

## Introducción

**E**n esta unidad se examinan los principios básicos de la naturaleza, que sirven de fundamento para describir los procesos del ciclo de la materia, el flujo de energía, la productividad y sustentabilidad de la Tierra, así como su conservación y homeostasis.

El conocimiento y la comprensión de los principios básicos ecológicos son fundamentales para entender las causas de la problemática ambiental que actualmente padece la humanidad. Un enfoque holístico permite comprender que los ecosistemas o el entorno natural brinda bienes y servicios para el bienestar del ser humano y que los problemas, como el crecimiento de la población humana, la alteración, fragmentación o destrucción de los ecosistemas, la reducción de la biodiversidad, el agotamiento de los recursos naturales, la acumulación de desechos y contaminantes emitidos por las actividades humanas han generado una problemática ambiental con un impacto negativo en la naturaleza, que a la vez, constituyen una amenaza para el bienestar de los mismos seres humanos.

Por tanto, el estudio del hábitat llamado planeta Tierra debe involucrar un enfoque interdisciplinario, el cual permite reducir la complejidad o simplificar la problemática ambiental al brindar un punto de vista holístico, considerando a la Tierra como un ecosistema.

## CAPÍTULO 1. EL PLANETA TIERRA COMO ECOSISTEMA

*Primero, fue necesario civilizar al hombre en su relación con el hombre. Ahora, es necesario civilizar al hombre en su relación con la naturaleza y los animales.*

Víctor Hugo

La Tierra se formó aproximadamente hace 4.550 millones de años a partir de la nebulosa protosolar, junto con el Sol y los demás planetas del Sistema Solar (Colebrook Michael, 2006). La Tierra ocupa el cuarto lugar en tamaño de los planetas del sistema solar y es el tercero en orden de distancia con respecto al Sol.

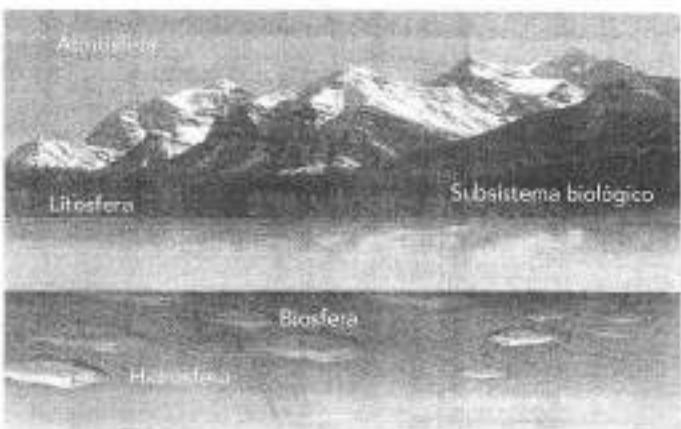
Los rasgos más sobresalientes de la Tierra son los siguientes:

- Es el único lugar del universo donde se ha confirmado hasta ahora que existe vida.
- Ha evolucionado mediante procesos geológicos y biológicos.
- Su superficie externa se divide en litósfera e hidrosfera, donde la litósfera está fragmentada en una serie de placas que se desplazan sobre el manto terrestre y se sitúan principalmente en el hemisferio norte. La hidrosfera está constituida principalmente por los océanos.
- Su interior permanece activo, con una gruesa capa de materiales fundidos y un núcleo rico en hierro que genera un campo magnético.

A continuación se describen los dos primeros principios básicos de la naturaleza, que definen el concepto Tierra, su estructura y funcionamiento.

## 1.1 ¿Qué es el planeta Tierra?

El primer principio básico de la naturaleza establece que *la Tierra es un ecosistema o sistema viviente caracterizado por ser finito, en homeostasis y sustentable*. En la imagen de entrada de la unidad se observa una panorámica del planeta Tierra desde el espacio, esta fotografía permite demostrar el primer principio básico de la naturaleza. En 1972 la tripulación del Apolo 17 pudo fotografiar por primera vez a nuestro planeta desde el espacio.

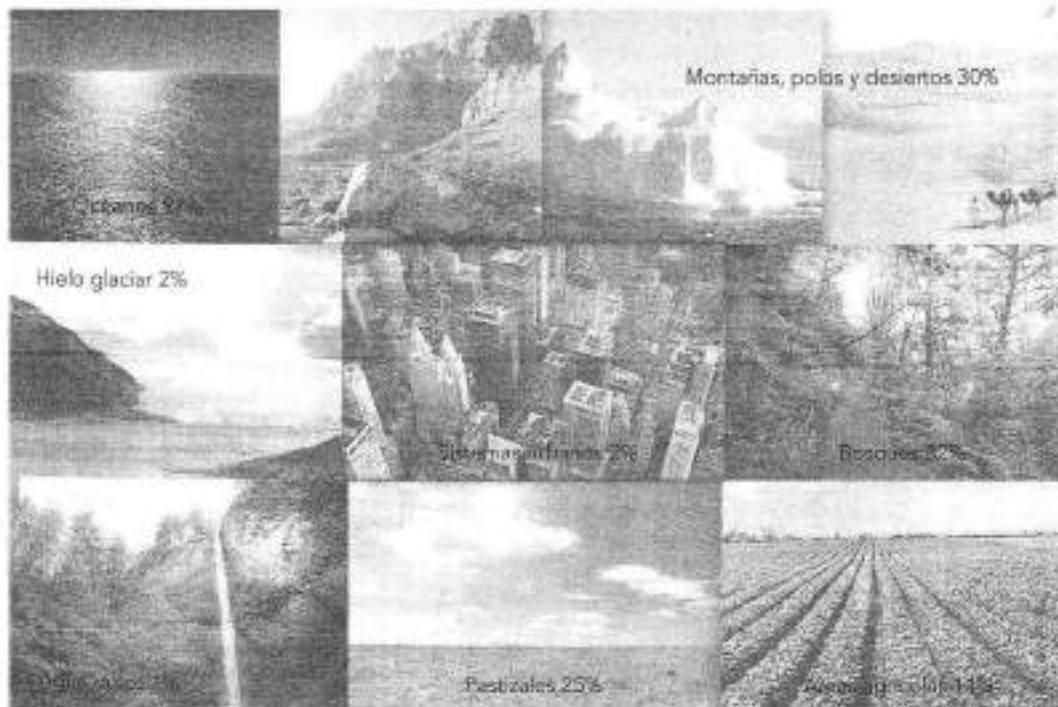


**Figura 1.1**

La Tierra es un sistema viviente por la interacción de los diversos ecosistemas que la integran.

### 1.1.1 La Tierra es un sistema viviente

La Tierra, llamada también **Gaia**, es un sistema viviente o ecosistema por sí misma (figura 1.1) y esta característica está definida por la interacción de los diversos ecosistemas acuáticos y terrestres que la integran (Margulis, 1998) (figura 1.2) y que al evolucionar mediante procesos geoquímicos (abióticos) y biológicos (bióticos) determinaron las condiciones iniciales apropiadas para el inicio de la vida y la posterior consolidación de la biosfera. (Colebrook Michael, 2006.)



**Figura 1.2**

La Tierra es un sistema finito, no solo en sus dimensiones sino, además en sus recursos. El porcentaje de los océanos, hielo glaciar y agua dulce corresponde a la hidrosfera y el resto de la litosfera.

### 1.1.2 La Tierra es finita en espacio, recursos y sustentabilidad

Asimismo, la Tierra, a pesar de su inmensidad y riqueza de recursos se caracteriza por ser finita no sólo en su dimensión o tamaño, 12.756,3 km (diámetro de la Tierra), sino también en su espacio y recursos disponibles para el hombre, como se observa en las figuras 1.2 y 1.3.

La Tierra, también llamada el “planeta azul” por el color azul que la caracteriza en su superficie, está cubierta en un 70% por la hidrosfera (1.300 millones de kilómetros cúbicos de agua) donde 97% son océanos (agua salada), 2% hielo glaciar de las zonas polares y partes altas de las montañas (28,3 millones de km<sup>3</sup>), y que a pesar de ser agua dulce, no está disponible ni accesible al ser humano. Solamente el 1% (8,1 millones de km<sup>3</sup>) de toda el agua presente en el planeta es agua dulce, accesible y disponible para el consumo de los seres vivos (figura 1.2). Actualmente, la población mundial consume el 54% del agua dulce disponible (Linden, 2000).

Como se observa en la figura 1.2, el 30% restante es la litosfera (suelo) o corteza terrestre, donde 30% corresponde a las áreas polares, desiertos y montañas, que no son aprovechables por el ser humano; 32% es área de bosque; 25% pastizales; y del 11% de la superficie continental, el ser humano ha modificado el uso del suelo de áreas naturales a áreas agropecuarias y solamente 2% es ocupada por asentamientos humanos (ciudades).

Igualmente, los recursos de la Tierra son finitos con base en su disponibilidad y accesibilidad, y de acuerdo con esta particularidad podemos clasificar los recursos (energía y materia) presentes en la Tierra en recursos permanentes o inagotables, recursos agotables o no renovables y en recursos renovables (figura 1.3).

Los recursos permanentes son inagotables en la escala de tiempo humano, aunque puede haber variación en la distribución espacial y temporal del recurso (energía solar, vientos, mareas y suelo).

Los recursos agotables o no renovables existen en la Tierra en una cantidad finita o determinada. Si no se usan estos recursos de una manera racional y eficiente se agotarán, ya que no se forman más

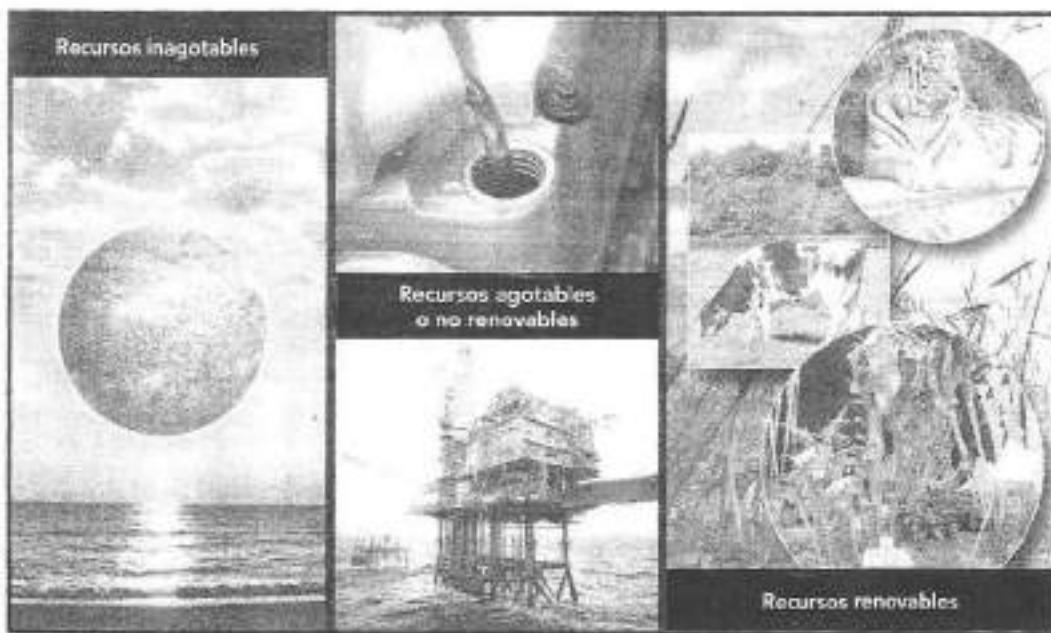


Figura 1.3

Con base en su disponibilidad y accesibilidad, los recursos presentes en la Tierra son finitos.

en la naturaleza, como los recursos fósiles (carbón y petróleo), o porque se forman a una tasa inferior a la de degradación o destrucción, como por ejemplo el suelo, el cual es un recurso renovable pero por su lento proceso de formación se considera un recurso agotable.

Los recursos renovables son aquellos que se generan y conservan por medio de procesos bioquímicos que se producen en los diferentes ciclos de la vida como el ciclo del oxígeno, del agua, del carbono, del nitrógeno y los seres vivos (plantas y animales) vía el proceso de reproducción. Estos recursos pueden agotarse o convertirse en factores limitantes cuando las tasas de consumo y contaminación rebasan la tasa de velocidad de ciclado por el cual se conservan y purifican.

A la atmósfera, que es la capa gaseosa que envuelve a la Tierra, es finita, ya que como se puede observar en la figura 1.4 tiene un espesor de 90 a 100 km.

Considerando dos aspectos fundamentales de la atmósfera, y que son vitales para la biosfera, se puede deducir que su espesor es aún menor, ya que si observamos la capa de ozono, se distribuye entre los 25 y 45 km, dependiendo de la latitud. El ozono ocupa 0.00006% de los gases de la atmósfera y es importante ya que funciona como filtro de los rayos ultravioleta, que son letales para la biosfera. Mientras que el 95% de la concentración del oxígeno se encuentra en la troposfera (los primeros 10 km de espesor), este gas es indispensable para las especies aeróbicas.

### 1.1.3 La Tierra está en equilibrio u homeostasis

Otra particularidad que caracteriza a la Tierra como ecosistema es que la biosfera autorregula las condiciones del planeta (procesos geológicos y geoquímicos) para mantener estables o en equilibrio condiciones tales como: la temperatura global de la superficie de la Tierra, la composición atmosférica y la salinidad en el océano (Miller, 1994), para hacer su entorno físico más estable y favorable para la vida. Esta estabilidad o equilibrio es definida por la *Hipótesis de Gaia* como homeostasis. (Margulis, 1998; Miller, 1994) y se ilustra en la figura 1.5.

No obstante que las condiciones del entorno nunca son constantes, sino que se caracterizan por una variabilidad de hora a hora, de día a día, de temporada a temporada y de año a año, el ecosistema tiende a ser estable o estar en homeostasis por funcionar en un rango de condiciones o rango de tolerancia y por lo tanto en un equilibrio dinámico (Chiras, 1991; Miller, 1994).

También, esta condición de homeostasis no significa una estabilidad constante o estable equilibrio como una característica fundamental de los ecosistemas, ya que la naturaleza tiende a desestabilizarlos vía competencia intraespecífica e interespecífica por espacio y recursos, interacciones de presa-depredador, limitación de recursos y disturbios entre otros factores, por lo que los ecosistemas tienden a ser estables o mantener su equilibrio u homeostasis por desarrollar mecanismos de restablecimiento, tales como: **inercia o resiliencia**, tolerancia y resistencia (Chiras, 1991).

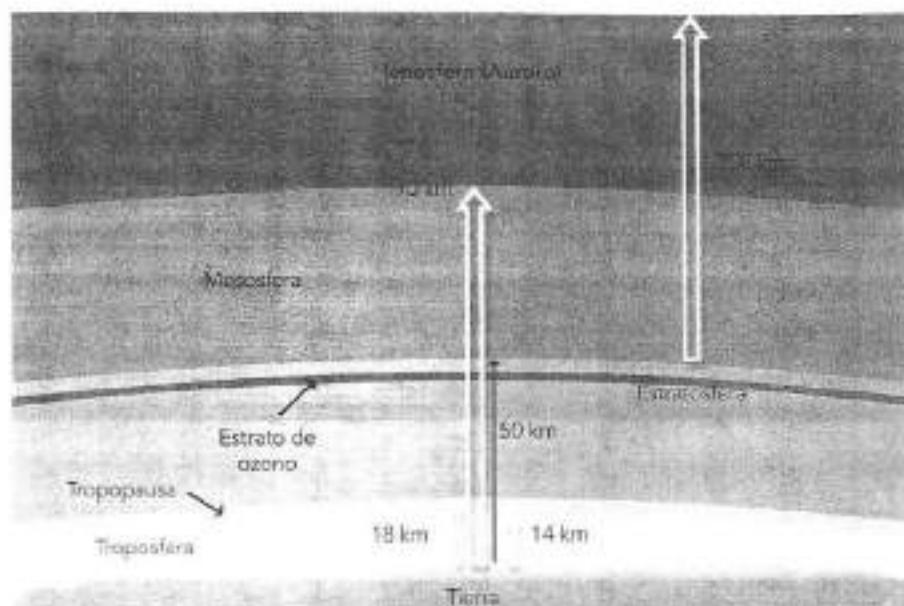


Figura 1.4

La atmósfera es finita en su espesor.

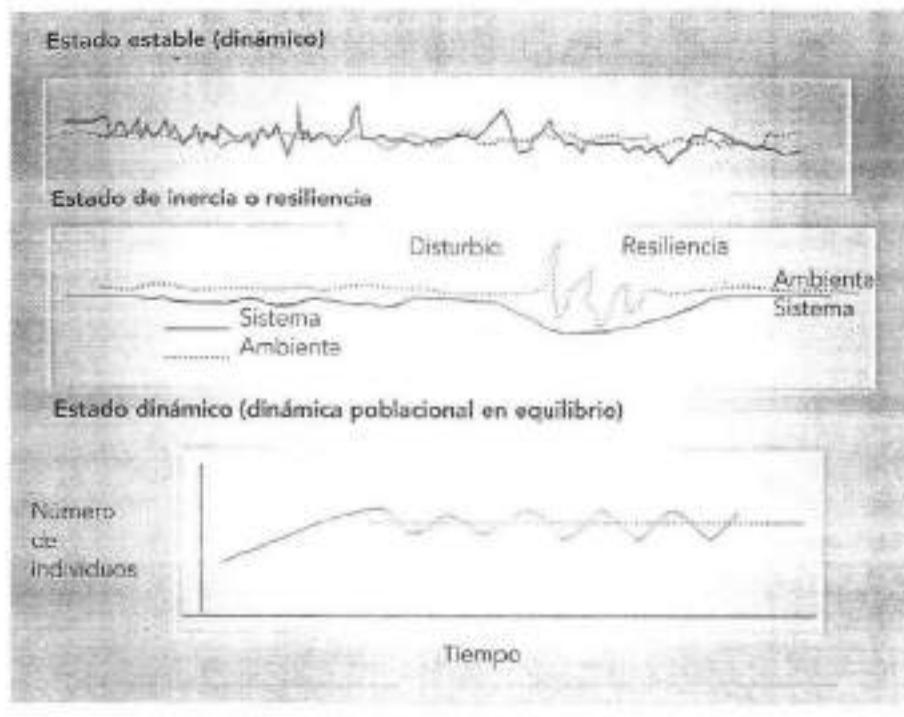


Figura 1.5

Representación del equilibrio dinámico (homeostasis) de un sistema ecológico.

De igual forma, cuando se observa a un sistema ecológico por un período prolongado (de años a décadas) se puede determinar la condición de homeostasis en la dinámica poblacional del ecosistema.

Chiras (1991) indica que la diversidad de especies (**biodiversidad**) es la que mantiene la estabilidad del ecosistema e incrementa su resiliencia, y este autor agrega, que asimismo se puede percibir esta condición de equilibrio u homeostasis en el sistema ampliando o incrementando la escala espacial de observación donde, a nivel del paisaje, la resolución varía de heterogéneo a homogéneo lo que permite distribuir el riesgo de desequilibrio.

## 1.2 Estructura y funcionamiento de la Tierra

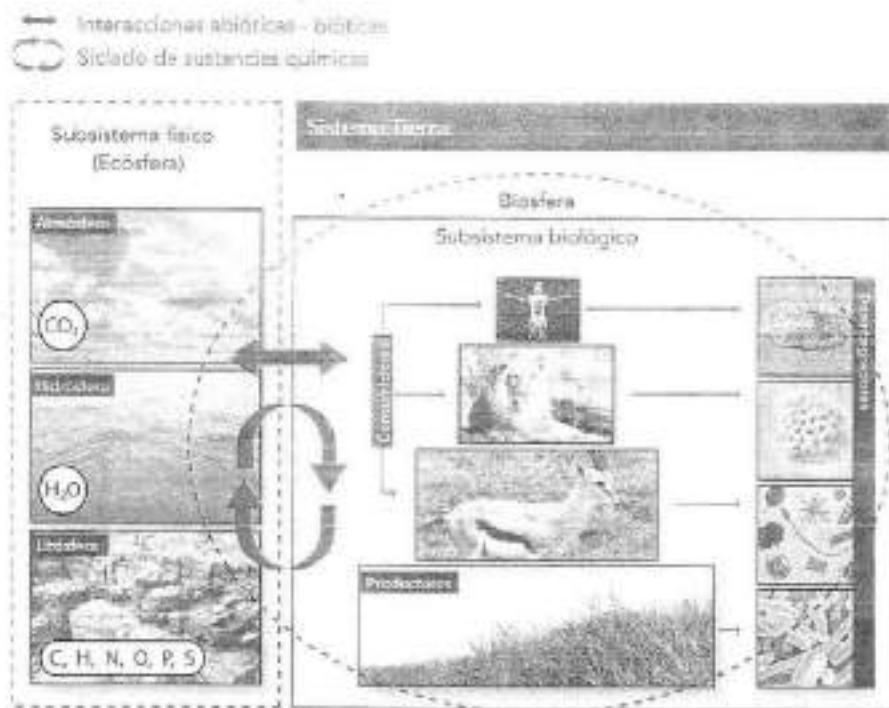


Figura 1.6

La Tierra está constituida por el subsistema físico y el subsistema biológico.

El segundo principio básico de la Naturaleza establece que *la Tierra es un sistema vivo, constituido por dos subsistemas: subsistema físico o ecosfera y subsistema biológico*. La figura 1.6 muestra los subsistemas que constituyen a la Tierra.

### 1.2.1 Subsistema físico

El subsistema físico está integrado por la atmósfera (aire), la hidrosfera (agua) y la litosfera (suelo). En la figura 1.7 se muestra la estructura de la atmósfera, que es la capa de gases que envuelve a la Tierra y se compone principalmente de nitrógeno (78%), oxígeno (21%), dióxido de carbono (0.033%), así como vapor de agua y otros gases en menor concentración.

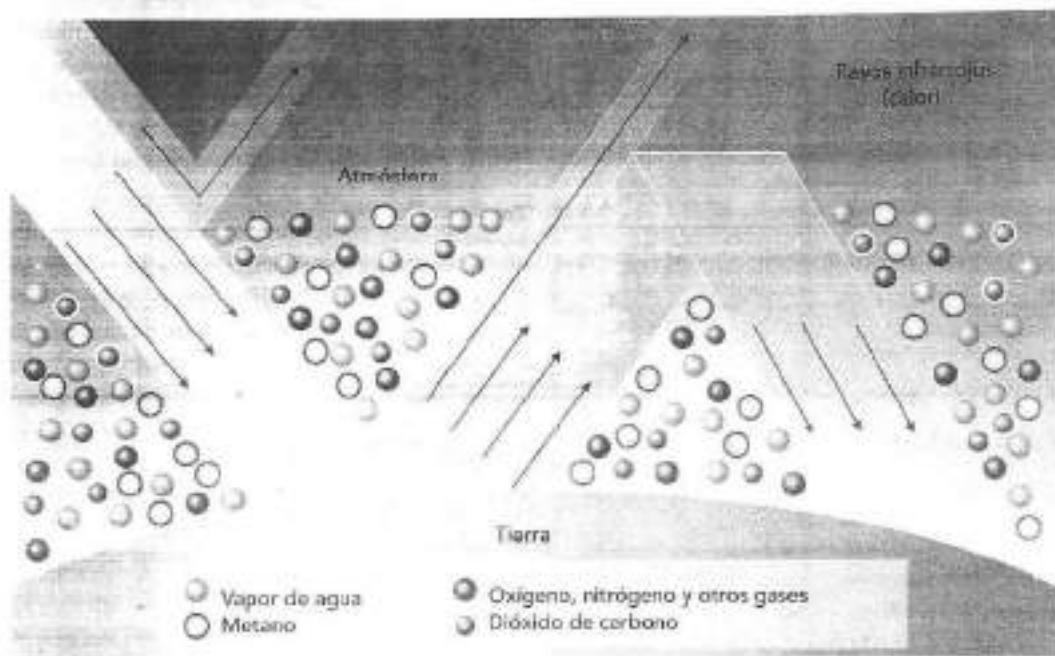


Figura 1.7

Componentes de la atmósfera, la fina capa de gases que envuelve a la Tierra.

La atmósfera es una cubierta protectora de la Tierra, sin ella la temperatura terrestre alcanzaría más de 75 °C durante el día y menos de 130 °C bajo cero durante la noche. La atmósfera protege la superficie de la Tierra de la radiación solar de alta energía (ultravioleta, rayos gamma y rayos X), que es dañina para los seres vivos, mientras que deja pasar radiación menos energética (radiación visible, rayos IR, etc.), que es esencial en diversos procesos para los seres vivos, como el efecto invernadero y la fotosíntesis.

El vapor de agua, el CO<sub>2</sub> y otros gases como óxidos de nitrógeno, son conocidos como gases de efecto invernadero, ya que absorben la radiación infrarroja (calor) que refleja la Tierra, de esta forma evitan que el planeta se congele durante las noches. En este sentido la atmósfera actúa como una cubierta térmica, que asemeja un invernadero.

Como se mencionó en la figura 1.4, en la atmósfera también se encuentra presente el ozono, el se concentra en la estratosfera y sirve como filtro natural de la radiación ultravioleta proveniente del Sol, protegiendo así a los seres vivos de los daños de este tipo de radiación. Asimismo, la atmósfera representa el principal depósito del oxígeno, gas que es vital para la respiración de los organismos aeróbicos.

Las variaciones atmosféricas o fenómenos meteorológicos, que ocurren casi exclusivamente en la parte baja de la atmósfera, llamada troposfera, redistribuyen el calor convectivamente, y junto con los gases de efecto invernadero mantienen la temperatura promedio de la Tierra (15 °C).

La hidrosfera es el agua en estado líquido que cubre a la Tierra. Está integrada por los mares, océanos, lagos, ríos y otros cuerpos de agua superficiales y subterráneos, además del agua en estado sólido o congelada en los casquetes polares, los glaciares y el agua en estado gaseoso o vapor, gotas de lluvia y cristales de hielo presentes en la atmósfera. El agua es importante porque es un elemento esencial para la vida y constituyente de los organismos vivos. Otro factor importante de la hidrosfera son las corrientes oceanicas, que contribuyen en la determinación del clima (global y regional), al distribuir la energía calorífica de la región ecuatorial hacia las regiones polares. Sin esta redistribución de energía calorífica realizada por la interacción entre las corrientes oceanicas y atmosféricas los climas de las diferentes regiones del planeta serían extremos, es decir, las temperaturas de las regiones tropicales serían muy superiores a las temperaturas de las regiones polares.

La litosfera es la porción sólida de la corteza terrestre, está formada por una compleja muestra de materiales inorgánicos (arena, limo y arcilla, aire y agua) y materia orgánica. El suelo es el sustrato

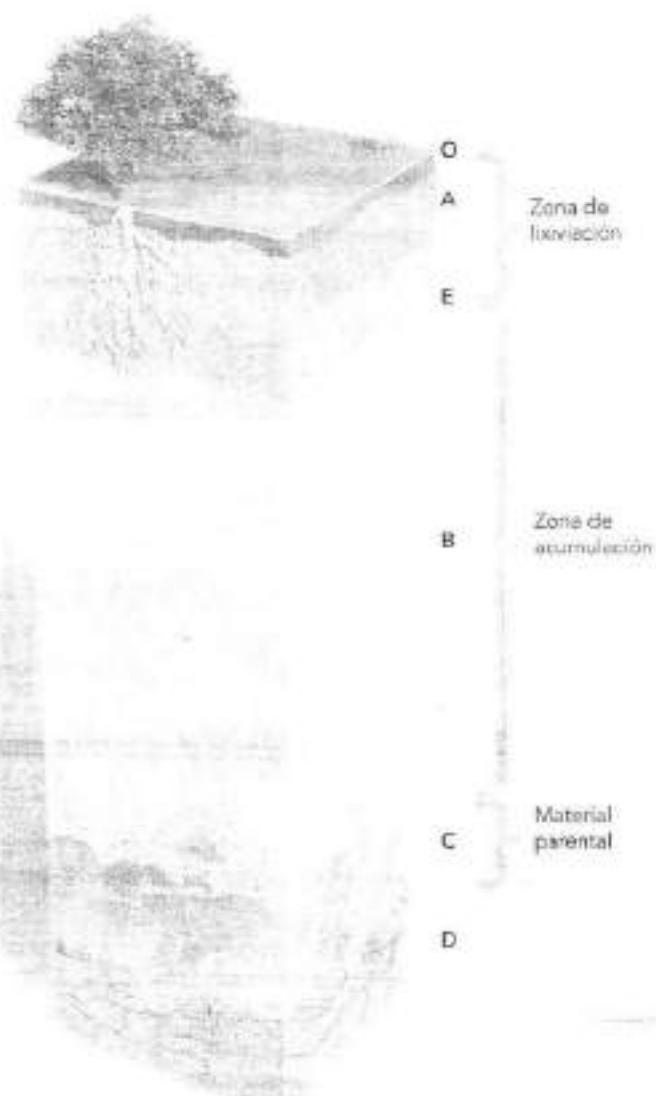


Figura 1.6  
Corte o perfil del suelo.

sobre el que se desarrollan la mayoría de los organismos que viven sobre o dentro de la litosfera, es el hogar de billones de macroorganismos, al igual que de microorganismos. La figura 1.8 muestra el corte o perfil del suelo.

El suelo es uno de los cuatro recursos naturales máspreciados ya que integra todas las otras partes del ecosistema, provee un medio para las plantas para que así el ser humano pueda disponer de alimentos, ropa y otros materiales, lo usa para construir en él, caminar en él y jugar en él. El suelo filtra agua, y en él ocurre el proceso de la descomposición, almacena calor e intercambia gases.

En este subsistema físico se encuentran las sustancias inorgánicas (aire, agua, suelo, la luz, la temperatura), elementos y compuestos químicos inorgánicos (elementos tales como: C, H, N, O, P, S; y compuestos como:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , entre otros) y ocurren los procesos abióticos por ejemplo: intemperización, radiación, reflexión y flujo de energía.

### 1.2.2 Subsistema biológico

Como se mostró en la figura 1.6, el subsistema biológico está integrado por los organismos **productores**, **consumidores** (primarios, secundarios y terciarios) y **desintegradores**. En este subsistema se encuentran los materiales y sustancias orgánicas y ocurren las intrarrelaciones e interrelaciones bióticas entre organismos.

Las interacciones y procesos abióticos-bióticos que ocurren entre los dos subsistemas constituyen un sistema ecológico llamado **biosfera**. En la biosfera, los seres vivos autorregulan estas interacciones e intercambios (de energía y materia) y se caracterizan por ser complejas, de amplia escala temporal y amplia distribución espacial (Margulis, 1998; Miller, 1994; Chiras, 1991).

Los intercambios de sustancias químicas en la biosfera ocurren vía ciclos, llamados **ciclos biogeoquímicos**, los cuales se caracterizan por presentar dos fases: la fase ambiental, donde el elemento químico está en forma inorgánica en el suelo, agua y aire; y la fase orgánica, donde el elemento forma parte de los seres vivos (plantas y animales). En el capítulo 2 se estudiarán con detalle los principales ciclos biogeoquímicos.

## CAPÍTULO 2. FLUJO DE ENERGÍA Y CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

*En la biodiversidad, en el sistema ecológico, no va bien nada, si no va bien todo junto.*

Joaquín Aragón

La Tierra funciona con base en dos procesos fundamentales: el flujo de energía y el ciclo de las sustancias o materia, ambos procesos son determinados y regulados por los seres vivos.

### 2.1 Flujo de energía

El tercer principio básico de la naturaleza establece que *la Tierra es un sistema abierto con respecto al flujo de energía*.

El Sol, no sólo es el centro del equilibrio gravitacional del sistema solar, sino también es la fuente externa de energía para la Tierra, lo que determina que en cuanto al flujo de energía, la Tierra funcione como un sistema abierto (Alfaro, et al., 2007).

Con base en la **Primera Ley de Termodinámica** se puede validar que en la Tierra la única fuente de energía es el Sol y que ésta no puede ser creada o destruida, no obstante y a pesar del conocimiento y tecnologías generadas a lo largo del desarrollo humano, el ser humano no puede crear o destruir la energía, sólo transformarla.

La figura 2.1 muestra el flujo de energía en la Tierra, que funciona como un sistema abierto y se caracteriza por permanecer en balance energético.

#### 2.1.1 El equilibrio energético de la Tierra

Del total de la energía generada por el Sol, a nuestro planeta llega un 10% como radiación ultravioleta (rayos UV), 45% luz visible y 45% de radiación infrarroja. Esta radiación incidente de diferentes formas y cantidades es suficiente y es el elemento climático más importante, ya que es la fuente de energía de todos los demás procesos biológicos y físicos, condiciona los flujos de energía dentro de los ecosistemas y condiciona la intensidad y frecuencia de los otros elementos del clima (Alfaro, et al., 2007).

A partir del Sol se inicia el flujo de energía; la cual viaja a través del espacio y demora de siete a ocho minutos en llegar a nuestro planeta, un 34% es inmediatamente reflejado por las nubes, sustancias químicas y polvo suspendido en la atmósfera y por la superficie terrestre. Del 66% remanente, 42% calienta la atmósfera y la superficie del planeta, 22% evapora el agua y la circula a través de la ecosfera y 1% genera los vientos. El 1% restante es capturado por las plantas verdes u organismos fotosintéticos y es utilizado para producir compuestos orgánicos a través del proceso de la fotosíntesis (figura 2.2).



Figura 2.1

Respecto al flujo de energía, la Tierra funciona como un sistema abierto y en balance energético.

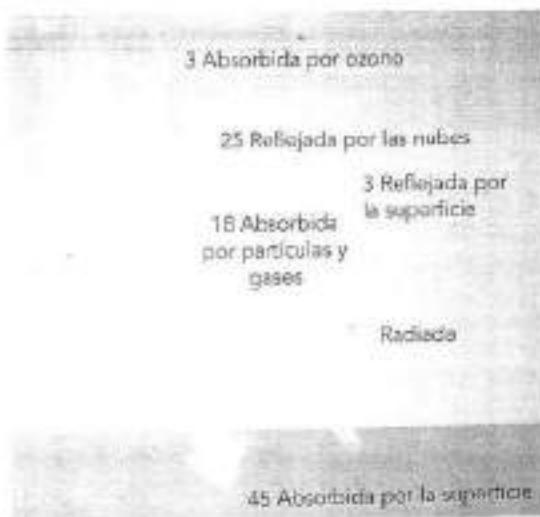


Figura 2.2

Interacción de la energía solar con la atmósfera y la superficie terrestre.

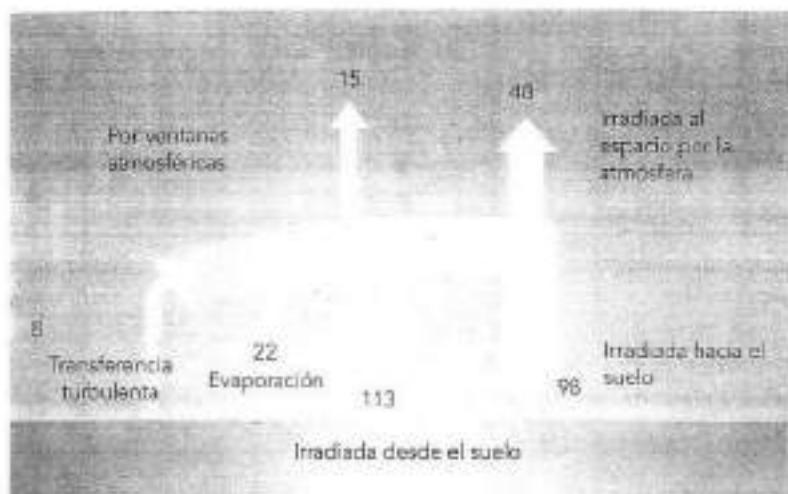


Figura 2.3

Destinos de la energía irradiada por la superficie del suelo.

fotosintéticas u organismos productores y esta energía química es dispersada a través de la cadena alimenticia a los consumidores (herbívoros, carnívoros y omnívoros) y desintegradores (figura 2.4).

Esta transformación de energía, vía fotosíntesis, no sólo es el inicio del flujo de energía a lo largo de las cadenas tróficas en la biosfera sino también en sistemas antropogénicos, como los campos agropecuarios y forestales (Alfaro, Limón, Martínez, *et al.*, 2007).

De la proporción de energía absorbida por la superficie terrestre, ésta es posteriormente irradiada a la atmósfera calentando la parte baja de ella, causando además el proceso de evaporación, y ser redirigida de nuevo a la superficie terrestre, irradiada nuevamente a la atmósfera e irradiada por ésta al espacio exterior y salir por las ventanas atmosféricas, como se muestra en la figura 2.3.

Del 100% de la energía solar que recibe la Tierra, 99% es retornada al espacio exterior por los procesos de reflexión e irradiación, los cuales son determinantes para mantener el equilibrio o balance energético en el planeta.

El remanente 1% de la energía lumínica del Sol, entra al subsistema biológico donde es capturada y transformada de energía solar a energía de biomasa por las plantas

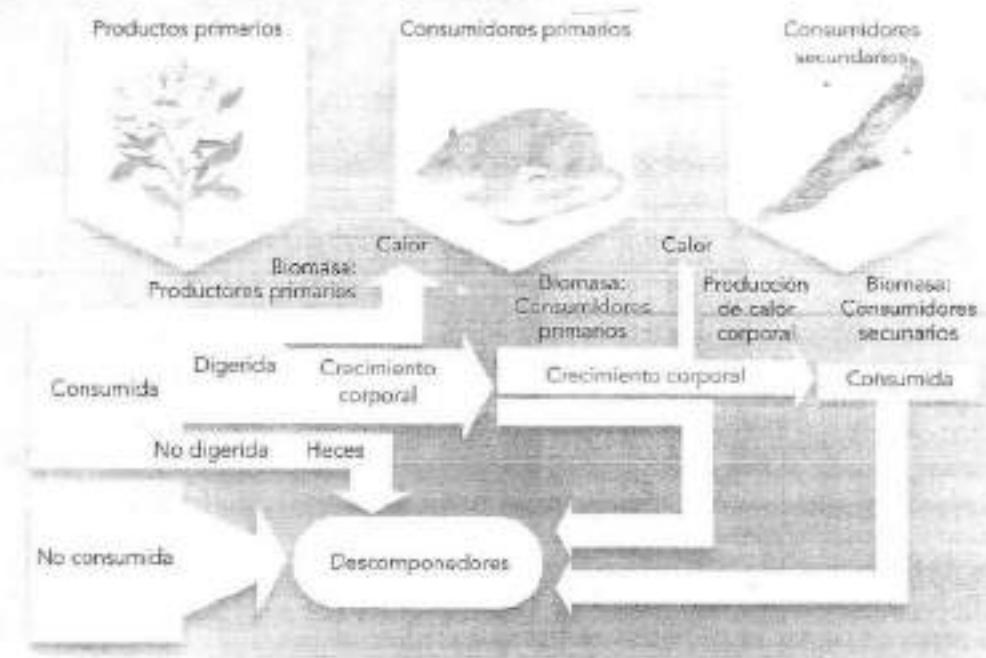


Figura 2.4

Flujo de energía química a través de la cadena trófica.

## 2.1.2 Pirámides ecológicas

El balance energético a lo largo de las cadenas tróficas es explicado por la Segunda Ley de Termodinámica, la cual indica que en cada transformación se pierde o disipa energía en forma de calor o en otras palabras la energía inicial se degrada a otra forma de energía menos útil o menos concentrada, como se detalla en la figura 2.4. El porcentaje de energía transferida de un nivel trófico a otro, varía de 2% a 30%, dependiendo del número de niveles, de las especies y del tipo de ecosistema.

Con base en esta ley, el flujo de energía a través de los niveles tróficos de las cadenas alimenticias nos permite determinar las pirámides ecológicas en términos de energía, biomasa y número de individuos, como se muestra en la figura 2.5.

El término de pirámide denota la disminución de las variables: energía, biomasa y número de individuos en el nivel inmediato superior, conforme se avanza a lo largo de la cadena trófica, como consecuencia de la energía perdida por costos de mantenimiento metabólico de los individuos del nivel inferior. Por ejemplo, en lo que respecta a la biomasa total de la Tierra, 85% corresponde a la vegetación, 10% a la fauna y solamente 5% corresponde a biomasa humana (Pielwirny, 2006; Leckie, 1999 y World Population Information, 2006).

En conclusión, la radiación solar es el elemento climático más importante, ya que:

- Es la fuente de energía para los procesos biológicos y físicos,
- condiciona los flujos de energía dentro de los ecosistemas y
- condiciona la intensidad y frecuencia de los otros elementos del clima.

El flujo de energía en la biosfera se fundamenta en la captura de energía solar por las plantas, que la transforman por el proceso de la fotosíntesis a energía química, la cual se propaga a través de los niveles tróficos de las cadenas alimenticias.

En términos simples, el balance energético indica que la energía que entra a la biosfera es la misma energía que sale vía reflexión, irradiación y disipación en forma de calor, como se mostró en la figura 2.2.

## 2.2 Ciclos biogeoquímicos

El cuarto principio establece que *la Tierra es un sistema cerrado con respecto al flujo de materia*. Lo cual denota que las sustancias químicas son cicladas a través de complejas vías entre los subsistemas físico y biológico y convertidas en formas útiles (nutrientes o nutrimentos) por una combinación de procesos biológicos, geológicos y químicos que en conjunto son llamados *ciclos biogeoquímicos*. La figura 2.6 muestra el ciclado de sustancias químicas y el balance energético.

La importancia de los ciclos biogeoquímicos es que al ciclar las sustancias las renuevan, purifican y conservan y definen la productividad y sustentabilidad de los ecosistemas. De acuerdo con Miller (1994) hay tres tipos de ciclos biogeoquímicos interconectados: gaseoso, sedimentario e hidrológico.

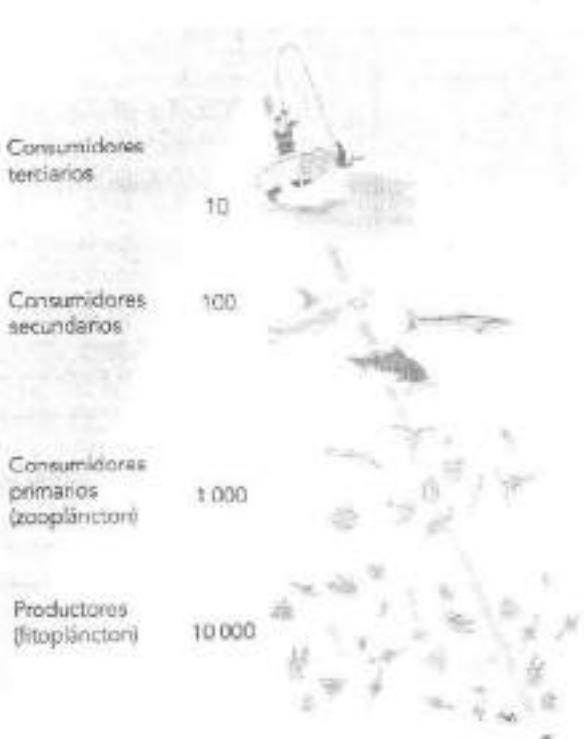


Figura 2.5  
Pirámide de biomasa y número de individuos.

## 2.2.1 Flujo de materia

En la figura 2.6 se ilustra el ciclaje de sustancias químicas, que se inicia con la incorporación de los compuestos químicos inorgánicos de la atmósfera y del suelo a los organismos productores, los cuales elaboran los compuestos orgánicos que necesitan para su mantenimiento mediante la fotosíntesis. A su vez, estos compuestos orgánicos de las plantas son consumidos por los organismos consumidores, y cuando estos organismos productores y consumidores mueren, los organismos desintegradores descomponen los compuestos orgánicos en compuestos inorgánicos simples que se reincorporan a la atmósfera y al suelo, con lo que se cierra el ciclo de las sustancias químicas en la biosfera.

De lo anterior se desprende que, los intercambios de sustancias químicas en la biosfera ocurren de la fase ambiental (donde el elemento químico está en forma inorgánica en el suelo, agua y aire) a la fase orgánica (donde el elemento forma parte de los seres vivos, como plantas y animales), y de ésta retorna nuevamente a la fase ambiental.

Asimismo, como se observa en la misma figura 2.6, los seres vivos determinan la característica de sistema cerrado, pues al interactuar con su entorno físico desempeñan un papel regulador en la velocidad de ciclado y de renovación (biodegradación) de los materiales químicos.

Del total de elementos químicos en la Tierra, 26 constituyen parte de los seres vivos, donde el carbono (C), hidrógeno (H), oxígeno (O), nitrógeno (N), fósforo (P) y azufre (S) son los mayores constituyentes de los tejidos de los organismos y componen el 95% de la biosfera (Schlesinger, 1991). A estos elementos se les denominan *macronutrientes* por ser requeridos por los organismos en cantidades relativamente grandes; los demás elementos, por ser requeridos por los organismos en pequeñas cantidades, son llamados *micronutrientes* (Alfaro, et al., 2007).

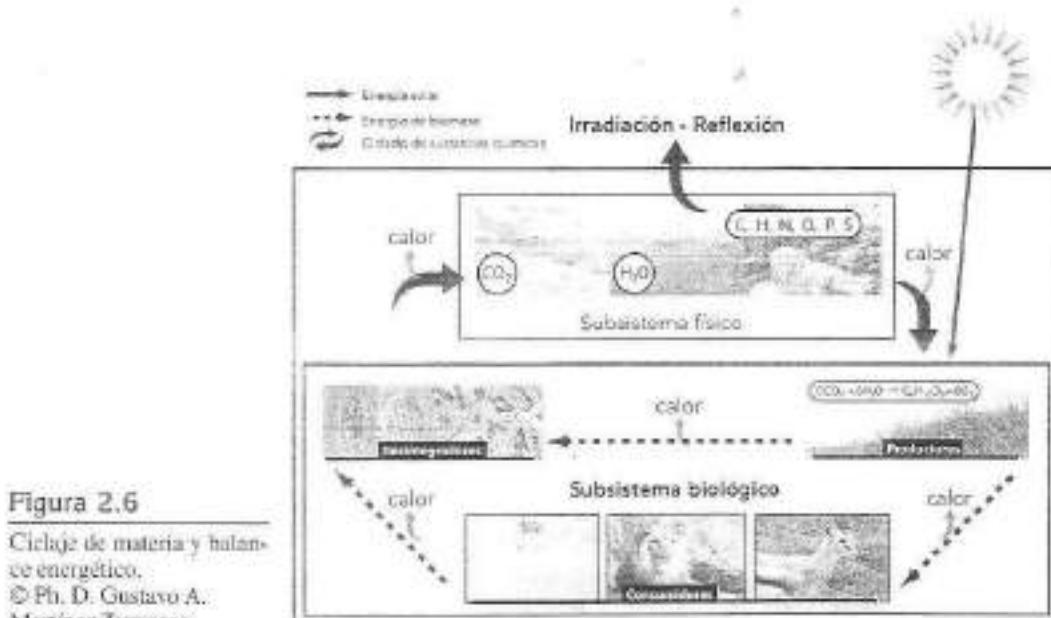


Figura 2.6

Ciclaje de materia y flujo energético.  
© Ph. D. Gustavo A. Martínez Turanzas

## 2.2.2 Ciclos gaseosos

En los ciclos gaseosos las sustancias circulan principalmente entre la atmósfera y los organismos vivos. Estos ciclos se caracterizan por una velocidad mayor de reciclado, generalmente de horas a días. Los principales ciclos gaseosos son los del oxígeno, del carbono y del nitrógeno.

### 2.2.2.1 CICLO DEL OXÍGENO

El oxígeno es el elemento químico más abundante en los seres vivos. El almacenamiento del carbono orgánico y la liberación del oxígeno ( $O_2$ ) por el proceso de la fotosíntesis es esencial para la vida. Este elemento forma parte del agua y de todo tipo de moléculas orgánicas. Como molécula, el oxígeno ( $O_2$ ), surge en la Tierra inmediatamente después de los organismos **autótrofos** fotosintéticos. En la página de Internet del libro ([www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx](http://www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx)) podrás encontrar con detalle la imagen del ciclo del oxígeno e imprimirla.

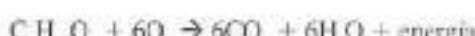
El oxígeno es una de las sustancias más oxidantes en el planeta y en un principio probablemente fue una sustancia tóxica para los primeros organismos unicelulares, pero el metabolismo celular de los seres vivos se adaptó a usar la molécula de oxígeno como agente oxidante de los alimentos abriendo así una nueva vía de obtención de energía mucho más eficiente que la anaeróbica (Schlesinger, 1991).

El 20% de oxígeno en la atmósfera es un producto directo de la actividad de los seres vivos. El ciclo de este elemento está estrechamente vinculado al del ciclo del carbono (C) pues el proceso por el que el carbono es asimilado por las plantas (fotosíntesis), implica también la devolución del oxígeno a la atmósfera, como se ilustra:



dióxido de carbono + agua + energía solar  $\rightarrow$  glucosa + oxígeno libre

Mientras que el proceso de respiración produce el efecto contrario:



glucosa + oxígeno  $\rightarrow$  dióxido de carbono + agua + energía liberada

Otra característica fundamental del ciclo del oxígeno, y básica para la existencia de los seres vivos, es su conversión en ozono, que se muestra en la figura del ciclo del oxígeno. Las moléculas de  $O_3$ , son activadas por la radiación ultravioleta proveniente del Sol, se rompen en átomos libres de oxígeno, se combinan con otras moléculas de  $O_2$  para formar moléculas de ozono ( $O_3$ ), el cual se concentra principalmente en la estratosfera y constituye un importante filtro de la radiación ultravioleta que es letal para los seres vivos.

### 2.2.2.2 CICLO DEL CARBONO

El ciclo del carbono involucra las cuatro esferas de la Tierra: la litosfera, la hidrosfera, la atmósfera y la biosfera, en las cuales el carbono es fundamental para la formación de las moléculas de carbohidratos, lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, dado que todas las moléculas de compuestos orgánicos están formadas por cadenas de átomos de carbono enlazados entre sí. Para un análisis detallado de las diferentes etapas del ciclo del carbono consulta la página de Internet del libro (<http://www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx>).

El mayor depósito de este elemento está en los sedimentos y en las rocas de la corteza terrestre, pero el tiempo de recambio es demasiado largo (cientos de años) por lo que el flujo hacia el exterior de este compartimiento es relativamente insignificante. La fuente fundamental de carbono, en moléculas de  $CO_2$  y que los seres vivos puedan asimilar, es la atmósfera (productores terrestres) y la hidrosfera (productores acuáticos). Este gas está en la atmósfera en una concentración del 0.03%, y cada año aproximadamente 5% de  $CO_2$ , se consume en el proceso de fotosíntesis y regresa a la atmósfera por el proceso de respiración de los animales, representando estos dos procesos el medio más rápido (tres años) de transferencia o ciclado del carbono. La principal fuente de carbono orgánico se halla en las plantas fotosintéticas, las cuales constituyen la fuente de fijación del dióxido de carbono ( $CO_2$ ), siendo estos organismos la base del ciclo del carbono. El ciclo de este elemento está estrechamente vinculado al del ciclo del oxígeno ( $O_2$ ).

### 2.2.2.3 CICLO DE NITROGENO

Los organismos emplean el nitrógeno en la síntesis de proteínas, ácidos nucleicos (ADN y ARN) y otras moléculas fundamentales del metabolismo. Su depósito o reservorio es la atmósfera, en donde se encuentra en forma de gas inerte ( $N_2$ ), constituyendo el 78% de la misma. No obstante, esta forma del nitrógeno ( $N_2$ ) no puede ser utilizada directamente como nutriente por la mayoría de las plantas y animales exceptuando algunas bacterias y algas.

Las bacterias y algas que pueden usar el  $N_2$  del aire juegan un papel muy importante en el ciclo de este elemento al hacer la fijación del nitrógeno, como se muestra en la imagen que se encuentra en la página Web del libro. De esta forma convierten el  $N_2$  en otras formas químicas (nitratos  $[NO_3^-]$  y amonio  $[NH_4^+]$ ) solubles en agua y asimilables por las raíces de las plantas, en tanto que los animales obtienen nitrógeno al comer a las plantas o a otros animales. La mayor parte del nitrógeno en el suelo está en forma orgánica como constituyente de los residuos orgánicos, el humus y otros compuestos complejos.

## 2.2.3 Ciclos sedimentarios

En los *ciclos sedimentarios* las sustancias químicas o nutrientes circulan entre la corteza terrestre (suelo, rocas y sedimentos de la tierra y del fondo marino), la hidrosfera y los seres vivos. Los nutrientes en estos ciclos generalmente son reciclados a una velocidad demasiado lenta debido a la retención de estos nutrientes por miles o millones de años por las rocas sedimentarias y por no presentar una fase gaseosa. Pertenecen a este tipo de ciclos el fósforo y el azufre.

### 2.2.3.1 CICLO DE FÓSFORO

El fósforo es un componente esencial de los organismos. Forma parte de los ácidos nucleicos (ADN y ARN), del ATP y de otras moléculas que tienen  $PO_4^{3-}$  y que almacenan la energía química. Está en pequeñas cantidades en las plantas, en proporciones de 0.2%, aproximadamente y en los animales hasta el 1% de su masa puede ser fósforo.

Su reservorio o depósito en la naturaleza es la corteza terrestre (se puede ver el ciclo en la página Web del texto), manteniendo un ciclo o flujo poco dinámico. De hecho, el ciclo de este elemento en términos prácticos se puede considerar que no tiene salidas, ya que cuando este elemento entra al suelo se transforma en formas más insolubles y permanece inmovilizado (Bertsch, 1992). Asimismo, este elemento con facilidad es arrastrado por las aguas, llega al mar y se sedimenta en el fondo marino, y forma rocas que tardarán millones de años en volver a emerger y liberar de nuevo las sales de fósforo. Por meteorización (intemperización) de las rocas o por la vulcanización (erupción de cenizas volcánicas) queda disponible para que lo puedan tomar las plantas.

### 2.2.3.2 CICLO DEL AZUFRE

El azufre es imprescindible como micronutriente para los seres vivos, ya que forma parte de las proteínas. Los océanos constituyen el depósito más significativo de azufre en forma de sulfato inorgánico en la biosfera. Igualmente, este elemento se encuentra en volúmenes importantes en sedimentos y rocas de la litosfera en forma de minerales de sulfato ( $CaSO_4$ ) y minerales de sulfuro ( $FeS_2$ ). Aunque son posibles varios estados de oxidación, sólo tres forman cantidades significativas de azufre en la naturaleza: sulfuros, azufre elemental y sulfato. También, la forma en que este elemento está presente en el ambiente depende del pH: a valores alcalinos de pH el azufre se encuentra en la forma de sulfuro y a valores ácidos de pH en la forma de sulfuro de hidrógeno (Alfaro, Limón, Martínez, et al., 2007).

En condiciones anaeróbicas, los sales de azufre son el sustrato para la reducción del sulfato. Y por tanto en estas condiciones se puede dar el proceso de fotosíntesis basada en azufre, la cual fue el primer tipo de fotosíntesis en la Tierra (Schlesinger, 1991).

La actividad industrial del ser humano también ha provocado un exceso de emisiones de gases sulfurosos a la atmósfera y ocasiona problemas como la lluvia ácida. En la página de Internet del texto se muestra el ciclo del azufre.

## 2.2.4 Ciclo hidrológico

En la página de Internet del libro se muestra el **ciclo hidrológico**, en donde se presenta la circulación del agua entre el océano, la atmósfera, la litosfera y los seres vivos.

El agua, junto con el oxígeno que respiramos, son los elementos fundamentales para la vida. El agua es el disolvente universal, ya que todas las sustancias son de alguna manera solubles en agua; se combina con ciertas sales para formar hidratos, reacciona con los óxidos de los metales formando ácidos y actúa como catalizador en muchas reacciones químicas importantes. El agua es el componente principal de la materia viva, constituye del 50 al 90% de la masa de los organismos vivos, en el ser humano, compone tres cuartas partes de nuestros músculos y cerebro y constituye el 83% de la sangre; es esencial para todos los tipos de vida, incluso para aquellos organismos que la evolución los condujo a tierra firme, el agua resulta indispensable, de modo que una buena parte de sus estrategias de adaptación tienden al mantenimiento de un cierto grado de humedad en el interior de su organismo.

Una de las principales funciones biológicas del agua es como disolvente, especialmente de las sustancias iónicas y de los compuestos polares. Incluso muchas moléculas orgánicas no solubles, como los lípidos o un buen número de proteínas, forman, en el agua, dispersiones coloidales con importantes propiedades biológicas; participa por sí misma como agente químico reactivo, en la hidratación, hidrólisis y oxidación-reducción, facilitando otras muchas reacciones; permite el movimiento en su seno de las partículas disueltas (difusión) y constituye el principal agente de transporte de muchas sustancias nutritivas reguladoras o de excreción; gracias a sus notables características térmicas (elevados calor específico y calor de evaporación) constituye un excelente termorregulador, una propiedad que permite el mantenimiento de la vida de los organismos, en una amplia gama de ambientes térmicos; asimismo, interviene, en especial en las plantas en el mantenimiento de la estructura y forma de las células.

El ciclo hidrológico está ligado a los otros ciclos biogeoquímicos, ya que sirve como medio de transporte para el movimiento de los nutrientes hacia el interior y exterior de los ecosistemas (Miller, 1994). El ciclo del agua concentra, purifica y distribuye el abasto finito de agua en la biosfera. Este elemento por la acción conjunta de la energía solar y la gravedad cambia continuamente de un estado físico a otro siendo el único elemento en la Tierra que podemos encontrarlo en los tres estados físicos de la materia (líquido-gaseoso-sólido) en la naturaleza.

Como se ilustra en la imagen del ciclo hidrológico, el Sol calienta los mares, ríos, lagos y océanos provocando la evaporación del agua hacia la atmósfera; en las capas frías de la atmósfera, el vapor de agua se condensa formando pequeñas gotas de agua líquida que constituyen las nubes; el viento traslada las nubes; la humedad del suelo y la que eliminan los seres vivos durante la respiración y la transpiración se evapora a la atmósfera, haciendo a las nubes más grandes y pesadas; cuando la condensación produce gotas de mayor tamaño y peso, que no pueden ser sostenidas por el aire, se origina la precipitación; una parte del agua precipitada vía escorrentía vuelve a los ríos, lagos, mares y océanos, otra se infiltra en el suelo y parte es utilizada por las plantas, otra parte más recarga los acuíferos y una más se evapora.

Dependiendo de su depósito en la ecosfera y su volumen, la velocidad de reciclado del agua varía de días a miles de años, como se muestra en la tabla 2.1.

Tabla 2.1

Tiempo teórico de renovación en que toda el agua se renueva en los diferentes reservorios de la biosfera.

			Tiempo teórico de renovación
Océanos	1.370.000	97.20	37.000 años
Casquetes polares y glaciares	29.000	2.15	16.000 años
Aguas subterráneas	4.000	0.63	300 años
Lagos de agua dulce*	125		1-1.000 años
Lagos salados*	104		1-1.000 años
Agua del suelo*	67		280 días
Ríos*	1.2		12-20 días
Atmosfera	14	0.001	9 días

\* Total del agua superficial = 0.19%

## 2.3 Regla de sustentabilidad

Los ciclos biogeoquímicos al ciclar las sustancias las renuevan, purifican y conservan, y a su vez definen la productividad y sustentabilidad de los ecosistemas. Y los seres vivos desempeñan un papel regulador (velocidad de ciclado y sustentabilidad) y de renovación (biodegradación) de los nutrientes.

Las sustancias químicas o nutrientes, no obstante de ser renovables, son finitos y pueden agotarse o convertirse en *fatores limitantes* cuando las tasas de consumo y contaminación antropogénicas rebasan la tasa de velocidad de ciclado por el cual se conservan y purifican.

Con base en esto último, se puede concluir que con el fin de mantener la sustentabilidad de los recursos y productividad de los ecosistemas se debe respetar y cumplir la **regla de sustentabilidad**, la cual estipula que *la velocidad de los procesos de reciclado, renovación, purificación, reemplazo y conservación debe ser SIEMPRE MAYOR que la velocidad de los procesos naturales y antropogénicos de consumo, extracción, contaminación, destrucción, degradación, fragmentación y abatimiento* (Alfaro, Limón, Martínez, et al., 2007), esta situación se ilustra en la figura 2.7.



Figura 2.7

Regla de la sustentabilidad.

## CAPÍTULO 3. ROL DE LOS SERES VIVOS EN LOS ECOSISTEMAS

*Ni la sociedad, ni el hombre, ni ninguna otra cosa deben sobrepasar, para ser buena, los límites establecidos por la naturaleza.*

*Hipócrates*

El quinto principio de la naturaleza define *la función de los seres vivos, que al interactuar con su entorno físico mantienen la estabilidad del planeta y las condiciones para la vida*. Este principio se fundamenta en la *Hipótesis de Gaia*, que fue propuesta por los investigadores James E. Lovelock y Lynn Margulis en 1979. En ella los autores explican que los seres vivos manipulan y regulan el ambiente para el sostenimiento y mejoramiento de la biosfera.

### ACTIVIDAD 3.1

Investiga en diversos sitios de Internet las diferentes teorías sobre el origen de la vida. En el aula y en equipo de tres alumnos, elabora una presentación PowerPoint donde expongas: a) una breve síntesis de las tres teorías que consideren las más acertadas, b) un análisis y reflexión de los diversos postulados y los principios básicos de la naturaleza donde fundamentan la elección. Expón tu presentación cuando el maestro lo indique.

### 3.1 El origen de la vida

Antes de la propuesta de la hipótesis de Gaia, se asumía que la Tierra disponía de las condiciones apropiadas para que la vida se produjera en ella, la cual se adaptó a dichas condiciones existentes (Margulis, 1998). De hecho, la teoría convencional supone que los seres vivos se adaptan a su entorno, pero no lo cambian y que las fuerzas o procesos geológicos explican la evolución de la atmósfera, litosfera y océanos (Lovelock, 2007).

Sin embargo, los autores de la Hipótesis de Gaia especifican que a partir de unas condiciones primarias se promovió el inicio de la vida en la Tierra, y que estas primeras formas de vida modificaron el entorno o ambiente físico para promover y conservar la habitabilidad del planeta y las condiciones adecuadas para su existencia y bienestar.

#### 3.1.1 Evolución del planeta Tierra

La composición de la corteza terrestre determinó el ambiente geoquímico en el cual la vida se originó. La abundancia cósmica de los elementos químicos, su distribución en la formación de la Tierra y su capacidad de combinarse y formar compuestos solubles en agua fueron factores determinantes para el surgimiento de la vida. Por consiguiente, los constituyentes primarios de los seres vivos se formaron abióticamente y en la ausencia de oxígeno (Schlesinger, 1991).

La validez de esta hipótesis de Gaia se presenta en la tabla 3.1, en la cual se describe el efecto de los seres vivos sobre la composición de la atmósfera en el planeta.

Como se muestra en la tabla 3.1, en la primera columna se presentan las características físicas y químicas de las atmósferas de los planetas Venus, la Tierra abiótica o sin vida y Marte; y como

se puede observar las características son muy similares entre los tres planetas que no tienen vida, siendo la única diferencia significativa la temperatura de su atmósfera, la cual está determinada por su distancia al Sol.

**Tabla 3.1**

Comparación de la Tierra con biosfera y sin ella respecto de otros planetas.

Planeta	Venus	Tierra sin biosfera	Marte	Tierra con biosfera
Característica	Venus	Tierra sin biosfera	Marte	Tierra con biosfera
Contenido de CO <sub>2</sub>	98%	98%	95%	0,03%
Contenido de N	1,9%	1,9%	2,7%	79%
Contenido de O <sub>2</sub>	rastros	rastros	0,13%	20%
Contenido de Ar	0,1%	0,1%	2%	1%
Temperatura °C	477	240-340	-53	13
Presión Atmósferica (bares)	90	60	0,064	1

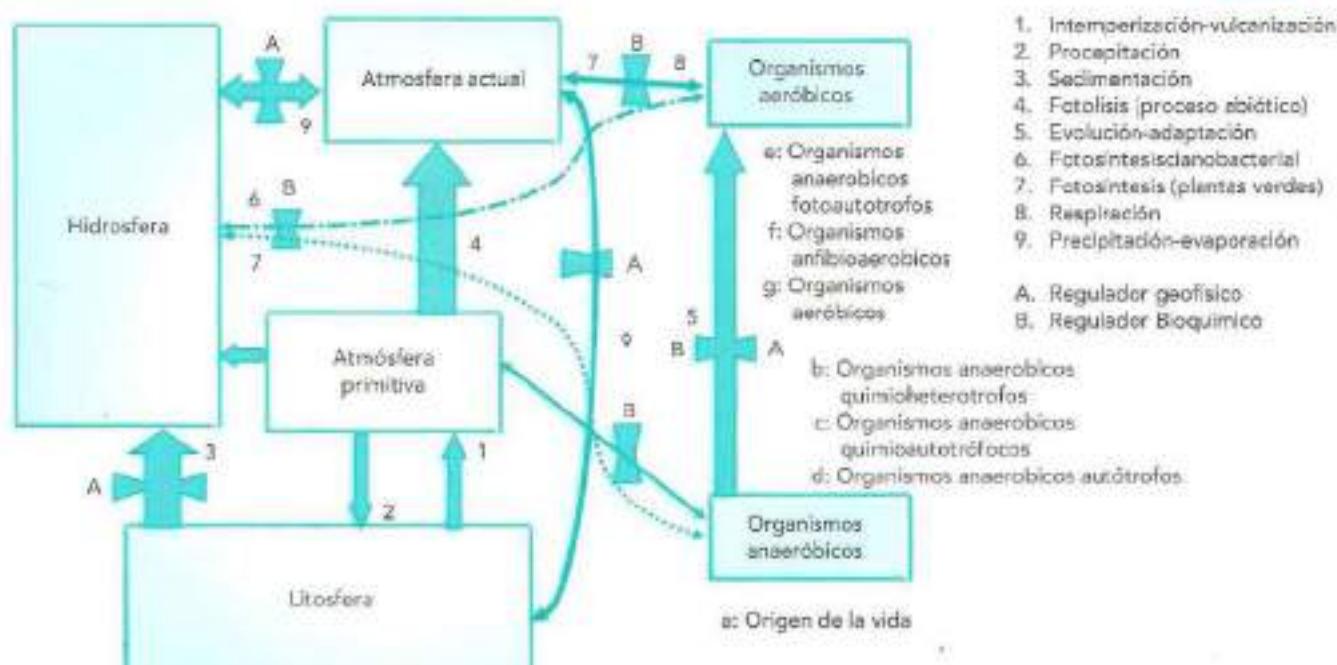
© Ph.D. Gustavo A. Martínez Turanzas, Dr. J. M Alfaro Barbosa

Al observar las características de la atmósfera de la Tierra biótica o con biosfera, y al compararla con la Tierra abiótica, indudablemente que las concentraciones de los elementos químicos cambiaron de una atmósfera reductora con alto contenido de CO<sub>2</sub>, y sólo rastros de oxígeno a una atmósfera oxidante, donde el 20% del aire es oxígeno y las temperaturas son diferentes. Los cambios de la atmósfera terrestre observados en la tabla, sin duda se deben a la presencia de los seres vivos; por consiguiente, los seres vivos, al surgir en la Tierra, cambiaron el ambiente abiótico de la misma, modificaron la distribución de los elementos químicos de la atmósfera y regularon la composición de la atmósfera mediante los procesos de fotosíntesis y respiración.

Ciertamente, los seres vivos y la biosfera interactúan dentro de un sistema (biosfera) retroalimentado y autorregulado para mantener un entorno físico y químico óptimo para la vida, y este entorno físico-químico se modifica conforme evolucionan los seres vivos en la Tierra (Margulis, 1998). Así, los seres vivos al interactuar con su ambiente definen y regulan los mecanismos homeostáticos, los ciclos biogeoquímicos y mantienen la productividad y sustentabilidad del planeta (Alfaro, Limón, Martínez, *et al.*, 2007).

### 3.1.2 Evolución de los seres vivos y su impacto sobre la Tierra

En sus inicios la Tierra (figura 3.1) se caracterizó por un ambiente con una intensa actividad volcánica y de intemperismo, así como expuesta frecuentemente al bombardeo de meteoritos y res-

**Figura 3.1**

Impacto de los seres vivos en el ambiente para su sostenimiento y mejoramiento de la biosfera. © Ph.D. Gustavo A. Martínez Turanzas

tos de asteroides, lo que generaba en la atmósfera un intenso calor por las altas temperaturas; las erupciones volcánicas liberaron gases del interior de la corteza terrestre y se depositaron en la atmósfera primitiva (Schlesinger, 1991). Cuando la Tierra se enfrió a temperaturas promedio menores de 100 °C, propició la condensación del vapor de agua, que originalmente procedía de su interior y que por acción del vulcanismo fue expuesta a la atmósfera. De esta forma se dio inicio a la precipitación del agua en forma líquida desde la atmósfera primitiva a la litosfera, por la abundancia de las precipitaciones se formó la hidrosfera (océanos), estos procesos ocurrieron hace aproximadamente 3,800 millones de años.

Con la condensación del agua, al mismo tiempo, se disolvieron los gases solubles en agua quedando el nitrógeno ( $N_2$ ) como el gas dominante en la atmósfera primitiva; el proceso de sedimentación originó un depósito de materiales en el fondo de los océanos, lo cual propició a su vez el surgimiento de las condiciones que promovieron el inicio de la vida en la Tierra hace unos 3,500 millones de año. Los constituyentes simples de los seres vivos se formaron abióticamente y en la ausencia de oxígeno libre, ya que este elemento al ser muy reactivo hubiera oxidado las moléculas orgánicas que son fundamentales para la vida.

Por la ausencia del oxígeno libre, los primeros organismos fueron anaeróbicos quimioheterótrofos (bacterias Archaeabacteria y la Eubacteria), que procesaron el metano como alimento, siendo éste el primer proceso metabólico primitivo. Con el tiempo, los organismos evolucionaron y se desarrollaron varios tipos de organismos: los anaeróbicos quimioautotróficos y los anaeróbicos autótróficos (sulfurobacterias fotosintéticas), estos últimos realizaron las primeras reacciones fotosintéticas basadas en el sulfuro (Schlesinger, 1991):



Posteriormente, la fotosíntesis basada en oxígeno ( $O_2$ ) se dio con base en la separación de las moléculas de agua ( $H_2O$ ):



Las *ciunobacteas* (bacterias fotosintéticas) al transformar el agua ( $H_2O$ ) y el dióxido de carbono ( $CO_2$ ) en materia orgánica ( $CH_2O$ ), como subproducto liberan oxígeno ( $O_2$ ) a la atmósfera, a este proceso aeróbico se incorpora el proceso de la respiración, en donde los océanos representaron una fuente inagotable de oxígeno ( $O_2$ ) para la fotosíntesis. La disipación de oxígeno libre a la atmósfera cambió significativamente el ambiente de la Tierra primitiva; se inició la acumulación de oxígeno ( $O_2$ ) hasta constituir actualmente el 20% de la atmósfera. Surgen los organismos aeróbicos y con base en la selección natural y con el tiempo, evolucionaron y se desarrollaron varios tipos de organismos como los organismos anfibioaeróbicos y los organismos eucariontes.

Cuando apareció la fotosíntesis, este proceso aprovechó el  $CO_2$  como fuente de carbono y, al consumirlo, redujo su concentración en la atmósfera (Lovelock, 2007). En la atmósfera superior (estratosfera) el oxígeno se encuentra como ozono ( $O_3$ ) al reaccionar fotoquímicamente:

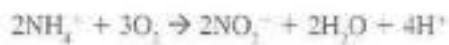


Conforme se desarrolló la capa de ozono envolviendo a nuestro planeta e impidiendo que la radiación ultravioleta llegara a la superficie de la Tierra, los organismos superiores pudieron salir de los océanos y colonizar las áreas continentales surgiendo las plantas vasculares (desarrollo de la lignina) (Schlesinger, 1991).

Con base en el oxígeno, los organismos aeróbicos desarrollaron otros dos procesos bioquímicos: la transformación del sulfuro:



Y la transformación del nitrógeno:



Posteriormente, se desarrollaron el resto de los ciclos biogeoquímicos, los cuales están fundamentados en reacciones de oxidación-reducción, ácido-base y precipitación.

Objetivamente, y como se observa en la figura 3.1, los seres vivos afectan las condiciones del planeta, de hecho, la mayoría de las condiciones actuales de la Tierra "consideradas como normales" son el producto de 3,500 millones de años de la presencia de los seres vivos en la Tierra (Schlesinger, 1991), donde los seres vivos y su entorno físico evolucionan como una sola entidad (Lovelock, 2007).

## 3.2 Bienes y servicios de los ecosistemas

El sexto principio de la naturaleza establece que *los ecosistemas, con una productividad y sustentabilidad finita, brindan bienes y servicios al ser humano*.

Indudablemente, los seres vivos al interaccionar con su entorno físico *alimentan y mantienen las condiciones adecuadas para su existencia y bienestar, así como para el mejoramiento de la biosfera y el sostenimiento de la productividad y sustentabilidad de la Tierra*. Este funcionamiento ecosistémico de los ecosistemas, con base en las actividades colectivas de las plantas, animales y microorganismos, contribuye a la creación de *bienes y servicios ambientales* básicos que sustentan y mejoran la vida y el bienestar del ser humano.

Por *servicios ambientales* se entiende el amplio rango de condiciones y procesos a través de los cuales los ecosistemas naturales brindan bienes y servicios que contribuyen a mantener y satisfacer la vida humana (Daily, Alexander, Ehrlich *et al.*, 1997).

**Figura 3.2**

Bienes y servicios de los ecosistemas.

### 3.2.1 Productos de los ecosistemas

Los seres humanos obtienen de los ecosistemas bienes o productos que son esenciales para el mantenimiento de la vida. A manera de ejemplo se muestra en la figura 3.2 algunos de los productos que se obtienen de los ecosistemas, como por ejemplo:

- Alimentos, donde se incluye pescado y otros productos del mar, así como animales silvestres.
- Materia prima como: materiales para la construcción, minerales, madera y combustibles.
- Recursos energéticos, como petróleo, carbón y gas natural.
- Medicinas y productos farmacéuticos.
- Materias primas para la elaboración de vestimenta.
- Recursos genéticos para la ganadería y propagación de cultivos.

### 3.2.2 Servicios fundamentales de los ecosistemas

Un aspecto importante que hasta recientemente había sido poco reconocido y apreciado por el ser humano es que los ecosistemas naturales también le brindan servicios, que son fundamentales para el sostenimiento de la vida, algunos ejemplos de estos servicios son:

- El mantenimiento de la biodiversidad, de la que a su vez se derivan materiales claves para las actividades agrícolas, farmacéuticas e industriales.
- La protección contra la radiación solar de alta energía, como los rayos ultravioleta, que son perjudiciales a todos los seres vivos.
- La limpieza del aire, agua y suelo a través de los ciclos biogeoquímicos.
- La estabilización parcial del clima, por medio de la moderación de los eventos atmosféricos extremos.

Estos servicios contribuyen a la mitigación de sequías e inundaciones, a la protección de las líneas costeras de la erosión de las olas, a la generación y preservación de los suelos y renovación de su fertilidad, a la detoxificación y descomposición de los residuos, a la polinización de los cultivos y de la vegetación natural, a la dispersión de semillas, al reciclado y movimiento de nutrientes; al control de la mayoría de las plagas potenciales de la agricultura y a la provisión de belleza estética y al estímulo intelectual y cultural que exalta el espíritu humano (Daily, Alexander, Ehrlich *et al.*, 1997; Shahid Naeem, Chair, F.S. Chapin III, Robert Costanza *et al.*, 1999).

En un sentido amplio se puede afirmar que los servicios ambientales de los ecosistemas son determinados y regulados por la biodiversidad (Lovelock, 2007; Shahid Naeem, Chair, F.S. Chapin III, Robert Costanza *et al.*, 1999) y operan a una escala tan grande y de un modo tan intrincado y poco explorado, que la mayoría de ellos no puede ser reemplazado por la tecnología humana (Daily, Alexander, Ehrlich *et al.*, 1997).

Los servicios ambientales se pueden clasificar como:

- De soporte vital*, aquellos que protegen de los rayos solares ultravioletas, limpian el aire, agua y suelo.
- De regulación*, aquellos que moderan local y regionalmente los flujos de energía y materiales, estabilizan parcialmente el clima, moderan los eventos atmosféricos extremos y sus impactos, mitigan las sequías e inundaciones.
- De suministro*, aquellos que proveen alimentos, fuentes de proteína animal, combustibles, medicinas y productos farmacéuticos. Adicionalmente los recursos genéticos para la ganadería y propagación de cultivos.

Por los beneficios que brindan al ser humano (punto de vista antropocéntrico, centrado en el ser humano), los bienes brindados por los ecosistemas y su biodiversidad tienen actualmente un valor altamente vinculado al desarrollo económico de los pueblos. Sin embargo, la biodiversidad por sí misma tiene valores no comerciales, que se pueden expresar en términos de conocimiento o educacionales, estéticos, culturales, recreativos y deportivos, espirituales y de valores de existencia (Shahid Naeem, Chair, F.S. Chapin III, Robert Costanza *et al.*, 1999).

### 3.2.3 Agotamiento de los servicios ambientales

Históricamente los servicios ambientales se han subestimado, ya que no han sido cotizados en el mercado ni comercializados. Lo anterior se debe a que cuando surgió la humanidad, la mayoría de los servicios ambientales de los ecosistemas estaban ya en operación por cientos de miles de años (Daily, Alexander, Ehrlich *et al.*, 1997), que para el ser humano fue fácil percibirlos con fin utilitario y los dio por bien establecidos y tan amplios en su escala que, erróneamente, consideró que los productos y servicios brindados por los ecosistemas, además de gratuitos son invulnerables e infinitos. Actualmente, este concepto erróneo ha propiciado, de manera incomprensible, que las actividades humanas tengan un impacto negativo que puedan alterar estos servicios de un modo irreparable.

De hecho, los bienes están siendo degradados o agotados y los servicios ecológicos deteriorados por las actividades humanas al degradar, fragmentar y destruir los hábitat y al introducir especies exóticas; pero el impacto más significativo e irreversible sobre los ecosistemas es la pérdida o reducción de la biodiversidad natural.

