

FLUJO DE ENERGÍA Y MATERIA EN LOS ECOSISTEMAS

- 1 La energía en los ecosistemas
 - 1.1 Leyes de la energía
 - 1.2 Síntesis de la materia orgánica
 - 1.3 Transferencia de la materia dentro del ecosistema
 - 1.4 Medidas de la productividad biológica y eficiencia energética
- 2 Los ciclos biogeoquímicos

1 LA ENERGÍA EN LOS ECOSISTEMAS

De la misma forma en que la materia se transfiere o fluye a través de los diferentes niveles tróficos, fluye la energía. La diferencia esencial entre los flujos de materia y energía es que la circulación de materia entre los organismos y el ambiente puede realizarse infinitas veces, pero en el caso de la energía. Ésta fluye en un solo sentido, es decir, es tomada por los diferentes organismos y procesada con grandes pérdidas de calor radiado al exterior en cada transferencia. Los procesos involucrados en la transferencia de materia y energía dentro de los ecosistemas naturales y aquellos con diversos grados de artificialización son los mismos. Las diferencias están en las importancias relativas de cada proceso y su control por parte del hombre.

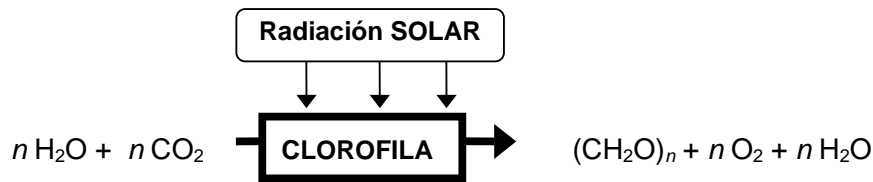
1.1 Leyes de la energía

El comportamiento de la energía es regido, básicamente, por dos leyes conocidas como **Leyes de la Termodinámica**. La primera ley de la termodinámica establece que la energía puede cambiar de una forma (como la luz) a otra (como la materia orgánica), pero nunca se crea o destruye. La segunda ley (llamada ley de la entropía) establece que todo proceso que implique una transformación de energía se produce por una degradación de la misma energía, desde una forma concentrada (como por ejemplo, materia orgánica) a una forma dispersa (como por ejemplo calor). En virtud de que parte de la energía siempre se dispersa en energía calorífica irre recuperable, ninguna transformación espontánea puede ser 100% eficiente. En contraste con lo que ocurre con la materia, la energía no puede ser reutilizada.

1.2 Síntesis de materia orgánica

La **fotosíntesis** constituye el proceso básico de la productividad biológica. A través de este proceso, el carbono atmosférico (CO₂) es asimilado y transformado en materia orgánica. Los organismos capaces de reducir el carbono atmosférico son llamados **autótrofos**. Los organismos autótrofos se dividen en dos categorías: fotoautótrofos y quimioautótrofos. Dentro de los **fotoautótrofos**, los vegetales son los más importantes, pero también se incluyen en esta categoría las algas, las cianobacterias o algas verde-azules y las bacterias fotosintéticas. Los **quimioautótrofos** son bacterias que emplean la energía liberada en la oxidación de los compuestos minerales, para reducir el CO₂.

Desde el punto de vista químico, el proceso fotosintético puede resumirse de la siguiente manera:



1.3 Transferencia de la materia dentro del ecosistema

La materia orgánica sintetizada por los autótrofos es transferida a los organismos **heterótrofos** que forman parte del ecosistema. Las **cadena trófica** o **de los alimentos** son el resultado de los procesos de transferencia de materia orgánica o energía alimenticia, desde su origen en los seres autótrofos o restos orgánicos, a través de los demás organismos del sistema. Algunos organismos consumen a los autótrofos y son a su vez consumidos por otros organismos dando lugar a la **cadena del pasto**. Por otra parte, la **cadena del detrito** se inicia con los restos orgánicos (deyecciones, hojas y ramas muertas, cadáveres, etc.) consumidos por organismos saprófagos. Ambas cadenas se encuentran entrelazadas. La **trama trófica** o **red trófica** es la compleja interconexión que existe entre las cadenas tróficas dentro de un ecosistema.

