



**FACULTAD DE  
CIENCIAS FORESTALES**  
*Ing. Néstor René Ledesma*



**UNSE**

Universidad Nacional  
de Santiago del Estero

CÁTEDRA DE ECOLOGÍA 1

# ECOLOGÍA DE ECOSISTEMAS. APUNTES DE CLASE



Equipo docente: Dra. Selva Azucena Barrionuevo

Noviembre 2022

Barrionuevo, Selva Azucena

Ecología de ecosistemas : apuntes de clase : cátedra de Ecología 1 / Selva Azucena Barrionuevo. - 1a ed. - Santiago del Estero : Universidad Nacional de Santiago del Estero - UNSE. Facultad de Ciencias Forestales, 2023.

Libro digital, PDF

Archivo Digital: descarga y online

ISBN 978-987-8922-22-5

1. Ecología. 2. Ecosistemas. 3. Producción. I. Título.

CDD 577.07

# ÍNDICE

	Pág.
<b>1. ORIGEN DE LA CIENCIA</b> .....	2
1.1 La Ecología como ciencia .....	4
1.2 Enfoques de estudio de la Ecología .....	5
1.3 Niveles de Organización .....	7
1.4 La Ecología y sus relaciones con otras ciencias .....	9
1.5 La investigación en Ecología.....	10
1.5.1 El Método Científico aplicado a la Ecología .....	12
<b>2. LOS SISTEMAS</b> .....	18
2.1 El Ecosistema como unidad de estudio de la Ecología... ..	18
2.2 Las leyes de la Termodinámica aplicada a los sistemas. ..	19
2.2.1 Los sistemas cerrados .....	21
2.2.2 Los sistemas aislados .....	21
2.2.3 Los sistemas abiertos.....	21
2.3 El Ecosistema .....	22
2.3.1 Componentes del Ecosistema.....	24
2.4 Modelos en Ecología .....	27
2.4.1 Tipos de Modelos.....	29
2.5 Modelo energético de ODUM .....	30

<b>3. PRODUCCIÓN EN EL ECOSISTEMA</b> .....	33
3.1 Producción Primaria.....	33
3.2 Subsidio energético .....	36
3.3 Producción secundaria .....	44
3.4 Eficiencia energética en el sistema .....	46
3.5 Transferencia de Energía .....	47
3.5.1 Niveles tróficos .....	48
3.5.2 Retroalimentación de Recompensa .....	52
3.5.3 Pirámides Ecológicas .....	53
<b>4. DESCOMPOSICIÓN Y CIRCULACIÓN DE LOS NUTRIENTES</b> .....	56
4.1 La descomposición en los ambientes Acuáticos.....	63
4.2 Producción Primaria y Descomposición .....	64
4.3 Ciclos biogeoquímicos .....	66
4.3.1 El ciclo del carbono .....	69
4.3.2 El ciclo del nitrógeno .....	74
4.3.3 El ciclo del fósforo .....	80
4.3.4 El ciclo del azufre .....	81
4.3.5 Ciclo del Agua .....	83
<b>Bibliografía</b> .....	86

CATEDRA DE ECOLOGÍA 1

# **ECOLOGÍA DE ECOSISTEMAS**

## **APUNTES DE CLASE**

### **Introducción**

La presente serie didáctica surge de los apuntes de clase del ciclo lectivo 2020-2021, cedidos a los alumnos que cursaban la asignatura de Ecología 1 durante el confinamiento sanitario que afectaba al Planeta.

La misma está desarrollada a partir de conceptos teóricos los que una vez comprendidos fueron aplicados a ejercicios prácticos para afianzar los conocimientos. Esta primera parte trata de la ecología de los ecosistemas en general, es decir la dinámica de los mismos, para comprender como funcionan los sistemas abiertos a partir de la energía que reciben, la que sirve de combustible para el funcionamiento de los diferentes componentes del ecosistema, mediante la producción, descomposición y ciclado de la materia. Los próximos aportes estarán enfocados a comprender esta dinámica aplicada en detalle a los ecosistemas modificados y en la descripción de los biomas que conforman nuestro Planeta.

**Dra. Barrionuevo**  
Docente FCF - UNSE

# 1. ORIGEN DE LA CIENCIA

Desde el comienzo de la Humanidad todos los individuos necesitaban conocer el entorno natural donde se desarrollan, comprender los ciclos naturales para lograr sobrevivir. También la Humanidad comenzó a usar herramientas como el fuego y más tarde la tecnología para modificar el ambiente a los fines de adaptarlo a sus necesidades cotidianas. De manera que la Ecología indirectamente ha experimentado un desarrollo gradual y marcado a lo largo de la historia de la Humanidad.

Como ciencia en si da sus inicios en la antigua Grecia con los primeros escritos de Hipócrates, Aristóteles, Teofrasto, siendo este ultimo quien por primera vez escribió sobre las relaciones de los organismos y el medio que los rodea.

Pero por otra parte, la ecología como tal tiene sus raíces vitales en la biogeografía vegetal y en la historia natural. Alrededor de 1800, los botánicos comenzaron a explorar y cartografiar la vegetación mundial, uno de los primeros geógrafos de plantas fue Carl Ludwing Willdenow (1765 – 1812), quien advirtió que los climas parecidos sustentan una vegetación similar en su fisonomía aunque las especies sean diferentes; otro fue Friedrich Alexander von Humboldt (1769 – 1859), que pasó cinco años explorando Latinoamérica, y relacionó la vegetación con las características ambientales, acuñando el término de “asociación vegetal”, por primera vez.

Entre los miembros de una segunda generación de geógrafos vegetales estuvo Johannes Warming (1841 – 1942), quien estudio la vegetación tropical de Brasil y fue a su vez el autor del primer texto de ecología vegetal. En su libro integro por primera vez la morfología, la biología, fisiología y la taxonomía en un conjunto integrado. Este libro tuvo una importante influencia en le desarrollo de la ecología.

Es posible decir que en sus inicios la Ecología fue vegetal específicamente en lo que respecta a la vegetación terrestre; mas tarde se iniciaron los estudios en la vegetación acuática, descubriendo las relaciones energéticas en la comunidad de un lago; de esta forma en el año 1942, se publicó el primer artículo que marcó el inicio de la ecología del ecosistema, el estudio de los sistemas vivos como un todo.

Por ello en un principio el campo de la ecología se dividió de una manera rígida en lo que es Ecología Vegetal y Ecología Animal, pero al aparecer el concepto de comunidad biótica propuesto por Frderick Clements y Victor Shelford, mas el concepto de Nicho de Hutchinson, complementaron los estudios unificando el campo de la ecología a lo que seria la Ecología General

Luego la teoría de Lindeman estimulo una investigación considerable sobre los flujos de la energía y los ciclos de los nutrientes, lo que permitió a los ecólogos desarrollar la ecología de sistemas.

Mientras tanto, paralelo a los descubrimientos en la ecología dentro de la biogeografía vegetal, se desarrollaban actividades en otras áreas de la historia natural, una de ellas fue la realizada por Charles Darwin (1809 – 1882). Darwin comparo la similitud y las diferencias entre los organismos dentro y entre los continentes, atribuyó las diferencias a barreras geológicas. Se dio cuenta de cómo sucesivos grupos de plantas y animales distintos pero claramente relacionados, se sustituían unos a otros. Mientras tanto que Darwin se encontraba desarrollando la teoría de la evolución, Thomas Malthus (1766 – 1834) predijo que las poblaciones crecen en forma geométrica y que dicho crecimiento será frenado por una fuerza poderosa de efecto constante como una enfermedad o muerte prematura. A partir de este concepto es que Darwin desarrollo el concepto del “mas apto”, como mecanismo de selección natural y de evolución. Al mismo tiempo de estas investigaciones, un monje austriaco, llamado Gregor Mendel (1822 – 1884) estudiada la transmisión de caracteres de una generación de plantas a otras. De manera que el trabajo de Darwin sobre selección natural y de Mendel sobre la herencia constituyó los pilares del estudio de la evolución y de la adaptación que daría lugar a la “ecología evolutiva”.

Más tarde en el siglo XIX surgen los estudios de comportamiento, entre ellos se incluyen los de William Wheeler sobre hormigas y los de Charles Carpenter sobre los primates de Sudamérica. De esta forma se puede decir que la ecología tiene tantas raíces que probablemente siempre será considerada como una ciencia polifacética, en la cual los muchos beneficios obtenidos de las diferentes áreas continuaran enriqueciéndola progresivamente.

Próximo al año 1970, se marca una toma de conciencia general al observar las primeras fotografías del Planeta Tierra vista desde el espacio exterior como un todo, este hecho dio lugar a las continuas preocupaciones por la contaminación ambiental, el incremento poblacional, la deforestación, etc., dando lugar a manifestaciones públicas que dieron origen a los términos de movimientos ecologistas o ambientalistas.

## **1.1. La Ecología como ciencia**

### Concepto de "Ecología"

La Ecología nace como ciencia en el año 1869 cuando el zoólogo alemán **Ernest H. Haeckel** (1834-1919), describe la palabra "Oekologie", derivada de los vocablos griegos: **oikos=casa y logos=discurso o tratado**) la define como:

***"El estudio de las relaciones de un organismo con su ambiente inorgánico y orgánico, en particular el estudio de las relaciones de tipo positivo y de tipo negativo entre las plantas y animales y con el medio que los rodea".***

A partir de 1900, al surgir la Ecología como una ciencia, la definición propuesta por **Haeckel**, ha sido interpretada de diferentes formas por algunos ecólogos o naturalistas, por ejemplo:

- **Charles Elton**, (1927), la define como "la historia natural científica" o "la sociología y economía de los animales".
- **Andrewartha, H.A.**, (1961); como "estudio científico de la distribución y abundancia de los organismos".
- **Eugene, P. Odum**, (1963); "estudio de la estructura y función de la Naturaleza", o como "la ciencia que estudia las interrelaciones de los organismos vivos y su ambiente".

- **Píanka, E. R.**, (1974); "es la relación entre los organismos y la totalidad de los factores físicos y biológicos que afectan o son afectados por ellos".

## **1.2. Enfoques de estudio de la Ecología**

Es posible abordar los estudios ecológicos desde diferentes puntos de vista según sean autoecológicos o sinecológicos.

La **sinecología** es la rama de la ecología que estudia **cómo están compuestas y estructuradas las comunidades de un ecosistema**, sus variaciones en el tiempo, y las relaciones entre las diferentes especies que la conforman.

El **estudio sinecológico** de una comunidad puede hacerse siguiendo dos puntos de vista:

- **La sinecología descriptiva** utiliza un punto de vista estático, es decir, se limita a describir los grupos de especies que conforman una comunidad. De la sinecología descriptiva podemos obtener datos sobre la composición específica de una comunidad, datos de abundancia, de frecuencias, densidad o su distribución espacial.
- **La sinecología funcional** utiliza un punto de vista más dinámico. Este enfoque considera dos aspectos; por un lado, pretende describir la evolución de las comunidades y evaluar las influencias que permiten su existencia en ese ambiente determinado y por otro lado, estudiar los intercambios de materia y energía entre los componentes del sistema.

El término **autoecología** comenzó a desarrollarse a partir de 1910. Puede afirmarse que constituye el nivel elemental de la ecología ya que examina a las especies a partir de su interacción con aquello que está a su alrededor (medio). La autoecología, en este marco, observa cómo las especies, individuos o bien poblaciones, se adaptan a los **factores bióticos** y a los **factores abióticos** del ambiente. Este proceso implica una modificación sucesiva, con las distintas generaciones, de las características etológicas, morfológicas y fisiológicas de los ejemplares.

También se pueden considerar los enfoques Holístico y Reduccionista:

- **Reduccionista:** es el enfoque según el cual una parte del todo es necesaria y suficiente para resolver algunos problemas. Por ejemplo es posible evaluar solo un compartimento de alguno de los ciclos biogeoquímicos. Es decir se caracteriza por el estudio de una parte del sistema:

***“El todo se puede explicar mediante la suma de las partes”***



**Fig. 1.** Ejemplo de enfoque reduccionista

- **Holístico:** Integra las propiedades de un sistema, no pueden determinarse con la simple suma de sus partes (o analizando sus partes de forma individual); sino que las partes o componentes deben verse como un todo.

***“El todo es más importante que la suma de sus partes”***

### **1.3 Niveles de Organización**

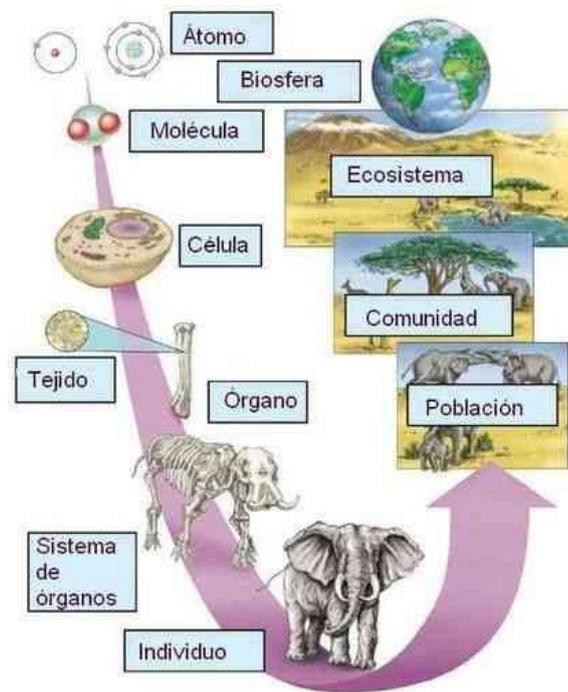
La materia está organizada en diversos niveles de complejidad que van desde el átomo, hasta la Biosfera misma. Los niveles ecológicos del espectro de

organización, interactúan los componentes vivos (bióticos) y el medio que los rodea (abiótico) conformando diferentes sistemas.

En cada uno de estos “sistemas” el ciclado de la materia y el flujo de la energía es el común denominador; es decir toda esta organización es mantenida por un flujo gradual y continuo de energía. Estos niveles de organización son interdependientes, por ejemplo un organismo no podría sobrevivir sin su población; de igual manera una comunidad no puede existir sin el ciclo de la materia y el flujo de la energía dentro del ecosistema. Esto último llama a la reflexión que a su vez la civilización humana no puede existir separada de su entorno natural que la rodea.

Es posible a su vez que exista superposición de sistemas en el enfoque, por ejemplo en el estudio de hospedero parásito o bien dos especies relacionadas mutuamente por ejemplo los líquenes (asociación entre hongos y algas).

En la siguiente figura se muestran los niveles de organización de la materia



**Fig. 2** Niveles de Organización de la Materia

(extraído de [www.geocongr.com](http://www.geocongr.com))

La importancia de la organización jerárquica de la materia es que se desprenden dos propiedades muy importantes a considerar a la hora de abordar estudios ecológicos. La propiedad “emergente” de un determinado nivel ecológico

no se puede pronosticar al estudiar solo los componentes de dicho nivel o unidad, esto lleva a presentar la segunda propiedad “irreductible”, que expresa que el todo no puede reducirse a la suma de las propiedades de las partes.

El siguiente cuadro muestra los niveles de organización que son objeto de la ecología y destaca sus características principales.

Niveles de organización de la ecología	Características principales
<b>Individuo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Organismo vivo.</li> <li>✓ Incluye estudio morfológico, fisiológico y del comportamiento de los organismos.</li> </ul>
<b>Población</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Individuos de una misma especie que comparten un lugar y tiempo determinados.</li> <li>✓ Puede estudiarse la densidad, disposición espacial, natalidad, mortalidad y otras propiedades únicas.</li> <li>✓ Interacciones intraespecíficas.</li> </ul>
<b>Comunidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conjunto de especies que comparten un mismo espacio y tiempo.</li> <li>✓ Permite estudiar riqueza, abundancia, diversidad, estructura trófica.</li> <li>✓ Interacciones interespecíficas.</li> </ul>
<b>Ecosistema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Engloba los componentes bióticos y abióticos y sus relaciones.</li> <li>✓ Se caracteriza por la dinámica energética entre sus componentes.</li> <li>✓ Incluye componentes abióticos, productores, consumidores y descomponedores.</li> </ul>
<b>Bioma</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Conjunto de ecosistemas caracterizados por un tipo determinado de vegetación y condiciones climáticas.</li> <li>✓ Un conjunto de factores físicos moldean los patrones de vegetación que conforman los distintos biomas.</li> </ul>
<b>Biosfera</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ El total de ecosistemas que conforman el planeta.</li> <li>✓ Incluye parte de la troposfera, la hidrosfera y parte de la litosfera.</li> </ul>

© www.paradais-sphynx.com

**Cuadro 1.** Características de los niveles de organización ecológica.

(fuente: [www.naturaleza.animalesbiologia.com](http://www.naturaleza.animalesbiologia.com))

## 1.4. La Ecología y sus relaciones con otras ciencias

La ecología es una ciencia interdisciplinaria. Las complejas interacciones que tienen lugar dentro del ecosistema se basan en diferentes procesos físicos químicos y biológicos, por lo que toda investigación ecológica debe recurrir a estas ciencias. Dentro del grupo de las ciencias basadas en la física se destacan la hidrología, la meteorología, y la geología; estas ciencias ayudan a comprender por ejemplo, el intercambio de agua de los componentes del sistema con el entorno, los tipos de nutrientes y la estructura del suelo; la genética y la fisiología responden el porqué de las adaptaciones de los organismos al medio; la química y la bioquímica, colaboran ayudando a comprender el ciclado de la materia en el sistema.

La siguiente figura ilustra sencillamente la cooperación de las diferentes ciencias con la ciencia ecológica



**Fig. 3:** La Ecología y sus relaciones con otras ciencias

(Smith, 2001)

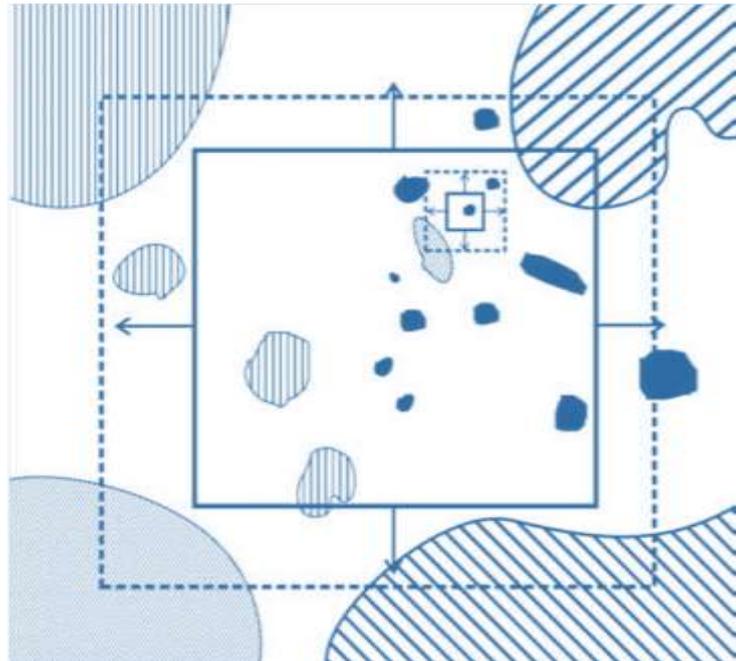
De estas relaciones también surgen diferentes formas de abordar determinados tipos de estudios, por ejemplo la ecología fisiológica, que se ocupa de hacer comprender, las diferentes respuestas de cada organismo a la temperatura, luz y otras condiciones ambientales. La ecología del comportamiento, se refiere a los estudios sobre la forma de desempeñarse en la vida social, los organismos; el incorporar el enfoque del Planeta Tierra como un gran sistema, da lugar a la Ecología Global.

### **1.5. La investigación en Ecología**

**El concepto de escala** puede definirse como la dimensión espacial y temporal que se requiere para un cambio en la tasa a la cual ocurren los procesos y en la importancia relativa de los factores que explican dichos procesos. La definición de escala implica heterogeneidad; conforme la ventana de observación de espacio o de tiempo aumenta, cambia la importancia de los organismos, sus características y los parámetros ambientales.

El grano y la extensión en una escala espacio-temporal de observación para un estudio ecológico, son de fundamental importancia. Desde una perspectiva espacial, la extensión es el área total donde se realizan las observaciones, en cambio el grano es el área (o tamaño) de nuestra unidad de observación, este último suele coincidir con la unidad de muestreo de estadística (*Cueto, V.R; 2006*).

Estos conceptos se observan en la Fig. 4



**Fig.4;** Escalas en Ecología.

(Tomado de Cueto, V.R, 2006)

El grano está representado por el cuadrado pequeño línea continua y la extensión cuadrado grande, línea continua también. Cuando la extensión aumenta como se indica con las flechas en el cuadrado grande se incorporan nuevos parches o sitios de estudio, cuando se extiende el área del grano según se observa en las flechas del cuadrado pequeño se incorporan nuevos hábitats de estudio.

Para comprender lo mencionado, se cita un ejemplo. Un investigador que está interesado en conocer la abundancia de determinados polinizadores que visitan las especies arbóreas y arbustivas del monte santiagueño, dispone del siguiente diseño de estudio. Se cuenta e identifica los polinizadores que visitan los árboles y arbustos en 25 parcelas circulares de 20 m de radio durante una hora, ubicadas al azar y separadas como mínimo por 200 m, en un área rectangular de 40 ha, una vez por semana durante la época de floración. El grano de las observaciones es el tamaño de las parcelas circulares y el tiempo de conteo, mientras que la extensión está dada por el número total de parcelas circulares, la separación entre éstas, el tamaño del área rectangular y el número total de semanas que abarcarán las observaciones.

El vínculo entre el espacio y el tiempo, depende de la complejidad del proceso objeto de estudio a observar. En la Figura 5 se observa un ejemplo típico de estudio sucesional en ecosistemas forestales, es decir de una sucesión secundaria resultante de algún disturbio, por ejemplo un incendio.



**Fig. 5:** Vínculo en tiempo y espacio para estudios ecológicos

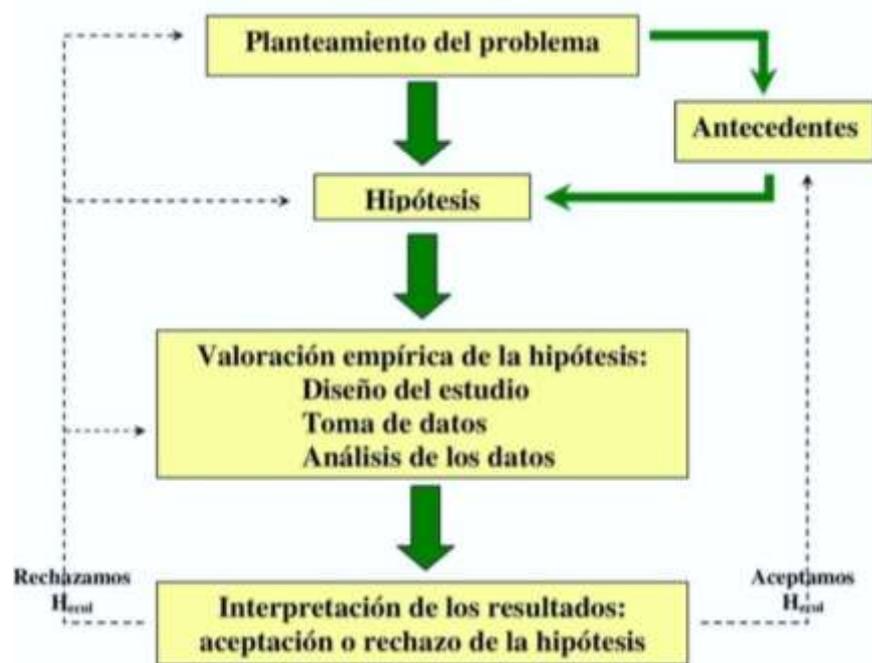
(adaptado de Mayor *et al* 2009)

### 1.5.1. El Método Científico aplicado a la Ecología

**El método científico parte de una observación:** un fenómeno de la naturaleza, del ecosistema, un comportamiento, etc. nos llama la atención. Nuestra inquietud nos induce a ofrecer una explicación, y a querer saber si realmente estamos en lo cierto o no. Para que los esfuerzos de distintas personas contribuyan a una mayor comprensión de cómo funciona la naturaleza, el ecosistema, los pasos a seguir en la investigación, deben responder a un método común. De esa manera nuestras interpretaciones serán comparables entre sí, y las distintas interpretaciones podrán ser comprobadas en cualquier momento. **Este método se denomina Método Científico**, y lo emplea un gran número de disciplinas, tanto experimentales como no experimentales. En cada una de ellas adquiere particularidades propias dependiendo del objeto de estudio. En nuestro

caso veremos cómo se aplica en Ecología el método científico. Las etapas, en general, son:

1. Definición del problema y revisión de antecedentes
2. Planteamiento de hipótesis
3. Valoración empírica de la hipótesis
4. Interpretación: aceptación o rechazo de la hipótesis



**Fig. 6** Pasos del método científico

(tomado de apuntes de prácticas de ecología, departamento de Ecología Universidad de Alcalá, 2005)

La recolección de datos en Ecología se basa en dos tipos de metodologías; observacionales y experimentales. Cuando solamente los estudios son observacionales, se tiene un escaso o nulo control de los factores ambientales; por el contrario si la recolección de datos es de carácter experimental, el investigador tiene la posibilidad de controlar prácticamente todos los factores que pueden influenciar en la problemática que se está investigando.

