

Actividades

2> Describe el sistema bosque representado en la Figura 1.30 como modelo caja negra. ¿De qué tipo es y por qué? Señala los cambios en las entradas y salidas de materia y energía, cuando se produce el impacto de un incendio y cuando se extrae madera.

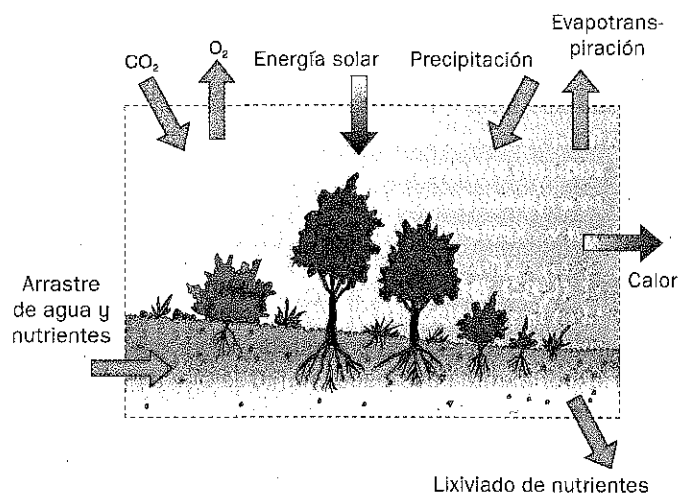


Fig. 1.30. Sistema bosque.

3> Pon un signo (+) o (-) sobre cada una de las flechas, para determinar el tipo de relación casual que se establece entre las variables señaladas:

- Tráfico rodado \rightarrow Calidad del aire \rightarrow Salud humana
- Caudal del río \rightarrow Agua para el riego \rightarrow Productos agrarios \rightarrow Beneficios económicos
- Fotosíntesis \rightarrow Material vegetal \rightarrow CO₂ atmosférico \rightarrow Temperatura terrestre
- Pendiente del terreno \rightarrow Erosión
- Horas de estudio \rightarrow Resultados académicos
- Lluvias \rightarrow Pastos \rightarrow Producción ganadera
- Comida rápida \rightarrow Cáncer de colon \rightarrow Gastos hospitalarios
- Explotación minera \rightarrow Recurso mineral \rightarrow Posibilidad de empleo
- Tala \rightarrow Bosques \rightarrow Erosión \rightarrow Suelo \rightarrow Cultivos \rightarrow Alimentos

4> Diseña un diagrama causal con las siguientes variables y cambia el orden de los datos según tu lógica: lluvia, pastos, contaminación, agua, vacas y alimentación humana. Explica cómo repercute cada una de las variables sobre la alimentación de las personas.

5> Los incendios forestales constituyen un grave problema ambiental en España. Cada verano desaparecen muchas hectáreas de bosque y dejan el suelo desprotegido y vulnerable a la erosión. Como consecuencia, se pierde el agua que el suelo retenía y causa una sequía en la zona, que la hace más susceptible a los incendios. Indica las seis variables del sistema tal como está explicado, diseña el diagrama causal correspondiente y explica el tipo de bucle que se forma y sus consecuencias.

6> Cuando se intentan reducir los atascos construyendo más carreteras, el número de personas que decide usar su vehículo es mayor, lo que causa más atascos.

- a) Realiza un diagrama causal y trata de cerrarlo. ¿Qué has obtenido? ¿Cuáles son sus consecuencias?
- b) Propón otros escenarios que eviten el problema de los atascos y no impliquen la construcción de nuevas carreteras.

7> El agua utilizada por un pueblo se emplea para uso doméstico, para dar de beber al ganado y para regar los jardines. Esta agua procede de un depósito que, a su vez, se abastece a partir de un acuífero subterráneo cuya recarga depende de las lluvias y cuyo nivel desciende durante las épocas de sequía.

- a) Diseña el diagrama causal correspondiente al enunciado.
- b) A partir del diagrama, propón una serie de medidas que garanticen el abastecimiento de agua en ese pueblo.

8> Lee el siguiente texto y contesta las preguntas:

«El pastoreo nómada de las sabanas herbáceas de África Oriental se ha adaptado a la variabilidad climática durante miles de años. El pastoreo móvil resulta idóneo como medio de vida en estas tierras de escasas precipitaciones, pues desplazan el ganado según varía la disponibilidad de agua y pastos. Concretamente, los masái, pastores nómadas de Tanzania y Kenia, se han adaptado a este ambiente: pastan en las praderas durante la estación húmeda y se reúnen en torno a los manantiales durante la estación seca. Su alimentación es a base de frutos y hortalizas silvestres durante la época seca. La proteína animal la obtienen de la leche y de la sangre de sus vacas, que extraen a través de una vena del cuello. Al no sacrificar las reses, el rebaño puede crecer. Sin embargo, si los rebaños se hacen excesivamente grandes, son más susceptibles ante las enfermedades, con lo que muchos de los animales mueren y la población se mantiene.»

Durante las últimas décadas del siglo xx, se aplica a los pastizales africanos el tratamiento habitual de las regiones templadas: se asignan tierras de pastoreo fijas que se mantienen mediante la perforación de pozos, se concentran

Actividades

asentamientos humanos y cultivos agrícolas en las inmediaciones de los mismos. Con la reducción de la movilidad de los pastores se ha producido el aumento excesivo del número de cabezas de ganado, la reducción de la cantidad de agua disponible y el incremento de la aridez, lo que ha desembocado en una reducción de las tierras de pasto y un descenso de la producción lechera de todas las especies. Además, al aumentar mucho el número de habitantes por asentamiento, se ha elevado la presión sobre los recursos hídricos y sobre las tierras de pastoreo.

La población ganadera crece a un ritmo menor que la población humana, lo que conduce al hambre y a un mayor riesgo de epidemias asociados. Respecto a la posible incidencia del cambio climático, se prevé una reducción de las ya escasas precipitaciones, un incremento de la sequía y de episodios de lluvias torrenciales, con una mayor frecuencia de las inundaciones, así como un mayor riesgo de padecer enfermedades humanas y del ganado».

- Diseña el bucle de realimentación que regulaba el número de cabezas de ganado de los rebaños masái tradicionales.
- ¿Cómo conseguían tradicionalmente mantener la población humana y la cabaña ganadera sin deteriorar el entorno?
- Enumera los problemas ambientales derivados de aplicar medidas similares a las praderas templadas en las sabanas africanas.
- Diseña un diagrama causal que represente los problemas ambientales desencadenados a consecuencia de la construcción de pozos.
- ¿Cómo afectaría el cambio climático a la situación de estos pastores?

