 1, y guardada en la Oficina Internacional de Pesos y Medidas, en Francia. Es igual a aproximadamente 2.2 libras.

Un gramo, g, es 1/1 000 Kg.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

VOLUMEN

El volumen no es una magnitud fundamental sino que deriva de la longitud.
Un **centímetro cúbico**, cm^3, es el volumen de un cubo de 1 cm de canto.
Un **litro** = 1 000 cm^3.

TEMPERATURA

Si dos cuerpos, A y B, están en contacto, y se produce un traspaso espontáneo de calor de A a B, entonces se dice que A está *más caliente* o tiene una temperatura mayor que B. Así, pues, cuanto mayor es la tendencia del calor de dejar un cuerpo, tanto más elevada es su temperatura.

La escala de temperatura de Celsius (llamada anteriormente Centígrada) está definida por diversos puntos fijos. Los de uso más corriente son el punto de congelación del agua, 0°C, y el punto de ebullición del agua, 100°C.

La escala Fahrenheit, utilizada corrientemente en medicina e ingeniería en Inglaterra y Estados Unidos de Norteamérica, designa el punto de congelación de agua como 32°F y el punto de ebullición del agua como 212°F.

ENERGIA

La **energía** es la capacidad de realizar trabajo. Hay energía en una mula, en un tren en movimiento, en un resorte comprimido, en una barra de dinamita o en un kilo de uranio etc.

La unidad métrica de energía es el **joule**, que se define en términos del trabajo físico. La energía de un joule puede levantar un peso de una barra de dinamita o en un Kg de uranio etc. pulgadas. El **ergio** es una unidad mucho más pequeña: hay 10 millones de ergios en un joule.

La unidad utilizada corrientemente para expresar la energía del calor, o las energías que intervienen en los cambios químicos, es la **caloría**, cal. Una caloría es aproximadamente el equivalente de 4.2 joules. La energía de una caloría es suficiente para calentar 1 gramo de agua en 1°C.

La **kilocaloría**, Kcal, equivale a 1 000 calorías. Esta unidad se designa también como Caloría (con C mayúscula) especialmente cuando se utiliza para expresar las energías de los alimentos en relación con la nutrición.

A-2 SIMBOLOS, FORMULAS Y ECUACIONES QUIMICAS

Los átomos o elementos se designan por medio de símbolos de una o dos letras, como H, U, W, Ba, y Zn.

Los compuestos o moléculas se representan por medio de fórmulas que constan de símbolos y subíndices, algunas veces con paréntesis. Los subíndices o subscritos denotan el número de átomos del elemento representado por el símbolo a los que están fijados. Así, por ejemplo, H_2SO_4 es la fórmula que representa una molécula de ácido sulfúrico, o la substancia de ácido sulfúrico. La molécula consta de 2 átomos de hidrógeno, 1 átomo de azufre y 4 átomos de oxígeno. La substancia consta de materia que es un agregado de tales moléculas. La fórmula de gas oxígeno es O_2; lo que nos dice que las moléculas constan de 2 átomos cada una.

Las transformaciones químicas se representan por medio de ecuaciones químicas, las que nos dicen las moléculas o substancias que reaccionan y las que resultan, así como las razones moleculares de estas reacciones. La ecuación para la combustión de metano en oxígeno, para producir bióxido de carbono y agua, es:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O$$

Cada coeficiente se aplica a la fórmula entera que lo sigue. Así, por ejemplo, $2H_2O$ significa $2(H_2O)$. Esto da las siguientes razones moleculares: materiales de reacción, 2 moléculas de oxígeno por 1 de metano; productos, 2 moléculas de agua por 1 de bióxido de carbono. Esta ecuación es equilibrada porque los mismos números y clases de átomos, uno de carbono y cuatro de cada uno de los elementos hidrógeno oxígeno, aparecen a ambos lados de la flecha.

Los átomos se mantienen unidos en la molécula por virtud de enlaces químicos. Los enlaces químicos pueden caracterizarse por su longitud, los ángulos que forman con otros enlaces, y su fuerza (esto es la energía que sería necesaria para separarlos).