Dado que la biodiversidad regula y determina los servicios que brindan los ecosistemas (Shahid Naeem, Chair, F.S. Chapin III, Robert Costanza *et al.*, 1999), estos servicios son sensibles a la reducción de la biodiversidad, que conforme disminuye ésta, también se reduce la resistencia de los ecosistemas a los disturbios naturales y antropogénicos, y la dotación de los bienes y servicios se hace más insegura. En la tabla 3.1 se presenta el estado actual de los diversos bienes y servicios aquí discutidos.

Tabla 3.1

Estado actual de los bienes y servicios de regulación, aprovisionamiento y culturales ( $\uparrow$  incrementándose,  $\downarrow$  disminuyendo y  $+/-$  estable).

	Bienestar del ecosistema / Servicio	Impacto humano
Alimentos	Cultivos	$\uparrow$
	Ganadería	$\uparrow$
	Pesca comercial de captura	$\downarrow$
	Aquacultura	$\uparrow$
Fibras	Alimentos silvestres	$\downarrow$
	Madera	$+/-$
	Algodón, seda	$+/-$
Recursos genéticos	Lana	$\downarrow$
	Recurso genético	$\downarrow$
	Bioquímicos, medicinas	$\downarrow$
	Agua dulce	$\downarrow$
<b>Servicios de regulación</b>		
Regulación de la calidad del aire	Regulación de la calidad del aire	$\downarrow$
	Regulación del clima - global	$\downarrow$
	Regulación del clima regional y local	$\downarrow$
	Regulación del agua	$+/-$
Regulación de la erosión	Regulación de la erosión	$\downarrow$
	Purificación del agua y tratamiento de aguas de desecho	$\uparrow$
	Regulación de enfermedades	$+/-$
	Regulación de plagas	$\downarrow$
Polinización	Polinización	$\downarrow$
	Regulación de desastres naturales	$\downarrow$
	Regulación de desastres naturales	$\downarrow$
	Regulación de desastres naturales	$\downarrow$
<b>Servicios culturales</b>		
Valores espirituales y religiosos	Valores espirituales y religiosos	$\downarrow$
	Valores estéticos	$\downarrow$
	Recreación y ecoturismo	$+/-$

Los bienes y servicios que brindan los ecosistemas son regulados y determinados por el 70-90% de las especies, este rango de biodiversidad representa el umbral crítico (umbral de vulnerabilidad o colapso irreversible) que, al rebasarlo, se pierde irreversiblemente la regulación de dichos bienes y servicios (Lovelock, 2007).

El impacto originado por las actividades del ser humano (antropogénico) se debe a el crecimiento (sobrepoblación humana) desmedido e insostenible del número de individuos (*frecuencia*),

al consumo per cápita (*intensidad*) y al impacto ambiental o huella ecológica del ser humano y sus tecnologías (*escala*).

Sin duda, tanto el desarrollo económico, como el tecnológico, fomentan la degradación o destrucción de los ecosistemas y consecuentemente alteran o deterioran los servicios ambientales, están generando costos a las generaciones futuras que van a superar ampliamente los beneficios que actualmente obtenemos. Y efectivamente, si las tendencias actuales continúan, dentro de pocas décadas la humanidad alterará en forma drástica virtualmente todos los ecosistemas naturales que aún quedan sobre la Tierra (Daily, Alexander, Ehrlich *et al.*, 1997).

La problemática de esta situación es que para el mantenimiento de los bienes y servicios, el ser humano, a pesar del conocimiento y tecnologías generadas, no sólo no puede imitarlos y mucho menos reemplazarlos; primero, por la escala tan grande y por la complejidad de su operación; segundo, por desconocer cuántas, cuáles y en qué combinación de especies vegetales y animales se requieren para su generación. Dos ejemplos de proyectos emprendidos por el ser humano para imitar la naturaleza son: el Proyecto de la estación espacial y los Proyectos Biosfera y Biosfera 2.

### 3.3 Factor limitante y capacidad de carga

El séptimo principio básico de la naturaleza establece que *el factor limitante y la capacidad de carga son determinantes en la dinámica poblacional de las especies*.

#### ACTIVIDAD 3.2

**Individual:** a) Tomando como base el sexto principio básico de la naturaleza, haz una descripción de una cuartilla con tus palabras los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas. b) Investiga en Internet los proyectos de Estación Espacial Internacional, Biosfera y Biosfera 2, y reporta en dos cuartillas tus resultados. **En equipo de 3 alumnos:** c) Tomando como base lo expuesto en este capítulo y lo reportado por ti y tus compañeros explica los procesos de generación de servicios ambientales. d) Redacta las conclusiones de tu equipo sobre la posibilidad del ser humano para imitar o reemplazar los procesos de generación de servicios ambientales.

#### 3.3.1 Factor ecológico y rango de tolerancia

Un factor ecológico es todo elemento del entorno ( hábitat o nicho ) que actúa directamente y al menos durante una etapa del ciclo biológico de los seres vivos. Los factores ecológicos influyen sobre los seres vivos de las siguientes formas:

- Eliminan especies de zonas cuyas características climáticas o fisicoquímicas no son apropiadas, de esta forma influyen así la distribución geográfica de las especies.
- Determinan las tasas de natalidad y mortalidad de diversas especies, actuando sobre los ciclos de desarrollo y provocando emigraciones, de esta forma influyen de en la densidad de las poblaciones.
- Favorecen la adaptación de las especies, vía modificaciones cuantitativas del metabolismo y cualitativas tales como la diapausa, hibernación, estivación y reacciones fotoperiódicas, entre otras.

No obstante que las condiciones del entorno nunca son constantes, sino que se caracterizan por una variabilidad de hora a hora, de día a día, de temporada a temporada y de año a año, las especies vegetales

y animales pueden existir y desarrollarse presentando un rango de tolerancia a lo largo de limitaciones medioambientales o gradientes fisicoquímicos (figura 3.3) (Lovelock, 2007; Miller, 1994; Chiras, 1991).

Con base en este principio, todas las especies tienen límites mínimos y máximos de tolerancia a los factores que afectan su capacidad de crecimiento, reproducción e interacción con éxito respecto del resto de su entorno. Entre los límites de tolerancia las especies vegetales y animales determinan su óptimo ecológico y su óptimo fisiológico a las diferentes condiciones físicas, químicas y biológicas de su hábitat.

### 3.3.2 Ley del mínimo y ley de tolerancia

Un principio ecológico relacionado con el rango de tolerancia es la del factor limitante, expresado originalmente como la Ley del mínimo de Leibig (Justus Leibig, 1840). Leibig, en su ley estipuló que una especie estará ausente de un hábitat o ecosistema cuando cualquier factor indispensable esté por debajo del umbral necesario (Barret, Abramoff, Kumaran y Millington, 1986).

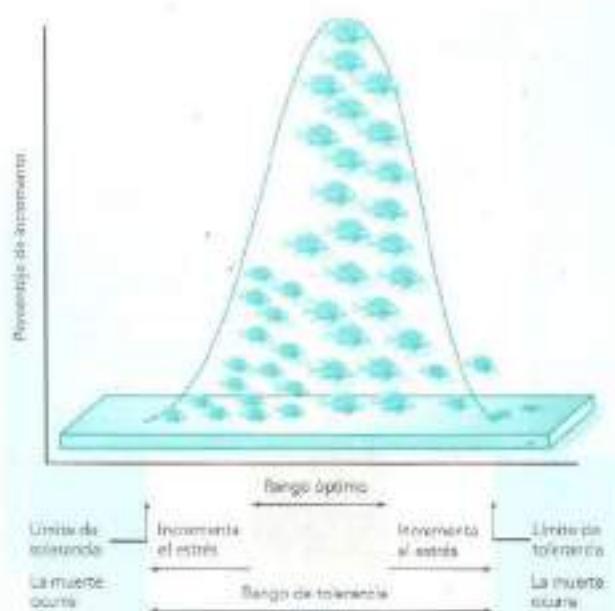
Sin embargo, el ecólogo estadounidense Shelford (1911) señaló no sólo los límites mínimos de un elemento o factor indispensable sino que también los límites máximos arriba del límite de tolerancia de ese factor afectan a la especie (figura 3.3). Asimismo, esta Ley de Tolerancia enuncia que cada especie presenta, frente a los diversos gradientes físico-químicos, unos límites de tolerancia entre los cuales se sitúa su óptimo ecológico (Barret, Abramoff, Kumaran y Millington, 1986).

Consecuentemente, con base en la Ley del Mínimo y la Ley de Tolerancia, se puede establecer que:

- Las especies presentan un rango de tolerancia amplio para unos factores y un rango reducido para otros factores.
- Las especies con un rango amplio de tolerancia para la mayoría de los factores ambientales presentan una amplia distribución geográfica.
- Invariablemente las especies no presentes están en la naturaleza con rangos de tolerancia óptimos.
- Las especies en sus diversas etapas de desarrollo varían en sus respuestas de tolerancia a los factores ambientales y donde la etapa de reproducción es la más sensible al ambiente.
- Las interacciones entre los factores físicos, químicos y biológicos generan cambios en las respuestas a los mismos factores.

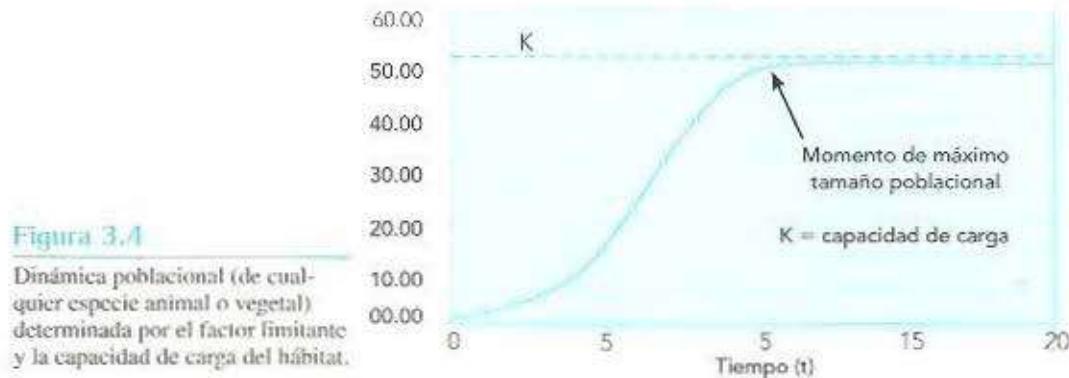
La dinámica poblacional de cualquier especie animal o vegetal se presenta en la figura 3.4. Como se observa en la figura, el factor limitante y la capacidad de carga son los umbrales inferior y superior, respectivamente, que determinan la dinámica poblacional de las especies.

El umbral inferior (principio del factor limitante) está definido por la escasez de cualquier factor fisicoquímico indispensable, que impedirá o limitará el crecimiento de la población de una especie en un hábitat o ecosistema, incluso si todos los demás factores están en el rango óptimo de tolerancia para esta especie. El umbral superior que determina la dinámica poblacional de cualquier especie es el concepto de capacidad de carga; el cual es aplicado en la ecología de poblaciones y define el número máximo o continuidad de individuos de una especie dada que se pueden sustentar indefinidamente en un área específica, hábitat o ecosistema.



**Figura 3.3**

Rango de tolerancia de las especies a un gradiente fisicoquímico.

**Figura 3.4**

Dinámica poblacional (de cualquier especie animal o vegetal) determinada por el factor limitante y la capacidad de carga del hábitat.

De acuerdo con esta dinámica poblacional que presenta todo ser vivo, excepto el ser humano, se puede concluir que la sustentabilidad de los recursos y productividad de los ecosistemas se mantiene al garantizarse el cumplimiento de la **Regla de Sustentabilidad**.

### 3.4 Factores determinantes de los ecosistemas

El octavo principio básico de la naturaleza establece que *los diferentes ecosistemas del mundo son definidos, determinados y caracterizados por factores bióticos y abióticos*.

Los diferentes ecosistemas que conforman la Tierra se definen y caracterizan por diversos factores determinantes, los cuales varían e influyen desde una escala macroscópica con alcance global, continental o regional, hasta una escala microscópica, que tiene alcance local, de sitio o de individuo.

#### ACTIVIDAD 3.3

Lee con atención los siguientes escenarios propuestos:

**Escenario 1:** El profesor dibuja en el pizarrón la representación de un acuario de 10 galones, en el cual hipotéticamente se colocan dos ratones o cucarachos o hámsters (macho y hembra). En este escenario hipotético, cada 24 horas se colocará la cantidad suficiente de alimento y agua para los individuos presentes y se retirarán los desechos del acuario.

**Escenario 2:** El profesor dibuja en el pizarrón la representación de un acuario de 10 galones, en el cual hipotéticamente se colocan dos ratones o cucarachos o hámsters (macho y hembra). En este escenario hipotético, cada 24 horas se colocará la cantidad de 1,000 gramos de alimento y 600 mililitros de agua para los individuos presentes, se retirarán los restos de alimento y agua del día anterior y se retirarán los desechos del acuario.

Usa dos hojas de tu libreta y dibuja un cuadrante "xy" en cada hoja, donde el eje "x" representa el tiempo en meses y el eje "y" el número de individuos en el acuario. Para cada uno de los dos escenarios, dibuja el comportamiento del número de individuos con respecto al tiempo y discute con tus compañeros qué factor es el limitante.

Elabora un ensayo de dos cuartillas en Word donde expliques tus conclusiones tomando en cuenta la dinámica poblacional de las especies, en función los factores limitantes, rango de tolerancia de las especies y capacidad de carga del nicho.

**Nota.** Para entregar a tu maestro esta actividad y poner tu nombre, grupo, fecha y facultad, puedes imprimir su formato desde la siguiente dirección electrónica, sólo tienes que llenar un breve formulario, obtener tu contraseña, dar clic en UANL y ubicar el libro *Ambiente y sustentabilidad*, en <http://www.recursoseacademicosenlinea-gep.com.mx/>

Dé acuerdo con la teoría jerárquica, en una observación a nivel macroscópico los factores determinantes serán siempre de tipo abióticos, como el clima, temperatura, precipitación, altitud, latitud y topografía como se observa en la figura 3.5.

Conforme se reduce la escala de observación a un nivel microscópico o de localidad, de sitio o de individuo, los factores determinantes cambian de abióticos (textura del suelo, pH del suelo) a bióticos, como competencia entre especies, competencia entre individuos de la misma especie, relación de depredador-presa, huésped-parásito y los hábitos de las especies, como se muestra en la figura 3.6.

### 3.4.1 Factores abióticos

#### 3.4.1.1 CLIMA

La biosfera se caracteriza por una gran variedad de ecosistemas acuáticos y terrestres caracterizados por comunidades vegetales y faunísticas adaptadas a condiciones ambientales específicas. A nivel macroscópico, el clima es el principal condicionante del asentamiento y desarrollo de una comunidad vegetal, animal o humana en un área determinada, en conjunto con otros factores de tipo biológico e histórico.

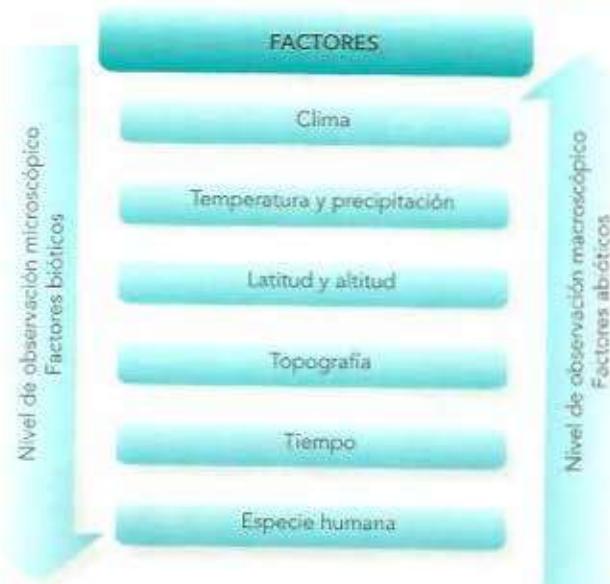


Figura 3.5

Jerarquización de los factores determinantes que definen a los ecosistemas con base en la escala de observación.

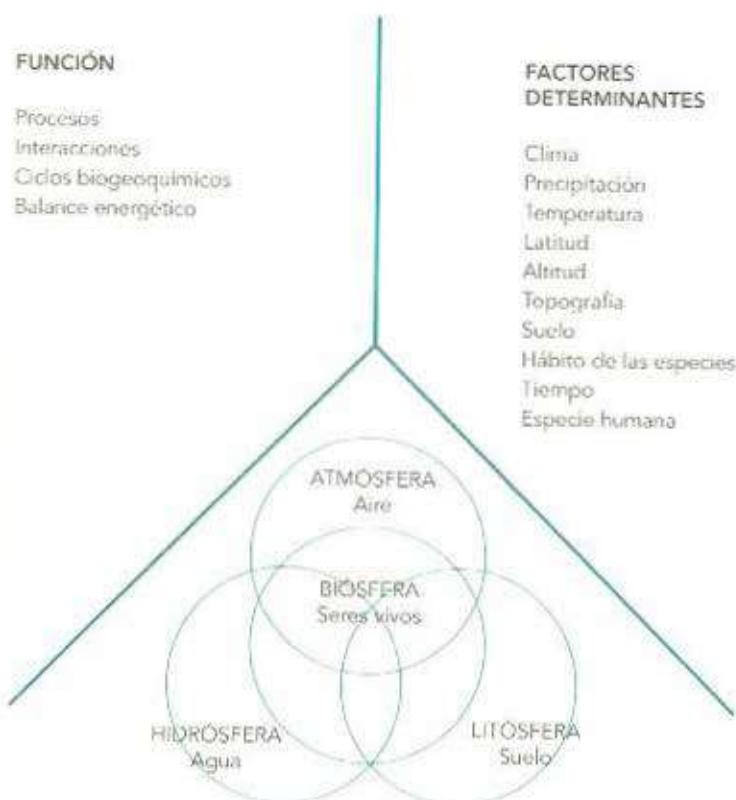
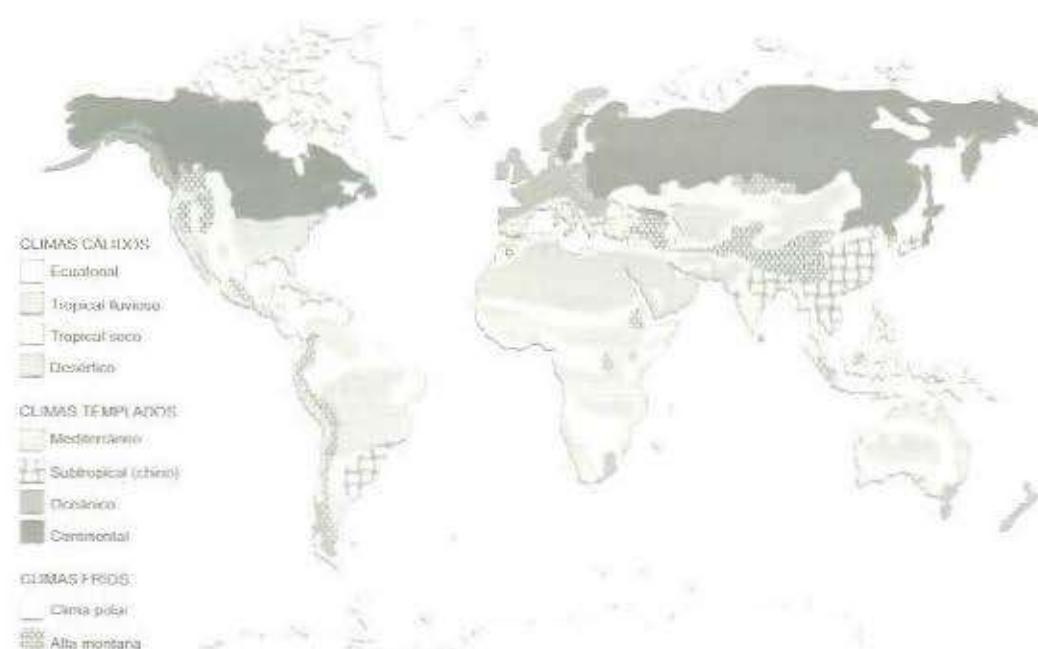


Figura 3.6

Conceptualización del sistema Tierra que muestra la estructura, función y factores determinantes que definen a los diferentes ecosistemas del mundo.

El clima se compone de elementos meteorológicos, tales como: la radiación solar, la temperatura, la precipitación, la humedad relativa y los vientos. Dentro de estos elementos, la radiación solar es el elemento climático más importante, ya que es la fuente de energía de todos los demás procesos biológicos y físicos, condiciona los flujos de energía dentro de los ecosistemas y condiciona la intensidad y frecuencia de los otros elementos del clima. En la figura 3.7 se muestran los diferentes tipos de climas en la Tierra.



**Figura 3.7**

Los diferentes climas del mundo.

El clima tienen una injerencia directa no sólo en definir los diferentes biomas del mundo, sino además tiene influencia sobre factores hidrológicos, biológicos, actividades económicas antropogénicas y hasta en las costumbres y culturas de las diferentes sociedades o pueblos. La figura que muestra los diferentes biomas del planeta la puedes consultar en la página de Internet del texto.

#### 3.4.1.2 TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN

Los diferentes climas en el mundo, que a su vez determinan a los diferentes ecosistemas, están definidos por los dos factores más importantes, que son la temperatura y sus variaciones estacionales, y la cantidad y distribución de la precipitación. A nivel regional la temperatura y precipitación actúan como factores determinantes donde, de la interacción de estos dos parámetros meteorológicos, la evaporación excede a la precipitación por ser escasa o baja y esporádica, en estos sitios el clima es seco y determina un ecosistema semiárido, árido o desértico. En contraste, en las regiones donde, de la interacción de estos dos parámetros meteorológicos, la evaporación es menor a la precipitación por ser abundante y frecuente, se encuentra un clima húmedo que determina ecosistemas como selvas y bosques.

La figura 3.8 muestra los principales tipos de ecosistemas definidos por la temperatura, clima y precipitación.

Generalmente la cantidad y distribución de la precipitación son los factores determinantes en los tipos de especies vegetales y su cobertura en un área o región, por ejemplo como se observa en la figura 3.8, en un gradiente de menor a mayor precipitación, se observarían tipos de vegetación de desierto-pastizal-jungla o bosque.

### 3.4.1.3 ALTITUD Y LATITUD

La temperatura de una región geográfica también está definida por la altitud y la latitud, en la figura 3.9 se muestra la variación de los tipos de biomas con estos dos parámetros.

En un ejercicio imaginario, observaríamos que al desplazarnos del Ecuador hacia cualquiera de los polos, percibimos climas fríos y húmedos a medida que nos acercamos a los polos, y los tipos de vegetación serían característicos a estos climas.

De la misma forma, conforme aumenta la altura o elevación sobre el nivel del mar, los climas se vuelven fríos y húmedos; o si nos desplazamos del pie de una montaña hacia su cima, observaríamos un cambio similar en el clima y los tipos de vegetación.

### 3.4.1.4 TOPOGRAFÍA

Las peculiaridades topográficas de la superficie terrestre, como montañas, cerros, lomeríos, valles y otras características del relieve influyen como factores determinantes no sólo sobre los climas regionales o locales, sino también en determinadas especies endémicas vegetales y animales.

En la figura 3.10 se muestra el efecto de una "sombra orográfica", que resulta cuando una barrera topográfica se halla ubicada en dirección perpendicular a la dirección de los vientos dominantes y cargados de humedad y que provienen del océano.

Cuando los vientos chocan con la montaña éstos ascienden y se enfrian, lo cual provoca la condensación de la humedad en forma de precipitación sobre la ladera de barlovento, determinando un clima húmedo subtropical y ecosistemas de bosque templado o selva. Mientras que por el lado de sotavento, por circulación de las masas de aire secos y calientes, se generan condiciones semiáridas y áridas, debido a que toman la humedad del suelo y plantas sobre las que pasa dicho aire determinando un ecosistema desértico o árido.

La topografía, al representar una barrera física natural, influye no sólo en la creación de microclimas, sino también influye directamente sobre poblaciones vegetales y animales al separarlas y aislarlas, reproductiva y geográficamente, surgiendo al cabo de un tiempo una nueva especie (ecotipo)

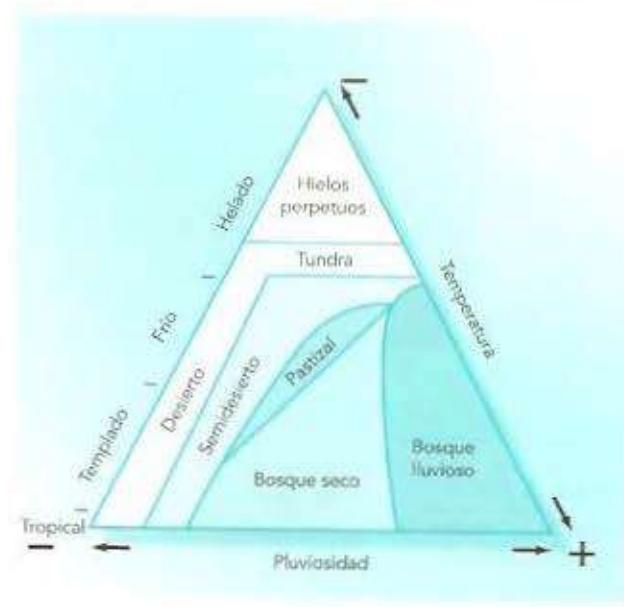


Figura 3.8

Principales tipos de ecosistemas definidos por la temperatura, clima y pluviosidad.

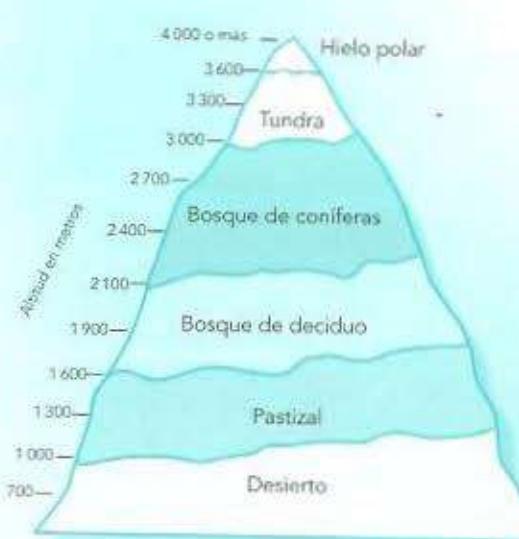


Figura 3.9

Principales tipos de ecosistemas definidos por la altitud y la latitud.

y endémica) por diferenciarse en su constitución genética de la población original, esto debido a diferencias en la presión de selección entre ambas poblaciones.



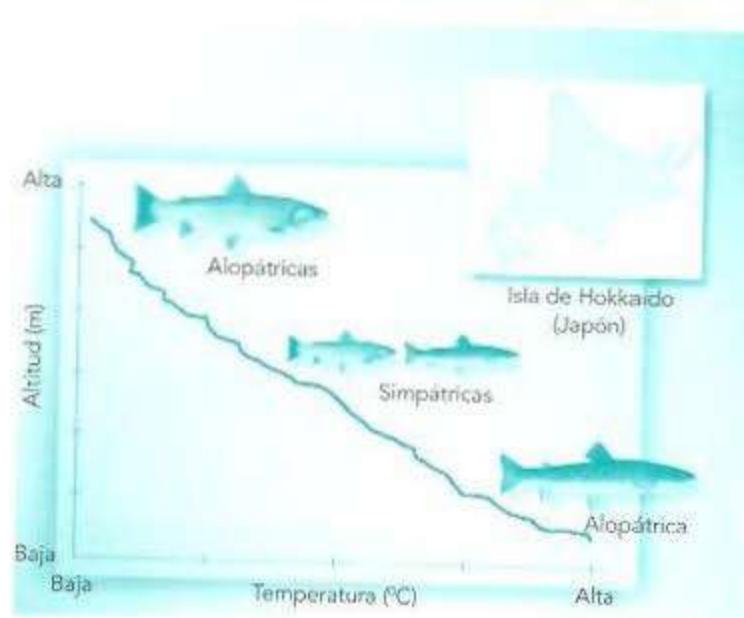
**Figura 3.10**

Efecto de la "sombra orográfica" sobre el clima.

### 3.4.2 Factores bióticos

#### 3.4.2.1 HÁBITAT DE LAS ESPECIES

A nivel microescala, no obstante que dos o más especies no pueden ocupar exactamente el mismo hábitat o área por tiempo indefinido en un hábitat, donde no hay suficiencia de un recurso para satisfacer las necesidades de dichas especies, la coexistencia entre especies en una misma área o lugar, se da con base en los diferentes hábitos de cada una de las especies al repartirse los recursos en tiempos, formas y lugares distintos, como se ilustra en la figura 3.11.



**Figura 3.11**

Competencia entre salmones *Salvelinus*, la fauna en un hábitat varía de acuerdo a los tipos de alimentos que requieren y a los lugares donde encuentran dichos alimentos.

#### 3.4.2.2 TIEMPO

De igual forma, a nivel de microescala, otro modo en que pueden coexistir varias especies consiste en repartirse el espacio y recursos en tiempos distintos. De hecho al observar un sistema o comunidad en la escala temporal distinguimos que dicho sistema o comunidad varía o difiere en su fauna, ya que durante el día podemos observar una fauna diurna que es totalmente distinta a la fauna nocturna.

Un ejemplo se encuentra en la flora y fauna de la Reserva de la Biosfera de Mapi-mí, en donde durante el día, la fauna de hábitos diurnos cazan y son activos al iniciarse el día, y durante el atardecer y el resto del tiempo están a la sombra de la vegetación, de las rocas o en su madriguera o bien planeando en una corriente de aire fresco para protegerse del fuerte calor del día o la noche;

en el crepúsculo la fauna de hábitos nocturnos empieza su actividad. La figura 3.12 muestra una foto de la Reserva de la Biosfera de Mapimí.

De igual forma, en la escala temporal, al observar un sistema o comunidad vegetal distinguimos que dicho sistema o comunidad varía o cambia gradualmente en su composición de las especies a través del tiempo, como se muestra en la figura 3.13.

La sucesión ecológica también se observa después que ocurre de un disturbio, ya sea natural o antropogénico. De acuerdo con la intensidad y escala del disturbio y a la vulnerabilidad de la comunidad, el área empieza a regenerarse, primero, con las especies pioneras o colonizadoras, las cuales a través del proceso de facilitación cambian las condiciones nicho ambientales para que el área sea más adecuada para otras especies (herbáceas, pastos anuales y perennes) generándose una progresión de comunidades inmaduras y rápidamente cambiantes a comunidades maduras y estables (condición clímax) caracterizándose por una dominancia o codominancia de especies.

#### 3.4.2.3 ESPECIE HUMANA

Como se ha visto, la Tierra funciona como un sistema autorregulado y constituido por componentes abióticos (físicoquímicos), biológicos y humanos, donde en estos últimos, al interactuar con su entorno físico no sólo lo manipulan y regulan para fomentar y mantener las condiciones adecuadas para su existencia y bienestar, sino también para el sostenimiento y mejoramiento de la biosfera.

La especie humana en su evolución de primate a *homo sapiens* se ha convertido en un factor determinante no sólo de la extensión y ubicación de las áreas naturales sino además determinando la biodiversidad en una zona.

El ser humano conforme adquirió conocimientos y generó tecnologías, fortaleció paulatinamente su capacidad para cambiar la fisonomía de su entorno, pero alteró, fragmentó y destruyó los ecosistemas, agotando los recursos naturales y reduciendo la biodiversidad.

De igual forma la especie humana en su evolución social, de primate a constituir la sociedad cazadora-recolectora y luego la sociedad agrícola y finalmente la sociedad industrial, generó sus propios factores determinantes (figura 3.14), que le permitieron no solamente fomentar y mantener las condiciones adecuadas para su existencia, sino además consolidar la obtención de los satisfactores básicos y de bienestar o comodidad en los sistemas urbanos o ciudades.



Figura 3.12

Reserva de la biosfera de Mapimí.



Figura 3.13

La sucesión ecológica o desarrollo de una comunidad vegetal es el proceso por el cual la composición de las especies cambia gradualmente a través del tiempo.



Figura 3.14

La especie humana en su evolución social generó sus propios factores determinantes que permitieron fomentar y mantener las condiciones adecuadas para su existencia y bienestar.

## INTRODUCCIÓN

**D**e acuerdo con los actuales cambios paradigmáticos en la didáctica, especialmente en cuanto a los métodos y estrategias de enseñanza-aprendizaje y en la elaboración de los instrumentos curriculares, y atendiendo a la conveniencia de que cada estudiante se construya particularmente sus competencias, en la presentación de esta segunda unidad se incluyen algunas aclaraciones pertinentes, aun considerando que comentarios similares pueden haber sido aportados ya por nuestros coautores, al introducir la primera unidad de este libro.

Se pretende estar a tono con la actual innovación educativa internacional de la consecución de competencias, recomendada también por nuestra *alma mater*, que ha venido imponiendo la sustitución de la anterior organización de los documentos por objetivos, orientados al trabajo docente, reconociendo que esta nueva modalidad sigue tomando en cuenta a los objetivos como logros por conseguir, o como expresiones concretas de los fines o metas que se proponen.

Con la mejor intención de servir, y procurando que el presente libro constituya un recurso útil para que los estudiantes construyan las competencias relacionadas, implícita o explícitamente, con este texto, se hacen las siguientes aclaraciones:

- a) Tener claro que un libro que se propone como texto para una asignatura, no es un programa analítico, ni lo incluye.
- b) Aunque aquí no aparece el programa de la asignatura, sí es muy conveniente que al desarrollar los temas se tengan en mente los principales elementos del programa: el propósito o razón del curso, los objetivos terminales, las competencias que se pretende incorporar, el mapa conceptual de los aprendizajes propuestos, la organización en unidades, temas y subtemas, los recursos didácticos y auxiliares cuyo uso se recomienda, la modalidad especial de evaluar la adquisición de las competencias y una bibliografía actualizada, que incluya revistas y lugares ciberneticos.
- c) De la lista anterior, intencionalmente se han puesto aparte las actividades de aprendizaje; se mencionan algunas que se consideran más adecuadas para los contenidos de nuestro curso:
  - Elaborar un glosario de términos relacionados con las ciencias del ambiente.
  - Elaborar preguntas profundas de diversos tipos.
  - Contestar cuestionarios temáticos.
  - Visitar plantas de tratamiento de agua residual y otros lugares de interés ecológico.
  - Organizar los conocimientos de los temas en mapas y redes conceptuales, etc., para facilitar aún más su aprendizaje.
  - Consultar bibliografía o revistas del área temática.
  - Fomentar la cultura ambiental en la comunidad.

### Contenidos teóricos, conceptuales:

- Documentos normativos, conceptos y mecanismos,
- Criterios de sustentabilidad,
- Bienes y servicios ambientales,
- Funciones ecológicas.

### Métodos y procedimientos:

- Práctica del comportamiento ecológico.
- Producción, consumo y distribución de los recursos naturales.

### Aprendizaje actitudinal:

- Respeto por la naturaleza,
- Responsabilidad personalizada,
- Justicia y equidad.

Respecto a la evaluación de las competencias que los estudiantes se hubieren construido, se procurará que la misma responda a condiciones de desempeño, sobre la base de reunir evidencias para individualizar el aprovechamiento de cada estudiante en cuanto a los saberes cognoscitivos, a través de los exámenes; en cuanto al desempeño, en los trabajos por equipos, durante la clase, mientras que las actitudes y valores se pueden evaluar observando la actuación de los estudiantes durante los debates o los análisis de casos.

La calificación semestral estará integrada por los porcentajes correspondientes al trabajo efectuado en clase y las tareas, además de los resultados obtenidos en los exámenes. Se han de valorar tanto los procesos como los productos.

## CAPÍTULO 4. LA AGENDA 21

### 4.1 Introducción a la Agenda 21

Los problemas ambientales no son sólo problemas particulares que afecten un sitio o a un pequeño grupo de individuos, de una región o de un país; la degradación ambiental no respeta fronteras ni límites políticos. En tal virtud, deben adoptarse medidas de cooperación internacional para hacer frente a esos problemas.

Hay graves amenazas que se ciernen sobre el mundo, hay fenómenos como la lluvia ácida, el calentamiento de la atmósfera debido a los efectos de los gases de efecto invernadero, la destrucción de los bosques tropicales, la pérdida de especies, la destrucción de la capa de ozono, la desertificación, la destrucción del medio marino, el cambio climático, la sobre población humana y, sobre todo, la desigualdad económica y social entre los individuos de la especie humana, la pobreza y el agotamiento de los recursos naturales.

Como dijo Barbara Ward: "a la vista de estos problemas, debemos ser más conscientes de que vivimos en **una sola Tierra**. Lo que hagamos como individuos, grupos, naciones y regiones tendrá repercusiones directas en los demás habitantes del planeta en que vivimos. Pero lo más importante es que lo que hagamos, o no hagamos ahora, afectará a las vidas y a la salud de nuestros hijos y de los hijos de nuestros hijos" (M. K. Tolba en PNUMA, 1987).

Durante la lectura de los capítulos precedentes, seguramente te has preguntado: ¿Qué debo entender por Agenda 21? ¿Qué significa este documento desde el punto de vista del ambiente? ¿Para qué me servirá, en mi profesión, el contenido de los conceptos de la Agenda 21? y seguramente muchas otras preguntas. En este capítulo podrás encontrar respuestas para algunas de estas interrogantes y otras respuestas las deberás buscar en las referencias que se indican al final del mismo.

### 4.2 Antecedentes de la Agenda 21

Para entender el presente, es necesario revisar la historia ambiental del mundo; pero ése no es el objetivo del presente capítulo, pues la Agenda 21 se empezó a gestar con el movimiento iniciado en el año 1968, cuando un grupo de 35 científicos de treinta países diferentes se reunieron en Roma, preocupados por los cambios que aquel estilo de desarrollo estaba causando en el planeta.

Los especialistas integrantes del Club de Roma (1970) han publicado una serie de documentos y auspiciado movimientos y corrientes político-filosóficas relacionadas todas con los impactos del desarrollo sobre el ambiente. Los temas prioritarios del Club de Roma sirvieron de plataforma de lanzamiento para otras reuniones internacionales sobre el medio ambiente y el desarrollo.

El grupo de países miembros de la Organización de Naciones Unidas decidió, en 1983, la creación de la Comisión Mundial sobre Ambiente y Desarrollo y creó el concepto de "**desarrollo sostenible**",

adoptado por la ONU cuando, en 1987, la citada comisión publicó el informe **"Nuestro futuro común"** (Informe Brundtland) que trata de las causas fundamentales de insostenibilidad del desarrollo y se habla de crisis ambiental, pobreza, desigualdad y consumismo extremo en los países del norte y la falta de recursos para la mayoría de los habitantes de los países del sur.

El Informe Brundtland, fue motivo de múltiples conferencias en la sede de la ONU, discusiones y controversias por conflictos de intereses políticos y económicos entre los países y por fin, en 1992, las consultas y negociaciones culminaron con la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, mejor conocida como **Cumbre de la Tierra** (14 de junio de 1992). Representantes de 179 países firmaron la declaración y el programa, pero Estados Unidos de América se abstuvo de firmar ese acuerdo.

El término oficial adoptado por la ONU es **"Programa 21"**, o **"Agenda 21"** (plural de *Agendum*). El documento contempla una serie de asuntos que requieren atención organizada cronológicamente, para promover el desarrollo sustentable en los niveles mundial, nacional y local. ¿Por qué 21? Porque se refiere al siglo XXI.

La estructura y el contenido del Programa o Agenda 21 te pueden servir de guía para que encuentres respuestas para las preguntas planteadas al principio del capítulo y para las que te puedan surgir en capítulos subsiguientes.

Los temas del Programa 21 tratan de las dimensiones sociales y económicas, de la conservación y gestión de recursos para el desarrollo, del fortalecimiento de los grupos de la sociedad civil y de los medios de ejecución, los recursos económicos, la educación y otros de importancia significativa. El Programa está estructurado en cuatro secciones y 40 capítulos.

El Programa 21 ha tenido una serie de ajustes: Conferencia Río + 5 (1997), Agenda complementaria, Objetivos del desarrollo del Milenio (2000) y la Cumbre de Johannesburgo Sudáfrica (2002).

Por considerar que la Declaración de Río sobre Medio Ambiente y Desarrollo y el Programa 21 son una valiosa herramienta para comprender los diversos temas tratados en esta obra, se recomienda que entre el maestro y los estudiantes se realicen lecturas y análisis de cada uno de los puntos de dichos documentos, conforme se avance en el programa del curso Ambiente y Sustentabilidad.

## CAPÍTULO 5. LA DECLARACIÓN DEL MILENIO

### 5.1 Objetivos de la Declaración del Milenio

La Declaración del Milenio es una confirmación del compromiso que han asumido las naciones firmantes para continuar considerando los postulados de la Agenda 21.

La Declaración del Milenio fue aprobada en la Cumbre del Milenio celebrada entre el 6 y el 8 de septiembre de 2000. En ella participaron 191 países y se discutieron los retos que el mundo enfrenta, y los líderes mundiales que en esta reunión participaron lograron establecer objetivos concretos, entre los que destacan:

1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre.
2. Lograr la enseñanza primaria universal.
3. Promover la igualdad entre géneros y la autonomía de la mujer.
4. Reducir la mortalidad infantil.
5. Mejorar la salud materna.
6. Combatir el VIH/SIDA, el paludismo y otras enfermedades.
7. Garantizar la sostenibilidad del medio ambiente.
8. Fomentar una asociación mundial para el desarrollo.

Los objetivos acordados en esta cumbre ahora se conocen como los Objetivos de Desarrollo del Milenio (los ODM).

Estos sirven de marco común para que todo el sistema de la Organización de Naciones Unidas trabaje hacia un fin común y la intención es que el Grupo de las Naciones Unidas para el Desarrollo ayude a asegurar que los ODM permanezcan al centro de estos esfuerzos.

Como puedes observar, son muy buenas las intenciones y son producto de una preocupación real por la gravedad de los problemas ambientales. Se destaca la atención a los problemas especiales de África, el continente más afectado por la sobrepoblación, la pobreza, la sobreexplotación de los recursos naturales y los problemas políticos y sociales que afectan a muchos países de ese continente; además de los desastres naturales, como las sequías, las inundaciones o los conflictos político-sociales que obligan a millones de personas a emigrar, principalmente hacia Europa, o a países ricos, con otras culturas y de una población que rápidamente está envejeciendo por su bajísima natalidad, fenómeno contrastante con los países del sur, con altos índices de natalidad y lazos familiares o de grupo muy estrechos. La búsqueda de mejores condiciones de vida exige pagar un alto precio: la pérdida de identidad cultural, la desintegración familiar, la discriminación por la raza, el color o la religión y el sometimiento o, en muchos casos, a trabajar en condiciones insalubres o peligrosas.

En el continente americano donde es más patente la desigualdad entre los países del norte y los del sur, y desde luego que en América Latina la situación es algo similar, y es aquí donde se presenta la oportunidad de reflexionar sobre la situación especial de México, ante su cercanía con Estados Unidos de América.

## 5.2 Indicadores sobresalientes del documento

Para saber si se lograron los objetivos o el grado de avance de éstos y llevar un seguimiento del grado de avance en cada uno, es necesario contar con indicadores, para lo cual los gobiernos han acordado fijar 18 metas específicas y 48 indicadores para medir el progreso ([www.un.org/millenniumgoals](http://www.un.org/millenniumgoals)). A continuación se presentan sólo tres aspectos sobresalientes del primer informe anual del Secretario General de Naciones Unidas sobre la ejecución de la Declaración del Milenio (A/57/270).

### Objetivo 1. Erradicar la pobreza extrema y el hambre.

Meta: Reducir a la mitad, para el año 2015, el porcentaje de habitantes del planeta cuyos ingresos sean inferiores a un dólar al día.

### Objetivo 2. Lograr la enseñanza primaria universal.

Meta: Alcanzar para el año 2015 el acceso a la educación primaria completa.

### Objetivo 3. Promover la igualdad entre los géneros y la autonomía de la mujer.

Meta: Eliminar las desigualdades entre los géneros en la enseñanza primaria y secundaria preferentemente para el año 2005, y en todos los niveles de la enseñanza para el 2015.

### ACTIVIDAD 5.1

Enterado del contenido de la Declaración del Milenio y del Programa 21, elabora, trabajando en equipo, un ensayo sobre la situación del grado de cumplimiento de los indicadores y metas de la Declaración del Milenio en América Latina.

La estructura general del ensayo será: Título, introducción, cuerpo central con más de diez párrafos y una conclusión. Se recomienda que uses subtítulos para indicar los temas generales que se traten: sociales, económicos, ambientales, científicos, etcétera.

### ACTIVIDAD 5.2

Mediante un trabajo en equipo, colecta datos sobre la población marginada de alguna de las áreas metropolitanas del país. Investiga en el INEGI el fenómeno de migración de mexicanos

en el interior del país y hacia el extranjero, identificando cuántas etnias se han *asentado en las* áreas marginadas del área estudiada, y relaciona lo encontrado con los temas tratados en éste y los capítulos precedentes. Elabora una reflexión al respecto.

Consulta las fuentes de información de las Naciones Unidas sobre el medio ambiente y selecciona diez indicadores que consideres de mayor importancia para medir el progreso en el logro de los Objetivos del Milenio, de acuerdo con la realidad ambiental de México.

### ACTIVIDAD 5.3

Dada la importancia que reviste la Declaración del Milenio en la tendencia hacia el desarrollo sostenible, durante el desarrollo de este tema se dará lectura a los principales capítulos de dicha declaración y el maestro hará comentarios adicionales sobre los temas orientados a situaciones reales de la ciudad, del estado, del país y del mundo (pobreza, desigualdad, equidad de género, derechos humanos, etc.).

## CAPÍTULO 6. EL DESARROLLO SUSTENTABLE

### 6.1 Introducción al desarrollo sustentable

Como pudiste observar en los temas de ecología humana y ecología urbana de la unidad 1, a lo largo de los siglos las sociedades pasaron por las etapas de: sociedad cazadora-recolectora, sociedad agrícola y sociedad industrial. En todas estas organizaciones sociales, el hombre siempre ha tendido a mejorar su calidad de vida y en el pasado las sociedades vivieron y se desarrollaron en armonía con la naturaleza, aprendieron de ella y ajustaron sus actividades y su enfoque del desarrollo de acuerdo con las “necesidades de la naturaleza”; es decir, en forma incipiente por observación directa, aprendieron a respetarla y a cuidarla.

A través del tiempo, la especie humana, en la búsqueda de su sustento y seguridad, ha provocado una intensa transformación de la naturaleza. Las formas de organización social para el uso de los recursos naturales disponibles han impactado significativamente en el ambiente. Con el paso del tiempo, los efectos de la actividad humana en los procesos naturales han llegado a ser de tal magnitud que han provocado alteraciones, en muchos casos, imposibles de revertir.

La evolución del ser humano en el mundo moderno y la revolución científica cambiaron poco a poco el concepto de la naturaleza y del mundo. El hombre empezó a percibir a la tierra y a la naturaleza como dos conceptos separados, considerando que los ecosistemas tienen capacidad infinita para diluir todo tipo de contaminantes vertidos en el agua, en el aire y en el suelo; y que se podía seguir deforestando y consumiendo, sin consecuencias graves, recursos naturales suficientes para solventar la demanda de satisfactores de las generaciones actuales.

En la interacción sociedad-naturaleza, los procesos productivos ocupan un lugar central. El crecimiento demográfico y la necesidad de generar más alimentos han inducido innovaciones tecnológicas que han sustituido a las especies silvestres; la agricultura es un ejemplo de ello: se deforestan grandes áreas para destinarlas a la agricultura, para la producción de alimentos para los seres humanos y los animales; el hombre demanda alto rendimiento en los campos de cultivo, establece prácticas de irrigación artificial, utiliza fertilizantes y concentra gran cantidad de energéticos que demanda la agricultura; utiliza semillas genéticamente modificadas y todo esto provoca una disminución en la productividad total del ecosistema (figura 6.1).

**Figura 6.1**

Áreas principales de sustentabilidad.

El segundo nivel de alteración es la contaminación que ocasionan los procesos de producción o transformación de los productos agropecuarios, ya que dichos procesos requieren de un consumo de combustibles para la transformación, los empaques y los traslados, y demandan grandes cantidades de energía para una disposición final adecuada y, en la mayoría de los casos, éstos originan efectos acumulativos que se manifiestan mundialmente.

El tercer nivel de alteración se manifiesta en el nivel global, con la destrucción de la capa de ozono, el efecto invernadero y el cambio climático global.

Para entender el origen de la crisis ambiental se requiere de un análisis holístico y que se considere a la biosfera como unidad, lo cual hasta la fecha no se ha realizado con amplitud y aún prevalecen modelos de desarrollo que siguen actuando como si el planeta fuese una fuente diversificada e inagotable de recursos. Todo el proceso se debe considerar como un complejo conjunto de sistemas que interactúan (una cadena de sistemas), del cual la especie humana constituye uno de sus eslabones. Los modelos basados en el crecimiento económico y el proceso tecnológico han comenzado a tomar en cuenta la dimensión ambiental en la planeación. Ahora la explotación exagerada de los recursos naturales preocupa a los tomadores de decisiones y a los beneficiarios de los modelos económicos. Desgraciadamente continúa una distribución desigual de los beneficios, existiendo una brecha enorme entre los países ricos y los pobres y, aun en el interior de los países, la apropiación de los beneficios del desarrollo es para unos cuantos y la gran mayoría sufre las consecuencias ambientales del deterioro.

El programa de las Naciones Unidas en el año 1993 indicaba que el objetivo del desarrollo era ampliar la gama de posibilidades de la población. El ingreso es una de esas opciones, pero no constituye la aspiración máxima de la vida humana, puesto que "el desarrollo humano del pueblo, para el pueblo y por el pueblo". El desarrollo del pueblo significa invertir en capacidades humanas, sea en educación o en salud o en aptitudes, con el objeto de que la gente pueda trabajar en forma productiva y creativa. El desarrollo para el pueblo significa asegurar que el crecimiento económico que genera éste, se reparta de modo amplio y justo. Por último, el desarrollo por el pueblo consiste en dar a todos una oportunidad de participar.

Como se mencionó en la unidad 1, así como en los párrafos precedentes de esta unidad y ante los más recientes avances en investigación ambiental, surgen nuevas preocupaciones por el cambio climático y las consecuencias que en el nivel local esto está ocasionando; los impactos en la salud son evidentes, la migración de poblaciones pobres hacia las ciudades agravan el problema; los ha-

bitantes de poblados y comunidades rurales se preocupan por la desintegración de las familias al enfrentar la necesidad de buscar empleo en otras ciudades.

Desde el inicio de esta unidad, en repetidas ocasiones se hace referencia a la preocupación mundial por el ambiente; por lo que has tenido la oportunidad de conocer que a través de la Organización de las Naciones Unidas, desde el año 1970, se han realizado innumerables reuniones de carácter internacional, donde los tomadores de decisiones político-económicas, con asesoría de grupos científicos interdisciplinarios, han sentado las bases para un desarrollo de la humanidad que tienda hacia el denominado desarrollo sustentable. Fue así como, en 1987, bajo la convocatoria y dirección de la Organización de las Naciones Unidas, se reconoció en el nivel internacional la gravedad de los problemas ecológicos, de riesgo para las generaciones futuras, y que dio origen a la Comisión Mundial para el Medio Ambiente y el Desarrollo. Los resultados del estudio se encuentran en el libro *Nuestro futuro común (Our Common Future)* y los resultados del estudio se encuentran contenidos en el reporte Brundtland.

En el mencionado informe se enfatizaba que si no cambiábamos profundamente el enfoque del desarrollo, en particular la industrialización basada sólo en fines económicos, la Tierra y sus sistemas ecológicos sufrirían daños irreversibles y se ponía en peligro la existencia sana del ser humano en el futuro. El estudio concluyó con una definición del nuevo concepto llamado desarrollo sustentable, por su carácter de sustentador de la naturaleza.

Este concepto subraya las responsabilidades primordiales del ser humano en el proceso de salvar al planeta.

#### A manera de reflexión:

*Actualmente, la humanidad ha perdido contacto con su estado natural de prosperidad. Todos juntos estamos creando un mundo completamente fuera de balance, en el que relativamente pocos tienen mucho más de lo que necesitan, y están usando los recursos ambientales comunes en una cantidad alarmante, mientras que la mayoría de la humanidad sufre de severas carencias. Todos somos usuarios del ambiente y, por lo tanto, todos somos responsables de su cuidado; requerimos llenar el hueco de la ignorancia en esta materia, debemos considerar que se requiere conocer para saber hacer y poder tener un desarrollo en armonía con la naturaleza; requerimos asumir el compromiso de aprender a conocer el complejo mundo de la naturaleza; requerimos poner en práctica los valores fundamentales de la humanidad: una nueva cultura y una nueva visión del mundo que pretendemos y debemos dejar a las generaciones futuras (Limon, 2008).*

## 6.2 Desarrollo sustentable o sostenible

### ¿Sostenible o sustentable?

Resulta evidente el parentesco entre las dos palabras. El concepto "Desarrollo Sostenible" remite al concepto de "Capacidad de Sustentación", propio de la ciencia ecológica. En cambio, en inglés, "Sustainable Development", no está a primera vista relacionado con *Carrying Capacity*; todo dependerá de la definición que le demos a la palabra *Sustainability*. Sin embargo, los que con gran éxito introdujeron la expresión *Sustainable Development* en la política internacional, es decir, la IUCN (International Union for the Conservation of Nature) y después la Comisión Brundtland de las Naciones Unidas, querían combinar conscientemente estas dos ideas: desarrollo económico y capacidad de sustentación.

Jeffrey McNelly, de la IUCN, dijo:

*"La conservación de la naturaleza tal vez sea una preocupación de crecimiento económico, ya que el crecimiento futuro depende en gran medida del stock de capital natural. La conservación es sin ninguna duda una precondition del Desarrollo Sostenible, que une el concepto ecológico de capacidad de sustentación (carrying capacity) con los conceptos de crecimiento y desarrollo."*

Como lo indica José Manuel Naredo, en su artículo sobre el origen, el uso y el contenido del término sostenible, el término **desarrollo sostenible** se fue poniendo de moda tras la aparición del informe sobre nuestro futuro común, coordinado por Gro Harlem Brundtland.

En realidad, la preocupación por el medio ambiente y el desarrollo se inició desde la década de 1970, y fue cuando se empezó a cuestionar y a poner en tela de juicio la viabilidad del crecimiento como objetivo planetario. Maurice Strong, primer director ejecutivo del Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), propuso el término "ecodesarrollo", como término de compromiso que buscaba conciliar el aumento de la producción, que reclamaban los países del Tercer Mundo, con respecto a los ecosistemas.

Este término se empezó a usar en los círculos internacionales relacionados con el medio ambiente y el desarrollo, y en la reunión de Cocoyoc (Cuernavaca, Morelos, México), la denominada resolución de Cocoyoc, asume el término "**ecodesarrollo**", aunque en 1994 Henry Kissinger manifestó su desaprobación del texto, y más tarde apareció el término "desarrollo sostenible".

Para Sachs (1992), desarrollo sostenible es un concepto vago y un tanto ambiguo y contradictorio.

Por lo anterior, se ha derivado la propuesta de deslindar mejor, tanto conceptual como operativamente, el significado de la sustentabilidad del desarrollo, para no limitar el enfoque a una simple lista de principios (Unión Mundial para la Naturaleza *et al.*, 1991).

Es fácil observar que el desarrollo sustentable no se refiere a un problema limitado de adecuaciones ecológicas de un proceso social, sino a una estrategia o modelo múltiple para la sociedad, y que debe tener una viabilidad económica y factibilidad ecológica. En un sentido muy amplio, está referido a la redelimitación de las relaciones sociedad humana-naturaleza y, por tanto, un cambio sustancial del propio proceso de civilización. Pero en otro sentido muy concreto se topa con restricciones tecnológicas, culturales, económicas y de muy diversa índole (Provencio, 1992) y de las cuales dependen las posibilidades de aplicación.

De ahí la importancia de que el desarrollo sustentable se aborde no sólo desde la economía o la ecología; se debe abordar ampliamente, a través de diversos modelos de desarrollo, de los planteamientos ambientalistas, de las corrientes intelectuales y de los movimientos sociales.

En resumen, desarrollo sostenible y desarrollo sustentable quieren decir lo mismo, y la definición casi universalmente aceptada es:

*"El desarrollo sostenible: es el desarrollo que satisface las necesidades del presente, sin comprometer la capacidad para que las futuras generaciones puedan satisfacer sus propias necesidades."*

Por otra parte, el Título Primero: Disposiciones Generales; Capítulo I, Fracción XI, Normas Preliminares de la LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y PROTECCIÓN AL AMBIENTE (última reforma publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de febrero de 2005) a la letra dice:

Fracción XI. Desarrollo Sustentable: *"El proceso evaluable mediante criterios e indicadores del carácter ambiental, económico y social que tiende a mejorar la calidad de vida y la productividad de las personas, que se funda en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de los recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades futuras."*

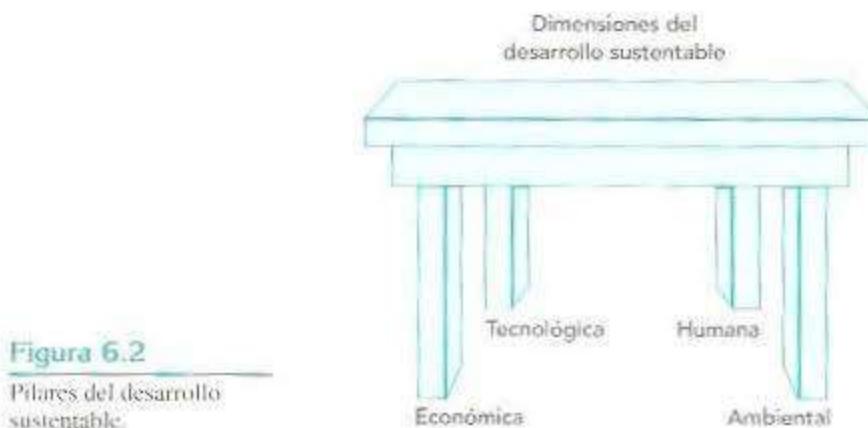
La definición que aparece en el reporte de la Comisión Mundial de Medio Ambiental y Desarrollo, titulado "Nuestro futuro común" (1987), es una definición casi universalmente aceptada, y a partir de esa definición se han logrado muchas otras que el Grupo de Estudios Ambientales A.C..

World Resources Institute y la Universidad de Guadalajara han incluido en la Guía de Educación Ambiental sobre temas del desarrollo sustentable; clasificándolas de la siguiente manera:

- Las que ponen énfasis en los aspectos físicos del desarrollo o manejo óptimo de los recursos;
- Las que se centran en los aspectos económicos y sostienen la importancia del crecimiento;
- Las que señalan que lo importante son las restricciones al comportamiento humano;
- Las que dan prioridad al desarrollo humano y la calidad de vida; las personas son vistas como el centro de la atención del desarrollo y no girando en torno a él;
- Las que incorporan el aspecto tecnológico como base para el desarrollo sustentable.

En todas ellas se observa un componente implícito que relaciona la equidad en el acceso a los recursos naturales y a los bienes sociales y económicos, igualdad para la población mundial actual y para las futuras generaciones.

El concepto de desarrollo sustentable, a través del tiempo, será cambiante, conforme se avance en el compromiso de cumplimiento de la Agenda 21 y los propósitos de los Objetivos del Milenio, además de que, en el nivel global, los tomadores de decisiones se den cuenta de que ya no es posible continuar con los actuales procesos de desarrollo y que se considere que el desarrollo sustentable es un proceso soportado en cuatro pilares o dimensiones —económicas, humanas, ambientales y tecnológicas (figura 6.2)—, por lo que en la práctica este proceso deberá considerar el significado del mismo, según se trate de áreas rurales, urbanas o de otro tipo, y estar conscientes de que el camino hacia el desarrollo sustentable es diferente de un país a otro.



**Figura 6.2**

Pilares del desarrollo sustentable.

### DIMENSIÓN ECONÓMICA

Los países tienen diferente grado de desarrollo y el trabajo que se debe realizar en cada uno de ellos variará según el país de que se trate y eso tiene que ver con el consumo de energía, los recursos naturales y los estilos de vida. En esta dimensión se debe analizar el consumo de energía per cápita del producto nacional bruto y también algunos otros aspectos que pudiesen ser fácilmente identificables y servir como indicadores.

### DIMENSIÓN HUMANA

A partir de 1991, las Naciones Unidas, en el informe relativo al desarrollo humano, resaltan la necesidad de reasignar recursos económicos para atender las necesidades básicas de los humanos y centran la atención en los hombres, las mujeres y los niños y que a su alrededor se forje el desarrollo. Esta dimensión tiende hacia la satisfacción de las necesidades básicas de salud, educación, ambiente limpio y participación igualitaria de las mujeres y los grupos minoritarios.

### DIMENSIÓN AMBIENTAL

El cuidado, la protección y la restauración del ambiente, representa un requisito indispensable para contrarrestar las tendencias que amenazan la vida del planeta; esta dimensión hará que el desarrollo sustentable se oriente a que:

- Todos los países mejoren sus políticas de protección del ambiente.
- Los países industrializados se preocupen más por evitar la contaminación de los recursos y por el uso eficiente de éstos.
- Los países en desarrollo se preocupen por la conservación básica de sus recursos renovables como el suelo, el agua y los bosques, que son la base de sus economías.

### DIMENSIÓN TECNOLÓGICA

Desde esta perspectiva, es obvio que todos los países deberán adoptar estrategias tecnológicas no destructivas, que tiendan hacia el logro del desarrollo sustentable.

Esta dimensión llevará a que:

- Los países industrializados busquen cambiar sus tecnologías por otras más eficientes.
- Los países en vías de rápida industrialización aprovechen la oportunidad para desarrollarse con tecnologías más eficientes y limpias.
- Las economías de países en desarrollo que aún se basan principalmente en la agricultura, desarrollen tecnologías apropiadas y de pequeña escala tanto para incrementar la productividad agrícola como para la fabricación.

### ACTIVIDAD 6.1

- Elabora un glosario clave en materia de ecosistemas y desarrollo sustentable, con base en la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente.
- Redacta tus reflexiones sobre los principios de sustentabilidad, considerando lo que los universitarios deben aportar y saber hacer para mejorar el equilibrio ecológico.

## 6.3 Indicadores de sustentabilidad

¿Qué significa **sustentabilidad**? Es el desarrollo basado en criterios no sólo económicos, sino también sociales y ambientales. Garantiza que la calidad de vida y la productividad se sustenten en medidas apropiadas de preservación del equilibrio ecológico, protección del ambiente y aprovechamiento de los recursos naturales, de manera que no se comprometa la satisfacción de las necesidades de las generaciones futuras.

El concepto de sustentabilidad ha sido aceptado casi universalmente desde los inicios de la década de 1970 y la complejidad y la multidimensionalidad económica, humana, ambiental y tecnológica, hacen necesario el desarrollo de métodos que permitan medir en forma clara y objetiva el cumplimiento de los objetivos de la sustentabilidad.

Pero, ¿realmente qué es un indicador? Un indicador es un hecho, una expresión, una situación o un signo que hace claramente perceptible una tendencia o fenómeno que no es fácilmente detectable inmediatamente, y que permite comprender, sin ambigüedades, el estado de la sustentabilidad de un sistema o los puntos críticos que ponen en peligro dicha sustentabilidad.

Como se ha mencionado en los capítulos anteriores, el concepto de desarrollo sustentable es ambiguo, y dicho concepto ha sido usado en muchas ocasiones en forma errónea o para dar la sensación de bienestar; de ahí la importancia de contar con indicadores indudables que contribuyan a hacer operativo dicho concepto, haciendo intervenir valores mensurables que permitan definir acciones concretas para corregir errores o desviaciones del objetivo deseado, y que su uso permita evaluar en qué medida los sistemas productivos o económicos de desarrollo cumplen los requisitos de sustentabilidad y evidencian las tendencias de su evolución a largo plazo.

Para desarrollar y utilizar indicadores se requiere una clara definición de los índices de sustentabilidad.

El índice de sustentabilidad ambiental constituye un resumen objetivo y ponderado, en determinada manera, de un conjunto de indicadores seleccionados para comparar resultados entre países o regiones.

## 6.4 Criterios de sustentabilidad

Los criterios y los indicadores de sustentabilidad son herramientas sumamente útiles en la toma de decisiones. Por la disponibilidad de información estadística son elementos indiscutiblemente básicos y de cuyos resultados depende la opinión de si dicha información está organizada o no.

Pero, ¿qué es un criterio? Un criterio se entiende como el conjunto de todos aquellos temas o nombres de temas que permitan organizar la información, y que a su vez son descritos por indicadores; algunos ejemplos sencillos de criterios son: la calidad del agua, el grado de disponibilidad de agua, el grado de seguridad pública, el estado de salud de la población, la cantidad y la calidad de las obras públicas, el grado de la contaminación del aire, etc. Pero para medir cada uno de estos criterios necesitamos de indicadores, mismos que describen cualitativa y cuantitativamente a un criterio. Por ejemplo, para el tema de la salud, un indicador sería el número de hospitales por cada 100,000 habitantes; para la situación en cuanto a residuos domésticos sería la cantidad y la tipología de residuos generados por día en una ciudad, y la cantidad recolectada y confinada en un relleno sanitario.

De acuerdo con el Consejo Económico y Social de Naciones Unidas (1998) los indicadores ambientales son estadísticas o funciones estadísticas que se han determinado concretamente en relación con una política ambiental, y constituyen un subconjunto o combinación de las estadísticas ambientales básicas. La información que contienen los indicadores ambientales es por lo general más amplia que la información directamente asociada con una variable estadística determinada. Por ejemplo, la relación entre la tierra protegida y la tierra total es un indicador de las actividades nacionales de conservación de los sistemas naturales. Los índices más compuestos de calidad del aire y el agua son combinaciones ponderadas de concentraciones ambientales de diferentes contaminantes.

Tanto las estadísticas ambientales básicas como los indicadores ambientales se presentan normalmente en esquemas de tipo abierto, como el esquema para la elaboración de estadísticas del medio ambiente.

Las estadísticas ambientales son relativamente nuevas, dependen de la evolución de los conocimientos científicos sobre las relaciones entre los humanos y su medio ambiente y tienen como objetivo describir y medir los efectos de las actividades humanas perjudiciales para el medio ambiente.

A fin de tener una mejor idea de la interacción entre las actividades antropogénicas y la naturaleza y sus efectos sobre la salud y el bienestar humano, se utilizan las estadísticas del medio ambiente que incluyan datos ambientales y socioeconómicos.

La función de las estadísticas ambientales es proporcionar un panorama sintetizado de los datos que facilite la formulación de **políticas ambientales** y su integración a las **políticas económicas y sociales**.

La política ambiental en México, como tal, es relativamente reciente (de 1988), con la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente. Sin embargo, desde principios del siglo XXI ya existía en México la preocupación por el cuidado de los recursos naturales.

Del Libro *Defending the Land of the Jaguar* (La defensa de la Tierra del Jaguar) escrito por Lane Simonian, publicado por la Universidad de Texas, traducido y distribuido en México por la Comisión Nacional para el conocimiento de la Biodiversidad (CONABIO) y por el Instituto Nacional de Ecología (INE) de la SEMARNAP (1988), se tomaron algunas referencias cronológicas de la conservación de esos recursos:

- Siglo XIII. Nopaltzin, un príncipe chichimeca, restringió los fuegos en las montañas y en el campo.
- Siglo XV. El rey Netzahualcoyotl, de Texcoco, creó una reserva forestal de parques arboreos, jardines botánicos, zoológicos, aviarios y estanques con peces, para su recreación.
- 1541. El rey Carlos I ordenó a los encomenderos plantar árboles para beneficio de la comunidad.
- 1765. El rey Carlos II ordenó que por cada árbol que se cortara se plantasen tres.
- 1839. Para disminuir la ocurrencia de las sequías prolongadas, el ministro del Interior, José Antonio Romero, pidió a los gobernadores proteger los bosques de su región y restaurar aquellos que hayan sido destruidos.
- El presidente Benito Juárez promulgó la primera ley forestal nacional en el México independiente.
- 1908. Miguel Ángel de Quevedo obtuvo financiamiento para su vivero forestal de Coyoacán.
- 1917. El Artículo 27 de la Constitución permite la expropiación de terrenos cuando esto sea necesario para propósitos de conservación.
- 1935-1940. El presidente Lázaro Cárdenas creó cuarenta parques nacionales.

## ACTIVIDAD 6.2

Los estudiantes y el maestro de la materia deberán continuar la lista cronológica mencionada en los párrafos anteriores, con lo que se darán cuenta de que en México sí se han realizado esfuerzos significativos en materia de protección ambiental (consultar las Estadísticas del Medio Ambiente en México, páginas electrónicas de SEMARNAT y las páginas de las dependencias estatales y municipales responsables del medio ambiente, en la localidad donde vivan).

Después de 1940, la preocupación se fue incrementando en función del fenómeno de la industrialización de posguerra y la migración del campo a las ciudades industrializadas, por lo que el incremento en las presiones ambientales sobre los recursos naturales fue más notorio en la contaminación del agua, en la generación de residuos municipales y desechos peligrosos procedentes de instalaciones industriales, de servicio y de atención médica-hospitalaria.

De 1940 a 1970, parecía que hubo un estancamiento en materia ambiental en el país: sólo fue creado el Departamento de Conservación del Suelo y se promulgaron las leyes de Conservación del Suelo y el Agua, y la Ley de Caza en el período del presidente Miguel Alemán. Fue hasta la presidencia de Luis Echeverría, en la Reunión de Cocoyoc, en Cuernavaca, donde se empezó a hablar de "ecodesarrollo", concepto que a través del tiempo y por diversas presiones internacionales pasó a un segundo término, desfasado por el término "desarrollo Sostenible", como se indicó a principio de esta unidad.

Los indicadores ambientales para la evaluación del desempeño ambiental formalmente se empezaron a tratar en México a partir de 1995 y es en la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos

Naturales (antes SEMARNAP) donde se concentró una buena parte de la política ambiental del país, posibilitando una visión integral y la acción coordinada para atender los problemas ambientales (INE-SEMARNAT, 2000).

En México se han realizado grandes esfuerzos para mantener los sistemas de información; sin embargo todavía existen algunos rezagos sobre el comportamiento de los contaminantes en el ambiente, el estado de los ecosistemas y los impactos en el medio ambiente derivados de las actividades productivas.

Por considerarlo de interés y en el marco de la Organización para la Cooperación y Desarrollo Económico (OCDE), referente a las principales políticas públicas adoptadas por México, se presenta una síntesis de estas propuestas.

- La OCDE sostiene que la generación de indicadores ambientales tiene como objetivo ayudar a los países a mejorar su desempeño ambiental, con el propósito de alcanzar el desarrollo sustentable.
- Los países miembros de la OCDE están de acuerdo en presentar exámenes de desempeño ambiental y los indicadores que serán tomados en cuenta en los exámenes de desempeño serán los siguientes:
  - La contaminación y gestión de los recursos naturales, en temas como: aire, agua, residuos, conservación de recursos.
  - Aspectos de desarrollo sustentable enfocándolos hacia la integración de las políticas ambientales con aquellas otras económicas, sectoriales y sociales.
  - Temas de cooperación internacional (INE, SEMARNAT, 2000).

Por ser el norte de México una región con problemas muy serios sobre los recursos hidráulicos (agua superficial, agua subterránea), se adjunta un esquema PER del recurso agua (figura 6.3).

El agua es un recurso limitado y es considerada como un componente fundamental en el equilibrio de los ecosistemas y en la medida en que comience a deteriorarse, escasear o perderse, tendrá repercusiones en ellos.



Figura 6.3

Diagrama de flujo que muestra los indicadores de presión-estado-respuesta sobre el recurso agua. Tomado de: Indicadores de la evaluación del desempeño ambiental reporte 2000 SEMARNAT.

## 6.5 Parámetros de desempeño ambiental

Los parámetros básicos recomendados en el modelo de la OCDE que busca representar la realidad, se definen por PER = presión, estado, respuesta.

- **Presión:** actividades antropogénicas que impactan el medio.
- **Estado:** condición en que se encuentra el medio, en cuanto a su grado de preservación o deterioro ambiental.
- **Respuesta:** las medidas tomadas por la sociedad en su conjunto para hacer frente a los problemas ambientales.

Los indicadores ambientales son una herramienta que ayuda a comprender mediante análisis una situación ambiental determinada.

## PRESIÓN

Este parámetro es fundamental en el análisis del recurso agua en el país, y se deben analizar con detenimiento las estadísticas, por ejemplo, de extracción de agua en la región del país que se esté estudiando, lo relativo a la información estadística de las prácticas agrícolas, el uso en los asentamientos humanos o por el sector industrial, extracción y contaminación del agua superficial o subterránea.

## ESTADO

Se requiere saber el estado general de la administración del agua en México, cuántas cuencas o regiones hidrológicas y cuántas regiones administrativas se tienen.

¿Cuáles son los cuerpos de agua en el país y cómo se encuentran distribuidos y se deben relacionar con los distintos usos de este recurso en las poblaciones? ¿Cuál es la situación respecto a la extracción? ¿Son sobreexplotados o subexplorados? ¿Cuál es la calidad del agua? ¿Se cuenta con redes de monitoreo de calidad del agua? ¿Son suficientes o faltan?

En resumen:

**Estado:** es la disponibilidad de estadísticas nacionales, regionales o locales de la situación general de este recurso; es decir, cuánta agua tenemos, de qué calidad, dónde se encuentra este recurso, cómo se administra, cómo la usamos y cómo la regresamos al ciclo hidrológico.

**Respuesta:** Se debe investigar si en el país se cuenta con una regulación oficial sobre este recurso, las normas oficiales mexicanas, el pago de derechos, las cuotas, tarifas y cargos,

## ACTIVIDAD 6.3

Auxiliándose con las figuras 6.4 y 6.5 elabora una composición sobre los indicadores ambientales de tu localidad, considerando los recursos forestales, calidad del suelo y los residuos sólidos urbanos de la localidad donde vives.

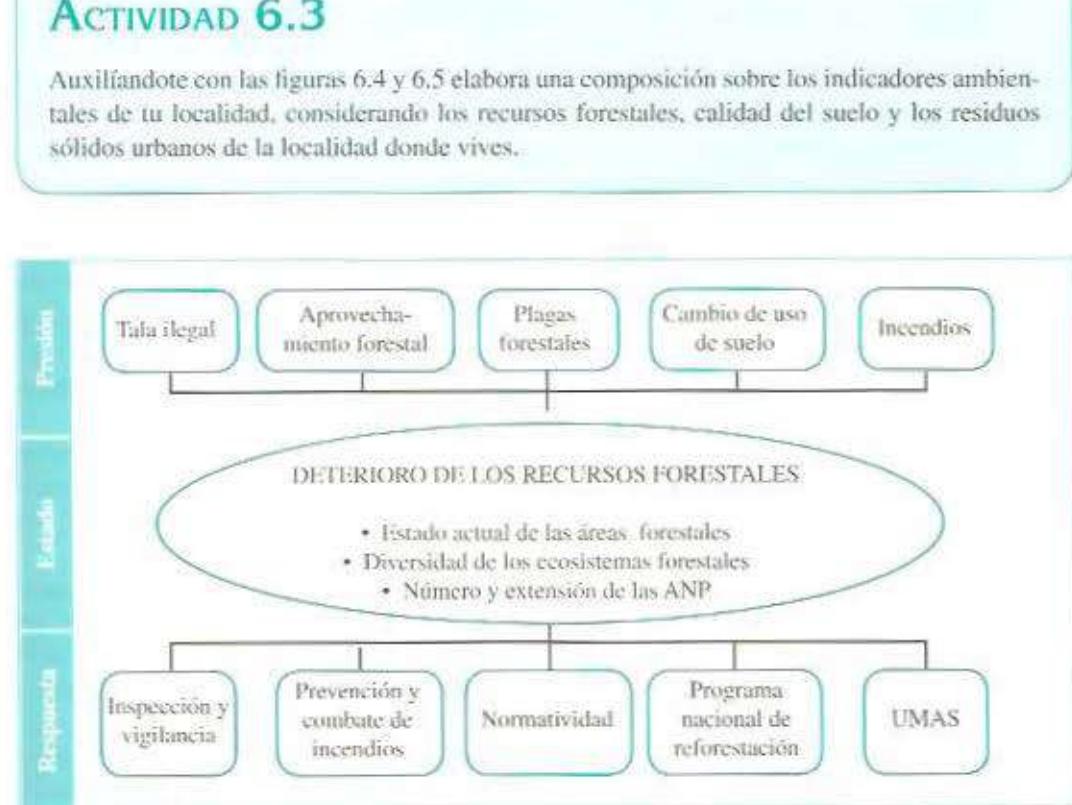


Figura 6.4

Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental. Reporte 2000 SEMARNAT.

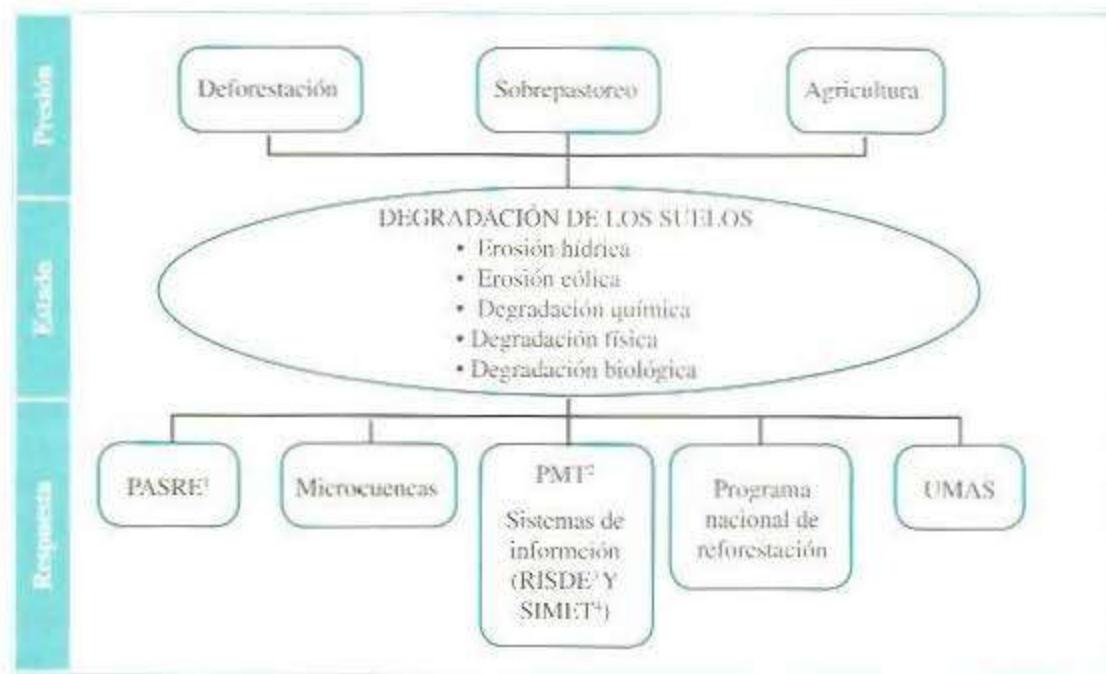
**Figura 6.5**

Diagrama de flujo que muestra los indicadores de presión-estado-respuesta de calidad de suelo. Tomada de: Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental reporte 2000 SEMARNAT. Tomada de: Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental, Reporte 2000 SEMARNAT.