- 9> El número de individuos de una población crece hasta alcanzar un estado estacionario. Sin embargo, su crecimiento en torno al límite de carga no es continuo, sino que el número de individuos sufre una serie de oscilaciones o fluctuaciones, lo que se conoce con el nombre de equilibrio dinámico. Observa las cuatro gráficas de población (Fig. 1.31) y contesta a las siguientes preguntas:

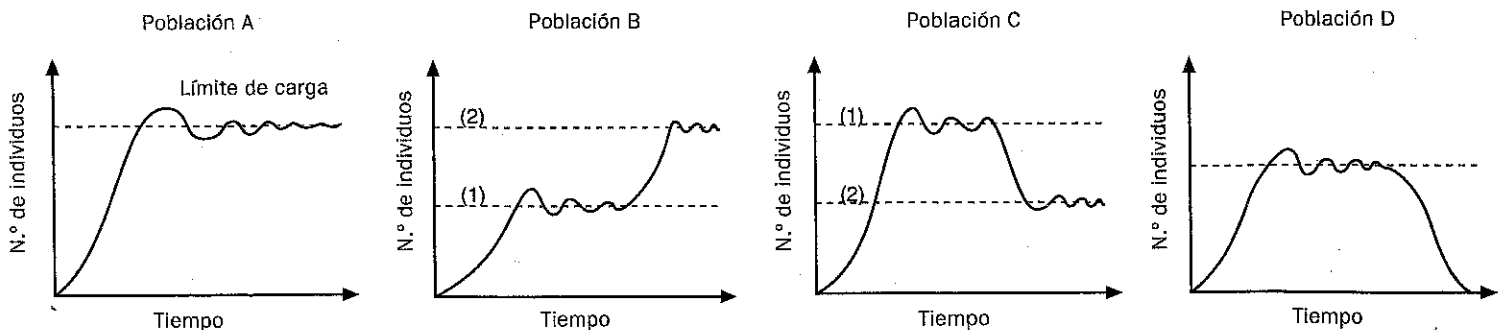


Fig. 1.31. Gráficas de población.

- Explica cómo evoluciona la población A hasta alcanzar su límite de carga. ¿Qué bucle de realimentación es el que ha provocado su vertiginoso ascenso?
- ¿Qué es el límite de carga? ¿Qué bucles participan en las subidas y en las bajadas que se producen con cada fluctuación?
- ¿Cuándo decimos que una población se halla en estado estacionario? ¿Qué se entiende por equilibrio dinámico?
- Mira la población B y explica qué tiene que haber ocurrido en el entorno en el que vive para que su crecimiento experimente un salto vertiginoso hasta alcanzar un nuevo límite de carga. ¿Qué bucle es el responsable de dicho salto? ¿Por qué?
- Mira la población C y, por comparación con la del ejemplo anterior, explica qué puede haber ocurrido para que experimente ese descenso. ¿Qué bucle es el responsable de dicho salto? ¿Por qué?
- La población D se acaba extinguiendo. Explica a partir de la gráfica cómo se produce una extinción.
- ¿Con qué gráficas se corresponderían estos supuestos?
 - Una población que habita en un lugar en el que repentinamente el clima se hace más frío.
 - Se quema un bosque; el resultado es que queda totalmente arrasado.
 - Una especie animal que habita en un lugar en el que el clima se suaviza, transformándose en otro un poco más cálido y húmedo.
 - Las personas pasan de cultivar con ayuda de animales a hacerlo con maquinaria agrícola.
 - Una erupción volcánica arrasa una isla.
 - Una población llega a un terreno virgen y se desarrolla en él.
 - Un cultivo que tras un tiempo de crecimiento se comienza a regar y a abonar.

6. Modelos de regulación del clima terrestre

Vamos a analizar las principales variables que influyen sobre el clima terrestre y su representación mediante modelos caja blanca.

6.1. La Tierra como sistema caja negra

Utilizando un enfoque caja negra podemos considerar a la Tierra como un sistema cerrado: entra y sale energía aunque no materia (despreciando la entrada de materia procedente de los meteoritos, dada su poca masa relativa). La energía que entra es radiación electromagnética solar (luz visible, mayoritariamente) (Fig. 1.32). La energía sale como radiación reflejada y como radiación infrarroja (calor), procedente de la superficie terrestre previamente calentada por el Sol. La Tierra es un sistema en equilibrio dinámico desde el punto de vista térmico, ya que autorregula su temperatura, manteniéndola a unos 15 °C como media.

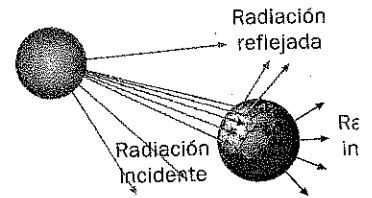


Fig. 1.32. Energía que entra y sale de la Tierra.

6.2. La Tierra como sistema caja blanca

La máquina climática es el sistema caja blanca que regula el clima planetario y está formado por la interacción de un conjunto de subsistemas terrestres: atmósfera (A), hidrosfera (H) (océanos y ríos), geosfera (G) (parte sólida y mineral de la Tierra) y biosfera (B) (seres vivos terrestres y acuáticos). Algunos autores consideran a los hielos (C) (la criosfera) como un subsistema independiente de la hidrosfera (Figs. 1.33 y 1.34).

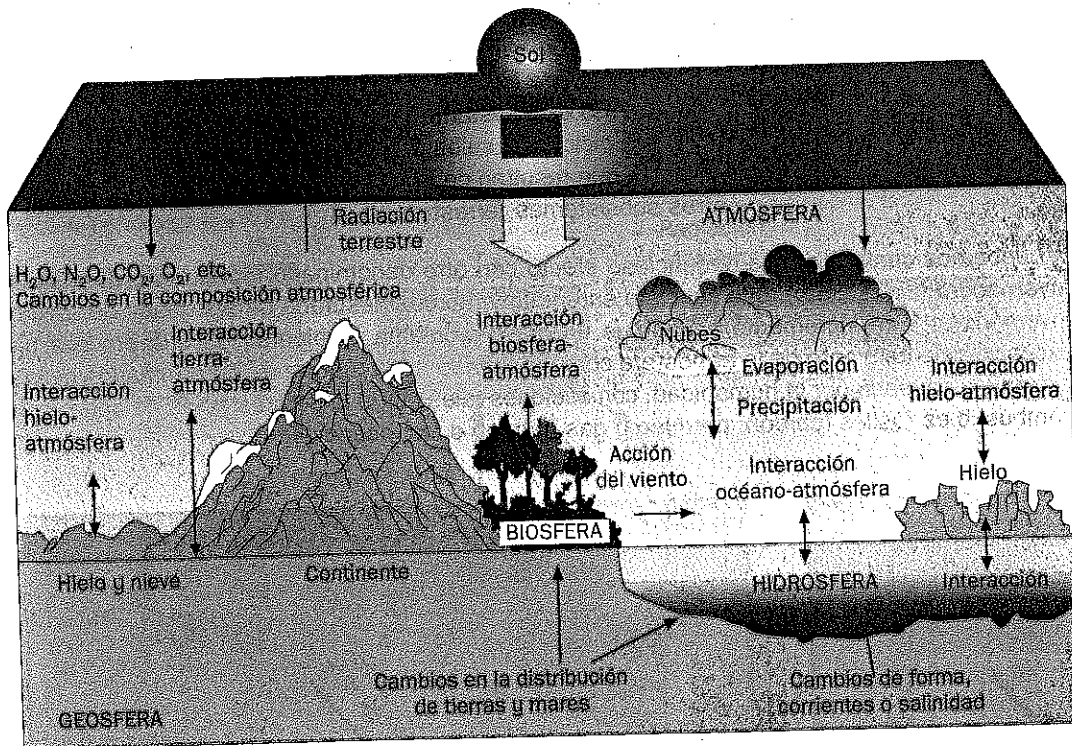


Fig. 1.34. Modelo del clima según el Programa Global de Investigación Atmosférica. Es un sistema en equilibrio dinámico: cualquier cambio en uno de sus componentes requerirá un cambio de los demás para restablecer dicho equilibrio.

