

Introducción

¿Por Qué Estudiar las Ciencias de la Tierra?

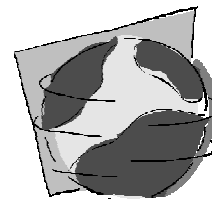
La creencia de que la Tierra es un sistema comienza cuando sentimos por primera vez el calor del sol o nos mojamos cuando llueve. Entender la Tierra como un sistema -objetivo de las Ciencias de la Tierra- requiere un cierto estudio de las conexiones entre todas las partes (atmósfera, hidrosfera, litosfera, y biosfera) que constituyen el sistema. Las mediciones del Programa GLOBE proporcionan a los estudiantes los medios para comenzar este estudio por ellos mismos.

Los procesos que comprenden el ambiente como sistema global están interrelacionados. Muchos de los principales temas ambientales han llevado a los científicos a estudiar cómo operan estas relaciones a nivel global.

Los estudios de la capa de ozono estratosférico implican cuestiones sobre los procesos que crean y destruyen el ozono. Los científicos han llegado a saber que el ozono, un componente químico encontrado primariamente en una capa que se centra alrededor de 25 km sobre la superficie de la Tierra, está muy relacionado con la actividad biológica que tiene lugar por debajo de la superficie Tierra. Diferentes componentes químicos, presentes en el aire en cantidades mínimas, controlan la cantidad de ozono en la atmósfera. El origen de esas trazas incluyen microorganismos en el suelo y en el agua, las plantas terrestres, e incluso algunos animales.

Los científicos que estudian las variaciones del clima también se interesan por las relaciones entre los diferentes procesos de la Tierra. Algunos de estos gases en la atmósfera hacen más difícil que el calor (radiación infraroja) de la superficie de la Tierra se escape hacia el espacio. La cantidad de estos gases de invernadero que se encuentran en la atmósfera están unidos a los procesos físicos, químicos y biológicos que tienen lugar en el suelo, en la tierra y en el agua. También les influye la circulación de los océanos y la atmósfera. Para conocer el curso futuro del clima necesitamos entender esta detallada trama de relaciones.

Los ecólogos estudian la manera en la que los componentes vivos e inertes de un ecosistema interactúan.



Los organismos individuales y las especies compiten y cooperan entre sí. En algunos casos la dependencia es tan fuerte que las plantas y los animales no se pueden reproducir o incluso existir uno sin el otro. Existe una red de vida con un reciclaje extenso de nutrientes, en la que cada organismo juega un papel. Si un organismo del ecosistema varía, los efectos repercuten en todo el sistema.

Los científicos no conocen todas las relaciones del sistema Tierra todavía, pero trabajan para obtener una total comprensión. Los estudiantes GLOBE pueden sumarse a este trabajo por medio de la toma de datos y las investigaciones, trabajando juntos se mejorará nuestro conocimiento del sistema Tierra. Ya que los estudiantes llevan a cabo, toda la gama de las mediciones GLOBE (quizás durante varios años de escuela con sus diferentes niveles), ellos deberían obtener la percepción de que el entorno es el resultado de la interacción de muchos procesos que tienen lugar a nivel local, regional y global en escalas de tiempo que van de segundos a siglos. Esto es la clave de la lección GLOBE. Las actividades de aprendizaje de este capítulo ayudan a los estudiantes a aprender esta cuestión mientras estudian las variaciones anuales de los parámetros ambientales (la sección *Estaciones y Fenología*) y examinan las relaciones entre los diversos fenómenos medidos por GLOBE, a escala espacial local, regional y global, (en la sección *Estudiando las Relaciones*).

Además de las actividades de aprendizaje, hay protocolos de fenología dentro de la sección *de Estaciones y Fenología*. La Fenología es el estudio de la respuesta de los organismos vivos a las variaciones estacionales de su entorno. La variación en el periodo entre la foliación y la senescencia foliar, a menudo sinónimo de periodo vegetativo, puede ser una indicación del cambio climático global. Los cálculos de la duración de los periodos vegetativos de las grandes áreas se basan en principio en los datos de los satélites. Sin embargo, las estimaciones por teledetección de los satélites no son exactas porque la conducta real de las plantas se debe deducir de la apariencia colectiva de su follaje. Las observaciones de los estudiantes GLOBE, la única red global de observaciones de fenología de plantas echas sobre la superficie de la Tierra, ayudará a los científicos a validar sus datos de verdor globales que obtienen utilizando datos de los satélites. Controlar la duración del periodo vegetativo es importante

para la sociedad, porque así ella se puede adaptar mejor a las variaciones en la duración del periodo vegetativo y a otros impactos debidos al cambio climático, que puede afectar a la producción de alimentos, desarrollo económico, y a la salud humana.

La Gran Imagen

El planeta que llamamos Tierra se compone de cinco “esferas”, la atmósfera, la hidrosfera, la litosfera, la criosfera, y la biosfera, conectadas unas con otras en una red compleja de procesos. Véase la Figura TI-I-1. La atmósfera se compone de los gases y partículas suspendidas en el aire. El océano, cuerpos de agua internos, y capas de hielo (criosfera), componen la hidrosfera. La litosfera hace referencia a la tierra sólida; el núcleo, el manto, la corteza y las capas de suelo, constituyen la pedosfera. Los lugares de la Tierra en donde viven los organismos son conocidos colectivamente como la biosfera. En lugar de centrarse en las partes individuales de Tierra, los científicos del sistema Tierra, utilizan la química, la biología, y la física para estudiar los ciclos que conectan estas esferas entre sí y con la energía del sol, que en última instancia dirige todos estos procesos.

Las principales ciclos que conectan las diferentes partes de la Tierra son, los ciclos de energía (Ver Figura TI-I-2), el ciclo de agua (ciclo hidrológico, ver Figura TI-I-3), y los ciclos de elementos individuales importantes (por ejemplo: carbono, nitrógeno, ver Figura, TI-I-4). Cada ciclo se compone de *reservorios*, lugares donde la energía, el agua y los elementos, se almacenan durante un periodo de tiempo (por ejemplo: La energía química, el hielo del mar, océanos, dióxido de carbono), de *flujos*, el desplazamiento de material de un reservorio a otro (precipitación, transpiración, corrientes marinas, viento, ríos) y procesos que cambian la forma de la energía del agua y de los elementos (fotosíntesis, condensación, fuego). Cada medición GLOBE esta diseñada para ayudar a los científicos del Sistema Tierra en sus objetivos de determinar el tamaño de los reservorios de la Tierra y el ritmo de los flujos dentro y fuera de estos reservorios.

La energía del sol fluye a través del ambiente, calentando la atmósfera, los océanos y la superficie de la Tierra, y alimentando la biosfera. Ver Figura TI-I-2. Las diferencias en la cantidad de energía absorbida en lugares distintos, ponen a la atmósfera y a los océanos en movimiento y ayudan a determinar su temperatura global y su estructura química. Estos movimientos, como los patrones de los vientos y las corrientes marinas redistribuyen la energía en todo el entorno. Finalmente la energía que comienza con el sol (radiación de onda corta) abandona el planeta como brillo de la Tierra (luz reflejada por la atmósfera y la superficie al espacio) y radiación infrarroja (calor, también llamada radiación de onda larga) emitido por todo el planeta, y que alcanza la parte alta de la atmósfera. Este flujo de energía del sol a través del ambiente, y vuelta al espacio, es la principal conexión en el sistema Tierra y es lo que define el clima de nuestro planeta.

El agua y los elementos químicos circulan a través del ambiente en un proceso en el que el agua se transforma evaporándose, condensándose y congelándose, yendo así de un lugar a otro de la atmósfera, de los océanos, a través de la superficie del terreno, y del suelo y de las rocas. Ver Figura TI-I-3. Cada uno de los elementos químicos sufre una serie de reacciones químicas, pero la cantidad total de cada uno de ellos en la Tierra permanece prácticamente fija. De esta manera, el ambiente se compone de un conjunto de ciclos: del agua, del carbono, del nitrógeno, del fósforo, etc. Puesto que los ciclos de los elementos implican a la vida, éstos y la Tierra sólida, se conocen en conjunto como *ciclos biogeoquímicos*. La Figura TI-I-4 muestra el ciclo del carbono.

Figura TI-I-1: Diagrama Esquemático del Sistema Tierra desde el Centro de la Tierra hasta una Distancia de 480 km de Altura

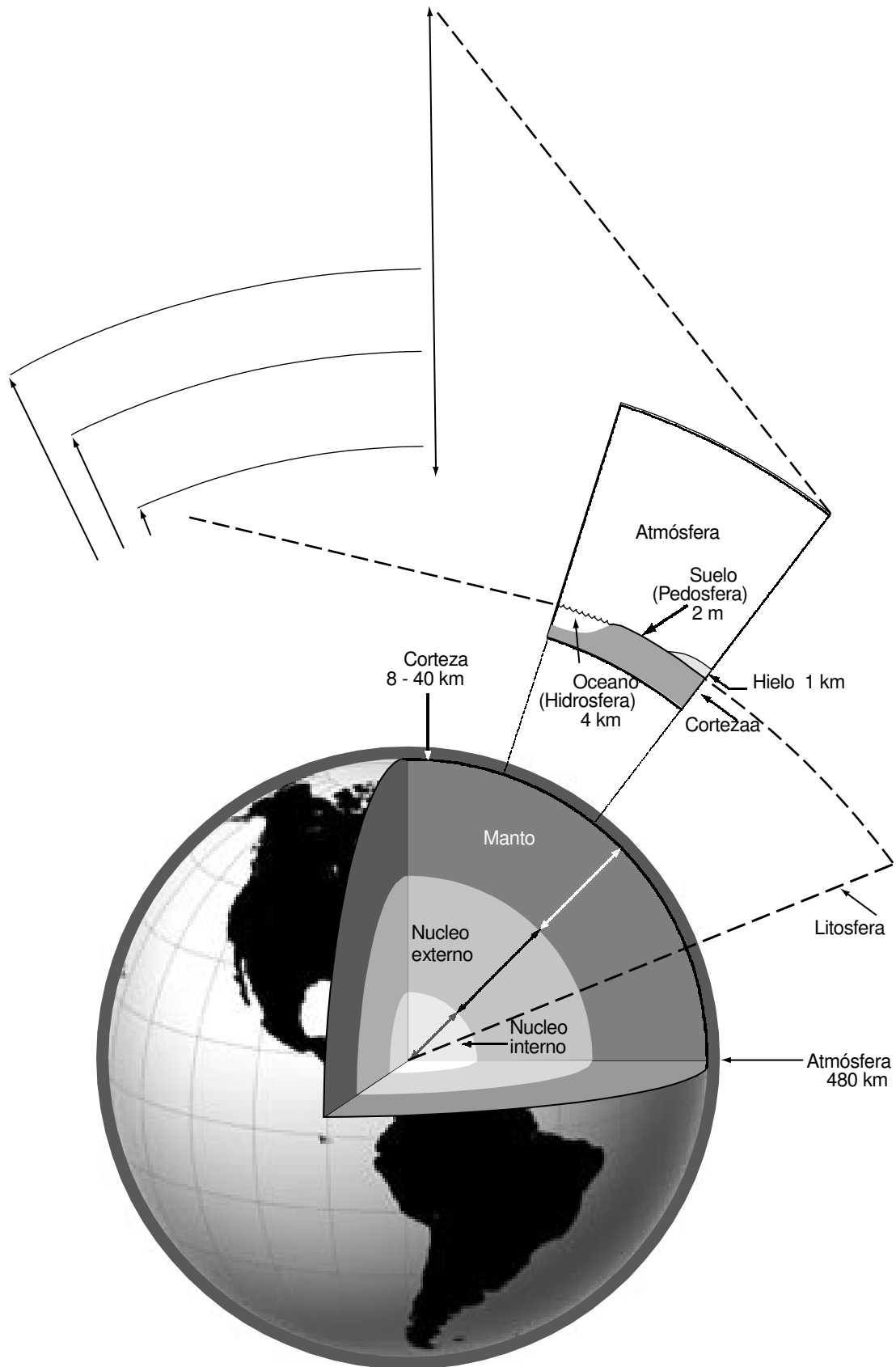


Figura TI-I-2: Diagrama Esquemático de la Distribución de la Energía de la Tierra

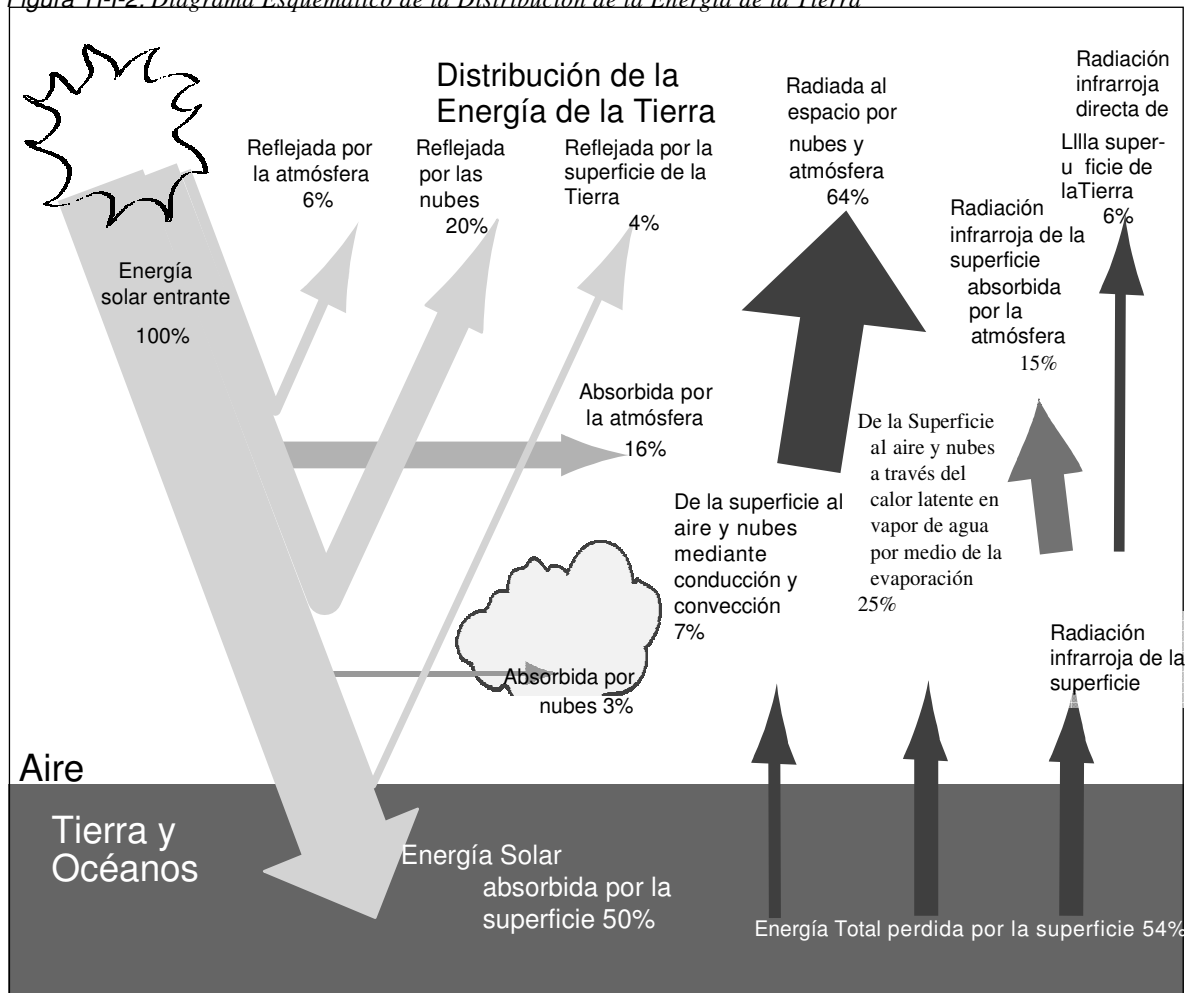


Figura TI-I-3: El Ciclo Hidrológico

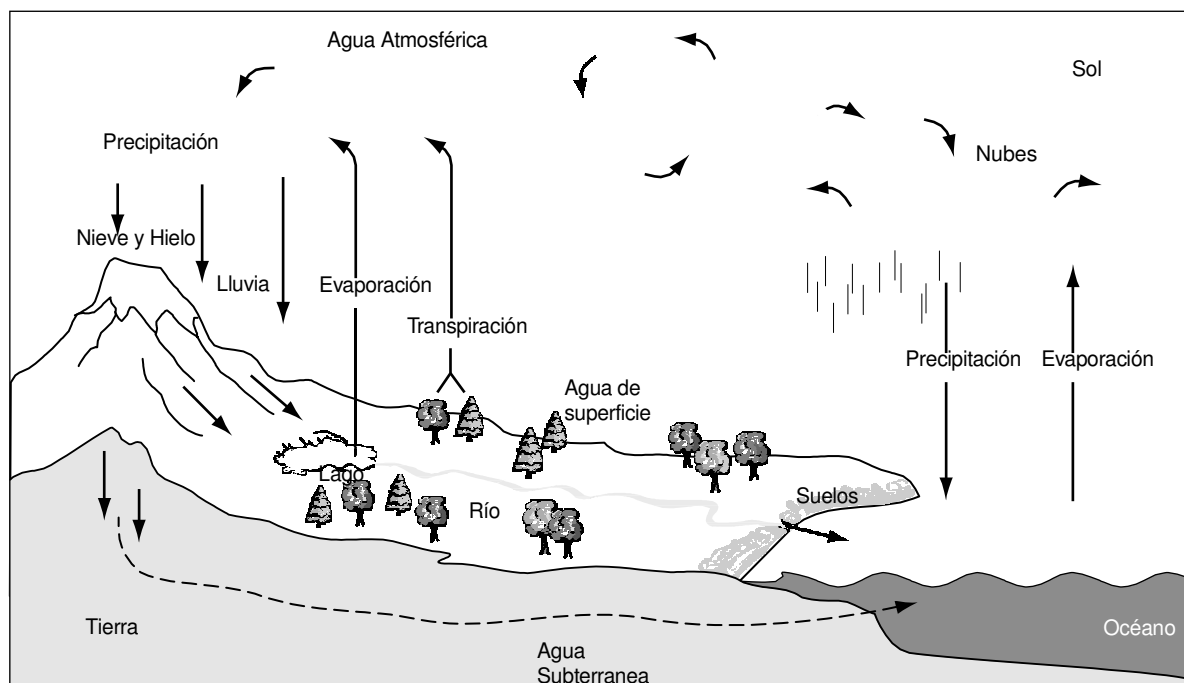
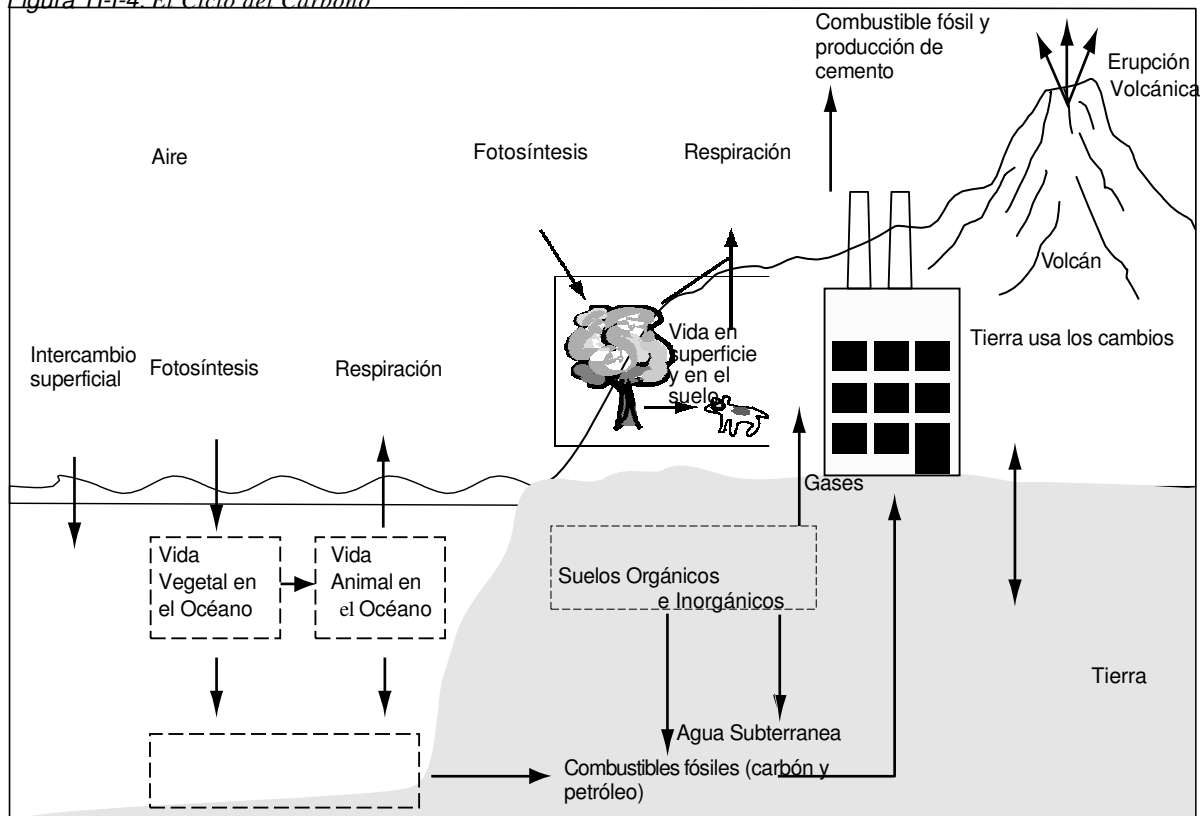


Figura TI-I-4: El Ciclo del Carbono



Componentes del Sistema Tierra

El programa GLOBE facilita que los estudiantes tomen mediciones de las diversas partes del sistema Tierra. La siguiente tabla muestra donde se conectan las investigaciones GLOBE y los componentes del Sistema Tierra.