1. PASRE. Programa de Agricultura Sostenible y Reconversión Productiva.
2. PMT. Programa de Manejo de Tierras.
3. RISDE. Red de Información de Suelos.
4. SIMET. Sistema de Monitoreo de Tierras.

5. PRODERS. Programa de Desarrollo Regional Sustentable.

Tomada de: Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental reporte 2000 SEMARNAT.

## 6.6 El desarrollo sustentable y los servicios ambientales

*Lo que es de todos, nadie lo cuida; todos somos usuarios del ambiente y, por tanto, todos somos responsables de su cuidado (Llónon).*

En el mundo, y nuestro país no es la excepción, la preocupación por el deterioro ambiental global, regional y local es cada día mayor, por lo que se han hecho importantes esfuerzos para estimar y asignar valores a los bienes y servicios que nos proporcionan los ecosistemas.

La valoración de los servicios ambientales se nos presenta como una opción muy viable para apoyar la conservación y el desarrollo sustentable. Con todo, a la fecha no disponemos en México de instrumentos de promoción y divulgación para que las personas, las comunidades, las empresas y las instancias gubernamentales apoyen o participen en proyectos de pago por servicios ambientales. En la mayoría de los casos, incluso se desconoce lo que son los bienes y servicios ambientales (SEMARNAT, 2003).

Como se indica en los principios de la Agenda 21 y en la Declaración del Milenio, la conservación y el cuidado del ambiente, la responsabilidad, la justicia y la equidad y otros valores universales, son los pilares del desarrollo sustentable, por lo que de aquí en adelante la conciencia sobre la responsabilidad de cada uno hará la diferencia.

Seguramente esto es motivo de controversia, ya que, por un lado, la población necesita satisfactores cuya producción requiere de los energéticos y, para producir estos es necesario utilizar los recursos naturales, con el consiguiente deterioro de los mismos, por lo que se requiere cambiar el enfoque. Como este proceso está ocurriendo en todo el mundo, ahora ya se habla de "energía verde", de conservación, y se reconoce que es necesario replantear la actual forma de desarrollo. Se reconoce, además, el valor que representa el aporte de la naturaleza con los llamados servicios ambientales que nos proporciona; sin embargo, debemos reconocer que para conservarlas, primero debemos

conocer las intrincadas redes que existen en los ecosistemas; debemos, pues, conocer para conservar, porque lo que no se conoce, no se aprecia y no se cuida.

La conservación no está llegando a ningún lado, porque es incompatible con nuestro concepto de la tierra, que es el mismo del patriarca Abraham. Abusamos de la Tierra porque la consideramos como un bien que nos pertenece. Cuando veamos la Tierra como una comunidad a la cual pertenecemos, empezaremos a utilizarla con amor y respeto. No hay ninguna otra forma de que la Tierra sobreviva al choque con la cultura del hombre mecanizado.

En la primera unidad de este libro se menciona la hipótesis Gaia, propuesta por James Lovelock, que en su tiempo despertó gran interés, ya que supone que la Tierra, en su totalidad, es un sistema que, contra todas las amenazas —incluido el desafío demasiado agresivo de la especie humana— se regula a sí misma para preservar un medio conveniente para la vida. Toda la biosfera participa en una compleja red de interacciones, que ha resistido los cambios físicos. La visión de Lovelock va también contra la fragmentación profesional, característica de la ciencia moderna. Como muchos ecologistas, insiste en que la tierra y la biosfera sólo se pueden entender como una red de procesos interactivos.

En la Universidad Autónoma de Nuevo León, Lovelock es reconocido como uno de los científicos que más han contribuido a entender los complejos procesos de la naturaleza. James Lovelock cuenta con impecables credenciales como científico (él elaboró técnicas de percepción remota usadas por la NASA y muchas otras contribuciones científicas a las ciencias ambientales).

*La naturaleza no es una máquina cuyos componentes se puedan estudiar o modificar uno por uno; es un sistema amplio, regido por leyes que relacionan unas con otras todas sus partes. La especie humana es parte de este sistema y puede florecer sólo si se respetan las leyes que gobiernan todo (Bowler, 1992).*

## 6.7 Servicios ambientales

Durante décadas hemos abusado de la Tierra, no la hemos valorado en su exacta dimensión; es nuestra casa y no hemos sabido cuidarla, contaminamos el aire, el agua y el suelo, además de que hacemos un uso a veces irracional de los recursos naturales, pues depredamos por doquier, modificamos el entorno; hemos perdido el respeto por la naturaleza. Es necesario recapacitar y replantear nuestro estilo de desarrollo. Es urgente que estemos bien informados al respecto, que desarrollemos una conciencia clara y aprendamos a cuidar la naturaleza, conservarla y valorar los bienes y servicios que nos proporciona.

Los bienes ambientales comunes son: el aire, el agua y el suelo. Éstos son de todos y nos proporcionan servicios ambientales a todos. Pero, ¿qué son los bienes y servicios ambientales? ¿Qué son los ecosistemas?

Los bienes ambientales son beneficios tangibles de la naturaleza (madera, agua, suelo, plantas medicinales, etc.), de los que nos beneficiamos directamente.

Los servicios ambientales son beneficios intangibles cuya utilización —cuando la hay— es indirecta (captura de carbono, regulación del clima, belleza escénica, control de la erosión y muchos otros).

Una definición de servicios ambientales se incluye en el artículo 3º, fracción XLI, de la Ley General de la Vida Silvestre, que a la letra dice:

*“Servicios Ambientales: Los beneficios de interés social que se derivan de la vida silvestre y su hábitat, tales como la regulación climática, la conservación de los ciclos hidrológicos, la fijación del nitrógeno, la formación del suelo, la captura de carbono, el control de la erosión, la polinización de plantas, el control biológico de plagas o la degradación de desechos orgánicos”*

El término “ecosistema” fue acuñado por Tansley en 1935. Los ecosistemas o sistemas ecológicos (CECADESU-SEMARNAT, 2003) son unidades que incluyen a la totalidad de los organismos de un área determinada en su interacción con el medio físico, para generar estructuras y funciones.

**Figura 6.6**

**Bosque templado.** Los bosques son biomas pobres en especies, aunque algunos de hojas ancha (*planifolios*) son relativamente ricos. Sin embargo, aun en ese caso tenemos excepciones, como son las áreas dominadas por abedules y álamos de latitudes boreales. Pero la baja diversidad se observa sobre todo, en aquellos dominados por los de hojas aciculares como los pinos (coníferas).



a) Bosque tropical lluvioso.



b) Bosque tropical seco.

**Figura 6.7**

**Bosque tropical.** En las zonas de clima tropical se dan tres clases diferenciadas de bosques: El bosque tropical seco o bosque tropical con estación seca en el que la vegetación tiene que adaptarse a largos períodos de aridez durante los cuales la evaporación es muy activa. Los paisajes vegetales se empobrecen poco a poco y las formas *cenífilas* (adaptadas a la sequedad) adquieren una importancia creciente a medida que se van aproximando a los dos Trópicos. El bosque tropical estacional semiperenne es el bosque de gran parte del Asia tropical en los que durante la estación seca algunos árboles pierden su follaje dependiendo de la severidad de la sequía. El bosque tropical lluvioso es propio de las zonas tropicales en las que no existe una verdadera estación seca, hay uno o más meses relativamente secos (con menos de 100 mm de lluvia) y solamente algunas áreas son húmedas durante todo el año.

Existen dos grandes clases de ecosistemas: los naturales y los antropogénicos.

Los **ecosistemas naturales** son el resultado de millones de años de procesos de evolución biológica y ecológica que han conducido a redes de vida complejas.

Los ecosistemas naturales del planeta se clasifican de diversas maneras: una de ellas es la que distingue a los bosques tropicales de los bosques templados, de los pastizales, de las zonas áridas y semiáridas, de los humedales y de los ecosistemas acuáticos y marinos (en las figuras 6.6 a la 6.13 se observan ejemplos de cada uno de los ecosistemas mencionados).

Los **ecosistemas antropogénicos** son los que han sido construidos por la intervención humana, o bien, aquellos de naturaleza biológica que han sido alterados significativamente por ésta.

Los ejemplos de esta clase van desde un jardín escolar, un potrero, una plantación forestal, hasta una ciudad.

A su vez, los grandes ecosistemas están compuestos por gran cantidad de grupos y subgrupos, hasta llegar a los niveles de organización microscópica.

Todos, a su vez, presentan muy variados elementos y funciones, que dan lugar a los servicios ambientales.

Las funciones ecológicas se clasifican en:

- Funciones de regulación.
- Funciones de hábitat.
- Funciones de producción.
- Funciones de información.

**Figura 6.8**

Pastizales.

**Figura 6.9**

Zona árida (desierto).

**Figura 6.10**

Zona semiárida.

**Figura 6.11**

Humedales.



### Funciones de regulación

Son las que se relacionan con la capacidad natural de los ecosistemas para ajustar y mantener los procesos biológicos esenciales en el mantenimiento de la vida, por ejemplo, todos los ciclos naturales de la materia, incluidos los del agua, el carbono, el oxígeno y el nitrógeno.

### Funciones de hábitat

Los ecosistemas proveen refugio para plantas, animales y microorganismos, así como espacio para la reproducción u otras fases de su ciclo biológico. Estas funciones son fundamentales para el mantenimiento de la diversidad biológica y genética del sitio.

### Funciones de producción

Se refieren principalmente a la biomasa que producen los organismos vivos, e incluyen procesos de fijación de nutrientes, conversión de la energía solar a química y a la transformación de la energía en materia.

### Funciones de información

Son las funciones relacionadas con los mecanismos de la herencia; las que resultan de la evolución natural de las especies y constituyen el reservorio genético de la vida.

Los bosques y el agua son los principales protagonistas del desarrollo de la vida en los ecosistemas: los primeros por ser productores y el agua por ser el líquido conductor, regulador y portador de la vida. Los bosques y las selvas cubren, en conjunto, 30% de la superficie terrestre del país mexicano.

## 6.7.1 Principales servicios ambientales

Se consideran servicios ambientales los siguientes:

- La regulación del clima y el amortiguamiento del impacto de los fenómenos naturales.
- La provisión de agua en calidad y cantidad suficientes.
- La generación de oxígeno.



a) Lótico.



b) Léntico.

**Figura 6.12**

Ecosistemas acuáticos. **Marinos de agua salada.** Se clasifican de acuerdo con la zona determinada por la distribución de la luz y la proximidad del fondo. **Continentes**, generalmente dulceacuícolas. Pueden ser a su vez: a) **Lóticos**. Los que se desarrollan en las aguas circulantes, como ríos y torrentes, b) **Lénticos**. Los de aguas estancadas, como lagos y pantanos.

**Figura 6.13**

Ecosistemas acuáticos (marino).

- El control de la erosión, así como la generación, conservación y recuperación de los suelos.
- La captura de carbono y la asimilación de diversos contaminantes.
- La protección de la biodiversidad, de los ecosistemas y las formas de vida.
- La polinización de las plantas y el control biológico de las plagas.
- La degradación y el reciclaje de los desechos orgánicos.
- La belleza del paisaje y la recreación.

La deforestación y la consecuente reducción de los servicios hidrológicos proporcionados por los bosques y las selvas están contribuyendo, sin duda alguna, a la preocupante crisis del agua en nuestro país.

Además de la quema de combustibles fósiles, una importante causa del aumento en las emisiones de CO<sub>2</sub>, ha sido la eliminación de vegetación natural, es decir, la tala de bosques y selvas para la conversión de ecosistemas naturales a tierras de cultivo y pastoreo.

Otro de los servicios ambientales que proporcionan los bosques y las selvas es la conservación de la biodiversidad. La biodiversidad está constituida por todos los organismos vivos que se encuentran en los ecosistemas, sean estos terrestres, marinos, aéreos o acuáticos.

Los servicios que pueden derivarse de los ecosistemas son de tres tipos: locales, regionales y globales y benefician a los pobladores del lugar porque generan bienes regionales y derramas económicas cuando se trata de ecoturismo, actividades cinegéticas o aquellas de protección contra la erosión en las partes altas, en apoyo de las localidades o ecosistemas ubicados en las partes más bajas. Estos servicios mitigan los efectos adversos del cambio climático y proporcionan muchos otros beneficios, tangibles e intangibles.

En todas las reuniones internacionales relativas al medio ambiente se ha reconocido el valor de los servicios ambientales que brinda la naturaleza en los distintos ecosistemas. En algunos países, como en el nuestro, se acepta que los bosques y el agua deben ser considerados entre las más importantes prioridades del país. En el sexenio de Vicente Fox Quesada se declaró al agua como un recurso de seguridad nacional, se hicieron esfuerzos muy importantes para dar valor monetario a los servicios ambientales y se crearon algunos instrumentos económicos tendientes a la conservación y el cuidado del ambiente.

En México se han establecido los sistemas cinegéticos denominados UMAS (unidades de manejo ambiental sustentable), se ha reconocido la importancia de la reducción de emisiones a la atmósfera que contribuyen al cambio climático y se ha adoptado el denominado mecanismo de desarrollo limpio (MDL), el cual, para la validación de un proyecto, señala la necesidad de demostrar claramente que la captura de carbono esperada no sucedería si éste no se pusiera en marcha; además, deberá demostrarse que el proyecto promueve el desarrollo y que no producirá impactos ambientales negativos en la biodiversidad, en el agua o en el suelo.

### **6.7.2 Mecanismos de Desarrollo Limpio (MDL) y bonos de carbono**

El pago por servicios ambientales, como se mencionó anteriormente, está empezando a tomar mucha fuerza en el nivel internacional y ya se ha creado un mercado ambiental.

El mecanismo de desarrollo limpio permite a los países desarrollados comprar bonos de carbono baratos a los países en desarrollo, con un costo mucho más bajo, que si sólo emprendieran acciones de reducción de emisiones en su propio territorio.

Destacan los proyectos de captura de carbono, la agroforestería, las plantaciones forestales, la silvicultura comunitaria y urbana, y la reforestación en países en desarrollo, los cuales son candidatos a recibir financiamiento mediante el mecanismo de desarrollo limpio.

Los certificados (bonos) de reducción de emisiones o de captura de carbono, son el resultado de un largo proceso. Los bonos creados mediante el MDL en proyectos realizados en países en desarrollo, reciben el nombre de Certificados de Reducción de Emisiones (CRE), y pueden ser adquiridos por las empresas y los gobiernos de los países industrializados.

La captura de carbono de un proyecto se determina a partir de un escenario “sin proyecto” (o línea base), dado por las condiciones iniciales; los efectos y resultados generados se comparan con la línea base para determinar cuáles son los beneficios del proyecto, en términos de toneladas capturadas.

Los mecanismos de desarrollo limpia y los certificados de reducción de emisiones, como en todos los mercados, presentan dificultades, en virtud de que ésta es un área nueva en las ciencias ambientales, la cual obstaculiza las negociaciones entre los vendedores y los compradores y, por otra parte, los costos y beneficios no siempre están a la vista. Es conveniente que el estudio de este tema se amplíe entre los maestros y los estudiantes y en él se incluyan los conceptos de externalidades: esto es, definir los costos o beneficios de la actividad económica externa al mercado; por ejemplo, una externalidad positiva sería el beneficio que los dueños de un bosque ubicado en las partes altas de una cuenca aportan el agua a los agricultores ubicados cuenca abajo; los agricultores y la sociedad en su conjunto reciben el beneficio de los bosques, pero el propietario del bosque no recibe nada a cambio y una externalidad negativa sería, en el ejemplo anterior, si el dueño del bosque talara los árboles, pues entonces se generaría una erosión y se afectaría el ciclo hidrológico con un impacto negativo en las partes bajas. Pero, ¿cómo se deberían valorar los servicios ambientales y quién sería el que debería pagar?

Resumiendo: es importante examinar varios aspectos: el primero es determinar cuánto valen estos servicios ambientales; el segundo, quiénes los pueden ofrecer; el tercero, determinar cuánto se debe pagar por ellos y, por último, identificar quiénes se benefician con ellos y cómo podrían contribuir para que se sigan proveyendo.

### 6.7.3 Valores económicos totales de un ecosistema tropical húmedo

De acuerdo con el documento “Hombre y Naturaleza” de la SEMARNAT, los valores económicos se subdividen en valores de uso, que pueden ser de uso directo o de uso indirecto, valores optionales y valor de existencia.

El valor de uso directo depende de la disponibilidad y de la oferta (productor), y de la demanda (consumidor); incluye valores de productos forestales maderables y no maderables, recreación y turismo.

El valor de uso indirecto corresponde al valor de las funciones ecológicas que desempeñan los ecosistemas (protección de suelos, regulación de cuencas, infiltración de agua, etc.); la valoración se hace indirectamente a partir del costo de reemplazo de bienes sustitutos. *Si estamos interesados en la captura de carbono y se capturan “X” toneladas en una plantación forestal, su valor sería el costo de establecer filtros que produjeran una captura equivalente.*

El valor de opción corresponde al valor de los beneficios esperados que los usuarios potenciales del ambiente estarían dispuestos a pagar por conservar y disponer de un recurso en el futuro. Esto se debería asociar con recursos genéticos y con sustancias farmacéuticas.

El valor de existencia es aquel que una persona puede dar a un recurso con características únicas o significados culturales importantes para la sociedad, por el hecho de que este disponible en el presente o en el futuro.

Como se indicó en los párrafos precedentes, el pago por servicios ambientales, en México y en el mundo, es un concepto relativamente reciente y más reciente aún en el marco legal. Las legislaciones federal, civil, mercantil, agraria y penal, no prevén los servicios ambientales en particular, con lo cual aparece un espacio de indefinición y grandes inconsistencias. Son graves las inconsistencias entre los diferentes ordenamientos legales, sobre todo cuando alguien intenta precisar la propiedad de los recursos, la capacidad legal para la toma de decisiones sobre los mismos y la obligatoriedad de los particulares para darles un uso sustentable.

Los diferentes instrumentos jurídicos reguladores de los ecosistemas imponen importantes obstáculos al pago de los servicios ambientales.

La Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en su Título Primero, Capítulo I, Artículo 4 de las garantías individuales, establece el derecho a un medio ambiente sano para el desarrollo y bienestar de los mexicanos; y en otros artículos se indica la tutela del patrimonio de los recursos naturales y se establece el interés público como fundamento de subsidios, incentivos y transferencias financieras.

*El concepto de servicios ambientales se planteó por primera vez en nuestra legislación el 3 de julio de 2000, con la promulgación de la Ley General de Vida Silvestre (Artículo 3º). Poco después, en diciembre de 2002, se reiteró la necesidad de incorporar este concepto en la política ambiental y de recursos naturales, al promulgarse la Ley General de Desarrollo Sustentable (CECADESU-SEMARNAT, 2003).*

En la convención MARCO sobre el cambio climático/protocolo de Kyoto, quedó establecido el compromiso para la mejora de los factores relacionados con la emisión de gases de invernadero y el apoyo a programas de conservación y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales; por otra parte, la convención sobre la biodiversidad dejó claro el compromiso de conservar, con utilización sustentable, la diversidad biológica, desarrollando programas gubernamentales al respecto.

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en el apartado de instrumentos económicos, prevé el pago, los incentivos y la formación de instrumentos de mercado.

La Ley General de Vida Silvestre, en los artículos 3º, XII; 5º, VI, y 20 incisos a, c y d, define los conceptos de servicios ambientales, promueve la conservación y restauración de la biodiversidad y el aprovechamiento económico sustentable de especies de flora y fauna, además de señalar que los recursos genéticos estarán sujetos a los tratados internacionales y a las disposiciones sobre la materia.

La Ley General de Desarrollo Forestal Sustentable incluye algunos artículos y apartados donde se definen los servicios ambientales que brindan los ecosistemas forestales, se establecen las bases para la creación y promoción de programas de manejo y esquemas de compensación por los servicios ambientales que aporten los bosques, se establecen el fondo forestal mexicano y las bases para la evaluación y monitoreo de estrategias de pagos por los servicios ambientales. El mayor costo, quizás, corresponde al pago de los servicios de vigilancia, para evitar que los criminales talabosques, apoyados en la corrupción con algunos empleados de gobierno, destruyan los bosques.

La ley agraria posibilita la canalización de inversiones para empresas productoras de servicios ambientales y, por otro lado, la ley de aguas nacionales contiene la de "consejos de cuencas", los cuales pueden fungir como espacio de concertación y administración de pago por servicios ambientales.

Los pagos por servicios ambientales constituyen recursos que pueden usarse como instrumentos para el desarrollo sustentable; sin embargo, la incertidumbre jurídica dificulta su puesta en práctica, por lo que se requiere adecuar todos los instrumentos legales relacionados con el tema para difundir, en todos los sectores sociales, los beneficios que dichos instrumentos podrían brindar si se aplican correctamente.

## ACTIVIDAD 6.4

Debate sobre el desarrollo sustentable, previendo mecanismos de desarrollo limpio y bonos de carbono, entre otros pagos por servicios ambientales. Se recomienda asignar previamente los roles y funciones que cada estudiante desempeñará en el debate, a fin de que cada participante se instruya y prepare su defensa y argumentación.

Sustentar sus argumentos mediante consulta a las leyes y reglamentos, tales como la Ley General de Desarrollo Ambiental Sustentable, Fracción XXXVII, Artículo 7, terminología, Artículo 30, fracciones I, VI y IX, Artículo 133, 139 y 142 de los servicios ambientales, para elaborar un reporte de esa consulta, añadiendo comentarios y opiniones.

# CAPÍTULO 7. PARTICIPACIÓN SOCIAL E INSTITUCIONAL EN EL DESARROLLO SUSTENTABLE

## 7.1 Introducción a las tendencias del desarrollo sustentable

El desarrollo sustentable será aquel que, aparejado al desarrollo económico, a la satisfacción de las demandas sociales y a la utilización de los recursos naturales, haga frente al desafío de construir un futuro más racional y equitativo para las generaciones por venir.

El desarrollo sustentable busca hacer compatible la satisfacción de las necesidades y aspiraciones sociales con el mantenimiento de los equilibrios biofísicos y sociales indispensables para el propio desarrollo actual y futuro. En México, el reto es alcanzar un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la restauración y protección del medio ambiente que permita frenar las tendencias del deterioro ecológico, a la vez que se logre un desarrollo económico equitativo y suficiente para una población de más de 105 millones de habitantes. Ante esta situación, se requiere de la participación corresponsable de todos los sectores de la sociedad.

## 7.2 Participación social

Hablar de medio ambiente y desarrollo sustentable sin la participación del sector social se puede considerar como un pecado ambiental inaceptable, ya que resulta imposible concebir la aplicación de una estrategia para el desarrollo sustentable sin la intervención y participación real y activa de una ciudadanía organizada, por lo que, si se quiere realmente un aprovechamiento racional de los recursos naturales renovables y asegurar la base del desarrollo económico nacional, presente y futuro, se requiere, por fuerza, la presencia activa y consciente de los diversos grupos de la sociedad civil, por lo que es necesario construir nuevos esquemas de corresponsabilidad ciudadana en el diseño y la vigilancia de las políticas públicas relativas al medio ambiente.

En el presente siglo es muy común que en los medios de comunicación aparezcan diversos grupos sociales, unas veces organizados y otras no, manifestándose en contra de proyectos de supuesto desarrollo económico y de impactos sociales significativos. A veces la presión social es tan fuerte que muchos proyectos se han visto frustrados y se han detenido grandes inversiones, limitando la creación de empleos y la derrama económica en las comunidades donde éstos pretendían desarrollarse.

Desde luego que grupos establecidos en organizaciones no gubernamentales (ONG), en la mayoría de los casos, actúan de buena fe y con conocimientos ambientales y suficiente respaldo técnico para oponerse o para apoyar determinado proyecto; sin embargo, es también común que estos grupos sean manipulados por intereses de carácter político o económico.

En nuestro país, prácticamente la etapa de democratización se inició a principios de la primera década del siglo XXI, lo que ha permitido el surgimiento de innumerables grupos sociales que se constituyen explícitamente para gestionar y realizar programas de desarrollo, de difusión, de capacitación, de investigación. Además, en el nivel internacional se ha fortalecido la corriente que busca incluir a los grupos sociales en la formulación y seguimiento de la aplicación de las políticas públicas y sin duda que la tendencia hacia la democratización del país busca una mayor eficiencia en la gestión gubernamental y va incorporando la participación social en diferentes etapas del ciclo de formulación y aplicación, así como de evaluación de las políticas públicas.

Los resultados o avances de la participación social en las políticas públicas en México han provocado un proceso muy heterogéneo, debido a la gran diversidad de organizaciones involucradas (existen desde fundaciones y grupos de asistencia privada, hasta productores del sector social y cámaras empresariales, organizaciones no gubernamentales y asociaciones de profesionales). Otro factor, sin duda, es la gran diferencia geográfica y sectorial del país. Desde luego, los rasgos ideológicos y políticos son muy diferentes entre el sur, el centro y el norte del país.

La participación social en programas de medio ambiente y desarrollo ha sido fomentada y apoyada en las diversas reuniones de carácter ambiental que se han realizado en el mundo, desde la "Declaración de Estocolmo", pasando por la "Cumbre de la Tierra", la Declaración de Río, la Agenda 21, "Río + 5" y la de Johannesburgo. En todas ellas el gobierno mexicano ha firmado compromisos para el cumplimiento de lo que en ellas se acuerda.

Por lo anterior, es recomendable que se realicen las siguientes actividades:

## ACTIVIDAD 7.1

Revisa los contenidos de la Agenda 21 y la Declaración del Milenio, recomendados en capítulos precedentes de esta unidad. En el capítulo correspondiente a la Legislación Ambiental de este libro, podrás encontrar más información sobre estos temas.

Con la asesoría del maestro prepara un esquema para la formación de una organización no gubernamental de carácter ambiental, con tus vecinos, o en la escuela o facultad donde estudias.

Realiza un ensayo crítico sobre la participación ambiental de organizaciones no gubernamentales que se han opuesto en México a proyectos de desarrollo (por ejemplo: presas, autopistas, túneles, proyectos turísticos, etcétera).

**Nota.** Para entregar a tu maestro esta actividad y poner tu nombre, grupo, fecha y facultad, puedes imprimir su formato desde la siguiente dirección electrónica, sólo tienes que llenar un breve formulario, obtener tu contraseña, dar clic en UANL y ubicar el libro *Ambiente y sustentabilidad*, en la página <http://www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx/>

## 7.3 Participación institucional

En México, desde antes de la publicación de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (1988), ya existían diversas organizaciones o individuos que, preocupados por el medio ambiente, participaban activamente, en forma individual o colectiva, para exigir a las autoridades de los tres niveles de gobierno que pusieran más atención a los problemas ambientales que en ese tiempo en algunas partes del país ya no era posible soportarlos, por los daños reales que se estaban causando a los sistemas acuáticos, al suelo y al aire: preocupación real, ya que los principales y más importantes ríos del país se consideraban entre los más contaminados del mundo. El aire de la ciudad de México y de las principales ciudades industriales prácticamente era irrespirable y el suelo se impactaba por el uso irracional y descontrolado de diversos tipos de pesticidas, por residuos industriales peligrosos y desechos domésticos manejados sin ningún control ambiental.

Debido a los compromisos adquiridos por México en las distintas reuniones internacionales, poco a poco se fue abriendo en las esferas oficiales espacio para la participación de grupos organizados de la sociedad civil y fue necesario que en la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se estableciera la obligación del Estado de organizar el sistema de planeación democrática del desarrollo nacional (Artículo 26). Esto implica que, mediante la participación de los diversos sectores sociales, se recogerán las aspiraciones y demandas de la sociedad para incorporarlas a los planes y programas de desarrollo.

Por lo anterior, las leyes sectoriales señalan las normas y principios básicos conforme a los cuales se llevará a cabo la planeación del desarrollo nacional; entre otras: la Ley de Planeación, la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, los Planes de Desarrollo y los Programas Sectoriales.

La participación social fue determinante en la elaboración de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, y en este ordenamiento legal se contempla con amplitud la participación ciudadana en las políticas públicas sobre el medio ambiente. Este ordenamiento fue el resultado de un extenso proceso de consulta y discusión pública, en el que participaron instituciones académicas, organismos empresariales, dependencias, y entidades de la administración pública; también participaron activamente los representantes de los gobiernos estatales y municipales involucrados en la gestión ambiental.

La Ley General del Equilibrio Ecológico, en el Título V, denominado participación social e información ambiental, establece que: "El gobierno federal deberá promover la participación correspondiente de la sociedad en la planeación, ejecución, evaluación y vigilancia de la política ambiental y de recursos naturales" (Artículo 157). Señala, así mismo, la obligación de la Secretaría de Medio Ambiente de integrar órganos de consulta en los que participen entidades y dependencias de la administración pública, instituciones académicas, organizaciones sociales y empresariales, que tendrán funciones de asesoría, evaluación y seguimiento en materia de política ambiental y podrán emitir las opiniones y observaciones que estimen pertinentes (Artículo 159).

Como producto de lo expresado en párrafos anteriores, nació en la SEMARNAP (ahora SEMARNAT) el concepto de Consejos Consultivos de Participación Ciudadana, quedando integrados uno por cada estado, y un Consejo Consultivo Nacional, donde están representados todos los estados del país.

Los Consejos Consultivos creados en México han sido ejemplo para otros países, no han sido vulnerables a los cambios sexenales de gobierno y han sido ejemplo para que este esquema se retome en otras dependencias estatales y municipales.

## CAPÍTULO 8. LA ECONOMÍA Y EL AMBIENTE

### 8.1 Introducción a la economía y el ambiente

Barry C. Field, del Departamento de Recursos Económicos de la Universidad de Massachusetts en Amherst, en su libro de *Economía Ambiental* indica que este campo del conocimiento estudia los problemas ambientales, con la perspectiva y las ideas analíticas de la economía, y que se sitúa en los campos de la microeconomía y la macroeconomía —sobre todo de la primera—, además de estudiar las maneras de cambiar las políticas y las instituciones económicas, con el propósito de equilibrar un poco más los impactos ambientales con los deseos humanos y las necesidades del ecosistema.

### 8.2 Recursos ambientales comunes

Los recursos ambientales comunes son sistemas biofísicos que soportan la vida social. La gente tiene un acceso virtualmente libre e inrestricto a ellos y todo usuario puede saquear o degradar el abasto disponible para otros usuarios. La mayor parte de éstos son recursos renovables en potencia; por ejemplo, el aire que respiramos, los peces marinos y otras especies de aguas internacionales, el agua subterránea, etc. Aquí comentaremos que existe, en forma muy generalizada, la tendencia a considerar que dichos recursos son de todos y, por tanto, nadie los cuida. A veces, los recursos ambientales comunes se confunden con los de propiedad común, pero estos últimos pertenecen a la población de un país, estado o localidad, y su administración corre a cargo de los gobiernos federales, estatales y municipales, como las áreas naturales protegidas, los parques nacionales y estatales, los refugios de la vida silvestre y algunos otros.

A partir de 1972, los recursos ambientales comunes han sido objeto de una revalorización creciente y, sin lugar a dudas, durante la reunión de Río, esto se vio reforzado con la Agenda 21. Ahora se tiene una perspectiva mucho más amplia sobre este asunto y las demandas cada vez más apremiantes de la sociedad han ido configurando nuevos espacios de debate público y de interacción política. El debate ha ido adquiriendo con rapidez alcances estratégicos para el desarrollo de las naciones y de la convivencia planetaria.

La discusión de los problemas ambientales ha pasado al cuestionamiento del contenido y las modalidades del desarrollo. Ahora se habla de desarrollo sustentable, el cual hace compatible la satisfacción de las necesidades y aspiraciones sociales con el mantenimiento del equilibrio biofísico y social indispensable para cualquier proceso de desarrollo.

Por lo general, la riqueza de una nación se conceptualiza en función de cuatro dimensiones:

- **La física:** engloba el concepto tradicional, incluyendo infraestructura, maquinaria, equipo, etcétera.
- **La humana:** constituida por las capacidades individuales de los ciudadanos y sus potencialidades; es el "capital humano".
- **La institucional o social:** creada por formas organizativas e institucionales, expresiones culturales predominantes y patrones de comportamiento que permiten acrecentar las capacidades productivas de una nación.
- **La ecológica:** abarca el conjunto de activos o recursos comunes ambientales que proveen un flujo vital de bienes y servicios ecológicos, renovables y no renovables comerciables y no comerciables. Estos recursos ambientales comunes poseen un valor intrínseco, que deriva de su funcionalidad más que de su caracterización como bienes negociables. Sin embargo, en función de su creciente escasez, tienden a incorporarse o internalizarse cada vez más en los circuitos económicos convencionales.

El capital ecológico se presenta con frecuencia en forma de recursos o bienes comunes o públicos.

En el libro *Desarrollo, desigualdad y medio ambiente*, Gabriel Cuadri de la Torre menciona que la sustentabilidad del desarrollo depende de una gestión "correcta" de algo que podemos llamar recursos ambientales comunes (RAC), que en el caso de la ciudad están representados por la capacidad de carga de la atmósfera, de las cuencas hidrológicas que la abastecen y el espacio territorial y sus recursos. Comenta, además, que dichos recursos deben manejarse de tal manera que no transgredan sistemáticamente ciertos umbrales críticos, después de los cuales se generan costos sociales-ambientales excesivos (contaminación del aire, agotamiento de acuíferos, entre otros).

Para comprender mejor los recursos ambientales comunes, es conveniente que consultes las fuentes de información que se indican al final del capítulo y que relacionen los distintos capítulos de este libro, ya que estos recursos tienen que ver con cada uno, incluyendo la ética y la educación ambiental.

### 8.3 Recursos económicos

En economía, las cosas que se utilizan para producir bienes materiales se denominan **recursos económicos** o factores de producción. Generalmente, se clasifican en tres apartados:

- **Recursos naturales:** son los producidos por procesos naturales de la tierra.
- **Bienes de capital (o intermedios):** son artículos manufacturados a partir de recursos naturales, que se usan para producir y distribuir **bienes económicos** y servicios adquiridos por los consumidores.
- **Mano de obra o fuerza laboral:** corresponde a las facultades físicas y mentales de las personas. Los trabajadores venden su tiempo y sus habilidades por un salario.

### 8.4 Indicadores económicos

En economía se utilizan mucho los indicadores económicos para medir el crecimiento económico, el cual, por lo general, se mide por un incremento en el Producto Interno Bruto (PIB) de un país y es el valor de mercado, en dólares, de todos los bienes y servicios que produce una economía para uso final durante un año. También se utiliza el Producto Interno Bruto Per Cápita, que es el PIB real, dividido entre la población total.

Desde hace muchos años, estos indicadores se han utilizado para medir la rapidez con que una economía produce bienes económicos de cualquier tipo. Sin embargo, como indicadores de bienestar social, de salud ambiental o ecológica, presentan serias deficiencias, tal como lo indica G. T. Miller, ya que:

- Ocultan los daños de una economía, al incluir bienes y servicios perjudiciales. Por ejemplo, producir más cigarrillos aumenta el PIB, al igual que los riesgos de contraer alguna enfermedad originada por su consumo.
- No indican cómo se distribuyen los ingresos y los recursos entre las poblaciones, con lo que se da el caso de que muy pocos poseen casi todo y muchos poseen casi nada.
- Se utilizan para inducir al consumismo y satisfacer necesidades creadas en forma artificial.
- No se toma en cuenta el costo de la degradación de los ecosistemas.

Los economistas William Nordhaus y James Tobin han desarrollado indicadores sociales y ambientales que han llamado *Bienestar Económico Neto* (BEN). Calculan el BEN fijando un precio nominal a la contaminación y los bienes y servicios "negativos" incluidos en el PNB, que no mejoran la calidad de vida.

El bienestar económico neto puede dividirse entre la población total para estimar el *bienestar económico neto per cápita*. Este indicador, con el bienestar neto, puede ajustarse de acuerdo con la inflación.

Existen aún muchas controversias sobre los índices; algunos autores sostienen que es difícil evaluar los impactos económicos sobre los ecosistemas y otros señalan que se deben manejar otros índices, como los de la ONU, para estimar la calidad promedio de vida en diferentes países. Dicho índice se denomina *Índice de Desarrollo Humano*. Otro es el conocido como *Índice de Sufrimiento Humano* (IHS), desarrollado por el Comité de Crisis Poblacional. Hernan E. Daly y John B. Cobb Jr. desarrollaron un índice de bienestar económico sustentable. Sin lugar a dudas, se han hecho muchos esfuerzos para desplegar indicadores que permitan saber realmente si se está avanzando con seriedad hacia el desarrollo sustentable. Los indicadores se han desarrollado desde 1972 y no son perfectos; pero sin ellos sabríamos muy poco de lo que le ocurre a la gente, del ambiente y de los recursos naturales del planeta; tampoco sabríamos qué estrategias utilizar para revertir los daños causados a los ecosistemas ni estaríamos preparados con medidas preventivas que permitan alcanzar el desarrollo sustentable.

En 1966, proclamado por las Naciones Unidas como año internacional para la erradicación de la pobreza, este organismo difundió algunas cifras sobre las tendencias globales de la distribución del ingreso y la pobreza: la brecha entre países ricos y pobres es cada vez más amplia; esto es, mientras que en 1960 el 20% más adinerado de la población mundial obtenía 30 partes, el 20% más pobre se quedaba con una; en 1991 esta proporción se vio incrementada a 61 a una.

En cuanto al nivel nacional —indica el *Global Environment Outlook* del PNUMA— aún no se logra vincular la protección ambiental con la inversión social, la educación, la salud y la generación de empleos para los pobres, en especial para las mujeres.

Es indispensable consultar la bibliografía y a los especialistas para comprender la importancia de los indicadores económico-ambientales.

## 8.5 Instrumentos económicos

Las políticas ambientales deben considerar los instrumentos económicos, de tal manera que se puedan enfrentar las situaciones ambientales de manera realista, en función de los costos internos y de las *externalidades*.

### COSTOS EXTERNOS

Cuando los empresarios de una economía de mercado toman decisiones con relación a qué o cuánto producir, ellos normalmente tienen en cuenta el precio de lo que van a producir y el costo de los bienes por los cuales tendrían que pagar; la mano de obra, las materias primas, la maquinaria, la energía

y otros insumos. Éstos se pueden denominar *costos privados* de la empresa, y son aquellos que se presentan en el estado de pérdidas y ganancias al final del año. Cualquier empresa que tiene el objetivo de maximizar sus ganancias tratará de mantener sus costos de producción lo más bajo posible. Éste es un resultado valioso tanto para la empresa como para la sociedad, puesto que los insumos siempre tienen costos de oportunidad; éstos podrían utilizarse para producir algo diferente. Además, las compañías estarán a la expectativa con las formas de reducir costos cuando cambian los precios relativos de los insumos. Por ejemplo, se sabe que durante la "crisis" energética de Estados Unidos de América durante la década de 1970, cuando los insumos de energía se hicieron mucho más costosos, las empresas hallaron formas de reducir sus insumos de energía utilizando maquinaria más eficiente energéticamente hablando, cambiaron procedimientos operativos y otras formas de producir.

Sin embargo, en muchas operaciones de producción existe otro tipo de costo que, aunque representa un costo verdadero para la sociedad, no aparece en el estado de pérdidas y ganancias de la empresa. Es el de los *costos externos*. Éstos se denominan "externos" porque, aunque son costos reales para algunos miembros de la sociedad, las empresas normalmente no los tienen en cuenta cuando van a realizar sus decisiones sobre las tasas de producción. Otra forma de expresarlo es que hay costos que son externos para las compañías, pero internos para toda la sociedad.

Uno de los principales costos externos es el costo impuesto a las personas por la degradación ambiental. La forma más fácil de observarlo es mediante un ejemplo. Supóngase que una fábrica de papel se encuentra localizada en un tramo río arriba y que, en el curso de sus operaciones, ésta descarga una gran cantidad de agua de desecho en el río. Los desechos están llenos de materia orgánica que se genera en el proceso de convertir la madera en papel. Este material de desecho gradualmente se convierte en materiales más benignos por la capacidad de asimilación natural del agua del río pero, antes de que esto suceda, varias personas río abajo se ven afectadas por la reducción de la calidad del agua. Posiblemente los residuos arrastrados por la corriente de agua reduzcan la cantidad de peces del río, afectando a los pescadores que se encuentran un poco más abajo. El río también puede ser menos atractivo para observarlo, afectando a las personas a las que les gustaría nadar o navegar. Peor aún, el agua del río quizás es utilizada cuenca abajo como una fuente para un sistema público de acueducto y la calidad degradada del agua significa que el municipio tiene que montar procesos de tratamiento más costosos antes que el agua pueda enviarse a través del acueducto. Todos estos costos generados río abajo son costos reales asociados a la producción de papel, al igual que los de las materias primas, mano de obra, energía, etc., utilizados internamente por la planta. No obstante, a partir del punto de vista de la fábrica, estos costos generados río abajo son costos externos. Éstos son asumidos por personas diferentes a quienes toman las decisiones sobre las operaciones de la fábrica de papel. Al final del año, el estado de pérdidas y ganancias de la fábrica no contendrá referencia alguna con respecto a estos costos reales externos generados río abajo.

Si se pretende tener tasas de producción que sean socialmente eficientes, las decisiones sobre el uso de recursos deben tener en cuenta los dos tipos de costos: los costos privados de producir papel y adicionar cualquier costo externo que se genere por los impactos ambientales adversos. En términos de todos los costos sociales, éstos se contabilizarian así:

$$\text{Costos sociales} = \text{costos privados} + \text{costos (ambientales) externos}.$$

*Los costos externos algunas veces se denominan costos de "terceros". Las dos primeras partes son, respectivamente, el productor y el consumidor. De tal manera que el costo de "terceros" es aquél que se impone a las personas que no se encuentran directamente implicadas en las transacciones económicas entre los compradores y los vendedores. También algunas veces se denomina efecto de "derramamiento" (Spillover).*

Por considerarlo de interés, se transcribe a continuación un párrafo del capítulo de *Instrumentos Económicos del Programa de Medio Ambiente 1995-2000 de SEMARNAT* (antes SEMARNAP).

"La promoción de la internalización de costos ambientales, por medio de instrumentos económicos, tiene como propósito que los agentes reciban señales adecuadas desde el sistema de precios e incorporen en sus objetivos y funciones de bienestar motivaciones permanentes para hacer un ma-

nejo sustentable de los recursos naturales y para reducir la generación de contaminantes y residuos, y con ello los efectos ambientales negativos inherentes."

El logro de este propósito implica diseñar e instrumentar un mecanismo automático de corrección que puede operar con una intervención mínima, de parte de la administración pública o de la autoridad reguladora.

Los instrumentos económicos pueden requerir, para su plena eficacia y eficiencia, valorar costos ambientales como premisa para operar a partir de los umbrales, presentando como resultado precios que incorporen plenamente los costos sociales.

Los instrumentos económicos indicados en el PMA 1995-2000, presentan ventajas que los hacen atractivos e indispensables en la confección de las políticas públicas en materia ambiental. Estos son los siguientes:

- Permiten cumplir los objetivos ambientales a un costo social mínimo.
- Dan flexibilidad a los agentes económicos en la toma de decisiones.
- Reconocen y aprovechan las diferencias estructurales de costos incrementables que enfrentan distintas empresas, procesos y tecnologías.
- Promueven la innovación tecnológica y la minimización de impactos ambientales.
- Pueden significar un mecanismo automático para el financiamiento de la infraestructura, la operación de sistemas y el manejo de recursos ambientales comunes.
- Pueden generar ingresos fiscales que apoyen programas de protección ambiental.
- Generalmente implican bajos costos administrativos o de transacción, aprovechando las instituciones existentes, sin necesidad de crear nuevas burocracias.
- Permiten compatibilizar objetivos de política económica con objetivos de política ambiental.
- Pueden ser un mecanismo indispensable para llevar a cabo un manejo eficiente de los recursos ambientales comunes.

Entre los instrumentos que la SEMARNAT ha promovido con la Secretaría de Hacienda y Crédito Público o con la Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, se encuentran los siguientes:

- Impuestos y derechos ambientales.
- Mercados de derechos transferibles.
- Sobreprecios para generar fondos de fideicomiso.
- Sistemas de depósito-reembolso.
- Fianzas y seguros.
- Derechos de uso de recursos e infraestructura.
- Contratos privados.
- Licitaciones en el sector público.
- Derechos de propiedad.
- Concesiones.

Obviamente, ningún instrumento económico es útil en todo tiempo, proceso y lugar. Cada uno requiere ser utilizado de manera ponderada en diferentes etapas, mercados y sistemas de manejo, considerándolos siempre de manera complementaria o vinculada a un esquema regulatorio y normativo consecuente. La pertinencia en la aplicación de cada uno de los instrumentos dependerá de los costos administrativos, del monitoreo y control de los objetivos específicos, de la política, del

número de actores involucrados en cada proceso, de la escala y del volumen de las operaciones y de las condiciones biofísicas de los procesos.

Como pudiste observar, en la política ambiental del país se consideran los instrumentos económicos, los cuales, aunque subutilizados todavía, ya se han implantado en distintas áreas del sector productivo del país.

Puedes conseguir información adicional sobre este tema en las cámaras industriales, con las autoridades ambientales, federales y estatales, y en la bibliografía especializada. Recomendamos como lectura de apoyo para este tema el capítulo de "Sustentabilidad urbana y desigualdad: argumentos de política pública", del libro: *Desarrollo, desigualdad y medio ambiente*, de Gabriel Cuadri de la Torre.

### ACTIVIDAD 8.1

Investiga en las cámaras industriales y en otras fuentes si las empresas de tu localidad consideran los instrumentos económicos en la preservación del medio ambiente y elabora una síntesis de los principales instrumentos considerados. Medita sobre este punto y plasma en un escrito tus reflexiones al respecto.

## 8.6 Análisis de costo-beneficio

En el análisis de costo-beneficio, tanto los costos como los beneficios de una política o programa se miden y se expresan en términos comparables y es la principal herramienta analítica de los economistas para el análisis y evaluación de las decisiones ambientales. Se utilizó por primera vez en Estados Unidos de América, a principios del siglo XX, para evaluar proyectos de desarrollo hidráulico del US Army Corps of Engineers.

El análisis de costos y beneficios compara los costos calculados de los proyectos con los beneficios que se obtendrán. A menudo sirve como medio para decidir, en forma racional, si seguir adelante con lo planeado o suspender un proyecto. Todos los costos y beneficios se expresan en moneda y se comparan en términos de una razón de beneficios y costos. Una razón favorable significa que los beneficios superan los costos; entonces se dice que el proyecto es rentable y que hay una justificación económica para emprenderlo. Por lo general, el análisis consiste en comparar varias opciones para cumplir con el proyecto y elegir la mejor razón de beneficios y costos. Si éstos superan a aquellos el proyecto se revisa, se descarta o se archiva para analizarlo en el futuro.

El análisis de costos y beneficios, aplicado a cuestiones ambientales, pretende hacer que las políticas sean eficientes, de modo que la sociedad no tenga que pagar más de lo necesario por determinada calidad del ambiente.

En México se ha utilizado esta práctica desde hace varios años en el estudio de normas oficiales mexicanas, en las cuales se ha tenido especial cuidado de evaluar el beneficio social que representa cierta norma, en relación con el costo que representa su aplicación.

Es muy difícil cuantificar el valor de la vida humana, de la pérdida de una especie vegetal o animal y el disfrute del paisaje; también resulta sumamente difícil encontrar el equilibrio entre lo deseable y lo posible, sobre todo en países en vías de desarrollo como el nuestro.

Para comprender los beneficios de contar con aire limpio para respirar, agua potable para beber y cubrir nuestras necesidades, así como la protección de las especies, es necesario que también aceptemos que esto representa un costo —no siempre económico—, sino que se requiere, además, cubrir el costo que representa un sacrificio personal en el cambio de hábitos y costumbres, y que estemos abiertos al conocimiento y dispuestos al aprendizaje y a la educación ambiental continua. En la actualidad tenemos un gran enemigo: la ignorancia ambiental, ya que lo que no se conoce ni se aprecia, no se cuida.

## ACTIVIDAD 8.2

- Clasifica y diagrama los indicadores y recursos económicos de la región noreste del país, mediante un mapa conceptual y un cuadro sinóptico.
- Explica el desarrollo sostenible con base en los datos del INEGI y SEMARNAT y aplicando el análisis costo-beneficio.
- Realiza un estudio retrospectivo del medio ambiente en México, de acuerdo con el crecimiento demográfico, las expectativas de vida y las metas poblacionales para el año 2025.

## Bibliografía

- ALFARO, J., Limón, B., Martínez, G., Ramos, M., Reyes, I. y Tijerina, G. (2001). *Ciencias del ambiente*. Coedición Editorial Continental, México.
- BOLÁÑOS, F. (1990). *El impacto biológico, problema ambiental contemporáneo*. Coordinación General de Estudios de Posgrado, Colección Posgrado 7, Instituto de Biología, UNAM, México.
- BOWLER, P. (1998). *Historia Fontana de las ciencias ambientales*. Sección de Obras de Ciencia y Tecnología. Fondo de Cultura Económica, México.
- DE ALBA, A., Viesca, M., Alfántara, A., Esteban, N. y Gutiérrez, M. (1993). *El libro de texto y la cuestión ambiental, los contenidos ecológicos en el currículum de primaria*. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- ENKERLIN, E., Cano, G., Garza, R. y Vogel, E. (1997). *Ciencia ambiental y desarrollo sostenible*. International Thomson Editores, México.
- HENRY, J. y Heinke, G. (1999). *Ingeniería ambiental*. Prentice Hall, México.
- INEGI (2000). *Indicadores de desarrollo sustentable en México*. Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática, México.
- LUDEVIA, M. (1998). *El cambio global en el medio ambiente*. GEDIS, México.
- MILLER, T. Jr. (1994). *Ecología y medio ambiente*. Grupo Editorial Iberoamericana S. A. de C. V., México.
- NEBEL, B. y Wright, R. (1999). *Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible*, 6a ed., Prentice Hall, México.
- PANEPINTO, N. (1991). *Salvare la Terra. Grafis Edizioni*. Instituto Europeo di Cultura Popolare e Ambientale. Repubblica Italiana.
- SEMARNAT. (2003). *Introducción a los servicios ambientales*. 1a ed., Hombre-Naturaleza, A. C., México.
- SEMARNAT; ANUIES y UDG. (1999). *Antología. La educación superior ante los desafíos de la sustentabilidad*. Vols. 1, 2 y 3. Asociación Nacional de Universidades e Instituciones de Educación Superior, Universidad de Guadalajara/SEMARNAT, México.
- SEMARNAT. (2000). *Indicadores para la evaluación del desempeño ambiental*. Reporte 2000. Instituto Nacional de Ecología, Dirección General de Gestión e Información Ambiental, México.
- SIMONIAN, L. (1999). *La defensa de la tierra del jaguar. Una historia de la conservación en México*. Instituto Nacional de Ecología-SEMARNAP, México.
- SMITH, R. y Smith, T. (2001). *Ecología*. 4a ed., Addison Wesley, España.
- STILING, P. (1996). *Ecology: Theories and Applications*. Prentice Hall, USA.
- TURK, A., Turk, J., Wittes, J. y Wittes, R. (1985). *Tratado de ecología*. 2a ed., Nueva Editorial Interamericana, S. A. de C. V., México.
- WRIGHT, R. y Nebel, B. (2002). *Environmental Science, Toward a Sustainable Future*, 8a ed., Prentice Hall Inc., USA.

## Introducción

Sin duda la *problemática ambiental* que se vive en la actualidad es producto de la acción directa o indirecta del ser humano. A través de la historia se observa que el progreso y desarrollo de la humanidad se ha hecho a costa de la destrucción del ambiente, por un lado el agotamiento y deterioro de los recursos naturales y por otro la contaminación de los ecosistemas, lo cual se traduce en cambios en el sistema climático y en la reducción de la biodiversidad.

Tanto el cambio climático como la reducción de la biodiversidad no son efectos locales o regionales, sino que se manifiestan en todo el sistema terrestre, por ello, en conjunto producen un *cambio global*. Concretamente, el cambio global es el resultado de una serie de procesos que ocurren en la naturaleza que pueden ser originados ya sea por actividades del ser humano, por eventos naturales o por la combinación de ambos.

Así, la degradación de la capa de ozono en la estratosfera, la lluvia ácida, la isla urbana de calor y el *smog*, son procesos antropogénicos; es decir, son producto de algunas actividades de los seres humanos. Por ejemplo, en el uso de bienes y servicios se liberan gases a la atmósfera, que pueden ser precursores del *smog* fotoquímico, este proceso a su vez modifica los ecosistemas y, por tanto, también la biodiversidad.

Entre los procesos de origen natural, que tienen un efecto trascendente en el cambio global, se pueden mencionar los fenómenos "El Niño" y "La Niña" y las erupciones volcánicas. Por ejemplo, durante una erupción se liberan partículas hacia la atmósfera, que al quedar suspendidas impiden el paso de la radiación solar hacia la corteza terrestre. Esto propicia así una disminución de la temperatura, y en general un cambio en el clima.

Además existen otros procesos que se dan en la naturaleza de forma espontánea que, al intensificarse por acciones de los seres humanos, también contribuyen al cambio global. Ejemplo de estos procesos son el efecto invernadero, la inversión térmica y la desertificación, que se intensifican al haber un crecimiento demográfico y la aplicación de políticas "desarrollistas", ya que la demanda de servicios y de zonas urbanizadas se incrementa día a día. Tanto la desertificación, como la inversión térmica y el efecto invernadero, son procesos que afectan al sistema climático y a la biodiversidad.

En esta unidad se estudian las fuentes de los problemas ambientales, tanto a nivel local, como regional y global. Además, se describen de una forma sencilla y accesible los factores que determinan cambios en el sistema climático y sus efectos sobre la biodiversidad.

## Capítulo 9. Intervención humana en el ambiente

*El mundo es un lugar peligroso, no por causa de los que hacen el mal, sino por aquellos que no hacen nada por evitarlo.*

*Albert Einstein*

El desarrollo urbano por sí mismo ocasiona deforestación y alteración de los ecosistemas naturales. Al reemplazar la vegetación nativa por concreto, resultan cambios importantes en la relación de infiltración y escorrentía; se modifica el ciclo hidrológico de las cuencas y se deteriora la calidad del suelo. Además, las actividades antropogénicas afectan la composición y el balance térmico de la atmósfera.

En este capítulo se analizan los procesos que originan los cambios que se producen en los ecosistemas y en la composición de la atmósfera, causados por la intervención humana. En este análisis, son esenciales los conceptos de bienestar humano y servicios de los ecosistemas.

## 9.1 Factores que determinan la problemática ambiental

En general todos los seres vivos producen adecuaciones específicas al hábitat en el que viven y se desarrollan, y aquellos que poseen la capacidad de modificarlo a sus necesidades lo hacen buscando que su sociedad se desarrolle de una forma óptima.

Así, en el reino animal se observa una gran cantidad de organismos que influyen directamente en su entorno con el fin de sobrevivir. Por ejemplo, los castores construyen represas en los arroyos para tener una madriguera segura y mejores condiciones para obtener alimento. Otros ejemplos son los hormigueros y panales de abejas, que representan prácticamente instalaciones que facilitan la vida social de sus habitantes. De igual forma, el ser humano vive en sociedad y hace uso de recursos naturales para construir su hábitat.

En la actualidad hay una tendencia global de las sociedades humanas hacia la urbanización, es decir, cada vez más personas emigran hacia las ciudades. Esta tendencia trae como consecuencia el crecimiento de centros urbanos y el desarrollo de metrópolis o grandes ciudades, como ocurre en la ciudad de México, Monterrey y Guadalajara.

A diferencia de los ejemplos del reino animal, donde el tamaño de la población de organismos que hacen uso de un determinado territorio está definido por la capacidad del entorno y de los recursos disponibles, el crecimiento de las poblaciones humanas y de las grandes ciudades es desordenado. Esta situación provoca la demanda de recursos vitales, que normalmente no se encuentran al alcance, y tienen que ser transportados desde zonas remotas, para lo cual es necesario realizar obras de construcción que impactan de manera significativa a la naturaleza. Un ejemplo es la problemática del agua potable en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM), la cual es transportada principalmente desde la Presa El Cuchillo, localizada en el Municipio de China, N. L., a 120 km de distancia del AMM.

Como resultado del aumento de las necesidades del ser humano, esta situación se ha agravado a partir de la segunda mitad del siglo XX y en la actualidad continúa en forma acelerada.

Los procesos fundamentales que ocurren en la sociedad humana que inciden con impactos directos e indirectos sobre la calidad del ambiente son:

1. El crecimiento demográfico.
2. Los patrones de consumo y de producción.
3. La innovación científica y tecnológica.
4. La demanda económica, los mercados y el comercio.
5. La aplicación de políticas de desarrollo urbano y rural.
6. El fomento de la educación, la capacitación y la formación de conciencia.



Figura 9.1

Migraciones humanas hacia las grandes ciudades.

Las características y la importancia de cada uno de estos procesos difieren sustancialmente de una región a otra. Un ejemplo típico ocurre en el área de la dinámica poblacional, actualmente los países en desarrollo se enfrentan aún con el problema del crecimiento de su población, mientras que los países desarrollados tienen una población decreciente y en proceso de envejecimiento. En este sentido, la problemática ambiental difiere de una sociedad a otra.

No obstante esa situación, la degradación del ambiente puede rebasar el marco de efectos locales y tener repercusión de alcance regional o hasta global. Por ello es necesario buscar nuevas alternativas que garanticen la sustentabilidad ambiental y que al mismo tiempo permitan la preservación de la especie humana y de su hábitat.

### **ACTIVIDAD 9.1**

Investiga a través de la prensa dos ejemplos relevantes de políticas de desarrollo urbano y rural en Nuevo León que afectan las condiciones del ambiente y elabora en equipo de dos personas una presentación de máximo cinco diapositivas para analizar en clase los daños y perjuicios causados al ambiente por la implementación de este tipo de actividades del ser humano.

**Nota.** Para entregar a tu maestro esta actividad y poner tu nombre, grupo, fecha y facultad, puedes imprimir su formato desde la siguiente dirección electrónica, sólo tienes que llenar un breve formulario, obtener tu contraseña, dar clic en UANL y ubicar el libro *Ambiente y sustentabilidad*, en la siguiente dirección: <http://www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx/>

## **9.2 Servicios de los ecosistemas**

El bienestar de los seres humanos depende en gran medida de los ecosistemas y de los múltiples beneficios que éstos otorgan, los cuales son conocidos como servicios de los ecosistemas. Entre los servicios ambientales que proporcionan los ecosistemas destacan:

1. **Servicios de provisión**, entre ellos se incluye la producción de: alimentos, agua, madera, fibra y recursos genéticos.
2. **Servicios de regulación**, como la regulación de: clima, inundaciones, enfermedades y calidad del agua.
3. **Servicios culturales**, algunos ejemplos son: los beneficios de los aspectos recreativos, estéticos y espirituales.
4. **Servicios de apoyo**, tales como: la formación del suelo, la polinización y el ciclo de nutrientes. Estos servicios no son empleados directamente por las personas.

Prácticamente todos los ecosistemas de la Tierra han sido transformados de forma significativa por la intervención del ser humano en el uso insostenible de los servicios de los ecosistemas. De acuerdo con la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM, 2005), aproximadamente dos tercios de los servicios evaluados han sido degradados durante el siglo pasado, como es el caso del suministro de agua dulce y la pesca. Los cambios han sido especialmente rápidos en los últimos 50 años y las transformaciones más rápidas tienen lugar en los países en vías de desarrollo.

La capacidad de los ecosistemas para prestar servicios y recuperarse de perturbaciones ocasionadas por actividades antropogénicas depende fundamentalmente de los ciclos biogeoquímicos, tales como las circulaciones continuas de agua, de carbono, de nitrógeno y fósforo. Las actividades humanas modifican significativamente estos ciclos al aumentar el consumo de agua dulce, las emisiones de dióxido de carbono y el uso inmoderado de fertilizantes.

## ACTIVIDAD 9.2

Investiga en la página de la Comisión Nacional del Agua la ubicación geográfica de las cuencas hidrológicas en México, así como su extensión territorial, gasto y usos principales de sus aguas, elabora una tabla en Excel con la información obtenida, escribe un texto de una cuartilla donde destaque las características de la cuenca asignada por el maestro para su discusión en clase.

### 9.2.1 Modificación de los ciclos biogeoquímicos

A nivel mundial se tienen las siguientes observaciones en relación a la modificación de los ciclos biogeoquímicos del agua, carbono, nitrógeno y fósforo (EM, 2005):

**Ciclo del agua:** Entre 1960 y 2000 se duplicó la captación de agua de ríos y lagos tanto para usos agrícolas, como para usos urbanos y aplicaciones industriales. En algunas regiones, como el norte de África, el agua subterránea se capta más rápido de lo que se renueva.

**Ciclo del carbono:** La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado un tercio en los últimos dos siglos y medio. Durante el siglo XIX y principios del XX, los ecosistemas terrestres eran una fuente neta de dióxido de carbono, y a mediados del siglo pasado se convirtieron en un sumidero neto de carbono. Este cambio se debe al crecimiento de las plantas como consecuencia, entre otras, de una nueva gestión forestal y nuevas prácticas agrícolas.

**Ciclo del nitrógeno:** Entre 1890 y 1990 la cantidad total de nitrógeno disponible para los organismos se incrementó nueve veces como consecuencia de las actividades humanas, y en especial por el empleo de fertilizantes sintéticos, que se ha intensificado desde 1950. En la actualidad, las actividades humanas generan la misma cantidad de nitrógeno que todas las fuentes naturales juntas y se prevé que para el año 2050 esta relación se incremente al doble.

**Ciclo del fósforo:** En la actualidad el flujo de fósforo de fuentes antropogénicas hacia los océanos es tres veces mayor que el flujo de las fuentes naturales. Esto se debe a que el uso de fertilizantes con fósforo y la tasa de acumulación de fósforo en suelos agrícolas se triplicaron entre 1960 y 1990, pero han disminuido ligeramente desde entonces.

## ACTIVIDAD 9.3

Investiga el consumo de fertilizantes (C, N y P) en México y en América Latina en los últimos 50 años. Elabora 3 gráficas donde se represente el incremento del uso de fertilizantes con C, N y P, elabora una presentación y discute el impacto del consumo de fertilizantes sobre la modificación de los ciclos biogeoquímicos.

### 9.2.2 Modificación de los ecosistemas

De acuerdo con la Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM, 2005), los ecosistemas se modificaron en la segunda mitad del siglo XX a un ritmo mayor que en ningún otro momento de la historia de la humanidad.

Las principales actividades que modifican los ecosistemas son:

1. Explotación de recursos vegetales y animales que conduce a cambios en las densidades demográficas de las especies explotadas.
2. Destrucción radical de comunidades de especies vegetales y animales y del suelo en que éstas se desarrollan, como ocurre en la intensificación de actividades agrícolas y en el desarrollo de áreas urbanas.
3. Explotación y contaminación de recursos hídricos.
4. Emisión de gases contaminantes en procesos de combustión para generación de energía, como por ejemplo:  $\text{CO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  y  $\text{SO}_2$ .

Estas acciones sobre los ecosistemas se han llevado a cabo sobre todo para satisfacer la demanda creciente de alimentos, agua dulce, madera, fibra y combustible. Entre 1960 y 2000, la demanda de servicios de los ecosistemas creció significativamente al mismo tiempo que la población mundial se duplicó y la actividad económica mundial se multiplicó por 6. Las demandas han sido satisfechas tanto mediante el consumo de los recursos disponibles, como por el aumento de la producción de servicios, tales como los cultivos o el ganado. La resultante de todo esto es la pérdida sustancial e irreversible, en algunos casos, de la diversidad de la vida en la Tierra; este tema se abordará con detalle en el capítulo 11.

En la actualidad, los cambios más rápidos tienen lugar en los países en vías de desarrollo, aunque los países industrializados experimentaron cambios comparables en el pasado. No obstante, las transformaciones actuales registran un ritmo mayor que las anteriores a la era industrial (EM, 2005). La Evaluación de Ecosistemas del Milenio (EM, 2005) comprendió diez categorías de ecosistemas:

1. Sistemas costeros, insulares y marinos.
2. Sistemas de aguas interiores y de montañas.
3. Sistemas agrícolas y forestales.
4. Sistemas urbanos, polares y desérticos.

#### **9.2.2.1 SISTEMAS COSTEROS, INSULARES Y MARINOS: CONTAMINACIÓN Y DEGRADACIÓN**

Los servicios ambientales de las áreas costeras y marinas incluyen la regulación del clima, la protección de las costas y el equilibrio en la composición química de la atmósfera. Entre las materias primas extraídas del mar se encuentran el petróleo, el gas, la sal y diversos materiales de construcción, así como el aprovechamiento de la energía geotérmica. Estas áreas son también el hábitat de la flora y fauna, que se explotan intensamente desde hace milenios para la alimentación y la artesanía. Mantienen además la biodiversidad en diferentes niveles y ofrecen oportunidades para el turismo.

En los ecosistemas marinos, las poblaciones de especies sometidas a la pesca se han visto afectadas por la demanda mundial creciente de alimentos para el consumo humano y animal. Desde el comienzo de la pesca industrial, la masa total de especies marinas explotadas con fines comerciales ha disminuido en aproximadamente 90% en la mayor parte del mundo. Otros de los cambios más significativos de los ecosistemas marinos a nivel mundial son la pérdida de manglares y arrecifes de coral.

De acuerdo con la evaluación realizada por el Instituto de Recursos Mundiales (WRI), de las áreas costeras del mundo, 29% de los litorales en América Central y 50% en Sudamérica se encuentran bajo amenaza de nivel mediano a alto (WRI, 1998). En esta evaluación se tomó en cuenta la presión antropogénica que ejercen:

1. La densidad de población,
2. La infraestructura vial y
3. La existencia de gasoductos u oleoductos.

**Figura 9.2**

Ruta de distribución de petróleo y sus derivados en la región del Caribe. (Para ver el listado visita la página [www.recursoseacademicosenlinea-gep.com.mx](http://www.recursoseacademicosenlinea-gep.com.mx)).

Especificamente la región del Caribe es una de las áreas productoras de petróleo más importantes del mundo. Los principales países productores de esa región son Colombia, México, Trinidad y Tobago, Estados Unidos de América y Venezuela. La mayor parte del petróleo se embarca en la región a través de una compleja red de rutas de distribución, como se observa en la figura 9.2.

#### ACTIVIDAD 9.4

Investiga los principales impactos ambientales de las presiones antropogénicas a las que están expuestos los grandes ecosistemas marinos ubicados en el Golfo de México, elabora una presentación en PowerPoint y discute en clase las principales especies en peligro de extinción debido a los impactos.

##### 9.2.2.2 SISTEMAS DE AGUA DULCE: INSUFICIENCIA Y EXTRACCIÓN

En el capítulo 1 se estudió el ciclo hidrológico, en el cual se explicó que los recursos de agua dulce utilizables representan menos de 1% del total de agua dulce existente en el planeta. Sin embargo, la mayor proporción de esta agua teóricamente utilizable para consumo humano está lejos de las zonas pobladas, lo que dificulta o hace imposible su uso efectivo.

Por otro lado, las actividades antropogénicas están modificando considerablemente el ciclo de agua, lo cual afecta negativamente a los ecosistemas acuáticos interconectados, de agua dulce y marinos y, por tanto, también afectan al bienestar de las personas que dependen de los servicios que proporcionan. En este sentido, una práctica común es la creación de represas para la captación de agua para consumo humano, originando cambios en los flujos de los sistemas fluviales. Lo que a su vez deriva en otros efectos, tales como la reducción del flujo de sedimentos, que constituyen la principal fuente de nutrientes para los ecosistemas de estuarios.

De acuerdo con la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM, 2005), la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas del mundo han cambiado en la segunda mitad del siglo XX más

rápidamente que en ningún otro periodo de la historia de la humanidad. Respecto a los ecosistemas de agua dulce, se ha observado que:

1. La cantidad de agua embalsada en presas se ha cuadriplicado desde 1960, y la cantidad de agua contenida en embalses es de tres a seis veces mayor que la de los ríos naturales.
2. La toma de agua desde los ríos y lagos se ha duplicado desde 1960. A nivel mundial 70% de esta agua se destina para uso agrícola.

Dependiendo de los patrones de distribución del agua (clima, lluvias, escorrentías, etc.), así como de la demanda sobre los recursos, las zonas pobladas pueden padecer de situaciones de *estrés hidráulico*. Para determinar el nivel de *estrés hidráulico* de una población se aplican dos parámetros, como se muestra en la tabla 9.1.

**Tabla 9.1**

Parámetros que determinan el *estrés hidráulico*.

Parámetro	Nivel
Insuficiencia de agua por habitante (metros cúbicos anuales por habitante).	Escasez: menos de 1,700 m <sup>3</sup>
	Escasez severa: menos de 1,000 m <sup>3</sup>
	Escasez absoluta: menos de 500 m <sup>3</sup>
Extracción de agua disponible Se refiere a la extracción del agua disponible de un cuerpo de agua. Se considera una tasa natural de reposición de 10%.	Sin estrés: extracción menor a 10%
	Moderado: extracción menor a 20%
	Medio alto: extracción entre 20 y 40%
	Severo: extracción mayor a 40%

El indicador demográfico no siempre es el más revelador de situaciones de estrés en cuencas con baja densidad demográfica y alto uso agrícola. Esto se debe a que la demanda para fines agrícolas puede ser más intensa, pero menos rigurosa en cuanto a calidad, que la necesaria para uso doméstico o industrial.

El efecto de la extracción sobre la disponibilidad depende, entre otros factores, del clima y la variabilidad en la escorrentía.

## ACTIVIDAD 9.5

Utilizando la información obtenida en la actividad 9.9.2 y la tabla 9.9 determina el nivel de estrés hidráulico para ambos parámetros en las diferentes cuencas hidrológicas de México. Elabora un texto en Word donde abordes la relación entre densidad demográfica y el uso agrícola con el nivel de estrés hidráulico. Escribe tu nombre fecha y facultad antes de entregar tu escrito al maestro(a).

Las principales causas del estrés hidráulico a nivel global son:

- a. La disminución de reservas por:
  - El impacto de la deforestación.
  - La expansión urbana.

- La extracción excesiva, impulsada por el crecimiento poblacional.
  - La demanda agrícola e industrial.
- b. La pérdida de su calidad:
- La falta de tratamiento de las aguas residuales.
  - El uso excesivo de abonos y plaguicidas.
  - La contaminación por usos industriales, mineros y energéticos.

Además, es importante recalcar que aún persiste la ignorancia de la necesidad de proteger los caudales ecológicos, es decir, el agua que es necesaria para otras funciones vitales de los ecosistemas naturales. Además hay una preocupación creciente a nivel mundial relacionada con la ausencia de un manejo integrado del recurso y de leyes para proteger el agua dulce.

## ACTIVIDAD 9.6

Investiga las causas de estrés hidráulico en las diferentes cuencas hidrológicas de México, elabora y presenta en equipo un discurso lógico donde relaciones la ubicación geográfica de la cuenca hidrológica con las causas de estrés hidráulico. El trabajo se evaluará en forma colectiva e individual.

Otros datos reveladores de la Evaluación de los Ecosistemas del Milenio (EM, 2005) son:

1. Cada año, 10% de los principales ríos del planeta no consigue llegar al mar durante unos meses, debido a la demanda de riego.
2. En los países en vías de desarrollo, unos 3 millones de personas mueren cada año por enfermedades de origen hidráulico. La mayoría son niños menores de cinco años.
3. Se calcula que 2 600 millones de personas carecen de servicios sanitarios avanzados.
4. Para el año 2025 se prevé que el descenso de agua haya aumentado en un 50% en los países en vías de desarrollo y en un 18% en el mundo desarrollado.
5. La preocupación es cada vez mayor por los efectos que los productos de cuidado personal y los farmacéuticos, como los analgésicos y los antibióticos, puedan tener en los ecosistemas acuáticos.

En respuesta a estos desafíos y con el objetivo de mejorar la cooperación internacional en el momento de abordar la explotación y la degradación de los recursos hidráulicos, las Naciones Unidas anunciaron en 2004 la década 2005-2015 como la década del “Agua para la vida”. El principal reto de este programa consiste en centrar la atención en actividades orientadas a la acción y en políticas dirigidas a la gestión sostenible de la cantidad y calidad de los recursos hidráulicos. En ese mismo año también se estableció el programa “Agua” como mecanismo para coordinar a las agencias y a los programas que están involucrados en los problemas relativos al agua.

En este sentido, en la mayor parte de los países se iniciaron reformas de orden político, legal e institucional en la administración de los recursos hidráulicos. En México se emprendieron reformas al marco administrativo del agua, y en algunos países se están proponiendo transformaciones sustanciales en medio de un fuerte debate público.

## ACTIVIDAD 9.7

Investiga en Internet los programas emprendidos en México en la última década para el manejo integral de los recursos hídricos, elabora una presentación en PowerPoint y discute en clase los productos de los programas emprendidos.

### 9.2.2.3 DEGRADACIÓN DE SISTEMAS TERRESTRES

La tierra constituye el sustrato primordial para la vida vegetal y animal en el planeta, así como un recurso indispensable para actividades humanas esenciales: la agricultura, la producción forestal, la captación de agua, los asentamientos y la recreación. Sin embargo, el uso del suelo para la satisfacción de las necesidades humanas está limitado por factores ambientales como el clima, la topografía y las características del suelo. Además, otros factores sociales y culturales han desencadenado un cambio sin precedentes en el uso de la tierra. Entre 1950 y 1970 se convirtieron más tierras en áreas de cultivo que entre 1700 y 1850.

La degradación de la tierra se refiere a la pérdida de la función y servicios del ecosistema y es originada por alteraciones de las cuales el sistema no se puede recuperar por sí mismo, ya que se pierde la capacidad productiva del hábitat de la flora y la fauna y se interrumpe el ciclo del agua por la contaminación externa. Actualmente un tercio de la población mundial, padece desproporcionadamente sus efectos, principalmente las personas de los países más pobres.

La degradación de la tierra está asociada a la pérdida de biodiversidad y al cambio climático, en una relación de causa-efecto. Los efectos directos incluyen pérdidas en el carbono orgánico de la tierra, nutrientes, almacenamiento y regulación de agua subterránea, y la biodiversidad subterránea.

En diferentes foros se ha reconocido la amenaza que representa la degradación de la tierra para el desarrollo sustentable, algunos ejemplos de estos foros son la Cumbre para la Tierra de 1992 y la Cumbre Mundial sobre el Desarrollo Sostenible de 2002; sin embargo, no ha habido una respuesta definitiva a esta problemática, debido a las deficiencias en los datos disponibles, especialmente en relación con la distribución, extensión y gravedad de los diferentes aspectos de la degradación.

Las principales causas de la degradación de los sistemas terrestres se pueden clasificar como:

1. Impactos por cambio de uso de suelo.
2. Impactos por contaminación de sobrepoblación humana.
3. Erosión.
4. Desertificación.

A continuación se detallan estos aspectos.

#### 9.2.2.3.1 Impactos por cambio de usos de suelo

Los factores desencadenantes del cambio en el uso de la tierra incluyen el rápido crecimiento de la población y densidad humana, el aumento de la productividad, patrones de ingresos y consumos más elevados, así como el desarrollo tecnológico, implementación de políticas agrícolas y el cambio climático.

En la tabla 9.2 se hace un resumen de las presiones y los factores desencadenantes del cambio en el uso de la tierra. Aquí se distingue entre desencadenantes lentos que tienen como resultado impactos graduales a lo largo de décadas, y desencadenantes rápidos que pueden causar impactos hasta en un año, como por ejemplo la desertificación.

El cambio en el uso de la tierra está influido tanto por las necesidades locales como por las exigencias de los centros urbanos cercanos y por la economía. A nivel global, son escasos los datos históricos fiables, no obstante la información disponible indica que los cambios más importantes a lo largo de los últimos 20 años se han llevado a cabo en los bosques, especialmente a través de su

Tabla 9.2

Presiones y factores desencadenantes del cambio en el uso de la tierra. (Perspectivas del medio ambiente mundial GEO4, PNUMA, 2007).

