

# Anotaciones sobre Ecología

Jorge Enrique Tovar Vanegas



UNIVERSIDAD  
**NACIONAL**  
DE COLOMBIA

Sede Palmira



# ANOTACIONES SOBRE ECOLOGÍA

**Ing. Jorge Enrique Tovar Vanegas**

Profesor Asociado

Instituto de Estudios Ambientales - IDEA

# **Anotaciones sobre Ecología**

Universidad Nacional de Colombia

Sede Palmira

© Universidad Nacional de Colombia - Sede Palmira  
Febrero de 2002

ISBN:958-8095-16-6

Publicación financiada por DIPAL

Reservados todos los derechos

Impreso en los talleres gráficos de  
Impresora Feriva S.A.

Calle 18 N° 3-33

Teléfono: 883 1595

Cali, Colombia

E-mail: [feriva@feriva.com](mailto:feriva@feriva.com) – [www.feriva.com](http://www.feriva.com)

*A mis hermanas especies que deben  
soportar la arrogancia e insensatez de la más  
recién llegada al escenario de la vida:  
la humana, que absurdamente desconoce el  
respeto por las que ya estaban sin necesidad  
de su presencia.*

*A mis parientes y amigos que siempre  
han creído en mí y apoyado mis realizaciones.*

*A la bondad de un Ser Superior que  
inspira mis andares en el marco  
del reconocimiento de lo grandiosa  
de su obra evolutiva.*

# Contenido

|   |           |
|---|-----------|
| Presentación .....  | 9         |
| Introducción .....  | 11        |
| <b>1 Origen y evolución de las especies .....</b>                 | <b>13</b> |
| 1.1 Era arcaica .....   | 13        |
| 1.2 Era proterozoica .....  | 14        |
| 1.3 Era paleozoica .....  | 15        |
| 1.3.1 Período cámbrico .....                                      | 15        |
| 1.3.2 Período ordovícico .....                                    | 15        |
| 1.3.3 Período silúrico .....                                      | 16        |
| 1.3.4 Período devónico .....                                      | 17        |
| 1.3.5 Período carbonífero .....                                   | 18        |
| 1.3.6 Período pérmico .....                                       | 19        |
| 1.4 Era mesozoica .....   | 21        |
| 1.4.1 Período triásico .....                                      | 21        |
| 1.4.2 Período jurásico .....                                      | 23        |
| 1.4.3 Período cretáceo .....                                      | 25        |
| 1.5 Era cenozoica .....   | 26        |
| 1.5.1 Período terciario .....                                     | 26        |
| 1.5.2 Período cuaternario .....                                   | 28        |
| <b>2 La ecología como ciencia integradora y su historia .....</b> | <b>34</b> |
| 2.1 Relación de la ecología con las otras ciencias .....          | 34        |
| 2.2 Objeto de la ecología como ciencia de la actualidad .....     | 34        |
| 2.3 La ecología: entre las ciencias naturales y sociales .....    | 35        |
| 2.4 Síntesis histórica de la ecología .....                       | 39        |
| <b>3 Niveles de organización en ecología .....</b>                | <b>45</b> |
| 3.1 Los materiales biológicos .....                               | 46        |
| 3.2 La célula .....   | 46        |
| 3.2.1 Características de los animales .....                       | 47        |
| 3.2.2 Características de los vegetales .....                      | 47        |
| 3.3 La especie .....  | 48        |
| 3.4 La población o demo .....                                     | 49        |
| 3.4.1 Los cinco reinos de la vida .....                           | 53        |
| 3.5 La comunidad o biocenosis .....                               | 57        |
| 3.6 El ecosistema .....   | 58        |
| 3.7 La biosfera .....   | 58        |
| 3.8 La noosfera .....   | 59        |
| <b>4 La hidrosfera .....</b>                                      | <b>61</b> |
| <b>5 La litosfera .....</b>                                       | <b>65</b> |
| 5.1 Características físicas fundamentales .....                   | 66        |
| 5.1.1 Color .....   | 66        |
| 5.1.2 Textura .....   | 67        |
| 5.1.3 Estructura .....  | 67        |
| 5.2 El ecosistema del suelo .....                                 | 68        |
| 5.3 El perfil del suelo .....                                     | 74        |
| <b>6 Comunidades bióticas .....</b>                               | <b>76</b> |
| <b>7 Estratificación .....</b>                                    | <b>77</b> |
| 7.1 Estructura biótica .....                                      | 77        |
| 7.2 Productores .....   | 77        |
| 7.3 Consumidores .....  | 80        |
| <b>8 Diversidad y dinámica de la comunidad .....</b>              | <b>89</b> |
| <b>9 La fitosociología .....</b>                                  | <b>95</b> |
| 9.1 Bosques tropicales caducos .....                              | 100       |
| 9.2 Sabana .....  | 101       |

|           |   |            |
|-----------|---|------------|
| 9.3       | Desiertos .....   | 101        |
| 9.4       | Chaparral .....   | 104        |
| 9.5       | Pastizales .....  | 104        |
| 9.6       | Bosques caducos de clima templado .....                             | 104        |
| 9.7       | Bosque lluvioso de clima templado .....                             | 105        |
| 9.8       | Taiga .....   | 106        |
| 9.9       | Tundra .....  | 107        |
| 9.10      | Páramo .....  | 108        |
| <b>10</b> | <b>El ecosistema .....</b>  | <b>110</b> |
| 10.1      | Características de los ecosistemas .....                            | 113        |
| 10.2      | Ecosistemas acuáticos .....   | 114        |
| 10.2.1    | Ecosistemas lénticos .....  | 114        |
| 10.2.2    | Ecosistemas lóticos .....   | 115        |
| 10.2.2.1  | Estructura biótica en ecosistemas acuáticos lóticos .....           | 115        |
| 10.3      | Ecosistemas estuarinos .....  | 115        |
| 10.3.1    | Estructura biótica en ecosistemas estuarinos .....                  | 116        |
| 10.4      | Estructura biótica en ecosistemas marinos .....                     | 116        |
| 10.4.1    | El océano y sus mareas .....  | 116        |
| 10.5      | El flujo de energía en los ecosistemas .....                        | 117        |
| 10.5.1    | Balace de energía .....   | 120        |
| 10.6      | Primera y segunda leyes de la termodinámica .....                   | 123        |
| 10.7      | La productividad de los ecosistemas .....                           | 123        |
| 10.7.1    | Productividad bruta o fotosíntesis total .....                      | 125        |
| 10.7.2    | Productividad neta .....  | 125        |
| <b>11</b> | <b>Cadenas tróficas .....</b>                                       | <b>126</b> |
| 11.1      | Regulación de las cadenas tróficas .....                            | 128        |
| 11.1.1    | Efectos químicos intraespecíficos .....                             | 129        |
| 11.1.2    | Efectos químicos interespecíficos (aleloquímica) .....              | 129        |
| <b>12</b> | <b>Ciclos biogeoquímicos .....</b>                                  | <b>133</b> |
| 12.1      | El ciclo del agua .....   | 134        |
| 12.1.1    | ¿Cómo se forma el vapor de agua? .....                              | 134        |
| 12.1.2    | ¿Qué pasa con el agua precipitada en forma de lluvia? .....         | 134        |
| 12.2      | Los ciclos atmosféricos .....                                       | 136        |
| 12.2.1    | El ciclo del nitrógeno .....  | 136        |
| 12.2.1.1  | Fijación de nitrógeno .....   | 136        |
| 12.2.1.2  | Aminificación .....   | 137        |
| 12.2.1.3  | Nitrificación .....   | 138        |
| 12.2.1.4  | Desnitrificación .....  | 138        |
| 12.3      | Ciclo sedimentario .....  | 138        |
| 12.3.1    | El ciclo del fósforo .....  | 138        |
| 12.4      | El ciclo del carbono .....  | 141        |
| <b>13</b> | <b>Factores que actúan sobre los organismos .....</b>               | <b>145</b> |
| 13.1      | Factores externos de resistencia ambiental .....                    | 145        |
| 13.2      | Factores internos de resistencia ambiental .....                    | 145        |
| 13.3      | Leyes que rigen la actividad, el desarrollo y la reproducción ..... | 146        |
| 13.3.1    | Ley de la tolerancia .....  | 148        |
| 13.4      | Organismo esteno y organismo euri .....                             | 150        |
| 13.4.1    | Organismo esteno .....  | 150        |
| 13.4.2    | Organismo euri .....  | 151        |
| 13.5      | Algunos factores limitantes externos .....                          | 152        |
| 13.5.1    | La temperatura .....  | 152        |
| 13.5.2    | El agua .....   | 154        |
| 13.5.3    | Los nutrientes .....  | 154        |
| 13.5.4    | La luz .....  | 155        |
|           | <b>Comentarios finales .....</b>                                    | <b>157</b> |
|           | <b>Bibliografía .....</b>   | <b>159</b> |



Se han escogido los más destacados autores de la actualidad, así como aquellos tradicionales textos sobre esta temática, tratando de presentar una visión lo más amplia posible, con el aporte modesto del suscrito, basado en la experiencia de veinticinco años de trasegar por los campos del ecologismo nacional e internacional, partiendo de las inolvidables experiencias de los años setenta, cuando insignes maestros de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, inspiraron mis primeros pasos hacia el mismo.



# Introducción

Existen valiosos aportes científicos en torno al tema de la ecología, esa maravillosa ciencia capaz de explicarnos todo lo que acontece al interior del planeta que una vez dio origen a múltiples formas vivas que han sido producto y efecto del acomodamiento de incuantificables procesos de dialéctica natural.

La naturaleza en su conjunto es un complejo acontecer de muy específicas interacciones entre el conjunto de elementos vivos con su entorno, aquel que la favorece en cerca de treinta millones de manifestaciones distintas, si atendemos la última versión acerca del número de especies que compartimos en forma transitoria esta hasta ahora única casa habitable conocida.

Cada que nos acercamos al tema de la ecología surgen propuestas de reconocidos autores que pretenden siempre hacer entrar en razón a todos los terrícolas de la imperiosa necesidad de reorientar nuestra conducta, en aras de frenar aquellas erráticas actuaciones al interior de nuestra relación con la naturaleza, de tal forma que se pueda asegurar, o por lo menos prolongar por determinado tiempo, la continuidad de esa vida compartida en un mismo escenario.

Aquí, por tanto, propendemos a transcribir los conceptos más acertados en la temática, en una forma tal que permita no sólo una rápida comprensión de los mismos, sino la propia reflexión respecto a cuán valiosas son en su conjunto las demás especies que comparten el amplio escenario de la vida y el porqué es de vital importancia que entendamos lo delicado que resulta actuar en contravía de los insospechados principios de las leyes físicas, químicas y biológicas que facultan la misma.

Es recomendable que los lectores ahonden en la lectura de la bibliografía que citamos ya que corresponde a verdaderas autoridades en la materia y los textos consultados contienen los conceptos en forma más amplia y no resumida como aquí se los presenta, dados los costos que implica una publicación como ésta.

En esencia lo que se busca es que los estudiantes del curso de ecología puedan conocer fácilmente aquellos aspectos que les permitan comprender y aceptar la importancia de ésta como ciencia integradora y única que nos faculta para identificar claramente cuál debe ser el verdadero papel del hombre en la tierra, para que no siga siendo aquél que ahora sólo le entrañan graves e irreversibles patologías que ponen en peligro la continuidad de todas las formas que la habitamos.

# 1. Origen y evolución de las especies

La **astronomía** (que estudia el universo, estructura y evolución de los cuerpos celestes) y la **geología** (que estudia el desarrollo de la Tierra) en conjunto se ocupan del origen y transformación de nuestro planeta. La fase geológica corresponde al período posterior de la evolución de la Tierra desde el momento en que se formó la corteza terrestre merced al enfriamiento de la superficie ígnea. Veselov (1981).

La edad total de la Tierra se calcula aproximadamente en unos 5000 ó 7000 millones de años y el período geológico habrá durado alrededor de 3000 a 3500 millones de años. La historia de la corteza terrestre se divide en cinco eras:

1. Arcaica
2. Proterozoica
3. Paleozoica
4. Mesozoica
5. Cenozoica

La historia de la vida orgánica en la Tierra está relacionada con el desarrollo de la geología, así como el de la paleontología (ciencia de los vegetales y los animales fósiles). La geología nos ofrece el cuadro de las modificaciones que han experimentado las condiciones de vida en la Tierra; la paleontología, la historia del mundo orgánico. Veselov (1981).

Los restos fósiles de plantas y animales extinguidos, petrificados en la superficie del globo terrestre, permiten formarse una idea retrospectiva del mundo vegetal y del mundo animal. A continuación se presentará una breve reseña de cada una de las eras y períodos, tal como lo describen Veselov (1981) en su libro *La Evolución de la Vida*; y Gerald y Teresa Audesirk (1998) en el libro *Biología 3: Evolución y Ecología*; textos que considero muy apropiados para los fines que se persiguen con esta compilación.

## 1.1 Era arcaica

Esta era, la más remota de la vida en la Tierra, duró alrededor de 1500 millones de años. Fue en ésta cuando apareció la vida, a partir de la materia inanimada se desarrollaron las formas más simples de organismos vegetales y animales. La vida se concentraba entonces en las aguas de los mares y océanos. Los primeros seres vivos fueron corpúsculos microscópicos de proteína viva, acelulares, desprovistos de núcleos y membrana.

Estos seres se alimentaban absorbiendo, a través de la superficie corpuscular, las sustancias orgánicas disueltas en el agua. Cuando las reservas disueltas se agotaron, aparecieron otros seres capaces de utilizar la energía de

las reacciones químicas, para crear sustancias orgánicas a partir de las inorgánicas: las **bacterias**.

A medida que se iban perfeccionando los seres vivos más simples, aparecieron los unicelulares. En ellos, el corpúsculo microscópico de sustancia viva estaba dotado ya de núcleo y membrana. Algunos tenían la capacidad de formar sustancias orgánicas, a partir de las inorgánicas, mediante la fotosíntesis: las **algas microscópicas** que dieron lugar al mundo vegetal.

Otros organismos unicelulares no se alimentaban más que de sustancias orgánicas ya hechas. Estos organismos dieron lugar al mundo animal, y así surgieron dos ramas de la naturaleza orgánica. Veselov (1981).

## 1.2 Era proterozoica

Duró alrededor de 700 millones de años y en ella la vida alcanzó un desarrollo considerable, como lo prueba la existencia de ciertos minerales en capas proterozoicas formadas con base en los restos de los organismos vivos. Entre estos minerales figura el **mármol**, constituido por enormes aglomeraciones de conchas calcáreas de distintos animales marinos unicelulares.

En los mares existían bacterias, algas unicelulares y multicelulares. El mundo animal estaba representado por protozoarios (animales unicelulares), esponjas, celentéreos, gusanos anélidos, trilobites y muchas especies de moluscos. Los más organizados eran los trilobites, una clase de animales artrópodos hoy totalmente desaparecida que se asemejaba mucho a los crustáceos contemporáneos.

En aquellos tiempos no existían todavía los vertebrados; sin embargo, en esta era ya aparecen sus futuros generadores: los **protocordados**. Veselov (1981).

### Trilobite



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

## 1.3 Era paleozoica

Comprende lo que se puede llamar “la historia antigua de la Tierra”. Dicha era comenzó 510 millones de años atrás y terminó hace alrededor de 185 millones. En ese enorme período se produjeron considerables cambios en la superficie terrestre, así como en plantas y animales del planeta. La era paleozoica se divide en seis períodos: cámbrico, ordovícico, silúrico, devónico, carbonífero y pérmico.

### 1.3.1 Período cámbrico

Tuvo una duración de 80 millones de años. La vida se concentró en el mar, distinguiéndose por una diversidad mayor que en los tiempos pre-cámbricos. Entre las plantas seguían predominando bacterias y algas, siendo la diversidad y cantidad de especies mucho mayores que antes. Aparecieron plantas con estructura más compleja. Como se sabe, las algas pluricelulares no poseen raíces, ni tallos, ni hojas propiamente dichas.

Aparecen ya unas plantas con rudimentos de tallos y hojas. La aparición de estas plantas entre las algas multicelulares tuvo mucha importancia para la ulterior evolución del mundo vegetal. Raíces y tallos dieron a las plantas la posibilidad de fijarse en el suelo y adaptarse poco a poco a la vida, ya no sólo en el agua, sino también en las orillas de las tierras que bañaban.

Estas plantas sentaron el comienzo de la vegetación de tierra firme. El mundo animal de los mares de aquellos tiempos era también muy abundante y estaba representado por tipos de invertebrados: esponjas, arqueociatos, corales, medusas, gusanos anélidos, moluscos, braquiópodos, trilobites, crustáceos y equinodermos (Veselov, 1981).

### 1.3.2 Período ordovícico

Este período comenzó hace unos 500 millones de años y tuvo una duración de 65 a 70 millones de años, durante los cuales los mares se retiraron, dejando grandes áreas descubiertas. El predecesor del océano Atlántico actual empezó a contraerse mientras que los continentes de esa época se acercaban unos a otros. Se produjo una intensa actividad volcánica, se elevaron montañas y el clima fue bastante parejo y tibio en toda la tierra. En el mar dominan los invertebrados, en especial los artrópodos y los moluscos; primeros peces, hongos. Audesirk, T. (1998).

Las formas de vida siguieron restringidas a los ambientes acuáticos. Los trilobites seguían siendo abundantes; los animales más característicos de este período fueron los graptolitos, pequeños hemicordados (animales que poseían una estructura anatómica precursora de la espina dorsal) coloniales; importantes grupos hicieron su primera aparición, entre ellos estaban los corales, los

crinoideos, los briozoos y los pelecípodos. Fue entonces cuando hicieron su aparición los primeros vertebrados, unos peces primitivos, con caparazón y sin mandíbula, siendo los restos del ostracodermos los más antiguos. Sus fósiles se encuentran en lechos de antiguos estuarios de América del Norte.

Los animales más grandes fueron unos cefalópodos (moluscos), que tenían un caparazón de unos 3 m de largo. Las plantas de este período eran similares a las del período anterior ya que no evolucionaron a formas más complejas que las algas.

### Representantes del período ordovícico



Los primeros verdaderos cazadores de los océanos. Desde el ordovícico hasta nuestros días esta ha sido una especie premiada entre los arrendatarios del océano.

1. Angaraspis. 2. Gabreyaspis. 3. Hibernaspis.  
Primeros vertebrados (ostracodermis).



### 1.3.3 Período silúrico

Empezó hace unos 400 millones de años y terminó hace unos 310 millones; la duración se calcula en torno a los 90 ó 120 millones de años. Tuvo lugar un sensible descenso del nivel de los continentes y un avance de los mares, de modo que, en muchos sitios, una parte considerable de tierra firme se cubrió de agua.

Entre las plantas siguen predominando bacterias y algas pero la vegetación comienza ya a extenderse a la tierra firme. Las algas marinas multicelulares dieron lugar a las primeras plantas herbáceas y arbóreas que, a juzgar por su estructura, ocupaban un lugar intermedio entre algas y esporofitos o criptógamas superiores, entre plantas acuáticas y las de tierra firme. Carecían de raíces, pero ya tenían rizomas y tallo, que constaba de leño y líber (capa fibrosa), teniendo en el centro un haz de tubos conductores por el que circulaba la solución de sustancias alimenticias; también tenía pequeñas placas verdes, rudimentos de hojas.

Estas plantas sirvieron de material inicial para toda la vegetación de tierra firme de nuestros días.

El mundo animal también se hizo mucho más diversificado. Alcanzaron considerable desarrollo braquiópodos, moluscos, cefalópodos y distintos equinodermos (erizos de mar, estrellas de mar, lirios de mar). En ese entonces se hallaban en pleno florecimiento los trilobites. El acontecimiento más importante fue el desarrollo de los vertebrados inferiores. Veselov (1981).

Muchos peces, trilobites, moluscos en el mar; primeras plantas vasculares; invasión de la tierra por parte de las plantas e invasión también por los artrópodos. Audesirk T. (1998).

### 1.3.4 Período devónico

Comenzó hace unos 310 millones de años y terminó hace alrededor de 275 millones. Duró cerca de 35 millones de años. En este período se produjeron importantes cambios en la superficie terrestre. El mar avanzó sobre la tierra firme para luego retroceder.

Tales cambios influyeron en los destinos del mundo orgánico. Su mayor consecuencia fue la adaptación de muchas plantas y animales a la vida en tierra firme: comenzó intensamente a extenderse sobre ella. Los continentes experimentaron frecuentes subidas y descensos. De aquí que los mares de poca profundidad se secaban muchas veces, para volver, más tarde, a llenarse de nuevo.

Por tal razón, las algas que crecían en la zona del litoral se veían muchas veces obligadas a adaptarse a la vida en un medio no acuático. Muchas especies de algas no resistieron los frecuentes cambios de las condiciones de vida y desaparecieron, adaptándose algunas a condiciones nuevas, pasando a desarrollarse en tierra firme. Algunos animales acuáticos también pasaron, a consecuencia de estos cambios, a la vida fuera de las aguas.

Al final del período devónico se propagó mucho el grupo de los helechos de simientes, antepasados de las plantas coníferas y de las angiospermas. En aquel entonces ya existía una vegetación bastante espesa de arbustos y árboles en tierra firme. Veselov (1981).

El mar devónico estaba lleno de especies de trilobites, braquiópodos, corales y lirios de mar. Apareció un nuevo grupo de moluscos cefalópodos: las **amonitas**. A la par con los vertebrados tan primitivos como los ostracodermos, todavía desprovistos de mandíbula, en dicho período aparecieron muchos peces: vertebrados dotados ya de mandíbula.

Los peces de aquellos tiempos florecen en el mar y constituyeron tres ramas principales: tiburones, dipnoos y crossopterigios. En este período prosperaban particularmente los tiburones del grupo de los placodermos (placodermi). Entre

estos grupos aparecieron grandes devoradores del mundo animal marino, por ejemplo: el dinictis, gigantesco pez de hasta 10 metros de longitud. Florecen también los trilobites en el mar y aparecen los anfibios e insectos. Audesirk, T. (1998).

El hecho de que mares y lagos se secaran a menudo contribuyó a la aparición de peces adaptados a la vida fuera del agua. Eran los peces dipnoos y crossopterigios; además de las branquias, tenían un pulmón muy simple, en forma de saco pulmonar primitivo. Al secarse el lago o el río, así como al escasear el oxígeno disuelto en el agua, dichos peces podían respirar cierto tiempo el aire atmosférico.

En la actualidad sólo existen algunas especies de estos peces antiguos (el ostracodermo americano y el australiano, además del protóptero africano). El ostracodermo americano, llamado también loalach o lepidosirena (*Lepidosiran paradoxa*), vive en los ríos y lagos cenagosos de América del Sur. Es un pez grande, de 90 centímetros a un metro de longitud. Al secarse el agua, la lepidosirena se queda en el cieno en estado letárgico, hasta que pasa la sequía y vuelve a su vida normal al regresar el agua.

Los crossopterigios son parientes más próximos de los dipnoos. La aparición de estos peces en el devónico desempeñó enorme papel en la ulterior evolución de los vertebrados. Cuando el agua se secaba, empezando a escasear el oxígeno disuelto, los crossopterigios podían, lo mismo que los dipnoos, respirar el aire atmosférico e inclusive salir a la orilla.

La salida de animales de organización más compleja —artrópodos y vertebrados— a la vida en tierra firme fue preparada por el desarrollo de la vegetación.

También aparecieron otros artrópodos en tierra firme: miriápodos e insectos. La Tierra fue habitada por vertebrados nacidos de peces crossopterigios: los estegocéfalos, representantes de los antiguos anfibios. El hecho de que tanto los estegocéfalos como los anfibios actuales (ranas y sapos) pasen por la fase de larvas en su desarrollo, viene a ser una prueba de que los anfibios proceden de los peces. Las larvas de anfibios hacen pensar en que sus antepasados fueron peces. Los estegocéfalos más primitivos habían sido los ictiostegos, los vertebrados de tierra firme más antiguos, que han conservado mucha semejanza con los peces crossopterigios. Veselov (1981).

### 1.3.5 Período carbonífero

Duró cerca de 50 millones de años; comenzó hace unos 275 millones y terminó aproximadamente hace unos 225 millones de años. Una característica importante fue la igualdad del clima en todos los continentes, pareciéndose al de los húmedos trópicos actuales. Gracias al clima cálido y húmedo (en aquel

entonces no había heladas), la vegetación se distinguía por su extraordinaria riqueza y exuberancia, surgieron enormes y espesos bosques, formados casi exclusivamente de plantas criptógamas superiores. Veselov (1981).

Estas plantas se distinguen de las angiospermas porque no se reproducen mediante semillas, sino por esporas, embriones microscópicos. Este modo de reproducción de las plantas superiores apareció antes que la reproducción por semillas, modo más complejo y evolucionado. En la actualidad existen también criptógamas superiores como diversas equisetáceas, helechos y licopodios, pero son en la mayoría de los casos plantas pequeñas, excepción hecha en el caso de algunos grandes helechos. En las épocas remotas las criptógamas estaban representadas por grandes árboles: helechos, equisetáceas y licopodios arborescentes. Veselov (1981).

Bosques pantanosos de helechos arbóreos y de licopodios; dominio de anfibios; numerosos insectos y origen de los reptiles. Audesirk, T. (1998).

Algunos licopodios (sigilarias y rododendros) llegaban a tener más de 40 metros de altura. Las enormes aglomeraciones de vegetales que se morían al caer en el suelo empantanado fueron constituyendo, poco a poco, yacimientos de **carbón de piedra**. De ahí el nombre de este período. Las condiciones existentes en este período favorecieron el desarrollo de animales de tierra firme pues había mucho alimento. Gracias a la intensa fotosíntesis, la atmósfera contenía mucho oxígeno: se hizo más fácil la respiración, elevándose notablemente el grado de actividad de los animales terrestres. Merced a la vida de las plantas de tierra firme se fue creando poco a poco el suelo. Aparecieron numerosos arácnidos e insectos (cigarras, grillos, libélulas, etc.) propagándose mucho los anfibios estegocéfalos. Veselov (1981).

Los estegocéfalos más comunes eran los laberintondos, parecidos a enormes cocodrilos (algunos medían cuatro metros y medio de largo). Estos animales, de movimientos torpes, vivían en lagos y ríos. Así, durante el período carbonífero predominaban en tierra firme los anfibios, muchos de ellos provistos de cola, antepasados remotos de las ranas contemporáneas.

### 1.3.6 Período pérmico

Comenzó hace unos 225 millones de años y acabó unos 185 millones antes de nuestra era, habiendo durado alrededor de 40 millones de años. Gracias a la ampliación de los continentes, la formación de grandes cadenas montañosas y otras causas, el clima dejó de ser uniforme en todo el planeta. En el Ecuador se mantuvo el húmedo clima tropical. Al norte del Ecuador se extendió una amplia zona de clima cálido y seco. En las partes meridionales de América, Australia y África, enormes extensiones se cubrieron de hielo. Veselov (1981).

Las nuevas condiciones climáticas repercutieron en la vida orgánica. Los anteriores bosques húmedos y frondosos, de criptógamas arborescentes, acostumbradas al calor (equisetáceas, helechos y licopodios), fueron cediendo lugar a las fanerógamas, que pasaron a ser plantas predominantes en el mundo vegetal. Las fanerógamas son plantas superiores, que a diferencia de las criptógamas se reproducen por medio de semillas. Las fanerógamas mostraron poseer considerables ventajas en comparación con las criptógamas. Estas ventajas consisten en que cada semilla está integrada por un embrión y una reserva de sustancias nutritivas.

Así, el embrión de las fanerógamas tiene asegurado el alimento: su desarrollo, después que la semilla cae al suelo, corre cierto tiempo a cuenta de las sustancias nutritivas acumuladas en la misma. Las primeras plantas fanerógamas fueron las gimnospermas, a las que pertenecen las cicádeas y coníferas. Las gimnospermas, a diferencia de las angiospermas, más perfectas, no dan frutos y sus semillas son desnudas. Veselov (1981).

**Origen de las coníferas; extinciones marinas masivas, incluidos los últimos trilobites; florecimiento de reptiles y declinación de anfibios; los continentes se unieron en una masa terrestre: Pangea. Audesirk, T. (1998).**

Trilobites, corales paleozoicos y braquiópodos comenzaron a extinguirse poco a poco. El clima seco obligó a muchas formas de estegocéfalos a abandonar la vida de anfibios y pasar definitivamente a la vida en tierra firme. Muchos anfibios del período carbonífero no resistieron las nuevas condiciones climáticas y desaparecieron.

Los anfibios cedieron lugar a los reptiles, aparecidos al final del carbonífero. Procedían de los anfibios que se adaptaban paulatinamente a la vida en tierra firme. Los reptiles representaban varias ventajas en comparación con los anfibios; las nuevas particularidades del cuerpo y desarrollo del embrión permitieron resistir el clima seco con pases bruscos del calor al frío y viceversa. Los reptiles ya no tienen la piel desnuda como la de los anfibios, sino que están cubiertos por una capa córnea bajo la cual en muchas especies existían placas óseas.

Gracias a ello su cuerpo no se deshidrató al hallarse fuera del agua. Los reptiles no se reproducían por medio de la hueva (masa oval que contiene los huevecitos) como los peces y los anfibios, sino poniendo huevos cubiertos de cáscara. Los huevos no necesitan agua, desarrollándose perfectamente en tierra firme. Veselov (1981).

Los reptiles del período pérmico dieron lugar a formas de transición entre ellos y los anfibios; la cotlasia, parecida a una lagartija grande con elementos de

rana, que alcanzaba 120 centímetros de longitud y se alimentaba de peces, fue típica.

Los reptiles más grandes de este período eran los pareiasaurios, cuyo cuerpo cubierto de una coraza de placas óseas alcanzaba los dos o tres metros de longitud.

A finales del período pérmico aparecieron entre los reptiles unos animales con rasgos característicos de mamíferos, por lo que se los llamó teriomorfos, desde donde una rama de los mismos derivó a los verdaderos mamíferos. Veselov (1981).

## 1.4 Era mesozoica

Es la "Edad Media" de la vida orgánica. Duró cerca de 115 millones de años, comenzando hace aproximadamente 185 millones y terminando hace alrededor de 70 millones de años. La particularidad principal de la era consiste en el excepcional florecimiento de los reptiles. Se multiplicaron enormemente, propagándose por toda la tierra, dando lugar a multitud de distintas formas: pequeñas, medianas, grandes y gigantescas. Unos reptiles vivían en tierra firme, otros se adaptaron al agua dulce y a los mares, pasando algunos a vivir en el aire porque adquirieron alas y aprendieron a volar.

La extraordinaria abundancia y diversidad de reptiles en la era mesozoica hace que se la denomine también la edad de los reptiles. Otro importante acontecimiento de esta era, que ha repercutido en la evolución del mundo orgánico, ha sido la aparición de las plantas angiospermas más desarrolladas, así como de aves y mamíferos más perfectos.

La era mesozoica se divide en tres períodos: triásico, jurásico y cretáceo (estos tres períodos han recibido la denominación general de secundarios).

### 1.4.1 Período triásico

Duró unos 35 millones de años. Lo separan de nuestra época 185 millones de años y terminando hace alrededor de 70 millones de años. Entre la vegetación de este período, el lugar principal corresponde a las plantas angiospermas (cicadáceas, coníferas, etc.). Las criptógamas superiores (helechos, etc.) se van relegando cada vez más a un segundo plano. Veselov (1981).

**Origen de los mamíferos y los dinosaurios; bosques de gimnospermas y helechos arbóreos; empieza la separación de Pangea. Audesirk, T. (1998).**

El mundo animal de los mares se distingue por la abundancia y diversidad de moluscos superiores, cefalópodos (Cephalopoda) –la misma clase de moluscos a la que pertenecen los actuales nautilos–, encontrándose también entre aquellos animales marinos pulpos y jibias. También abundaban las amonitas y belemnitas. En los mares había profusión de peces de esqueleto óseo y cartilaginoso, parecidos a los esturiones actuales. Veselov (1981).

### Nautilo



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

Los anfibios antiguos (estegocéfalos) se iban extinguiendo, cediendo lugar a distintos reptiles. Entre éstos, los más grandes adaptados a la vida en el agua merecen señalarse los ictiosauros y los pleseosaurios. Estos animales carecían de branquias, respirando por medio de pulmones, lo mismo que todos los animales terrestres, aunque pasaban la vida en el agua.

Los **ictiosaurios** eran enormes carnívoros marinos que alcanzaban 10 y 12 metros de longitud. Sus antepasados habían sido reptiles terrestres. Al observarse un ictiosaurio, salta a la vista la sorprendente analogía entre este animal y los tiburones (forma del cuerpo, aletas, etc.), la semejanza de la forma del cuerpo y la estructura de una u otras partes, de organismos de distinto origen (en este caso reptiles parecidos a peces), es consecuencia de la analogía de las condiciones de vida y se denomina **convergencia**.

Los **plesiosaurios** son también grandes carnívoros marinos que vivían en aguas próximas al litoral, alimentándose principalmente de peces, su aspecto exterior parece una combinación de serpiente y tortuga, alcanzando a veces cinco metros de longitud. Respiraban por medio de pulmones, teniendo que salir de tarde en tarde a la superficie para respirar el aire atmosférico.

Ictiosaurios y plesiosaurios aparecieron en el período triásico, alcanzando su máximo desarrollo en el jurásico y a comienzos del cretáceo, para extinguirse después paulatinamente. En aquel entonces los mamíferos no ocupaban todavía lugar importante en la naturaleza.

En los finales del triásico aparecen algunos mamíferos pequeños (del tamaño de la rata), próximos por su estructura a los marsupiales de nuestros días.

#### 1.4.2 Período jurásico

Duró cerca de 40 millones de años; comenzó hace 150 millones y terminó aproximadamente hace 110 millones. En la flora terrestre predominaban entonces helechos y plantas gimnospermas (cicadáceas, coníferas, etc.). En las aguas de mares, ríos y lagos se propagaron ampliamente los peces de esqueleto óseo, desplazando a los que lo tenían cartilaginoso, más primitivo. Los reptiles ocuparon un lugar dominante entre los vertebrados terrestres favorecidos por un clima uniformemente templado y ligeramente húmedo, extendiéndose a todos los mares, tierra firme, agua y aire. Veselov (1981).

**Dominio de los dinosaurios y las coníferas; origen de las aves; los continentes se separan parcialmente.** Audesirk, T. (1998).

Entre los reptiles del jurásico cabe señalar numerosos y diversos tipos de **dinosaurios (lagartos terribles)**. Existían tanto dinosaurios pequeños como gigantes. En la mayoría de los casos eran grandes lagartos herbívoros. En la segunda mitad de la era mesozoica los dinosaurios alcanzaron el máximo desarrollo. Desaparecieron a finales del período cretáceo, debido a un brusco cambio de las condiciones de existencia, inducido al parecer por el enfriamiento terrestre que sucedió después de la colisión de un gran meteorito, tal vez a la altura de lo que ahora es la península de Yucatán, México. Tovar (2001).

Uno de los mayores dinosaurios de aquel tiempo fue el brontosauo, que alcanzaba 25 metros de longitud y 5 de altura pesando como mínimo 25 toneladas. Otro dinosaurio grande era el diplodoco, cuyo cuerpo alcanzaba 26 metros de longitud.

Muchos reptiles alados, llamados, "lagartos volantes", ocupaban en el período jurásico los espacios aéreos. Se parecían a las aves, pero eran verdaderos reptiles que se habían adaptado al vuelo. La analogía de los lagartos volantes con las aves, particularmente con los murciélagos (forma del cuerpo, alas), viene a ser uno de los tantos ejemplos de coincidencia o convergencia. Veselov (1981).

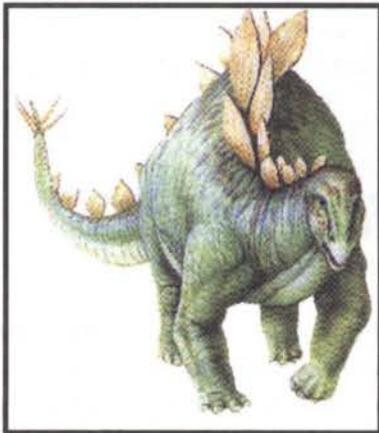
Entre los lagartos volantes, los más comunes eran los **pterosaurios** (terodáctilos) y los ranforíneos. Algunos no pasaban del tamaño de un gorrión,

mientras que otros tenían dimensiones gigantescas, en algunos terodáctilos la amplitud de las alas extendidas llegaba a 8 metros; fueron los mayores animales volantes de todos los tiempos.

Un terodáctilo de este tipo podía cubrir con el ala la mayor ave volante de nuestros días, por ejemplo, el cóndor de los Andes.

Para salvarse de los enemigos, algunos reptiles pasaron a vivir en árboles. Este grupo fue el que dio origen a las primeras aves, denominadas arqueoptérix, pequeño animal del tamaño de la paloma. Varios rasgos atestiguan que el arqueoptérix ocupa una posición intermedia entre los reptiles y las verdaderas aves. Veselov (1981).

### Estegosauro acompañado de un allosaurio



### Reconstrucción de un pantano jurásico



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

### 1.4.3 Período cretáceo

Es el último período de la “Edad Media” de la historia terrestre. Comenzó hace unos 110 millones de años; terminó hace 70 millones de años, durando cuarenta millones. Debe su nombre a las capas de tiza (**Creta**), constituidas sobre la base de las conchas calcáreas de los minúsculos animales marinos. Veselov (1981).

**Aparecen y dominan las plantas con flores; extinciones masivas de la vida marina y parte de la vida terrestre, incluidos los últimos dinosaurios; los continentes modernos quedan bien separados.** Audesirk, T. (1998).

Durante este período la vegetación sufre notables cambios, adquiriendo rasgos que ha conservado hasta nuestros días. Ya no dominan las criptógamas y gimnospermas sino las angiospermas. Aparecieron muchos géneros de plantas actuales: lirios, palmeras, ficoideas, hayas, robles, alisos, abedules, sauces, etc.

En el agua salada y dulce pasan a predominar los **peces teleósteos**, de esqueleto óseo, llegando a desplazar casi totalmente las formas antiguas de peces de esqueleto cartilaginoso. En la tierra firme ya no se alojan los anfibios antiguos, los animales más grandes se extinguen, no se conservan más que las especies próximas a las ramas contemporáneas a los tritones y a las salamandras de nuestros días. Se observa una evolución ulterior de reptiles, aves, insectos y mamíferos.

Los reptiles todavía no ocupan la situación dominante. Aparecen nuevos representantes de grandes dimensiones de esta clase: el anatosaurio o dinosaurio ornitorrinco, enorme animal herbívoro e inofensivo, y el triceratops, reptil de torpes movimientos parecido al rinoceronte, pero mucho más grande que él alcanzando hasta 8 metros de longitud. Su cabeza estaba dotada de dos potentes cuernos encima de los ojos y uno sobre la nariz.

Al lado de estos herbívoros inofensivos existían feroces lagartos carnívoros como el **tiranosaurio-rex** (el rey de los lagartos, el tirano), el más temible de todos los carnívoros que hayan existido en cualquier época de la tierra, tanto por las dimensiones y la fuerza, como por su “armamento”. Su longitud llegaba hasta 15 metros. Cuando el enorme saurio tomaba posición de combate, es decir, cuando se incorporaba sobre las patas traseras, llegaba a los 9 metros de altura. En este período seguían prosperando los lagartos voladores, entre ellos el **teranodón** con alas que llegaban a una dimensión de 5 a 8 metros. Veselov (1981).

En el período cretáceo aumentaban los mamíferos. Lo mismo que las aves, estos aparecieron en la tierra en el período jurásico, tal vez antes, posiblemente

en el triásico. Sus progenitores han sido los reptiles teriomorfos. Los primeros mamíferos eran animales pequeños del tamaño de las ratas actuales, no ocupando lugar importante en el cuadro general de la naturaleza.

Al final de la era mesozoica, así como después, a principios del período terciario de la era cenozoica, como consecuencia de los **procesos orogénicos** (formación y dislocación de la corteza terrestre) y de los considerables movimientos de la superficie, se produjeron notables cambios en las condiciones de vida en nuestro planeta, modificándose la configuración de los continentes, el clima y la vegetación. Todos estos cambios fueron desfavorables para los grandes reptiles ya que se habían adaptado a unas condiciones más o menos estables en virtud de los cambios experimentados por la vegetación; debido a las modificaciones del clima, muchos reptiles gigantes herbívoros se vieron privados de la suficiente cantidad de alimento, comenzando a extinguirse, lo que causó, a su vez, el hambre y la extinción de los reptiles carnívoros.

Los reptiles son animales de sangre fría, razón por la cual su cuerpo no posee temperatura propia, independiente de la temperatura del medio que lo rodea. La sangre fría hace que los reptiles dependan en gran medida del clima, de los cambios de temperaturas de día y de noche así como de los del invierno y el verano. Al bajar la temperatura se reduce la movilidad de los reptiles haciéndose más difícil la obtención de comida y la defensa contra el enemigo. En esas condiciones hasta los reptiles grandes y fuertes eran fáciles presas de los mamíferos carnívoros, más pequeños y más débiles, pero siempre activos y móviles, a pesar del frío, gracias a la sangre caliente.

## 1.5 Era cenozoica

Esta era, también denominada nueva, duró cerca de 70 millones de años. Se divide en dos períodos: terciario y cuaternario. Florecen angiospermas, aves y mamíferos.

### 1.5.1 Período terciario

Se inició hace 70 millones de años y duró 69 millones de años. La superficie terrestre adquirió la fisonomía actual. La evolución del mundo vegetal se distingue por el gran desarrollo de las **angiospermas**. Veselov (1981).

**Gran abundancia de aves, mamíferos, insectos y plantas con flores; el deslizamiento lleva a los continentes a sus posiciones actuales; clima templado al principio del período con amplia formación de montañas y enfriamiento hacia el final. Audesirk, T. (1998).**

Aparecieron los cereales comenzando el rápido desarrollo de hierbas anuales. Las plantas herbáceas ya existían en el período cretáceo, pero entonces eran pocas, apareciendo principalmente en las orillas de ríos y mares. En cambio, en este período, ocuparon las enormes extensiones de Siberia, Mongolia y el continente americano, desalojando la vegetación arbórea y dando lugar a las estepas.

Grandes cambios tuvieron lugar en la fauna acuática y terrestre. Pasan a ocupar un lugar importante entre invertebrados los gasterópodos y los moluscos bivalvos. Entre los vertebrados acuáticos salen a primer plano los tiburones y los peces teleósteos. Enormes reptiles mesozoicos desaparecen a finales del período cretáceo y a principios de este período terciario de la era cenozoica, sustituidos por aves y mamíferos, animales de **sangre caliente**, más adaptados a las nuevas condiciones ambientales.

Estos animales tenían ventajas indiscutibles en comparación con los reptiles: sangre caliente, un elevado desarrollo del sistema nervioso (principalmente del cerebro) y de los órganos de los sentidos, esqueleto y musculatura más perfectos, plumaje (en aves) y pelo (en mamíferos).

Tuvieron mucha importancia los modos perfeccionados de reproducción y cuidado de la descendencia. Así, las aves no ponen huevos en cualquier lugar, sino que construyen nidos para este fin, en los que incuban y crían a sus hijos. Sus padres los defienden de los enemigos y los educan.

En los mamíferos reviste mucha importancia que el embrión se desarrolle en el útero de la madre. Gracias a esto no sólo recibe constantemente del organismo materno todas las sustancias nutritivas indispensables, sino que se halla protegido de los enemigos y de las condiciones desfavorables por el cuerpo de la madre, la cual puede evitar los peligros, salvarse a sí misma de ellos y a la descendencia. Después de dar a luz, la madre cría con su propia leche a los pequeñuelos y los defiende de cualquier situación peligrosa. Veselov (1981).

Estas importantísimas adaptaciones contribuyen a la amplia difusión de mamíferos y aves, y al desalojamiento de los reptiles, que estaban menos adaptados.

En este período comenzaron a formarse los órdenes principales de aves y mamíferos, característicos de la fauna contemporánea. Por ejemplo, entre los **mamíferos** se destacaron los siguientes grupos: insectívoros, roedores, herbívoros (protungulados), deuteracuáticos (ballenas) y primates (monos). Uno de los herbívoros típicos de aquel tiempo fue el **hiparión**, pequeño caballo de tres dedos. Este apareció a finales del período terciario en América del Norte, pasando luego a todos los continentes, excepto Australia y América del Sur. Las especies del hiparión eran en tamaño como el burro o el caballo y se extinguieron a finales del terciario. Entre los ungulados de este período cabe señalar el paleotrago, animal muy parecido a las jirafas contemporáneas. Veselov (1981).

Entre los demás mamíferos típicos del terciario cabe señalar el machairodo (o tigre dientes de sable), el indricoterio (o rinoceronte sin asta), el sibaterio (o jirafa búfalo), y los mamíferos proboscídeos (mastodonte y dinoterio). A finales del período aparecieron muchas variedades de monos antropomorfos, remotos antepasados del género humano. Uno de estos monos más desarrollados era el **driopiteco**: el mono de los árboles; es de suponer que los driopitecos fueron los antepasados por una parte de los monos actuales antropomorfos —el **gorila** y el **chimpancé**—, por la otra los antepasados más próximos del hombre.