### Características de los estudios observacionales

- Permite detectar relaciones, procesos y patrones
- Posibilita estudios a múltiples escalas espaciales
- Dificulta la demostración de relaciones causa-efecto
- Realidad a veces excesivamente compleja

### Características de los estudios Experimentales

- Permite demostrar relaciones causa-efecto
- La escala espacial de los estudios que permite abordar es reducida
- Realidad a veces excesivamente simplificada

Para comprender mejor estos conceptos, etapas del método científico, tipo de estudios observacionales o experimentales, se cita un ejemplo:

## **Influencia de la temperatura en la actividad de los lacértidos**

### **Presentación del problema:**

La lagartija colirroja (*Acanthodactylus erythrurus*) se encuentra en la Península Ibérica distribuida principalmente por el centro y sur de la misma. Dado su carácter ectotermo, que comparte con el resto de reptiles, la lagartija colirroja concentra su actividad principalmente en los meses de verano, cuando la disponibilidad de horas de sol para poder alcanzar su temperatura corporal preferida es mayor.

En algunas de las áreas que ocupa, como por ejemplo las dunas costeras los días más calurosos del verano se han registrado temperaturas ambientales muy elevadas cuando el sol está en el cenit, tanto que podría pensarse

que resultaran letales para estos lacértidos. Por ello, es esperable que estos individuos disminuyan su actividad en las horas centrales de esos días, presentando un patrón de actividad bimodal (actividad antes y después del mediodía, y no durante las horas centrales) en vez de unimodal (actividad continuada todo el día).

### **Objetivo**

Se quiere conocer la influencia de la temperatura ambiental sobre los patrones de actividad de la lagartija colirroja en un campo de dunas costeras.

### **Hipótesis**

En las horas centrales del día, cuando el sol está en el cénit y la temperatura ambiental es muy elevada, la actividad de la lagartija colirroja es menor que antes y después del cénit.

### **Toma de datos**

Para comprobar esta hipótesis es necesario realizar censos de lagartijas durante las horas en que el sol está en el cénit y compararlos con censos realizados fuera de las horas en que el sol está en el cénit. Por ejemplo, se puede seleccionar como universo de muestreo un campo de dunas más o menos homogéneo. En él se realizarán transectos de 100m de largo y 5 m de banda, distribuidos al azar, concentrados en 3 periodos: 1) antes de que el sol llegue al cénit (por la mañana, de 9h a 11 hora solar), 2) entre las 12h y las 14 hora solar (cénit), y 3) después de que el sol ha pasado el cénit (por la tarde, de 16h a 18 hora solar).

Los muestreos se realizarán durante los días más calurosos del verano de acuerdo con el siguiente protocolo:

1) Definición de las variables:

- Independiente: Periodo del día. Variable cualitativa con tres estados: antes del cenit solar (10-11 hora solar); en el cenit solar (12.00 hora solar); después del cenit solar (16-17 hora solar).
- Dependiente: N° de contactos de lagartija colirroja por m<sup>2</sup> (densidad). Variable cuantitativa.

2) Unidad de muestreo: transecto de 100 m de largo y 5 m de banda, dentro de la cuál se contará el número de contactos de lagartija colirroja.

3) Distribución de las unidades de muestreo: el muestreo será estratificado en el tiempo: se realizarán transectos dentro de cada uno de los tres periodos definidos. Y será regular en el espacio: haciendo los transectos a lo largo del campo de dunas, perpendiculares a la línea de playa y separados entre ellos, por ejemplo, 25m.

4) Número de unidades de muestreo: Para obtener un valor de densidad representativo de cada periodo definido, se realizarán 10 transectos por periodo y día, es decir, 30 transectos al día. Los muestreos se realizarán durante 10 días, por lo que se obtendrán 300 transectos en total, 100 para cada periodo definido.

**Material necesario**

Cronómetro

**Planilla de observaciones**

<b>Transecto Numero:</b>	<b>Periodo (mañana/Tarde/Cenit)</b>	<b>Numero de contactos</b>



*(Acanthodactylus erythrurus)*

## 2. LOS SISTEMAS

### 2.1. El Ecosistema como unidad de estudio de la Ecología

#### Conceptos:

Un sistema es un conjunto de elementos relacionados entre sí que funcionan como un todo para lograr un objetivo. Es posible decir que cada uno de los elementos de un sistema puede funcionar de manera independiente, pero siempre formaran parte de una estructura mayor (sinergia). También un sistema puede a su vez ser un componente de otro sistema (subsistema). Los conceptos planteados los podemos observar en la siguiente figura:

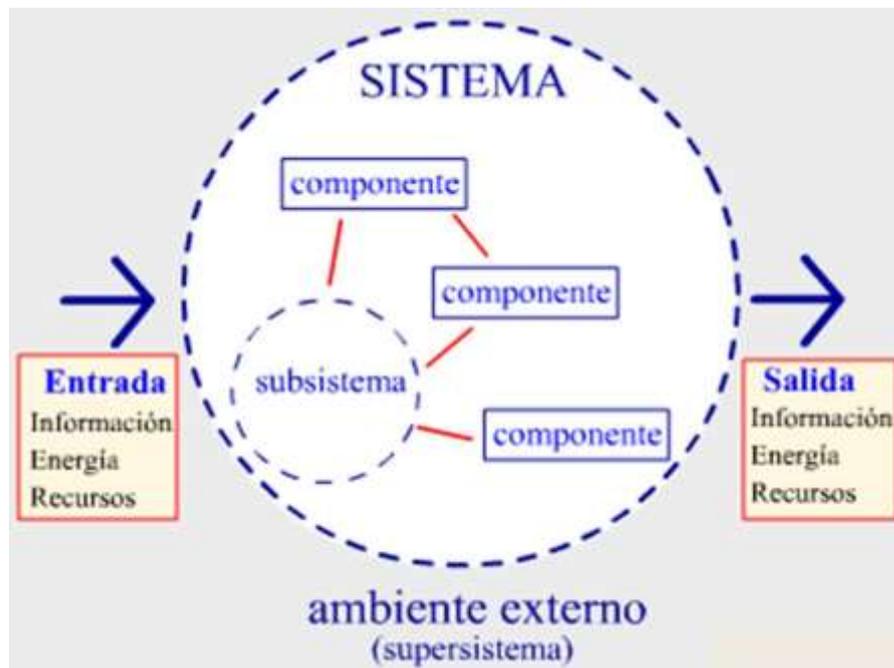


Fig. 7. Teoría general de los sistemas. Tomado de [www.SlidePlayer.Es.Inc](http://www.SlidePlayer.Es.Inc)

Todo sistema presenta las siguientes características:

- Están formados por elementos
- Cada elemento tiene una función específica en el sistema y se relaciona con los demás elementos

- Los elementos interactúan para desempeñar una o varias funciones superiores a las sumas de las partes, que reciben el nombre de propiedades emergentes (sinergia)
- Los sistemas no están aislados, hasta ellos llegan energía y materia necesarias para su funcionamiento. Además reciben información del exterior del sistema que desencadena su actividad
- Los sistemas también producen materia y emiten energía e información como resultado de la información que desempeñan

## **2.2. Las leyes de la Termodinámica aplicada a los sistemas**

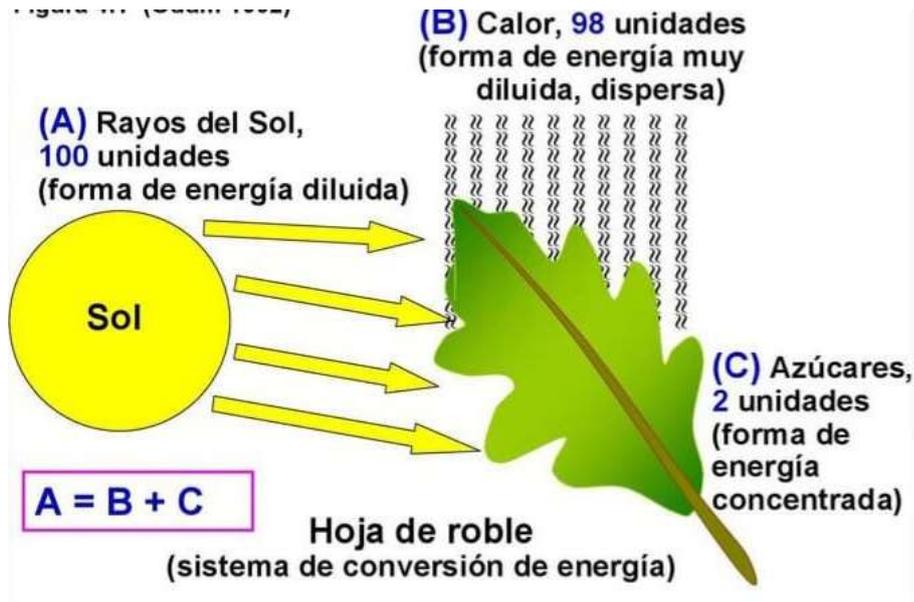
### **La energía en el Sistema**

Cualquier sistema tiene que cumplir los principios de la termodinámica, para ello se enuncian las leyes de la termodinámica.

**La primera ley o principio de la conservación:** la energía ni se crea ni se destruye, solo se transforma. En cualquier sistema la energía que entra será igual a la energía almacenada más la energía que sale

**La segunda ley** enuncia que cualquier sistema tiende espontáneamente a un máximo desorden. **La entropía** es una medida del desorden de un sistema. En los sistemas vivos la Biosfera o nuestro sistema Planetario, posee un orden elevado, la entropía es baja y la energía está más concentrada.

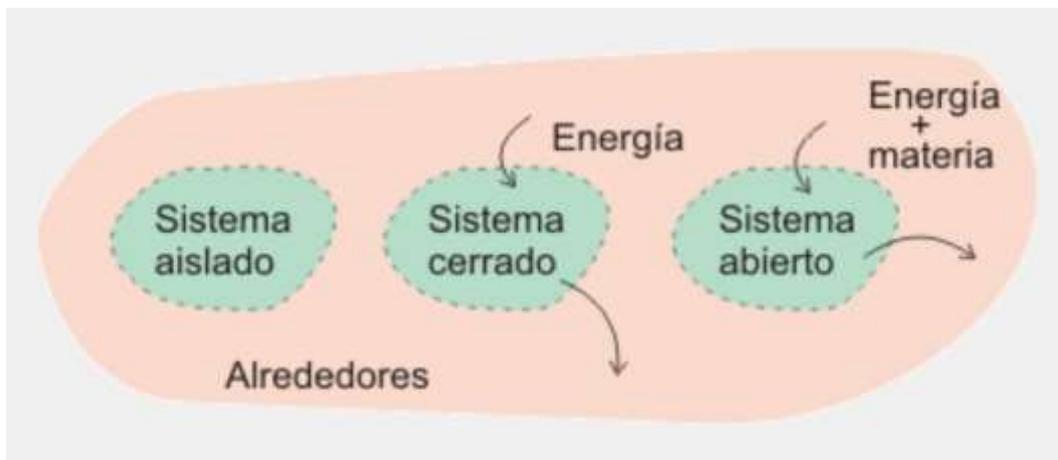
Por el contrario, en sistemas desordenados la energía está muy dispersa y la entropía es muy elevada. Esta energía se disipa en forma de calor y no puede utilizarse para realizar trabajo.



**Fig. 8** Las leyes de la termodinámica

(Odum, 2006)

Según el intercambio de materia y energía, los sistemas se clasifican en:



**Fig. 9** Los sistemas según las leyes de la termodinámica.

(Tomado de [www2.montes.upm.es](http://www2.montes.upm.es))

### **2.2.1 Los sistemas cerrados**

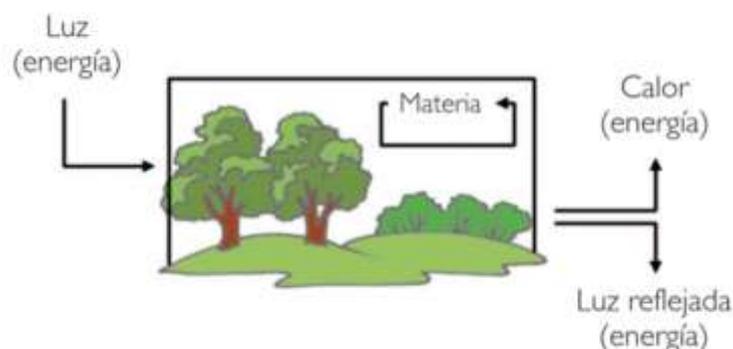
Son los que solo intercambian energía con el exterior, no intercambian materia, sino que la reciclan. Por ejemplo en el caso de una PC, recibe energía eléctrica y emite energía calórica y lumínica, pero la materia que lo compone es constante. El Planeta Tierra es considerado como un sistema que recibe continuamente energía, procedente del sol, energía electromagnética (luz, etc) y emite al espacio energía en forma de calor (energía infrarroja), pero apenas intercambia materia con el exterior, si no se considera la entrada de materiales procedentes del exterior a través de los meteoritos, dada su poca masa relativa (si se tendría en cuenta esta masa que llega del espacio sería un sistema abierto).

### **2.2.2 Los sistemas aislados**

Son aquellos que no intercambian ni materia ni energía con su entorno. En realidad no existen este tipo de sistemas, por lo tanto son considerados muchas veces como sistemas teóricos, que se emplean con el fin de simplificar cuando se estudian sistemas de grandes dimensiones (macrosistemas) como por ejemplo el sistema solar.

### **2.2.3 Los sistemas abiertos**

Son aquellos que intercambian materia y energía con el exterior; en general los sistemas biológicos son sistemas abiertos, debido que es necesario el intercambio de materia y energía con el exterior para mantenerse vivo. También liberan materia y energía al exterior (calor), generados en los procesos químicos como la respiración de los componentes vivos.



**Fig. 10** Ejemplo de sistema abierto. Tomado de apuntes de ecología y biología.

([www.biogeo.esy.es](http://www.biogeo.esy.es))

### **2.3. El Ecosistema**

El término “ecosistema” fue empleado por primera vez por Arthur Tansley (botánico) en el año 1935; lo definió como el “*complejo de organismos junto con los factores físicos de su medio ambiente*” en un lugar determinado, identificándolo como una de las unidades básica de la naturaleza en el estudio de la ecología. Tansley resaltó la idea de ecosistema como “unidad básica de la naturaleza”.

A partir de su concepción inicial, el ecosistema ha sido ampliamente utilizado como marco de referencia para entender cómo funcionan los seres vivos y su ambiente, hasta llegar a ser propuesto como concepto de organización, marco y teoría central en la ecología o bien como una estrategia para gestionar recursos, en forma sustentable o para su conservación.

A diferencia de lo que ocurre con los otros niveles de organización o con los sistemas (p. ej. célula, organismo o átomo), los ecosistemas no son entidades que resulten reconocibles de una manera obvia y concreta en la naturaleza. Tampoco son claramente diferenciables unos de otros, de forma que naturalmente se delimiten áreas donde ocurren los procesos e interacciones atribuibles a cada uno de ellos aunque los límites sean abiertos, es decir, los ecosistemas presentan una intangibilidad relativa en comparación con las otras unidades de organización biológica.

La identificación y delimitación de los ecosistemas como entidades bien delimitadas se hace más difícil al tomar en cuenta que los seres vivos que se encuentran en un mismo lugar pueden ocupar escalas espaciales completamente diferentes. Es posible encontrar desde especies de distribución restringida hasta animales o plantas de distribución continental; igualmente sucede con el medio físico, pues algunas condiciones tienen ocurrencia particular en un área pequeña mientras otras pueden extenderse regionalmente. Desde esta perspectiva, existe un sinnúmero de componentes actuando a escalas muy diferentes que dificultan una identificación clara de la unidad. Si bien, en algunos casos, se presentan elementos representativos que parecen separar unidades más o menos claras (un bosque de un lago, por ejemplo), no siempre es así y entra a mediar la

subjetividad con la que un observador decida cuáles serán los componentes que prevalecerán en la delimitación de cada unidad.

Utilizar el ecosistema como un modelo resulta probablemente más adecuado para facilitar la investigación, entendimiento y representación de la interacción entre los seres vivos y el medio físico, en los estudios ecológicos, ya que permite abstraer y simplificar las condiciones que operan como un continuo en la naturaleza, con componentes que actúan a escalas muy diferentes unos de otros, y que de otra forma no podrían ser abarcados completamente por la mente humana para su comprensión.

A este nivel, la idea de organización de la naturaleza en unidades espaciales se despoja de discusiones sobre su ocurrencia real o no para convertirse en unidades de análisis, síntesis y con alto poder de predicción; para muchos ecólogos, es aquí donde reside el poder científico del concepto de ecosistema.

Es en síntesis una unidad de análisis, con elevado poder de predicción, lo cual permite ser empleado como herramienta, para ser usado en ámbitos ajenos al de la ciencia de la ecología, como por ejemplo en procesos participativos, en la toma de decisiones sobre los recursos naturales y finalmente en el manejo del territorio. Muchos autores interpretan el término ecosistema desde diferentes puntos de vista, manteniendo la esencia del mismo. Algunos ejemplos se citan a continuación:

- ODUM (1971): Unidad que incluye todos los organismos en un área determinada que interactúan con el ambiente físico, y por lo tanto el flujo de energía define de manera clara las estructura trófica, la diversidad biótica y los ciclos de materiales dentro del sistema o el ecosistema. El ecosistema es la unidad básica fundamental en la ecología.
- DUVIGNEAUD (1980): Biocenosis homogénea desarrollada dentro de un ambiente homogéneo.
- MCNAUGHTON Y COUGHENOUR (1981): Un ecosistema consiste en organismos vivos en un ambiente abiótico, que se comportan como un sistema debido a que existen relaciones dinámicas específicas entre estos componentes. Además tiene una característica cibernética ya que existe una coordinación, regulación, comunicación, y el control de estas relaciones.

- MARGALEFF(1991): es un Sistema formado por individuos de varias especies, en el seno de un ambiente de características definibles e implicados en un proceso dinámico de interacción, ajuste y regulación.

### 2.3.1 Componentes del Ecosistema

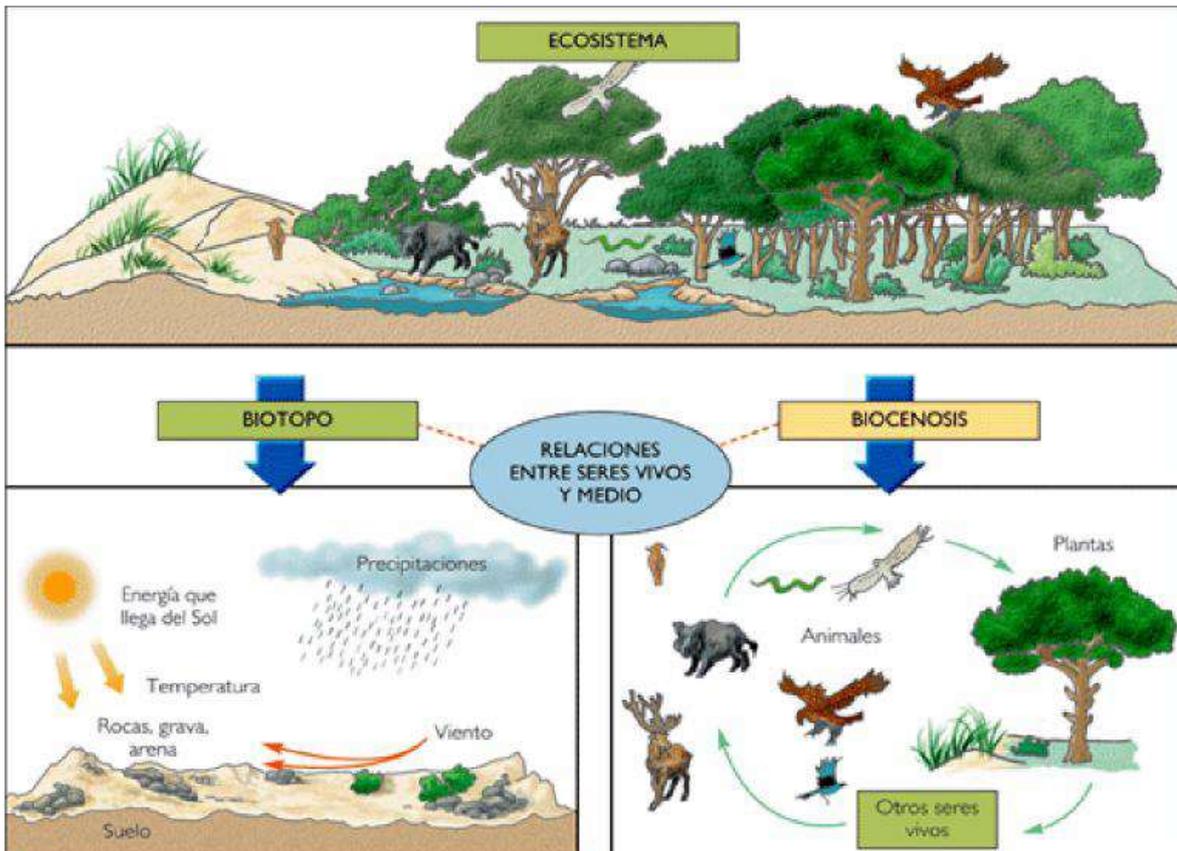


Fig. 11: Componentes del ecosistema. Tomado de Ecología y educación ambiental, (www.monografias.com)

#### Biotopo

Es el medio físico que comparten todos los organismos presentes en el ecosistema. Los principales componentes del biotopo son: **El medio o sustrato y los factores ambientales.**

**El medio:** Es el lugar donde viven y se desplazan los seres vivos en el ecosistema, con el cuál mantienen intercambios constantes de materia y energía. Existen dos tipos generales de medios: Terrestre y Acuático.

- **Medio terrestre:** Corresponde a la superficie de los continentes, está en contacto con la atmósfera, intercambiando gases con ella. Mediante la fotosíntesis y la respiración celular circulan el CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub>.
- **Medio acuático:** es típico de los ecosistemas acuáticos (ríos, lagos, mares u océanos). Los seres vivos que lo habitan intercambian gases con el medio. También se caracteriza por los nutrientes que contienen, la temperatura y sales en disolución del medio donde se desarrollan.

### Los factores ambientales

Son el conjunto de condiciones físicas y químicas del biotopo. Influyen en la vida y desarrollo de los seres vivos:

- **Luz:** Condiciona la presencia de seres fotosintéticos y por ende el resto de los componentes de la cadena trófica.
- **Agua:** El agua es absolutamente imprescindible para los seres vivos, representada por las lluvias en lo que respecta a intensidad, durabilidad y periodicidad, estas variables permiten adaptaciones de los organismos desde ambientes tropicales a medios aridos.
- **Temperatura:** Cada organismo está adaptado a un rango de temperatura determinada.
- **PH:** Las aguas oceánicas tienen una salinidad estable, mientras que los ríos y lagos dependen de las características de los suelos por donde circulan los ríos.

### Biocenosis

Está constituida por todos los organismos de un ecosistema que se relacionan entre sí. El conjunto de individuos de la misma especie con capacidad de reproducirse, se denomina **POBLACIÓN** y el espacio físico que ocupa se denomina **HABITAT**. La función que cumple un organismo en esa biocenosis se denomina: **NICHO ECOLÓGICO**, que depende en gran medida de la alimentación de esa especie. Por ejemplo, las libélulas en un lago cumplen con el papel de predador de dípteros y efímeras. De esta manera en los ecosistemas coexisten una gran diversidad de especies que se equilibran entre ellas

Por lo tanto los factores abióticos, constituyen todos los factores físicos-químicos del medio (el origen de la palabra es *a*, "sin", y *bio*, "vida"). Los factores abióticos más importantes son las **precipitaciones** (lluvia y nevadas) y la **temperatura**; dando lugar a diferentes tipos de ecosistemas

Otros factores abióticos pueden ser: tipo y profundidad de suelo, disponibilidad de nutrientes esenciales, viento, fuego, salinidad, luz, longitud del día, etc.