Hallamos dos grandes categorías de organismos heterótrofos:

- a) **biófagos** o **macroconsumidores** (herbívoros, carnívoros y omnívoros);
- b) **saprófagos** o **detritívoros** o **microconsumidores** (hongos y bacterias, designados propiamente **desintegradores** o **descomponedores**; micro y mesofauna también conocidos como **recuperadores**).

1.4 Medidas de la productividad biológica y eficiencia energética

Existen diferentes formas de estimar la productividad biológica de un ecosistema, lo cual permite la comparación de diferentes ecosistemas. Algunos de los parámetros que se emplean con el fin referido, son:

- **Productividad Primaria Bruta (PPB)**, o fotosíntesis total, es la cantidad de energía fijada por una comunidad vegetal en una superficie y tiempo determinados;
- **Productividad Primaria Neta (PPN)**, es la diferencia entre la Productividad Primaria Bruta (PPB) y el gasto energético en respiración que realizan los componentes autótrofos del ecosistema (plantas), destinado al mantenimiento de sus procesos vitales y al crecimiento (R_A).

$$\text{PPN} = \text{PPB} - R_A;$$
- **Productividad Neta del Ecosistema (PNE)**, es la diferencia entre la Productividad Primaria Neta (PPN) y el gasto energético en respiración (R_H) de los componentes heterótrofos del ecosistema (consumidores y descomponedores); también se puede calcular como la diferencia entre la Productividad Primaria Bruta (PPB) y el gasto energético total en respiración, de todos los componentes vivos del ecosistema (R_{tot}).

$$\text{PNE} = \text{PPN} - R_H; \quad \text{PNE} = \text{PPB} - R_{\text{tot}};$$
- **Biomasa**, es la cantidad total de materia viva presente en un momento dado en un sistema biológico.