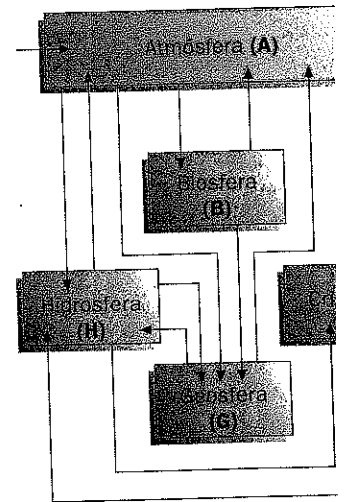


Fig. 1.33. (Modelo de J. Salvé)

Para realizar simulaciones sobre el posible comportamiento y evolución del clima terrestre o sistema climático (S) se toman los datos correspondientes a las principales interacciones entre los diferentes subsistemas terrestres que componen la máquina climática:

$$S = AUHUBUGUC$$

Importante

En esta continuación estudiaremos a grandes rasgos las siete interacciones climáticas más fácilmente explicables, y posponemos para el final de la unidad 6 aquellas que requieren un manejo de conceptos específicos de esta unidad. Acabaremos este apartado analizando el papel ejercido por la humanidad sobre la máquina climática en la época industrial.

Para hacer predicciones meteorológicas a muy corto plazo (horas o días) se estudian las variaciones de la atmósfera (A) (de presión, humedad, temperatura y vientos). Para predicciones de entre 1 y 10 años se analizan las interacciones entre (A U H U G): los cambios en las corrientes atmosféricas y oceánicas superficiales y el efecto de las erupciones volcánicas sobre el clima. Para una predicción de entre 10 y 100 años, las interacciones entre todos los subsistemas (A U H U G U B U C), es decir, los cambios ambientales propiciados por la variación en: la concentración de los gases atmosféricos, las corrientes oceánicas profundas, la superficie cubierta por hielo y los producidos por la acción de los seres vivos.

Las predicciones a un plazo más largo (miles o millones de años) resultan mucho más difíciles porque dependen de la desigual distribución de las tierras y mares, y de las variaciones de la órbita terrestre en torno al Sol.

6.2.1. El efecto invernadero y su incremento

El **efecto invernadero** se origina en los primeros 12 km de la atmósfera por la presencia de ciertos gases, tales como vapor de agua, dióxido de carbono, metano y N₂O, principalmente; estos son transparentes a la radiación visible del Sol, que los atraviesa, pero no a la radiación infrarroja o calor emitido por la superficie terrestre, previamente calentada por el Sol. Los citados gases, al impedir la salida de gran parte de las radiaciones infrarrojas, las remiten o devuelven a la Tierra, incrementando la temperatura de la atmósfera (Fig. 1.35).

Podríamos afirmar que son como una manta que mantiene la temperatura terrestre en torno a 15 °C como media (Fig. 1.36.a), lo que permite la existencia de agua líquida, sin la cual no existiría la vida. La cantidad de calor atrapado dependerá de la concentración de los gases de efecto invernadero en la atmósfera, que no es constante, sino que se encuentra asociada a múltiples ciclos naturales, como el ciclo del agua y el ciclo del carbono, que resultan de las interacciones de la atmósfera con otros subsistemas terrestres.

No debemos confundir este beneficioso efecto con otro denominado **incremento de efecto invernadero** (Fig. 1.36.b), que consiste en un aumento desmesurado de los gases de efecto invernadero. Este incremento constituye un grave problema ambiental, ya que provoca un excesivo calentamiento de la atmósfera como resultado de la ruptura de determinados ciclos naturales, causada por la humanidad, con acciones tales como la deforestación, la quema de combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural) o los incendios.

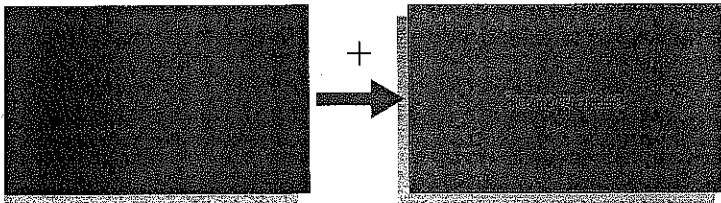


Fig. 1.35. (Modelo de J. Salvachúa).

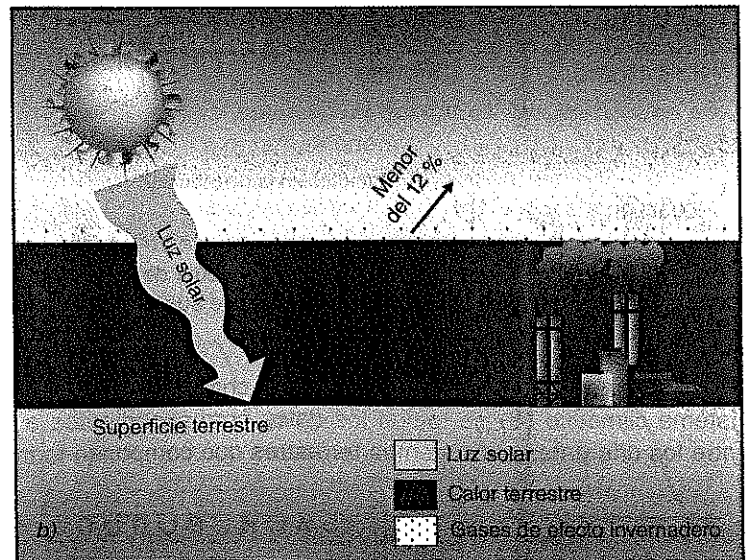
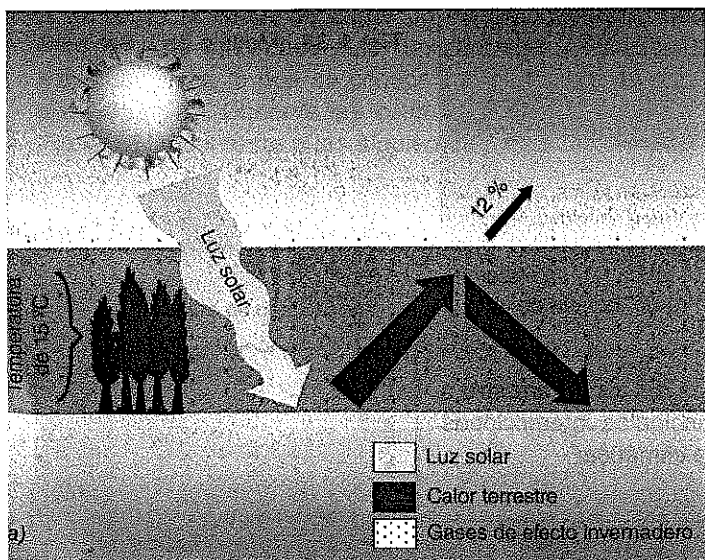


Fig. 1.36. a) El efecto invernadero natural; b) el incremento del efecto invernadero (porcentajes aproximados).