**En cuanto a factores bióticos** Un ecosistema siempre involucra a más de una especie, es decir la biocenosis está compuesta por un número de especies que interactúan entre sí y con el medio donde se desarrollan. De esto último surge un conjunto de interacciones de los organismos para conseguir alimento, protección u otros beneficios y al mismo tiempo surge la competencia para alcanzar dichos bienes. Todas las interacciones entre organismos de la misma especie y con los de especie diferente permiten clasificar estas relaciones en **intraespecíficas e interespecíficas conformando los factores bióticos**. De estas relaciones bióticas y con el medio donde se desarrollan los organismos surge una amplia gama de adaptaciones las que se pueden explicar citando la **Ley de Tolerancia de Shelford**; dicha ley expresa que: el éxito o la ausencia de un organismo en un determinado medio, está sujeto a la deficiencia o exceso de diferentes factores abióticos, por ejemplo, agua, luz, temperatura, ph del sustrato, concentración de CO<sub>2</sub>, etc. **El Optimo**, es el rango donde el organismo se reproduce y prolifera.

Cada especie presenta una cierta capacidad de resistir modificaciones de su entorno sin que le afecten, pero también tiene unos **límites de tolerancia** frente a sus respectivas variaciones. Por encima o debajo de éste límite de tolerancia los individuos mueren. Al intervalo en el cual el rendimiento de la especie es máximo se conoce como **zona de respuesta óptima**.

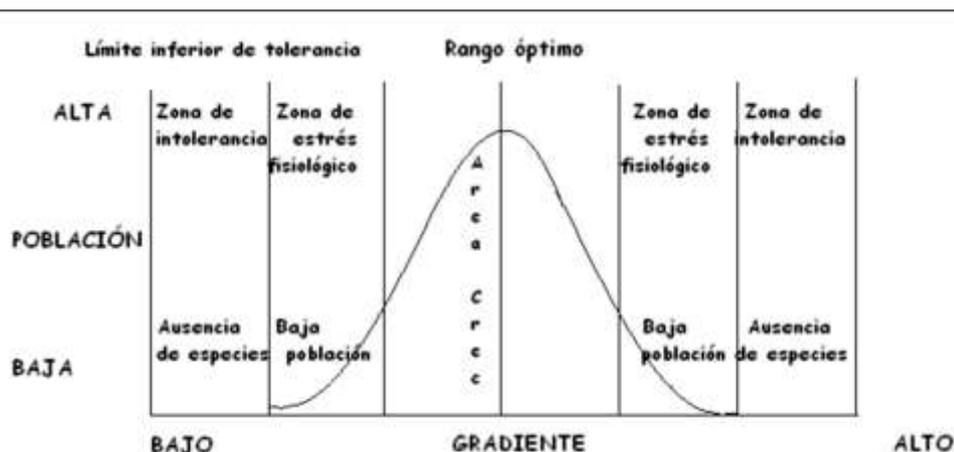


Fig. 12 Ley de Tolerancia de Shelford. Respuesta al factor limitante.

(Tomado de [www.sites.google.com](http://www.sites.google.com))

## 2.4 Modelos en Ecología

Según lo comprendido en los párrafos anteriores relacionado al concepto de ecosistema, se puede entender por definición, que son complejos sistemas en los que factores biológicos, climáticos y geológicos se combinan con factores sociales, políticos y económicos para producir una serie de procesos ambientales que determinan la evolución de cada uno de estos ecosistemas en el tiempo. Por lo tanto la investigación, el manejo de estos sistemas ecológicos siempre asume niveles de complejidad, de manera que cualquier herramienta, que permita simplificar el estudio de estos factores y predecir los efectos de alterar alguno de ellos es de gran ayuda tanto en la investigación como en la gestión de los ecosistemas. (Blanco 2013). Una de las maneras de simplificar el estudio de los ecosistemas es mediante el uso de modelos.

Los modelos son simplificaciones de la realidad que están diseñadas para analizar algunos aspectos del sistema real que tratan de imitar. Para crear un modelo es de fundamental importancia determinar en primera instancia el problema que el modelizador está interesado.

Los modelos son útiles porque ayudan al investigador a aprender sobre el sistema que representan, y a tomar decisiones relacionadas con el sistema real sin tener que tratar con toda su complejidad. Sin embargo, cuanto más simple es

el modelo comparado con el sistema real, menos información contiene y por lo tanto menos útil es para desarrollar nuevas ideas de investigación y gestión. Pero por otra parte, también, cuanto más simple es un modelo, más rápidamente se pueden probar teorías o políticas de gestión que pueden ser o no adecuadas, y que pueden ser estudiadas con más detalle después. Pero también resultan engañosos aquellos modelos demasiados sencillos porque la excesiva simplificación omite información sobre la respuesta de los ecosistemas a distintos factores ambientales o de manejo. De manera que tal que:

*Un modelo es una representación simplificada de la realidad, que se elabora para facilitar su comprensión y estudio, que permite ver de forma clara y sencilla las distintas variables y las relaciones que se establecen entre ellas*

Estas representaciones pueden ser efectivas mediante dibujos, esquemas o expresiones matemáticas. Hay diversos tipos de modelos en uso todos ellos se diferencian según cuál sea el propósito que se persiga. Esta variación de modelos se extiende desde modelos clásicos y sencillos como una estatua, una maqueta, un mapa, modelos matemáticos, hasta el extremo de complejidad que son los modelos informáticos, herramientas muy importantes.

Los modelos como herramientas de investigación deben cumplir con determinadas condiciones.

- Tienen que ser menos complicados y de mas fácil manejo que las situaciones reales
- Deben representar la realidad con la mayor fidelidad posible y al mismo tiempo para ser manejables

Por ello es posible decir que un modelo muy simplificado se aleja de la realidad pero se acerca a la generalidad y es de fácil manejo; por el contrario un modelo muy preciso, se encuentra muy próximo a la realidad concreta, sin embargo su utilización puede ser muy compleja. El predominio de una o de otra de las

características dependerá de la utilización que se necesite hacer del modelo. Los pasos a seguir en un modelado se observan en la siguiente figura:



Fig. 13 Pasos a considerar para modelar un sistema natural

### 2.4.1 Tipos de Modelos

- Modelos Estáticos:** Son aquellos modelos donde sus relaciones no dependen del comportamiento del sistema, solo analiza su estructura, un ejemplo típico es una fórmula donde se equipara la altura y el diámetro de un árbol con su volumen.
- Modelos Dinámicos:** Este tipo de modelos describe el funcionamiento de los componentes del sistema a base de una serie de ecuaciones. Son más realistas que los estáticos, un claro ejemplo es el modelo depredador - presa

$$\frac{N}{S} \sum \frac{1}{S-i+1}$$

## 2.5 Modelo energético de ODUM

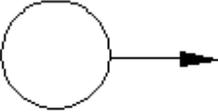
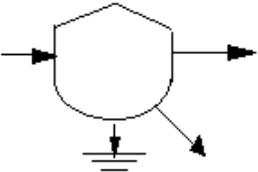
Para aplicar el modelo energético de Odum (1993), es imprescindible entender, al menos en esta etapa en forma sencilla, el flujo de la energía y el ciclo de la materia que se desarrollan dentro de un sistema natural.

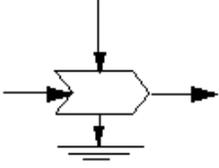
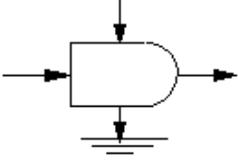
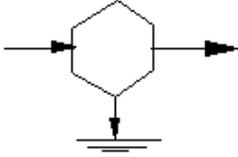
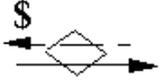
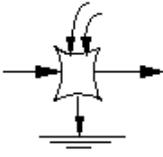
Algunos organismos son capaces de elaborar su propio alimento a partir de productos químicos, utilizando la energía solar; este proceso se denomina **fotosíntesis**. Las plantas que hacen sus propios productos son llamadas **productores**. El alimento elaborado mediante la fotosíntesis es utilizado para formar la materia orgánica; los productos orgánicos resultantes constituyen la biomasa viva del sistema.

Ciertos organismos consumen la biomasa elaborada por los productores, a estos organismos se los denomina **consumidores**. Los consumidores pueden ingerir productores (**herbívoros**), carne (**carnívoros**), ó asimilar materia orgánica muerta como es el caso de los **descomponedores**, por ejemplo como hongos y bacterias.

Luego de que el consumidor ha digerido, asimilado y utilizado este alimento, para su crecimiento y mantenimiento, restan pocos productos orgánicos de desecho. Estos productos de desecho, son los nutrientes, nuevamente utilizados por los organismos vivos del sistema, es decir reciclados. Este circuito desde la captura de energía por los productores, sus transformaciones y el ciclado de la materia es representado por un conjunto de figuras o símbolos constituyendo un modelo.

Estas unidades y circuitos se muestran a continuación:

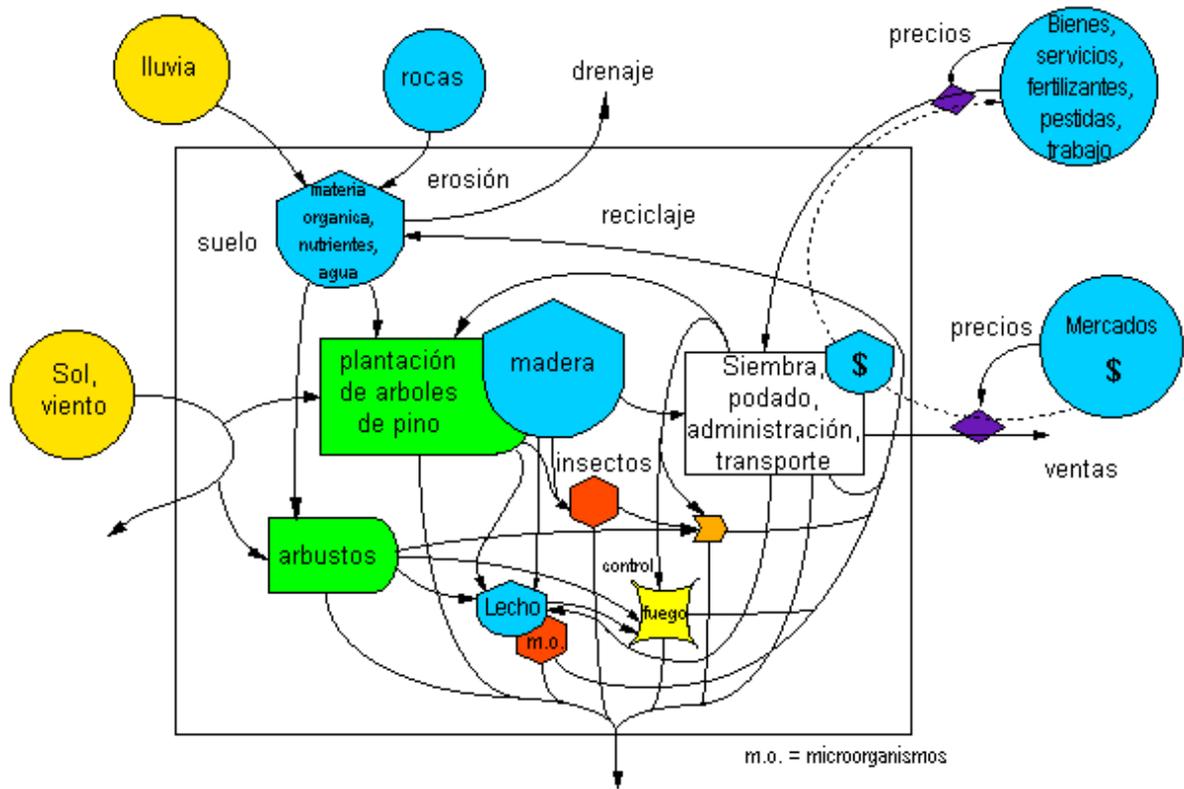
	<p><b>Fuente de energía.</b> Energía que acompaña cada recurso usado por el ecosistema, como el sol, el viento, las mareas. Las olas en las playas, la lluvia, las semillas traídas al sistema por el viento y las aves.</p>
	<p><b>Depósito.</b> Es un lugar donde la energía se almacena. Ej.: recursos como la biomasa forestal, suelo, materia orgánica, agua subterránea, arena, nutrientes, etc...</p>

	<p><b>Sumidero da calor.</b> Energía dispersada y que no puede ser reutilizada. Como la energía en la luz solar después de la fotosíntesis, o el calor que sale del metabolismo animal. Estas dispersiones están asociadas a almacenes, interacciones, productores, consumidores y símbolos de interruptores.</p>
	<p><b>Interacción.</b> Proceso que combina diferentes tipos de flujos de energía o de materiales.</p>
	<p><b>Productor.</b> Unidad que hace que productos a partir de energía y materiales primarios, como árboles, cosechas o fábricas</p>
	<p><b>Consumidor.</b> Unidad que usa a los productos de los productores, como insectos, ganado, microorganismos, seres humanos y ciudades.</p>
	<p><b>Transacción.</b> Intercambio comercial de dinero para energía, materiales o servicios prestados.</p>
	<p><b>Interruptor o desvío.</b> Proceso que se inicia o termina, como un incendio o servicios prestados.</p>
	<p><b>Caja.</b> Símbolo para definir los límites de un sistema, subsistema, etc...</p>

**Fig. 14** Símbolos de energía. (Tomado de Odum *et al* 1988, *Environment and Society in Florida* - H. T. Odum.

Ecological Economics Program. University of Florida, USA)

En el siguiente grafico se observa un ejemplo de aplicación del modelo energético de Odum para un sistema modificado como lo es una plantación forestal



**Fig. 15** Sistema de Plantación de Pinos

(extraído de Odum et al 1988, Environment and Society in Florida - H. T. Odum .  
Ecological Economics Program. University of Florida, USA)

### 3. PRODUCCIÓN EN EL ECOSISTEMA

#### 3.1 Producción Primaria

##### Fundamentos teóricos:

El flujo de la energía del sol que penetra a través de un ecosistema se inicia con la utilización por parte de las plantas de la luz solar, un proceso que en sí mismo exige el gasto de energía. El proceso por el cual se fija esta energía en los productores, es la **Fotosíntesis**:



La planta inicia su desarrollo viviendo a expensas de la energía almacenada en forma de alimento en la semilla, hasta que llega a producir las hojas y captar la energía por sí misma. El grafico numero 16 muestra el espectro de absorción de los diferentes pigmentos que captan la energía solar para dar lugar a la fotosíntesis.

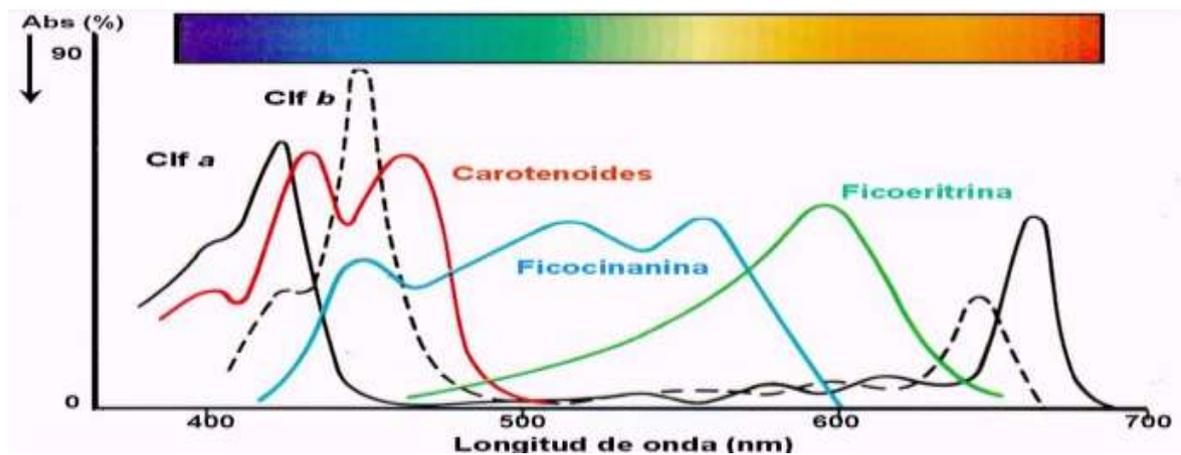


Fig. 16 Espectro de Absorción de los pigmentos fotosintéticos

En la siguiente figura se observa el proceso en sí de la fotosíntesis, como se lleva a cabo en el interior de las hojas

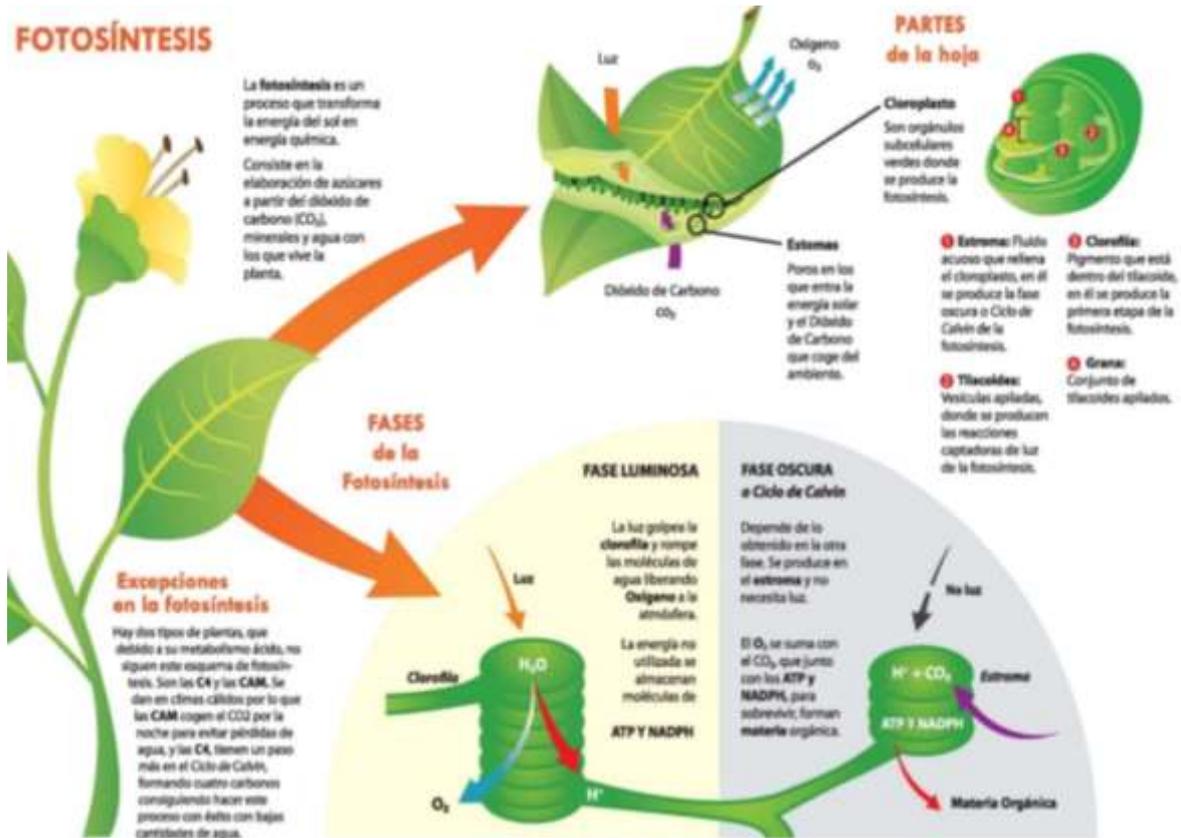


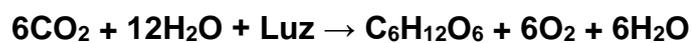
Fig. 17 Etapas y componentes de la fotosíntesis

Además de la fotosíntesis oxigénica hay otros procesos de **fotosíntesis anoxigénica** y de **quimiolitotrofia** que llevan a cabo algunos microorganismos procariotas, quienes habitan en ambientes llamados fumarolas o respiraderos hidrotermales. En dichos ambientes no hay penetración de energía radiante (luz solar) que pueda sostener la actividad metabólica de fototrofos, ni hay entrada de fuentes exógenas de materia orgánica, por lo que se ha concluido que el sostenimiento de dichas comunidades descansa únicamente en la reducción de CO<sub>2</sub> por bacterias quimilitotrofas.

La siguiente reacción química resume el proceso de **quimiosíntesis** que llevan a cabo este grupo de bacterias en las fumarolas o respiraderos hidrotermales:



La fotosíntesis anoxigénica también representa otro proceso de producción primaria exclusivo de procariontas. En este proceso se substituye el agua como donante de electrones por compuestos inorgánicos sulfurados reducidos (sulfuro de hidrógeno, tiosulfato o azufre elemental), hidrógeno gaseoso (H<sub>2</sub>), hierro (Fe<sup>++</sup>) o por un compuesto orgánico. Estos fototrofos procariontas de origen marino han sido ubicados mayormente en el género *Erythrobacter*, aunque un número reducido de especímenes ha sido ubicado dentro del género *Pseudomonas*



Teniendo en cuenta estos conocimientos introducimos el concepto de producción primaria.

Es posible definir la Productividad primaria de un sistema ecológico como la tasa en la que se transforma la energía radiante captada por la fotosíntesis o quimiosíntesis en sustancias orgánicas en los organismos productores en especial en las plantas verdes (Odum, 2006)

Muchos autores marcan la diferencia entre los términos tasa de producción, productividad y producción, pero se puede considerar que se está hablando del mismo concepto, aunque a veces se emplea el término de producción para referirse a la cantidad de materia orgánica acumulada pero siempre es necesario que exista el intervalo de tiempo en su determinación (años, meses, etc)

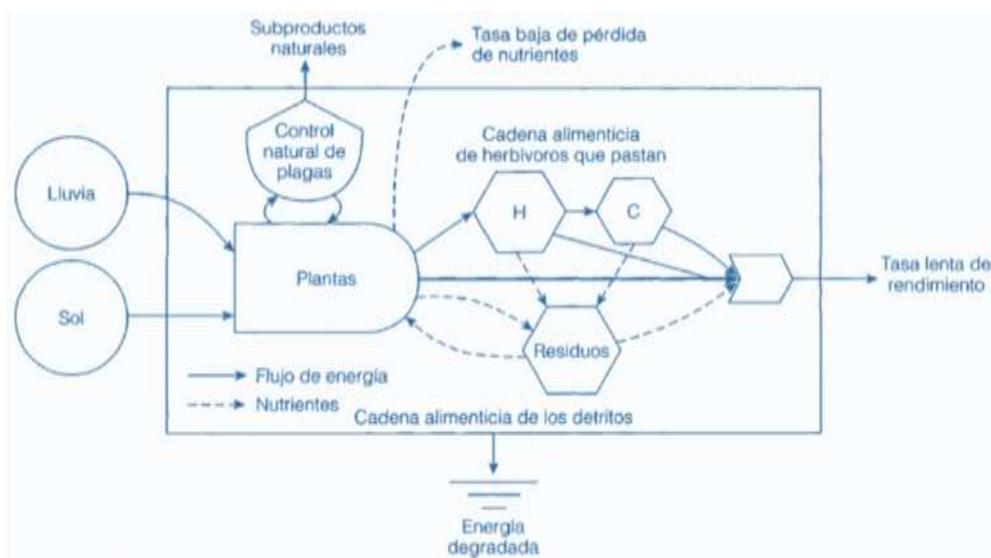
Los ecosistemas en general tanto naturales como cultivados presentan una elevada tasa de producción cuando los factores físicos del entorno representan un subsidio energético, ejemplos de ello pueden ser los fertilizantes en caso de subsidios incorporados a sistemas antropicos, es el caso de los cultivos plantaciones forestales o bien la lluvia o el viento en bosques naturales, o la energía de las mareas en un ecosistema acuático. También pueden considerarse subsidios energéticos a los combustibles fósiles, el trabajo animal, o humano necesario para una cosecha.

### 3.2 Subsidio energético

Cuando los factores físicos que conforman los ecosistemas naturales o cultivados son favorables (agua, nutrientes, clima), la tasa de producción primaria es elevada, y más aun cuando hay una energía auxiliar externa al sistema que reduce los costos de mantenimiento, es decir aumento la disipación del desorden. Cualquier tipo de energía secundaria o auxiliar que complementa la energía del sol, se conoce como energía auxiliar o subsidio energético (Odum, 2006)

Ejemplos de este tipo de subsidio energético para el caso de los ecosistemas implantados ya sea plantaciones forestales, agroecosistemas o sistemas silvopastoriles, podrían ser ejemplos de energía extra los combustibles fósiles, los fertilizantes, la selección genética, el control de plagas, etc. En el caso de ecosistemas marinos, las mareas en un estuario llevan nutrientes a los pantanos y alimento a las ostras y al mismo tiempo se llevan los productos de desecho. En todos estos casos los organismos que conforman estos sistemas no deben invertir energía en estas tareas y por lo tanto emplean más energía para su crecimiento.

