

La figura 3.18 de la página 73 representa un estudio más detallado, realizado por H.T. Odum (1957) en Silver Springs, Florida. Las cifras del Dr. Odum representan kilocalorías por metro cuadrado por año ($C/m^2/año$).

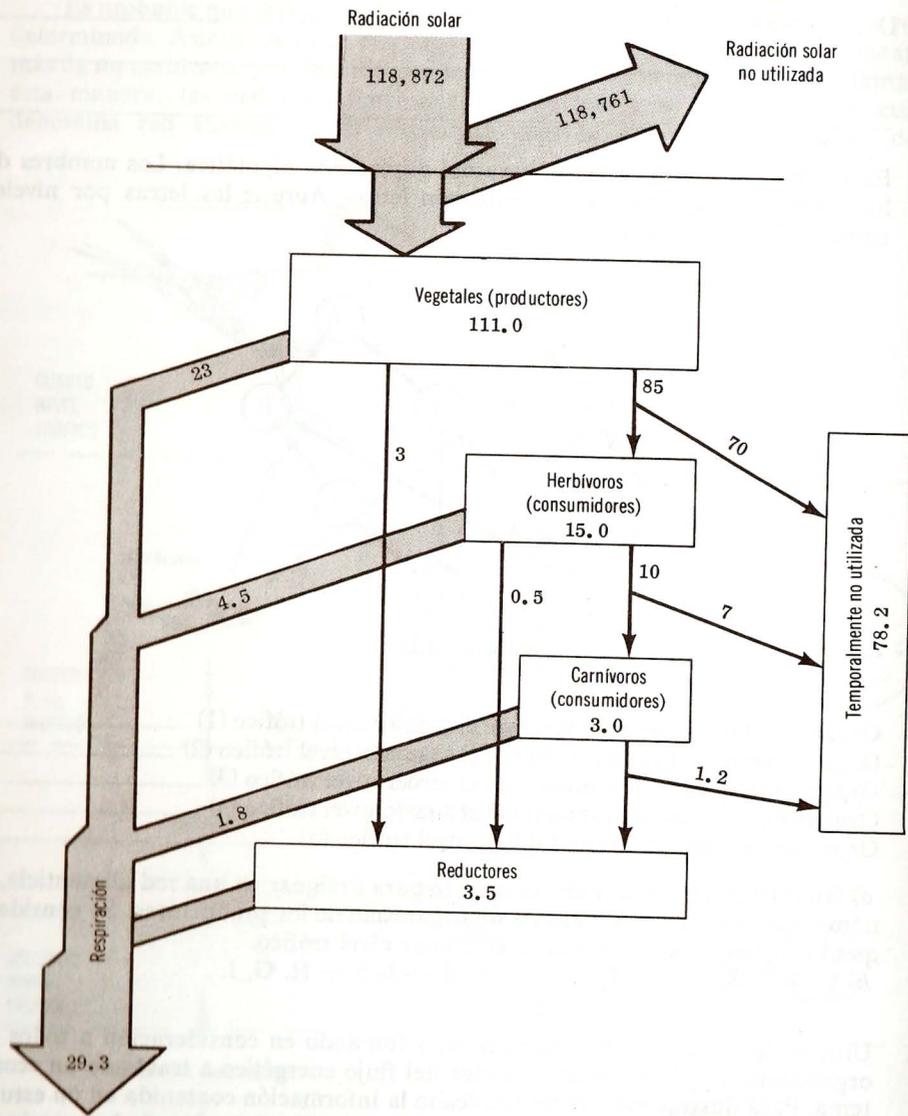


Figura 3.17 Destino de la energía (calorías gramo por centímetro cuadrado por año) en el lago Cedar Bog de Minnesota (según Lindeman, 1942)²

² Como este estudio estuvo limitado a un año y puesto que los carnívoros viven comúnmente más de ese periodo, no se presentó una descomposición significativa. En este estudio no se investigó la respiración del reductor o producción de nuevos tejidos, del mismo.

Examine la figura 3.18:

- ¿Aproximadamente, qué porcentaje de la radiación solar inicialmente fijada ($410,000 C/m^2/año$) se disipa al final en la respiración vegetal?
- ¿Aproximadamente, qué porcentaje del tejido vegetal inicial ($8,833 C/m^2/año$) obtiene el carnívoro final?