6.2.2. El efecto albedo

albedo es el porcentaje de radiación solar reflejada por la Tierra del total de la que incide procedente del Sol. Por ejemplo, si decidimos que el albedo de la Tierra es del 37 %, quiere decir que solo entra el 63% del total, mientras que el resto es reflejado hacia el espacio. El albedo varía en función del color de la superficie reflectora. Cuanto más clara sea esta, mayor cantidad de luz reflejará, mayor será su albedo y, por tanto, menor será la temperatura. Las superficies cubiertas por nieve o hielo son muy reflectoras, poseen un elevado albedo. Luego, al aumentar la superficie helada, disminuye la temperatura y, por consiguiente, aumenta dicha superficie (Fig. 1.37). Este bucle de realimentación positiva acelera el efecto de una aciación cuando se presenta.

6.2.3. Las nubes

Las nubes ejercen sobre el clima unos efectos difíciles de analizar, ya que tienen una doble acción: por una parte, incrementan el albedo, reflejando parte de la radiación solar y, por otra, devuelven a la superficie terrestre radiación infrarroja, incrementando el efecto invernadero. Estudios muy recientes parecen afirmar que el tipo de bucle predominante dependerá de la altura a la que se encuentre la nube; si la altura es baja, aumentará el albedo y, si es alta, el efecto invernadero. Con las tres variables estudiadas hasta el momento, podemos elaborar un modelo sencillo del funcionamiento del clima terrestre, suponiendo un flujo de radiación solar constante (Fig. 1.38).

Como encontramos ante dos bucles positivos (el del albedo y el del invernadero) enfrentados como dos espadas en tensión que empujan por igual, hecho que propicia un estado de equilibrio dinámico que podría peligrar por un cambio brusco (catastrófico) de las condiciones ambientales, que inclinaría la balanza en uno u otro sentido (Fig. 1.39), siendo casi imposible retornar a la situación de equilibrio dinámico. Esto es lo que debió de ocurrir en los planetas más próximos y similares al nuestro: Marte y Venus.

Más datos

Albedo en las distintas cubiertas terrestres:

- Nieve reciente: 86 %
- Nubes brillantes: 78 %
- Nubes (media): 50 %
- Desiertos: 21 %
- Suelo desnudo: 18 %
- Bosques (media): 8 %
- Suelos volcánicos: 7 %
- Océanos: 5-10 %

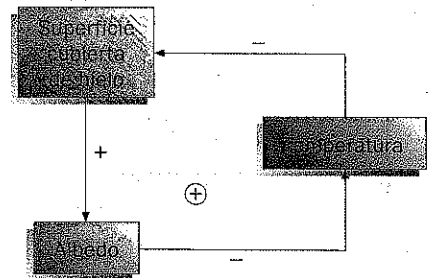


Fig. 1.37. (Modelo de J. Salvachúa).

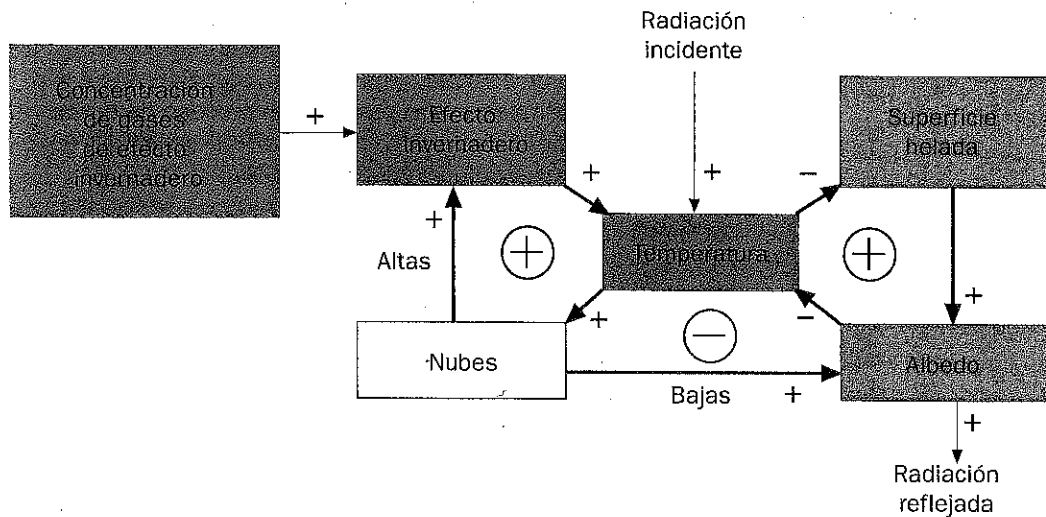


Fig. 1.38. (Modelo de J. Salvachúa.)

Más datos

Los glaciares de la Tierra han mermado muy deprisa debido al incremento del efecto invernadero. De seguir así, se romperá el bucle refrigerante del albedo y el equilibrio del clima global, por lo que las temperaturas subirán aún más.

Marte evolucionó hacia un clima más frío (-10 °C de media, pudiendo llegar a los -160 °C en los polos), por lo que toda el agua y todo el dióxido de carbono se congelaron. Aún existen marcas de ríos en su superficie (los famosos canales de Marte), lo que nos hace pensar que en alguna época anterior pudo parecerse a la Tierra. Al estar más lejos del Sol, su temperatura es menor, y al carecer de efecto invernadero, ningún factor puede aumentar su temperatura. El caso de Venus es distinto (temperatura actual + 484 °C); demasiado cercano al Sol. La elevada temperatura superficial dio lugar a la formación de una gruesa capa de nubes, lo que provocó un fuerte incremento del efecto invernadero y, como consecuencia, un bucle mediante el cual el calor evaporó el agua.

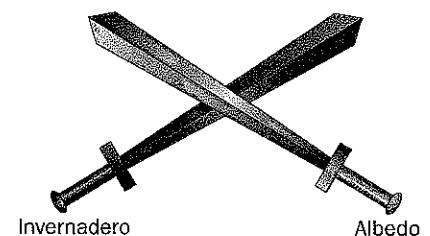


Fig. 1.39. (Modelo de J. Salvachúa).