La fórmula del agua puede escribirse como , lo que muesta que la molécula contiene dos enlaces H-O. La longitud de cada enlace es de aproximadamente 1/10 000 de micrómetro, y el ángulo entre ellos es de 105 grados. Se requerirían aproximadamente 12 Kcal para romper todos los enlaces en un gramo de agua. Estos enlaces son fuertes, en comparación con lo que suelen ser los enlaces químicos.

Por regla general, las substancias cuyas moléculas tienen enlaces químicos fuertes son estables, porque es poco provechoso, desde el punto de vista energético, separar enlaces fuertes y redisponer los átomos para formar otros enlaces más débiles. Por consiguiente, cabe considerar las substancias estables como químicamente autosatisfechas; tienen poca energía que ofrecer, y se dice de ellas que son pobres en energía. Así, por ejemplo, el agua, con sus fuertes enlaces H-O, no es ni un combustible ni un alimento. Los enlaces entre el carbono y el oxígeno, en el bióxido de carbono, CO_2, son también fuertes (aproximadamente 1.5 veces tan fuertes como los enlaces H-O del agua), y el CO_2 es, por consiguiente, una substancia pobre en energía.

En contraste, los enlaces C-H en el metano, CH_4, son más débiles que los enlaces de H-O del agua. Resulta energéticamente provechoso, pues, romper estos enlaces y producir los más sólidos de H_2O y CO_2. Por consiguiente, el metano es una substancia rica en energía y puede quemarse para calentar casas y accionar motores.

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Basados en la masa atómica relativa atribuida de $^{12}C = 12$

	Símbolo	*Número atómico*	*Peso atómico*
Actinio	Ac	89	
Aluminio	Al	13	26.9815
Americio	Am	95	
Antimonio	Sb	51	121.75
Argón	Ar	18	39.948
Arsénico	As	33	74.9216
Astatino	At	85	
Azufre	S	16	32.06
Bario	Ba	56	137.34
Berilio	Be	4	9.01218
Berkelio	Bk	97	
Bismuto	Bi	83	208.9806
Boro	B	5	10.81
Bromo	Br	35	79.904
Cadmio	Cd	48	112.40
Calcio	Ca	20	40.08
Californio	Cf	98	
Carbono	C	6	12.011
Cerio	Ce	58	140.12
Cesio	Cs	55	132.9055
Cinc	Zn	30	65.37
Circonio	Zr	40	91.22
Cloro	Cl	17	35.453
Cobalto	Co	27	58.9332
Cobre	Cu	29	63.546
Criptón	Kr	36	83.80
Cromio	Cr	24	51.996
Curio	Cm	96	
Disprosio	Dy	66	162.50
Einsteinio	Es	99	
Erbio	Er	68	167.26
Estaño	Sn	50	118.69
Estroncio	Sr	38	87.62
Europio	Eu	63	151.96
Fermio	Fm	100	
Flúor	F	9	18.9984
Fósforo	P	15	30.9738
Francio	Fr	87	
Gadolinio	Gd	64	157.25
Galio	Ga	31	69.72
Germanio	Ge	32	72.59
Hafnio	Hf	72	178.49
Helio	He	2	4.00260
Hidrógeno	H	1	1.0080
Hierro	Fe	26	55.847
Holmio	Ho	67	164.9303
Indio	In	49	114.82
Iridio	Ir	77	192.22
Iterbio	Yb	70	173.04
Itrio	Y	39	88.9059
Lantano	La	57	138.9055
Laurencio	Lr	103	
Litio	Li	3	6.941
Lutecio	Lu	71	174.97
Magnesio	Mg	12	24.305
Manganeso	Mn	25	54.9380
Mendelevio	Md	101	
Mercurio	Hg	80	200.59
Molibdeno	Mo	42	95.94
Neodimio	Nd	60	144.24
Neón	Ne	10	20.179
Neptunio	Np	93	237.0482
Niobio	Nb	41	92.9064
Níquel	Ni	28	58.71
Nitrógeno	N	7	14.0067
Nobelio	No	102	
Oro	Au	79	196.9665
Osmio	Os	76	190.2
Oxígeno	O	8	15.9994
Paladio	Pd	46	106.4
Plata	Ag	47	107.868
Platino	Pt	78	195.09
Plomo	Pb	82	207.2
Plutonio	Pu	94	
Polonio	Po	84	
Potasio	K	19	39.102
Praseodinio	Pr	59	140.9077
Prometio	Pm	61	
Protactinio	Pa	91	231.0359
Radio	Ra	88	226.0254
Radón	Rn	86	
Renio	Re	75	186.2
Rodio	Rh	45	102.9055
Rubidio	Rb	37	85.4678
Rutenio	Ru	44	101.07
Samario	Sm	62	150.4
Scandio	Sc	21	44.9559
Selenio	Se	34	78.96
Silicio	Si	14	28.086
Sodio	Na	11	22.9898
Talio	Tl	81	204.37
Tántalo	Ta	73	180.9479
Tecnecio	Tc	43	98.9062
Telurio	Te	52	127.60
Terbio	Tb	65	158.9254
Titanio	Ti	22	47.90
Torio	Th	90	232.0381
Tulio	Tm	69	168.9342
Tungsteno	W	74	183.85
Uranio	U	92	238.029
Vanadio	V	23	50.9414
Wolframio	W	74	183.85
Xenón	Xe	54	131.30
Yodo	I	53	126.9045