### 1.5.2 Período cuaternario

Es el último período de la historia geológica de la Tierra, limitando con la época actual. Duró cerca de un millón de años. En éste no hubo grandes cambios en la disposición de océanos, continentes y montañas. Pero se distingue por otra particularidad importante: bruscos y periódicos cambios del clima bajo el efecto de las distintas causas cósmicas y biológicas, el clima del período cuaternario sufrió reiteradas y bruscas modificaciones. A las épocas templadas sucedían fríos tan intensos, que la parte septentrional de Europa, Asia y América del Norte se cubría de hielo. Se cuentan cuatro épocas glaciales, divididas por etapas templadas interglaciares.

Cada **época glacial** duró de 25.000 a 100.000 años, y la **interglacial** de 50.000 a 125.000. Los hielos de la última glaciación comenzaron a derretirse hace aproximadamente 25.000 años. Sin embargo, la tierra todavía no ha entrado en época efectivamente templada, ya que cerca de una décima parte de las porciones firmes está cubierta de hielo (principalmente la Antártida y Groenlandia).

El clima inestable del período cuaternario fue causa de sensibles modificaciones en los mundos vegetal y animal. Las zonas abarcadas por la glaciación fueron abandonadas por la flora y la fauna. Al avanzar el frío intenso, las formas árticas, acostumbradas a clima más templado, se desplazaron hacia el sur, desalojando las otras, que se extinguieron (el caso de muchos mamíferos gigantes) o se desplazaron a su vez hacia zonas más meridionales. Veselov (1981).

Por ejemplo, a causa del frío en la parte septentrional, y también en la media de Europa, Asia y América del Norte, desapareció la vegetación del período terciario acostumbrada al clima templado (palmeras, bejucos, magnolias, bambúes, nogales, etc.), muchos representantes de la fauna terciaria (varias especies de elefantes, rinocerontes, hipopótamos, monos, antílopes, ciervos, tigres de colmillos de sable, etc.) se extinguieron a causa del frío y de los cambios constantes de las condiciones de vida, así como debido a la modificación del mundo vegetal; en cambio adquirieron gran desarrollo las formas animales acostumbradas a bajas temperaturas

Los **mamíferos típicos de la época glacial** del cuaternario eran el mamut, el rinoceronte peludo, el ciervo de grandes cuernos de Islandia, el toro almizclero,

el lobo, el oso de las cavernas, el león de las cuevas, distintas especies de cabras, carneros y toros. Cuando vivían estos animales ya había aparecido el hombre: eran los contemporáneos del hombre primitivo; se inicia entonces la evolución del Homo. Audesirk, T. (1998).

### **Bosque pantanoso del período carbonífero**



Las plantas en forma de árbol son helechos arbóreos y licopodios gigantes, casi extintos en la actualidad. Observe la libélula en el centro de la parte inferior; algunas tenían envergaduras poco más de medio metro a un metro. Tomado de Audesirk, T. y Audesirk, G., 1998.

En el siguiente cuadro podemos observar, de una forma aún más resumida, los cambios existentes durante los diferentes períodos de la configuración de la Tierra:

| ERA         | PERIODO         | LÍMITES TEMPORALES     |                               | FORMAS DE VIDA ORIGINADAS              |
|-------------|-----------------|------------------------|-------------------------------|--|
|             |                 | ÉPOCA                  | APROXIMADOS                   |  |
| CENOZOICO   | CUATERNARIO     | Reciente u holoceno    | 10.000                        | Seres humanos                          |
|             |                 | Pleistoceno            | 2.500.000                     |  |
|             | TERCIARIO       | Plioceno               | 12.000.000                    | Mamíferos<br>rumiantes<br>y carnívoros |
|             |                 | Mioceno                | 26.000.000                    |  |
|             |                 | Oligoceno              | 38.000.000                    |  |
|             |                 | Eoceno                 | 54.000.000                    |  |
| Paleoceno   | 65.000.000      |                        |                               |  |
| MESOZOICO   | Cretácico       | 136.000.000            | Primates - Plantas con flor   |  |
|             | Jurásico        | 195.000.000            | Aves                          |  |
|             | Triásico        | 225.000.000            | Dinosaurios - Mamíferos       |  |
| PALEOZOICO  | CARBONÍFERO     | Pérmico                | 280.000.000                   | Reptiles -<br>Bosques de helechos      |
|             |                 |                        | 320.000.000                   |  |
|             |                 |                        | 345.000.000                   |  |
|             | Devónico        | 395.000.000            | Anfibios - Insectos           |  |
|             | Silúrico        | 430.000.000            | Plantas terrestres vasculares |  |
|             | Ordovícico      | 500.000.000            | Peces - Cordados              |  |
|             | Cámbrico        | 570.000.000            | Crustáceos - Trilobites       |  |
| PRECÁMBRICO | 700.000.000     | Algas                  |                               |  |
|             | 1.500.000.000   | Células eucarióticas   |                               |  |
|             | 3.500.000.000   | Células procarióticas  |                               |  |
|             | 4.650.000.000 + | Formación de la Tierra |                               |  |

## Resumen

### a) Diversidad y evolución

Hemos visto un doble aspecto de manifestaciones naturales: la infinita variedad de la vida orgánica y la armonía de animales y plantas con las condiciones de existencia. Estas dos particularidades de la naturaleza no han surgido de improviso, sino como resultado del desarrollo histórico (**evolución**) de la vida en la tierra en el curso de muchos millones de años.

### b) Árbol genealógico de la vida

Los seres más simples, surgidos de la sustancia proteínica, han sido organismos precelulares: cada uno de ellos era un simple corpúsculo de proteína, desprovisto de núcleo y membrana pero dotado de la facultad de metabolismo en su recambio de sustancias con el medio. La etapa siguiente del desarrollo de la vida está representada por seres unicelulares: células que en su protoplasma llevan citoplasma, núcleo y membrana. El árbol genealógico de la vida se divide en dos grandes troncos: vegetal y animal.

El desarrollo siguió cambios distintos; principalmente con arreglo al modo de nutrición. Unos organismos unicelulares se adaptaron a la asimilación de sustancias inorgánicas, mediante la fotosíntesis: eran las primeras plantas unicelulares. Otros seres de una célula sólo podían alimentarse de sustancias orgánicas ya hechas: eran los primeros animales unicelulares.

A partir de esta etapa, el mundo vegetal y el mundo animal se desarrollaron cada uno por su cuenta aunque dependiendo recíprocamente entre sí.

### c) El árbol genealógico del mundo vegetal

El desarrollo del mundo vegetal comenzó, fundamentalmente, por las algas unicelulares clorofíceas. Por lo visto, estas mismas algas han dado lugar a vegetales inferiores, que han perdido la capacidad de fotosíntesis: bacterias y hongos unicelulares y pluricelulares. Ocupan un lugar particular **líquenes**, procedentes de los hongos, pero capaces de efectuar la fotosíntesis ya que llevan en su cuerpo algas poseedoras de clorofilas (el líquen está formado por la reunión de un alga y un hongo).

De las algas unicelulares proceden las pluricelulares. Algunas de estas últimas se adaptaron a la vida en tierra firme y formaron el grupo correspondiente (**Psilofitas**). Otras dieron lugar a las plantas superiores. Ante todo aparecieron las distintas **plantas esporofitas o criptógamas** (musgos, equisetáceas, licopodios y helechos). Las criptógamas dieron lugar a las fanerógamas. Al principio aparecieron las **gimnospermas**, plantas de semillas desnudas, y luego surgió el tipo superior de organismos vegetales, de elevada organización: las plantas **angiospermas** o plantas de flores.

#### d) El árbol genealógico del mundo animal

La rama más antigua del mundo animal es la de los protozoarios o protozoos, animales unicelulares. Se considera que los progenitores de todos los protozoos han sido unos seres unicelulares parecidos a la ameba. Estos han dado lugar a otros protozoarios (distintas sarcodinas, así como flagelados, esporozoos e infusorios).

Los flagelados se hallan precisamente en la **divisoria que separa el mundo animal del mundo vegetal**. Es posible que el mundo vegetal haya partido de los flagelados antiguos. En algunos flagelados, durante la reproducción por división, los individuos femeninos no se separan, se quedan juntos formando colonias.

Los celentéreos dieron lugar a dos grandes ramas del mundo animal. De una rama partieron varios tipos de animales: los gusanos (platelmintos, nematelmintos y anélidos), los moluscos y los artrópodos (crustáceos, arácnidos e insectos). La otra rama grande está representada por dos tipos: equinodermos (erizos de mar, estrellas de mar, ofiuros, lirios de mar y holoturias) y cordados (a los que pertenecen todos los animales vertebrados).

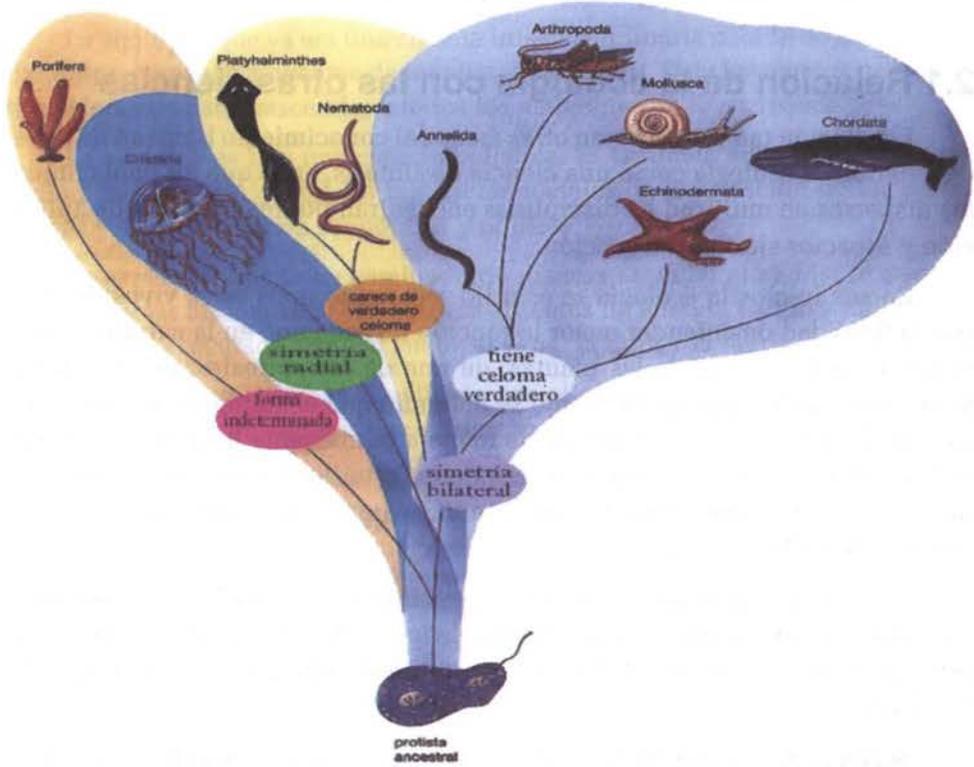
Los primeros vertebrados han sido los ostracodermos, animales parecidos a los peces sin mandíbulas. De estos proceden los primeros animales con mandíbulas: los peces remotos. La clase de los peces se distingue por una gran diversidad (tiburones, esturiónidos, dipnnos, crosopterigios, teleósteos, etc.). Un papel particular en la evolución de los vertebrados pertenece a los crosopterigios antiguos, que dieron lugar a los estegocéfalos, primeros anfibios. Los estegocéfalos fueron progenitores, no sólo de anfibios contemporáneos, sino también de los reptiles, vertebrados de tierra firme. Ciertos reptiles teriomorfos pequeños dieron lugar a los primeros mamíferos. Los antiguos reptiles, que planeaban de una rama a otra, dieron origen a las primeras aves.

#### e) La unidad del mundo orgánico

**Las propiedades fundamentales de la vida** son análogas tanto en **plantas** como en **animales**. Estas propiedades son: el metabolismo que prepara el recambio de sustancias con el medio (nutrición, respiración y eliminación), la excitabilidad, la capacidad de reaccionar a los estímulos exteriores, el desarrollo, el crecimiento, la herencia, y la variabilidad o transformismo. Veselov (1981).

La consecuencia inevitable de estas propiedades es el desarrollo histórico de plantas y animales. Este proceso tuvo como resultado que en el curso de muchos millones de años haya surgido, a partir de las minúsculas gotas de sustancia viva, la enorme diversidad de plantas y animales contemporáneos, cuya cifra se calcula en 30 millones de especies en la actualidad, según predicciones científicas. Tovar (2001).

## Esquema simple para la clasificación de los animales



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

Este esquema de clasificación se basa en las características anatómicas. Los animales muestran tendencias evolutivas desde una forma no determinada hacia la simetría radial, hacia la simetría bilateral. Los animales con simetría bilateral forman grupos: los más sencillos carecen de la cavidad corporal, llamada celoma, mientras que los phyla más complejos tienen un celoma.

## 2. Historia de la ecología como ciencia integradora

### 2.1 Relación de la ecología con las otras ciencias

La relación tan estrecha con otras áreas del conocimiento humano ha llevado a definir la ecología como una ciencia de síntesis, en la que los conocimientos dispersos en multitud de disciplinas encuentran puntos comunes de aplicación y espacios similares de acción.

En sus inicios la ecología se estudió separando unos seres vivos de otros con la finalidad de entender mejor la función de cada uno en la naturaleza y se habló de una ecología de las plantas, de una de los animales, de otra de los mares, etc. Por fortuna rápidamente se entendió que el ambiente es uno solo y que en él conviven relacionándose de manera permanente las plantas, los animales y el hombre y, por tanto, si se quieren estudiar las relaciones entre los individuos y su ambiente no pueden estudiarse unos seres independientemente de otros, Rizo, G. (1993).

Del estudio separado se encargan ciencias como la zoología, la botánica, que analizan las características anatómicas y fisiológicas de esos individuos, pero sin desconocer el papel decisivo que juega el ambiente en su crecimiento, desarrollo, etc.

Según la manera como encaremos el estudio de esas relaciones, la ecología se divide en **autoecología**, cuando se busca explicar la forma como los factores ambientales o abióticos y los demás organismos vivos o factores bióticos actúan sobre una especie considerada aisladamente. Así un estudio ecológico que pretende identificar las variables ambientales que determinan el sitio de habitación del conejo, será un estudio autoecológico.

Si lo que se busca es determinar cuáles son los factores bióticos y abióticos que actúan sobre un conjunto de especies diferentes, ese estudio será **sinecológico**, por ejemplo, los estudios realizados sobre los páramos o sobre las selvas húmedas son de este tipo. En ellos no se hace alusión a una determinada especie, sino al conjunto de ellas en un lugar determinado. Rizo, G. (1993).

### 2.2 Objeto de la ecología como ciencia de la actualidad

La ecología es una ciencia nueva. Más reciente aún es su trascendencia social. Hasta los años sesenta la ecología fue una preocupación exclusiva de naturalistas interesados en las relaciones entre los organismos y su medio ambiente.

Hacia finales de los años sesenta la ecología “**ganó la calle**” y se transformó. Pasó a ser una ciencia de moda, se generó un movimiento de opinión en torno a los peligros que amenazan la biosfera y con ello la propia existencia humana.

La ecología, que ya era una ciencia interdisciplinaria nacida de las ciencias naturales, comenzó a nutrirse de las ciencias sociales. Deja los marcos puramente académicos para trascender a todos los ambientes de la sociedad.

La ecología es hoy una ciencia holística. Es también, en cierto modo, una acción de denuncia contra las injusticias sociales, la explotación de los países pobres y su dependencia económica y política.

La especie humana ha cambiado de manera esencial el ambiente a escala global, gracias al dominio sobre algunas fuentes de energía y al uso indiscriminado de otros recursos como el suelo, el agua, la flora y la fauna.

Las alteraciones se han acentuado con el crecimiento de la población y la industrialización; en algunos casos, estas modificaciones han sido irreversibles.

La ecología ha adquirido como objeto de estudio su particular importancia como fundamento científico para un compromiso individual y colectivo en beneficio de las generaciones actuales y futuras.

En los últimos años la ecología se ha transformado y enriquecido, adquiriendo una nueva dimensión, contribuyendo a ello las ciencias sociales, la tecnología, las ciencias exactas y las naturales. Rizo, G. (1993).

## **2.3 La ecología: entre ciencias naturales y sociales**

La ecología comenzó a definirse como ciencia cuando los filósofos y científicos del siglo XIX ubicaron al hombre como un integrante más de la biosfera, pues así como no es posible concebir a los animales y vegetales sin su ambiente, tampoco se puede considerar al hombre sin su medio ambiente humano. Oliver (1981).

Prenant (1940) citado por Oliver (1981) comenta que “la gran revolución biológica, que puede resumirse casi en el nombre de Darwin, ha colocado al hombre en su verdadera posición, la del último producto de la energía solar, obrando sobre los elementos químicos particulares de un planeta en movimiento”. ¿Puede pedirse una más correcta ubicación ecológica del hombre?

Las relaciones del hombre con la naturaleza se han ido modificando a lo largo de su evolución. La vida del hombre de Neandertal o de Cromagnon estuvo mucho más expuesta a los efectos de los factores ambientales que la del hombre moderno. Oliver (1981).

Se puede decir que existía una mayor relación ecológica entre el hombre y la naturaleza. Durante milenios fue recibiendo el impacto del clima y de sus

vinculaciones con los demás seres. Su capacidad de raciocinio le permitió ir conformando su propio hábitat; fue modificando sus modalidades de vida y alterando paulatinamente la naturaleza. En algunos casos lo hizo con racionalidad, en muchísimos otros ha propiciado su ruina (Oliver, 1981).

Para ubicar la ecología en el contexto de las ciencias biológicas se debe partir de los niveles de organización de la materia viva (ver figura en la página 38). Las poblaciones, las comunidades y los ecosistemas ocupan los niveles de organización más avanzados y es atributo de la ecología estudiarlos.

Se la puede definir entonces como la *biología de los ecosistemas*. O dicho de otro modo, como el estudio de la estructura y el funcionamiento de la naturaleza, o lo que es lo mismo, el estudio de la dinámica y evolución de las comunidades naturales. Pueden por lo tanto diferenciarse en la ecología tres ramas básicas: *dinámica de poblaciones, estructura de comunidades y funcionamiento de ecosistemas*. Oliver (1981).

La primera definición de *ecosistema* correspondió al botánico inglés Tansley (1935) citado por Oliver (1981), quien lo consideró como "un sistema total que incluye no sólo los complejos orgánicos sino también al complejo total de factores que constituyen lo que llamamos medio ambiente". En 1944 el académico y botánico soviético Vladimir N. Sukachov utilizó el término *biogeocenosis* para definir el complejo de interacciones naturales que existen entre las comunidades vegetales (fitocenosis), el mundo animal que las habita y la correspondiente parte de la superficie terrestre con las propiedades particulares de la atmósfera (microclimas), la constitución geológica, los suelos y el régimen hidrológico. Oliver (1981).

Si se observa la imagen de la tierra desplazándose como una nave espacial en el cosmos, y se recuerda la protección y aislamiento que le brindan las distintas capas atmosféricas, se tendrá definido un gran ecosistema.

La vida es posible en la tierra por una considerable cantidad de agua líquida por interfases entre los estados líquido, sólido y gaseoso, y por la energía solar. Es decir, que nuestro planeta es un inmenso ecosistema llamado *biosfera*, término utilizado por el geoquímico ruso Vladimir Vernadsky para englobar las zonas que han sido colonizadas por los seres vivos: "partes adyacentes de la corteza terrestre, el agua de los ríos, los mares y los océanos (hidrosfera) y la troposfera".

La biosfera no es uniforme ni mucho menos. La distribución de la vida depende de las condiciones reinantes en cada situación determinada: regiones tropicales húmedas, desiertos, altas montañas, fosas oceánicas, casquetes polares, aguas continentales polihalinas, etc. Es así como la biosfera puede dividirse en ecosistemas principales y éstos en ecosistemas subordinados.

Se ha hecho referencia que los ecosistemas están integrados por *comunidades* (también reciben el nombre de *biocenosis*). Éstas se definen como la suma de

las poblaciones animales y vegetales que viven en un área definida llamada *biotopo*. Esas poblaciones se hallan íntimamente vinculadas entre sí por razones de competencia o de complementación (epibiosis, depredación, comensalismo, simbiosis, parasitismo). Su dinámica depende de los cambios que se operen en cada una de las poblaciones que la integran.

Se ha dicho que las comunidades son una superposición de *poblaciones*. En ecología éstas se definen como un conjunto de organismos de una misma especie que ocupan un área definida, por lo que se dan posibilidades de interfecundación entre los individuos. La población posee una dinámica propia que depende de los ciclos biológicos de la especie (fecundidad, natalidad, mortalidad, crecimiento). Oliver (1981).

Para un análisis correcto de la ubicación del hombre en la biosfera se hace necesario diferenciar entre lo que es el medio ambiente que rodea a las poblaciones naturales y el medio ambiente humano. Es que a los factores de orden físico que envuelven a las primeras se les suman, en el caso del hombre, factores de orden económico y cultural: "mientras los animales tienen sólo un *ambiente* los hombres poseen un *ambiente-artefacto*" que es de naturaleza instrumental (Strong, 1975, citado por Oliver, 1981).

Ese ambiente ha sido conformado por la cultura, que al decir de Maldonado es "un tejido de utensilios-artefactos y de símbolos-artefactos, recíprocamente dependientes y condicionantes". Otro tanto ha querido significar Maurice Strong (citado por Oliver, 1981), cuando afirmó que "el medio ambiente humano comprende todos los aspectos de la actividad del hombre, que modificó el sistema ecológico natural del que forma parte, afecta a su vida y a su bienestar". Oliver (1981).

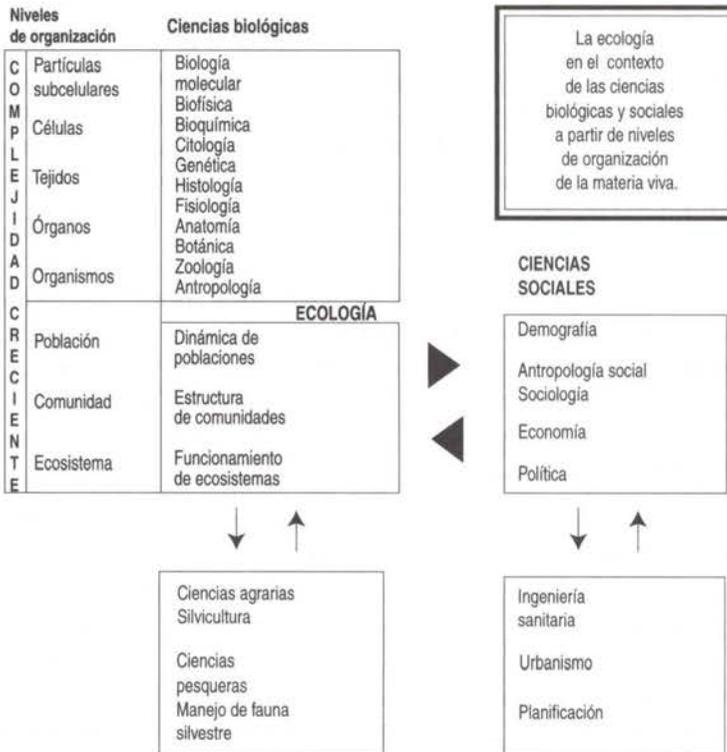
Los ambientes humanos deben ser considerados como ecosistemas subordinados a la biosfera. Se trata de ecosistemas que afectan la estabilidad, y aun la misma existencia, de los ecosistemas vecinos, debido a que provocan cambios sustanciales, en ciertos casos irreversibles, en el medio ambiente (generación de contaminantes, cambios microclimáticos, etc.). Este accionar no es atributo de los otros subsistemas ecológicos.

Es así como la ecología se ha transformado en una ciencia de notables implicaciones económicas, sociales y políticas. Ha dejado de ser una actividad exclusiva del biólogo naturalista. Más bien le otorga a éste una nueva dimensión en sus trabajos de investigación al acercarlo a la dinámica propia de la sociedad. La ecología moderna según Dansereau (1977), citado por Oliver (1981), "no es ecología a menos que conciba medios para percibir toda la complejidad de un espacio ocupado (temporal o permanentemente) por organismos vivos (incluyendo el hombre); a menos que pueda proporcionar una concepción integral del conjunto dinámico; y a menos que pueda situar las partes en su verdadera relación con cada una de las demás y con el total".

No es aconsejable, por lo tanto, amalgamar la *ecología de los ecosistemas naturales* con la *ecología de los sistemas humanos*; menos aún la ecología de las poblaciones naturales con la ecología de las poblaciones humanas, si bien es cierto que existen algunos patrones de funcionamiento que les son comunes. Las leyes que rigen la dinámica de las comunidades naturales no son las mismas que las que rigen a las comunidades humanas. Mientras que las primeras son leyes naturales, las segundas son leyes socioeconómicas creadas por los propios hombres.

Es esta línea de pensamiento la que ha llevado a Maldonado (1972), citado por Oliver (1981), a considerar que “la construcción del medio ambiente humano es inseparable de nuestra autorrealización como hombres”.

Josué de Castro (1972) ha sintetizado este pensamiento al decir que “un análisis correcto del medio debe abarcar el impacto total del hombre y de su cultura sobre los restantes elementos del contorno, así como el impacto de los factores ambientales sobre la vida del grupo humano considerado como totalidad. Desde este punto de vista el medio abarca aspectos biológicos, fisiológicos, económicos y culturales, todos ellos combinados en la misma trama de una dinámica ecológica en transformación permanente” (Oliver, 1981).



## 2.4 Síntesis histórica de la ecología

Las raíces más antiguas de la ecología están asociadas al proceso de la evolución del hombre, pues desde sus primeros albores la humanidad manejó relaciones básicas y elementales que permitían que se abasteciera de alimentos.

Podríamos decir que la ecología se inicia con las observaciones que sobre el tema hicieron los griegos, y particularmente Hipócrates, Aristóteles y otros filósofos, quienes no utilizaron un término para definirla.

Aportan también a la conformación de la ecología como ciencia, las observaciones de botánicos y naturalistas del Renacimiento y de los siglos XVIII y XIX, las cuales permitieron conformar el cuerpo básico de esta ciencia.

Definida y enmarcada la ecología entre las ciencias naturales y las ciencias sociales, resulta útil recordar algunos de los hechos más importantes que han ido conformando el pensamiento ecológico actual:

**1798** Se publican las primeras teorías acerca de Demografía, gracias al sacerdote y economista inglés Thomas R. Malthus (1766-1834).

**1805** El naturalista y geógrafo alemán Alejandro von Humboldt (1769-1859) sienta las bases de la Biogeografía Ecológica.

**1809** El naturalista francés y padre del transformismo, Juan Bautista Lamarck (1744-1829), expone sus hipótesis sobre las adaptaciones animales al medio ambiente.

**1842** Se publica "The Structure and distribution of coral reefs", estudio eminentemente ecológico del naturalista inglés Charles Darwin (1809-1882), que juntamente con sus observaciones sobre lombrices de tierra y orquídeas, adelanta muchos conceptos que nutrirían las ciencias ecológicas.

**1859** Aparición de la obra cumbre del mismo Charles Darwin, *El origen de las especies*, en la que sienta las bases científicas de la evolución y de las modernas ciencias naturales.

**1867** Se publica *El Capital* de Karl Marx (1818-1883), filósofo, sociólogo y economista alemán, obra básica del pensamiento filosófico que sustenta el socialismo científico y en la que se encuentran referencias a la esencia de la ecología social.

**1869** El biólogo alemán Ernesto Heckel (1834- 1919) introduce en la terminología científica el vocablo Oekologie (del griego Oikos=casa) que utiliza para designar el estudio de las relaciones de un organismo con su medio ambiente.

**1877** El biólogo alemán Karl A. Mobius (1825-1908) define la **biocenosis** (también llamada **comunidad**) como a un conjunto de organismos que dispone

de lo necesario para su crecimiento y su continuidad, tomando como ejemplo un banco de ostras.

**1878** Se publica *Anti-Duhring*, una de las obras más importantes del filósofo y economista alemán Friedrich Engels (1820-1895), en la que se analizan problemas teóricos de las ciencias naturales, desde el punto de vista del materialismo dialéctico, en los que se sustentan los principios dinámicos y evolutivos de la naturaleza. Su *Dialéctica de la naturaleza*, escrita entre los años 1875-1882, en la que se reafirman esos principios, quedó inconclusa y fue publicada por primera vez en 1925.

**1879** El biólogo danés Víctor Hensen (1835-1924) comienza las investigaciones sobre el plancton marino, como forma de establecer un balance en la producción de los mares. En ese mismo año, Antón Dohrn (1840-1909) funda la Estación Zoológica de Nápoles.

**1892** Se publica la obra del naturalista inglés H.W. Bates (1825-1892) *La naturaleza del río Amazonas*, en la que se fundamentan los principios de la biogeografía evolutiva y conceptos tales como **mimetismo**.

**1892** Se inicia la publicación de *Le Lemán: Monographie limnologique*, que concluiría en 1904, del limnólogo suizo Francois A. Forel (1841-1912) que resulta ser la primera síntesis ecológica de un cuerpo de agua dulce.

**1912** Como resultado de las grandes campañas oceanográficas del buque de investigaciones inglés "Challenger", el oceanógrafo John Murray (1841-1914) publica una de las obras clásicas de la oceanografía: *The depths of the ocean*.

**1926** Vito Volterra (1860-1940), matemático italiano, funda la base bioestadística necesaria para la interpretación de la dinámica de las poblaciones.

**1926** Vladimir I. Vernadsky (1863-1945), fundador de la geoquímica rusa, pronuncia una serie de conferencias en las cuales utiliza el término **biosfera** para designar la superficie terrestre que ha sido colonizada por la vida.

**1927** Se publica la primera edición de *Fitosociología* del botánico y ecólogo suizo Josias Braun-Blanquet, nacido en 1884. Se trata de un texto teórico de gran trascendencia en el desarrollo de la geobotánica. Su tercera versión fue publicada en 1964.

**1935** Se publica la obra del ecólogo inglés Charles S. Elton *Ecología animal*, que resulta clásica en los conocimientos ecológicos.

**1935** El botánico inglés Arthur. G. Tansley (1871-1955) introduce el término **ecosistema** para definir las relaciones dinámicas entre las comunidades y su ambiente.

**1942** Aparece el libro *El océano*, del oceanógrafo y expedicionario noruego Helad U. Sverdrup (1888-1957) y colaboradores, obra clásica en el estudio ecológico de los océanos.

**1943** El fitosociólogo ruso Vladimir N. Sukachov (nacido en 1880) utiliza el término **biogeocenosis** para designar a las fitocenosis junto al mundo animal que las habita y el medio físico que las rodea.

**1959** Eugene P. Odum (nacido en 1919), ecólogo norteamericano publica la primera versión de *Fundamentos de la Ecología*, obra que en sucesivas ediciones desarrolla y fundamenta los principios de la ecología energética.

**1974** Ramón Margalef, español nacido en 1919, limnólogo y oceanólogo, da a conocer su *Tratado de Ecología*, la obra más importante que se haya realizado en idioma castellano y que resume los principios básicos de la ecología moderna a la cual él mismo ha contribuido con importantes aportes teóricos.



Alexander von Humboldt



Charles Darwin

La primera vez que el término ecología es definido y utilizado fue en 1869, por parte del biólogo alemán Ernest Heinrich Haeckel (1834–1919), quien la entiende como el estudio de las relaciones de un organismo con su ambiente inorgánico y orgánico.

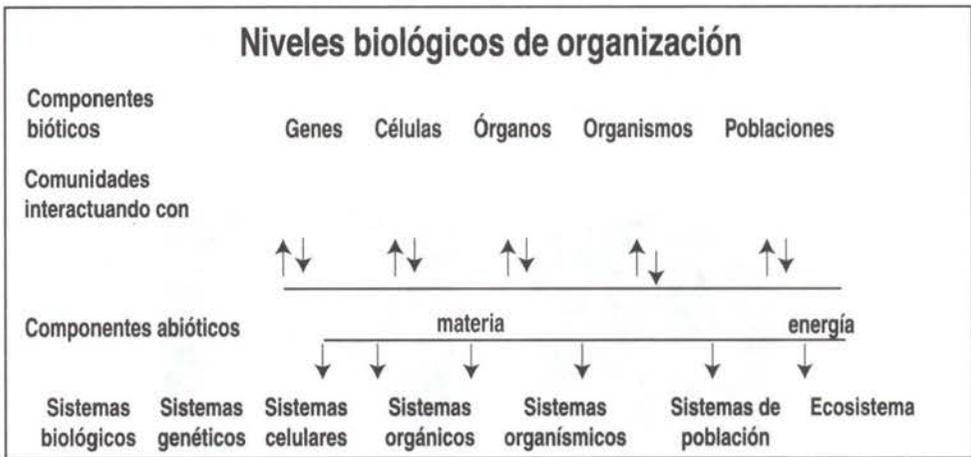
Etimológicamente la palabra ecología se deriva de *oekologie*, que a su vez se divide en **oikos** = **casa** o lugar donde se vive y **logos** = **tratado**, es decir, el tratado del lugar en que se vive.

Odum (1983) expresa que la ecología es el estudio de la estructura y función de la naturaleza, y que es la "**Biología del Medio**".

Cada ciencia estudia la naturaleza a partir de un nivel que le es propio; la ecología se interesa por un nivel mayor cuya delimitación trata con unidades de vida de múltiples elementos que interactúan entre sí. Rizo (1993).

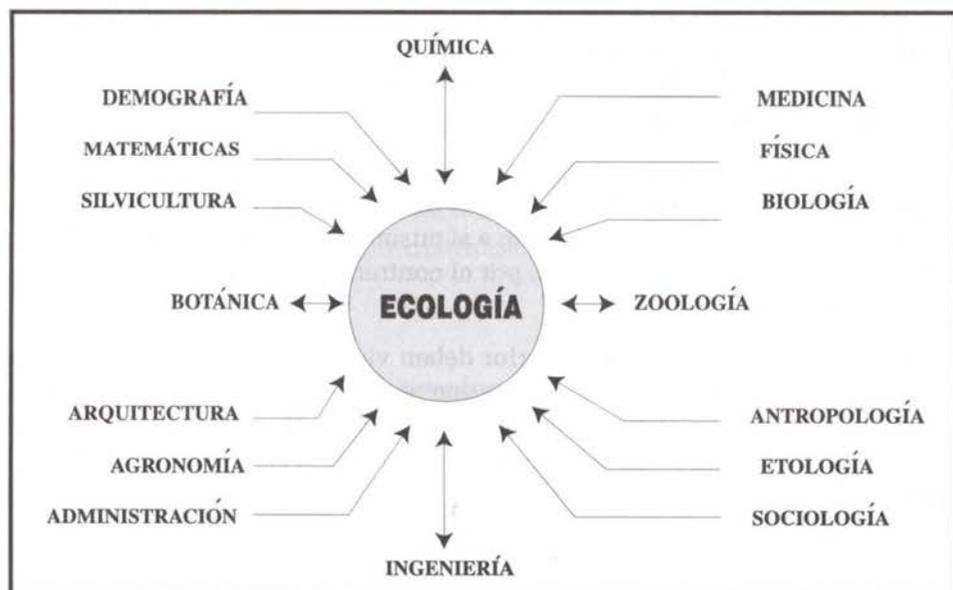
Los factores abióticos y el conjunto de interacciones de una especie con su entorno biótico conforman su denominado **nicho ecológico**.

La ecología centra su atención fundamentalmente en el estudio de las relaciones que tienen grupos de individuos de una misma o de diferentes especies con el medio ambiente en que viven. Los niveles de organización biológica inferiores a los organismos son objeto de estudio de otras áreas dentro de la biología.



Tomado de Odum, 1993

De la gráfica anterior hay que decir que el área de interés de la ecología se sitúa a partir de los organismos hacia la derecha, lo cual no significa que se desconozcan los valiosos aportes que las otras áreas de la biología dan a la ecología y que permiten comprender mejor las relaciones que ella estudia.



Tomado de Rizo, 1993

Aportan también a la conformación de la ecología como ciencia otra serie de conocimientos diferentes de los puramente biológicos, provenientes de ciencias como la física, la química, la botánica, la zoología, la climatología y la agronomía, entre otras, presentándose relaciones muy cercanas con áreas del conocimiento, como la economía, la antropología, la arquitectura, la silvicultura, etc., que se sirven de los conocimientos que ella crea. Rizo, G. (1993).

La ecología es una ciencia de síntesis, gracias a la cual el hombre puede identificar perfectamente cuáles son aquellos factores que sostienen esa dinámica al interior de la naturaleza y que en últimas es responsable de la complejidad que la caracteriza, de la que este recién llegado *Homo sapiens* no puede abstraerse.

Merced a los graves cambios inducidos por una errática conducta humana, esa dinámica viene siendo peligrosamente intervenida y de ahí se están derivando todas aquellas patologías socio-ambientales que tipifican una naturaleza débil, enfermiza y sorprendentemente cambiante en detrimento de la estabilidad que se pierde en la medida en que se la sigue agrediendo sin llegar a considerar siquiera los graves efectos que inhiben la supervivencia planetaria.

Por estos motivos la enseñanza de la ecología cobra la mayor importancia, para que las generaciones actuales y venideras no cometan los mismos errores de aquéllas que transitaron por la vida sin darse cuenta de que no estaban solas y que lo hicieron desarrollando toda clase de acciones carentes de sentido conservacionista, por lo que su tiempo se acortó y entonces su caminar fue inadvertido. Tovar, J. (2001).

La sociedad debe acercarse a los principios orientadores de modelos de desarrollo que involucren la dimensión ambiental, siendo entonces muy pertinente el denominado **Desarrollo Sostenible**, del cual se viene tratando desde principios de la década del 90.

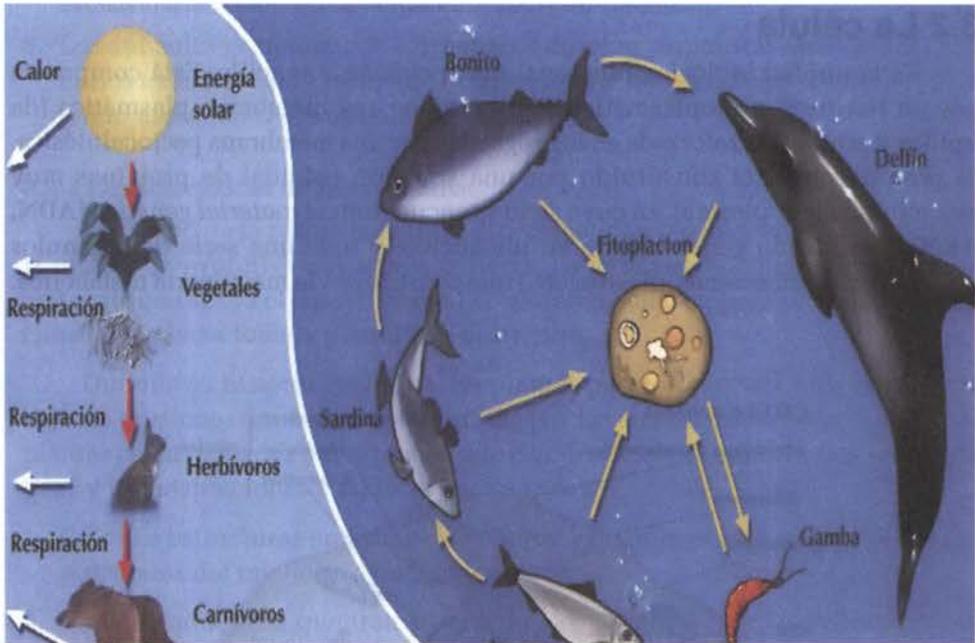
La ecología no puede ser tomada como una simple "moda", que atrae a muchos adeptos que enarbolan discursos adornados en la hipocresía o en el interés mezquino de quienes se llaman a sí mismos conocedores de la verdad en materia del devenir natural, el cual, por el contrario, es lo más complejo que se pueda conocer.

Los centros de educación superior deben vigilar la concepción de programas que permitan dar a conocer un mensaje real sobre el acontecer de ese devenir planetario, en aras de formar profesionales que independientemente de su campo de acción, puedan andar bajo la senda de la previsión ecológica. Tovar, J. (2001).

### 3. Niveles de organización en ecología

La ecología observa la naturaleza a través de los conceptos: las transformaciones o **ciclos de la materia**; las transferencias o **flujos de energía** y los **tipos de organización** que adoptan sus elementos. Enfoca el estudio de las relaciones entre los organismos en niveles distintos, dentro de límites geográficos definidos.

#### Flujo unidimensional de la energía y ciclo de la materia en un ecosistema marino



Tomado de Enciclopedia del estudiante, *El Tiempo*, 1999

Las poblaciones de las especies que conviven en un área determinada conforman **la comunidad**; esta y todos sus aspectos físicos asociados conforman **el ecosistema**.

Cuando se ocupa de grupos de organismos de la misma especie se denomina **ecología de poblaciones**, y cuando estudia los grupos de organismos de diferentes especies se llama **ecología de comunidades**. Los niveles de organización más complejos son los **ecosistemas** y los **biomas**.

La **biosfera** o **ecosfera** es el conjunto de todos los ecosistemas del planeta que agrupan la totalidad de los seres vivos.

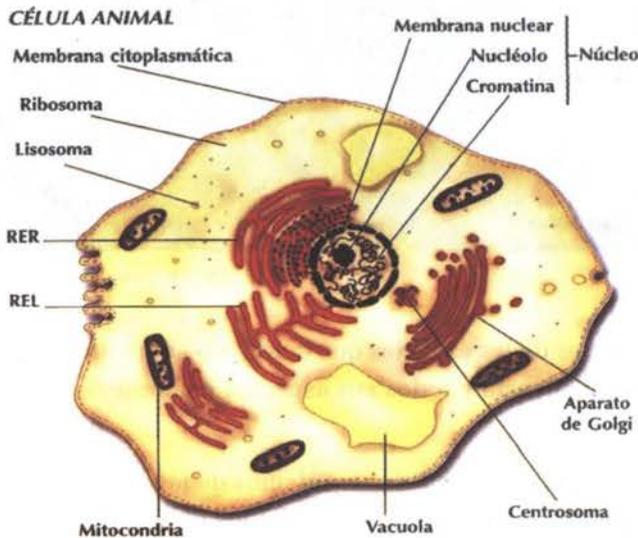
Los niveles de organización en ecología siguen el principio de la integración funcional; a medida que crece la complejidad estructural, surgen propiedades complementarias.

### 3.1 Los materiales biológicos

Holo y heteroproteínas, lípidos, ácidos nucleicos, etc., se integran en la naturaleza en un cierto número de niveles de organización cada vez más complejos: célula - individuo - población - comunidad - ecosistema.

### 3.2 La célula

Es la unidad biológica funcional más pequeña y sencilla. Está compuesta por un territorio protoplasmático, limitado por una membrana plasmática (de lípidos y proteínas), reforzada en los vegetales por una membrana pectocelulósica. El protoplasma está constituido por una solución coloidal de proteínas muy estructurada (citoplasma), en cuyo seno se encuentran el *material genético* (ADN, ARN), organizado generalmente en un núcleo, y toda una serie de orgánulos (mitocondrias, ribosomas, plastos, etc.) que constituyen la maquinaria metabólica.



### 3.2.1 Características de los animales

Los animales tienen varias características que, en conjunto, los distinguen de los otros reinos y pueden según Audesirk, T. y Audesirk, G. (1998):

1. Ser multicelulares
2. Ser heterótrofos. Lo que significa que obtienen su energía mediante el consumo de cuerpos de otros organismos.
3. Reproducirse sexualmente. Aunque las especies animales exhiben una enorme diversidad de estilos reproductivos, todas son capaces de llevar a cabo la reproducción sexual.
4. Las células animales carecen de pared celular.
5. Los animales son móviles durante alguna etapa de su vida. Hasta las esponjas estacionarias tienen una etapa larvaria libre-natatoria.
6. Los animales generalmente son capaces de tener respuestas rápidas a los estímulos externos como resultado de la actividad de sus células nerviosas, de su tejido muscular o contráctil, o de ambos.

### 3.2.2 Características de los vegetales

El cuerpo de la planta aumentó en complejidad cuando las plantas hicieron la transición evolutiva del agua a la tierra. La vida vegetal surgió en el mar, un ambiente que apoya el cuerpo vegetal proporciona una temperatura relativamente constante y baña toda la planta con nutrientes.

Durante su historia evolutiva, las plantas pasaron por una serie de cambios bajo las presiones de selección impuestas por los ambientes terrestres, donde las plantas están rodeadas por aire seco que no constituye su soporte. Las características y las adaptaciones a la tierra comprenden:

1. Raíces o estructuras en forma de raíz que anclan la planta y absorben agua y nutrientes del medio en que se encuentre.
2. Vasos conductores que transportan agua y minerales hacia arriba desde las raíces y productos fotosintéticos desde las hojas al resto del cuerpo vegetal.
3. La sustancia de refuerzo **lignina**, que impregna los vasos conductores de agua y minerales, sirve de apoyo al cuerpo de la planta, ayudándolo a exponer la máxima área superficial a la luz solar.
4. Una **cutícula** cerosa cubre las superficies de las hojas y de los tallos y limita la evaporación de agua.
5. Poros, llamados **estomas**, en las hojas y tallos que se abren para permitir el intercambio de gas, pero que se cierran cuando el agua es escasa, reduciendo la cantidad de agua perdida en la evaporación.