	Cambios en la población humana y en la gestión	Cambios en las oportunidades generadas por los mercados	Políticas y cambios políticos	Problemas de capacidad de adaptación e incremento de la vulnerabilidad	Cambios en la organización social, acceso a recursos y actitudes
Lentos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Crecimiento natural de la población; subdivisión de parcelas de tierra.</li> <li>• Ciclos de la vida doméstica que conducen a cambios en la disponibilidad de mano de obra.</li> <li>• Uso de la tierra excesivo o inapropiado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Comercialización y agroindustrialización</li> <li>• Mejora de la accesibilidad a través de la construcción de carreteras.</li> <li>• Cambios en los precios del mercado para inversiones y resultados, tales como la erosión de precios de los productos primarios o términos comerciales desfavorables a nivel global o en la relación áreas urbanas-rurales.</li> <li>• Oportunidades de empleo y salarios fuera del sector agrícola.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Programas de desarrollo económico.</li> <li>• Corrupción en los subsidios, distorsiones en los precios e incentivos fiscales derivados de las distintas políticas.</li> <li>• Desarrollo de fronteras.</li> <li>• (por ejemplo, por razones geopolíticas o bien para promover grupos de interés).</li> <li>• Mal gobierno y corrupción.</li> <li>• Inseguridad en la posesión de las tierras.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Problemas financieros, tales como el endeudamiento doméstico en constante crecimiento, la falta de acceso a créditos o la escasez de fuentes de ingresos alternativas.</li> <li>• Crisis de las cadenas sociales no oficiales.</li> <li>• Dependencia de asistencia o recursos externos.</li> <li>• Discriminación social contra las minorías étnicas, las mujeres, o los miembros de las clases o castas inferiores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios en las instituciones que regulan el acceso a los recursos por parte de los diferentes gestores de la tierra, tales como cambios de derechos comunes a privados o de la posesión, participación o titulación.</li> <li>• Crecimiento de la demanda procedente de zonas urbanas,</li> <li>• Crisis en las familias numerosas.</li> <li>• Crecimiento del individualismo y el materialismo,</li> <li>• Falta de educación pública e insuficiente información acerca del medio ambiente.</li> </ul>
Rápidos	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Migración espontánea, desplazamiento forzado de la población.</li> <li>• Disminución de la disponibilidad de la tierra debida a la intrusión de otros usos, tales como reservas naturales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Inversiones de capital.</li> <li>• Cambios en las condiciones nacionales o mundiales macroeconómicas y de comercio que conllevan cambios en los precios, tales como la pujanza de los precios energéticos o la crisis financiera global.</li> <li>• Nuevas tecnologías para la intensificación del uso de recursos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Cambios rápidos en las políticas, tales como la devaluación.</li> <li>• Instabilidad de los gobiernos.</li> <li>• Guerra.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conflictos internos.</li> <li>• Enfermedades, como la malaria y el VIH/SIDA.</li> <li>• Riesgos naturales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdida de derechos a recursos ambientales a través de, por ejemplo, expropiación para crear agricultura a gran escala, grandes presas, proyectos forestales, turismo y conservación de flora y fauna.</li> </ul>

conversión en tierras cultivables, montes o pastos, así como en bosques de nueva plantación. En la tabla 9.3 se muestran las estimaciones de los cambios en el uso global de la tierra desde 1987 a 2006, en términos de cambios por categorías según la zona.

Un problema aún más importante que la conversión de tierra a tierra de cultivo, es la intensificación en su uso, que se incrementó dramáticamente desde 1987, dando como resultado una mayor producción por hectárea. Las cosechas de cereales aumentaron 17% en Norteamérica, 25% en Asia, 37% en Asia occidental y 40% en América Latina y el Caribe. En África, en cambio, se han mantenido las cosechas estáticas y a un bajo nivel. Si se hace una valoración global conjunta de la producción de cereales, frutas, vegetales y carnes, se observa un incremento en la producción por campesino y unidad de tierra. La producción media anual de alimentos en la década de 1980 era de una tonelada por campesino y 1.8 toneladas por hectárea de tierra cultivable. En la actualidad, un campesino produce 1.4 toneladas, y una hectárea de tierra produce 2.5 toneladas. El promedio de cantidad de tierra cultivable por campesino se ha mantenido prácticamente en el mismo nivel, aproximadamente 0.55 hectáreas.

Una consecuencia importante de aumentar la tierra cultivable a costa de eliminar el bosque es la emisión de gases con efecto invernadero. Este efecto se agrava cuando, después de la deforestación, el nuevo uso de suelo es la ganadería, ya que esta actividad es una fuente importante de metano. Así, por ejemplo, a mediados de la década de 1990, 30% de las emisiones mundiales de metano provenían de la ganadería, esta cifra alcanzó hasta 71.4% en Sudamérica y 48% en México. Esta temática se desarrollará más detalladamente en el capítulo 10.

De forma general, la transformación de ecosistemas en tierras agrícolas ha comenzado a frenarse. Las posibilidades de continuar expandiendo las tierras de cultivo están disminuyendo en numerosas regiones del mundo porque la mayor parte de las tierras apropiadas ya han sido transformadas. El aumento de la productividad agrícola también hace que disminuya la necesidad de más tierras de cultivo. En este sentido, ciertas áreas agrícolas en regiones templadas están siendo reconvertidas en bosques o ya no se cultivan.

**Tabla 9.3**

Uso global de la tierra y conversiones 1987-2006 (miles de km<sup>2</sup>/año) (Perspectivas del medio ambiente mundial GEO4, PNUMA, 2007).

De	Bosque	Montes/Pastos	Tierra de cultivo	Zonas urbanas	Páramo	Ganadería	Cambio neta
Bosque	39 699	30	98	2	-130	57	-73
Montes/Pastos	14	34 355	10	2	-26	50	24
Tierra de cultivo	43	20	15 138	16	-79	108	29
Zona urbana	ns	ns	ns	380	0	20	20
Total					-235	235	

ns = no significativo; la tierra de cultivo incluye cosechas y pastoreo intensivo

## ACTIVIDAD 9.8

Investiga en qué proporción se han dado las conversiones de uso de tierra en México y elabora una tabla equivalente a la 3.3. En un equipo de tres alumnos elabora un ensayo donde queden plasmadas las principales causas de estos cambios de uso de suelo en México. Entrega el ensayo cuando el profesor así lo solicite.

### 9.2.2.3.2 Impactos por contaminación del suelo

La tierra está sujeta a una amplia gama de productos químicos procedentes de una gran variedad de fuentes, lo que incluye descargas domésticas, industriales y agrícolas. La gama de productos químicos incluye insecticidas como el DDT, compuestos bromados que se usan como inhibidores de fuego, hidrocarburos aromáticos policíclicos y metales pesados, tales como el plomo, cadmio y mercurio, así como óxidos de nitrógeno y azufre, que son los precursores de la lluvia ácida. Otras descargas provienen del sector minero, donde se utilizan sustancias tóxicas como el cianuro, el mercurio y el ácido sulfúrico para separar el metal del mineral y se dejan residuos en los desperdicios.

En general, las descargas al suelo de productos químicos tóxicos pueden ser emitidos por:

1. Fuentes puntuales identificables, tales como tiraderos de desechos peligrosos, descargas de procesos de generación de energía, incineración y procesos industriales.
2. Fuentes difusas, tales como emisiones de vehículos, la aplicación agrícola de pesticidas y fertilizantes, así como del lodo de plantas de aguas residuales que contenga compuestos orgánicos no biodegradables y metales pesados.

Los compuestos químicos persistentes o recalcitrantes circulan en el ambiente, entre el aire, el agua, los sedimentos, el suelo y la biota. Algunos de ellos recorren largas distancias y alcanzan incluso zonas supuestamente impolutas. Por ejemplo, en la actualidad se encuentran grandes concentraciones de DDT y mercurio tanto en las poblaciones humanas como en la flora y fauna del Ártico. Las emisiones de productos químicos a la atmósfera se convierten a menudo en lluvia radioactiva sobre el suelo o cuerpos de agua.

Los desechos de productos químicos procedentes de la industria y la agricultura son una gran fuente de contaminación, especialmente en países en vías de desarrollo y en países con economías en transición. Aunque también existe un legado de terrenos industriales y urbanos contaminados en centros industriales en desuso, sobre todo en Estados Unidos de América, Europa y la ex Unión Soviética. Se estima que en Europa puede haber más de 2 millones de terrenos que contienen sustancias peligrosas, tales como metales pesados, cianuro, aceite mineral y compuestos organoclorados.

### 9.2.2.3.3 Erosión del suelo

La erosión es el proceso natural de eliminación de suelo superficial por parte del agua o el viento. La erosión se convierte en un problema cuando el proceso natural es acelerado por una gestión inadecuada de la tierra, como la eliminación de bosques y pastos seguida por el cultivo, lo que da como resultado una cubierta inadecuada de la tierra, una labranza inapropiada y un sobrepastoreo.

La erosión también es causada por otras actividades como la minería o los desarrollos infraestructurales y urbanos sin medidas de conservación bien diseñadas y bien mantenidas.

La pérdida de capa fértil implica la pérdida de materia orgánica, nutrientes, capacidad de almacenamiento de agua y biodiversidad, lo que conduce a una reducción de la producción local. Además, la deposición del suelo erosionado origina costos colaterales, como daños a la infraestructura, sedimentación de embalses, corrientes y estuarios, y la pérdida de generación de energía hidráulica, que pueden ser más elevados que las pérdidas en la producción agrícola.

No obstante que hay consenso con respecto al problema que representa la erosión, no se han adoptado medidas sistemáticas apropiadas para determinar su extensión y gravedad. Los indicadores incluyen la tierra desértica, la eliminación de capa fértil en forma de erosión laminar sobre una superficie amplia o bien concentrada en forma de arroyuelos o surcos, o por medio de derrumbamientos, como se muestra en la figura 9.3.

La erosión causada por el viento es el problema más apremiante en Asia occidental con 1.45 millones de km<sup>2</sup> afectados, lo cual representa un tercio de la región. En situaciones extremas, las dunas llegan a invadir las



Figura 9.3

Ejemplo de un sitio erosionado.

tierras de cultivo y los asentamientos humanos. Las tasas de erosión registradas en África oscilan entre las 5 y las 100 toneladas/hectárea/año, dependiendo del país y del método de evaluación. Se estima que a nivel mundial se pierden entre 20 000 y 50 000 km<sup>2</sup> al año a través de la degradación de la tierra, con pérdidas en África, América Latina y Asia que son entre 2 y 6 veces mayores que en Norteamérica y Europa.

## ACTIVIDAD 9.9

Investiga las principales prácticas agrícolas realizadas por los campesinos para mitigar la falta de nutrientes del suelo. En un equipo de tres alumnos elabora un ensayo donde se discutan las ventajas y desventajas de estas prácticas. Entrega el ensayo a tu profesor cuando él así lo indique.

**Nota.** Para entregar a tu maestro esta actividad y poner tu nombre, grupo, fecha y facultad, puedes imprimir su formato desde la siguiente dirección electrónica, sólo tienes que llenar un breve formulario, obtener tu comprobante, dar clic en UANL y abrir el libro *Ambiente y sustentabilidad*, en la siguiente dirección: <http://www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx/>

### 9.2.2.3.4 Desertificación

La desertificación está definida por la Convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (UNCCD) como "la degradación de las tierras de zonas áridas, semiáridas y subhúmedas secas, como resultado de diversos factores, tales como las variaciones climáticas y las actividades humanas". A su vez, la degradación de la tierra se define como la reducción o la pérdida de la productividad biológica o económica de las tierras secas.

Las consecuencias de la desertificación son devastadoras, se manifiestan en todo el mundo. Aproximadamente 3.6 billones, de los 5.2 billones de hectáreas de las tierras secas utilizadas para la agricultura, han sufrido erosión y degradación del suelo. La formación de la capa superficial del suelo es extremadamente lenta, pero es destruida con una velocidad sorprendente. Se estima que el viento y el agua arrastran cada año 24 billones de toneladas de suelo, lo que significa que se pierde, por lo menos, a una velocidad 16 veces más rápida de lo que tarda su recuperación. Al destruirse la capa superficial del suelo, se pierde también el sustento de la población.

Los efectos de la desertificación se manifiestan de manera más aguda en los países pobres, donde la interrelación de los procesos socioeconómicos y biofísicos afecta de manera negativa tanto a los recursos de la Tierra como al bienestar humano. Las tierras secas cubren alrededor de 40% de la superficie terrestre del planeta, como se muestra en la figura 9.4 y son el sustento de 2 000 millones de personas, 90% de ellos en países en vías de desarrollo (MA, 2005b).

La desertificación pone en peligro el sustento de las poblaciones rurales de las tierras secas, especialmente de los más pobres, que dependen del ganado, las cosechas y los derivados de la madera. La conversión de las tierras de pasto en tierras de cultivo sin la introducción de nuevas aportaciones significativas acarrea una pérdida importante y persistente de productividad y biodiversidad, acompañada por erosión, agotamiento de nutrientes, salinidad y escasez de agua.

En el año 2000, la disponibilidad promedio de agua dulce por persona que habitaba zonas de tierras secas era de 1 300 m<sup>3</sup>/año, cantidad muy inferior al mínimo estimado de 2 000 m<sup>3</sup>/año necesario para el bienestar humano, y la tendencia actual es una continua reducción de disponibilidad de agua (MA, 2005b). Si se toman en cuenta los indicadores del bienestar y el desarrollo humano, los países en vías de desarrollo con tierras secas se quedan bastante atrás con respecto al resto del mundo. Por ejemplo, el promedio de mortalidad infantil es 23% más elevada que en los países en vías de desarrollo sin tierras secas, y 10 veces la de los países industrializados.

**Figura 9.4**

Zonas secas, definidas por el promedio a largo plazo de la relación entre las precipitaciones anuales y la evotranspiración potencial.

No obstante lo anterior, la desertificación no es exclusiva de los países en vías de desarrollo, ya que una tercera parte de la Europa mediterránea es susceptible de sufrir desertificación (DISMED, 2005) y 85% de las grandes extensiones dedicadas a la cría de animales de pasto en Estados Unidos (Lat *et al.*, 2004).

La seriedad del problema ha sido reconocida por la Convención de las Naciones Unidas para la Lucha contra la Desertificación (UNCCD), la Convención sobre la Diversidad Biológica (CBD) y la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC). También la Nueva Alianza para el Desarrollo de África destaca la necesidad de combatir la desertificación como un componente esencial de las estrategias para la reducción de la pobreza.

La desertificación está determinada por varios factores sociales, económicos y biofísicos que operan a nivel local, nacional y regional, los cuales serán analizados con detalle en el capítulo 11.

### 9.2.3 Ganancias y pérdidas derivadas de la modificación de los ecosistemas

Las modificaciones causadas a los ecosistemas han generado ganancias netas importantes para el bienestar del ser humano y para el desarrollo económico de la mayoría de los países. El empleo de ecosistemas a través de la agricultura, la pesca y el cultivo de los bosques ha sido la base del desarrollo durante siglos, ya que los ingresos obtenidos han permitido inversiones para la industrialización y reducción de la pobreza.

Por otro lado, las acciones para incrementar un servicio de un ecosistema generalmente causan la degradación de otros servicios, lo que a su vez provoca daños importantes al bienestar humano. Algunos ejemplos de estos daños son:

- El aumento del riesgo de cambios no lineales o abruptos en los ecosistemas.
- La pérdida de capital natural.

- La agudización de la pobreza para ciertas personas.
- El aumento de desigualdades entre grupos de población.

Estos problemas deberían tratarse rápida y eficazmente, ya que los beneficios que las generaciones futuras obtendrían de los ecosistemas podrían reducirse de manera sustancial.

Es difícil llevar a cabo una evaluación de las implicaciones que tendrán las alteraciones de los ecosistemas y una gestión eficaz de los propios ecosistemas. Esto se debe a que la mayoría de los efectos tardan en manifestarse en los ecosistemas, ya que pueden ocurrir a cierta distancia de tiempo y los actores que cargan con los costos no siempre son los mismos que quienes recogen los beneficios de las alteraciones.

En este sentido, la mayoría de los servicios de los ecosistemas actualmente son degradados o empleados de forma insostenible. Por ejemplo, la pesca y el agua dulce se explotan a niveles que van mucho más allá de lo que es sostenible.

### ACTIVIDAD 9.10

Investiga qué servicios de ecosistemas son actualmente usados de forma insostenible en México. En equipos de cinco alumnos discutan las principales causas y sus orígenes que ocasionan estos disturbios en los ecosistemas. Resumen las conclusiones y entrégalas a tu maestro cuando así lo solicite.

**Nota.** Para entregar a tu maestro esta actividad y poner tu nombre, grupo, fecha y facultad, puedes imprimir su formato desde la siguiente dirección electrónica, sólo tienes que llenar un breve formulario, obtener tu contraseña, dar clic en UANL y ubicar el libro *Ambiente y sustentabilidad*, en la siguiente dirección: <http://www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx/>

## 9.3 Emisiones a la atmósfera y contaminación del aire

La contaminación del aire ha sido un problema de salud pública desde el descubrimiento del fuego. En la antigüedad, las personas encendían fogatas en sus cuevas y cabañas y frecuentemente contaminaban el aire con humo nocivo. El filósofo romano Séneca escribió sobre el "aire cargado de Roma" en el año 61 a.C. y en el siglo xi se prohibió la quema de carbón en Londres.

El origen de los problemas modernos de contaminación del aire se remonta al siglo XVIII y al nacimiento de la revolución industrial en Inglaterra. Con la industrialización las actividades agrícolas disminuyeron y las poblaciones se desplazaron del campo hacia las ciudades. Para su producción, las fábricas requerían de energía, que se obtenía mediante la quema de combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo.

El principal problema de contaminación del aire a fines del siglo XIX e inicios del siglo XX era el humo y ceniza producidos por la quema de combustibles fósiles en las plantas estacionarias de generación de energía. Con el creciente uso del automóvil la calidad del aire empeoró, de tal manera que con el tiempo se presentaron episodios importantes de salud pública en grandes ciudades como Londres, Los Ángeles y la Ciudad de México.

La atmósfera tiene una gran importancia en los ciclos biogeoquímicos, pues controla el clima y el ambiente en que se desarrollan los seres vivos. En la actualidad las actividades de los seres humanos han modificado significativamente su composición química, lo cual se refleja en efectos biogeoquímicos y biofísicos, que a su vez repercuten en cambios en el sistema climático y en los ecosistemas, como se muestra en la figura 9.5. Así, por ejemplo, el aumento del contenido de dióxido de carbono o metano intensifica el efecto invernadero y la emisión a la atmósfera de compuestos clorofluorcarbonados causa la degradación del ozono en la estratosfera.

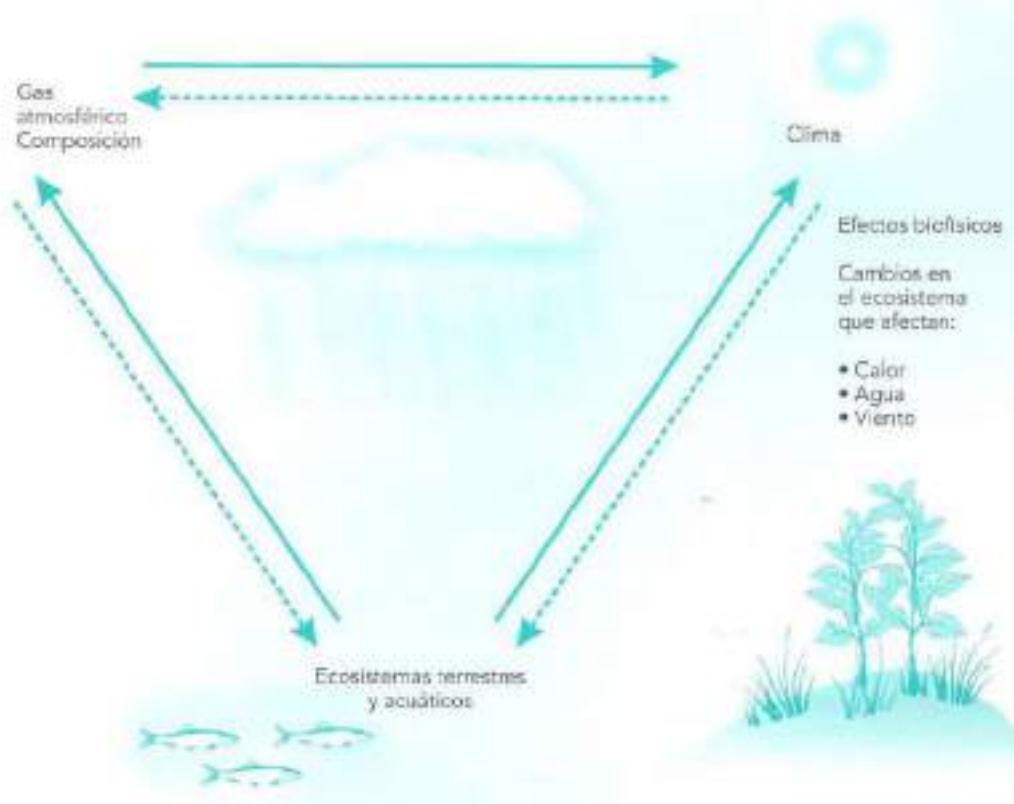


Figura 9.5

Interrelación entre los ecosistemas, la atmósfera y el clima.

### ACTIVIDAD 9.11

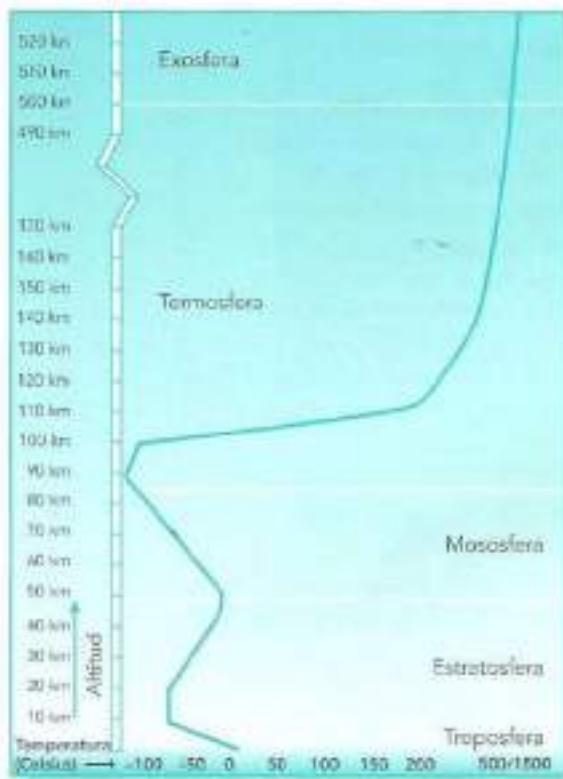
- Investiga en la literatura la composición química del aire seco puro.
- Elabora una gráfica que muestre la variación de la concentración en la atmósfera a nivel global del CO<sub>2</sub> y metano en los últimos 200 años. En equipos de cinco alumnos discute cuáles son las principales causas y orígenes de este comportamiento. Elabora un ensayo de 10 hojas, incluye las gráficas obtenidas y entrégalo a tu profesor cuando así lo solicite.

#### 9.3.1 Estructura de la atmósfera

La atmósfera es la capa gaseosa que rodea nuestro planeta bajo la acción de la gravedad, su formación se inició hace unos 4 600 millones de años con el nacimiento de la Tierra.

Originalmente la atmósfera estaba formada por vapor de agua, dióxido de carbono y nitrógeno, así como cantidades traza de hidrógeno y monóxido de carbono. Dado que no existía oxígeno era una atmósfera ligeramente reductora. Hasta hace unos 2 500 o 2 000 millones de años la actividad fotosintética de los seres vivos introdujo oxígeno y ozono a la atmósfera, y desde hace unos 1 000 millones de años llegó a tener una composición similar a la actual.

Los principales componentes de la atmósfera son nitrógeno, oxígeno y dióxido de carbono. Otros gases de interés en la atmósfera son el vapor de agua, ozono, metano, hidrógeno, argón, helio y algunos óxidos de nitrógeno, que se encuentran en concentraciones traza. También hay partículas

**Figura 9.6**

Perfil de temperaturas promedio en la atmósfera terrestre. La temperatura en la termosfera es muy sensible a la actividad solar y pueden variar desde 500 °C a 1 500 °C.

En la estratosfera se encuentra el ozono que cumple una función importante en absorción de los rayos UV del Sol, comienza en la tropopausa y llega hasta la estratopausa que se sitúa a 50 kilómetros de altitud. En esta capa la temperatura cambia su tendencia y aumenta hasta llegar a los 0 °C en la estratopausa. En la estratosfera casi no hay movimiento en dirección vertical del aire y los vientos horizontales llegan a alcanzar hasta 200 km/h. Bajo estas condiciones cualquier sustancia que llega a la estratosfera se difunde rápidamente, como ocurre con los CFC que destruyen el ozono.

La mesosfera empieza después de la estratosfera. La temperatura disminuye con la altura, como sucede en la troposfera, y puede llegar hasta -90 °C. La mesosfera es la zona más fría de la atmósfera.

La termosfera es la cuarta capa de la atmósfera de la Tierra. Está arriba de la mesosfera. A esta altura, el aire es muy tenue y la temperatura cambia con la actividad solar. Si el sol está activo, la temperatura en la termosfera puede llegar a 1 500 °C o más.

La exosfera es la última capa de la atmósfera. Esta es el área donde los átomos se escapan hacia el espacio.

La ionosfera es una parte especial de la atmósfera, inicia en la parte superior de la mesosfera y se extiende hasta la parte superior de la termosfera. En esta región, hay partículas electrizadas llamadas iones y electrones. La comunicación a larga distancia por radio es posible ya que los electrones de la ionosfera reflejan las ondas radiales de regreso a la Tierra. Cuando ocurren protuberancias solares, se perturba la ionosfera dando lugar a las auroras, y pueden interrumpirse las formas de comunicación por medio de satélites.

de polvo en suspensión como, por ejemplo, partículas inorgánicas, pequeños organismos o restos de efflorescencias y cloruro de sodio del mar. Estas partículas pueden servir de núcleos de condensación para formar el smog, que es una mezcla de contaminantes altamente tóxicos.

Los componentes de la atmósfera están concentrados cerca de la superficie, comprimidos por la atracción de la gravedad y, conforme aumenta la altura la densidad de la atmósfera disminuye con gran rapidez. En los primeros 5.5 kilómetros más cercanos a la superficie terrestre se encuentra la mitad de la masa total y antes de los 15 kilómetros de altura está el 95% del total de la materia atmosférica.

De acuerdo con el comportamiento de la temperatura con la altura, la atmósfera se divide en:

1. Troposfera.
2. Estratosfera.
3. Mesosfera.
4. Termosfera.
5. Exosfera.

Como se muestra en la figura 9.6.

En la troposfera, la temperatura disminuye con la altura y abarca hasta un límite superior llamado tropopausa que está a 9 kilómetros en los polos y a 18 kilómetros en el ecuador. En la troposfera se producen los vientos, que son movimientos verticales y horizontales de las masas de aire y por su cercanía con la hidrosfera hay una relativa abundancia de agua. Por todo lo anterior, la troposfera es la zona de las nubes y de fenómenos meteorológicos, como lluvias, vientos y cambios de temperatura.

El campo magnético de la Tierra, conocido como la magnetosfera, se extiende más allá de la termosfera al vacío del espacio. En el lado de la Tierra orientada al Sol, la magnetosfera se extiende hacia afuera hasta casi 9 660 km sobre la superficie terrestre. En el lado opuesto, donde la faz de la Tierra está en la oscuridad, la magnetosfera se extiende mucho más.

## ACTIVIDAD 9.12

Explica en tres párrafos el comportamiento de la temperatura con la altura en la troposfera. En un equipo de tres alumnos comparen sus escritos, elaboren un solo texto de tres párrafos y expongan sus conclusiones frente al grupo cuando el profesor lo indique.

### 9.3.2 Clasificación de los contaminantes del aire

Se entiende por contaminación atmosférica la presencia en el aire de sustancias o formas de energía que alteran tanto la salud como el bienestar de los seres humanos y que además implican un efecto perjudicial en los servicios ambientales de los ecosistemas.

Todas las actividades humanas, el metabolismo de la materia orgánica y los fenómenos naturales que se producen en la superficie o en el interior de la Tierra van acompañados de emisiones de gases, vapores, polvos y aerosoles. Éstos, al difundirse a la atmósfera, se integran en los distintos ciclos biogeoquímicos que se desarrollan en el planeta.

Con frecuencia, los contaminantes de origen natural ocurren en cantidades mayores que los productos de las actividades humanas, llamados contaminantes antropogénicos. Sin embargo, los contaminantes antropogénicos presentan una amenaza más significativa a largo plazo para la biosfera, ya que se generan en zonas densamente pobladas. En la tabla 9.4 se muestran los principales contaminantes del aire de origen natural, así como sus fuentes.

**Tabla 9.4**

Fuentes de contaminación del aire de origen natural.

Fuente	Contaminantes
Volcanes	Óxidos de azufre, partículas.
Incendios forestales	Monóxido de carbono, dióxido de carbono, óxidos de nitrógeno, partículas.
Tornados	Polvo.
Plantas	Hidrocarburos, polen.
Plantas en descomposición	Metano, sulfuro de hidrógeno.
Suelo	Virus, polvo.
Mar	Partículas de sal.

También resulta muy útil diferenciar los contaminantes en dos grandes grupos, con el criterio de si su emisión se ha vertido directamente a la atmósfera por la fuente emisora, como los automóviles, las chimeneas de la industria, entre otros, o si se han formado en la atmósfera. De acuerdo con este criterio se distingue entre contaminantes primarios y contaminantes secundarios.

## ACTIVIDAD 9.13

Realiza una investigación bibliográfica en Internet donde identifiques fuentes de contaminación antropogénica para los siguientes contaminantes: óxidos de azufre, óxidos de nitrógeno, partículas suspendidas y ozono. Elabora una tabla en Word y escribe un discurso lógico de una cuartilla sobre las fuentes de contaminación de tu localidad.

**Nota.** Para entregar a tu maestro esta actividad y poner tu nombre, grupo, fecha y facultad, puedes imprimir su formato desde la siguiente dirección electrónica, sólo tienes que llenar un breve formulario, obtener tu contraseña, dar clic en UANL y ubicar el libro *Ambiente y sustentabilidad*, en la siguiente dirección: <http://www.recursosacademicosenlinea-gep.com.mx/>

### 9.3.2.1 CONTAMINANTES PRIMARIOS

Los contaminantes primarios son aquellas sustancias contaminantes vertidas directamente a la atmósfera. Estos provienen de muy diversas fuentes y su naturaleza física y su composición química es muy variada. Se pueden agrupar de acuerdo con su estado físico en partículas y gases.

Entre los contaminantes atmosféricos más frecuentes que causan alteraciones en la atmósfera se distinguen:

1. Aerosoles, se incluyen las partículas suspendidas y los humos,
2. Óxidos de azufre,  $\text{SO}_2$  y  $\text{SO}_3$ ,
3. Óxidos de carbono,  $\text{CO}$  y  $\text{CO}_2$ ,
4. Óxidos de nitrógeno,  $\text{NO}$  y  $\text{NO}_2$ ,
5. Compuestos orgánicos volátiles,

Además hay otras sustancias que se presentan raramente, pero que pueden producir efectos negativos sobre determinadas zonas por ser muy localizada su emisión a la atmósfera. Algunos ejemplos de estas sustancias son:

1. Compuestos clorofluorcarbonados, que participan en la degradación de la capa de ozono.
2. Partículas de metales pesados, como plomo, mercurio, cobre y cadmio.
3. Partículas de sustancias minerales, como el amianto y los asbestos.
4. Sustancias radiactivas,

Las fuentes de contaminantes primarios se clasifican en:

1. Fuentes fijas o puntuales, como chimeneas de industrias y descargas domésticas.
2. Fuentes móviles, por ejemplo, medios de transporte.

La principal alteración de la atmósfera que propician los contaminantes primarios es la intensificación del *efecto invernadero*. Este fenómeno se estudiará con detalle en el capítulo 10.

### 9.3.2.2 CONTAMINANTES SECUNDARIOS

Los contaminantes atmosféricos secundarios no se descargan directamente a la atmósfera desde las fuentes de emisión, sino que se producen como resultado de reacciones químicas y fotoquímicas entre los contaminantes primarios.

Hay una gran familia de sustancias producidas por reacciones fotoquímicas, que comprende al ozono, aldehídos, cetonas, ácidos, peróxido de hidrógeno, nitrato de peroxiacetilo y radicales

libres; a esta mezcla de contaminantes se le conoce como *smog fotoquímico*. Otro ejemplo típico contaminante secundario es la *lluvia ácida*.

Las principales alteraciones de la atmósfera producidas por los contaminantes secundarios son:

1. El smog fotoquímico.
2. La lluvia ácida.
3. La disminución del espesor de la capa de ozono en la estratosfera.

La figura 9.7 muestra el proceso de formación de la lluvia ácida a partir de emisiones de un proceso de generación de energía por la quema de combustibles minerales. La formación de ozono troposférico y la degradación de la capa de ozono se estudiarán con más detalle en capítulos subsiguientes.

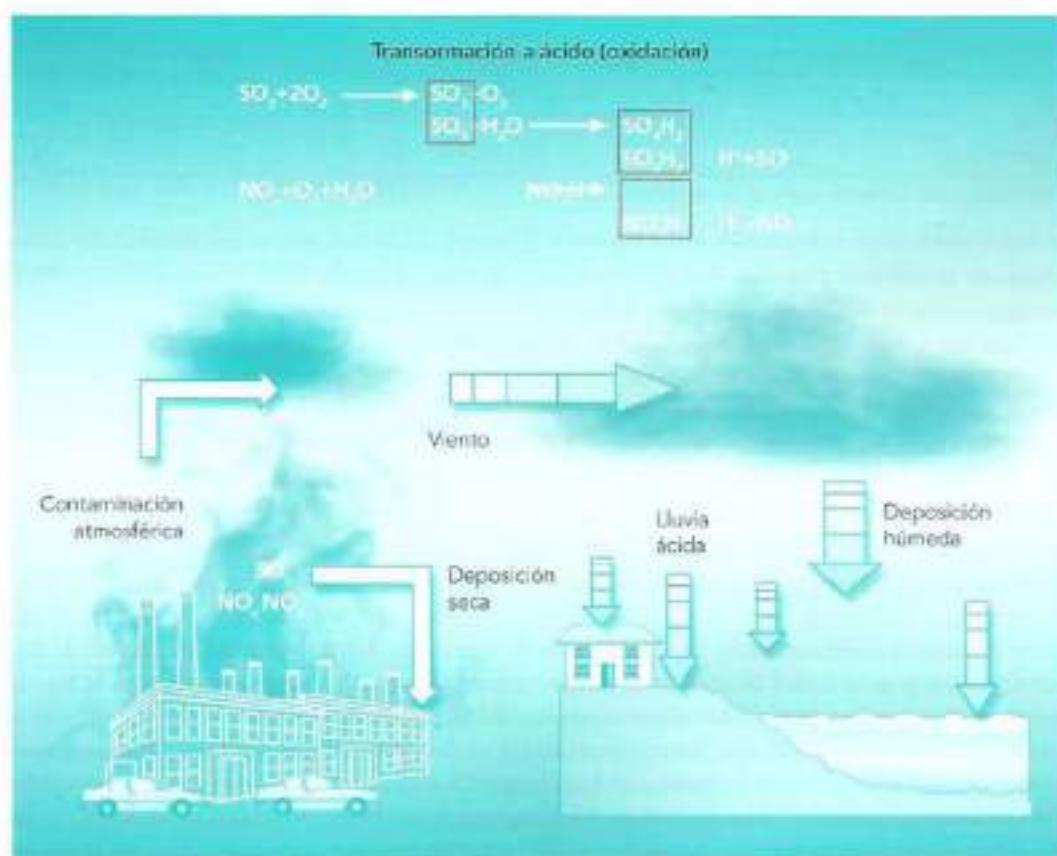


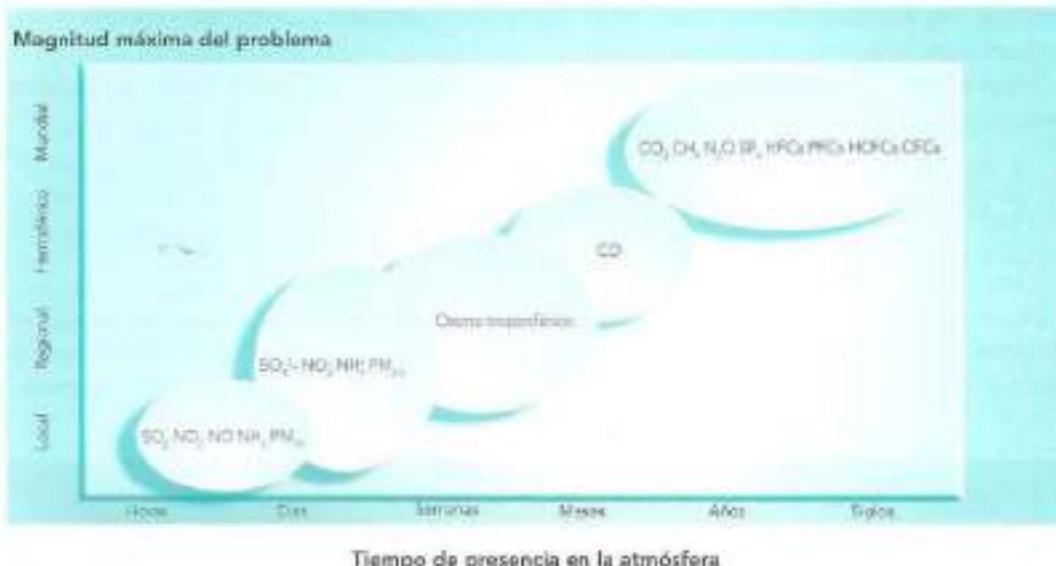
Figura 9.7

Formación de lluvia ácida.

### 9.3.3 Efectos de los contaminantes del aire

Los problemas ambientales relacionados con la atmósfera son muy complejos, se reflejan en alteraciones a los ciclos biogeoquímicos, lo cual puede llegar a provocar reacciones de consecuencias drásticas para la biosfera. Los diferentes contaminantes primarios emitidos y los contaminantes secundarios formados en la atmósfera tienen tiempos de permanencia muy diferentes, y son transportados a distancias variadas, lo que afecta la escala a la cual se percibe su impacto, como se muestra en la figura 9.8.

Las sustancias que tienen tiempos de permanencia muy cortos afectan a la calidad del aire en lugares cerrados y locales, las sustancias con tiempos de permanencia de días o semanas dan lugar a problemas locales y regionales, aquellas con tiempos de permanencia de semanas o meses

**Figura 9.8**

Permanencia de contaminantes en la atmósfera.

generan problemas continentales y hemisféricos, y aquellas con tiempos de permanencia de años propician problemas globales. Así, por ejemplo, algunos gases de efecto invernadero pueden permanecer hasta 50 000 años en la atmósfera.

Los efectos de alcance local de la contaminación atmosférica se reflejan en daños a la salud humana, olores desagradables, pérdida de visibilidad y daños a los cultivos y otras formas de vegetación, así como daños sobre materiales de construcción. Los efectos de alcance global se reflejan en cambios en el clima, deterioro de ecosistemas y disminución de la biodiversidad.

En las siguientes secciones de este capítulo se describen los efectos a escala local, y en el capítulo 10 los efectos a escala global.

### 9.3.4 Contaminantes criterio

En la actualidad no se conoce la cantidad exacta de contaminantes dispersos en la atmósfera; sin embargo, una gran cantidad de ellos están perfectamente identificados, así como también la forma de interactuar con el medio y los efectos que producen.

Los contaminantes más abundantes, encontrados en las atmósferas urbanos-industriales, y que poseen efectos nacidos sobre la salud y el bienestar de los seres humanos, reciben el nombre de **contaminantes criterio**, y sirven como referencia para la medición de la calidad del aire; para ellos se han establecido normas que varían de un país a otro y de una ciudad a otra. En el plano internacional se han definido seis contaminantes criterio y son:

1. Ozono cerca del nivel del suelo.
2. Partículas suspendidas de materia menores a 10 micrómetros (PM10).
3. Monóxido de carbono.
4. Óxidos de azufre.
5. Óxidos de nitrógeno.
6. Plomo.

En Estados Unidos de América, la Agencia de Protección al Ambiente (EPA) ha estado regulando los contaminantes criterio del aire desde la aprobación en ese país de la Ley de Aire Limpio en 1970.

Los primeros esfuerzos para medir los niveles de contaminación en México se iniciaron en la década de los setenta, cuando se crearon las primeras leyes ambientales del país, pero no fue sino hasta 1986 cuando se instaló la *Red Automática de Monitoreo Atmosférico* (RAMA) para el registro sistemático de los niveles de contaminación en la Zona Metropolitana del Valle de México (ZMVM). Además, en 1986 y 1987 se implementaron, respectivamente, las *21 Acciones para Reducir la Contaminación del Aire* y las *100 Medidas Necesarias*, las cuales dieron origen a esfuerzos importantes, entre los que destacan:

1. El inicio de la sustitución de combustible con alto contenido de azufre por gas natural en las termoeléctricas.
2. La reducción del contenido de plomo en la gasolina.

También se estableció el programa *Un Día sin Auto*, que originalmente fue una iniciativa voluntaria, y más tarde se transformó en el programa *Hoy No Circula* en forma obligatoria en la ZMVM.

### ACTIVIDAD 9.14

Investiga cuáles fueron los objetivos de:

- El Programa Integral Contra la Contaminación Atmosférica en el Valle de México (PICCA).
- El Programa para Mejorar la Calidad del Aire en el Valle de México 1995-2000, conocido como PROAIRE.
- Elabora un ensayo de 3 cuartillas y entrégalo al profesor, cuando así lo indique.

En Monterrey se inició en 1992 el proyecto SIMA (Sistema Integral de Monitoreo Ambiental), cuyo objetivo era contar con información continua y fidedigna de los niveles de contaminación ambiental en el Área Metropolitana de Monterrey (AMM). Para ello se instaló una red de monitoreo de la calidad del aire, que inició su operación el 20 de noviembre de 1992. Desde esa fecha, la población del AMM es informada puntualmente cada día del año sobre la calidad del aire.

A partir de la información generalizada por la RAMA en la ZMVM y el SIMA en el AMM, así como las redes de monitoreo ambiental de las principales ciudades de México, se generan diariamente reportes sobre la calidad del aire en la forma de Índice Metropolitano de la Calidad del Aire (IMECA), el cual define numéricamente los niveles de contaminación.

El IMECA se determina a partir de los promedios horarios ponderados de los siguientes valores de referencia:

1. Un valor IMECA de 100 puntos equivale al valor máximo aceptado por las normas oficiales mexicanas de calidad del aire.
2. Un valor IMECA de 500 corresponde a niveles de contaminación para los cuales hay evidencias de "daños significativos para la salud".

La escala de valores IMECA se define en relación con las normas de calidad del aire, que se fijaron de acuerdo a niveles de concentración y tiempos de exposición del ciudadano promedio a los contaminantes sin que afecte en forma significativa su salud. Actualmente se tienen definidas escalas IMECA para cinco contaminantes criterio, que son: monóxido de carbono, dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno, ozono y PM10.

En la tabla 9.5 aparecen los criterios de interpretación de los diferentes niveles del índice metropolitano de la calidad del aire.

La red de monitoreo de la calidad del aire en el AMM cuenta actualmente con seis estaciones fijas de monitoreo continuo, una estación de monitoreo móvil y un sistema Sodar (acrónimo para *Sound Detection and Ranging*) Doppler para la medición de las condiciones meteorológicas. Para la ubicación de las estaciones se tomó en cuenta la meteorología local, el uso de suelo, la topografía de la zona y la densidad de población. En la figura 9.9 muestra la ubicación de las seis estaciones de monitoreo, así como los valores IMECA máximos medidos el 22 de abril de 2008.

Un análisis de los niveles de los contaminantes monitoreados por el SIMA durante el periodo 1993-2004 muestra que los contaminantes que con mayor frecuencia excedieron los valores establecidos en las normas oficiales mexicanas fueron las PM10 y el ozono. En ese periodo de tiempo se observa una tendencia ascendente en el número de horas sobre la norma de ambos contaminantes.

**Tabla 9.5**

Interpretación de los valores IMECA. Referencia: INE

Valor IMECA	Calidad del aire	Interpretación
0-100	Satisfactoria	Situación favorable o muy favorable para todo tipo de actividades.
101-200	No satisfactoria	Aumento de molestias menores en personas sensibles.
201-300	Mala	Aumento de molestias e intolerancias relativas al ejercicio en personas con padecimientos respiratorios y cardíacos. Aparición de ligeras molestias en población en general.
301-500	Muy mala	Aparición de diversos síntomas e intolerancias al ejercicio en la población en general.

**Figura 9.9**

Ubicación de las seis estaciones de monitoreo del SIMA. Del área metropolitana de Monterrey



#### 9.3.4.1 MATERIAL PARTICULADO EN EL AMM

El perfil de concentraciones máximas de PM10 sigue un patrón que marca un considerable ascenso durante los meses de invierno, y una disminución notable en primavera y verano. Este comportamiento se explica ya que las condiciones meteorológicas dificultan la dispersión de contaminantes durante los meses de bajas temperaturas.

De acuerdo al inventario de emisiones de 2005, la principal fuente de emisión de las PM10 fue la erosión del suelo, lo cual resulta lógico por la gran cantidad de áreas sin cobertura vegetal que hay en la zona metropolitana de Monterrey. Estudios recientes sobre la composición química del material particulado demostró un alto contenido de plomo en zonas críticas del AMM, el cual se asocia a emisiones de fuentes móviles (Alfaro Barbosa y Barajas Herrera, 2008).

### 9.3.4.2 OZONO TROPOSFÉRICO EN EL AMM

El ozono en la troposfera es un contaminante secundario y junto con los nitratos de peroacílo (PAN), aldehídos, y peróxidos forma parte del "smog fotoquímico". La figura 9.10 muestra el proceso de formación de esta mezcla de contaminantes, en la cual se observa que los principales ingredientes son:

1. Compuestos orgánicos volátiles (COVs).
2. Óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ).
3. Radiación solar.

Las principales fuentes de emisión de compuestos orgánicos volátiles (COVs) y de óxidos de nitrógeno ( $\text{NO}_x$ ) son las fuentes móviles. En este sentido, el smog fotoquímico es un contaminante típico de zonas urbanas con alta densidad de tráfico vehicular. De acuerdo con datos registrados en el SIMA, se observa que en el AMM el número de horas en que se supera la norma de ozono aumenta generalmente en verano y ocasionalmente durante los meses de invierno, lo cual se explica por el mayor número de horas de incidencia de radiación solar durante el verano.

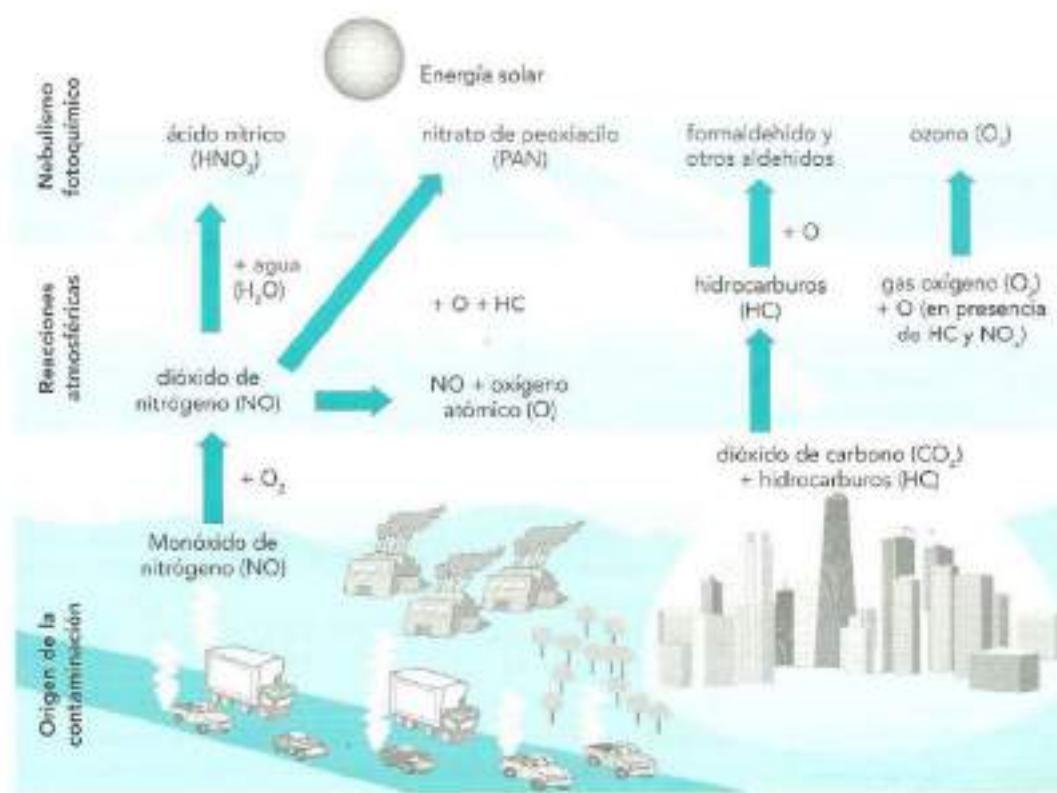


Figura 9.10

Formación del smog fotoquímico.

### ACTIVIDAD 9.15

Investiga en Internet qué es el SINAICA y para qué fue creado. Elabora un escrito de máximo dos cuartillas donde indiques las funciones del SINAICA, entrega esta información al maestro al finalizar la clase.

### ACTIVIDAD 9.16

Investiga en la página del SIMA los niveles de contaminación en las seis estaciones de monitoreo del Área Metropolitana de Monterrey en el año en curso y en un equipo de tres personas elabora una presentación PowerPoint donde ilustres gráficamente el comportamiento del contenido de los contaminantes a lo largo del año, expón los resultados cuando así lo indique el(la) docente.

#### 9.3.5 Contaminación del aire en interiores

El problema de la contaminación atmosférica generalmente se asocia con las grandes ciudades y con la presencia de sustancias tóxicas en ambientes abiertos. Sin embargo, hay un problema de igual o mayor importancia, y consiste en la contaminación del aire en interiores. Los efectos de este tipo de contaminación han recibido mayor atención en los últimos años, ya que las personas pasan casi 90% de su tiempo en sitios cerrados. Diversos estudios han demostrado que la exposición a algunos contaminantes puede ser de dos a cinco veces mayor en interiores que al aire libre.

La contaminación del aire de interiores adquiere relevancia si se considera que la mitad de la población en el mundo y más de 90% en las zonas rurales, aún utilizan biomasa y otros materiales para cocinar y en los sistemas de calefacción. Este tipo de combustibles emite diversos contaminantes que se concentran dentro de la microatmósfera de los hogares, y pueden llegar a alcanzar niveles muy superiores a los límites permitidos.

Los combustibles derivados de la biomasa son todos aquellos que se obtienen de plantas y animales. En ellos se incluye la leña, el carbón, el estiércol y otros. A pesar de que el uso de estos materiales como combustibles es una práctica que data de tiempos prehistóricos, no fue sino hasta décadas recientes cuando se empezaron a estudiar los efectos sobre la salud que produce la exposición a los contaminantes presentes dentro de las viviendas.

Actualmente hay además una gran variedad de contaminantes de interiores, tales como: solventes orgánicos de pinturas, colorantes, limpiadores, humo de cigarrillos y hasta radón, que es emitido de una forma natural por materiales de construcción. El radón es un gas que no tiene olor ni color y es radiactivo, por lo cual su exposición puede ser causa de cáncer. Además, la combustión directa de cigarrillos libera hasta 4 mil sustancias químicas, 50 de las cuales causan cáncer.

### ACTIVIDAD 9.17

Investiga diez sustancias químicas que se liberan de la combustión del tabaco y su mecanismo de acción en el organismo. elabora una gráfica donde relacione los efectos toxicológicos sobre el ser humano con los diez componentes del tabaco investigados y has una presentación PowerPoint, expón tus resultados cuando el maestro así lo determine.

## Capítulo 10. Problemas ambientales globales

*Requerimos una comprensión más profunda de la ciencia y la tecnología, si no acertamos a ver el problema, difícilmente podremos resolverlo.*

Carl Sagan

En este capítulo se discuten las bases físicas de aquellos procesos que tienen efectos de alcance global sobre:

- El clima y
- Los ecosistemas.

Como procesos de alcance global, en este estudio, se consideran el efecto invernadero, la destrucción de la capa de ozono en la estratosfera y los fenómenos meteorológicos "El Niño" y "La Niña".

### 10.1 Efecto invernadero

El clima del sistema terrestre está condicionado por la presencia de gases de efecto invernadero (GEI) en la atmósfera, los cuales pueden ser de origen natural y antropogénico. Son GEI aquellos que, en la atmósfera, participan en un proceso de absorción y emisión de radiación infrarroja y simulan las condiciones de un invernadero, en el cual la temperatura del interior es mayor que la exterior. Este efecto hace que la temperatura media de la superficie de la tierra sea 33°C mayor que la que tendría si no existiesen los GEI en la atmósfera.

El efecto invernadero es un fenómeno natural que ha estado presente desde el momento que se formó la atmósfera y ha contribuido de forma significativa al desarrollo de la vida sobre la Tierra. Sin embargo, a través de la historia, las actividades humanas han propiciado un aumento significativo en la concentración de los GEI, lo cual ha traído como consecuencia que la temperatura media del planeta se incremente; este fenómeno se conoce como calentamiento global.

#### 10.1.1 Bases físicas del efecto invernadero

La mayor parte de la energía que afecta al clima y determina la dinámica de los procesos atmosféricos proviene del Sol en forma de radiación electromagnética. La superficie del planeta y su atmósfera absorben y reflejan parte de la energía solar, la que es absorbida tiende a producir calentamiento. Parte del calor es irradiado de nuevo al espacio tendiendo a enfriar el planeta. El balance entre la energía absorbida e irradiada se conoce como balance radiativo o de radiación y determina la temperatura promedio del planeta.

Balance radiativo terrestre se refiere al hecho que la temperatura en la Tierra se ha mantenido esencialmente constante durante largos períodos de tiempo. Esto significa que hay un equilibrio térmico entre la radiación que entra y la que sale, la energía que absorbe la atmósfera y la que irradia, la energía que absorbe la superficie terrestre y la que irradia. Sin embargo, medidas recientes indican que la Tierra está absorbiendo más energía que la que emite al espacio (Hansen *et al.*, 2005). Este fenómeno está asociado con el calentamiento global y es causado por el reciente aumento en la concentración de los gases de efecto invernadero (IPCC, 2007).

En la figura 10.1 se describe el fenómeno de efecto invernadero y el balance radiativo de una atmósfera simplificada.

El flujo de energía solar que llega al exterior de la atmósfera es una cantidad fija, conocida como constante solar media y tiene un valor de 342 W/m<sup>2</sup>. Del total de esta energía, de 30 a 40% es reflejada por las capas altas de la atmósfera y por las nubes, de 15 a 20% es absorbida por los componentes del aire (O<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> y N<sub>2</sub>) y el 45 a 50% restante llega hasta la superficie de la Tierra. La

energía que llega a la superficie terrestre es absorbida por el suelo, las rocas, el agua y la vegetación; de esta forma se calientan las masas de agua y los continentes.



Figura 10.1

Efecto invernadero simplificado.

La Tierra, como todo cuerpo caliente, emite radiación infrarroja de una longitud de onda más larga que la radiación incidente, la cual es absorbida por los gases de efecto invernadero presentes en la atmósfera. Más de 75% del calor capturado por la atmósfera puede atribuirse a la acción de los GEI. La atmósfera transfiere la energía recibida tanto hacia el espacio exterior como hacia la superficie de la Tierra, donde la cantidad transferida en cada dirección depende de la estructura y densidad de la atmósfera.

Al recibir la superficie de la Tierra más energía de la atmósfera que la proveniente del Sol, la temperatura de la superficie puede alcanzar en promedio los +15 °C. Esta temperatura es 33 °C, muy superior a -18 °C, que es la temperatura prevista de no ocurrir la absorción de la radiación infrarroja por los GEI. Esta gran diferencia entre la temperatura efectiva y la real se debe al efecto invernadero, que se da en cualquier planeta o satélite natural que tenga atmósfera. Es decir, la Tierra sería un planeta helado si no tuviera atmósfera.

## ACTIVIDAD 10.1

- Investiga en Internet tres hipótesis de científicos sobre los escenarios en el planeta al incrementarse en el futuro aún más la concentración de los gases invernadero. b) Elabora una tabla en Word con los aspectos principales de cada autor e hipótesis. c) Con base en la investigación anterior, elabora tus conclusiones en un escrito de una cuartilla y entrégalo al profesor cuando lo solicite.

## 10.1.2 Medición del efecto invernadero de los gases

Estudios científicos han demostrado que la eficiencia de los gases para absorber la radiación, y por lo tanto, para ejercer un impacto sobre la temperatura, depende principalmente de los siguientes factores:

1. La estructura química del gas.
2. Su concentración en la atmósfera.
3. Su tiempo de residencia en la atmósfera.

Para tener en cuenta las diferencias en la capacidad de absorción de la radiación y poder comparar las contribuciones de los gases al efecto invernadero sobre una misma base, se desarrollaron los siguientes conceptos: *forzamiento radiativo (FR)* y *potencial de calentamiento global (PCG)*, que se detallan en la siguiente sección.

### 10.1.2.1 FORZAMIENTO RADIATIVO

El balance entre la radiación solar que entra y la radiación infrarroja que sale de la Tierra se ve alterado por cambios en:

1. La concentración de los GEI y de los aerosoles en la atmósfera.
2. La intensidad de la radiación solar.
3. Las propiedades de la superficie de la Tierra.

Para estimar los cambios en el balance radiativo se emplea el concepto de *forzamiento radiativo* y se mide en Watts por metro cuadrado ( $\text{Wm}^2$ ). Este concepto es muy útil para comparar cómo una variedad de factores humanos y naturales influyen en el calentamiento o enfriamiento del clima global.

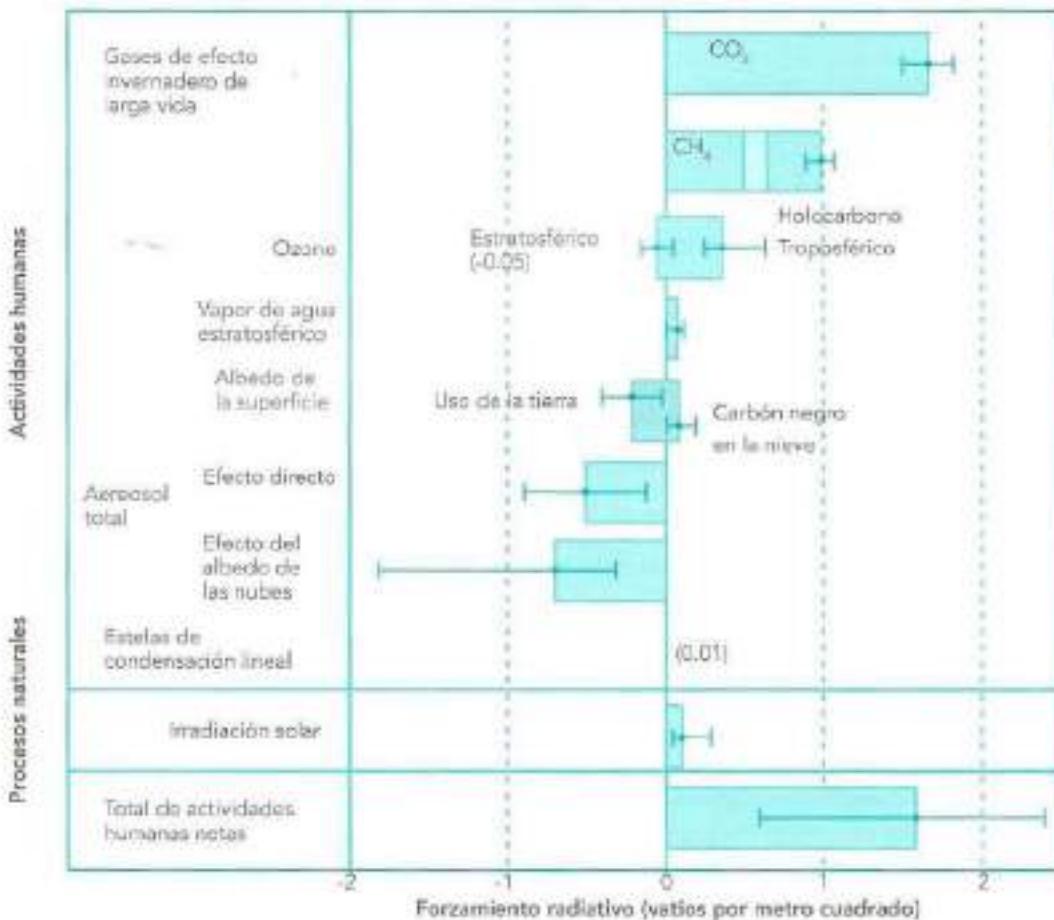
Por ejemplo, si la concentración de  $\text{CO}_2$  continúa incrementándose por actividades humanas, se intensificará el efecto invernadero provocando un aumento de la temperatura en la superficie terrestre, en este caso el *forzamiento radiativo es positivo*. Por otro lado, los aerosoles emitidos a la atmósfera, independientemente si son producidos por emisiones industriales, incendios forestales o erupciones volcánicas, reflejan hacia el espacio exterior la radiación solar, este hecho se manifiesta como un enfriamiento del planeta: en este caso se habla de un *forzamiento radiativo negativo*.

En la figura 10.2 se muestran estimaciones y margen de variación del forzamiento radiativo (FR) medio mundial en 2005 con relación a la era industrial (1750) para  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ , CPC y otros agentes y mecanismos, que ejercen efectos climáticos indirectos. Los aerosoles de origen volcánico aportan un forzamiento natural adicional, pero no se incluyen debido a su naturaleza casual (IPCC, GT1, 2007).

En el periodo comprendido entre 1750 y 2005 el forzamiento radiativo atribuido al incremento de la concentración de los GEI de larga vida, en su conjunto, ha alcanzado el valor de  $2.64 \text{ Wm}^2$ , donde  $1.66 \text{ Wm}^2$  es debido al  $\text{CO}_2$ ;  $0.48 \text{ Wm}^2$  debido al  $\text{CH}_4$ ;  $0.34 \text{ Wm}^2$  debido a los CPC y  $0.15 \text{ Wm}^2$  debido al  $\text{N}_2\text{O}$ .

### ACTIVIDAD 10.2

Utiliza la información de la figura 10.2 para analizar el tipo de forzamiento radiativo de la nubosidad causada por las estelas de la aviación. Elabora un escrito de máximo una cuartilla donde expongas tu postura y entrégalo al profesor cuando te lo solicite.

**Figura 10.2**

Estimaciones del forzamiento radiativo medio mundial en 2005 con relación a la era industrial (1750) para GEI y otros agentes y mecanismos importantes (IPCC, GT1, 2007).

### 10.1.1.2.2 Potencial de calentamiento global

Los GEI tienen diferentes potenciales de retención de calor, es decir, algunos poseen una mayor capacidad que otros para absorber la radiación infrarroja emitida por la Tierra. Para tener en cuenta este hecho, se introdujo el concepto de *potencial de calentamiento global (PCG)*, que indica el efecto de calentamiento integrado a lo largo del tiempo que produce hoy la liberación instantánea de 1 kg de un gas de efecto invernadero, en comparación con el causado por el CO<sub>2</sub>. De esta forma, se pueden tener en cuenta los efectos radiativos de cada gas, así como sus diferentes períodos de permanencia en la atmósfera.

Es importante establecer el PCG en relación con un período de tiempo determinado, porque el ciclo de vida atmosférico de los gases invernadero varía considerablemente. El CO<sub>2</sub> tiene un tiempo de vida en la atmósfera de 50 a 200 años, en función de cómo se recicle en la tierra o en los océanos; el metano puede permanecer de 10 a 15 años y algunos de los gases fluorados de efecto invernadero poseen tiempos de vida que pueden ser de hasta miles de años.

La tabla 3.6 muestra los valores del potencial de calentamiento global en horizontes de tiempo de 20, 100 y 500 años para los gases que han sido identificados como los principales causantes del calentamiento global; muestra además el tiempo de vida en la atmósfera. El gas de referencia es el CO<sub>2</sub> y se mide en teragramos equivalentes de CO<sub>2</sub> (IPCC, GT1, 2007).

Los valores de PCG mostrados en la tabla indican la acción relativa de los gases al efecto invernadero. Por ejemplo, el valor de PCG para el CFC-12 indica que un gramo de este gas es capaz de producir un efecto invernadero 10 900 veces mayor que un gramo de CO<sub>2</sub>; sin embargo, dado que el contenido de CO<sub>2</sub> en la atmósfera es mucho mayor que el de los CFC, la contribución real del CO<sub>2</sub> al efecto invernadero es muy superior a la de los CFC. Los valores del PCG permiten además a los planificadores de políticas comparar los impactos de las emisiones de los diferentes gases y diseñar programas para sus reducciones.

**Tabla 10.1**

Potenciales de calentamiento global (PCG) en relación con el dióxido de carbono para algunos gases cuyas vidas medianas han sido bien caracterizadas.

Gas	Vida media (años)	Potencial de calentamiento global Horizonte temporal		
		20 años	100 años	500 años
Dióxido de carbono	CO <sub>2</sub>	1	1	1
Metano	CH <sub>4</sub>	12	72	25
Óxido nítrico	N <sub>2</sub> O	114	289	298
CFC-12	CCl <sub>2</sub> F <sub>2</sub>	100	11000	10900
HCFC-22	CHClF <sub>2</sub>	12	5160	1810
HFC-23	CHF <sub>3</sub>	270	12000	14800
PFC-14	CF <sub>2</sub>	50000	5210	7390
PFC-116	C <sub>2</sub> F <sub>6</sub>	10000	8630	12200
Hexafluoruro de azufre	SF <sub>6</sub>	3200	16300	22800
				32600

### 10.1.3 Gases de efecto invernadero

Los GEI cubren una amplia gama de gases, tanto de origen natural, como antropogénico, y de acuerdo con su forma de participar en la intensificación del efecto invernadero se dividen en tres categorías, que se describen en la tabla 10.2; además se mencionan los principales GEI para cada una de estas categorías.

**Tabla 10.2**

Categorías de gases de efecto invernadero.

Categoría	Características
<b>Radiativamente activos</b> • Vapor de agua (H <sub>2</sub> O) • Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) • Ozono (O <sub>3</sub> ) • Óxido nítrico (N <sub>2</sub> O) • Cloroalquilcarbonos (CFC)	Ejercen un efecto climático directo, absorben y emiten radiación infrarroja.
<b>Química y fotoquímicamente activos</b> • Monóxido de carbono (CO) • Óxidos de nitrógeno (NO y NO <sub>2</sub> )	Ejercen efectos climáticos indirectos a través de reacciones químicas en la atmósfera.
<b>Físicamente activos</b> • Dióxido de azufre (SO <sub>2</sub> )	Participan en la formación de aerosoles reflectantes y núcleos de condensación de nubes.

El 11 de diciembre de 1997 se aprobó el texto del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), en el cual los países industrializados se comprometieron a ejecutar un conjunto de medidas para reducir los gases de efecto invernadero. El acuerdo entró en vigor el 16 de febrero de 2005, después de la ratificación por parte de Rusia el 18 de noviembre de 2004.

Los gobiernos signatarios pactaron reducir las emisiones de seis gases generadores del calentamiento global: dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), además de tres gases industriales fluorados: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre ( $\text{SF}_6$ ), en un porcentaje aproximado de un 5%, dentro del periodo que va desde el año 2008 al 2012, en comparación con las emisiones al año 1990. Es preciso señalar que esto no significa que cada país deba reducir sus emisiones de los gases regulados en un 5% con respecto a las emisiones de 1990, sino que éste es un porcentaje pactado a nivel global, donde cada país tiene sus propios porcentajes de reducción de emisión para alcanzar la meta.

### ACTIVIDAD 10.3

Realiza una investigación bibliográfica en las páginas de la SEMARNAT, el INE y el PNUMA y responde las siguientes preguntas: ¿De qué depende el porcentaje de reducción de emisiones de GEI pactado por los países en el Protocolo de Kioto? ¿Qué son los bonos de carbono y para qué sirven? Elabora un ensayo de tres cuartillas sobre los resultados de tu investigación y entrégalo al profesor la próxima clase.

#### 10.1.3.1 DIÓXIDO DE CARBONO

El dióxido de carbono es el gas de efecto invernadero dominante debido a las actividades humanas, con un forzamiento radiativo de  $1.66 \text{ W m}^{-2}$  al 2005, que representa 63% del total de los cambios en las concentraciones de todos los GEI.

La concentración del  $\text{CO}_2$  en la atmósfera mundial ha pasado de un valor preindustrial (1750) de aproximadamente 280 a 379 ppmv en 2005. El ritmo anual de crecimiento de la concentración de  $\text{CO}_2$  se ha incrementado en los últimos 10 años (1995-2005) con una media de 1.9 ppmv al año, en los años anteriores (1960-1995) el incremento anual era en promedio de 1.4 ppmv.

La figura 10.3 muestra la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera durante los últimos 10 000 años y en el recuadro desde 1750. También se muestra el correspondiente forzamiento radiativo en los ejes de los paneles grandes a la derecha. Las medidas son de testigos de hielo. Los símbolos de diferentes colores denotan diferentes estudios y las líneas rojas de muestras de la atmósfera.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático establece en el cuarto informe sobre la valoración científica del efecto invernadero que no existe duda que el incremento de la concentración de  $\text{CO}_2$  se debe en gran medida a las actividades humanas. La mayoría de las emisiones durante los últimos 20 años se deben a la quema de combustibles de origen fósil, el resto (10 a 30%) proviene predominantemente de los cambios en el uso de la tierra, especialmente por la deforestación.

Los modelos del ciclo del carbono proyectan para el año 2100 concentraciones de  $\text{CO}_2$  en la atmósfera entre 570 y 970 ppmv. Estas concentraciones son mayores en 90 y 250% respectivamente, que las registradas en 1750. El efecto neto de las interacciones climáticas terrestres y oceánicas sería aún mayor, ya que habría una menor absorción de  $\text{CO}_2$  por los océanos y los continentes.

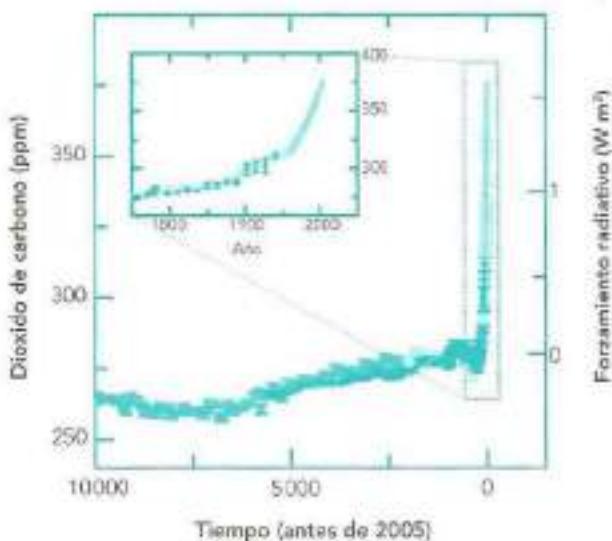


Figura 10.3

Concentración de dióxido de carbono en la atmósfera durante los últimos 10 000 años y desde 1750 (IPCC, GT1, 2007).

## ACTIVIDAD 10.4

Con base en lo aprendido en el tema anterior, elabora un escrito con tus propias palabras de máximo una cuartilla donde expongas la respuesta a la siguiente pregunta: ¿En qué afecta la deforestación a la concentración del CO<sub>2</sub> en la atmósfera? Entrega tu actividad al profesor cuando así lo solicite.

### 10.1.3.2 METANO

El metano es un gas que se produce fundamentalmente por procesos anaerobios de degradación de materia orgánica en los sistemas biológicos. Las condiciones anaerobias ocurren en ausencia de oxígeno, tal como ocurre en un suelo empantanado, en un campo de cultivo de arroz o también en el rumen de bovinos y caprinos. Otras fuentes de generación de metano son los sitios de confinamiento de desechos municipales, los incendios forestales y la combustión del gas natural y el carbón. El metano tiene un tiempo de vida de 12 años y es eliminado de la atmósfera por reacciones químicas y fotoquímicas.

En la figura 10.4 se muestra el perfil de concentración de metano en la atmósfera durante los últimos 10000 años y desde 1750. Las medidas son de testigos de hielo y de muestras de la atmósfera. El correspondiente forzamiento radiativo se muestra en los ejes de los paneles grandes a la derecha.

La concentración de metano en la atmósfera a nivel mundial ha pasado de un valor de aproximadamente 715 ppb en la época preindustrial, a 1732 ppb a principios de la década de los noventa, lo cual representa un incremento de más de 145%. En 2005 alcanzó el valor de 1774 ppb. Se estima que de un 60 a 80% de las emisiones actuales de metano se deben a actividades antropogénicas, predominantemente agrícolas, y al uso de combustibles fósiles. Sin embargo, aún no se han determinado adecuadamente las contribuciones relativas de otros tipos de fuentes.

### 10.1.3.3 ÓXIDO NITROSO

El óxido nitroso es usado como anestésico por los dentistas y los cirujanos. También se produce durante los incendios forestales, por gasificación de fertilizantes nitrogenados y por la combustión de gas natural y carbón. El tiempo de vida de este gas es de 114 años y su remoción de la atmósfera se realiza fundamentalmente por la acción fotolítica de la luz solar en la estratosfera.

En la figura 10.5 se muestra la concentración de óxido nitroso en la atmósfera durante los últimos 10000 años y en el recuadro desde 1750. También se muestra el correspondiente forzamiento radiativo en los ejes de los paneles grandes a la derecha. Las medidas son de testigos de hielo. Los símbolos de diferentes colores denotan diferentes estudios y las líneas rojas de muestras de la atmósfera.

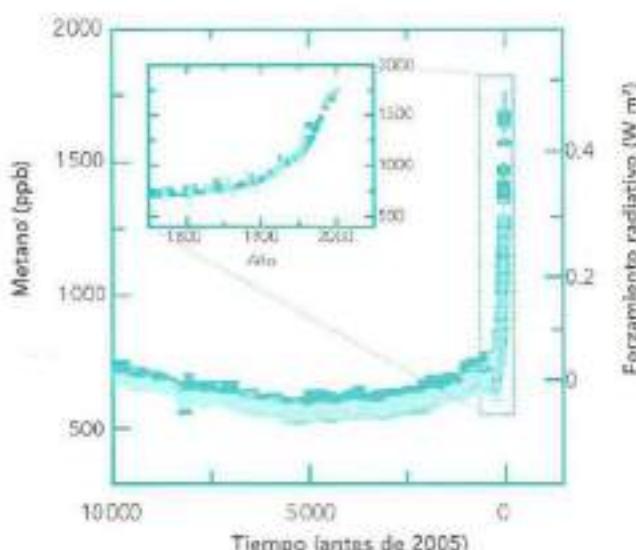


Figura 10.4

Concentración de metano en la atmósfera durante los últimos 10000 años y desde 1750 (IPCC, GTI, 2007).

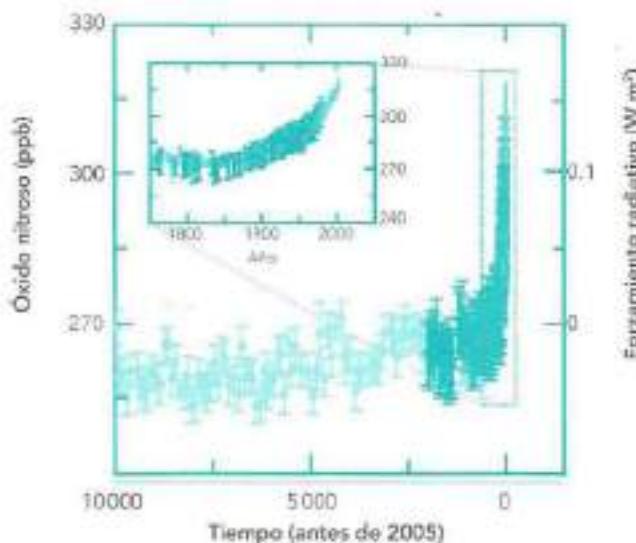


Figura 10.5

Concentración de óxido nitroso en la atmósfera durante los últimos 10000 años y desde 1750 (IPCC, GTI, 2007).

La concentración de óxido nítrico en la atmósfera mundial pasó de un valor en la era preindustrial de unos 270 ppb a 320 ppb en 2006. El ritmo de aumento se ha mantenido aproximadamente constante desde 1980. Más de un tercio de todas las emisiones de óxido nítrico son antropogénicas, principalmente por la agricultura.

El óxido nítrico es un ejemplo típico de la interacción que hay entre las medidas de control que se implementan para reducir la contaminación a nivel local y su impacto en el cambio climático. Así, por ejemplo, los convertidores catalíticos utilizados en los vehículos motorizados ayudan a reducir las emisiones de los precursores del smog fotoquímico; sin embargo, causan un aumento en las emisiones de óxido nítrico.

#### 10.1.3.4 GASES DE USO INDUSTRIAL Y AEROSOLES

Los halocarbonos son sustancias químicas inventadas, sintetizadas y usadas desde 1928 como refrigerantes, también se usan en la limpieza de componentes electrónicos y hasta 1990 se envasaron en aerosoles. Son compuestos de carbono que contienen flúor, cloro o bromo y tienen doble efecto en el ambiente, ya que, además de participar en la degradación del ozono estratosférico, actúan como gases de efecto invernadero. Debido a su larga vida, su potencial de calentamiento global es miles de veces mayor que el del CO<sub>2</sub>.

Los halocarbonos que contienen cloro (clorofluorocarbonos, CFC), y bromo (hidrofluorobromocarbonos, HBFC) son sustancias que están controlados por el Protocolo de Montreal, su participación en la degradación de la capa de ozono se describirá en la sección 10.2.

Los halocarbonos que no afectan la capa de ozono, pero sí poseen un potencial de calentamiento global y están controlados por el Protocolo de Kioto son: hidrofluorocarbonos (HFC), perfluorocarbonos (PFC) y hexafluoruro de azufre (SF<sub>6</sub>).

##### *Hidrofluorocarbonos (HFC)*

Son gases que fueron sintetizados para reemplazar los clorofluorocarbonos (CFC) ya que no catalizan la destrucción del ozono, por lo que estos compuestos no dañan la capa de ozono; sin embargo, son compuestos que poseen un alto potencial de calentamiento global. El HFC más ampliamente usado como reemplazo de los CFC es el HFC-23, cuya concentración ha aumentado más de tres veces entre 1978 y 1995, actualmente tiene una tasa de incremento de 0.55 ppb por año. El potencial de calentamiento global de los HFC es del orden de 11 700 a 13 000; sin embargo, dado que las concentraciones actuales de los HFC en la atmósfera son relativamente bajas, su contribución al calentamiento global es modesta.