Componentes del Sistema Tierra	Investigación GLOBE
Atmósfera (Aire)	Investigación de Atmósfera
Océanos y cuerpos de agua dulce	Investigación de Hidrología
Criosfera (hielo)	Investigación de Atmósfera (precipitación sólida) Investigación de Hidrología (sitios de agua congelada)
Suelo	Investigación de Suelos
Vegetación (terrestre)	Investigación de Cobertura Terrestre. La Tierra como Sistema Investigación de Fenología

Ciclos del Sistema Tierra

En el ambiente, la energía puede estar en forma de radiación (solar o de onda corta, o infrarrojos u onda larga), de calor perceptible (energía térmica), de calor latente (calor que se desprende cuando el agua se transforma del estado gaseoso a líquido o sólido), energía cinética (la energía de movimiento, incluyendo los vientos, las mareas, y las corrientes marinas), energía potencial (energía almacenada) y energía química (energía absorbida o liberada durante las reacciones químicas). Los científicos necesitan saber, modelar y predecir la cantidad de energía en cada una de sus formas y en cada uno de los componentes del sistema Tierra, cómo se intercambia entre ellos, y cómo se desplaza en el seno de cada componente.

El ciclo de la energía esta ligado al ciclo hidrológico. Parte de la energía de la luz solar que alcanza la superficie de la Tierra causa la evaporación del agua de la superficie y de los suelos. La atmósfera transporta el vapor de agua resultante hasta que se condensa en las nubes, liberando la energía latente que evaporó el agua. Las gotas de agua y las partículas de hielo de las nubes crecen hasta que caen en forma de lluvia, nieve o granizo. Una vez que caen a la superficie de la Tierra, el agua puede permanecer congelada en la superficie y derretirse más tarde, para evaporarse de nuevo en la atmósfera, o rellenar huecos en el suelo, ser absorbida por las plantas,

consumida por los animales, filtrada por el suelo para formar aguas subterráneas, correr por la superficie hasta los ríos, arroyos, lagos y por fin a los océanos. La nieve y el hielo devuelven a la atmósfera más luz solar que el agua del océano o que la mayoría de otras formas de cobertura terrestre, por lo que la cantidad de nieve o hielo que cubre la superficie de la Tierra afecta al ciclo de la energía.

Juntas, las energías combinadas y los ciclos hidrológicos afectan a los ciclos biogeoquímicos. En la atmósfera, las reacciones químicas originadas por la luz solar crean y destruyen una rica mezcla de elementos químicos, incluido el ozono. Algunos de estos elementos combinados con el agua, constituyen los aerosoles, partículas sólidas y líquidas suspendidas en el aire. Los elementos químicos de la atmósfera y los aerosoles se incorporan a las gotas de agua y a los cristales de hielo y son transportados de la atmósfera a la superficie por medio de la precipitación. Los microorganismos del suelo y las aguas de superficie, las plantas y los animales toman los elementos químicos del aire y del agua de su entorno, y liberan otros elementos a la atmósfera, a los cuerpos de agua dulce y a los océanos. Los vientos aumentan la evaporación del agua de la superficie y sueltan partículas finas de polvo en el aire donde quedan suspendidas como aerosoles. Las actividades agrícolas e industriales también aportan y consumen energía, agua, gases y partículas de las aguas de superficie, del suelo, de las rocas, y del aire. La cantidad y distribución de los gases como el vapor de agua, el dióxido de carbono, el óxido nitroso (N_2O), y el metano en la atmósfera determina cuanta radiación infrarroja se absorbe y se transmite entre la superficie de la Tierra y el espacio. Esto a su vez afecta a la temperatura en superficie y en toda la atmósfera. Hay muchas otras formas en las que la energía, el agua, y los ciclos biogeoquímicos interactúan e influyen en nuestro ambiente, mucho más de lo que se puede describir aquí.

Como Contribuyen las Mediciones GLOBE a los Estudios del Sistema Tierra

Las mediciones GLOBE de la temperatura del aire, de los cuerpos de agua, y del suelo ayudan a rastrear el ciclo de la energía. Los estudiantes GLOBE también miden la cobertura de nubes, el tipo de nubes, los aerosoles, la transparencia del agua y la cobertura terrestre.

Cada una de estas observaciones ayuda a los científicos a determinar qué le ocurre a la radiación solar (luz solar) y a la radiación térmica infrarroja que se origina en la Tierra (calor). ¿Cuánta luz solar se refleja o es absorbida por las nubes o por la superficie Tierra? ¿Cuánta radiación infrarroja emitida es absorbida por la atmósfera y cuánta se vuelve a reflejar hacia el punto de origen?

Las mediciones GLOBE de las precipitaciones líquidas y sólidas, de la humedad relativa, de la humedad del suelo, de cobertura terrestre, del dosel de la especie dominante y codominante de árboles, ayudan a conocer el ciclo hidrológico. Conocer las características de superficie del suelo y sus propiedades de filtración, ayuda a los científicos a calcular cómo se filtra el agua a través del suelo: la densidad total del suelo y de sus partículas determinarán la cantidad de agua que se puede almacenar en el suelo. Las mediciones de la temperatura de la superficie de un cuerpo de agua y de la temperatura de la humedad del suelo, permite calcular el ritmo de la evaporación. ¿Cuánta lluvia cae sobre la superficie Tierra? ¿Se hace más intenso el ciclo hidrológico? ¿Se están incrementando los diferentes flujos del ciclo hidrológico?

Las observaciones GLOBE contribuyen al estudio de los ciclos biogeoquímicos. Las mediciones de pH de la precipitación, de los horizontes del suelo, y de las aguas de superficie son fundamentales porque el pH influye en la forma en la que los elementos químicos interactúan con el flujo de agua en el ambiente. Un pH bajo puede movilizar diversos elementos químicos de las superficies de las rocas y partículas del suelo. Las plantas vivas forman un ámbito muy significativo en el ciclo del carbono. Las mediciones de la masa de las hierbas secas y de la superficie, así como la altura de los árboles permite el cálculo de cuánto carbono se almacena en la biomasa de un bosque o de una pradera. Ya que el carbono se libera hacia la atmósfera, ¿Qué cantidad es utilizada por la vegetación terrestre?

Sistemas Abiertos Frente a Sistemas Cerrados

Si observas la Tierra desde el espacio exterior, parece casi un sistema cerrado, aquel en el que ni entra ni sale materia. (un sistema aislado es aquel en el que no entran ni sale materia ni energía). Aparte de la transferencia de algunos gases que penetran en la atmósfera de la Tierra, los componentes de la Tierra se mantienen sin

ninguna adición más.

Cuando se estudia la Tierra en su conjunto, no se necesita habitualmente considerar los efectos de los aportes y las salidas del sistema Tierra excepto la energía que procede del sol. Sistemas mas pequeños se pueden formar dentro de otros más grandes. Por ejemplo, se puede estudiar una divisoria de aguas-aquella zona geográfica cuyas aguas fluyen en un cuerpo de agua común. Estas divisorias existen en una gran variedad de tamaños, combinándose los más pequeños, para formar los más grandes. Por ejemplo, se podía estudiar toda el área que desagua en el Océano Ártico, o centrarse únicamente en la divisoria del Río Mackenzie, o el el Río Liard, un tributario del Mackenzie. Dónde definir los límites de un sistema, como por ejemplo de una divisoria de aguas, depende de las preguntas que se planteen. Estos conceptos tendrán un desarrollo más amplio en *Explorando las Conexiones*.

Cualquier sistema dentro del sistema Tierra, como una cuenca hidrográfica, se considera un sistema abierto. Tanto el agua como los elementos químicos y la energía, entran y salen de las fronteras del sistema. Es más, los elementos de este sistema abierto pueden estar más estrechamente conectados a otro, de aquel entorno con el que intercambian componentes. Los aportes y las pérdidas pueden ser importantes para el conocimiento de la dinámica del sistema que se esté estudiando

Escalas de Espacio y Tiempo

Todos los procesos del sistema Tierra ocurren en una escala de tiempo espacio. Algunos ocurren a escala tan pequeña que nuestros ojos no pueden distinguirlos, mientras que otros fenómenos cubren un continente entero o todo el planeta. Las escalas de tiempo para fenómenos diferentes también varían de forma espectacular. Algunas reacciones químicas atmosféricas ocurren en fracciones de segundos. La formación del suelo con su interacción de características físicas, químicas y biológicas ocurre a nivel local en un lapso de muchos años (por lo general a un ritmo de 1 cm de anchura por siglo) Los principales sistemas climáticos, incluidos los huracanes, normalmente se desarrollan y desaparecen en una escala de tiempo de una a dos semanas y cubren cientos de kilómetros.

Algunas partes de diversos ciclos del sistema Tierra se pueden medir y entender a nivel local en escalas de tiempo relativamente cortas, de segundos a días; en otros casos, se debe intentar caracterizar todo el planeta a nivel de décadas, para probar teorías, entender procesos y obtener un conocimiento global.

Consideremos un ejemplo de cada situación:

1. El equilibrio en la cantidad y el flujo de agua en una pequeña cuenca hidrográfica.

Podemos observar la entrada de agua en la superficie midiendo la precipitación en un sitio o en varios (cuantos más mejor será el cálculo). La evaporación del agua se puede calcular por las mediciones de temperatura del suelo y del agua en superficie, y de la humedad del suelo y de la distribución del tamaño y textura de las partículas. La transpiración por medio de los árboles y otra plantas se puede calcular trazando un mapa de la cobertura terrestre, midiendo el dosel y las zonas sin vegetación en varios sitios, e identificando las especies dominantes de árboles en los montes y en los bosques. Las mediciones de humedad del suelo, y los niveles de los arroyos, lagos, y ríos no dicen cuánta agua se almacena en la cuenca (descontando acuíferos u otros principales cuerpos subterráneos de agua). El nivel del arroyo o del río por el que fluye el agua fuera de la cuenca, es una indicador de la rapidez de este flujo. Los aportes y las salidas deben estar equilibrados con las variaciones en la cantidad de agua almacenada.

La mayoría de las mediciones que se precisan, se incluyen en los protocolos GLOBE y todas las demás se pueden obtener por otras fuentes o ser medidos con la ayuda de científicos locales.

2. Entender **El Niño/ Fluctuación Meridional (ENSO)**

Los ciclos cálidos del ENSO tienen lugar a intervalos irregulares de entre dos y siete años. Las variaciones se desarrollan en toda la cuenca del Pacífico Ecuatorial y sus efectos se han observado durante, por lo menos, seis meses después en las zonas templadas de ambos hemisferios.

También se han observado por los satélites pequeños fenómenos de perturbaciones cálidas diez años después del hecho en cuestión.

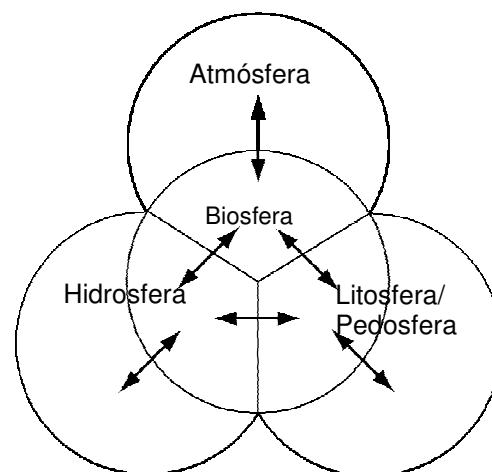
Para describir perfectamente este fenómeno y sus efectos, debemos tomar los datos de muchos años a escala global, buscar conexiones, causas, y consecuencias.

Las predicciones basadas en un conocimiento completo del ENSO se pueden estudiar a nivel local utilizando los datos existentes que cubran muchos meses, incluyendo las informaciones recogidas y registradas por estudiantes GLOBE. Los datos GLOBE de la temperatura del aire y de la precipitación se pueden comparar con predicciones modelo de los efectos de ENSO para ayudar a determinar la suficiencia de nuestro conocimiento actual y nuestra capacidad de recrear modelos.

Conceptos Clave

Como ya se ha discutido en las páginas previas, al estudiar la Tierra como sistema, existen unos conceptos clave para su total comprensión. Estos son:

- La Tierra es un sistema compuesto de elementos.
- La energía, el agua y los elementos químicos se almacenan en distintos lugares y formas, y son transportados y transformados por distintos procesos y ciclos.
- Las relaciones entre los fenómenos se pueden analizar por medio de los ciclos de energía como el hidrológico y los biogeoquímicos.
- Los fenómenos ocurren en su debida escala de tiempo y espacio.



Nota: Véase *Realización de un Diagrama de La Tierra como Sistema* en la *Introducción de Explorando las Conexiones*.

La Tierra como Sistema

El Ciclo Estacional

La Imagen Estacional: ¿Por Qué Hay Estaciones?

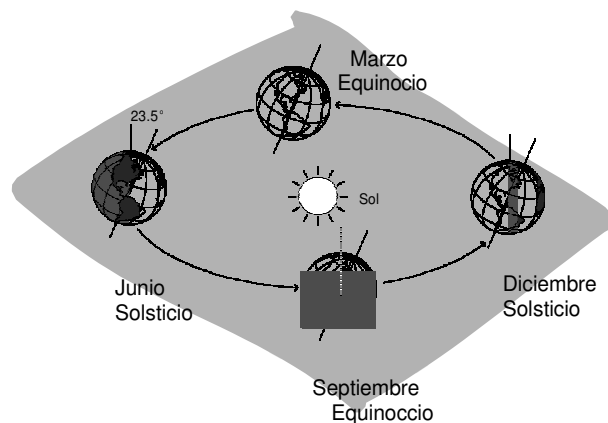
Las estaciones cambian en la Tierra de forma regular y nos traen un cierto ritmo a nuestras vidas. Ya sea con las nieves del invierno, las lluvias monzónicas, o el calor del verano, nuestro entorno cambia constantemente, y estos profundos cambios ocurren en periodos de tiempo relativamente cortos. Que sucedan de manera predecible, nos ayudan a comprender estas variaciones tan complejas. Muchas civilizaciones antiguas observaron que la posición del Sol cambiaba a lo largo del año, y fueron capaces de construir calendarios y hacer predicciones basadas en sus observaciones, que utilizaron con propósitos agrícolas y religiosos.

Todos los cambios estacionales están influidos por las variaciones en la intensidad de la luz solar que incide sobre la superficie de la Tierra (insolación). Cuanta más energía por unidad de área, más alta es la temperatura, lo que conlleva a más evaporación, generando más lluvias e iniciando así el desarrollo de las plantas. Esta secuencia describe la primavera para muchos climas de latitud media.

Ya que la luz es la principal manera en la que la energía alcanza la Tierra, el día es la forma de medir el nivel de insolación, y una manera de conocer cuando termina una estación y comienza otra. El primer día del verano, (solsticio de verano) es el día más largo del año. El invierno comienza con el día más corto, (solsticio de invierno). Los primeros días de primavera y otoño tienen el día y la noche de igual duración. Se llaman *Equinoccio Vernal* y *de Otoño*. La variación de la duración de las horas de luz es el resultado de que el eje de rotación de la Tierra está inclinado $23,5^\circ$ con respecto a la órbita alrededor del sol. La Figura TI-I-5 muestra la inclinación de la Tierra en las diferentes posiciones de su órbita. Véase cómo en cada solsticio, cada polo está inclinado una vez hacia el sol, y otra vez al lado opuesto al sol.

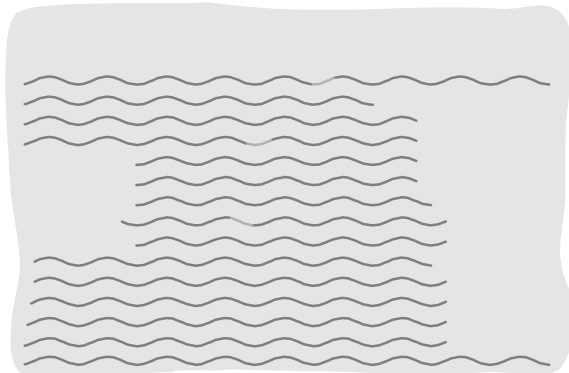
El polo inclinado hacia el Sol recibe 24 horas de luz solar, mientras que el otro polo tiene 24 horas de noche. En las posiciones de equinoccio, la Tierra está inclinada de tal manera que cada polo recibe igual cantidad de insolación. Este debate se centra en los polos, porque experimentan los niveles más extremos de insolación. A causa de la inclinación del eje de la Tierra, los niveles de insolación de cada punto de la Tierra cambian constantemente. Denominamos a los efectos de estas variaciones, *estaciones*.

Figura TI-I-5: Inclinación del Eje de la Tierra



La inclinación en el eje de rotación de la Tierra tiene un efecto adicional, que aumenta la duración del efecto del día. En cada una de las latitudes, la superficie de la Tierra tiene un ángulo diferente con respecto a la luz solar que incide sobre ella. Véase la Figura TI-I-6. Cuando la superficie es perpendicular a la luz del sol, el sol está justo encima y la cantidad de luz solar que incide en un área determinada es la máxima. A medida que el sol se desplaza en el cielo, y el ángulo en el que la luz solar alcanza la superficie disminuye, el área iluminada se hace más pequeña. En verano, el sol está más cerca de la perpendicularidad en el mediodía solar que en invierno, excepto cerca del Ecuador. De esta manera no sólo los días son más largos en verano que en invierno, sino que el sol envía más energía por cada unidad de área de la superficie terrestre en el hemisferio donde es verano.

Figura TI-I-6: Cómo Afecta la Latitud a la Cantidad de Energía que Proviene del Sol



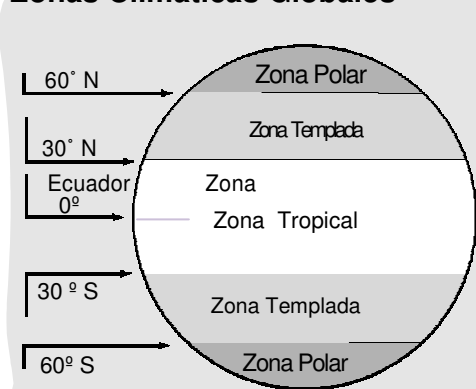
Factores que Influyen en los Patrones Estacionales Locales

Latitud

La Figura TI-I-7 muestra cómo los niveles de insolación varían con la latitud a lo largo de todo el año. A causa de esta variación, la latitud tiene una influencia poderosa en las condiciones estacionales y en las pautas anuales de los parámetros climáticos y ambientales, tales como la precipitación y la temperatura. A causa de las diferencias en la duración y la direccionalidad de la luz del sol, el mundo se puede dividir en las zonas que se muestran en la Figura TI-I-8. Las mismas estaciones pueden ser bastante diferentes en las zonas tropical, templada, y polar.