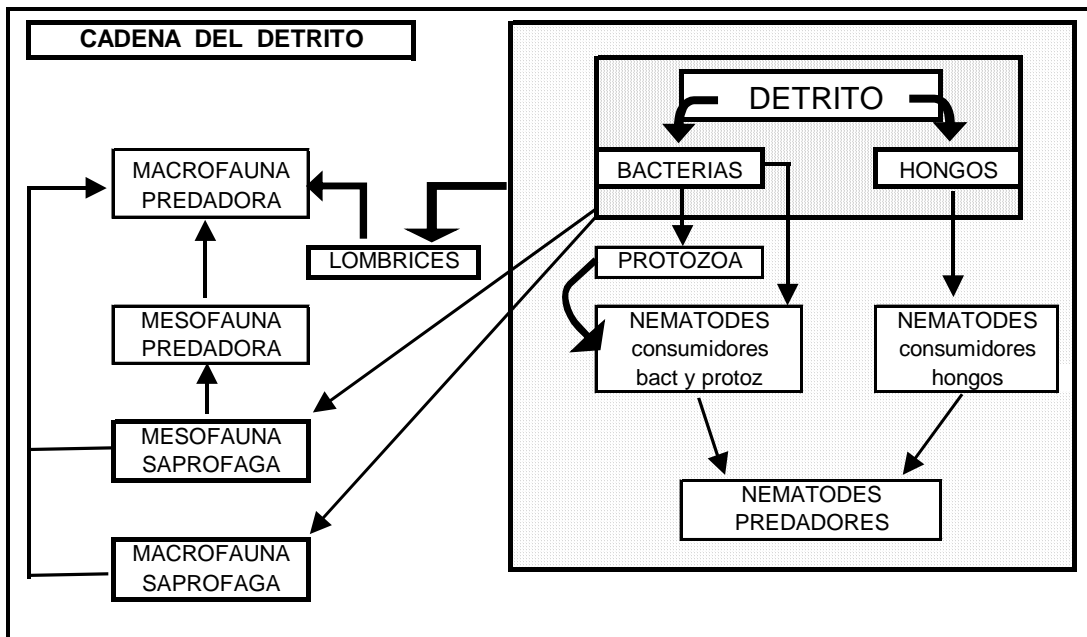
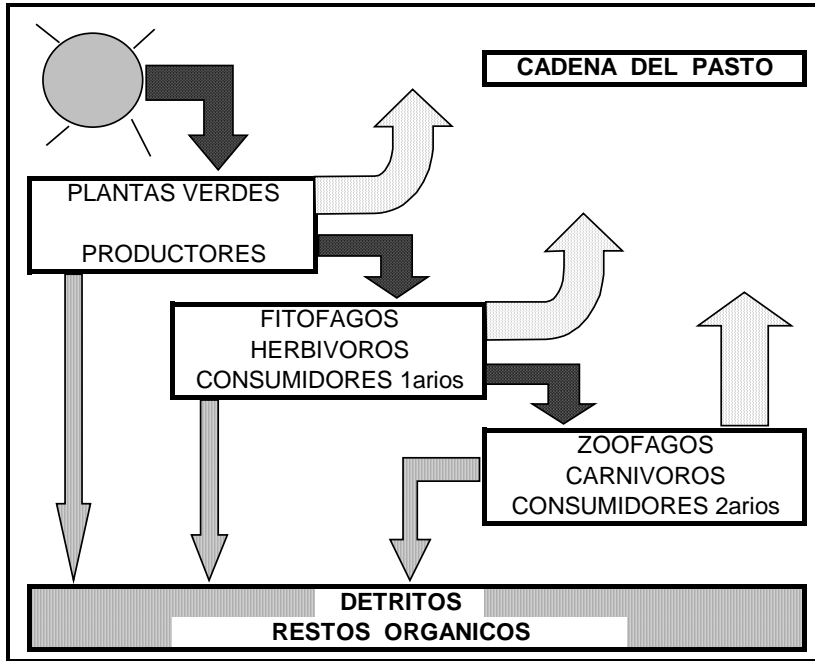
La **eficiencia trófica** o **ecológica** es la eficiencia con que los materiales se transfieren e incorporan desde un nivel trófico al siguiente. En cada traspaso de materia se pierde una gran proporción de la energía potencial de esa materia en forma de calor. Estas pérdidas alcanzan en promedio un 90%. Cuanto menores son las pérdidas, mayor es la eficiencia trófica.

Los componentes de la eficiencia ecológica son tres: la eficiencia de consumo ($=C/D$), de asimilación ($=A/C$) y de producción ($=P/A$). La eficiencia ecológica surge de multiplicar estas 3 eficiencias parciales. Los valores determinados en diferentes ecosistemas varían entre 2 y 24%.

Del total de energía disponible en un nivel trófico (D), una parte se consume o ingresa a los organismos (C), otra no es utilizada (no C). No toda la energía consumida es metabolizada o asimilada (A), sólo una fracción mientras que la restante porción no se metaboliza o asimila (no A) y es retornada a la cadena como desechos (ej. heces). Del total de energía efectivamente asimilada sólo una parte se convierte en producción real (neta) de dicho nivel trófico (P), es decir ganancia de nueva materia viva que queda disponible para el próximo nivel trófico. La mayor parte restante de energía asimilada se destina al mantenimiento de la biomasa ya existente y al gasto que representa formar la nueva materia; representa los costos respiratorios.

Los valores indicativos de estas eficiencias se presentan en la tabla a continuación. El bajo valor comparativo (1-2%) de la eficiencia de producción en vertebrados, corresponde a aquellos de sangre caliente (endo o homotermos), ya que el mantenimiento de la temperatura corporal tiene un costo energético alto.