##### *Perfluorocarbonos (PFC)*

Los PFC son gases producto del manejo de aluminio y del enriquecimiento del uranio, se usan para reemplazar a los CFC en los equipos de refrigeración y en la manufactura de semiconductores. El potencial de calentamiento global de los PFC es de 6 500 a 9 200 veces mayor al del dióxido de carbono. Dado que los PFC, como el perfluorometano (CF<sub>4</sub>) y el perfluoretileno (C<sub>2</sub>F<sub>6</sub>), poseen tiempos de vida en la atmósfera extremadamente largos y elevados potenciales de calentamiento global, su influencia sobre el clima se puede extender hasta un futuro muy lejano, aun en bajas concentraciones.

En un estudio (Aslam *et al.*, 2003) se encontró que el PFC más abundante en la atmósfera es el CF<sub>4</sub> y es además el que posee mayor potencial de calentamiento global; se estima que una molécula de CF<sub>4</sub> es igual de efectiva que 10 000 moléculas de CO<sub>2</sub> para causar calentamiento global. Este PFC permanece en la atmósfera como mínimo 50 000 años, su concentración en el período previo a la industrialización fue de 40 pptv, en 1998 ascendió a 80 pptv, y tiene una tasa de cambio aproximadamente de 1 pptv por año. Se proyecta que la concentración en la atmósfera de CF<sub>4</sub> se incrementará hasta 400 pptv en el año 2100.

En respuesta a lo anterior, varios gobiernos trataron sobre las características de los PFC para imponer acuerdos a nivel internacional que limiten su uso antes que se convierta en un problema adicional para el calentamiento global del planeta. En este sentido los PFC son una de las clases de los compuestos regulados en el protocolo de Kioto. Otras sustancias perfluoradas importantes

incluyen a los teflones, que también son persistentes en el ambiente y que se han detectado en muestras de sangre humana en diferentes partes del planeta.

#### *Hexafluoruro de azufre ( $SF_6$ )*

El  $SF_6$  es un gas inerte, más pesado que el aire, no es tóxico ni inflamable, pero posee un potencial de calentamiento global 22 200 veces mayor que el del  $CO_2$  por unidad de masa. El  $SF_6$  se utiliza como aislante en interruptores y equipos eléctricos. Es generado también por fugas en procesos de fabricación de algunos semiconductores y manufacturación de magnesio. Las concentraciones actuales en la atmósfera son del orden de 4.2 ppb; sin embargo, tienen una tasa de cambio de concentración de 0.24 ppb por año. Se proyecta que el  $SF_6$  alcanzará concentraciones atmosféricas en el periodo de 1998 a 2100 de entre 35 y 36 ppb (IPCC, 2001).

#### *Aerosoles*

Los aerosoles son producto de la quema de combustibles fósiles, principalmente del carbón mineral y vegetal, también contribuyen al calentamiento global mediante la absorción de la radiación de onda corta, y además contribuyen a la contaminación local del aire. Los contaminantes en aerosol basados en compuestos de azufre poseen forzamiento radiativo negativo, ya que enfrian el planeta al formar nubes que dispersan la luz solar entrante y, por consiguiente, representan un "escudo" para la Tierra contra el calentamiento global.

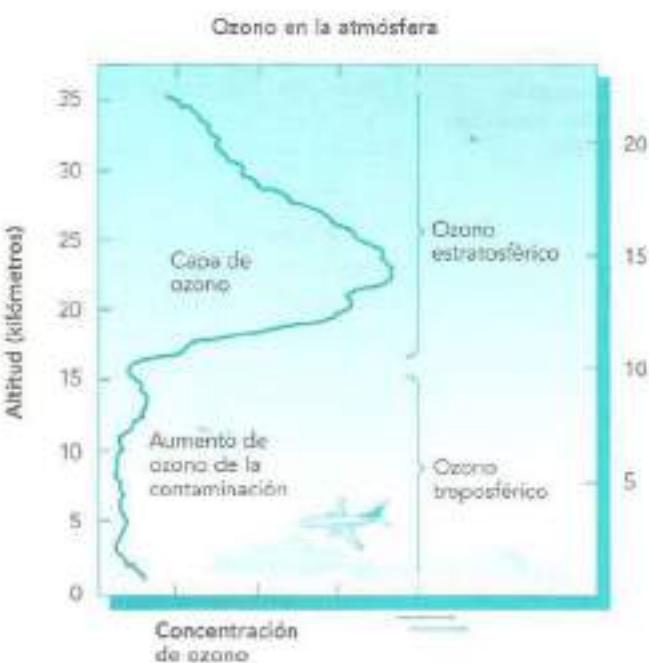
## 10.2 Degradación de la capa de ozono

La disminución de la capa de ozono en la estratosfera representa un problema de ámbito global, ya que el ozono protege a la Tierra de los efectos nocivos de la radiación solar de alta energía. En 1974, algunos científicos sugirieron que los compuestos clorofluorocarbonados (CFC), usados como refrigerantes, aerosoles, espumas plásticas y sistemas de prevención de incendios, eran los principales causantes de la destrucción progresiva de la capa de ozono sobre la Antártida. Con la confirmación de estos descubrimientos, en 1987 se firmó el Protocolo de Montreal, que establece un compromiso de nivel internacional para proteger la capa de ozono, para reducir y finalmente eliminar el consumo de las sustancias agotadoras del ozono (SAO).

El 11 octubre de 1995 la Royal Swedish Academy of Sciences decidió otorgar el Premio Nobel a los profesores Paul Crutzen, Mario J. Molina y F. Sherwood Rowland, por sus contribuciones al esclarecimiento de las reacciones fotoquímicas de la degradación del ozono estratosférico.

### 10.2.1 Distribución del ozono en la atmósfera

El ozono ( $O_3$ ) es un compuesto instable de tres átomos de oxígeno y se localiza principalmente en la estratosfera, esa capa de la atmósfera es conocida como la *capa de ozono*. El resto del ozono se encuentra en la troposfera como *smog*, producto de reacciones fotoquímicas entre los óxidos de nitrógeno y compuestos orgánicos volátiles, como se describió en la sección 9.3.4.2. En la figura 10.6 se muestra la distribución del ozono en la atmósfera.



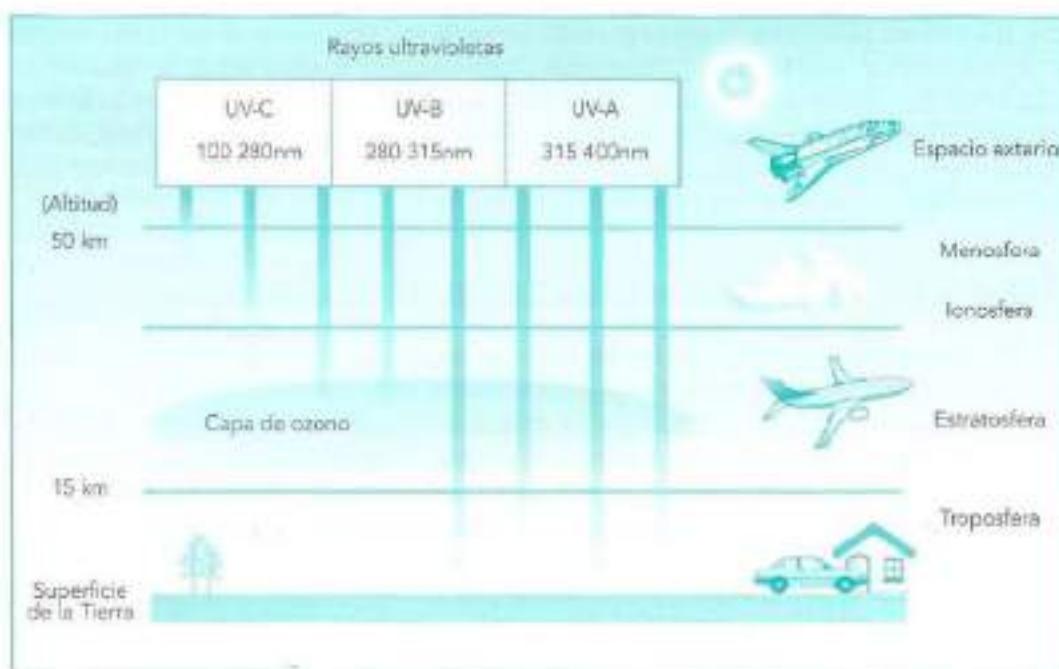
**Figura 10.6**

Comportamiento de la concentración de ozono con la altura en la atmósfera.

Las moléculas de ozono, tanto de la estratosfera como de la troposfera, son químicamente idénticas; sin embargo, tienen efectos muy distintos en los seres vivos.

En la estratosfera la molécula de ozono tiene la capacidad de absorber la radiación ultravioleta en un proceso de destrucción y producción de ozono que mantiene un equilibrio aparentemente estable. La radiación ultravioleta de menor longitud de onda, conocida como UV-C, es letal para todas las formas de vida y es bloqueada casi por completo por átomos de oxígeno antes de llegar a la capa de ozono. La radiación UV-A, de mayor longitud, es relativamente inofensiva y pasa casi en su totalidad a través de la capa. Entre las dos está la UV-B, que es menos letal que la UV-C, pero peligrosa; la capa de ozono la absorbe en su mayor parte.

La figura 10.7 muestra la interacción de la radiación ultravioleta con los componentes de la atmósfera.



**Figura 10.7**

Interacción de los rayos ultravioleta con la atmósfera.

En este sentido el ozono estratosférico actúa como filtro de los rayos solares ultravioleta, protegiendo a la superficie terrestre de una exposición excesiva a esta radiación. Una disminución sensible del contenido de ozono en la estratosfera tendría efectos perjudiciales para la salud humana y en general para la biosfera.

El efecto de la radiación UV-B sobre los seres vivos depende de su intensidad y tiempo de exposición, los daños pueden abarcar desde eritemas a la piel, conjuntivitis y deterioro en el sistema de defensas, hasta llegar a afectar el crecimiento de las plantas y dañar el fitoplankton, con las consecuencias posteriores que esto ocasiona para el desarrollo normal de la fauna marina y terrestre.

### ACTIVIDAD 10.5

Investiga en Internet los efectos que produce la radiación UV-B sobre los seres vivos. Elabora una presentación en PowerPoint de 10 diapositivas con los resultados obtenidos de tu investigación y expón tus conclusiones cuando el maestro así lo solicite.

La absorción de la radiación ultravioleta, por parte del ozono, crea una inversión térmica en la estratosfera; es decir, la temperatura aumenta a medida que se asciende a mayores altitudes. En ausencia de ozono, la temperatura vuelve a descender con la altura en la mesosfera. En este sentido, el ozono desempeña una función principal en la estructura de distribución de temperaturas por la atmósfera de la Tierra, como se observa en la figura 10.8; véase también la figura 9.6.

Por otro lado, en las grandes ciudades, el ozono troposférico se produce por la reacción fotoquímica (catalizada por la luz solar) de óxidos de nitrógeno y oxígeno. El conjunto de compuestos generados de esta forma son conocidos como *smog fotoquímico* y no cumplen ninguna función de beneficio para el ser humano. Al contrario, en estudios se han documentado efectos dañinos del ozono en la producción de cosechas, en el crecimiento de los bosques y en la salud humana.

## 10.2.2 Definición del problema

El avance tecnológico e industrial registrado en las últimas décadas ha propiciado la emisión a la atmósfera de sustancias agotadoras del ozono (SAO), que están disminuyendo la concentración del ozono en la estratosfera, principalmente en la primavera de las latitudes polares. Se ha demostrado que este fenómeno está relacionado con la presencia de especies químicas de cloro y bromo en la estratosfera. Por esta razón, es de gran interés el seguimiento de las variaciones del contenido de ozono en la atmósfera.

Los primeros datos sobre el deterioro de la capa de ozono se remontan a 1982, cuando se publicaron los valores sobre la columna de ozono, obtenidos por la estación japonesa de Syowa en la Antártida. Los niveles de la columna de ozono, registrados desde 1964, indicaban que a partir de 1975 se presentaba un debilitamiento evidente.

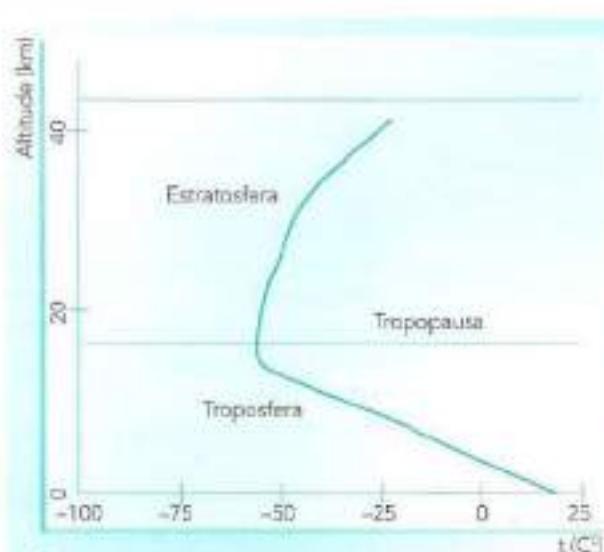


Figura 10.8

Comportamiento de la temperatura con la altura en las dos capas de ozono, la troposfera y la estratosfera.

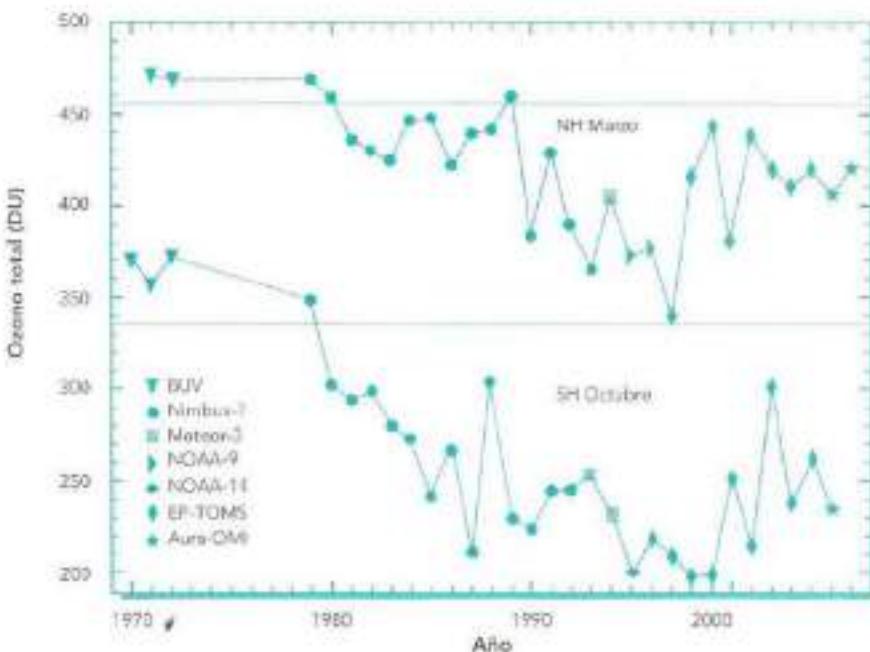


Figura 10.9

Promedio de mediciones de ozono en la estratosfera para la primavera de 1970 a 2005, marzo en el hemisferio norte y octubre en el hemisferio sur (Fuente: WMO, 2003.)

Más tarde, otras estaciones ubicadas también en el continente Antártico dieron a conocer resultados similares. Todas coincidían en que el deterioro comenzó en la década de 1970. En general, se encontró que el deterioro de la capa de ozono en la Antártida se registraba con mayor intensidad en octubre de cada año, cuando coincide la mayor intensidad de radiación solar en el polo sur.

En la figura 10.9 se muestran las concentraciones promedio de ozono en la estratosfera para la primavera de cada año, de 1970 a 2005. Las mediciones en el hemisferio norte corresponden a marzo, las del hemisferio sur a octubre. Los símbolos indican los satélites de los cuales provienen los datos. Las líneas rectas representan el promedio de ozono en la estratosfera en los años posteriores a 1983 para cada uno de los polos (WMO, 2003). Se considera que hay un agujero en la capa de ozono cuando su concentración es menor a 220 DU.

### 10.2.3 Sustancias agotadoras del ozono (SAO)

El concepto de sustancias agotadoras del ozono incluye una amplia variedad de productos químicos industriales, que en su estructura contienen átomos de cloro y bromo. Son estables y no tóxicos; son baratos de producir, fáciles de almacenar y altamente versátiles. Como consecuencia, llegaron a ser utilizados en una amplia gama de aplicaciones, incluyendo refrigerantes para enfriamiento y aire acondicionado, para crear espuma, como disolventes, esterilizantes y propelentes para pulverizadores en lata.

Al ser liberados, se elevan en la estratosfera, donde son desintegrados por la radiación solar para liberar átomos de cloro o de bromo, que a su vez destruyen las moléculas de ozono en la estratosfera. Debido a su gran estabilidad las SAO poseen largos tiempos de vida media en la atmósfera, lo que significa que las emisiones de SAO de ayer y de hoy contribuirán a la reducción del ozono aún durante los años siguientes.

Las SAO se pueden clasificar como:

- Compuestos clorados: clorofluorocarbonos y algunos solventes ( $C_2H_2Cl_2$  y  $CCl_4$ ).
- Compuestos bromados: halones y algunos solventes ( $CH_2Br$  y  $CHBr_3$ ).
- Sustancias sustitutas de los CFC, como hidroclorofluorocarbonos (HCFC).

#### 10.2.3.1 CLOROFLUOROCARBONOS CFC

Los CFC están compuestos por fluor, carbono y cloro y fueron inventados en 1928, inicialmente se utilizaron como líquidos frigoríficos en los refrigeradores y, a partir de 1950, como gases propulsores de los aerosoles. En la actualidad, la mayor parte de los CFC producidos se utilizan en refrigeradores, congeladores, aires acondicionados, aerosoles y plásticos expansibles, que tienen múltiples usos en la construcción, la industria automotriz, la fabricación de envases y la limpieza.

Los avances en la industria de la informática han permitido que los CFC también se usen como solventes de gran eficacia, debido a que pueden limpiar circuitos electrónicos delicados sin dañar las bases de plástico.

La gran variedad de aplicaciones de los CFC permitió que fueran emitidos a la atmósfera indiscriminadamente durante décadas. Su gran estabilidad, que es tan útil en la Tierra, les permitió alcanzar la estratosfera, donde la intensa radiación ultravioleta rompe sus enlaces químicos. Así se libera el cloro, que captura un átomo de la molécula de ozono y lo convierte en oxígeno común.

La tabla 10.3 muestra los principales gases emitidos por actividades humanas que contienen átomos de cloro que destruyen la capa de ozono. También se muestra el potencial de agotamiento del ozono, el compuesto de referencia es el CFC-12, que tiene un tiempo de vida en la atmósfera de 100 años.

**Tabla 10.3**

Compuestos que aportan cloro a la estratosfera.

Número de agotamiento del ozono	Agente de cloro a la estratosfera (%)	Vida media en la atmósfera (años)	Potencial de agotamiento del ozono	Emissions, toneladas de ozonodestruidor <sup>a</sup>
Emitidos para el estudio: 2000				
CFC-12	32	100	1	130-160
CFC-11	23	45	1	70-110
CFC-13	7	85	1	11-25
CCl <sub>4</sub>	12	26	0.73	70-90
CH <sub>2</sub> CCl <sub>3</sub>	4	5	0.12	20
HCFC	4	1-26	0.02-0.12	340-370
Emitidos restantes				
CH <sub>2</sub> Cl	16	13	0.02	3000-4000

Elaborada a partir de: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, OMM, 2002.

<sup>a</sup>Emissions globales en el año 2000.

## ACTIVIDAD 10.6

Investiga en Internet el significado de los conceptos: vida media atmosférica de sustancias agotadoras del ozono y potencial de agotamiento del ozono. Con ayuda de la información de la tabla 10.3 elabora un pronóstico del tiempo de recuperación de la concentración de ozono en la estratosfera y relacionalo con tu edad. Entrega tus conclusiones por escrito cuando el profesor te lo solicite.

### 10.2.3.2 HALONES

Los halones son compuestos semejantes a los CFC, ya que en su estructura contienen también átomos de halógenos, puede ser solamente bromo o en compañía de cloro. El efecto de los halones es aún más crítico, ya que el bromo puede reaccionar con el ozono entre diez y cien veces más que el cloro. El uso principal de los halones es en extintores de incendios, pues no son tóxicos para el ser humano, en exposiciones de corto tiempo. La tabla 10.4 muestra los principales compuestos bromados de uso industrial, que degradan la capa de ozono.

## ACTIVIDAD 10.7

Investiga la situación actual en México en relación a la producción y uso de los CFC y halones, elabora un ensayo de tres cuartillas sobre tus conclusiones en relación a la información obtenida. Entrega la tarea cuando el profesor lo solicite.

Tabla 10.4

Compuestos que aportan bromo a la estratosfera.

Sustancias naturales del océano	Aporte de cloro a la estratosfera (%) <sup>a</sup>	Vida media en la atmósfera (años)	Potencial de destrucción del ozono	Emissions, miles de toneladas/día
Emitidos por actividades humanas				
Halon-1211	20	16	6	130-160
Halon-1301	14	65	12	70-110
CH <sub>3</sub> Br	5-20	0.7	0.38	11-25
Otros halones	4			
Emitidos naturales				
CH <sub>3</sub> Br	27-42	0.7	0.38	160-200
CH <sub>2</sub>	15	1		

Elaborada a partir de: Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2002, OMM, 2002.

<sup>a</sup>Emisiones globales en el año 2000.

### 10.2.3.3 SUSTANCIAS SUSITUTAS DE CFC

Los HCFC son actualmente sustitutos de los CFC, aunque tienen una baja participación como fuentes de cloro, ésta ha ido aumentando en los últimos años. En este grupo destacan el diclorofluorometano (HCFC-141b) usado como agente espumante, que reemplaza al CFC-11; y el monoclorodifluorometano (HCFC-22) como refrigerante. Este grupo de sustancias, aunque disminuyen significativamente el daño sobre el ozono, no son completamente inocuas por lo que se clasifican como sustancias de transición y se deberá empezar a sustituirlas a partir del año 2015.

Los HFC no tienen cloro en su molécula y no afectan el ozono por lo que se consideran sustancias definitivas en el Protocolo de Montreal. Se destaca el HFC-134a, el cual se usa en la refrigeración doméstica como sustituto del CFC-12. Sin embargo, aunque los HCFC y los HFC favorecen la destrucción del ozono de forma poco significativa, si contribuyen al forzamiento del efecto invernadero, como se menciona en la sección 10.1.3.4.

### 10.2.4 Mecanismos de destrucción del ozono estratosférico

Para comprender el mecanismo de destrucción de la capa de ozono es necesario considerar diferentes factores, entre ellos:

1. La presencia de halocarbonos (CFC, halones, etc.) en la atmósfera.
2. La actividad de la radiación solar sobre estos compuestos químicos y
3. Algunas propiedades especiales de la meteorología polar.

#### 10.2.4.1 ¿CÓMO LLEGAN LOS HALOCARBONOS A LA ESTRATOSFERA?

La pregunta más específica aquí es si el cloro y el bromo de la estratosfera provienen principalmente por actividades del ser humano o por procesos naturales.

Hay muchos compuestos naturales sobre la superficie terrestre que contienen cloro, pero son solubles en agua, por lo que no pueden alcanzar la estratosfera. Por ejemplo, grandes cantidades de cloro (en forma de cloruro de sodio) se evaporan de los océanos; empero debido a su solubilidad en

agua, son atrapados por las nubes y vuelven a bajar en gotas de agua, nieve o hielo. Otra fuente de cloro es el cloruro de hidrógeno, producto de las erupciones volcánicas, esta forma de cloro se convierte en ácido clorhídrico, que es soluble en agua por lo que tampoco alcanza la estratosfera.

Si embargo, aunque las moléculas de CFC son varias veces más pesadas que el aire, mediciones hechas mediante globos, aviones y satélites han demostrado que los CFC están hoy en día en la atmósfera. Es necesario considerar que la atmósfera es un sistema dinámico, nunca está quieta, los vientos la revuelven constantemente y evitan que las partículas suspendidas se depositen rápidamente en la superficie, en particular los CFC, que son sustancias insolubles en el agua y muy estables en la troposfera, donde no interactúan con la radiación UV-B. Bajo estas condiciones, con el tiempo los CFC llegan hasta la estratosfera, donde se encuentra el ozono.

La figura 10.10 muestra resultados de mediciones de CFC-11 y CF<sub>4</sub> contra la altura.

#### 10.2.4.2 ¿CÓMO LLEGAN LOS HALOCARBONOS A LA ANTÁRTIDA?

Los CFC se producen principalmente en países del hemisferio norte, y 90% de ellos se consumen en Europa, Rusia, Japón y Estados Unidos de América. Por lo anterior, se esperaría que el adelgazamiento de la capa de ozono se presente principalmente en el hemisferio norte. Como ya se mencionó, los CFC, debido a sus propiedades de alta estabilidad y poca solubilidad en agua, pueden permanecer en la atmósfera, donde los vientos los trasladan a las latitudes tropicales. En la estratosfera, estos contaminantes son transportados por el viento hacia ambos polos. Así, los CFC se distribuyen homogéneamente sobre todas las latitudes.

El hecho de que se presente un mayor adelgazamiento de la capa de ozono en la Antártida, con respecto a las demás latitudes, se debe a las propiedades especiales que presenta la meteorología del Polo Sur en el invierno. En ausencia de luz solar, el viento desarrolla un movimiento circular que impide que haya un intercambio masivo de aire entre el Polo Sur y las latitudes medias. La región atrapada por este movimiento del viento se conoce como vórtice estratosférico circumpolar.

Además, debe considerarse que la Antártida es una gran extensión de tierra rodeada por mar. Estas condiciones producen temperaturas extremadamente bajas en invierno, así que, por debajo de los -80 °C, se forman en el vórtice nubes especiales conocidas como nubes estratosféricas polares (PSC, por sus siglas en inglés). Puedes visitar la siguiente página donde encontrarás imágenes de las nubes estratosféricas polares: <http://www.pahof.de/4828.html>

La composición exacta de las PSC es aún tema de investigación científica. Se han detectado especies como ClONO<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub> y HCl que, obviamente, provienen de la descomposición de los halocarbonos. Las PSC son factores esenciales para la destrucción del ozono.

Por otro lado, en el Polo Norte las temperaturas en la estratosfera son menos gélidas, por lo que no se forman tantas nubes estratosféricas polares y la destrucción del ozono se produce en menor escala.

#### 10.2.4.3 REACCIONES QUÍMICAS EN LA ESTRATOSFERA

Como se vio en la sección anterior, las PSC crean un ambiente químico propicio para la destrucción del ozono. El cloro y el bromo están presentes en las PSC como compuestos estables, como ClONO<sub>2</sub>, Br<sub>2</sub> y HCl, ellos son producto de la degradación de los halocarbonos por la radiación solar. El óxido

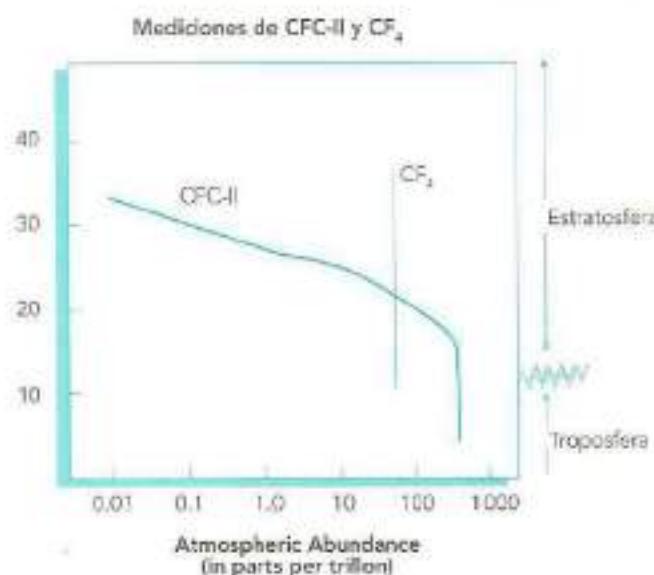
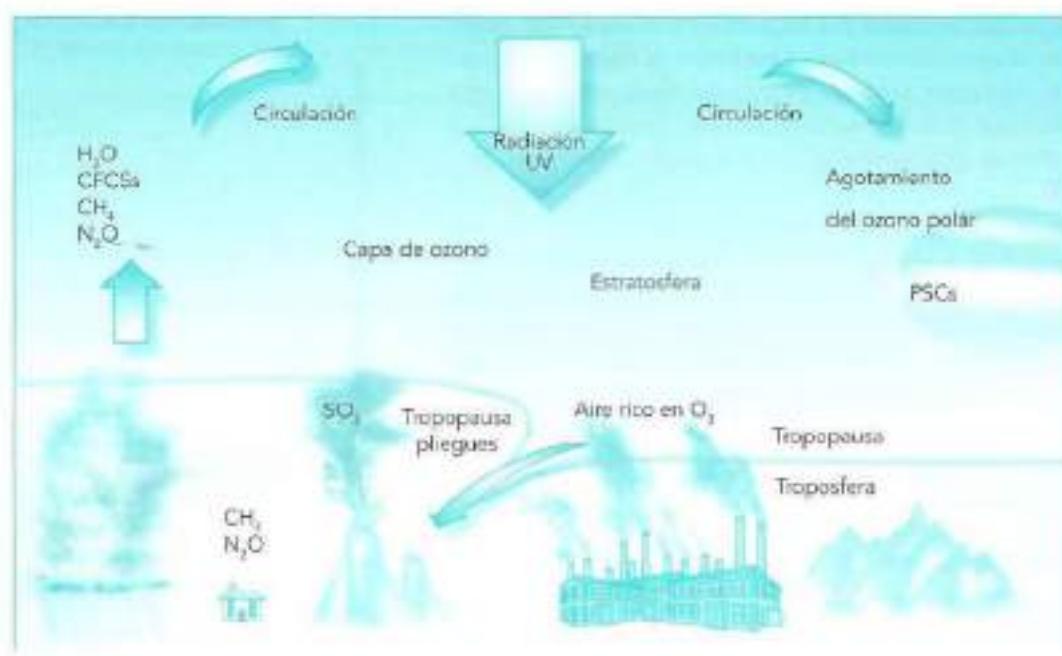


Figura 10.10

Distribución de la concentración de CFC-11 y CF<sub>4</sub> en la atmósfera.  
Fuente: WMO, Scientific Assessment of Ozone Depletion; 1994, WMO Global Ozone Research and Monitoring Project Report No. 37, Geneva, 1995.

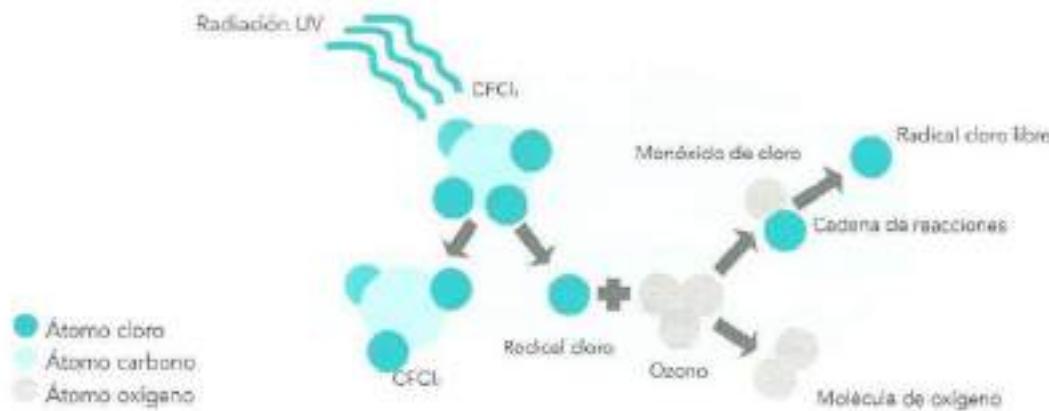
**Figura 10.11**

Transporte de las sustancias agotadoras del ozono en la atmósfera. Fuente: NASA, Earth Observatory, [http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aura/Aura\\_2.php](http://earthobservatory.nasa.gov/Features/Aura/Aura_2.php) (NASA, Cortesía de ilustración de: Barbara Sumney, SSAI).

nitroso ( $N_2O$ ) también juega un papel importante en la destrucción del ozono, éste se encuentra en las PSC como pentóxido de dímitrógeno ( $N_2O_5$ ). En la figura 10.11 se resume el trayecto que siguen los CPC desde que son emitidos hasta que son atrapados por las nubes estratosféricas polares.

Se ha demostrado que las reacciones más importantes que contribuyen a la destrucción del ozono tienen lugar en la superficie de las nubes estratosféricas polares, donde se produce cloro molecular y ácido nítrico. Con la radiación solar, a principios de la primavera, las moléculas de cloro ( $Cl_2$ ) experimentan una disociación fotoquímica tal que se convierten en radicales libres de cloro. Los radicales libres de cloro son especies altamente reactivas que pueden romper las moléculas de ozono con una gran eficiencia. En la figura 10.12 se detalla el proceso fotoquímico de destrucción del ozono estratosférico.

El proceso es altamente perjudicial para el ozono, ya que se ha demostrado, a través de cálculos de simulación, que un átomo de cloro recorre, en promedio, 10 000 veces el ciclo; es decir, un átomo de cloro destruye 10 000 moléculas de ozono, antes de ser neutralizado al formar algún compuesto químico estable.

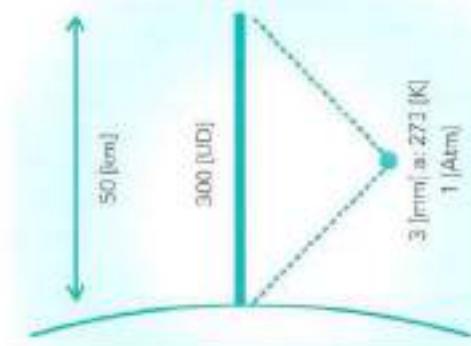
**Figura 10.12**

Reacciones de destrucción de ozono estratosférico.

Otras especies químicas activas que también participan en ciclos catalíticos destructores del ozono en la estratosfera, son los radicales OH y los radicales NO, que se forman por la acción de la radiación solar, con vapor de agua y ácido nítrico, respectivamente.

### 10.2.5 Evidencias del adelgazamiento de la capa de ozono

El ozono es un gas extremadamente raro en la atmósfera, ya que existe en una relación de tres moléculas de ozono por cada 10 millones de moléculas de aire. Para expresar su concentración se han introducido las Unidades Dobson (UD). Mil Unidades Dobson equivalen a una columna uniforme de ozono de un centímetro de espesor, en condiciones normales de presión (1 atmósfera) y temperatura (273 K). En la figura 10.13 se ilustra que 300 UD equivalen a 3 milímetros.



**Figura 10.13**  
Equivalencia de Unidades Dobson (UD) en milímetros.

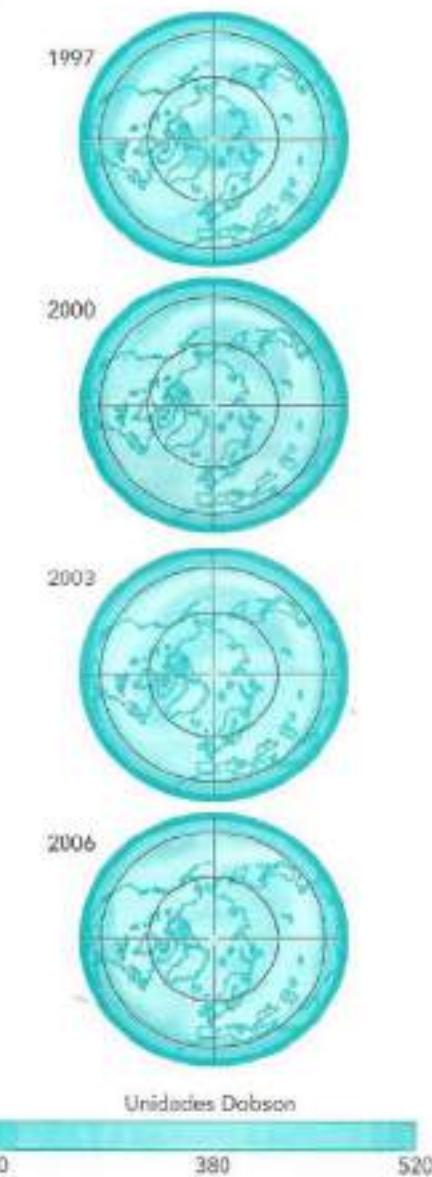
Para determinar si realmente hay una disminución o adelgazamiento de la capa de ozono en la estratosfera es necesario definir primero cuánto ozono (medido en Unidades Dobson) se considera como normal. De acuerdo con mediciones realizadas en diferentes épocas del año, en el continente sudamericano se ha aceptado que, en promedio, una columna de ozono inferior a las 220 UD constituye un “agujero de ozono”.

#### Visualizaciones

Las mediciones pueden ser realizadas tanto por estaciones terrestres, como por satélites. A partir de los datos del satélite se pueden elaborar mapas de la columna de ozono estratosférico; éstos permiten una visualización global, que es muy útil cuando se estudia la dinámica del fenómeno.

Los mapas presentan los valores del ozono total, ya sea en una visión expandida del globo o sobre cada uno de los hemisferios. A los valores de concentración de ozono, dadas en Unidades Dobson (UD), se les asignan distintos colores para mejorar su visualización. Los colores van del rojo, para concentraciones superiores a los 500 UD, al violeta, para concentraciones iguales o menores que 100 UD.

En la figura 10.14 se muestra la visualización de la concentración de ozono en el hemisferio sur en octubre de 1983 y octubre de 1993. Aquí se pone de manifiesto la evolución del agujero de ozono en diez años. En general, el descenso de los niveles de ozono es alrededor de 3% cada diez años. La disminución de ozono fue mayor en la década de 1980 que en la de 1970.



**Figura 10.14**

Visualización del contenido de ozono en el hemisferio sur en octubre de 1997, 2000, 2003 y 2006. Fuente: WMO (2007), *Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 50. Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006*. Para apreciar mejor la figura puedes revisar la fuente original.

### 10.2.6 Estado actual de la capa de ozono

La reducción del contenido de ozono en la estratosfera está presente, en cierto grado, en todas latitudes del planeta, excepto sobre los trópicos. La reducción del ozono estratosférico estacional llega a su máximo sobre los polos, especialmente sobre la Antártida. Las áreas habitadas más afectadas por el incremento resultante en radiación ultravioleta (UV-B) incluyen algunas regiones de Chile, Argentina, Australia y Nueva Zelanda.

#### 10.2.6.1 EN LA ANTÁRTIDA

El área promedio cubierta por el agujero de ozono (un área de reducción de ozono menor a 220 Unidades Dobson) se ha incrementado notablemente en el hemisferio sur, aunque este incremento fue más rápido durante la década de 1980, antes que el Protocolo de Montreal entrase en vigor. La figura 10.15 muestra la variación del área (en millones de km<sup>2</sup>) bajo el agujero del ozono en la Antártida de 1980 a 2006. En la actualidad aún no es posible afirmar que ya se alcanzó el valor máximo.

Las extensiones más grandes de agujeros de ozono se produjeron en los años 2000, 2003 y 2006. El 25 de septiembre del año 2006 se extendió hasta 29 millones de kilómetros cuadrados, y la pérdida total de ozono ha sido una de las máximas registradas (WMO, 2006b).

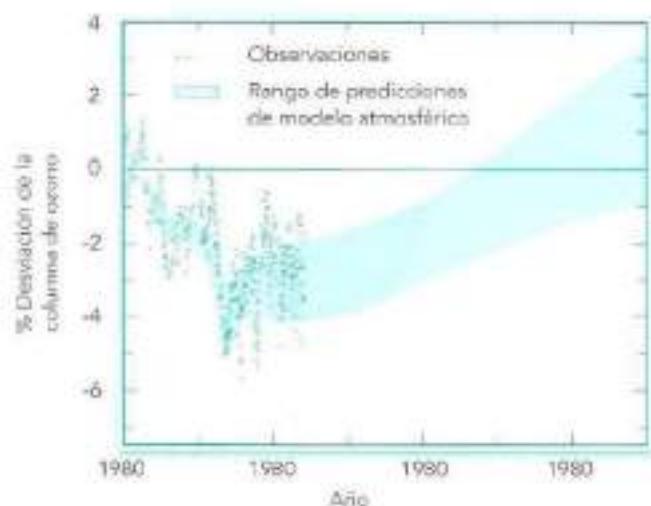
En la figura 10.16 se muestran resultados de modelos químicos del clima que predicen que la recuperación del ozono en la Antártida a los niveles anteriores a 1980 podría conseguirse aproximadamente en los años 2060-2075 (WMO y PNUMA, 2006).

#### 10.2.6.2 EN EL ÁRTICO

La atmósfera sobre el Ártico no es tan fría como sobre el Antártico, por lo que la reducción del ozono en el hemisferio norte no es tan severa. La reducción del ozono durante el invierno ártico y durante la primavera es altamente variable, debido a los cambios en las condiciones meteorológicas de la estratosfera de un invierno a otro, como ocurrió en el verano de 2005, cuando se registraron bajos valores de ozono sobre Europa central. No obstante que es poco probable que en el futuro se forme un agujero de ozono en el Ártico tan grande como el del Antártico, la población en riesgo debido a la reducción del ozono estratosférico en el Ártico es mucho mayor a la del Antártico (WMO y PNUMA, 2006).



**Figura 10.15**  
Evolución en el tiempo del tamaño del agujero de ozono en la Antártida.



**Figura 10.16**  
Observaciones y predicciones del rango de variación de la columna de ozono relativa a 1980. Fuente: IPCC, WGI, 2007.

### 10.2.7 Gestiones para la protección del ozono estratosférico

El Protocolo de Montreal fue una reacción de la comunidad internacional ante la amenaza de la degradación de la capa de ozono. Esto llevó a la prohibición de la producción y del consumo de CFC, así como de otras sustancias agotadoras del ozono. El protocolo inicialmente solicitaba la reducción de 50% en la fabricación de CFC para finales del siglo XX. Posteriormente fue reforzado a través de las Enmiendas de Londres (1990), Copenhague (1992), Montreal (1997) y Pekín (1999).

En la actualidad, el Protocolo de Montreal se considera como el más efectivo de los acuerdos multilaterales sobre el ambiente. Además de los CFC, en el protocolo se restringe la fabricación de sustancias como halones, tetracloruro de carbono, metilcloroformo, hidrocloroduerocarbono (HCFC), bromuro de metilo y bromoclorometano. Esta última sustancia fue añadida a los anexos de control del protocolo en 1999, a través de la Enmienda de Pekín.

Las observaciones de la troposfera confirman una disminución en los niveles de sustancias reductoras del ozono a lo largo de los últimos años. Los cambios en la estratosfera no se han hecho tan notorios; sin embargo, los niveles del cloro en la misma están descendiendo. No se ha observado aún una disminución en la concentración de bromo en la estratosfera (WMO y PNUMA, 2006).

La mayoría de las SAO, incluyendo todas las mencionadas en el texto original del protocolo, se eliminaron en los países industrializados desde 1995. Como aplicación concreta del principio de responsabilidad común pero diferenciada, el protocolo acordó con los países en desarrollo un periodo de gracia de diez años, y un mecanismo financiero, el Fondo Multilateral para la Aplicación del Protocolo de Montreal, que les permitió enfrentar los costos de eliminar las SAO.

Asimismo, está claro que la reducción continua en la producción y uso de las SAO, siguiendo las disposiciones del Protocolo de Montreal, es esencial para la recuperación de la capa de ozono. Además, estas medidas también reducirán la contribución de las SAO al cambio climático. Sin embargo, aún falta conocimiento detallado sobre las interrelaciones entre el cambio climático y la reducción del ozono, este tema se abordará en el capítulo 11.

## 10.3 Disturbios naturales

Es importante señalar que la naturaleza también puede convertirse en una amenaza ambiental y generar siniestros de origen natural. Como ejemplos podemos citar los efectos devastadores de las tormentas, huracanes, trombas y tornados. Además se deben considerar fenómenos naturales, que si bien se han presentado desde la aparición de la vida sobre la Tierra, la civilización juega en la actualidad un papel provocador, como es el caso de los incendios forestales.

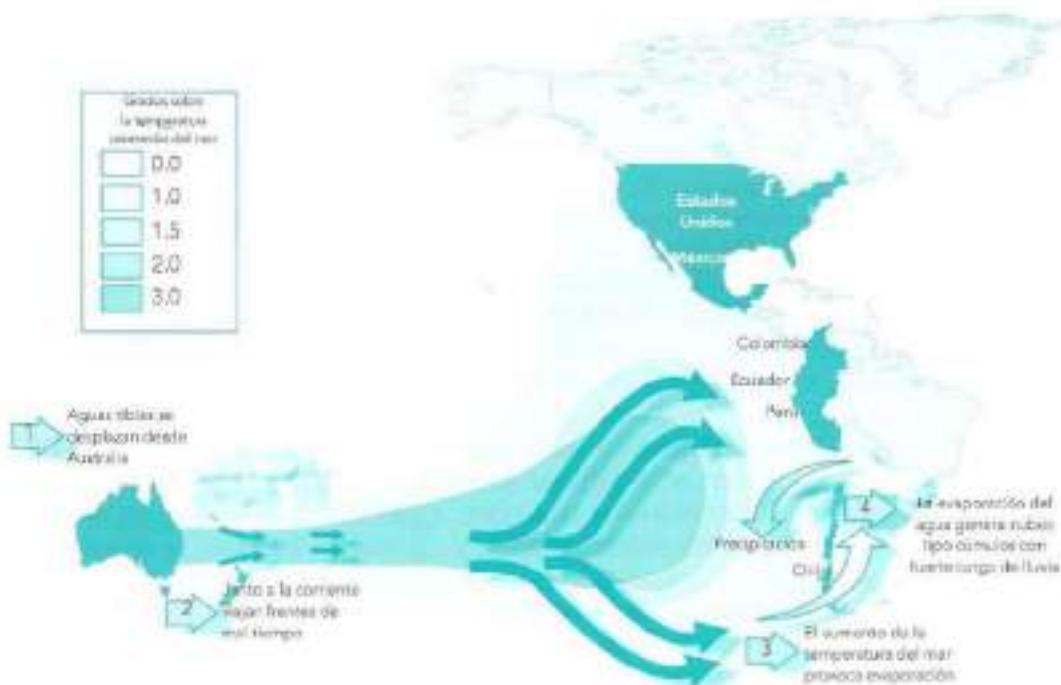
Otras formas de actividad natural de gran impacto en el ambiente han sido las erupciones volcánicas, que aun en nuestros días aparecen con frecuencia ocasionando problemas graves de contaminación. A través de la historia se han presentado otros fenómenos naturales menos frecuentes, pero también con efectos fatales, como el ocurrido en 1984 en el lago Nyos de Nigeria, en donde emanaciones de gases subterráneos ocasionaron cuantiosas pérdidas humanas y materiales.

Un fenómeno de origen natural que presenta cierta periodicidad es "El Niño", que aparentemente tiene su origen en las fluctuaciones de presión en la superficie del océano Pacífico ecuatorial. Mientras que el impacto al ambiente de este fenómeno meteorológico-oceanográfico puede ser benéfico para algunas regiones del planeta, provoca condiciones caóticas en el clima en otras regiones.

### 10.3.1 FENÓMENO DE EL NIÑO

El Niño es un fenómeno climático erráticamente cíclico, que se manifiesta por la invasión de aguas cálidas (30 a 32 °C) desde Ecuador hacia las costas de Perú y Chile, cuyas aguas, en estado normal, poseen bajas temperaturas (13 a 15 °C). La superposición de las aguas cálidas provoca un calentamiento en la superficie del océano, la temperatura del agua superficial es de 2 a 4 °C sobre el

normal. La figura 10.17 muestra el perfil de temperatura del agua del océano, así como los efectos meteorológicos en la región.



**Figura 10.17**

Efectos de El Niño en la meteorología.

Este fenómeno cambia la meteorología local, ya que desencadena precipitaciones rápidas y torrenciales causando avalanchas en la alta montaña e inundaciones. Además, por las interacciones océano-atmósfera, provoca estragos a escala mundial, las principales regiones afectadas son: América del Sur, Indonesia y Australia. Además, dado que las aguas cálidas son pobres en oxígeno, los eventos de El Niño causan trastornos biológicos en las especies marinas, así como muerte de huevos, larvas y alevines o migraciones de éstos, ya sea hacia aguas más profundas o más alejadas horizontalmente.

El calentamiento de la superficie del océano observado durante los fenómenos de El Niño tiene una duración promedio de un año. Sin embargo, se han registrado fenómenos muy cortos, con duración de siete meses en 1946, y eventos prolongados de hasta 28 meses en 1939-1942. El calentamiento del océano relacionado con el fenómeno de El Niño es recurrente, aunque no periódico y, en términos generales, se presenta en ciclos de dos a siete años, alterando la ecología local y regional. Además, ese calentamiento origina perturbaciones en la atmósfera que afectan el comportamiento climático en todo el globo terrestre.

### 10.3.2 Origen del fenómeno

El origen del fenómeno "El Niño" está relacionado con un debilitamiento de los vientos alisios, el cual es ocasionado por lo que se conoce como "Oscilación del Sur". Éste es un término científico que se refiere a una fluctuación de la presión, en el nivel de superficie, entre el Pacífico ecuatorial este y la región de Indonesia-Australia (Pacífico ecuatorial oeste). Específicamente, la Oscilación del Sur consiste en que, cuando la presión aumenta en el este, normalmente disminuye en el oeste, y viceversa.

Por muchos años el fenómeno El Niño y la Oscilación del Sur fueron considerados como fenómenos independientes, hasta que en 1960 se descubrió que eran manifestaciones de un mismo fenómeno; a partir de ahí tomó la denominación El Niño-Oscilación Sur (ENSO, por sus siglas en inglés). Mientras que El Niño se refiere a la parte oceanográfica, la Oscilación del Sur se refiere al fenómeno meteorológico global.

El escenario de génesis y desarrollo de los ENSO es el océano y la atmósfera del Pacífico ecuatorial. Allí es donde se produce una interacción de un intercambio de masa y energía entre la atmósfera y el océano, las alteraciones que ocurren durante un ENSO influyen en ambas partes. En la tabla 10.5 se muestran los parámetros alterados durante un ENSO.

**Tabla 10.5**

Escenarios atmosféricos y oceánicos durante un ENSO.

Escenario atmosférico: Pacífico ecuatorial y global	Escenario oceánico: océano Pacífico ecuatorial
Presión atmosférica.	Temperatura superficial.
Vientos de superficie.	Temperatura subsuperficial.
Vientos de altura.	Termoclina.
Humedad.	Nivel de superficie del mar.
Nubosidad.	Corrientes marinas.
Precipitaciones.	Ondas.

Para comprender el fenómeno “El Niño”, primero se deberán considerar las condiciones meteorológicas normales, es decir las condiciones “No Niño”. A continuación se describen los escenarios Niño y No Niño.

#### 10.3.2.1 CONDICIONES METEOROLÓGICAS NORMALES “No Niño”

En condiciones normales los vientos alisios soplan del noreste y del sudeste hacia el oeste en el Pacífico tropical (de las Galápagos hacia Indonesia), creando una corriente oceánica superficial de este a oeste, a lo largo del ecuador, como se observa en la figura 10.18.

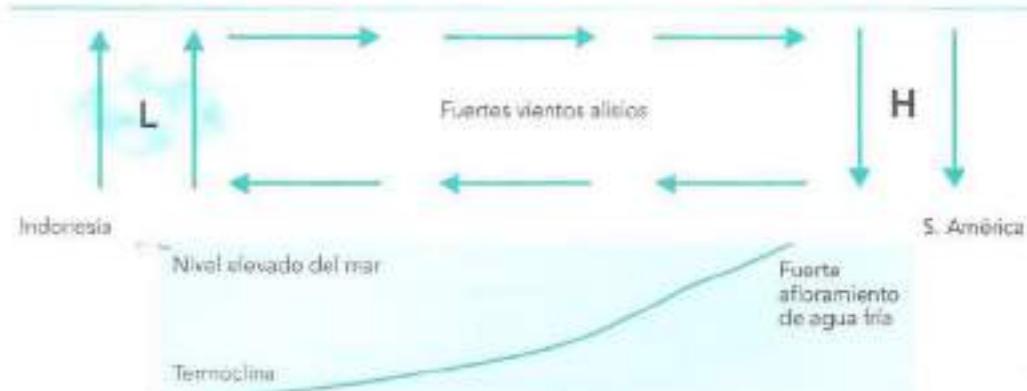
En estas condiciones, el nivel del mar es casi medio metro más alto en Indonesia que en las costas de Perú. Además, la temperatura de la superficie del mar es cerca de 8 °C más alta en la región occidental, con respecto a la oriental.

El calor del agua en el Pacífico occidental propicia además que la termoclina sea mucho más profunda en esa región y que se intensifiquen las lluvias convectivas, bombeando humedad y energía hacia la atmósfera. La figura 10.19 muestra la situación.



**Figura 10.18**

Dirección de los vientos alisios del sudeste.

**Figura 10.19**

Condiciones climáticas normales ("No Niño").

Como resultado, los vientos alisios arrastran las aguas superficiales del ecuador oriental hacia el extremo occidental en las cercanías de Australia e Indonesia, lo que hace que afloren aguas frías en las costas peruanas, las que, a la vez, son transportadas por la corriente de Humboldt y llevadas más allá de las Islas Galápagos.

De esta forma, las condiciones "No Niño" en las costas del Pacífico de Sudamérica son: bajas temperaturas, aguas frías, ricas en nutrientes y adecuadas para mantener ecosistemas marinos y, por ende, a la industria pesquera.

#### 10.3.2.2 CONDICIÓN "EL NIÑO"

Cuando se presenta el fenómeno "El Niño", primero el nivel del mar y la termoclina se nivelan hasta hacerse casi horizontales. Luego, el nivel del mar aumenta en la costa sudamericana y la termoclina se profundiza, como respuesta al debilitamiento de los vientos alisios. Bajo estas condiciones, los vientos del oeste desplazan a la corriente de agua cálida hacia el este sobre el Pacífico central.

La convección atmosférica y la zona de tormentas se mueven ahora hacia las costas de Sudamérica junto con la corriente de agua cálida. Conforme la termoclina se profundiza, el afloramiento de aguas frías se reduce en las costas de Perú y Chile, finalmente, los nutrientes y los peces desaparecen.

El calentamiento del mar propicia, además, un aumento en la incidencia de las precipitaciones. El desplazamiento de la fuente de calor atmosférico hacia el Pacífico oriental genera grandes cambios en la circulación atmosférica global, altera incluso el clima de regiones muy alejadas del Pacífico tropical. Por ejemplo, se ha observado que cuando en las costas sudamericanas la temperatura del mar aumenta en un grado sobre su promedio normal, el año es normalmente lluvioso.

La figura 10.20 muestra la situación meteorológica en las costas de Sudamérica, en condiciones del fenómeno "El Niño".

### ACTIVIDAD 10.8

Investiga cuándo se llevó a cabo el último evento de "El Niño" y cuáles fueron los principales cambios en temperatura y nivel del agua en la región oriental del océano Pacífico tropical. Elabora un informe en forma de gráficas y tablas en Excel sobre los resultados de tu investigación, guarda tu archivo para el foro de discusión de la actividad 10.10.



Figura 10.20

Condiciones climáticas anormales ('El Niño').

Como se mencionó antes, un evento de ENSO se caracteriza, entre otras cosas, por la temperatura superficial del mar en las costas de Sudamérica, que es más cálida de lo normal. En la figura 10.10.20 se muestran las temperaturas registradas en el océano Pacífico durante los eventos de 'El Niño' de 1950 a 2003. Como se puede observar, los eventos de 'El Niño', de 1982-1983 y 1997-1998 han sido los más intensos del siglo XX, con un aumento de temperatura de más de 4 °C.

### 10.3.3 Eventos fríos de ENSO (La Niña)

En las secciones anteriores se describió lo que ocurre en condiciones normales y durante un evento de 'El Niño'. Pues bien, se ha demostrado que después de un 'Niño', normalmente las temperaturas en el Pacífico ecuatorial alcanzan valores de 1 a 2 °C por debajo de lo normal. Este fenómeno es lo opuesto de lo que ocurre durante 'El Niño' y se produce como un 'rebote' de la misma onda que transporta las aguas cálidas durante 'El Niño'. Esta onda se conoce como onda Kelvin y es creada por los vientos que soplan sobre la superficie del océano Pacífico desde el occidente a lo largo del ecuador.

A este efecto de rebote se le conoce como un evento frío de ENSO, aunque más recientemente se le bautizó como 'La Niña'. El nombre es nuevo para un fenómeno ya existente, que había pasado inadvertido como tal. En el norte de Perú se le identifica como 'El Viejo' o simplemente como un año seco.

Cuando se presenta 'La Niña' los vientos alisios se fortalecen, reduciendo la cantidad de agua caliente y enfriando el Pacífico tropical. Por otro lado, el clima se hace más seco y frío en las costas de Sudamérica. La convección atmosférica se dirige hacia el borde occidental de la cuenca y las lluvias son abundantes sobre Indonesia. Finalmente, las aguas frías afluían con mayor fuerza en la costa oeste de Sudamérica y los peces son más abundantes.

### ACTIVIDAD 10.9

Investiga cuándo se llevó a cabo el último evento de 'La Niña' y en qué región se registraron los principales cambios meteorológicos. Elabora un informe en forma de tablas sobre los resultados de tu investigación, elabora conclusiones al respecto y guarda tu archivo para tu participación en el foro de discusión de la actividad 10.10.

### **10.3.4 IMPACTOS DE LOS ENSO**

Los eventos ENSO se generan en el océano Pacífico ecuatorial; sin embargo, sus impactos tienen alcance global, debido a lo que se conoce como teleconexiones. Una teleconexión es la relación que hay entre anomalías del clima en dos lugares distantes de la Tierra, por ejemplo:

- La costa occidental de Sudamérica (lluvias) y Australia (sequía).
- La costa norte de Perú (lluvias) y la sierra sur de Perú (sequía).
- Un evento ENSO y el caudal del río Nilo.
- Un evento ENSO y sequías en el nororiente de Brasil.

Debido a estas teleconexiones hay patrones de alteraciones oceanográficas y meteorológicas globales que tienden a acompañar a los ENSO.

#### **10.3.4.1 ALTERACIONES OCEANOGRÁFICAS**

Las alteraciones oceanográficas más significativas en las regiones costera y oceánica del Pacífico oriental son:

- Calentamiento de la temperatura superficial del mar, en las costas peruanas la temperatura del mar sube entre uno y tres grados Celsius.
- Aumento del nivel medio del mar de casi 30 centímetros sobre lo normal.
- Una profundización de la termoclina de hasta 300 metros bajo su nivel normal.

Estas anomalías provocan el desequilibrio en los ecosistemas marinos y alteran por completo el desarrollo normal de la vida acuática en los sectores costeros.

Con respecto a las manifestaciones que genera "El Niño" sobre el clima continental, hay numerosas investigaciones que demuestran una alta correlación entre los eventos cálidos y las lluvias de los meses de invierno, principalmente en países sudamericanos como Perú, Ecuador y Chile. En algunas ocasiones los eventos son tan extremadamente lluviosos, que superan en dos o más veces el valor medio anual.

#### **10.3.4.2 ALTERACIONES METEOROLÓGICAS**

Un componente climático fuertemente asociado al evento "El Niño" es la temperatura del aire en las regiones afectadas. Las anomalías alcanzan casi los cuatro grados Celsius sobre condiciones normales, dado que durante los meses de verano se registran los mayores calentamientos del aire en la superficie.

Otro componente climático es la variación que experimenta la presión atmosférica en el Pacífico oriental; en condiciones normales hay un anticiclón subtropical que "frena" los sistemas frontales que provocan lluvias. Cuando se presenta "El Niño", el anticiclón sufre un debilitamiento. Esta condición favorece una mayor frecuencia de trayectorias frontales hacia la porción continental. Esto contribuye a un aumento de las precipitaciones sobre el promedio climatológico.

En la siguiente sección se describen acciones de monitoreo a nivel internacional que contribuyen a la prevención.

### **ACTIVIDAD 10.10**

Elabora una investigación sobre los impactos de los eventos "El Niño" y "La Niña" sobre el clima, los ecosistemas marino y terrestre, infraestructuras y sector salud en México. Utilizando esta información y la obtenida en las actividades 10.8 y 10.9 participa en el foro de discusión abierto por el maestro en la plataforma NEXUS. Cada alumno deberá tener al menos cinco entradas al foro. Entrega un informe de cinco cuartillas de tu participación en el foro cuando el maestro lo solicite.

### 10.3.5 Pronósticos

Desde siempre el ser humano ha intentado pronosticar las condiciones meteorológicas futuras, sobre todo cuando las condiciones del momento son adversas, ya sea por sequías o lluvias prolongadas. En este sentido, se han identificado expresiones matemáticas que representan aspectos clave del océano, la atmósfera y sus interacciones. Los modelos del ENSO tienen como propósito:

1. La proyección del inicio de los futuros eventos del ENSO.
2. El intento de comprender la forma en que interactúan la atmósfera y el océano para producir un ENSO.
3. Identificar las teleconexiones en las regiones tropicales y extratropicales.

En la actualidad hay una comprensión general de la manera en que la atmósfera y los océanos actúan acoplados e interactúan para conducir un evento de "El Niño"; además, los científicos tienen a su alcance un acceso ilimitado a fuentes de información para establecer las condiciones que imperan en las diferentes masas de agua. La tabla 10.6 muestra las diferentes plataformas de medición y monitoreo.

**Tabla 10.6**

Plataformas de monitoreo del ENSO.

Diferentes formas	Aviones	Satélites
Aviones	Islas	Globos
Satélites	Barcos	Cometas
	Boyas	Paracaídas

Los satélites están equipados con altímetros de radar, un ejemplo de ellos es el Topex/Poseidón, que tiene la sensibilidad suficiente para registrar fluctuaciones del nivel del mar de sólo unos pocos centímetros cada diez días.

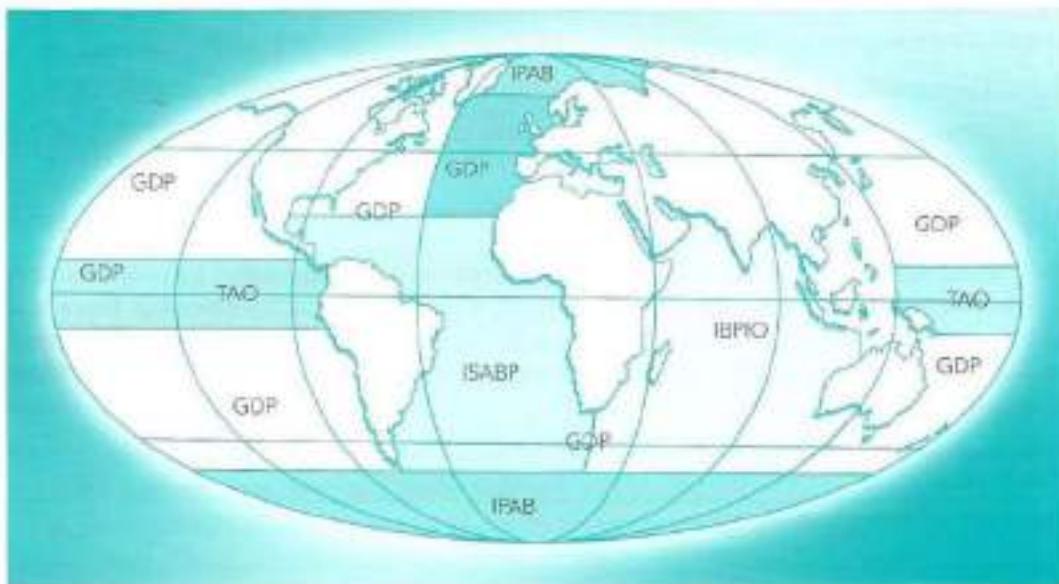
La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA, por sus siglas en inglés) creó la red denominada Océano-Atmósfera Tropical (TOGA, por sus siglas en inglés), que consta de 70 boyas ancladas, desplegadas por todo el Pacífico ecuatorial. Estas boyas, cuya instalación finalizó en 1994, están dotadas de equipos que miden y transmiten diariamente a los satélites en órbita:

1. Características de los vientos.
2. Presión y temperatura atmosférica.
3. Humedad relativa.
4. Salinidad y temperatura del agua hasta una profundidad de 500 metros.

En la figura 10.21 se muestra la ubicación de los diferentes sistemas de monitoreo instalados a nivel mundial. Como se puede observar, también hay redes de observación para los océanos Atlántico e Índico ecuatoriales, dado que parte de la variabilidad entre los diferentes episodios de "El Niño" y sus efectos regionales puede atribuirse a la actividad en estas cuencas oceánicas; en consecuencia era evidente la necesidad de mejorar la disponibilidad de información en estas áreas.

A pesar de toda la información disponible, aún es imposible efectuar pronósticos válidos con varios días de anticipación sobre los eventos ENSO debido, principalmente, a los vientos erráticos y a las turbulencias, que siempre indican que el comportamiento de la atmósfera es impredecible. Sin embargo, la temperatura superficial del mar controla en una escala de tiempo mayor el comportamiento

de la atmósfera. Y, dado que los océanos tienen una memoria larga, debido a su gran masa y capacidad térmica, el conocimiento del comportamiento de la superficie del mar permite predecir con alto nivel de confianza la evolución de las condiciones de "El Niño" con algunos meses de antelación.



**Figura 10.21**

Distribución mundial de los grupos de acción regionales del Panel de Cooperación de Datos de Boyas (DBCP).  
Fuente: [www.dbcp.noaa.gov/isabp](http://www.dbcp.noaa.gov/isabp)

Descripción de los grupos participantes:

EGOS: Grupo Europeo de Estaciones Oceánicas, 1987.	IPAB: Programa Internacional de Boyas del Ártico, 1991.
IPAB: Programa Internacional de Boyas Antárticas, 1994.	ISABP: Programa Internacional de Boyas del Atlántico Sur, 1994.
TAO: Conjunto de Boyas Fijas del Programa Océano y Atmósfera de los Trópicos, 1998.	GDP: Programa Global de Boyas a la Deriva, 1996.

### ACTIVIDAD 10.11

Investiga la ubicación de las cuatro regiones del Pacífico ecuatorial que requieren especial interés respecto a las observaciones y monitoreo de los procesos de "El Niño". Elabora una presentación en PowerPoint con gráficas de la información recubrida, participa y expón tus resultados cuando el maestro lo indique.

## Capítulo 11. Cambio climático y su efecto sobre la biodiversidad

*Si supiera que el mundo se acaba mañana, yo, hoy todavía, plantaría un árbol.*

Martin Luther King

La expresión "cambio climático" está íntimamente asociada a los cambios que ocurren en las condiciones geológicas, oceanográficas, atmosféricas y ecológicas del planeta a través del tiempo. A lo

largo de los 4500 millones de años de existencia de la Tierra, estos cambios se han dado de manera natural, como producto de la evolución del planeta. Sin embargo, a partir del siglo XVIII, al inicio de la actividad industrial, se han observado cambios sustanciales en los diferentes ecosistemas, que ponen en evidencia la influencia del ser humano.

Como consecuencia del incremento de la concentración de los gases de efecto invernadero, se ha observado en los últimos 50 años un incremento pronunciado en la temperatura promedio del planeta, tanto a nivel de la superficie terrestre, como a lo largo del perfil de altura de la atmósfera. A esta condición de incremento de temperatura se le llama calentamiento global.

Además, hay numerosos estudios realizados mediante simulaciones que tratan de dar información sobre la evolución futura del clima en la Tierra y prevén un mayor incremento de las temperaturas. Dado que la mayor parte de las especies tienen asociado un rango térmico, de humedad y de radiación, relacionado con su fenología y fisiología, se va a modificar el hábitat para numerosas especies, aumentando o disminuyendo su rango de distribución, como consecuencia de los fenómenos asociados al cambio climático.

En este capítulo se analizan las causas naturales y antropogénicas del cambio climático, así como sus efectos sobre la biodiversidad, indicados por modificaciones en la estructura y configuración de los ecosistemas.

## 11.1 El clima y los cambios en el sistema climático

El clima es el conjunto de condiciones de la atmósfera que caracterizan a una región. Entre las variables climáticas que definen el clima se incluyen:

1. La temperatura,
2. La precipitación,
3. La humedad,
4. La luminosidad solar y
5. Los vientos,

Estas variables están determinadas por la energía que proviene del Sol y por las propiedades de la Tierra y su atmósfera, es decir, la reflexión, absorción y emisión de energía dentro de la atmósfera y en la superficie.

Se llama **cambio climático** a la modificación del clima con respecto al historial climático a una escala global o regional. Tales cambios se producen a muy diversas escalas de tiempo y son debidos a causas naturales, aunque en los últimos siglos se atribuyen también a la acción de las actividades humanas. El término se emplea normalmente, de forma poco apropiada, para hacer referencia solamente a los cambios climáticos que ocurren en el presente, y se usa como sinónimo de **calentamiento global**.

Este significado difiere del utilizado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, que usa el término **cambio climático** sólo para referirse al cambio originado por actividades humanas:

*Por "cambio climático" se entiende un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables (UNFCCC, Artículo 1, Párrafo 2, 1992).*

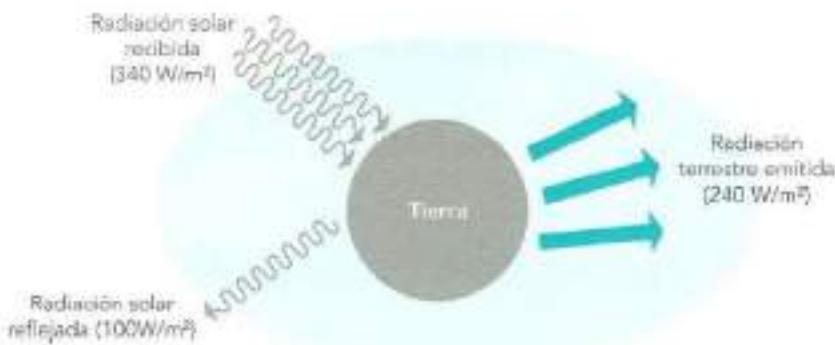
De esta definición se desprende que a los cambios en el clima producidos por causas naturales se les denomina **variabilidad natural del clima**.

Además del calentamiento global, el cambio climático implica cambios en otras variables, como en los patrones de precipitaciones globales, la cobertura de nubes y todos los demás elementos del sistema atmosférico.

La complejidad del problema y sus múltiples interacciones hacen que la única manera de evaluar estos cambios sea mediante el uso de modelos computacionales que intentan simular la física de la atmósfera y de los océanos; sin embargo, tienen una precisión muy limitada debido al desconocimiento actual del funcionamiento de la atmósfera.

### 11.1.1 Factores que determinan los cambios climáticos

El clima terrestre medio mundial se determina por la energía que proviene del Sol y por las propiedades de la Tierra y su atmósfera; es decir, la reflexión, absorción y emisión de energía dentro de la atmósfera y en la superficie, como se muestra en la figura 11.1.



**Figura 11.1**

Balance radiativo del sistema terrestre.

Existen diversos factores, tanto naturales como antropogénicos, que pueden modificar el balance radiativo del sistema terrestre, lo cual se traduce en cambios en el clima. Estos factores se pueden clasificar en externos e internos a la Tierra, como se muestra en la tabla 11.1 y en la figura 11.2.

**Tabla 11.1**

Factores que determinan los cambios climáticos.

FACTORES EXTERNOS
Variaciones en la radiación solar. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Brillo solar.</li> <li>• Campo magnético solar.</li> </ul>
Variaciones en los parámetros de la órbita terrestre. <ul style="list-style-type: none"> <li>• Precesión de los equinoccios.</li> <li>• Excentricidad orbital.</li> <li>• Inclinación del eje terrestre.</li> </ul>
Meteoritos
FACTORES INTERNOS
Cambios en la composición de la atmósfera. <ul style="list-style-type: none"> <li>• De origen natural: gases de efecto invernadero y vulcanismo.</li> <li>• De origen antropogénico: gases de efecto invernadero y aerosoles.</li> </ul>
Cambios en la superficie terrestre. <ul style="list-style-type: none"> <li>• De origen natural: desertificación y sequías.</li> <li>• De origen antropogénico: cambios de uso de suelo, deforestación.</li> </ul>
Deriva continental.
Corrientes oceánicas.

Los factores externos también reciben el nombre de forzamientos, dado que normalmente actúan de forma sistemática sobre el clima, aunque también los hay aleatorios, como es el caso de los impactos de meteoritos.

Los factores internos normalmente son no sistemáticos o caóticos, en este grupo se deben tener en cuenta además, aquellos otros factores que actúan en respuesta a los cambios, de esta forma se introducen nuevas variables al problema, que hacen que al clima se le considere un sistema complejo.

La influencia antropogénica sobre el clima normalmente se considera como un forzamiento interno, ya que el ser humano pertenece a la propia biosfera terrestre, aunque también es cierto que su influencia es más sistemática que caótica, de tal forma que también se le puede considerar como forzamiento externo.

Según el tipo de factores que dominen, la variación del clima será sistemática o caótica. En esto depende mucho la escala de tiempo en la que se observe la variación ya que pueden quedar patrones regulares de baja frecuencia ocultos en variaciones caóticas de alta frecuencia y viceversa.

#### 11.1.1.1 FACTORES EXTERNOS

##### 11.1.1.1.1 Variaciones en la radiación solar

Es evidente que la temperatura media de la Tierra depende en gran medida del flujo de radiación solar que recibe. En este sentido, se podría inferir que la radiación solar influye de la misma forma sobre el clima. Sin embargo, esto no es totalmente correcto, ya que el Sol es una estrella que mantiene un flujo de radiación casi constante en el tiempo. Entonces, el Sol aporta la energía necesaria a la atmósfera para que se produzcan los fenómenos atmosféricos; sin embargo, ese aporte de energía apenas si varía en el tiempo, por lo que no es un factor importante en variaciones del clima a corto plazo.

A muy largo plazo el Sol sí influye en el clima, ya que se ha encontrado que el aumento de 1% en el brillo del Sol provocaría un incremento de uno o dos grados en la temperatura. En este sentido, se sabe que el Sol aumenta su luminosidad a razón de un 10% cada 1 000 millones de años. Debido a este fenómeno, el brillo del Sol hace 3 800 millones de años, cuando surgió el nacimiento de la vida en la Tierra, era un 70% del actual.

El continuo incremento del brillo solar persiste desde que se formó la estrella, pero la Tierra ha sido capaz de adaptarse a esos cambios, hasta ahora, ya que son lo suficientemente lentos como para que no desequilibren el sistema. Sin embargo, dentro de unos 1 000 millones de años el brillo solar romperá el ciclo atmosférico y desencadenará un efecto invernadero descontrolado que quizás convierta a la Tierra en un nuevo Venus.

Además de las variaciones en la luminosidad solar, es necesario tener en cuenta las variaciones en el campo magnético solar y, por lo tanto, en las emisiones de viento solar, ya que las partículas provenientes del Sol podrían ejercer una influencia sobre otras capas de la atmósfera además de la ionosfera, dificultando la formación de nubes, y con ello permitiendo que una mayor cantidad de radiación solar alcance la superficie terrestre al no ser reflejada por las nubes.

Recientemente se ha relacionado la aparición de manchas solares con las variaciones en el campo magnético solar, siendo aquéllas una consecuencia más de la complejidad de los procesos que tienen lugar en el interior del Sol, y se presentan con oscilaciones periódicas en ciclos de aproximadamente 11 años, como se observa en la figura 11.3.

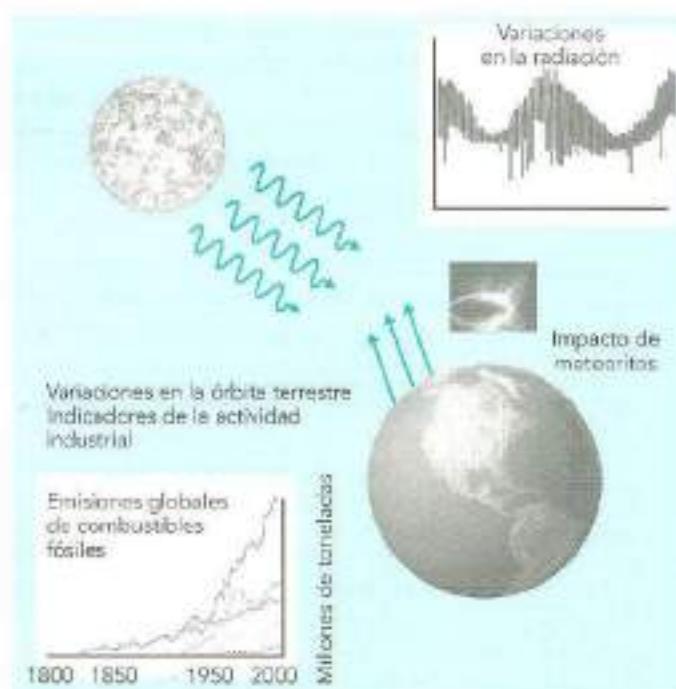


Figura 11.2

Factores externos que provocan los cambios climáticos de la Tierra. La actividad industrial y las variaciones de la actividad solar se encuentran entre los más importantes.

**Figura 11.3**

Variaciones de la luminosidad solar a lo largo del ciclo de las manchas solares.

#### *11.1.1.1.2 Variaciones en los parámetros de la órbita terrestre*

La órbita terrestre oscila periódicamente, haciendo que la cantidad media de radiación que recibe cada hemisferio fluctúe a lo largo del tiempo, y estas variaciones provocan las pulsaciones glaciares a modo de veranos e inviernos de largo periodo. Son los llamados períodos glaciares e interglaciares.

Hay tres factores que contribuyen a modificar las características orbitales haciendo que la insolución media en uno y otro hemisferio varíe aunque no lo haga el flujo de radiación global.

- La precesión de los equinoccios,
- La excentricidad orbital y
- La oblicuidad de la órbita o inclinación del eje terrestre.

La excentricidad, la inclinación axial y la precesión de la órbita de la Tierra varían en el transcurso del tiempo produciendo las glacaciones del Cuaternario cada 100 000 años. El eje de la Tierra completa su ciclo de precesión cada 25 800 años. Al mismo tiempo el eje mayor de la órbita de la Tierra gira, en unos 22 000 años.