Figura TI-I-8: Zonas Climáticas Globales Aproximadas

Zonas Climáticas Globales

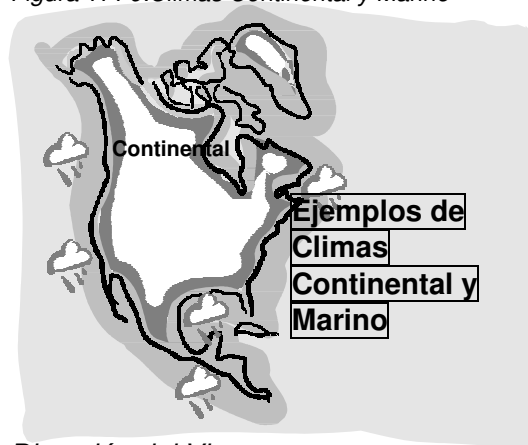


Climas Marinos y Continentales

El clima también varía drásticamente dependiendo de la cantidad de agua existente en el entorno. Cuando la luz del sol alcanza la superficie del agua, hay cuatro aspectos que hacen que no se caliente tanto como la superficie de la Tierra. Primero, el calor específico que es la energía necesaria para aumentar en 1°C la temperatura de 1 gramo de agua. El calor específico del agua es $1\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ comparado con las $0,4\text{ cal g}^{-1}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ que

se necesitan para calentar el suelo. Por lo tanto se tarda 2,5 veces más en aumentar en 1°C el agua que el suelo. Segundo, algo de luz solar penetra muchos metros dentro de la columna de agua. Esto dispersa la energía hacia abajo, haciendo que la superficie se caliente menos. Además, las aguas más frías de las profundidades, se mezclan en cierta medida con las de superficie, y modera los cambios de temperatura. Tercero, el viento produce un movimiento en la superficie de las aguas, que causan una combinación de calor por toda la superficie. Cuarto, a medida que la superficie se calienta, aumenta la evaporación. La evaporación enfría la superficie, y así la temperatura de la superficie del agua responde menos al calentamiento solar que la superficie del suelo. La tierra que esta cerca de grandes masas de agua que no se congelan en invierno posee un clima marino. Esto da lugar, a grandes cantidades de humedad y pequeñas variaciones de temperatura entre el verano y el invierno, todo lo contrario que en el clima continental. El tamaño de un continente afecta tanto a la temperatura como a la humedad del interior, cuanto más grande es el continente y alejado de las grandes masas de agua está, mayor diferencia existe entre el verano y el invierno.

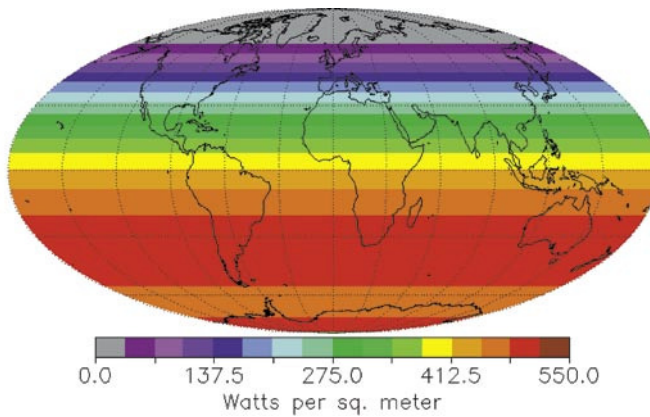
Figura TI-I-9: Climas Continental y Marino



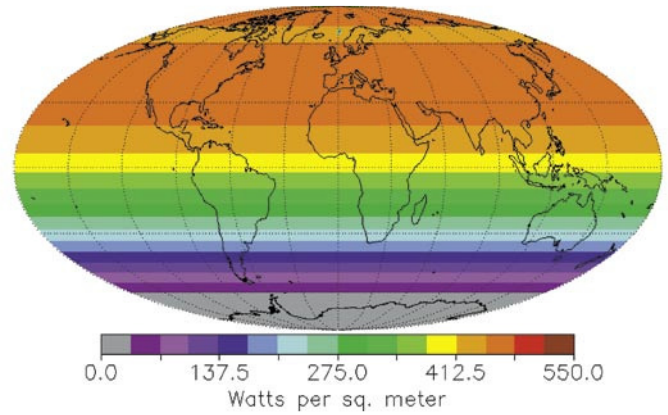
Dirección del Viento

La dirección del viento imperante también afecta al clima local. Si un área se encuentra en la dirección del viento (las costas occidentales de los continentes en las latitudes medias) el clima se ve muy afectado por la presencia del océano como se describe anteriormente. Si los vientos soplan desde el interior del continente, entonces tienden a ser secos, y conllevan un contraste muy grande de temperatura entre el verano y el invierno.

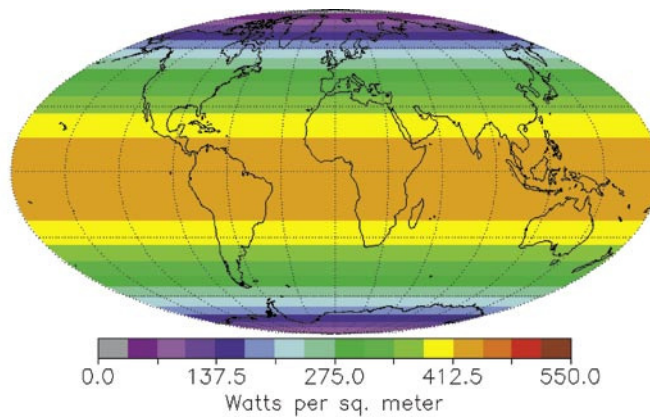
Figura TI-I-7: Insolación a lo Largo del Año (en Watios por metro cuadrado)



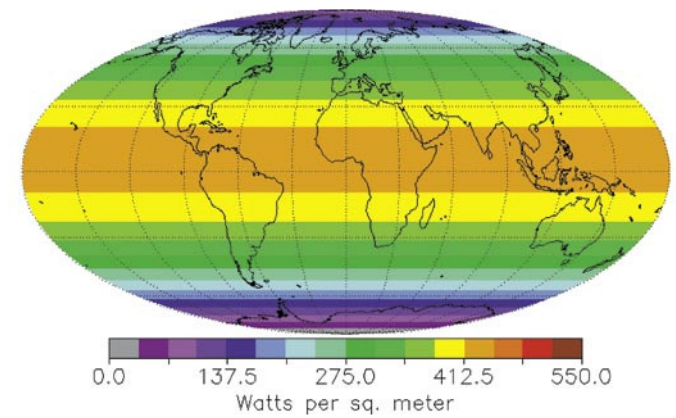
Radiación Solar en Enero



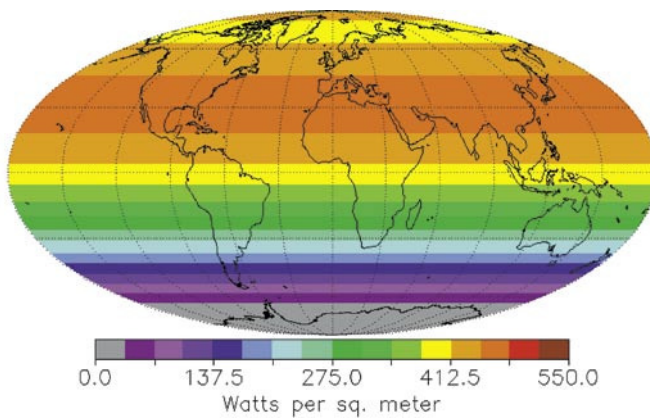
Radiación Solar en Julio



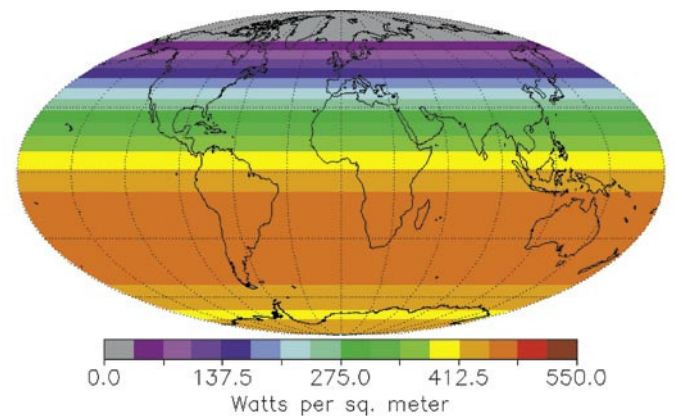
Radiación Solar en Marzo



Radiación Solar en Septiembre



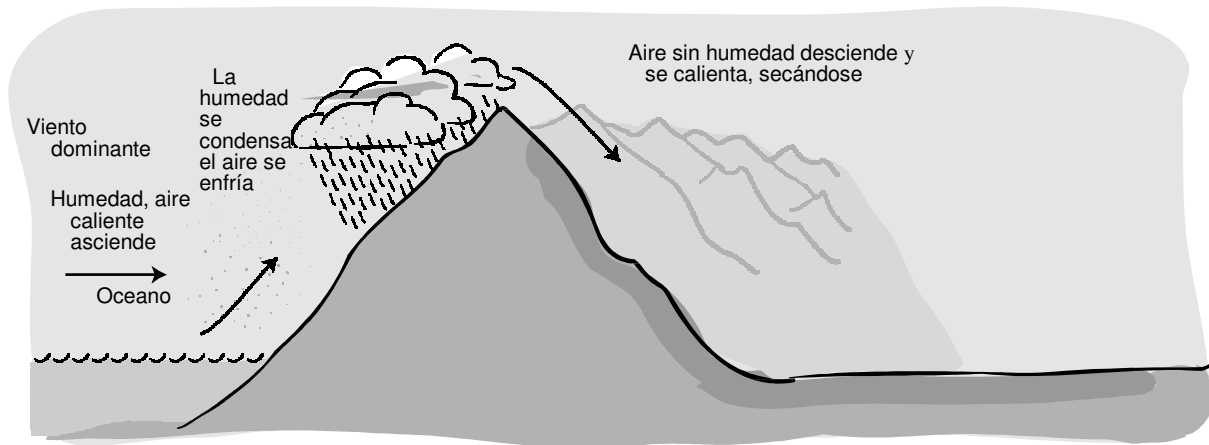
Radiación Solar en Mayo



Radiación Solar en Noviembre

Figura TI-I-10: Montaña Produciendo el Efecto de Sombra Pluviométrica

Sombra Pluviométrica



Las áreas en las latitudes altas de las zonas templadas y de cara al viento de los lagos, reciben gran cantidad de nieve mientras los lagos no están helados. Por lo general, los vientos dominantes condicionan el clima local a estos vientos. Los cambios estacionales afectados por la dirección del viento dominante pueden hacer que estos contrastes sean más grandes o más pequeños.

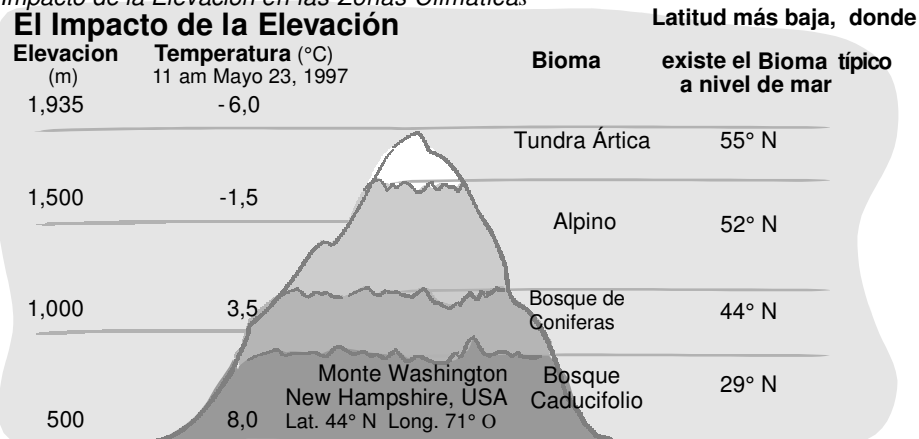
Rasgos Geográficos

Estos rasgos tienen profundos impactos en el clima y en las regiones colindantes. Por ejemplo, las montañas pueden hacer que el aire húmedo se eleve y precipite casi toda la humedad. Cuando el aire seco desciende por detrás de la montaña, no tiene la suficiente humedad para proporcionar precipitación. Las montañas crean la sombra pluviométrica, Ver la Figura TI-I-10. Muchos desiertos se encuentran en esta zona. Además de la tierra árida, las regiones desérticas típicas

carecen de humedad atmosférica que actúa como aislamiento entre la superficie de la Tierra y el espacio (el agua es el principal gas de invernadero de la Tierra). Por consiguiente, las áreas desérticas irradian fácilmente su calor hacia el espacio, y las diferencias de temperatura entre el día y la noche son considerables.

La elevación también influye en los patrones estacionales. La variación en la altitud puede afectar al ambiente tanto como la variación en latitud. La temperatura media del aire desciende aproximadamente 1° C cada 150 metros de altitud, y en términos de periodo vegetativo, cada 300 metros en altitud son equivalentes aproximadamente a un acercamiento de 400-500 metros en dirección al Polo (más o menos de cuatro a cinco grados de latitud). Las cimas de las montañas pueden ser islas climáticas donde, en el Hemisferio Norte, las especies se extienden hacia

Figura TI-I-11: Impacto de la Elevación en las Zonas Climáticas



hacia el lado sur de las montañas, donde las condiciones se asemejan a las de las latitudes más septentrionales. Las plantas que crecen en la cima del Monte Washington en New Hampshire (1,935 m) se sentirían como en casa desarrollándose a nivel del mar en la tundra ártica, a 2.400 km al Norte del Canadá. Ver Figura TI-I-11.

El alumnado puede estudiar cada uno de estos efectos observando los datos de los centros GLOBE. Un climatograma muestra la media mensual de temperatura y la lluvia total anual recogida mes a mes. Comparando estos diagramas de centros educativos de distintos lugares (Ver Figura TI-I-12) se muestran claramente estas diferencias y da lugar a preguntas sobre las razones para estas diferencias.

Figura TI-I-12: Climatograma de Calcuta, India y Berkeley, California

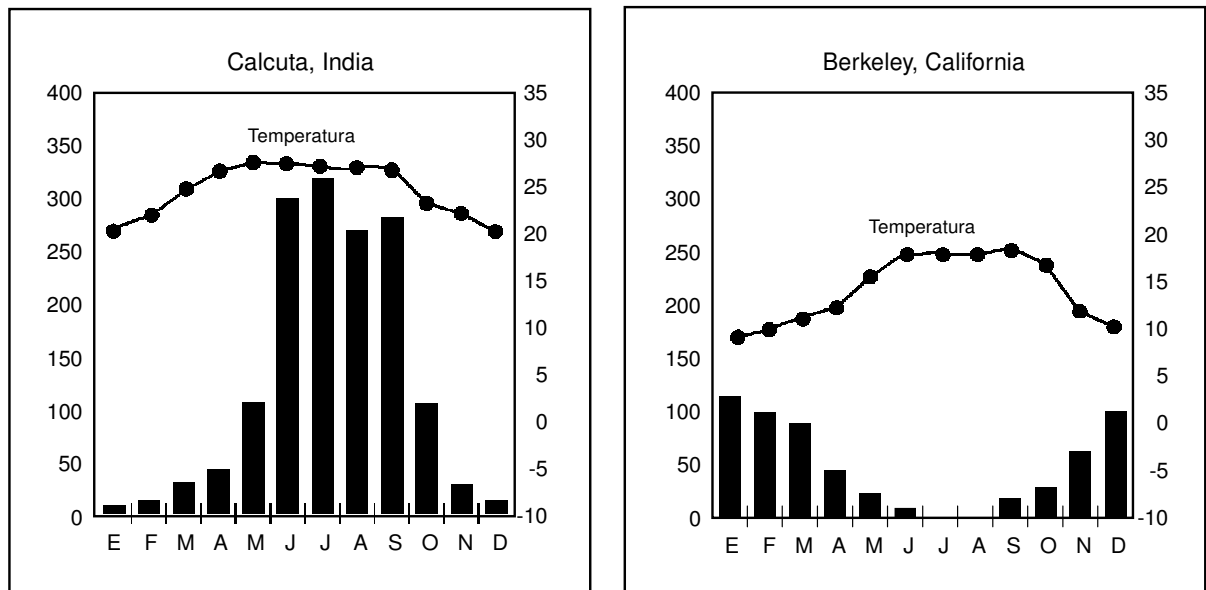
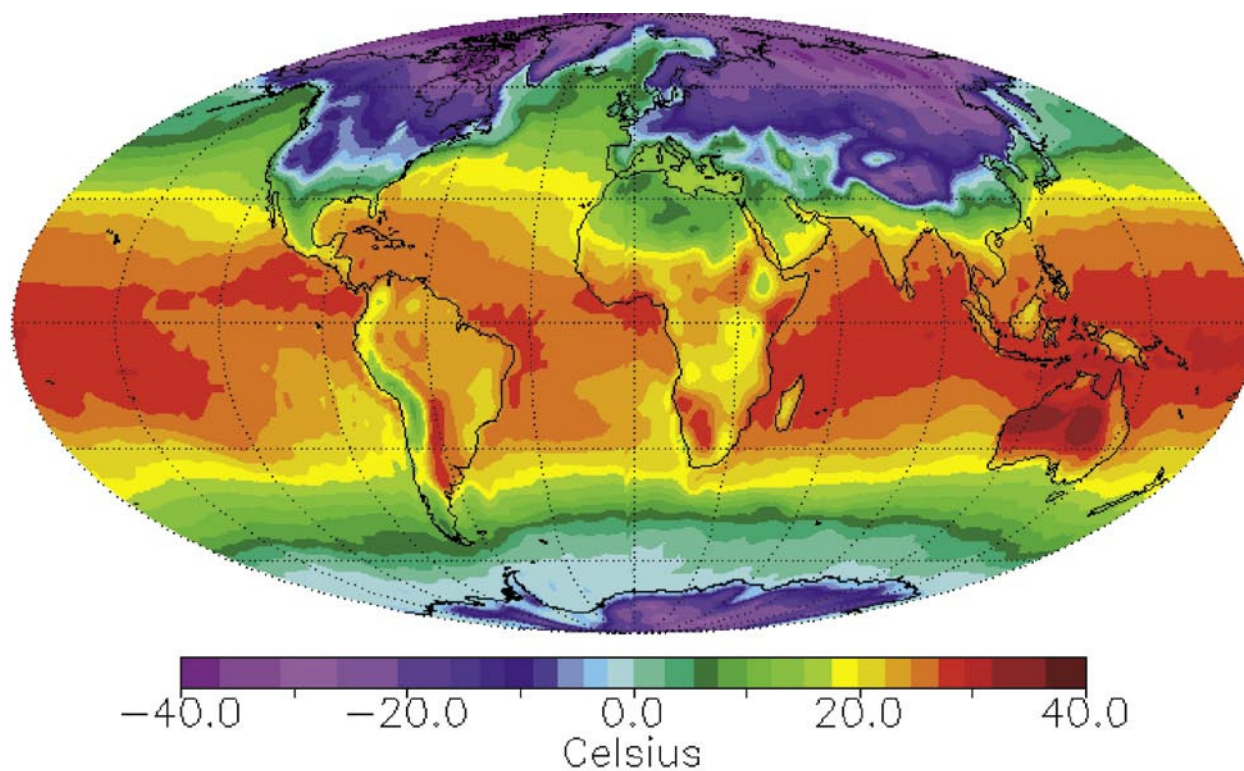
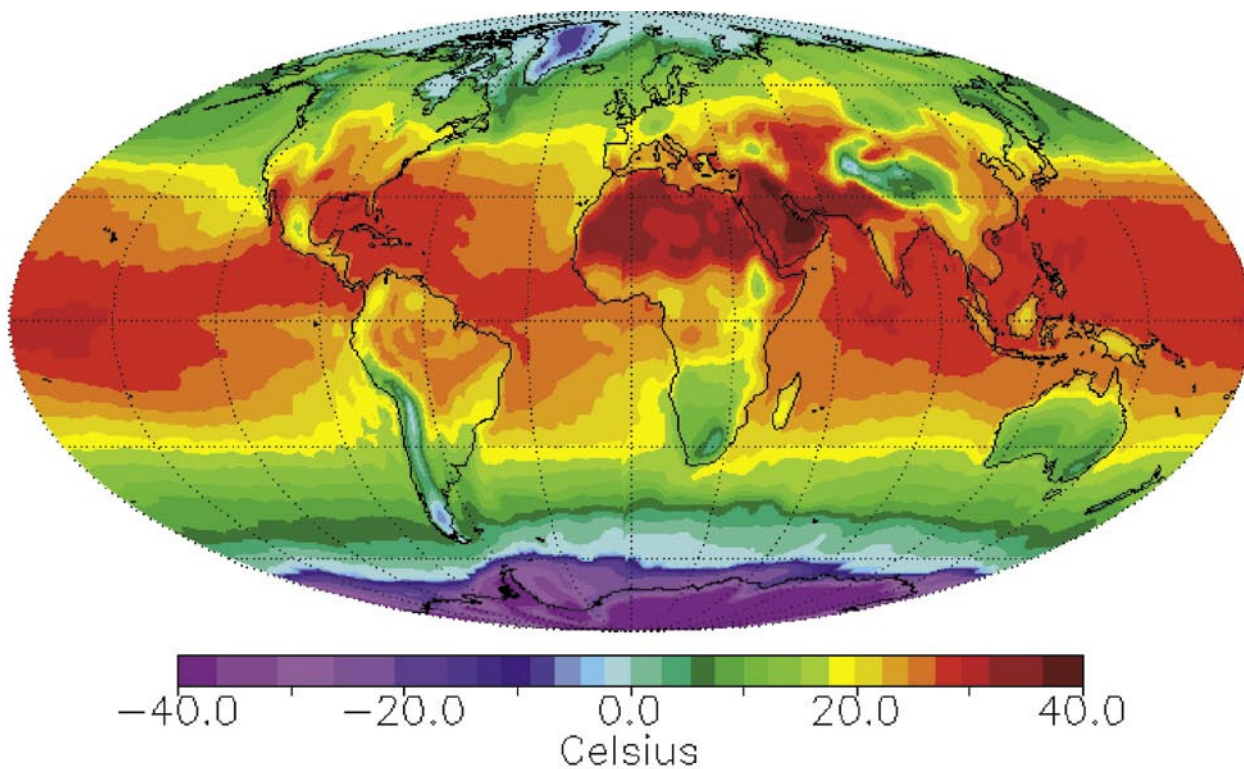


Figura TI-I-13: Temperatura del Aire de Superficie Global en Enero y Julio, 1988.