EFICIENCIA %	PLANTAS VERDES	HERBÍVOROS	CARNÍVOROS	INVERTEBRADOS	VERTEBRADOS
CONSUMO	50	5 - 25	25 - 50	-	-
ASIMIL.	0.01 - 5	20 - 50	80	-	-
PRODUC.	40 - 60	-	-	30 - 40	10 1 - 2



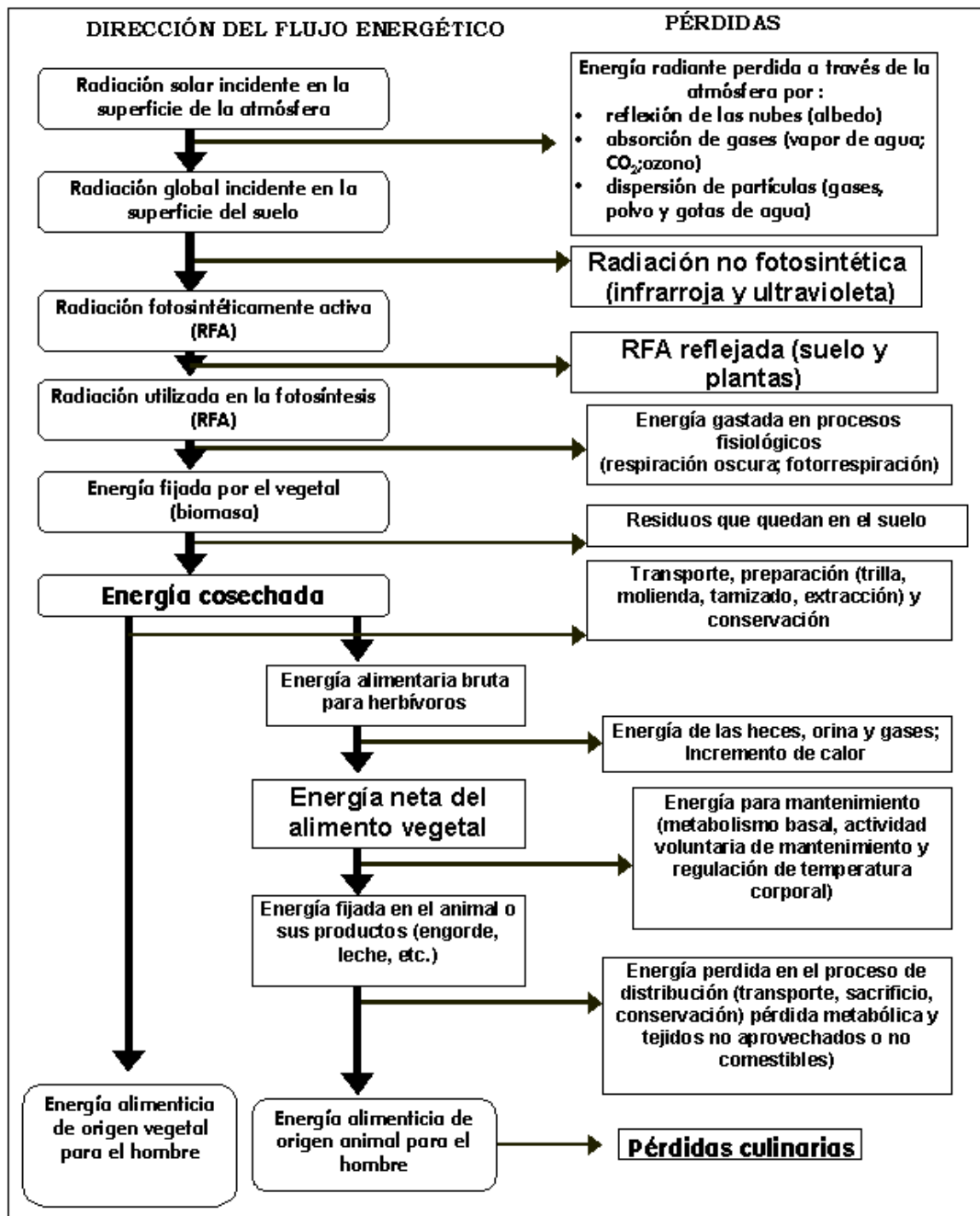


Diagrama del flujo energético y de las pérdidas de energía en la producción agraria (adaptado de González, 1980)

2 LOS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Los seres vivos están formados fundamentalmente por carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno que, en conjunto, suponen más del 95% de peso de los seres vivos. El resto corresponde a fósforo, azufre, calcio, potasio, magnesio, hierro, y una quincena aproximada de elementos traza (ej. manganeso, cloro; zinc; molibdeno, boro, cobre, yodo, silicio, cobalto, sodio) presentes en cantidades muy pequeñas, aunque todos ellos esenciales para el metabolismo general o de algún grupo de organismos en particular (ej. vanadio es esencial para los erizos de mar).