6.2.4. La existencia de polvo atmosférico

Las emisiones de los volcanes, el impacto de los meteoritos, los incendios, la contaminación del aire o una explosión nuclear, inyectan en la atmósfera enormes cantidades de polvo y partículas que permanecerán en suspensión durante años. La luz del Sol no puede atravesar la capa de polvo atmosférico y se refleja hacia el espacio. Al incidir una menor cantidad de radiación solar, se origina un enfriamiento del planeta que, en el caso de ser nula, daría lugar a un parón de la fotosíntesis y a un colapso de las cadenas alimentarias de la vida. Podríamos considerarlo como un efecto invernadero invertido, ya que el rebote de las radiaciones es hacia arriba y su efecto sobre la temperatura, contrario (Fig. 1.40).

6.2.5. Volcanes

Las erupciones volcánicas, al igual que las nubes, ejercen un doble efecto sobre el clima en función de los productos emitidos y la altura alcanzada por estos (Fig. 1.39).

- **Descenso de la temperatura**, si inyectan en la atmósfera una gran cantidad de polvo o abundante SO_2 . Ya hemos visto que el polvo atmosférico impide la entrada de la radiación solar. Lo mismo sucede con los SO_2 , ya que reaccionan con el agua atmosférica dando lugar a unas espesas brumas constituidas por H_2SO_4 que actúan como pantalla solar.

El descenso de las temperaturas será más acusado y durará más cuanto mayor altitud hayan alcanzado las emisiones de ceniza y gases, ya que su permanencia en la atmósfera será más larga y tardarán más tiempo en desaparecer y depositarse sobre la superficie terrestre durante las precipitaciones, que constituyen un mecanismo eficaz de autolimpieza atmosférica. El tiempo de permanencia del polvo en la atmósfera es de unos dos años; los H_2SO_4 , al ser químicamente estables, tardan algunos años más en depositarse.

- **Aumento de la temperatura** por aumento del efecto invernadero como consecuencia de las emisiones de CO_2 . Este efecto no es evidente hasta que no desaparece el primero; sin embargo, es mucho más duradero que aquel.

Estas oscilaciones de la temperatura han sido constatadas con posterioridad a las erupciones volcánicas. Por ejemplo, tras la gran erupción del Krakatoa (1883) se comprobó que el clima terrestre pasó por un proceso de enfriamiento de entre $0,5\text{ }^\circ\text{C}$ y $0,8\text{ }^\circ\text{C}$, que se mantuvo durante siete años, tras los cuales se registró un aumento de las temperaturas de $0,4\text{ }^\circ\text{C}$ que perduró hasta 1940 (Fig. 1.40).

Así pues, podemos concluir que los volcanes originan un descenso de las temperaturas a corto plazo y un ascenso a largo plazo.

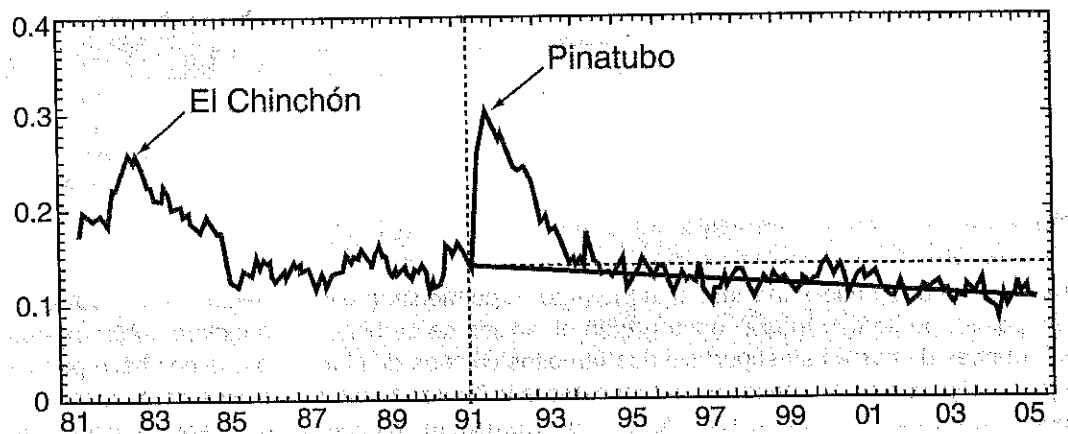
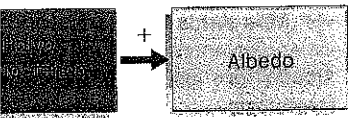
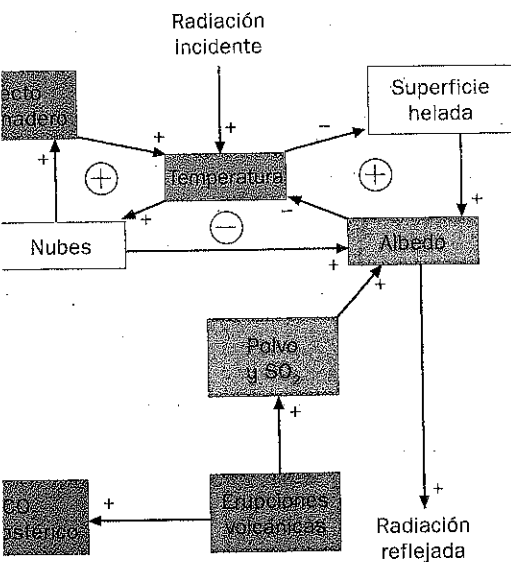


Fig. 1.42. Se observa un aumento del polvo atmosférico tras las erupciones de los volcanes El Chinchón (1982), en México, y Pinatubo (1991), en Filipinas. A partir ellas la cantidad de polvo atmosférico (medido en unidades de absorción de la luz por aerosoles) ha descendido hasta 2007. (Fuente: NASA).



40. (Modelo de J. Salvachúa).



41. (Modelo de J. Salvachúa).

6.2.6. Las variaciones de la radiación solar incidente

En los modelos anteriores consideramos un flujo de radiación solar constante, pero esto no es así, sino que ha variado a lo largo de los tiempos. Ha habido dos tipos de variaciones: *periódicas* y *graduales*.

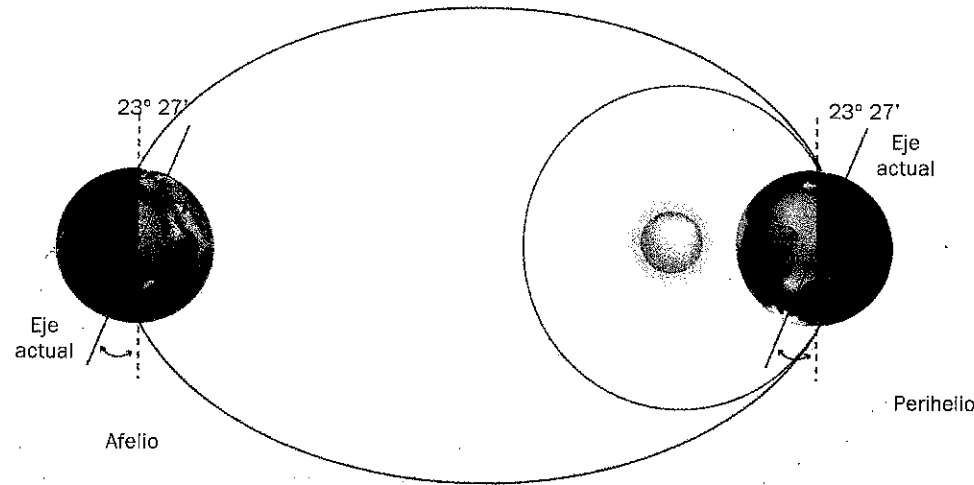


Fig. 1.43. Ciclos astronómicos (la excentricidad de la órbita está muy exagerada, para que se aprecien mejor las variaciones).