***Temperatura del Aire en
Enero***



Temperatura del Aire en Julio

El Sistema Tierra a través del Ciclo Estacional

En GLOBE, el ciclo estacional juega un papel importante en la toma de algunas mediciones. Estudiando los datos GLOBE a través del ciclo estacional, entenderemos cómo trabaja la Tierra como un sistema. Esto se puede comprobar examinando algunos ejemplos de cómo estos ciclos afectan a los diferentes componentes del Sistema Tierra. Estos ejemplos pueden proporcionar algún material de base para una mejor comprensión e interpretación de los datos GLOBE, ya que están basados en estudios previos de datos actuales. Muchos de los datos GLOBE revelarán algunas pautas estacionales, a la vez que incrementarán y perfeccionarán nuestros conocimientos acerca de estos patrones estudiando muchos sitios durante un largo periodo de tiempo.

La Atmósfera a través del Ciclo Estacional

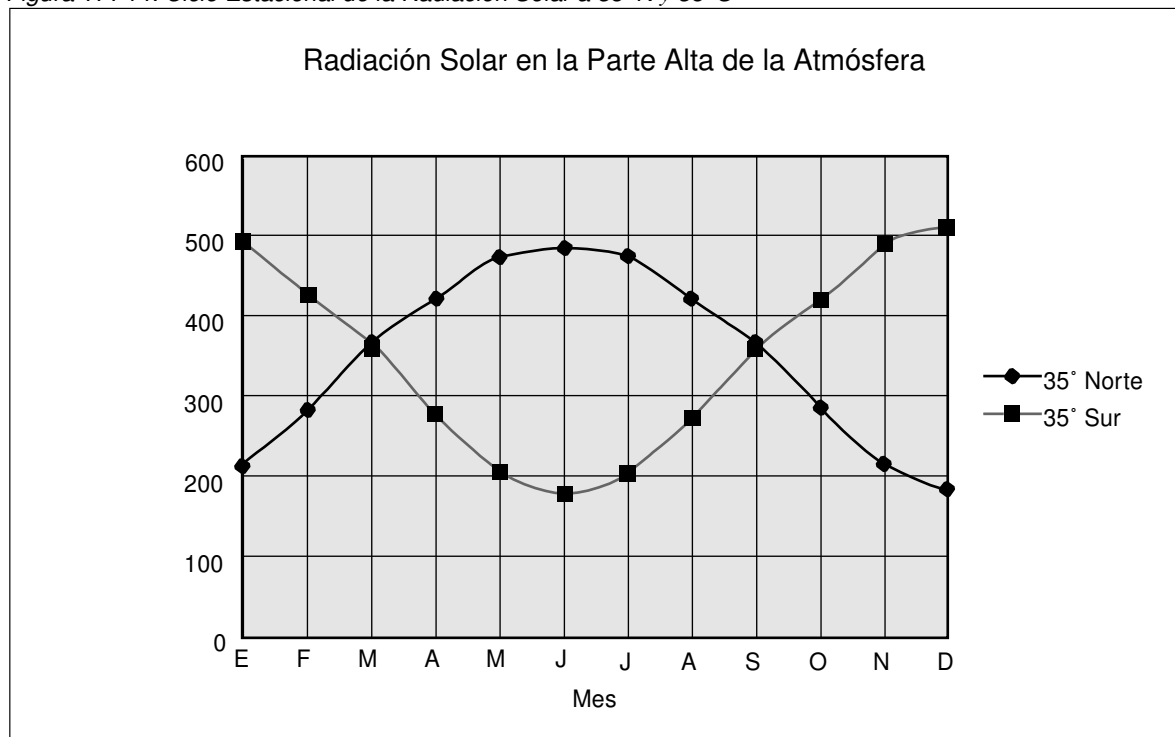
Temperatura

La relación entre la temperatura del aire y el número de horas diurnas, es una particularidad estacional a la que la población de las latitudes medias y altas está acostumbrada.

El aire en las capas más bajas de la atmósfera se calienta por contacto con la superficie de la Tierra. Durante el verano (Julio en el hemisferio Norte y Enero en el hemisferio Sur), cuando el sol está en su máxima altitud, el aporte de energía del sol y el aumento de las horas diurnas calientan la superficie, que a su vez calienta el aire. Durante el invierno (Julio en el hemisferio Sur y Enero en el hemisferio Norte), cuando la radiación solar se extiende sobre una superficie mayor, ya que el sol no está tan alto, y hay menos horas de luz al día, el sol calienta menos la superficie, por lo que el aire contiene menos temperatura. Comparar la distribución de la radiación solar en Enero y en Julio (Figura TI-I-7) con la distribución de la temperatura de Enero y Julio (Figura TI-I-13) respectivamente.

Transcurre un cierto tiempo para que la superficie de la tierra se caliente y la atmósfera responda a estas variaciones. Fuera de los trópicos, la época en la que más fuerte es la radiación solar es Junio en el hemisferio Norte y Diciembre en el hemisferio Sur. Ver Figura TI-I-14. Es la época en la que ocurren los solsticios. Sin embargo,

Figura TI-I-14: Ciclo Estacional de la Radiación Solar a 35° N y 35° S



las temperaturas son más cálidas dos meses más tarde, en Agosto del hemisferio Norte y en Febero en el hemisferio Sur. Ver la Figura TI-I-15. Esto se debe al tiempo que se necesita para que se caliente la capa superior de los océanos y las capas más bajas de la atmósfera.

Precipitación

En latitudes bajas, los cambios de temperatura estacionales no son tan drásticos como en las latitudes altas y medias, pero existe de manera habitual un cambio estacional en los patrones de las precipitaciones. Las regiones ecuatoriales experimentan lo que se llaman estaciones “secas” y estaciones “húmedas”.

Figura TI-I-15: Ciclo Estacional de Máxima Temperatura del Aire en Kingsburg High School, Estados Unidos (localizado a los 35° N) y Shepparton High School en Australia (en los 35° S)

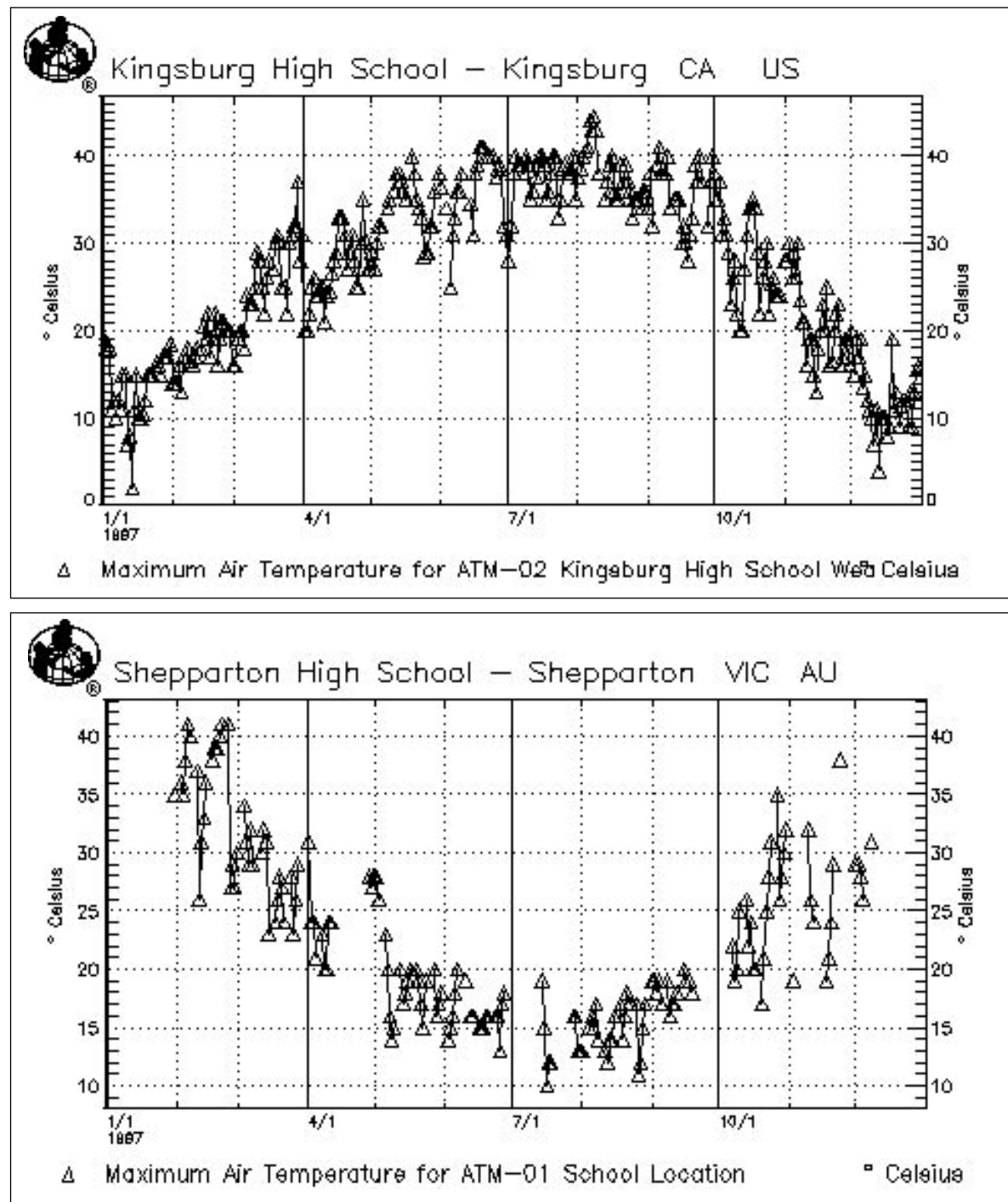
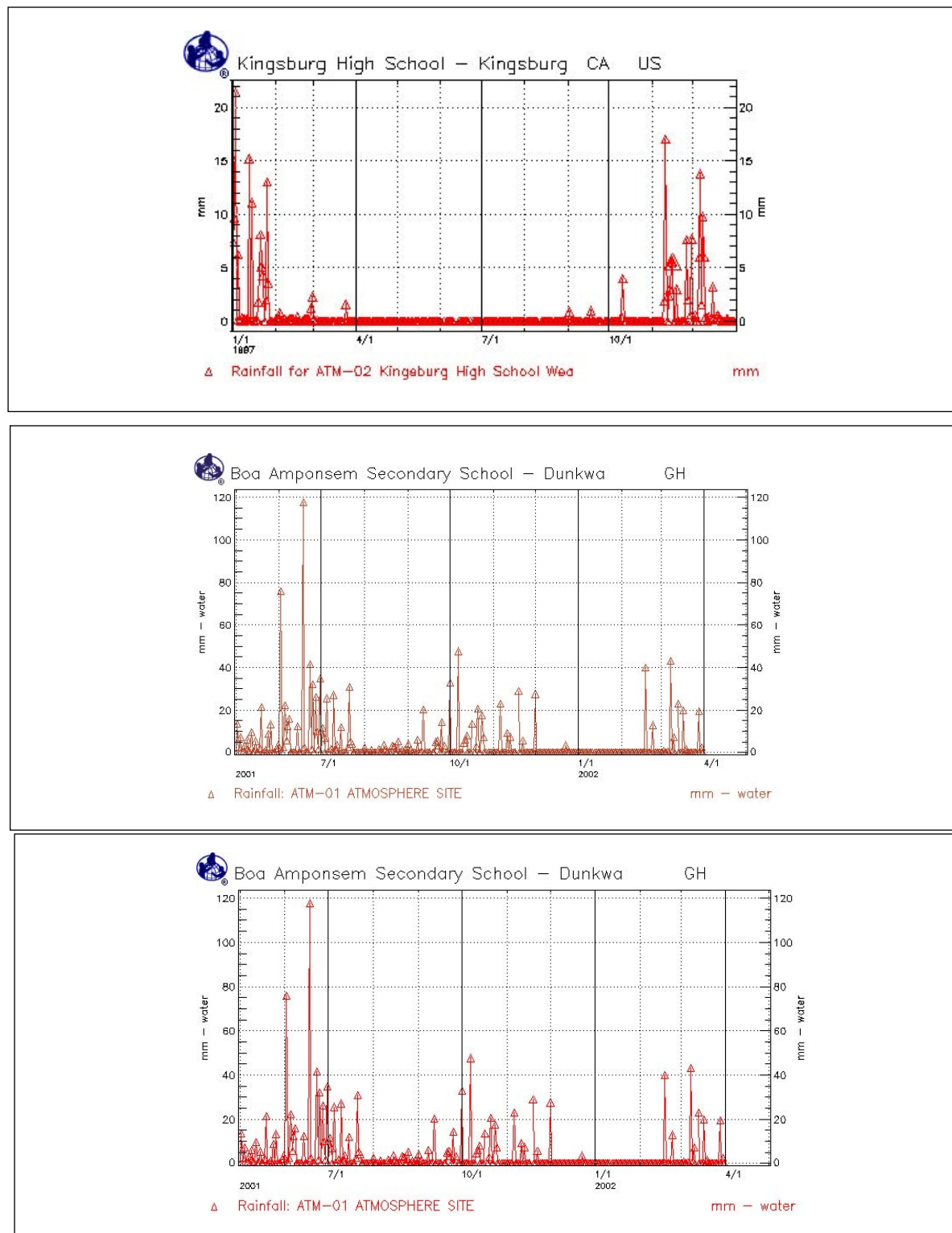


Figura TI-I-16: Ciclo Estacional de Precipitación a lo Largo del Año en Kingsburg High School in California USA, Reynolds Jr. Sr. High School en Pennsylvania USA, y Boa Amponsem Secondary School, Dunkwa, Ghana



La época del año en la que ocurre depende de muchos factores, tales como topografía regional y la proximidad de grandes masas de agua. Otras zonas muestran también patrones de precipitación. Ver la Figura TI-I-16. Algunas regiones no reciben precipitaciones durante meses, pero en otras la precipitación se distribuye regularmente durante todo el año. Algunos lugares sólo tienen una estación lluviosa y otra seca, mientras que en otros tienen dos periodos lluviosos y dos de sequía. Esto tiene una gran repercusión sobre la agricultura. Los climas mediterráneos se caracterizan por lluvias en invierno, mientras que otras partes sólo tienen lluvias en verano.

Vapor de Agua y Humedad Relativa

Puesto que la temperatura influye en gran medida en el valor de saturación del vapor de agua en la atmósfera, tanto la concentración absoluta del vapor de agua como la temperatura de saturación poseen un marcado ciclo estacional. Las concentraciones más altas de agua y de temperaturas de saturación ocurren durante el verano, y las más bajas durante el invierno. La humedad relativa tiende a ser más alta en la estación húmeda. Sin embargo puede ser alta incluso en el invierno, cuando el aire es relativamente más frío.

Nubes

En los trópicos, un frente de presiones bajas sin nubes conocidas como la Zona de Convergencia Intertropical (ITCZ), se extiende por el océano. Las imágenes globales del satélite, nos indican nubes que se encuentran en las regiones oceánicas, donde las tormentas se muestran activas. La posición media de la ITCZ varía según la estación, trasladándose al norte en el hemisferio Norte y hacia el sur en el hemisferio Sur. Ver figura TI-I-17.

Existen variaciones estacionales en la formación de nubes en otras regiones. Por lo general, hay mucha cobertura de nubes durante la estación lluviosa, principalmente nimboestratos y cumulonimbos. En los meses más cálidos, los cúmulos son el tipo de nubes que más se observan, debido al calentamiento de la superficie de la Tierra. En los meses de invierno, puesto que hay menos calentamiento, se observan de forma más habitual los tipos de nubes llamadas estratos. Fuertes frentes frontales formados en la primavera y el verano en las latitudes medias, pueden y a menudo lo hacen, crear grandes nubes tormentosas (cumulonimbos). Cerca de las costas, el agua más fría puede originar nubes de tipo estratos, en toda la región y durante todo el año.

Aerosoles

Son coloides compuestos de gotas de agua líquida o partículas sólidas suspendidas en el seno de un gas. La niebla y la bruma son ejemplos de partículas dispersas en un gas y el humo es un ejemplo de partículas sólidas dispersas. Afectan al espesor óptico de la atmósfera, siendo mayor durante el verano que en invierno. Otros fenómenos estacionales pueden también influir en la cantidad de neblina, especialmente las tormentas de polvo, los incendios forestales y las actividades agrícolas.

Composición de la Atmósfera

Los indicios de concentraciones de gas en la atmósfera también muestran ciclos estacionales. El registro más importante en las mediciones de indicios de un gas es el del dióxido de carbono (CO_2) y su ciclo refleja la estacionalidad del crecimiento de los bosques. Las más bajas ocurren en primavera y verano del hemisferio Norte, mientras la biosfera utiliza CO_2 para la fotosíntesis.

Estas concentraciones aumentan en el otoño y en el invierno en el hemisferio Norte ya que la vegetación no lo utiliza, y la caída de las hojas devuelve el CO_2 a la atmósfera. Este ciclo domina en gran medida en la vegetación terrestre en el hemisferio Norte. Ver figura TI-I-1.

Otro importante gas es el ozono, que existe en la parte baja de la atmósfera, como un elemento natural, cuya fuente es la estratósfera, y como agente contaminante, formado por las emisiones de la combustión. En las latitudes medias del Norte, el ozono de superficie alcanza su nivel más alto en verano, cuando la luz del sol es más intensa y las reacciones fotoquímicas ocurren con más rapidez, convirtiendo los hidrocarburos y óxidos nitrosos en ozono. En el sur, por otra parte, las concentraciones de ozono en verano son más bajas porque existen menos emisiones, debido a la menor combustión. En los trópicos, las concentraciones de ozono de superficie son más altas en Septiembre y Octubre porque es la época cuando se generaliza la combustión de la biomasa y los gases así producidos generan ozono a través de las reacciones fotoquímicas. Así, el ciclo estacional de las concentraciones de ozono de superficie está influido por las actividades humanas, y varía en gran medida dependiendo donde se hagan las observaciones.

