

TEMA 2.7A ELEMENTOS DE ECOLOGIA

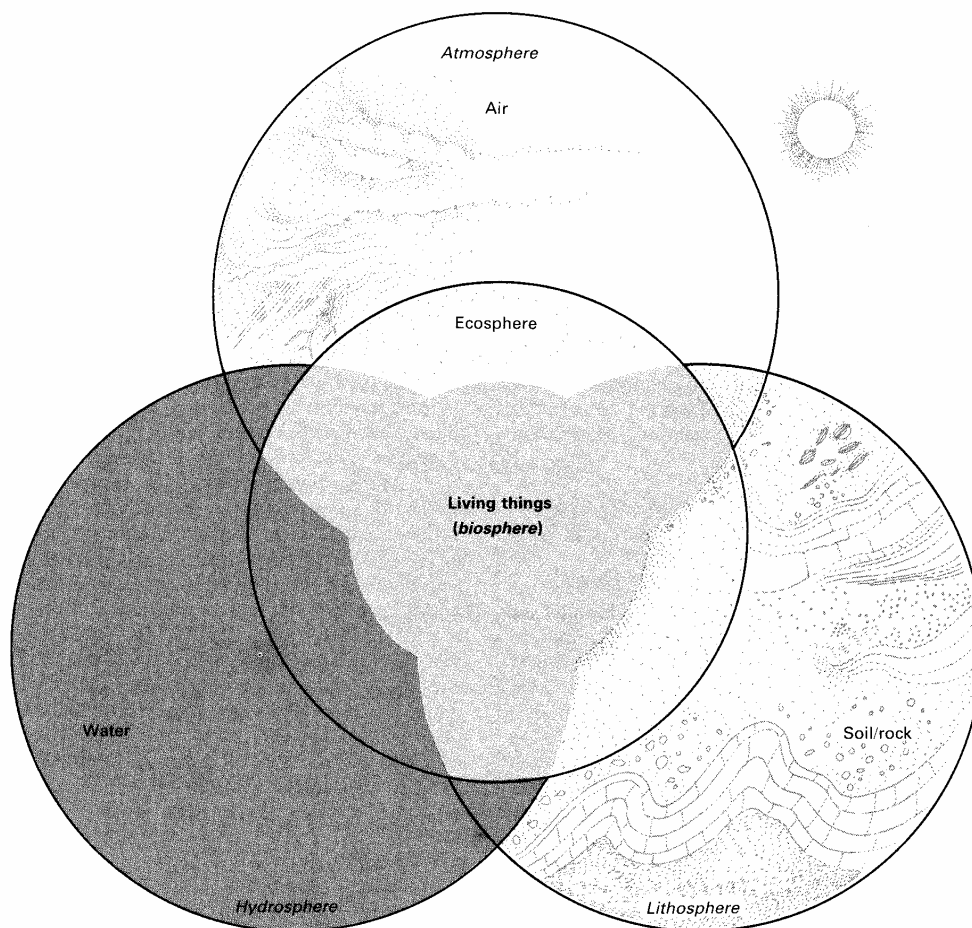
CI41B Ingeniería Ambiental

Profesores D. Rodríguez, R. Muñoz, J. Cornejo y C. Espinoza
Semestre Otoño 2004

1. INTRODUCCION

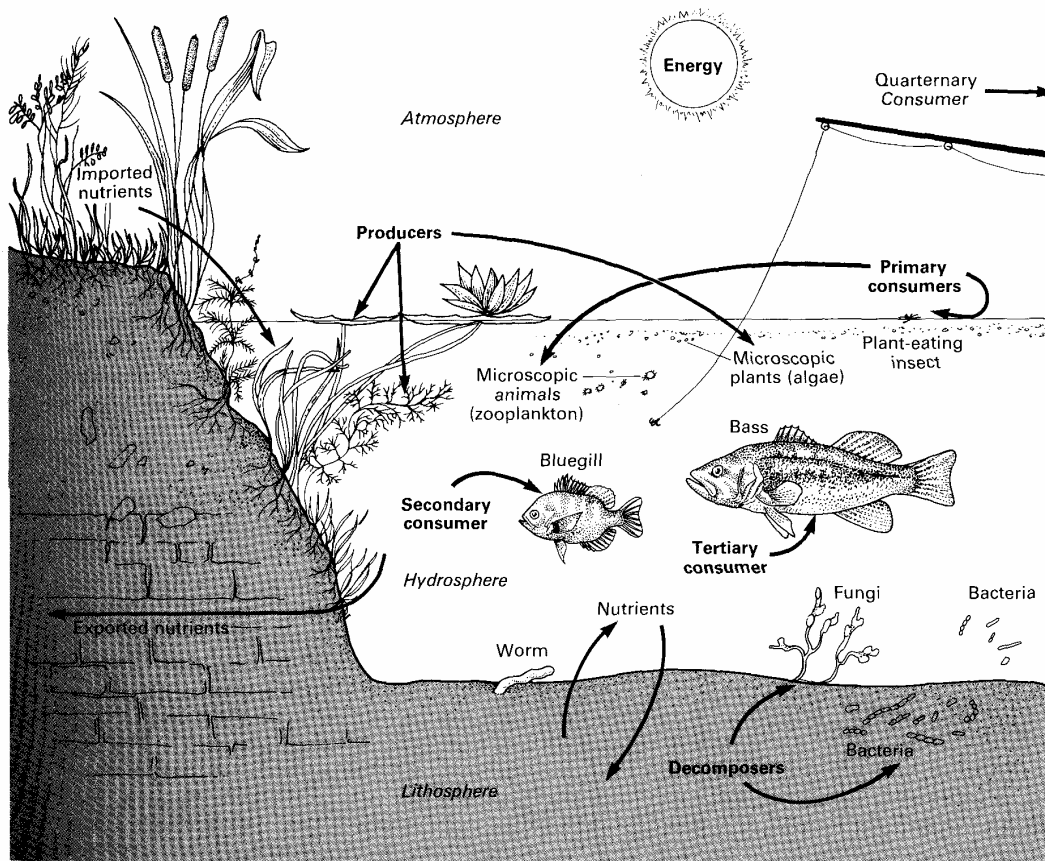
El término *ecología* se deriva del griego *oikos*, lo que significa casa, combinado con *logos*, lo que significa “el estudio de”. De esta manera, el significado literal de la palabra ecología es el estudio de las cosas de una casa u hogar. En términos técnicos se define **ecología** como el estudio de las relaciones entre organismos y su medio ambiente. En esta definición se toma el vocablo *medio ambiente* en su concepto más amplio incluyendo las componentes físicas, químicas y biológicas. El rango de estudios ecológicos es muy amplio, incluyendo el estudio de la química de suelos hasta la relación entre el número de huevos puestos por una especie de ave específica y el número de polluelos que pueden ser alimentados. La Figura 1 muestra una representación esquemática de un ecosistema.