El reino plantae registra tres características fundamentales: son eucarióticos, fotosintéticos y (con pocas excepciones) multicelulares. Hasta la fecha se han identificado casi 300.000 especies de plantas multicelulares.

### 3.3 La especie

Fingerman (1972), citado por Zuluaga (1977), señala que una especie es "una serie de poblaciones capaces de cruzarse entre sí para producir descendencia fértil, pero que ordinariamente no se cruzan con otros grupos". La especie tiene una realidad definida en la naturaleza y nunca es un grupo artificial establecido por el hombre. Dicha definición de especie es sólo aplicable a los organismos que se reproducen sexualmente y, por lo tanto, especies diferentes no pueden -en condiciones normales- aparearse y producir descendencia fértil; es decir, que el intercambio genético interespecífico es muy extraño o tal vez no ocurra. En cuanto a los organismos con reproducción asexual, la especie se define con base en diferencias anatómicas, de conducta o fisiológicas.

A partir de la categoría de especie se pueden considerar ciertos subgrupos, en los cuales han evolucionado diferencias genéticas que los adaptan mejor para sobrevivir en sus hábitats locales. Se trata de las **razas** o **subespecies** y de las llamadas **variedades**. Estas últimas han sido desarrolladas principalmente bajo el control humano y no pueden conservar sus características distintivas en la naturaleza. En realidad, en una población los miembros no son todos iguales sino que muestran variaciones hereditarias; aquellos individuos portadores de variación favorable poseen ventajas en cuanto a competencia y, por ende, podrán sobrevivir y transmitir sus caracteres a la descendencia. Esto es lo que Darwin llamó "selección natural" Zuluaga (1977).

La especie es un grupo de poblaciones naturales inter cruzadas que están aisladas reproductivamente de otros grupos. Como resultado de ello, los miembros de una especie forman:

- a) Una **unidad reproductiva**, pues una multitud de recursos y condiciones asegura la reproducción intraespecífica en todos los organismos.
- b) Una **unidad ecológica**, ya que la especie interactúa como una unidad respecto a las otras especies con que comparte su ambiente.
- c) Una **unidad genética**, constituida por un gran "pool" genético en permanente intercambio. El individuo es sólo un pequeño reservorio de genes, por un tiempo relativamente corto.

**Las barreras** para el intercambio genético interespecífico las divide Fingerman (1972), citado por Zuluaga (1997), en **extrínsecas** e **intrínsecas**. Las primeras son de orden ecológico, de conducta, estructurales y fisiológicas en cuanto a reproducción (especies estrechamente relacionadas pueden ocupar

hábitats -salobre y salado, por ejemplo- muy distintos). Los **mecanismos intrínsecos** de aislamiento interespecífico (dos o más especies que ocupan el mismo territorio no pueden usualmente cruzarse entre sí) son factores que impiden a la descendencia híbrida convertirse en un miembro reproductor de la población. Ocurrirá, entonces, ya sea inviabilidad del híbrido o bien esterilidad del mismo (por ejemplo: el mulo, producto del cruce de caballo y burra).

Zuluaga (1977) señala que para Ehrenfeld (1972) algunos animales y plantas ocupan posiciones centrales en la red de relaciones mutuas que forman una comunidad. Si se suprimen selectivamente estas especies, empieza a sufrir la estructura de la comunidad; este tipo de organismos sobre los cuales descansa una buena parte de la estructura y la función de un ecosistema se denomina **especie clave**.

Para Margalef (1974), citado por Zuluaga (1977), desde el punto de vista de **distribución geográfica**, las especies se pueden ordenar entre dos extremos:

1. Especies que se extienden sobre un área vasta (ocupando a veces pequeñas parcelas) y con capacidad de producir un gran número de materiales reproductivos de fácil transporte; en virtud de esto se mantiene un flujo genético considerable entre las distintas poblaciones locales.
2. Especies formadas por individuos de escasa movilidad y que, por su aislamiento, dejan pocos descendientes, los cuales no se alejan sensiblemente de sus progenitores; el flujo genético entre las diversas unidades de cría es aquí pequeño.

Se puede considerar a la especie como un conductor de energía entre unos y otros niveles del ecosistema, con una intensidad variable según su tasa de mortalidad. Complementariamente, debe tenerse en cuenta la existencia de las llamadas **especies politípicas**, que se pueden considerar descompuestas en varias subespecies o razas, todas las cuales juntas forman un "círculo de formas". La energía fluirá, por consiguiente, por vías muy diversas dentro del ecosistema (Zuluaga, 1977).

### 3.4 La población o demo

Es un sistema biológico formado por un grupo de individuos de la misma especie que viven en un lugar y tiempo determinados.

Para saber cómo crecen las poblaciones basta saber que los estudios de ecosistemas inalterados muestran cómo muchas poblaciones tienden a permanecer relativamente estables con el paso del tiempo.

Hay tres factores que establecen si cambiará el tamaño de una población y en qué medida: nacimientos, muertes y migración.

Los organismos se integran a una población gracias al nacimiento o a la **inmigración** (movimiento hacia adentro) y la dejan por muerte o **emigración** (movimiento hacia afuera).

Una población permanece estable si, en promedio, llegan a ella los mismos individuos que se van. Una población crece cuando el número de nacimientos más el número de inmigrantes supera el número de muertes más el número de emigrantes. Las poblaciones se reducen cuando ocurre lo contrario. Una ecuación sencilla para el cambio en el tamaño de la población es:

$$\text{Cambio en la población} = [(\text{nacimientos} - \text{muertes}) + (\text{inmigrantes} - \text{emigrantes})]$$

En muchas poblaciones naturales, los organismos que llegan y se van contribuyen relativamente poco al cambio en la población, y son los índices de natalidad y mortalidad los factores primordiales que influyen en su crecimiento.

Al final, el tamaño de cualquier población (sin tener en cuenta la migración) es el resultado de un equilibrio entre dos factores opuestos importantes. El primero es el **potencial biótico**, o índice máximo al cual podría aumentar la población, suponiendo que haya condiciones ideales que permitan un índice máximo de natalidad y un índice mínimo de mortalidad.

Lo opuesto son los límites impuestos por el ambiente vivo y no vivo: la disponibilidad de alimento y de espacio, la competencia con otros organismos y ciertas interacciones de las especies, como las conductas predatorias y el parasitismo. En conjunto, estos límites se llaman **resistencia ambiental**.

La resistencia ambiental puede reducir el índice de natalidad y aumentar el de mortalidad. Por lo general, la interacción entre el potencial biótico y la resistencia ambiental da como resultado un equilibrio entre el tamaño de la población y los recursos disponibles.

El potencial biótico de una población produce un crecimiento exponencial si no es restringida.

Los cambios en el tamaño de la población (sin tomar en cuenta la migración) son funciones del índice de natalidad, del índice de mortalidad y del número de individuos en la población original.

Los índices de cambio en el tamaño de la población pueden medirse como los cambios en cada una de estas variables para un tamaño dado de la población durante una unidad determinada de tiempo. Por ejemplo, los índices de natalidad y mortalidad pueden expresarse como el número anual de nacimientos o de muertes por cada mil individuos.

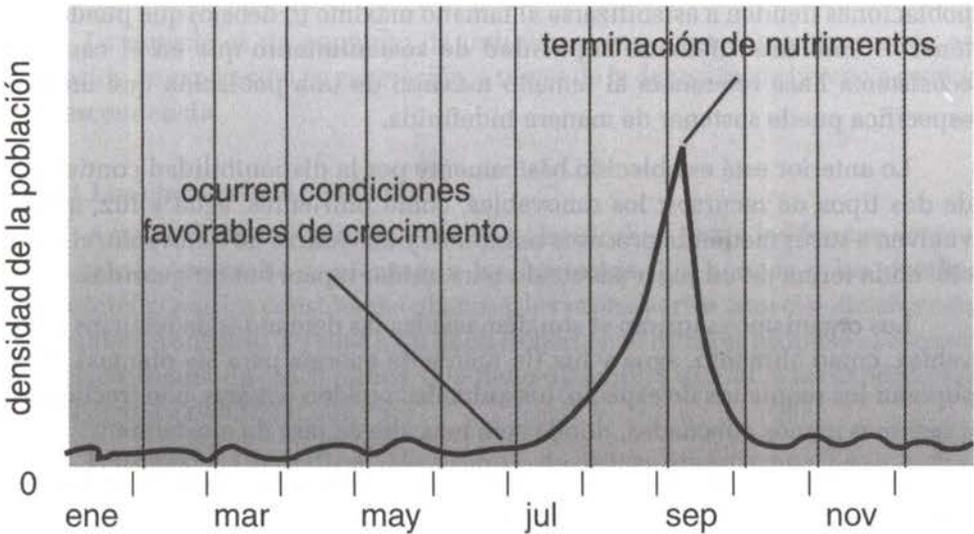
El **índice de crecimiento (r)** de una población se determina restando el índice de mortalidad (**d**) del índice de natalidad (**b**):

$$r = b - d$$

A veces el crecimiento exponencial lleva a ciclos “de abundancia y escasez”. En efecto, en la naturaleza, por ejemplo, se observa en poblaciones que pasan por ciclos regulares, donde después del rápido crecimiento de la población hay una mortalidad masiva.

Estos **ciclos de abundancia y escasez** ocurren en una variedad de organismos por distintas razones complejas. Muchas especies de vida corta y que se reproducen con rapidez, desde las algas hasta los insectos, tienen ciclos de población de temporada, que están relacionados con los cambios que se pueden predecir en la precipitación, en la temperatura o en la disponibilidad de nutrientes, tal como se observa en la siguiente figura.

#### Ciclo de auge y reducción en una población



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

Las algas azul-verdosas en un ciclo de abundancia y escasez en el lago Erie. Las algas sobreviven en un nivel bajo durante el otoño, el invierno y la primavera. A principios de julio, las condiciones se vuelven favorables para el crecimiento y ocurre el crecimiento exponencial a lo largo de agosto, después del cual se terminan los nutrientes y la población “declina”.

En los climas templados, las poblaciones de insectos crecen rápidamente durante la primavera y el verano, y después se desploman al toparse con las congelantes temperaturas invernales.

El crecimiento exponencial también puede ocurrir cuando los individuos invaden un hábitat nuevo donde las condiciones son favorables y es escasa la competencia o las prácticas predatorias.

Muchas invasiones de este tipo han ocurrido cuando la gente ha introducido **especies exóticas** o **extrañas** en los ecosistemas, con frecuencia con resultados trágicos.

La resistencia ambiental limita el crecimiento de las poblaciones. En efecto, el crecimiento exponencial lleva consigo las semillas de su propia destrucción. Cuando nuevos individuos se unen a la población se intensifica la competencia por los recursos. Los depredadores pueden aumentar o hacer de esta presa abundante una parte de su dieta. Los parásitos y las enfermedades se diseminan más fácilmente por el amontonamiento y la debilidad, resultado de la falta de alimento o de la tensión causada por las interacciones sociales adversas. Audesirk, T. (1998).

En consecuencia, después de un período de crecimiento exponencial, las poblaciones tienden a estabilizarse al tamaño máximo (o debajo) que puede sostener el ambiente, llamado **capacidad de sostenimiento** que en el caso del ecosistema hace referencia al tamaño máximo de una población que un área específica puede sostener de manera indefinida.

Lo anterior está establecido básicamente por la disponibilidad continuada de dos tipos de recursos: los renovables, como nutrientes, agua y luz, que se vuelven a surtir mediante procesos naturales, y un recurso no renovable, el espacio, en la forma de un lugar adecuado para anidar o para buscar guaridas.

Los organismos morirán si son demasiadas las demandas de recursos renovables, como alimento, agua y luz (la fuente de energía para las plantas). Si se superan los requisitos de espacio, los animales pueden emigrar, con frecuencia, a regiones menos adecuadas, donde será más alta su tasa de mortalidad.

Se reducirá la reproducción porque los animales no encuentran lugares adecuados para la reproducción o porque las semillas no llegan a un lugar idóneo para germinar.

Las demandas excesivas pueden dañar los ecosistemas y reducir su capacidad de sostenimiento. El resultado es una reducción en la población mientras se recupera el ecosistema, o una población permanentemente reducida.

Por ejemplo, el sobre-pastoreo de ganado en pastizales secos del oeste americano ha reducido la cubierta de pasto y ha permitido que prospere la artemisa (de la cual no se alimenta el ganado) que, una vez instalada, reemplaza los pas-

tos comestibles y reduce la capacidad de sostenimiento de la tierra para el ganado.

Las poblaciones se conservan en su capacidad de sostenimiento o por debajo de ella por las formas independientes de la densidad de la resistencia ambiental, como el clima, y por las formas dependientes de la densidad, que incluyen las prácticas predatorias, el parasitismo y la competencia. Audesirk, T. (1998).

Con frecuencia, los depredadores se comen a la presa más abundante y pueden cambiar a otra presa, según el tamaño de la población de las presas. Cuando los depredadores se concentran en una sola presa, pueden entrar en diferentes ciclos tanto la población de depredadores como la de presas.

Los parásitos se extienden más rápidamente en las poblaciones densas y pueden aumentar los índices de mortalidad cuando los animales sufren tensión por hacinamiento. Audesirk, T. (1998).

La competencia **interespecífica** limita tanto el tamaño como la distribución de las poblaciones, puede resolverse directamente mediante la **competencia confusa** o indirectamente por medio de las interacciones de las sustancias químicas o de las conductas sociales, llamadas en conjunto **competencia por selectividad**. La **emigración** es otra respuesta posible al exceso de población.

La **especie** es un conjunto de individuos semejantes que transmiten este parecido de generación en generación, a través de la denominada herencia genética o **descendencia**.

### 3.4.1 Los cinco reinos de la vida

Antes del año 1970 los taxónomos clasificaban todas las formas vivas en dos reinos: **animalia** y **plantae**, a las **bacterias**, los **hongos** y los **protistas** fotosintéticos se los consideraba plantas y los **protozoarios** eran clasificados como animales. Audesirk, T. (1998). En 1969 Robert H. Whittaker propuso el esquema de clasificación de cinco reinos, que tiene un amplio uso en la actualidad y que se describe a continuación.

Whittaker identificó dos reinos de microorganismos básicamente unicelulares, tomando como base si mostraban una organización celular **procariótica**; o **eucariótica**. El reino **mónera** consiste en células procarióticas, en general unicelulares, mientras que el **protista** consta de células **eucarióticas**, casi siempre **unicelulares**.

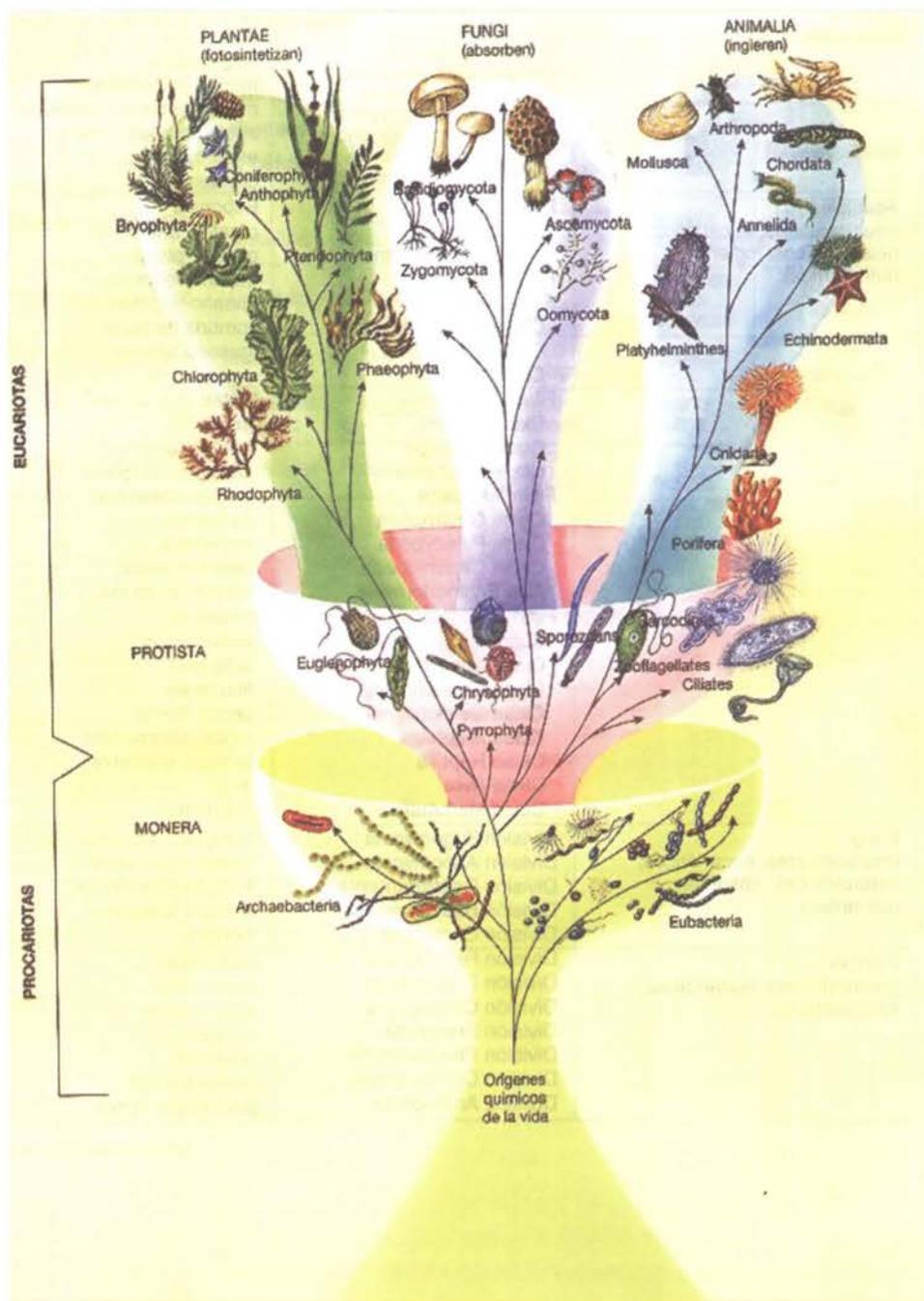
Todos los organismos en los tres reinos restantes (**plantae**, **fungi** y **animalia**) son **eucarióticos** y casi todos son **multicelulares**. Pueden clasificarse aún más sobre la base de la forma para adquirir sus nutrientes. Los miembros del reino **plantae** se valen de la **fotosíntesis** y los del reino **fungi** secretan enzimas al exterior de sus cuerpos y después absorben los nutrientes que digieren externamente.

En contraste, los miembros del reino **animalia** ingieren su alimento y después lo digieren, ya sea dentro de una cavidad interna o de células individuales. En las siguientes tablas se muestran las comparaciones entre los cinco reinos y la clasificación de los grupos principales de organismos.

| <b>Reino</b> | <b>Tipo celular</b> | <b>Número de células</b> | <b>Modo principal de nutrición</b> | <b>Movilidad (movimientos)</b> | <b>Pared celular</b>              | <b>Reproducción</b>                   |
|--------------|---------------------|--------------------------|------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------------|
| Mónera       | Procariótico        | Unicelular               | Absorbe o fotosintetiza            | Móvil y no móvil               | Presente: peptidoglicana          | Generalmente asexual, rara vez sexual |
| Protista     | Eucariótico         | Unicelular               | Absorbe, ingiere o fotosintetiza   | Móvil y no móvil               | Presente en formas algales: varía | Sexual y asexual                      |
| Animalia     | Eucariótico         | Multicelular             | Ingiere                            | Móvil en alguna etapa          | Ausente                           | Sexual y asexual                      |
| Fungi        | Eucariótico         | Multicelular mayoría     | Absorbe                            | No móvil, generalmente         | Presente: quitina                 | Sexual y asexual                      |
| Plantae      | Eucariótico         | Multicelular             | Fotosintetiza                      | No móvil, generalmente         | Presente: celulosa                | Sexual y asexual                      |

| <b>Reino</b>   | <b>División/Filum</b>  | <b>Nombre común</b>  |
|--|--|--|
| Mónera<br>(unicelular, procariótica)   | División/Filum<br>División Eubacteria  | Bacterias "verdaderas"<br>bacterias "ancestrales"  |
| Protista<br>(unicelular, eucariótica)  | División Archaeobacteria<br>División Pyrrophyta<br>División Chrysophyta<br>División Euglenophyta<br>División Myxomycota<br>División Acrasiomycota<br>Filum Sarcomastigophora<br>Filum Apicomplexa<br>Filum Ciliophora  | Dinoflagelados<br>diatomeas<br>euglenoides<br>mohos plasmodiales<br>mohos lamosos celulares<br>zooflagelados, amebas<br>esporozoarios<br>ciliados  |
| Animalia<br>(multicelulares, eucarióticos,<br>heterotróficos, ingieren<br>nutrimentos) | Filum Porifera<br>Filum Cnidaria<br>Filum Platyhelminthe<br>Filum Nematoda<br>Filum Annelida<br>Clase Oligocheata<br>Clase Polycheata<br>Clase Hirudinea<br>Filum Arthropoda<br>Clase insecta<br>Clase arácnida<br>Clase crustacea<br>Filum Mollusca<br>Clase Gostropoda<br>Clase Pelecypoda<br>Clase Cephalopoda<br>Filum Echinodermata<br>Filum Chordata<br>Subfilum Vertebrata<br>Clase Agnatha<br>Clase Chondrichthy<br>Clase Osteichthyes<br>Clase Amphibia<br>Clase Reptilia<br>Clase Aves<br>Clase Mammalia | Esponjas<br>corales, anémona<br>gusano plano<br>gusano redondo<br>gusano segmentado<br>lombriz de tierra<br>gusano tubular<br>sanguijuela<br>"patas articuladas"<br>insectos<br>arañas, ácaros<br>cangrejo, langosta<br>"cuerpos blandos"<br>caracoles<br>mejillones<br>calamar, pulpo<br>estrella, erizo mar<br>cordados<br>vertebrados<br>lampreas<br>tiburones<br>peces óseos<br>ranas, salamandra<br>tortuga, serpiente<br>aves<br>mamíferos |
| Fungi<br>(multicelulares, eucarióticos,<br>heterotróficos, absorben<br>nutrientes)     | División Zygomycota<br>División Ascomycota<br>División Deuteromycota<br>División Basidiomycota<br>División Oomycota  | "hongos zigosporas"<br>"hongos tipo saco"<br>"hongos imperfectos"<br>"hongos tipo clava"<br>"hongos"   |
| Plantae<br>(multicelulares, eucarióticas,<br>fotosintéticas)                           | División Rhodophyta<br>División Phaeophyta<br>División Chlorophyta<br>División Bryophyta<br>División Pteridophyta<br>División Coniferophyta<br>División Anthophyta   | algas rojas<br>algas caféas<br>algas verdes<br>musgos<br>helechos<br>siempre verde<br>plantas con flores   |

Es conveniente registrar el denominado **Árbol de la vida**, donde se ilustran los cinco reinos de algunos de los fila o divisiones principales dentro de ellos:



### 3.5 La comunidad o biocenosis

Es un sistema biológico que agrupa el conjunto de poblaciones habitantes de un mismo lugar determinado, en unas condiciones dadas del medio y en un momento concreto.

La competencia, conductas predatorias y simbiosis forman la base de una comunidad.

Por lo general, las poblaciones en las comunidades se han desarrollado juntas, en un proceso llamado **coevolución**. Durante la coevolución, diferentes especies actúan como agentes mutuos de **selección natural**.

Los animales de presa han desarrollado defensas complejas que les ayudan a sobrevivir.

Los herbívoros tienen especializaciones digestivas que les permiten comer plantas locales. A su vez, las plantas crecen con rapidez o se defienden con medios químicos o físicos, manteniéndose un paso delante de sus depredadores.

Toda la comunidad sobrevive mediante un equilibrio delicado entre las poblaciones, que puede ser derribado por la invasión de una nueva especie.

La **comunidad** es pues el conjunto de poblaciones, animales, vegetales y de protistas, que viven en un lugar determinado (**biotopo**), en una época concreta, y aunque formado por plantas, animales, bacterias, hongos y otros organismos, representa una agrupación relativamente **uniforme**, de aspecto y composición (florística y faunística) determinados.

En el interior de su área la especie desarrolla sus poblaciones en un variado número de hábitats locales, denominados **biotopos**, condicionados por los factores del medio.

La **acomodación** es la capacidad que posee una especie suficientemente "plástica" para armonizar con las condiciones del medio, desarrollando caracteres no hereditarios llamados **modificaciones**; las poblaciones que de ellos resultan son llamadas **ecofenes**.

La **adaptación**, diferenciación en razas distintas, genéticamente adaptadas a las especiales condiciones del medio, por desarrollo de caracteres hereditarios a partir de la mutación; las poblaciones originadas de esta manera son llamadas **ecotipos**.

Las poblaciones naturales en armonía genética con su medio están constituidas por individuos genéticamente bien equilibrados (que poseen una combinación de genes bien equilibrada), lo que les permite un funcionamiento fisiológico óptimo y un desarrollo coordinado de los órganos, en las condiciones particulares en que viven.

A menudo la diferenciación ecotípica aparece solo a nivel fisiológico (*fisioecotipos*) o morfológico (*morfoecotipos*).

Las poblaciones de una misma especie que muestran diferencias notables entre ellas forman **ecotipos** en sentido estricto; cuando las diferencias progresan paulatinamente de unas poblaciones a otras, a lo largo de un gradiente ecológico, constituyen una **ecoclina** (Gregor, 1943).

Los ecotipos que corresponden a un suelo de composición química particular (serpentina, yeso, dolomía, calamina, etc.) son los *quimioecotipos* (Duvigneaud y Denaeyer, 1973).

### 3.6 El ecosistema

Es una comunidad integrada en su medio, siendo un sistema funcional.

Dicho de otra manera, el ecosistema es tanto la comunidad biótica, como las condiciones abióticas en las que conviven sus elementos. Incluye también las formas en que las poblaciones se relacionan entre ellas y el ambiente abiótico para reproducirse y perpetuar al grupo.

El ecosistema es el conjunto de poblaciones vegetales, animales y microorganismos relacionados entre sí y con el medio, de modo que la agrupación puede perpetuarse.

Con fines de estudio podemos considerar **Ecosistema** a cualquier **comunidad biótica más o menos delimitada** y que vive en cierto ambiente. Así, es posible estudiar como ecosistemas distintos un bosque, un pastizal, un pantano, una marisma, una charca, una playa y un arrecife de coral, cada uno con sus respectivas especies y en su ambiente particular.

Puesto que ningún organismo puede vivir fuera de su ambiente o sin relacionarse con otras especies, los ecosistemas son **las unidades funcionales de la vida sostenible en la tierra**.

### 3.7 La biosfera

Es el conjunto de ecosistemas naturales desarrollados en el seno de los mares o en la superficie de continentes e islas.

En conclusión, podemos ver a todas las especies de la tierra, junto con sus ambientes, como un vasto ecosistema al que llamamos **biosfera**.

Los ecosistemas locales son unidades con sostenibilidad, pero sus relaciones globales forman la biosfera. Este concepto es parecido a la idea de que las células son las unidades de los sistemas vivos, pero están vinculadas para formar organismos completos.

Si llevamos más lejos la analogía, ¿hasta qué grado se pueden trastornar o destruir ecosistemas antes de afectar a toda la biosfera?

### 3.8 La noosfera

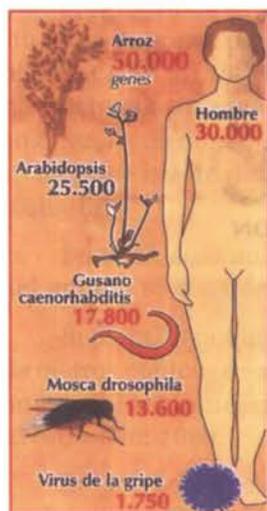
Resulta de la transformación de la **biosfera** por la inteligencia humana.

Lo que resulta inquietante es reconocer que precisamente sea la especie más evolucionada, es decir, la que se supone más inteligente, la que viene transformando las calidades ecosistémicas en forma creciente y conforme al avance de su propia civilización, apoyado en el desarrollo de la ciencia y la tecnología.

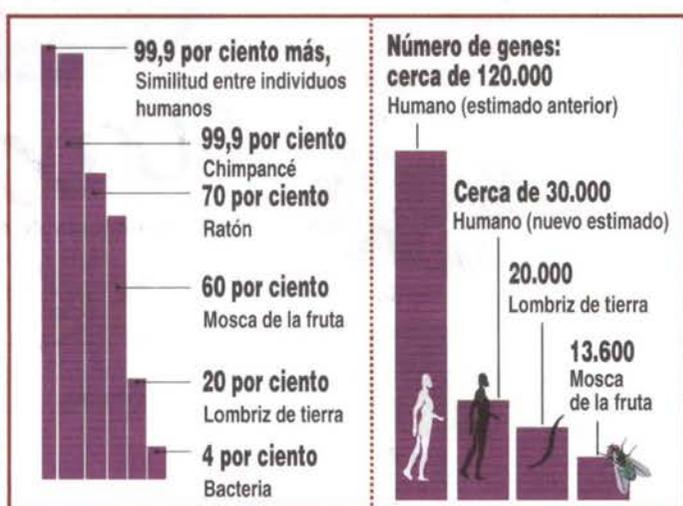
Conforme al reciente anuncio hecho por los científicos Francis Collins de USA y Craig Venter de Inglaterra (febrero 12 de 2001), quienes en su orden son la cabeza visible de los proyectos "Genoma Humano" y "Celeric Genomics", resulta paradójico que el más evolucionado de los habitantes del planeta, el hombre, tenga 20.000 genes menos que una planta de arroz; 12.200 más que un gusano (el *Caenorhabditis*); 16.400 más que la mosca *Drosophila melanogaster* (mosca de la fruta, muy utilizada en estudios genéticos precisamente) y 28.250 más que el virus de la gripe (*El País*, febrero de 2001).

El humano siempre ha visto la naturaleza desde la óptica errada de que le pertenece por el simple hecho de constituirse en la especie más evolucionada. Sin embargo, el reciente descubrimiento del mapa genético humano nos muestra que por similitud genética somos muy cercanos a otras criaturas, tal como lo muestra el siguiente gráfico, *El Tiempo* (febrero de 2001):

#### CANTIDAD DE GENES



#### SIMILITUD GENETICA



La pregunta es por qué en lugar de aprovechar una mejor disposición de esos genes en nuestro código de ADN, el hombre desde sus inicios se ha dedicado a "saquear" la naturaleza, merced a hechos como el dominio del lenguaje, el papel del trabajo en la transformación de mono a hombre, tal como lo analizó Federico Engels, el descubrimiento y uso del fuego, de las herramientas, la revolución industrial, etc.

La noosfera es más bien un concepto que debe reevaluarse a la luz de los resultados de la acción antrópica a través del tiempo, para reconocer que la inteligencia humana de poco le ha servido al conjunto natural, cuando se ha visto la oferta de bienes y servicios como una simple oportunidad para acumular riquezas, a expensas de un uso abusivo de la misma (Tovar., J. 2001).

La siguiente gráfica nos ilustra los distintos niveles de organización biológica hasta llegar al ecosistema:

### Niveles de organización



## 4. La hidrosfera

Se refiere a la cantidad de agua de la que cada bioma depende para subsistir, contenida en los océanos y cuerpos acuáticos continentales, la condensada en la atmósfera, la depositada en el suelo, en las rocas y en el hielo de los glaciares. Las aguas visibles se llaman **epicontinentales**.

Las corrientes marinas son el resultado de la interacción de los vientos, el movimiento de rotación de la Tierra y la posición de los continentes y las islas. La distribución de las lluvias durante el año también constituye un factor limitante para los organismos.

Las **plataformas continentales** son zonas de extensión variable, que pertenecen geológicamente al suelo continental y han sido cubiertas por las aguas del mar.

La densidad del agua disminuye cuando ésta se congela; tal característica física permite la vida acuática pues de lo contrario en las zonas polares el hielo se hundiría formando una densa capa en el fondo del mar, impidiendo la existencia de los ecosistemas acuáticos.

Por el contrario, el hielo superficial aísla el componente líquido e impide que ceda al medio demasiado calor, continuando así la vida acuática.

### Disponibilidad y uso de la hidrosfera

Un 70% de la superficie de la Tierra es agua, pero la mayor parte de ésta es oceánica. En volumen, sólo el 35% de toda el agua del mundo es agua dulce, y en su mayor parte no está generalmente disponible. Unas tres cuartas partes de toda el agua dulce se halla inaccesible, en forma de casquetes de hielo y glaciares situados en zonas polares muy alejadas de la mayor parte de los centros de población; sólo un 1% es agua dulce superficial fácilmente accesible. Ésta es primordialmente el agua que se encuentra en los lagos y ríos y a poca profundidad en el suelo, de donde puede extraerse sin mayor costo. Sólo esa cantidad de agua se renueva habitualmente con lluvia y las nevadas y es, por tanto, un recurso sostenible.

En total, sólo un centésimo de uno por ciento del suministro total de agua del mundo se considera fácilmente accesible para uso humano.

Se considera que, mundialmente, se dispone de 12.500 a 14.000 millones de metros cúbicos de agua (12.500 a 14.000 kilómetros cúbicos) por año para uso humano. Esto representa unos 9.000 metros cúbicos por persona por año, según se estimó en 1989.

Se proyecta que en el año 2025 la disponibilidad global de agua dulce per cápita descenderá a 5.100 metros cúbicos por persona, al sumarse otros 2.000

millones de habitantes a la población del mundo. Aun entonces esta cantidad sería suficiente para satisfacer las necesidades humanas si el agua estuviera distribuida por igual entre todos los habitantes del mundo.

Pero las cifras per cápita sobre la disponibilidad del agua presentan un cuadro engañoso. El agua dulce mundialmente disponible no está equitativamente distribuida en el mundo, ni en todas las estaciones del año, ni de año a año. En algunos casos el agua no está donde la queremos, ni en cantidad suficiente. En otros casos tenemos demasiada agua en el lugar equivocado y cuando hace falta: "Vivimos bajo la tiranía del ciclo del agua".

El ciclo hidrológico de la tierra actúa como una bomba gigante que continuamente transfiere agua dulce de los océanos a la tierra y de vuelta al mar. En este ciclo de energía solar, el agua se evapora de la superficie de la tierra a la atmósfera, de donde cae en forma de lluvia o nieve. Parte de esta precipitación vuelve a evaporarse dentro de la atmósfera. Otra parte comienza el viaje de vuelta al mar a través de arroyos, ríos y lagos. Y aún otra parte se filtra dentro del suelo y se convierte en humedad del suelo o en agua de superficie. Las plantas incorporan la humedad del suelo en sus tejidos y la liberan en la atmósfera en el proceso de evapotranspiración. Gran parte del agua subterránea finalmente vuelve a pasar al caudal del agua de la superficie.

## Distribución del agua dulce

El ciclo hidrológico no ofrece garantías a la humanidad. Unas tres cuartas partes de las precipitaciones anuales caen en zonas que contienen menos de un tercio de la población mundial. Dicho a la inversa, dos tercios de la población mundial viven en zonas que reciben sólo un cuarto de las precipitaciones anuales del mundo.

Por ejemplo, un 20% de la escorrentía media mundial por año corresponde a la cuenca amazónica, una vasta región con menos de 10 millones de habitantes, o sea, una minúscula fracción de la población mundial. De manera similar, el río Congo y sus tributarios representan un 30% de la escorrentía anual del entero continente africano, pero esa cuenca hidrográfica contiene sólo 10% de la población de África.

Más de la mitad de la escorrentía mundial tiene lugar en Asia y Sudamérica (31 y 255 respectivamente). Pero si se considera la disponibilidad per cápita, Norteamérica tiene la mayor cantidad de agua dulce disponible, con más de 19.000 metros cúbicos por año, según estimaciones en 1990. En cambio, la cantidad per cápita es apenas superior a 4.700 metros cúbicos en Asia (incluido el cercano Oriente).

Tomada por país, la cantidad de agua dulce renovable disponible anualmente per cápita varía desde más de 600.000 metros cúbicos en Islandia a sólo 75 metros cúbicos por persona en Kuwait, de acuerdo con el estimado en 1995.

La disponibilidad de agua también exhibe notables diferencias dentro de los países. En México, menos del 10% de la extensión territorial proporciona más de la mitad de la escorrentía nacional de agua de lluvia. Pese al hecho de que 90% de México es árido y crónicamente escaso de agua, la disponibilidad total de agua per cápita en 1990 era de más de 4.000 metros cúbicos. Esta cifra es sumamente engañosa como medida de la disponibilidad real de agua para la mayoría de los mexicanos.

En gran parte del mundo el desarrollo del suministro de agua dulce tiene lugar en forma de lluvias estacionales. Esa agua se escurre demasiado rápidamente para utilizarla de manera eficiente, como ocurre durante los monzones en Asia. La India, por ejemplo, recibe el 90% de las precipitaciones durante la estación de los monzones en el verano, desde junio a septiembre. En los ocho meses restantes el país recibe apenas unas gotas de lluvia.

Como resultado de la naturaleza estacional del suministro de agua, la India y algunos otros países en desarrollo no pueden aprovechar más del 20% de los recursos potencialmente disponibles de agua dulce.

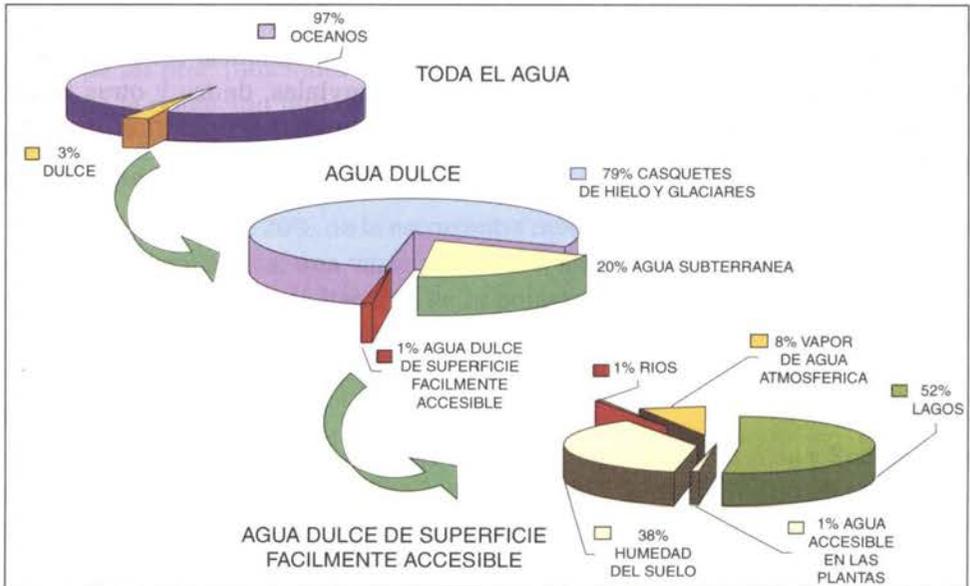
En el mundo existen unas 40.000 presas de más de 15 metros de altura, construidas en su mayoría en los últimos 50 años. Si bien las presas ayudan a asegurar un suministro constante de agua, a menudo ponen en peligro los ecosistemas acuáticos al perturbar los ciclos de anegación, bloquear los canales fluviales, alterar el curso de los ríos, las llanuras aluviales, deltas y otras zonas pantanosas, y poner en peligro la vida vegetal y animal (*Population Reports*, 1998).

### Vínculos entre la población y el agua dulce



Fuente: Population Reports, 1998.

### Distribución del agua en el mundo



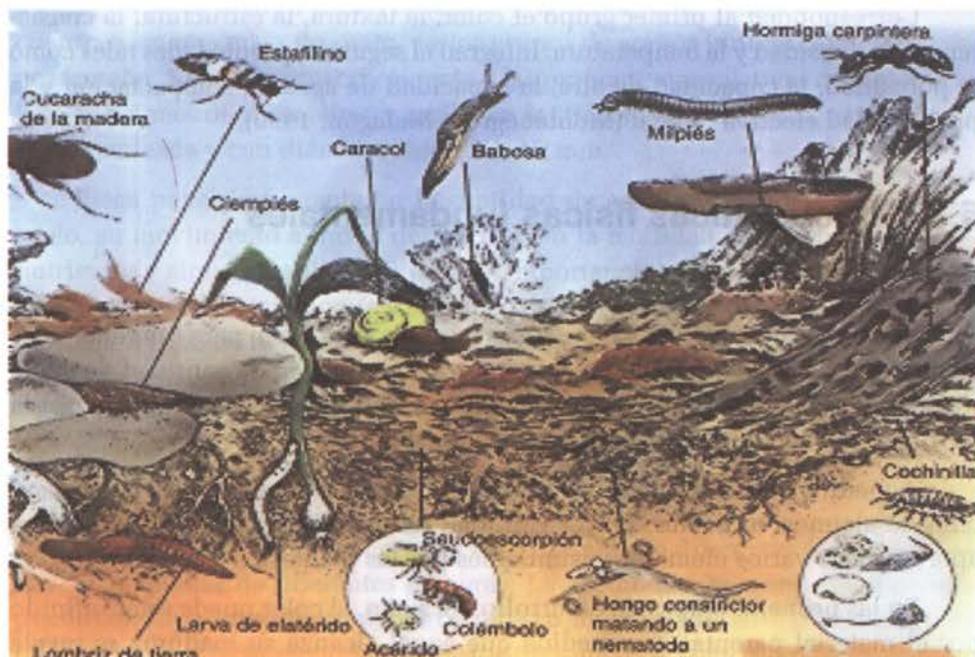
Fuente: Population Reports, 1998

## 5. La litosfera

El interior de la tierra es de roca fundida por el calor del decaimiento radiactivo de isótopos inestables que se conservan del tiempo en que se formó el sistema solar, hace unos 5.000 millones de años.

La corteza terrestre, que incluye el fondo de los océanos así como los continentes, es una capa relativamente delgada (de no más de 100 km de espesor) que podemos imaginar como formada de grandes losas de piedra que flotan sobre una capa elástica o **estenosfera** (de roca líquida que fluye por el calor y la presión), como las galletas en el tazón de la sopa.

Estas losas se llaman **Placas tectónicas**; la corteza terrestre está compuesta de media docena de placas mayores y dos docenas de menores. En otras palabras, se puede afirmar que la litosfera es el **sustrato sólido** de la tierra, formado por la **corteza** y el **manto superior**. Es la que constituye las **placas continentales**, de allí que se caracterice por su rigidez. Se diferencia porque se desplaza sobre la **astenosfera**, sección semilíquida del manto.



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

El suelo es un ecosistema basado en los detritos. Numerosos organismos se alimentan de detritos y horadan el suelo, con lo que forman un mantillo rico en humus, de una terrosa y floja estructura.

El **suelo** es la zona de transición entre la corteza geológica, la atmósfera y la hidrosfera, y está permeado por las dos últimas, de allí su baja densidad. Se forma al desintegrarse las rocas.

Este proceso, llamado **meteorización**, conduce a la formación de fragmentos minerales pequeños, que mezclados con restos orgánicos, agua y aire, constituyen los suelos.

El suelo es la resultante de numerosas interacciones dinámicas tanto de componentes orgánicos como inorgánicos, de cuya integración se deriva este cuerpo natural, cuya función más sobresaliente ha sido la de constituir el medio para el desarrollo vegetal (Montenegro & Malagón, 1990).

Las propiedades físicas deben ser entendidas en conjunto, interdependientemente y formando un todo armónico ya que entre ellas se establece una íntima relación. De acuerdo con su determinación y con sus fenómenos relacionados, pueden ser divididas en dos grupos:

- a. Características físicas fundamentales.
- b. Características físicas derivadas.

Corresponden al primer grupo el color, la textura, la estructura, la consistencia, la densidad y la temperatura. Integran el segundo, propiedades tales como la porosidad, la capacidad de aire, la capacidad de agua, la compactación y la profundidad efectiva radical (Montenegro & Malagón, 1990).

## 5.1 Características físicas fundamentales

### 5.1.1 Color

El color es una de las características que más se utilizan para diferenciar los suelos; guarda relaciones con la temperatura, la humedad, la cantidad de materia orgánica, el clima, los organismos y, en muchos aspectos, sirve para juzgar la fertilidad del suelo (Montenegro & Malagón, 1990).

A medida que un suelo es más oscuro presenta, generalmente y con excepción de algunos vertisoles, mayor cantidad de materia orgánica la cual podrá aportar a éste varios elementos asimilables por las plantas.

En las primeras etapas de desarrollo del suelo, el color puede estar influido por el material parental, y a medida que aquel alcanza su madurez se revela sobre la coloración el efecto climático. Colores rojizos se asocian con la dinámica del hierro en estado férrico, circunstancia que puede interferir en el grado de solubilidad de elementos como los fosfatos, necesarios para las plantas. Colores verdes y azulosos están relacionados con estados de reducción en el suelo, que determinan medios desfavorables para las plantas; esto se deriva de las limita-

ciones de oxígeno, asociadas a procesos de intercambio gaseoso suelo-atmósfera (Montenegro & Malagón, 1990).