INDICE ALFABETICO

ABONO de desechos sólidos, 149
Absorción, aparato para, *107*
  distinción entre, y absorción, 107
Acidos en el agua, 133
Activado, carbón, para purificar el aire, 107
Acuático, ciclo alimentario, 11
Acústicos, materiales, y eliminación del ruido, 210
Adsorción de contaminantes del aire, 107
Aerobiosis, 124
Aerosol, definición de, 94
Agrícola, medio ambiente, 27-42
    fertilización de la tierra en, 30
  riego en, 30
    peligros de, 37
    técnicas en, 29-30
    y, contaminación del aire, 98, *100, 102,* 103
      cultivos selectivos, 29, 30
      pesticidas, 43-45
Agua(s), calidad de, definición de la, 115
  composición natural de, 121
  contaminación del, 115-140
    clases de impureza en, 119-121
    desechos industriales en, 130-133
    detergentes, algas y, 126-130
    microorganismos en, 122-123
    naturaleza de la, 115-118
    por elementos nutritivos orgánicos, 126
    corrosivas, 133-134
    desechos industriales en, 130-133
    dura, 128
  elementos nutritivos y oxígeno en, 123-126
  impurezas en, 119-121
    clasificación de, *121*
  jacinto de, obstrucción por, *129,* 130
  microorganismos en, 122-123
  muerte de las, detergentes, algas y, 126-130
  negras, domésticas, 134
    tratamiento de, *135-136,* 137
  pequeñas partículas en, 119, *120*
  potable, criterio del, 122
  propiedades de, 119, 127
  purificación de, 134-138
    química del, 118-119
Aire, contaminación del, 83-114
    control de la, 103-108
      por, conversión, 108
        separación, 103
    efectos de la, 96-103
    estratosférico y SST, 213. Véase también *Transporte*
    por, gases, 87-88
      partículas, 93-96. Véase también *Partículas*
    problemas y controversias relativos a, 108-112
  natural, composición gaseosa del, 84, 86
    contaminantes primarios y secundarios en, 85
    partículas en el, concentración de, 84-86, *85*
  puro y aire contaminado, 86-87
Aldrina, 45
Alfa, partículas, 59, 62, 63, 64
Algas, muerte de las aguas y, 126-130
Alimentario, ciclo, acuático, *11*
    de base terrestre, 9, *10*
Alimentos, cadenas de, 3-12, *4*
    DDT en, 47
    estroncio-90 en, 70
    y cambio de temperatura, 193
Altura del sonido y frecuencia, 202
Aminas, 91
Amortiguación y equilibrio natural, 2
Amplitud de onda, energía del sonido y, 202, *203*
Anaerobiosis, 125
Animales, daños causados a, por los contaminantes del aire, 101
Ansiedad y niveles de ruido, 209
Arena transportada por el aire, *85*
  como contaminante, 94
Aritmético, crecimiento, *158, 159*
Arsénico, como desecho industrial contaminante del agua, 130-131
Asuán, Alto Dique, efectos en, 3[illegible]