Figura 1
Esquema de un Ecosistema



El medio ambiente físico-químico, **abiótico**, y el grupo de plantas, animales, y microbios, **biótico**, forman un sistema ecológico interdependiente denominado **ecosistema**. Los ecosistemas pueden ser grandes o pequeños, conteniendo un gran número, o pocas, especies. Ellos son comúnmente definidos por los tipos de vegetación dominante y tienen una cierta uniformidad que puede ser fácilmente reconocida. Ejemplos de estos ecosistemas son las selvas tropicales, las selvas coníferas boreales, las planicies o praderas naturales, los arrecifes de coral, los lagos, las costas y el océano. La Figura 2 muestra un ejemplo de ecosistema, indicando diversos roles en él.

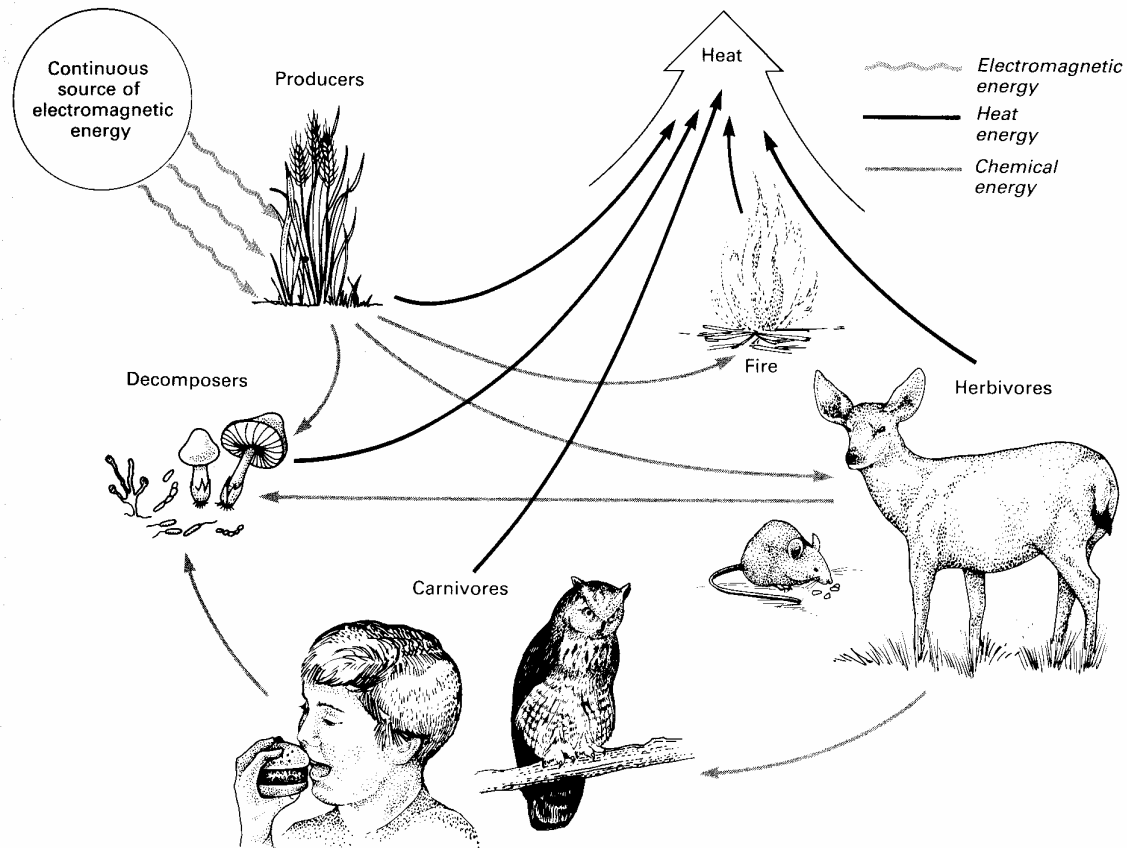
Figura 2
Ecosistema en una Poza



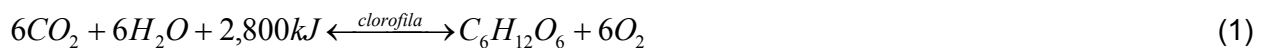
2. FLUJO DE ENERGÍA EN ECOSISTEMAS

Toda la actividad biológica es dependiente de las plantas verdes que utilizan en forma eficiente la energía que viene desde el sol. En este proceso la energía radiante del sol se transforma primero a energía química y luego a energía mecánica. La Figura 3 muestra un ejemplo del flujo de energía en un ecosistema.