### 5.1.2 Textura

Esta característica resulta de integrar los porcentajes de las fracciones de arena, limo y arcilla. Según predomine una u otra fracción, el suelo presentará características muy diferentes que influirán en su aireación, permeabilidad, retención de humedad, volumen explorado por las raíces, etc. (Montenegro & Malagón, 1990).

La textura más equilibrada para el buen desempeño agrícola corresponde a la de los suelos francos (arcillas entre 7-27% y limo 28-50%); éstos presentan una tendencia uniforme a retener agua, a la vez que permiten la difusión de gases, con lo cual las funciones fisiológicas de la planta no sufrirán limitaciones.

De acuerdo con el predominio de una u otra fracción podrá establecerse la fertilidad potencial, grado de evolución, aspectos genéticos y características químicas asociadas (Montenegro & Malagón, 1990).

El término textura hace referencia a la proporción relativa en que se encuentran, en una masa de suelo, varios grupos de granos individuales asociados por tamaño. Se refiere específicamente a las proporciones relativas de las partículas o fracciones de arena, limo y arcilla en la "tierra fina" del suelo, es decir en la tierra tamizada y con diámetro inferior a 10 mm.

Juega papel importante en la cantidad de agua que pueda almacenar un suelo, su movimiento a través del perfil y en la facilidad de abastecimiento de nutrientes y aire; todos ellos son de gran importancia para las plantas. La textura es importante en la taxonomía y el mapeo de los suelos, en la clasificación de las tierras con fines de riego y drenaje, en la conservación de los suelos, todo lo cual influye también en el manejo de las cuencas hidrográficas (Montenegro & Malagón, 1990).

### 5.1.3 Estructura

La fase sólida del suelo consiste de partículas de diferentes formas y tamaños, acomodadas de diferentes maneras. La acomodación o empaquetamiento puede conducir a formar unidades cerradas o abiertas; sus partículas integrantes pueden comportarse como elementos individuales o como grupos de ellos en dominios y agregados. La cantidad de espacio poroso, su continuidad y el tamaño de los poros variarán de acuerdo con dichos procesos. Todos éstos son aspectos de la estructura del suelo que ayudan a definirla como el arreglo de la fase sólida del suelo y del espacio poroso localizado entre sus partículas constituyentes (Montenegro & Malagón, 1990).

El tipo de material parental afecta a la naturaleza y las características de las partículas primarias de la fase sólida; el hinchamiento o expansión y la contracción ayudan a reformarlas; la acción de los organismos del suelo y de las raíces de las plantas coadyuvan en esta acción; los procesos químicos y biológicos movilizan y depositan materiales que ayudan a integrarlas como agregados.

Según Hillel (1980), citado por Montenegro & Malagón (1990), define la estructura del suelo como el arreglo y la organización de las partículas constitutivas. Las partículas del suelo difieren en forma, tamaño y orientación, sus masas pueden estar asociadas e interligadas en diferentes formas, presentando configuraciones complejas e irregulares, las cuales son, en general, difíciles o casi imposibles de caracterizar en términos exactos (Montenegro & Malagón, 1990).

La estructura del suelo según Baver (1972), citado por Montenegro & Malagón (1990), tiene influencia en la mayoría de los factores de crecimiento de las plantas, siendo, en determinados casos, un factor limitante de la producción. Una estructura desfavorable puede acarrear problemas en el desarrollo de las plantas, tales como el exceso o deficiencia de agua, la falta de aire, la incidencia de enfermedades, la baja actividad microbiana, el impedimento para el desarrollo de las raíces, etc., por el contrario, una estructura favorable permitirá que los factores de crecimiento actúen eficientemente y se obtengan, en consecuencia, los mayores rendimientos en las cosechas.

La estructura afecta directamente muchas de las propiedades del suelo, entre ellas vale la pena destacar la retención y la conducción del agua, que dependen del espacio poroso, del tamaño y la distribución de los poros; influye en las operaciones de labranza, y sobre el crecimiento vegetal a través de sus efectos sobre el ambiente del suelo en el que opera el sistema radical. La estructura afecta tanto el suministro de agua como la capacidad de aire, la temperatura del suelo y la resistencia que ofrece al crecimiento de las raíces (Montenegro & Malagón, 1990).

## 5.2 El ecosistema del suelo

La caída de los antiguos imperios griego, romano y otros fue provocada más por la declinación de la agricultura de subsistencia (por causa de la erosión del suelo) que por fuerzas externas. Nada más en EE.UU. el destino de tierras de cultivo para otros usos ha promediado casi 600.000 hectáreas en la última década, y las pérdidas siguen aumentando. Lo mismo ocurre en los países en desarrollo.

Además, en todo el mundo la erosión, la formación de sales en las tierras y otros problemas vienen degradando los suelos agrícolas de una manera que socavará mucho la productividad en el futuro.

Durante los últimos 40 años, un tercio de las tierras de labranza del mundo (unas 1.500 millones de hectáreas) ha sido abandonado por semejante degradación y lo peor es que las cifras siguen en aumento, especialmente en los países más pobres, donde sucumben las mejores tierras para dar cabida a cultivos ilícitos (caso Colombia, Perú y Bolivia), o a ganaderías intensivas que aceleran esos procesos de degradación.

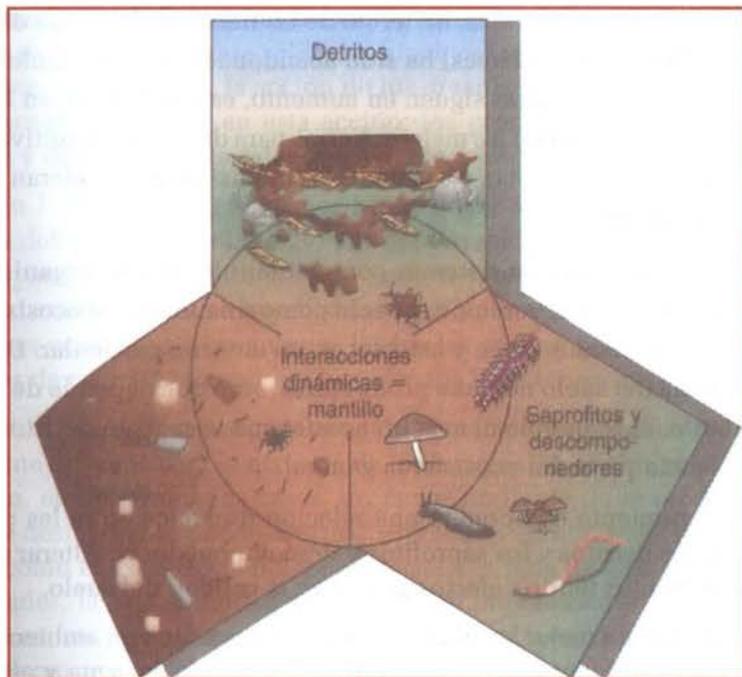
Si consideramos los ecosistemas como comunidades de organismos que viven en cierto ambiente, veremos el suelo como una forma de ecosistema por sí mismo: sus organismos viven y establecen un entorno particular. Desde luego, el ecosistema del suelo no tiene productores, sino que depende de los detritos; por lo tanto, es lo que llamamos un ecosistema basado en detritos, y sigue siendo en esencia parte del ecosistema general.

Su mantenimiento comprende una relación dinámica entre las partículas de minerales, los detritos y los saprofitos y descomponedores. Alterar cualquiera de estos elementos tendría efectos graves en la calidad del suelo.

Para que crezcan mejor las plantas, las raíces necesitan un ambiente que les suministre las cantidades óptimas de nutrientes minerales, agua y aire (oxígeno). El pH (acidez relativa) y la salinidad (concentración de sales) del suelo también son cruciales.

La fertilidad del suelo, su capacidad de sostener el crecimiento de las plantas, a menudo se refiere en particular a la presencia de las cantidades adecuadas de nutrientes, pero también comprende su capacidad de satisfacer todas las otras necesidades de las plantas (Nebel., B. y Wrigth, R. 1999).

Tal como se muestra en la figura siguiente, un suelo productivo es más que "tierra".



Tomado de Nebel y Wright, 1999

Como los nutrientes minerales son solubles en agua, se escurren del suelo con el líquido, de la misma manera como es posible retirar la sal de la arena haciéndola pasar por agua. La remoción por agua de los materiales del suelo se llama **lixiviación**, que no sólo aminora la fertilidad del suelo, sino que también contribuye a la contaminación cuando los materiales que arrastra desembocan en las corrientes fluviales.

En consecuencia, la capacidad del suelo de recoger y retener iones de nutrientes hasta que sean absorbidos por las raíces de las plantas es tan importante como el propio suministro de los iones.

En cuanto hace referencia a las relaciones entre plantas, suelo y agua, el agua que pierden las plantas por transpiración debe ser reemplazada por reservas de humedad que retiene el suelo. Además del monto y la frecuencia de las lluvias, el tamaño de esta "reserva" depende de la capacidad del suelo de permitir la infiltración de agua, de retenerla y reducir la evaporación directa, tal como se ilustra más adelante.

Para sostener un buen campo de cultivo el suelo debe:

1. Tener un suministro adecuado de nutrientes y poseer la capacidad de retenerlos.
2. Permitir la infiltración y tener buena capacidad de retención de agua, así como resistencia a las pérdidas por evaporación.

3. Contar con una estructura porosa que facilite la aireación.
4. Tener un pH más o menos neutral.
5. Poseer un contenido bajo de sales.

Conforme las rocas se desgastan por intemperismo (descomposición gradual física y química de las rocas), se descomponen en fragmentos cada vez más pequeños, los cuales se clasifican como arena, limo y arcilla. Siguiendo el método del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), se tiene la siguiente tabla:

### Clasificación de las partículas del suelo

| Nombre de la partícula | Diámetro (mm) |
|------------------------|---------------|
| Arena muy gruesa       | 2.00 - 1.00   |
| Arena gruesa           | 1.00 - 0.50   |
| Arena mediana          | 0.50 - 0.25   |
| Arena fina             | 0.25 - 0.10   |
| Arena muy fina         | 1.10 - 0.05   |
| Limo                   | 0.05 - 0.002  |
| Arcilla                | < 0.002       |

Tomado de USDA, 1997.

Las diferencias con diversas condiciones de humedad del suelo determinan la propiedad de su **consistencia**. Las partículas del suelo como arena, limo y arcilla constituyen la parte mineral de éste.

La **textura** del suelo, como ya se dijo, se refiere a las proporciones relativas de cada una de las partículas. Si alguna predomina, hablamos de suelos arenoso, limoso o arcilloso.

La proporción que suele encontrarse es de más o menos 40% de arena, 40% de limos y 20% de arcilla, y se llama **suelo franco**. La siguiente tabla nos deja ver la relación entre la textura y las propiedades del suelo:

### Relación entre la textura y las propiedades del suelo

| Textura del suelo | Infiltración de agua | Capacidad de retener agua | Capacidad de retener nutrientes | Capacidad de aireación | Viabilidad |
|-------------------|----------------------|---------------------------|---------------------------------|------------------------|------------|
| Arenosa           | Buena                | Escasa                    | Escasa                          | Buena                  | Buena      |
| Limosa            | Regular              | Regular                   | Regular                         | Regular                | Regular    |
| Arcillosa         | Escasa               | Buena                     | Buena                           | Escasa                 | Escasa     |
| Marga             | Regular              | Regular                   | Regular                         | Regular                | Regular    |

Tomado de USDA, 1997.

La textura del suelo también influye en su **laborabilidad**, es decir, en la facilidad con la que se puede cultivar. Este hecho tiene una relación importante con la agricultura. Los suelos arcillosos son muy difíciles de cultivar, porque aun con cambios modestos en el contenido de humedad pasan de ser pegajosos y lodosos a duros como la piedra.

Los suelos arenosos son muy fáciles de arar, porque no se vuelven lodosos cuando están húmedos, ni endurecen cuando se secan. La capacidad del suelo de retener el agua y los nutrientes aumenta de acuerdo con el tamaño menor de las partículas que lo componen. Los iones de agua y nutrientes tienden a adherirse a las superficies, y las partículas más pequeñas poseen un área superficial relativamente mayor.

La acumulación de hojas y raíces secas y otros detritos en el suelo sostiene una complicada red o trama alimentaria, que incluye numerosas especies de bacterias, hongos, protozoarios, acáridos, miriápodos, arácnidos, lombrices de tierra, caracoles, babosas y otros animales excavadores.

Cuando estos organismos se alimentan, la mayor parte de los detritos se consume en la respiración celular, y el dióxido de carbono, el agua y los nutrientes minerales son liberados como subproductos. Sin embargo, cada organismo deja una parte sin digerir, esto es, cierta porción no es descompuesta por las enzimas digestivas. Este residuo de materia orgánica parcialmente descompuesta se llama **humus**.

Un ejemplo es el material negro o café oscuro que queda en los troncos secos luego de que el centro se ha podrido.

El humus es la materia orgánica del suelo realmente activa, coloidal, de colores oscuros, que tiene propiedades físicas y químicas bien definidas y que no está sujeto a una tasa de descomposición tan rápida como la de los residuos (Montenegro & Malagón, 1990).

Hay diferentes tipos de humus y todos se originan a través de la humificación de residuos vegetales y animales en el suelo. La contribución de las plantas a la formación de humus es mucho mayor que la de los animales, aunque gran parte del mismo puede originarse del excremento de los animales del suelo, los que se alimentan generalmente de material vegetal. Por humificación se entiende el proceso de descomposición parcial de sustancias orgánicas y la síntesis de algunos compuestos que son específicos del humus. Durante la humificación algunos de los compuestos, rápidamente atacados, son oxidados y perdidos como agua, anhídrido carbónico y otros gases; otros son lixiviados.

Luego de un año de humificación sólo queda una fracción del peso seco original de la sustancia orgánica. Su composición es materialmente alterada. Generalmente, el porcentaje de nitrógeno y otros elementos es más alto que en el material original, el contenido de carbón es levemente mayor pero el de oxígeno

e hidrógeno ha estado sometido a pérdidas mayores. La humificación es un proceso de oxidación lenta e incompleta. Por esta razón las raíces son probablemente la principal fuente de humus, ya que se descomponen en forma más gradual que los restos de las partes aéreas de las plantas. Éstas, al quedar en la parte superior del suelo, son mantenidas húmedas y bien aireadas, quedando expuestas a una descomposición rápida.

**Hay diferentes tipos de humificación; la división más amplia incluye grupos terrestres, semi-terrestres y acuáticos. Éstos se diferencian por el tipo y la cantidad de material vegetal disponible y por la tasa y tipo de descomposición. El tipo de humus en la mayoría de los suelos agrícolas es de origen terrestre.**

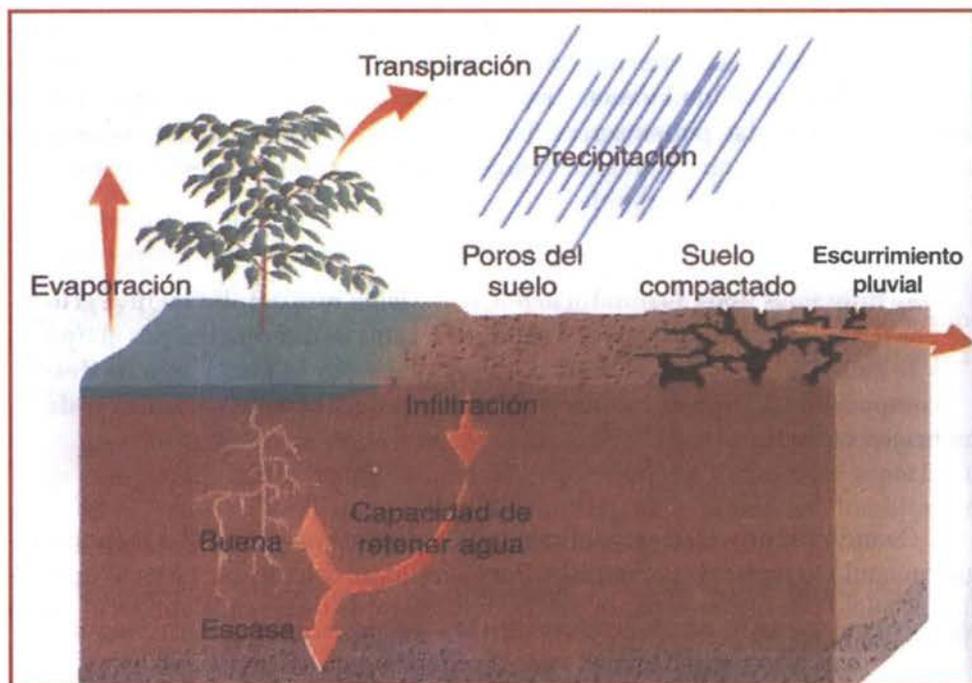
Cuando los organismos se alimentan de detritus en el suelo, a menudo ingieren también partículas minerales. Por ejemplo, se calcula que hasta 37 toneladas de suelo por hectárea pasan por las lombrices de tierra cada año en el curso de su alimentación.

Cuando las partículas minerales atraviesan el tracto digestivo de estos organismos, quedan "pegadas" por los compuestos indigeribles del humus. Así, los excrementos de las lombrices o egagrópilas (bolas regurgitadas), como se llaman, son "terrones" más o menos estables de partículas inorgánicas más humus. La actividad excavadora de los organismos mantiene flojos los terrones.

Hay otras relaciones entre las plantas y la biota del suelo. Una muy importante es la relación simbiótica entre las raíces de algunas plantas y ciertos hongos llamados **micorrizas**.

A cambio de obtener alimento de las raíces, las micorrizas penetran en los detritus, absorben los nutrientes y los transfieren directamente a las plantas. Así, no hay pérdida de nutrientes por lixiviación. Otra relación notable es la función de algunas bacterias del suelo en el ciclo del nitrógeno.

Pero no todos los organismos del suelo son benéficos para las plantas. Los nematodos y pequeñas lombrices que se alimentan de las raíces son muy destructivos en los cultivos. En un ecosistema floreciente del suelo, estas plagas son controladas por otros organismos, como un hongo que forma pequeños lazos para atraparlas y comérselas (Nebel y Wriqth, 1999).



Tomado de Nobel y Wrieth, 1999.

### 5.3 El perfil del suelo

Definidos los componentes y sus proporciones en el suelo, se debe considerar éste ahora, como un cuerpo natural.

La parte superficial del suelo es la más importante desde el punto de vista de su utilización agropecuaria; no obstante, deben considerarse las capas u horizontes más profundos si se busca comprender el origen, tanto del suelo en sí, como de sus características y propiedades.

Es necesario estudiar el suelo separando los diferentes horizontes desde la superficie hacia abajo. El estudio de la sección vertical del suelo en un hueco o calicata con dimensiones específicas, constituye la descripción del perfil del suelo.

Rara vez el perfil del suelo es uniforme en profundidad y típicamente consiste de una sucesión de capas u horizontes distintos. Las capas pueden ser el resultado de diferentes modos de depositación o sedimentación, como los suelos originados a partir de depósitos eólicos (viento) y particularmente los aluviales (agua). Sin embargo, las capas originadas por procesos pedogenéticos (descomposición de rocas) son denominadas horizontes.

Un horizonte es una capa de suelo, aproximadamente paralela a la superficie del mismo, con características producidas por los procesos formadores del

suelo. Un horizonte se puede diferenciar del adyacente, por lo menos en forma parcial, sobre la base de características que pueden ser apreciadas en el campo (color, textura, estructura, etc.); sin embargo, a veces se requieren datos complementarios del laboratorio para caracterizarlo y definirlo con más precisión.

El perfil del suelo, expuesto en un corte o sección vertical, abarca el conjunto de todos los horizontes genéticos, las capas orgánicas naturales que se encuentran sobre la superficie y el material parental u otras capas bajo el solum (horizontes A y B), que se han producido mediante su génesis e influyen en el comportamiento del suelo.

El horizonte A es la zona de mayor actividad biológica, generalmente enriquecida con materia orgánica y de color oscuro; el horizonte B es la zona de acumulación de algunos materiales que emigran desde el horizonte A (arcillas, materia orgánica o carbonatos, entre otros) y que tienden a acumularse en aquél. Debajo del horizonte B se encuentra el horizonte C, que es el material parental del suelo. En el caso de los suelos residuales, formados a partir de la roca madre, el horizonte C consiste de fragmentos descompuestos de ésta. En otros casos, el horizonte C está integrado por materiales asociados con sedimentos aluviales, eólicos o glaciales.

El desarrollo típico de un suelo y su perfil se llama pedogénesis y puede entenderse inicialmente como la interacción de los procesos que intervienen en la desintegración física de la roca o intemperismo de la roca, para formar el material parental del suelo. La acumulación gradual de los residuos orgánicos cerca de la superficie ocasiona un desarrollo claro del horizonte A, que puede formar una estructura granular con alta estabilidad de los agregados por la cementación de la memoria orgánica.

Por el intemperismo químico (hidratación, oxidación y reducción, disolución y precipitación) se pueden formar las arcillas, algunas de estas migran, junto con otros materiales (como las sales solubles), descendiendo del horizonte A y acumulándose en una zona intermedia (horizonte B), entre el horizonte A y el horizonte C. Aspectos importantes en los procesos de formación del suelo y el desarrollo del perfil son los mecanismos de eluviación e iluviación, los cuales cambian las características físico - químicas del suelo y, en consecuencia, su respuesta productiva (Montenegro & Malagón, 1990)

El perfil del suelo y el grosor de cada horizonte determinan entre otras cosas el tipo de vegetación del lugar. El grado de acidez o alcalinidad del suelo determina su pH, e influye en la asimilación y transmisión de los micro y macronutrientes a las raíces de las plantas.

## 6. Comunidades bióticas

En ecología la comunidad es una mezcla de poblaciones de distintas especies que interactúan en un medio específico. Es una agrupación mixta, por ello, para determinar sus características se tienen en cuenta factores como la distribución de sus nichos y madrigueras, el número de excrementos, la frecuencia con que se producen y la velocidad de descomposición de los mismos, la cantidad, el tamaño y la actividad.

Las comunidades tienen productores dominantes y animales consumidores, micrófagos y macrófagos clasificados en atención a los patrones de obtención, retención y manipulación del alimento.

La competencia, conductas predatorias y simbiosis forman la base de una comunidad. Por lo general, las poblaciones en las comunidades se han desarrollado juntas, en un proceso llamado **coevolución**.

Durante la coevolución, diferentes especies actúan como agentes mutuos de **selección natural**. Los animales de presa han desarrollado defensas complejas que les ayudan a sobrevivir. Los herbívoros tienen especializaciones digestivas que les permiten comer plantas locales. A su vez, las plantas crecen con rapidez o se defienden con medios químicos o físicos, manteniéndose un paso delante de sus depredadores.

Toda la comunidad sobrevive mediante un equilibrio delicado entre poblaciones, que puede ser derribado por la invasión de una nueva especie. La introducción de especies altera las interacciones de la comunidad.

Por lo general, las comunidades que se establecieron hace mucho tiempo son complejas e independientes y tienen poblaciones que interactúan y que se conservan relativamente constantes.

No obstante, incluso estas comunidades originan cambios graduales de largo plazo. Como se ha visto, un tipo de comunidad da lugar a otra, en un proceso llamado **sucesión**, que finalmente da como resultado una comunidad estable e independiente (Rizo, G. 1993).

## 7. Estratificación

El proceso de **estratificación** se refiere a la selección de las especies que integran una comunidad, destacando de ella las características más importantes y que determinan la diversidad y la forma de vida de toda la comunidad. Los aspectos más destacados son: tamaño, reproducción, alimentación y distribución en el ecosistema.

La comunidad posee una **estructura** definida: Los organismos se distribuyen en el espacio de la manera más útil para aprovechar las condiciones que ofrece el medio abiótico.

Dicho de otra forma, por "estructura" entendemos las partes y su correspondencia al formar un todo. La **estructura biótica** es la manera en que se conforman las diversas clases de organismos.

### 7.1 Estructura biótica

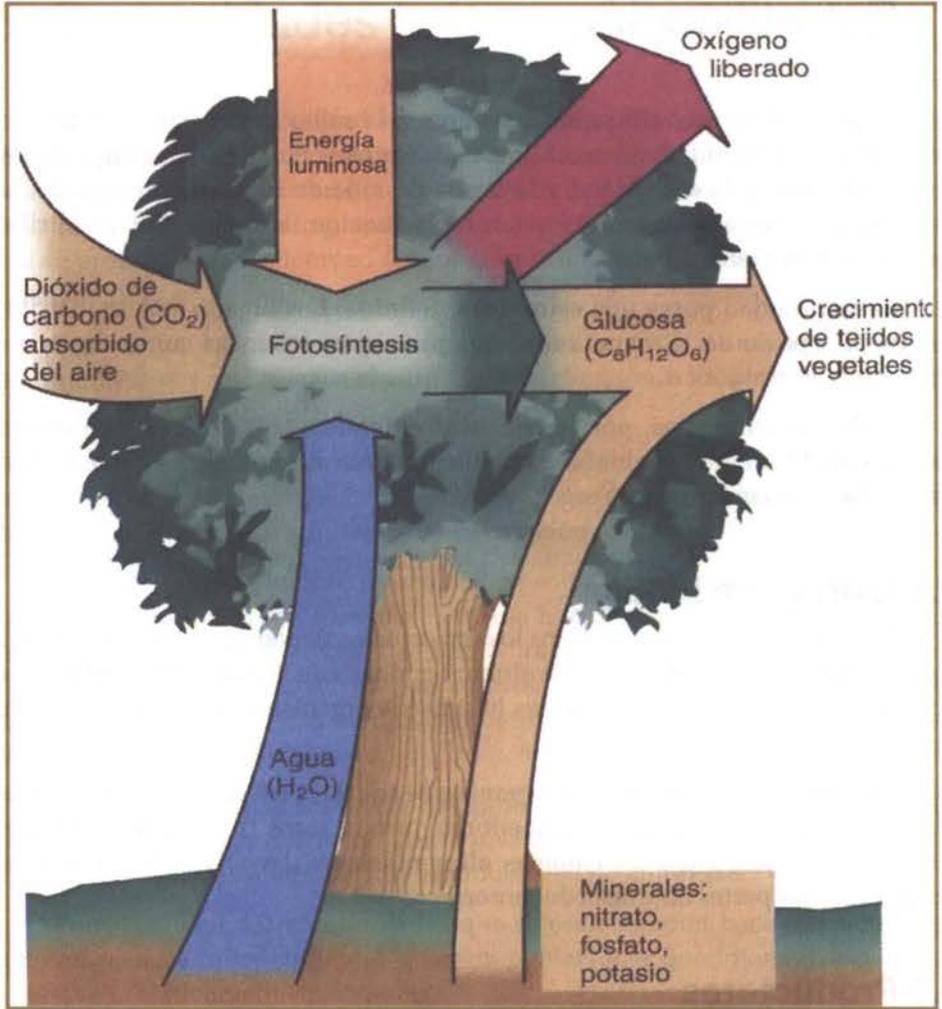
A pesar de su diversidad, todos los ecosistemas tienen una estructura biótica similar basada en las relaciones de alimentación; es decir, todos los ecosistemas presentan las mismas tres categorías básicas de organismos que interactúan de modo similar.

Las principales categorías de organismos son: (1) productores, (2) consumidores y (3) saprofitos y descomponedores. Juntos, estos tres grupos producen alimentos, los pasan por las **cadena alimentarias** y devuelven los materiales originales a las partes abióticas del entorno.

### 7.2 Productores

Son principalmente plantas verdes, que aprovechan la energía lumínica del sol para convertir agua y dióxido de carbono (absorbido del agua o del aire) en un azúcar llamado **glucosa** y liberar oxígeno como subproducto.

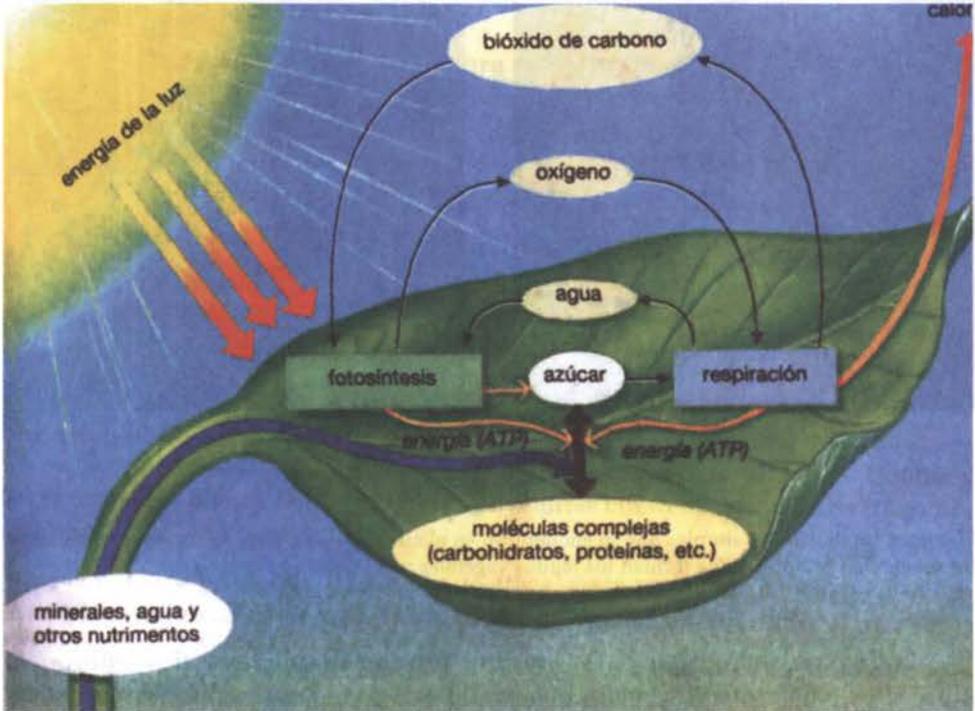
La conversión química propiciada por la energía solar recibe el nombre de **fotosíntesis**. Los vegetales elaboran todas sus complejas moléculas a partir de la glucosa producida por fotosíntesis y unos pocos nutrientes, como nitrógeno, fósforo, potasio y azufre, que absorben del suelo o del agua, como se observa en la gráfica:



Tomado de Nebel y Wright, 1999.

En todos los principales ecosistemas, las plantas verdes son los productores, pues contienen el pigmento verde llamado clorofila, que absorbe la energía de la luz para elaborar glucosa a partir de dióxido de carbono y agua y liberar oxígeno como subproducto, se valen de la glucosa, junto con los minerales que toman del suelo, para formar tejidos vegetales y crecer.

Otra forma de representar el maravilloso proceso fotosintético la encontramos en el texto de Teresa y Gerald Audesirk (1998) y es el siguiente:



Tomado de Audesirk, T. y Audesirk, G., 1998

Durante la fotosíntesis, las plantas captan la energía de la luz solar y la almacenan como ATP, azúcar y otros carbohidratos de alta energía, sintetizados del dióxido de carbono y agua. Se libera oxígeno como un producto secundario.

El término **orgánico** se aplica a los materiales de los que están formados los organismos, moléculas de proteínas, grasas o lípidos y carbohidratos. Así mismo, también se consideran orgánicos los productos de los seres vivos, como hojas muertas, cuero, azúcar o madera.

Llamamos **inorgánicos** a los materiales y químicos del aire, agua, rocas y minerales que no participan de la actividad de los organismos vivos. Gráficamente puede ser representado así:



Tomado de Nebel y Wright, 1999.

El agua y las moléculas simples que se encuentran en el aire, las rocas y los suelos son inorgánicos, las moléculas complejas que forman los tejidos vegetales y animales son orgánicas.

Todos los organismos de la **biosfera** pueden dividirse en dos categorías: **autótrofos** y **heterótrofos**, según que produzcan o no los compuestos orgánicos que necesitan para sobrevivir y crecer. Los que **elaboran** su propia materia orgánica a partir de los constituyentes orgánicos del medio usando una fuente externa de energía son **autótrofos** (de autos: “**propio, por uno mismo**”, y trofés, “**alimentación**”).

Las plantas verdes son los autótrofos más importantes y comunes; sin embargo, unas cuantas bacterias y plantas emplean un pigmento púrpuro para realizar fotosíntesis y algunas otras adquieren su energía de compuestos químicos inorgánicos.

Todos los demás organismos que deben **consumir** materia orgánica para obtener energía y nutrientes son los **heterótrofos** (héteros: “**otro**”), que pueden dividirse en numerosas subcategorías, de las que las dos principales son **consumidores** (que comen presas vivas) y **saprofitos** y **descomponedores**, que se alimentan de organismos muertos y sus productos.

### 7.3 Consumidores

Comprenden una gran variedad de organismos que van desde bacterias microscópicas a las ballenas azules (de más de 65 m de largo, 120 toneladas de

peso, como curiosidad su corazón es del tamaño de un auto escarabajo), e incluyen grupos tan diversos como los protozoarios, los gusanos, los peces, los crustáceos, los insectos, los reptiles, los anfibios, las aves y los mamíferos (entre éstos el humano).

Con el fin de entender la **estructura** de los ecosistemas, los consumidores se clasifican en varios subgrupos de acuerdo con su fuente de alimentación. Los animales (sean tan grandes como un elefante o tan pequeños como un ácaro) que se alimentan directamente de productores se denominan **consumidores primarios** o **herbívoros** (de vorare: “**comer**”), también se les dice **fitófagos**.

Los animales que se alimentan de los consumidores primarios reciben el nombre de **consumidores secundarios**. También puede haber consumidores de tercero y cuarto órdenes, y hasta superiores, y ciertos animales ocupan más de un lugar en la escala; por ejemplo, el ser humano que es consumidor primario cuando ingiere hortalizas, secundario si come carne de res y terciario si come peces que se alimentan de otros que a su vez consumen algas.

Los consumidores de segundo orden y superiores se denominan también **carnívoros**, los que se alimentan tanto de plantas como de animales se denominan **omnívoros** (de omni: “**todo**”).

Se llama **depredador** al animal que ataca, mata y se come a otro, que recibe el nombre de **presa**. Se dice que sostienen una relación **depredador** y **presa**.

Los **parásitos** son una categoría especial de consumidores. Se trata de organismos vegetales o animales que se vinculan estrechamente a su “presa” y se alimentan de ella durante un largo período, por lo regular sin matarla (al menos no de inmediato), aunque a veces la debilitan tanto que la vuelven propensa a que la maten otros depredadores o las condiciones adversas. Esta planta o animal del que se alimenta un parásito recibe el nombre de **huésped** (también **hospedero**), siguiendo el significado original del vocablo; así decimos que es una asociación de huésped y parásito.

Casi todos los principales grupos de organismos tienen miembros que viven del parasitismo. Los parásitos pueden vivir dentro o fuera del huésped.

En biología, se llaman **detritos** a los materiales vegetales muertos como hojas, ramas y troncos caídos y hierba seca, así como a los desechos fecales de animales y, a veces, a sus cadáveres.

Muchos organismos se han especializado en alimentarse de estos elementos, y les damos el nombre de **saprofitos** o **detritívoros**. Entre los ejemplos, como ya se dijo, se cuentan la lombriz de tierra, los miriópodos, los cangrejos de río, las termitas, las hormigas y los escarabajos xilófagos o comedores de restos de madera.

Al igual que con los consumidores, podemos identificar **saprofitos primarios** (que se alimentan directamente de detritos), **secundarios** (que se alimentan de los primarios), etcétera.

Un grupo extremadamente importante de devoradores primarios de detritos es el de los **descomponedores de detritos**, a saber, hongos y bacterias de putrefacción.

Al describir la estructura biótica de los ecosistemas, es evidente que las principales relaciones entre los organismos son de alimentación.

Podemos identificar numerosas secuencias en que un organismo es comido por otro, y éste a su vez por uno más, etcétera. Cada una de estas secuencias recibe el nombre de **cadena alimenticia**.

De hecho, todas las cadenas alimenticias están entrelazadas y forman una **red** o **trama** de relaciones de alimentación. Así, se emplea la expresión de **trama alimenticia** (también **red alimenticia**), para denotar la compleja "malla" de cadenas alimenticias entrelazadas (Nebel y Wright, 1999).

El cuadro de la página siguiente ilustra un resumen de la clasificación ecológica de los seres vivos, de acuerdo con sus características de alimentación:

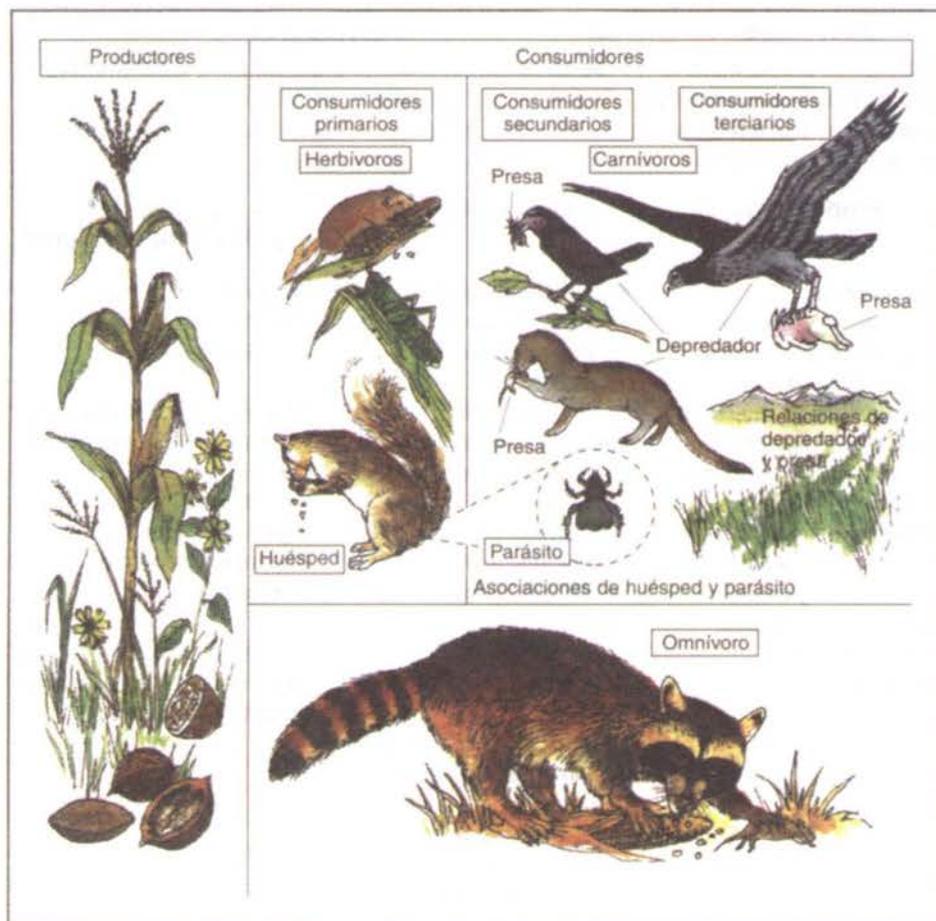
### Resumen de la clasificación ecológica de los seres vivos de acuerdo con sus características de alimentación.

|   |   |   |
|---|---|---|
| <p><b>Autótrofos</b></p> <p>Elaboran su propia materia orgánica a partir de nutrientes inorgánicos y una fuente de energía del ambiente.</p>  | <p><b>Heterótrofos</b></p> <p>Se alimentan de materia orgánica para obtener energía</p>   |   |
| <p><b>Productores</b></p> <p>Plantas verdes fotosintéticas: se sirven de la clorofila para absorber la energía luminosa.<br/>Bacterias fotosintéticas: se sirven de un pigmento purpúreo para absorber la energía de la luz.<br/>Bacterias quimiosintéticas: emplean compuestos químicos inorgánicos altamente energéticos, como el sulfuro de hidrógeno.</p> | <p><b>Consumidores</b></p> <p>Consumidores primarios<br/>Herbívoros: animales que se alimentan sólo de vegetales.<br/>Omnívoros: consumidores que se alimentan tanto de plantas como de animales.</p> <p>Consumidores secundarios<br/>Carnívoros: animales que se alimentan de los consumidores primarios.</p> <p>Consumidores de orden superior<br/>Carnívoros: animales que se alimentan de otros carnívoros.<br/>Parásitos: vegetales o animales que toman como huésped a otra planta o animal para alimentarse de él durante un período prolongado.</p> | <p><b>Saprotitos y descomponedores</b></p> <p>Organismos que se alimentan de materia orgánica muerta.</p> <p>Descomponedores: hongos y bacterias de putrefacción.</p> <p>Saprotitos primarios: organismos que se alimentan directamente de detritos.</p> <p>Saprotitos secundarios y de orden superior: se alimentan de saprotitos primarios.</p> |

Tomado de Nebel y Wriqth, 1999.

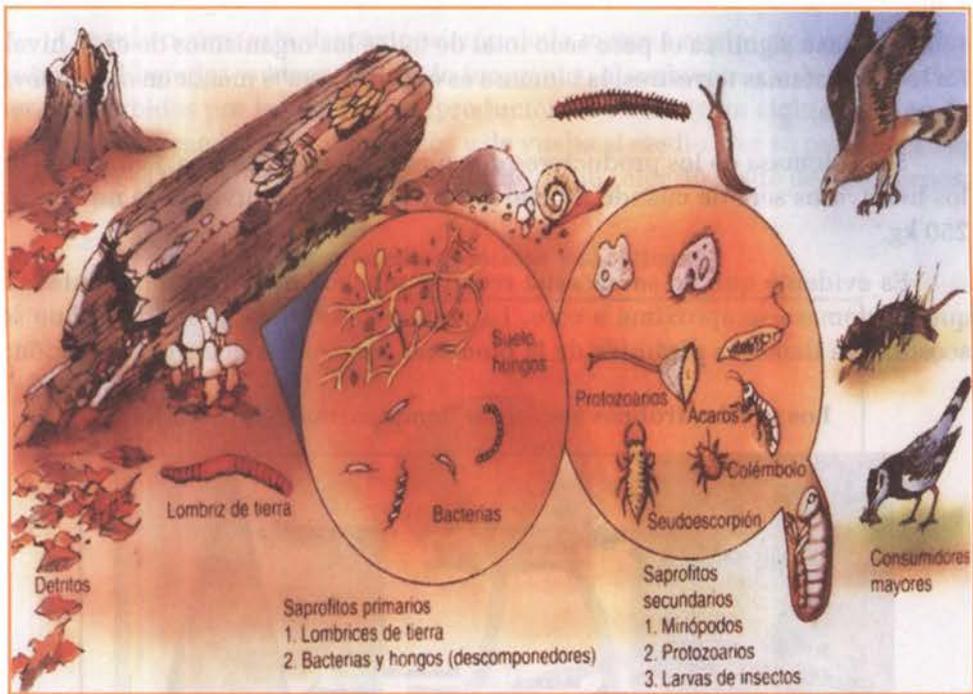
En las siguientes gráficas se observan las asociaciones alimentarias (tróficas) entre los saprotitos primarios, los secundarios y los consumidores.

## Asociaciones alimentarias (tróficas) comunes entre productores y consumidores



Tomado de Nebel y Wriqth (1999)

## Asociaciones de alimentación entre los saprofitos



Tomado de Nebel y Wrioth, 1999

Asociaciones alimentarias (trófica) entre los saprofitos primarios, los secundarios y los consumidores. Los organismos que se alimentan de detritos sustentan a muchos otros que viven en el suelo; éstos a su vez son comidos por consumidores mayores.

Básicamente, todas las cadenas alimenticias avanzan por una serie de pasos o niveles, de los productores a los consumidores primarios (o saprofitos primarios) a los secundarios, etcétera, que llamamos **niveles tróficos**.

Todos los productores pertenecen al primer nivel trófico; todos los consumidores primarios (en otras palabras, todos los herbívoros o fitófagos), que se alimentan de productores vivos o muertos, se encuentran en él, y los organismos que se alimentan de éstos pertenecen al tercer nivel, etcétera (Nebel y Wrioth, 1999).

Sea que consideremos la estructura biótica del ecosistema en términos de cadenas o tramas alimenticias o bien niveles tróficos, debemos observar que en cada paso hay un movimiento fundamental de un organismo al siguiente de nutrientes químicos y la energía almacenada que contienen.

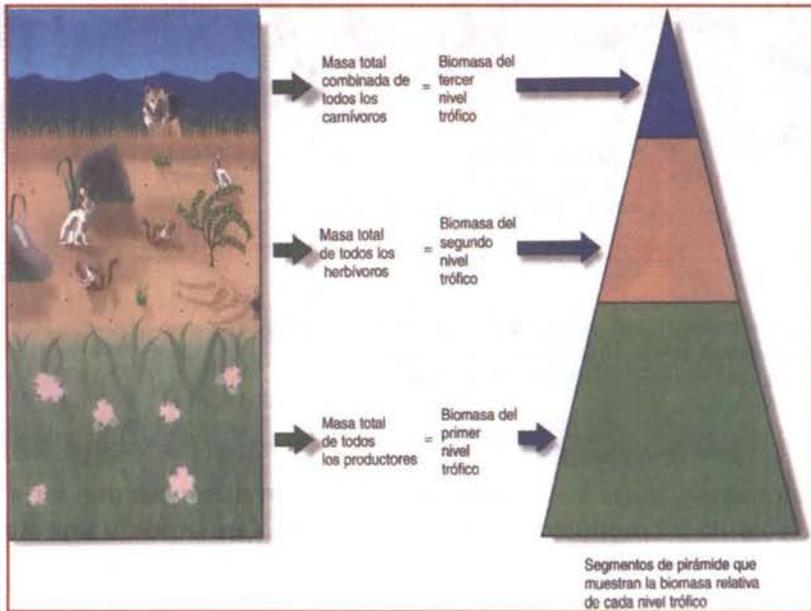
¿Cuántos niveles tróficos hay? No más de tres o cuatro en cada ecosistema, según se desprende de observaciones directas.