Además, la inclinación del eje de la Tierra cambia entre 21.5 grados a 24.5 grados en un ciclo de 41 000 años. El eje de la Tierra tiene ahora una inclinación de 23.5° respecto a la normal al plano de la eclíptica.

#### *11.1.1.1.3 Impactos de meteoritos*

En raras ocasiones ocurren eventos de tipo catastrófico que cambian la faz de la Tierra para siempre. El último de tales acontecimientos catastróficos sucedió hace 65 millones de años. Se trata de los impactos de meteoritos de gran tamaño. Es indudable que tales fenómenos pueden provocar un efecto devastador sobre el clima al liberar a la atmósfera grandes cantidades de CO<sub>2</sub>, polvo y cenizas debido a la quema de grandes extensiones boscosas.

De la misma forma, tales sucesos podrían intensificar la actividad volcánica en ciertas regiones. En el suceso de Chichulub, en Yucatán, México, hay quien relaciona el período de fuertes erupciones en volcanes de la India con el hecho de que este continente se sitúa cerca de las antípodas del cráter de impacto. Tras un impacto suficientemente poderoso la atmósfera cambiaría rápidamente, al igual que la actividad geológica del planeta e, incluso, sus características orbitales.

#### *11.1.1.2 FACTORES INTERNOS*

##### *11.1.1.2.1 Cambios en la composición de la atmósfera*

La atmósfera primitiva, cuya composición era parecida a la nebulosa inicial, perdió sus componentes más ligeros, el hidrógeno diatómico (H<sub>2</sub>) y el helio (He), que fueron sustituidos por gases procedentes de emisiones volcánicas del planeta, especialmente el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Lo cual dio

origen a una atmósfera de segunda generación. En dicha atmósfera los gases de efecto invernadero provocaron un incremento de la temperatura, al mismo tiempo, los óxidos de azufre y aerosoles, también emitidos por los mismos volcanes, contribuyeron a enfriar la Tierra.

Con la aparición de la vida en la Tierra se sumó como agente incidente el total de organismos vivos, la biosfera. Inicialmente, los organismos autótrofos por fotosíntesis o quimiosíntesis capturaron gran parte del CO<sub>2</sub> de la atmósfera primitiva, al mismo tiempo se empezó a acumular oxígeno a partir del proceso abiótico de la fotólisis del agua.

La aparición de la fotosíntesis oxigenica, que realizan las cianobacterias y sus descendientes los plastos, dio lugar a una presencia masiva de oxígeno (O<sub>2</sub>) como la que caracteriza a la atmósfera actual, y aun superior. Esta modificación de la composición de la atmósfera propició la aparición de formas de vida nuevas aeróbicas que se aprovechaban de la nueva composición del aire. Aumentó así el consumo de oxígeno y disminuyó el consumo neto de CO<sub>2</sub>, llegándose al equilibrio, y formándose así la atmósfera de tercera generación actual.

#### 11.1.1.2.2 Cambios en la superficie terrestre

El ser humano es hoy uno de los agentes climáticos de gran importancia, su incorporación a la lista es relativamente reciente. Su influencia comenzó con la deforestación de bosques para convertirlos en tierras de cultivo y pastoreo, pero en la actualidad su influencia es mucho mayor al producir la emisión abundante de gases que producen efecto invernadero, degradan la capa de ozono, generan lluvia ácida y, en general, degradan los ecosistemas al modificar la cubierta vegetal de las tierras.

#### Desertificación

La Organización de las Naciones Unidas define la desertificación como la degradación de tierras en las zonas áridas, semidesérticas y subhúmedas secas. Y es considerada un problema mundial, ya que actualmente estos ecosistemas abarcan más de un tercio de la superficie terrestre y son altamente sensibles al uso inadecuado del suelo, en especial a la sobreexplotación. La tierra puede perder productividad por riego inadecuado, deforestación, pastoreo excesivo, pobreza e inestabilidad política. El resultado puede ser una crisis alimentaria e incluso la hambruna.

En la actualidad, tanto las emisiones de gases como la deforestación se han incrementado hasta tal nivel que parece difícil que se reduzcan a corto y mediano plazo, por las implicaciones técnicas y económicas de las actividades involucradas. Estos temas se analizaron ampliamente en los capítulos 9 y 10.

#### 11.1.1.2.3 Deriva continental

La posición de los continentes resulta un factor determinante en la conformación del clima mundial. Así, por ejemplo, en las regiones cercanas a grandes masas de agua las temperaturas son más constantes. El agua absorbe calor y lo desprende más lentamente que la tierra, por lo que puede calentar o enfriar el ambiente. Además, en las regiones cercanas a masas de agua oceánicas las temperaturas pueden ser modificadas por las corrientes marinas, su influencia es decisiva.

La Tierra ha sufrido muchos cambios desde su origen hace 4 600 millones de años, al desplazamiento de las masas continentales se le conoce como **deriva continental**. Hace 225 millones de años todos los continentes estaban unidos, formaban lo que se conoce como Pangea, y había un océano universal llamado Panthalassa, como se muestra en la figura 11.4. Esta disposición favoreció el aumento de las corrientes oceánicas y las diferencias de temperatura entre el ecuador y el Polo eran menores que en la actualidad.



Figura 11.4

Distribución de las masas continentales y oceánicas en la Tierra hace 225 millones de años.

Actualmente hay un exceso de masa continental poco fragmentada en el hemisferio norte, lo que provoca la existencia de más glaciares, lo cual, a su vez, hace que el albedo del hemisferio norte sea mayor y contribuya a climas extremos; en dicho hemisferio los inviernos son más crudos y los veranos más calurosos. La deriva continental es un proceso sumamente lento, por lo que la posición de los continentes fija el comportamiento del clima durante millones de años.

#### 11.1.1.2.4 Corrientes oceánicas

La estructura de las corrientes oceánicas o marinas a escala global es tridimensional, con movimientos horizontales en los que el viento juega un importante papel y con movimientos verticales, en los que la salinidad y las temperaturas son las fuerzas impulsoras. El ejemplo más claro es la corriente termohalina que, ayudada por la diferencia de temperaturas y de salinidad, se hunde en el Atlántico norte.

Las corrientes superficiales, observadas y estudiadas desde hace siglos, están por lo tanto ligadas, por movimientos convectivos de agua, a corrientes profundas de características mucho menos conocidas pero cuyo estudio en los últimos años ha recibido un fuerte impulso debido a su importancia oceanográfica y climática.

#### 11.1.1.3 RETROALIMENTACIONES Y FACTORES MODERADORES

La gran mayoría de los cambios climáticos importantes se originan por variaciones pequeñas de los factores que se han citado, ya sean forzamientos sistemáticos o sucesos imprevistos. Dichas variaciones pueden formar un mecanismo que se refuerza a sí mismo (retroalimentación o "*feedback positivo*") amplificando el efecto. Del mismo modo, la Tierra puede responder con mecanismos moderadores ("*feedbacks negativos*") o con los dos fenómenos a la vez. Del balance de todos los efectos saldrá algún tipo de cambio más o menos brusco, pero siempre impredecible a largo plazo, ya que el sistema climático es un sistema caótico y complejo.

Un ejemplo de *feedback positivo* es el efecto albedo en los polos, un aumento de la masa de nieve incrementa la reflexión de la radiación solar y, por consiguiente, amplifica el enfriamiento. También puede actuar a la inversa, amplifica el calentamiento cuando desaparece la masa de nieve.

También hay factores moderadores del cambio. Uno es el efecto de la biosfera y, más concretamente, de los organismos fotosintéticos (fitoplancton, algas y plantas), sobre el aumento del dióxido de carbono en la atmósfera. Se estima que el incremento de dicho gas conllevará un aumento en el crecimiento de los organismos que hagan uso de él, fenómeno que se ha comprobado experimentalmente en el laboratorio. Los científicos creen, sin embargo, que los organismos serán capaces de absorber sólo una parte y que el aumento global de CO<sub>2</sub> proseguirá.

Hay también mecanismos retroalimentadores para los cuales es difícil aclarar en qué sentido actuarian. Es el caso de las nubes. Actualmente se ha llegado a la conclusión, mediante observaciones desde el espacio, que el efecto total que producen las nubes es de enfriamiento. Pero este estudio sólo se refiere a las nubes actuales. El efecto neto futuro y pasado es difícil de saber ya que depende de la composición y formación de las nubes.

#### 11.1.2 Identificación de la influencia humana en el cambio climático

El clima mundial ha evolucionado siempre de forma natural, pero pruebas convincentes obtenidas en todo el mundo revelan que se ha puesto en marcha un nuevo tipo de cambio climático, que podría tener repercusiones drásticas sobre las personas, las economías y los ecosistemas.

En este sentido, la Organización Meteorológica Mundial y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente crearon en 1988 el Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés), cuya misión es:

*"Evaluar en términos exhaustivos, objetivos, abiertos y transparentes la mejor información científica, técnica y socioeconómica disponible sobre el cambio climático en todo el mundo para formular estrategias de respuesta realistas."*

Desde entonces el IPCC ha publicado, entre otros informes, cuatro reportes de evaluación del cambio climático. Los reportes han desempeñado un papel primordial, ya que sirven a los gobiernos para adoptar y aplicar políticas de respuesta al cambio climático, y particularmente para responder a las necesidades de asesoramiento fidedigno de la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMCC), constituida en 1992, y del Protocolo de Kioto de 1997.

## ACTIVIDAD 11.1

Investiga en la página de la ONU lo siguiente:

- a) La estructura del IPCC y quién lo conforma.
- b) Qué es la Conferencia de las Partes de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

Con la información recabada elabora un ensayo de cuatro cuartillas y entrégalo al profesor cuando lo solicite.

A continuación se detallan los principales hallazgos de los cuatro reportes de evaluación del cambio climático del IPCC.

### Primer reporte de evaluación (1990):

- Se presentaron pocas pruebas de observación respecto de una influencia climática antropogénica perceptible.

### Segundo reporte de evaluación (1996):

- Se concluyó que las pruebas sugerían una influencia humana perceptible sobre el clima mundial en el siglo XX.
- Se señaló que la detección y la atribución de las señales antropogénicas de cambio climático se lograrían mediante una acumulación progresiva de pruebas.
- También se señalaron las incertidumbres existentes con respecto a una serie de factores, entre ellos la variabilidad de los factores internos (véase sección 11.1.1.2) y la magnitud y las características del forzamiento radiativo. Las incertidumbres de estos factores les impidió llegar a una conclusión más firme.

### Tercer reporte de evaluación (2001):

- Según las evaluaciones de los modelos climáticos, se concluyó que es poco probable que el calentamiento global observado durante los últimos 100 años sea solamente consecuencia de la variabilidad natural del clima.
- Se concluyó, además, que el calentamiento observado durante los últimos 50 años se debe a un aumento en la concentración de gases de efecto invernadero debido a actividades humanas.

La confianza en la evaluación de las contribuciones humanas al reciente cambio climático ha aumentado considerablemente desde el tercer reporte de evaluación, en parte debido a señales más fuertes obtenidas de registros más extensos y a la aplicación de técnicas de análisis y detección más sofisticadas.

**Cuarto reporte de evaluación (2007):**

- Se concluyó con un nivel de confianza superior a 90% que el calentamiento global detectado durante los últimos 50 años es principalmente debido a las actividades humanas.
- Las actividades humanas, sobre todo la utilización de combustibles fósiles, además de la deforestación y el cambio de uso de la tierra, como la extensión de los arrozales, emite grandes cantidades de dióxido de carbono a la atmósfera, con la consecuencia de un cambio climático que está acelerándose y que representa graves riesgos para el planeta.

La principal ventaja de la cuarta evaluación, en comparación con la tercera, es el amplio número de simulaciones disponibles a partir de un mayor número de modelos, que en conjunto con la información disponible de las observaciones, aportan una base cuantitativa para la estimación de probabilidades de calentamiento futuro.

### ACTIVIDAD 11.2

Se formarán tres equipos en el grupo, a cada equipo se le asigna la investigación en Internet, en las páginas del PNUMA, de uno de los siguientes temas:

- a) Escenarios del cambio climático.
- b) Escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero.
- c) Incertidumbres sobre las proyecciones sobre el cambio climático.

Con la información recabada elabora un ensayo de cuatro cuartillas y una presentación en PowerPoint de al menos 10 diapositivas, en la sesión elegida por el profesor cada equipo expondrá sus puntos de vista en relación al tema asignado. Al finalizar cada equipo entregará el ensayo escrito y la presentación en archivos electrónicos.

## 11.2 Cambio climático y biodiversidad

Una de las secuelas más críticas derivadas de la intensificación de las actividades del ser humano es la pérdida de la diversidad biológica, que de acuerdo al Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente se define como:

*"La variedad de organismos vivos de cualquier fuente, incluidos, entre otras, los ecosistemas terrestres y marinos y otros sistemas acuáticos, y los complejos ecológicos de los que forman parte; comprende la diversidad dentro de cada especie entre las especies y de los ecosistemas"* (PNUMA, 1992).

En la conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo, conocida como "Cumbre de la Tierra" celebrada en Río de Janeiro en 1992, se señaló que la pérdida de la biodiversidad, posee un efecto global y que tiene su mayor repercusión en los países tropicales, en particular en los de la región mesoamericana. Esto se debe principalmente a la fragilidad ecológica que propicia su situación geográfica y su condicionamiento natural. Además, esta región se ubica en un área de influencia de huracanes, depresiones tropicales y sismos, lo que unido a las actividades antropogénicas incrementa su propensión al deterioro del ambiente.

Es importante resaltar que de los más de 170 países que existen en el mundo, sólo 12 tienen entre 60 y 70% de la biodiversidad total del planeta. Estos países se clasifican como megadiversos. En la figura 11.5 se muestra su ubicación geográfica. México se encuentra en este grupo y es considerado además como el país de más alta diversidad en Latinoamérica, superando incluso a los países amazónicos, de ahí nuestra responsabilidad hacia el medio ambiente.

**Figura 11.5**

Ubicación geográfica de los países megadiversos, que albergan de 60 a 70% de la diversidad total. Fuente: Consejo Nacional de Biodiversidad de México.

### 11.2.1 Clasificación de la biodiversidad

De la definición anterior se desprende que el concepto de biodiversidad se aplica en tres niveles:

- Diversidad genética dentro de especies,
- Diversidad de especies y
- Diversidad de ecosistemas.

La riqueza actual de la vida de la Tierra es el producto de cientos de millones de años de evolución histórica. A lo largo del tiempo, surgieron culturas humanas que se adaptaron al entorno local, descubriendo, usando y modificando los recursos bióticos locales. Muchos ámbitos que ahora parecen "naturales" llevan la marca de milenios de habitación humana, cultivo de plantas y recolección de recursos. La biodiversidad fue modelada, además, por la domesticación e hibridación de variedades locales de cultivos y animales de cría.

#### 11.2.1.1 DIVERSIDAD GENÉTICA

La diversidad genética es la variabilidad expresada en la información genética de los individuos de una especie. Durante la reproducción sexual se logra una recombinación de genes, ésta es una forma natural de mantener la variabilidad de la información genética. Las mutaciones contribuyen con más diversidad, en caso de que se llegue a afectar la información genética, ya que el carácter es heredable.

En la diversidad genética de la especie está la resistencia al ambiente. Ante condiciones letales del ambiente los individuos más débiles perecerán, mientras que los más aptos sobrevivirán. Al mismo tiempo, al reproducirse los más aptos incrementan la resistencia de la especie a través de las generaciones, en esto consiste la selección natural.

Como se mencionó, México es un centro de origen o domesticación de una gran variedad de especies como por ejemplo: el maíz. En nuestro país se encuentra toda la diversidad posible de esta especie, desde granos blancos hasta granos negros pasando por toda la gama de colores, con maizales de todos tamaños, así como sus especies emparentadas.

De toda esta diversidad genética ha salido una gran cantidad de las especies que hoy tienen una importancia económica en la agricultura mundial. Mediante métodos de selección y mejoramiento genético a las especies se les han ido resaltando sus características de interés, hasta llegar a obtener

una semilla de alto rendimiento, como son los materiales híbridos, que se utilizan en la agricultura moderna. Del mismo modo ha ocurrido con las razas modernas de ganado.

#### **11.2.1.2 DIVERSIDAD DE ESPECIES**

Por diversidad de especies se entiende la variedad de especies existentes en una región geográfica. Esa diversidad puede medirse de diferentes maneras, y los científicos aún no se han puesto de acuerdo sobre cuál es el mejor método. El número de especies de una región (su "riqueza" en especies) es una medida que se utiliza a menudo; sin embargo, otra medida más precisa es la "diversidad taxonómica", que tiene en cuenta la estrecha relación que existe entre unas especies y otras.

Por ejemplo, una isla donde haya dos especies de pájaros y una especie de lagartos tendrá mayor diversidad taxonómica que una isla donde hay tres especies de pájaros pero ninguna de lagartos. Analógicamente, el número de las especies que viven en tierra es mucho mayor que las que viven en el mar; sin embargo, las especies terrestres están más estrechamente vinculadas entre sí que las especies oceanicas, por lo que la diversidad es mayor en los ecosistemas marítimos que en los terrestres.

### **ACTIVIDAD 11.3**

Investiga en Internet lo siguiente:

- ¿Cuál es la contribución de México en la diversidad de especies?
- ¿Qué significa centro de origen y diversidad?

Con la información recabada elabora un ensayo de cuatro cuartillas y entrégalo al profesor cuando lo solicite.

#### **11.2.1.3 DIVERSIDAD DE ECOSISTEMAS**

El planeta está dividido en biomas. Un bioma es una región geográfica con una vegetación característica, como consecuencia del clima. Un bioma está habitado por comunidades animales y vegetales que interactúan entre sí. Cada especie de cada comunidad tiene una función o nicho ecológico específico, de tal forma que la eliminación de cualquiera de las especies ocasiona una disfunción de las interacciones.

Al pasar de un bioma a otro nos movemos entre la diversidad de los ecosistemas. Cada ecosistema tiene un sinnúmero de hábitats; es decir, un sinnúmero de espacios ocupados por cada especie. Al degradarse los ecosistemas por consecuencia de alguna acción, automáticamente se eliminan los hábitats y los nichos ecológicos de las especies, el resultado es la desaparición de especies y por ende se reduce la biodiversidad.

Para clasificar la diversidad de los ecosistemas se han propuesto algunos sistemas, que se basan en las regiones ecológicas o en los tipos de vegetación. Este último sistema de clasificación es de los más usados por considerarse que el tipo de vegetación es una buena manifestación de los factores: clima, suelo y topografía.

#### **11.2.1.4 DIVERSIDAD CULTURAL HUMANA**

La diversidad cultural humana también puede considerarse como una parte de la biodiversidad. Al igual que la diversidad genética o de especies, algunos atributos de las culturas humanas, por ejemplo, el nomadismo o la rotación de los cultivos, representan "soluciones" a los problemas de la supervivencia en determinados ambientes.

Además, al igual que otros aspectos de la biodiversidad, la diversidad cultural ayuda a las personas a adaptarse a la variación del entorno. La diversidad cultural se manifiesta por la diversidad del

lenguaje, de las creencias religiosas, de las prácticas del manejo de la tierra, en el arte, en la música, en la estructura social, en la selección de los cultivos, en la dieta y en todo número concebible de otros atributos de la sociedad humana.

## 11.2.2 Efectos del cambio climático sobre la biodiversidad

Los cambios observados en los sistemas biológicos son la respuesta resultante a lo que se ha denominado "cambio global". Los efectos del cambio en los usos del suelo, la fragmentación de hábitats, el incremento en la deposición de nitrógeno, la introducción de especies autóctonas y sus interacciones sobre el medio son difíciles de cuantificar aisladamente de los efectos generados exclusivamente por el cambio climático (Walker, 1997).

Las consecuencias del cambio climático sobre los sistemas biológicos no sólo afectan a las variables asociadas a la configuración de los ecosistemas, sino que estos sistemas también experimentan una reorientación de sus funciones. Son varios los procesos ecológicos que se ven afectados por el cambio climático:

- La productividad.
- La dinámica poblacional.
- La abundancia y distribución de especies.
- El reensamblaje ecosistémico.

Este último concepto hace referencia al reemplazo de algunos grupos de fauna y flora por aquellos que se ven favorecidos por las nuevas condiciones climáticas determinadas, generalmente, por una mayor temperatura media y mayor concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera.

La complejidad de las relaciones e interacciones, establecidas en términos de materia y energía entre los niveles de la biodiversidad, pone de manifiesto la dificultad de llevar a cabo previsiones concretas acerca de los efectos biológicos del cambio climático sobre los sistemas biológicos. Además no se puede asumir que las respuestas de las especies a estos cambios sean necesariamente lineales.

Por otro lado, la escala temporal más ampliamente estudiada en términos de los efectos del cambio climático es a corto plazo (menos de tres décadas); sin embargo, la climatología se refiere normalmente a escalas de tiempo mucho más amplias.

### 11.2.2.1 EFECTOS A NIVEL DE ECOSISTEMAS

#### 11.2.2.1.1 Ambientes terrestres

Los cambios en el sistema climático implican una importante presión adicional sobre los ecosistemas terrestres, que en la actualidad son seriamente afectados por la contaminación, la sobreexplotación y la fragmentación del territorio. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, 2002) indicó, con base en modelos predictivos, que en promedio 33% del área forestal actual era afectada por causas de cambios en la frecuencia e intensidad de los incendios, la distribución del agua y la diversidad de la vida silvestre (Dale, 2001).

Los efectos sobre los ecosistemas terrestres varían de unas regiones a otras. Así, los bosques subtropicales secos en Zimbabue podrían disminuir cerca de un 45%. En México se espera que los bosques secos se expandan, mientras la cobertura de los bosques tropicales montañosos húmedos probablemente se vea reducida. En las regiones tropicales también se prevén cambios en la estructura y composición de sus masas forestales, debido a su sensibilidad a las variaciones en la disponibilidad de agua y humedad del suelo. En los bosques boreales y templados el aumento de temperatura podría ampliar los rangos temporales de crecimiento y reproducción, favoreciendo su expansión hacia los polos, pero incrementando a su vez la frecuencia de incendios y brotes de plagas.

### 11.2.2.1.2 Ambientes acuáticos

Las masas de agua continentales constituyen uno de los ambientes más vulnerables a los efectos inducidos por el cambio climático. Al mismo tiempo, algunos organismos internacionales resaltan su importancia como principales amortiguadores de estos efectos (Bergkamp y Orlando, 1999; RAMSAR, 2000). Los humedales suponen un importantísimo sumidero de CO<sub>2</sub>, metano y otros gases invernadero, además de actuar en la costa como defensas ante tormentas y subidas del nivel del mar (RAMSAR, 2000).

A nivel mundial los efectos pueden ser muy graves. Se estima que el incremento de tan solo 0,3 metros del nivel del mar eliminaría de 17 a 43% de sus humedales en Estados Unidos de América (EPA, 2002). Las zonas áridas y semiáridas son las más vulnerables a la disminución de las precipitaciones, como ha experimentado el gran Lago Chad con la dramática disminución de su superficie desde 1960 (Bergkamp y Orlando, 1999; Mayell, 2001).

### ACTIVIDAD 11.4

Realiza una investigación en Internet sobre la desaparición del Lago Chad. Elabora una presentación en PowerPoint donde ilustres las condiciones actuales del Lago. Expón la presentación cuando el maestro así lo disponga.

Los sistemas costeros son afectados debido al aumento del nivel del mar y de la temperatura del agua, así como al mayor riesgo de tempestades. Así, las costas bajas de África occidental y central están expuestas a riesgos de erosión e inundación y una fracción del delta del Nilo podría perderse. En Europa algunas áreas costeras se hallan ya bajo el nivel medio del mar y muchas otras son vulnerables a mareas de tempestad; y en las costas bajas y estuarios de América Latina el aumento del nivel del mar podría reducir la línea de costa y gran parte de su diversidad biológica. En el Ártico se espera una pérdida considerable de hielo, lo cual aumentaría las inundaciones en otros puntos geográficos y transformaría el paisaje en gran medida. En la Antártida los cambios que se esperan podrían ser menores; sin embargo, provocarían el desplazamiento de algunas especies dependientes del hielo hacia el polo.

Las alteraciones en pocos grados de la temperatura del mar pueden acarrear también importantes alteraciones tróficas. En las Islas Galápagos, durante el fenómeno de "El Niño" de 1997-1998, la superficie del agua aumentó su temperatura y gran número de organismos filtradores murieron a consecuencia de la disminución del plancton del que se alimentaban, alterando la red trófica (Benítez, 1999; Doubilet, 1999).

### 11.2.2.2 EFECTOS A NIVEL POBLACIONAL Y DE COMUNIDADES

#### 11.2.2.2.1 Ambientes terrestres

Los regímenes climáticos influyen sobre la distribución de las especies a través de sus umbrales fisiológicos de tolerancia a la temperatura y precipitación. Actualmente esta distribución está cambiando en latitudes hacia los polos y también a mayores altitudes. La tasa de cambio de los rangos varía entre las distintas especies y dentro de una misma especie, implicando capacidades diferentes de dispersión (Kleidon y Money, 2000; Gian-Reto *et al.*, 2002).

El incremento de la temperatura de solo 1 °C puede causar cambios significativos en la composición y distribución de ciertas poblaciones vegetales y, de acuerdo con el IPCC (2002) y la EPA (2000), se espera un reemplazamiento de los árboles asociados a bosques maduros (especies de lento crecimiento) por árboles y arbustos de rápido crecimiento asociados con áreas perturbadas.

Las respuestas individuales de las especies al cambio climático pueden desorganizar sus interacciones con otras del mismo nivel trófico o de uno adyacente y es posible que cambios rápidos en el clima o eventos extremos puedan alterar la composición y estructura de las comunidades. Algunos estudios ilustran este hecho, como la invasión de arbustos leñosos, la extinción de especies

cies animales comunes y el incremento de especies raras en el desierto de Sonora, el solapamiento temporal de nichos en anfibios de Inglaterra y sus consecuencias sobre las interacciones tróficas (Gian-Reto *et al.*, 2002), o el colapso poblacional de 20 especies de ranas y sapos en los bosques montañosos de Costa Rica por la disminución de la "neblina" desde 1970 (Pounds *et al.*, 1999).

#### 11.2.2.2 Ambientes acuáticos

En relación con las masas de agua continentales, los efectos biológicos del cambio climático serán más acusados en latitudes elevadas, donde las poblaciones de especies adaptadas a aguas más cálidas desplazarían a las originales.

El incremento de los caudales en las montañas, generado por el deshielo, y el aumento de la temperatura del agua pueden suponer impactos importantes sobre las comunidades de invertebrados, repercutiendo en los niveles tróficos superiores (Bergkamp y Orlando, 1999). En humedales de montaña, que constituyen ecosistemas aislados y frágiles, las especies raras y en peligro de extinción son especialmente sensibles a pequeños cambios de temperatura y a menudo no encuentran hábitats alternativos (Bergkamp y Orlando, 1999).

En algunos ambientes acuáticos continentales se pueden dar incrementos de temperatura que sobrepasan el grado de tolerancia de muchas especies; otros cambios importantes que pueden ocurrir en el agua son: una disminución del oxígeno disuelto y un aumento de la salinidad. Además, las tormentas más frecuentes favorecen la mezcla de masas de agua estratificadas, lo cual podría resultar en una mortalidad a gran escala para ciertas especies de peces (Bergkamp y Orlando, 1999). Los anfibios representan uno de los ejemplos más dramáticos de declive poblacional debido a la reducción de hábitats causada por el cambio climático. Así lo prueba la extinción en 1989 del sapo dorado (*Bufo periglenes*) de los bosques nubosos de Costa Rica (Morell, 2001).

Entre los efectos a nivel poblacional del cambio climático en ambientes marinos, 25% de los arrecifes de corales ha sido destruido o presenta una severa degradación por problemas que surgen del calentamiento global (Douglas *et al.*, 1999; Oniori *et al.*, 2001).

#### 11.2.2.3 EFECTOS A NIVEL GENÉTICO

##### 11.2.2.3.1 Ambientes terrestres

Se han reportado tendencias fenológicas que muy probablemente reflejan respuestas al cambio climático y provocan graves problemas de desequilibrio biológico. Entre los efectos más comunes se hallan aquellos relacionados con actividades propias de la primavera, tales como la floración más temprana de plantas, adelanto en el canto, en las puestas y en los procesos de migración de aves, aparición temprana de mariposas o desove y coros anticipados en anfibios. Estos cambios han ocurrido progresivamente desde la década de 1960 (Gian-Reto *et al.*, 2002; Hughes, 2000).

Se han detectado también cambios fisiológicos, por ejemplo, los relativos a la asignación de biomasa desde follaje a tallos en pino, conforme se incrementa la temperatura (Delucia *et al.*, 2000). Dijkstra *et al.* (2002) trabajaron con encinas e indican que el aumento de CO<sub>2</sub> atmosférico tiene el potencial de estimular la producción de biomasa aérea y la respuesta específica de crecimiento de las especies, a largo plazo, altera la composición de la comunidad encinas-arbores (Díaz y Cabido, 1997).

##### 11.2.2.3.2 Ambientes acuáticos

Los efectos fisiológicos y fenológicos mejor estudiados en aguas continentales corresponden al grupo de los anfibios, cuya principal causa de declive poblacional responde al efecto sinérgico del cambio climático con la incidencia de la radiación ultravioleta. La reducción del nivel del agua en los humedales provoca una mayor exposición de las puestas a la radiación UV y las hace más vulnerables, por debilitamiento immunológico, a infecciones por hongos, resultando en una mortalidad masiva. Entre las especies más sensibles se encuentran la rana de las montañas Cascade (*Rana cascade*) o el tritón alpino (*Triturus alpestris*) y, en la Península Ibérica, el sapo común (*Bufo bufo*) y el tritón jaspeado (*Triturus marmoratus*) (Lizana *et al.*, 2002).

También es alarmante el blanqueamiento y mortalidad de los corales *Zoanthellae* en el mar. Basta un leve incremento de la temperatura del agua para que las algas simbióticas *Zoanthellae* abandonen el tejido de los corales, lo cual perjudica sus funciones reproductivas (Douglas *et al.*, 1999; Oñori *et al.*, 2001). Asimismo, se han realizado investigaciones sobre otros organismos, por ejemplo, el gasterópodo marino *Acanthinucella spirata* ha experimentado cambios en su distribución geográfica en respuesta a los últimos cambios climáticos del Pleistoceno en California que, además, son asociados a cambios morfológicos registrados en la especie (Hellberg *et al.*, 2001).

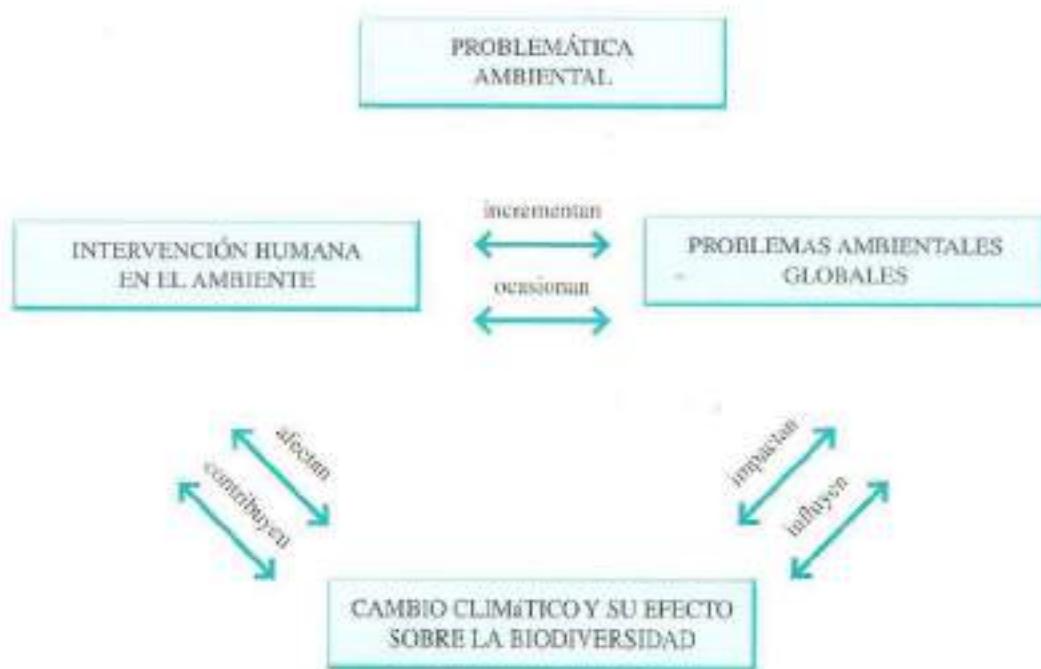
## Bibliografía

- IPCC, 2007: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.
- IPCC, 2007: Cambio Climático 2007: Impactos, Adaptación y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.
- IPCC, 2007: Cambio Climático 2007-Mitigación del Cambio Climático. Contribución del Grupo de Trabajo III al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC.
- EVALUACIÓN de Ecosistemas del Milenio (EM, 2005): "Millennium Ecosystem Assessment General Synthesis Report: Ecosystems and Human Well-being", <http://www.millenniumassessment.org>, Chapter 1, pp. 27-29.
- HELENA COTLER A.: CARACTERÍSTICAS Y MANEJO DE SUELOS EN ECOSISTEMAS TEMPLADOS DE MONTAÑA. Disponible en: <http://www.ine.gob.mx/xcsej/publicaciones/libros/395/cotler.html>
- WRI, 1996: WRI, UNEP, UNDP, World Bank (World Resources Institute; United Nations Environment Programme; United Nations Development Programme): World Resources 1996-97, A Guide to the Global Environment, The Urban Environment, Oxford University Press, Nueva York, Estados Unidos.
- GEO4 (2008): Cuarto Informe de Perspectiva del Medio Ambiente Mundial, Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA). Disponible en [www.unep.org/geo/geos4/](http://www.unep.org/geo/geos4/)
- MINIUMUM Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and Human Well-being: Synthesis. Island Press, Washington, DC. Copyright © 2005 World Resources Institute.
- LAI, R., Sobbecki, T.M., Ibarri, T. y Kimble, J.M. (2004). Desertificación. En Soil Degradation in the United States: Extent Severity and Trends. Lewis Publishers, CRC Press, Boca Ratón.
- M. Aslam K., Khalil, Reinhold A., Rasmussen, John A., Cuthbertson, John M., Prins, Eric P., Grimsrud and Martha J. Shearer, Atmospheric Perfluorocarbons. Environ. Sci. Technol. 2003, 37, 4358-4361.
- WMO (World Meteorological Organization), Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006, *Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 50*, 572 pp., Geneva, Switzerland, 2007.
- DANIEL, J.S., and G.J.M. Velders (Lead Authors), A.R. Douglass, P.M.D. Forster, D.A. Hauglustaine, I.S.A. Isaksen, L.J.M. Kuijpers, A. McCulloch, and T.J. Wallington, Halocarbon scenarios, ozone depletion potentials, and global warming potentials, Chapter 8 in Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2006, *Global Ozone Research and Monitoring Project-Report No. 50*, 572 pp., World Meteorological Organization, Geneva, Switzerland, 2007.

## Sitios electrónicos

- COMISIÓN PARA LA COOPERACIÓN AMBIENTAL: Cartografía de los contaminantes industriales: <http://www.oec.org/nantlas/prtoindex.cfm?vaclan=espanol>
- CIENCIA PARA TODOS: BIOLOGOGIA-DEGRADACIÓN DE LOS ECOSISTEMAS: <http://omega.ice.edu.mx:3000/sites/ciencia/menu.htm>
- NATIONAL Oceanic & Atmospheric Administration, NOAA Research <http://www.noaa.gov/> <http://www.esrl.noaa.gov/>

## Mapa conceptual



## Introducción

Como todos los organismos, los seres humanos dependen de su ambiente para satisfacer sus necesidades de supervivencia, salud y bienestar. La capacidad para adaptarse al medio que le rodea, así como para modificar el entorno natural y social para satisfacer mejor sus necesidades, le han permitido a la especie humana sobrevivir y prosperar. Las modificaciones del entorno, por una parte, elevan las condiciones económicas y de vida lo suficiente como para mejorar la esperanza de vida de la especie; sin embargo, también propicia riesgos para la salud y la supervivencia humana.

En la actualidad, el crecimiento del ser humano en cuanto a conocimientos, desarrollo industrial, tecnológico y económico se debe compensar con avances en el aprendizaje de cómo reducir los niveles de estrés del ambiente natural, las fallas de orden distributivo en los ambientes sociales y las discrepancias entre los beneficios inmediatos y el bienestar y la supervivencia a largo plazo.

En este contexto, la salud de las personas debe ser a la vez una meta y un requisito prioritario del desarrollo. Los individuos sanos son más productivos, y un nivel elevado de salud en la comunidad evita gastos de la riqueza social para hacer frente a enfermedades, dolencias y alteraciones sociales.

La salud no puede ser lograda de manera exclusiva por el sector salud, sino que surge como resultado de compromisos asumidos en favor de su protección y fomento por toda la sociedad, guiada y orientada por los gobiernos. Para hacer esto de forma eficaz, es un requisito básico la cooperación coherente entre los sectores económicos y políticos. A su vez, tanto el liderazgo de los gobiernos como la cooperación entre los sectores de la sociedad deben ser orientados por el conocimiento de la interacción entre el desarrollo socioeconómico y los factores bióticos y abióticos fundamentales, como: el tamaño y la distribución de la población, las modalidades de asentamientos, el agotamiento de recursos, la destrucción de especies, las prácticas de consumo, la generación de desechos, los trastornos sociales y el deterioro ambiental.

De ahí la importancia del conocimiento de los postulados de la *Agenda 21* y de la *Declaración del Milenio*. En ellas se hace énfasis en los aspectos sociales y económicos, orientados hacia la conservación y destino de recursos para el desarrollo, sobre todo se establecen las bases para el fortalecimiento de los grupos de la sociedad civil, grupos académicos y científicos orientados hacia el desarrollo humano y la justicia social.

Por lo anterior, es indispensable reflexionar y reorientar las políticas de desarrollo con enfoques modernos de sustentabilidad, pero sobre todo con el objetivo principal de la protección de la salud ambiental, entendida ésta no sólo como la protección y conservación de la salud humana, sino también como la de la salud de los ecosistemas.

## Capítulo 12. Salud, ambiente y riesgo

*Queremos seguir celebrando el día de la tierra, con animales, plantas y vida,...no bajo tierra.*

*Paloma Pérez-Izarbe, Universidad de Navarra*

### 12.1 Conceptos básicos

Para entender y uniformar criterios, es indispensable subrayar algunas definiciones tomando en cuenta que la salud, el desarrollo y el ambiente están ligados por una estrecha relación y no siempre el desarrollo significa salud para las personas o para el ambiente.

### 12.1.1 Ambiente y medio ambiente

En la teoría general de sistemas, un ambiente es un complejo de factores externos, que actúan sobre un sistema y determinan su curso y su forma de existencia. Un ambiente puede tener uno o más parámetros, físicos, biológicos o de otra naturaleza. En este contexto, medio ambiente es el ambiente natural más el ambiente hecho por el ser humano, antropogénico y social.

En epidemiología, *ambiente* se define como el conjunto de factores llamados *factores extrínsecos*, que influyen sobre la existencia, la exposición y la susceptibilidad del agente en provocar una enfermedad al huésped.

De acuerdo al Artículo Tercero de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente (LEGEEPA), *ambiente* es el conjunto de elementos naturales y artificiales o inducidos por el hombre que hacen posible la existencia y desarrollo de los seres humanos y demás organismos vivos que interactúan en un espacio y tiempo determinados.

La Organización Mundial de la Salud define **ambiente humano** como el conjunto de influencias externas, físicas, químicas, biológicas y sociales que tengan un efecto significante y detectable sobre la salud y el bienestar de los individuos o de las comunidades (WHO, Health Hazards of the Human Environment).

### 12.1.2 Evolución de los conceptos de salud y salud ambiental

El estado de salud es una constante preocupación de la humanidad; sin embargo, es difícil poder definir o explicar el concepto de salud. Desde hace tiempo el concepto salud se definía como "ausencia de enfermedades e invalidez". Éste no es el mejor criterio, ya que no se puede definir con una negación, además sería necesario trazar el límite o la línea divisoria entre lo normal y lo patológico, y evidentemente esto no es posible.

En el Diccionario de la Real Academia Española se define a la salud como "el estado en el que un ser orgánico ejerce normalmente sus funciones". Esta definición es muy amplia, poco precisa y cuantificable.

La Organización Mundial de la Salud define holísticamente el concepto *salud* de la siguiente forma: "es un estado completo de bienestar físico, mental, social y espiritual" y agrega: "y no solamente la ausencia de afecciones o enfermedades" (George A.O. Alleyne, Director OPS/OMS; Fuente: Informe sobre la Salud en el Mundo 2001, OMS).

De igual forma, la Organización Mundial de la Salud ha propuesto la siguiente definición para *salud ambiental*: *Aquella disciplina que comprende aquellos aspectos de la salud humana, incluida la calidad de vida, que son determinados por factores ambientales físicos, químicos, biológicos, sociales o psicosociales*.

Salud ambiental también se refiere a la teoría y práctica de evaluar, corregir, controlar y prevenir aquellos factores en el medio ambiente que pueden potencialmente afectar adversamente la salud de generaciones presentes y futuras.

De una forma general, la *salud ambiental* se puede clasificar como una subdisciplina de la salud pública, la cual se ocupa de impedir las enfermedades, prolongar la vida y fomentar la salud y la eficiencia física y mental del ser humano, a través del esfuerzo organizado de la comunidad, el equilibrio ecológico entre el ser humano y su entorno y permitir la vida en armonía.

De ahí la importancia que implica el estudio de los efectos patológicos directos de diversos agentes químicos, físicos y biológicos, así como los efectos que ejerce el medio físico y social en la salud en general, entre otros la vivienda, el desarrollo urbano, el uso del suelo, el transporte, la agricultura y la industria.

## ACTIVIDAD 12.1

En clase se formarán equipos de dos a tres estudiantes y en un tiempo de 15 minutos extraerán conclusiones sobre la relación de los conceptos: salud ambiental y equilibrio ecológico. Cada equipo pasará al frente y expondrá sus resultados plasmados en una hoja de papel cartulina de 90 × 180 cm. Los alumnos observarán las concordancias entre los diferentes equipos.

## 12.2 Salud y enfermedad

Los factores opositores procedentes de la naturaleza, la sociedad y del propio organismo humano, al interactuar determinan un estado de equilibrio que se llama salud o de desequilibrio conocido como enfermedad.

El proceso salud-enfermedad es la resultante de interacciones entre factores económicos, sociales, políticos, biológicos, de organización de los servicios, del estilo de vida y de patrones culturales de los pobladores que habitan en un área geográfica.

### 12.2.1 Grados de salud y enfermedad

La definición de salud propuesta por la OMS (véase sección 12.1.2) presenta algunos aspectos criticables, ya que asume a la salud como una situación de completo bienestar y no habla de grados de salud y tanto la salud como la enfermedad no son absolutos, es decir, existen diferentes grados en ambos estados.

En su definición de salud, Milton Terris considera que es un estado de bienestar físico, mental y social, con *capacidad de funcionamiento* y no únicamente la ausencia de afecciones y enfermedades, en el que es posible la presencia conjunta de bienestar en diferentes grados.

En esta definición se observan aspectos subjetivos y objetivos, tanto para la salud, como para la enfermedad:

- Salud
  - Aspecto subjetivo: bienestar, sentirse bien en diferentes grados.
  - Aspecto objetivo: capacidad de funcionar.
- Enfermedad
  - Aspecto subjetivo: malestar.
  - Aspecto objetivo: afecta a la capacidad de funcionar, limita las funciones en diferentes grados.

La figura 12.1 muestra la relación entre estos aspectos de salud y enfermedad.

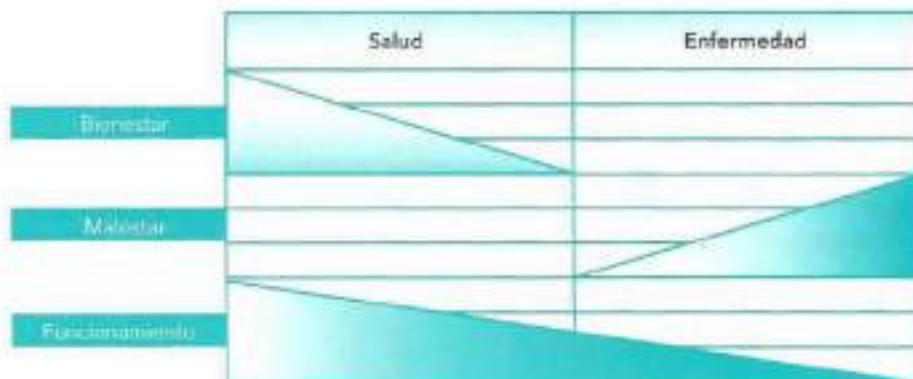


Figura 12.1

Grados de salud y enfermedad.

**Figura 12.2**

Continuo de la salud y la enfermedad.

### 12.2.2 Enfoque dinámico del concepto de salud

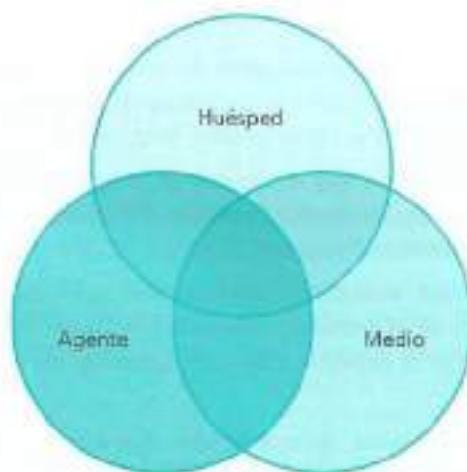
De acuerdo con un enfoque dinámico, la salud y la enfermedad poseen cierta actividad y forman un continuo, cuyos extremos son el óptimo de salud y la muerte, la situación se ilustra en la figura 12.2.

Dentro de este continuo hay una zona neutra que refleja que la separación entre enfermedad y salud no es absoluta, de manera que hay situaciones en las que es difícil diferenciar lo normal de lo patológico, también es necesario recalcar que la muerte se alcanza por imperativo biológico, mientras que difícilmente se llega al óptimo de salud, además entre la zona neutra y los extremos hay diferentes grados de pérdida de salud y de salud positiva, por esta razón se considera al concepto de salud como algo dinámico.

En este contexto, también es importante destacar los factores sociales que influyen sobre el continuo salud-enfermedad, dentro de estos factores están, entre otros: la educación, la ocupación y la vivienda. En la actualidad en los países desarrollados, tanto la salud como la pérdida de salud están estrechamente relacionadas con el estilo de vida y la adopción de conductas positivas de salud de individuos, grupos y colectividades.

### 12.2.3 Modelo ecológico o tradicional

Los estados de salud y enfermedad tienen límites imprecisos que fluctúan en el individuo durante toda la vida y que dependen de diversos factores o variables en juego, el modelo ecológico les agrupa en tres elementos fundamentales: el agente, el huésped y el medio; estos factores actúan permanentemente entre sí. En la figura 12.3 se muestra el esquema conocido como triada ecológica, que ilustra la acción del agente.

**Figura 12.3**

Triada ecológica.

El agente es causal y puede ser la exposición a un virus o a un cambio brusco de temperatura, el ambiente modula la capacidad del agente para provocar la reducción de la salud en un huésped, por lo tanto, no se puede hablar de una causa que produzca enfermedad sino de muchas causas, de aquí surge el concepto de multicausalidad.

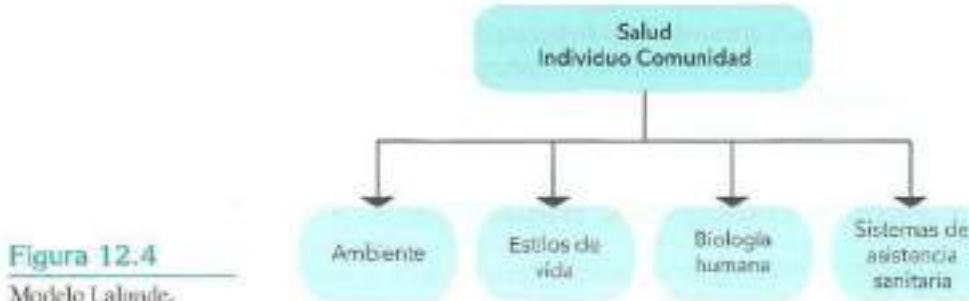
Este modelo se desarrolló en el siglo XIX, ya que en esa época las causas de muerte eran principalmente el resultado de enfermedades infecciosas.

En la actualidad el modelo ecológico define el concepto de salud desde el proceso adaptativo del ser humano a su medio físico y social. La mayoría de los autores están de acuerdo con este concepto, así por ejemplo Hernán de San Martín considera la salud como un fenómeno psicobiológico, social, dinámico, relativo y muy variable.

Todos los autores recogen en sus definiciones la adaptación, tratándose de una adaptación dinámica al medio natural y socioeconómico-cultural que nos rodea, la cual está considerada por múltiples factores que influyen sobre el estado de salud y que se conocen como determinantes de salud.

#### 12.2.4 Modelo del campo de salud de Lalonde

Los determinantes de salud son un conjunto de condicionantes de la salud y de la enfermedad en individuos, grupos y colectividades. En 1974 el ministro de Sanidad de Canadá, Marc Lalonde, analizó los determinantes de salud y creó un modelo de salud pública. En éste se considera que el nivel de salud de una comunidad viene determinado por cuatro variables, como se muestra en la figura 12.4.



**Figura 12.4**

Modelo Lalonde.

A continuación se describen estas variables:

- **Biología humana:** genética y envejecimiento
- **Ambiente:**
  - Biológico: incluye las diferentes formas de los microorganismos (virus, bacterias, etc.) de las enfermedades en los alimentos y el agua, y aquellos que son transmitidos por insectos y animales y por el contacto entre las personas.
  - Físico: incluye elementos que repercuten en la salud y el bienestar, como lesiones y muertes por accidentes, ruido alto y excesivo, temperaturas extremas (calor y frío) y los efectos de la radiación y vibraciones.
  - Químico: comprende sustancias químicas como pesticidas, óxidos de azufre, metales pesados presentes en el ambiente; sustancias químicas utilizadas en el hogar (productos de limpieza), en la industria química y agrícolas, así como conservadores para los alimentos.
  - Psicosocial y sociocultural: incluye factores difíciles de medir, un ejemplo es el estrés que afecta considerablemente la vida y la salud de las personas. Un bajo nivel socioeconómico aumenta las tasas de defunción y enfermedad.

- Estilo de vida: ciertas conductas insanas como:
  - Consumo de drogas.
  - Sedentarismo.
  - Consumo excesivo de alimentos ricos en grasas y en hidratos de carbono.
  - Conducción peligrosa o temeraria.
  - Mala utilización de los servicios de asistencia sanitaria.
- Sistema de asistencia sanitaria:
  - Calidad.
  - Cobertura.
  - Gratuidad.

Estos factores están influenciados por factores sociales y son modificables, al menos teóricamente, por ello las acciones de la salud pública deben dirigirse hacia esa modificación.

En los estudios de Lalonde se representó originalmente la importancia o efecto relativo de cada uno de los determinantes sobre los niveles de salud pública. En un principio los que tenían mayor importancia eran el ambiente y el estilo de vida, no se podía precisar cual tenía mayor importancia. Posteriormente se encontró que el de mayor importancia era el sistema de asistencia sanitaria. Se demostró que las enfermedades causadas por los estilos de vidas insanos ocasionaban al sistema un elevado costo económico.

Como consecuencia de estos hallazgos hubo un cambio del pensamiento iniciado en Canadá, luego en Estados Unidos de América y posteriormente en Europa, que condujo un cambio de prioridades de salud pública, derivándose un porcentaje elevado de recursos hacia la prevención y educación sanitaria.

## 12.3 Rutas de exposición

Se estima que solamente en el mercado europeo están en uso más de 103 000 sustancias químicas (2007) y el sector de los productos químicos introduce aproximadamente entre 200 y 1 000 sustancias químicas nuevas cada año. Por ello, estamos expuestos a diferentes sustancias químicas en el hogar, en el trabajo y en el ambiente en general.

Los alimentos, el aire y el agua potable contienen pequeñas cantidades de sustancias químicas tóxicas. Las principales rutas de exposición a sustancias tóxicas son: la piel, el aparato digestivo y el respiratorio, así como la córnea de los ojos.

### 12.3.1 La piel

El contacto con la piel es la vía más común de exposición a las sustancias tóxicas. La piel está compuesta por tres capas: la epidermis, la dermis y el tejido adiposo subcutáneo.

#### 12.3.1.1 LA EPIDERMIS

La capa más externa de la piel se conoce como estrato córneo o capa carniificada, ésta es la estructura que determina la tasa de absorción de las sustancias a través de la epidermis. Por ejemplo, un pesticida como el malatión, que penetra fácilmente el estrato córneo, avanza rápidamente a través de las otras capas de la piel y se absorbe de manera rápida en el torrente sanguíneo. El DDT, otro tipo de pesticida, no penetra fácilmente el estrato córneo, de manera que la tasa de absorción es mucho más baja.

#### 12.3.1.2 LA DERMIS

La capa interna de la piel también suele llamarse piel verdadera; en los animales, esta capa de la piel es la que se convierte en cuero con el procesamiento químico. La dermis es la fuente de oxígeno y de

nutrientes para la epidermis. En esta capa se encuentran los folículos capilares, las glándulas sudoríparas y las glándulas sebáceas. Estas estructuras desempeñan una función limitada en la absorción de sustancias en la piel.

#### **12.3.1.3 TEJIDO ADIPOSO SUBCUTÁNEO**

Esta capa ofrece amortiguación para las estructuras subcutáneas y confiere cierto movimiento a la piel.

#### **12.3.1.4 FACTORES QUE AFECTAN LA ABSORCIÓN CUTÁNEA**

1. El estado de la piel. El estrato córneo intacto (epidermis) es una barrera eficaz contra la absorción de algunas sustancias químicas tóxicas. No obstante, el daño físico a la barra protegente, como un corte o abrasión, permite la penetración de las sustancias tóxicas a la epidermis y el ingreso a la dermis donde se introducen más fácilmente al torrente sanguíneo y se transportan a otras partes del cuerpo.
2. La constitución química de la sustancia. Las sustancias químicas inorgánicas (metales como cadmio, plomo y mercurio) no se absorben fácilmente a través de la piel intacta, sana. Las sustancias químicas orgánicas disueltas en agua no penetran la piel fácilmente, ya que ésta es impermeable al agua. Sin embargo, los solventes orgánicos, como diluyentes de pinturas o gasolina, se absorben fácilmente a través de la epidermis.
3. Tiempo de exposición y concentración. El aumento de la concentración de la sustancia tóxica o el tiempo de exposición incrementa la tasa o la cantidad de material absorbido.

#### **12.3.2 Sistema respiratorio**

La inhalación es el medio más fácil y rápido de exposición a las sustancias tóxicas, ya que estas sustancias se absorben fácilmente en el sistema respiratorio. El recubrimiento del sistema respiratorio NO es eficaz para evitar la absorción de sustancias tóxicas en el cuerpo. El sistema respiratorio comprende las vías nasales, la tráquea, la laringe y los pulmones. Los siguientes factores afectan la inhalación de sustancias tóxicas:

- La concentración de sustancias tóxicas en la atmósfera.
- La solubilidad de la sustancia en la sangre y en los tejidos.
- La tasa respiratoria.
- La duración de la exposición.
- El estado del sistema respiratorio.
- El tamaño de la partícula tóxica.

#### **12.3.3 El sistema digestivo**

El sistema digestivo comprende la boca, el esófago, el estómago y los intestinos grueso y delgado. La función principal del sistema digestivo es digerir y absorber los alimentos que comemos. La absorción de sustancias tóxicas es afectada por factores físicos y químicos, como la estructura del cuerpo y el tiempo que permanecen en el cuerpo los alimentos que contienen las sustancias.

Una vez que se absorbe una sustancia química, los efectos que provoca dependen de su concentración en los órganos afectados, su forma química y física, lo que ocurre después de la absorción y el tiempo de permanencia en el tejido o el órgano afectado.

Después que la sustancia química es absorbida en la sangre, se distribuye a todo el cuerpo de inmediato; se traslada de un órgano o tejido a otro (translocación) o se transforma en un nuevo compuesto (biotransformación). Generalmente la ingestión de sustancias tóxicas es incidental o inadvertida.

### 12.3.4 Otras rutas de exposición

Los ojos son un punto de contacto común para las sustancias tóxicas. El punto primario de contacto para las sustancias tóxicas es la córnea. Los compuestos ácidos y básicos son los tipos más comunes de exposiciones dañinas. Según el grado de la lesión, la córnea se puede reparar a sí misma.

La capa exterior del ojo está compuesta por tejido conjuntivo denominado esclerótica. En la parte frontal del ojo, este tejido forma la córnea, la cual es transparente. La capa media del ojo se denomina coroides, la cual forma el iris, en la parte frontal del ojo. La capa más interior es la retina, la cual produce las imágenes. En dos compartimientos oculares se alberga una sustancia líquida denominada humor acuoso y una sustancia gelatinosa transparente denominada humor vítreo. El oxígeno y los nutrientes deben propagarse a través del humor acuoso en la parte posterior de la córnea para reparar el tejido dañado.

Otra ruta común de exposición son las inyecciones que se utilizan principalmente en los estudios con animales de laboratorio.

### 12.3.5 Elementos para una vía de exposición

La Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades (ATSDR) define una vía de exposición como el proceso por el cual una persona está expuesta a contaminantes que se originan en alguna fuente de contaminación y puede ser:

- **Vía de exposición completa**, que ocurre cuando todos los elementos siguientes están presentes:
  - Una fuente de contaminación, por ejemplo, la chimenea de una fábrica,
  - Medios para que se desplace el contaminante, como el agua subterránea, el suelo superficial, el agua superficial, la atmósfera, el subsuelo, los sedimentos y la biota,
  - Un punto de exposición o un lugar específico en el cual la persona entra en contacto con el material contaminado,
  - Una ruta de exposición o la manera en que los contaminantes se introducen al cuerpo o entran en contacto con él mismo,
  - Una población receptora o las personas que están expuestas o potencialmente expuestas a los contaminantes.
- **Vía de exposición potencial** es cuando falta uno o más de los elementos anteriores, pero la información disponible indica que la exposición es probable.
- **Vía de exposición incompleta** es cuando faltan uno o más de los elementos y la información disponible indica que no se prevé que haya exposición.

La exposición tiene lugar cuando existe una vía de exposición completa.

### 12.3.6 Tipos de exposición

Las sustancias químicas tóxicas generalmente producen el mayor efecto y la respuesta más rápida cuando entran directamente al torrente sanguíneo. La exposición en el lugar de trabajo ocurre generalmente a raíz de la inhalación de aire contaminado o por el contacto directo o extendido de la piel con la sustancia. Por otra parte, la intoxicación accidental y provocada con intenciones de suicidio ocurre más frecuentemente a través de la ingestión oral.

Los tipos de exposición comprenden:

- **Aguda**, que es la exposición a una sustancia química durante 24 horas o menos.
- **Crónica**, que es la exposición a una sustancia química durante más de tres meses.
- **Subaguda**, que es la exposición a una sustancia química durante un mes o menos.
- **Subcrónica**, que es la exposición a una sustancia química entre uno y tres meses.

### **12.3.6.1 EFECTOS DESPUÉS DE LA EXPOSICIÓN**

Los efectos locales se observan en las partes del cuerpo donde tuvo lugar la exposición o en sus alrededores. Por ejemplo, la inhalación de partículas irrita el sistema respiratorio, con efectos que van desde estornudos hasta dolores en el pecho y dificultad para respirar. Una picadura de hormiga produce enrojecimiento e inflamación en el lugar afectado.

Algunas sustancias se absorben en el torrente sanguíneo y se transportan luego a otras partes del cuerpo donde producen sus efectos. Estos tipos de sustancias suelen producir sus efectos en uno o dos órganos del cuerpo y la posibilidad de que estos efectos tengan lugar dependen de la concentración de la sustancia química en el órgano afectado.

La concentración de la sustancia en el órgano afectado depende de si fue producida por absorción, distribución, biotransformación o excreción. La biotransformación tiene lugar cuando una sustancia cambia de una forma a otra, lo cual también altera las propiedades tóxicas de la sustancia. La biotransformación ocurre generalmente en varios pasos, principalmente en el hígado, pero también ocurre en otros tejidos como los riñones, los pulmones y el sistema digestivo.

Algunas sustancias se absorben desde el torrente sanguíneo y se almacenan en tejidos donde es posible que no produzcan efectos negativos. Por ejemplo, el plomo se almacena principalmente en los huesos largos del cuerpo, pero cuando se libera, tiene un efecto tóxico en el sistema nervioso.

### **12.3.6.2 EXCRECIÓN DE TOXINAS**

La tasa de eliminación de una sustancia tóxica del cuerpo determina si ésta tendrá un efecto tóxico. Cuanto más tiempo permanece la sustancia química en el cuerpo, mayor es la probabilidad de que produzca daños.

La principal forma de excreción de la sustancia química del cuerpo humano es a través de la orina, pero los riñones, los pulmones y el hígado son importantes también en la eliminación de ciertas sustancias químicas del cuerpo.

- El riñón elimina el mayor número de toxinas en comparación con otros tejidos y órganos.
- Los pulmones eliminan sustancias que se encuentran en la fase gaseosa, como el dióxido de carbono.
- El hígado elimina sustancias como el plomo o el DDT mediante su excreción a la bilis, la cual es producida por el hígado y se desplaza al intestino delgado. Desde allí la sustancia se absorbe en las heces y luego se elimina a través de la excreción.

Ni las glándulas sudoríparas ni el sistema gastrointestinal son rutas importantes para la excreción de sustancias tóxicas. La piel, el cabello y la leche materna son otras vías menores para la excreción.

## **12.4 Factores de riesgo y tendencias ambientales que afectan a la salud**

La Agenda 21 señala que las principales causas de la mayoría de los problemas de salud que aquejan a la población del mundo son:

- La pobreza.
- El acelerado crecimiento demográfico.
- El consumo exacerbado de algunos países que mantienen estilos de desarrollo inapropiados.

En este contexto, los dos elementos principales en la ecuación de salud y ambiente son:

- La forma en que los factores ambientales afectan a la salud.
- La forma en que las tendencias ambientales actuales están cambiando los modelos de riesgos para la salud (Schaeffer, 1994).

Algunos de los factores ambientales que afectan a la salud son:

- El abastecimiento de agua potable y el saneamiento.
- La vivienda y el hábitat.
- La dieta.
- La contaminación ambiental.
- El empleo de productos químicos.
- Los riesgos ocupacionales.
- Accidentes y traumas en las carreteras.

Algunas de las tendencias ambientales actuales que afectan los modelos de riesgo para la salud son:

- La población y los modelos de asentamiento.
- La pobreza y el subdesarrollo.
- Incremento en el uso de los recursos.
- Políticas macroeconómicas.
- Tendencias transfronterizas y mundiales.

#### 12.4.1 Clasificación de riesgos asociados a la problemática ambiental

La Organización Panamericana de la Salud, a través de la División de Salud y Ambiente, caracteriza a la salud ambiental de una forma que le permite contender operativamente con el problema a través de una estrategia de intervención, y clasifica los riesgos generados por la problemática ambiental en riesgos tradicionales y riesgos modernos, respectivamente.

- a) Los riesgos tradicionales son aquellos vinculados con la pobreza y con el desarrollo insuficiente; es decir, aquellos que se presentan por la falta de infraestructura para el abastecimiento de agua potable y alcantarillado, falta de servicios de limpieza urbana, vivienda, contaminación en interiores por la quema de leña, carbón o petróleo.
- b) Los riesgos modernos son aquellos relacionados con el desarrollo que carecen de salvaguardas en cuanto a los peligros del ambiente para la salud; estos riesgos se relacionan con la contaminación del aire, industria intensiva, agricultura intensiva, contaminación del agua por pesticidas o por contaminación de alimentos.

En los países desarrollados prácticamente los riesgos tradicionales son inexistentes y, por el contrario, los riesgos modernos son de una amplia diversidad; por el contrario, en los países en vías de desarrollo los riesgos tradicionales son altamente prevalentes y de moderados a altos los riesgos modernos. En los países en vías de desarrollo ambos tipos de riesgo se encuentran en una etapa de riesgo transicional.

#### 12.4.2 Riesgo y peligro

Los seres humanos a lo largo de su vida están expuestos a diversos peligros, entendiéndose como peligro aquella acción o sustancia que pueda causar daño, enfermedad, pérdida económica o daño ambiental.

Riesgo es la posibilidad de sufrir daño debido a un peligro, en el ambiente el ser humano está expuesto a peligros físicos causados por él mismo o por situaciones naturales, como puede ser el ruido, ondas de calor o frío extremos, radiaciones, ionizantes o los peligros físicos causados por derrumbes, inundaciones o sequías, incendios y otros fenómenos naturales, como se muestra en la figura 12.5.



**Figura 12.5**

Situación de riesgo para el ser humano y el ambiente.

De una forma general los peligros se pueden clasificar en:

- Químicos:** tienen su origen en el manejo y/o exposición a sustancias químicas tóxicas, carcinógenos, mutágenos y teratógenos, que pueden ser descargadas al aire, al agua o depositadas en el suelo o en los alimentos.
- Biológicos:** son ocasionados por el contacto con bacterias, virus, polen, parásitos y otros agentes que pueden alterar la salud de los individuos.
- Biosociales:** éstos se refieren a las condiciones de vida y de trabajo, consumo de sustancias prohibidas, alcoholismo, etcétera.
- Psicosociales:** son una variante de los biosociales y tienen que ver con la conducta y el comportamiento individual o colectivo de las personas.

### 12.4.3 Riesgos por eventos naturales

La salud ambiental también es afectada por episodios naturales que en algunos casos causan catástrofes con pérdidas de vidas de personas y animales, impactan severamente en la economía y algunas veces alteran totalmente el paisaje con pérdida de vegetación, de suelo y modificaciones en el entorno del suelo alterando significativamente las cuencas hidrográficas de una región.

Los estudiosos de la protección civil se han puesto de acuerdo y han catalogado estos eventos como riesgos. Por considerar que este tema es de interés general, se incluye a continuación la clasificación de los eventos naturales catalogados como riesgos por el Centro Nacional de Desastres de México.

#### 12.4.3.1 RIESGOS GEOLÓGICOS

Los fenómenos en los que intervienen la dinámica y los materiales del interior de la Tierra o de la superficie de ésta se denominan fenómenos geológicos, los cuales pueden clasificarse de la siguiente manera:

- Sismicidad.
- Vulcanismo.
- Tsunamis.
- Movimientos de laderas y suelos.

Estos fenómenos han estado presentes a lo largo de la historia geológica del planeta y seguirán presentándose de acuerdo con patrones similares de incidencia.

La sismicidad y el vulcanismo son consecuencia de la movilidad y de las altas temperaturas de los materiales en las capas intermedias de la Tierra, así como de la interacción de las placas tectónicas; se manifiestan en áreas o sectores bien definidos.

Los tsunamis, también conocidos como maremotos, aunque menos frecuentes que los sismos o las erupciones volcánicas, constituyen amenazas principalmente para poblaciones e instalaciones costeras, como se muestra en la figura 12.6. Los más peligrosos para México son los que se originan como consecuencia de sismos de gran magnitud con epicentro en la costa del océano Pacífico.

Otros fenómenos geológicos importantes son propios de la superficie terrestre y son provocados esencialmente por la acción del intemperismo y la fuerza de la gravedad, éstos son factores determinantes para la movilización masiva, ya sea de manera lenta o repentina, de masas de roca o sedimentos con poca cohesión en pendientes pronunciadas. En ocasiones



Figura 12.6

Fotografía de un tsunami.

estos deslizamientos o colapsos también son provocados por sismos intensos. Muchas de las áreas habitadas por el ser humano se localizan en valles aluviales debido a la disponibilidad de campos planos y cultivables.

Con el paso del tiempo y el aumento de la población, las corrientes superficiales de agua se vuelven insuficientes para el riego agrícola y el consumo humano, por lo que se recurre a extraer, cada vez en mayor proporción, agua del subsuelo. Como consecuencia, el terreno tiende a presentar gradualmente hundimientos y agrietamientos locales y regionales, que pueden llegar a afectar seriamente las edificaciones y la infraestructura.

#### 12.4.3.2 RIESGOS HIDROMETEOROLÓGICOS

Se consideran riesgos hidrometeorológicos los siguientes eventos meteorológicos:

- a) Sequías.
- b) Lluvias extremas.
- c) Nevadas.
- d) Heladas.
- e) Granizo.

México ha sido afectado por varios fenómenos de este tipo, que han provocado la pérdida de vidas humanas o daños materiales de importancia. Los eventos más recientes en México, que ponen de manifiesto la gravedad de las consecuencias de esta clase de fenómenos, son los siguientes:

- a) El huracán Paulina en Acapulco (1997).
- b) Las lluvias interosas en Tijuana (1993 y 1998), en Pijijiapan y Valdivia en Chiapas (1998) y en Topo Chico en Monterrey (1999).
- c) Inundaciones y deslaves ocurridos en octubre de 1999 y en 2009 en Tabasco, Veracruz, Puebla e Hidalgo.

Las fuertes precipitaciones pueden generar intensas corrientes de agua en ríos, flujos con sedimentos en las laderas de las montañas, movimientos de masa que transportan lodo, rocas, arena, árboles y otros objetos que pueden destruir casas, tirar puentes y romper tramos de carreteras. Las granizadas afectan las zonas de cultivo, obstruyen el drenaje y provocan daños a estructuras en zonas urbanas.

Las sequías provocan fuertes pérdidas económicas a la ganadería y la agricultura en períodos de meses o años. Pese a que no es grande la zona de México expuesta a nevadas, el frío es causa de muertes en los sectores de la población de bajos recursos económicos.

El conocimiento de los principales aspectos de los fenómenos hidrometeorológicos, la difusión de la cultura de protección civil en la población y la aplicación de las medidas de prevención de desastres pueden contribuir de manera importante a la reducción de los daños ante esta clase de fenómenos.

#### ACTIVIDAD 12.2

Formar equipos de trabajo de dos a tres alumnos, discutir algunos eventos hidrometeorológicos ocurridos en los 10 últimos años en áreas urbanas de México, por ejemplo: ciclones, tolvaneras e inundaciones.

Analizar los efectos en la salud de las personas, daños a los ecosistemas e impacto en la economía. Analizar los programas de prevención ante los desastres naturales o antropogénicos.

#### 12.4.3.3 RIESGOS QUÍMICOS

El avance tecnológico demanda un incremento constante en volumen y diversidad de los productos químicos que son generados, almacenados, transportados y utilizados. Algunas de las sustancias químicas son muy peligrosas, por lo cual existe un riesgo potencial de que ocurrán accidentes durante su manejo, lo que puede provocar su liberación no controlada, incendios o explosiones, poniendo en peligro la salud humana y al ambiente.

Es importante representar la distribución en México de sustancias peligrosas tanto inflamables como tóxicas que se encuentran almacenadas por municipio, así como las empresas de alto riesgo, para lo cual se puede consultar la base de datos MAQUIM (Materiales Químicos), así como la elaborada por la Dirección Corporativa de Seguridad Industrial y Protección Ambiental de Petróleos Mexicanos.

A partir de la base de datos MAQUIM se generó un mapa de las 22 sustancias químicas más peligrosas almacenadas en mayor volumen por municipio, destacándolas con gradientes de colores de semáforo, para proporcionar su grado de peligro, así como el desarrollo industrial a nivel municipal.

Esta información es útil para que las unidades municipales y estatales de protección civil conozcan el tipo de sustancia, la cantidad, el daño que pueden causar en caso de accidente y estén preparados para actuar en una eventualidad de este tipo. También es importante para elaborar programas de capacitación, activar sistemas de comunicación, alarma y difusión de planes de contingencias.

#### 12.4.3.4 ESTUDIOS ECONÓMICOS Y SOCIALES

Los efectos de los desastres naturales en México se magnifican por la elevada vulnerabilidad de la sociedad y la economía. El estudio de los efectos socioeconómicos de los desastres permite determinar la capacidad de un estado o región para hacer frente a éstos y así crear las medidas preventivas necesarias en conjunto con la parte técnica.

Asimismo, la generación de un banco de datos por tipo de desastre y por región afectada permitirá determinar las regiones más vulnerables del país por tipo de fenómeno. Por último, esta clase de estudios permite conocer la relación entre el tipo de desastre y el impacto socioeconómico que genera, lo que es fundamental para calcular la relación costo-beneficio o costo-efectividad de posibles inversiones en medidas de prevención y mitigación.

Es preciso conocer los factores socioeconómicos de la población, ya que éstos influyen de manera directa en el grado de vulnerabilidad social que presentan algunos sectores de la población. Es importante mencionar que aunque pobreza y vulnerabilidad no son lo mismo, la primera influye o incrementa las posibilidades de ser vulnerable. Se ha calculado que un 60% de la población dañificada por desastres naturales es pobre y vive en zonas o regiones marginadas. Las evaluaciones socioeconómicas de los desastres permiten que la inversión de recursos en la atención del desastre y en la reconstrucción de la zona afectada vaya dirigida a los sectores más afectados.

### ACTIVIDAD 12.3

En un equipo de tres alumnos reflexiona sobre los siguientes cuestionamientos: a) ¿Para qué tipo de contingencias públicas está organizada tu ciudad? b) ¿Son estas contingencias de carácter ambiental? c) ¿Existen inquietudes ambientales para las que no hay respuesta comunitaria a pesar de que tú pienses que debería haberla? d) ¿Cómo crees que se podría concientizar a tu comunidad para que establezca prioridades indicadas en su interrelación con los ecosistemas? Elabora un ensayo con las conclusiones obtenidas, compártelas en clase con los demás compañeros cuando el profesor lo decida, entrega el ensayo.

## Capítulo 13. Salud ambiental en el desarrollo sustentable

La salud y su ambiente son un prerequisito para el desarrollo sustentable; sin embargo, un problema real en el desarrollo sustentable respecto a salud es que generalmente se piensa que la salud ambiental es competencia exclusiva del sector salud, cuando la realidad es que se trata de un asunto multidisciplinario que compete a todas las disciplinas del conocimiento, por lo cual es imperativo adoptar un enfoque metodológico holístico.

Es decir, la salud ambiental debe abordarse con una visión de sistema, que involucre políticas holísticas de desarrollo y planificación en salud, en las cuales se consideren factores de incertidumbre y riesgo, así como diferentes opciones de solución.

### 13.1 Percepción de la salud ambiental en el desarrollo sustentable

Se entiende por desarrollo al proceso mediante el cual los seres humanos modifican intencionalmente el ambiente circundante para mejorar sus condiciones. Durante los últimos dos siglos, y sobre todo en los últimos 50 años, el desarrollo humano se ha llevado a cabo con tal celeridad y potencia que se han generado cambios significativos en los ambientes naturales y urbanos de la mayoría de los países.

Las actividades de desarrollo económico explotan los recursos naturales y humanos con distintos niveles y métodos de control social para aumentar la riqueza. Las actividades de desarrollo pueden mejorar el bienestar si se orientan hacia la atención de las necesidades humanas, tanto las de carácter inmediato como las necesarias para asegurar que el ambiente físico se modifique para favorecer un mayor bienestar a largo plazo.

El desarrollo tecnológico de los últimos decenios ha permitido mejorar las condiciones de vida de mucha gente, pero de ninguna manera ha beneficiado a todo el mundo y, además, ha sometido al ambiente y a la humanidad a nuevas presiones.

Existe una relación estrecha entre los aspectos económicos y sociales del desarrollo; en determinadas situaciones los aspectos sociales son la meta y en otras la fuerza motriz de las actividades económicas. Si bien se procura obtener un ambiente social que promueva el bienestar de las personas, incluida su salud, su protección frente a los daños y el crecimiento de su capacidad y sus logros personales, el desarrollo económico también se ve impulsado por el crecimiento demográfico y la dinámica cultural y psicológica de la sociedad. Así, por ejemplo, el consumo con derroche y cambios de índole social pueden tener efectos nocivos sobre el ambiente y la salud.

De lo anterior se desprende que la expresión "desarrollo socioeconómico" denota adecuadamente una relación recíproca, cíclica y esencialmente inseparable entre los aspectos económicos y sociales, con implicaciones para la salud.

El éxito del desarrollo socioeconómico depende, cada vez más, del "desarrollo político"; es decir, de las formas para administrar las empresas o emprendimientos colectivos a fin de reducir al mínimo sus costos y distribuir sus beneficios en forma equitativa. Las políticas que subyacen al desarrollo sustentable son:

- Reducir al mínimo el agotamiento y el daño de los recursos naturales.
- Evitar la contaminación del ambiente con desechos.
- Velar por que la gente esté protegida contra los daños en el ambiente donde vive.

- Fomentar su salud a nivel personal y comunitario, tanto en las generaciones actuales como futuras.

Por lo cual, para que el desarrollo pueda ser sustentable y humano, se deben fomentar las posibilidades de la comunidad para administrarlo.

### ACTIVIDAD 13.1

Se formarán cuatro equipos en el grupo para investigar al menos una política de desarrollo que dependencias del sector salud de los gobiernos federal, estatal y municipal estén aplicando para fomentar el estado de salud humana de tu país. Se integrará un panel de discusión con representantes de cada equipo formado, se discutirá por espacio de 30 minutos, cada estudiante entregará al profesor sus propias conclusiones por escrito en un máximo de una cuartilla.

## 13.2 Interacciones de la salud con el ambiente y el desarrollo

El estado de salud del ser humano depende sobre todo de sus interacciones con el ambiente en que vive. Salvo los rasgos genéticos hereditarios, las condiciones ambientales y la experiencia son factores determinantes de la salud. Esto se aplica tanto a los ambientes del útero materno y de la infancia, protegida o no, como al complejo ambiente físico y social donde vive, en forma adecuada o no, alimentación, agua, vivienda, seguridad, educación, empleo y atención de la salud.