Figura 3
Flujo de Energía en un Ecosistema



El sol puede ser considerado como una bomba de hidrógeno en continua explosión, la cual libera una gran cantidad de energía en la forma de ondas electromagnéticas. El proceso mediante el cual las plantas poseedoras de clorofila usan la energía del sol para convertir dióxido de carbono y agua en azúcares se denomina *fotosíntesis*. La ecuación generalizada para este proceso es:



La actividad fotosintética y las tasas de fijación del dióxido de carbono en las plantas puede ser estimadas en un número de formas distintas, incluyendo las tasas de remoción y producción de CO_2 , así como las tasas de acumulación de compuestos intermedios en el procesos de fotosíntesis.

2.1 Estimaciones de Producción Primaria

El término **productor primario** (aquel que está involucrado en la **producción primaria**) es usado para designar a cualquier organismo autotrófico que es capaz de utilizar directamente la energía radiante del sol. Esto incluye a aquellos organismos capaces de realizar fotosíntesis. Una serie de definiciones relevantes para este tópico se incluyen a continuación:

- Un **autotrófico** es un organismo que obtiene su carbono desde una fuente inorgánica (CO_2 , H_2CO_3). Un **fotoautotrófico** toma su energía desde el sol y un **quemoautotrófico** lo toma desde reacciones químicas inorgánicas.
- Un **heterotrófico** es un organismo que obtiene su carbono y su energía desde materia orgánica.
- Un **quemotrófico** es un organismo que obtiene su energía de la oxidación de compuestos inorgánicos simples, tales como FeS y H_2S , y su fuente de carbono desde materia orgánica o inorgánica. Los quemotróficos son relativamente insignificantes dentro de un ecosistema, pero tienen un rol significativo en el movimiento de minerales en el ecosistema.
- La **cadena alimenticia** es un patrón, idealizado, de flujo de energía en un ecosistema natural. En la cadena alimenticia clásica las plantas son comidas por consumidores primarios, mientras que los consumidores primarios son comidos por los secundarios.
- La **mallá alimenticia** es el patrón de consumo real dentro de un ecosistema natural. Un organismo cualquiera puede obtener su alimento desde distintos niveles tróficos, lo que da origen a una compleja red de transferencias de energía.
- La **productividad** es la tasa de fijación de energía en los tejidos. Productividad primaria se refiere a plantas, mientras que la secundaria corresponde a un nivel trófico superior.
- Los **niveles tróficos** son niveles de alimentación. Una planta que obtiene su energía desde el sol ocupa el primer nivel trófico (autotrófico). Un organismo que consume los tejidos de un autotrófico ocupa el segundo nivel (herbívoro), mientras que el organismo que se alimenta de los herbívoros está en el tercer nivel trófico (carnívoro).
- **Transpiración** es la evaporación controlada de vapor de agua desde la superficie de las plantas.

2.2 Cadena Alimenticia y Niveles Tróficos

La secuencia de consumo desde los organismos autotróficos hasta los carnívoros representa la secuencia de las cadenas alimenticias, en las cuales cada eslabón es dependiente para su alimento (energía) de los eslabones anteriores. Estas posiciones a lo largo de las cadenas alimenticias se denominan **niveles tróficos**. A menudo, los límites de estos niveles no son muy claros. Muchos animales encuentran alimento que es adecuado a su tamaño y características específicas en diferentes niveles tróficos. Para describir la red de varios niveles tróficos se ha usado el término **mallá alimenticia**, un ejemplo del cual se presenta en la Figura 4.

Al considerar el flujo y la utilización de energía en la cadena alimenticia es claro que el movimiento de energía en el ecosistema es en una sola dirección. A medida que se mueve progresivamente a través de los distintos niveles tróficos no está disponible para los niveles anteriores. Las relaciones entre varios niveles tróficos pueden ser expresadas por medio de las **pirámides de productividad** (ver Figura 5).