Figura EA- I-17- Posiciones Promedio de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) en Enero y Julio

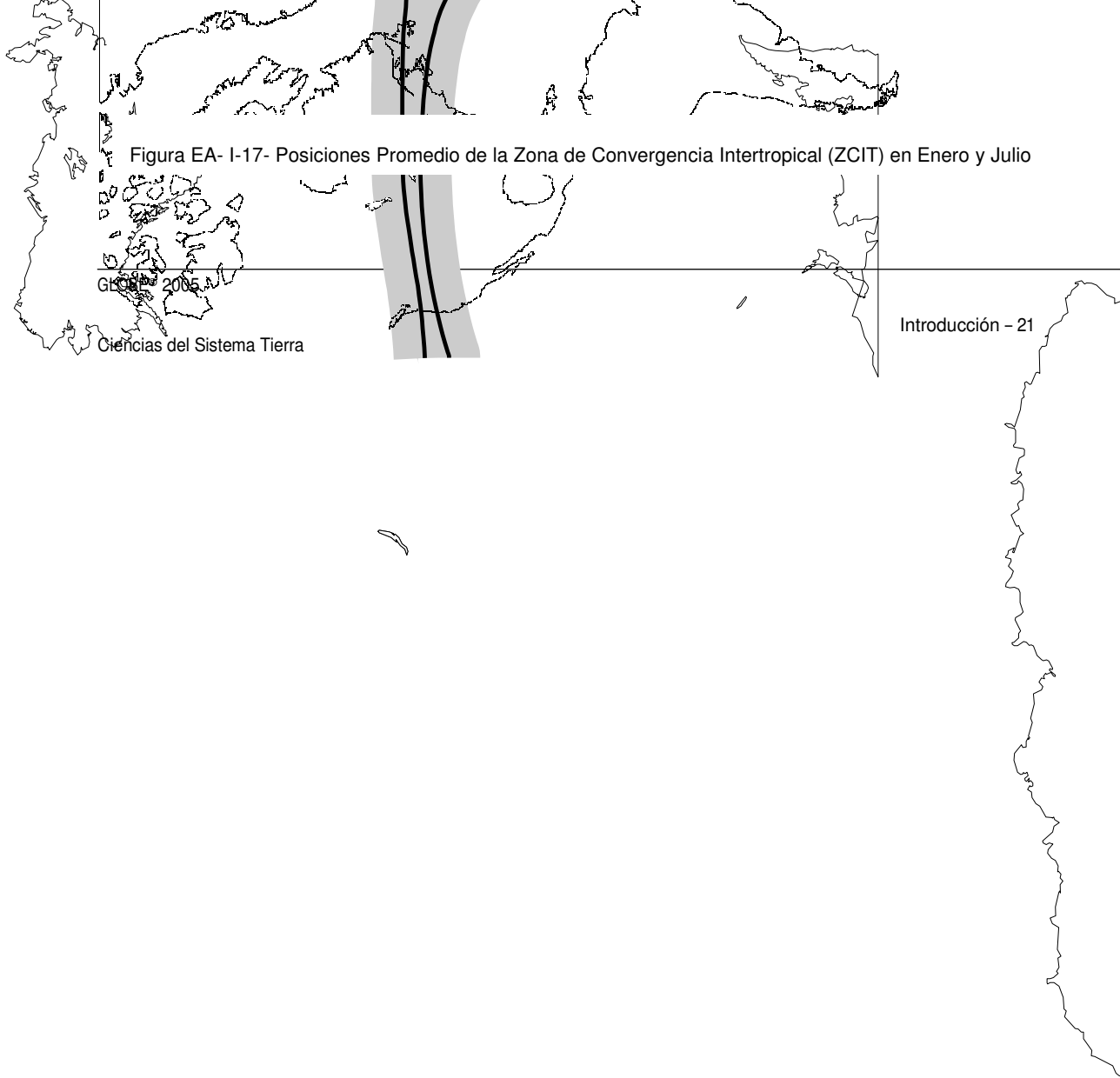


Figura TI-I-18: La Variación Estacional del Dióxido de Carbono (CO_2) en la Atmósfera de 1986 a 1988 Medido en Mauna Loa Hawaii

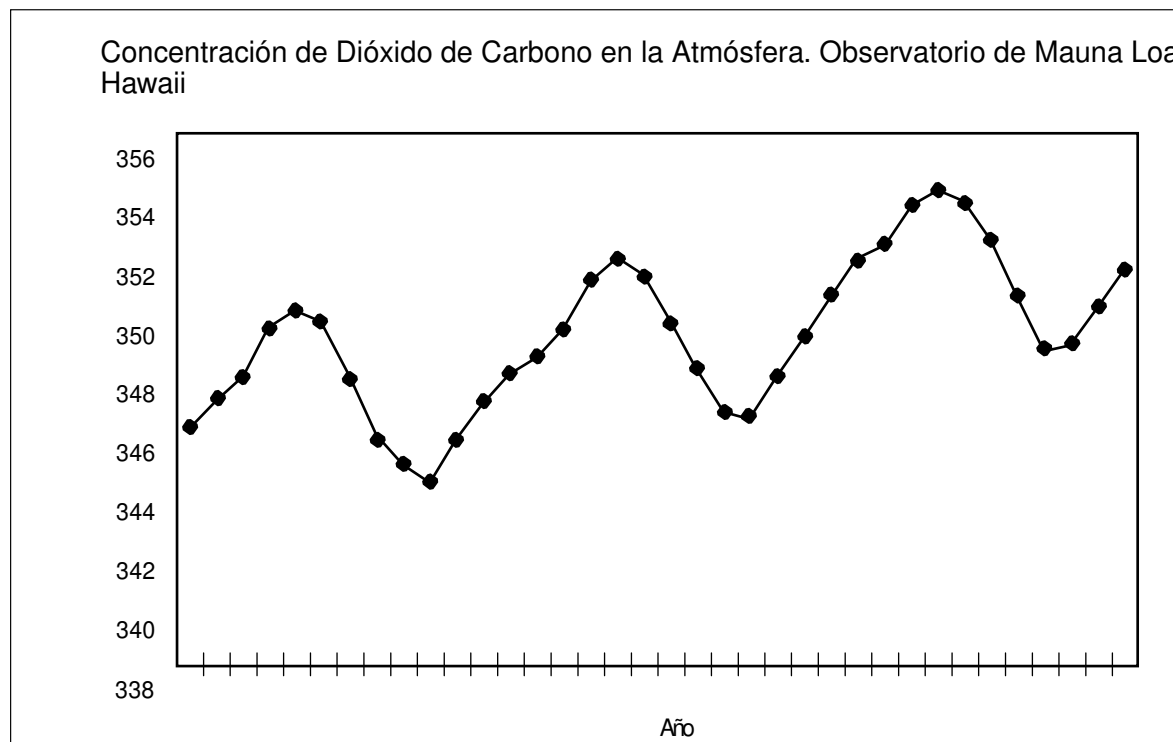
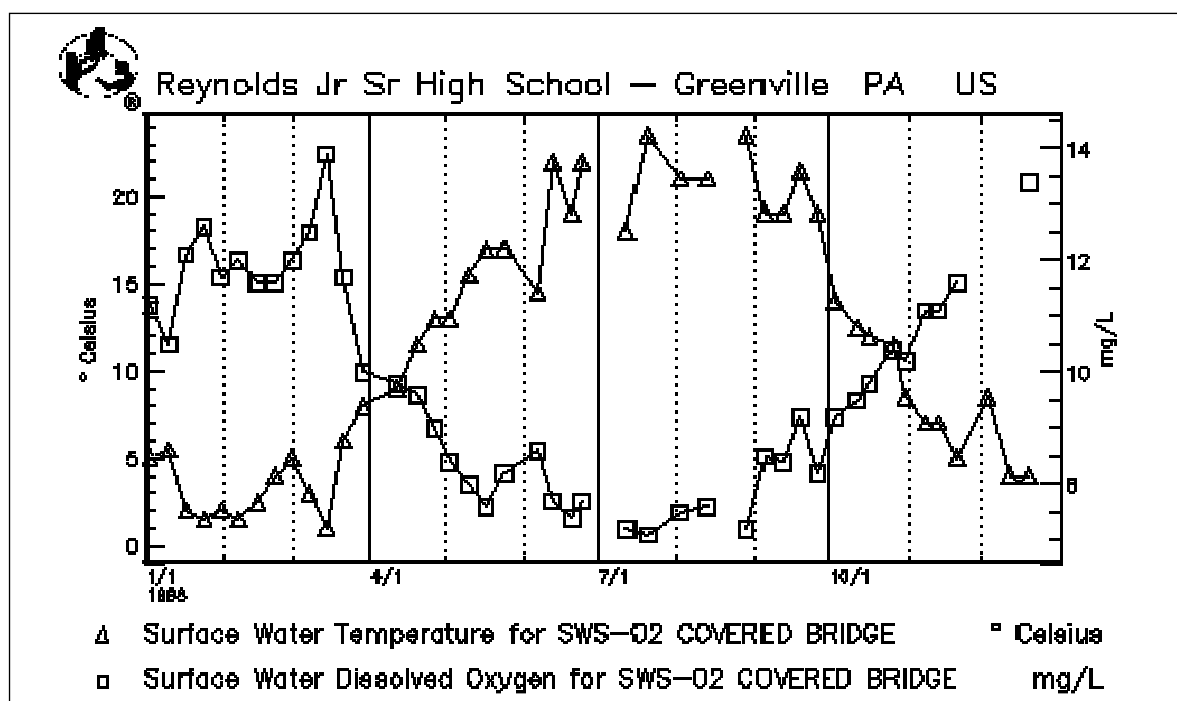


Figura TI-I-19. Temperatura de la Superficie del Agua y Oxígeno Disuelto en Reynolds Jr Sr High School en 1998



El Agua Superficial a Través del Ciclo Estacional

Las características físicas y químicas de un cuerpo de agua están influidas por el ciclo estacional creados por las variaciones en la radiación solar, precipitación, temperatura del aire, pautas del viento y fusión de la nieve y el hielo. La Figura TI-I-19 muestra cómo la temperatura y el oxígeno disuelto (OD) varían a lo largo del año. El nivel de saturación de OD es inversamente proporcional a la temperatura (por ejemplo: al aumentar la temperatura, la cantidad de OD que se puede disolver en el agua disminuye). Las pautas de cualquier cuerpo de agua dependen de la cantidad de actividad biológica.

Cambios Estacionales en los Lagos

Muchos lagos poseen patrones estacionales de mezcla vertical. Los lagos de las zonas templadas cálidas o de las frías muestran sólo un periodo de mezcla al año. En otras regiones templadas de temperaturas entre frías y calientes, o en las regiones subtropicales de elevada altitud, hay dos periodos de mezcla. El de primavera ocurre después del deshielo. El hielo flota porque es menos denso que el agua, que tiene su mayor densidad a los 4°C. Cuando el agua llega cerca de los 4°, el agua superficial se puede hacer más densa que la del fondo, por lo que se hunde. Se necesita muy poca energía del viento para mezclar toda el agua del lago. A medida que avanza la primavera, las capas de la superficie del lago se calientan y por lo tanto son menos densas. El agua más fría, por lo tanto más densa, permanece en el fondo, y se crea una zona de cambio rápido de temperatura entre las capas más cálidas de la superficie y las más frías del fondo. Esto se conoce como *estratificación termal*. En otoño, con menos radiación solar y con más pérdida de calor de la superficie por la noche, la temperatura de estratificación se rompe. Finalmente la capa mixta se extiende hacia abajo, hasta que las diferencias de temperatura y densidad entre esa capa y el fondo es tan mínima que el viento del otoño puede vencer cualquier resistencia a la mezcla, por lo que el lago sufre otra variación.

Crecimiento de Plantas en Lagos, Estuarios y Océanos

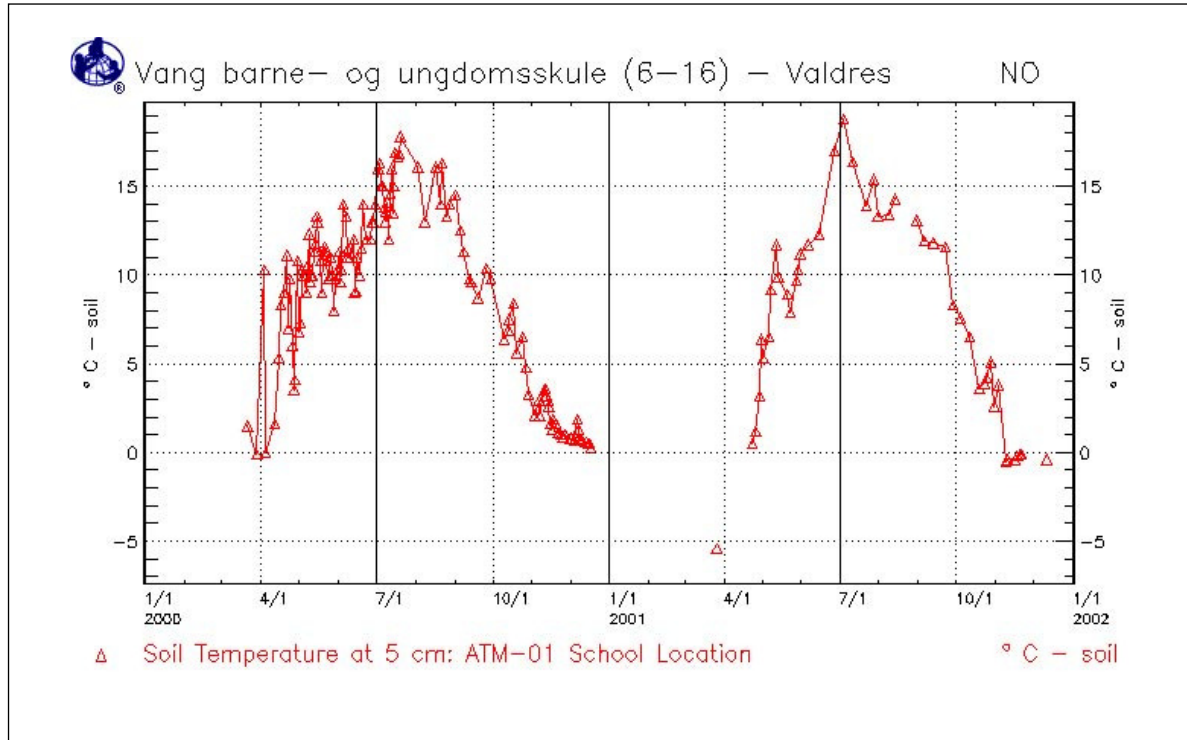
Las variaciones estacionales en la temperatura del agua, la luz solar y la presencia de nutrientes afectan a la vida de las plantas en los cuerpos de agua. Los nutrientes tienden a caer

a través de la columna de agua, y la mezcla vertical habitualmente devuelve los nutrientes cerca de la superficie y puede fomentar el rápido crecimiento del fitoplancton. El aumento del desarrollo de las plantas provoca variaciones en la cadena alimenticia y puede dar como resultado un aumento de desarrollo animal y de reproducción, así como un aumento en la descomposición bacteriana. En áreas templadas, el aumento de la temperatura del agua y la mayor cantidad de luz solar en primavera, en combinación con el incremento estacional de los nutrientes de las aguas más profundas, genera un rápido crecimiento. En las áreas tropicales, donde la cantidad de luz solar y la temperatura varían muy poco a lo largo de todo el año, el comportamiento del viento puede afectar en la mezcla vertical en los océanos, mares y grandes lagos. La mayoría de la producción de plantas tiene lugar en las aguas superficiales y cerca de ellas, donde hay suficiente luz para la fotosíntesis. Durante los meses de verano hay poca mezcla vertical en algunos lagos y estuarios. La materia orgánica cae desde la superficie hacia el fondo del agua y sirve como alimento a los animales o es descompuesta por las bacterias. Estos organismos necesitan oxígeno. La respiración, la falta de mezcla vertical y las temperaturas cálidas pueden conducir a bajos niveles de oxígeno. En algunos lugares, el verano se puede convertir en un periodo crítico para los peces u otras criaturas que viven en aguas profundas.

Arroyos y Ríos

Los arroyos y los ríos pueden mostrar cambios estacionales en la cantidad y la composición del agua por causa de las variaciones en la precipitación, la evaporación, el deshielo y otros aportes. El cómo afectan estos factores a los biomas, es un área pendiente de investigación. Los elementos químicos solubles que se han acumulado en la nieve del invierno tienden a concentrarse en el primer deshielo y pueden causar cambios muy rápidos (habitualmente descensos) en el pH de los arroyos. Las primeras grandes lluvias que siguen a un periodo prolongado de sequía también arrastran los elementos químicos que se han acumulado en las carreteras y otras superficies terrestres, a los cuerpos de agua. El volumen de agua que fluye en un arroyo o un río, a menudo, afecta a la calidad del agua. Las condiciones de poco caudal pueden permitir la acumulación de nitratos o la reducción de oxígeno disuelto. Las inundaciones y las lluvias torrenciales lavan grandes cantidades de detritus y pueden dar nueva forma a las llanuras de inundación de un río o de un arroyo transportando partículas de suelo de un lugar a otro.

Figura TI-I-20: Ciclo Estacional de Temperatura del Suelo a 5 cm en Vang Barne-Og Ungdomsskule en Valdres, Noruega del 1 de Enero del 2000 al 1 de Enero del 2002.



El Suelo a Través del Ciclo Estacional

Temperatura del Suelo

Como ocurre en la atmósfera y los cuerpos de agua, las variaciones estacionales más evidentes en los suelos se encuentran en su temperatura. A medida que el sol se sitúa más alto en el cielo en la primavera, el aumento en la radiación solar calienta la superficie, aumentando la temperatura del suelo.

El suelo sufre un ciclo estacional de temperaturas fuerte y diario, especialmente en las latitudes medias. Ver Figura TI-I-20. El ciclo del suelo va ligeramente por detrás del ciclo de la temperatura del aire por lo que, en general, la temperatura del suelo es un poco más cálida que la del aire por la noche, y un poco más fría por las mañanas. Este retraso depende de la distribución del tamaño de las partículas, de la cantidad de materia orgánica, y del grado de humedad del suelo. El ciclo es más evidente en la superficie y va disminuyendo con la profundidad. Los científicos del suelo utilizan la temperatura a los 50 cm para definir la Temperatura Anual Media del Suelo (TAMS), que permanece relativamente constante de año en año. La importancia de este ciclo de temperatura de los suelos, reside en que tiene un gran efecto sobre la fenología, influyendo en la foliación de las plantas en primavera, o en su muerte en el

otoño. También afecta al aislamiento que necesitan las cañerías que están enterradas en el suelo, para prevenir su congelación en invierno, y se usa para controlar las temperaturas en los sótanos y en las zonas de almacenamiento que están por debajo del nivel del suelo.

Humedad del Suelo

Otra característica del suelo que cambia con el ciclo estacional es su humedad. La fuente principal de la humedad reside en la precipitación. La variación estacional de la humedad del suelo es controlada por las variaciones en la precipitación y el deshielo y por el efecto de los cambios de temperatura en la evaporación. Ver Figura TI-I-21. Por ejemplo, si la estación lluviosa es durante el invierno, el contenido de agua del suelo será grande, mientras que en verano aumentarán las temperaturas, dando lugar a una mayor evaporación y unas condiciones más secas en el suelo.

Descomposición

Los cambios estacionales también afectan a la descomposición de la materia orgánica. Los microorganismos que llevan a cabo el proceso de descomposición necesitan humedad y calor para desarrollarse. Así, el ritmo de descomposición

Reynolds Jr Sr High School – Greenville PA US

▲ Monthly Average Maximum Temperature for ATM-02 WEATHER STATION
 ■ Rainfall for ATM-02 WEATHER STATION mm
 ◆ Soil Moisture at 10 cm for SMS-01 School Location
 + Soil Moisture at 90 cm for SMS-01 School Location

de la materia orgánica depende de la temperatura y de la humedad del suelo, que varían a lo largo del ciclo estacional, por lo que existe un ciclo estacional en el ritmo de descomposición de la materia orgánica. Ese ciclo puede no ser tan sencillo como los de la temperatura y la humedad, porque los microorganismos del suelo pueden morir o permanecer inactivos si las condiciones son demasiado cálidas, demasiado frías, demasiado secas o totalmente húmedas. En general, cuanto más descomposición, más CO_2 y N_2O se producen y se intercambian en la atmósfera.

Cobertura, Tierra y Fenología en el Ciclo Estacional

La *Fenología* es el estudio de la respuesta de los organismos vivos a las variaciones estacionales y climáticas en el entorno en el que viven. Las mediciones GLOBE en los protocolos de Fenología (este capítulo) se centran en la fenología de las plantas. Las variaciones estacionales incluyen la duración del día o número de horas de luz, la precipitación, la temperatura, y otros factores que controlan la vida. La estación vegetativa de las plantas es el periodo entre la foliación y la senescencia de las hojas. Ver Figura TI-I-22. La Foliación y la senescencia se pueden utilizar para examinar los patrones globales de la vegetación, la variación interanual y las respuestas al cambio climático. Una variación en el periodo entre la foliación y la senescencia, podría indicar un cambio

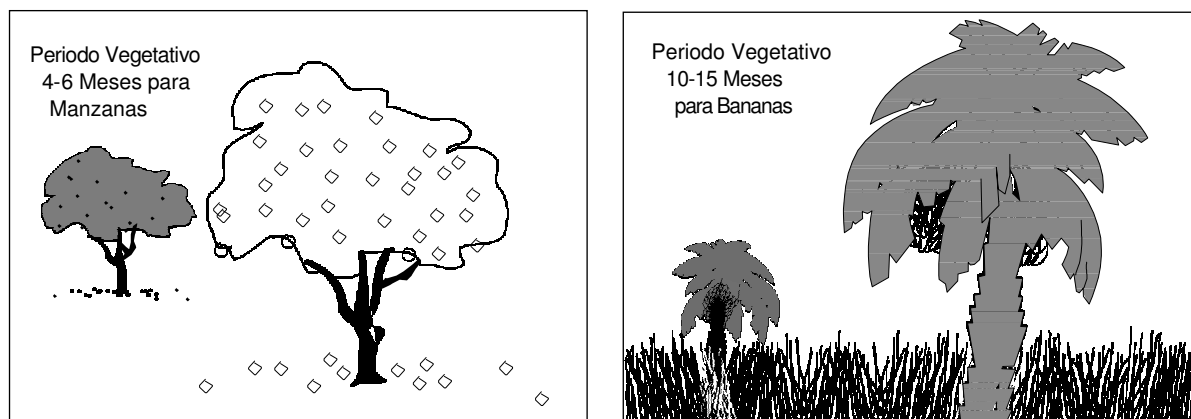
climático global.

La foliación de las plantas se inicia cuando el *letargo* (estado de crecimiento y metabolismo suspendidos) se interrumpe debido a las condiciones ambientales, como más horas de luz, temperaturas más altas en las regiones templadas o lluvias y frío en las zonas desérticas. Cuando empieza la foliación, la clorofila de las hojas absorbe la luz para la fotosíntesis, que fija el dióxido de carbono de la atmósfera.