En estos dos modelos de sistemas que se presentan a continuación es posible visualizar el concepto de subsidio energético. La figura 18 representa un ecosistema natural que recibe la energía solar pero sin ningún subsidio energético, el otro modelo, Figura 19, representa un ecosistema agrícola, subsidiado por el hombre mediante el combustible fósil y demás componentes.



**Fig. 19** Ecosistema natural sin subsidios energéticos. Tomado de Odum, (2006)

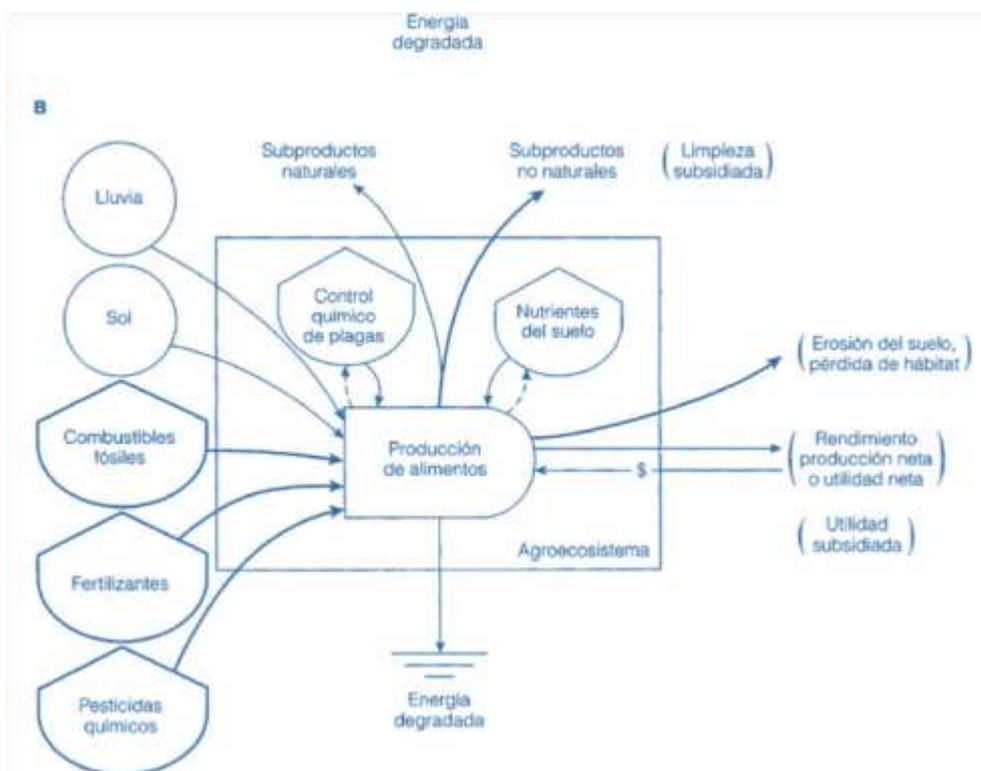


Fig. 19 Agroecosistema con subsidios energéticos. Tomado de Odum (2006)

Es posible distinguir los siguientes conceptos en lo que respecta a Productividad Primaria:

### Producción primaria (PP)

Energía capturada por los productores por unidad de superficie o volumen (biomasa producida) en la unidad de tiempo. Depende de la eficiencia fotosintética, nutrientes y temperatura siendo máxima en bosques tropicales, estuarios y cultivos intensivos y mínima en desiertos y zonas árticas. Los océanos en general son poco productivos debido a la limitación impuesta por la luz y los nutrientes.

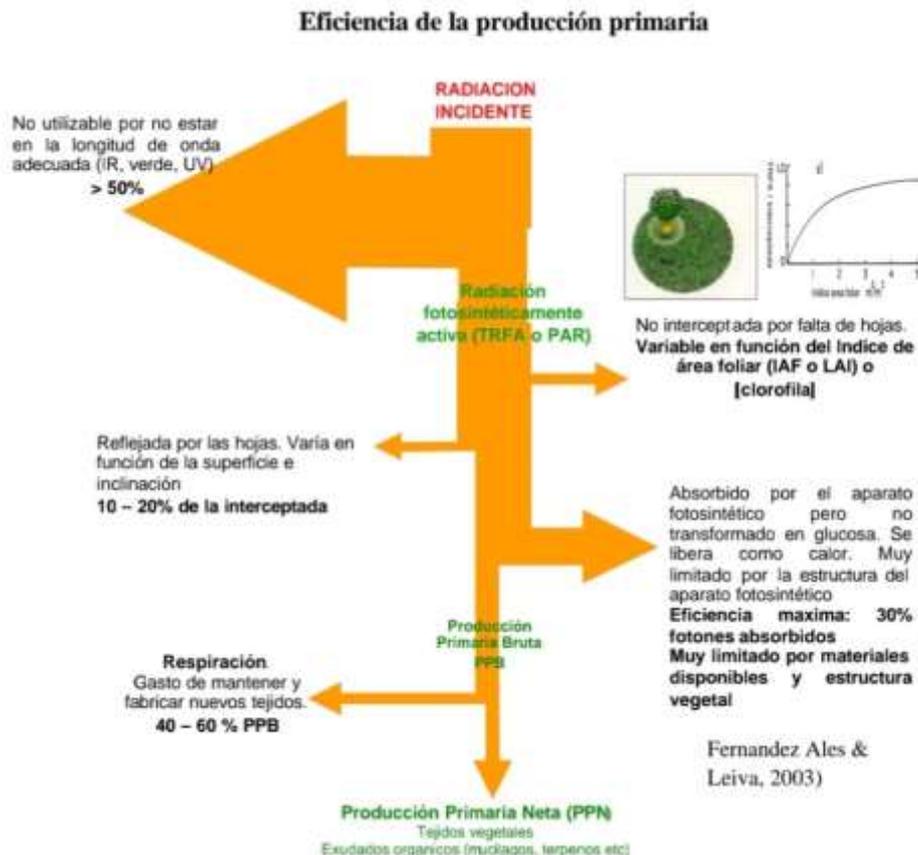
### Producción primaria bruta

(PPB). Cantidad de biomasa sintetizada por los productores por unidad de tiempo, incluyendo la que se consume en la respiración (R) y la que utiliza el vegetal para su crecimiento, funcionamiento y reproducción.

$$PPB = PPN + R$$

## Producción primaria neta (PPN).

Biomasa que queda después de descontar los gastos en respiración. Es el alimento que queda a disposición de los herbívoros. Cuando la PPN es positiva, la biomasa vegetal del ecosistema va aumentando. Es lo que sucede en un bosque joven en el que los árboles van creciendo y aumentando su número. Cuando el bosque ha envejecido, sigue fotosintetizando, sin embargo, toda la energía que recoge la emplea en la respiración, por lo que la producción neta se hace cero y la biomasa del bosque ya no aumenta; es decir, conforme los árboles se vuelven más viejos, una mayor parte de la producción bruta (fotosintetatos) se destina a mantenimiento (respiración de los tejidos leñosos) y menos queda para el crecimiento. Un claro ejemplo lo presenta los bosques de Pino Oregón, en el Pacífico noroeste de los EEUU, el 70 % de la producción bruta de un bosque de 20 a 40 años de edad se acumula como biomasa (producción neta). En un bosque de 450 años de edad, solamente un 6 % a un 7 % de la fotosíntesis bruta queda disponible para la producción neta.



**Fig. 20** Eficiencia de la Producción Primaria en sistemas naturales.

(tomado de *Fernández Ale, et al, 2003*)

Además de la edad del ecosistema, existen otros factores condicionantes de la productividad primaria, como la fisiología de la especie, herbivoría, etc. El siguiente gráfico muestra la eficiencia de la producción primaria en condiciones naturales.

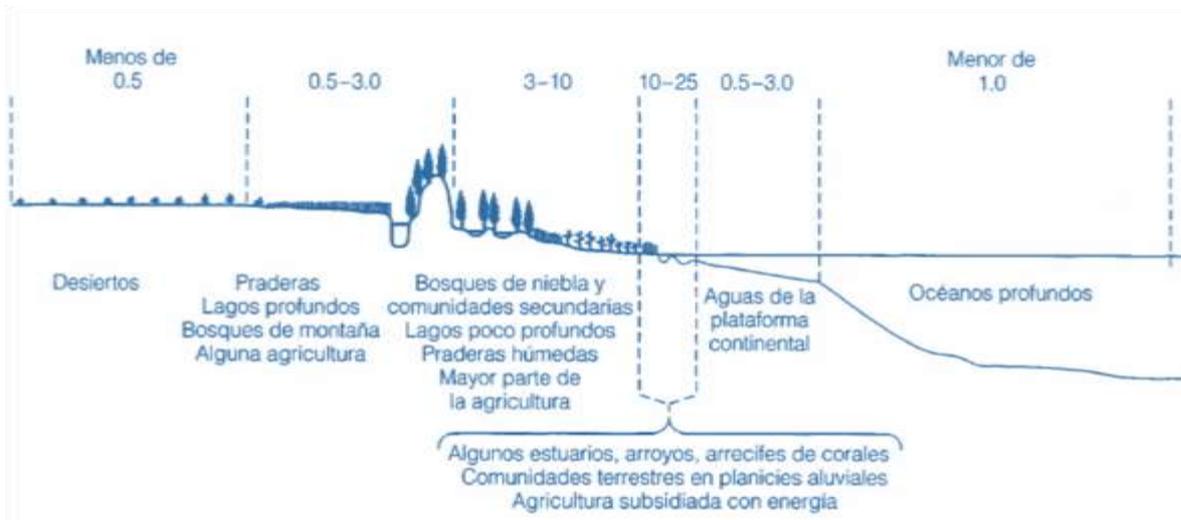
Teniendo en cuenta la fisiología de la especie, es posible distinguir entre plantas con mecanismos tipo C4, C3 y CAM. En términos generales, las plantas C4 tienen el doble de capacidad fotosintética que las plantas C3 y pueden hacer frente a temperaturas más altas, a menor cantidad de agua y nitrógeno disponible. Es por estas razones. Las plantas C4 y CAM presentan mayor eficiencia del proceso fotosintético, tolerancia a altas temperaturas, rendimientos más altos y resistencia a la sequía y la salinidad, que las plantas C3, por lo que estarían mejor adaptadas para compensar los cambios ambientales resultantes del calentamiento global.



**Fig. 21** Ejemplos de plantas con metabolismo C3, C4 Y CAM

Además de los factores limitantes de la productividad primaria arriba mencionados, también es importante nombrar que la temperatura, la luz, el agua,

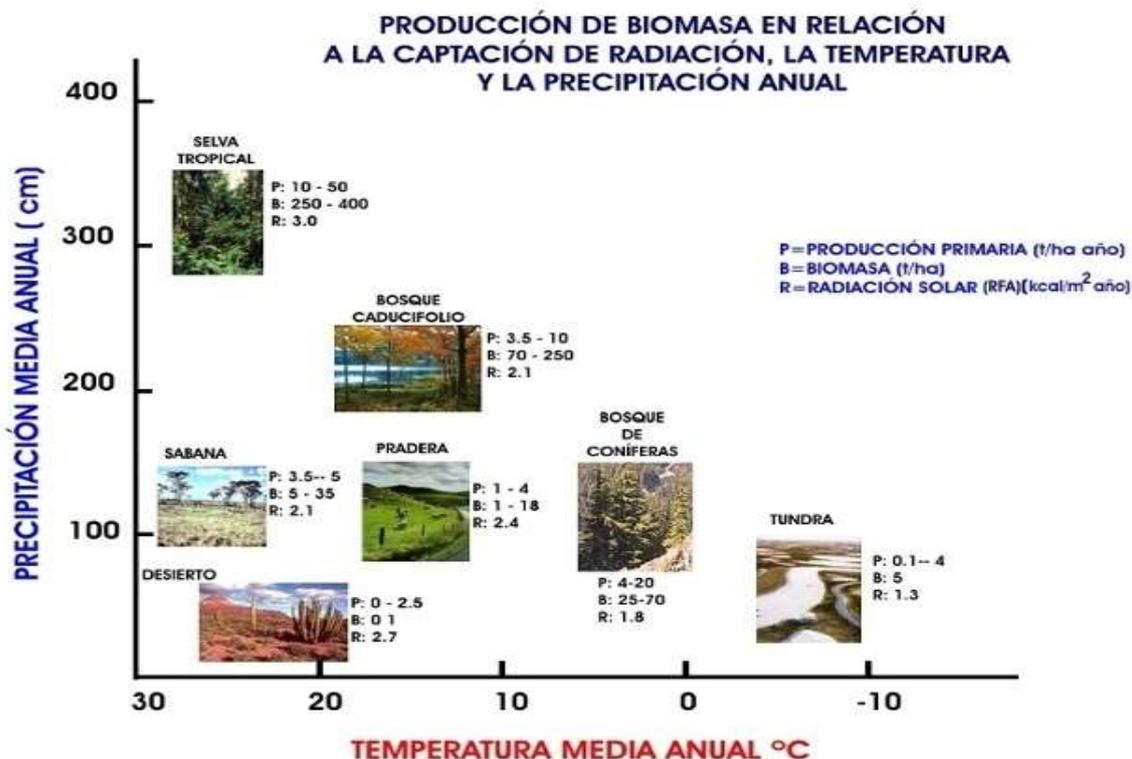
la presencia de determinados tipos de nutrientes, la herbivoría, el fuego, los contaminantes, etc., condicionan la efectividad de la capacidad productiva de los autótrofos. En la siguiente grafica se observa la distribución latitudinal de la producción primaria del Planeta, tanto en sistemas terrestres como en sistemas acuáticos y del océano; se estima que la producción Bruta Total del mundo es del orden de los  $10^{18}$  Kcal/año



**Fig. 22** Distribución mundial de la Producción Bruta. Tomado de Odum (2006)

Las precipitaciones y las temperaturas medias son determinantes de la producción Primaria. En la siguiente grafica se observan los diferentes tipos de biomas caracterizados por su capacidad productiva en función de su biomasa.

Según Hernández García *et al*, la gran variabilidad climática del Planeta, sumado a la disponibilidad de recursos naturales, como el agua, minerales, energía, etc., hace que las comunidades biológicas se distribuyan de una manera bastante heterogénea dando lugar a regiones muy diferentes en cuanto a la producción primaria estimada a partir de su biomasa; es decir, en cuanto a su capacidad para fijar la energía solar mediante la actividad biológica primaria. El flujo de energía, el reciclaje de los nutrientes y la autorregulación son las propiedades más importantes de los ecosistemas productivos.



**Fig. 23** Producción Primaria en ton/ha/año en función de las precipitaciones medias anuales y temperatura media anual

Según Hernández García *et al*, la gran variabilidad climática del Planeta, sumado a la disponibilidad de recursos naturales, como el agua, minerales, energía, etc., hace que las comunidades biológicas se distribuyan de una manera bastante heterogénea dando lugar a regiones muy diferentes en cuanto a la producción primaria estimada a partir de su biomasa; es decir, en cuanto a su capacidad para fijar la energía solar mediante la actividad biológica primaria. El flujo de energía, el reciclaje de los nutrientes y la autorregulación son las propiedades más importantes de los ecosistemas productivos.

Los ecosistemas tropicales son mucho más productivos que aquellos de las zonas templadas. La acumulación de materia orgánica es mayor en los sistemas de bosques y aumenta progresivamente hacia el ecuador. Para citar algunos ejemplos en el bosque boreal europeo de abetos, la acumulación total de materia orgánica es de 100,000 kg·ha<sup>-1</sup> y aumenta a 300,000 kg·ha<sup>-1</sup> en el bosque meridional. Los bosques caducifolios de hayas situados al norte, asimilan

alrededor de 370,000 kg·ha<sup>-1</sup> frente a 400,000 kg·ha<sup>-1</sup> en los bosques caducifolios ubicados más al sur.

En cuanto a la distribución de la materia orgánica en forma de biomasa, en función de la arquitectura de la especie, se destaca que en los tres principales biomas de bosque (conífero boreal, caducifolio y tropical) se presentan estructuras muy parecidas en la distribución: menos de la cuarta parte de su biomasa en las raíces y casi tres cuartas partes en las ramas y troncos perennes. En lo que respecta al bioma de desierto, la gran biomasa de raíces es una adaptación a la aridez, pero lo que es muy interesante es la proporción de biomasa que se encuentra en forma de hojarasca. En las regiones áridas donde hay una importante predominancia de matorrales, la vegetación está muy dispersa y hay una gran porción de suelo desnudo entre ellas, sumado a la escasa y errática precipitación, junto con la temperatura del suelo y del aire, que son altas durante el día y descienden bruscamente durante las noches, la escasa humedad y la gran insolación, son los factores de la desecación del ambiente a los que están adaptados los organismos vivos que pueblan estas regiones y por lo tanto su biomasa es escasa.

Se observa en el siguiente cuadro, que la mayor capacidad productiva, expresada en términos de biomasa se presenta en las selvas tropicales y húmedas, donde la intensidad de la **radiación es elevada, y las precipitaciones son intensas y frecuentes**. En cambio, los desiertos **donde las temperaturas son altas pero las precipitaciones son escasas presentan una muy baja producción, reflejándose en un contenido de materia seca pobre**. Lo mismo sucede con los ecosistemas de la tundra, donde las **precipitaciones son elevadas pero las temperaturas son bajas**.

## Evaluaciones de PPN y de biomasa vegetal en ecosistemas principales

Tipo de ecosistema	Área (10 <sup>8</sup> km <sup>2</sup> )	Productividad primaria neta por unidad de área (g · m <sup>-2</sup> · año <sup>-1</sup> )		Biomasa por unidad de área (kg/m <sup>2</sup> )	
		Intervalo normal	Media	Intervalo normal	Media
Bosque tropical perennifolio	17.0	1000–3500	2200	6–80	45
Bosque tropical caducifolio	7.5	1000–2500	1600	6–60	35
Bosque mesófilo de montaña	5.0	600–2500	1300	6–200	35
Bosque templado	7.0	600–2500	1200	6–60	30
Bosque boreal o bosque de coníferas	12.0	400–2000	800	6–40	20
Bosque abierto y matorrales	8.5	250–1200	700	2–20	6
Sabana (pastizal tropical)	15.0	200–2000	900	0.2–15	4
Pastizal templado o pradera	9.0	200–1500	600	0.2–5	1.6
Tundra y alpino	8.0	10–400	140	0.1–3	0.6
Matorral xerófilo	18.0	10–250	90	0.1–4	0.7
Desierto extremo, rocas, arena y hielo	24.0	0–10	3	0–0.02	0.02
Campos de cultivo	14.0	100–3500	650	0.4–12	1
Humedales y pantanos	2.0	800–3500	2000	3–35	15
Lago y arroyo	2.0	100–1500	250	0–0.1	0.02
<i>Total continental</i>	<b>149</b>		<b>773</b>		<b>1837</b>
Mar abierto	332.0	2–400	125	0–0.005	0.003
Corrientes nutricias	0.4	400–1000	500	0.005–0.1	0.02
Plataforma continental	26.2	200–600	360	0.001–0.04	0.01
Arrecifes de corales y camas de algas	0.6	500–4000	2500	0.04–4	2
Estuarios	1.4	200–3500	1500	0.01–60	1
<i>Total marino</i>	<b>361</b>		<b>152</b>		<b>0.01</b>

Fig. 24 Comparación de la capacidad productiva de diferentes biomas.

(Tomado de Odum, 2006)

### 3.3 Producción secundaria

- **La producción primaria neta es la energía disponible para el componente heterotrófico del ecosistema.** Toda esta producción primaria neta acaba siendo consumida por los herbívoros o bien por los descomponedores.
- Parte de la energía en forma de material vegetal, una vez consumida sale del cuerpo en forma de heces y orina. De la energía que queda retenida parte es utilizada como calor para el metabolismo y el resto es para mantenimiento, es decir captura o recolección de alimentos, realización de trabajo muscular, y sustento del desgaste corporal del animal, luego esta energía utilizada para el mantenimiento se pierde como calor.
- De esta energía sobrante del mantenimiento y la respiración va a la producción, de nuevos tejidos (crecimiento) o nuevos individuos. **Esta energía neta de la producción es lo que se conoce como “producción secundaria”**. La producción secundaria es mayor cuando la tasa de natalidad de la población y la tasa de crecimiento de los individuos es elevada. En el siguiente grafico se muestra los conceptos referidos.

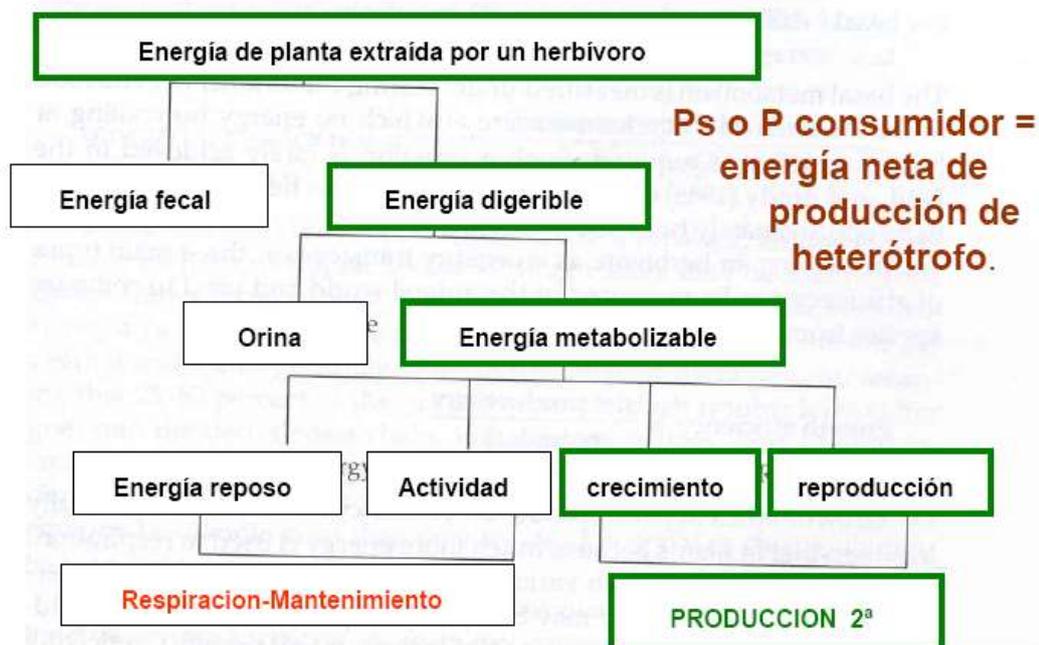


Fig. 25 Concepto de producción secundaria

Repasando conceptos, entonces la producción secundaria es:

**PRODUCTIVIDAD SECUNDARIA NETA (PSN) => no toda la energía que llega a los herbívoros está disponible para crear biomasa.**

**La energía tiene dos posibilidades=>**

- Se absorbe la parte digerida del alimento y parte se utiliza para los procesos vitales:
  - Parte de los nutrientes asimilados son utilizados en la respiración celular para obtener energía para los procesos vitales.
  - Parte después de ser absorbidos es eliminado como residuo nitrogenado en la orina (en la mayoría de los animales).
  - El resto es asimilado en forma de materia en los tejidos del cuerpo.
- El alimento no digerido junto a los nutrientes no absorbidos son eliminados directamente a través de las heces (egestión).

**PSN = energía en la comida ingerida- la energía perdida en las heces (egestión) – energía usada en la respiración**

A medida que se avanza en los diferentes niveles tróficos, los organismos vivos emplean la energía capturada en realizar sus funciones vitales, otra parte la pierden en forma de desechos. Para el caso de un herbívoro por ejemplo un 50 % de esa energía la elimina en las heces, el 33 % la pierde en su respiración y aproximadamente solo el 17 % queda disponible para el siguiente nivel trófico. La mayoría de los ecólogos autores de diferentes libros, coinciden en que la cantidad de energía que pasa de un nivel al inmediato siguiente, varía desde un 5 % en el caso de los carnívoros, hasta un 20 % en el caso de los herbívoros, por lo tanto como media se considera el 10 % de la materia o energía de un nivel queda disponible para el nivel siguiente. La figura siguiente muestra lo expresado en este párrafo.