Figura 4
Ejemplo de Malla Alimenticia

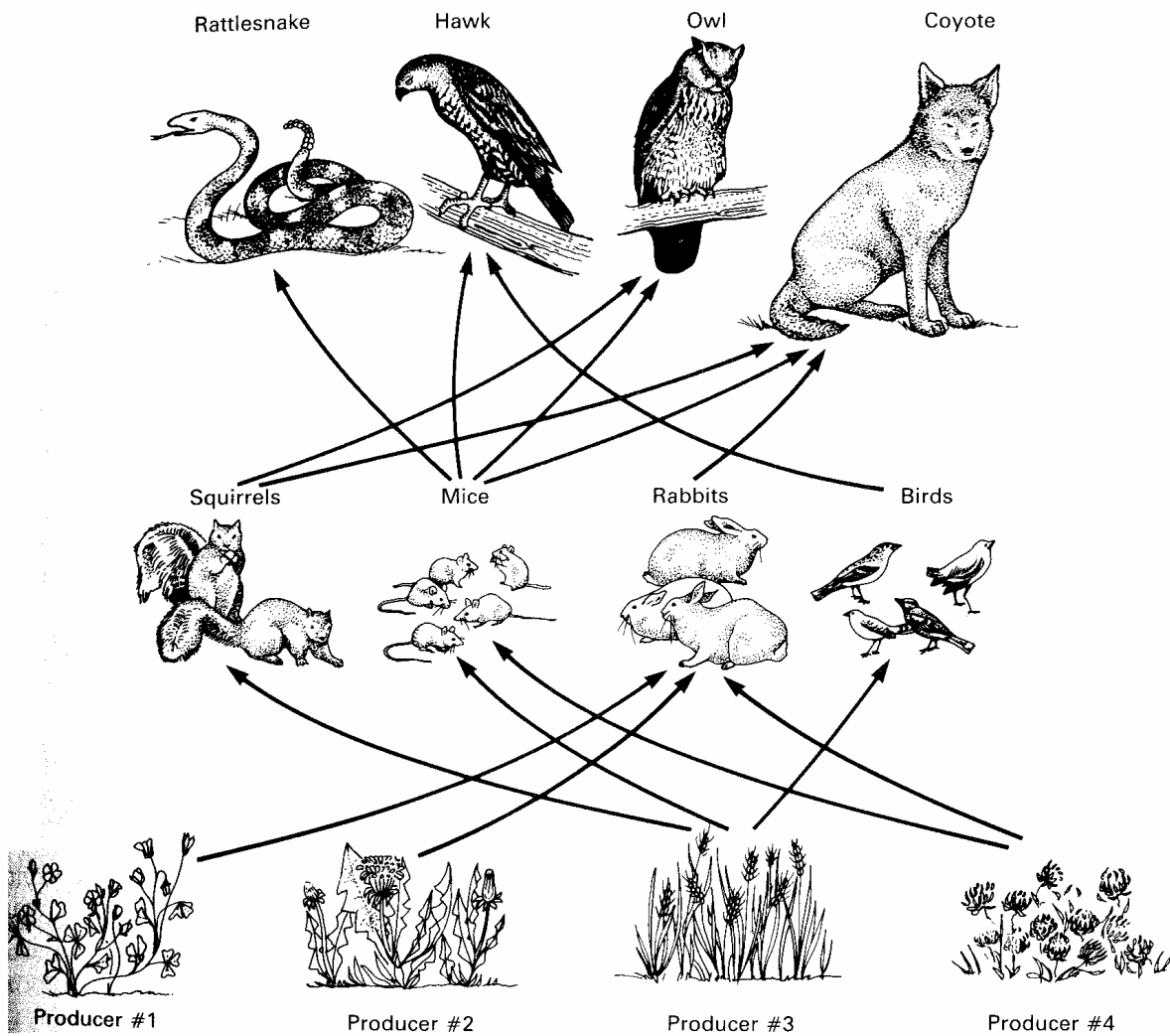
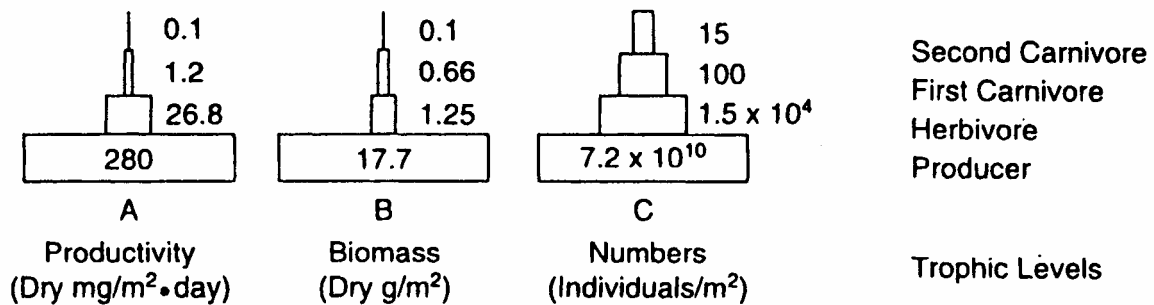


Figura 5
Pirámides de Productividad en una Poza Experimental



Debido a que cada carnívoro tiene que consumir un gran número de herbívoros para mantenerse a si mismo, y que a su vez cada uno de esos herbívoros debe consumir organismos autotróficos en una cantidad superior a su propia biomasa, algunas sustancias no biodegradables entran a la cadena alimenticia donde son magnificadas al pasar de un eslabón de la cadena trófica a otro. Esto ha producido una serie de bien conocidos problemas ambientales ocurridos en la últimos 20 a 30 años. El mejor ejemplo de esto es la biomagnificación de pesticidas orgánicos, tales como el DDT. La concentración de DDT puede ser aumentada miles de veces en los tejidos grasos de animales y aves carnívoras. El DDT puede entrar a los cuerpos de agua debido al drenaje desde tierras agrícolas, debido a su aplicación aérea, y por su adición deliberada a cuerpos de agua para eliminar mosquitos (ver Tablas 1 y 2). Definamos el Factor de Concentración como el aumento de la concentración en un compuesto debido a la biomagnificación.

$$FC = \frac{\text{Concentración en Compartimento}}{\text{Concentración en agua}} \quad (2)$$

Tabla 1
Factores de Concentración de Niveles de Cadmio en el Agua

Cadmio en el agua (mg/L)	0.01	0.0025	0.05	0.010
Plantas flotantes	21,000	25,000	31,000	31,000
Semillas de pato	120,000	155,000	140,000	48,000
Jacinto acuático				
raíces	42,000	50,000	27,000	17,000
hojas	7,000	7,000	7,000	4,000
Zooplankton		2,600	16,600	6,000
Caracoles				
tejido	22,000	22,000	6,000	19,000
caparazón	800	2,000	400	1,000
Peces	600	600	2,600	700
Sedimento	10	36	11	25

Tabla 2
Acumulación de DDT en la Cadena Alimenticia (Lago California)

Cadena Alimenticia	DDT (ppm)	Factor de Concentración
Agua	0.00005	1
Plancton	0.04	800
Peces pequeños	0.094	18,800
Peces depredadores	1.33	26,600
Aves (pequeños peces)	3.91	78,200
Aves (carroñeras)	6.00	120,000
Patos	22.6	460,000

Debido a que somos el último eslabón en la cadena alimenticia los seres humanos somos también los receptores de una acumulación de sustancias tóxicas en nuestra comida.