Con la foliación, las plantas comienzan también a transpirar agua del suelo a la atmósfera. Esto afecta a la temperatura de la atmósfera, a la humedad, y a la humedad del suelo. Durante la senectud foliar, por medio de la caída de las hojas, las plantas reducen la pérdida de agua cuando el suministro de ésta es muy limitado durante el invierno, en las zonas templadas, y en los periodos de sequía en las zonas desérticas.

Controlar la duración del periodo vegetativo de crecimiento es importante para la sociedad, porque esta duración tiene un efecto directo sobre la producción de alimentos y fibras sintéticas y sobre la capacidad de mantenimiento de la propia sociedad. Por lo tanto, al investigar la variación estacional, los centros GLOBE proporcionan información a los científicos para que puedan comprender mejor el sistema Tierra y su respuesta a las diferentes influencias, y para que la sociedad pueda estar mejor preparada y adaptarse a las variaciones en la duración del periodo vegetativo.

Figura TI-I-22: La Duración de la Estación de Crecimiento Define el Tipo de Plantas que Pueden Crecer en un Sitio Determinado.



El Sistema Tierra a Diferentes Escalas Espaciales

La Tierra como Sistema a Escala Local

Componentes

Cada una de las investigaciones GLOBE requiere que los estudiantes escojan un sitio de estudio o un conjunto de sitios de muestreo donde realizar las medidas. En cada uno de estos sitios, están presentes muchos de los componentes del sistema Tierra estudiados por el alumnado GLOBE. En el sitio de estudio de hidrología, por ejemplo, están presentes el aire, el suelo y un cuerpo de agua. La vegetación terrestre está también presente muy a menudo, y en un gran número de sitios, la nieve o el hielo, elementos de la criosfera, se encuentran presentes durante una parte del año. La Figura TI-I-23 es una fotografía del sitio de estudio de hidrología en el Instituto de Secundaria Reynolds Jr. Sr. en Greenville, Pennsylvania, USA, donde los alumnos pueden identificar cada uno de los componentes, y pueden estudiar dónde tienen lugar las interacciones entre ellos.

Algunos ejemplos de estas interacciones son:

- Evaporación e intercambio de calor entre el aire y el agua.
- Intercambio de agua y gases entre aire y vegetación.
- Intercambio de agua y nutrientes entre el suelo y las raíces de las hierba y de los árboles.
- Evaporación e intercambio de calor y gases entre el aire y el suelo.
- Intercambio de agua, elementos químicos y sedimentos, entre el suelo y el agua de las riberas y el fondo de un río.
- Todos los componentes del sistema Tierra se encuentran expuestos a la luz del sol, lo que afecta a las temperaturas de varios de los componentes, a la fotosíntesis de las plantas, al ritmo de descomposición en el suelo, y a los ciclos químicos.

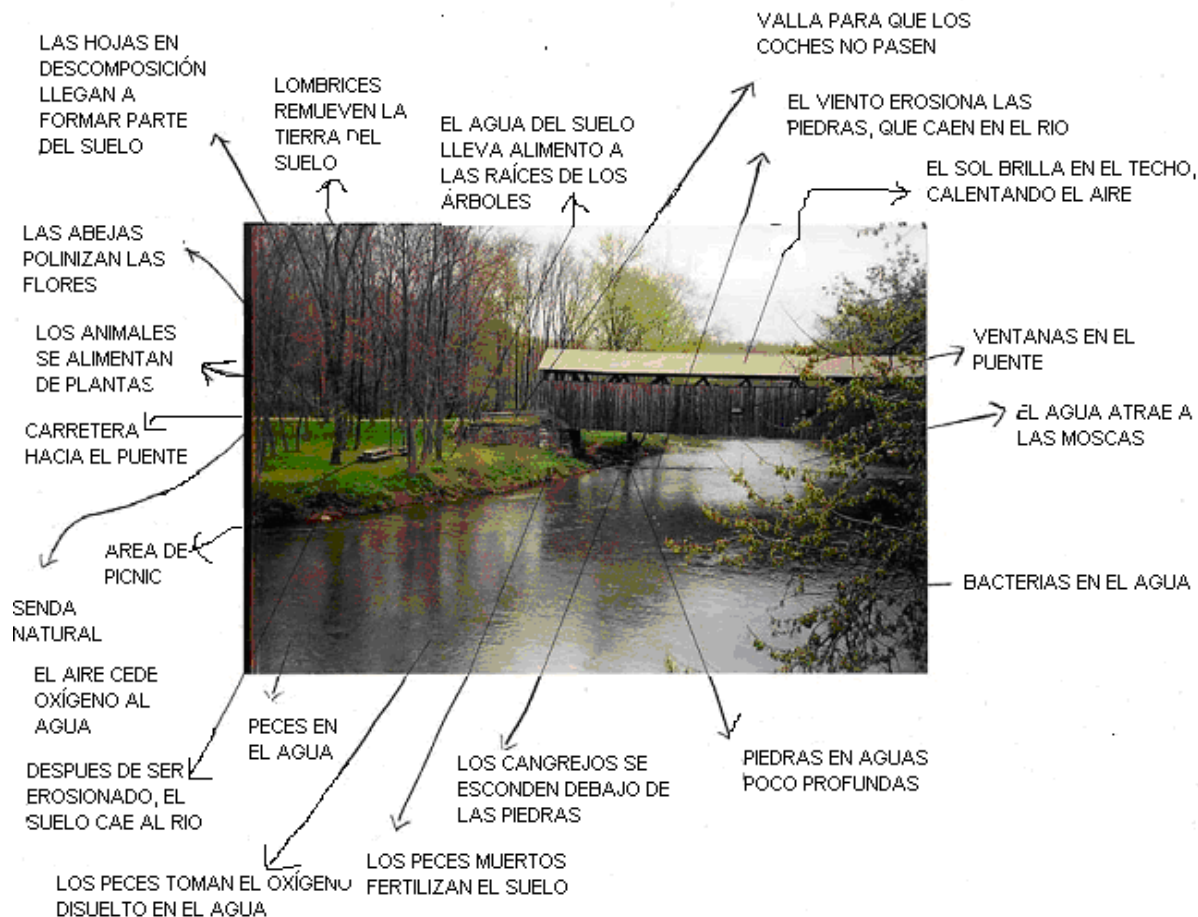
Ciclos de Energía, Hidrológicos y Biogeoquímicos.

Los intercambios entre el aire, el agua, el suelo y la vegetación de la tierra forman parte del ciclo de la energía, del hidrológico y de diferentes ciclos biogeoquímicos. Como ejemplo, consideremos cuánta energía y agua están circulando en este sitio (Instituto Reynolds Jr. Sr.) y analicemos el pH, que influye en los ciclos biogeoquímicos.

La luz del sol alcanza la superficie del río al igual que a los árboles, la hierba, y al pavimento de la orilla. Algo de la energía de esa luz calienta el agua y la superficie del suelo elevando su temperatura. La energía restante es refejada hacia la atmósfera. Dependiendo de la cobertura de nubes, algo de esa energía puede ser reflejada de nuevo hacia la superficie. El agua del río y del suelo se evapora, enfriando la superficie y liberando energía hacia la atmósfera. Cuando la temperatura del aire es menor que la de la superficie, el aire se calienta al contacto con la tierra y el agua. Cuando se cumple la condición contraria, la tierra y el agua se calientan en contacto con el aire. A medida que el suelo se calienta, la energía se almacena en él. Cuando un río fluye, éste lleva en el agua toda la energía acumulada en el calentamiento de aquella. De igual forma, el aire transporta en su seno toda la energía que ha podido acumular. La precipitación puede contener más frío o más calor que la superficie, y el intercambio de energía entre la lluvia o la nieve y la superficie también proporcionará calor o frío.

Las mediciones GLOBE le permiten seguir la pista a partes del flujo y almacenaje de la energía. Las medidas clave son las temperaturas del aire, de la superficie del agua y la del suelo. Con ellas se puede calcular el intercambio directo de energía entre la atmósfera y la superficie. Las medidas de la temperatura, de la humedad del suelo, y de la humedad relativa, posibilitan el cálculo de las tasas de evaporación de las superficies del agua y del suelo. Se puede comparar la energía que se pierde de la superficie a través de la evaporación, con el intercambio directo de calor con la atmósfera, y determinar en qué épocas uno es más significativo que otro. En el ciclo hidrológico, el agua se intercambia entre el aire, el río, el suelo, y la vegetación.

Figura TI-I-23: Fotografía del Sitio de Estudio de Hidrología en Reynolds Jr. Sr. High School en Greenville Pennsylvania USA con Anotaciones de Varias Interacciones entre los Elementos del Sistema Tierra



La precipitación se forma en la atmósfera y cae hacia la superficie, al agua, al suelo, a las plantas y al pavimento. El agua corre por el pavimento y se filtra en el suelo. Algo de agua fluye por la superficie o por el suelo hacia el río. Los árboles y las hierbas toman el agua por medio de sus raíces y la pierden por las hojas, que la liberan hacia la atmósfera. Algo de agua se evapora del suelo y de la superficie del río. Si esta superficie está más fría que el aire, la humedad de la atmósfera se condensará directamente sobre la superficie. El agua también fluye desde las partes altas hacia las más bajas, y desde río arriba hacia río abajo.

Las mediciones GLOBE de la precipitación consiguen captar la mayoría de los aportes de agua de la atmósfera. El flujo de agua del río se puede calcular si se sabe la pendiente del lecho del río, el perfil de profundidad a lo largo del río, y el nivel del agua. Algunos sitios hidrológicos están localizados sobre ríos,

donde el flujo se controla por agencias del gobierno, y esta información se puede obtener de una base de datos públicos. El contenido de agua en el suelo se puede calcular midiendo la porosidad del suelo y su humedad. Las tasas de evaporación se pueden calcular por la humedad relativa, y por las temperaturas del aire y de la superficie. Se puede ver como la humedad del suelo responde también a la precipitación y a los periodos de sequía. Se puede estudiar si el nivel del río se debe a la influencia local, o sobre todo, por lo que ocurre aguas arriba.

La composición química de la precipitación puede alterar la composición de las aguas del río y del suelo, y afectar la vida animal y de las plantas. También causa un impacto en la tasa de descomposición de la materia orgánica del suelo, de las rocas y de los minerales del lecho del río. El pH de la precipitación está determinado por los gases, y partículas disueltas en las gotas de lluvia y en los copos de nieve. El dióxido de carbono en el aire da a las precipitaciones un pH de alrededor de

5.6, mientras que otros constituyentes pueden dar más o menos valor. Las mayoría de los gases de combustión rebajan este valor, mientras que las partículas alcalinas del suelo, transportadas por el aire, aumentan el pH. Las reacciones químicas se producen en el suelo y en el agua del río también. Si la alcalinidad de ambos es alta, el pH no responderá significativamente a la diferencia con la de la precipitación, pero si es baja, el pH cambiará. Con el tiempo, el pH del suelo puede cambiar, debido a los efectos acumulativos de la precipitación. Por último, el pH del río refleja el pH del suelo de los alrededores, de la precipitación, y de las aguas de río arriba.

Las mediciones GLOBE del pH de la precipitación, de los horizontes del suelo, del agua superficial, y la alcalinidad de esta agua, posibilita el estudio de la pregunta acerca de cómo responde el pH del río a las precipitaciones y a las inundaciones. Más adelante, una base de datos de un centro escolar puede mostrar cambios en el pH del suelo. Las variaciones del pH a través del perfil del suelo pueden demostrar también como cambia el pH.

Los ciclos biogeoquímicos también fomentan el intercambio entre los diversos componentes del sistema terrestre. Ejemplos de estos incluyen:

Intercambios entre el aire y el agua:

- Tránsito de oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, vapor de agua (por la evaporación) y otros gases.

Intercambio entre agua y suelo:

- Retención de agua en el suelo.
- Filtración de agua a través del suelo hacia los cuerpos de agua o a las aguas subterráneas, transportando elementos químicos y partículas.
- Procesos residuales.

Intercambios entre el suelo y la cobertura terrestre:

- Uso del agua almacenada en el suelo, por las raíces de la cobertura terrestre.
- Uso de nutrientes acumulados en el suelo.
- Sustratos para las plantas.
- Mantenimiento del calor para las plantas y microorganismos.
- Aire para el intercambio de oxígeno y el dióxido de carbono durante la respiración y la fotosíntesis

Intercambios entre aire y la cobertura terrestre

- Proceso de evapotranspiración.

Intercambio entre aire y suelo:

- Procesos de precipitación y evaporación
- Transmisión de calor y energía
- Intercambio de gases producidos en el proceso de descomposición de materia orgánica y respiración microbiológica.

Las tasas de los intercambios de elementos químicos entre diferentes componentes del sistema Tierra, depende de una serie de factores. Estos incluyen el tipo de reacciones que ocurren dentro de los diversos componentes, la temperatura de los componentes, la concentración de gases en cada uno de los componentes y el movimiento de los componentes al punto de contacto que hace posible el intercambio.

La Tierra como un Sistema a Escala Regional

Los procesos que permiten que los componentes del sistema Tierra interactúen a escala local, como en un sitio de estudio hidrológico, pueden también actuar a escala regional. Ver Figura EA-I-24.

¿Que Define una Región?

La escala regional es más grande que la local y se caracteriza de forma general por algún rasgo o rasgos que la diferencian de las regiones vecinas. Pueden definirse de formas diferentes. Pueden tener fronteras naturales, construidas por el hombre o límites socio políticos. Algunos ejemplos de regiones son:

Naturales

- Una divisoria hidrográfica
- Una cadena montañosa
- La cuenca de un río
- Un desierto
- Una llanura
- Una península

Fronteras construidas por el hombre

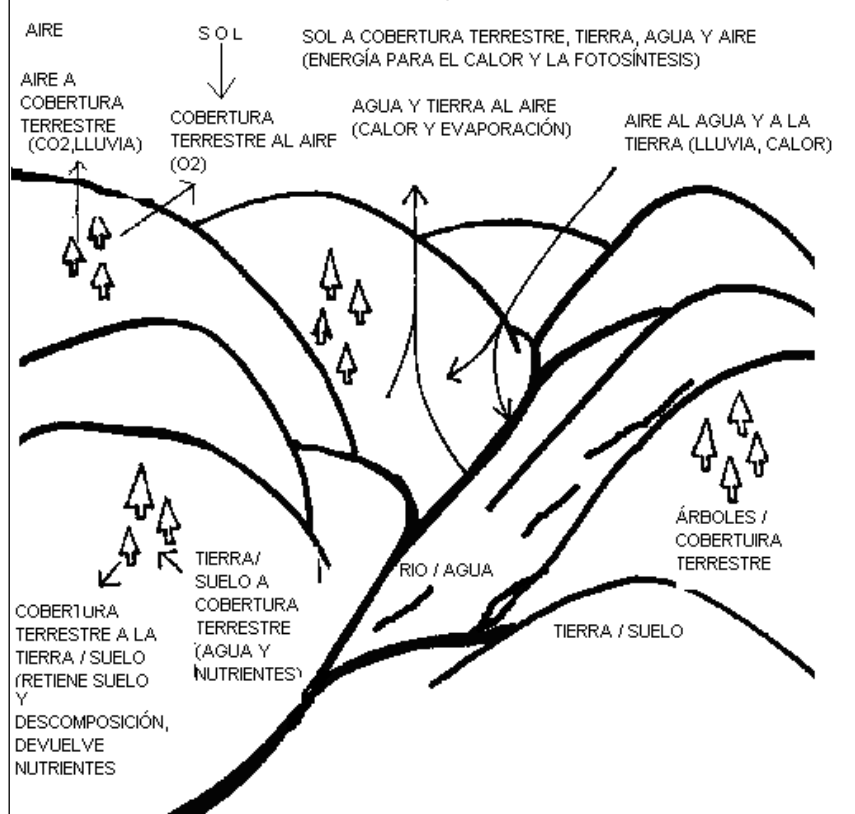
- Una divisoria hidrográfica en la que el límite es una presa.
- Un área más grande que un sitio local de estudio, limitada por autopistas, carreteras y puentes.
- Un área natural rodeada por regiones pobladas, o una región poblada rodeada por un área natural.
- Un parque o un coto de caza

Límites socio/políticos

- Un estado o provincia
- Un país

Muchos de los procesos que causan las interacciones entre los diferentes componentes del sistema Tierra a escala regional, son los mismos que los de la escala local. Sin embargo, para cuantificar la magnitud de los procesos, se deben hacer mediciones en numerosos lugares en toda la región. Por ejemplo, si se quiere estudiar el efecto isla del calor urbano, las medidas de la temperatura, son necesarias tomarlas tanto en el

Figura EA-I-24: Diagrama del Sistema Tierra a Escala Regional Indicando las Interacciones entre los Diversos Componentes



área urbana como en el campo que la rodea. Además, las temperaturas diferirán entre las zonas con césped, con plantas, y árboles, y aquellas totalmente cubiertas por edificios, y pavimento; lo que se observa en un área primordialmente residencial puede diferenciarse de lo que se observa en un área comercial o industrial. Por lo que para obtener la representación de un área urbana completa, se necesitan mediciones de múltiples sitios y de diferentes secciones dentro de un entorno urbano.

De la misma manera, podemos imaginar que se quiere desarrollar un modelo hidrológico para la cuenca de un río, que fluye en un estuario a lo largo de la costa, y los únicos centros escolares GLOBE en la divisoria están situados cerca de la boca del río (donde penetra en el estuario). Utilizar sólo estos datos para toda la divisoria, puede llevarnos a inexactitudes, porque la temperatura, la precipitación, los tipos de suelo y sus texturas, así como la cobertura terrestre, entre otras cosas, pueden diferir en gran medida en toda la divisoria. Las mediciones deben cubrir toda la divisoria para darnos un modelo preciso. La falta de cobertura espacial para muchas informaciones es un problema al que los científicos tienen que enfrentarse. Algunas veces una aproximación es lo mejor que un científico puede hacer con datos limitados. De aquí, que cuantos más centros GLOBE haya recogiendo datos, mejor es la información que se obtiene. .

Aportes y Pérdidas

Para entender el sistema Tierra a escala regional se debe considerar los aportes y las pérdidas de la región, además de las interacciones entre los componentes dentro de la misma región. Ver la Figura EA-I-25. La región puede estar de alguna manera cerrada en el sentido que el agua no se va de ella, o puede estar abierta con ríos que fluyen por ella. La atmósfera siempre traerá aportes de fuera y transportará las pérdidas fuera de la región, incluyendo energía, vapor de agua, indicios de elementos químicos, y aerosoles. El aire también transporta el sistema climático dentro y fuera de la región, afectando a la temperatura del aire, la cobertura de nubes, y la precipitación.

Los aportes y las pérdidas atmosféricas pueden afectar en gran medida a una región. El aire penetra en la región trayendo algunas características ajenas, como pueden ser, humo proveniente de una planta industrial o de la combustión agrícola, semillas de un bosque

o de pastos, así como la humedad evaporada de ríos o lagos. El impacto de estas características sobre su región debe ser considerada. Del mismo modo, lo que deja su región en la atmósfera influirá en otras regiones. A medida que la atmósfera se desplaza, transporta gases que se producen en una región a otra, donde no existen fuentes locales de estos elementos químicos. Los peores ejemplos de contaminación del aire ocurren cuando el aire es retenido, normalmente por montañas o por una *capa de inversión* (una capa de aire en la que la temperatura aumenta a medida que se asciende) de la atmósfera. El viento también puede transportar grandes cantidades de humedad y polvo de una región. Columnas de polvo sahariano son muy prominentes en algunas épocas, tanto, que pueden verse en las imágenes de nubes de los satélites como el polvo es arrastrado hacia el Océano Atlántico.