**Biomasa** significa el peso seco total de todos los organismos de cada nivel. En los ecosistemas terrestres, la biomasa es entre 90 y 99% menor en cada nuevo nivel trófico.

Si la biomasa de los productores de un pastizal es de 25 t/ha, la biomasa de los herbívoros será de cuando mucho 2.5 t y la de los carnívoros de no más de 250 kg.

Es evidente que no se necesita recorrer muchos niveles tróficos antes de que la biomasa se aproxime a cero. La gráfica de este hecho forma lo que se acostumbra llamar la **pirámide de la biomasa**, y es como sigue a continuación:

### Los niveles tróficos sucesivos tienen forma de pirámide



Tomado de Nebel y Wright, 1999.

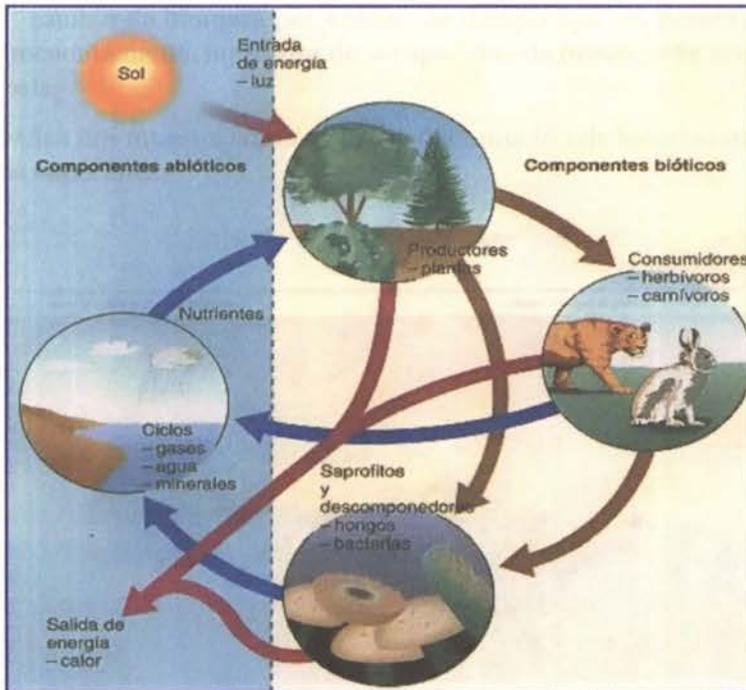
La diferencia tan enorme de la biomasa entre cada nivel trófico se debe a que el heterótrofo no convierte en tejidos orgánicos mucho de lo que consume, sino que lo descompone para liberar y utilizar la energía que contiene; así, hay una pérdida inevitable de biomasa con cada desplazamiento a niveles tróficos superiores.

Todos los heterótrofos dependen de un suministro continuo de la materia orgánica reciente que producen los autótrofos (plantas verdes); de lo contrario se

quedarían sin alimento y morirían de hambre, ya que descomponen la comida para liberar la energía almacenada en ella (Nebel y Wriqth, 1999).

Cuando ocurre esta descomposición de la materia orgánica, los elementos químicos liberados vuelven en estado inorgánico al ambiente, de donde pueden ser reabsorbidos por los autótrofos (productores). Así, hay un ciclo continuo de nutrientes del medio a los organismos y de vuelta al medio. Por su parte, el gasto de energía es irrecuperable porque se pierde como calor disipado de los cuerpos.

### Componentes bióticos y abióticos



Tomado de Nebel y Wriqth, 1999.

Las flechas azules ilustran el desplazamiento de los nutrientes, el de energía se ilustra con flechas rojas. Los nutrientes siguen un ciclo, y se utilizan repetidamente. La energía luminosa que absorben los productores se libera y se pierde en forma de calor, conforme se "gasta". (De Robert Christopherson, *Geosystem*, 2ª ed. 1994, pág. 587. Reimpreso con permiso de Prentice Hall, Upper Saddle River, Nueva Jersey. Según B. J. Nebel, *Environmental Science*, 1a.ed., 1980, Prentice may, Upper Saddle River, Nueva Jersey).

Al interior del ecosistema se establecen **Relaciones corológicas**, es decir, relativas a la distribución de las especies, entre seres que compiten por la luz, el

alimento, el agua o la búsqueda de protección frente a un factor ambiental desfavorable o frente a un enemigo natural.

Lo anterior es lo que conduce a la estructuración de la biocenosis en el espacio (en **estratos**) y en el tiempo (en **fenofases**).

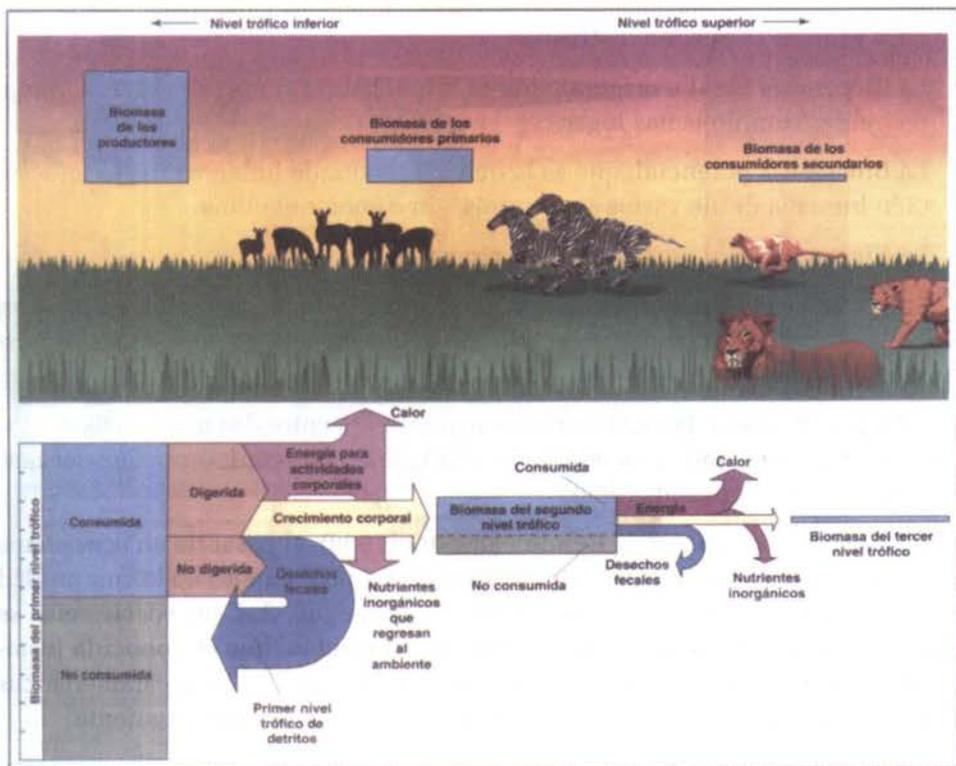
En el seno de los estratos más o menos independientes formados de esta manera se establece una división del trabajo por lo cual cada especie realiza una determinada función, la cual se identifica como ya se dijo con el nombre de **Nicho ecológico**.

## 8. Diversidad y dinámica de la comunidad

Se refiere al número de especies y a su abundancia dentro de la comunidad. Las comunidades simples determinan un equilibrio somero, pues en ellas es más difícil establecer relaciones con otras especies.

Una biocenosis, al igual que una población o un simple individuo, presenta en un momento determinado una **biomasa**, que se modifica en el transcurso del tiempo. El cambio de biomasa por unidad de tiempo (que en general es el año civil) es, frecuentemente, indicador de la capacidad de **producción** al interior de la biocenosis.

La gráfica nos muestra cómo ocurre la disminución de biomasa en los niveles tróficos superiores:



Tomado de Nebel y Wright, 1999.

Una biocenosis cambia con el tiempo. Si se parte de un biotopo virgen (rocas desnudas, una isla volcánica o simplemente un cultivo abandonado) puede observarse y seguirse una **sucesión** de comunidades, cada vez más compleja y de biomasa más elevada.

A través de situaciones intermedias más o menos numerosas, se pasa de la biocenosis pionera a una biocenosis terminal más o menos fluctuante, pero por lo menos fija y con la **máxima biomasa** alcanzable en aquellas condiciones (en el clima y época considerados, y sobre la roca madre en cuestión). Tal biocenosis, en el equilibrio con el clima, es la **clímax**.

**La clímax es, en un principio, la biocenosis más estable, más compleja, más diversificada de la sucesión dinámica primaria.**

Cuando una vegetación primaria es destruida o profundamente modificada (por la corta, el incendio, el diente de los animales domésticos o la roturación) se desarrolla una **sucesión secundaria**.

El estadio clímax de una sucesión secundaria, o clímax potencial (**plesioclímax** en el sentido de **Gahusen**), es el único concebible en las regiones muy pobladas e intensamente modificadas por el hombre.

En general se pueden distinguir:

- La **Biocenosis ideal** u **original**, que es la que habría si ninguna acción humana hubiera tenido jamás lugar.
- La **Biocenosis potencial**, que es la que habría donde hubiera cesado toda acción humana desde varios siglos atrás, sin cambiar el clima.
- La **Biocenosis real**, que es la que existe actualmente.

Una biocenosis mayor tiene las dimensiones y la organización suficientes para hacerse relativamente independiente de las biocenosis contiguas del mismo rango.

En la naturaleza, la zona de contacto o frontera entre dos biocenosis distintas es llamada **ecotono**, y es donde los efectos de contigüidad pueden ser más importantes (Duvigneaud, 1983).

De acuerdo con Teresa y Gerald Audesirk (1998), al pasar de un ecosistema a otro, se observa una gradual disminución de las poblaciones de la comunidad biótica del primero y un aumento en las del que sigue. Así, **los ecosistemas se superponen gradualmente en una región de transición, que es conocida justamente como ecotono**, que comparte muchas de las especies y las características de los ecosistemas adyacentes, tal como se muestra en la figura siguiente.

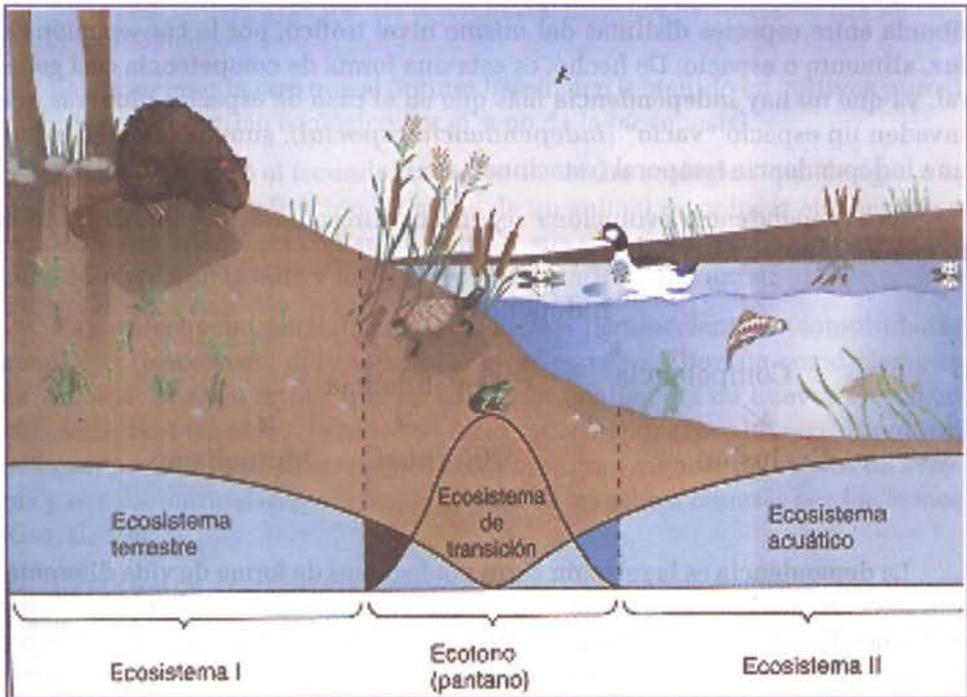
Los ecotonos también suelen reunir condiciones peculiares que sustenten especies vegetales y animales distintivas; por ejemplo, consideramos las áreas pantanosas que a menudo se encuentran entre las aguas de los lagos y la tierra.

Así, los ecotonos pueden estudiarse como ecosistemas por su propio derecho.

Más aún, lo que ocurra en un ecosistema influirá sin duda en otros; por ejemplo, las pérdidas y la fragmentación de los bosques han trastornado las rutas de migración y han causado disminuciones violentas en la población de ciertas aves canoras de América del Norte. Cuál será el efecto de la falta de esas aves en otros ecosistemas, es una pregunta que por ahora no sabemos responder.

A menudo, dos biocenosis adyacentes se funden parcialmente la una con la otra, de manera que no hay límites bien definidos entre ambas (**continuum**). Es frecuente descomponer una biocenosis en comunidades (**cenosis**) de sentido más restringido, clasificadas según su composición taxonómica.

La **fitocenosis** es la comunidad de plantas verdes que sirven de marco, en el medio terrestre o acuático, a las comunidades animales (**zoocenosis**) y microbianas de organismos diversos: bacterias (**bacteriocenosis**) u hongos (**micocenosis**).



Tomado de Nebel y Wright, 1999.

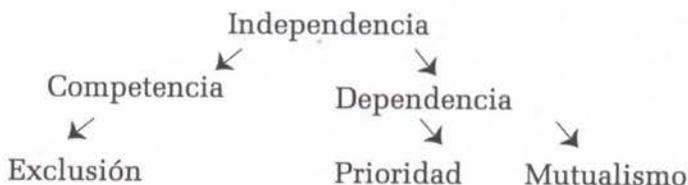
El ecotono conforma un hábitat característico que alberga especies que no se encuentran en los ecosistemas que lo rodean.

Para algunas comunidades de organismos es más fácil establecer relaciones con los demás integrantes de la comunidad, la relación más destacada es la de **competencia** por los elementos que necesitan para sobrevivir, para lo cual desarrollan **adaptaciones**.

Las numerosas especies que conforman la biocenosis se hallan unidas por cadenas tróficas, con lo que se organiza una **competencia** estrecha, pero compleja entre una especie y su depredador o enemigo natural, escapándose de la captura los organismos que están mejor adaptados para ello (escondiéndose, protegiéndose, o huyendo más rápidamente), lo cual es imprescindible para que se mantenga su especie, a la vez que la del depredador. A menudo este proceso sirve para eliminar los individuos enfermos o malformados, siendo así entonces un mecanismo de **selección natural**.

En particular se habla de **competencia interespecífica** al referirse a la lucha librada entre especies distintas del *mismo* nivel trófico, por la consecución de luz, alimento o espacio. De hecho, es esta una forma de competencia casi general, ya que no hay **independencia** más que en el caso de especies pioneras que invaden un espacio "**vacío**" (**independencia espacial**), aunque también existe una independencia temporal (estacional, etc.).

La independencia evoluciona según dos direcciones, por aumento de la biomasa



La **dependencia** es la relación entre poblaciones de forma de vida diferente, una de las cuales obtiene un beneficio no recíproco de su asociación con la otra, como ejemplo se tienen las lianas, epífitas, especies esciófitas que se protegen a la sombra de los árboles, especies carnosas que se cobijan en el interior de matas espinosas, animales que anidan en las copas de los árboles, saprofitas ligados a la broza de determinadas especies, etc. La dependencia está especialmente relacionada con la estratificación de la fitocinesis (Duvigneaud, 1983).

Se llega al **mutualismo** (*cooperación*) cuando los organismos dependientes contribuyen mutuamente a su bienestar, tal como sucede con el estrato muscinal, protegiendo de una evapotranspiración demasiado intensa, causada por la insolación, al estar ensombrecido por el estrato de pinos, permitiendo él, a su vez, el

desarrollo de las plántulas de los pinos y la regeneración forestal al protegerlas de una excesiva desecación. Son muy citados los casos de los líquenes o de las micorrizas (*simbiosis*).

La **competencia** en sentido estricto consiste, en principio, en la ocurrencia de especies independientes cuando los recursos vitales son limitados: agua, luz, sales minerales, presas, etc. Sin olvidar que cuando las necesidades vitales quedan satisfechas, puede haber *superpoblación* de una especie que “**ahoga**” a las demás por su biomasa (*Phragmites*): lucha por el espacio. En cualquier caso, las especies mejor adaptadas (o la especie mejor adaptada) subsisten, quedando **excluidas** las restantes.

Si se trata de vegetales, después de la eliminación de las especies menos resistentes se llega a la **cohabitación** de unas cuantas que explotan conjuntamente los recursos que quedan a su disposición, formando un “**grupo socioecológico**”.

Los factores decisivos del éxito son la constitución morfológica y la constitución fisiológica.

Es normalmente raro que el óptimo fisiológico (obtenido en cultivos puros) coincida con el óptimo ecológico (en el seno de la biocenosis).

**Elton** (1926) creó el fecundo concepto de “**nicho ecológico**” que designa a la vez una localización y función. El nicho de un animal es su lugar en el entorno abiótico y sus relaciones con su alimento y sus enemigos: a menudo puede ser definido mediante la talla y los hábitos alimentarios del animal.

Hay un estrecho paralelismo entre nichos pertenecientes a comunidades homólogas (**isocenosis**) muy separadas en el espacio. **Elton** da como ejemplo, por un lado, el zorro ártico, que en su región se alimenta de huevos de pájaro bobo durante el verano, y de restos de focas muertas por el oso blanco, durante el invierno: por otro lado, la hiena de África come gran número de huevos de aves-truz y se ceba particularmente con los restos de las cebras muertas por los leones (Rizo, G. 1983).

La noción de isocenosis se aplica en general, y especialmente a las biocenosis establecidas bajo climas equivalentes: estepa rusa y pradera americana, landas árticas y antárticas, por ejemplo.

En una biocenosis equilibrada no existe en teoría más que una determinada población por nicho ecológico, como consecuencia del concepto Darwinista de la selección del mejor adaptado a la lucha por la existencia.

Es así como en el curso de la evolución, cada especie animal se ha ido modificando en función de la ocupación de un nicho ecológico particular. El proceso es denominado **radiación adaptativa**.

A veces, una especie da lugar a muchas nuevas en un período relativamente corto, por lo que la radiación adaptativa ocurre cuando las poblaciones de una sola especie invaden hábitats diferentes y se desarrollan como respuesta a las presiones diferentes de selección en aquellos hábitats.

La radiación adaptativa ha ocurrido muchas veces y en muchos grupos de organismos. Por lo general, es el resultado de una de dos causas:

1. Una especie puede encontrar una gran variedad de hábitats sin ocupar, por ejemplo, cuando los antepasados de los pinzones de Darwin colonizaron las Islas Galápagos, o cuando los mamíferos marsupiales invadieron Australia por primera vez. Sin más competidores, excepto los miembros de su propia especie, todos los hábitats y las fuentes alimentarias disponibles fueron utilizados rápidamente por nuevas especies que evolucionaron de los invasores originales. El final de los hábitats sin ocupar es el resultado de las extinciones masivas, como las que pudieron haber ocurrido después de los impactos de meteoritos.
2. También ocurre la radiación adaptativa si una especie desarrolla una adaptación fundamentalmente nueva y superior, permitiéndole que desplace de una variedad de hábitats a especies no tan bien adaptadas. Aparentemente, dichas adaptaciones han sucedido varias veces durante la historia evolutiva, por ejemplo, cuando los mamíferos se diversificaron ampliamente a expensas de reptiles, como los dinosaurios (Nebel y Wrigth, 1999).

En el ecosistema, cuando los recursos son sobreabundantes pueden utilizarlos muchas especies, incluso si se trata de la misma fuente de alimento, común a varias de ellas.

Si los recursos son insuficientes, las especies de los diversos nichos permanecen segregadas en aquellos a los que mejor se adaptan. La naturaleza de la segregación puede ser más o menos compleja.

La competencia puede alcanzar una situación de equilibrio más o menos estable, en cohabitación, llamada «**asociación**» (cohabitación en la competencia). Se entiende mejor en el caso de una *sucesión*, donde las especies, generalmente cada vez mayores o mejor estructuradas, eliminan a otras para ocupar su lugar, al tiempo que la biocenosis evoluciona hacia su *clímax*.

## 9. La fitosociología

El paisaje de una determinada región está formado por un mosaico o una zonación de agrupaciones vegetales, reconocibles por su fisionomía característica.

Se clasifican en **formaciones**: una formación es una agrupación vegetal que debe su fisionomía particular a la dominancia de uno o más tipos de **formas de vida**, también llamadas **tipos biológicos**. Aunque se trata de una noción importante, no es posible utilizar la formación como unidad de base en el estudio de la fitocinesis ya que, al no hacer referencia alguna a la taxonomía, no es demasiado precisa y no tiene en cuenta los datos históricos de la población de la tierra.

Esto explica el empleo de una unidad menor: la **asociación vegetal**. Clásicamente, se trata de una fitocenosis de **composición florística determinada**, que presenta una fisionomía uniforme y creciente en condiciones estacionales igualmente uniformes.

La asociación, en la que cada especie busca su **provecho exclusivo**, es la **expresión de la concurrencia vital y de la adaptación al medio de un grupo de especies**. Así, a una estación dada corresponde una asociación determinada, y a estaciones distintas corresponden asociaciones diferentes.

En la naturaleza, una determinada asociación debe hallarse en las diversas estaciones donde los factores (del medio, estacionales) le convengan, lo cual lleva a la noción analítica concreta de **individuo de asociación** (tal como se observa en la naturaleza), y a la noción sintética de **asociación** que para algunos es totalmente abstracta (Duvigneaud, 1983).

Usualmente se buscan caracteres analíticos deducibles de la observación directa de la naturaleza, el principal de los cuales es el **grado de abundancia** (tanto por ciento de recubrimiento), o la biomasa de las especies componentes, y caracteres sintéticos, establecidos a partir de una tabla que agrupe, en extracto, los individuos de asociación estudiados. Una especie **constante** se presenta en todos los individuos de asociación considerados, aunque se encuentre en otras asociaciones; una especie **fiel**, sin ser necesariamente constante, sólo existe en la asociación estudiada. En la práctica hay todos los grados intermedios de constancia y de fidelidad, siendo raro que una especie sea muy fiel o muy constante.

Las asociaciones pueden reunirse, según esto, en **grupos de asociaciones**, a su vez clasificados como **formaciones** que constituyen las unidades fitofisiológicas superiores. Una **formación** es una entidad natural compuesta por asociaciones de la misma fisionomía.

Hay, pues, una subordinación de la asociación (basada en la composición florística) a la formación (basada en la fisionomía). Al escalar la jerarquía, se cambia de criterio.

Una asociación viene designada por el nombre genérico en latín de una especie dominante o característica, seguido por el genitivo del nombre específico: *Fagetum sylvaticae*, *Caricetum lasiocarpae*, *Bidentetum tripartiti*.

El carácter al que se atribuye mayor importancia es la *fidelidad*, la asociación viene caracterizada por las especies con mayor fidelidad; es una agrupación vegetal más o menos estable y en un equilibrio con el medio, caracterizada por una composición florística determinada en la que ciertos elementos son exclusivos, o casi (**especies características**), de modo que su presencia revela una ecología particular y autónoma.

Estas especies características son, pues, *indicadoras* de un medio particular, es decir, aparte de ser especialistas de condiciones poco normales (suelos contaminados por metales pesados, o químicamente mal equilibrados, etc.), son especies raras que viven en el límite de sus posibilidades ecológicas, el cual a menudo coincide con el límite de su área geográfica; pueden hallarse en cualquiera de los estratos, con lo cual se reconoce la interdependencia de los mismos.

Desde un punto de vista ecológico general, el **grado de fidelidad** de las especies respecto a una asociación o un factor determinado permite establecer los seis grupos siguientes, según Duvigneaud (1983):

1. Especies **accidentales**
2. Especies **accesorias**
3. Especies **preferentes**
4. Especies **electivas**
5. Especies **exclusivas**
6. Especies **indiferentes**

Por otro lado, en la estima de la intensidad y de la amplitud de un factor limitante, la tecnología ecológica utiliza los prefijos: **oligo**, **oligomeso**, **meso**, **mesoeu**, **eu** y **euri**.

El estudio de la asociación no puede limitarse al inventario florístico, hay que esforzarse en definir las condiciones ecológicas a las que corresponde; hay que establecer el perfil del suelo subyacente; puede también obtenerse el **espectro biológico**, es decir, el tanto por ciento respectivo de las distintas formas de vida (sistema de Raunkiaer, 1905).

Para establecer el grado relativo de afinidad que existe entre asociaciones diferentes, aún se hace referencia a las especies características. Se considera entonces que forman un **grupo de asociaciones o alianzas** las asociaciones que poseen una proporción notable de características comunes, que serían las características de esas alianzas.

De igual manera, un grupo de alianzas forma un **orden**, y un grupo de órdenes forma una **clase**.

Toda serie que corresponda a una sucesión primaria es una **priserie** y conduce a un clímax propiamente dicho, o clímax ideal. Una serie correspondiente a una sucesión secundaria es una **subserie** que conduce a un clímax potencial. Es frecuente que uno de los estadios inmediatamente precedentes al clímax se prolongue durante suficiente tiempo como para permanecer permanentemente: puede ser debido a un desarrollo extremadamente lento de la sucesión o la persistencia de un factor que imposibilite la aparición del clímax; a este estadio particular se le llama **subclímax**.

La **Asociación regional** es el bosque natural, o al menos potencial, en equilibrio con el clima considerado: es pues un clímax pero complejo; un tapiz forestal abigarrado (tal como se vería desde un avión) y variado, porque agrupa todas las correspondientes asociaciones estacionales, debidas a diferencias ecológicas micro-climáticas, de petrografía de la roca madre, de régimen hídrico, etc.

Desde el polo hasta el Ecuador se suceden formaciones vegetales correspondientes a las grandes zonas climáticas de la biosfera. Dichas formaciones vegetales, caracterizadas por su fisonomía, pueden ser clasificadas, según la forma de vida dominante, de la manera siguiente (Rubel, 1930):

**Pluviisilvae:** selvas densas ecuatoriales con especies perennes (*evergreens*) y blandas (**selvas lluviosas, rainforest**)

**Hiemisilvae:** bosques claros y sabanas boscosas tropicales de caducifolios; pierden sus hojas durante la estación seca (**bosques de invierno**).

**Durisilvae:** bosques mediterráneos perennifolios con hojas pequeñas y duras, de borde frecuentemente espinoso (**bosques duros**).

**Spinisilvae:** bosques de malezas tropicales con árboles y arbustos caducifolios muy espinosos, mezclados con árboles bombáceos y árboles perennifolios más o menos crasos (**bosques espinosos**).

**Durifruticeta:** landas de sub-arbustos de hoja dura generalmente reducida (**matorrales «duros»**).

**Aestisilvae:** bosques templados de hoja caduca, que pierden durante la estación fría (**bosques de verano**).

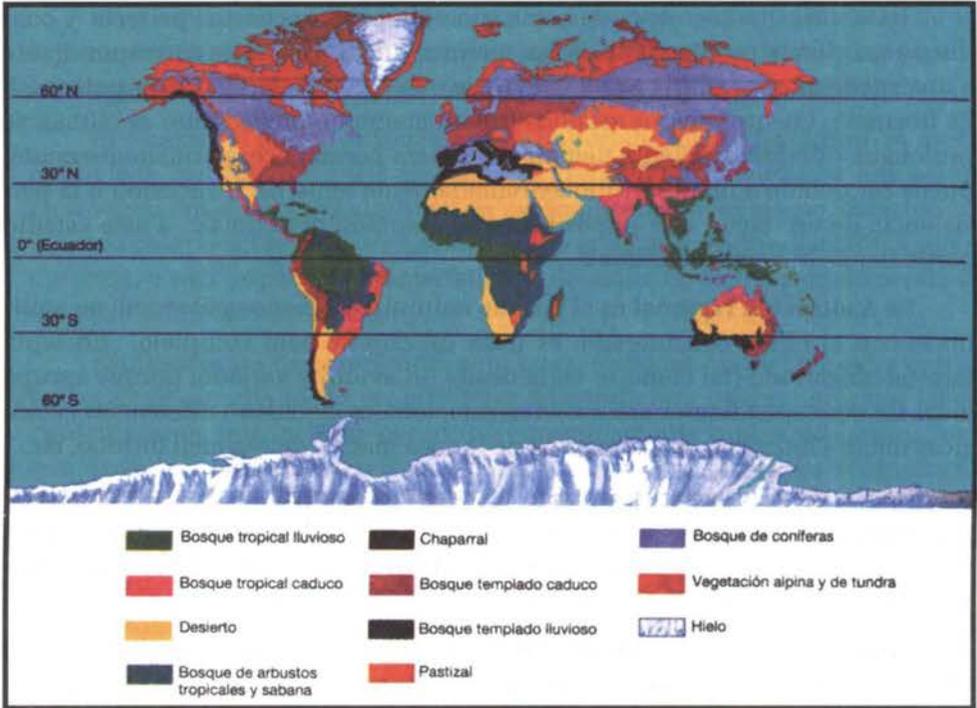
**Aciculisilvae:** bosques de hoja perenne con coníferas (**bosques aciculifolios**).

**Duriprata:** estepas y sabanas de hierbas fibrosas que se secan durante la estación árida (**prados «duros»**).

**Sempervirentiprata:** prados y praderas de hierbas blandas, que permanecen más o menos verdes durante la estación fría (**prados siempre verdes**)

**Siccideserta:** semidesiertos cálidos: estepas y formaciones fruticasas semidesérticas (**desiertos secos**).

**Frigorideserta:** semidesiertos fríos o helados: tundras (**desiertos fríos**).



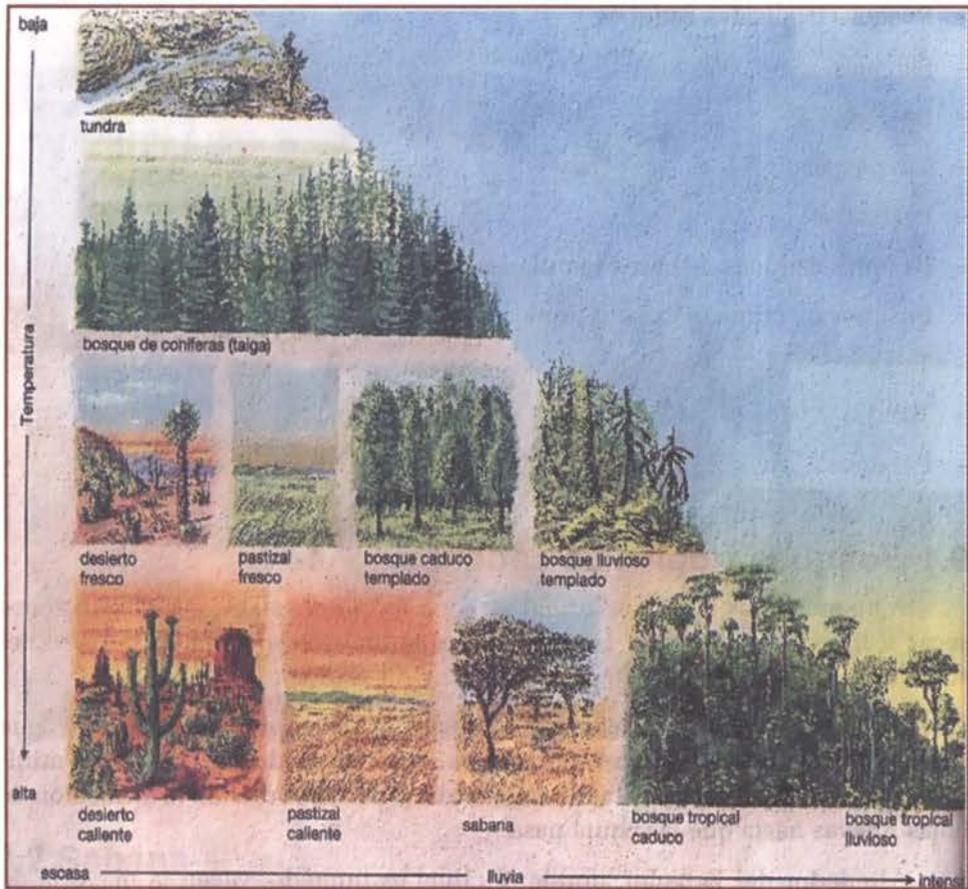
Tomado de Teresa y Gerald Audesirk, 1998.

Estas *formaciones vegetales* son tanto más aparentes cuanto mayor es su biomasa; si se consideran juntamente con los animales, hongos y bacterias que viven en ellas y de las cuales obtienen generalmente su alimento, se llega a los complejos conjuntos biológicos llamados **biomas** que, de hecho, son biocenosis en su sentido amplio.

Se dice que las grandes extensiones de tierra con condiciones ambientales y comunidades de vegetación similares constituyen los **biomas**.

Los biomas generalmente reciben el nombre de la vegetación predominante, que está determinada por la interacción compleja de la lluvia y la temperatura.

## Distribución de los biomas según precipitación y temperatura



Tomado de Audesirk, T. y Audesirk, G. 1998.

Tanto la lluvia como la temperatura determinan la disponibilidad de la humedad del suelo necesaria para el crecimiento de las plantas y para la compensación de la pérdida de agua por evaporación. Además de la cantidad total de lluvia y la temperatura promedio anual, la variabilidad de la lluvia y la temperatura a lo largo del año también determinan cuáles plantas pueden crecer en cierta área.

Por ejemplo, las plantas de la tundra ártica deben estar adaptadas a condiciones parecidas a un pantano durante principios del verano y a condiciones de frío desértico durante la mayor parte del año, cuando el agua está congelada y es inaccesible para las plantas (Audesirk., T. 1998).

Los principales biomas terrestres son:

- Bosques (selvas) tropicales
- Bosques tropicales caducos
- Sabanas
- Desiertos
- Chaparral
- Pastizales
- Bosques caducos de clima templado
- Bosques de clima templado lluvioso
- Taiga
- Tundra
- Páramo

## 9.1 Bosques tropicales caducos

Algo más lejos del Ecuador la lluvia no es tan constante y hay estaciones secas y húmedas marcadas. En estas áreas se incluye la India, gran parte del sudeste de Asia, partes de América Central y del Sur.

Durante la temporada seca, los árboles no pueden obtener suficiente agua del suelo para compensar la evaporación a través de sus hojas, con lo que minimizan la pérdida de agua. Si la lluvia se tarda, los árboles dilatan la formación de hojas nuevas hasta que la sequía pasa.

Alrededor del Ecuador, donde el clima es húmedo, yacen la mayoría de bosques tropicales o selvas tropicales lluviosas, caracterizadas por una intensa radiación solar y temperatura y lluviosidad altas durante todo el año.

Los bosques tropicales poseen la mayor diversidad biológica del planeta y están estratificados, los niveles los determina el tamaño de la vegetación (árboles y arbustos), la cantidad de luz solar que estos reciben y la capacidad de adaptación a la temperatura (Audesirk, T. 1998).

Sin embargo, la riqueza de su biodiversidad no incluye la riqueza del suelo, ya que este no contiene realmente nutrientes importantes debido a la cantidad de precipitaciones anuales, que en algunos casos supera los  $14\text{m}^3$ , es decir,  $14000\text{mm/año}$ , tal es el caso de algunos sectores del Departamento del Chocó (Tovar, J. 2001).

### Fotografía de un bosque tropical (Río San Juan, Chocó)



Tomado de *El Tiempo*, 2000.

## 9.2 Sabana

A lo largo de las márgenes de los bosques tropicales caducos los árboles se espacian más y crecen pastos entre ellos. Al final, los pastos se convierten en la vegetación dominante, con algunos árboles dispersos y bosques de matorrales espinosos en algunas partes; todas estas características tipifican el bioma de sabana.

Quizás la sabana africana tenga la mayor y más impresionante diversidad de mamíferos de la tierra, incluyendo numerosos herbívoros como el antílope, el ñu, el búfalo, el elefante y las jirafas; y carnívoros como el león, el leopardo, la hiena y los perros salvajes (Audesirk, T. 1998).

## 9.3 Desiertos

Se encuentran en todos los continentes, generalmente alrededor de los 20 a 30° latitudes norte y sur; como con todos los biomas, la designación desiertos incluye una gran variedad de ambientes.

Los desiertos naturales del mundo se encuentran en áreas en las que la media de precipitación anual es inferior a los 100 mm. Estos nuevos desiertos, sin embargo, aparecen en las tierras áridas (precipitación menor a 250 mm) y semiáridas (precipitación menor a 600mm). Juntas, las tierras áridas y semiáridas de la tierra suman casi un tercio de su superficie, y casi setecientos millones de personas viven en ellas. Existe una creencia general que de treinta millones de kilómetros cuadrados de estas tierras —una quinta parte de la superficie terrestre— se halla bajo la amenaza directa de la desertización.

Los desiertos más comunes se caracterizan por una vegetación muy dispersa y áreas muy grandes de la tierra desnuda.

En general las plantas se encuentran espaciadas de manera uniforme, como si hubieran sido plantadas a mano. A menudo, las plantas perennes son arbustos o cactáceas con sistemas de raíces grandes y poco profundas. Las raíces superficiales rápidamente absorben el agua del suelo después de las tormentas poco frecuentes del desierto, mientras que el resto de la planta se encuentra cubierto por una capa a prueba de agua y cerosa, que previene la evaporación de agua tan preciada.

El agua se almacena en los tallos gruesos de las cactáceas y otras plantas suculentas. Las espinas de las cactáceas son modificadas para protección y conservación de agua que presentan una superficie de evaporación mínima. En muchos desiertos la lluvia cae en unas cuantas tormentas y ciertas flores silvestres especializadas aprovechan el corto período de humedad para pasar por la germinación, el crecimiento, la floración y la producción de semillas en un mes o menos.

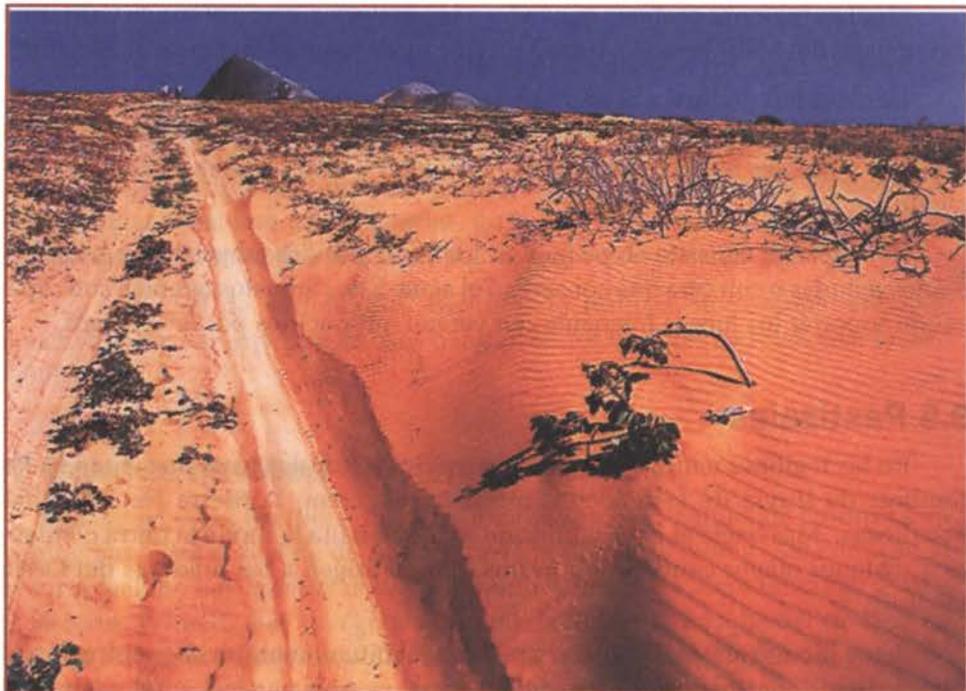
Los animales de los desiertos, al igual que las plantas, están adaptados específicamente para sobrevivir con poca agua. Gran parte de los desiertos parece estar sin vida animal durante el día, debido a que los animales buscan refugio del sol y el calor en nidos subterráneos (Audesirk, T. 1998).

Después de la caída del sol, cuando los desiertos se refrescan considerablemente, lagartijas cornudas, serpientes y otros reptiles salen a alimentarse, así como los mamíferos como la rata canguro y aves, como el búho excavador. Gran parte de los animales pequeños sobreviven sin tomar una sola gota de agua, pues obtienen lo que requieren de la comida y de la respiración celular.

Animales más grandes, como los borregos de cuerno largo, dependen de manantiales de agua permanentes durante los tiempos más secos del año.

Son los lugares más cálidos y secos de la tierra. Las temperaturas son muy altas durante el día, superando en algunos lugares los 55 grados centígrados (desierto de Namib, en Namibia, África) y pueden descender a temperaturas de congelamiento durante la noche.

### Desierto (Cabo de la Vela, La Guajira)



Tomado de *El Tiempo*, 2000.

Los desiertos tienen un suelo arenoso en el que sólo sobreviven las plantas que desarrollan adaptaciones especiales como la variación de los estomas, la formación de una corteza muy dura, la modificación de hojas en espinas, y las extensiones en sus raíces para abarcar la poca humedad del terreno; también es característica la alta latencia de sus semillas, que en algunos casos puede durar decenas de años.

La mayoría de animales se caracterizan por poco pelaje y el desarrollo de adaptaciones morfo-fisiológicas para sobrevivir, como es el caso de enormes orejas altamente irrigadas por vasos sanguíneos, grandes ojos y alta resistencia a la carencia de agua.

Sorprenden especies como la rana del desierto australiano, capaz de enterrarse hasta por siete años, tres a cuatro metros de profundidad, recubriéndose de una película cerosa para entrar en una especie de hibernación, hasta que regresan las lluvias y salen prontamente a reproducirse para prolongar la vida de su especie. Retienen tanta agua, que los aborígenes Maori las desentieran para exprimirlas y beber su agua (Audesirk, T. 1998).

## 9.4 Chaparral

Muchas regiones costeras que rodean los desiertos, como el sur de California y gran parte del Mediterráneo, tienen una forma de vegetación única: el chaparral.

La cantidad de lluvia al año es parecida a la del desierto, pero la proximidad con el mar provee de una estación de lluvias un poco más prolongada en el invierno y nieblas frecuentes durante primavera y otoño, que reducen la evaporación.

El chaparral consiste en pequeños árboles o grandes arbustos con hojas perennes peludas o con cera que conservan el agua. Estos arbustos también son capaces de soportar los fuegos frecuentes en verano, producidos por relámpagos.

## 9.5 Pastizales

En las regiones templadas de Norteamérica los desiertos se presentan en las sombras de lluvia de las cadenas montañosas, como la Sierra Nevada y las Rocallosas. Más hacia el Este, conforme se incrementa la lluvia la tierra comienza a sostener mayor cantidad de pastos, dando origen a las praderas del Oeste Medio.

Estos biomas de pastizales, o praderas, habitualmente se encuentran en el centro de los continentes. Se puede observar un gran pastizal en el centro del continente eurasiático.

En general, tienen una capa continua de pastos y casi ningún árbol, excepto a lo largo de los ríos. Desde las praderas de pastos altos de Iowa e Illinois, hasta los pastos cortos del este de Colorado, Wyoming y Montana, alguna vez los pastizales de Norteamérica ocupaban casi la mitad del continente (Audesirk, T. 1998).

## 9.6 Bosques caducos de clima templado

En el margen este, los pastizales de Norteamérica se unen en el bioma de los bosques caducos de clima templado. En este lugar ocurre mayor precipitación que en los pastizales (42 a 53 mm) y en particular hay mayor precipitación en el verano. Entonces el suelo retiene suficiente humedad como para que crezcan árboles, y el bosque resultante da demasiada sombra a los pastos.

En contraste con los bosques tropicales, el bioma del bosque caduco de clima templado presenta inviernos fríos, en general con varias heladas fuertes y a menudo tiene períodos prolongados con temperaturas por debajo de la congelación.

El invierno en este bioma tiene un efecto parecido a la temporada de sequía de los bosques tropicales sobre los árboles: durante los períodos de temperaturas bajo cero, el agua líquida no está disponible para reducir la evaporación cuando

el suministro de agua es bajo, los árboles mudan sus hojas durante el otoño, producen nuevas hojas cuando llega la primavera y el agua líquida se encuentra disponible otra vez. Durante el período corto de la primavera, cuando el suelo ya se descongeló y los árboles no han tapado por completo el sol, gran número de flores silvestres crecen y cubren el bosque.

Los insectos y otros artrópodos son numerosos y llamativos en los bosques caducos. El desperdicio de hojas en descomposición en el suelo del bosque provee un hábitat excelente para bacterias, gusanos terrestres, hongos y pequeñas plantas. Muchos artrópodos se alimentan de éstos o de otros.

Una variedad de vertebrados, incluyendo ratones, musarañas, ardillas, mapaches y muchas especies de aves habitan en los bosques caducos (Audesirk, T. 1998).