- **Variaciones periódicas.** Son unas variaciones cíclicas de la temperatura terrestre que se atribuyen a los **ciclos astronómicos de Milankovitch** (Fig. 1.43), que afectarán tanto a la cantidad de energía solar que llega a la Tierra como a la parte de su superficie que la recibe. Se cree que dichos ciclos son el factor principal de las glaciaciones, ya que, al disminuir la radiación incidente, se reduce la temperatura, con lo que se activa el bucle de hielo-albedo. Estos ciclos se deben a tres factores:

1. **La excentricidad de la órbita terrestre.** La trayectoria que describe la Tierra en torno al Sol (movimiento de traslación) varía desde más circular a más elíptica, aproximadamente a lo largo de 100.000 años (cuanto más alargada sea la elipse, más corta será la estación cálida).
2. **La inclinación del eje (oblicuidad).** Aproximadamente a lo largo de 41.000 años varía el ángulo de inclinación del eje de rotación terrestre respecto a la perpendicular al plano de traslación, que, actualmente, forma un ángulo de 23° 27'. Este ángulo determinará las diferencias de duración entre el día y la noche y la existencia de las estaciones. Con un eje vertical, ambos tendrían una duración de 12 h y no habría estaciones.
3. **La posición en el perihelio (precesión).** Varía a lo largo de 25.800 años. En la actualidad, la Tierra está en el perihelio en el invierno del hemisferio norte (verano del hemisferio sur). Durante el verano de dicho hemisferio, la Tierra se encuentra en el afelio. Lógicamente, hará más calor en los veranos del perihelio que en los del afelio y los inviernos del afelio serán mucho más fríos que los del perihelio, como ocurre ahora en el sur, pero allí no se nota tanto, porque abundan los océanos que suavizan el clima.

- **Variaciones graduales.** Antes de la aparición de la vida, el Sol emitía un 30% menos de energía que en la actualidad. Esto se explica por el principio de entropía (a medida que se va degradando la energía, se va desprendiendo más calor).

6.2.7. La influencia de la biosfera

Lovelock, en su obra **Hipótesis de Gaia**, considera a la Tierra como un sistema homeostático, cuya temperatura se autorregula debido a las interacciones entre los diferentes subsistemas que lo componen; y que, a diferencia de los planetas más cercanos, nuestra biosfera desempeña un papel fundamental en dicha regulación porque rebaja los niveles de CO₂ atmosféricos y, por tanto, reduce la temperatura. Vamos a analizar los principales cambios en la composición atmosférica a lo largo de la historia de la Tierra.

Vocabulario

Perihelio: es el punto de la órbita terrestre en el que la Tierra se encuentra a menor distancia del Sol (marca el comienzo del invierno en el hemisferio norte).

Afelio: es el punto de la órbita terrestre en el que la Tierra se encuentra más alejada del Sol (marca el comienzo del verano en el hemisferio norte).

Más datos

La variación en la concentración de CO₂ que se observa entre los 4.000-3.000 millones de años se debe, entre otras cosas, a que este gas se disuelve con facilidad en el agua, con lo que cae con las lavas y se difunde hacia el mar.

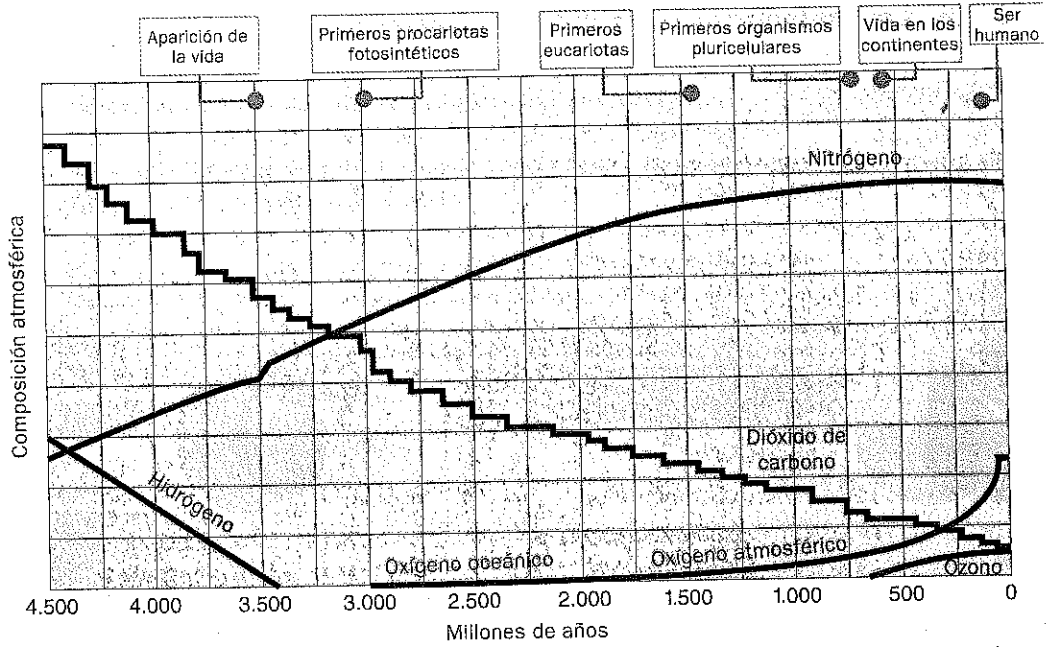


Fig. 1.44.

En la Figura 1.44 se puede observar que, al comienzo de la historia de la Tierra, la concentración de CO₂ era muy elevada (cerca del 20%), lo que implica la existencia de un efecto invernadero muy elevado, capaz de mantener la temperatura media planetaria en unas cifras muy parecidas a las actuales, a pesar de que el Sol emitía una menor cantidad de energía.

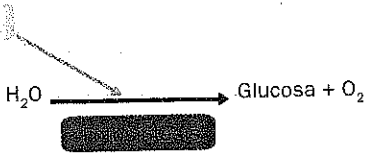


Fig. 1.45. Fotosíntesis.

Hoy, con un Sol más caliente, la temperatura media del planeta es similar a la de entonces, debido a la drástica reducción de los niveles de CO₂ atmosférico (hasta alcanzar el valor actual del 0,03%) ocasionada por la aparición de los primeros organismos fotosintéticos: las cianobacterias (hace unos 3.000 millones de años), que utilizan dicho gas en la elaboración de materia orgánica (Fig. 1.45). El mecanismo de la **fotosíntesis** provocará los siguientes cambios en la composición de la atmósfera y en el clima:

- **Reducción de los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera.** La reducción del efecto invernadero supone un mecanismo de ajuste del sistema Tierra, ya que contribuye a *refrescar* el planeta a medida que el Sol irradia más calor. El dióxido de carbono necesario para el proceso de fotosíntesis es retirado de la atmósfera y transformado en materia orgánica que se acumula en los seres vivos en forma de biomasa (Fig. 1.46).