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

mósfera, efectos de la contaminación del aire sobre la, 96, *99*
ómico(a), bomba, mecanismos de la, 66
estructura, 58-61
núcleo, 59
número, 60
omo, definición de, 60
masa del, 58
ıdición, pérdida de la, y niveles de ruido, 208
ıtomóviles, accionados por gasolina, problemas y temas de discusión, 110
de desecho, problemas de, 145
eléctricos, ventajas y dificultades de, 110
gases de escape de los, y contaminación del aire, 88, 91, 96, 108-112
ves y DDT, 51
vión, de reacción, intensidad de sonido, *207*, 211
medición de intensidad y sonido del, 207, 211
ızúcar, aerobiosis de, 124
ızufre, bióxido de, como contaminante del aire, 89
control de, 108
efectos de, sobre el hombre, 100-101
en los combustibles, control del, 109

BACTERIAS, como contaminantes, 94
organismos de desecho, 17
en el agua, 116
para el control de plagas, 53
transportadas por el aire *85*
Bilharziasis y Alto Dique de Asuán, 38

Biodegradabilidad de hidrocarburos clorados, 49
Bioquímica, demanda, de oxígeno, 126
Bióxido de azufre, contaminación del aire por, 108
Bisonte y praderas americanas, 34
BOD. Véase *Bioquímica, demanda, de oxígeno*
Bomba atómica, mecanismos de la, 66
Bosque, destrucción del, resultados de la, 31
húmedo de coníferas, ecosistema del, *13*
Botellas de refrescos, ciclo de circulación de las, 144, *145, 146*
Brincador, gusano, control del, 54

CADENA, reacción nuclear en, y condición crítica, 66
Calor, grado de, medición de, 218
producción de, 185
en el reactor nuclear, 73
termomotor, generalización de un, 191
simple, 188, *189*
y la segunda ley de la termodinámica, 187-195
Carbohidratos, descomposición de, 124
Carbón, activado, 107
isótopos de, 61
polvo de, en el aire, 85
Carbono, bióxido de, como contaminante del aire, 88
monóxido de, como contaminante del aire, 88
Carnívoros en ciclos alimentarios, 9, *10, 11*
Caucho, efectos del ozono sobre, *92*
Ciclón(colector) para partículas contaminantes del aire, 105, *105*
Clímax, ecosistema de, 20
Clorados, hidrocarburos, 45-52. Véase también *DDT*
degradabilidad de, 49
Clordano, 45
Cohorte de nacimiento, 172
Combustibles, control de, 109
Consumidores. Véase *Carnívoros; herbívoros,* y *omnívoros*
y tecnología agrícola, 29
Contaminación, de líquidos, mecanismo de, 117
del, agua, 115-140. Véase también *Agua, contaminación del*
aire, 83-113. Véase también *Aire, contaminación del*
de la atmósfera. Véase *Aire*
térmica, 184-199. Véase también *Térmica, contaminación*
Contaminantes naturales, en, agua, 121
el aire, 83, 86, 87
no biodegradables en las aguas, 125, 138
Corrosividad del agua contaminada, 133-134
Cosechas, cultivo selectivo de. Véase *Agrícolas, medios ambientes*
pérdidas de, debidas a los insectos, 45
resistencia de, a las plagas, 44, 54, 55
Cultivo. Véase *Agrícolas, medios ambientes*
Curie, definición de, 68