## 9.7 Bosque lluvioso de clima templado

En las costas del Pacífico, desde las áreas bajas de la península Olímpica en Washington, hasta el sureste de Alaska, se encuentra este bioma. Así como en la selva tropical, no hay escasez de agua durante el año. Esta abundancia se debe a dos factores. Primero, hay una gran cantidad de lluvia. El bosque del río Hoh en el Parque Nacional Olímpico recibe más de 74 mm de lluvia cada año, y más de 60 cc sólo en el mes de diciembre. Segundo, la influencia moderadora del océano Pacífico evita que se formen heladas fuentes a lo largo de la costa, por lo que el suelo casi nunca se congela (Audesirk, T. 1998).

La abundancia de agua significa que los árboles no necesitan mudar de hojas en el otoño y casi todos son perennifolios. En contraste con los árboles perennifolios, de hojas anchas del trópico, los bosques de clima templado se encuentran dominados por coníferas.

El suelo y frecuentemente los troncos se hallan cubiertos de musgos y de helechos. Como en los bosques tropicales lluviosos, la luz que llega hasta el suelo es tan escasa que los brotes de árboles generalmente no se pueden establecer. Sin embargo, cuando uno de los gigantes del bosque cae, abre una mancha de luz y rápidamente brotan semillas, casi siempre sobre el tronco caído. Este hecho produce un "tronco nodriza".

Este bioma se observa en latitudes que presentan las cuatro estaciones climatólogicas. Se caracteriza por su bosque decíduo, formado por los vegetales que allí se encuentran, y que desarrollan diversas adaptaciones que les permiten evolucionar durante el período de duración de cada estación y que, además, le confieren su típico color.

Sus suelos son ricos en nutrientes solubles, permiten la formación y establecimiento de una microbiota (equilibrio entre flora y fauna).

## 9.8 Taiga

Al norte de los pastizales y de los bosques templados se extiende horizontalmente por todo el norte del continente americano, en especial al sur de Canadá, el bosque de coníferas del norte, también llamado **taiga**.

Las condiciones en la taiga son más rigurosas que las presentes en los bosques caducos. En la taiga los inviernos son más largos y fríos y la temperatura de crecimiento es más corta. Los pocos meses de clima cálido son demasiado cortos como para que los árboles se den el lujo de renovar sus hojas en primavera. Como resultado, la taiga se encuentra poblada en su mayor parte por coníferas perennifolias que tienen hojas como agujas cerosas.

La cubierta de cera y la pequeña superficie de las agujas reducen la pérdida de agua por evaporación durante los meses fríos y las hojas permanecen en el árbol todo el año. Entonces, los árboles se encuentran listos para aprovechar las buenas condiciones de crecimiento cuando llega la primavera y puede continuar un crecimiento lento hasta finales del otoño.

Debido a sus climas tan rigurosos, la diversidad biológica en la taiga es más baja que en muchos otros biomas. Por ejemplo, grandes extensiones del centro de Alaska están cubiertas por un bosque sombrío compuesto casi del todo por abetos negros y abedules ocasionales (Audesirk, T. 1998).

Los grandes mamíferos, como el bisonte del bosque, el oso grizzly, el alce y el lobo, que han sido eliminados casi por completo de la parte sur de sus territorios originales, todavía rondan por la taiga, así como animales más pequeños como el glotón americano, la zorra, la liebre zapatos de nieve y los venados.

Este bioma está caracterizado por una densa selva fría, poblada de numerosas coníferas, donde el suelo es húmedo y la cantidad de humos es más ácida que en el bosque tropical.

La vegetación pequeña es casi nula, puesto que las coníferas permiten muy poco el paso de la luz solar, dando como resultado que sólo en algunas regiones de América del Norte puedan existir sobre el suelo algunas especies de musgos y líquenes, que como lo hacen en el páramo, se encargan de retener la humedad, contribuyendo grandemente en el **ciclo hidrológico mundial**.

Los bosques de coníferas son una de las regiones más importantes con respecto a la producción mundial de madera, donde destacamos al Canadá y Estados Unidos, en cuyo seno se localizan los árboles más grandes y longevos del planeta. De la familia de las cupresáceas figuran las **secoyas**, que alcanzan más de 130 m de altura, con un diámetro de 12 a 14 metros en la base del tronco y viven más de mil años.

Hoy en día quedan sólo dos especies de ese árbol: *Sequoia gigantea* y la *Sequoia sempervivens*. Los más viejos de esos campeones de los bosques serían

contemporáneos de las pirámides de Egipto, es decir, tendrían de 3.000 a 4.000 años.

## 9.9 Tundra

El último bioma que se alcanza antes de llegar a los polos es la tundra del Ártico, una vasta región sin árboles que rodea al Océano Ártico. Las condiciones en la tundra son fuertes. Las temperaturas del invierno suelen alcanzar 55°C o menos, los vientos corren a 50 ó 100km/h y la precipitación promedio anual es de 30 mm o menos, lo que hace de este lugar un “**desierto congelado**”.

Aun durante el verano las temperaturas pueden bajar a nivel de la congelación y la temporada de crecimiento puede durar tan solo unas semanas antes de que caiga una helada fuerte (Audesirk, T. 1998).

En las cimas de las montañas altas, más arriba de donde pueden crecer los árboles, se dan condiciones más o menos similares aunque no tan frías, y se les llama **tundra alpina**.

El clima frío de la tundra da lugar al llamado **permafrost**, una capa de suelo congelado que generalmente se encuentra a medio metro por debajo de la superficie. Como resultado, cuando llega la descongelación del verano el agua proveniente del hielo y nieves derretidos no puede penetrar el suelo y la tundra se convierte en un pantano gigante, los árboles no pueden sobrevivir en la tundra; el permafrost limita el crecimiento de las raíces a la capa superficial de suelo de un metro más o menos.

Sin embargo, la tundra sostiene una sorprendente abundancia y variedad de vida. El suelo está alfombrado con flores perennes pequeñas y sauces miniatura de unos cuantos centímetros de altura y generalmente con un líquen grande llamado **musgo de venado**, alimento preferido de los caribúes.

Se ubica en las áreas alrededor de los polos Norte y Sur, donde las temperaturas tienen en promedio menos 5 grados centígrados y el territorio está cubierto de hielo la mayor parte del año.

La vegetación consiste en musgos, líquenes y arbustos que sirven de alimento a los renos, y estos a su vez a los lobos.

El suelo posee una capa congelada que se encuentra entre los 90 y 455 m de profundidad.

Los mamíferos que habitan allí desarrollan una cubierta especial a manera de capa durante el invierno, cuando suelen hibernar, tal es el caso del gran oso polar.

Los ritmos biológicos de las especies se ajustan más a los cambios de temperatura que a las variaciones de luz, puesto que las regiones sufren prolongados períodos de oscuridad (Audesirk, T. 1998).

## 9.10 Páramo

Se encuentra ubicado en las altas montañas de Colombia, Venezuela y Ecuador, es el único en el mundo, y está entre los 3.800 y 4.500 m.s.n.m. La vegetación del páramo ha desarrollado distintos tipos de adaptaciones que la protegen de las bajas temperaturas, la alta radiación solar y la incidencia de los pisos térmicos fríos, tal es el caso de la *Espeletia humboldtia* o **frailejón**, caracterizado por poseer hojas gruesas, cubiertas de fibras densas.

Las comunidades de páramo tienen poca diversidad y son únicas. El ecosistema tiene gran importancia, pues es el regulador de los flujos de agua de los valles interandinos, es el refugio de muchas especies de animales que migran de los bosques tropicales, destacándose la **danta de páramo**.

Colombia posee la mayor proporción de este tipo de biomas, al contar con el 60% del total mundial, ello entraña que estos constituyan valiosas estrellas fluviales como el **Macizo Central Colombiano**, cuna de los ríos Patía, Cauca, Magdalena y Caquetá, entre otros (Tovar, J. 2001).

### Vegetación del páramo (Parque Nacional de Chingaza, Cundinamarca)



Tomado de *El Tiempo*, 2000.

Obsérvese la disposición de las hojas alzadas hacia el sol, su carácter carnososo o succulento y la estructura foliar cubierta de “vellosidades” o fibras algodonosas en el caso de la especie *Espeletia* sp. (frailejón).

Las zonas paramunas colombianas, sin embargo, enfrentan grave amenaza por la ampliación de la mal denominada “frontera agropecuaria”, a expensas de la incorrecta interpretación de la Ley de Reforma Agraria (Ley 160/94), responsable de la “**colonización**” hacia estas reconocidas frágiles zonas ecosistémicas, con lo que se pone en peligro el suministro de agua para todos los valles interandinos, donde se asientan los mayores procesos productivos que sostienen nuestra pobre economía, cada día sin más futuro gracias a la confluencia de otros factores tan adversos e inaceptables como el ensanche de la siembra de cultivos denominados “ilícitos”, que también llegan a estas zonas (Tovar, J. 2001).

## 10. El ecosistema

El **ecosistema** es el resultado de la relación existente entre la comunidad y el ambiente inanimado en que se encuentra y que conduce a un sistema estable por sí mismo. Ejemplo: cuando en un lago consideramos la comunidad existente y las condiciones de salinidad del agua, temperatura de la misma, grado de turbidez, etc., estamos definiendo un ecosistema.

El ecosistema es la unidad básica funcional en ecología. Se refiere al conjunto de elementos que pertenecen a una unidad geográfica específica y que interactúan entre sí y con los factores que los rodean.

Los ecosistemas están conectados entre sí y los cambios de uno pueden afectar directa o indirectamente a otros.

### Clasificación de los ecosistemas en función del tipo de nutrición nitrogenada

| TIPO $\text{NH}_4^+$             | TIPO $\text{NH}_4^+ - \text{NO}_3^-$                 | TIPO $\text{NO}_3^-$   |
|----------------------------------|--|--|
| Taiga, tundra baja arbustiva     | Muchos bosques templados de caducifolios sobre limos | Bosques de llanuras tropicales húmedas                               |
| Bosques de coníferas subalpino   | Bosques aluviales                                    | Bosques caducifolios templados sobre caliza. (Rendsima)              |
| Bosques de coníferas sobre turba | Alisedas ricas                                       | Prados corregidos, de suelo no empapado; la mayor parte de jardines. |
| Bosque de robles y abedules      | Numerosos tipos de prados y herbazales               |  |
| Brezal con Calluna               | Herbazales secos sobre caliza                        |  |
| Cenegales, marismas              | Sabanas tropicales                                   |  |
| Turberas altas con Sphagnum      | Diversos bosques tropicales                          |  |

Tomado de Rizo, 1993

Un ecosistema puede inclusive llegar a estar conformado en una unidad tan pequeña como lo es un acuario o un estanque para peces; en esa condición se reúnen los requisitos fundamentales que propenden a un equilibrio permanente, entre las cantidades de alimentos disponibles y el número de individuos exis-

tentes, entre la proporción de nacimientos y muertes, entre el número total de individuos y el espacio disponible, etc.

Un ecosistema tenderá siempre a llegar a una situación de **homeostasis o equilibrio**, que necesita mantener para funcionar y existir como tal.

En todo ecosistema es factible distinguir los componentes que son los encargados de procurar tal equilibrio. Ellos son:

**A. Componentes o sustancias inorgánicas** tales como el C, N, Agua, HCl, que hacen parte del medio abiótico (A=**sin**, BIOS=**vida**) del ecosistema.

Los factores abióticos de un ecosistema son todos los factores externos que influyen en él y en el desarrollo de todos los organismos que lo conforman.

Son **factores abióticos** el grado de salinidad del agua, la atmósfera, la configuración del clima, la clase y calidad del suelo, el grado de humedad, la luz, la presión, los vientos, la altitud.

Los **factores bióticos** y abióticos son inseparables en un ecosistema, porque la supervivencia de los organismos depende del equilibrio de los factores que lo componen.

Todos los organismos que pertenecen a un ecosistema presentan un grado de **tolerancia y adaptabilidad** a las condiciones y factores abióticos, sin embargo, existen organismos que son muy sensibles a los cambios de tales condiciones, siendo entonces los más vulnerables a la **extinción**.

**B. Componentes de tipo orgánico** como las proteínas, los lípidos, sustancias húmicas, etc., que permiten el establecimiento de enlaces entre los seres vivos y lo inerte.

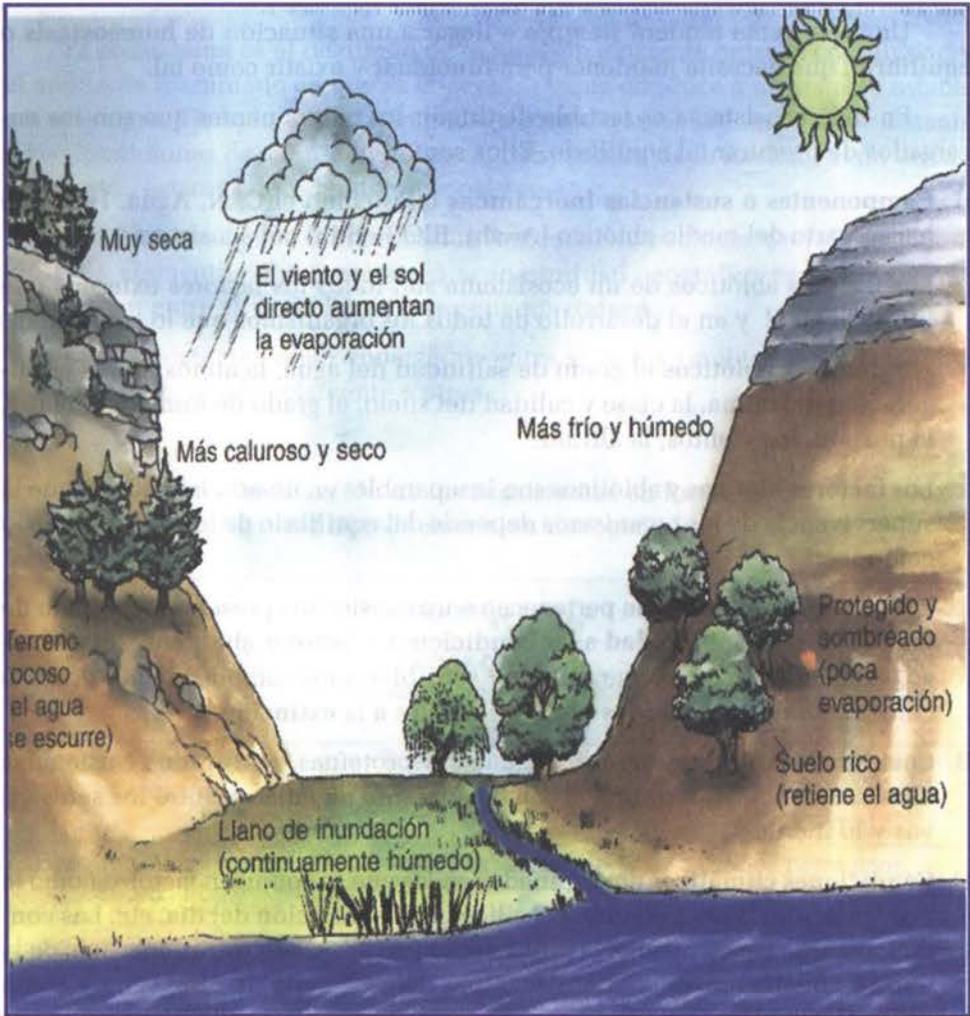
**C. Condiciones climáticas** determinadas en las que se conjugan factores como la precipitación, la temperatura, el brillo solar, la duración del día, etc. Las condiciones que hacen posible la proliferación de la vida sobre la superficie de la tierra tienen lugar en la atmósfera, una delgada capa de aire, agua y tierra (Rizo, G. 1993).

La **atmósfera** es la capa gaseosa que rodea la tierra y está constituida por un 78.085% de **nitrógeno**; un 20.946% de **oxígeno**; un 0.934% de **argón**, y un 0.033% de **bióxido de carbono**, junto con pequeñas cantidades de **helio**, **metano**, **óxido nitroso**, **criptón**, **hidrógeno**, **xenón** y **ozono**, que forman el 0.01% de su volumen total.

Además de partículas y gases, la atmósfera contiene agua en abundancia, que cambia de estado dependiendo de la presión ejercida sobre ella.

Las diferencias en la temperatura dependen de la distribución del agua y la tierra, además de cantidades de luz.

## Factores abióticos y microclimas



Tomado de Nebel y Wright, 1999.

Los factores abióticos como el terreno, el viento y la naturaleza del terreno crean microclimas diferentes, ya que influyen en la temperatura y la humedad de zonas localizadas.

En las zonas polares y subtropicales la luz solar incide de forma oblicua y aporta menos energía térmica a la superficie terrestre; esta energía atraviesa una capa más gruesa de la atmósfera, sufriendo procesos de **absorción**, **dispersión** y **reflexión**; por el contrario, los rayos perpendiculares que caen sobre los trópicos transfieren mayor energía térmica.

- D. Para que haya vida en un ecosistema es necesario que existan plantas verdes, es decir, organismos capaces de producir su propio alimento, a partir de luz solar y bióxido de carbono presentes en la atmósfera. Estos organismos son la base de toda cadena alimenticia y además liberan oxígeno al final del proceso vital de la **fotosíntesis**, el cual es necesario para todas las formas de respiración **aerobia**.
- E. Si se reúne el requisito de que haya vegetales, entonces deberán encontrarse organismos animales que se alimentan de ellos y que son los consumidores u organismos heterótrofos, que necesariamente adquieren el alimento de aquellas que lo fabrican.
- F. Existirán también, como parte fundamental de los ecosistemas, organismos **desintegradores** que están encargados de **descomponer** la materia orgánica de desecho, los cadáveres y las deyecciones de los animales en sustancias simples que sean fáciles de **asimilar** nuevamente por las plantas. Ejemplo: **bacterias, hongos** y otros microorganismos.

Los anteriores componentes actuarán de manera **coordinada**; en la medida en que uno de ellos falle, se **afectará** el funcionamiento **correcto** del ecosistema y éste entrará en **deterioro**.

## 10.1 Características de los ecosistemas

La característica más importante de un ecosistema es la relación de **competencia** que existe entre las especies que lo conforman y la **adaptabilidad** de las mismas a las condiciones de **clima** y al **medio** en que se desarrollan (Duvigneaud, 1983).

Los factores externos, como ya se mencionó, se clasifican en **bióticos** y **abióticos** (con vida y sin vida, respectivamente), los organismos se clasifican en **autótrofos**, que producen su propio alimento (del vocablo griego **autos** = así mismo y **trofos** = alimentación), y **heterótrofos**, que se alimentan de otros organismos (del vocablo griego **heteros** = distinto y **trofos** = alimentación) y pueden ser, según sea su fuente primaria de alimento:

**Herbívoros:** Si se alimentan de plantas (también se los llama **fitófagos**).

**Carnívoros:** Si toman su alimento a partir de herbívoros.

**Omnívoros:** Si toman por alimento cualquier sustrato orgánico o inorgánico.

El conjunto de los ecosistemas que constituyen la cubierta viva de la tierra, como ya se dijo, conforma la **biosfera**, siendo el más grande que existe. El ecólogo A.G. Tansley fue el primero en utilizar el término ecosistema, en 1935.

Al interior de un ecosistema se desarrollan complejos procesos en los cuales se presentan intercambios de energía y alimento entre los seres vivos, que actúan en función del ambiente. En esas condiciones es posible identificar un sistema de funcionamiento entre los individuos y su medio ambiente.

## 10.2 Ecosistemas acuáticos

Dentro de este grupo se consideran los ecosistemas acuáticos de aguas oceánicas y de aguas continentales, los micro-hábitats de manantiales, huecos de árboles e incluso cavidades de plantas donde se acumula agua y que dependen de diferentes factores como la luz, la temperatura, la composición química, las corrientes y las olas (Nebel y Wrigth, 1999).

### 10.2.1 Ecosistemas lénticos

Las aguas relativamente quietas contenidas en los **lagos, lagunas, ciénagas, pantanos, madre-viejas** (ecosistemas naturales) y los **embalses** (de origen natural y/o artificial), es lo que constituyen los **ecosistemas lénticos acuáticos**.

Los **lagos** deben su formación a diferentes causas, existen unos que se formaron a raíz del choque de placas tectónicas, otros por la disolución de una roca caliza, otros porque la lluvia llenó el cráter de un volcán inactivo y otros por excavaciones.

El lago **Albert**, en Oregon (USA), el **Baikal** y el **Biwa** se formaron cuando la zona se hundió entre dos fallas adyacentes y se formó una presión (Audesirk, T. 1998).

#### 10.2.1.1 Estructura biótica en ecosistemas acuáticos lénticos

Las cadenas tróficas están conformadas por organismos autótrofos, que se clasifican en **fagótrofos** o **macroconsumidores** como los herbívoros, los depredadores y algunos parásitos; y los **saprotrofos microconsumidores**.

El **plancton** es la base de dichas cadenas, además es un gran aportador del oxígeno producido como resultado final de la fotosíntesis que realiza.

Las larvas de celenterados, los rotíferos y pequeños artrópodos se denominan **zooplancton**.

Las algas microscópicas son el **fitoplancton** y los organismos nadadores como los peces conforman el **necton**.

Las algas que se encuentran adheridas a las rocas de las orillas se llaman **macrofitas acuáticas**. Los organismos sin sustrato propio forman el **perifiton**.

Los organismos que viven en las corrientes de agua, sin importar en qué zona del litoral, constituyen el **bentos**. Aquellos que se mueven sobre el fondo

son los **bentónicos**, y los que viven enterrados, como gusanos y larvas de insectos, se denominan **infauna**. Por su parte, peces que junto a otros organismos pluricelulares nadan en las primeras capas, constituyen organismos **epibénticos** y **pelágicos**.

### 10.2.2 Ecosistemas lóticos

Son los conformados por los cuerpos de agua corriente o en circulación, como **quebradas, ríos, riachuelos**, todos los cuales directa o indirectamente y por las variantes topográficas terminan en el mar, siendo entonces responsables de todo tipo de descargas de origen orgánico e inorgánico que de alguna manera influyen positiva y negativamente en la calidad oceánica (Rizo, G. 1993).

Las corrientes del río son básicamente el factor que determina la diversidad de especies que lo habitan.

Los ríos presentan dos zonas distintas bien demarcadas; los **remansos**, que son las zonas donde la velocidad de la corriente es poca, por lo que los materiales y el cieno se asientan y forman un fondo blando y los **rabiones** o **rápidos**, donde la velocidad de la corriente mantiene el fondo limpio de cieno y de materiales.

#### 10.2.2.1 Estructura biótica en ecosistemas acuáticos lóticos

En un río se distinguen las comunidades que habitan en los rabiones o rápidos conformadas por peces, algas y caracoles que desarrollan adaptaciones especiales para no ser arrastrados por la fuerte corriente; y la de los remansos.

Según Tovar (2001), los insectos constituyen la parte más importante de la vida animal en los ríos, al punto que en estudios sobre contaminación e impacto ambiental, algunos son considerados **bio-indicadores** de calidad del conjunto ecosistémico (**efemerópteros** y **plecópteros**).

El plancton de las aguas corrientes se denomina **potamoplancton**.

Hay un grupo de organismos **fotofóbicos**, en grupos como los **copepados** y los gusanos **poliquetos**; y el de los pasteuradores, algas, musgos, crustáceos y larvas de insectos adheridos a las piedras o palos.

## 10.3 Ecosistemas estuarinos

El **estuario** es el punto donde un río desemboca en el mar. Los estuarios se clasifican en de **cuña de sal** o altamente estratificado, donde la corriente de agua del río predomina sobre la actividad de las mareas; estuario **parcialmente mezclado** o **moderadamente estratificado**, donde las corrientes dulces y saladas son relativamente iguales y conforman la llamada **Trampa nutricia**; estuario **com-**

**pletamente mezclado** o **verticalmente homogéneo**, donde las mareas son dominantes y el agua está bien mezclada, desde la superficie hasta el fondo.

También existe el estuario **hipersalino**, donde la corriente de agua dulce es débil, la amplitud de la marea es baja y la evaporación es alta, creando un mayor grado de salinidad (Rizo, G. 1993).

### 10.3.1 Estructura biótica en ecosistemas estuarinos

Los estuarios poseen especies **macrofitas** como algas marinas y hierbas de pantano; **microfitos bénticos** y **fitoplancton**.

Los animales del fondo forman el **zoobentos**. La **infauna** se entierra en el sedimento para protegerse de los cambios de temperatura y de la salinidad. Abundan los peces y ocurren los fenómenos de **mareas rojas**.

## 10.4 Estructura biótica en ecosistemas marinos

De acuerdo con Duvigneaud (1983), los animales que conforman el plancton marino se clasifican en:

|                         |  |
|-------------------------|--|
| <b>Necton</b>           | u organismos que nadan a voluntad, como los peces. |
| <b>Neuston</b>          | organismos que nadan en la superficie.             |
| <b>Ultraplancton</b>    | organismos de menos de 2 $\mu$ m.                  |
| <b>Nanaoplancton</b>    | organismos entre 2 y 20 $\mu$ m.                   |
| <b>Microplancton</b>    | organismos entre 20 y 200 $\mu$ m.                 |
| <b>Macroplancton</b>    | organismos entre 200 y 2000 $\mu$ m.               |
| <b>Megaplancton</b>     | organismos de más de 2000 $\mu$ m.                 |
| <b>Bacterioplancton</b> | conformado por bacterias.                          |
| <b>Fitoplancton</b>     | conformado por plantas.                            |
| <b>Zooplancton</b>      | conformado por animales.                           |

Los organismos bénticos juegan un papel importante en la descomposición y circulación de los nutrientes en el mar. Las adaptaciones que desarrolla el organismo dependen de la clase de sustrato al que se adhiera.

La relación entre el tamaño de las partículas de sedimento y el tamaño de los organismos determina los hábitos y la morfología de las especies.

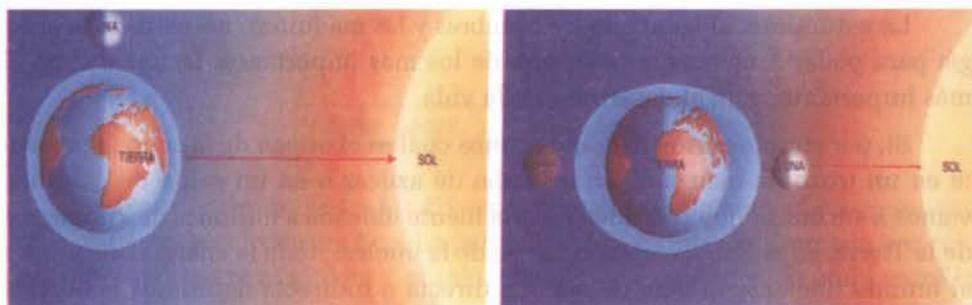
### 10.4.1 El océano y sus mareas

La gravedad de la luna y del sol atrae los océanos, causando un ciclo diario y mensual de mareas.

Cuando el Sol, la Luna y la Tierra están alineados, se producen **mareas vivas** o altas (llamadas "pujas" en Colombia), por el contrario, la atracción opuesta del Sol y de la Luna produce **mareas muertas** o bajas.

Para facilitar el estudio de la **biosfera** se la ha dividido en unidades más pequeñas, donde sí es posible identificar características similares entre los individuos que allí habitan.

Tales unidades se han denominado **biomas** y son las mayores unidades de comunidad terrestre que resulta conveniente identificar y que ya vimos atrás.



Tomado de IDEAM, 1998

Las mareas son el producto de la acción de la fuerza de gravedad del sol y la luna sobre los océanos.

Los biomas terrestres están marcados fundamentalmente por el **clima**, que determina los tipos de vegetación que a su vez define la fauna que convivirá y se alimentará de ella. Se forman en bandas aproximadamente paralelas a las líneas de latitud terrestre, poseen características propias que sustentan entonces comunidades de organismos definidos.

Dentro de cada **bioma** se desarrollan **microclimas** o **bioclimas**, sobre los cuales influyen las condiciones topográficas del paisaje, que determina la existencia de comunidades vivas dentro de un mismo bioma.

Al interior de cada uno de los biomas se pueden identificar diferentes ecosistemas; así, por ejemplo, se presentarán ecosistemas de pradera, de laguna, de montaña, etc., que nos facilitan el análisis de las unidades mayores, como ya dijimos.

## 10.5 El flujo de energía en los ecosistemas

La palabra de moda en el mundo actual es **energía**; se necesita de la energía para poder hacer que el mundo funcione. Nuestra civilización está fundamentada sobre un continuo abastecimiento. ¿Se ha preguntado usted qué pasaría si, por un momento, cesara el flujo de la energía en el mundo? ¿Qué sería de los computadores, de las máquinas, de la industria?

Ciertamente el caos sería total. Por ello es que la energía es una palabra que se volvió popular cuando, en 1973, los precios de los combustibles aumentaron de manera vertiginosa y nos dimos cuenta de que nuestra relación con aquellos elementos productores de energía era cada vez más estrecha. Podemos entonces concluir que nuestra civilización depende hoy como nunca antes de un adecuado y permanente suministro de energía.

Nosotros también requerimos de energía para poder vivir; ella viene en los alimentos que a diario consumimos, responsables de mantener nuestra vitalidad y de suministrarnos la cantidad de calorías para el desempeño de nuestras tareas.

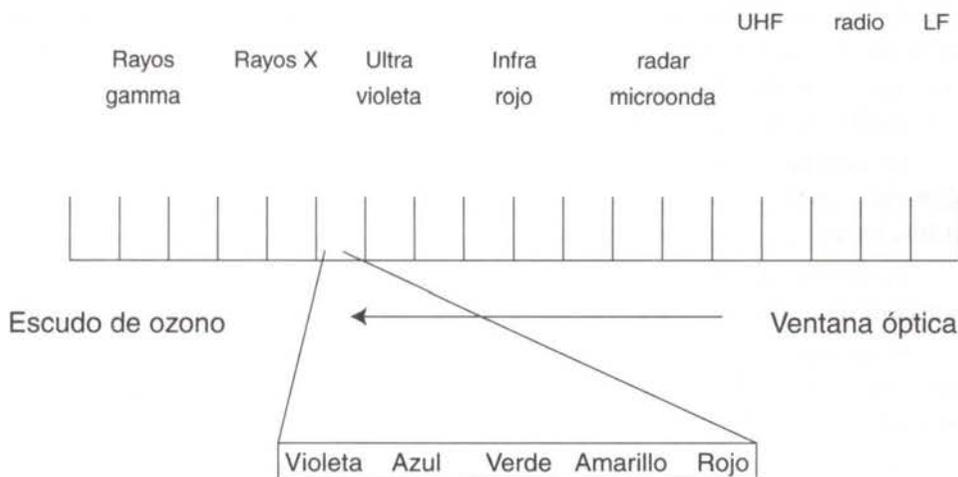
La naturaleza, al igual que los hombres y las máquinas, necesita de la energía para poder funcionar, es este uno de los más importantes factores, si no el más importante, para el desarrollo de la vida.

Si, por simple curiosidad, indagamos cuál es el origen de la energía presente en un trozo de manzana, en un cubo de azúcar o en un galón de gasolina, vamos a encontrar que proceden de una fuente ubicada a millones de kilómetros de la Tierra, en el Sol. Excepción hecha de la nuclear, toda la energía que mueve al mundo tiene ese origen; de manera directa o indirecta definimos la energía como la capacidad de realizar un trabajo.

No ocurre lo mismo con la energía proveniente del sol; ella ha fluido continuamente desde hace miles de millones de años atrás y ha contribuido a la conformación del planeta Tierra que hoy conocemos. Por eso, el Sol constituye el motor que da dinámica y movimiento a todos los procesos de la naturaleza, siendo mayor su significancia para los seres vivos.

La energía que nos llega del sol lo hace en forma de ondas electromagnéticas de diferentes longitudes, que cubren un espectro que va desde las 0.2 micras hasta las 4 micras y encierra ondas cortas que se encuentran en el rango de las radiaciones gamma; los rayos X y los ultravioletas que son ondas de muy alta frecuencia, capaces de destruir el protoplasma de la célula.

Entre las radiaciones ultravioletas y las infrarrojas se encuentra localizado el espectro de la luz visible que abarca longitudes de onda que van desde las 0.39 micras hasta 0.76 micras; esta parte corresponde aproximadamente al 50% del total de la energía irradiada por el sol. Por encima de estas longitudes se encuentran las partes del espectro correspondientes a las radiaciones infrarrojas, asociadas con longitudes de onda larga y con la conducción de calor (Rizo, G. 1993).



La figura anterior ilustra las diferentes longitudes de onda que se presentan en el espectro electromagnético. La parte de la luz visible, conformada por colores que están entre el violeta y el rojo, abarcando longitudes de onda entre los 0.39 y los 0.76 micrones, es la fundamental para los procesos de fotosíntesis y en consecuencia para la existencia de vida en el planeta.

La energía proveniente del sol se mide en términos de la cantidad de calor que pasa sobre una superficie de 1 cm<sup>2</sup>, en el tiempo de un minuto. Se ha determinado que esa cantidad es aproximadamente de dos calorías / centímetro cuadrado / minuto: en las altas capas de la estratosfera y se denomina la **constante solar**.

De esta cantidad de energía proveniente del sol, una gran parte, aproximadamente el 33%, se refleja en la capa de nubes y la atmósfera, perdiéndose en el gran sumidero de energía que es el espacio.

Un 3% se refleja en el polvo presente en la atmósfera y un 10% es absorbido por el vapor de agua, el ozono y otros gases.

El 54% restante llega al suelo, pero allí una buena parte de ella se refleja al espacio. Esta pérdida es de aproximadamente un 10%, es el llamado **albedo, o reflejo** producido por el suelo. Del 44% restante, el 22% es gastado como fuente de calor en los procesos de evaporación y transpiración que ocurre en los vegetales. Del 22% restante el 2.1% es utilizado por las plantas en sus procesos de fotosíntesis.

En resumen, solo es aprovechado por las plantas aproximadamente el 1% del total de la energía lumínica que llega a la tierra, siendo raros los casos en que tal aprovechamiento llega a ser del 3%, lo que se presenta principalmente en los cultivos intensivos muy tecnificados.

Como los fenómenos de la fotosíntesis sólo se dan dentro del espectro de la luz visible, podemos evaluar la eficacia del proceso entre un 2% y un 6%.

La clorofila y los demás pigmentos fotosintéticos absorben longitudes de onda que están entre 0.4 y 0.5 micras, parte del espectro que corresponde al color azul; y entre 0.61 micras, espectro del color rojo, siendo estos colores los principales en el proceso de la fotosíntesis.

De toda la energía recibida por la planta solamente el 10% es convertida en biomasa vegetal, es decir, en nuevos tejidos que van a conformar las hojas, los frutos, las ramas y demás componentes.

El evaluar la eficiencia final del proceso de la fotosíntesis en relación con la cantidad de energía que llega al suelo, se encuentra que está entre 1% y 1.6%.

Se puede concluir que la cantidad de energía que llega al suelo para ser utilizada por las plantas es poca, pero suficiente para desencadenar los diferentes procesos ecológicos.

Las plantas son los únicos seres capaces de transformar la energía lumínica proveniente del sol en energía química, que tiene la forma de azúcares y carbohidratos, y que acumulada en las hojas y frutos queda disponible para ser utilizada como alimento por hombres y animales. Finalmente, por acción de la respiración de las plantas, animales y humanos, así como por el recalentamiento de la atmósfera, la energía en forma de calor va a perderse en la inmensidad del espacio.

La tierra es energéticamente un enorme sistema abierto que funciona en virtud de la energía proveniente del sol, pero que en el momento que ella falte **todo proceso de vida terminará en la tierra**. Con la energía que el sol suministra se realizan procesos que generan calor y que son los que hacen parte de la salida de este sistema abierto (Rizo, G. 1993).

### 10.5.1 Balance de energía

El balance entre la cantidad de energía que entra en forma de luz y la que se pierde en forma de calor, depende de factores tales como la mayor o menor cantidad de nubes, la cantidad de polvo en la atmósfera, etc., que pueden alterar sustancialmente el equilibrio entre la energía que entra al sistema terrestre y la que se pierde (Rizo, G. 1993).

¿Qué sucedería si la cantidad de energía que se refleja en la atmósfera fuera mayor, o si el calor generado por la tierra no pudiera disiparse en el espacio?

Para responder, decimos que aproximadamente un 33% de la energía proveniente del sol se refleja en la atmósfera y en las nubes y que un 10% lo hace en el polvo atmosférico o es absorbido por el vapor de agua de aquella.

La frecuencia de las ondas del espectro incidente es suficiente para atravesar la atmósfera y llegar al suelo, donde esta luz es aprovechada por las plantas. De otro lado, el calor generado en la tierra por la respiración de plantas y animales, así como el originado por procesos industriales, y en la combustión de com-

bustibles fósiles, no se pierde de forma inmediata en el espacio, sino que es atrapado y retenido un tiempo por la capa de nubes y el polvo atmosférico, lo que contribuye a mantener la temperatura del planeta. El calor originado se pierde lentamente en el espacio.

De esta forma se puede concluir que el polvo y las nubes cumplen un papel fundamental en la entrada y salida de energía; si la atmósfera es lo suficientemente transparente, es fácil que la energía del sol llegue a las plantas; pero en la medida en que se multipliquen el humo de chimeneas fabriles, el tubo de escape de automotores de combustión interna y los sólidos liberados por explotaciones mineras, la atmósfera tenderá a ser cada vez más opaca, con lo cual será mayor la cantidad de energía reflejada, pudiendo entrar nuestro planeta en una era de temperaturas bajas, con radicales modificaciones climáticas, afectándose entonces la valiosa fotosíntesis al no ser suficiente la energía incidente para satisfacer los requerimientos de los productores.

Igualmente puede ocurrir que al ser muy opaca la atmósfera, el calor producido por los procesos biológicos, industriales y sociales no puede escaparse al espacio, con lo cual, como de hecho está sucediendo, se presenta un recalentamiento del planeta, que trae como consecuencia directa el deshielo de los casquetes polares y el derretimiento de los glaciares en los picos nevados, impacto conocido como **deglaciación**.

Por lo anterior, podemos concluir que el mantener la atmósfera transparente y simultáneamente conservar en ella un adecuado grado de opacidad, es la condición para el funcionamiento adecuado del sistema abierto que es la tierra en lo energético (Rizo, G. 1993).



Tomado de *El Tiempo*, 1999.

Como la energía proveniente del sol está conformada en parte por ondas de altísima frecuencia, que hemos dicho son aquella parte del espectro correspondiente a la radiación gamma, los rayos X y los ultravioleta, nocivos a lo biótico, es necesario que antes de llegar al nivel del suelo, esta parte del espectro sea controlada o filtrada.

Ese proceso ocurre en las capas superiores de la atmósfera, concretamente en la capa conformada por el **ozono**, compuesto de oxígeno, en el que se enlazan tres átomos de este elemento.

El ozono se forma debido a que las moléculas de oxígeno absorben las radiaciones de longitudes de onda inferiores a 0.2 micras, transformándose así en

ozono, el cual a su vez absorbe la radiación hasta longitudes de onda de 0.3 micras.

Esta pantalla de ozono permite la vida en la tierra al proteger los tejidos de la acción de las ondas cortas.

Las transformaciones que se presentan en la energía a medida que ella circula al interior de los ecosistemas, están claramente expresadas en la **primera y segunda leyes de la termodinámica**.

## 10.6 Primera y segunda leyes de la termodinámica

“La energía no se crea ni se destruye, sino que se transforma”. La síntesis de azúcares y carbohidratos por parte de los denominados organismos **productores** es una de las aplicaciones de esta ley al interior del planeta.

La segunda ley enuncia: “Siempre que la energía es utilizada para la realización de un determinado trabajo, pasa de un estado concentrado a otro más disperso, o de una baja entropía, o desorden, a una alta entropía, o alto desorden”.

El científico norteamericano Eugenio Odum enuncia esta ley de la siguiente manera:

*“Toda vez que alguna energía se dispersa siempre en energía de calor no aprovechable, ninguna transformación espontánea de energía (la luz, por ejemplo) en energía potencial (protoplasma, por ejemplo) es 100% eficaz”.*

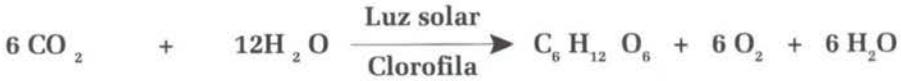
En virtud de la segunda ley, la energía solar, de baja entropía, es decir, de una alta concentración, va cambiando a formas de más alta entropía, a formas de energía más dispersa, a medida que se mueve alumbrando al planeta y concretamente al interior de los ecosistemas; ello explica en gran parte la alta productividad que se registra en ciertos biomas terrestres, que como las selvas tropicales se tipifican por recibir mayor radiación durante la mayor parte del año, favoreciendo el desarrollo de una exuberante biota de gran diversidad de especies (Rizo, G. 1993).

Estas dos leyes permiten establecer al interior de los ecosistemas un orden según la manera como se organicen los individuos que en él se encuentran en relación con su fuente de energía.

## 10.7 La productividad de los ecosistemas

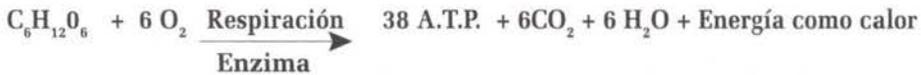
Los organismos autótrofos crean sus propios alimentos a partir del agua y el bióxido de carbono, que en presencia de luz solar y clorofila reaccionan formando moléculas de azúcar, oxígeno y agua.

La reacción química, en síntesis, es como sigue:



Es gracias a esta reacción de fotosíntesis como la planta fabrica su propio alimento y almacena energía, que posteriormente será utilizada por los **heterótrofos**, animales que no realizan este proceso y que requieren las plantas para sobrevivir. La energía almacenada hace parte de los enlaces entre las grandes moléculas que conforman los azúcares que la planta elabora. Esta energía circula en la naturaleza en forma de **adenosina trifosfato (ATP)**, compuesto de fósforo mediante el cual se intercambia energía entre los seres, quienes la utilizan para la ejecución de sus procesos vitales, degradándola y haciéndola que se pierda como calor liberado en la realización de tales actividades.

A este proceso se le conoce como **respiración**, así como un ser respira, degrada los azúcares, por acción del oxígeno que inhala rompiendo las moléculas y liberando la energía almacenada en sus uniones. El proceso es de manera general, así:



Como se puede apreciar en esta reacción, la **respiración es un proceso inverso a la fotosíntesis**.

Las plantas, al mismo tiempo que asimilan y sintetizan alimento, tienen que consumir parte del anteriormente almacenado, para la realización de sus procesos fisiológicos y metabólicos, lo que conduce a identificar dos tipos de productividad en los autótrofos, según Duvigneaud (1983):

### 10.7.1 Productividad bruta o fotosíntesis total

Es la que obtenemos cuando medimos la velocidad de la fotosíntesis, incluidos los gastos de energía en los procesos de respiración durante los períodos de medición.

### 10.7.2 Productividad neta

Es la velocidad de asimilación o almacenamiento de energía en forma de materia orgánica en los tejidos de las plantas, en exceso sobre la consumida por la planta durante el período de medición.

En este tipo de productividad averiguamos simplemente la cantidad de nuevos tejidos que la planta crea para incrementar su biomasa.

#### Productividad en los autótrofos

$$\boxed{\text{Productividad bruta}} = \boxed{\text{Productividad neta} + \text{Respiración}}$$



**Elaboración de nuevos tejidos**

Claramente se aprecia en el gráfico que la productividad es un concepto que hace referencia exclusivamente a las plantas al interior de un ecosistema. Igualmente la mayor o menor productividad neta de ellas repercutirá de manera directa sobre el tipo de organismos heterótrofos y su número.

Cuando se hace referencia a la **productividad neta de la comunidad** estamos mencionando la **cantidad de materia orgánica almacenada y no utilizada** por los animales, durante el período de un año, en una determinada comunidad.

Aunque es frecuente hablar de **productividad secundaria** para hacer referencia a la **cantidad de energía que almacenan los animales en una comunidad**, debe aclararse que éstos simplemente utilizan la energía existente en las plantas, la procesan fisiológicamente y la almacenan en sus tejidos, utilizándola igualmente en realización y desarrollo de sus procesos y actividades.

# 11. Cadenas tróficas

La planta y los animales que conforman un ecosistema establecen entre sí relaciones muy estrechas de **dependencia**, pues los segundos no son capaces de fabricar por sí mismos el alimento y deben recurrir a las plantas, e igualmente están los que desprecian a las presas vivas y prefieren alimentarse de cadáveres, por lo que se los llama **necrófagos**.

Como ya se dijo, las plantas por ser los únicos seres capaces de sintetizar su propio alimento se las denomina **productores** u **autótrofos** y son la base alimenticia para todo el ecosistema.

Los **heterótrofos** o consumidores deben tomar el alimento ya elaborado por aquéllas, siendo entonces el segundo eslabón de la cadena, especies que, como el caballo, las ovejas, los elefantes y muchos otros, se nutren directa y exclusivamente de vegetales, reciben, como también ya se mencionó, el nombre de **herbívoros** o **fitófagos**.

Después de los herbívoros encontramos a los animales que se alimentan cazando a otros, generalmente herbívoros u otros similares a ellos; son los que ya sabemos reciben el nombre de **carnívoros**, que vienen a constituirse en el tercer eslabón de la cadena.