3. CICLOS DE NUTRIENTES

El suministro de nutrientes, además del CO_2 , proviene principalmente del suelo, pero también desde el aire, la lluvia y nieve, así como el polvo ambiente. El suministro de muchos nutrientes es bastante limitado debido a que ellos son escasos en el suelo y otras fuentes. Los nutrientes son reciclados de tal manera que ellos son incorporados en plantas y animales, o están disponibles para las plantas a partir de la descomposición de plantas y animales muertos. Los caminos, desde las fuentes a los sumideros y nuevamente a las fuentes, son denominados **ciclos elementales**, y son diferentes entre varios elementos. Un ejemplo genérico de un ciclo de nutrientes se presenta en la Figura 6, mientras que un ejemplo del flujo de agua en un ecosistema (o ciclo hidrológico) se presenta en la Figura 7.

En este apunte consideraremos en forma muy reducida los tres ciclos de nutrientes más importantes: carbono, nitrógeno y fósforo.

Figura 6
Ejemplo de Ciclo de Nutrientes

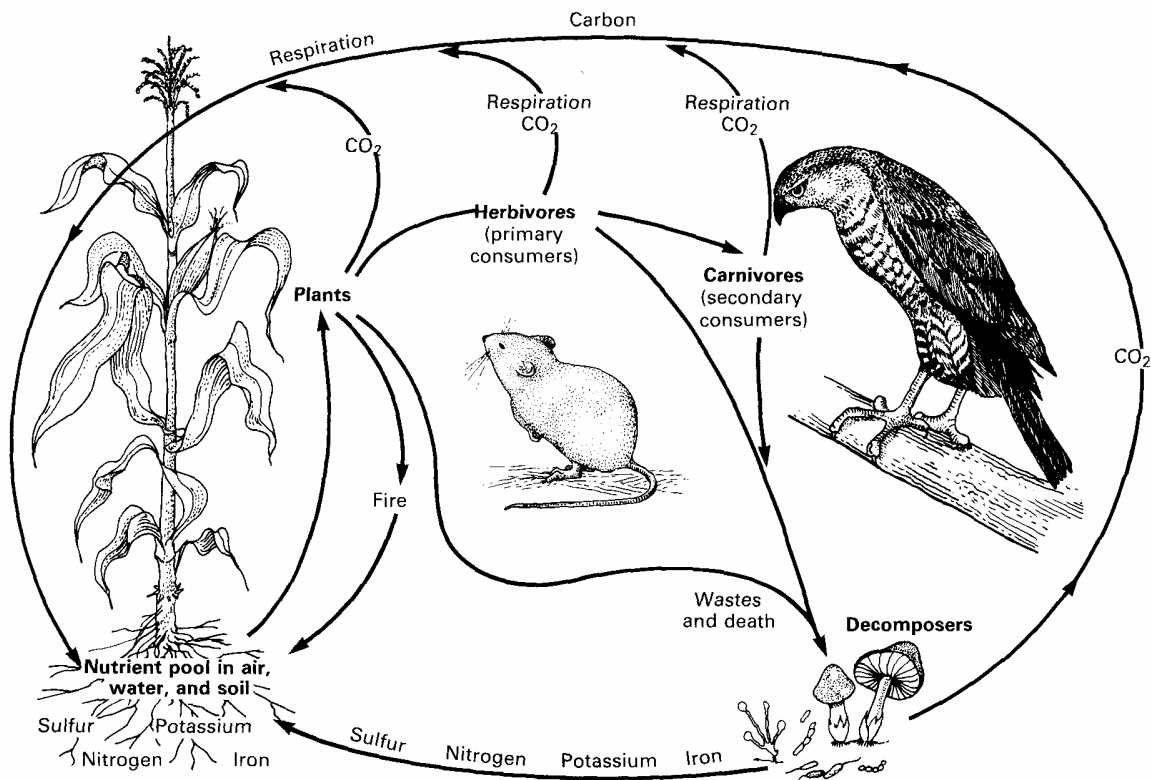
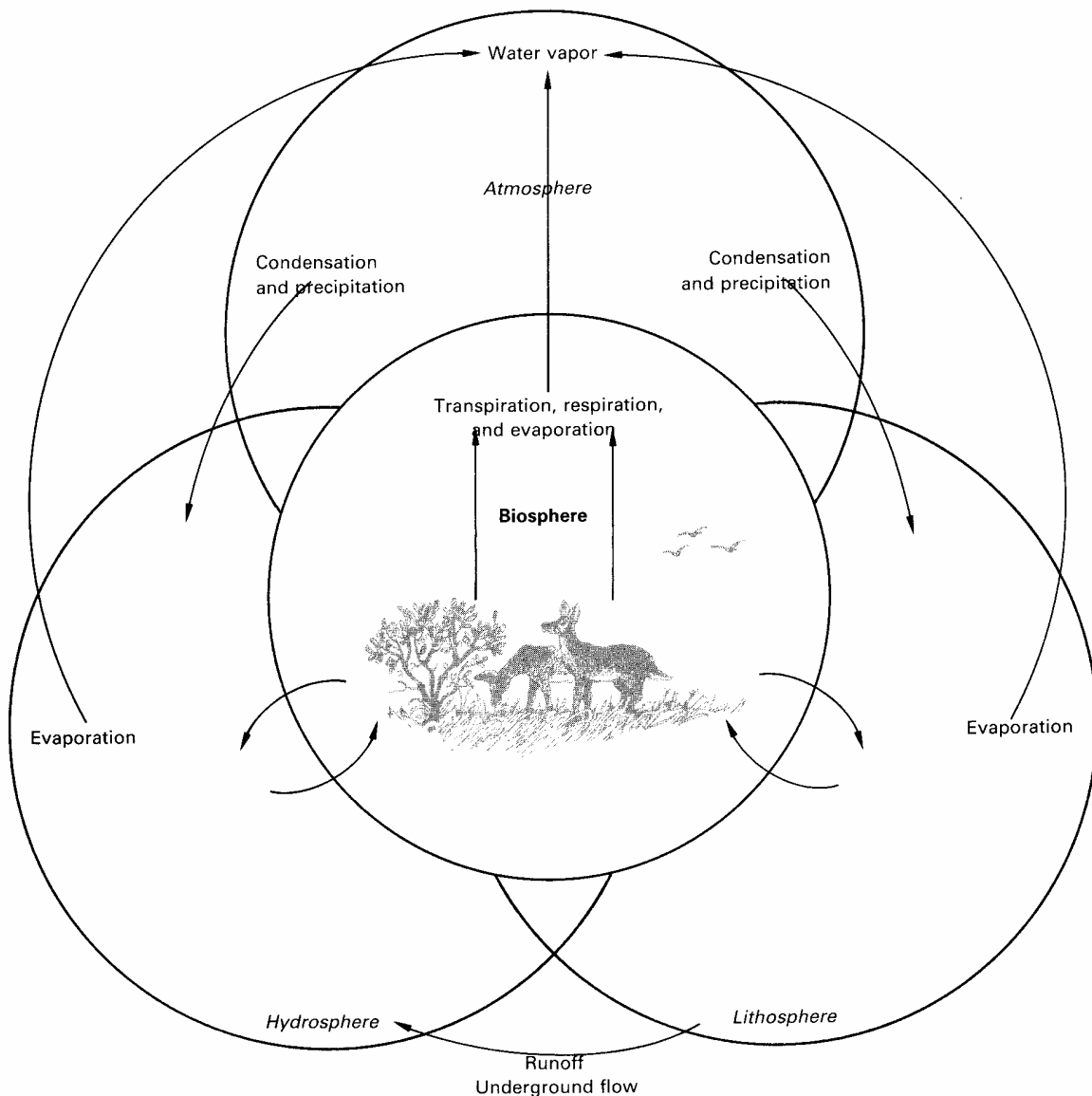