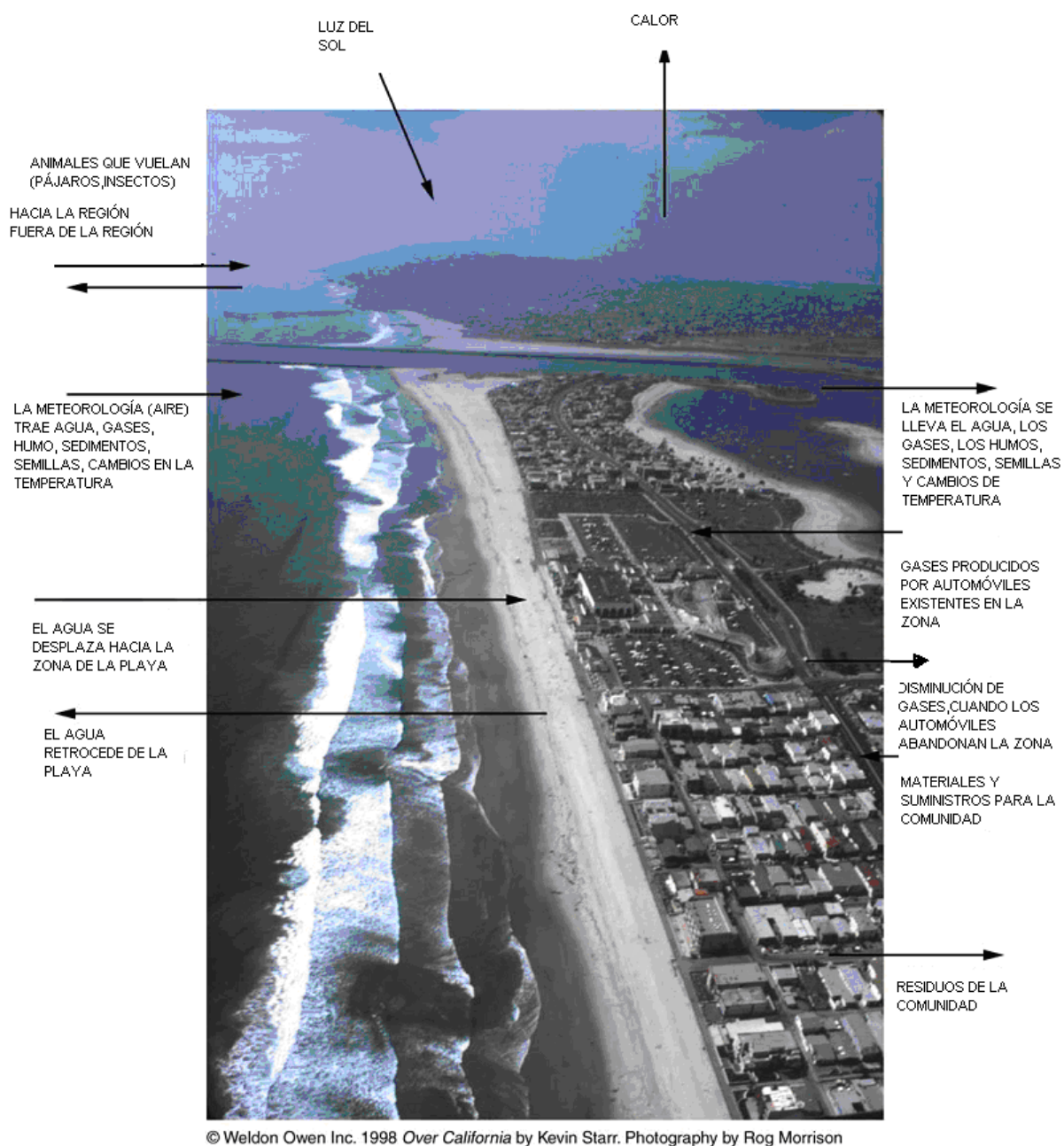
Los centros escolares GLOBE de toda una región, pueden cooperar para obtener una visión completa de los ciclos de energía y agua dentro de la región, y seguir la pista a algunas partes de los ciclos biogeoquímicos. En una divisoria hidrográfica los factores medidos en el agua superficial de los arroyos, de los lagos y de los ríos ,se pueden volver a medir en una variedad de lugares distintos. Estas características están fuertemente influenciadas por el microclima de la región, que se cuantifica mediante las mediciones de temperatura del aire y la precipitación, así como las características del suelo, que pueden variar a través de la cuenca y que necesitan ser medidas en distintos tipos de espacios y coberturas terrestres. . Los centros escolares pueden combinar sus imágenes Landsat para obtener una visión completa de la región por satélite, convirtiéndose en una base para un mapa completo de cobertura terrestre regional. La dinámica de las cuencas puede ser estudiada utilizando las mediciones GLOBE de eventos meteorológicos específicos, humedad del suelo y tasas de filtración, y cualquier información disponible sobre el flujo de los arroyos y de los ríos.

La Tierra como Sistema a Escala Continental / Global

Las actividades de aprendizaje de este capítulo están diseñadas para ayudar a los estudiantes a entender las escalas espaciales más grandes del Sistema Tierra, centradas en una escala continental. Esta es la escala práctica más grande para obtener un estudio significativo de datos GLOBE, aunque se podría considerar la escala regional más grande. La escala global comprende toda la Tierra,

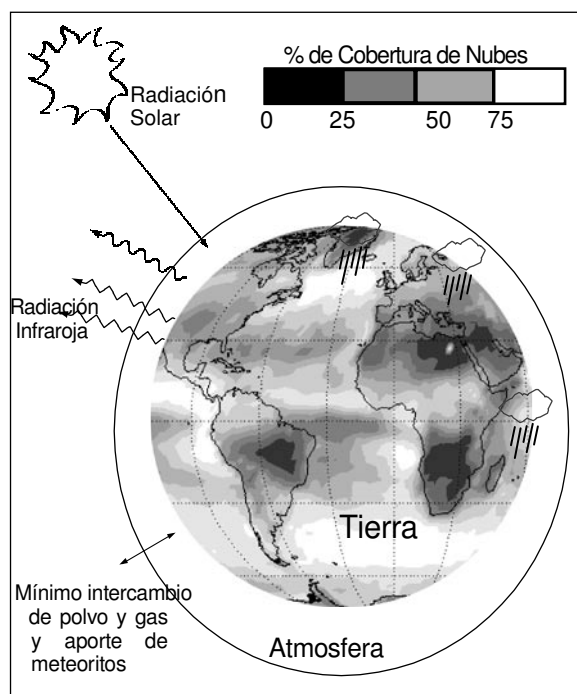
incluyendo toda la atmósfera, la hidrosfera,

Figurá EA-I-25: Fotografía del Sistema Tierra a Escala Regional con sus Aportes y sus Pérdidas



pedosfera, criosfera, y biosfera. Si se incluye también el interior del planeta, a esta escala, la Tierra es casi un *sistema cerrado*, en el que no entra ni sale materia alguna. Nota: un *sistema aislado* es aquel en el que no entra ni sale *energía* ni materia. Ver la Figura EA-I-26. De hecho, el sistema Tierra es cerrado excepto por el aporte de energía del sol, la pérdida equilibrada de energía hacia el espacio exterior, la mínima pérdida de hidrógeno en la parte alta de la atmósfera y el continuo aporte de gases, polvo, y meteoritos del espacio, y de los escasos satélites que se han enviado más allá de la órbita de la Tierra. La ciencia del estudio del sistema Tierra también trata de los aportes de gases, energía, polvo y lava del interior de la Tierra y del reciclaje de material de la corteza y del manto exterior, como aportes externos y pérdidas de un sistema casi cerrado. Estos intercambios con el interior del planeta tienden a ocurrir a escalas de tiempo de diez mil a un millón de años (años geológicos) o suceder casi de manera instantánea e impredecible. Estos últimos fenómenos, en particular grandes erupciones volcánicas, trastornan las predicciones del clima a corto plazo.

Figura EA-I-26: Diagrama de la Tierra como un Sistema Casi Cerrado



¿Como Interactúan las Escalas Local, Regional y Global?

En el seno del sistema Tierra global, las escalas local y regional contribuyen en la forma que tienen de interactuar cada uno de los componentes (atmósfera, aguas abiertas, criosfera, suelo y vegetación) como un todo a escala global. Estas interacciones ocurren a escalas diferentes en el tiempo, siendo sus características propias las que fijan que procesos o eventos ocurrirán.

Todas las mediciones GLOBE se hacen a escala local, pero muestran los fenómenos a varias escalas de tiempo. Las temperaturas máximas y mínimas del aire se tratan a escala de un día, mientras que la altura y la circunferencia de los árboles indican un crecimiento en un ciclo anual, y las características de un perfil de suelo pueden documentar las consecuencias de miles de años. La mayoría de las actividades de aprendizaje implican escalas locales y de corto tiempo. Sin embargo, algunas de ellas, tales como la de este capítulo, amplían la perspectiva a una escala regional y global, para ayudar a comprender cómo los entornos a escala local encajan en los contextos regional y global. Estas escalas implican variaciones en periodos largos y cortos de tiempo. Hoy las mediciones GLOBE sólo cubren unos pocos años, y contribuyen principalmente en los estudios de procesos y fenómenos actuales. Finalmente, a medida que se extiende la base de datos GLOBE en el tiempo, las mediciones ayudarán a estudios científicos a escalas más largas de tiempo, de décadas a siglos, donde se encuentran actualmente las principales inquietudes con respecto al cambio climático.

Las secciones siguientes describen los distintos componentes del sistema Terrestre, en un contexto de escala global. Entender estos procesos en esta escala espacial mayor, ayudará a comprender por completo el contexto de los sitios de estudio local, y cómo el sistema Tierra los conecta todos.

Los Componentes del Sistema Tierra a Escala Global: La Atmósfera (Aire)

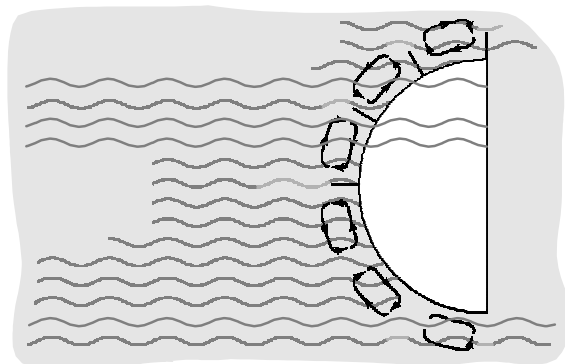
La atmósfera es la envoltura gaseosa de la Tierra. Las propiedades locales de la baja atmósfera varía en escalas de tiempo de minutos a estaciones y años. Los vientos cambian de velocidad y de dirección, las nubes se forman y se desvanecen, caen las precipitaciones, la humedad viene y va, gases como

el ozono se acumulan y luego desaparecen, y la temperatura del aire aumenta y disminuye. Estas variaciones locales son causadas por los ciclos diarios y anuales de la luz solar y algunos cambios en la circulación oceánica tales como El Niño/ Fluctuación Meridional. Toda la estructura y composición de la atmósfera cambia más lentamente, en escalas de tiempo que varían entre una década y millones de años

Como ilustra la Figura EA-I-6, los trópicos reciben más energía del sol por unidad de superficie que las zonas templadas o los polos. De hecho, aunque los trópicos, más cálidos, irradian más calor al espacio que las latitudes altas, los trópicos reciben más energía del sol que la que irradian. ¿Dónde va a parar este exceso de energía? La circulación de la atmósfera y de los océanos se lleva esta energía, en forma de calor, a latitudes más altas.

Si consideramos la media de desplazamiento norte-sur de la atmósfera, el aire caliente del Ecuador sube y se desplaza hacia los polos. Aproximadamente a los 30° de latitud, el aire se enfría, cae, y se desplaza hacia el Ecuador, más cerca de la superficie. Un patrón similar se da en las zonas polares, con el aire desplazándose hasta aproximadamente los 60° de latitud y cayendo hacia los polos. Las zonas tropical y polar, encierran las zonas templadas y controlan sus patrones de circulación. Como resultado, el aire en las zonas templadas se mueve en dirección a los polos en latitudes bajas, sube hasta casi los 60°, vuelve hacia el Ecuador y baja de nuevo hacia los 30°. La interacción de las masas de aire cálido y frío entre los 30° y 60° de latitud, produce la sucesión de un sistema de bajas presiones (tormentas) y altas presiones (buen tiempo) que se desplazan de oeste a este en las latitudes medias. Ver Figura EA-I-27.

Figura EA-I-27 Circulación General Atmosférica



Los Componentes del Sistema Tierra a Escala Global: La Hidrosfera (Cuerpos de Agua)

La hidrosfera abarca todos los cuerpos de agua de la Tierra incluyendo el agua subterránea. A escala global, son los océanos y los grandes mares los que importan. Las escalas de tiempo pueden variar desde un mes para las aguas de superficie, hasta más de mil años para la circulación en la profundidad del océano.

El océano recibe la energía de la luz del sol transmitida a través de la atmósfera. El *albedo* (índice de reflexión) de los océanos es relativamente bajo, alrededor de 0.1, lo que significa que el 90% de la radiación solar que incide sobre el océano es absorbida. Los océanos también intercambian radiación de onda corta (infrarrojo térmico) con la atmósfera.

Circulación Oceánica

Ocurre por medio de dos procesos básicos. El primero es la circulación horizontal de las aguas de la superficie, que se desplazan por fuerzas producidas por el viento de superficie. Esta circulación se conecta con la circulación en profundidad (halotérmica) que se produce por las diferencias de densidad en el agua del mar, debidas a los cambios de temperatura y de salinidad. Durante el invierno en las zonas polares, las superficie del océano se enfrían y forman masas de hielo. A medida que el agua se congela, la mayoría de la sal se disuelve en el agua líquida. Este aumento de la salinidad, en particular en el Atlántico Norte, hace que el agua de superficie sea lo suficientemente densa para que se hunda y se convierta en aguas profundas, que fluye hacia el ecuador y finalmente retorna a la superficie. Los científicos denominan esta circulación global del agua del océano, un cinturón de transporte que conecta las aguas de superficie con las del fondo en los Océanos Atlántico, Pacífico, e Índico. Ver Figura EA-I-28.

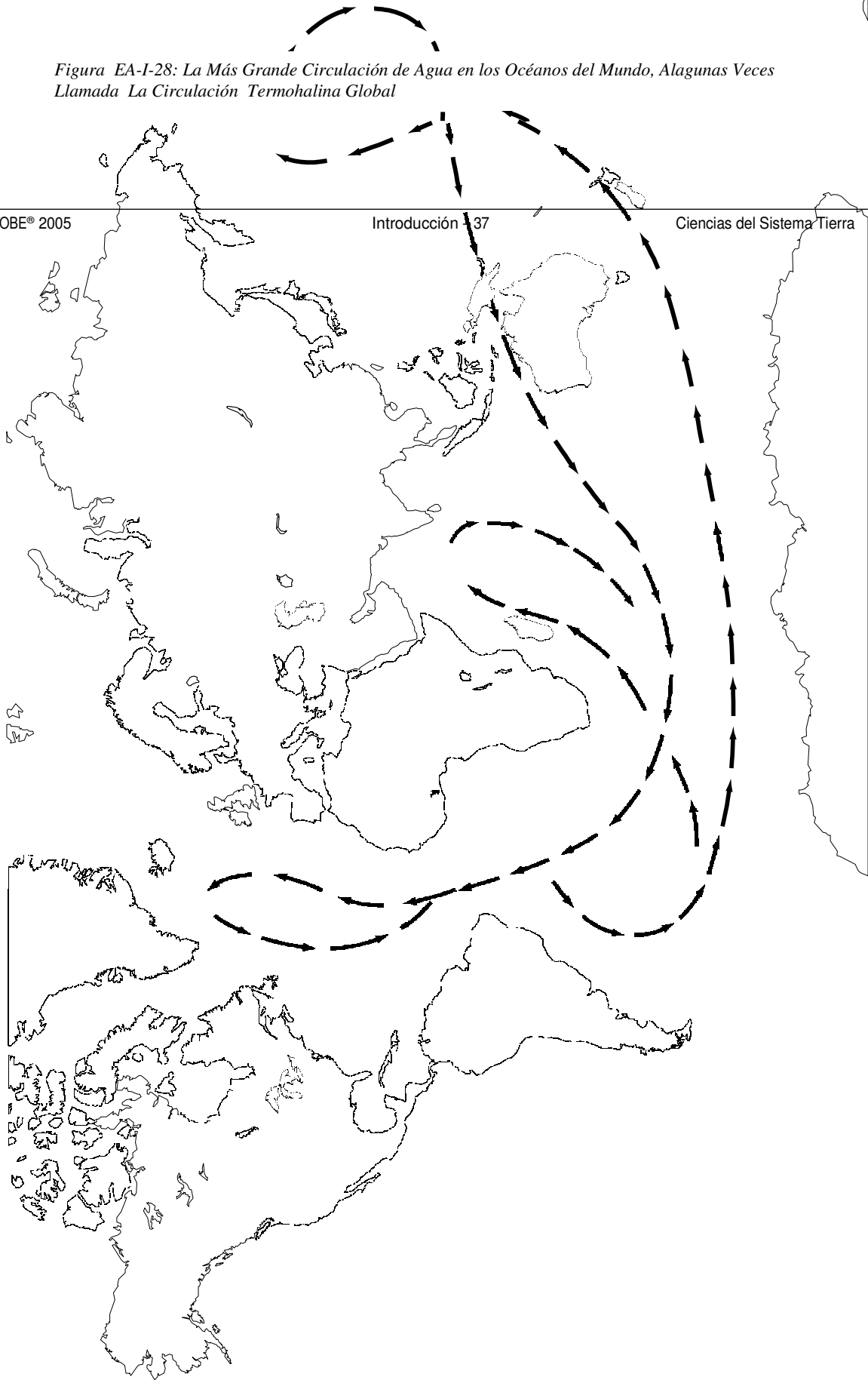
La superficie del océano está en contacto directo con la atmósfera. Grandes intercambios de aerosoles y gases tienen lugar en estos límites. Los gases, más abundantes en la atmósfera, como el dióxido de carbono, se toman por el agua del océano, mientras que los que se forman en el océano, como el bromometano, es tomado por el aire, que son las mayores fuentes naturales para el rastreo de gases atmosféricos. Estos procesos ocurren mucho más rápidos que la circulación termohalina de los océanos. Las aguas superficiales de los

Figura EA-I-28: La Más Grande Circulación de Agua en los Océanos del Mundo, Algunas Veces Llamada La Circulación Termohalina Global

GLOBE® 2005

Introducción 37

Ciencias del Sistema Tierra



mares de hoy está en equilibrio con la composición actual de la atmósfera, pero los gases disueltos en las aguas profundas reflejan las condiciones atmosféricas de hace aproximadamente 1500 años. A través de esta gradual vuelta del agua del océano, los gases como el dióxido de carbono, cuyas concentraciones atmosféricas se han incrementado en los últimos 1500 años, se absorben gradualmente por los océanos, disminuyendo su presencia en el aire.

Actividad Biológica

La actividad biológica es influida también por los patrones de la circulación en todo el globo. Existen áreas donde se produce un afloramiento (*upwelling*), que es el proceso por el que las aguas profundas, frías y ricas en nutrientes suben a la superficie. El *fitoplancton*, plantas microscópicas flotando en el agua, forma la base de la cadena alimenticia del océano, y su abundancia limita las poblaciones de la mayoría de las demás criaturas del océano. En las superficies en donde faltan nutrientes, el crecimiento y la reproducción del fitoplancton está limitado. Las áreas donde ocurre el afloramiento, por lo general son ricas en nutrientes y altamente productivas, y poseen una gran industria pesquera.

La actividad biológica de los océanos juega un papel principal en el ciclo global del carbono. El fitoplancton de las aguas de la superficie toma el carbono por medio de la fotosíntesis. Algo de materia orgánica muerta, como conchas de organismos microscópicos o restos fecales de animales, caen a través de la columna de agua al fondo del océano y se entierran con los sedimentos. Aquí en la profundidad del océano, el carbono de la materia orgánica es básicamente arrebatado a la atmósfera.

Componentes del Sistema Tierra a Escala Global: La Criosfera (Hielo)

El Papel de la Criosfera en la Transmisión de Energía

La criosfera es el componente de agua sólida en el Sistema Tierra. Las dos formas principales de hielo son hielo marino y hielo continental. Cada uno puede estar cubierto de nieve. El hielo tiene un albedo (índice de reflexión) que varía de 0.5 a 0.8. Es generalmente más alto que lo que hay debajo de él. El albedo de la nieve recién caída es incluso más alto, hasta 0.9. De esta manera, donde el hielo cubre la tierra, la superficie refleja hacia el espacio más de la mitad de la radiación solar recibida. El hielo y la nieve también aíslan la superficie de la Tierra, limitando la evaporación, que extrae de la atmósfera la principal fuente de calor.

Hielo Marino

Es agua de mar congelada. Si el agua está muy salada, como la del mar y los océanos, durante el proceso de congelación la sal permanece en el agua, haciendo que el agua sea más densa y el hielo menos salado. El hielo flota en la superficie del mar/océano y su tamaño varía desde delgadas capas de hielo recién formadas y que apenas cubren la superficie, hasta hielo espeso, que ha perdurado durante muchos años, y puede medir hasta 10 metros de espesor. Sin embargo, el espesor medio es de 3 metros en el Ártico y 1.5 metros en el Antártico. Influidos por la fuerza del viento y las corrientes marinas, el hielo se rompe y se desplaza. Este proceso expone áreas de aguas relativamente cálidas al frío de la atmósfera durante el invierno. En invierno esto permite un gran intercambio de energía de los océanos de altas latitudes, donde la temperatura está cerca del punto de congelación, con la atmósfera, donde las temperaturas del aire están muy por debajo de cero.

El hielo marino posee un largo ciclo estacional, y varía en la escala de tiempo desde unas pocas semanas a unos meses. La magnitud de estos cambios estacionales es muy sensible a las condiciones climáticas en la atmósfera y en los océanos, ampliando las escalas de tiempo, asociadas con las variaciones de hielo marino, de meses a decenas de miles de años, que son la escala de tiempo para épocas de glaciación.