Los carnívoros, a su vez, se distinguen por el tipo de presa que prefieren; cuando esta presa es un herbívoro hablamos de un **carnívoro primario**; pero si su presa es otro carnívoro hacemos referencia a un **carnívoro secundario** o **macroconsumidor**.

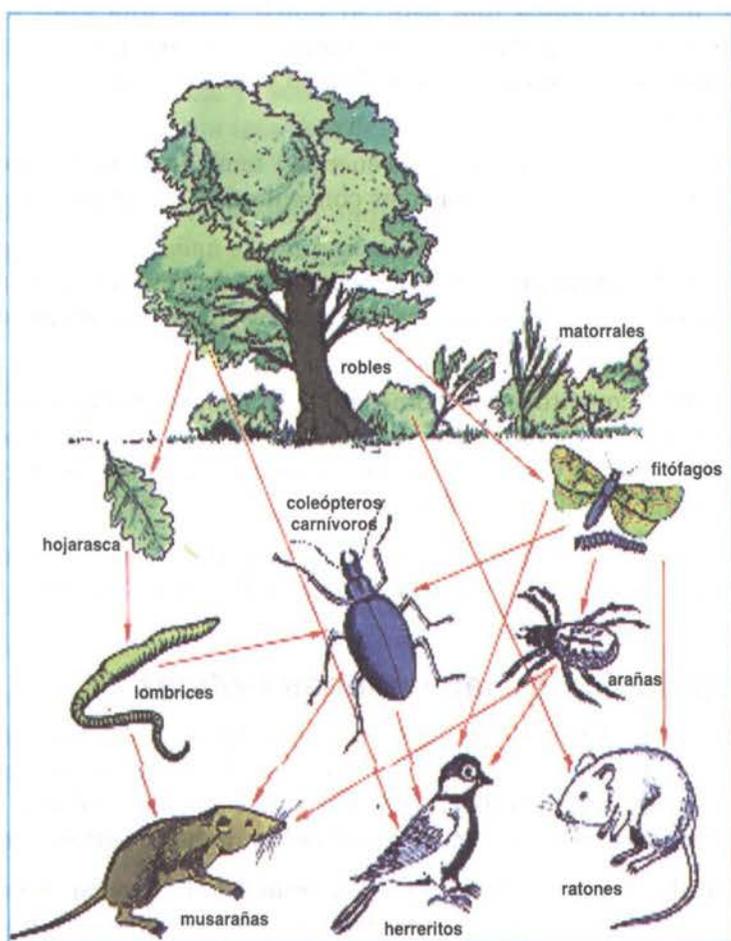
Un tipo especial de consumidor del que ya hablamos son los **omnívoros**, es decir, aquellos que consumen, de manera indiscriminada, plantas o animales vivos o muertos. Este podría ser perfectamente el caso humano, que no tiene una dieta definida, sino que come indiscriminadamente alimentos de origen animal o vegetal.

Continuando con la red aparecen, a continuación, aquellos animales que gustan de alimentarse con los cadáveres, son los llamados **consumidores necrófagos** (como las hienas, felinos hambrientos, aves de rapiña, otros mamíferos, roedores, reptiles e incluso algunos insectos), que prestan el servicio de aseo, evitando, de esta manera, que la acumulación de materia orgánica en descomposición altere el normal funcionamiento del ecosistema.

Como elementos finales de la red están los organismos descomponedores que se encargan de llevar la materia orgánica nuevamente a sus componentes primarios y liberarlos para que sean utilizados por los organismos vivos (Duvigneaud, 1983).

Aunque a primera vista parece que efectivamente se está formando una cadena en la cual cada uno de los organismos conforma un eslabón, la realidad es que casi ninguna de las especies animales se alimenta única y exclusivamente de una sola presa o de una sola especie de planta. Es común que por lo menos dos sean los alimentos de los cuales obtiene su energía un animal (Duvigneaud, 1983).

### Red trófica en un bosque de robles



Tomado de R. Margalef, 1981.

En ocasiones dos especies diferentes compiten por un mismo alimento común a ellas. De esta manera se tiende a conformar en el ecosistema una red trófica en la que se puede encontrar cómo son las relaciones de dependencia entre las diferentes especies de la comunidad.

En un ecosistema marino, en el que las algas verdes y el fitoplancton son la base de toda la cadena alimenticia, se puede constatar en ellas que las formas como se relacionan los organismos con el fin de alimentarse los unos de los otros son complicadas, pero pueden ser perfectamente organizadas gracias a la identificación que cada organismo ocupa dentro de una red trófica.

Piense en lo complicada que resultaría una red de estas en un ecosistema más complejo, como por ejemplo nuestras selvas amazónicas. Aunque a primera vista parece que es el organismo de nivel trófico más alto el que acumula todo el alimento, no olvidemos que éste, al morir, pasa una gran parte a los microorganismos encargados de la descomposición, con que los elementos en forma de moléculas simples retornan al suelo y nuevamente podrán ser utilizados por las plantas.

En las cadenas tróficas circula la energía y también es en ellas donde lentamente se van gestando las formas más concentradas, transformándose en otras más difusas.

De acuerdo con la posición que ocupen los organismos en la red trófica, según sea su cercanía o lejanía de los productores, podemos situarlos en niveles tróficos.

Las plantas constituyen el primer nivel trófico; los herbívoros el segundo nivel; los carnívoros, que comen herbívoros, conforman el tercero, y los carnívoros, que devoran carnívoros, mejor conocidos como carnívoros secundarios o macroconsumidores, el cuarto nivel.

El número de pasos que separan a un organismo de los productores primarios determina el nivel trófico al cual corresponde (Rizo, G. 1993).

## 11.1 Regulación de las cadenas tróficas

Además de los materiales biológicos primarios, las diversas especies que forman una comunidad elaboran una enorme variedad de sustancias orgánicas llamadas secundarias: glucósidos, alcaloides, esteroles, terpenos, etc., cuyo papel de "auxiliares etológicos" no fue bien comprendido hasta los años sesenta.

Un rápido desarrollo de la "Ecología química" ha puesto en evidencia la intervención, tan importante como variada, de estas sustancias en la regulación de las cadenas tróficas. Dicha química, de la relación entre organismos, de las "señales" que emiten los unos frente a los otros, ha tomado recientemente tal extensión que hay que considerarla como una de las ramas más importantes y más activas de la bioquímica moderna. Florkin creó, en 1958, el término de **ecomonas** para las sustancias que originan interacciones químicas entre organismos, a menudo afectando a los individuos de una misma especie en el seno de su población (efectos intraespecíficos), otras veces a individuos de especies di-

ferentes en el seno de la biocenosis (efectos extraespecíficos); en este caso, aún cabe distinguir las relaciones entre especies de un mismo nivel trófico y las establecidas entre especies de nivel distinto (Duvigneaud, 1983).

### 11.1.1 Efectos químicos intraespecíficos

a) **Autotoxinas**, venenos, desperdicios, etc..., que son tóxicos o inhibidores para los individuos de la población que los produce.

Son especialmente importantes los **autoinhibidores adaptativos**, que limitan la población numéricamente, evitando así el perjuicio de una excesiva densidad: sustancias de envejecimiento de los hongos y sustancias **enlentecedoras** de la germinación de las plantas superiores (Froschel), como el ácido transcinámico segregado por las raíces del guayule (*parthenium*) en los desiertos mejicanos.

b) **Feromonas** (Karlson), mensajes químicos entre individuos de una misma especie, que desencadenan el comportamiento sexual o son señales de organización o defensa de la sociedad; actúan en concentraciones muy débiles.

- Feromonas sexuales: afrodisíacos o atractivos (algunos insectos sociales).
- Feromonas de reconocimiento social (hormigas).
- Feromonas de alarma y defensa (abejas, avispas, hormigas).
- Feromonas marcadoras del territorio y de las pistas (muchos felinos, por ejemplo).

### 11.1.2 Efectos químicos interespecíficos (aleloquímica)

a) **Alomonas**: Proporcionan una ventaja adaptativa al organismo que las produce.

1. **Repelentes**: Confieren defensa por repeler un ataque a una infección.
2. **Sustancias de huida**: Facilitan la huida sin ser repelentes en sentido estricto (tinta de los cefalópodos).
3. **Supresores**: Inhiben o suprimen otras especies competidoras.
  - **Antibióticos**: Al servicio de la competencia entre microorganismos del suelo.
  - **Sustancias inhibidoras** de la germinación de otras especies (juglona segregada por las raíces de *Juglans*).
  - **Análogos de las hormonas** juveniles de los insectos. La hormona juvenil bloquea, a dosis ínfimas, la acción de la **ecdisona**, que controla la metamorfosis y la maduración sexual; glándulas secretoras de hormona juvenil se atrofian.

Numerosos pteridofitos y coníferas elaboran un análogo de la hormona juvenil, la **juvabiona**, extraída primariamente del papel obtenido con madera de *Abies balsamea*; probablemente representa una defensa frente a ciertos insectos parásitos. Por otro lado, algunos helechos (*Polipodiceae*) y gimnospermas primitivas (*Taxaceae* y *Podocarpeceae*) elaboran **fitoecdísinos**, que provocan una aceleración del desarrollo, hasta producir la muerte en algunos insectos (Duvigneaud, 1983).

4. **Venenos:** Intoxican las presas (ranas de dardo venenoso, reptiles, algunos insectos).
5. **Inductores:** Modifican el crecimiento de otra especie a la cual están asociadas (agallas, nudosidades, micorrizas).
6. **Contra-activos:** neutralizan los efectos de un veneno u otro agente agresor (anticuerpos).
7. **Atractivos:**
  - **Cebos químicos:** Que atraen la presa hacia un depredador.
  - **Atractivos de polinización**

b) **Cairomas:** Proporcionan una ventaja adaptativa al organismo receptor.

1. **Atractivos:** Que señalan la localización del alimento.
2. **Inductores:** Estimulan el desarrollo adaptativo del organismo receptor (factor de desarrollo de las "trampas" en los hongos "cazadores" de nematodos).
3. **Señales advertidoras:** De peligro o de toxicidad, dando ventaja adaptativa al organismo receptor (la mayoría de especies lo hacen a través de colores intensos)
4. **Estimulantes:** Del tipo de las hormonas, beneficiosos para el organismo receptor al inducir el crecimiento.

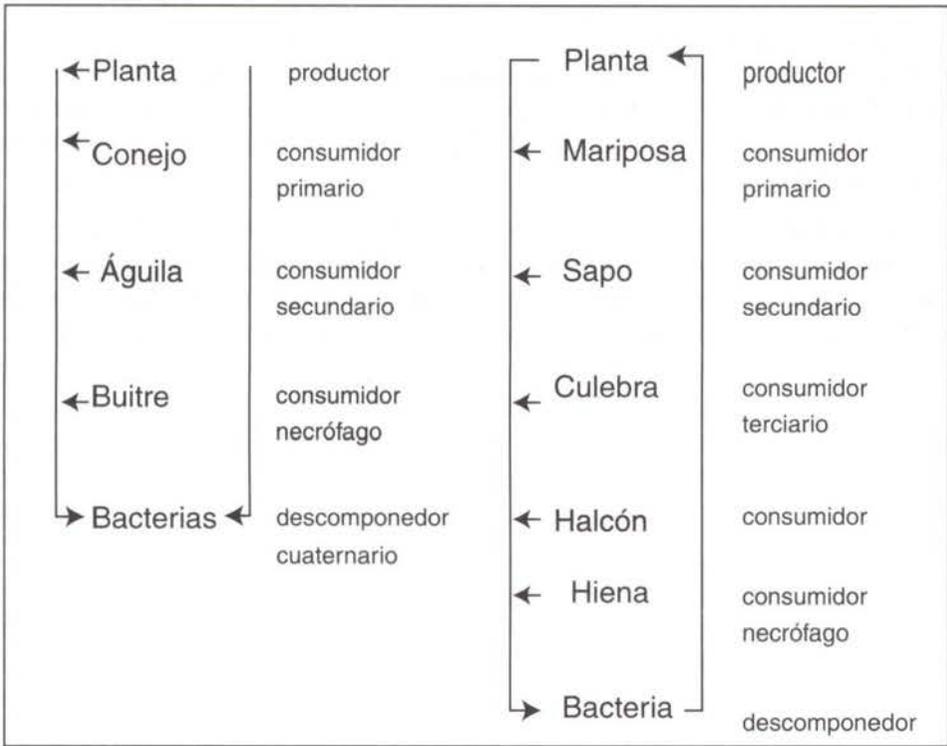
c) **Depresores:** Inhiben o envenenan, pero sin ventaja para el organismo productor (toxinas bacterianas).

Las redes tróficas adquieren importancia en la medida en que comprendemos que es en ellas donde está circulando energía, donde se transforma y se consume.

Las plantas no son un 100% eficientes en el aprovechamiento de la energía que nos llega del sol, recordemos que esta eficiencia es de solo un 6% para el espectro de la luz visible.

En sus procesos de desarrollo, la planta debe consumir una parte de la energía que produce, con la cual lo que dejan está disponible para los consumidores herbívoros en forma de alimento.

**Ejemplo de cadenas tróficas**



Tomado de Rizo, 1993.

Se calcula que del 100% de energía que la planta produce, aproximadamente entre el 80 y 90% lo consume como respiración fijando el restante 10% en sus tejidos, el cual es el alimento disponible para los herbívoros.

Las pérdidas de energía por respiración son similares en el resto de organismos vivos, quedando en consecuencia disponible para el nivel inmediatamente superior solamente el 10% del precedente. Esta propiedad de los niveles tróficos se conoce como la Ley del 10% (**Ley del diezmo ecológico**) y con base en ella podemos determinar la cantidad de energía a que tendrá acceso un determinado nivel.

Si, por ejemplo, la productividad neta de un grupo de plantas es de 1.500 calorías, los organismos del segundo nivel recibirán 150 calorías, los del tercero 15 calorías y los del cuarto nivel 1.5 calorías (Rizo, G. 1993).

Nótese cómo a medida que el nivel trófico es más alto, las cantidades de energía disponible son menores. De esta observación concluimos que el número máximo de niveles en un ecosistema será de 4 ó 5, pues las cantidades de energía que podrían ser utilizadas son mínimas, lo cual limita el número de niveles.

Si el número de niveles tróficos fuera superior a cinco, el esfuerzo que debería hacer un ecosistema para mantener esos niveles sería muy grande.

No hemos tomado en cuenta en esta clasificación el lugar que corresponde a los descomponedores, que tienen lugar específico en la pirámide, pudiendo estar al nivel de los consumidores necrófagos, pues se encargan de la transformación de los cadáveres y sus restos, al igual que las heces y restos de materia orgánica.

El número de los descomponedores es verdaderamente pequeño, y a pesar de que a través de ellos fluye gran cantidad de energía, se dejan a un lado, pues la determinación de su valor en el ecosistema trae serios inconvenientes, razón por la cual no se acostumbra considerarlos en las pirámides tróficas.

## 12. Ciclos biogeoquímicos

El término biogeoquímico se deriva del hecho de que existe un movimiento cíclico natural mediante cambios químicos, a través del ambiente geológico, de los elementos que conforman a los bio-organismos.

Los elementos circulan por medio del aire, la tierra, el agua y entre los seres vivos, siguiendo complejas rutas.

Todos los materiales naturales necesarios para garantizar la continuidad de la vida se encuentran dentro de la misma biosfera; carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, etc., deben reciclarse a través de los ecosistemas con la participación activa de los organismos cuyo nicho o función ecológica es, precisamente, servir de recicladores o reductores de los materiales orgánicos que se deben mineralizar. Este proceso es necesario, porque los organismos productores o fotosintéticos no asimilan las formas orgánicas, sino que requieren los materiales como sales minerales: sulfatos, fosfatos, nitratos, etc.

La identificación de los ciclos biogeoquímicos es otra forma de estudiar los fenómenos propios de los ecosistemas. Por ejemplo, considérese la tala de un bosque; para mantener el equilibrio de nutrientes (la tala provoca elevadas pérdidas de éstos aun cuando no se haya presentado erosión del suelo) la cuestión sería cómo suplir los nutrientes que se han perdido. Para hacerlo existen algunos caminos naturales y otros artificiales; por ejemplo, en las regiones donde hay gran cantidad de materia vegetal, la hojarasca o celulosa de los árboles que cae al suelo, y que allí se conserva (un cafetal, por ejemplo), es material suficiente para reintegrar los nutrientes extraídos; pero si no hay reciclamiento de estos materiales es muy probable que deban integrarse fertilizantes artificiales al sistema.

La palabra biogeoquímico encierra todos los aspectos que se involucran en los ciclos; pues los elementos nutritivos necesarios para la vida deben pasar por organismos, provenir de un depósito geológico y sufrir toda una serie de transformaciones químicas, a medida que circulan al interior del ecosistema.

Todo elemento químico proviene de uno de dos posibles depósitos en la naturaleza: si es un gas, como sucede en el caso del oxígeno y el nitrógeno, se encontrará presente en la atmósfera y ese será su depósito natural; de allí lo tomarán los organismos. Si es un elemento tal como el azufre o el fósforo, se hallará haciendo parte de la corteza terrestre o litosfera y será tomado en sus formas asimilables por las plantas, que serán las encargadas de introducirlo al ecosistema y al ciclo.

En un ciclo biogeoquímico queda plenamente demostrada la interrelación que se da entre los seres y su ambiente. Las plantas y animales toman el elemen-

to del ambiente, éste circula a través de ellos, vuelve a su depósito y queda disponible nuevamente.

## 12.1 El ciclo del agua

El componente químico más importante para los seres es sin duda el agua. Recordemos que ahí en su seno se iniciaron las primeras formas vivas, y que en relación con la cantidad total que constituye toda materia viva, el agua ocupa el mayor porcentaje. En el hombre un 77% de su peso es agua, en otras especies como los hongos, el agua llega a proporciones del 80%, siendo todavía mayor esta proporción en los organismos de vida acuática.

La cantidad total de agua en el planeta es estimada en  $1.359 \times 10^{15}$  litros, de los cuales el 97% corresponde al agua que constituye los océanos; el 2,25% se encuentra congelada formando los polos y cumbres glaciares de altas montañas y el restante 0.75% constituye el agua dulce de ríos, lagos y aguas subterráneas.

La cantidad de agua en forma de vapor gaseoso en la atmósfera es de apenas un 0.001%; sin embargo, gracias a ella el agua circula en la tierra (Rizo, G. 1993).

Al estar irregularmente distribuida el agua en la atmósfera, las cantidades de lluvia son diferentes según el sitio, por lo que hay regiones más lluviosas que otras en la geografía del planeta, es el caso de nuestro denominado "**Chocó biogeográfico**", es decir, todo el Andén Pacífico que va desde límites del departamento del Chocó con la república de Panamá, hasta límites del departamento de Nariño con la república del Ecuador, donde caen precipitaciones anuales hasta de 14.000 mm, equivalentes a 14 metros cúbicos (Tovar, J. 2001).

### 12.1.1 ¿Cómo se forma el vapor de agua?

El gran depósito que son los mares es calentado por la acción de los rayos solares, esto hace que una cantidad de agua se evapore y suba a las partes más altas de la atmósfera. Dependiendo de las condiciones climáticas, el agua puede permanecer en forma de nubes, o precipitarse a la tierra por la acción de la gravedad en forma de lluvia, granizo o nieve, que llegan al suelo y van directamente al mar.

### 12.1.2 ¿Qué pasa con el agua precipitada en forma de lluvia?

El agua que cae a la tierra puede tomar tres caminos:

1. Escurrir sobre la superficie del suelo e ir a engrosar el caudal de ríos y quebradas.
2. Una parte se infiltra en los suelos y engrosa los depósitos subterráneos.
3. Una parte del agua se evapora nuevamente y regresa a la atmósfera para formar nubes.

La parte que se infiltra en el suelo pasa a servir de solvente a los nutrientes del mismo, facilitando de esta manera la absorción por las raíces de vegetales que la emplean en sus procesos metabólicos. Una vez que el agua ha sido utilizada en los procesos metabólicos, es evapotranspirada y devuelta en forma de vapor de agua a la atmósfera.

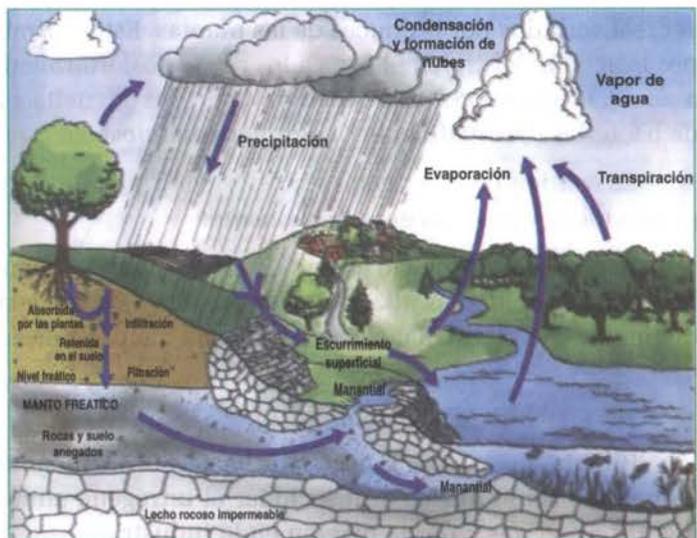
La parte del agua que no es utilizada por las plantas y que tampoco pasa a aumentar los depósitos subterráneos, se percola o escurre hacia los cauces de quebradas y ríos que llegan al mar y desde allí regresa nuevamente a la atmósfera a conformar las nubes, cerrándose su maravilloso ciclo, que no es otra cosa que el ciclo facilitador de la vida y de su continuidad (Tovar, J. 2001).

Se puede decir que, según sea el tipo de vegetación, la cantidad de agua transpirada será mayor o menor y ello va a repercutir de manera directa sobre la cantidad de lluvia que puede caer en una región. De ahí la importancia de evitar la tala masiva de árboles, cuyo papel en la atracción de las masas nubosas, especialmente en las zonas de montaña, está claramente demostrado, puesto que el ciclo del agua va necesariamente ligado a la presencia de vegetales por donde ésta circula.

El movimiento del agua de un sitio a otro facilita el que ella sirva como vehículo para el transporte de sustancias nutritivas en forma de moléculas muy simples, facilitándose, en consecuencia, los intercambios entre los seres y el medio inerte.

Valiéndose del ciclo del agua, muchas de las moléculas de compuestos químicos de las cuales hacen parte los elementos necesarios para los seres, se mueven de un lugar a otro (Rizo, G. 1993).

### Ciclo del agua



El agua dulce de la tierra se reaprovisiona cuando el vapor de agua entra en la atmósfera por transpiración vegetal y evaporación, libre de sales y otras impurezas que quedan abajo.

## 12.2 Los ciclos atmosféricos

### 12.2.1 El ciclo del nitrógeno

El nitrógeno es un elemento fundamental en la síntesis de aminoácidos y las proteínas; su presencia en la atmósfera se calcula en un 70% en peso.

El nitrógeno es tomado de la atmósfera por la acción de **bacterias fijadoras**, tales como las de los géneros *Azotobacter*, *Clostridium* y *Rhizobium*, las que se encuentran en aguas marinas, pero también asociadas a las raíces de plantas leguminosas, a las que se adhieren formando nódulos de tejido parenquimático.

Existen otras formas de cómo el nitrógeno se transforma en compuestos factibles de asimilación por los vegetales. Es el caso del proceso de fijación atmosférico, gracias al cual el nitrógeno presente en este depósito, por la acción de las descargas eléctricas y relámpagos, se transforma en ácido nítrico que es tomado por las plantas, una vez que llega al suelo transportado por la lluvia.

Una vez que el nitrógeno ha sido tomado por las plantas, es fijado y entregado a los animales. Parte del nitrógeno que los animales utilizan se pierde como excreciones; en la orina una buena proporción de nitrógeno está en forma de urea.

De la misma manera, los cadáveres de los organismos son transformados por la acción de hongos y bacterias que se desarrollan durante el proceso de putrefacción, produciendo nitrógeno en forma de amoníaco, absorbido por el sistema radicular de los vegetales.

El amoníaco es transformado seguidamente por la acción de bacterias que lo convierten en nitritos y luego en nitratos, los cuales quedan disponibles para ser reabsorbidos por las raíces de las plantas. Estos nitratos pueden ser llevados por la acción del ciclo del agua a los ríos y posteriormente al mar, en donde van a perderse en sus profundidades; otra parte es devuelta a la atmósfera por acción de bacterias **desnitrificantes**, complementándose de esta forma el ciclo.

La cantidad de nitrógeno atmosférico es aumentada por las emanaciones de gases volcánicos, ricos en este elemento.

El ciclo del nitrógeno es uno de los más perfectos que ocurren en la naturaleza y su velocidad es alta al volver en corto tiempo a su depósito. Se pueden distinguir con claridad cuatro etapas en el ciclo, a saber:

#### 12.2.1.1 Fijación de nitrógeno

Principalmente por la acción de **bacterias nitrificantes**; pudiendo darse también como ácido nítrico al reaccionar el nitrógeno atmosférico durante las tormentas eléctricas y por la fijación en la industria.

La cantidad de nitrógeno fijado por las plantas se calcula entre 150 a 400 kg/año.

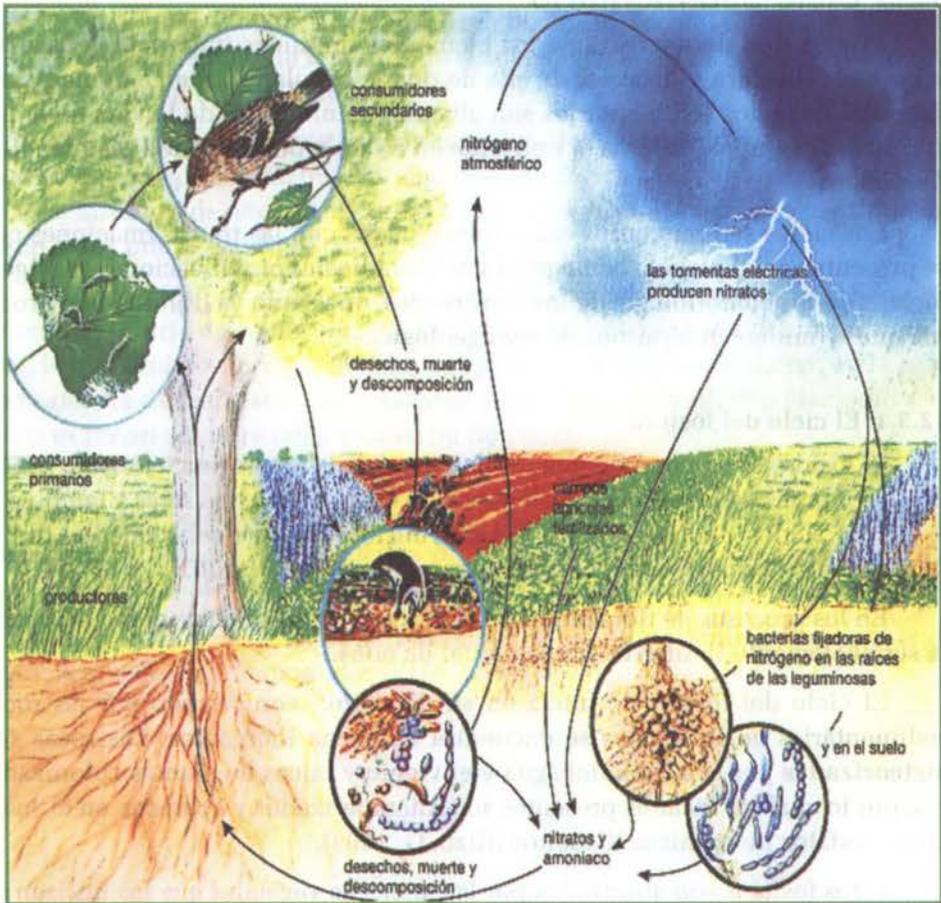
El nitrógeno aportado por las lluvias se estima en 12 kg/año.

12.2.1.2 Aminificación

Transformación de los cadáveres y residuos de organismos por la acción de bacterias y hongos presentes en la putrefacción; en este proceso se obtiene nitrógeno en forma de amoníaco.

Otra forma de representar muy didácticamente el ciclo del nitrógeno es mediante la siguiente figura:

Ciclo del nitrógeno



Tomado de Nebel y Wrigth, 1999.

### 12.2.1.3 Nitrificación

El amoníaco, por la acción de las bacterias, se transforma inicialmente en nitritos y posteriormente en nitratos.

### 12.2.1.4 Desnitrificación

Los nitratos son nuevamente transformados por la acción de las bacterias que liberan el nitrógeno y lo regresan a su forma atmosférica, a partir de la cual puede reanudarse el ciclo.

Gracias a la rapidez con que se mueve este tipo de ciclos, los elementos que tiene este comportamiento no ejercen una acción limitativa tan fuerte sobre los seres, pues la disponibilidad del elemento en el ecosistema es permanente.

## 12.3 Ciclo sedimentario

El otro tipo de depósito de los elementos químicos importantes para los seres es la **litosfera** y debe ser de ella de donde las plantas toman el elemento. Este tipo de ciclos sedimentarios son altamente limitativos de la vida en la tierra, pues el tiempo que toma el nutriente en estar disponible puede ser de miles de años.

Los ciclos sedimentarios están relacionados con las transformaciones que se presentan en el planeta como producto de radicales modificaciones en la geología, o en la geomorfología de los continentes, que como ya dijimos, son procesos que se miden en términos de **eras geológicas**.

### 12.3.1 El ciclo del fósforo

El fósforo es un componente fundamental de la **adenosina trifosfato** (ATP). Es un compuesto clave en la transferencia de energía entre los seres y también lo es de los ácidos nucleicos **ADN** y **ARN**, intrínsecamente relacionados con el denominado **Código Genético**, particular para cada individuo.

En los procesos de floración y fructificación de las plantas, el fósforo resulta ser el elemento limitativo fundamental de ellos.

El ciclo del fósforo se inicia en su depósito, conformado por las rocas sedimentarias en las cuales se encuentra en forma inorgánica. Las rocas son **meteorizadas** por la acción del agua y el viento y raíces de plantas colonizadoras, por lo cual los fosfatos presentes son intemperizados y aparecen en el suelo como fosfatos inorgánicos disueltos (Rizo, G. 1993).

Estos fosfatos son absorbidos por las raíces de vegetales que los utilizan en la ejecución de sus procesos metabólicos y en la elaboración de nuevos tejidos.

Los animales toman el fósforo de las plantas y lo asimilan a su cuerpo.

En las heces de los animales e igualmente en los restos de la materia orgánica se encuentran presentes cantidades de fósforo que son transformadas por la acción de **bacterias fosforizantes** en fosfatos disueltos, que van aumentando merced al proceso de **meteorización** de las rocas fosfóricas.

Una gran parte de los fosfatos disueltos por la acción de las lluvias van a parar a los ríos y por éstos llegan al mar, perdiéndose en los sedimentos profundos.

Del fósforo que va al mar, parte es recuperado por los peces, alimento para aves marinas, que con sus deyecciones forman verdaderos depósitos de fosfatos con el correr del tiempo, tal es el caso extraordinario de los grandes yacimientos de **guano** presentes en la costa del Perú y especialmente en las islas del Parque Nacional **Paracas**.

El guano es insuperable en cuanto a abono orgánico natural se conozca, pero su sobre-explotación ha forzado una disminución en la disponibilidad, al afectarse dramáticamente los sitios de anidación de las aves marinas que lo producen al defecar (Tovar, J. 2001).

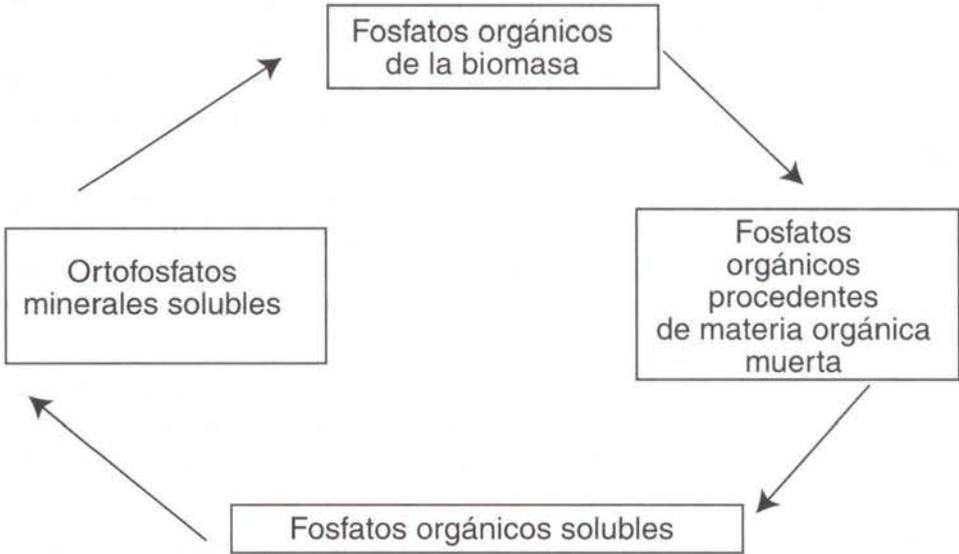
El fósforo que se pierde en las profundidades del océano solamente se recupera cuando se presentan transformaciones geológicas, las cuales se dan en tiempos de millones de años, por lo cual se considera definitivamente perdido para propósitos prácticos inmediatos.

Como el fósforo es quizás el elemento limitativo por excelencia, basta ver cómo la mayoría de suelos en la zona tropical del planeta son pobres en el mismo, lo que limita su productividad; de igual forma las aguas del mar, en la parte más alejada de las costas, no presentan una abundancia de este elemento y en ellas es notoria la muy poca existencia de peces.

Por esa razón, el hombre ha necesitado acelerar el proceso natural del nutriente, y lo ha extraído de las minas y demás depósitos existentes de manera natural para utilizarlo en la mejora de la productividad de sus cosechas. Cabe recordar que los **abonos artificiales** vinculan el **fósforo** en la formulación **N-P-K**.

El ciclo se cierra cuando nuevamente las plantas absorben los fosfatos disueltos que quedan disponibles (Rizo, G. 1993).

### Forma del fósforo en los ecosistemas acuáticos o terrestres



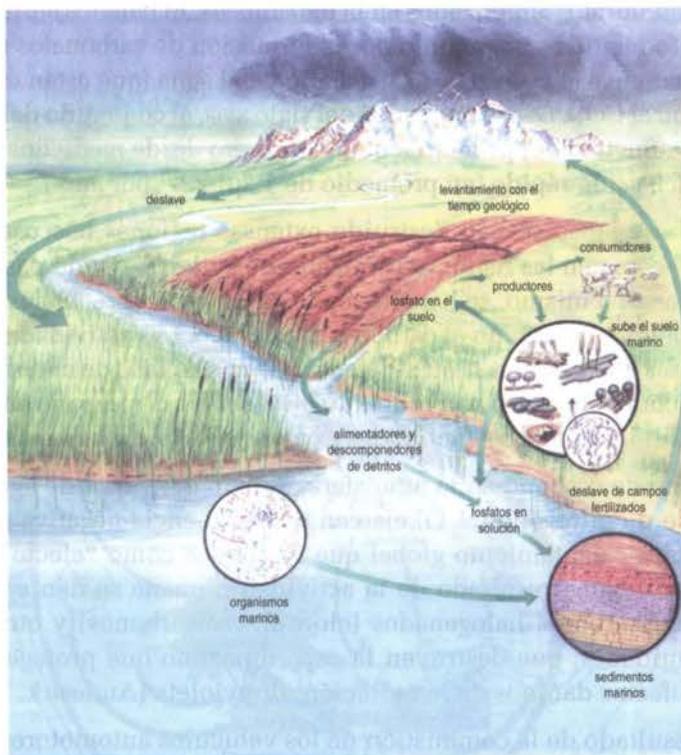
Tomado de Rizo, 1993.

La extracción humana de fosfato ha venido a aumentar las cantidades de elementos en los ecosistemas, con lo cual efectivamente se ha podido aumentar la cantidad de productos agrícolas obtenidos por cosechas.

Al mismo tiempo, la permanente aplicación de abonos fosforados, hecha sin mucho cuidado al interior de los agrosistemas, ha traído por resultado que los fosfatos sean lavados por las lluvias y llevados a las corrientes de agua, donde acarrear fenómenos de descomposición como la denominada **eutrofización**, que es el resultado del enriquecimiento de cuerpos lénticos a expensas de la abundancia de compuestos fosfatados y nitrogenados, provenientes precisamente de los fertilizantes con los que artificialmente se nutre a los suelos en busca de cosechas, para alimentar una población de humanos cada vez más creciente (Tovar, J. 2001).

La relación existente en la naturaleza entre el nitrógeno y el fósforo es de 1 a 23, lo que nos indica que para los organismos, es el fósforo más importante que el nitrógeno para la síntesis de biomasa.

## Ciclo del fósforo



Tomado de Audesirk T. y Audesirk G., 1998.

El fosfato se disuelve de las rocas ricas en fosfato, o de los fertilizantes y entra en las plantas y en otros productos, donde se incorporan moléculas biológicas, estas moléculas pasan por los niveles tróficos. Se excreta el fosfato o regresa a la tierra y al agua por las bacterias descomponedoras. Entonces puede volver a ser usado por los productores, para después incorporarse en las rocas.

## 12.4 El ciclo del carbono

La atmósfera que rodea el globo terráqueo suministra el  $\text{CO}_2$  a las plantas y el oxígeno a todos los organismos vivos. La atmósfera primitiva contenía grandes cantidades de dióxido de carbono, amonio y metano. En otras palabras era fuertemente anóxica (carente de  $\text{O}_2$ ). Actualmente los componentes principales de la troposfera son: 78 vol % nitrógeno, 21 vol % oxígeno, 0,95 vol % gases raros y 0,035 vol % anhídrido carbónico.

Las plantas capturan el dióxido de carbono de la atmósfera y de los océanos, fijándolo en compuestos orgánicos (son consumidoras de  $\text{CO}_2$ ). Las plantas producen también  $\text{CO}_2$  mediante la respiración, el cual es rápidamente usado por la fotosíntesis. Las plantas convierten la energía del sol en energía química, almacenada en los enlaces C-C, de los compuestos orgánicos.

Los animales liberan  $\text{CO}_2$ , como producto final de la respiración, en la que se degradan carbohidratos sintetizados en la fotosíntesis. El balance entre el  $\text{CO}_2$  fijado y el  $\text{CO}_2$  producido es mantenido por la formación de carbonatos en los océanos. Lo que remueve el exceso de  $\text{CO}_2$  del aire y del agua (que están en equilibrio en relación con el  $\text{CO}_2$ ). Desde mediados del siglo XVIII, el contenido del  $\text{CO}_2$  atmosférico ha ido aumentando, primero lentamente, pero desde mediados del siglo XX el incremento ha sido rápido (en promedio de  $1,3\mu\text{l} \times \text{L}^{-1}$  por año).

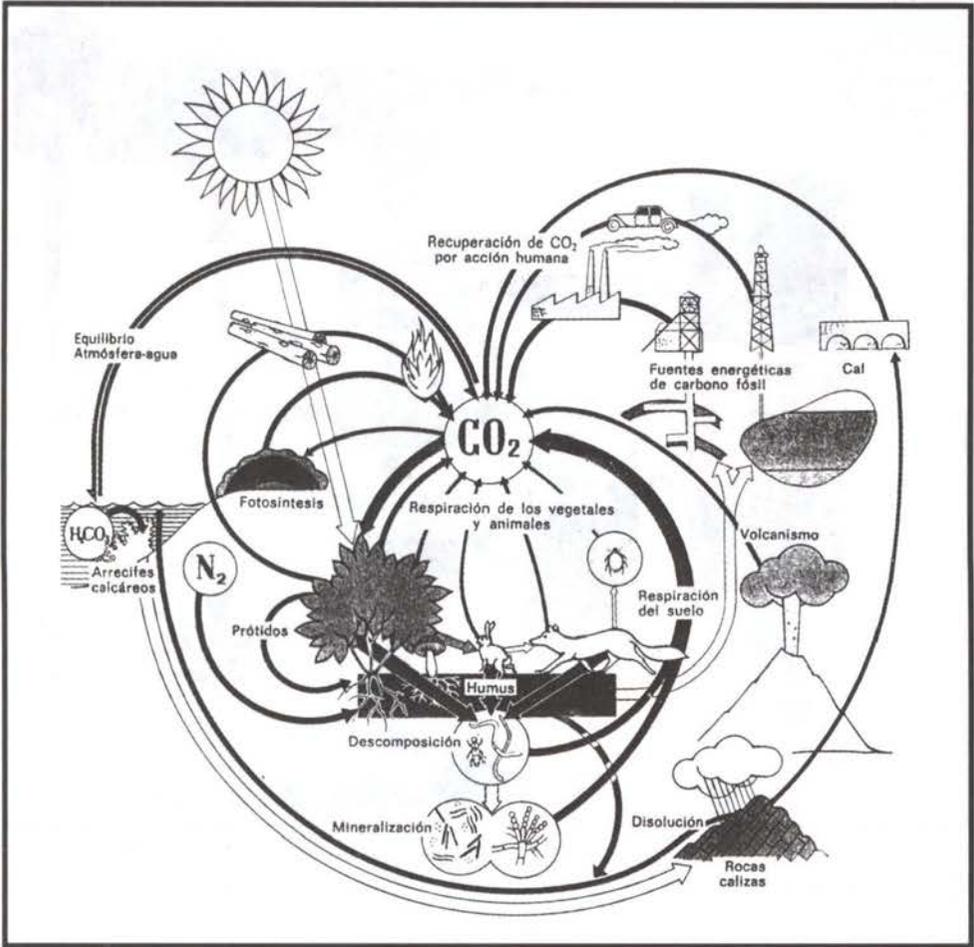
Durante ese lapso se han destruido extensas regiones boscosas, tanto en Norteamérica como en las regiones tropicales de la tierra, dando paso a grandes urbes humanas. Así mismo, se han quemado cantidades apreciables de madera, de combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo. Las actividades industriales, así como las guerras, han destruido enormes cantidades de materia orgánica. Todos estos acontecimientos han reducido las reservas de carbono en la biomasa y el suelo y han incorporado cantidades excesivas de  $\text{CO}_2$  a la atmósfera.

El dióxido de carbono en la atmósfera, al lado del vapor de agua, metano, ozono y óxido de nitrógeno ( $\text{N}_2\text{O}$ ) ejercen una influencia negativa en el clima, produciendo un calentamiento global que se conoce como "**efecto invernadero**". Así mismo, como resultado de la actividad humana se han agregado a la atmósfera hidrocarburos halogenados (cloro-fluoro-carbonos) y otros gases en pequeñas cantidades, que destruyen la capa de ozono que protege a los seres vivos de los efectos dañinos de la radiación ultravioleta (Audesirk, T. 1998).

Como resultado de la combustión de los vehículos automotores, se liberan a la atmósfera dióxido de azufre, óxidos de nitrógeno y  $\text{CO}_2$ , que al combinarse con el vapor de agua de la atmósfera, generan ácidos, que al ser lavados por las aguas de lluvia, nieve o niebla producen las lluvias ácidas o precipitaciones ácidas, con valores de pH que están entre tres y cuatro. Esta lluvia es causante de grandes daños a los bosques cercanos a áreas industrializadas y de enfermedades crónicas de la vegetación. Los daños antropogénicos a los bosques son el resultado de la actividad contaminante de los seres humanos. La lluvia ácida produce alteraciones en los suelos y en las aguas, afectando la microflora, la macro y microfauna; así como los procesos de nitrificación y disponibilidad de cationes básicos. Al lado del efecto tóxico de sus componentes químicos, el depósito de lluvia ácida puede causar efectos directos a los órganos fotosintéticos, tales como necrosis de los bordes foliares, destrucción de la cutícula, y de las ceras cuticulares de las acículas de las coníferas (Audesirk, T. 1998).

El problema del calentamiento global de la atmósfera puede producir que se derritan los casquetes polares de Groenlandia y del polo sur, elevando el nivel del mar a una altura hasta de 120 metros. Los cambios en temperatura y en el nivel de los mares podrán afectar el clima, alterando la producción de cultivos alimenticios, así como los regímenes de lluvias, ocasionando inundaciones, pérdida de vidas humanas, de cultivos agrícolas y dejando grandes masas de población desamparada y sin hogar.