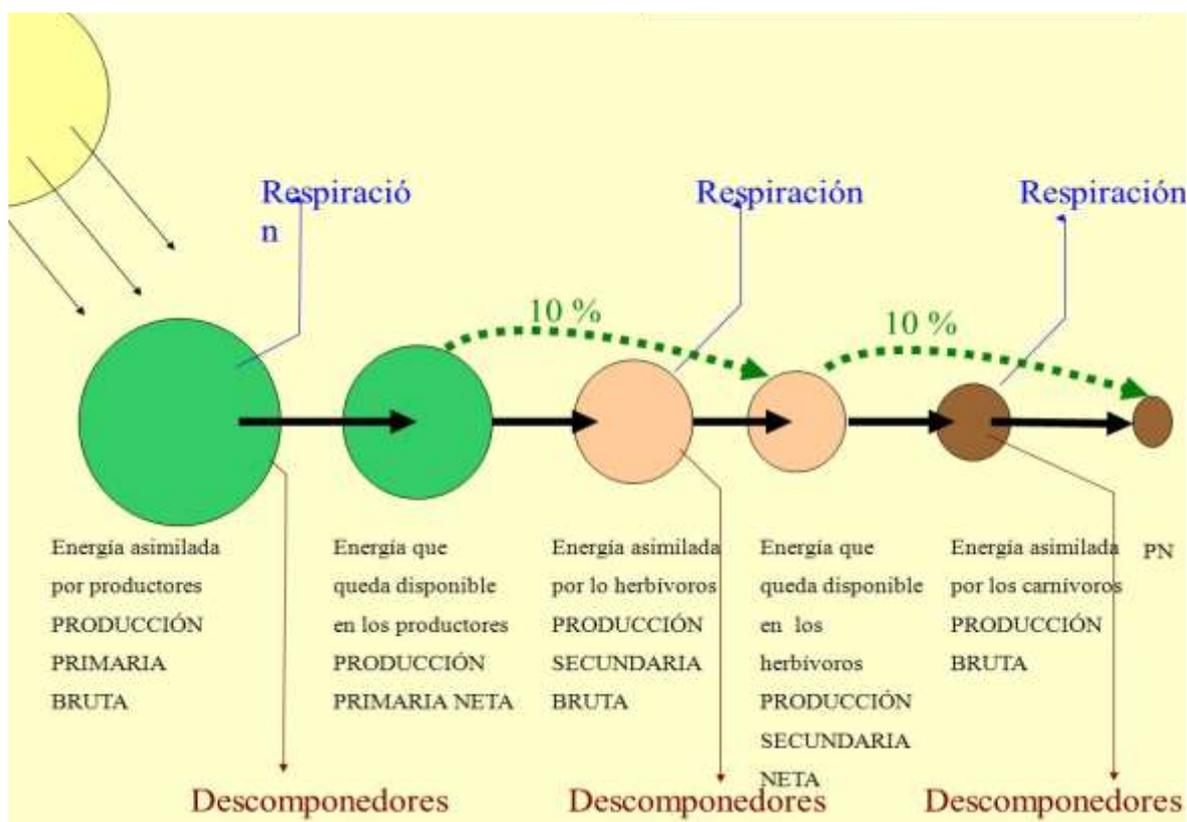


Fig. 26 el "diezmo ecológico" o la Ley del 10 %

(tomado de ecología wordPress.com)

### 3.4 Eficiencia energética en el sistema (eficiencia ecológica)

La eficiencia ecológica es el producto de las eficiencias de explotación, de asimilación y de producción neta, es decir es el resultado de la relación entre la producción del consumidor/producción de la presa. La eficiencia Ecológica depende principalmente de la eficiencia de asimilación, que es en realidad la proporción de la energía consumida que se asimila y la eficiencia de producción neta que resulta de la proporción de energía asimilada que es gastada en crecimiento almacenamiento y reproducción. Si no sería necesario utilizar energía para el mantenimiento, movimiento, producción de calor, los animales podrían utilizar la energía en mayor medida para el crecimiento y reproducción; es por lo mencionado que los animales activos de sangre caliente presentan eficiencias de producción neta bajas; las aves menos del 1 % y los pequeños mamíferos reproductivos hasta un 6%. Los animales de sangre fría más sedentarios, en

especial las especies acuáticas destinan casi el 75 % de la energía asimilada hacia el crecimiento y la reproducción. Se destacan las definiciones de varias eficiencias energéticas:

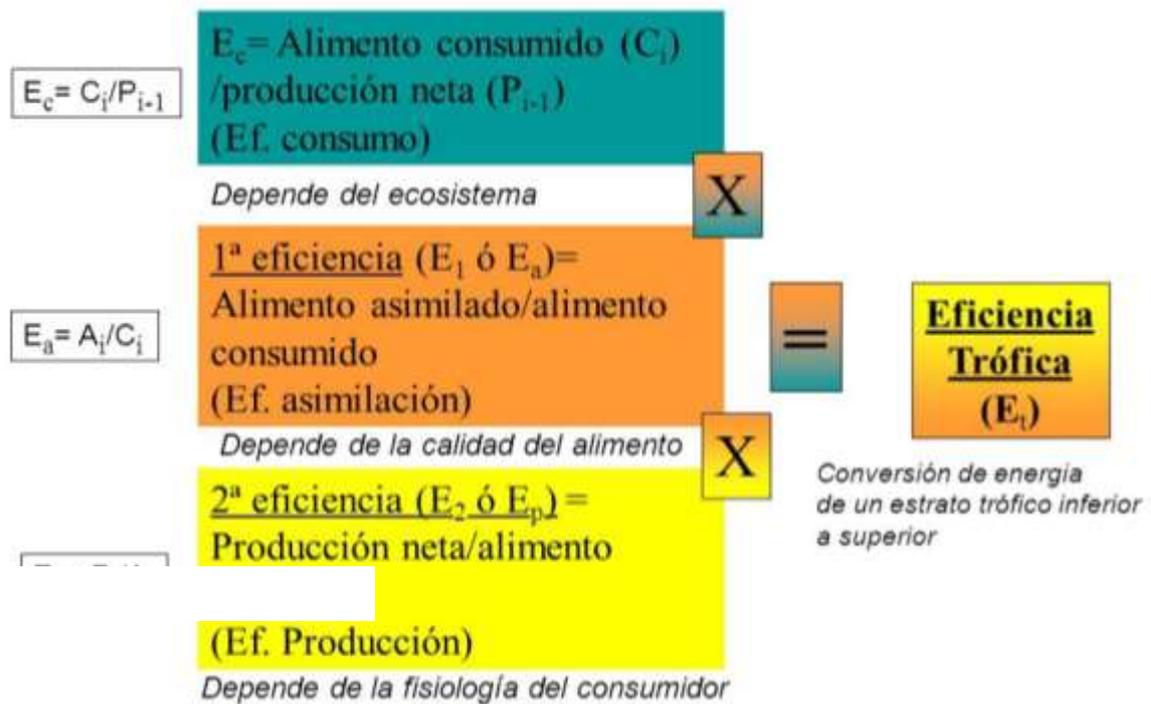


Fig. 27 Eficiencias ecológicas

### 3.5 Transferencia de Energía

La cadena alimentaria es la forma de transferir la energía desde un nivel trófico al siguiente; es decir se transfiere la energía desde su fuente y continúa a través de un grupo de organismos que consumen y son consumidos. Cuanto más corta es la cadena alimentaria, es decir cuánto más cerca del productor se encuentran los niveles inmediatos, los organismos tienen mayor disponibilidad de energía; aunque si bien la cantidad de energía disminuye a medida que se pasa de un nivel trófico al siguiente, la calidad o concentración de la energía es mayor.

Es posible distinguir dos tipos de cadenas alimentarias, si bien son paralelas pero están interconectadas:

- **La cadena alimenticia de los herbívoros:** conformada por los organismos que consumen cualquier tejido vegetal y continua hasta llegar a los carnívoros
- **La cadena alimenticia del detrito:** que comprende desde la materia orgánica sin vida hasta los microorganismos y desde allí hasta los que se alimentan de detritos (los detritívoros) y sus depredadores.

La siguiente figura destaca las cadenas alimentarias mencionadas

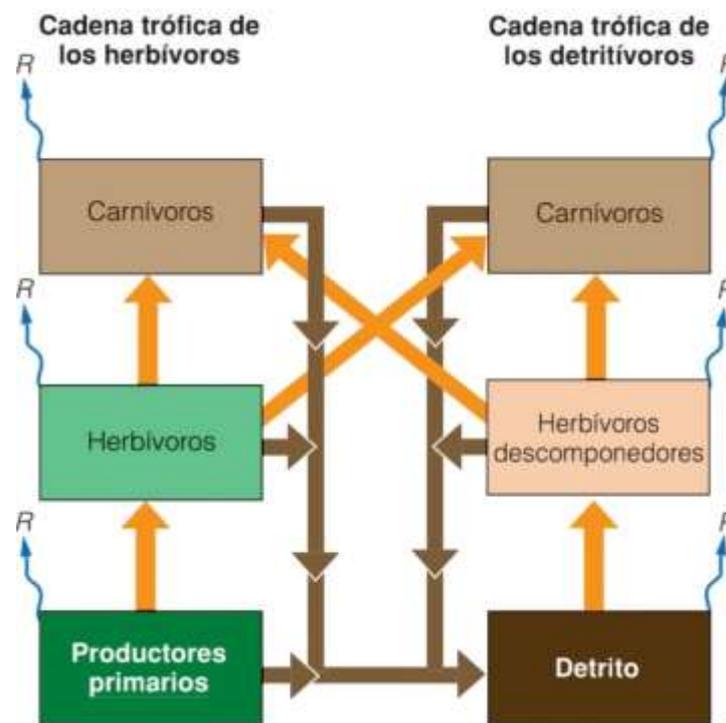


Fig. 28 Cadena Productiva y Detritívora (Fuente: Smith, 2007)

### 3.5.1 Niveles tróficos

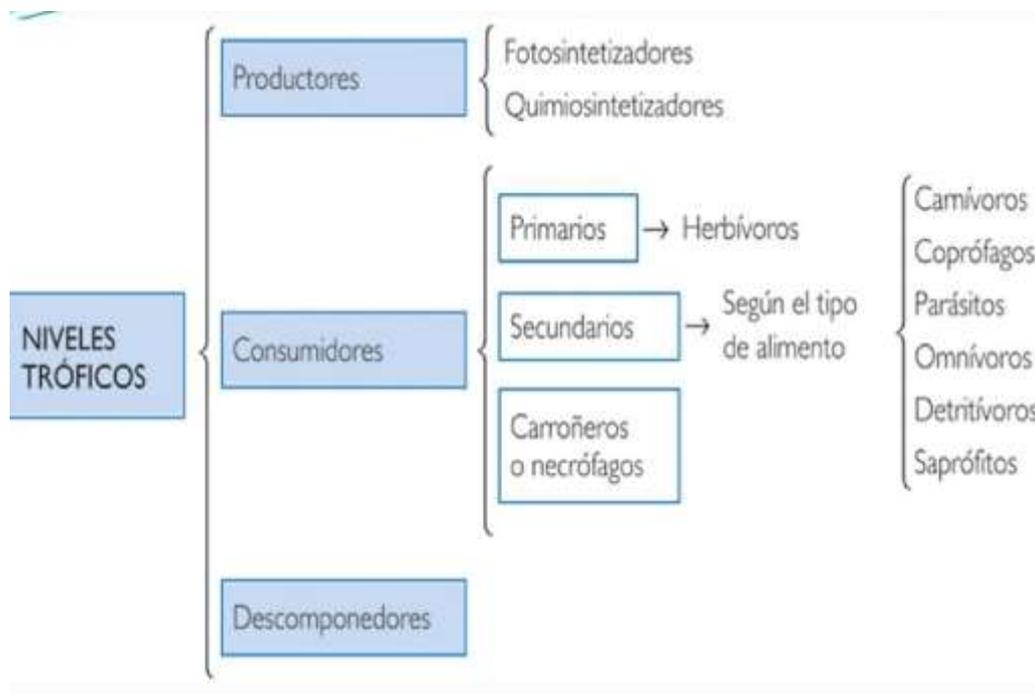
**El primer nivel trófico le corresponde a los productores o autotrofos**, su fuente principal de energía es el sol, o energía química, sus nutrientes provienen del agua suelo y la atmosfera.

**El segundo nivel trófico le corresponden a los consumidores primarios o bien los herbívoros**, que transforman en tejido animal la energía almacenada en el tejido vegetal, los mismos presentan diferentes adaptaciones en cuanto a su digestión para digerir productos con alto contenido en celulosa.

**El tercer nivel trófico les corresponde a los carnívoros primarios o consumidores secundarios**, estos a su vez constituyen la fuente de energía para los carnívoros secundarios o consumidores terciarios. Un carnívoro es todo organismo que se alimenta de otro organismo o de sus tejidos vivos, por lo tanto algunos parásitos son carnívoros.

**El carnívoro típico está adaptado para una dieta estricta de carne**, los halcones y búhos tienen afiladas garras y picos para sujetar y perforar sus presas. Bien pueden tener afiladas dentaduras para sujetar y morder sus presas. Hay que destacar que no todos los consumidores se ubican en el mismo nivel trófico, ya que muchos de ellos no limitan su alimentación únicamente a un solo nivel trófico, por ejemplo el zorro rojo se alimenta de bayas y de pequeños roedores, lo que ocupa el nivel de los herbívoros y carnívoros. De igual manera algunos peces que se alimentan de zooplancton y de fitoplancton. Se denominan omnívoros aquellos consumidores que se alimentan tanto de tejidos animales como vegetales.

El siguiente esquema muestra los niveles tróficos mencionados



**Fig. 29** Esquema sencillo de clasificación de los niveles tróficos

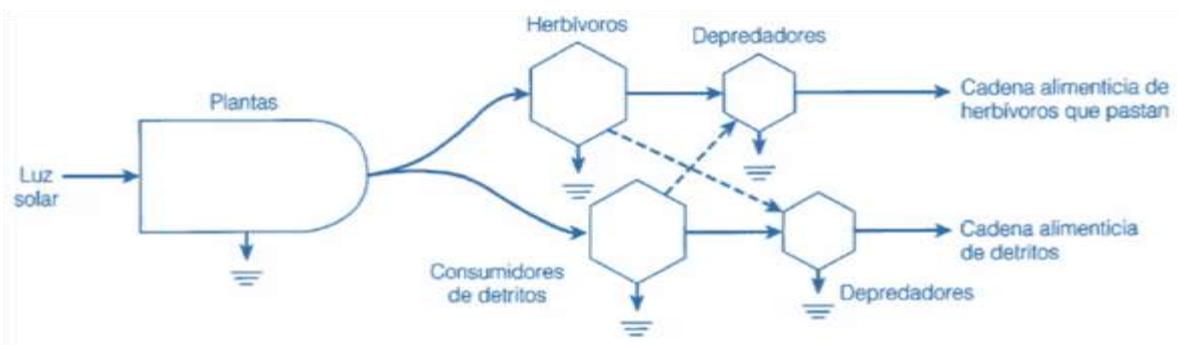
(tomado de biología IB. Org)

Las cadenas alimentarias no están aisladas, las mismas interactúan entre sí formando las conocidas redes alimentarias.

La transferencia de energía en estas redes o cadenas es elevada cuando la fuente energética es alta. Cuando las plantas o animales producen sustancias de difícil digestión, tales como celulosa, lignina, quitina, es decir inhibidores químicos, muchas veces necesarios para su defensa, que desalientan a los posibles consumidores, da lugar a que la transferencia de energía entre los niveles tróficos sea de 20 % o menores (Odum, 2006)

En la siguiente grafica se observa la transferencia de energía desde una cadena alimentaria de herbívoros, ensamblada con la cadena detritívora. Ambas cadenas están separadas en tiempo y en espacio, entre algunas causas podría ser la estacionalidad que condiciona la fisiología del organismo; los fagotrofos o macroconsumidores y los microconsumidores, bacterias, hongos, saprófagos, tienen diferentes tamaños y por lo tanto diferentes metabolismo.

El tipo de ecosistema también determina la diferencia, por ejemplo, en ecosistemas acuáticos poco profundos o en praderas o bien pastizales usados casi constantemente para pastoreo, el 50% o más de la producción neta pasa para la vía de los herbívoros que pastan; por el contrario en ecosistemas de pantanos, bosques o bien el océano, es decir en general la mayoría de los ecosistemas naturales funcionan como sistemas detritívoros, debido a que aproximadamente el 90% de la producción autótrofa no es consumida por los heterótrofos, los tallos, las hojas, toda materia orgánica que cae, forma parte de la materia orgánica, disuelta en el agua que se descompone.



**Fig. 30** Modelo de flujo de energía entre las cadena ensambladas de herbívoros que pastan y de detritos. Tomado de Odum (2006)

Un claro ejemplo de red trófica es la de la Tundra Ártica, estudiada durante muchos años por Elton, (1972). El primer eslabón lo constituyen las plantas de dicho ecosistema, los líquenes del genero *Cladonia*, también conocidos como musgos para renos, los pastos, los juncos y los sauces enanos, este nivel trófico sería la base alimenticia de renos y caribúes. Estos últimos forman parte del alimento de los lobos y de humanos. Los fotosintetizadores son también consumidos por un lagopodo (*Lagopis lagopis*) y por leming (*Lemus sp*)

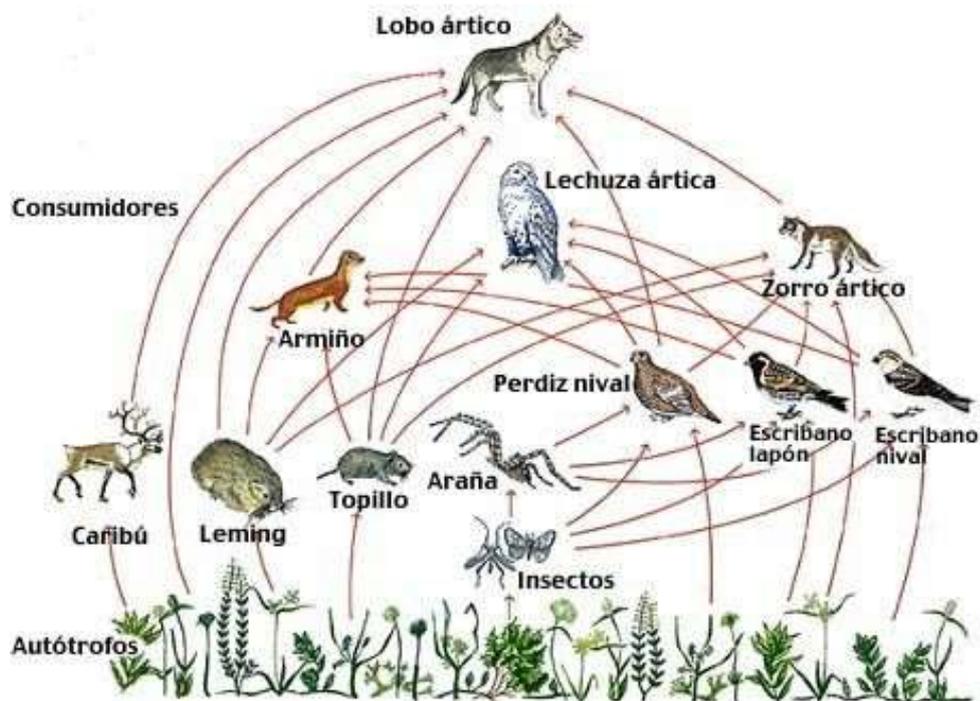


Fig. 31 Red alimentaria de la Tundra Ártica.

Durante el largo invierno y el corto verano el zorro blanco del ártico (*Alopex lagopus*) y la lechuza nival (*Nyctea Scandiaca*) y otros rapaces, depredan roedores, lemines, ratones de campo (topillos) y lagopodos (gallinas árticas o perdices). De manera que al observar esta red trófica, es posible concluir que cualquier cambio radical en el número de individuos, ya sea de *Cladonia* (autótrofo) o bien en el número de roedores provocara una importante alteración en la misma. Estas fluctuaciones fuertes que oscilan entre la abundancia o la extinción ocurren cuando se depende de una o de muy pocas fuentes de alimentos y no existen fuentes energéticas alternativas.

Otro ejemplo de red trófica con la interacción de la cadena trófica y la cadena de detritos, es la de ecosistemas de praderas, las redes detritívoras pueden proveer de energía también a las redes de pastoreo, por ejemplo en el caso de aves que se alimentan de lombrices

### **3.5.2 Retroalimentación de Recompensa**

La relación predador – presa en la transferencia de energía en las cadenas tróficas, mejora en tiempo y espacio, cuando el consumidor puede promover, además de consumir su propio suministro de alimento. Es decir un herbívoro o un parásito, hace algo positivo que permite la supervivencia de su fuente de alimento, ya sea planta o bien hospedero.

Para comprender este concepto se citan dos ejemplos uno correspondiente a sistemas terrestre y el otro para un sistema acuático.

Por ejemplo en las grandes praderas hay un incremento vegetativo anual, es decir un aumento de la producción neta de pasto cuando hay herbívoros a diferencia que cuando no los hay. Se ha demostrado científicamente que la producción primaria neta aumenta con el pastar moderado, a esto se suma un importante aumento de la biodiversidad. Esta conclusión, está demostrada por Dylar, *et al*, 1995, citada por Odum (2006), el que propone que la saliva de los saltamontes y de los grandes herbívoros, contienen hormonas de crecimiento (péptidos complejos), esto estimula el desarrollo de raíces y la capacidad de las plantas para generar nuevas hojas creando un Mecanismo de Retroalimentación Positiva.

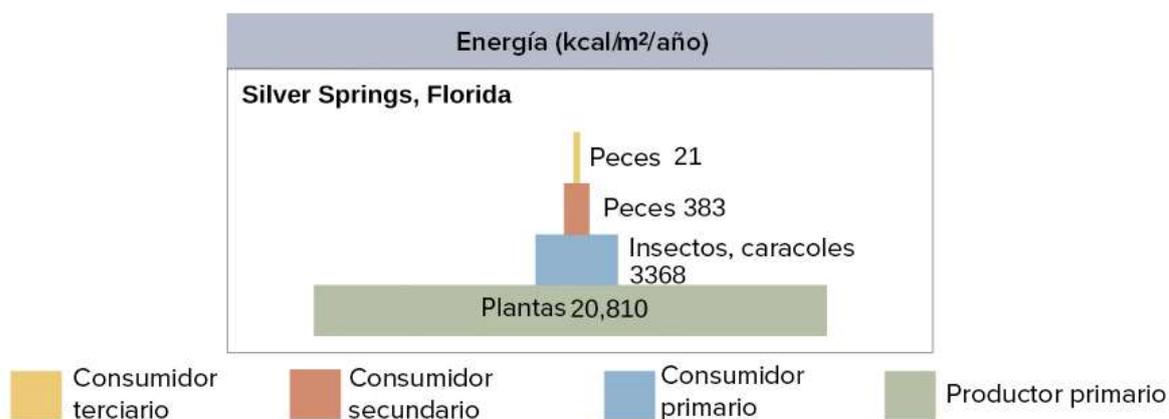
En cuanto al ejemplo de retroalimentación de recompensa para un ecosistema acuático, se cita un pantano costero, habitado por cangrejos violinistas del género *Uca*, de la familia *Ocypodidae*. Estos cangrejos se alimentan de algas superficiales y detritos. Cuando los cangrejos se entierran aumenta la circulación del O<sub>2</sub>, y hace que este gas llegue a las profundidades de la zona anaerobia, mejorando las condiciones de regeneración de algas bénticas. También al alimentarse del lodo orgánico, expulsan partículas de sedimento y bolitas fecales, lo que suministran sustancias para el desarrollo de bacterias fijadoras de nitrógeno, que enriquecen al sistema.

### 3.5.3 Pirámides Ecológicas

Las **pirámides ecológicas** proporcionan una imagen visual, descriptiva para comparar variables de interés (como el flujo de energía, la biomasa (materia) o la cantidad de organismos) en los niveles tróficos de un ecosistema. Pueden ser de tres tipos: **Pirámides de energía o productividad**, **Pirámides de biomasa** y **pirámides numéricas**.

Las **pirámides de energía** representan el flujo de energía a través de los niveles tróficos. Por ejemplo, la pirámide siguiente muestra la productividad bruta de cada nivel trófico en un ecosistema acuático como el de Silver Springs.

Una pirámide de energía generalmente muestra las *tasas* de flujo de energía a través de los niveles tróficos, no la cantidad absoluta de energía almacenada. Las pirámides de energía siempre van hacia arriba, es decir, son más estrechas con cada nivel sucesivo, este patrón refleja las leyes de la termodinámica nos dicen que la energía no puede ser creada y que una parte debe convertirse en una forma no utilizable (calor) en cada transferencia



**Fig. 32** Pirámide de Energía  
(tomada de [www.Khan Academy.Org](http://www.Khan Academy.Org))

#### Pirámides de biomasa

Otra forma de visualizar la estructura energética del ecosistema es con las **pirámides de biomasa**. Estas pirámides representan la cantidad de energía almacenada en el tejido vivo en los diferentes niveles tróficos. (A diferencia de las

pirámides de energía, las pirámides de biomasa muestran cuánta biomasa hay en cada nivel, no la tasa a la que se añade).

El ejemplo que se presenta podemos ver la pirámide de biomasa del ecosistema acuático citado anteriormente. Esta pirámide, como muchas de las pirámides de biomasa, es vertical. Sin embargo, la pirámide de biomasa que se muestra a la derecha, de un ecosistema marino en el Canal de la Mancha, está de cabeza o invertida.