DDT, EFECTOS del, sobre población de insectos del bosque, 49
retención de, por el organismo, 51
y control de insectos, 45-52
Decibel, escala, e intensidad de ruido, 204-207
Defoliación química, 41
Demografía, 160-170
Depredadores, de insectos, para el combate de plagas, 53
pesticidas y supervivencia, 49
en el ciclo de los alimentos, *10, 11,* 17
y DDT, 47
Depuradores para la purificación del aire, 105, *106*
Descomposición. Véase *Desintegración*
Desechos, biodegradables, 142
industriales, categorías de, *143*
en el agua, 130-133
organismos de, 7, *10, 11,* 17
radiactivos, 57-82
eliminación de, *74, 75*
problemas y controversias de, 77-80
y reactores nucleares, 72-77
procedimientos de seguridad contra, 75
y fisión nuclear, 66
sólidos, 141-152
fuentes de, 141-142
métodos de eliminación, 144-148
y ciclos ecológicos, 141-142
Desierto, como ecosistema de clímax, 20, *23*
creación de, 31
del Sahara, 32, 33
Desintegración, e hidrocarburos clorados, 49
por segundo, definición de, 68
radiactiva, 63, 64
Desintegrador, organismo, *8,* 9
Destilación destructiva de desechos sólidos, 149, *150*
Destrucciones agrícolas, 30-39
Destructiva, destilación, de desechos sólidos, 149, *150*
Detergencia, definición de, 128
Detergentes, como elementos de las algas, 127
en los fosfatos, 128
y la muerte de las aguas, 126
Dieldrina, 45
Distribución de población, 162
en, India, *175*
Suecia, *174-177*
según la edad y el sexo, 170, *171, 173*
Diversidad del ecosistema, 29, 34
en pradera, 33, 34

ECOLOGIA, concepto, 1-26
Ecológico, nicho, definición de, 15
Ecosistema(s), agrícolas, 27-29
tecnología y, 40
de caracoles y algas, *6*
definición, 1
estabilidad de, 12-18
diversidad y, 29, 33, 34
en el bosque húmedo de coníferas, *13*
factores favorables a la, 14-15
función del hombre en, 20-24
vida de los insectos y, 43-44
y equilibrio natural, 2-3
Ecuaciones químicas, 218-219
Elásticas, ondas, 201, *202*
Electricidad, 59-60
empleo de, para los automóviles, 110
y la contaminación térmica, 194, *194*
Eléctrico, automóvil, ventajas y dificultades del, 110
Electrones, 60
Electrostático, precipitador, 105, *106*
Elementos químicos, composición de, 60
definición de, 60
Eliminación, de desechos sólidos, 144-145
por incineración, 148
terrestre, 146
Endrina, 45
Energía, calor y trabajo como formas de, 187, 190
descomposición y química de, 123, 124
eléctrica, 59-60
para automóviles, 110
y contaminación térmica, 193, *194*
medición de, 218
nuclear, puntos de vista opuestos en relación con, 71-72
producción de, métodos de eliminación de desechos, 72, 77
y contaminación térmica, *196*
y fisión atómica, 66, 71-72
para los procesos vitales, fuentes de, 3
transferencia de, 9
y sonido, 200
Enfriamiento, en, centrales eléctricas, 194
el termomotor, 190
la central de energía nuclear, *196*
torre de, 197
Equilibrio natural, definición de, 2
trastornos del, 12-18
y, amortiguamiento, 2
ecosistemas, 2-3
Erosión, 31, *36*
Escarabajo japonés, esfuerzos para combatir el, 46, 53
Estabilidad, de pesticidas, 50, 52
del ecosistema, 12-18
factores que favorecen la, 14
y diversidad, 29, 34
Estela del avión supersónico, 212
Esterilización como técnica de control de plagas, 54
Estratosférico, aire, contaminación del, y SST, 213
Estroncio-90, en la cadena de alimentos, 70
Eutroficación, 127
Evolución del hombre y ecosistemas agrícolas, 27
Extinción de una población, curva de crecimiento de la, *159*

FECUNDIDAD, definición, 164
Fermentación, 125
Fertilidad frente a fecundidad, 164

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Fertilización de la tierra, 30
Filtración, del aire contaminado, 103, *104*
de las aguas negras, 134, *135, 136,* 137, *138*
Fisiología, 1
Fisión nuclear, 66, 72
y, desechos radiactivos, 67
uranio-235, 66, 67
Fitoplaneton y DDT, 52
Fluorosis y contaminación del aire, 101
Fon en la medición de la intensidad del sonido, 206
Fondo, radiación de, 64
Fórmulas químicas, 218-219
Fosfatos, en los detergentes, 128
orgánicos como pesticidas, 53
Fotosíntesis, 4
Frecuencia, definición, 201

GANADO, daños causados al, por los contaminantes del aire, 101
efecto de los fluoruros sobre el, 101
Gaseosos, contaminantes, del aire, 87-93
Gases en el aire, concentración de, 84, *85,* 86
contaminantes, absorción de, 105, *107*
Gasolina como combustible para motor, problemas que plantea la, 95, 111
Genética, inmunidad, y pesticidas, 47
Geométrico, crecimiento, de la población, 157, *158, 159*
Glucosa, aerobiosis de, 124
Grasa, solubilidad de los pesticidas en, 50, 52