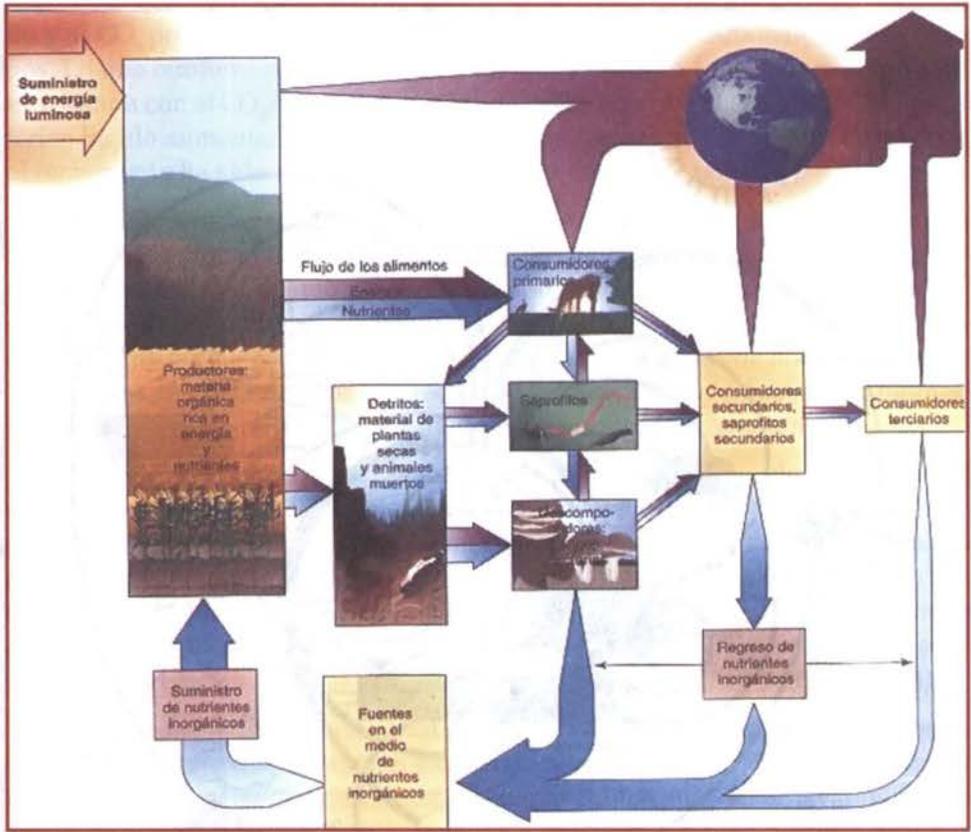
Ciclo del carbono



Tomado de Duvigneaud, 1984.

Por considerarlo de valioso papel formativo, se considera de importancia registrar el gráfico de Nebel y Wriqth (1999) acerca del ciclo de nutrientes y flujo de energía en un ecosistema, tal como aparece a continuación:

## Ciclo de los nutrientes



Tomado de Nebel y Wrieth, 1999.

El ciclo de los nutrientes y el flujo de la energía en el ecosistema, y disminución de la biomasa

## 13. Factores que actúan sobre los organismos

Las especies presentes en la Naturaleza son controladas por la acción de factores que limitan su número, así como su área de dispersión.

Los factores que limitan el desarrollo y la expansión de poblaciones los podemos agrupar en dos tipos, según ellos sean factibles de controlar por el individuo o no.

### 13.1 Factores externos de resistencia ambiental

Son aquellos que actúan sobre las poblaciones **desde afuera de ellas**. Es el caso de las condiciones climáticas, la actuación de organismos depredadores o enemigos naturales y la disponibilidad de alimentos, las modificaciones inducidas por la acción antrópica con su actividad en los ambientes y a los cuales los organismos deben adaptarse para no desaparecer.

Como ejemplo de un factor limitativo externo a las poblaciones, se pueden mencionar las enfermedades, que siempre tienen su origen localizado fuera de ellas y que tratan de limitar el número de individuos en una región en un momento dado.

### 13.2 Factores internos de resistencia ambiental

Son aquellos tipos de resistencia que por **competencia** se dan **al interior de las poblaciones** y que resultan ser más drásticos, ya que los individuos tienen exactamente las mismas necesidades.

Es el caso de la competencia por alimentos en una población animal, o la competencia por luz solar y nutrientes en plantas de la misma especie.

La acción conjunta de los factores internos y externos será en últimas la que actúe controlando la población, ya que no es válido creer que la sola acción de los agentes externos es suficiente para controlar el crecimiento y la distribución de un grupo de individuos en determinada región y a determinado tiempo.

Se puede ilustrar esto con lo que sucede con una población de roedores, donde el alimento empieza a escasear. Allí se presentan continuas peleas originadas por la competencia en la consecución y logro del alimento, llegando a presentarse casos de canibalismo intra-familiar e inhibición de la actividad sexual, como mecanismo autorregulador del crecimiento poblacional (Rizo, G. 1993).

### 13.3 Leyes que rigen la actividad, el desarrollo y la reproducción

Los factores ambientales actuando en forma conjunta, externos e internos, controlan el tamaño de las poblaciones.

Los organismos se encuentran adaptados a unas determinadas condiciones de temperatura, duración de las horas de luz, disponibilidad de agua, de nutrientes, etc., que cuando varían tienden a causar trastornos en el comportamiento del individuo y si llegan a presentar cambios por encima de los niveles tradicionalmente soportados por los individuos, se convierten en factores limitantes para la vida y el desarrollo.

**Justus von Liebig** estudiando las razones que provocaban el marchitamiento de las plantas, encontró que el nutriente que se presentaba en mínima cantidad y que era necesario para el normal desarrollo, era el que controlaba el normal funcionamiento de este organismo.

En 1840, Liebig formuló lo que se conoce como la **Ley del Mínimo**, que establece que el crecimiento de un vegetal depende del nutriente que se encuentre presente en menor cantidad y que es indispensable para la planta.

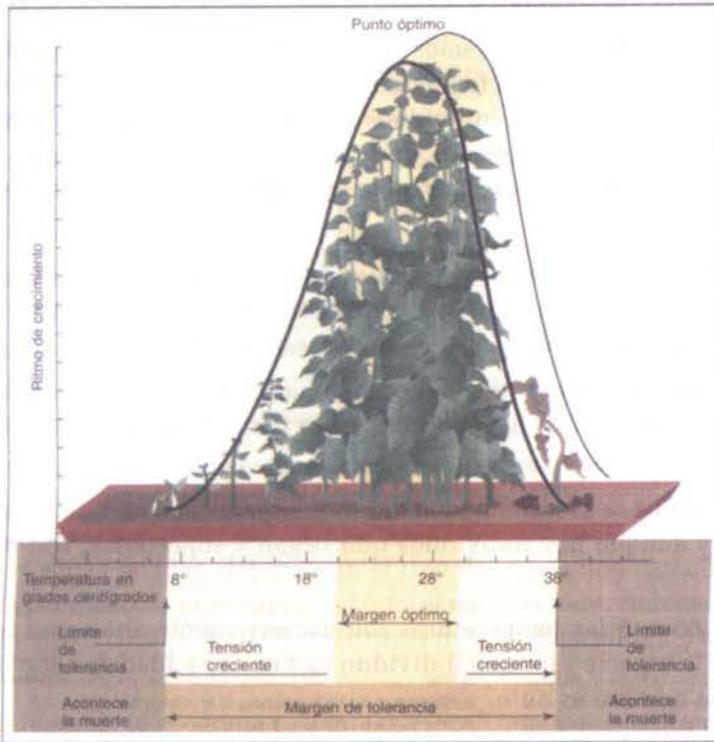
Con base en este hallazgo se puede entender cómo las plantas tienen unos niveles mínimos de nutrientes que pueden soportar y así, aunque los demás nutrientes sean abundantes, **con uno solo que escasee ya se limita su funcionamiento.**

Esa ley fue el primer gran paso para la explicación científica de los mecanismos que controlan la vida y el desarrollo de los seres.

En 1913 **V.E. Shelford** afirmó que cuando había unos niveles altos en uno de los nutrientes, esto resultaba ser igualmente perjudicial al convertirse en tóxicos y, por consiguiente, también afectar el desarrollo del individuo.

Con esa apreciación Shelford amplió el concepto expresado por Liebig y definió la denominada **Ley de la Tolerancia**, en la que reconoce que **todo organismo posee un máximo y un mínimo ecológico dentro de los cuales puede vivir, reproducirse y desarrollarse y que están definidos por los extremos de los factores abióticos de los cuales depende.**

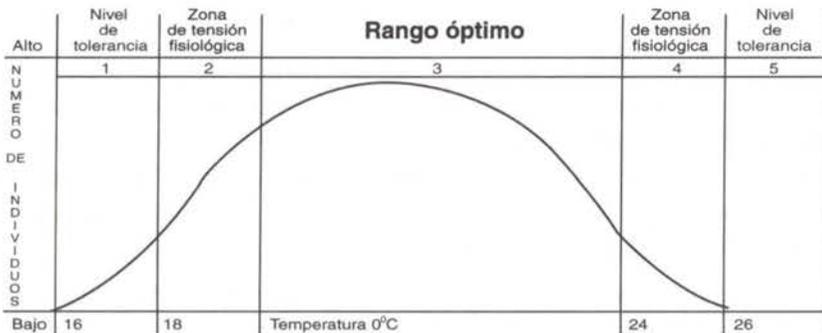
Se puede apreciar que la Ley de Tolerancia de Shelford tiene gran ventaja de poder aplicarse a todos los factores que limitan y no sólo a los nutricionales.



Tomado de Nebel y Wrigh, 1999.

Hay un punto óptimo para cada factor participante en el crecimiento, la reproducción y la sobrevivencia. Por arriba y debajo de este punto aumenta la tensión hasta que la sobrevivencia se vuelve imposible al cruzar los límites de tolerancia. El espacio entre los límites inferior y superior es el margen de tolerancia. Los puntos en los que ocurre el óptimo, las zonas de tensión y los límites de tolerancia son diferentes con cada especie y están en función de la composición genética y la variabilidad en su población. Los individuos no sólo son más robustos en su punto óptimo, sino que también son más numerosos.

### Condiciones - Lugar - Origen



Tomado de Rizo, 1993

### 13.3.1 Ley de la Tolerancia

En estas condiciones podemos diferenciar claramente en la gráfica anterior **cinco zonas** que delimitan la temperatura ambiente y que nos permiten identificar un número diferente de individuos representados por el área bajo la curva, según el área. Así, en la **Zona 1** no hay presencia de plantas de esta especie, la temperatura es muy baja y no es posible encontrar individuos adaptados a tales condiciones.

En la **Zona 2** se presentan individuos de la especie que han logrado adaptarse a vivir en condiciones de temperatura inferiores a la mínima normal, soportada por la especie. Sin embargo, el número de ellos es bajo.

En la **Zona 3** se presentan las condiciones de temperatura que son adecuadas a los requerimientos de la especie y por tanto el número de individuos es más alto.

En la **Zona 4** se presentan temperaturas superiores a las que la especie puede resistir y aunque hay individuos que llegan a soportarlas, son menores en cantidad.

En la **Zona 5** las temperaturas son excesivamente altas para los requerimientos de la especie y ningún individuo está en capacidad de adaptarse a ellas, por tanto su número es nulo.

Llamemos a las **Zonas 1 y 5 niveles de intolerancia**: Allí ningún individuo de esta especie de vegetal llega a soportar de forma permanente dichas condiciones de temperatura (Rizo, G. 1993).

Las **Zonas 2 y 4** serán las **zonas de tensión fisiológica**: Algunos individuos de la especie ejemplo llegan a soportar rangos mínimos y máximos por encima o por debajo de los normales, pero permanentemente están sometidos a **esfuerzos de adaptación** a esas condiciones que les crean alteraciones en su normal funcionamiento y desarrollo.

La **Zona 3** es el **rango óptimo** para la especie de planta ejemplo: En estas condiciones de temperatura se dará un funcionamiento normal de la especie y soportará sin problemas las fluctuaciones de temperatura que se den entre los 18 y los 24 grados centígrados.

Con este sencillo ejemplo ilustramos cómo un individuo se adapta a condiciones de temperatura; pero nunca los factores limitativos actúan los unos independientes de los otros; en realidad existe una interpelación e interacción de todos ellos sobre el individuo y es esta la que determinará el área o zona de influencia o distribución de una especie en la tierra.

Tampoco es la temperatura el único factor que determina la distribución en el ambiente natural, las especies se ven obligadas a dar respuesta a condiciones diversas del medio en que se encuentran, según Rizo (1993). Estas son:

- La presencia de **alimento** que ellas requieren y que puede en determinadas épocas ser escaso en un lugar, por lo cual se ven empujadas a emigrar a otros lugares en los que puedan encontrarlo en suficiente cantidad. Las **migraciones** animales son quizás el más claro ejemplo.
- La mayor o menor cantidad de enemigos naturales que diezman la población y que obligan a que éstos tengan que encontrar lugares adecuados para poder esconderse y reproducirse.
- En el caso de las plantas, condiciones del medio ambiente tales como la cantidad de aguas lluvias que precipitan durante el año, la mayor o menor humedad relativa del aire, la presencia de nutrientes en el sustrato que las sostiene, así como también las condiciones de luminosidad del medio, determinan en su conjunto el tipo de plantas que se encontrarán en determinada región.

La interacción de un aire cargado de humedad, una temperatura ambiental superior a los 24 grados centígrados en promedio anual, unos suelos pobres en nutrientes, lluvias continuas, escasa luminosidad e influencia de las brisas marinas y de las aguas saladas, determinan el tipo de vegetación característico de nuestra costa pacífica, en la que especies como el **mangle**, **nato**, **cuángare**, **piñuelo** y la palma de **naidi** configuran el primer nivel trófico, determinante en la fauna que se le asocia.

En otro lugar de la geografía colombiana localizamos los **páramos**, de condiciones ambientales diferentes. Allí encontramos temperaturas promedio de seis grados centígrados, alturas sobre el nivel del mar superiores a los 3.000 m, una mayor incidencia de la radiación ultravioleta del sol, temperaturas más altas en el día y muy bajas en la noche. Estas condiciones dan lugar a otro tipo de vegetación, que a su vez tiene una conformación morfo-fisiológica diferente, presentándose en la mayoría de especies hojas con vellosidades desarrolladas evolutivamente para protegerse del frío. Plantas características en ese tipo de ecosistema son los **frailejones**, **encenillos**, **guarda rocío**, **sietecueros**, **gaque**, entre muchas otras (Rizo, G. 1993).

Claramente se puede concluir que es un conjunto de factores ambientales el que determina las condiciones más propicias para la presencia o ausencia de una determinada especie en un lugar.

En el caso de la vegetación esas condiciones resultan ser más importantes, ya que al no poderse desplazar deben encontrar formas de adaptación convirtiéndose en indicadoras de los tipos de clima.

Los animales al poder desplazarse de un lugar a otro, multiplican sus posibilidades de consecución del alimento en ecosistemas distintos de aquellos en los que tradicionalmente se ubican; sin embargo, aunque esto represente una ventaja frente al reino vegetal, no debemos olvidar que éstos sólo deben tomarlos del medio en que se encuentran.

## 13.4 Organismo esteno y organismo euri

¿Soportan todos los organismos rangos óptimos idénticos? Para saberlo, veamos otros conceptos fundamentales de la ciencia ecológica.

### 13.4.1 Organismo esteno

La Ley de Tolerancia nos indica que **siempre existirá un máximo y un mínimo soportable por toda especie**, pero no nos aclara qué tan amplio debe ser ese rango.

En la naturaleza existen organismos que solamente pueden soportar mínimas variaciones en los niveles de los factores que los limitan, o en el nivel de algunos de ellos; es decir, los rangos óptimos en los cuales son capaces de llevar su vida; tienen los **puntos máximos** y **mínimos** muy cerca los unos de los otros, trayendo por resultado el que el individuo sea muy exigente en condiciones que permitan su existencia y estando muy expuesto a las fluctuaciones o cambios que se presenten en tales niveles, ya para ellos es muy difícil acomodarse.

Estos son los **organismos esteno**, palabra que significa **estrecho o angosto** y que antecede a aquella que identifica el factor del cual el organismo no soporta variaciones amplias en sus niveles.

Así, un organismo **estenohídrico** será exigente en cuanto a la presencia de agua en el ambiente, pues no tolera sequías severas o inundaciones de su hábitat, sino que necesitará que se mantenga con un nivel casi constante de agua disponible.

Tal como lo describe Duvigneaud (1983), se presentarán organismos de tipo:

**Estenohalinos:** Se refiere a la salinidad en organismos marinos.

**Estenotérmicos:** Se refiere a la temperatura.

**Estenofágico:** Se refiere al alimento.

**Estenoecio:** Se refiere a la elección del hábitat.

Un caso de organismo **esteno** es el del frailejón, que solamente vive en las áreas de páramo en donde la temperatura promedio anual está entre los 6 y los 12 grados centígrados, por lo que no es posible encontrar individuos de esta especie en temperaturas inferiores o superiores (Rizo, G. 1993).

Otro ejemplo, para el caso del rango de **oxígeno disuelto (O.D)** en las aguas lóxicas son los bocachicos, que no soportan niveles por debajo de los 5mg/l, ni por encima de los 6.5mg/l.

Estos tipos de organismos son los que más sufren cuando el hombre induce alteraciones drásticas en sus ecosistemas, pues no logran adaptarse a nuevos ambientes, desapareciendo al no ser para ellos propicias las nuevas condicio-

nes, o al no encontrar un área en condiciones adecuadas a las requeridas por ellas.

Al mismo tiempo, por ser tan exigentes en la permanencia de ciertos niveles, los organismos **esteno** sirven como eficaces bioindicadores de áreas en las que son permanentes los niveles de un determinado factor.

Los insectos **plecópteros** y **efemerópteros** que ya mencionamos son un claro ejemplo de bioindicadores para la calidad de oxígeno disuelto en las aguas limpias y/o contaminadas, según sea el caso (Tovar, J. 2001).

#### 13.4.2 Organismos euri

Al contrario de lo que sucede con los organismos **esteno**, los organismos **euri** están adaptados a variaciones amplias en sus niveles mínimos y máximos. Se puede decir entonces que ellos no son especialistas, sino generalistas; tienden a adaptarse a una amplia gama de ambientes con lo cual multiplican sus posibilidades y oportunidades de supervivencia.

Existirán, en consecuencia, organismos **eurihalinos**, **euritérmicos**, **eurihídricos**, **eurifágicos** y **euriecios**.

Un caso de especie **eurihídrica** es el **yarumo**; *Cecropia sp.*, árbol que se presenta igualmente en los bosques secos de Colombia y en los muy húmedos, donde soportan precipitaciones que varían entre los 1000 mm/año y los 8000 mm/año.

**Las especies generalistas que abarcan extensas áreas climáticas han encontrado la respuesta a la supervivencia en la adaptación a múltiples circunstancias y niveles de sus factores limitativos.**

El humano es un caso particular entre las diferentes especies al interior del planeta, ya que a diferencia de animales y vegetales, dispone de la posibilidad de modificar en todo o en parte las condiciones del ambiente en que se establece.

Esa posibilidad es producto de miles de años de conocimientos acumulados que han podido traducirse en innovaciones tecnológicas, las cuales puestas a su servicio le han permitido hacerse presente en ecosistemas en los que su presencia es vital.

Las transformaciones del medio son continuas y como resultado de ellas las condiciones naturales se están alterando, degenerando en modificaciones radicales que empiezan a ser peligrosas para y por la presencia del hombre.

La contaminación, el agotamiento de los recursos naturales, el cambio climático, la desertización y la extinción de especies de flora, fauna y hasta de microorganismos, son entre otras patologías terrestres el resultado de tales mo-

dificaciones, hechas sin miramiento de los complejos y sutiles mecanismos biológicos que rigen la vida, en cualquiera de sus manifestaciones.

Al mismo tiempo, el crear condiciones ambientales en las cuales poder sobrevivir en espacios o en condiciones para la especie humana, nos ha abierto nuevas fronteras, tal es la posibilidad de residencia extraterrestre en Marte, por ejemplo.

Somos, en consecuencia, organismos que aunque en apariencia pertenecen a la categoría de los **euri**, llevamos implícita la categoría **esteno**, ya que si bien tenemos presencia en multitud de ambientes, requerimos determinadas condiciones, que producidas en forma artificial posibilitan tal presencia (Rizo, G. 1993).

## 13.5 Algunos factores limitantes externos

No debemos pensar que los factores ambientales que afectan la vida y el comportamiento de los organismos actúan aisladamente los unos de los otros; por el contrario, **es la acción conjunta de todos** la que llega a definir las actuaciones y el comportamiento de los seres.

### 13.5.1 La temperatura

La vida, tal como la conocemos, solamente puede darse en un rango absoluto de 300°C, que va desde los -200°C, hasta los 100°C; dentro de este, las diferentes especies encuentran aquellos que son los que más se adaptan a sus exigencias evolutivas, es decir, a sus características morfo-fisiológicas, producto de aquélla.

Según las observaciones científicas, los límites superiores son más rápidamente críticos para las especies que los inferiores; sin embargo, algunas especies funcionan más eficazmente hacia los límites superiores de su margen de tolerancia, gracias a que su metabolismo se acomoda mejor a esas condiciones.

En la naturaleza, las especies se agrupan según la forma como soportan los cambios de la temperatura ambiente, en **poiquiloterms** y **homeoterms**.

**Poiquiloterms:** Su temperatura corporal varía en relación con la del ambiente en que se encuentran, la mayoría de invertebrados pertenecen a este grupo de animales y no poseen mecanismos de control de la temperatura de su cuerpo; por esa razón, las temperaturas inferiores a los 6 grados centígrados y las superiores a los 42 grados centígrados los dejan inactivos (caso anfibios, peces y reptiles).

**Homeoterms:** Son los llamados **animales de sangre caliente**, entre los que se encuentran los mamíferos y las aves, para quienes las condiciones cambiantes de la temperatura ambiente no representan mayor problema, ya que poseen

mecanismos internos de regulación de su temperatura corporal, que les permite permanecer a una temperatura constante, independiente de aquella del medio en que se encuentren en un lugar y tiempo dados. Pero aún así, también están controlados por unos límites máximos y mínimos que son capaces de soportar; es el caso de fenómenos como la **hipotermia**, enfriamiento del cuerpo, y las **fiebres**, que es el calentamiento espontáneo de la temperatura corporal, la mayoría de veces merced a la presencia de algún agente físico-químico o biológico externo.

El humano es **homeotermo**, estando la temperatura de su cuerpo de manera permanente en los 38 grados centígrados, por encima ya se habla de fiebre.

La tolerancia de los organismos acuáticos tiende a ser menor que la de los organismos terrestres, presentando rasgos más estrechos de aceptación a los cambios en la temperatura (Rizo, G. 1993).

La variación de la temperatura es una **condición fundamental** en el desarrollo de las actividades **metabólicas** y **fisiológicas** de los organismos, que tienden a deprimirse o a inhibirse por la **presencia constante** de un **mismo nivel de temperatura**.

Los niveles de temperatura llegan a ser alterados por la acción antrópica, cuando por ejemplo se vierten efluentes a mayor temperatura que la que trae un cuerpo receptor; esto induce una forma de **contaminación física por calor**, con lo cual se rebajan drásticamente los niveles de **oxígeno disuelto** que trae el cuerpo receptor (Tovar, J. 2001).

Los cambios que se presentan cuando se explotan los recursos de un bosque, y particularmente la madera, se manifiestan en variaciones de la temperatura ambiental, al retirarse la cubierta boscosa que proporciona la sombra.

La temperatura ambiental está en directa relación con la claridad u opacidad del aire. Aquellos lugares en los que la mayor parte del tiempo el cielo se encuentra despejado de nubes reciben un calentamiento mayor, pues la radiación solar no encuentra capas que se interpongan en su recorrido hacia la superficie terrestre; por ello, durante el día se presentan elevadas temperaturas; pero si esas condiciones continúan durante la noche, entonces el clima se tornará más frío, pues el calor recibido durante el día, al no existir una capa de nubes que lo retenga, se escapa al espacio, es decir, no se da el **efecto invernadero**.

Si por el contrario la capa de nubes es densa, puede suceder que el ambiente no llegue a calentarse lo suficiente, pues los rayos solares no llegan en la debida proporción al suelo.

Al ser poco transparente la atmósfera, por presentarse una muy alta cantidad de partículas de polvo y gases, se crea un techo que no deja escapar hacia el

espacio el calor absorbido en el planeta, con lo cual la tierra tiende a sobrecalentarse, pudiendo repercutir en el deshielo de casquetes polares y **deglaciaciones** de los picos de las altas montañas.

Los científicos han advertido que el hecho ya está sucediendo en proporciones alarmantes y que es prácticamente inevitable el que con ello el nivel de los océanos esté aumentando, lo que acarreará a su vez el cubrimiento de las zonas costeras más bajas del planeta, ello incluye la desaparición de muchos sistemas insulares, tal el caso de regiones como Bangladesh, en el Asia.

El fenómeno de sobrecalentamiento de la atmósfera terrestre se conoce como **efecto invernadero** y sus fuentes de origen van desde las erupciones volcánicas hasta la liberación de gases, producto del devenir de la sociedad.

### 13.5.2 El agua

Como se sabe, el agua es un elemento fundamental para la existencia de la vida ya que es necesaria para todo protoplasma, y aunque parezca extraño, es tan necesaria tanto para organismos terrestres como acuáticos, ya que éstos están sujetos a fluctuaciones que pueden presentar en sus cantidades, así como en la salinidad que en ella se presente, pudiendo llegar a efectuar ganancia o pérdida de humedad por **ósmosis**.

La presencia de agua está directamente relacionada con la cantidad de precipitación que caiga en un lugar, siendo en consecuencia la que determina el clima junto a otra serie de factores, entre ellos la temperatura (Rizo, G. 1993).

Su presencia en el suelo, que es el lugar del cual la pueden captar las plantas a través de sus raíces, está en estrecha relación con las condiciones físicas y químicas del suelo, especialmente con la **textura** y el **drenaje**.

### 13.5.3 Los nutrientes

Los nutrientes o sales biogénicas son sustancias disueltas indispensables a la vida. La Ley del Mínimo, como ya vimos, hace especial referencia a su papel en las plantas.

De los aproximadamente cuarenta elementos nutrientes de importancia para la vida, unos son requeridos en mayor cantidad que otros, según sea la especie animal o vegetal; de igual forma, su importancia varía según la especie.

Aquellos que son demandados en mayor cantidad reciben el nombre de **macronutrientes** y se relacionan con los más importantes procesos metabólicos del individuo. Aquellos que se requieren en menor cantidad se los denomina **micronutrientes**.

La anterior clasificación de ninguna forma discrimina en orden de importancia a los nutrientes, ya que tanto los macro como los micronutrientes son indispensables para el normal desarrollo y crecimiento de los individuos, sea cual fuere su hábitat y su nicho ecológico.

Por ejemplo, el nitrógeno, el fósforo y el potasio son los macronutrientes más importantes para los vegetales, pero no igualmente para los animales que se alimentan de ellos. El cobre, el cobalto, el sodio, el boro, el silicio y el cloro, entre otros, son micronutrientes requeridos por las plantas para la realización del proceso fotosintético, el metabolismo del nitrógeno y el metabolismo general.

De estos micronutrientes, el sodio y el cloro son requeridos en mayor cantidad por los animales que por las mismas plantas.

De la misma manera, los humanos también necesitamos algunas sustancias minerales en mayor cantidad que otras, como el hierro presente en las carnes, el calcio y el fósforo que se encuentran en la sal, son juntos nutrientes indispensables para nuestra fisiología. Se sabe por ejemplo el papel del calcio en el fortalecimiento del sistema óseo, el fósforo para la actividad cerebral (recuérdese el papel fundamental del **ATP**) y del hierro en la síntesis de **hemoglobina**, para el transporte de oxígeno en la circulación sanguínea.

Es de anotar que tanto deficiencias como excesos de un nutriente macro o micro pueden acarrear patologías al individuo, por lo que cada cual tiene sus requerimientos específicos en un momento determinado.

El fósforo es el nutriente que mayores limitaciones tiene para los vegetales y los animales, por lo que se afirma que es el que más condiciona la productividad de cualquier región de la tierra, descontando claro está el agua, el más importante de los recursos terrestres para la vida (Rizo, G. 1993).

#### 13.5.4 La luz

La requieren la mayoría de las plantas para poder desarrollar la fotosíntesis, siendo entonces, junto al agua, una de las bases de la vida terrestre.

Pero no todos los organismos necesitan igual cantidad de luz para poder vivir; sus requerimientos varían y son particularmente evidentes en las plantas, ya que hay especies que sólo germinan sus semillas en condiciones de plena exposición solar, mientras otras sólo requieren sombra para ello.

Igualmente, algunas plantas soportan un sombrío en sus primeros estadios de vida, pero se tornan exigentes con el tiempo en necesidad lumínica, siendo intolerantes a la sombra en su fase adulta.

La luz varía con los movimientos que realiza la Tierra alrededor del Sol debido a la inclinación del eje terrestre que determina el que se presenten días más cortos o más largos en las zonas de clima templado, donde suceden las cuatro estaciones.

Esas variaciones en la duración del día determinan pautas de comportamiento en la vida de animales y plantas, al indicarles cuándo se acerca determinada estación climática.

Las plantas requieren también la existencia de días cortos o largos para florecer o fructificar y eso lo comprobamos al observar que esos procesos no son sucedáneos al mismo tiempo para todas.

Los períodos de duración del día o **períodos de luz** son denominados **fotoperíodo**; siendo diferente para las plantas de clima templado con estaciones y las de climas tropicales. Las primeras están acostumbradas a duraciones variables del fotoperíodo, según sea la estación, mientras que las segundas requieren períodos de doce horas de luz más o menos constante durante el año.

El hombre desde la invención de la agricultura manipula esa circunstancia y la utiliza con la finalidad de lograr disminuir los ciclos productivos y reproductivos de las especies, en aras de obtener beneficios económicos en períodos más cortos. Ese es el caso de los cultivos de claveles sometidos a iluminación artificial nocturna, buscando su florecimiento acelerado para un rendimiento sostenido todo el año.

En condiciones naturales en un bosque, una de las competencias más fuertes que se registran es la **lucha por la obtención de luminosidad** para el crecimiento, siendo asombrosas las diversas estrategias que evolutivamente han desarrollado algunas especies dominantes para alcanzarla. Esa lucha es más fuerte en los estratos bajos y en el suelo.

Los anteriores factores externos, actuando sobre las especies en forma conjunta, llegan a constituirse en los factores limitantes externos, que juntamente con los generados por las acciones de competencia que se dan entre los individuos de una población, determinan su tamaño y distribución espacial en un tiempo dado (Rizo, G. 1993).

## Comentarios finales

Los anteriores constituyen algunos principios orientadores de la ciencia ecológica, objeto del curso que, en la modalidad de núcleo para los estudiantes de la carrera de Ingeniería Ambiental y electivo para las demás existentes en la Sede Palmira de la Universidad Nacional de Colombia, ofrece el Departamento de Ciencias Básicas.

Es importante que los estudiantes reconozcan la importancia de profundizar por su cuenta en aquellos temas que por lo limitado del tiempo programado para el curso no se pudieron explicar con mayor detalle. Para ello entonces se les recomienda acudir a la literatura citada en la bibliografía, donde podrán encontrar con mayor precisión aquellos aspectos sobre los que vale la pena ahondar y que contribuyan a la adopción completa y permanente de esa **cultura ambiental**, por la que propenden en sí el curso y los que siguen los postulados de la ecología.

Especial llamado a los estudiantes de Ingeniería Ambiental, para que sepan entender que no lo son de una carrera en ecología y que, por tanto, el curso sólo les puede brindar la oportunidad de identificar aquellos aspectos en que tal ciencia se fundamenta, para que en el ejercicio de su futura profesión, tengan en cuenta el reto que les implica plantear soluciones a la compleja situación de permanente conflicto en que se desenvuelve la relación hombre-naturaleza, para la cual la Ingeniería Ambiental no sólo es una necesidad sino un acierto en el contexto nacional e internacional.

Debe quedar claro que la ecología como ciencia de síntesis e integración de otras derivadas del raciocinio humano no sólo debe ser objeto de estudio, sino de práctica permanente por parte de los que cohabitamos una sola casa, en donde somos pasajeros temporales, ya que el planeta viaja en el espacio con nosotros a bordo, junto al parecer de 29.999.999 millones de especies más (según los cálculos actuales), igualmente temporales por aquello de la inexistencia de la eternidad.

Debe el hombre, como máxima expresión de un complejo proceso evolutivo que aún no termina, reflexionar y acatar ese **devenir de la naturaleza** del que hace parte, para que todas esas adversidades que le aquejan, gestadas inequívocamente por sus erráticas actuaciones, cesen antes de que sea tarde; porque no es justo que el recién llegado al escenario de la vida se dé el lujo de entorpecerla y acabar con ella, a expensas de su absurda y paradójica irracionalidad, si se tiene en cuenta que ninguna otra especie ha alcanzado semejante nivel evolutivo; aquél que no solo le ha permitido conquistar el espacio, sino describirse y descubrirse a sí mismo, al identificar con mucha precisión su mapa genético, logro científico anunciado en febrero de 2001, es decir, a principios del tercer milenio.

De qué le va a servir al hombre conocer tanto sobre sí y sobre su entorno, si persiste en desconocer que todo se rige fielmente por principios que se deben respetar y que ya existían antes de su llegada; por lo que resulta obvio su acatamiento fiel, de tal forma que no se modifiquen adversamente, en detrimento del equilibrio a que conllevan y que se logró sin necesidad de su presencia.

El hombre de hoy, y mucho más el de mañana, está obligado a aceptar lo frágil que es el planeta y lo transitoria que es la vida en su paso por éste, así que es inaplazable la adopción de mecanismos que conlleven al sostenimiento de la misma, partiendo de la conservación como fundamento que inspire un actuar racional y por ende sensato, al interior de tan maravillosa y ÚNICA casa espacial, habitable por ahora.

El llamado que se hace en este curso de **Ecología** es a sumarse a la red mundial de humanos conscientes del transitorio papel que cumplimos en nuestro caminar por la tierra, de tal forma que sea inspirado siempre en la racionalidad y el respeto por las otras formas de vida que le acompañan y que tienen los mismos derechos de cohabitar en paz, para que ese caminar valga la pena y sea grato.

Especial llamado a los jóvenes de hoy y padres de mañana, para que le den oportunidad a su progenie de acercarse a la naturaleza preguntando siempre "**Qué es esto**", en lugar de anticipar el "**¿Para qué sirve?**"

Lo anterior para evitar seguir levantando humanos que sólo busquen el exclusivo lucro del conjunto natural de bienes y servicios y que en lugar de adherir tan alienadamente a los computadores y la cibernética, salgan a respirar el aire puro, a reconocer los sonidos de la naturaleza y gozar de la suerte de ser la especie más adaptada para conducir sabiamente sus destinos.

Ello por cuanto, por lo menos en opinión del autor, no hay nada más grato que poder reconocer el infinito de maravillas que constituyen no solo nuestro propio cuerpo sino el conjunto total de la naturaleza, aquella a la que debemos siempre mirar con el máximo respeto ya que está probado que no necesitó de nuestra presencia para ser lo que es hoy... **la más clara manifestación de Dios.**

# Bibliografía

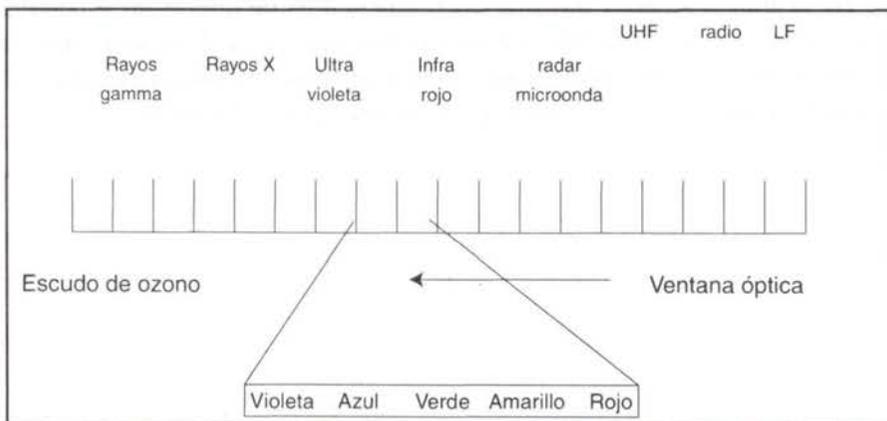
- ALVAREZ, FRANCISCO. *Tratado de Ecología*. Meguras, Barranquilla. 1983. 153 p.
- AUDESIRK, Teresa; AUDESIRK, Gerald. *Evolución y Ecología*. Cuarta edición. Edit. Prentice Hall. México. 1998. 414 p.
- BERNAL, Fernando. S.I.: *Yisocron Audiovisuales*. 1983. 155 p.
- DUVIGNEAUD, P. *La síntesis de la ecología*. Edit. Alambra. Madrid. 1984. 306 p.
- Ecología y Sociedad / *Controversia*, Nos. 48 y 49. Bogotá: CINEP. 1976.
- EL TIEMPO. *Colombia Viva*. Casa Editorial *El Tiempo*. 2000. 336 p.
- Energy For Rural Development / National Academy of Science. Washington, DC. 1977.
- HARLAN, Jack R. *Las plantas y los animales que alimentan al hombre: investigación y ciencia*. Barcelona. 1979. 64 p.
- INVERSON, Hoannes. *La deforestación en la edad de piedra: el hombre y la ecosfera*. Blume, Madrid. 1979. 341 p.
- MARGALEF, R. F. *Ecología*. Omega, Barcelona. 1982. 951 p.
- MEICHERT, Charles; PRESCH William. *Elementos de anatomía de los cordados*. McGraw Hill, México. 1981. 531 p.
- NEBEL, Bernard; WRIGTH, Richard. *Ecología y Desarrollo Sostenible*. Sexta Edición. Edit. Prentice Hall. México. 1999. 698 p.
- ODUM, E. P. *Ecología Interamericana*. México. 1983. 639 p.
- OLIVER, Santiago R. *Ecología y Subdesarrollo en América Latina*. Siglo Veintiuno Editores. 1993. 458 p.
- POPULATION REPORTS. *Soluciones para un mundo con escasez de agua*. Serie M, Número 14. Volumen XXVI, Número 1, septiembre de 1998. 31 p.
- PHILIPS, J. G. *Fisiología Ecológica*. Blume, Madrid. 1976. 248 p.
- PRECIADO, Pérez A. *Ecología para todos*. Banco de la República, Bogotá. 1982. 196 p.
- RIZO, Guillermo. *Sistemas Ecológicos y Medio Ambiente*. Unisur, Bogotá. 1993. 458 p.
- ROMADE, Françoise. *Elementos de ecología aplicada*. Mundi Prensa, Madrid. 1979. 589 p.
- STOCKER, H, S. *Química Ambiental: contaminación de aire y agua*. Blume, Barcelona. 1981. 318 p.

- SUTTON, B; Harman, P. *Fundamentos de Ecología*. Limusa, México. 293 p.
- TAMANES, Ramón. *Ecología y Desarrollo*. "La polémica sobre los límites del crecimiento". s. l.: Alianza. 1983. 277 p.
- TOVAR V. Jorge E. *Material para Clases de Ecología y Manejo de Recursos Naturales*. Sin Editar. Febrero de 2001. 280 p.
- VESELOV, E. *La Evolución de la Vida*. Fondo Editorial Sudamérica. Bogotá. 1978. 172 p.
- WOODWELL, G. M. *Sustancias y Ciclos Ecológicos en el Hombre y la Ecosfera*. Blume, Madrid. 1979. 146 p.
- ZULUAGA, José Iván. *Fundamentos de Ecología*. Universidad Nacional de Colombia. Palmira. 1977. 175 p.

Fe de erratas del libro "Anotaciones sobre Ecología" - Profesor Jorge E. Tovar

| Página | Ubicación                                       | Donde dice                        | Debe decir                        |
|--------|---|-----------------------------------|-----------------------------------|
| 13     | Ultima línea, primer párrafo                    | (1981)                            | (1978)                            |
| 22     | Primer párrafo, 2ª línea                        | Cephalopada                       | Cephalopoda                       |
| 35     | Noveno párrafo, 1ª línea                        | Oliver (1981)                     | Oliver (1993)                     |
| 42     | Gráfica<br>"Niveles biológicos de organización" | Ver anexo 1 adjunto               |                                   |
| 55     | Segunda columna, línea 26                       | Clase Gostropoda                  | Clase Gasteropoda                 |
| 55     | Segunda columna, línea 28                       | Cepahlopoda                       | Cephalopoda                       |
| 58     | Tercer párrafo, última línea                    | y Denaeyer (1973)                 | y Denaeyer (1984)                 |
| 81     | Segundo párrafo, última línea                   | herbíboros                        | herbívoros                        |
| 81     | Penúltimo párrafo, tercera línea                | miriópodos                        | miriápodos                        |
| 83     | 2ª columna, primera línea, 4º párrafo           | Cunsumidores                      | Consumidores                      |
| 90     | Párrafo 11, última línea                        | Duvigneaud (1983)                 | Duvigneaud (1984)                 |
| 97     | Cuarto párrafo, primera línea                   | Pluviisilvae                      | Pluvisilvae                       |
| 116    | Sexto párrafo, cuarta línea                     | Nanaoplanton                      | Nanoplanton                       |
| 119    | Gráfica espectro electromagnético               | Ver gráfico corregido*            |                                   |
| 122    | Leyenda del gráfico                             | Tomado de <i>El Tiempo</i> , 1999 | Tomado de <i>El Tiempo</i> , 2000 |
| 127    | Leyenda del gráfico                             | Tomado de Margalef, 1981          | Tomado de Margalef, 1982          |
| 129    | Tercer párrafo, quinta línea                    | parthenium                        | <b>Parthenium</b>                 |
| 150    | Sexto párrafo, primera línea                    | Duvigneaud (1983)                 | Duvigneaud (1984)                 |
| 157    | Cuarto párrafo, línea 5                         | 29.999.999 millones               | Casi 30 millones de especies      |

\*

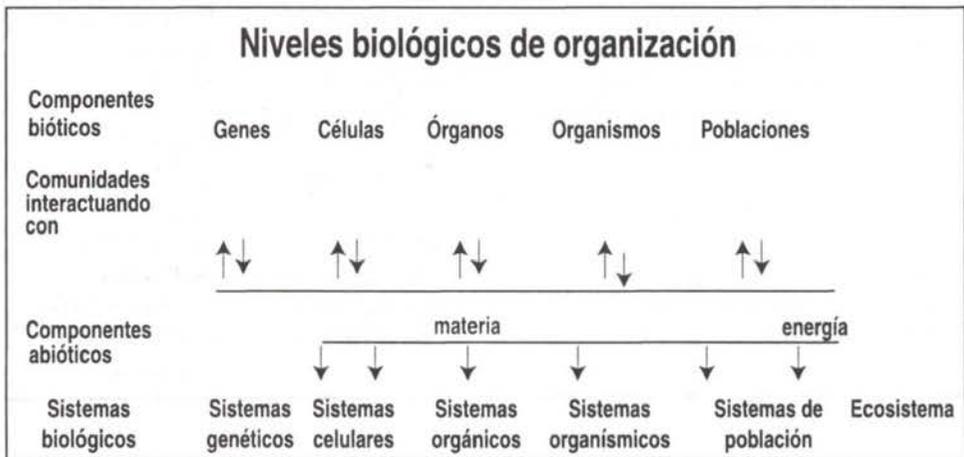


# Anexo 1

Cada ciencia estudia la naturaleza a partir de un nivel que le es propio; la ecología se interesa por un nivel mayor cuya delimitación trata con unidades de vida de múltiples elementos que interactúan entre sí. Rizo (1993).

Los factores abióticos y el conjunto de interacciones de una especie con su entorno biótico conforman su denominado **nicho ecológico**.

La ecología centra su atención fundamentalmente en el estudio de las relaciones que tienen grupos de individuos de una misma o de diferentes especies con el medio ambiente en que viven. Los niveles de organización biológica inferiores a los organismos son objeto de estudio de otras áreas dentro de la biología.



Tomado de Odum, 1993

De la gráfica anterior hay que decir que el área de interés de la ecología se sitúa a partir de los organismos hacia la derecha, lo cual no significa que se desconozcan los valiosos aportes que las otras áreas de la biología dan a la ecología y que permiten comprender mejor las relaciones que ella estudia.



## JORGE ENRIQUE TOVAR VANEGAS

Nacido en Santiago de Cali, Valle del Cauca, el 14 de julio de 1953.

Ingeniero agrónomo de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.

Ha participado como autor o coautor de conferencias, investigaciones y gestor de eventos académicos en el campo socio-ambiental, cofundador y coordinador del Centro de Estudios Socioecológicos Francisco José de Caldas de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira.



Es uno de los creadores, director y presentador del programa institucional de televisión comunitaria "Magazín ecológico", transmitido semanalmente desde el 12 de agosto de 1997 en los municipios de Cali, Palmira, Florida, Pradera y Miranda (Cauca).

Ha desempeñado cargos como el de coordinador del Proyecto Cuenca Alto Magdalena del Inderena, Ibagué; coordinador y director del Centro Experimental San Rafael, en Teruel, Huila; coordinador del Proyecto de Extensión y Educación Ambiental en las cuencas de los ríos Las Ceibas y Yaguará, Inderena Procam, Huila; coordinador de la Unidad Ambiental de la Regional Pacífico Medio del Inderena.

Fundador y gerente técnico de las consultoras ambientales Ecoambiente Ltda. y Consulam Ltda. de las ciudades de Cali y Buenaventura. Profesor catedrático de la Universidad del Valle en las sedes Pacífico y Palmira.

En la actualidad es profesor asociado de la Universidad Nacional de Colombia Sede Palmira y coordinador de Extensión y Educación Ambiental del Instituto de Estudios Ambientales, IDEA, en donde además es gestor y compilador de la Ecovideoteca, con más de cuatro mil documentales en formato V.H.S.

Ha sido expositor internacional en representación del Inderena y la Universidad Nacional de Colombia.

ISBN 958-8095-16-6



9 789588 095165