La transferencia de los elementos químicos entre las plantas, los animales, los microorganismos y el medio físico constituyen un ciclo a nivel de la naturaleza a diferencia de la energía cuyo flujo es unidireccional. Los ciclos de los elementos mantienen una estrecha relación con el flujo de energía en el ecosistema, ya que la energía utilizable por los organismos quimiotrofos es la que se encuentra en enlaces químicos uniendo los elementos para formar las moléculas.

Los elementos químicos requeridos por los sistemas biológicos son todos estables en relación a la longevidad de los organismos (aún los radioisótopos como por ejemplo el C 14). Como consecuencia, todos los elementos son preservados a nivel de la biosfera. Aquello que varía es su distribución y las moléculas a las cuales son químicamente integrados.

Se denominan ciclos biogeoquímicos a las vías que recorren en forma continua los elementos químicos que circulan del ambiente a los organismos y de éstos al ambiente. Estos ciclos se caracterizan por presentar compartimientos o reservorios de los elementos por un tiempo más o menos largo, flujos o transferencias entre dichos compartimientos, y procesos de renovación o turnover dentro de cada compartimiento. Sólo una mínima proporción del stock entra en activa circulación, y aún menos participa en el desarrollo de los organismos.

De acuerdo a cual es su reservorio principal se clasifican en:

Ciclos Gaseosos. Aquellos en los cuales los nutrientes circulan principalmente entre la atmósfera y los organismos vivos. En estos ciclos los elementos son reciclados rápidamente, con frecuencia en horas o días. El carbono, oxígeno y nitrógeno son elementos que tienen ciclos gaseosos, o sea que su depósito principal es la atmósfera.

Ciclos sedimentarios. Aquellos en los cuales los nutrientes circulan principalmente entre la corteza terrestre (suelos, rocas y sedimentos tanto sobre la tierra como sobre los fondos marinos) y los organismos vivos. El tiempo de reciclaje en este caso alto, debido a que los elementos pueden quedar retenidos en las rocas durante miles a millones de años. El fósforo y el azufre son elementos con ciclos sedimentarios, o sea que su reservorio es la corteza terrestre.

Ciclo hidrológico. El agua no es un elemento químico en sentido estricto, pero dada su gran estabilidad molecular se estudia frecuentemente como parte de los ciclos biogeoquímicos. Interactúa fuertemente con el ciclo sedimentario.