HEPTACLORO, 45
Herbívoros en ciclos alimentarios, 7, 10, 11
Hidrocarburos, clorados, 45-53. Véase también *DDT*
descomposición de, 49
como contaminantes del aire, 89
Hidrógeno, concentración de, en el aire, 86
en el agua, 118
y acidez, 133, *133*
fluoruro de, como contaminante del aire, 93
sulfuro de, efectos del, *90*
y putrefacción, 125
Hierba, mala obturación de las aguas por, *129,* 130
Higiénico, relleno, de la tierra para desechos sólidos, 147
Hombre, competencia para alimentos entre insectos y el, 43-45
ecosistemas agrícolas y, 27, 40
efectos de, contaminación del aire sobre el, 100
radiactividad sobre el, *69*
evolución del, y ecosistemas agrícolas, 27
función del, en ecosistemas, 20-24
Homeostasia, definición de, 2
del ecosistema, 3
Hongos, como plagas del trigo, 55
micelio de, como desintegrador, *8,* 9, 17
Hormonas de insectos, control de las plagas por el empleo de, 54
Humana, población, crecimiento de, 153-182
extrapolación de las curvas del crecimiento de la, 157-160
Humo, de tabaco, *85*
partículas en forma de, como contaminante del aire, 95

INCINERACION de los desechos sólidos, 198
India, destrucciones agrícolas en, 30-31
distribuciones de la edad de las mujeres en, *176*
Indochina, defoliación química de, 41
Industriales, desechos, categorías de, 143
en el agua, 130-132
Infantil, mortalidad, tasa de, 163
y transición demográfica, 168
Inmunidad genética a los pesticidas, 47
Insecticidas, 43-56
en cadenas de alimentos, 47
hidrocarburos clorados 45-52. Véase también *DDT*
naturales, 44
polvos, en el aire, 95
velocidad de depósito de, *85*
resistencia a los, 46
Insectos, competencia para alimentos entre hombre e, 43-45
control de, 43-56
por medio de enemigos naturales, 53
función de, en el ecosistema, 43
Isótopo(s), de carbono, 61
definición de, 61

JABON, mecanismo de acción del, 128
Jacinto, daños en el agua causados por, *129,* 130
Japonés, escarabajo, esfuerzos para combatir el, 46, 53

LAGOS, eutroficación de, 127
Logaritmos y medición de la intensidad de sonido, 204, 205

LLUVIA, como materia en partículas en el aire, *85*
y ecosistemas de clímax, 20

MACH, número, 213
Malthus, Thomas Robert, teorías de, 157
Masa, definición de, 58
medición de, en el sistema métrico, 217
números de, 58
de las partículas atómicas, 60
Media vida y, contaminantes del agua, 126
radiactividad, 63
Medición de, energía, 218
intensidad de ruido, 204-207
longitud, 217
masa, 217
temperatura, 218
volumen, 218
sistemas de, 217
Mercurio, como desecho industrial contaminante del agua, 131
envenenamiento por, 132
Metabolismo y cambios de temperatura, 191, 192
Metales y contaminación del aire, 95
Metano, concentración atmosférica del, 86
Metilmercurio, envenenamiento por, 132
Microorganismos en el agua, 122-123
Migraciones humanas, efectos de, sobre las poblaciones, 164, 169
Moderador en el reactor nuclear, 73
Mortalidad, tasa de, *165, 167*
infantil, 163
Movimiento y energía, 200
Mutaciones y pesticidas, 47

NACIMIENTO, cohorte de, 172
Natalidad, tasa de, 164
y transición demográfica, 168
Natural, sucesión, 18-20
Neutrones, 60
control de, en el reactor nuclear, 72
Nicho escológico, definición de, 15
Nilo, valle del, historia de la agricultura, en el, 37
Nitrificación, 124
Nitrógeno, compuestos de, como contaminantes del aire, 9
concentración de, en el aire, 86
Nuclear(es), energía, producción de, y contaminación térmica, *196*
puntos de vista opuestos en relación con, 71-72
fisión, 66, 72
reactor(es), *73*
especificaciones del, 72
estructura de contención para, *77*
y métodos de eliminación de desechos, 72-77
Núcleo atómico, composición del, 59
inestable en la naturaleza, 62
Nutritivos, elementos, en el agua, 123-126