Figura 7
Ciclo Hidrológico



3.1 Ciclo del Carbono

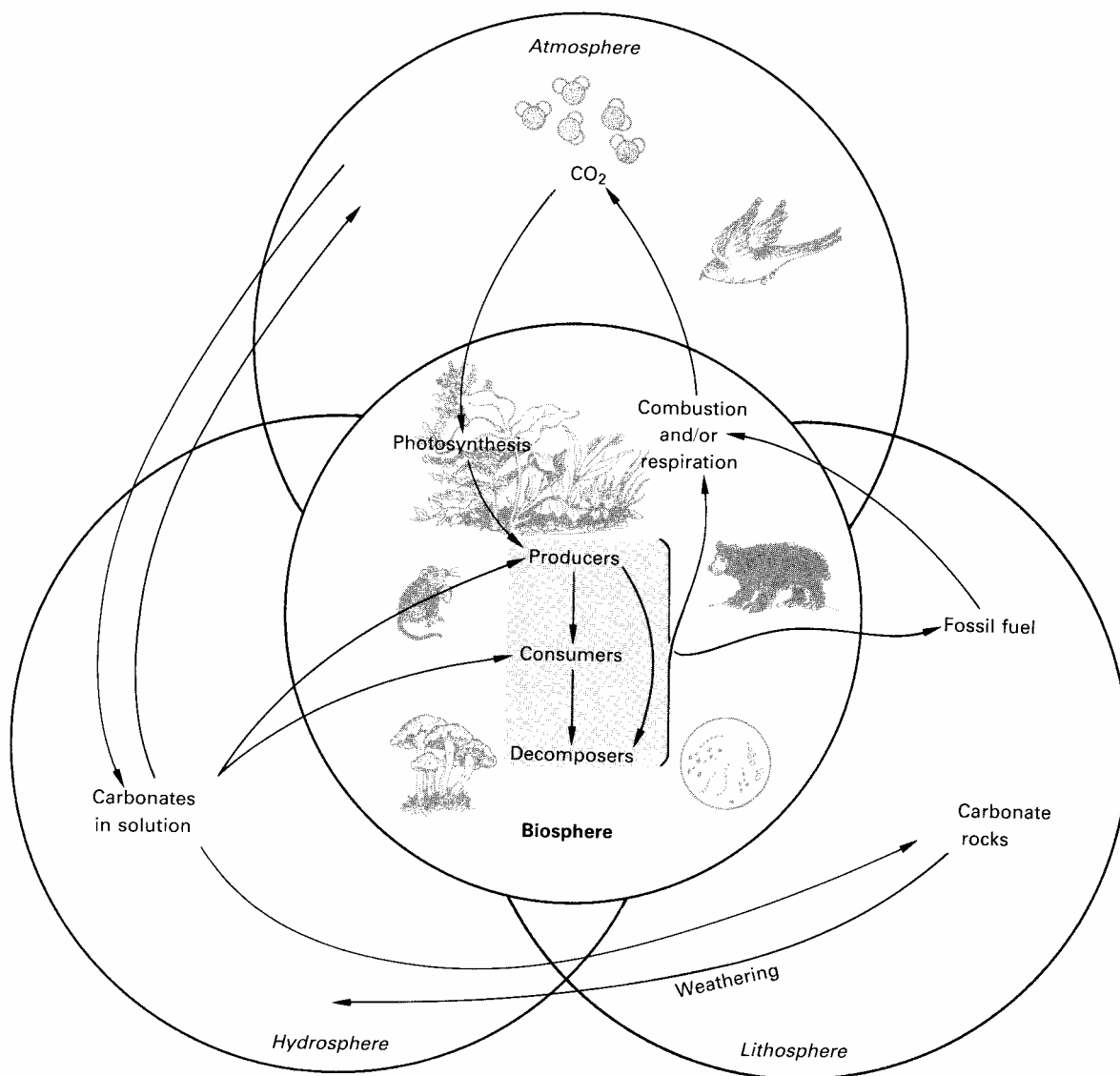
El carbono se requiere en grandes cantidades como un bloque básico para toda la materia orgánica. La última fuente de carbono para la materia orgánica es el dióxido de carbono, el que es convertido en materia orgánica durante la fotosíntesis.