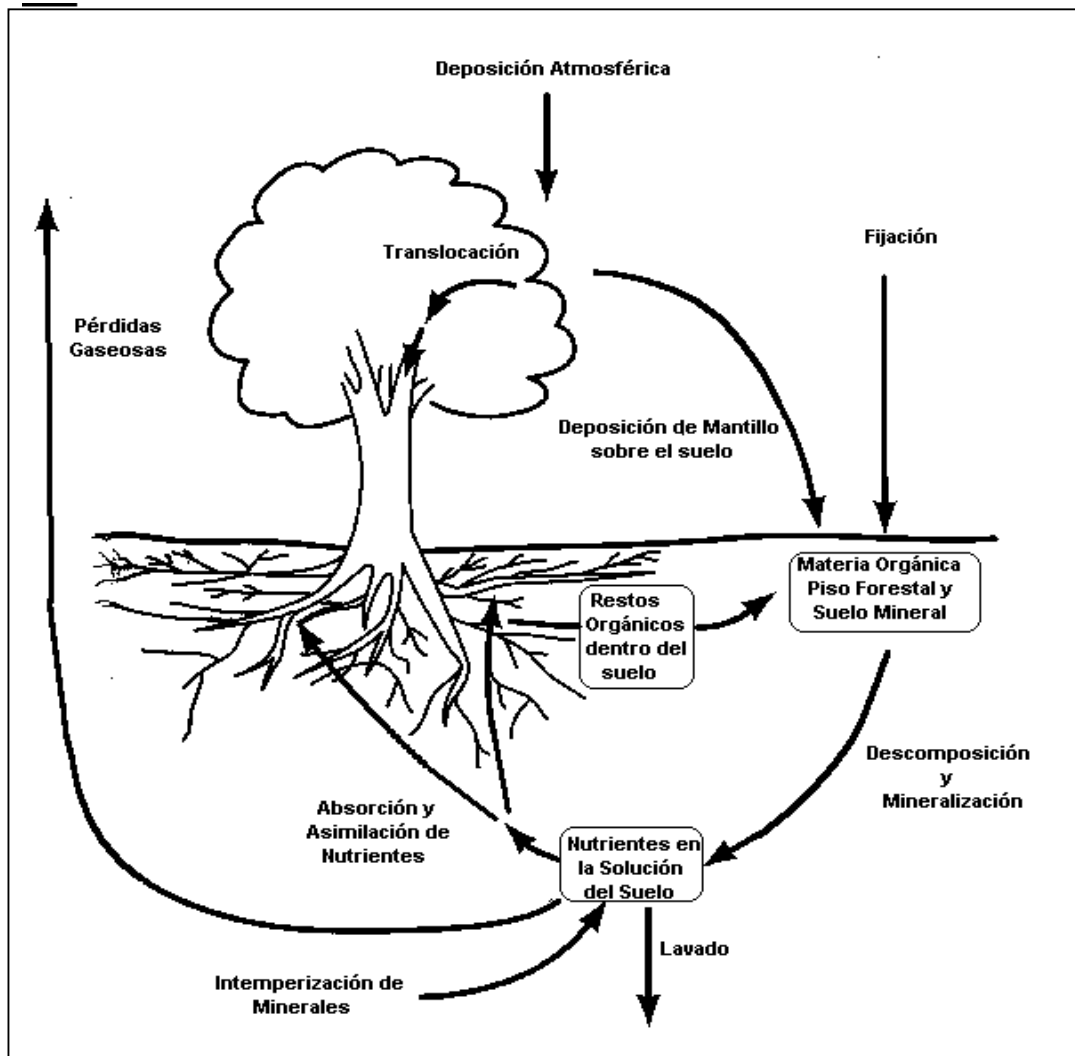
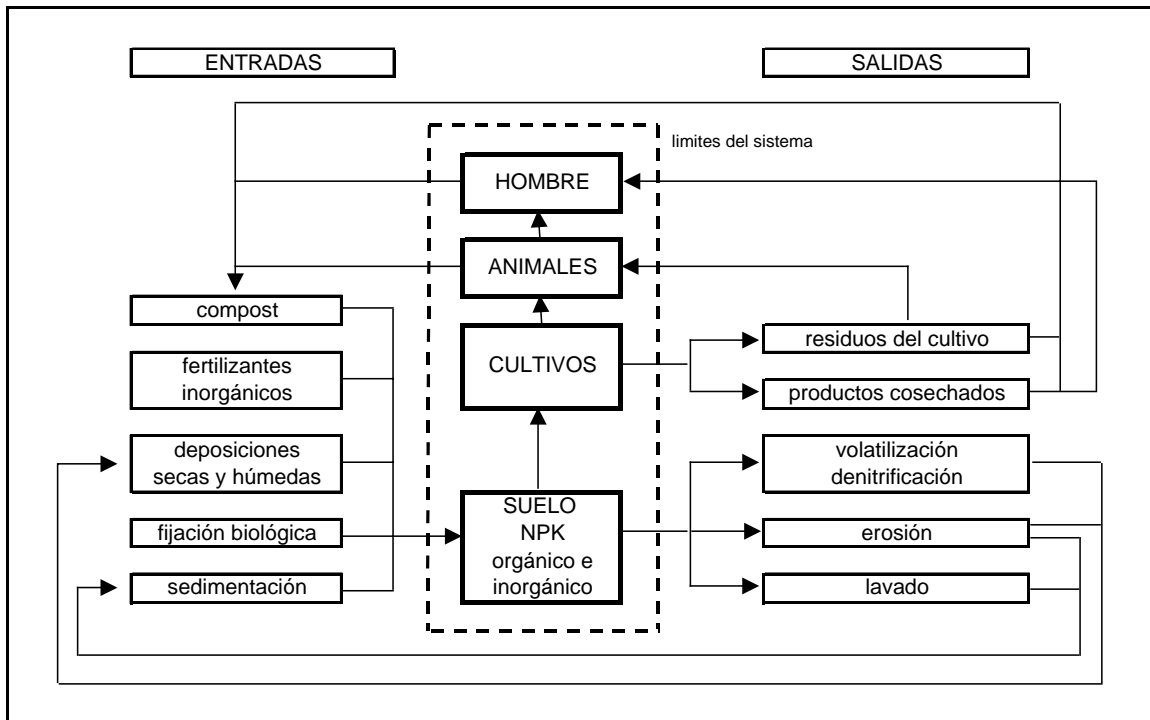