OKLAHOMA, Cuenco del Polvo en, historia del, 32
Omnívoros en ciclos alimentarios, 9
Onda(s), elásticas, longitud de, 201, *202*
sonoras, principios de, 200-203
velocidad de la, 201
Orgánicos, fosfatos, como pesticidas, 53
Oxidación, conversión de los contaminantes del aire por, 108
Oxidantes como contaminantes del aire, 91
Oxigenados, compuestos, como contaminantes del aire, 88
Oxígeno, concentración de, en el, agua, 118, 123-126
aire, 86
y descomposición bacteriana, 125
Ozono, 91
como, agente germicida, 92
contaminante natural del aire, 86
efectos de, sobre materiales de caucho, *92*

PARASITOS, insectos para el control de, 53
Partículas, atómicas, 60
coloidales en agua, 120, *120, 121*
contaminación del aire por, 93-96
clasificación de, 94
eliminación de, *104, 105*
no viables, 94
radiactivas. Véase *Radiactivo(a)(s), materia* y *desechos*
viables, 94
en el aire, concentraciones de, 84-86, *85*
suspendidas, 119, *120, 121*
Pastos, tierras de, como ecosistema de clímax, 20, *25*
diversidad de, ecosistema de, 33, 34
Peces, efectos del cambio de temperatura sobre, 191, 192, 193
y DDT, 52
Perpetuo, movimiento, máquina de, 186, 187, 188, *199*
Pesticidas, 43-56
concentración de, en los tejidos animales, 51
de vida corta, 53
en las cadenas de alimentos, 47, 52
hidrocarburos clorados, 45-52
inmunidad a los, 47
resistencia a los, 44, 46
y envenenamiento por mercurio, 132
Petróleo en la producción de calor, 185
pH, definición, 133-134
Pingüinos y DDT, 52
Pirólisis de desechos sólidos, 149, *150*

Preparatoria abiertaOnline | Disponible en Preparatoria Abierta Online www.prepa-abierta.com

Plagas, control de, 43-56. Véase también *Insecticidas* y *Pesticidas*
Plancton en el ciclo alimentario acuático, *11*
Plomo, como contaminante del agua, 130
y contaminación de aire, 95
Población(es), control de, en el ciclo de alimentos, 17
humana(s), crecimiento de la, 153-183
extrapolación de las curvas de, 157-160
historia de, 153, *155*
tasa de, 153
predicción del volumen futuro de, 156, *170*, 170-176
Polen como contaminante, 94
del aire, 87
Polvo(s), Cuenco del, formación del, en Oklahoma, 32
en las aguas naturales, 121
insecticidas en el aire, *85*, 95
protección del, 34
Pradera como ecosistema de clímax, 20, *22*
diversidad de, 33, 34
Primera Ley de la Termodinámica, 186-187
Proteína, aerobiosis de, 124
Protones, 60
Putrefacción, 125
Putrefactores, organismos, funciones de, en el ecosistema, 15
Pyrethrum, 44

QUÍMICA(s), defoliación, en Indochina, *41*
símbolos, fórmulas y ecuaciones, 218-219

RAD, definición de, 68
desechos, 58. Véase también *Radiactivos, desechos*
y reactor nuclear, 73
Radiación, de fondo, 64
efectos de, sobre el hombre, 69, *69*
Radiactividad, acción de, 62-64
efectos de la, sobre la vida, 67-71
en la naturaleza, 62
medición de, 68
Radiactivo(a)(s), desechos, 57-82
eliminación de, *74, 75*
liberación y eliminación de, problemas de, 77-80
procedimientos de seguridad contra, 75
y, fisión nuclear, 66
reactores nucleares, 72
materia, producción de, por el hombre, 64, 67
Radio-226, descomposición de, 62
media vida de, 63
Radioisótopos, 62
y media vida, 63
Reactor(es), nuclear(es), especificaciones del, 72
estructuras de, contención para, 77
y métodos de eliminación de desechos, 72-77
Recirculación, en la agricultura, de elementos nutritivos de la tierra, 30
de desechos sólidos, *145*, 149-151
Respiratorias, vías, enfermedades de las, y bióxido de nitrógeno, 91
Riego de la tierra, 30
peligros de, 37
Roentgen, definición de, 68
Roja, bosque de madera, ecosistema del, 14
Rotenone, 45
Ruido, 200-215. Véase también *Ruido, intensidad del*
control de, 209-211
diferenciación de sonido, 203
efectos de, 208-209
fuentes del origen de, reducción de, 209
medición de intensidad del, 204-207