Biomasa es la cantidad de materia orgánica que constituye los seres vivos. Al estar formada por moléculas constituidas por carbono, es una forma de almacenaje por la que el CO₂ permanece encerrado durante un tiempo, hasta que la materia orgánica se descompone y el dióxido de carbono vuelve de nuevo a la atmósfera.

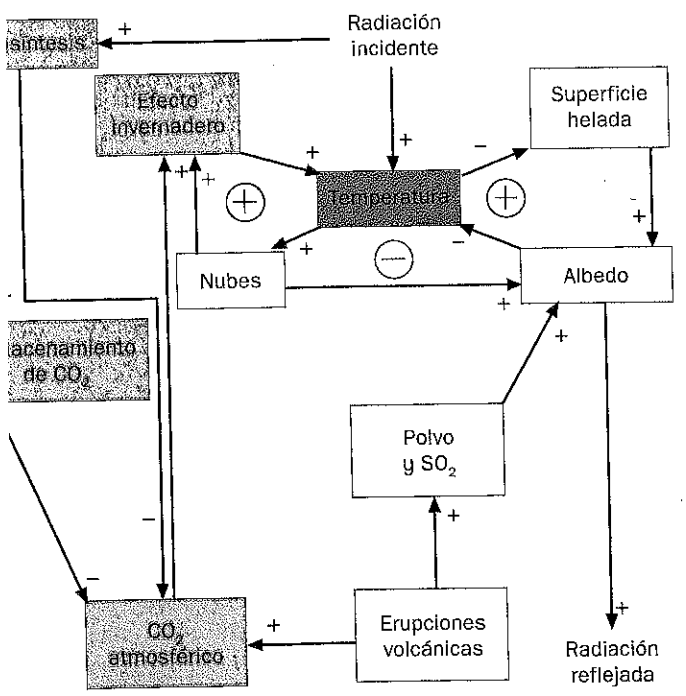


Fig. 1.46. Efecto de la biosfera sobre el clima terrestre. (Modelo de Alvachúa, 1996).

Además, existen otros **almacenes** de CO₂: los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas natural), formados a partir de la biomasa que ha sido enterrada, al no haber oxígeno, pasan por una serie de reacciones químicas que concluyen al formarse el combustible. Como este proceso dura miles o millones de años, al igual que la biomasa, contribuye a rebajar los niveles atmosféricos de CO₂, pero durante mucho más tiempo. Por otro lado, mediante el mecanismo de la **respiración** (Fig. 1.47), los seres vivos llevan a cabo la

acción inversa a la anterior, con lo que devuelven a la atmósfera parte del dióxido de carbono sustraído. Sin embargo, la reacción de respiración es mucho más lenta que la de fotosíntesis y, como resultado de la proliferación de la vida, el oxígeno atmosférico va aumentando.

Aparición del oxígeno atmosférico. El poder reductor necesario en el proceso de la fotosíntesis se obtiene a partir de la ruptura de la molécula de agua por la acción de la luz solar, con lo que se libera el oxígeno. En un principio, el oxígeno permanecería en el agua marina y reaccionaría con el hierro y el azufre presentes en ella, constituyendo óxidos que dieron lugar a la formación de grandes depósitos de hierro sedimentario. Sin embargo (véase la Fig. 1.44), al saturarse este mecanismo hace unos 2.000 millones de años, el O₂ liberado durante la fotosíntesis comenzó a difundirse hacia la atmósfera y su concentración fue aumentando progresivamente a través de los tiempos, hasta alcanzar el 21% de la composición atmosférica actual. La abundancia de oxígeno en la atmósfera permitió la aparición y la proliferación de organismos aerobios, que utilizan este gas en el proceso de respiración.

Formación de la capa de ozono. La abundancia de oxígeno en la atmósfera permitió la formación de la capa de ozono (O₃), protectora de los rayos ultravioleta del Sol (hace unos 600 millones de años); así, al estar protegidos de los rayos letales, los organismos vivos se expandieron con rapidez sobre los continentes hasta alcanzar la cifra aproximada de 40 millones de especies que actualmente pueblan la Tierra.

Aumento del nitrógeno atmosférico. Debido a las reacciones metabólicas de los seres vivos realizadas a partir de los óxidos nitrogenados presentes en el medio, fue elevándose progresivamente la cantidad presente en la atmósfera hasta alcanzar el 78% actual.

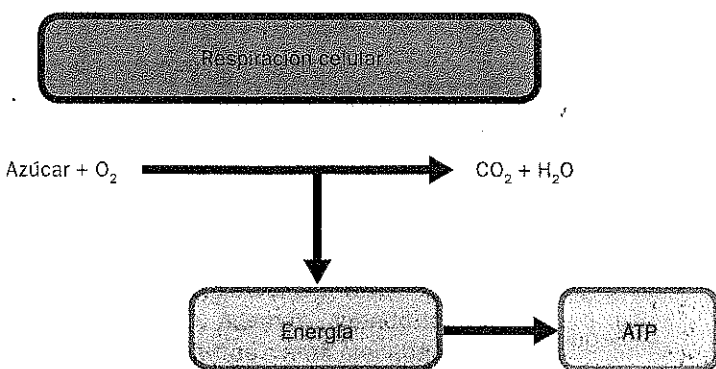


Fig. 1.47. Respiración celular.

+ Más datos

La cantidad de dióxido de carbono emitida en la respiración de los seres vivos es muy poco representativa para el clima terrestre, ya que el proceso respiratorio es más lento y está limitado por la propia fotosíntesis, pues de ella depende la cantidad de alimentos disponibles para dicho proceso.

Actividades

0> Te proponemos otro modelo caja blanca sobre la regulación del clima en la Tierra. En él se recogen las principales variables que actúan (Fig. 1.46).

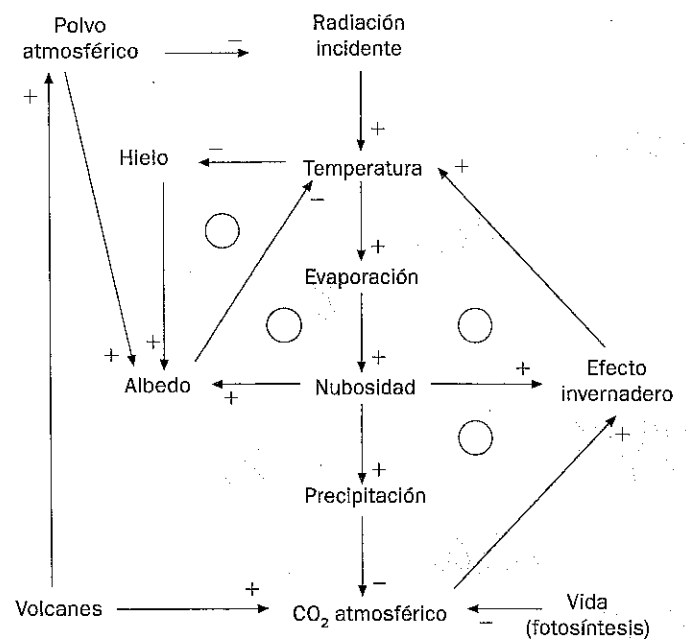


Fig. 1.48. Efecto de las actividades humanas sobre el clima. (Modelo de J. Salvachúa, 1996).