En la naturaleza, el movimiento de carbono es desde el dióxido de carbono atmosférico hacia las plantas verdes y a otros consumidores, y desde ambos grupos hacia los organismos de descomposición microbiana. Algas y bacterias autotróficas también incorporan o fijan carbono desde el CO_2 atmosférico, produciendo carbohidratos y otras sustancias orgánicas complejas. Estos son distribuidos a través de la cadena alimenticia y forman los tejidos de organismos

vivos. Combustibles fósiles, rocas carbonatadas, y dióxido de carbono disuelto en los océanos son las mayores fuentes adicionales de carbono, a pesar que las primeras dos no son directamente accesibles por plantas y animales. Estas dos fuentes de carbono quedan disponibles únicamente luego de la quema de combustibles fósiles y a través de la transformación de carbonato insoluble en bicarbonato soluble debido a la acción de bacterias.

El retorno de dióxido de carbono al embalse atmosférico se consigue en un número de formas distintas. La más conocida de estas formas es a través del proceso respirativo de animales y seres humanos. Sin embargo, la forma más común es a través de la actividad de hongos y bacterias que usan los organismos muertos como alimento. De esta manera, ellos oxidan el material muerto, directamente o en un cierto número de etapas, con CO_2 y H_2O como productos finales. Otra fuente de CO_2 es aquel producido debido a incendios forestales y a la combustión de combustibles fósiles. Un esquema general del ciclo del carbono se presenta en la Figura 8.

Figura 8
Ciclo del Carbono



La componente geológica del ciclo del carbono incluye:

- (1) la acumulación, descomposición lenta, y la compactación de materiales formando carbón y petróleo,
- (2) la acumulación y compactación de caparazones de animales y esqueletos de diatomeas formando rocas carbonatadas. Carbonato de calcio (CaCO_3) puede ser también precipitado en aguas frescas cuando las algas remueven CO_2 desde el agua, incrementando el pH .

La descarga de aguas residuales domésticas y residuos industriales puede contribuir con grandes cantidades de carbono a las aguas receptoras. La necesidad de reducir la materia orgánica en estas aguas residuales es una de las principales razones para tratamiento de aguas.

3.2 Ciclo del Nitrógeno

Otro importante ciclo de nutrientes es aquel del nitrógeno, el que se muestra esquemáticamente en la Figura 9. Nitrógeno es un elemento muy importante para toda la vida. Las proteínas, que son las constituyentes de todas las células vivas, contienen un promedio de 16% de nitrógeno en peso. Otras sustancias nitrogenadas importantes para la vida son los ácidos nucleicos y los aminoácidos. Sin un continuo suministro de nitrógeno la vida en la tierra cesaría.

El ciclo del nitrógeno es similar al del carbono, con algunas diferencias importantes. A pesar que el 79% de la atmósfera de la tierra es compuesta de nitrógeno elemental (N_2), este gas inerte no está disponible para las plantas y animales. Esto es totalmente diferente al caso del CO_2 el que, a pesar de su poca concentración (0.03%, o 330 ppmv) en la atmósfera, está disponible para su ingesta por plantas. Sólo un muy reducido número de microbios son capaces de “fijar” nitrógeno atmosférico desde su forma inorgánica y convertirlo en orgánico.

El nitrógeno entra a la cadena alimenticia productor-consumidor cuando las plantas lo toman desde el suelo como nitratos (NO_3^-) o como ión amoníaco (NH_4^+). A su vez, el nitrato puede ser convertido a amoníaco por las **bacterias denitrificadoras** en el suelo. Esta conversión ocurre en condiciones de bajo nivel de oxígeno en lagos y sistemas de aguas subterráneas. Este proceso se denomina **denitrificación**.

Las bacterias **nitrificadoras** pueden usar el amoníaco como fuente de energía para sintetizar su propio protoplasma. Si este procesos se llegar a producir lo es muy lentamente y bajo condiciones ácidas. Primero, el amoníaco es convertido a nitrito (NO_2^-) por las bacterias **Nitrosomonas**, y el nitrito es convertido en nitrato por las bacterias **Nitrobacter**. Este procesos en dos etapas se denomina **nitrificación**.