SAHARA, desierto del, 32, 33
Sales, contenido de, en la tierra, 37
Salmón y DDT, 52
Segunda Ley de la Termodinámica, 187-190
Seguridad, procedimientos de, contra desechos radiactivos, 75
Sexuales, elementos atrayentes, en el control de plagas, 54
Sigmoide, curva, del crecimiento de la población, *159*
Silenciadores para la interrupción del ruido, 210
Simbiosis y relaciones ecológicas, 17
Símbolos químicos, 218-219
Sólidos, desechos, 141-152. Véase también *Desechos sólidos*
industriales, categorías de, *143*
Sónico, boom, 212
Sonido, altura o tono del, y frecuencia de ondas, 202
del SST, medición de, 211
diferenciación con el ruido, 203
intensidad del, logaritmos en, 205
y escala decibel, 204-207
medición, 204-*207*
subjetiva de, 206, *207*
propiedades del, 200-203
y pérdida de audición, 208
Sordera y niveles de ruido, 208
SST (transporte supersónico) y contaminación por el ruido, 211-214
Sucesión natural, 18-20
etapa clímax de, 20

Suelo, agotamiento de, 31, *36*
fertilización del, 30
retención de pesticidas por el, 50, 52
Sulfúrico, ácido, en el aire, 89
Sulfuro, trióxido de, 89
Supersónico, transporte, medición de intensidad del sonido en, 211
y ruido, 211-213

TABACO, humo de, como contaminante del aire, *85*
Tasas de mortalidad, 163, 165, *167*
Tecnología, de la purificación del agua, 134-138
y, agricultura, 27, 29
ecosistemas, 2
producción de energía, 187
Temperatura, cambios de, efectos sobre la vida, 191-195
medición de, 218
Térmica, contaminación, 184-199
Termodinámica y contaminación térmica, 185
Termomotor(es), esquema del, *191*
y Segunda Ley de Termodinámica, 187-190
Terrestre, base, ciclo alimentario de, 9, *10*
eliminación, de desechos, 146
Tierra, relleno higiénico de, 147
Tigris y Eufrates, historia agrícola del valle del, 32, 33
Tiroxina y yodo radiactivo, 67
Toxafeno en las cadenas de alimentos, 47
Toxicidad de los pesticidas, 46, 52
Trabajo, como forma de energía, 187
y producción de calor, 185-186
Transporte supersónico, 211
Trastorno de ecosistemas, 12-18
Trucha, efectos de los cambios de temperatura sobre la, 192
y DDT, 51
Tundra como ecosistema del clímax 20, *21*

URANIO-235 y fisión nuclear, 66
Uranio-238, media vida del, 64
y fisión nuclear, 72

VATIOS, medición en, de la energía del sonido, 204
Vegetación, efectos de la contaminación del aire sobre la, 95, *100, 102,* 103
Vegetal, vida, efectos de contaminantes del aire sobre, 98, *100, 102,* 103
producción de alimentos por, 6, 10, 11
utilización y producción de energía por, 3
Velocidad del sonido, 201-202
Venenos, acumulación de, en tejido animal, 51
insecticidas, 45-52
no selectivos, 46
Verdes, Revolucionarios, 40
Vertederos para desechos sólidos, 146
Vida, efectos, de radiactividad sobre la, 67
de los cambios de temperatura sobre la, 191-195
Virus transportados por el aire, *85*
Vitales, acontecimientos, 161
tasas, 161
Volumen, medición del, 218

YODO y tiroxina, 67