- a) Señala sobre los círculos marcados el tipo de bucle que se establece, enumerando las variables que los constituyen y su incidencia sobre el clima.
- b) Clasifica las variables en función del subsistema terrestre al que pertenecen.
- c) Supón un escenario de simulación en el que la radiación incidente aumenta. ¿Qué hará el sistema Tierra para mantener constante su temperatura? ¿Por qué?
- d) Supón otro escenario en el que baja la radiación incidente y haz el mismo razonamiento. ¿Qué ocurriría tras el impacto de un meteorito?
- e) Introduce ahora en el modelo las dos variables antrópicas que más modifican el clima: la contaminación y la deforestación. ¿Cuál de las dos actúa de manera parecida a los volcanes? ¿Por qué? ¿Qué bucles se ven reforzados con la introducción de ambas variables? ¿Qué consecuencias climáticas conlleva?

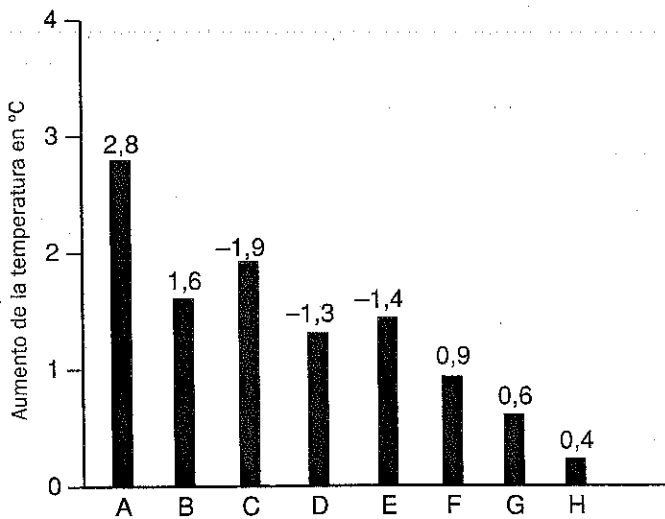
Actividades

En la Figura 1.47 se representan las variaciones de la temperatura media de la atmósfera en función de las concentraciones de ciertos gases que han sido establecidas mediante un modelo climático elaborado por un grupo de expertos para el GARP (Programa Global de Investigación Atmosférica) que trabajan para la WMO (World Meteorological Organization).

a) Según la figura:

- ¿Cuáles son los gases que aumentan el efecto invernadero e incrementan la temperatura del planeta?
- ¿Y el albedo?
- Explica cómo afectaría a la temperatura media del planeta el aumento de cada uno de ellos indicado en la leyenda, teniendo presente que la temperatura media es de unos 15 °C en la actualidad.

b) ¿Qué efectos diferentes producen las nubes? ¿Cuál es el resultado de la suma de ambos efectos para el clima terrestre?



Variaciones de los parámetros

- A. CO₂ (300 ppm → 600 ppm).
- B. Luz solar (+1%).
- C. Aerosoles estratosféricos (+0,2%).
- D. Albedo de la Tierra (+0,05%).
- E. Nubes bajas (+2%).
- F. Nubes altas (+2%).
- G. N₂O (0,28 ppm → 0,56 ppm).
- H. CH₄ (1,6 ppm → 3,2 ppm).

Fig. 1.49. (Modificado de A. Henderson Sellers y K. McGuffie).

Se cree que la atmósfera primitiva carecía de oxígeno y que contenía mucho más CO₂ que hoy. La aparición de la vida sobre la Tierra marcó una diferencia fundamental frente al resto de los planetas. Su evolución fue paralela a las condiciones terrestres, y a su vez las modificó. En esto

se basa la *Hipótesis de Gaia* (J. Lovelock), que considera al planeta en su conjunto como un sistema homeostático.

Mira atentamente la Figura 1.44 y contesta las siguientes preguntas:

- Señala las diferencias entre la composición de la atmósfera inicial y la actual.
- Describe la evolución de los componentes atmosféricos desde que surge la vida. Indica cuáles aumentan y cuáles disminuyen. ¿Hay alguno nuevo?
- Señala el momento exacto en el que se producen los cambios más significativos. Explica sus causas y sus efectos.

13> En la Figura 1.50 se analiza la influencia de las acciones humanas sobre el clima:

- Explica cómo influyen sobre el clima todas las relaciones causales cuyo origen sea natural pero que no se deban a la acción de los seres vivos.
- ¿Cómo actúan los seres vivos sobre el clima terrestre? ¿Cuál puede ser el motivo?
- ¿Por qué decimos que el sistema climático se autorregula? Explícalo con algún ejemplo concreto.
- Analiza todas las acciones humanas sobre la máquina climática. ¿Cuáles provocan un aumento de la temperatura media? ¿Por qué? ¿Cuáles provocan un descenso de las temperaturas? ¿Por qué?
- ¿Cuál de los efectos anteriores es más pasajero? ¿Cuál es más permanente? ¿Por qué?
- ¿Por qué podemos afirmar que las actividades humanas parecen llevar la contraria a la tendencia natural del clima planetario?

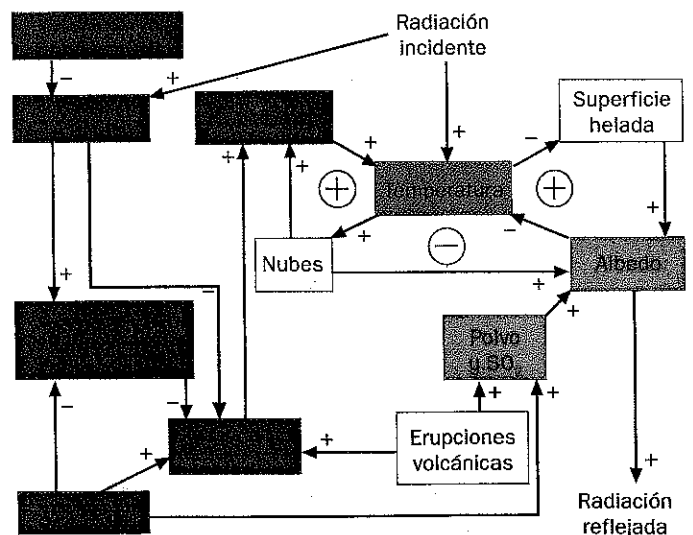


Fig. 1.50. (Modelo de J. Salvachúa).