La producción y distribución de los beneficios del desarrollo socioeconómico son factores determinantes del ambiente en el cual vive la gente. La forma en que se logra dicho desarrollo y la manera en que éste impacta sobre el ambiente determinan:

- La satisfacción de las necesidades humanas.
- Las comodidades que están al alcance de la población.
- Los peligros a los cuales la misma estará expuesta.
- La capacidad del medio ambiente para satisfacer las necesidades esenciales actuales y a largo plazo.
- E incluso, en parte, la herencia biológica que será transmitida a las generaciones futuras.

Dado que el desarrollo no administrado o administrado en forma deficiente sólo permite satisfacer en parte la protección del ambiente, las sociedades contemporáneas se preocupan cada vez más por darle al proceso de desarrollo un carácter sustentable.

Las políticas macroeconómicas y subsidiarias del desarrollo que descuidan los aspectos de salud y los valores ambientales correspondientes, especialmente los relacionados con la disponibilidad y la calidad de los alimentos, el agua, la energía y la vivienda, pueden tener consecuencias adversas sobre la salud pública. El logro de objetivos de crecimiento a corto plazo puede llegar a tener consecuencias trascendentes, e incluso irreversibles, para la salud del ambiente, tanto a corto como en el largo plazo.

En condiciones ideales, un debate sobre las interacciones de la salud y el ambiente debería centrarse en promover estados positivos de salud y bienestar para el ser humano. Sin embargo, la realidad exige que se privilegie ante todo la prevención de daños, enfermedades, discapacidades y defunciones. Si bien los países difieren mucho entre sí en cuanto a los perfiles de sus respectivos problemas de salud, las principales políticas se relacionan con la satisfacción de las necesidades básicas para la vida y la protección de la salud.

### 13.2.1 Relaciones causales y decisiones de desarrollo

Las experiencias de hambrunas, sequías y condiciones climáticas extremas han puesto al descubierto la relación que existe entre la falta de satisfacción de las necesidades ambientales básicas, por una parte, y las defunciones y las enfermedades, por la otra.

También se ha establecido la relación directa entre las exposiciones no controladas a agentes patógenos únicos o múltiples con las enfermedades, como en el caso de las diarreas de lactantes. Sin embargo, no es fácil mostrar pruebas concluyentes en relación con las enfermedades causadas por agentes contaminantes del ambiente, esta información sería determinante para la toma de decisiones en el desarrollo.

Por lo general las verdaderas causas de las enfermedades y lesiones no transmisibles se ven opacadas por:

- **Factores temporales.** Existe un lapso de tiempo entre la exposición y la aparición de los síntomas.
- **Factores de lugar.** Se ha probado la relación entre la intoxicación por plomo y el retraso mental, pero es necesario determinar aspectos particulares de la situación de riesgo a que fue expuesto el individuo.
- **La complejidad.** Por lo general, la gente está expuesta a una combinación de riesgos, aire contaminado y tabaquismo, que se pueden agravar cuando se vive en condiciones de pobreza.

Además, los riesgos pueden actuar en forma sinérgica, fortaleciéndose entre sí. Es poco lo que se conoce sobre dichos procesos, y la tecnología de diagnóstico es escasa o inaccesible.

### 13.2.2 Patrones de las enfermedades

En los últimos 50 años se ha observado una mejora sustancial de algunos indicadores generales de salud. Por ejemplo, en América Latina y el Caribe la esperanza de vida al nacer aumentó de 54 años en 1960 a 72.8 en 2005; en dicho lapso, las tasas de mortalidad infantil de esos países disminuyeron de 161 a 38 por 1 000. Estos datos generales ponen de manifiesto grandes variaciones en los patrones de las enfermedades entre los países; sin embargo, ocultan importantes diferencias a nivel nacional y comunitario. En algunos países, las tasas de longevidad y de mortalidad infantil no variaron demasiado con respecto a los índices regionales de 1960 y en el caso de los habitantes de comunidades rurales y urbanas marginadas de todos los países empeoraron.

Gran parte de la carga de enfermedades y muertes prematuras se atribuye a factores sociales y políticos, antes que a factores técnicos:

- Condiciones inadecuadas en cuanto al suministro de agua para consumo.
- Eliminación higiénica de excretas.
- Tratamiento de aguas residuales, con la consecuente contaminación de fuentes.
- Saneamiento comunitario y la higiene en el hogar.
- Educación deficiente en higiene y puericultura.

Todo lo anterior se agrava por densidades de población elevadas y la falta de servicios de salud apropiados. De acuerdo con la OMS (1995) bastaría con suministrar agua potable y servicios de saneamiento básicos para reducir en 50% la mortalidad infantil y prevenir 25% del total de diarreas. Los países en vías de desarrollo deberían resolver sus problemas de salud ambiental del pasado, para no limitar sus posibilidades de hacer frente a necesidades emergentes.

Si bien las enfermedades no transmisibles constituyen los principales problemas de salud en los países industrializados, los países en vías de industrialización tienen que librarse tanto contra las enfermedades transmisibles endémicas como contra los males de la "modernización".

En distintas proporciones, la salud de las personas en los países de América Latina y el Caribe está expuesta a un peligro creciente debido a los siguientes factores:

- La contaminación química del aire, el agua y los alimentos, incluso, en ocasiones, la leche materna.
- La exposición a situaciones riesgosas y accidentes en el trabajo.
- La exposición a desechos peligrosos.
- Las lesiones y muertes debidas al tráfico y los accidentes en el hogar.
- La mayor disponibilidad de sustancias nocivas.
- Los males sociales de la violencia y la criminalidad.

En la mayoría de los países, dichos riesgos se ven intensificados por la falta de experiencia social y una infraestructura técnica inadecuada para su análisis y control.

### **13.3 Pobreza, ambiente y salud**

La pobreza generalizada es el común denominador que afecta tanto a los medios urbanos, como a los rurales; además es importante hacer notar que la gente de todos los niveles económicos también se ve afectada por el incremento en el porcentaje de familias pobres y, en general, por la pobreza comunitaria.

Estudios epidemiológicos de salud pública han demostrado que existen relaciones estrechas entre la pobreza, la mala salud y el deterioro ambiental. Dichas relaciones son reciprocas y se reforzán entre sí, en el sentido de que cada factor es a la vez causa y efecto de los otros, y pueden intensificarse. La lucha por sobrevivir con escasos ingresos y a veces con falta de un apoyo social no les deja opción a los pobres, que se ven en la necesidad de utilizar los recursos básicos de forma excesiva o indebida y en ocasiones exponer su salud a situaciones de riesgo.

A nivel comunitario, la pobreza se expresa como la falta de recursos financieros, técnicos y de gestión para suministrar infraestructura y servicios básicos. Sea real o bien función de las prioridades financieras, dicha pobreza tiene un costo en términos de la exposición de la gente a situaciones riesgosas para la salud, las necesidades de atención de salud y el deterioro del entorno material. La escasez en lo que hace al suministro de agua, los servicios de saneamiento básico, el tratamiento de los desechos sólidos y la vivienda deberían constituir una preocupación primordial para las entidades gubernamentales de todos los países.

#### **13.3.1 Abastecimiento de agua potable y saneamiento**

Pese a los programas de ampliación del abastecimiento de agua, emprendidos en los años ochenta en los países de América Latina y el Caribe, alrededor de 87 millones de personas carecen de un abastecimiento confiable de agua y es mayor aún la cantidad privada de acceso al agua salubre en esa región. Además, casi 150 millones de individuos carecen de los elementos apropiados para la recolección y la eliminación inocua de excretas.

Los residentes de zonas rurales y los habitantes pobres de las ciudades se ven especialmente privados, ya que a menudo deben pagar precios excesivos por el transporte del agua. La trascendencia que se le dio al aumento del abastecimiento de agua hizo que los problemas relacionados con la calidad de la misma pasaran a una importancia secundaria. El tratamiento inadecuado de las aguas residuales ha traído como consecuencia la creciente contaminación de las fuentes naturales de agua, además de la contaminación proveniente de fuentes industriales y agrícolas. Solamente en la región de América Latina y el Caribe, los desechos de aproximadamente 128 millones de residentes urbanos son descargados a los cuerpos de agua superficiales sin tratar.

La epidemia de cólera de 1991 en Sudamérica mostró en forma dramática los costos de estas situaciones en términos de salud. Las medidas prioritarias tomadas posteriormente por los gobiernos

disminuyeron rápidamente las tasas de las enfermedades diarreicas y otras afecciones relacionadas con el agua. Este hecho demuestra que la adecuada toma de decisiones puede mejorar la salud y aligerar el lastre que pesa sobre la productividad, necesaria para un desarrollo económico sólido.

### 13.3.2 Residuos sólidos

La urbanización y el desarrollo industrial han propiciado una tendencia a acelerar la generación de residuos sólidos, algunos de ellos peligrosos y poco biodegradables, que rara vez son recolectados y tratados con eficiencia.

Este problema se ha agravado en las grandes ciudades, y ha crecido también en forma proporcional en los centros urbanos de menor tamaño, con amenazas cada vez mayores para la salud, ya que se generan las condiciones propicias para el desarrollo de:

- Microorganismos patógenos y
- Población de vectores de enfermedades.

Lo anterior trae como consecuencia repercusiones a nivel estético y contaminación de las fuentes hídricas y suelos, así como la contaminación del aire proveniente de la incineración de desechos y el mal uso del suelo.

### 13.3.3 Vivienda y vecindarios

Las pruebas más contundentes de la insuficiencia de viviendas y sus efectos ambientales se encuentran en los asentamientos marginales y barrios de las ciudades, cuyos residentes menos favorecidos viven en condiciones materiales y sociales precarias en las cuales no pueden evitar agravar el deterioro de la tierra y la contaminación del aire y el agua.

En forma más general, la vivienda inadecuada, incluidos los servicios, abarca distintos factores adversos para la salud, que incluyen niveles elevados de exposición a agentes patógenos y vectores biológicos y físicocíquicos, una protección inadecuada frente al clima, riesgos para la seguridad y una variedad de situaciones de estrés psicosocial.

A nivel general, el síndrome de la pobreza, que afecta principalmente a las poblaciones de los países en vías de desarrollo, plantea un gran reto para el desarrollo humano sostenible.

### 13.3.4 Grupos de población de alto riesgo

Las poblaciones más expuestas a los riesgos de salud relacionados con el ambiente son las de los pobres, los niños, las mujeres, los grupos indígenas y los trabajadores en general y especialmente aquellos que pertenecen a más de uno de estos grupos.

Los pobres están expuestos a riesgos y, por definición, carecen de medios para su protección. Se tienen que enfrentar a enfermedades infecciosas y matricionales en condiciones de vida deficientes, y rara vez logran protegerse frente a la exposición a sustancias contaminantes, a las condiciones de trabajo y transporte peligrosas, al estrés psicológico y a la alienación social. Las tasas de enfermedades cardiovasculares y neoplásicas entre los habitantes pobres de las ciudades de América Latina y del Caribe son con frecuencia tan elevadas como las de los países industrializados.

Los niños son biológicamente más vulnerables a la amplia gama de peligros ambientales, y a menudo viven en condiciones de mayor riesgo en cuanto a incendios, viviendas deficientes, tráfico y contaminación del aire en ambientes cerrados. Estos riesgos los pueden compartir con las mujeres, que a menudo realizan tareas en el hogar o trabajan en fábricas maquiladoras, especialmente en los casos en que son cabeza de la familia, y a quienes en algunas sociedades se les niega una educación adecuada.

La industrialización de la agricultura y la explotación de los recursos naturales propiciaron la destrucción de la cultura y de los medios de vida de algunos grupos indígenas. La situación de

desarraigo frente a las relaciones tradicionales con la tierra, la ocupación y la tribu propicia con frecuencia la susceptibilidad a las enfermedades, que puede agravarse debido a la pobreza y la alienación social.

En los países en vías de desarrollo, los trabajadores están expuestos a riesgos excesivos de exposición a sustancias tóxicas y accidentes, sobre todo en los oficios no reglamentados y del "sector informal", y forman una subclase más o menos permanente, con riesgos ocupacionales en un trasfondo de vulnerabilidad y pobreza. Para muchos de estos trabajadores, la atención de salud preventiva y correctiva es, a menudo, económicamente inaccesible.

### 13.3.5 Impactos ambientales transfronterizos

Los riesgos para la salud originados en el ambiente escapan a las posibilidades de control de los países, lo anterior se debe a su carácter transnacional. Además se deben incluir los factores de riesgo transportados a través de las fronteras por el aire o el agua, como por ejemplo:

- Transporte de contaminantes químicos y sustancias radiactivas.
- Los movimientos de personas y bienes (cólera, alimentos contaminados, drogas ilegales, etcétera).
- La exportación no controlada de desechos peligrosos.

Los países que comparten recursos y situaciones problemáticas en sus zonas fronterizas deberían aportar a los grandes cambios a nivel global, cambios que, a su vez, les plantean amenazas a largo plazo, como por ejemplo:

- La acumulación de gases causantes del efecto invernadero.
- La reducción de la capa de ozono de la estratosfera.
- La destrucción de especies.
- Los efectos resultantes, como los cambios climáticos, las modalidades reproductivas de los vectores y la pérdida de tierras y recursos hídricos.

Al final de la década de los 80 se incrementaron los costos de eliminación de residuos debido a la intensificación de las regulaciones ambientales. La búsqueda de formas más económicas para deshacerse de los residuos condujo a los "comerciantes de desechos tóxicos" a iniciar un transporte de residuos peligrosos hacia países en desarrollo y de Europa del este. Cuando esta actividad salió a la luz pública, la indignación internacional llevó a la redacción y adopción del Convenio de Basilea, que entró en vigor en mayo de 1992. Para el año 2007, 169 países y la Comunidad Europea habían firmado el tratado.

Los informes del Convenio de Basilea indican que, cada año, al menos 8 500 000 toneladas de residuos químicos son transportadas de un país a otro. De estos millones de toneladas de residuos tóxicos enviados para su eliminación en el extranjero, muchas son recibidas y bienvenidas como fuentes de negocios. No obstante, muchos países se quejan de que reciben embarcaciones que nunca acordaron y para las cuales no tienen capacidad de gestión. (Fuente: Basado en los informes nacionales transmitidos al Secretariado del Convenio de Basilea en 2001.)

El Convenio de Basilea también dispone de 14 centros regionales y de coordinación situados en: Argentina, China, Egipto, El Salvador, Indonesia, la República Islámica de Irán, Nigeria, la Federación Rusa, la República de Eslovaquia, el Programa Medioambiental Regional del Sur del Pacífico (Samoa), Sudáfrica, Trinidad y Tobago y Uruguay. Los centros desarrollan proyectos regionales, imparten cursos y apoyan en la transferencia tecnológica para la puesta en práctica del Convenio.

## ACTIVIDAD 13.2

Investiga en Internet los objetivos y ejemplos de sustancias que regulan los siguientes convenios:  
a) Convenio de Basilea que regula los movimientos transfronterizos de los desechos peligrosos,  
b) Convenio de Rotterdam sobre intercambio de información y consentimiento fundado previo y c) Convenio de Estocolmo para Contaminantes Orgánicos Persistentes.

En espacio de 30 minutos discute en un equipo de tres a cinco alumnos la información obtenida y elabora (en equipo) una presentación en PowerPoint, que expondrás cuando el profesor así lo determine.

## 13.4 Cambios globales: interacción de temperatura, clima y salud

En el libro *Climate Change and Human Health Risks and Responses (2003)*, publicado por la Organización Mundial de la Salud, se establece que el sistema climático mundial es parte integrante de los complejos procesos que mantienen la vida, que el clima y el tiempo atmosférico siempre han repercutido sobre la salud y el bienestar de los seres humanos. Sin embargo, al igual que otros grandes sistemas naturales, el climático ha empezado a sufrir la presión de las actividades humanas, y el incremento global de la temperatura observado en las últimas décadas representa un reto para las iniciativas de los gobiernos, que deben enfocarse a proteger la salud humana.

### 13.4.1 Clima, tiempo atmosférico y salud

Del ecuador a los polos, el clima y el tiempo atmosférico tienen grandes repercusiones directas e indirectas en la vida humana. Aunque las personas se adaptan a las condiciones en las que viven y la fisiología humana soporta variaciones meteorológicas considerables, esta capacidad de adaptación es limitada.

Grandes variaciones de las condiciones meteorológicas en períodos breves pueden tener efectos considerables en la salud, como por ejemplo:

- El calor y el frío extremos pueden causar trastornos potencialmente mortales, como los golpes de calor o la hipotermia, además de aumentar la mortalidad por enfermedades cardíacas y respiratorias.
- En las ciudades, la ausencia de vientos puede conducir a la formación de islas de calor y a la acumulación de sustancias contaminantes, produciendo episodios de smog que tienen importantes repercusiones en la salud.

Estos efectos pueden llegar a ser graves, por ejemplo, en el verano de 2003 se registraron en Europa temperaturas anormalmente elevadas, las cuales pueden estar en relación con el incremento de más de 35 000 muertes en comparación con el mismo periodo de años anteriores.

Otras condiciones extremas, como las grandes lluvias, inundaciones y huracanes también pueden tener graves consecuencias sanitarias. En la tabla 13.1 se muestra el número de episodios climáticos o atmosféricos extremos, de vidas perdidas y de damnificados, por regiones del mundo, en las décadas de 1980 y 1990.

Tabla 13.1

Episodios climáticos o atmosféricos extremos y pérdida de vidas y dañados en las décadas de 1980 y 1990. (Fuente: *Climate Change and Human Health Risks and Responses*, OMS, 2003.)

	1980-1989			1990-1999		
	Episodios	Defunciones (miles)	Dañados (millones)	Episodios	Defunciones (miles)	Dañados (millones)
África	243	417	137.8	247	10	104.3
Europa oriental	66	2	0.1	150	10	12.4
Mediterráneo oriental	941	62	17.8	129	14	36.1
América Latina y el Caribe	265	12	54.1	298	59	30.7
Asia Sudoriental	242	54	850.5	286	458	427.4
Pacífico Occidental	375	36	273.1	381	48	1 199.8
Países desarrollados	563	10	2.8	577	6	40.8
Total	1 848	692	1 336	2 078	601	1 851

Como se puede apreciar en la tabla, en la década de los noventa se produjeron aproximadamente 600 000 muertes, de las cuales cerca de 95% se registraron en países pobres. Algunos ejemplos concretos de estos episodios climáticos son:

1. En octubre de 1999, un ciclón causó 10 000 muertes en Orissa, India. Se calcula que el número total de afectados fue de 10 a 15 millones.
2. En diciembre de 1999, las inundaciones de Caracas, Venezuela, y alrededores produjeron aproximadamente 30 000 muertos, muchos de ellos en los barrios de chabolas de las colinas expuestas.

Además de producir cambios del tiempo atmosférico, las condiciones climáticas también intensifican las enfermedades transmitidas por el agua y por vectores como los mosquitos. Los agentes infecciosos varían mucho en tamaño, tipo y modo de transmisión. Existen virus, bacterias, protozoos y parásitos pluricelulares.

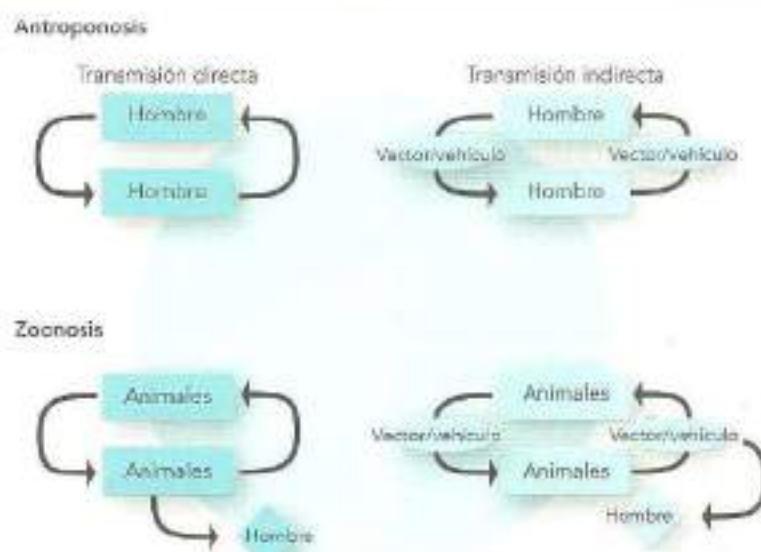
Los microorganismos que causan "antroposis" han experimentado una adaptación evolutiva a la especie humana como huésped primario y por lo general exclusivo. En cambio, las especies no humanas son el reservorio natural de los agentes infecciosos que causan "zoonosis", como se muestra en la figura 13.1.

Ejemplos de infecciones transmitidas de forma directa:

- Antroposis de infección directa: tuberculosis, VIH/SIDA y sarampión.
- Zoonosis de infección directa: rabia.

Ejemplos de infecciones transmitidas indirectamente por vectores:

- Antroposis de transmisión indirecta: malaria, dengue y fiebre amarilla.
- Zoonosis de transmisión indirecta: peste bubónica, influenza porcina y la enfermedad de Lyme.

**Figura 13.1**

Principales tipos de ciclos de transmisión de infecciones (Fuente: Wilson, M.L. "Ecology and infectious disease", en *Ecosystem Change and Public Health*, 2001).

Las enfermedades sensibles a cambios en el clima se encuentran entre las principales causas mundiales de muerte. Tan sólo la diarrea, el paludismo y la desnutrición proteico-calórica causaron en 2002 más de 3.3 millones de muertes, 29% de las cuales se produjeron en la región de África.

### 13.4.2 Efectos del calentamiento global en la salud

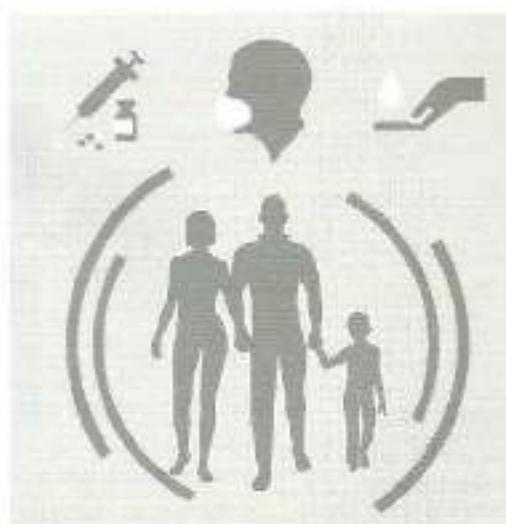
Como ya se ha recalcado en las secciones anteriores, la salud pública depende en gran medida de la existencia de agua potable, alimentos suficientes, vivienda segura y buenas condiciones sociales; estos factores podrían verse afectados por cambios en el sistema climático global.

Los servicios de salud pública y el buen nivel de vida podrán proteger a algunas poblaciones de determinadas repercusiones del calentamiento global, por ejemplo, es poco probable que un incremento de la temperatura permita la reintroducción del paludismo en el norte de Europa o en Norteamérica. Sin embargo, en términos generales, lo más probable es que los efectos sanitarios del calentamiento rápido del planeta sean predominantemente negativos, sobre todo en las comunidades más pobres, que son las que menos contribuyen a la emisión de gases de efecto invernadero.

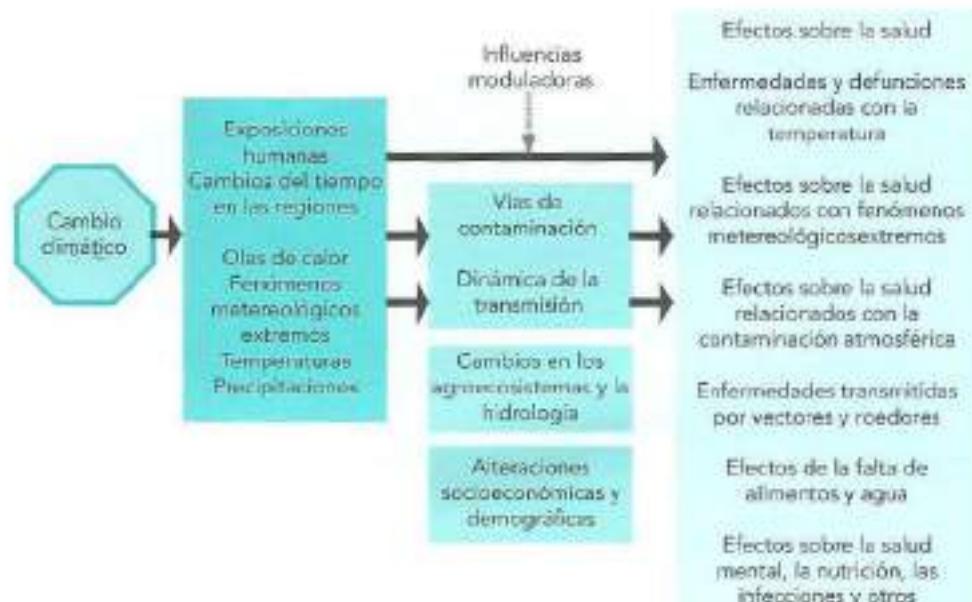
Según un estudio del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), un incremento de la temperatura en la Tierra probablemente trae consigo algunos beneficios localizados como, por ejemplo, la disminución de las muertes en invierno en regiones de climas templados y un aumento de la producción de alimentos en otras regiones. Sin embargo, la Organización Mundial de la Salud considera que un cambio drástico en el sistema climático acarrea riesgos considerables para la salud humana y en especial para las poblaciones más pobres.

La Organización Mundial de la Salud ha establecido una lista de los principales efectos de tipo sanitario, como se muestra en la figura 13.3.

Aún quedan muchas interrogantes sin resolver acerca de la sensibilidad de determinados resultados sanitarios al tiempo atmosférico, a la variabilidad climática y a los cambios ambientales inducidos por el clima. Según la Organización Mundial de la Salud, es probable que el incremento global de la temperatura de los últimos decenios ya haya influido en algunos resultados sanitarios, por ejemplo, en el aumento de los casos de diarrea, de paludismo y algunos otros, como la malaria y el dengue.

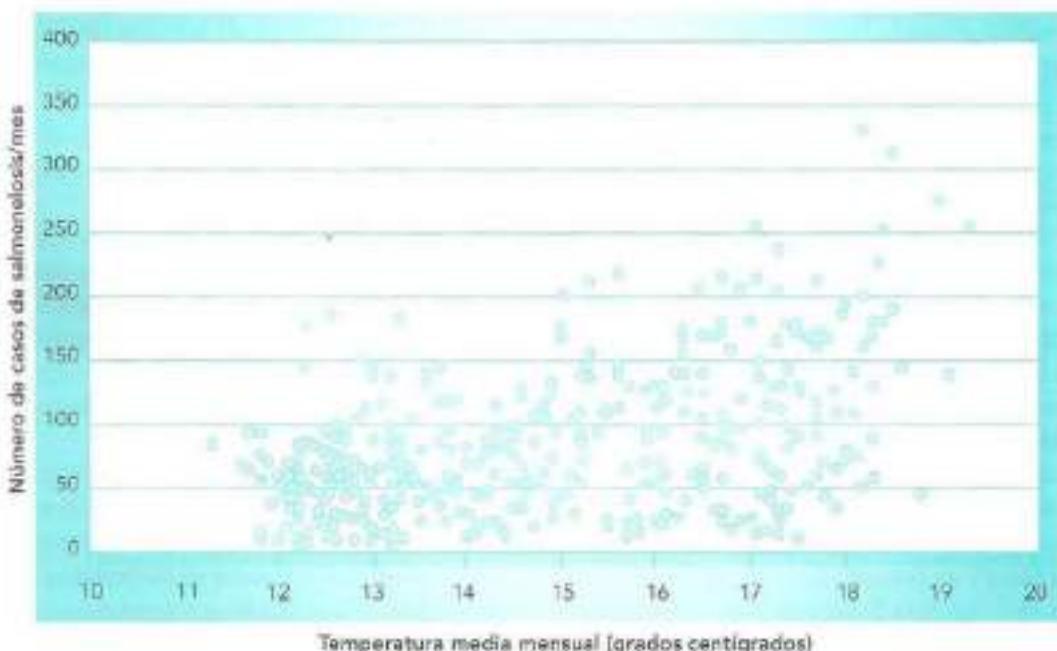
**Figura 13.2**

La transmisión de la influenza A o la A/H1N1 está asociada a condiciones de saneamiento básico.

**Figura 13.3**

Vías por las que el cambio climático afecta a la salud humana. (Fuente: *Climate Change and Human Health Risks and Responses*, OMS, 2003.)

Un ejemplo típico de microorganismos que se multiplican más rápidamente en condiciones más cálidas son aquellos causantes de gastroenteritis aguda. ¿Es cierto que temperaturas más altas causan más enfermedades? Parece ser que sí, como lo demuestra la relación entre el número de casos mensuales de salmonelosis en Nueva Zelanda y la temperatura media mensual (véase la figura 13.4).

**Figura 13.4**

Relación entre la temperatura media y las notificaciones mensuales de casos de salmonelosis en Nueva Zelanda, 1965-2000.

Las mediciones de los efectos sanitarios del calentamiento global son sólo aproximaciones; no obstante, en una evaluación cuantitativa llevada a cabo por la OMS, con respecto a algunas de las posibles repercusiones sanitarias, se concluyó que los efectos del calentamiento global que se ha producido desde mediados de la década de 1970 pueden haber causado más de 150 000 muertes en el año 2000. Asimismo se concluyó que esas repercusiones probablemente aumenten en el futuro.

## Capítulo 14. Instrumentos para la gestión de la salud ambiental

*Enseñad a vuestros hijos lo que nosotros enseñamos a los nuestros: que la Tierra es nuestra madre. Lo que acontece a la Tierra, le acontece también a los hijos de la Tierra.*

ANÓNIMO

Para enfrentar los problemas de salud ambiental actuales es necesario incorporar nuevas aptitudes profesionales, eliminar la subordinación de disciplinas a la racionalidad de una sola y, además, comprender que interdisciplina no significa la sumatoria de capacidades de sectores, sino que es la interacción activa alrededor de una situación concreta de salud ambiental. En este sentido, se han creado algunos instrumentos básicos para la gestión de la salud ambiental, algunos de ellos propios para las diferentes regiones de la Tierra y otros de carácter general. Aquí se presentan algunos ejemplos de carácter general y otros exclusivos para los países miembros de la Organización Panamericana de la Salud.

- Estrategia Global de la Organización Mundial de la Salud para la Salud y el Ambiente.
- Orientaciones Estratégicas y Prioridades Programáticas de la Organización Panamericana de la Salud.
- Agenda 21.
- Declaración de Puerto Rico (Agua y Saneamiento).
- Plan Regional de Inversiones en Ambiente y Salud (PIAS).
- Carta Panamericana de Salud y Ambiente.

### 14.1 Las propuestas de la OMS

La Organización Mundial de la Salud coordina revisiones bibliográficas de los datos científicos sobre las relaciones entre el clima, el cambio climático y la salud, y participa en los procesos de evaluación del IPCC. Tomando en cuenta los resultados de estas evaluaciones, la OMS concluye que el cambio climático rápido propicia riesgos considerables para la salud humana, y en especial para las poblaciones más pobres. Por consiguiente, la Organización apoya las acciones destinadas a reducir la influencia humana en el cambio climático.

La implementación de políticas paliativas planificadas cuidadosamente produce beneficios sanitarios directos, por ejemplo:

1. Los sistemas de transporte urbano bien diseñados pueden reducir la emisión de gases de efecto invernadero, y al mismo tiempo reducir los principales efectos sanitarios de la contaminación del aire urbano y de la inactividad física, que matan a millones de personas cada año.
2. El aislamiento eficiente de las viviendas puede reducir el consumo de energía y las consecuentes emisiones de gases de efecto invernadero, reduciendo las muertes tanto por el frío como por el calor, así como el uso de combustibles de biomasa en los países pobres y, por consiguiente, la contaminación del aire en los espacios cerrados.

La OMS está intensificando sus medidas de apoyo a un desarrollo saludable que reduzca los actuales riesgos ambientales para la salud y al mismo tiempo ayude a reducir nuestro impacto en el clima mundial.

La OMS también considera que, teniendo en cuenta las emisiones de gases de efecto invernadero en el pasado, el mundo seguirá sufriendo un calentamiento y teniendo un clima más variable durante varios decenios, como mínimo.

La labor de la OMS en materia de lucha contra las enfermedades infecciosas, mejora del agua y los servicios de saneamiento y respuesta a los desastres naturales ayuda a reducir la vulnerabilidad sanitaria a futuros cambios climáticos. La OMS también ha organizado en los países más vulnerables talleres destinados a aumentar la concienciación acerca de las repercusiones sanitarias del cambio climático y de las consiguientes variaciones del tiempo.

La OMS está aumentando su colaboración con otros organismos de las Naciones Unidas para ayudar a los países a reforzar los componentes clave de los sistemas de salud, como la vigilancia y respuesta y la acción sanitaria en las emergencias, que son imprescindibles para proteger a la salud pública de las repercusiones del cambio climático.

## 14.2 Necesidades de acción en la región de América Latina y el Caribe

La causa principal de las enfermedades y de la mortalidad infantil en Europa y América del Norte en el siglo XIX eran la diarrea, el cólera y la fiebre tifoidea, que se propagaban por la falta o deficiencias en los sistemas de saneamiento de descargas a cuerpos de agua. Sin embargo, en la actualidad esta clase de sucesos son muy raros en dichas regiones, no así en los países en desarrollo, donde todavía son muy comunes.

Desde el punto de vista de investigación e intervención, para la Organización Panamericana de la Salud la salud ambiental se constituye por dos componentes:

- **Saneamiento básico**, que incluye el abastecimiento de agua potable, alcantarillado y residuos sólidos municipales.
- **Calidad ambiental**, que engloba los problemas de contaminación y el impacto del desarrollo en los ecosistemas y, por ende, en la salud pública (OPS/OMS, 1992).

Estudios recientes sugieren que el saneamiento y la higiene deficientes son la principal causa, o la causa subyacente, de más de la mitad de los 10 millones de muertes infantiles anuales. Por lo cual se concluye que la higiene y el saneamiento son áreas de intervención de salud más rentables para reducir la mortalidad infantil. Por ejemplo, el acceso a un inodoro puede reducir la mortalidad infantil relacionada con la diarrea en más de un 30% y con el lavado de manos hasta en un 40%.

Sustentado en lo anterior, el saneamiento básico y la calidad ambiental son los dos elementos que definen las necesidades de acción de la Organización Panamericana de la Salud en la región de América Latina y el Caribe.

### ACTIVIDAD 14.1

En clase se formarán equipos de dos a tres estudiantes. Los equipos hombres elaborarán una lista de aquellas actividades relacionadas con el mejoramiento de las condiciones básicas que afectan a la salud (saneamiento básico), y los equipos pares elaborarán una lista de actividades que caracterizan el impacto del desarrollo sobre la salud (calidad ambiental). Se formará un panel de discusión de los resultados con los representantes de cada equipo. Cada equipo entregará al maestro los resultados de investigación, así como sus conclusiones sobre el panel de discusión.

## 14.3 La salud ambiental en la Agenda 21

La Agenda 21, discutida y aprobada en el marco de la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro en 1992, señala que los principales problemas de salud que aquejan a la población mundial son ocasionados por:

- El déficit que entraña el abastecimiento de agua potable.
- El inadecuado manejo de las excretas.
- La inapropiada disposición de los residuos sólidos.
- La explotación irracional de los recursos naturales (Naciones Unidas, 1992).

Además, los peligros ambientales producidos por la contaminación son una constante cada vez más importante en la problemática de la salud ambiental.

La contaminación ambiental es generada "por los cambios en las modalidades de consumo y producción, por los estilos de vida, la producción y utilización de la energía, la industria y el transporte, entre otras causas" (CONAMA/PNUD, 1995). De tal manera que cuando el medio ambiente deja de satisfacer las necesidades básicas y al mismo tiempo presenta numerosos riesgos, la salud se resiente.

### 14.3.1 Gestión de recursos para el desarrollo

La complejidad de las interacciones ambientales con la salud se pone de manifiesto en la tabla 14.1, donde se muestran los temas cubiertos en la Agenda 21, en cuanto a la conservación y gestión de los recursos para el desarrollo.

**Tabla 14.1**

Temas cubiertos en la Agenda 21 en relación con la salud ambiental.

1. Contaminación atmosférica.	8. Biotecnología.
2. Ordenamiento del suelo.	9. Contaminación de océanos mares y zonas costeras.
3. Desertificación y sequía.	
4. Deforestación.	10. Abastecimiento de agua potable.
5. Ecosistemas de montaña.	11. Sustancias químicas y residuos tóxicos.
6. Desarrollo agrícola y rural.	12. Residuos sólidos municipales y aguas negras.
7. Diversidad biológica.	13. Residuos radiactivos.

Los puntos 10 y 12 corresponden al componente de saneamiento básico, y el resto al componente de calidad ambiental según el enfoque de la OPS/OMS (sección 14.2).

De lo anterior se deduce que los problemas de salud que se presentan en el ser humano como resultado de su interacción con el ambiente que habita, van desde enfermedades transmisibles hasta enfermedades crónico-degenerativas y genéticas.

- \* Las primeras son transmitidas por el consumo de agua contaminada, como por ejemplo: cólera, hepatitis, salmonelosis, shigelosis y numerosas parásitos.



**Figura 14.1**  
Agenda 21.

- Las segundas se refieren a ciertas malformaciones congénitas, disfunciones endocrinas, disfunciones inmunológicas, pérdida transgeneracional de CI y tipos de cáncer, relacionadas con agentes químicos contaminantes o materiales radiactivos.

Estudios realizados por la Organización Mundial de la Salud y por la Organización Panamericana de la Salud revelan que pocos países cuentan con los recursos informativos, científicos, humanos, financieros e institucionales necesarios para analizar y promover en forma adecuada las inquietudes de salud y ambiente en la toma de decisiones de desarrollo. Asimismo, carecen de posibilidades para facilitar controles adecuados sobre un número creciente de problemas cada vez más complejos. Otros hallazgos que revelan estos estudios son carencias en:

- Normatividad en materia de salud ambiental.
- Mecanismos de comunicación entre los diferentes sectores.
- Presencia de delegaciones de autoridades de los gobiernos municipales, estatales y federales.
- Posibilidad de hacer cumplir las normas y los reglamentos.

Además, una realidad crítica en los países subdesarrollados es la incapacidad efectiva de las autoridades de salud para participar en el análisis y el control de los problemas de salud y ambiente a nivel sectorial o intersectorial.

#### **14.3.2 Estrategias de la Agenda 21 para la salud**

La Agenda 21 identifica los objetivos y las actividades mundiales para el desarrollo sostenible en relación con los sectores sociales y de los recursos, además establece marcos para la cooperación internacional.

La Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y Desarrollo (CNUMAD), celebrada en Río en 1992, motivó que muchos países formularan estrategias nacionales pertinentes a sus situaciones y necesidades.

Tales estrategias son necesarias en todos los países, sin embargo se les debe fortalecer por medio de la generación de estrategias específicas por áreas, que den respuesta a las condiciones y necesidades de las regiones involucradas y de sus comunidades, urbanas y rurales. La actualización de dichas estrategias puede brindar orientación y parámetros para realizar tareas de planificación y programación en distintos plazos.

Conforme al capítulo 6 de la Agenda 21, "Protección y Fomento de la Salud Humana", se deben integrar en la formulación de estrategias los valores, las inquietudes y las medidas de salud. En este apartado de la Agenda 21 se indica la forma en que los objetivos mundiales de salud interactúan con otros temas y cuestiones que se consideraron en la CNUMAD. Desde este punto de vista, el sector salud no debe aislarse en los procesos de planificación y toma de decisiones, ya que los esfuerzos resultarian claramente estériles y no funcionales.

#### **14.3.3 Formulación de estrategias**

El proceso de formulación de estrategias en pro del desarrollo sustentable debe basarse en una participación amplia, en las dimensiones tanto horizontal como vertical, de la sociedad. La dimensión horizontal abarca la amplia gama de intereses sectoriales, y define a un sector no como organismo gubernamental sino como un elemento que incluye asimismo las entidades económicas y comunitarias que lo componen. La dimensión vertical abarca los distintos niveles de organización social y política que median entre la nación y los hogares; es posible que se deban formular estrategias y planes en cada nivel.

La forma de armonizar esta función participativa depende de las tradiciones y políticas de cada sociedad. Por lo general, para que un proceso sea productivo debe ser dotado de una secuencia definida, un enunciado claro de premisas de planificación y procedimientos integrales de comunicación y de ajuste mutuo.

Se deberán practicar ajustes no sólo entre los participantes, sino también en el transcurso del tiempo, a medida que:

- Se vayan adquiriendo conocimientos.
- Las condiciones mejoren o empeoren.
- Aparezcan tecnologías nuevas.
- Se avance en la resolución de problemas.

Se deberán actualizar los planes y las estrategias, sobre todo en cuanto al establecimiento de un orden de prioridades. En resumen, el proceso de formulación no se da una sola vez en el tiempo ni es lineal, sino que, por el contrario, es cíclico y repetitivo, tanto en lo que hace al contenido de los planes como en cuanto a las secuencias de formulación.

#### 14.3.4 Redes para la cooperación

Los comunes denominadores para la formulación de estrategias son:

- La cooperación.
- La participación.
- La descentralización.
- La armonización.

Para integrar dichos conceptos se deben establecer redes de colaboración. En este contexto el concepto de red trasciende el término convencional, que se entiende como: cooperación y coordinación intersectoriales; más bien se usa para denotar la dimensión vertical entre los niveles de organización social y gubernamental, y la participación de las entidades no gubernamentales.

Las redes no sólo incluyen las conexiones, sino también la participación activa de todos los interesados en las cuestiones correspondientes, los procesos de resolución y los resultados. El establecimiento de redes cooperativas eficaces es, en sí mismo, un avance social valioso.

El mejoramiento de la salud, sobre todo cuando abarca los factores ambientales señalados en el capítulo VI de la Agenda 21, es un centro de atención útil para el establecimiento de redes, por las siguientes razones:

- Tener una población sana constituye una meta de capital importancia para cualquier sociedad, y una cuestión de interés personal y social para las personas.
- El empleo de los criterios de salud humana es útil para la resolución de conflictos entre los protagonistas de la conservación de la naturaleza y del cambio económico; para que el mejoramiento de la salud dé resultados, debe existir una buena cooperación en la economía y sus sectores, en pro de la meta de sustentabilidad ambiental y de políticas sociales que procuren obtener beneficios ampliamente distribuidos.
- El mejoramiento de la salud incluye, intrínsecamente, tanto la responsabilidad personal como la acción comunitaria.

#### 14.3.5 Funciones de las autoridades sanitarias en las estrategias ambientales para la salud

Tanto a las autoridades de salud nacionales y locales como a otros elementos relevantes del sector de la salud les corresponden funciones importantísimas en la formulación y puesta en práctica de estrategias para el desarrollo humano sostenible.

- Funciones de liderazgo en la promoción de la salud: evaluación de riesgos y la vigilancia epidemiológica.

- Funciones participativas en el adiestramiento; establecimiento de redes y normas y el suministro de información idónea de carácter científico y coyuntural para el análisis.
- Planificación y la toma de decisiones sobre los problemas comunitarios.

En la actualidad, las autoridades de salud pública de la mayoría de los países carecen de posibilidades para cumplir estas funciones. El desarrollo de recursos que les permitan participar en los procesos de desarrollo humano sustentable y apoyarlos es una meta importante de los aspectos de la Agenda 21 relacionados con el establecimiento de capacidades y posibilidades.

### **ACTIVIDAD 14.2**

Reflexiona sobre los siguientes cuestionamientos: ¿Qué papel desempeñan los gobiernos locales, estatales y nacionales en tu país en relación con los problemas de salud ambiental? ¿Qué papel desempeñan los empleadores? ¿Qué pueden hacer los ciudadanos para que gobiernos y corporaciones sigan políticas más justas para los trabajadores expuestos a riesgos laborales?

En un equipo de tres alumnos elabora un ensayo de una cuartilla con tus reflexiones, compártelas con tus compañeros y entrega el ensayo al profesor.

#### **14.3.6 Desarrollo de recursos**

Para que el ideal de desarrollo sustentable pueda concretarse, los países deberán desarrollar una amplia gama de recursos para su ejecución. En lo que respecta a los aspectos de salud de la sustentabilidad ambiental, las necesidades correspondientes son importantes y abarcan desde aspectos tangibles, como laboratorios y recursos humanos adecuados, hasta cuestiones intangibles como una mejor información sobre los problemas, la existencia de comunicaciones intersectoriales eficaces, los convenios laborales y una participación comunitaria vigorosa.

En conformidad con el concepto de red, el desarrollo de dichos recursos implica más que la simple asignación de partidas presupuestarias adicionales para las autoridades de salud pública, implica también possibilitar a otros sectores de intereses comunitarios hacer su aporte participativo.

No todas las actividades de establecimiento de capacidades implican mayores gastos, de hecho, conjuntamente con el reciclado, práctica ésta de conservación de recursos, existe la necesidad crucial de reorientar y modificar los recursos existentes, a fin de volverlos más funcionales para las nuevas estrategias. En algunos casos, ello obligará a los líderes, los especialistas técnicos y las culturas institucionales a modificar sus puntos de vista, para terminar con el aislamiento y el escepticismo, abrir panoramas de oportunidades y hallar formas de recompensar a la gente en vez de sancionarla, a fin de que la cooperación pueda franquear las fronteras organizativas y disciplinarias.

#### **14.3.7 Mejora de los conocimientos teóricos y prácticos**

La posibilidad de lograr una comprensión holística de los problemas del desarrollo humano sustentable y de encontrar mejores soluciones para los mismos es tan importante como el hecho de permitir a los países y las comunidades aplicar los conocimientos existentes sobre las interacciones entre la salud y el ambiente a las políticas y a los programas de acción.

En 1991, la Comisión de Salud y Medio Ambiente de la OMS determinó una amplia gama de necesidades concretas de investigación y desarrollo en este campo. En términos concretos, las necesidades en cuanto a un mejor nivel de conocimientos y tecnología son las siguientes:

- Mejor evaluación de los riesgos planteados por las situaciones de peligro ambiental, este aspecto falta por completo en algunos casos y en otros tiene un carácter provisional y sujeto a debate.
- Métodos más rápidos para evaluar los riesgos, especialmente los que aparecen en poblaciones pequeñas que proporcionan pruebas epidemiológicas claras, aquellos en los cuales los efectos adversos de las exposiciones a dosis bajas tardan mucho en manifestarse, y aquellos en los cuales faltan datos anteriores.
- Métodos adicionales para manejar los riesgos, incluidas las técnicas más poderosas de prevención, el empleo eficaz de recursos y los controles idóneos desde el punto de vista ambiental, al igual que las adaptaciones de los métodos para poder utilizarlos en medios de recursos escasos.
- Mayores posibilidades para resolver las cuestiones sociales y de comportamiento, incluidas sanciones a incentivos, además de la motivación y la participación comunitarias.
- Mayor apoyo para la toma de decisiones en materia de economía, políticas y gestión, lo que incluye indicadores claros de las necesidades, la eficacia y los beneficios correspondientes; sistemas de apoyo informático más eficientes, y métodos y disposiciones mejores para el intercambio tecnológico y educativo.

La gran mayoría de estas necesidades se podrían satisfacer mediante la cooperación entre países y entre instituciones.

### ACTIVIDAD 14.3

Investiga en Internet si existen algunos otros instrumentos de gestión de la salud ambiental en tu estado, municipio o en la propia Universidad. Elabora una tabla donde enumeres las políticas de cada uno de los instrumentos de gestión obtenidos en tu investigación. En clase se abre un espacio de 30 minutos para discutir la efectividad de los instrumentos de gestión investigados. Elabora tus conclusiones sobre el tema de discusión y entrégalo al maestro al término de la clase.

## 14.4 Fuentes de información sobre salud ambiental en Internet

A continuación se describen algunas fuentes de información relacionadas con salud, ambiente y riesgo.

### 14.4.1 Bases de datos

#### 14.4.1.1 CIESIN: <http://www.ciesin.columbia.edu/>

El CIESIN (Center for International Earth Science Information Network) es una base de datos especializada en el desarrollo de redes globales y regionales, control de datos, apoyo en la toma de decisiones, capacitación, educación y servicios de consultoría técnica. No es una organización lucrativa. Los programas existentes son: datos demográficos, tratados ambientales, indicadores, modelo de visualización y análisis para modelos integrados de evaluación de cambio climático, así como observación de cosechas y rendimiento.

*Ambiente y sustentabilidad*

- Se cuenta con textos de más de 140 tratados ambientales, número de habitantes, acceso a sistemas geográficos de información sobre población en México, consultas interactivas con el banco de datos del Banco Mundial, que contiene 125 variables socioeconómicas de más de 170 economías, consultas interactivas con el Instituto de Recursos Mundiales del Ambiente Global.
- 14.4.1.2 Directorio de organizaciones ambientales (The Environmental Directory): <http://www.webdirectory.com/>  
 Los temas que aborda en materia ambiental son diversos y es el buscador más grande en la materia. Bases de datos: Desastres, Educación, Energía, Forestal, Interés general ambiental, Gobierno, Salud, Conservación del suelo, Contaminación, Contaminación del aire, Suelos contaminados y aguas subterráneas, Contaminación por ruido, Energía nuclear y radiación, Derrames de petróleo, Agotamiento de la capa de ozono estratosférico, Bases de datos de contaminación, Productos de computación sobre contaminación, Publicaciones, Reciclaje, Reglamentación y su cumplimiento, Toxicología, Control de emisiones vehiculares, Manejo de residuos, Contaminación del agua.
- 14.4.1.3 Organización Panamericana de la Salud (Pan American Health Organization, PAHO): <http://www.paho.org/>  
 CONTIENE enlaces con otros sitios que recopilan información sobre salud y desarrollo social alrededor del mundo. Oficinas y programas de la OPS, organizaciones internacionales, recursos de salud en América (Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Costa Rica, Honduras, México, Nicaragua, Panamá, Uruguay y otros países en la región), otras páginas en Internet, escuelas de salud pública, directorios y herramientas en Internet.
- En su sección Información Técnica se puede tener acceso al Programa de Salud y Ambiente en las áreas de sanidad básica y calidad ambiental.
- 14.4.1.4 Servicio Nacional de Información Técnica (National Technical Information Service, NTIS): <http://www.ntis.gov/Index.aspx>  
 Es una base de datos que contiene enlaces con fuentes sobre productos existentes en materia ambiental, de salud y seguridad, herramientas de información, noticias y catálogos. Asimismo, proporciona la forma de comprarlos.
- 14.4.1.5 Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y Salud (National Institute for Occupational Safety and Health): <http://www.cdc.gov/niosh/>  
 BASE de datos que contiene productos, herramientas informativas, noticias, búsqueda, catálogos, pedidos, etcétera.
- 14.4.1.6 Centros para el Control y Prevención de Enfermedades (Centers for Disease Control and Prevention): <http://www.cdc.gov/>
- 14.4.1.7 Base de datos sobre inventarios y factores de emisión: <http://www.epa.gov/oar/data/neidb.html>  
 Es un medio para el intercambio de información sobre las emisiones de contaminantes de la atmósfera entre los gobiernos estatales y locales, los ciudadanos, universidades, contratistas y gobiernos extranjeros. Contiene información sobre contaminantes atmosféricos criterio y sobre contaminantes tóxicos provenientes de fuentes fijas y de fuentes áreas.
- La base de datos ofrece varias herramientas electrónicas para estimar las emisiones al aire e incluye la base de datos denominada Recuperación de Información (Factor Info Retrieval), la base de datos TANKS y el boletín Air Chief.
- El boletín Chief es una publicación trimestral que proporciona información sobre la estimación de emisiones, factores de emisión en inventarios, así como información sobre otras actividades de la EPA desarrolladas en el Grupo de Inventarios y Factores de Emisión y elementos relacionados de la EPA.
- 14.4.1.8 Base de datos de calidad del aire de interiores (Indoor Air Quality Database): <http://www.epa.gov/iaq/iaqpline.html>  
 Provee acceso a información pública relativa a ambiente de interiores a través de una serie de servicios que incluyen una línea telefónica con operadora, distribución de publicaciones de la EPA sin costo, búsquedas bibliográficas.
- Es un punto de acceso a información que ayudará a las personas a identificar, resolver y prevenir problemas de la calidad del aire de interiores en edificios, casas, oficinas y escuelas.

- 14.4.1.9 Agencia para el Registro de Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, HazDat: <http://www.atsdr.cdc.gov/Hazdat.html>  
 HAZDAT contiene información sobre emisiones de sustancias peligrosas y sus efectos en la salud. Es la base de datos científica y administrativa desarrollada para tener acceso a la información relativa al derrame de sustancias dañinas de sitios contaminados con residuos peligrosos y sobre sus efectos en la salud de la población.
- 14.4.1.10 Instituto Nacional de Seguridad Ocupacional y Salud (National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH): <http://www.cdc.gov/niosh/database.html>  
 BASE de datos NIOSH: documentación sobre concentraciones inmediatamente peligrosas para la vida y la salud.
- 14.4.1.11 Registro de efectos tóxicos de las sustancias peligrosas (Registry of Toxic Effects of Chemical Substances, RTECS): <http://www.cdc.gov/niosh/rtecs/>  
 Es una base de datos sobre información toxicológica que contiene más de 139 000 compuestos químicos. Trata de enlistar todas las sustancias tóxicas conocidas, así como las concentraciones a las cuales se conoce que lo son. Es la base de datos toxicológica más importante.

#### 4.4.2 Publicaciones

- 14.4.2.1 Semanario de Rachel sobre Salud y Ambiente (Rachel's Environment & Health Weekly): <http://www.ejnet.org/rachel/contents.htm>  
 Contiene una lista de enlaces con artículos en materia ambiental y de salud, contiene más de 7 500 títulos.
- 14.4.2.2 Sustancias Peligrosas y Salud Pública (Hazardous Substances and Public Health): <http://www.atsdr.cdc.gov/publications.html>  
 Es un boletín trimestral de la Agencia para Sustancias Tóxicas y Registro de Enfermedades, ATSDR. Incluye artículos publicados por el personal de la agencia e información útil sobre cursos en salud pública.
- 14.4.2.3 Perspectivas en Salud Ambiental (Environmental Health Perspectives, NIEHS): <http://www.ehponline.org/>  
 Es la revista del Instituto Nacional de Ciencias en Salud Ambiental. Provee un foro para examinar, discutir y difundir información acerca de los avances y aspectos de las ciencias de la salud ambiental.
- 14.4.2.4 Boletín de la Organización Mundial de la Salud (Bulletin of the World Health Organization): <http://www.who.int/bulletin/en/index.html>  
 Es boletín publica artículos sobre asuntos de salud pública internacional. Cuenta con más de 1 500 suscriptores de pago. El sitio Web es de acceso libre y no exige registro, pero es posible suscribirse al servicio de notificación mensual del índice de cada número.
- 14.4.2.5 Centro para la Prevención y Control de Enfermedades (MMWR/Morbidity and Mortality Weekly Report, Center for Disease Control, CDC): <http://www.cdc.gov/mmwr/>  
 REPORTE semanal sobre mortalidad y morbilidad. La información contenida son: recomendaciones y reportes, resúmenes de la vigilancia, suplementos, resúmenes de enfermedades notificables y otras publicaciones.

#### 14.4.3 Asociaciones, centros de información, redes y programas sobre salud ambiental

- 14.4.3.1 Asociación Nacional de Médicos para el Ambiente (National Association of Physicians for the Environment, NAPNet): <http://www.uchn.org/cehs/resourceguide/nape.html>  
 INFORMACIÓN científica acerca de la salud y el ambiente. Actualmente está involucrado en la educación de médicos y el público acerca de la importancia de la protección de la biodiversidad,

- los efectos de la contaminación del aire y del agua en la salud, el desarrollo del índice de radiación ultravioleta y otros aspectos ambientales que impactan la salud humana. Contiene informes de conferencias, índices UV, folletos, noticias, anuncios y material educativo.
- 14.4.3.2 Centro Canadiense de Seguridad y Salud Ocupacionales (Canadian Centre for Occupational Health and Safety, CCOHS) <http://www.ccohs.ca>  
 El CCOHS promueve un medio ambiente de trabajo seguro y saludable al proporcionar información y asesoría sobre salud ocupacional y seguridad.  
 Contiene bases de datos prácticas sobre salud y seguridad como: MSDS (Material Safety Data Sheets) <http://www.ccohs.ca/products/subjects/chemdb.html>  
 Es una colección de más de 85 000 hojas de seguridad para productos químicos, proporcionadas directamente por las empresas manufactureras.
- 14.4.3.3 Instituto del Ambiente y la Salud de la Universidad de Cranfield (Institute for Environment and Health, Universidad Cranfield); <http://www.cranfield.ac.uk/health/researchareas/environmental-health/ieh/page19562.jsp>  
 Trabaja en contaminación del aire y enfermedades respiratorias, calidad del aire de interiores, materiales, biomarcadores, plomo en sangre, efectos en la salud por la combustión de residuos, efectos de contaminantes atmosféricos, salud y ambiente, toxicología, entre otros. Sus reportes están disponibles en línea con un costo.
- 14.4.3.4 Red sobre Recursos de Información Ambiental (Environmental Resources Information Network, ERIN); <http://www.environment.gov.au/erin/>  
 Es un proyecto del Departamento Australiano del Ambiente y agencias asociadas. La información que se puede encontrar incluye: aire (estado del tiempo y clima), suelo y agua, humanos y el ambiente, vida (biodiversidad), mar (ambientes marinos y costeros), calidad del ambiente e información general.
- 14.4.3.5 Programa Toxicológico Nacional (National Toxicological Program, NTP); <http://ntp.niehs.nih.gov/>  
 FUE establecido para coordinar la investigación toxicológica y la prueba de compuestos químicos potencialmente tóxicos. El avance de los estudios está disponible a través de una búsqueda WAIS. Los resúmenes están disponibles en los reportes del NTP.
- 14.4.3.6 Biblioteca Nacional de Medicina, Toxicología y Salud Ambiental (National Library of Medicine Toxicology and Environmental Health); <http://sis.nlm.nih.gov/enviro.html>
- 14.4.3.7 Agencia de Protección Ambiental (Environmental Protection Agency, EPA); <http://www.epa.gov>
- 14.4.3.8 Red Informativa sobre Recursos para Control de Lesiones (Injury Control Resource Information Network, ICRIN); <http://www.injurycontrol.com/icrin/>
- 14.4.3.9 Instituto de Ingeniería en Seguridad Ocupacional de la Universidad de Técnología Tampere, Finlandia (Institute of Occupational Safety Engineering at the Tampere University of Technology); <http://terva.me.tut.fi>  
 HAN desarrollado sistemas de información computarizada sobre seguridad ocupacional y salud.

## Capítulo 15. Introducción a la legislación ambiental

*Durante centenares de miles de años, el hombre luchó para abrirse un lugar en la naturaleza. Por primera vez en la historia de nuestra especie, la situación se ha invertido y hoy es indispensable hacerle un lugar a la naturaleza en el mundo del hombre.*

Santiago Kovadloff

A través de la historia las sociedades se han manejado siguiendo las tradiciones, costumbres, reglas, leyes, etcétera, para desarrollar la totalidad de sus actividades cotidianas; esto ha servido al hombre en la búsqueda de un desarrollo social que le permita crecer y lograr una mejoría continua; la naturaleza tiene sus propias normas y leyes por las cuales se rige, la mayoría de ellas difíciles de interpretar y entender para el hombre y es por eso que éste ha establecido sus propias reglamentaciones, en los aspectos relacionados con la naturaleza.

Por largo tiempo cada región o país se regía por sus propias leyes. El individuo o grupo poblacional se manejaba según sus necesidades y conveniencias; esto conllevó en muchos casos a un mal manejo de los recursos naturales y por consiguiente a un deterioro de la naturaleza en un sinnúmero de regiones de nuestro planeta. Con el avance de la tecnología, esto se agudizó y en algunos casos se agravó; por ejemplo, cuando el hombre incrementó sus actividades, el resultado se manifestó en un aumento de partículas de algunos elementos en el aire, agua, suelo, etcétera.

En su preocupación ante los hechos de daño ecológico y buscando el establecimiento de criterios que permitan la integración de reglamentos y normas para proteger y manejar de una manera ordenada los ecosistemas mundiales, el hombre se dio a la tarea a partir del último tercio del siglo XX de organizar reuniones regionales, nacionales e internacionales, siempre con la esperanza de lograr unificar el pensamiento de los pueblos en un ámbito ambiental más acorde con la naturaleza.

En nuestro país, la sociedad no se ha mantenido al margen sino que, al contrario, se ha incrementado la formación de grupos sociales organizados (públicos y privados) que han promovido y pugnado por que el poder público promulgue una legislación adecuada y con mayor número de disposiciones legislativas y reglamentarias con contenido ecológico.

La concepción del mundo ha cambiado a medida que se transforma el hombre, la sociedad y su forma de vivir. Se dice de esta forma que el hombre es biológico porque es social y es social porque es biológico; es decir, no es producto específico de uno ni de otro. Desde el momento que el hombre toma conciencia de sí mismo, establece también una conciencia de la relación que guarda con su medio, evolutivamente la naturaleza lo transforma y él transforma a la naturaleza (Brañas R., 1994).

Esta relación "consciente", según S. Freud, sobrepuja al hombre a copiar de la naturaleza el orden que existe en forma natural y que es una especie de impulso de repetición que establece de una vez para todas cuándo, dónde y cómo debe de efectuarse determinado acto.

El orden, la belleza y la limpieza ocupan una posición particular entre las exigencias culturales, de hecho, un primer requisito cultural es el de la justicia, ya que asegurará que el orden no será violado o alterado por otro individuo.

De esta manera las relaciones entre los hombres como vecinos, colaboradores, miembros de una familia o de un Estado y que hacen posible una vida humana en común, se tornan posibles cuando llega a reunirse una mayoría más poderosa que cada uno de los individuos y que hace que se mantenga unido frente a cada uno de ellos. El poderío de tal comunidad se enfrenta entonces como derecho.

Social y culturalmente, casi todas las actividades del hombre están consideradas y regidas por el *derecho* y señalará las reglas a que deberá sujetarse ese individuo y esa sociedad. Más aún, cualquier actividad de nueva aparición en cuanto llega a ser socialmente importante se convierte en materia de reglamentación para el *derecho*.

## 15.1 El derecho ecológico ambiental

Podemos hablar del derecho ecológico como una "rama del derecho público, desprendida del primitivo derecho administrativo, para la regulación del ambiente y el óptimo aprovechamiento de los recursos naturales y la protección del ambiente" (Baqueiro *et.al.*, 1997).

En la amplia gama de ecosistemas de los que está constituido nuestro planeta están agrupadas las divisiones que el hombre ha hecho (las fronteras de los países) y una gran parte de las actividades del hombre tienen resultados que ocasionan algún tipo de daño al ambiente, que en algunos casos trasciende las fronteras sin que se pueda evitar, afectando a países vecinos y a otras regiones más alejadas, ya sea que esas calamidades sean transportadas por el aire, a través de las corrientes de ríos o marinas, o por algún medio de transporte físico o mecánico.

Los procesos humanos o las manifestaciones generadas por su actividad que trasciendan las fronteras de los países han sido objeto de legislación internacional, a lo que puede llamar derecho ecológico internacional; o sea, el ordenamiento de la previsión, administración y consecuencias que involucran a dos o más países o a la comunidad internacional.

## 15.2 Normatividad

El 23 de febrero de 1947 nace el organismo encargado de promover el desarrollo de normas internacionales de fabricación, comercio y comunicación para todas las ramas industriales a excepción de la eléctrica y la electrónica, la Organización Internacional para la Normalización o ISO (del griego *Iso*, "igual", y cuyo nombre en inglés es *International Organization for Standardization*). Su función principal es buscar la estandarización de normas de productos y seguridad para las empresas u organizaciones a nivel internacional. La ISO es una red de los institutos de normas nacionales de 160 países, sobre la base de un miembro por país, con una Secretaría Central en Ginebra, Suiza, que coordina el sistema.



Miembros natos  
Miembros suscritos

Miembros correspondientes  
Otros Estados clasificados ISO 3166-1, no miembros de la ISO

**Figura 15.1**

Mapa mundial de Estados con comités miembros de la ISO.

Estándares  
genéricos  
para sistemas  
de gestión

## ISO 9000

## ISO 9000

Las normas desarrolladas por ISO son voluntarias y establecen soluciones consensuadas con posibilidad de aplicarlas de forma repetitiva con beneficios para todas las partes interesadas. “*Es un balance de todos los interesados*”: comprendiendo que ISO es un organismo no gubernamental y no depende de ningún otro organismo internacional; por lo tanto, no tiene autoridad para imponer sus normas a ningún país. Las normas internacionales se aprueban de acuerdo con los procedimientos de la ISO y se requiere de la aprobación de 75%, por lo menos, de los comités miembros que votan. Los estándares con que se cuentan van del ISO 216 (medidas de papel) hasta ISO 32000 (formato de documento portátil (PDF)). La mayor parte de los estándares publicados por ISO tienen un carácter muy específico, siendo aplicables sólo a productos, materiales o procesos muy concretos. Sin embargo, también se ha considerado necesario desarrollar estándares más genéricos, pensados para uniformizar los sistemas de gestión utilizados en cualquier organización. En este sentido, se han desarrollado las familias de estándares ISO 9000 e ISO 14000 para sistemas de gestión de la calidad y sistemas de gestión medioambiental, respectivamente; es bueno comentar que son de gran importancia en nuestro entorno.

En la década de 1990, en consideración a la problemática ambiental, muchos países comienzan a implementar sus propias normas ambientales, las cuales variaban mucho de un país a otro. De esta manera se hace necesario tener un indicador universal que evalúe los esfuerzos de una organización por alcanzar una protección ambiental confiable y adecuada.

En este contexto, la Organización Internacional para la Estandarización (ISO) fue invitada a participar en la Cumbre de la Tierra, organizada por la Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en junio de 1992 en Río de Janeiro, Brasil. Ante tal acontecimiento, ISO se compromete a crear normas ambientales internacionales, después denominadas ISO 14000.

Se debe tener presente que las normas estipuladas por ISO 14000 no fijan metas ambientales para la prevención de la contaminación, ni tampoco se involucran en el desempeño ambiental a nivel mundial, sino que establecen herramientas y sistemas enfocados a los procesos de producción al interior de una empresa u organización, y de los efectos o externalidades que de éstos deriven al medio ambiente.

### 15.3 Reuniones, tratados y acuerdos internacionales

En el plano internacional, México ha participado en materia ecológica en varios acuerdos y convenios, entre otros:

- La Declaración de Estocolmo, sobre el Medio Humano, en 1972.
- La Declaración de Río, sobre el Medio Ambiente y Desarrollo, de 1992.
- El Acuerdo de Cooperación Ambiental de América del Norte.
- La Convención sobre Derechos del Mar.
- El Protocolo de Kioto, en 1997.
- Cumbre del Milenio, Sep. 2000.
- Cumbre de Johannesburgo, 2002.

En seguida mencionaremos algunas reuniones y sus contenidos.

#### 15.3.1 La reunión de Estocolmo, 1972

##### 15.3.1.1 AMBIENTE Y MEDIO AMBIENTE

El 16 de junio de 1972 se celebró la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano en la ciudad de Estocolmo, Suecia, que significó un parteaguas en el desarrollo de la legislación

ambiental en el nivel mundial, porque en la Declaración de Estocolmo se consiguieron principios que influyeron en las legislaciones que con posterioridad se emitieron en varios países del mundo, y es probable que algunas legislaciones dictadas con anterioridad hayan estado influenciadas por los trabajos preparatorios que desarrollaron los gobiernos antes de su celebración.

La Declaración de Estocolmo forma parte de lo que la doctrina internacionalista ha denominado "softlaw", pues se trata de un acuerdo para un programa de acción conjunta. Como dice Jorge Palacios, "el término declaración es normalmente usado en dos sentidos por el derecho internacional, como sinónimo de tratado tal y como sucede en la Declaración de París de 1856, sobre derecho marítimo; y simplemente como conducta que se piensa seguir por uno o varios Estados, es el caso de la Declaración de Estocolmo". Por tanto, los principios consagrados en la declaración citada, aunque no obligatorios, vendrán a establecer una serie de orientaciones hacia donde, en muchos casos, avanzaron las legislaciones de varios países.

Particularmente, la Declaración de Estocolmo estableció una serie de principios que proponen la adopción de nuevos instrumentos de política ambiental que luego serían incorporados a las legislaciones ambientales de varios países del mundo. A continuación se enlistan los aspectos contenidos en la Declaración de Estocolmo y se mencionan los países que dictaron legislaciones ambientales tanto con antelación como con posterioridad a dicha reunión.

Aspectos relevantes de los cuales deben ocuparse las legislaciones propias de las diferentes naciones:

- Derecho a un medio ambiente adecuado y no-discriminación
- Responsabilidad intergeneracional
- Desarrollo sustentable
- Prevención del daño ambiental
- Deber de cooperar
- Planificación del desarrollo
- Planificación del crecimiento demográfico
- Deber de poner la ciencia al servicio de la sociedad
- Deber de usar la educación y la investigación como instrumentos de política ambiental
- Derecho a la información
- Derecho soberano de los Estados a explotar sus propios recursos
- Reparación del daño
- Deber de evitar la proliferación de armas nucleares
- Deber de conservar el ambiente

Los países que publicaron legislaciones ambientales a principios de la década de 1970, y hasta antes de la celebración de la Cumbre de Río, en 1992; entre los que podemos mencionar Estados Unidos de América, México, Colombia, Canadá, Ecuador, Francia, Venezuela, Guyana, Cuba, Brasil, Guatemala, Perú, Jamaica, Argentina, Bolivia.

### 15.3.2 La Conferencia de Río (Cumbre de la Tierra)

Durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en Río de Janeiro, Brasil, en 1992, fueron aprobados los siguientes documentos:

- La *Agenda 21*, que es un plan de acción a escala mundial integrado por 40 capítulos que suman estrategias y medidas para promover un desarrollo sustentable desde la visión social, económica y ecológica, donde se busca llegar a un equilibrio entre la población, el consumo

Es importante destacar que durante ese lapso nuestro país promulgó tres legislaciones en este ámbito, Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación 1971, Ley Federal de Protección al Ambiente 1982 y Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente 1988.



Figura 15.2

Agenda 21.

y la capacidad de sustento de la Tierra; mediante acciones para reducir el daño ocasionado al aire, el agua y el suelo, así como promover estrategias para preservar los bosques y la biodiversidad. Podemos mencionar cuatro secciones que constituyen la Agenda 21: 1) el uso y conservación de recursos, 2) la dimensión social y económica, 3) las funciones de grupos mayoritarios y 4) el análisis de los significados de los puntos anteriores; todas ellas se encuentran enlazadas en una íntima relación entre sociedad, cultura y naturaleza; y como una acción prioritaria la educación ambiental.

- La *Declaración de Río*, que contiene 27 principios en los que se establecen derechos y responsabilidades de los países, donde se busca asegurar el bienestar de la humanidad, remarcando que el hombre tiene derecho a una vida saludable y productiva, a través de un desarrollo que no degrada al medio ambiente y que los Estados en desarrollo tienen el derecho de explotar sus recursos, siempre que lo lleven a cabo en una forma racional; a su vez los países desarrollados deben comprometerse a reducir patrones de producción y de consumo que no estén de acuerdo con el ambiente; también se promueve la participación de todos los ciudadanos en el compromiso de introducir ciertos instrumentos de política ambiental en su derecho ambiental interno.
- El *Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*, que implica compromisos de los Estados tendientes a lograr la estabilización de las concentraciones de gases de efecto invernadero en la atmósfera, en un nivel que impida interferencias antropogénicas peligrosas en el sistema climático y por lo cual también significa la incorporación a los derechos nacionales de instrumentos jurídicos tendientes a tal propósito, se propone que las emisiones de dióxido de carbono se estabilicen en los niveles de 1990.
- El *Convenio sobre la Diversidad Biológica* que persigue el múltiple propósito de: la conservación de la diversidad biológica, la utilización sostenible de sus componentes y la participación justa y equitativa de los beneficios que se deriven de la utilización de los recursos genéticos.
- La *Declaración de Principios Relativos a los Bosques*, que busca promover la conservación y el desarrollo sostenible de todo tipo de bosques. Todo lo anterior implica para los países signatarios el compromiso de adecuar sus legislaciones sobre el particular. Lo anterior está claramente reconocido por el principio 11 de la Declaración de Río, que reproducimos textualmente:
  - *Principio 11. "Los Estados deberán promulgar leyes eficaces sobre medio ambiente. Las normas, los objetivos de ordenación y las prioridades ambientales deberán reflejar el contexto ambiental y de desarrollo al que se aplican. Las normas aplicadas por algunos países pueden resultar inadecuadas y representar un costo económico injustificado para otros países, en particular los países en desarrollo."*

México es signatario de los documentos emergidos de la Cumbre de Río, así como de la Agenda 21 y, por tanto, está obligado a incorporar en su derecho positivo los diferentes compromisos acordados en tales instrumentos internacionales; en especial, los instrumentos de política ambiental contenidos en los principios de la Declaración de Río; es decir, la consagración jurídica del derecho a un medio ambiente adecuado, el derecho a la información y la participación pública, la responsabilidad por el daño ambiental y el uso de instrumentos económicos en la gestión del medio ambiente.

### 15.3.3 Tratado de Libre Comercio (TLC)

Aunque la apertura comercial de México inició con su incorporación al Acuerdo General sobre Aranceles y Comercio el 17 de julio de 1986, el nivel de protección ambiental no fue uno de los puntos condicionantes para su ingreso; en cambio, como se sabe, el 1 de enero de 1994 entró en vigor el Tratado de Libre Comercio de Norteamérica, firmado entre México, Estados Unidos y Canadá, con el propósito de promover el crecimiento económico mediante la expansión del comercio y de la inversión en el territorio de los tres países; pero en dicho Acuerdo juega un papel preponderante la liberalización del comercio, frente a la protección y conservación del ambiente. En ese sentido, el Tratado de Libre Comercio prevé que el cumplimiento de sus objetivos deberá realizarse de manera compatible con la preservación del equilibrio ecológico y la protección al ambiente.

En cuatro principios podemos entender los acuerdos ambientales del TLC:

- En caso de incompatibilidad entre las previsiones del TLC y las de otros convenios o tratados internacionales en materia ambiental, deben prevalecer estos últimos (CITES; Protocolo de Montreal; Convenio de Basilea; Convenio de la Paz).
- Las partes, a través de mecanismos de normalización, pueden adoptar, mantener o aplicar cualquier medida referente a la seguridad o a la protección de la salud humana, animal o vegetal, del ambiente o del consumidor, determinando los niveles de protección que consideren adecuados para ello.
- Las partes se comprometen a no reducir ni flexibilizar su normatividad ambiental con el propósito de atraer inversiones, pudiendo consultarse entre ellas sobre el cumplimiento de esta premisa.
- Se reitera la facultad que corresponde a cada uno de los países contratantes para adoptar las medidas que afecten al comercio, cuando ello lo fundamente en la necesidad de proteger intereses como la moral pública, la seguridad nacional, la vida y la salud humana, animal y vegetal, los terrenos nacionales, o para conservar los recursos naturales renovables y no renovables.

Adicionalmente, la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica fue condicionada a la firma de dos acuerdos paralelos: uno denominado de Cooperación Ambiental y otro de Cooperación Laboral. El primero de ellos tiene como función primordial establecer órganos encargados de coordinar las acciones de los tres países en materia de vigilancia del cumplimiento de la legislación ambiental y solución de controversias con la finalidad de evitar la creación de distorsiones o nuevas barreras al comercio, así como alentar la protección y mejoramiento del ambiente en el territorio de las tres partes.

En otras palabras, los objetivos del Acuerdo Paralelo son por una parte para evitar que se pretexido de la defensa del ambiente se generen barreras no arancelarias en el comercio de las tres partes y



**Figura 15.3**

Tratado de Libre Comercio.



**Figura 15.4**



Figura 15.5

por otro lado, evitar que un relajamiento en las exigencias de la legislación ambiental o en las exigencias de la autoridad administrativa encargada de vigilar su cumplimiento, puedan propiciar un "dumping" de carácter ecológico.

Por lo anterior, el Acuerdo Paralelo en materia ambiental estableció una serie de compromisos para México que entrañaron también la obligación de incorporar a su derecho interno nuevos instrumentos de política ambiental al lado de los ya contemplados por la LGEEPA en el año 1988, tales como las promesas de cumplimiento voluntario, las auditorías ambientales, la difusión de la información sobre el ambiente, la responsabilidad por el daño ambiental y la legitimación en juicio.

Acuerdos firmados por México en el Tratado de Libre Comercio con Estados Unidos y Canadá (TLC):

- Comisión de Cooperación Ambiental de América de Norte (CCAAN).
- Banco para el Desarrollo de América del Norte (BANDAN).
- Fondo de América del Norte.

### 15.3.4 Protocolo de Kioto

En 1997 se formalizó un convenio internacional destinado básicamente a reducir la dependencia de la economía mundial del consumo de combustibles fósiles: petróleo, carbón y gas. A través del Protocolo de Kioto, 36 países industrializados se comprometen a reducir sus emisiones efectivas de gas carbónico ( $\text{CO}_2$ ) y otros gases de efecto invernadero, en 5.2% por debajo de los niveles registrados en 1990. Esta reducción debe hacerse efectiva, como promedio, para el quinquenio 2008-2012.

Como se menciona en la unidad 2 (6.7.3), el compromiso varía por país o región: la Unión Europea se compromete a que sus emisiones serán reducidas en al menos 8% como promedio para el quinquenio 2008-2012; Estados Unidos de América en 7%; Canadá en 6%. Mientras que Japón, Rusia, Polonia, Hungría, Nueva Zelanda y Ucrania sólo deben estabilizar sus emisiones con relación a las de 1990. Algunos países pueden aumentarlas: Noruega hasta 1%, Australia hasta 8% e Islandia hasta 10%. En estos casos se reconoce que su desarrollo depende de un mayor consumo de energía.

El Protocolo de Kioto contempla un sistema de comercialización de emisiones con el fin de permitirle a quienes les sea más costoso reducir sus emisiones, comprar bonos de carbono y otras licencias de contaminación a otros países, donde el costo de reducir emisiones sea menor.

El *Mecanismo de Desarrollo Limpio* del Protocolo de Kioto otorga la opción de canalizar asistencia de los países industrializados a las naciones en desarrollo, para facilitar un desarrollo menos contaminante y evitar emisiones, incluyendo la protección de bosques para evitar emisiones, y el establecimiento de nuevos bosques como *vertederos de carbono*. Los objetivos centrales del Mecanismo de Desarrollo Limpio son mitigar el cambio climático y contribuir al desarrollo limpio.