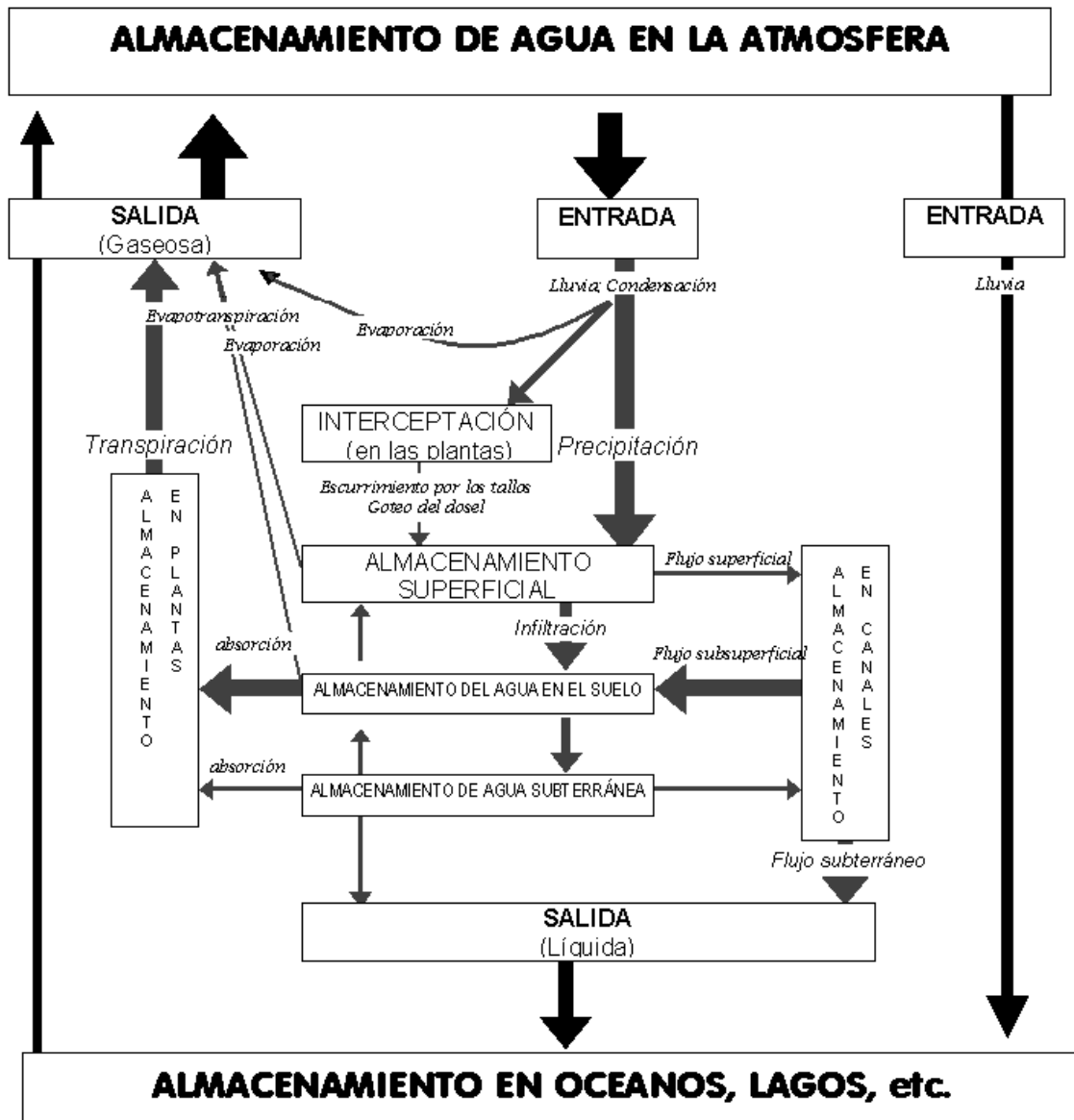