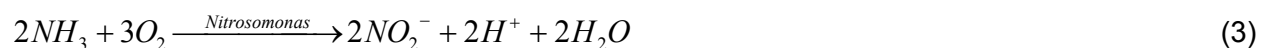
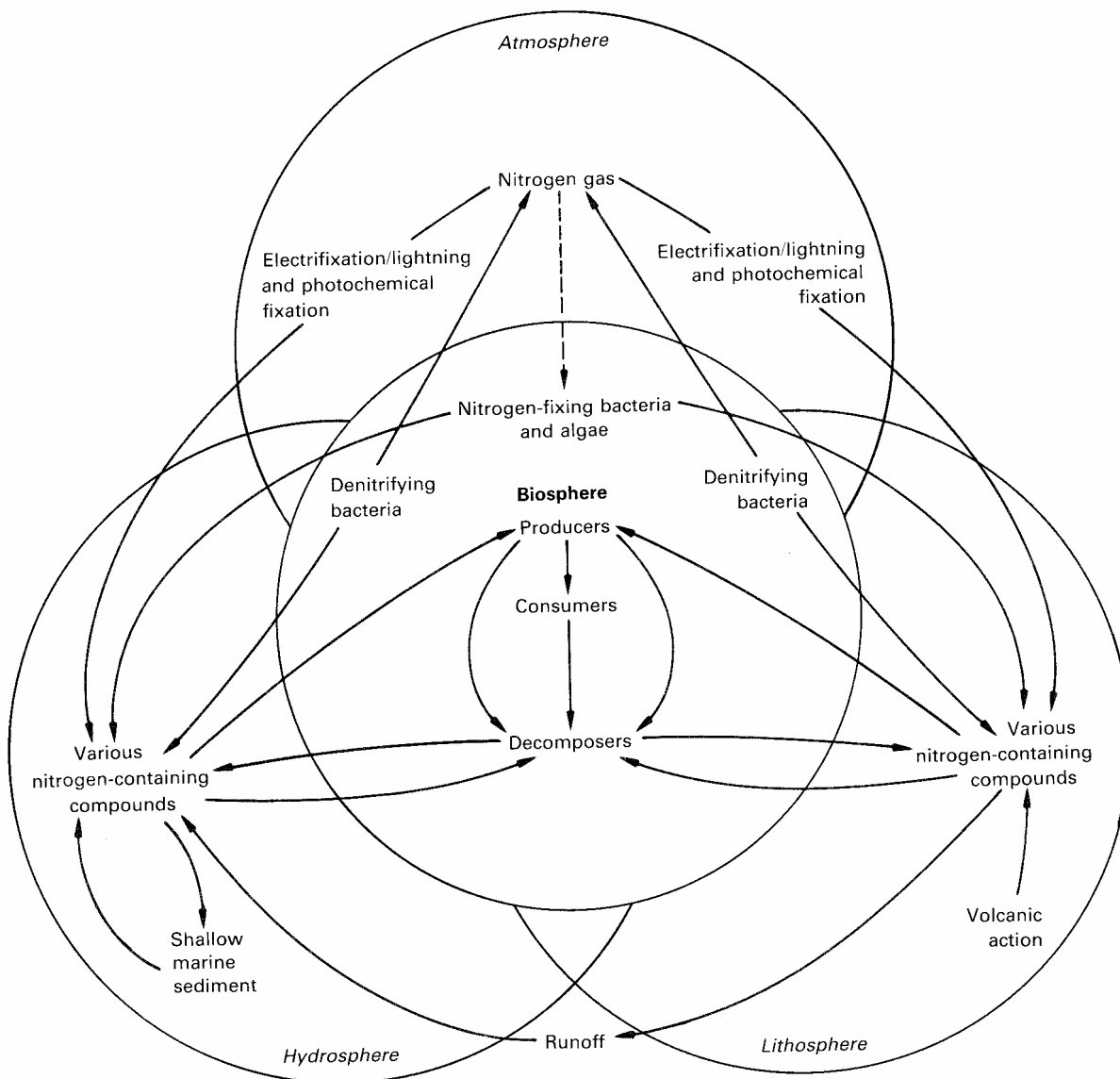


Figura 9
Ciclo del Nitrógeno



3.3 Ciclo del Fósforo

El ciclo del fósforo, particularmente en el sistema acuático, es de especial interés para científicos e ingenieros ambientales. El fósforo, un elemento esencial para el crecimiento, se encuentra en muy poca cantidad en ríos y lagos, mientras que carbono y nitrógeno son mucho más abundantes. Debido a este motivo, el excesivo crecimiento de algas y semillas acuáticas en ríos y lagos puede ser, a menudo, reducido o prevenido al limitar el fósforo descargado en estos sistemas. De esta forma el fósforo se transforma en un **factor limitante**.

El fósforo ocurre en suelos y rocas como fosfato de calcio ($Ca_3(PO_4)_2$) y como hidroxiapatita ($Ca_5(PO_4)_3(OH)$). Dado que el fosfato es muy insoluble, muy pequeñas cantidades de fósforo

son incorporadas en solución. Debido a que el fósforo es requerido para todos los procesos de vida, su concentración en sistemas naturales es reducida por la actividad biológica en los cursos de agua. Debido a cambios estacionales en la producción animal y vegetal, y debido a los elevados niveles de fósforo en el agua natural producto de la escorrentía superficial, la concentración de fósforo en el agua varía en forma marcada durante el año.

La incorporación de fósforo al ecosistema por las actividades humanas puede ser mucho mayor que la debida a causas naturales. Aguas residuales domésticas contienen fósforo debido al material fecal y a los detergentes comerciales usados comúnmente. Escorrentía superficial desde áreas agrícolas incorpora el fósforo presente en fertilizantes. La concentración de fósforo disponible en las aguas naturales debido a las fuentes indicadas anteriormente contribuye al crecimiento de algas filamentosas, las que pueden provocar problemas de olores en las fuentes de agua y pueden tapar los filtros usados para tratar las aguas naturales.

El fósforo es un constituyente de los ácidos nucleicos, fosfolípidos, y numerosos otros compuestos naturales. Para su nutrición las plantas y bacterias requieren fósforo en la forma de fosfato (disuelto), generalmente como ortofosfato (PO_4). Ellos lo asimilan directamente, convirtiendo el PO_4 a la forma orgánica (insoluble) en su protoplasma. El decaimiento de estos organismos disuelve y libera (mineraliza) el fósforo para su reuso. Sin embargo, en lagos, la mayor parte del fosfato es removida desde el agua por el sedimento, lo que lo elimina del ciclo de circulación temporal. Una simplificación del ciclo del fósforo se presenta en la Figura 10. Las líneas sólidas representan las más importantes vías de intercambio, mientras que las segmentadas representan flujos de menor importancia. Fósforo orgánico particulado es contenido dentro de células vivas y muertas, y parte del fósforo orgánico disuelto en el agua se deriva de este material orgánico por descomposición.

Figura 10
Ciclo del Fósforo