### 15.3.5 Cumbre de Johannesburgo

La Cumbre Mundial sobre Desarrollo Sostenible convocada en Sudáfrica, conocida también como "Río+10" por la década transcurrida desde el anterior encuentro ambiental, realizada entre el 26 de agosto y el 4 de septiembre de 2002, es escenario de debates de importancia mundial. El principal objetivo de la Cumbre fue renovar el compromiso político con el desarrollo sostenible. En la Cumbre se buscó lograr una declaración clara e inequívoca por parte de los dirigentes del mundo, donde se reafirmara la determinación de trabajar en aras del desarrollo sostenible.

El Secretario General de las Naciones Unidas, Kofi Annan, identificó cinco áreas clave en las que la Cumbre de Johannesburgo puede lograr una diferencia real: agua y saneamiento, energía, salud, productividad agrícola, biodiversidad y gestión de los ecosistemas.

Podemos mencionar la gran disparidad de conclusiones que se generaron al término de las mesas de trabajo, citando entre otras que no se cumplieron cabalmente los acuerdos firmados en las reuniones anteriores (Río, Kioto); lo más destacable que consideramos de la Cumbre es la declaratoria de designar que a partir del 1 de enero de 2005 se consideraría el "*Decenio de la Educación para el Desarrollo Sustentable*".

Los principales temas tratados en la Cumbre son:

- Erradicación de la pobreza.
- Modificación de pautas de producción y consumo.
- Conservación de la calidad del ambiente.
- Igualdad de género.
- Promoción de la salud.
- Transformación rural.
- Derechos humanos.
- Entendimiento intercultural y paz.
- Diversidad cultural.
- Tecnologías de información y comunicación.

## 15.4 Otros compromisos internacionales de México en el ámbito ecológico

Desde fines de la primera mitad del siglo pasado y hasta la actualidad, México ha ratificado tratados que abordan temas relacionados con la conservación y protección del ambiente; estos convenios han significado para México un compromiso con la comunidad internacional de incorporar a su legislación interna mecanismos de protección del ambiente y sus elementos a fin de colaborar con el esfuerzo mundial en pro de la conservación del planeta. Destacan por su importancia, en la medida que se refieren a compromisos generales de política ambiental que México debería asumir en su legislación nacional, por una parte los acuerdos tomados en la Cumbre de Río de 1992 y, por otra parte, las implicaciones del ingreso de México al concierto de la economía mundial, a través del GATT, de la OCDE y particularmente del Tratado de Libre Comercio de Norteamérica y su Acuerdo Paralelo en Materia Ambiental.

Entre los acuerdos internacionales firmados por México tenemos:

- La Convención Marco sobre el Cambio Climático.
- El Convenio de Basilea, sobre Movimiento Fronterizo de Residuos Peligrosos.
- El Protocolo de Montreal, sobre Sustancias que Reducen la Capa de Ozono.
- La Convención sobre el Comercio Internacional de Especies Amenazadas de Fauna y Flora Silvestre (CITES).
- La Normatividad Ambiental y la Autorregulación, según los acuerdos ISO 9000 e ISO 14000.
- La Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo; en particular, los contenidos en la Agenda 21.
- El Protocolo de Kioto.

Comisiones de Comercio y Medio Ambiente, de Pesca y de Políticas Económicas de la OCDE, y el cumplimiento de compromisos regionales:

- La prevención y control de la contaminación ambiental en la frontera norte, mediante la Comisión de Cooperación Ecológica Fronteriza (COCEF) y el Programa Ambiental Frontera 2000.
- El seguimiento y control del movimiento transfronterizo de residuos peligrosos conforme a los establecidos en el convenio de La Paz, firmado con Estados Unidos de América.
- Programa de Cooperación Ambiental México-Canadá.
- Apoyo a países de Centro América, mediante una cooperación activa con la Comisión Centroamericana de Ambiente y Desarrollo.

México fortalece su participación internacional a través de las siguientes instancias:

- Programa Ambiental de México, suscrito en el Banco Mundial.
- Comisión de Desarrollo Sustentable de la ONU.
- Programas del PNUMA y de HABITAT de la Organización de las Naciones Unidas.
- Programa de Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).
- Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO).
- Organización de Naciones Unidas para el Desarrollo Industrial (ONUDI).
- Concertación sobre colaboración, adiestramiento y asistencia técnica con el Servicio de Pesca y Vida Silvestre (F&WS) del Departamento del Interior de Estados Unidos, y Environment Canadá, para efectos del tráfico ilegal de flora y fauna y cobertura del CITES.
- Concertación con la Interpol para efectos de colaboración, capacitación y asistencia técnica e informática sobre delitos contra la biodiversidad y tráfico de especies.
- Concertación con los gobiernos de Brasil, España y Canadá para efectos de asistencia técnica sobre informática y monitoreo de recursos naturales y sobre delitos contra la biodiversidad.
- Concertación con los países centroamericanos para efectos de protección de la tortuga marina y la asistencia técnica sobre inspección y vigilancia en materia pesquera.

En ocasiones, un tema o conjunto de problemas compete a varios acuerdos, en tiempos y circunstancias diferentes, ejemplo:

- Convenio de Viena para la protección de la capa de ozono.
- Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.

### **ACTIVIDAD 15.1**

1. Identifica las políticas internacionales.
2. Confecciona un listado en el que enmarques su relevancia.
3. Para ello forma un equipo de tres integrantes, cada uno investigará en forma independiente. Comparen sus resultados y elaboren, en forma individual, un reporte en Word y una presentación en PowerPoint para entregar a su maestro(a).

### ACTIVIDAD 15.2

Elabora una presentación en PowerPoint de la serie ISO 14000 donde distingas a qué se refiere cada uno los estándares.

### ACTIVIDAD 15.3

Realiza una breve descripción de los principios que surgen de la Reunión de Estocolmo donde menciones cómo están relacionados con tus actividades sociales y de tu futura profesión (que se discutirá en una sección presencial, que el maestro determinara).

### ACTIVIDAD 15.4

Investiga qué otros países latinoamericanos han promulgado legislaciones ambientales, elabora una tabla donde incluyas el nombre de la ley y el año de su publicación, entrégalas a tu maestro cuando lo pida.

Sintetiza cada uno de los 27 principios de la Declaración de Río, analizando sus repercusiones en el ámbito mundial, y entrega el reporte en un documento en Word al final del curso.

### ACTIVIDAD 15.5

Investiga a qué se comprometió nuestro país en la Reunión de Kioto y en una reunión con tus compañeros y el (la) docente discutan las posibilidades de éxito.

## Capítulo 16. Legislación ambiental en México

*Las leyes de la naturaleza deben ser respetadas porque si no se vuelven contra nosotros.*  
Anónimo.

### 16.1 La ley en relación con la política ambiental

Contar con una política ambiental presume la convicción de que el objetivo de la ordenación del ambiente no puede alcanzarse sin el concurso de algunas acciones concebidas especialmente para modificar la realidad o, dicho de otra manera, sin la mediación de algunas acciones que generan ciertos efectos ambientales, y que no se generan espontáneamente.

Una política ambiental nos permite desarrollar estrategias encaminadas a conseguir una ordenación del ambiente, cuando se estima que dicha ordenación no puede lograrse sino mediante una intervención deliberada del hombre sobre la realidad. Así entendida, la política ambiental es el marco de referencia permanente de la gestión ambiental.

En una precisa rigidez, toda gestión ambiental presume la presencia de una política ambiental, que la establece en todo momento. Sin embargo, debemos reconocer que la realidad es otra; es común que la política ambiental no sea formulada clara, suficiente y congruentemente. Hay Estados que incluso carecen de una política ambiental, al menos establecida de una manera explícita.

En México, el establecimiento de una política nacional para la protección del ambiente por la autoridad ambiental federal a través de los años ha logrado avances que son innegables; con dicha política se ha llegado a obtener las características de claridad, suficiencia y congruencia emanados de las diferentes reuniones internacionales; estos avances los apreciamos principalmente desde la formulación de las primeras reglamentaciones (1971) hasta nuestros días. Un hecho concluyente de ese proceso está constituido por la expedición de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA, 1988).

### 16.1.1 Antecedentes legales

En nuestro país, la protección jurídica del ambiente comenzó a tomar forma en los primeros años del México posrevolucionario, a partir de la introducción de reglas que sobre la propiedad introdujo el Artículo 27 de la Carta de Querétaro.

En un principio la relevancia ambiental de la legislación no estaba definida; es hasta después de 1972 que se comienzan a promulgar leyes propiamente ambientales. Debemos reconocer que el desarrollo de la legislación ambiental fue posible gracias a las disposiciones relativas al derecho de propiedad que se contienen en el Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos aprobada en 1917, y que se cita a continuación:

“La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional corresponden originariamente a la nación, la cual ha tenido el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada.”

Las expropiaciones sólo pueden hacerse por causa de utilidad pública y mediante indemnización.

La nación tendrá en todo el tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada modalidades que dicte el interés público, así como de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, para hacer una distribución equitativa de la riqueza pública y para cuidar su conservación. Con este objeto se dictarán las medidas necesarias para el fraccionamiento de los latifundios; para el desarrollo de la pequeña propiedad, para la creación de nuevos centros de población agrícola con las tierras y aguas que les sean indispensables; para el fomento de la agricultura y para evitar la destrucción de los elementos naturales.”

A raíz de estas legislaciones se observó la necesidad de contar con un marco regulatorio de protección de los recursos naturales que contemplara una adecuada regulación del aprovechamiento de dichos recursos y la protección del ambiente, siendo éste el medio a través del cual el Estado y la sociedad en su conjunto encontraron una forma óptima para el uso racional y sustentable de los elementos que conforman el patrimonio natural de la nación, en beneficio de sus habitantes y del país en general.

Al denotar que era necesario contar con lineamientos, mecanismos y procedimientos jurídico-administrativos claros y expeditos para el otorgamiento de permisos, autorizaciones, concesiones, licencias, resoluciones de impacto ambiental y, en general, de todos aquellos actos de autoridad relacionados con el uso, aprovechamiento y explotación de los recursos naturales renovables y no renovables, así como para su preservación, protección, restauración y desarrollo, los cuales deben estar debidamente previstos y sustentados en la legislación aplicable en la materia, todo esto para

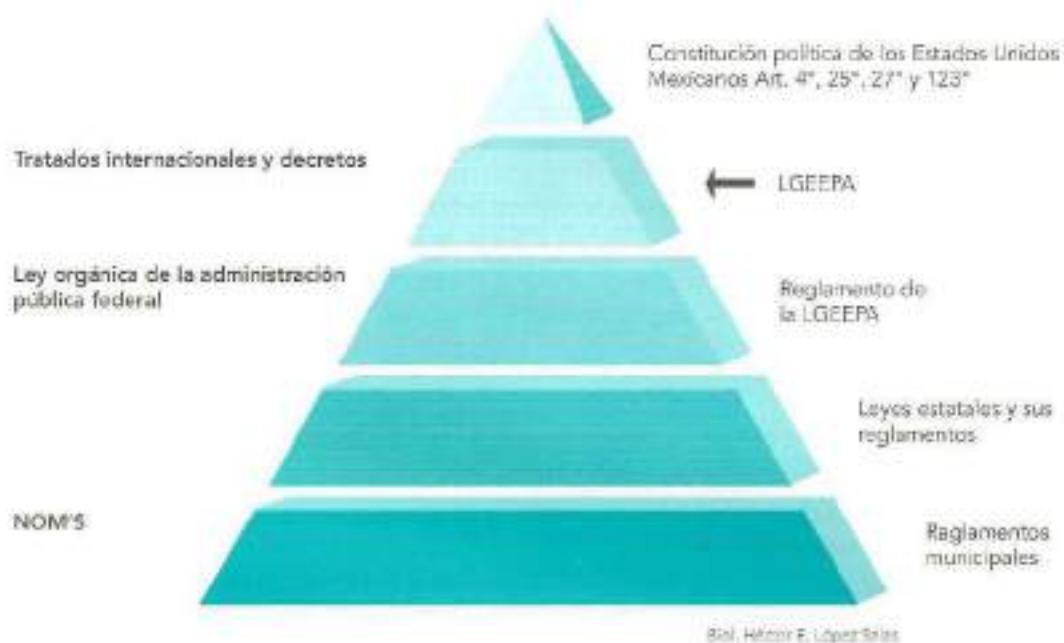


Figura 16.1

Jerarquía jurídica.

poder lograr un aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y procurar un equilibrio ecológico adecuado para el desarrollo humano.

Surge en la década de 1970 el impulso sustutivo a la protección de los recursos naturales y al ambiente, con el apoyo de las resoluciones adoptadas en 1972 durante la conferencia de las Naciones Unidas en Estocolmo, Suecia, mismo apoyo que se vio reforzado en 1992, con la segunda conferencia del organismo en Río de Janeiro, Brasil. Es en este contexto que la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos se reforma en 1983, 1987 y 1992, para ampliar la atención a las cuestiones ambientales, estableciendo también las competencias federales, estatales y municipales en la materia (figura 16.1).

## 16.2 Clasificación funcional de las leyes

De este modo las normas ambientales se configuran con la tipología funcional siguiente:

Interpretativas	Compensatorias	Organizativas
Permisivas	Prohibitivas	Procesales
Disuasivas	Limitativas	Inductivas o programáticas

La concepción jerárquica de las normas parte del propio Artículo 133 constitucional, el cual establece la supremacía de la Constitución y el marco de las leyes federales a las que deberá ajustarse el Poder Judicial.

### *Normas de interpretación*

Son definitorias y establecen el sentido correcto de un vocablo en el cuerpo de la ley.

Ejemplo: el Artículo 1º de la LGEPPA:..... Sus disposiciones son de orden público e interés social.... etcétera.

### *Normas permisivas*

Establecen las condiciones que permitan un uso o empleo sancionado por una autoridad que regula un uso o derecho.

Ejemplo: el calendario cinegético de la temporada, manifiestos o guías ecológicas.

**Normas prohibitivas**

Prohiben un uso o costumbre y lo colocan fuera de la ley.

Ejemplo: Artículo 155. Quedan prohibidas las emisiones de ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica y la generación de contaminación visual, en cuanto rebasen los límites máximos permitidos en las NOM.

**Normas preceptivas**

Dan normas de comportamiento que delimitan la conducta por la ley.

Ejemplo: Artículo 110, Fracc. I de la LGEEPA. La calidad del aire debe ser satisfactoria...

**Normas sancionadoras o penales**

Indican el castigo que recae sobre el infractor de la ley.

Ejemplo: Artículo 56 del Código Penal (fuero federal) Se impondrá pena de tres meses a seis años de prisión y multa a quien...

**Normas procesales**

Marcan procedimientos administrativos para desarrollar instancias o trámites.

Ejemplo: Artículo 176 LGEEPA... El recurso de revisión se interpondrá directamente ante la autoridad que emitió la resolución impugnada...

**Normas organizativas**

Establecen las relaciones jerárquicas y funcionales del sistema administrativo estatal.

Ejemplo: Artículo 156. La secretaría en coordinación con organismos público o privados, internacionales... etcétera.

### 16.3 Formulación de la política ambiental

Los sistemas jurídicos actuales establecen reglas que permiten la adecuada enunciación de la política ambiental; éstas nos dicen cómo debe ordenarse el ambiente y son por lo general la expresión total o parcial de una política ambiental; Estas reglas, establecidas por los procedimientos legislativos vigentes en cada país, determinan al conjunto de la gestión ambiental.

La política ambiental se formula también por vías administrativas, esto es, por medio de las mismas autoridades facultadas para llevar a cabo la gestión del ambiente y, cuando hay sistemas de planificación nacional, por las autoridades encargadas de dicha planificación.

Los alcances de la política ambiental están directamente ligados a la forma como esté expresada. Por ejemplo: es obligatorio para el Estado y la sociedad acatar la política ambiental formulada por los sistemas jurídicos para la protección del ambiente; en cambio, la política ambiental formulada por las autoridades facultadas para realizar la gestión ambiental es obligatoria sólo para la administración pública, pero de conformidad con lo que establezcan los ordenamientos que rigen el funcionamiento de dicha administración (reglamento interior).

Por su parte, la política ambiental formulada a través de la planificación obliga en los mismos términos en que pueden obligar los planes, de acuerdo con las particularidades del sistema de planificación. Esto último significa que la política ambiental puede tener desde un carácter puramente

¿Cómo se formula la política mexicana?



Figura 16.2



**Figura 16.3**  
Gestión ambiental.

inductivo, incluso para la misma administración pública, hasta un carácter estrictamente vinculante no sólo para el Estado, sino también para la sociedad (figura 16.3).

Esto, como ya se mencionó, propició que surgieran las primeras legislaciones con carácter ambiental, Ley Federal para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental aprobada en 1971, que regulaba específicamente los efectos de la contaminación ambiental en la salud humana, se organizó en cinco capítulos. Y las modificaciones a la Constitución que han surgido a través del tiempo como las reformas a la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en su Artículo 25 y la Ley Orgánica de la Administración Pública Federal, 1982 y 1983, la primera se modificó a efecto de introducir en el citado artículo la necesidad de impulsar el desarrollo, pero sujetándolo, entre otros aspectos, al cuidado del ambiente; y la reforma de la Ley Orgánica que significó la creación de la extinta Secretaría de Desarrollo Urbano y Ecología (SEDUE) que integró atribuciones en materia de asentamientos humanos, desarrollo urbano, vivienda y ecología.

En 1987 se dan más reformas, entre otros artículos el 27, donde se faculta a la nación para imponer modalidades a la propiedad privada tendientes a preservar y restaurar el equilibrio ecológico, y al Artículo 73 se le adicionó la fracción XXIX-G mediante la cual se facultó al Congreso de la Unión para expedir leyes que establecieran la concurrencia del gobierno federal, de los gobiernos de los estados y de los municipios en el ámbito de sus respectivas competencias, en materia de protección al ambiente y de restauración y preservación del equilibrio ecológico.

La suma de estas reformas dio una plataforma constitucional para la expedición de una Ley General que permite mantener un estado de derecho y sentó las bases para el desarrollo de legislaciones ambientales de carácter local y aun municipal. A partir de ese momento, la legislación ambiental dejó de ser exclusivamente de carácter federal.

En México, la política ambiental está establecida por la vía legislativa. La fuente más importante en esta materia es la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.

## 16.4 La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente

Esta ley surge de manera patente y urgente como respuesta a una demanda social y ha enriquecido sustancialmente el derecho mexicano para detener el deterioro de los ecosistemas del país y mejorar las condiciones naturales de calidad de vida de los mexicanos. Fue publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 28 de enero de 1988. En diciembre de 2001 se hicieron reformas al texto de la ley que obedecieron básicamente a la reforma del régimen jurídico de los recursos naturales y a la entrada en vigor del Tratado de Libre Comercio.

Se ocupó de establecer las reglas de distribución de competencias entre los tres niveles de gobierno para participar tanto en la creación legislativa como en la gestión ambiental, al tiempo que pasó a regular algunos aspectos de particular interés con un alcance federal. Tiene por objeto, entre otros, garantizar el derecho de toda persona a vivir en un medio ambiente adecuado para su desarrollo, salud y bienestar; definir los principios de la política ambiental y los instrumentos para su aplicación; la preservación y protección de la biodiversidad, así como el establecimiento y administración de las áreas naturales protegidas, y el aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas (desarrollo sustentable).

Para la coordinación y establecimiento de las atribuciones que faculta la ley a los tres niveles de gobierno en nuestro país, tenemos:

#### **16.4.1 Facultades de la Federación**

##### **Artículo 5º de la LGEEPA**

Se agrupan en los siguientes rubros: de planeación y política ambiental I y II; de Asuntos Internacionales II y IV; de Regulación y Normalización V y VI; de Actividades Altamente Riesgosas VI y VII y Vigilancia de las Áreas Naturales Protegidas de competencia federal, de formulación, aplicación y evaluación de los programas de ordenamiento ecológico general del territorio nacional y de los programas de ordenamiento ecológico marino IX; de evaluación del impacto ambiental de las obras o actividades de jurisdicción o competencia federal, fracción X.

También lo relacionado al aprovechamiento sustentable de los recursos naturales, de la biodiversidad, la flora, la fauna y los demás recursos de competencia.

#### **16.4.2 Facultades de los estados**

##### **Artículo 7º de la LGEEPA**

Las fracciones primera y segunda de este artículo dan las bases para la política ambiental estatal. La política ambiental estatal responde a las características ecológicas de la propia entidad y guarda concordancia con los lineamientos de acción nacional que establece la Federación. A partir de la formulación de una política ambiental, los estados pueden establecer sus metas y expectativas en materia ambiental e insertar a partir de ellas el desarrollo nacional y regional.

#### **16.4.3 Facultades de los municipios**

##### **Artículo 8º de la LGEEPA**

Formular la política ambiental municipal, programas de ordenamiento ecológico local de su territorio, determinar los usos del suelo, determinar las áreas naturales protegidas dentro de su territorio.

Aplicar los instrumentos de política ambiental previstos en las leyes locales en la materia, disposiciones jurídicas en materia de contaminación atmosférica generada por comercios o servicios y la proveniente de fuentes móviles que no sean de jurisdicción federal con la participación de los estados sobre todo en materia de fuentes móviles y generación de residuos no peligrosos sólidos urbanos.

### **16.5 Política ambiental (principios)**

La aplicación de la ley sería un ejercicio estéril o una actividad ociosa si no se encaminara a la formulación de una política legislativa o ambiental en beneficio de la propia sociedad y su medio que la rodea. En este sentido los principios que consagra el Artículo 15 de la LGEEPA referentes a la política ambiental en nuestro país se pueden sintetizar de la siguiente manera:

- Los ecosistemas y sus elementos deben ser aprovechados de manera sustentable.
- Toda la sociedad es responsable de preservar el equilibrio ecológico.
- Quien dañe el ambiente debe reparar el daño o asumir el costo de dicha afectación.
- El que proteja el ambiente y aproveche de manera sustentable los recursos naturales debe ser incentivado.
- Debe privilegiarse la política de prevención de daños al equilibrio ecológico.
- Se buscará la coordinación entre dependencias, sectores y niveles de gobierno, para aumentar la eficacia en las acciones ecológicas.
- Deben inducirse las acciones de los particulares en los campos económico y social en el sentido de la preservación y restauración del equilibrio ecológico.
- Se debe garantizar el derecho de las comunidades, incluyendo a los pueblos indígenas, a la protección, preservación, uso y aprovechamiento sustentable de los recursos naturales y la salvaguarda y uso de la biodiversidad.
- Las mujeres deben formar parte fundamental de las políticas de desarrollo sustentable.

Estos lineamientos y principios de política ambiental están orientados en el espíritu de la ley a fomentar tanto la descentralización de la vida política y administrativa del país, como la participación ciudadana en los procesos que les afectan. También buscan asegurar que la diversidad del medio, de las culturas regionales y de la organización ciudadana, se reflejen en un proceso de planeación.

Los principios de la política ecológica no están dirigidos a los particulares, pues por su naturaleza son mandatos concebidos para orientar las actividades de las autoridades públicas. Las normas jurídicas que son la expresión de esos principios, en cambio, son vinculantes para los particulares. (Estos principios pueden devenir indirectamente en obligatorios por la vía de los convenios o concertación celebrada por la Federación con los particulares.)

Por último, en el Artículo 16 de la propia Ley se señalan las facultades que tienen las entidades federativas y los municipios en el ámbito de sus competencias para la observancia y aplicación de esta política ambiental.

Por otra parte, la LGEEPA introdujo capítulos específicos en materia de instrumentos de política ambiental y se ocupó de este aspecto de una manera más amplia y sistemática que las legislaciones que le precedieron.

## 16.6 La LGEEPA se compone de seis grandes títulos

### Título Primero. Disposiciones Generales:

- I. Normas preliminares.
- II. Competencias y coordinación.
- III. Política ambiental.
- IV. Instrumentos de política ambiental.

### Título Segundo. Biodiversidad:

- I. Áreas Naturales Protegidas.
- II. Zonas de restauración.
- III. Flora y fauna silvestre.

### Título Tercero. Aprovechamiento Sustentable:

- I. Agua y ecosistemas acuáticos.
- II. Suelo y sus recursos.
- III. Recursos no renovables.

### Título Cuarto. Protección al Ambiente:

- I. Disposiciones generales.
- II. Atmósfera.
- III. Ecosistemas acuáticos.
- IV. Suelo.

- V. Actividades riesgosas.
- VI. Residuos peligrosos.
- VII. Energía nuclear.
- VIII. Ruido, vibraciones, energía térmica y lumínica, olores y contaminación visual.

**Título Quinto. Participación e Información:**

- I. Participación ambiental.
- II. Derecho a la información ambiental.

**Título sexto. Medidas y Sanciones:**

- I. Disposiciones generales.
- II. Inspección y vigilancia.
- III. Medidas de seguridad.
- IV. Sanciones.
- V. Recursos de revisión.

En el título primero se introducen las disposiciones generales, y en cuatro capítulos consecutivos se exponen las normas preliminares, los niveles de concurrencia entre la Federación, las entidades federativas y los municipios, las atribuciones de la Secretaría y la coordinación intergubernativa, las políticas, instrumentos y criterios ecológicos, el ordenamiento ambiental, la regulación ecológica de los asentamientos humanos, la evaluación del impacto ambiental, así como sus normas técnicas, la información y vigilancia y, por último, la investigación y educación ambiental.

En el título segundo se trata el concepto de áreas naturales protegidas, normas de declaración y ordenamiento, conservación y vigilancia de las mismas, y luego se introduce el Sistema Nacional de Áreas Naturales Protegidas.

En el título tercero se contempla el aprovechamiento racional de los recursos naturales, como el agua, los ecosistemas acuáticos o el suelo, con un interesante capítulo dedicado a los efectos de la explotación y explotación de los recursos no renovables en el equilibrio ecológico.

En el título cuarto se habla de la protección al ambiente, mediante la prevención y control de la contaminación atmosférica, del agua, de los ecosistemas acuáticos y del suelo, considerando en los capítulos siguientes las actividades consideradas como de riesgo, los materiales y residuos peligrosos, además de otras formas de contaminación como el ruido, las vibraciones, la energía lumínica o la contaminación visual.

En los títulos quinto y sexto se tratan de las medidas de control, seguridad y participación social, y se manifiesta el régimen sancionador y de denuncia de los delitos ecológicos. Termina la ley con un artículo transitorio para adecuar las anteriores normas reseñadas, y los trámites administrativos a seguir en su aplicación.

Además de lo anterior, otros instrumentos de política ambiental tales como la denuncia popular y los que tienen que ver con su control, como las sanciones administrativas y penales conforman otros apartados de la misma Ley.

Mencionaremos algunos reglamentos:

- En materia de impacto ambiental.
- En materia de prevención y control de la contaminación de la atmósfera.
- Para la prevención y control de la contaminación generada por los vehículos automotores que circulan por el Distrito Federal y los municipios de la zona conurbada.
- Para prevenir y controlar la contaminación del mar por vertimiento de desechos y otras materias.
- Para la protección del ambiente contra la contaminación originada por la emisión de ruido.
- Para el transporte terrestre de materiales y residuos peligrosos.
- Para parques nacionales e internacionales

## 16.7 Otros ordenamientos jurídicos relacionados con la protección del ambiente y la preservación y uso racional de los recursos naturales

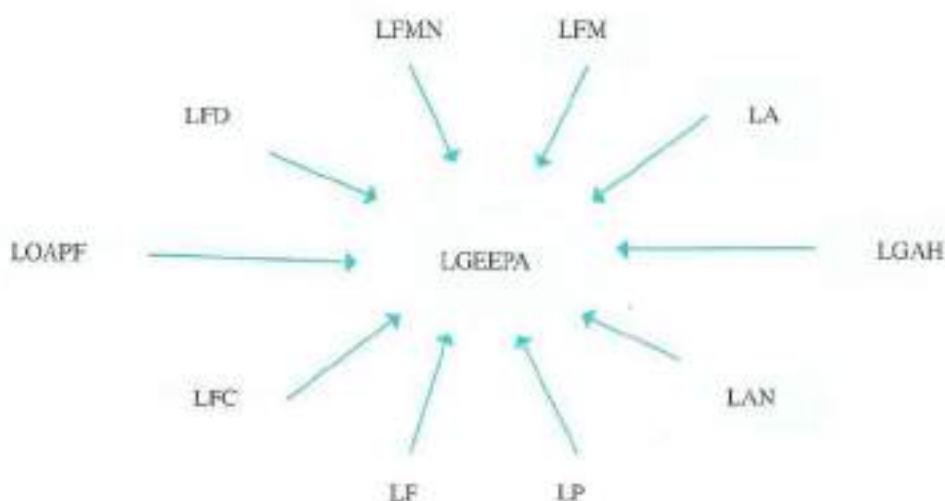


Figura 16.4

En materia ambiental no sólo la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente y sus reglamentos regulan tales actividades; hay otras leyes que apoyan la normatividad ambiental, como es el caso de las siguientes, cuyo principal objetivo se describe:

**Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos.** (LGPYGiR), publicada en el *Diario Oficial de la Federación* (DOF) el 8 de octubre de 2003, última reforma publicada DOF 19-06-2007.

La presente Ley es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la protección al ambiente en materia de prevención y gestión integral de residuos en el territorio nacional.

Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente adecuado y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para:

**Ley Federal de Caza (LFC).** publicada en el DOF el 5 de enero de 1952; reformada el 31 de diciembre de 1981 y el 13 de diciembre de 1996, mediante un decreto por el cual se reformaron, adicionaron y derogaron diversos artículos del Código Penal para el D.F. en materia del fuero común y para toda la República en materia del fuero federal.

Tiene por objeto orientar y garantizar la conservación, restauración y fomento de la fauna silvestre que subsiste libremente en el territorio nacional y regular su aprovechamiento. Dicha Ley estipula que todas las especies de animales silvestres que subsisten libremente en el territorio nacional son propiedad de la nación.



Figura 16.5



Figura 16.6



Figura 16.7



Figura 16.8

**Ley Forestal (LF)**, publicada en el DOF el 9 de diciembre de 1992; reformada el 13 de diciembre de 1996 mediante un decreto por el cual se reformaron, adicionaron y derogaron diversos artículos del Código Penal para el D.F. en materia del fuero común y para toda la República en materia del fuero federal. La última reforma fue publicada en el DOF el 20 de mayo de 1997.

Tiene por objeto regular y fomentar la conservación, protección, restauración, aprovechamiento, manejo, cultivo y producción de los recursos forestales del país, a fin de propiciar el desarrollo sustentable.

**Ley Federal de Pesca (LFP)**, publicada en el DOF el 25 de junio de 1992. Tiene por objeto reglamentar el Artículo 27 Constitucional en lo relativo a los recursos naturales que constituyen la flora y fauna cuyo medio de vida total, parcial o temporal, es el agua. Asimismo, garantizar la conservación, la preservación y el aprovechamiento racional de los recursos pesqueros y establecer las bases para su adecuado fomento y administración.

**Ley Federal de Derechos de Aguas Nacionales (LFDAN)**, publicada en el DOF el 1 de diciembre de 1992.

Tiene por objeto reglamentar el Artículo 27 Constitucional en materia de aguas nacionales, en lo particular regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr un desarrollo integral sustentable.

**Ley Federal Agraria (LFA)**, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 26 de febrero de 1992, reformada mediante decreto publicado en el DOF el 9 de julio de 1993.

Tiene por objeto reglamentar el Artículo 27 Constitucional en materia agraria. Cabe aclarar que el Artículo 2º establece que el ejercicio de los derechos de propiedad a que se refiere la Ley, en lo relacionado con el aprovechamiento urbano y el equilibrio ecológico, se ajustará a lo dispuesto en la Ley General de Asentamientos Humanos, la Ley del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y demás leyes aplicables.

**Ley General de Asentamientos Humanos (LGAH)**, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 26 de mayo de 1976 y reformada mediante decreto publicado en el mismo diario el 21 de julio de 1993.

Tiene por objeto establecer la concurrencia de la Federación, de las entidades federativas y de los municipios, para la ordenación y regulación de los asentamientos humanos en el territorio nacional; fijar las normas básicas para planear y regular el ordenamiento territorial de los asentamientos humanos y la fundación, conservación, mejoramiento y crecimiento de los centros de población; definir los principios para determinar las provisiones, reservas, usos y destinos de áreas y predios que regulen la propiedad en los centros de población, y determinar las bases para la participación social en materia de asentamientos humanos. Es un ordenamiento que sirvió de base para fortalecer las instituciones gubernamentales y la formulación de la nueva política ambiental.



Figura 16.10



Figura 16.11

**Ley Federal del Mar (LFM)**, publicada en el DOF el 8 de enero de 1986.

Tiene por objeto la aplicabilidad del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, en lo relativo a las zonas marinas mexicanas. Esta Ley es de jurisdicción federal, rige en las zonas marinas que forman parte del territorio nacional y, en lo aplicable, más allá de éste en las zonas marinas donde la nación ejerce derechos de soberanía, jurisdicción y otros derechos. Sus disposiciones son de orden público, en el marco del Sistema Nacional de Planeación Democrática.

**Código Penal para el Distrito Federal en Materia del Fuero Común y para toda la República en Materia del Fuero Federal**, publicado en el *Diario Oficial de la Federación* el 14 de agosto de 1931; reformado, en particular, en lo correspondiente a las actividades de interés de la protección al ambiente, mediante decreto publicado en el DOF el 13 de diciembre de 1996.

Tiene por objeto, entre otros, establecer quiénes son los individuos o personas considerados como imputables, las conductas típicas calificadas como delictivas, así como las penas que a favor del orden público, el interés social y el bien común y, como consecuencia, del estado de derecho en que vivimos, podrán ser impuestas a quienes incurran en dichas conductas.

**Ley Federal sobre Metrología y Normalización**, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 1 de julio de 1992, reformada mediante decretos publicados en el mismo *Diario Oficial* los días 24 de diciembre de 1996 y 20 de mayo de 1997, respectivamente.

Tiene por objeto: en materia de normalización, certificación, acreditamiento y verificación, fomentar la transparencia y eficiencia en la elaboración y observancia de normas oficiales mexicanas y normas mexicanas; establecer un procedimiento uniforme para la elaboración de normas oficiales mexicanas por las dependencias de la administración pública federal y coordinar las actividades de normalización, certificación, verificación y laboratorios de prueba de las dependencias de la administración pública federal, entre otros.

**Ley Federal de Derechos**, publicada en el *Diario Oficial de la Federación* el 30 de diciembre de 1996 (esta Ley se actualiza cada seis meses).

Tiene por objeto establecer las cuotas que deberán pagarse por el uso o aprovechamiento de los bienes del dominio público de la nación, así como por recibir servicios que presta el Estado en sus funciones de derecho público.

## ACTIVIDAD 16.1

Consulta el Artículo 3º de la LGEEPA, extrae las definiciones ambientales que indica y elabora un glosario, compáralo con el de tus compañeros de equipo.

## ACTIVIDAD 16.2

De la Ley Estatal Ambiental de tu Estado, haz un análisis donde determines si:

- ¿Es similar a la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección Ambiental?
- ¿Qué modificaciones ha experimentado?

## ACTIVIDAD 16.3

Elabora una tabla en Word donde menciones el nombre de las leyes en materia ambiental de las entidades federativas del país.

## ACTIVIDAD 16.4

Da un ejemplo para cada una de las siguientes normas.



### NORMAS PRECEPTIVAS

Dan normas de comportamiento que delimitan la conducta de la ley.

Ejemplo:



### NORMAS SANCIÓNADORAS O PENALES

Indican el castigo que recae sobre el  infractor de la ley.

Ejemplo:



### NORMAS PROCESALES

Marcan procedimientos administrativos para desarrollar instancias o trámites.

Ejemplo:



### NORMAS DE INTERPRETACIÓN

Son definitorias y establecen el sentido correcto de un vocablo en el cuerpo de la ley.

Ejemplo:



### NORMAS PERMISIVAS

Establecen las condiciones que permitan un uso o empleo sancionado por una autoridad que reglamenta un uso o derecho.

Ejemplo:



### NORMAS PROHIBITIVAS

Prohiben un uso o costumbre y lo colocan fuera de la ley.

Ejemplo:



### NORMAS ORGANIZATIVAS

Establecen las relaciones jerárquicas y funcionales del sistema administrativo estatal.

Ejemplo:

## Capítulo 17. Instrumentos de la política ambiental en México y la participación de la sociedad

*Dios lo perdona todo, el hombre a veces perdona; pero la naturaleza nunca perdona.*

*Proverbio chino*

### 17.1 Instrumentos de la política ambiental actual

La atención a los problemas ambientales y la inducción de nuevos procesos de desarrollo con una dimensión de sustentabilidad, demanda un importante esfuerzo para coordinar las decisiones privadas con objetivos públicos. Esto puede lograrse a través de la utilización de una amplia gama de instrumentos que hacen disponibles la legislación y las instituciones vigentes, los cuales constituyen las herramientas fundamentales de actuación tanto del gobierno como de la sociedad.

En términos de la ley, tanto la autoridad como la sociedad cuentan con un amplio conjunto de instrumentos de política ambiental. Cada uno de estos instrumentos tiene capacidades propias para afrontar los problemas y perseguir los objetivos ambientales de la sociedad.

Cada instrumento tiene un ámbito particular de aplicación, y diferentes condiciones de alcance, eficacia, costo y efectividad. Algunos instrumentos pueden ser aplicables a procesos atomizados o a conductas generalizadas, esto es, su cobertura es de amplio espectro. Otros instrumentos tienen mayor especialidad y sólo pueden imponerse a conductas o a proyectos claramente determinados en el tiempo y el espacio.

Una política ambiental exitosa y eficiente requiere un equilibrio racional entre el tipo de objetivos que se persigue, y el tipo y modalidad de instrumentos que se utilizan en el diseño de políticas. En ocasiones, la regulación de los usos del suelo en términos de la clase de actividades permitidas así como de su intensidad y densidad, representan el mecanismo idóneo, de primer piso, para ejercer una política ecológica efectiva. En otras circunstancias es preferible diseñar y expedir normas obligatorias para cierto tipo de actores y de procesos económicos, que tengan por objetivo garantizar la observación de ciertos parámetros técnicos.

No solamente es necesario tener en cuenta la aptitud de cada instrumento para rendir resultados en circunstancias determinadas, sino también se requiere balancear su definición y sus términos de aplicación, entre la gama de jerarquías jurídicas que van desde los niveles de ley, hasta decisiones administrativas, pasando por reglamentos, decretos y acuerdos. De la misma manera debe buscarse un equilibrio adecuado en lo que respecta a la concurrencia o distribución de competencias y facultades entre diferentes órdenes de gobierno (federal, estatal y municipal), en cuanto al diseño, aplicación, administración y fiscalización de los instrumentos de política ambiental.

Como es evidente, el desarrollo del sistema regulatorio se da de manera diferenciada, dependiendo de las condiciones y dinámicas ambientales institucionales en cada país. Por ejemplo, en etapas incipientes de desarrollo del sistema de regulación ambiental, y en ausencia de un aparato normativo relativamente satisfactorio, se tiende a recurrir a esquemas de regulación *ad hoc*, o caso por caso, como lo es la evaluación de impacto ambiental, lo cual puede resultar no sólo inaceptablemente costoso, sino ineficaz para abarcar a todos los actores y actividades que deben ser objeto de regulación.



Figura 17.1

### 17.1.1 ÁREAS NATURALES PROTEGIDAS

La creación, financiamiento y administración de áreas naturales es un instrumento crítico para la protección de la biodiversidad y el mantenimiento de un gran número de funciones ambientales vitales, así como para definir nuevos parámetros e instituciones para un desarrollo regional sustentable.

Las áreas naturales protegidas se clasifican según sus características y usos, de la siguiente manera:

- Las reservas de la biosfera son ecosistemas no alterados significativamente por la acción del hombre y contienen al menos una zona bien preservada, en la que habitan especies consideradas endémicas o en peligro de extinción. Estas áreas abarcan más de 10 mil hectáreas y constan de un núcleo y una zona de amortiguamiento. En la primera se encuentran las superficies mejor conservadas y están prohibidos los aprovechamientos que alteren el ecosistema. En la segunda se pueden llevar a cabo actividades productivas, sujetándose a las normas establecidas por las declaratorias correspondientes. El sistema MAB-UNESCO incluye varias reservas de la biosfera de nuestro país; la incorporación de nuevas reservas a este sistema ofrece mayores oportunidades de reconocimiento público, financiamiento y manejo.
- Los monumentos naturales son lugares de gran valor estético, histórico o científico, pero no tienen la superficie necesaria para albergar ecosistemas completos, por lo que su función de preservación está muy limitada. No obstante, en estas áreas está prohibido el aprovechamiento de recursos naturales.
- Las áreas de protección de la flora y la fauna se establecen en el hábitat de especies silvestres, para proteger su existencia y reproducción. En ellas se permite el aprovechamiento de recursos naturales, en términos de la declaratoria correspondiente.
- Los parques urbanos preservan el equilibrio de las áreas urbanas para proporcionar un ambiente sano, preservar las bellezas naturales y ofrecer espacios públicos a la comunidad; son de competencia local.
- Las zonas sujetas a conservación ecológica constituyen soportes ecológicos de zonas urbanas y su constitución corresponde a los gobiernos de los estados y los municipios.
- Los parques marinos nacionales se encuentran en las playas y zonas federales marítimo-terrestres contiguas. En ellos se permiten los aprovechamientos y usos establecidos en la declaratoria correspondiente.
- Los parques nacionales se constituyen en terrenos forestales, tratándose de representaciones biogeográficas, en el ámbito nacional, de uno o más ecosistemas que se signifiquen por su belleza escénica, su valor científico, educativo o de recreo, su valor histórico, por la existencia de flora y fauna de importancia nacional, por su aptitud para el desarrollo del turismo, o bien por otras razones de interés general.

### 17.1.2 REGULACIÓN DIRECTA DE VIDA SILVESTRE

La regulación directa de los recursos faunísticos y florísticos se da a través de instrumentos como los permisos, licencias y autorizaciones para la colecta científica, aprovechamiento, comercialización, movimientos fronterizos, y producción. Es un instrumento de suma importancia para el manejo adecuado de los mismos, para garantizar la permanencia de especies endémicas o en peligro de extinción y para regular y promover su comercio y aprovechamiento adecuado, adoptando criterios y lineamientos técnicos rigurosos y científicamente sustentados que permitan hacer compatible el aprovechamiento con la conservación.

En materia cinegética, el Calendario Cinegético es un instrumento normativo creado para dar a conocer las épocas hábiles de cacería en México. Incluye definiciones, requisitos, regulaciones, vedas, prohibiciones, sanciones, cuadros de aprovechamiento y épocas hábiles. Es importante señalar que la tendencia actual en la administración de la cacería se orienta a la simplificación administrativa, la desregulación y la desconcentración de funciones, dando más participación en la toma de decisiones a los gobiernos estatales.

### 17.1.3 ORDENAMIENTO ECOLÓGICO DEL TERRITORIO

En sentido estricto, el ordenamiento es un proceso de planeación dirigido a evaluar y programar el uso del suelo y el manejo de los recursos naturales en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción, para preservar y restaurar el equilibrio ecológico y proteger el ambiente.

El ordenamiento territorial permite orientar el emplazamiento geográfico de las actividades productivas, así como las modalidades de uso de los recursos y servicios ambientales, constituyendo el cimiento de la política ecológica. El ordenamiento debe ser la base para determinar la densidad y formas de uso del suelo, las áreas a conservar y restaurar.

El Ordenamiento Ecológico del Territorio (OET) también es un instrumento normativo básico o "de primer piso", sobre el cual descansan otros instrumentos que no pueden tomar en cuenta impactos o efectos acumulativos. Se sabe que cada actividad o proyecto, en lo individual, puede no tener implicaciones ambientales que impidan su aprobación; sin embargo, cuando su número e incidencia en una misma región se incrementa más allá de ciertos límites, los impactos agregados o acumulativos pueden comprometer seriamente el equilibrio e integridad regional.

La planeación del uso de los recursos naturales a través del ordenamiento ecológico se basa en la determinación del potencial de los terrenos, en función de un posible uso agrícola, ganadero, forestal o urbano. El uso potencial, tal como se considera en la planeación, consiste en determinar, desde el punto de vista humano, la capacidad de usar el territorio y sus ecosistemas sin riesgo de degradación.

De igual manera, la potencialidad de uso debe fundamentarse en una ponderación consistente de la vocación del territorio a partir del interés público, frente a los legítimos derechos de propiedad y la dinámica del mercado inmobiliario. Es preciso también involucrar la valoración del efecto sinérgico de las actividades en la planeación territorial, y la experiencia en el ámbito de manejo de cuencas hidrográficas. Todo ello induce la necesidad de definir al área de estudio desde una perspectiva funcional o sistemática.

### 17.1.4 EVALUACIÓN DEL IMPACTO AMBIENTAL

La Evaluación del Impacto Ambiental (EIA) es una herramienta para generar información ambiental, y un proceso analítico para evaluar elementos más comprensivos de costo y beneficio social en cada proyecto de desarrollo. Esto permite proponer medidas técnicas para minimizar los primeros o ampliar los segundos, de tal manera que el balance ambiental de un proyecto resulte lo más favorable.

La Evaluación de Impacto Ambiental es un instrumento de aplicación específica que requiere analizar las particularidades de cada caso, ejerciendo una regulación en distintos planes y etapas. Es un instrumento ideal para la regulación ambiental de proyectos y actividades caracterizadas por su bajo número y alta singularidad, magnitud considerable y gran especificidad regional, sectorial o tecnológica.

Es necesario conjuntar las capacidades institucionales de ordenamiento ecológico y evaluación de impacto ambiental, pensando en interacciones regionales, ecológicas e intertemporales más amplias, teniendo en mente efectos acumulativos amplificados y consecuencias multiplicadoras, para evitar una dinámica de deterioro ecológico imprevisible.



Figura 17.2

### 17.1.5 RIESGO AMBIENTAL

Para la atención del riesgo ambiental existen los estudios de riesgo como instrumento de carácter preventivo, vinculado al procedimiento de evaluación de impacto ambiental, cuando se trate de nuevos proyectos.

El estudio de riesgo se requiere en aquellas actividades que manejan materiales y operan procesos peligrosos, con objeto de identificar el potencial de afectación a la población, a las propiedades y al ambiente; ya sea por su ejecución, operación normal o en caso de accidente. Los estudios de riesgo ambiental incluyen la identificación de riesgos en actividades industriales así como medidas técnicas de seguridad, preventivas y correctivas; ante contingencias como pueden ser explosiones, incendios, fugas o derrames. En el marco de la evaluación de los estudios de riesgo se pide, en los casos que así lo amerite, la presentación de programas para la prevención de accidentes, a través del procedimiento de impacto ambiental.

Tanto en el caso de estudios de riesgo como de los programas para la prevención de accidentes se contempla, en los términos de la ley, la definición de zonas intermedias de salvaguardia, como esquemas de ordenamiento territorial específico para la minimización de riesgos.

### 17.1.6 NORMAS OFICIALES MEXICANAS

La expedición de normas es uno de los pilares de la política ecológica, y se constituye como un esfuerzo regulatorio para adecuar las conductas de los agentes económicos a los objetivos sociales de calidad ambiental.

A raíz de la publicación de la Ley Federal sobre Metrología y Normalización, en 1992, se modernizó y perfeccionó el esquema normativo de México, en la medida en que el diseño, y la expedición de normas en materia ambiental ha quedado sujeta necesariamente a la realización de estudios técnicos y de análisis de costo-beneficio. El procedimiento incluye la participación de diferentes interesados y representantes de sectores con actividad económica, a través del Comité Consultivo Nacional de Normalización para la Protección Ambiental. El Comité cuenta con 7 subcomités: aprovechamiento ecológico de los recursos naturales, materiales y residuos sólidos y peligrosos, aire, calidad de combustibles, agua, riesgos ambientales y energía contaminante. Cada subcomité cuenta con uno o varios grupos de trabajo.

La normatividad mexicana ha tenido un desarrollo relativamente amplio a la fecha, al grado que se han expedido NOM para: impacto ambiental, para descargas de aguas residuales, manejo de residuos peligrosos y municipales, vehículos automotores y fuentes industriales, así como para recursos naturales.

Las NOM son un instrumento muy poderoso, no sólo por su capacidad de controlar los procesos productivos, sino particularmente por su capacidad de inducir cambios de conducta e internalizar costos ambientales, lo que las convierte en un mecanismo que promueve cambios tecnológicos y genera un mercado ambiental importante.

Debe señalarse que la abrumadora mayoría de las normas generadas hasta ahora se aplica a actividades industriales, y que muy poco se ha hecho para ejercer una regulación efectiva y eficiente en procesos productivos agropecuarios y de utilización de recursos naturales que, como todos sabemos, es donde se generan los impactos ambientales de mayor dimensión, por su alcance y su carácter frecuentemente irreversible.

### 17.1.7 REGULACIÓN DIRECTA DE MATERIALES Y RESIDUOS PELIGROSOS Y RIESGO

La gran diversidad de actividades industriales y de servicios que generan residuos peligrosos, y la heterogeneidad de los mismos, dificulta el establecimiento de criterios claros de clasificación y, por

lo tanto, de manejo de los mismos. Esto, unido al riesgo implícito y a sus efectos potenciales sobre la salud, ha hecho necesario establecer un sistema de permisos, autorizaciones y manifiestos que se diseñan específicamente para cada caso particular y que están previstos en la legislación. Esta regulación directa puede tener un enorme potencial para considerar análisis de ciclo de vida de productos.

### 17.1.8 REGULACIÓN DIRECTA DE ACTIVIDADES INDUSTRIALES

A través de las Licencias Ambientales Únicas (LAU) y de Funcionamiento contempladas en los reglamentos correspondientes, se establecen condiciones particulares de operación industrial con el fin de regular y minimizar las emisiones a la atmósfera de manera específica y de recabar información indispensable para la construcción de inventarios y la transferencia de contaminantes en el Registro de Emisiones y Transferencia de Contaminantes (RETC).



Figura 17.3

### 17.1.9 AUTORREGULACIÓN

La responsabilidad y los beneficios de los problemas ambientales no recaen exclusivamente en el ámbito gubernamental. En este sentido, es importante fomentar el desarrollo de esquemas voluntarios que procuren el mejoramiento ambiental a través de la minimización de residuos e insumos y de cambios en procesos hacia tecnologías más limpias. La promoción de actividades de autorregulación constituye un instrumento de política ambiental de gran importancia, en la medida en que tienen implícito un compromiso que rebasa las obligaciones formales de quienes se incorporan en estos esquemas, más allá de la normatividad vigente o para cubrir lagunas en los sistemas obligatorios de regulación. Entre los mecanismos de autorregulación destacan:

- Las normas voluntarias, a partir de iniciativas y programas concertados con la autoridad de protección ambiental en empresas o ramas industriales, por medio de compromisos en materia de nuevos métodos de control, sustitución de insumos, modernización tecnológica, eficiencia energética, reciclaje y calidad ambiental total. Tal sería el caso, por ejemplo, del reconocimiento y apoyo a las normas voluntarias ISO 14000.
- Los procesos de certificación de productos, como instrumentos de una política ambiental que responde a una demanda creciente del mercado. Los consumidores demandan de manera cada vez más amplia una certificación de productos, tanto en términos de su composición como de los procesos de los que surgen, que puede llevar a cambios sustantivos en tecnologías e insumos, constituyendo así un instrumento muy poderoso para lograr procesos e insumos menos contaminantes, tanto en el ámbito urbano como en el rural. Este ecoetiquetado garantiza al consumidor las cualidades ambientales del producto.

### 17.1.10 AUDITORÍA AMBIENTAL

Las auditorías ambientales consisten en la revisión exhaustiva de las instalaciones, procesos, almacenamientos, transporte, seguridad y riesgo, entre otros aspectos, que permitan definir planes de acción que precisen, en plazos determinados, las obras, reparaciones, correcciones, adquisiciones y acciones necesarias emanadas del dictamen de la auditoría; estén o no normadas, para finalmente convertirse en compromiso del empresario con la autoridad y garantizar su cumplimiento mediante el pago de una fianza.

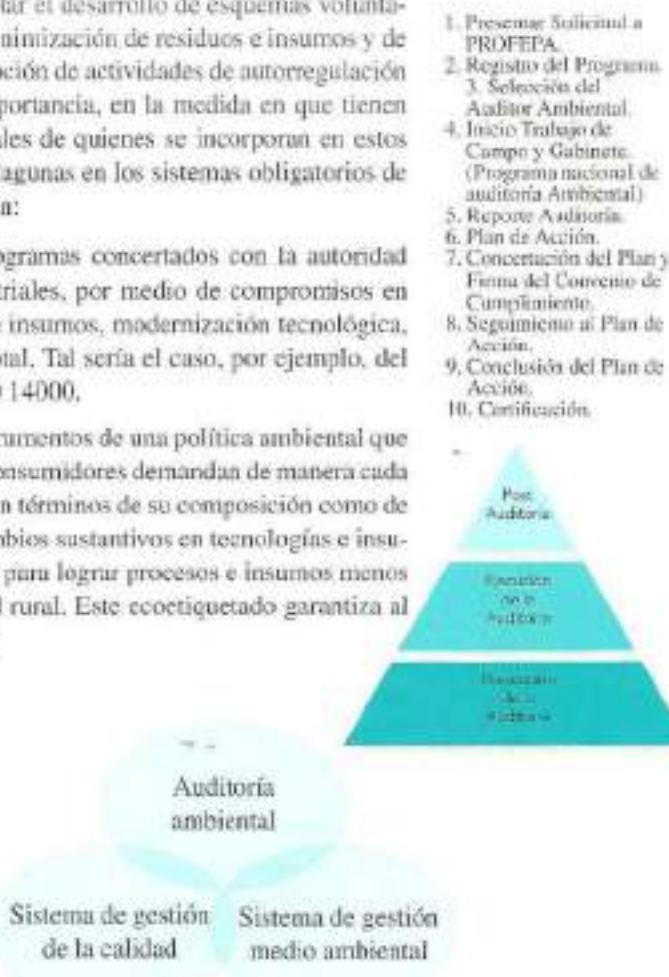


Figura 17.4

### 17.1.11 INSTRUMENTOS ECONÓMICOS

Desde la perspectiva del sistema económico, los problemas ambientales se pueden interpretar convenientemente como resultado de fallas en los mercados, carencia de información, diseños institucionales y de política, que se traducen en la complementaria o vinculada a un esquema regulatorio y normativo consecuente.

La pertinencia en la aplicación de cada uno de los instrumentos dependerá de los costos administrativos de monitoreo y control, de los objetivos específicos de política, del número de actores involucrados en cada proceso, la escala y el volumen de las operaciones, y de las condiciones biofísicas de los procesos.

La promoción de la internalización de costos ambientales por medio de instrumentos económicos tiene como propósito que los agentes reciban señales adecuadas desde el sistema de precios e incorporen entre sus objetivos o funciones de bienestar motivaciones permanentes para hacer un manejo sustentable de los recursos naturales y para reducir la generación de contaminantes y residuos y, con ello, los efectos ambientales negativos inherentes. El logro de ese propósito implica diseñar e instrumentar un mecanismo automático de corrección que puede operar con una intervención mínima por parte de la administración pública o de la autoridad reguladora.

Los instrumentos económicos pueden requerir, para su plena eficacia y eficiencia, valuar costos ambientales como premisa para la internalización, o bien, pueden operar a partir de umbrales, arrojando como resultado precios que incorporen plenamente los costos sociales. De ahí la importancia de adoptar y aplicar métodos de evaluación económica para el ambiente, que han sido utilizados, con cierto éxito, en otros países, así como desarrollar otros nuevos.

Los instrumentos económicos presentan ventajas que los hacen atractivos e indispensables en la confección de políticas públicas en materia ambiental. He aquí algunos:

- Permiten cumplir con objetivos ambientales a un costo social mínimo.
- Dan flexibilidad a los agentes económicos en la toma de decisiones.
- Reconocen y aprovechan las diferentes estructuras de costos incrementales, que enfrentan distintas empresas, procesos y tecnologías.
- Promueven la innovación tecnológica y la minimización de impactos ambientales.
- Pueden significar un mecanismo automático para el financiamiento de la infraestructura, la operación de sistemas y el manejo de recursos comunes ambientales.
- Pueden generar ingresos fiscales que apoyen programas de protección ambiental.
- Generalmente implican bajos costos administrativos o de transacción, aprovechando las instituciones existentes, sin necesidad de crear nueva burocracia.
- Permiten compatibilizar objetivos de política económica con objetivos de política ambiental.
- Pueden ser unos mecanismos indispensables para llevar a cabo un manejo eficiente de recursos ambientales comunes.

En un marco de estrecha colaboración con instituciones públicas y privadas, se buscarán promover el diseño de instrumentos económicos que apoyen y complementen la regulación ambiental, tales como:

- Impuestos y derechos ambientales.
- Mercado de derechos transferibles.
- Sobreprecios para generar fondos en fideicomiso.
- Sistemas de depósito-reembolso.
- Fianzas y seguros.
- Derechos de uso de recursos e infraestructura.
- Contratos privados.

- Licitaciones en el sector público.
- Derechos de propiedad.
- Concesiones.

Ningún instrumento económico es útil en todo tiempo, proceso y lugar. Cada uno requiere ser utilizado de manera ponderada en diferentes etapas, mercados y sistemas de manejo, considerándolos siempre a manera de conciencia ecológica de la sociedad, acelerando el tránsito por diferentes etapas de la misma, desde la simple preocupación y denuncia, hasta la decisión de cooperar y participar, e internalizar costos y responsabilidades.

### 17.1.12 CRITERIOS ECOLÓGICOS

Plantean metas u orientaciones generales que deben seguir ciertos procesos o actividades en términos de la política ambiental del país. Más que ser un instrumento de regulación coactivo u obligatorio, es un instrumento propositivo de definición de perspectivas.

### 17.1.13 INFORMACIÓN AMBIENTAL

En el esclarecimiento de los costos para la asunción de responsabilidades privadas y públicas, la información es un requisito. La información ambiental se constituye así en un instrumento que debe nutrir un proceso de entendimiento y conocimiento de variables y procesos relevantes, para coadyuvar a modificar conductas con un sentido de sustentabilidad. En otras palabras, es preciso ofrecer a la sociedad recursos de información para inducir los cambios necesarios y aprovechar las oportunidades existentes.

La información ambiental es fundamental para establecer horizontes de política, objetivos y prioridades, para evaluar el desempeño de las propias políticas. Igualmente, la información contribuye a facilitar la acción colectiva y ensanchar los márgenes de maniobra de la autoridad al crear y documentar consensos sociales.

La asunción de responsabilidades públicas por parte de los actores individuales es un requisito para el desarrollo sustentable. Esto presupone un proceso de entendimiento y conocimiento de las variables y procesos relevantes, que coadyuve a modificar conductas en el sentido correcto. En otras palabras, es importante ofrecer a la población información adecuada para realmente inducir el cambio y aprovechar las oportunidades existentes.

La información también puede servirle a la población como un mecanismo de retroalimentación para el entendimiento de las consecuencias sobre el ambiente de sus acciones y de sus conductas. Este circuito de información se completa cuando las personas modifican su comportamiento a la luz de la comprensión ganada.

La información confiable, completa y oportuna es, desde luego, un requisito para la toma de decisiones y para poder mantener informado al público. Un sistema de información debe integrarse con elementos clave del sistema de precios, datos sobre el estado del ambiente, indicadores de tendencias y horizontes y valuaciones económica de costos y beneficios sociales ambientales, estado real de los ecosistemas y elementos del ambiente, sistemas permanentes de datos estadísticos sobre contaminantes en el suelo, el aire, los ríos y los mares de toda la República, así como un análisis de los elementos y recursos científico-tecnológicos con que cuenta el país. Los indicadores identifican las variables clave, dentro de procesos dinámicos de cambio ambiental; registran la evolución del ambiente y, de esta forma, dirigen la atención pública hacia el verdadero espacio de oportunidades de política.

### 17.1.14 EDUCACIÓN E INVESTIGACIÓN

La educación es un proceso por el cual las sociedades transmiten de una generación a otra la herencia cultural indispensable para cumplir objetivos de supervivencia y bienestar, y para perseguir destinos

que cada colectividad formule para sí misma. El proceso educativo queda entonces entrelazado funcionalmente al proceso histórico, como código y variable dependiente al mismo tiempo. En nuestra sociedad, la mayor parte de los acervos culturales y patrones de conducta son transmitidos a través de la educación. No cabe duda que la educación tiene una gran responsabilidad en la actualidad ya que a través de ella es como la sociedad puede obtener la información necesaria para lograr generar una responsabilidad social hacia todos los sectores e incluso a las generaciones futuras.

La educación genera las pautas para poder realizar una investigación de calidad y ésta será la pauta que marque la diferencia entre querer y poder resolver los problemas ambientales que aquejan a nuestro mundo; dicho de otra manera, el vínculo educación-investigación será la forma adecuada de acometer los diferentes problemas ambientales que se generaron por las actividades antropogénicas.

#### **17.1.15 CONVENIOS, ACUERDOS Y PARTICIPACIÓN**

Existen en la actualidad diversas instancias del diseño de la gestación y la política ambiental en las que participan activamente ciudadanos o sectores organizados de la población, tanto instituciones académicas y grupos de interés, como organismos no gubernamentales. Éstos pueden integrarse en ámbitos técnicos, administrativos, económicos y consultivos, para asumir responsabilidades en una tarea importante de diseño y aplicación de políticas ambientales y en la atención de problemas específicos. De hecho, la concertación para promover la participación y la correspondencia social en la gestión ambiental se constituye en un instrumento muy poderoso para ampliar las capacidades y los alcances de la política, así como de planes, programas y proyectos.

#### **17.1.16 VERIFICACIÓN, CONTROL Y VIGILANCIA**

En gran medida, el éxito de los instrumentos regulatorios planteados depende de que existan instancias de verificación de su cumplimiento. Sin ellas estaríamos ante un vacío que haría que su efectividad fuera mínima. Estas actividades requieren gran cantidad de recursos materiales y particularmente humanos, y encuentran una mayor efectividad cuando se basan en una amplia participación social; esto requiere de una gran colaboración de todos con la finalidad de lograr un mejor control en todas las acciones ambientales. Estas actividades basan su aplicación en la Ley de Procedimiento Administrativo vigente.

Los problemas ecológicos son los más complejos que han enfrentado las sociedades humanas. Los aspectos científicos y técnicos de la lucha contra la contaminación, la conservación ecológica y la restauración, requieren de personal capacitado técnica y científicamente. No sólo el país necesita de los técnicos capaces de instrumentar métodos desarrollados en otras partes del mundo y que crecientemente implican un grado de sofisticación muy alto, sino que existe una multitud de problemas de carácter local, para los cuales resultan inaplicables ciertas soluciones exógenas. Por ello, México necesita invertir recursos en la formación de cuadros científicos e instituciones con la capacidad de realizar la investigación científica creativa y original que podrá sustentar las tecnologías aplicables a nuestras singulares condiciones ecológicas. Los resultados de la formación de recursos humanos siempre se observan a largo plazo y un programa de becas, apoyos a instituciones federales y estatales y a proyectos de investigación deberá mantenerse a lo largo de varios años, para empezar a rendir frutos.

### **17.2 LAS ORGANIZACIONES NO GUBERNAMENTALES (ONG)**

Las demandas por el "derecho de saber" y la participación de la sociedad civil en la gestión ambiental.

La protección y preservación del ambiente, como se ha visto en las tres legislaciones propiamente ambientales que han regido en México, ha sido una función conferida casi en forma exclusiva

a la autoridad administrativa, a pesar de que ya en la LGEEPA de 1988 se incorporaron como instrumento de política ambiental los delitos en contra del ambiente, y de que el Código Civil de 1928 contempló algunos supuestos de responsabilidad objetiva relacionados con daños provocados a ese bien jurídico; lo cual permitiría eventualmente la participación del Poder Judicial en este campo.

Sin embargo, la preocupación de la sociedad civil por el cumplimiento de las reglas establecidas en la legislación para la protección del entorno y la prevención de catástrofes ambientales se acentúa a partir de varios acontecimientos acaecidos en décadas recientes en nuestro país.

Estos acontecimientos propiciaron que la sociedad civil, organizada fundamentalmente a través de las llamadas ONG, comenzara a exigir el derecho de estar informada y el derecho de participar en la gestión del medio ambiente. Así, a partir de 1994, la participación de la sociedad civil comenzó a ser ingrediente agregado en la tramitación de expedientes administrativos; la presencia de las organizaciones no gubernamentales es significativa. Si bien esto refleja un aumento significativo de la atención de la sociedad hacia procesos ambientales, es necesario incorporar a sectores cada vez más amplios al proceso de diseño, discusión y a la ejecución, el control y la vigilancia de la política ambiental.

A medida que avanza la formación de una conciencia ambiental, van surgiendo iniciativas locales a las que es necesario encuadrar hacia los objetivos generales de la política ambiental, desarrollando mecanismos para que su acción, en la actualidad no siempre acorde con los lineamientos generales de política, se inserte de manera coherente y fortalezca la capacidad de actuación ante problemas ambientales. En este sentido, es importante señalar prioridades de acción, ya que en muchos casos se trata de respuestas inmediatas a problemas cercanos que, si bien merecen la atención, a menudo son sobredimensionados. El papel de la información ambiental, en este sentido, es prioritario.

Es necesario, por lo tanto, dar estímulo y orientación para el cumplimiento de las leyes, reglamentos, normas y programas ambientales mediante su difusión, la promoción de una conciencia ambiental ciudadana y la capacitación en la materia. En particular, se deben desarrollar programas de información y difusión que permitan a la sociedad, en su conjunto, conocer la legislación y la normatividad ambiental nacional y regional.

### **17.2.1 INSTANCIAS NO GUBERNAMENTALES**

#### **Comisiones**

Organismo	Fundamentación
Comisión Ambiental Metropolitana	Convenio de Coordinación Reglamento Interno
Comisión Intersecretarial para la EXPO '98	Acuerdo Presidencial
Comisión Intersecretarial de Seguridad y Vigilancia Marítima y Portuaria	Acuerdo Presidencial
Comisión Nacional de la Biodiversidad (CONABIO)	Acuerdo Presidencial
Comisión Nacional de Normalización	Ley de Metro, y Normaliz.
Comisión de Plag. Fert. y Sust. Tóxicas (CICLOPLAFEST)	Acuerdo Presidencial

#### **Consejos**

Organismo	Fundamentación
Consejo Consultivo para el Desarrollo Sustentable (CDS)	Acuerdo Secretarial
Consejo Técnico Consultivo Nacional Forestal	Acuerdo Secretarial

Organización	Fundamentación
Consejo Técnico Consultivo Nacional de Sanidad Animal	Acta Constitutiva
Consejo Consultivo Fitosanitario Mexicano	Acuerdo Secretarial
Consejo Nacional de Áreas Naturales Protegidas	Acuerdo Secretarial
En Nuevo León entre las ONG encontramos:	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alianza de Ecólogos.</li> <li>• Patronato del Cerro de la Silla.</li> <li>• Asociación de la Sierra Madre.</li> <li>• Movimiento Ecologista de N.L.</li> <li>• Pronatura Noreste.</li> </ul>	

### ACTIVIDAD 17.1

De los instrumentos de la política ambiental, ¿cuál es el más relacionados con tu carrera y por qué?

### ACTIVIDAD 17.2

Busca un problema de tu comunidad al que, apoyado con los instrumentos, puedas encontrarle una posible solución.

### ACTIVIDAD 17.3

Elabora una denuncia ambiental, o solicítela a la PROFEPA o autoridad ambiental local, con base en la LGEEPA.

### ACTIVIDAD 17.4

Investiga algunas acciones relevantes de organizaciones no gubernamentales en tu ciudad.

## Capítulo 18. Educación ambiental

*"Las sociedades modernas no encontrarán una solución a los problemas ecológicos a menos que revaloren seriamente sus estilos de vida"*  
Papa Juan Pablo II

El cuidado del medio ambiente ha sido una preocupación constante de la sociedad; sin embargo, aunque se realizan campañas de protección al medio ambiente, se observa cada vez más un deterioro de éste.

La problemática ambiental rebasa las barreras del tiempo y el espacio, dado que el mundo donde vivimos es prácticamente prestado, pues pertenece a la humanidad del pasado, pertenece a la del presente y a la del futuro también. En consecuencia, no se trata de una simple necesidad, es la lucha por la subsistencia de la humanidad, por lo que debe incluirse a sí misma en el concepto de medio ambiente.

Actualmente, cuando el mundo se halla inmerso en un proceso de globalización y el mercado es el centro de la actividad socioeconómica, se ha relegado la defensa del medio ambiente, se ha postergado para un futuro incierto, donde la guerra vuelve a vencer al diálogo, donde la miseria y el hambre pululan y las soluciones no pasan del discurso.

En tal situación, a la universidad le corresponde todo el liderazgo para revertir el panorama actual y crear una verdadera conciencia ciudadana, que nos permita vislumbrar un futuro luminoso para las siguientes generaciones.

La globalización de la economía se asocia con modelos de desarrollo basados en el mercado y en valores éticos, que tienden a justificar el deterioro de los ecosistemas y la pérdida de la biodiversidad, así como la injusta distribución de las riquezas y por consiguiente el aumento de la pobreza.

Este panorama sitúa a la educación como una premisa de importancia significativa para lograr los procesos de cambio, que deben orientar a la humanidad hacia un sistema de relaciones más armónicas entre la sociedad y la naturaleza, que permitan el tránsito hacia niveles de desarrollo sostenibles y propicien una calidad de vida decorosa y equitativa para la sociedad.

En este complejo proceso juegan un importante papel la forma de pensar y los estilos de comportamiento de las personas y de las comunidades, las políticas de los sectores de la economía, de la ciencia, de la educación y de la cultura pero, sobre todo, la existencia de una voluntad política y la capacidad para integrarlos.

En este sentido, la educación ambiental formal opera facilitando al individuo y a la colectividad los medios para interpretar la interdependencia en el tiempo y en el espacio de fenómenos biofísicos, sociales y económicos; difunde información y alternativas; desarrolla un sentido de responsabilidad y solidaridad; e induce cambios de valores y conductas. La educación ambiental no formal o extraescolar juega un papel extremadamente relevante, al ofrecer marcos educativos más versátiles y diversificados que involucran directamente a la población, tanto escolarizada como no escolarizada, de todas las edades, en actividades y compromisos, con una doble función: concientizar y capacitar. En este ámbito, los medios de comunicación masiva ofrecen un gran poder de penetración y capacidad de llegar a muchos sectores de población inalcanzables por otros medios formales y no formales. Teniendo, además, un gran potencial para propagar hechos y conductas, y de movilizar a la opinión pública en procesos cooperativos y de participación social.

Debe destacarse, particularmente, el potencial de la educación ambiental para inhibir conductas oportunistas o no solidarias que obstaculizan el manejo adecuado de recursos comunes ambientales y, en general, de las políticas e iniciativas de protección ambiental, dado que la eficacia de los propósitos en este campo depende de la modificación en el comportamiento cotidiano de millones de personas (productores y consumidores). En particular, ante procesos de deterioro que requieren una atención urgente y diferenciada, la educación puede reforzar el cumplimiento de normas jurídicas o la aceptación de ciertas medidas de política. No cabe duda que la educación tiene una gran responsabilidad en la gestión y desenvolvimiento de lo que se denomina transferencia de costos de quienes los provocan hacia otros sectores de la sociedad o, incluso, a las generaciones futuras. Dicho de otra forma, los problemas ambientales son externalidades que deben corregirse.

En este contexto, es de gran urgencia trazar e implementar estrategias de educación ambiental con amplia participación, que se constituyan en la plataforma que sustente la preparación de la sociedad para enfrentar los complejos procesos de desarrollo en el presente milenio.

Las estrategias deben resolver los siguientes problemas generales:



**Figura 18.1**

- La ausencia de un accionar coherente y sistemático que integre los esfuerzos institucionales nacionales tanto gubernamentales como no gubernamentales.
- La ausencia de conocimientos y de una conciencia ambiental de los tomadores de decisiones, sobre la interdependencia entre sus decisiones/acciones y los procesos naturales, socioeconómicos y culturales, y su impacto sobre los procesos de desarrollo y la calidad de vida de la población.
- Una insuficiente preparación teórica y práctica desde el punto de vista pedagógico y científico-técnico para acometer la introducción de la dimensión ambiental en los procesos educativos y de la dimensión educativa en los procesos de desarrollo, con una concepción de interdependencia medio ambiente-desarrollo y por consiguiente con un carácter interdisciplinario.
- Un insuficiente tratamiento de la problemática ambiental en los planes de estudio de los distintos tipos y niveles de la educación, reducido en lo fundamental al estudio de la naturaleza y de los recursos naturales desvinculados de los procesos sociales y de desarrollo.
- La ausencia en algunos casos del suficiente y adecuado tratamiento de la problemática ambiental con un carácter integral por parte de la mayoría de las instituciones científico-culturales-recreativas, así como por instituciones gubernamentales y no gubernamentales dirigido al gran público en general, así como a grupos sociales específicos y en particular a las comunidades.
- Una escasa disponibilidad y acceso a la información especializada en general y en particular a la pedagógica.
- La insuficiente divulgación ambiental desarrollada por los medios masivos de comunicación, dados por la escasez de espacios dedicados a la problemática medio ambiente-desarrollo, así como por la ausencia de la incorporación de la dimensión ambiental al resto de la programación. Asimismo, es frecuente un inadecuado tratamiento desde el punto de vista conceptual y técnico de la información.

## 18.1 Significado de la educación ambiental

Cuando se habla de educación ambiental se hace referencia a un modelo de persona y sociedad que vive de forma sostenible con su medio. Frente a un modelo social basado en el consumo compulsivo, en la concepción de lo natural como infinito y de la naturaleza al servicio del hombre, con el planteamiento de políticas y actividades de educación ambiental se apunta a contar con ciudadanos solidarios, conscientes y responsables para con su ambiente, y al desarrollo de una sociedad que viva en forma sostenible con su medio.

La educación ambiental resulta entonces imprescindible para lograr un cambio en la forma de relacionarse del individuo con su entorno, como forma de mejorar el manejo de los recursos naturales y reducir los daños al ambiente.

Se trata de abordar una tarea educativa desde lo preventivo, lo que es más conveniente tanto en términos económicos como ambientales, tratando de promover un cambio de hábitos y actitudes cotidianas que se concreten en acciones ambientalmente adecuadas.

Se debe destacar y trabajar sobre el rol que tienen que desempeñar los vecinos en la gestión ambiental. Difícilmente se puede encarar el tema en forma óptima si no contamos con ciudadanos que sean conscientes y se preocupen del ambiente y sus problemas, que posean los conocimientos, actitudes, motivaciones, deseos y aptitudes necesarias para trabajar de manera individual y colectiva en la solución de problemas actuales y en la prevención de otros nuevos.



Figura 18.2

Hechos y actitudes cotidianas, sencillas, resultan un gran aporte y denotan ciudadanos responsables y solidarios con su entorno: reducir los volúmenes de residuos que generamos diariamente evaluando si lo que compramos es realmente necesario, evitar los envoltorios y los envases desechables, disponer estos residuos correctamente (en bolsas adecuadas, bien cerradas y en el horario correcto), no tirar basura en la calle, ni en los arroyos, ni en las alcantarillas, etcétera.

Se trata entonces de problematizar nuestros valores, actitudes y hábitos cotidianos, apuntando a generar un concepto diferente de ciudadano, donde se destaque por igual derechos y deberes, donde la educación ambiental se transforma en la herramienta adecuada para el logro de una sociedad justa, solidaria y ambientalmente sustentable.

Según la forma de desarrollar la educación ambiental podemos distinguir tres tipos: formal, no formal e informal; las dos primeras podemos ubicarlas en centros educativos donde la formal tiende a ser curricular, no así la no formal que es extracurricular.

En el caso de la informal se realiza fuera de los centros educativos donde las asociaciones civiles, organismos gubernamentales y colonos se han encargado con su participación de hacer posible su desarrollo.

Al realizar educación formal es de suma importancia que los docentes estén preparados en cuestiones ambientales, para que su labor de transmitir y sensibilizar a los alumnos sea realizada de tal manera que se adquieran de una manera adecuada los valores apropiados hacia el medio ambiente; la organización y planeación curricular son fundamentales, ya que los diferentes niveles educativos requieren programas diferentes.

Un aspecto relevante en la educación no formal que se lleva de forma planeada es que permite la flexibilidad en cuanto a la organización de las actividades a realizar, ya que no es exclusiva del ámbito del aula sino que admite la posibilidad de salidas de grupo al campo, programas educativos de radio y televisión, etcétera.

En el caso de la educación informal al no ser curricular abre la posibilidad a organizaciones no educativas de participar de una manera importante en esta actividad; permitiendo la posibilidad de crear programas de sensibilización y participación dirigidos a núcleos de población que no tienen acceso a la educación formal, asumiendo una relevancia trascendental en los cambios de conciencia ecológica de la sociedad.

## 18.2 Objetivos de la educación ambiental

**Conciencia:** ayudar a las personas y a los grupos sociales a que adquieran mayor sensibilidad y conciencia del medio ambiente en general y de los problemas conexos.

**Conocimientos:** ayudar a las personas y a los grupos sociales a adquirir una comprensión básica del medio ambiente en su totalidad, de los problemas conexos y de la presencia y función de la humanidad en él, lo que conlleva una responsabilidad crítica.

**Actitudes:** ayudar a las personas y a los grupos sociales a adquirir valores sociales y un profundo interés por el medio ambiente que los impulse a participar activamente en su protección y mejoramiento.

**Aptitudes:** ayudar a las personas y a los grupos sociales a adquirir las aptitudes necesarias para resolver problemas ambientales y evaluar los resultados.

**Participación:** ayudar a las personas y a los grupos sociales a que desarrollen su sentido de responsabilidad y a que trabajen individual y colectivamente para prevenir y resolver problemas del medio ambiente.

Si se trabaja con una educación ambiental que aglutine, sistematice y promueva, realice investigaciones sobre la formación en valores ambientales y dirija un plan director a nivel de los currículos de las facultades en la Universidad Autónoma de Nuevo León, entonces se logrará una cultura ambiental en la universidad y la comunidad.



Figura 18.3