La pirámide invertida es posible gracias a la alta tasa de rotación del fitoplancton. El fitoplancton es devorado rápidamente por los consumidores primarios (zooplancton), por lo que su biomasa en cualquier momento es pequeña. Sin embargo, se reproduce tan rápido que, a pesar que su biomasa constante es baja, tiene una alta productividad primaria que mantiene a una gran cantidad de zooplancton.



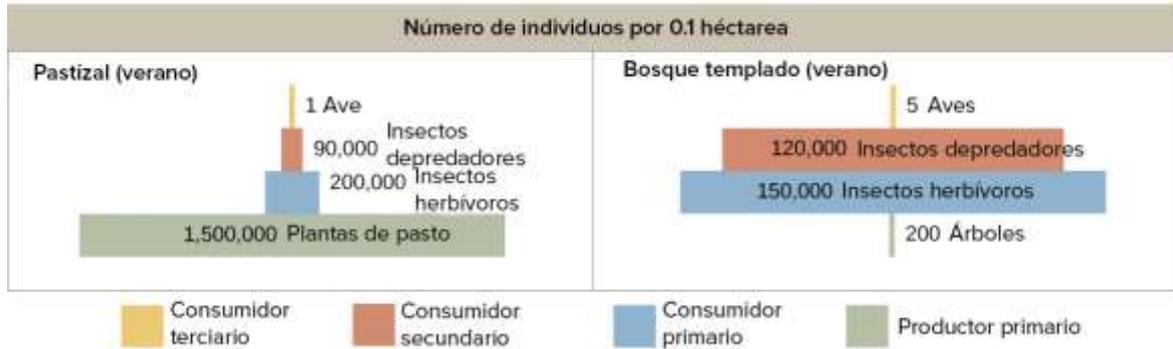
**Fig. 33** Pirámide de Biomasa  
(tomada de [www.Khan Academy.Org](http://www.Khan Academy.Org))

### Pirámides de cantidad

Muestran cuántos organismos hay en cada nivel trófico. Pueden ser verticales, invertidas, según el ecosistema que se trate.

Como se muestra en la imagen siguiente, un pastizal típico durante el verano tiene una base de plantas numerosas y la cantidad de organismos disminuye en los niveles tróficos superiores. Sin embargo, durante el verano, en los bosques templados, la base de la pirámide consiste de unas pocas plantas (la mayoría árboles) que son ampliamente superadas en número por los consumidores

primarios (insectos en su mayoría). Debido al gran tamaño de los árboles, pueden sostener los otros niveles tróficos a pesar de su pequeña cantidad.

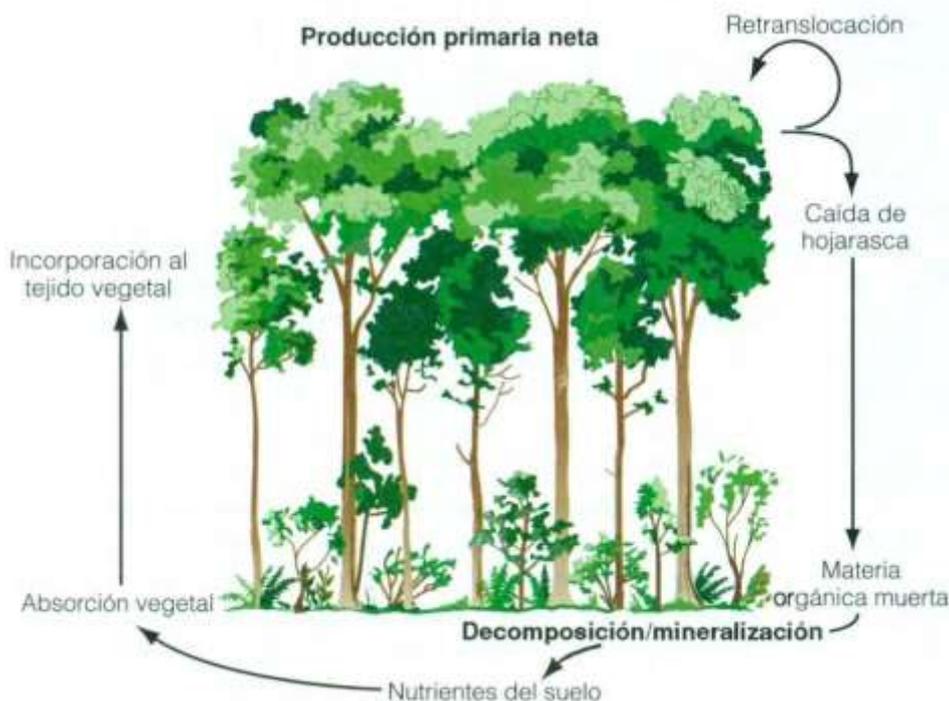


**Fig. 34** Pirámide Numérica  
(tomada de [www.Khan Academy.Org](http://www.Khan Academy.Org))

## 4. Descomposición y Circulación de los nutrientes

Cuando el tejido vegetal llega a la senectud, los nutrientes vuelven a la superficie del suelo en forma de materia orgánica muerta. Sin embargo, antes de la senectud, las plantas absorben una porción de los nutrientes de los tejidos viejos para almacenarlos y utilizarlos en la producción de tejidos nuevos. Este proceso de reciclado de nutrientes dentro de la planta se denomina **retranslocación o reabsorción**. Por ejemplo, cuando los días de otoño se acortan en los bosques caducifolios de las regiones templadas, se reduce la capacidad de las plantas para sintetizar clorofila, el pigmento que utiliza la luz y que le da a las hojas su color verde, de manera que los pigmentos anaranjados y amarillos (carotenoides y xantófilas) siempre presentes dentro de la hoja, comienzan a ser evidentes.

La descomposición consiste en la ruptura de los enlaces químicos formados durante la construcción de los tejidos vegetales y animales y la correspondiente liberación de la energía fijada originalmente por la fotosíntesis a través del CO<sub>2</sub> y del H<sub>2</sub>O, para finalmente transformar nutrientes orgánicos en inorgánicos.



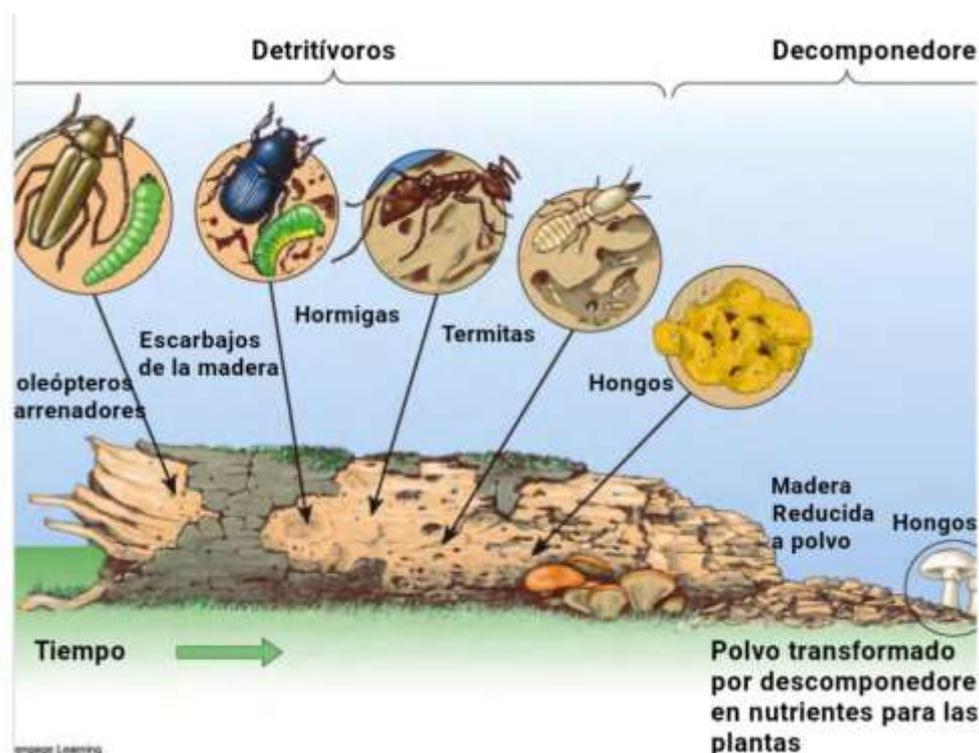
**Fig. 35** Circulación de los nutrientes, desde la producción primaria a la descomposición.

(Fuente, Smith, *et al*, 2007)

A medida que este proceso ocurre, el agua y los nutrientes se dirigen hacia los tallos y salen de las hojas. Por ejemplo alrededor del 70 % del nitrógeno de las hojas verdes puede ser recuperado por la planta antes de la senectud y la caída al suelo del bosque, reduciendo la cantidad de nutrientes que vuelven al suelo como materia orgánica muerta. Una vez ya en el suelo forestal, varios organismos descomponedores deshacen y consumen los tejidos vegetales muertos y transforman los nutrientes orgánicos en minerales durante el proceso de mineralización, así se completa el ciclo y los nutrientes están de nuevo disponibles para que las plantas los absorban y los incorporen a los tejidos vegetales.

**La descomposición es un conjunto de procesos, que incluyen la lixiviación, la fragmentación, los cambios en la estructura física y química, la ingestión y la excreción de productos de desecho.** Estos procesos son llevados a cabo por una gran variedad de organismos descomponedores. Este grupo está compuesto por descomponedores microbianos y está formado principalmente por bacterias, hongos y detritívoros animales que se alimentan de

materia orgánica muerta, inclusive el estiércol. La descomposición se realiza con la ayuda de los detritívoros invertebrados, que fragmentan las hojas, las ramitas y otras materias orgánicas muertas (detrito). Estos organismos se concentran en cuatro importantes grupos clasificados según el tamaño de su cuerpo, desde ácaros hasta macrodetritívoros como las lombrices y caracoles.



**Fig. 36** Grupo de organismos que intervienen en la descomposición.

(Fuente: Molina Frenaner, [www.docplayer.es](http://www.docplayer.es))

No toda la materia orgánica se descompone al mismo ritmo. Los factores que influyen en la tasa de descomposición son:

- (1) la calidad de los desechos vegetales como sustrato para los microorganismos y la fauna del suelo activos en el proceso de descomposición y
- (2) las características del ambiente físico que poseen una influencia directa en las poblaciones de descomponedores, concretamente en las propiedades del suelo, por ej. textura y pH, y en el clima (temperatura y precipitaciones).

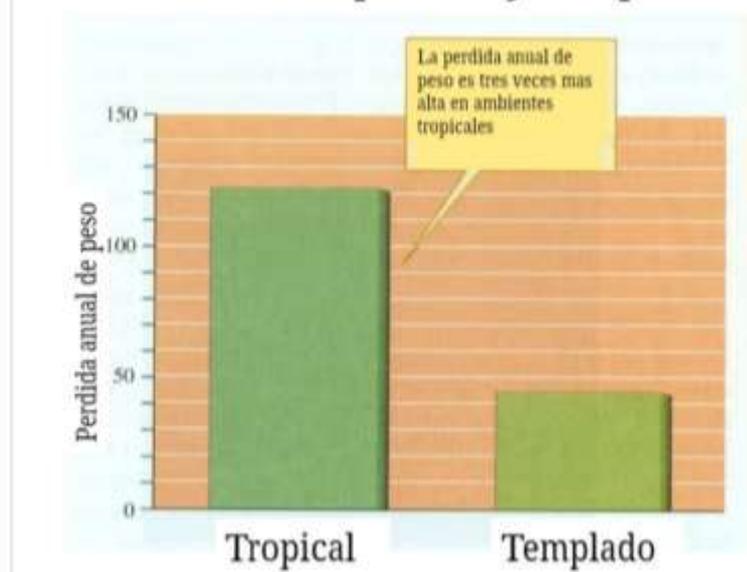
Para el primer de los factores las características que influyen en la calidad de la hojarasca como fuente de energía están relacionadas directamente con los tipos y

cantidades de compuestos de carbono presentes; concretamente los tipos de enlaces químicos presentes y el tamaño y la estructura tridimensional de las moléculas en las cuales se forman los enlaces.

El carbono es abundante en los restos vegetales, normalmente constituye entre el 45 % y el 60 % del peso seco del tejido vegetal, pero no todos los compuestos de carbono poseen la misma calidad como fuente de energía para los descomponedores microbianos. La glucosa y otros monosacáridos, es decir, los primeros productos de la fotosíntesis, son fuentes de carbono de muy alta calidad. Esas moléculas son físicamente pequeñas. La ruptura de sus enlaces químicos produce una energía mucho mayor a la necesaria para sintetizar las enzimas necesarias para romperlas. **La celulosa y la hemicelulosa, son los principales componentes de las paredes celulares, pero estos compuestos son más complejos en estructura y por lo tanto más difíciles de descomponer que los carbohidratos simples, al igual que la lignina.** Como tal, la lignina, el elemento más importante de la madera, se encuentra entre los componentes que más tarda en descomponerse del tejido vegetal. Las bacterias no degradan la lignina; ésta es descompuesta por un solo grupo de hongos, los basidiomicetes.

Además de la calidad de la materia orgánica muerta como fuente de alimento, el ambiente físico también tiene un efecto directo tanto en los macro- como en los micro- descomponedores. Tanto la temperatura como la humedad influyen mucho en la actividad microbiana. Las bajas temperaturas reducen o inhiben la actividad microbiana como también lo hacen las condiciones de baja humedad. El ambiente óptimo para los microbios es el que es tibio y húmedo. La siguiente figura muestra la tasa de descomposición en dos ecosistemas diferentes, tropical y bosque templado.

## Tasas de descomposición de hojarasca en ambientes tropicales y templados



**Fig. 37** Factores que influyen en la descomposición, humedad, temperatura.

(Fuente: [www.docplayer.es](http://www.docplayer.es))

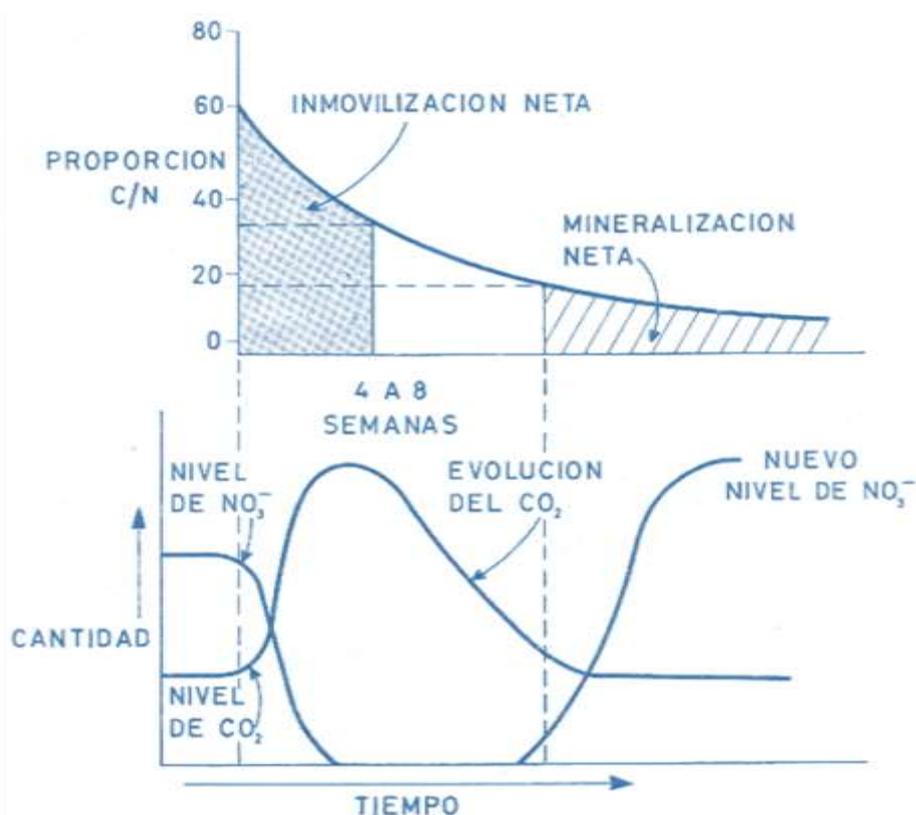
De la misma forma que varía la calidad de los componentes de carbono de la materia orgánica muerta como fuente de energía para los descomponedores microbianos, la calidad de nutrientes de la materia orgánica muerta también varía ampliamente. El macronutriente nitrógeno puede servir como ejemplo. La mayor parte del material de la hoja muerta tiene un contenido de nitrógeno en el rango de 0,5 % a 1,5 %

Cuanto mayor es el contenido de nitrógeno de la hoja muerta, mayor será el valor de los nutrientes para los microbios y hongos que se alimentan de la hoja. A medida que la materia orgánica muerta se va consumiendo, los descomponedores microbianos (bacterias y hongos) transforman el nitrógeno y otros elementos contenidos en los compuestos orgánicos en formas inorgánicas (o minerales). **Este proceso se denomina mineralización.**

Por ejemplo, la forma inorgánica del nitrógeno, el amonio, es un desecho del metabolismo microbiano. Los mismos descomponedores que son responsables de la mineralización también necesitan nitrógeno para su propio crecimiento y reproducción. Por lo tanto, siempre que se lleve a cabo la **mineralización**, la

**inmovilización**, la **absorción y asimilación** de nitrógeno mineral por los descomponedores microbianos, ocurre en contraposición.

Dado que ambos procesos, la **mineralización y la inmovilización**, ocurren a medida que los organismos descomponedores consumen la hojarasca, la **tasa de mineralización neta**, es la diferencia entre las tasas de mineralización y la de inmovilización.



**Fig. 38** Inmovilización y mineralización, relación entre C/N.

**Al comienzo de la lixiviación** el contenido de nitrógeno aumenta a medida que los descomponedores microbianos inmovilizan al nitrógeno. Por esta razón, las concentraciones de nitrógeno pueden elevarse por encima del 100 %, excediendo el contenido de nitrógeno inicial en la hojarasca. En segundo lugar, el contenido de nitrógeno de los hongos y las bacterias es considerablemente mayor que el del material de la planta de la cual se alimentan.

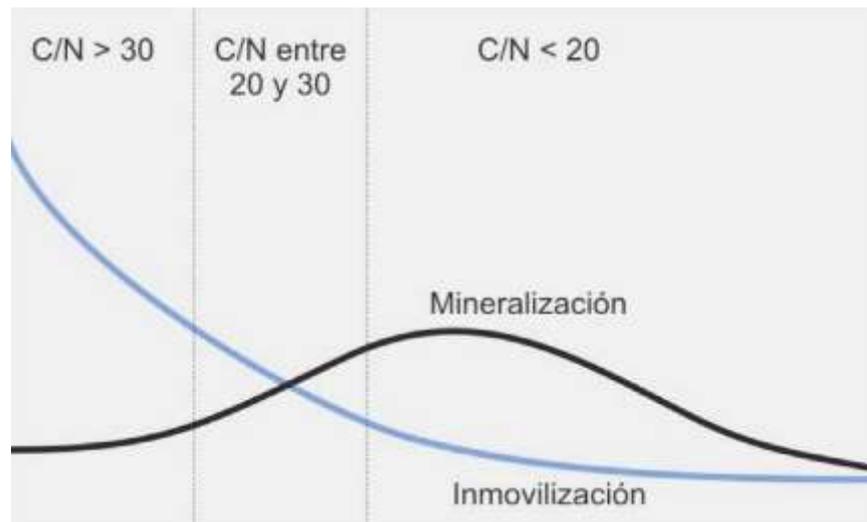
**La proporción de carbono-nitrógeno (C:N; gramos de carbono por gramo de nitrógeno) es un índice ampliamente utilizado para caracterizar el contenido de nitrógeno de distintos tejidos.**

A medida que la descomposición se produce y la calidad del carbono disminuye (debido a una mayor fracción proporcional de lignina), la tasa de mineralización excede a la de la inmovilización, y existe una liberación neta de nitrógeno al suelo (o al agua).

**El patrón real de la dinámica del nitrógeno durante la descomposición depende del contenido de nutrientes inicial de la hojarasca.** Si el contenido de nitrógeno de la hojarasca es alto, la **mineralización puede exceder a la tasa de inmovilización** del comienzo de la descomposición y la concentración de nitrógeno de la hojarasca no aumentará más allá de la concentración inicial.

La calidad de la materia orgánica muerta varía en función de su contenido de nutrientes. A medida que los descomponedores microbianos desintegran la materia orgánica muerta, transforman los nutrientes de los compuestos orgánicos en formas inorgánicas. Este proceso se denomina mineralización de nutrientes. Los mismos organismos responsables de la mineralización vuelven a utilizar algunos de los nutrientes que han producido, incorporando los nutrientes inorgánicos en forma orgánica. Este proceso se denomina inmovilización de nutrientes.

**La diferencia entre las tasas de mineralización e inmovilización es la tasa de mineralización neta, que representa la liberación neta de nutrientes en el suelo o en el agua durante la descomposición.**



**Fig. 39** Inmovilización y mineralización, tasas de C/N. (Fuente: Smith, *et al*, 2007).

#### 4.1 La descomposición en los ambientes Acuáticos

La descomposición en los ecosistemas acuáticos varía en función de la profundidad del agua y de la tasa de flujo. En las aguas corrientes (arroyos y ríos), un grupo especializado de detritívoros está involucrado en la desintegración de la hojarasca de las plantas que proviene de los ecosistemas terrestres adyacentes.



**Fig. 40** Zonas de descomposición comparadas entre un ecosistema terrestre y un acuático.

(Fuente: Smith, *et al*, 2007)

En los ambientes de aguas abiertas, los organismos y otras sustancias orgánicas muertas denominados materia orgánica particulada (MOP) son arrastrados hacia el fondo. En su camino, la MOP es constantemente ingerida, digerida y mineralizada hasta que gran parte de la materia orgánica queda en forma de compuestos húmicos en el momento que alcanza los sedimentos del fondo. Las bacterias descomponen la materia orgánica en los sedimentos del fondo, utilizando la respiración aerobia o anaerobia, según el suministro de oxígeno. La materia orgánica disuelta (MOD) en la columna de agua, también proporciona una fuente de carbono para los descomponedores.

En aguas tranquilas y abiertas de lagos y lagunas, así como en el océano, los organismos muertos y otros materiales orgánicos, denominados materia orgánica particulada (MOP), son empujados por la corriente hacia el fondo. En este camino, la MOP es constantemente ingerida, digerida y mineralizada hasta que una gran parte de la materia orgánica se deposita en el fondo en la forma de compuestos húmicos.

## **4.2 Producción Primaria y Descomposición**

El ciclo interno de nutrientes a través del ecosistema depende de los procesos de producción primaria y descomposición. La productividad primaria determina la tasa de nutrientes transferidos de la forma inorgánica a la forma orgánica (absorción de nutrientes) y la descomposición determina la tasa de transformación de nutrientes orgánicos hacia la forma inorgánica (tasa neta de mineralización). Por lo tanto, las tasas a las que estos dos procesos ocurren influyen directamente en las tasas en las que los nutrientes circulan a través del ecosistema

**Para entender esta relación entre producción y descomposición, consideramos el ciclo del nitrógeno un nutriente esencial para el crecimiento vegetal.** La tasa máxima de fotosíntesis se correlaciona fuertemente con las concentraciones de nitrógeno en las hojas, debido a que la rubisco, la clorofila, y la PEPC contienen una elevada cantidad del nitrógeno de la hoja. Así, la disponibilidad de nitrógeno en el suelo (sedimentos o agua en el caso de ecosistemas acuáticos) afectará directamente a la tasa de la producción primaria

del ecosistema a través de su influencia en la fotosíntesis y en la absorción del carbono.

Una baja disponibilidad de nitrógeno en el suelo reduce no sólo la producción primaria neta (la producción total de tejido vegetal) sino también la concentración de nitrógeno de los tejidos vegetales que son producidos, de manera que la disponibilidad reducida de nitrógeno en el suelo influye en el ingreso de materia orgánica muerta a la cadena trófica de los descomponedores, el efecto neto es un menor aporte de nitrógeno en la materia orgánica muerta.

Tanto la cantidad como la calidad de la materia orgánica muerta como fuente de alimento para los descomponedores influyen directamente en la tasa de descomposición y mineralización del nitrógeno (liberación de nutrientes). Las menores concentraciones de nutrientes en la materia orgánica muerta promueven la inmovilización de nutrientes desde el suelo y el agua para cubrir las demandas de nutrientes de la población de descomponedores. Esta inmovilización reduce efectivamente la disponibilidad de nutrientes para las plantas (reduce la tasa de mineralización neta) afectando negativamente a la producción primaria. De forma inversa, una alta disponibilidad de nutrientes fomenta altas concentraciones de tejido vegetal y una alta producción primaria neta. A su vez, la alta calidad y cantidad de materia orgánica muerta fomenta altas tasas de mineralización neta y el abastecimiento de nutrientes en el suelo.