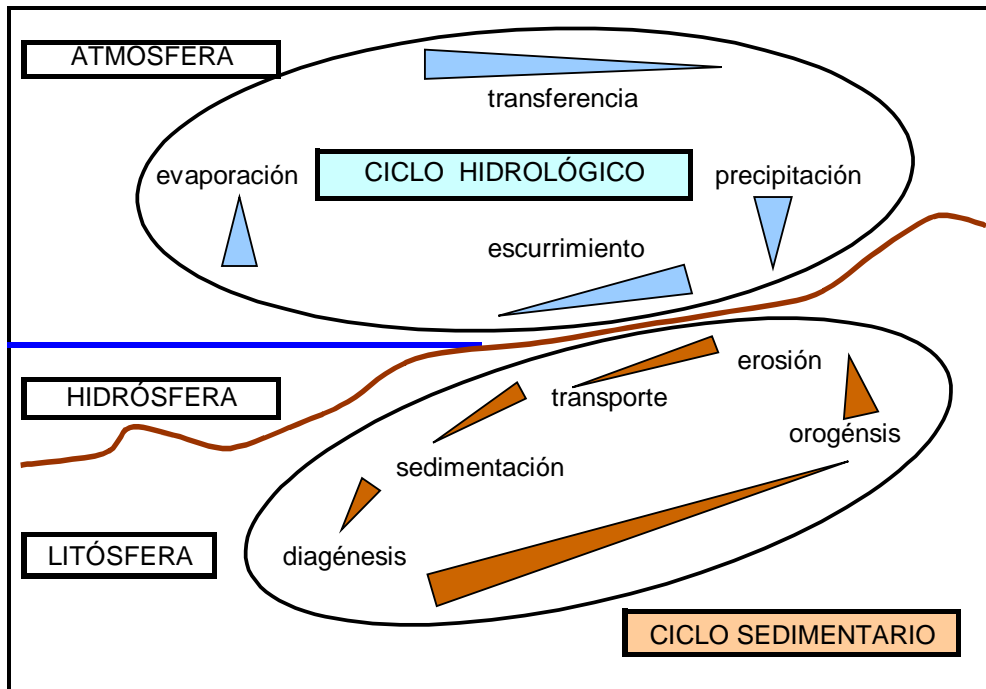
Diagrama de los procesos que controlan el flujo de nutrientes en los ecosistemas terrestres (Barnes *et al.*, 1997).



Flujos de nutrientes en un sistema agrario (Stoorvogel & Smaling, 1990)



Esquema general del ciclo hidrológico (Anderson et al., 1976).



Esquema de la interacción entre el ciclo sedimentario e hidrológico.