Hielo Continental

Incluye placas de hielo como los de la Antártida (hasta 4 Km de espesor) y Groenlandia (hasta 3 km) y los glaciares (entre 10-100 m de espesor). La mayoría del agua dulce sobre la Tierra se congela en estos tipos de placas de hielo. Se forma por la acumulación de nieve en la superficie y por compresión se transforma en hielo. Este proceso es muy lento comparado con los cambios del hielo marino. La variación en escala de tiempo de las placas de hielo van desde meses (para el rápido desplazamiento de los glaciares) a decenas de miles de años. Estas variaciones más largas se asocian con épocas de glaciación.

Incluso cuando se congela, el agua todavía fluye de las montañas al océano. Cuando la nieve cae en invierno, se funde en primavera, y se forman torrenteras en las montañas, que fluyen en un arroyo, para después formar un río, y finalmente van al océano; este viaje del agua se completa en aproximadamente un año o menos. Si la nieve cae sobre un glaciar, el viaje es más largo y dura muchos años. Las capas profundas

de la placa de hielo de Groenlandia, que se han examinado, muestran registros de las condiciones que existían cuando nevaba hace 250.000 años y son una fuente muy importante de información sobre los cambios climáticos a largo plazo.

Componentes del Sistema Tierra a Escala Global: La Pedosfera (Suelo)

La *pedosfera* es la parte de superficie de la Tierra cubierta por capas de materia orgánica, de rocas erosionadas y de minerales de tamaño inferior a 2.0 mm, junto con organismos que viven en estas capas. La temperatura de la superficie de la pedosfera responde rápidamente a los ciclos diarios y estacionales de la temperatura del aire, variando su escala de tiempo de horas a meses. El albedo del suelo desnudo tiene de media aproximadamente 0.3, lo que significa que absorbe el 70% de la radiación solar que alcanza el suelo. Sin embargo, existen muchos tipos de suelo, y varía de sitio en sitio y de estación en estación. La vegetación cubre muy a menudo la superficie Tierra, interceptando la luz del Sol antes de que llegue al suelo. Al igual que la atmósfera y el océano, existen movimientos entre la pedosfera y la litosfera, que actúan redistribuyendo la energía que se recibe del sol. Los procesos de conducción, convección, y radiación, intervienen en el suelo para redistribuir la energía en su ámbito. El ritmo y la cantidad de la distribución depende de las propiedades del suelo, como la distribución de las partículas por tamaño, la densidad total, el contenido de agua, y el contenido de materia orgánica.

La pedosfera es el resultado de la interacción de los cinco factores que forman el suelo: material madre (el mineral o materia viva primigenia de la que se deriva el suelo), el clima (tanto macro como microclima), la topografía (pendiente, posición, y aspecto), biota (plantas, animales, incluyendo a los humanos, y todos los demás organismos), y el tiempo en el que cada uno de los demás factores interactúan. Ocurren cuatro procesos principales como respuesta a los factores que forman el suelo: adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones. Los procesos de adición incluyen aportes como el calor, la energía, el agua, nutrientes, materia orgánica, o depósito de materiales. Pérdidas de energía y calor, agua, nutrientes de plantas o de filtraciones, y también tienen lugar la erosión de materiales.

La transferencia ocurre cuando los materiales del suelo, como el agua, barro, hierro, nutrientes de plantas, o materia orgánica se trasladan de un horizonte a otro. Por último, las transformaciones incluyen las variaciones de los constituyentes del suelo, de una forma a otra en el seno del suelo, como el agua en hielo, partículas grandes en pequeñas, materia orgánica en humus, y hierro oxidado en hierro reducido. Cada uno de los cinco factores y los cuatro procesos correspondientes, producen un perfil de suelo, con unas características y atributos específicos.

En buenas condiciones de drenaje, cuando la respiración de los organismos y raíces del suelo es óptima, se produce una gran cantidad de CO_2 . Este porcentaje en el suelo puede ser de un 10% más grande que en la atmósfera por encima del suelo. Este CO_2 del suelo es una fuente para la atmósfera, ya que se esparce por la parte superior de la superficie, o es liberado cuando el suelo es arado, o en otros procesos de renovación. La respiración es la única fuente de CO_2 del suelo para la atmósfera. La materia orgánica del suelo, en descomposición, proporciona otra gran fuente de suministros para la atmósfera de CO_2 y de CH_4 . El nitrógeno es el elemento más abundante en la atmósfera, pero no en una forma que esté accesible para las plantas, y a menudo es el nutriente más restrictivo para el crecimiento de las plantas. Los organismos del suelo y ciertos procesos ayudan a convertir el N_2 atmosférico en una forma que las plantas puedan utilizar. Estas formas son los nitratos (NH_3) o los amonios (NH_4). Otros organismos convierten las formas orgánicas del nitrógeno de los restos de animales y plantas en formas utilizables por las plantas. El nitrógeno también se puede extraer del suelo y convertirse en una fuente de nitrógeno para la atmósfera, el terreno o el agua superficial.

Componentes del Sistema Tierra a Escala Global: Vegetación Terrestre

Las plantas terrestres conectan el suelo y la atmósfera. Las plantas individuales forman esta conexión en una escala de tiempo que va desde pocas semanas hasta más de 1000 años. Sin embargo, la vegetación terrestre en su totalidad, afecta al sistema Tierra en una escala de tiempo que va desde las estaciones hasta muchos miles de años. A medida que las plantas se desarrollan, dan nueva forma al entorno que las rodea. Protegen la superficie, detienen el viento, bloquean la precipitación, bombean agua del suelo a la superficie, extraen nutrientes del suelo y algunos indicios de

gases del aire, protegen al suelo contra la erosión, y siembran el suelo con hojas y ramas que finalmente aumentan el contenido orgánico del suelo. De esta forma, la vegetación juega un papel significativo en los ciclos de la energía, del agua y de los ciclos biogeoquímicos. La expansión y crecimiento de los bosques en particular, extrae el dióxido de carbono de la atmósfera en grandes cantidades.

Objetivos Didácticos

Los estudiantes que participan en las actividades presentadas en este capítulo, deberían obtener destrezas de investigación científica y un conocimiento de cierto número de conceptos científicos. Estas habilidades incluyen el uso de una variedad de instrumentos específicos y técnicas para realizar mediciones, el análisis de los datos resultantes, junto con un enfoque general de cómo realizar las investigaciones. Las destrezas de investigación científicas enumeradas en la sección gris del capítulo, se basan en la suposición de que el profesor ha completado el protocolo que incluye la sección de *Observando los Datos*. Si esta sección no se ha visto, no se cubrirán todas las Destrezas de Investigación. Los Conceptos de Ciencia que se incluyen están recogidos en los Estándares de Educación Nacional de Ciencia de los Estados Unidos, como se recomienda por el Consejo de Investigación Nacional de Los Estados Unidos, e incluyen aquellas destrezas para la Ciencia de la Tierra y del Espacio y Ciencias Físicas. Los Conceptos Geográficos se toman de los Estándares Geográficos Nacionales preparados por el Proyecto de Estandares de Educación. Los Conceptos de Enriquecimiento Adicional específicos a las mediciones de la atmósfera, también se han incluido. La sección gris al principio de cada protocolo o actividad de aprendizaje, proporciona los conceptos científicos clave y las habilidades de investigación científica que se contemplan. Las tablas siguientes son un resumen que indican los conceptos y destrezas que se contemplan en cada uno de los protocolos o actividades de aprendizaje.

PROTOCOLOS



Protocolo de Apertura de Yemas

Los estudiantes seleccionarán árboles en su Sitio de Estudio de Cobertura Terrestre o Sitio Fenológico para observar la apertura de las yemas.

Protocolo de Foliación

Los estudiantes observarán la apertura de las yemas y el desarrollo de las hojas de los árboles, arbustos y las plantas seleccionadas.

Protocolo de Caída de las Hojas (Senescencia Foliar)

Usarán la Guía de Color de Plantas GLOBE para observar el cambio de color de las hojas seleccionadas de los árboles, arbustos y plantas.

Protocolo del Colibrí de Garganta Rubí (RTHU)**

Los alumnos observarán la llegada y salida de los Colibríes de Garganta Rubí, controlando las visitas a las flores y a los comederos, así como observando su comportamiento de anidamiento.

Protocolo de Fenología de Lilas*

Registrarán las cinco fases fenológicas de las lilas comunes o de sus clónicas.

Protocolo de Jardines Fenológicos**

Los estudiantes diseñarán un jardín y observarán durante todo el año, el florecimiento y las fases del desarrollo de las plantas especificadas

Protocolo de Fenología de Reproducción de las

Algas. Los alumnos recogerán especies de algas específicas y observarán las fases fenológicas reproductivas de las algas.

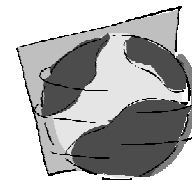
Protocolo de Observación de la Migración de Aves del Ártico*

En el transcurso de un año, los alumnos observarán el momento de la llegada de las especies de aves migratorias especificadas, y contarán sus ejemplares, hasta que ya no se vea ninguno.

* Véase la versión electrónica completa de la Guía del Profesor, disponible en la Web de GLOBE y CD-ROM.

** Bajo petición, existe una versión impresa para las escuelas, en las áreas donde se puede realizar el protocolo. Los protocolos y los materiales pertinentes están también disponibles en la versión electrónica de la Guía del Profesor en la Web de GLOBE y CD-ROM.

Introducción



¿Por Qué Estudiar Fenología?

Cada año, al mejorar las condiciones para el crecimiento de las plantas, una oleada de color verde se extiende sobre la superficie terrestre, (foliación), para más tarde volver a desaparecer, cuando esas mismas condiciones empeoran (senescencia foliar). Estas olas son importantes porque están directamente relacionadas con la fijación global del carbono y la cantidad de dióxido de carbono (CO_2) en la atmósfera. El periodo entre la foliación y el marchitamiento o senescencia, se conoce como periodo vegetativo, y los cambios en la duración de este periodo vegetativo, podrían indicar un cambio climático global. Por ejemplo, algunos científicos han descubierto que las estaciones vegetativas se han incrementado en las latitudes septentrionales en ocho días desde principios de 1980. Sin embargo, sus conclusiones son controvertidas, porque sólo se basan en datos recogidos por los satélites. Las observaciones sobre el terreno de los florecimientos de las plantas y su marchitamiento, necesitan dar validez a estos cálculos.

Por Qué Tomar Medidas Fenológicas

Los cálculos se basan en datos tomados desde una distancia remota, y el cúmulo de nubes, grandes, pequeñas, la neblina atmosférica, y otras perturbaciones atmosféricas, afectan los valores de floración que los satélites detectan. Otros factores, como el ángulo del sol en latitudes altas, el cambio de este ángulo con las estaciones, escaso campo de visión, y la edad de los detectores del satélite pueden afectar los cálculos científicos también. Las observaciones de los estudiantes GLOBE, son el único medio global, a nivel del suelo, para las observaciones fenológicas de las plantas, y ayudan a los científicos a dar validez a sus cálculos sobre el cambio de la estación vegetativa a nivel global, derivados de los datos de los satélites.

La Gran Imagen

La Fenología es el estudio de la respuesta de los organismos vivos a los cambios estacionales y climáticos que ocurren en su entorno. Los cambios estacionales incluyen variaciones en la duración del día o de la luz solar, las precipitaciones, la temperatura, y otros factores que influyen en la vida. Esta investigación se centra en la fenología de las plantas durante su foliación y su senescencia. El periodo vegetativo se corresponde generalmente con el periodo entre estos dos factores, que pueden ser utilizados, para estudiar patrones seguidos por la vegetación, tanto regionales como globales, tendencias de año en año, y sus respuestas a los cambios climáticos.

La foliación de las plantas comienza cuando el letargo (estado suspendido de desarrollo y metabolismo) se interrumpe por las condiciones ambientales, tales como el aumento de las horas de luz solar, el incremento de la temperatura en las regiones templadas, y temperaturas más bajas y lluvias en las áreas semidesérticas y desérticas. A medida que las plantas empiezan a florecer, la clorofila de las hojas absorbe la luz del sol para la fotosíntesis. La fotosíntesis fija los átomos de carbono para formar el tejido de la planta. Para ayudar en el desarrollo de modelos precisos de dióxido de carbono atmosférico, los científicos necesitan información precisa sobre el tiempo y la duración de la foliación **global** (si la fotosíntesis está en marcha durante el día). Esto es de particular importancia, ya que la duración de la estación vegetativa parece haberse incrementado de forma dramática en algunas partes del globo. El control de este incremento es importante para detectar cambios climáticos y para el conocimiento de ciclo del carbono, uno de los ciclos biogeoquímicos claves, comentados en la introducción. A medida que las plantas realizan la fotosíntesis, el agua recogida del suelo por sus raíces, pasa por sus tallos, y a través de sus hojas es devuelta a la atmósfera. Esto afecta a la temperatura atmosférica, a la humedad del aire y del suelo. Con la senectud foliar, la transpiración de las plantas disminuye, las plantas reducen la pérdida de agua cuando el suministro de ésta es mínimo para las plantas caducifolias, y durante las sequías en las plantas desérticas.

Por lo tanto, el conocer la fecha de la foliación y de la senescencia foliar, es importante para una total comprensión del ciclo global del agua. Los científicos utilizan también los datos de la foliación recogidos por los satélites, para prevenir el peligro del fuego. Un área de vegetación densa representa menor peligro que un área con menor densidad de vegetación. Los científicos que estudian la migración de los animales, como por ejemplo, el caribú, utilizan estos indicadores de vegetación para comprender los patrones de migración de los animales.

Como ya se ha comentado en *Cobertura Terrestre/Investigación Biológica*, las plantas verdes sanas, reflejan mucho más las ondas cercanas a los infrarrojos de la luz del sol, que la luz visible. Los sensores remotos científicos utilizan la reflexión de la luz visible e infrarroja valorada por los satélites, para elaborar un índice de la vegetación. Disponemos de datos nuevos y más fiables a través del MODIS (Espectrómetro de Imágenes de Definición Moderada), instrumento a bordo del satélite Terra de la NASA, puesto en órbita en Diciembre de 1999. Este satélite es parte de un esfuerzo internacional coordinado para utilizar cuantos satélites e instrumentos se pueda para el estudio global del ambiente.

Sin embargo, los científicos necesitan las observaciones GLOBE de los estudiantes de fenología

de las plantas para ayudarles a confirmar los datos de la vegetación en todo el mundo, tomados por éstos y otros sistemas vía satélite.

Logística de las Mediciones

GLOBE respalda tres protocolos fenológicos de plantas: Los Protocolos de Foliación y de Apertura de Yemas están muy relacionados pero diseñados para situaciones muy diferentes. La Foliación y la Senescencia poseen los mismos requisitos de ubicación. El Protocolo de Apertura de Yemas es más apropiado si se dan una o más de las siguientes condiciones.

1. Los estudiantes no pueden observar las yemas de los árboles para medir la longitud de las hojas con una regla como se precisa para la Foliación.
2. Su escuela estará de vacaciones de verano antes de que todo el ciclo de la Foliación se complete. Esto puede ocurrir para las escuelas localizadas en climas muy fríos, donde la llegada de la primavera es muy tardía. (Si el tiempo lo permite, los estudiantes podrían realizar la evaluación de Senescencia, cuando la escuela comience en Otoño)
3. El profesor puede no querer comprometerse el tiempo extra que se necesita para la Foliación. La Foliación y la Senescencia permiten un análisis cuantitativo en profundidad de la fenología de las plantas.

Protocolo	Apertura de Yemas	Foliación	Senescencia Foliar
¿Qué procedimientos se han realizado?	Observar e informar fechas de la foliación	Observar e informar fechas de foliación y desarrollo de las hojas	Observar e informar fechas del cambio de color en la senectud
¿Dónde se han realizado los procedimientos	El Sitio de Estudio de Fenología de Plantas; es conveniente que se encuentre próximo a los Sitios de Atmósfera, Humedad de Suelos, y de Temperatura		
¿Cuándo se han realizado los procedimientos?	Dos veces por semana, comenzando al menos dos semanas antes de la apertura inicial, para luego continuar realizándolos a diario, hasta que se observe la apertura en distintos lugares del árbol	Dos veces por semana, comenzando al menos dos semanas antes de la apertura inicial, hasta que termine el crecimiento de las hojas	Dos veces por semana, comenzando al menos dos semanas antes del comienzo de la senescencia hasta que se complete el cambio de color, o se caigan todas las hojas
¿Qué equipo se ha necesitado?	Hojas de Datos, y manuales de identificación de plantas	Marcadores permanentes, reglas con escala en milímetros, brújula, cámara, Hojas de Datos, manual de identificación de plantas, calculadora (optativa)	Marcadores permanentes, Guía a Color de Plantas GLOBE, brújula, cámara, manual de identificación de plantas, Hojas de Datos

Objetivos Didácticos

Los estudiantes que participan en las actividades de este capítulo deberían aumentar sus aptitudes como investigadores y su conocimiento acerca de nuevos conceptos. Estas aptitudes incluyen el uso de una variedad de instrumentos específicos y técnicas, que posibiliten la medición y el análisis de los datos resultantes, y un enfoque general acerca de la investigación. Las Capacidades de Investigación Científica enumeradas en la casilla gris, al principio de los protocolos o actividades, se basan en la presunción de que el profesor ha completado el protocolo que incluye la sección de *Observando los Datos*. Si no se utiliza esta sección no se cubrirán todas las capacidades. Los *Conceptos Científicos* que se incluyen, están definidos en las normas Nacionales de Educación Científica de los Estados Unidos, recomendados por el Consejo Nacional de Investigación de los Estados Unidos que los incluye en las Ciencias de la Tierra y del Espacio, y en las Ciencias Físicas. Los *Conceptos Geográficos* se toman de las Normas Geográficas Nacionales, cuya preparación corresponde al proyecto sobre Normas de Educación Nacional. Se incluyen también unos *Conceptos Ampliados* específicos, a las mediciones hidrológicas. Las casillas grises, al principio de cada protocolo o actividad de aprendizaje, nos dan los conceptos claves y las capacidades de investigación científica necesarias. Las siguientes tablas proporcionan una descripción de los conceptos y capacidades que se contemplan en cada uno de los protocolos o actividades de aprendizaje.

Normas de Educación Científica Nacional: Fenología

Normas de Educación Científica Nacional	Protocolo				
	Eclosión de Yemas	Floración	Senescencia Foliar	Colibríes	Jardines Fenológicos
Ciencias de la Tierra y del Espacio					
Cambios en la Tierra y el Cielo (K-4)					
Cambios climáticos en el día a día de las estaciones.	☐	☐	☐	☐	
El clima se puede describir por medio de cantidades mensurables				☐	
Propiedades de los Materiales Terrestres (K-4)					
Los suelos poseen propiedades de color, textura y composición. Soportan el crecimiento de muchas plantas.					
Estructuras del Sistema Terrestre (5-8)					
El suelo se compone de rocas erosionadas y materia orgánica descompuesta					
El Agua circula a través de la biosfera, litosfera, atmósfera e hidrosfera (ciclo del agua)					
Energía en el Sistema Terrestre (9-12)					
El sol es la mayor fuente de energía en la superficie terrestre	☐	☐	☐	☐	
Ciencias de la Vida					
Características de los Organismos (K-4)					
Los organismos tienen necesidades básicas.		☐	☐	☐	☐
Los organismos sólo pueden sobrevivir en entornos en los que puedan cubrir sus necesidades	☐	☐	☐	☐	
La Tierra posee muchos y diferentes entornos que sustentan diferentes clases de organismos		☐	☐	☐	
Los Organismos y su Ambiente (K-4)					
Las funciones de los organismos se relacionan con su entorno		☐	☐	☐	☐
Los organismos cambian el entorno en el que viven.	☐	☐	☐		
El Ciclo de la Vida de los Organismos (K-4)					
Las plantas y los animales tienen ciclos de vida	☐	☐	☐	☐	☐
Las plantas se asemejan a sus precursoras.					☐
Reglas y Conductas (5-8)					
Todos los organismos deben ser capaces de obtener y utilizar los recursos en un ambiente que cambia constantemente.				☐	☐
La Interdependencia de los Organismos (9-12)					
Los organismos cooperan y compiten en los ecosistemas				☐	
La población de un ecosistema esta limitada por sus recursos				☐	
Materia, Energía, y Organización en los Sistemas Vivos (9-12)					
La energía para la vida, procede principalmente del sol	☐	☐	☐		☐
Los sistemas vivos requieren un continuo aporte de energía para mantener su organización física y química	☐	☐	☐		☐
La Conducta de los Organismos (9-12)					
La interacción de organismos y ecosistemas han evolucionado juntos a lo largo del tiempo.				☐	
Geografía					
El Mundo en Términos Espaciales (K-12)					
Las plantas ayudan a definir el carácter y la distribución espacial de los ecosistemas sobre la superficie terrestre.					☐