La retroalimentación entre la calidad de la hojarasca, la circulación de nutrientes y la producción primaria neta es de fundamental importancia en los ecosistemas. Es posible entender entonces el sistema de retroalimentación que existe en el ciclo interno de los nutrientes dentro de un ecosistema. Si hay una cantidad reducida de nutrientes puede producir el efecto combinado de la reducción tanto de la concentración de nutrientes del tejido vegetal (principalmente tejido de las hojas) como la producción primaria neta. Esta reducción reduce la cantidad total de nutrientes devueltos al suelo en forma de materia orgánica muerta. La cantidad y la calidad reducida (concentración de nutrientes) de la materia orgánica que entra en la cadena trófica de los descomponedores aumenta la inmovilización y reduce la disponibilidad de nutrientes para la absorción por parte de las plantas (mineralización).

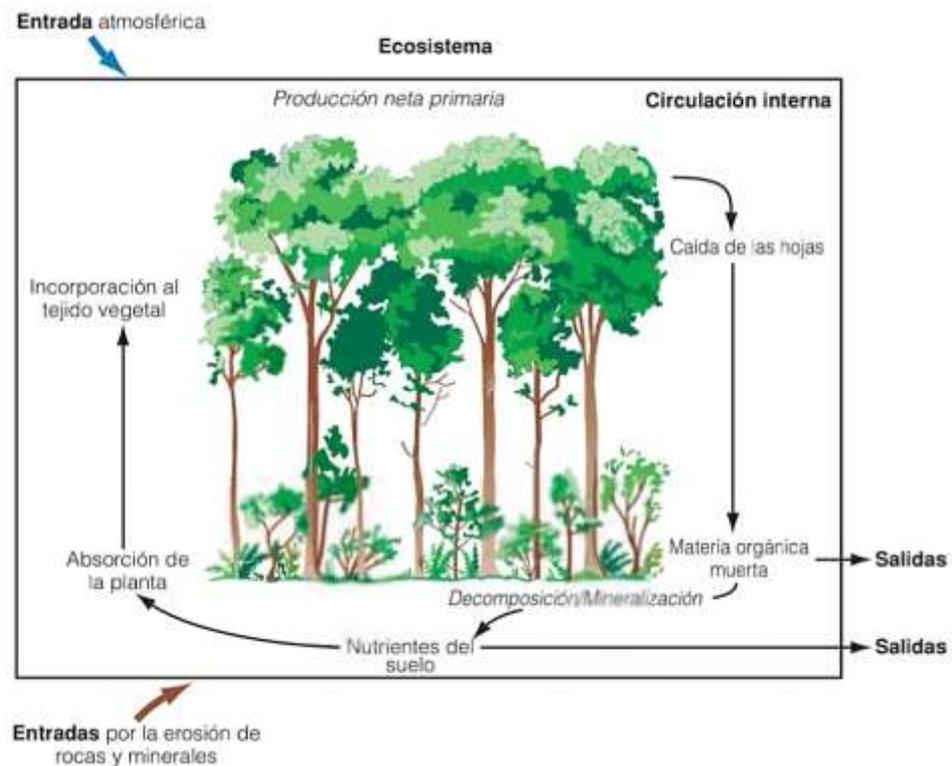


**Fig. 41** Productividad primaria y descomposición.

(Fuente: Smith, 2007)

### **4.3 Ciclos biogeoquímicos**

Comprendidas las cadenas alimentarias que van desde los productores, a los consumidores y a los descomponedores; es por estos medios como se ponen en circulación los diferentes constituyentes de la materia viva presente en la biomasa.



**Fig. 42** Ciclado de la materia en el ecosistema.

(Fuente: Smith, 2007)

Son aproximadamente diez los elementos más importantes que circulan en el sistema; en orden de importancia son: carbono, oxígeno, nitrógeno, fósforo, azufre, calcio, potasio, procesos llevados a cabo por complemento del ciclo hidrológico. Se denominan ciclos biogeoquímicos, al conjunto de procesos que aseguran el ciclado permanente y más o menos rápido (esto último dependiendo del tipo de ecosistema y de los factores externos) de estos mencionados componentes, que pasan de un estado orgánico, al estado mineral y a la inversa. Este reciclado permanente es lo contrario del NO reciclado de la energía que se degrada en forma de calor y jamás se reutiliza; por ello se menciona como ciclo de la materia y flujo de la energía.

Las cantidades de estos compuestos puesta en juego en los ciclos biogeoquímicos son enormes expresados en millones de toneladas (Mt) o millardo de toneladas, también denominado gigatoneladas (Gt), (Dajoz R, 2001)

Existen dos tipos básicos de ciclos biogeoquímicos: los gaseosos y los sedimentarios. Esta clasificación se basa en la fuente principal de entrada de nutrientes al ecosistema. En los ciclos gaseosos, las reservas principales de nutrientes son la atmósfera y los océanos. Por esta razón, los ciclos gaseosos son claramente globales. Los gases más importantes para la vida son el nitrógeno, el oxígeno y el dióxido de carbono. Estos tres gases en cantidades estables del 78, 21 y 0,03 %, respectivamente, son los componentes dominantes de la atmósfera terrestre.

En los ciclos sedimentarios, el reservorio principal es el suelo, las rocas y los minerales. El ciclo mineral varía de un elemento a otro, pero consiste principalmente en dos fases: la fase rocosa y la fase de solución salina.

Las sales minerales provienen directamente de la corteza terrestre a través de la erosión. Una vez disueltas se introducen en el ciclo del agua. Con ella, se mueven a través del suelo hacia los arroyos y lagos y finalmente llegan hasta los mares, donde se quedan por tiempo indefinido. Otras sales vuelven a la corteza terrestre a través de la sedimentación. Se incorporan como depósitos de sal, limo y piedra caliza. Cuando vuelven a erosionarse se incorporan, de nuevo, al ciclo.

Existen muchos tipos diferentes de ciclos sedimentarios. Algunos como el ciclo del azufre son híbridos entre el gaseoso y el sedimentario porque tienen reservas importantes no sólo en la corteza terrestre sino también en la atmósfera. Otros ciclos, como el del fósforo, no tienen reservas gaseosas significativas; el elemento se libera de las rocas y se deposita tanto en los sedimentos superficiales como en los fondos marinos.

Tanto los ciclos sedimentarios como los gaseosos constan de procesos biológicos y no biológicos; ambos son conducidos por el flujo de energía a través del ecosistema; el agua es el medio a través del cual los elementos y otros materiales se movilizan dentro del ecosistema. El ciclo del agua juega un papel de preponderancia en los ciclos biogeoquímicos ya que es el medio del ciclado de los mismos. Aunque los ciclos biogeoquímicos de los diferentes nutrientes esenciales necesarios para los autótrofos y heterótrofos difieren en algunos detalles, desde la perspectiva del ecosistema todos los ciclos biogeoquímicos poseen una

estructura en común, y comparten tres componentes básicos: entradas, circulación interna y salidas.

**En un ciclo biogeoquímico se pueden distinguir tres fases:**

- **Fase geoquímica:** la materia fluye entre sistemas abióticos (atmósfera, hidrosfera, litosfera)
- **Fase biogeoquímica:** paso de la materia orgánica a inorgánica y viceversa.
- **Fase bioquímica:** comprende la transferencia de materia orgánica dentro de la biocenosis en la que intervienen microorganismos.

Los procesos que se llevan a cabo en los diferentes ciclos, son los siguientes:

Transformaciones Físicas:

- Disolución
- Precipitación
- Volatilización
- Fijación

Y transformaciones Químicas:

- Biosíntesis
- Biodegradación
- Bio/transformaciones óxido-reductoras

### **4.3.1 El ciclo del carbono**

El carbono es un constituyente básico de todos los compuestos orgánicos y está involucrado en la fijación de la energía a través de la fotosíntesis. Está tan estrechamente unido al flujo de energía que los dos son inseparables. De hecho, normalmente expresamos la productividad del ecosistema en términos de carbono fijados por metro cuadrado por año. La fuente de carbono, tanto en los organismos vivos como en los depósitos fósiles, es el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) de la atmósfera y de las aguas de la Tierra. La fotosíntesis extrae el CO<sub>2</sub> del aire y del agua hacia los componentes vivos del ecosistema. Cuando la energía fluye a través de la cadena trófica de los herbívoros, también el carbono

pasa hacia los herbívoros y luego hacia los carnívoros. Los productores y consumidores primarios liberan de nuevo el carbono hacia la atmósfera en forma de  $\text{CO}_2$  con la respiración.

El carbono de los tejidos vegetales y animales se dirige finalmente hacia los reservorios de la materia orgánica muerta. Los descomponedores lo liberan hacia la atmósfera a través de la respiración.

El ciclo del carbono en ecosistemas acuáticos y terrestres se muestra en la siguiente figura. La diferencia entre la cantidad de carbono que se absorbe en la fotosíntesis y la pérdida de carbono debida a la respiración autótrofa y heterótrofa es la **producción neta del ecosistema**.

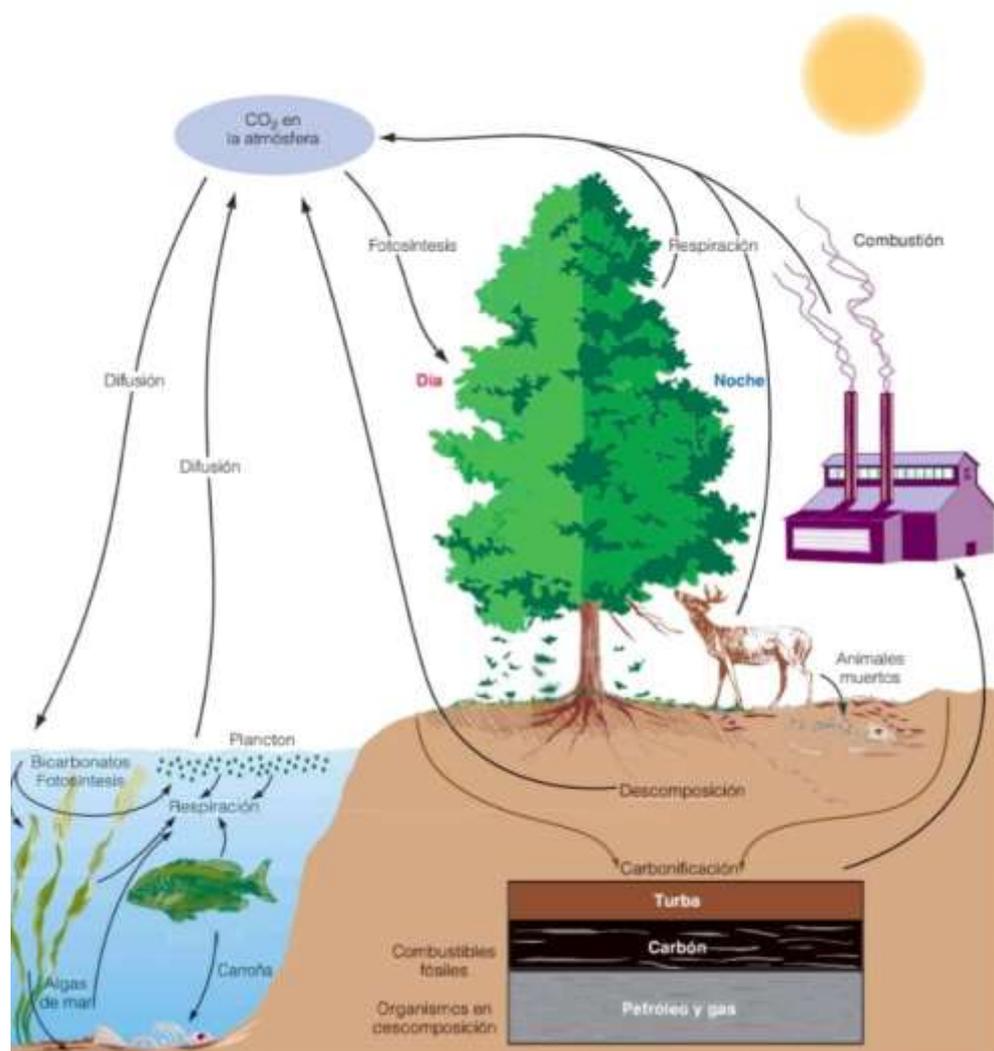


Fig. 43 Ciclo del carbono en ecosistemas terrestres y acuáticos.

(Fuente: Smith, 2007)

La producción primaria y la descomposición, determinan la velocidad a la cual el carbono circula a través del ecosistema. Ambos procesos están influidos, en gran medida, por condiciones ambientales tales como la temperatura y las precipitaciones. En los ecosistemas cálidos y húmedos como las selvas tropicales, la producción y descomposición son altas y el carbono circula rápidamente a través del ecosistema. En los ecosistemas fríos y secos, la circulación del carbono es más lento. En los ecosistemas cuyas temperaturas son muy bajas, la descomposición es muy lenta, y la materia orgánica muerta se acumula.

En los pantanos y marismas, donde la materia muerta cae en el agua, la materia orgánica no se descompone por completo, está almacenado como humus puro o turba, el carbono circula muy lentamente. A través de las eras geológicas, esta acumulación de materia orgánica parcialmente descompuesta de los pantanos y las marismas ha formado los combustibles fósiles (petróleo, carbón y gas natural).

En sistemas acuáticos, el fitoplancton utiliza el dióxido de carbono que se difunde en las capas más superficiales de agua o está presente en forma de carbonatos y los convierte en tejido vegetal. El carbono pasa después de los productores primarios a la cadena trófica acuática. El dióxido de carbono producido a través de la respiración puede ser reutilizado o reintroducido en la atmósfera por difusión desde la superficie del agua hacia el aire

Pueden encontrarse porciones significativas de carbono en forma de carbonatos en los cuerpos de moluscos y foraminíferos (protistas ameboides) e incorporadas en sus exoesqueletos (caparazones, etc.). Algunos de esos carbonatos se vuelven a disolver en el agua y algunos se entierran bajo el fango a distintas profundidades cuando el organismo muere, este carbono, aislado de la actividad biótica, queda eliminado de la circulación y es incorporado a los sedimentos más bajos, a través de las eras geológicas puede aparecen en arrecifes de coral y en rocas de piedra caliza.

El contenido del carbono en el ecosistema varía a lo largo del día y en las diferentes estaciones.

En el interior de un bosque por ejemplo, cuando hay luz y comienza la fotosíntesis, las plantas empiezan a extraer dióxido de carbono del aire y su concentración disminuye bruscamente. Por la tarde, cuando la temperatura aumenta y la humedad relativa decrece, la tasa de fotosíntesis disminuye y la concentración de dióxido de carbono en el aire que rodea la bóveda del bosque aumenta. Cuando el sol se oculta, la fotosíntesis se detiene, aumenta la respiración y la concentración atmosférica de dióxido de carbono aumenta bruscamente. Una fluctuación diurna similar ocurre en los ecosistemas acuáticos.

Asimismo, hay una variación estacional en la producción y utilización del dióxido de carbono relacionado tanto con la temperatura como con las estaciones de crecimiento y letargo.

Cuando las estaciones favorecen al crecimiento, la concentración atmosférica de carbono comienza a bajar a medida que las plantas extraen el dióxido de carbono a través de la fotosíntesis. Cuando la estación de crecimiento alcanza su final, la fotosíntesis disminuye o cesa, el proceso dominante es la respiración y se elevan las concentraciones de dióxido de carbono. Aunque esos patrones de aumento y disminución suceden tanto en los ecosistemas terrestres como en los acuáticos, las variaciones son mucho mayores en los ambientes terrestres.

### **Ciclo del Carbono y su relación con el Cambio climático**

El clima mundial se está alterando significativamente, como resultado del aumento de concentraciones de gases invernadero en la atmósfera (GEI), los mismos son; dióxido de carbono, metano, óxidos nitrosos y clorofluorocarbonos. Estos gases están atrapando una porción creciente de radiación infrarroja terrestre y se espera que contribuyan en aumentar la temperatura entre 1,5 y 4,5 °C. y continuará elevándose por algunas décadas, aunque se estabilicen las emisiones. Los sistemas naturales (arrecifes de coral, glaciares, los manglares, los ecosistemas forestales) son vulnerables al cambio climático y algunos quedarán irreversiblemente dañados.

Los niveles de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera del Ártico han superado el nivel de 400 partes por millón (ppm). Concentraciones tan altas no

ocurrían desde hace al menos los últimos 800.000 años, lo que da una idea del impacto en ecosistemas globales que nuestra sociedad está causando.

Antes de la Revolución Industrial, los niveles globales de carbono estaban estabilizados **en torno a 275-280 ppm**. Con el uso masivo de combustibles fósiles como el carbón y el gas, procesos como la deforestación, la agricultura industrializada, y otros impactos humanos, **el resultado ha sido un crecimiento sostenido de la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera** hasta llegar a los 400-700 ppm actualmente.

Existe un compromiso por parte de países desarrollados con el objetivo de evitar que las **temperaturas globales no pasen el promedio de 2 grados Celsius**, algo que requeriría que las concentraciones de CO<sub>2</sub> no pasen los 450 ppm. Sin embargo con la tendencia actual, el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático advierte que el Planeta se está calentando aumentando sus temperaturas medias a una velocidad irreversible.

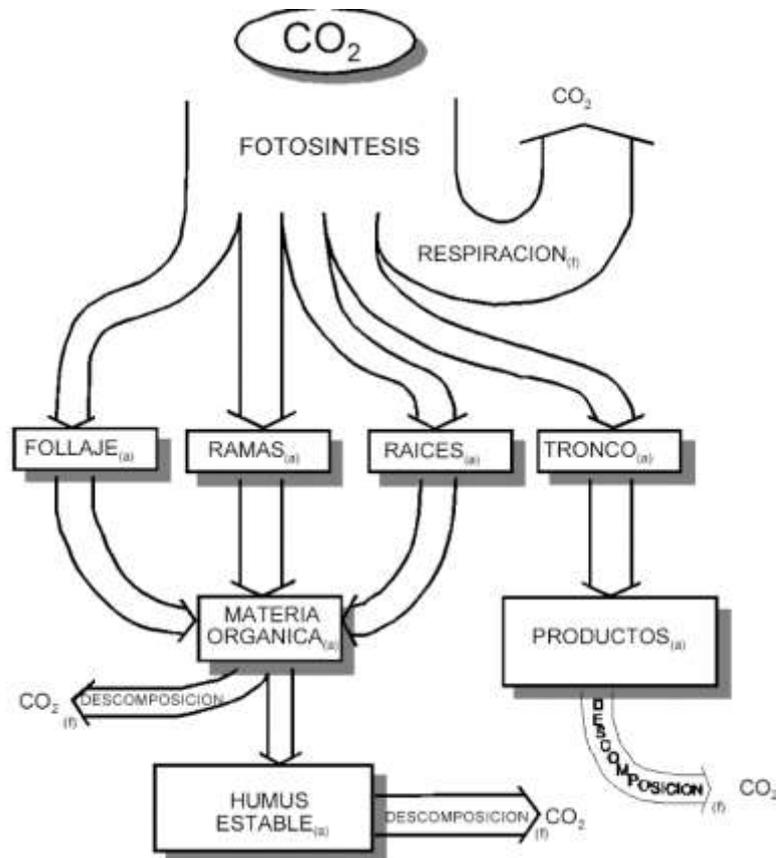
### **Función de los ecosistemas forestales en la fijación y emisión de CO<sub>2</sub>**

Los bosques cumplen una función de especial importancia en el ciclo global del Carbono. Son almacenes de grandes cantidades de Carbono en la vegetación y el suelo, intercambian Carbono con la atmósfera a través de la fotosíntesis y la respiración, y se transforman en fuentes de emisión de Carbono atmosférico cuando son alterados por causas antrópicas o naturales.

El mecanismo por medio del cual los bosques fijan el CO<sub>2</sub> atmosférico para luego ser incorporado a los procesos metabólicos, es la fotosíntesis. Ello da lugar a la síntesis de materias primas como la glucosa, para formar todas las estructuras necesarias para que el árbol pueda desarrollarse (raíces, tronco, ramas, hojas, etc.).

Los componentes de la copa (hojas, ramas) al caer al suelo aportan materia orgánica, o bien cuando el árbol muere al degradarse se incorporan gradualmente por descomposición compuestos orgánicos que dan origen al humus estable que, a su vez, aporta nuevamente CO<sub>2</sub> al entorno (Brown, *et al*, 1996). El Carbono está almacenado desde que se encuentra constituyendo alguna estructura del árbol y hasta que es remitido, ya sea al suelo o a la atmósfera. El Carbono completa su

ciclo en el momento de liberación, por la descomposición de la materia orgánica y/o la quema de la biomasa.



**Fig. 44** Flujos (f) y Almacenes (a) de Carbono en un ecosistema forestal  
(extraído de Masera y Ordoñez, 2001, citado por Barrionuevo, 2004)

#### 4.3.2 El ciclo del nitrógeno

El nitrógeno es un componente esencial de las proteínas, que a su vez son el componente básico de todo tejido vivo. El nitrógeno se encuentra disponible para las plantas solamente en dos formas químicas: el amonio ( $NH_4^+$ ) y el nitrato ( $NO_3^-$ ), de manera que aunque la atmósfera terrestre esté compuesta en casi un 80% por ciento por gas de nitrógeno, se encuentra en una forma ( $N_2$ ), el cual no es asimilable por parte de las plantas.

El nitrógeno se introduce en el ecosistema a través de dos rutas y la importancia de cada una de estas vías varía enormemente entre los distintos ecosistemas

**La primera es la deposición atmosférica.** Puede ser en la deposición húmeda, con la lluvia, la nieve o incluso las pequeñas gotas provenientes de las nubes y la niebla, o en la deposición seca, como los aerosoles y la materia particulada. Sin importar el tipo de deposición atmosférica, por esta ruta el nitrógeno se suministra de forma tal que se encuentra disponible para que los vegetales lo absorban.

**La segunda ruta por el cual el nitrógeno se incorpora a los ecosistemas es mediante la fijación del nitrógeno.** Esta fijación se produce de dos maneras. Una es la fijación de alta energía. La radiación cósmica, la estela de los meteoritos y los rayos proporcionan la alta energía necesaria para combinar el nitrógeno con el oxígeno y el hidrógeno del agua.

El amonio y los nitratos resultantes se transportan hacia la superficie de la Tierra mediante el agua de lluvia. Las estimaciones indican que anualmente se introducen en la Tierra algo menos de 0,4 kg N/ha de esta manera. Alrededor de dos tercios de esta cantidad se introduce en forma de amonio y un tercio como ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>).

La segunda forma de fijación es biológica. Mediante este método se producen aproximadamente 10 kg N/año por cada hectárea de superficie de la Tierra, o aproximadamente el 90 % por ciento del nitrógeno fijado que se crea cada año. La fijación la llevan a cabo las bacterias simbióticas que viven en asociación mutualista con las plantas

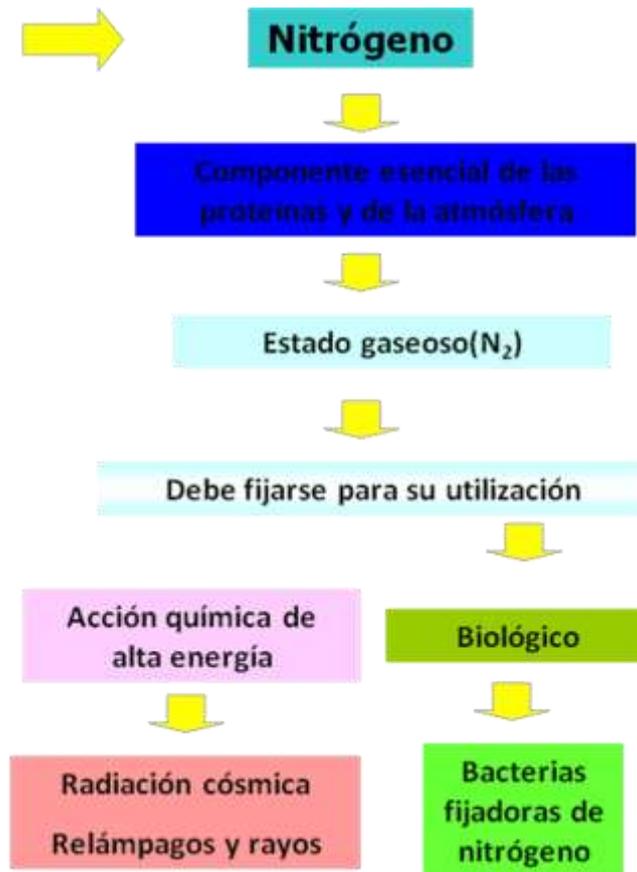


Fig. 45 Formas de fijación del Nitrógeno atmosférico

La fijación divide el nitrógeno molecular ( $N_2$ ) en dos átomos de nitrógeno libre. Los átomos libres de nitrógeno se combinan con hidrógeno y forman dos moléculas de amonio ( $NH_3$ ). El proceso de fijación requiere una cantidad de energía considerable. Para fijar 1 g de nitrógeno, las bacterias fijadoras de nitrógeno asociadas con el sistema de la raíz de la planta deben consumir alrededor de 10 g de glucosa, un azúcar simple producido por los vegetales en la fotosíntesis.

En los ecosistemas agrícolas, las bacterias *Rhizobium*, asociadas con aproximadamente 200 especies de plantas leguminosas, son las principales fijadoras de nitrógeno. En los sistemas no agrícolas, alrededor de 12.000 especies, desde las cianobacterias hasta las plantas con nódulos radicales, son responsables de la fijación del nitrógeno. Las bacterias libres del suelo también contribuyen a la fijación. Los más importantes de los 15 géneros son el *Azotobacter* aeróbico y el *Clostridium* anaeróbico. Las cianobacterias (algas verde

azuladas) son otro grupo importante de fijadores de nitrógeno, en gran parte, no simbióticos. De las alrededor de 40 especies conocidas, las más comunes son las del género *Nostoc* y *Calothrix*, que se encuentran tanto en el suelo como en hábitats acuáticos. Ciertos líquenes, (*Collema tunaeforme* y *Peltigera rufescens*) también se encuentran involucrados en la fijación del nitrógeno. Las plantas, de esta manera, pueden utilizar directamente el amonio del suelo. Además de la deposición atmosférica, el  $\text{NH}_4$  se forma en el suelo como producto de la descomposición microbiana de materia orgánica, en la cual se libera  $\text{NH}_3$  como deshecho de la actividad microbiana. Este proceso se denomina **amonificación**. Cuando los suelos son ácidos (exceso de H), fácilmente el amoniaco  $\text{NH}_3$  se convierte en amonio  $\text{NH}_4$

Curiosamente, dado que el  $\text{NH}_3$  es un gas, la transferencia de nitrógeno hacia la atmósfera (volatilización) es llevada a cabo por bacterias especializadas.

En algunos ecosistemas, las raíces de las plantas deben competir por el  $\text{NH}_4^+$  con dos grupos de bacterias aeróbicas, que lo utilizan como parte de su metabolismo. El primer grupo (*Nitrosomas*) oxida al  $\text{NH}_4^+$  para convertirlo en  $\text{NO}_2^-$ , mientras que el segundo grupo (*Nitrobacter*) oxida al  $\text{NO}_2^-$  (nitrito) - para convertirlo en  $\text{NO}_3^-$ , este proceso se **denomina nitrificación**.

Una vez que se produce el nitrato, pueden sucederle muchas cosas. En primer lugar, las raíces de las plantas lo pueden absorber, o bien, en segundo lugar, puede ocurrir una **desnitrificación** en condiciones anaeróbicas (de falta de oxígeno), cuando otro grupo de bacterias (*Pseudomonas*) reducen químicamente el  $\text{NO}_3^-$  - para convertirlo en  $\text{N}_2\text{O}$  (óxido nitroso) y  $\text{N}_2$ . Estos gases luego vuelven a la atmósfera. Las condiciones anaeróbicas necesarias para la desnitrificación son generalmente poco comunes en la mayoría de los ecosistemas terrestres, aunque puede darse de forma estacional. Estas condiciones, sin embargo, son comunes en ecosistemas de humedales y en los sedimentos de ecosistemas acuáticos de aguas abiertas.

Finalmente, el nitrato es la forma más común de nitrógeno exportado desde los ecosistemas terrestres hacia arroyos y ríos, aunque en ecosistemas no perturbados la cantidad es pequeña dada la gran demanda de nitrógeno. De hecho, la cantidad de nitrógeno que se recicla dentro del ecosistema es

normalmente mucho mayor que la cantidad que entra o que sale del ecosistema a través de las entradas y las salidas.

**Debido a que tanto la fijación del nitrógeno como la nitrificación son procesos llevados a cabo por bacterias**, se encuentran influidos por una variedad de condiciones ambientales, como la temperatura y la humedad y el pH del suelo.

Ambos procesos se encuentran normalmente muy limitados en los suelos extremadamente ácidos debido a la inhibición de las bacterias bajo estas condiciones. Aunque las entradas de nitrógeno pueden variar, el ciclo interno del nitrógeno es bastante similar entre los distintos ecosistemas. Implica la asimilación de amonio y nitrato por parte de las plantas y el regreso del nitrógeno hacia el suelo, los sedimentos y el agua por medio de la descomposición de la materia orgánica muerta.



**Fig. 46** Procesos bacterianos involucrados en el la fijación de  $N_2$ .

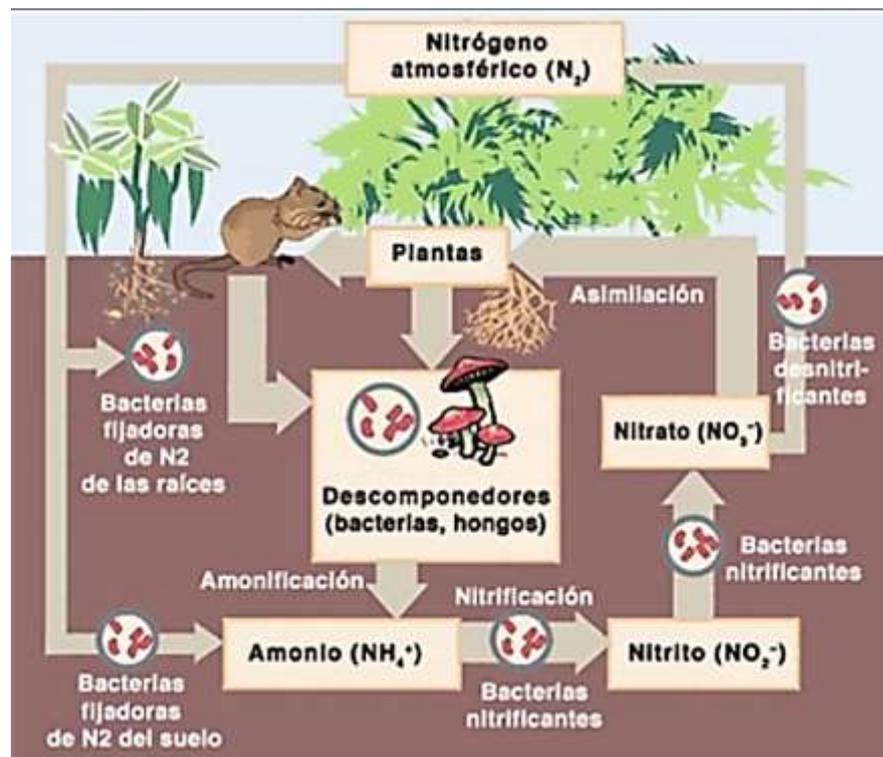
(Fuente: [www.doc player.com](http://www.docplayer.com))

**La actividad humana ha tenido una influencia significativa en el ciclo global del nitrógeno.** Las fuentes humanas de nitrógeno más importantes son la agricultura, la industria y los automóviles; y en las últimas décadas, las entradas antropogénicas de nitrógeno en los ecosistemas tanto acuáticos como terrestres ha sido una causa de creciente preocupación.

La primera consecuencia significativa deriva de las actividades agrícolas, específicamente en la quema de los bosques y la preparación de la tierra para los cultivos y el pastoreo. La aplicación de fertilizantes químicos en abundancia en tierras de cultivo perturba el equilibrio natural entre la fijación del nitrógeno y la desnitrificación, y una porción considerable de fertilizadores de nitrógeno se pierde en forma de nitratos en las aguas subterráneas y en los residuos líquidos que encuentran su ruta hacia los ecosistemas acuáticos.

Los gases de escape de los automóviles y la combustión industrial de altas temperaturas agregan óxido nitroso ( $N_2O$ ), óxido nítrico ( $NO$ ) y dióxido de nitrógeno ( $NO_2$ ) a la atmósfera. Estos óxidos pueden permanecer en la atmósfera

hasta 20 años, moviéndose lentamente hacia la estratosfera. Allí, la luz ultravioleta reduce el óxido nitroso para convertirlo en óxido nítrico y oxígeno atómico ( $O$ ). El oxígeno atómico reacciona con el oxígeno ( $O_2$ ) y forma ozono ( $O_3$ ).



**Fig. 47** Ciclo del Nitrógeno en ecosistemas terrestres.

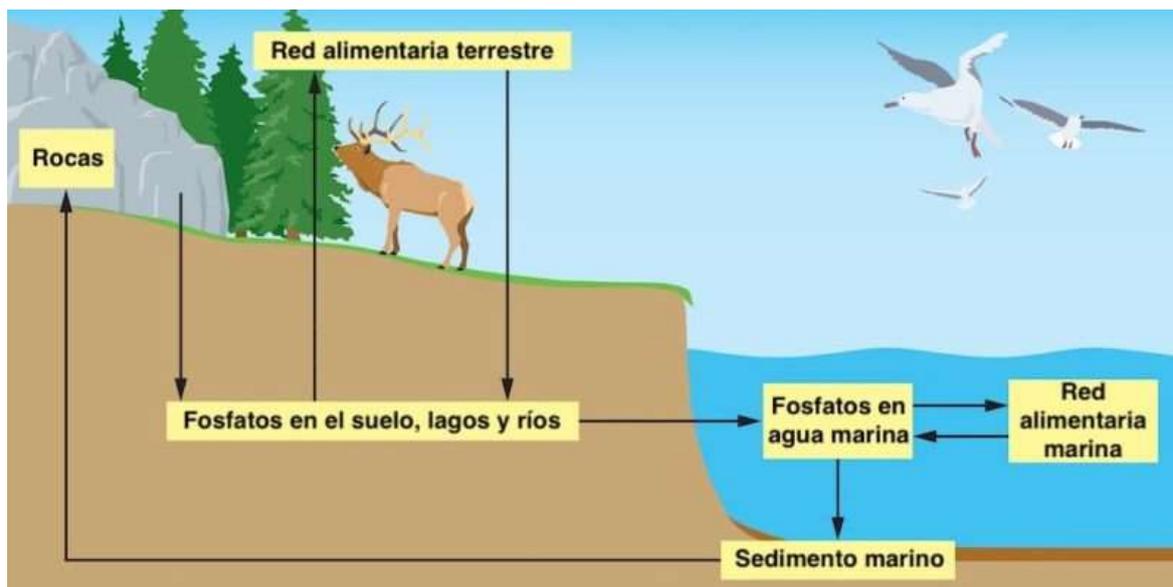
(Fuente: [www.sites.google.com](http://www.sites.google.com))

### **4.3.3 El ciclo del fósforo**

Las reservas más importantes de fósforo son las rocas y los depósitos naturales de fosfato. El fósforo se libera de estas rocas y minerales a través de la meteorización, la lixiviación, la erosión y la extracción para la utilización en forma de fertilizantes agrícolas. Casi todo el fósforo que se encuentra en los ecosistemas terrestres proviene de la meteorización de minerales de fosfato de calcio. En la mayor parte de los suelos, sólo una pequeña fracción del fósforo total está disponible para los vegetales. El proceso más importante que regula la disponibilidad de fósforo para la producción primaria neta es el ciclo interno del fósforo desde formas orgánicas hacia formas inorgánicas

Una parte del fósforo disponible en los ecosistemas terrestres se escapa y se exporta hacia lagos y mares. En los ecosistemas marinos y de aguas dulces, el ciclo del fósforo se encuentra en tres estados: fósforo orgánico particulado, fosfatos orgánicos disueltos y fosfatos inorgánicos. Los fosfatos orgánicos son absorbidos rápidamente por todas las formas de fitoplancton, que son ingeridos a su vez por el zooplancton y los organismos que se alimentan de detritos. El zooplancton puede excretar tanto fósforo diariamente como el que almacena en su biomasa y, de esta forma, vuelve al ciclo. Más de la mitad del fósforo que excreta el zooplancton es fosfato inorgánico, que luego es absorbido por el fitoplancton. El resto del fósforo en ecosistemas acuáticos se encuentra en compuestos orgánicos que pueden ser utilizados por las bacterias, que no logran regenerar grandes cantidades de fosfato inorgánico disuelto.

El ciclo global del fósforo es único entre los ciclos biogeoquímicos que no posee un componente atmosférico significativo, aunque el transporte por el aire de P mediante el polvo del suelo y el aerosol marino se encuentra en el orden de 1012 g P/año. En las aguas profundas, el fósforo orgánico convertido en formas solubles inorgánicas permanece no disponible para el fitoplancton de las aguas superficiales hasta que es transportado por un afloramiento. En tiempos geológicos, la elevación y la subsiguiente erosión hacen regresar al fósforo a su ciclo activo.



**Fig. 48** Ciclo del Fósforo.

(Fuente: [www.encyclopedia concepto](http://www.encyclopedia concepto))

#### 4.3.4 El ciclo del azufre

El ciclo del azufre tiene fases tanto sedimentarias como gaseosas

El azufre entra en la atmósfera mediante diversas fuentes: la combustión de los combustibles fósiles, las erupciones volcánicas, el intercambio en la superficie de los océanos y los gases liberados por la descomposición. Entra a la atmósfera como sulfuro de hidrógeno ( $H_2S$ ), que interactúa rápidamente con el oxígeno para formar el dióxido de azufre ( $SO_2$ ). El dióxido de azufre de la atmósfera, soluble en agua, es transportado de vuelta hacia la superficie en el agua de lluvia como ácido sulfúrico débil ( $H_2SO_4$ ).

Cualquiera sea su fuente, el azufre en forma soluble es absorbido por los vegetales e incorporado a través de una serie de procesos metabólicos, empezando por la fotosíntesis, como aminoácidos azufrados. A través de los productores, el azufre de los aminoácidos es transferido a los consumidores. La excreción y la muerte llevan el azufre desde el material vivo de vuelta al suelo y al fondo de las lagunas, los lagos y los mares, donde las bacterias lo liberan en forma de sulfito o sulfato de hidrógeno. Un grupo, las bacterias sulfurosas incoloras reducen el sulfuro de hidrógeno a azufre elemental y lo oxidan para formar ácido sulfúrico. Las bacterias verdes y púrpura, en presencia de la luz,

utilizan sulfuro de hidrógeno en el proceso de fotosíntesis. Las más conocidas son las bacterias púrpura que se encuentran en las marismas y en los pantanos de los estuarios. Estos organismos pueden transformar el sulfuro de hidrógeno en azufre elemental.

El azufre, en presencia del hierro y bajo condiciones anaeróbicas, se precipitará como sulfuro ferroso ( $\text{FeS}_2$ ). Este compuesto es altamente insoluble en condiciones de pH neutro y bajo (ácido), y se mantiene firmemente en el lodo y en los suelos húmedos. Las rocas sedimentarias que contienen sulfuro ferroso se denominan rocas piríticas y pueden recubrir los depósitos de carbón, estas rocas, al quedar expuestas al aire durante la explotación minera profunda y superficial del carbón, el sulfuro ferroso reacciona con el oxígeno y en presencia de agua, produce sulfato ferroso ( $\text{FeSO}_4$ ) y ácido sulfúrico.

De este modo, el azufre en las rocas piríticas, expuesto a la erosión a través de la actividad antropica, libera ácido sulfúrico, sulfato ferroso y otros compuestos del azufre en los ecosistemas acuáticos. Estos compuestos destruyen la vida acuática, ya que elevan grado de acidez, donde no es posible la vida.

El principal gas que emiten los océanos es el dimetilsulfuro  $[(\text{CH}_3)_2\text{S}]$ , generado en los procesos biológicos. Con una estimación de  $16 \times 10^{12}$  g S/año, los convierte en la mayor fuente natural de gases de azufre liberados a la atmósfera. Existe una gran variedad de fuentes biológicas de emisión de azufre desde los ecosistemas terrestres, pero en comparación con los ecosistemas acuáticos representan un flujo de menor magnitud para la atmósfera.

Los incendios forestales emiten alrededor de  $3 \times 10^{12}$  g anualmente. La actividad volcánica también contribuye al ciclo biogeoquímico global del azufre.

Algunas erupciones volcánicas a destacar, como la erupción del Monte Pinatubo en 1991, liberó una cantidad de S aprox,  $10 \times 10^{12}$  g S. La actividad humana cumple un papel decisivo en el ciclo biogeoquímico del azufre. Por lo tanto, para completar el ciclo global del azufre, debemos incluir la contribución de la actividad industrial.

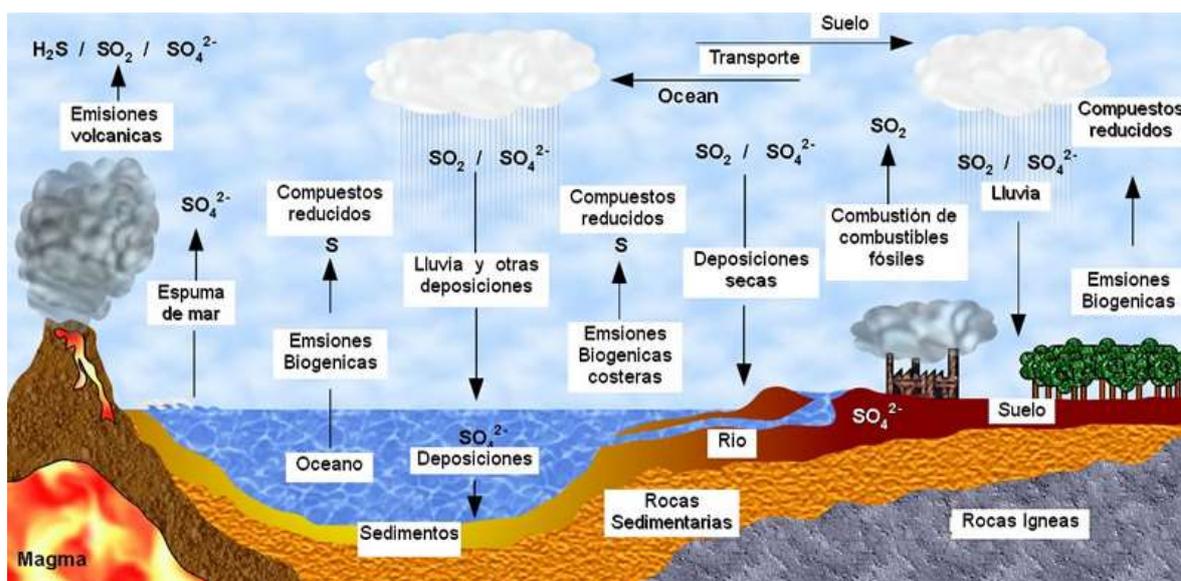


Fig. 49 Ciclo del Azufre.

(Fuente: enciclopedia Todo - Argentina.net)

#### 4.3.5 Ciclo del Agua

Las tres formas físicas del agua presentes en el Planeta son: sólida, líquida y gaseosa, constituyendo así la **hidrosfera**; se distribuye en tres reservorios principales: los océanos, los continentes y la atmósfera, entre los cuales existe una circulación continua, denominado el **ciclo del agua** o **ciclo hidrológico**. El movimiento del agua en el ciclo hidrológico es mantenido por la energía radiante del sol y por la fuerza de la gravedad.

El ciclo hidrológico se define como la secuencia de fenómenos por medio de los cuales el agua pasa de la superficie terrestre, en la fase de vapor, a la atmósfera y regresa en sus fases líquida y sólida. La transferencia de agua de la superficie de la Tierra hacia la atmósfera, en forma de vapor de agua, se da a la **evaporación** directa, a la **transpiración** por las plantas y animales y **sublimación** (paso directo del agua sólida a vapor de agua)

La cantidad de agua circulando, dentro del ciclo hidrológico, por el fenómeno de sublimación es insignificante en relación a las cantidades que circulan por evaporación y por transpiración, cuyo proceso conjunto se denomina **evapotranspiración**.

El vapor de agua es transportado por la circulación atmosférica, para luego condensarse dando lugar a la formación de nieblas y nubes y, posteriormente, a precipitación. La precipitación puede ocurrir en la fase líquida (*lluvia*) o en la fase sólida (*nieve* o *granizo*). La precipitación incluye también el agua que pasa de la atmósfera a la superficie terrestre por condensación del vapor de agua (**rocío**) o por congelación del vapor (**helada**) y por intercepción de las gotas de agua de las nieblas (nubes que tocan el suelo o el mar).

El agua que precipita en tierra puede tener varios destinos. Una parte es devuelta directamente a la atmósfera por evaporación; otra parte escurre por la superficie del terreno, escorrentía superficial. El agua restante se infiltra, esto es penetra en el interior del suelo; esta agua infiltrada puede volver a la atmósfera por evapotranspiración o profundizarse hasta alcanzar las capas freáticas. Tanto el escurrimiento superficial como el subterráneo van a alimentar los cursos de agua que desaguan en lagos y en océanos.

La escorrentía superficial se presenta siempre que hay precipitación y termina poco después de haber terminado la precipitación. Por otro lado, el escurrimiento subterráneo, especialmente cuando se da a través de medios porosos, ocurre con gran lentitud y sigue alimentando los cursos de agua, aun después de haber terminado la precipitación que le dio origen. De esta manera los cursos de agua alimentados por capas freáticas presentan unos caudales regulares.

Todos los procesos del ciclo hidrológico ocurren en la atmósfera y en la superficie terrestre por lo que se puede admitir dividir el ciclo del agua en dos grandes depósitos; aéreos y terrestres.

El agua que precipita sobre los suelos va a repartirse, a su vez, en tres grupos: una que es devuelta a la atmósfera por evapotranspiración y dos que producen escurrimiento superficial y subterráneo. Esta división está condicionada por varios factores, unos de orden climático y otros dependientes de las características físicas del lugar donde ocurre la precipitación.

Cuando la precipitación cae sobre una zona impermeable, origina un escurrimiento superficial y la evaporación directa del agua que se acumula y queda en la superficie. Si la deposición del agua ocurre en un suelo permeable, poco espeso y localizado sobre una formación geológica impermeable, se

produce entonces escurrimiento superficial, evaporación del agua que permanece en la superficie y aún evapotranspiración del agua que fue retenida por la cubierta vegetal. En ambos casos, no hay escurrimiento subterráneo; este último ocurre en el caso de una formación geológica subyacente permeable y espesa.

La energía solar es la fuente de energía térmica necesaria para el paso del agua desde las fases líquida y sólida a la fase de vapor, y también es el origen de las circulaciones atmosféricas que transportan el vapor de agua y mueven las nubes.



**Fig. 50** Ciclo del agua o ciclo hidrológico.

(Fuente: enciclopedia wordpress.com)

## Bibliografía

- Blanco J.A. (ed.). 2013.** *Aplicaciones de modelos ecológicos en la gestión de recursos naturales*. Omnia Science, Barcelona. España. 210 pp. ISBN 978-84-940624 9-0.
- Cabrera Angel y Willink Abraham.** 1980. Biogeografía de América Latina. OEA. serie biología, monografía N°13.
- Cueto, V. R. (2006)** Escalas en ecología: su importancia para el estudio de la selección de hábitat en aves. *Hornero* 021 (01): 001-013
- Dajoz, R. 2002.** Tratado de Ecología. Segunda edición. Mundi Prensa. Madrid. España
- Fernández Alés, R. & Leiva, M.J.** (2003). Ecología para la agricultura. Mundiprensa.
- Odum.:** ECOSISTEMAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS Libro traducido y adaptado para la red Internet con autorización del autor "Environmental Systems and Public Policy" Copyright: Ecological Economics Program. University of Florida, Gainesville 32611, USA. 1988.
- John Grace** (2000). Relaciones Planta Ambiente. Ed. Oikos Tau
- Lugo Ariel y Morryns Gregory.** 1982. Los sistemas ecológicos y la humanidad. OEA Serie biología, monografía N° 23
- Margalef Ramón.** 1974. Ecología. Ed. Omega. España.
- Margalef Ramón.** 2002. Teoría de los Sistemas Ecológicos. Ed. Alfaomega Mexico.
- Masera, O. Ordoñez, J. 2001.** Captura de carbono ante el cambio climático. *Revista Maderas y Bosques.* 7(1) :3-12 3
- Molina Freaner, Francisco**
- Odum Howard.** 1980. Ambiente, energía y sociedad. Ed. Blume. Edición 2006 España.
- Ricklefs Robert.** 1998. Invitación a la Ecología. Ed. Panamericana.
- Rodríguez, Jaime.** 1999. Ecología. Ed. Pirámide. Madrid, España.
- Sarmiento Guillermo.** 1980. Los ecosistemas y la ecosfera. Ed. Blume. España
- Smith R. y Smith T..** 2001. Ecología. 4ª Edición. Ed. Pearson Educación.