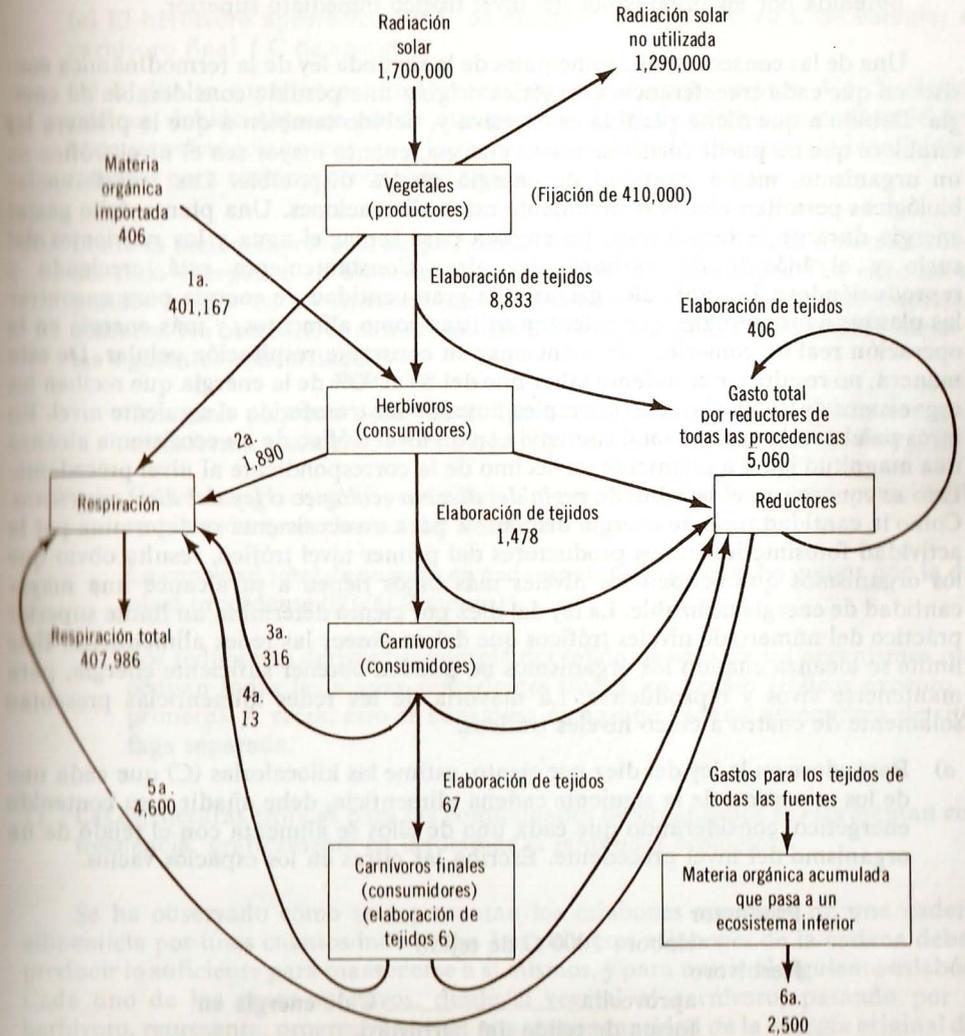


Figura 3.18 Flujo energético en el ecosistema de Silver Springs ($C/m^2/año$)³ (Odum, 1957).

³ Toda la materia orgánica importada se representa como consumida por los herbívoros —realmente, parte de ella se utiliza en la producción de tejido vegetal, otra parte en los carnívoros y, otra más, directamente en los reductores.

c) ¿Aproximadamente, qué porcentaje del tejido vegetal inicial reciben los reductores de todas las fuentes?

(a) Más del 95% (401,000 de 410,000); b) aproximadamente uno por ciento (67 de 8,833); c) más del 50% (5,060 de 8,833).

9. A medida que la energía se moviliza dentro de una red alimenticia, la mayor parte de ella se pierde en la respiración. La *ley del diez por ciento* establece que solamente alrededor del 10% de la energía procedente de un nivel, puede ser obtenida por los organismos del nivel trófico inmediato superior.

Una de las consecuencias principales de la segunda ley de la termodinámica consiste en que cada transferencia energética origina una pérdida considerable de energía. Debido a que dicha pérdida es excesiva y, debido también a que la primera ley establece que no puede formarse nueva energía, cuanto mayor sea el nivel trófico de un organismo, menor cantidad de energía tendrá disponible. Las transferencias biológicas permiten observar fácilmente estas afirmaciones. Una planta debe gastar energía durante la fotosíntesis. La emplea para tomar el agua y los nutrientes del suelo y el bióxido de carbono del aire. Constantemente está creciendo y reproduciéndose. Los animales gastan una gran cantidad de energía para encontrar las plantas o los animales que intentan utilizar como alimentos, y más energía en la operación real de comerlos, sin mencionar su constante respiración celular. De esta manera, no resulta sorprendente saber que del 80 al 90% de la energía que reciben los organismos de un nivel trófico se emplea antes de ser transferida al siguiente nivel. En otras palabras, la energía total contenida en un nivel trófico de un ecosistema alcanza una magnitud igual a solamente un décimo de la correspondiente al nivel precedente. Esto se conoce con el nombre de *regla del diezmo ecológico* o *ley del diez por ciento*. Como la cantidad total de energía disponible para un ecosistema se determina por la actividad fotosintética de los productores del primer nivel trófico, resulta obvio que los organismos que ocupan los niveles más bajos tienen a su alcance una mayor cantidad de energía utilizable. La ley del diez por ciento determina un límite superior práctico del número de niveles tróficos que deben poseer las redes alimenticias. Este límite se alcanza cuando los organismos no pueden obtener suficiente energía, para mantenerse vivos y reproducirse. La mayoría de las redes alimenticias presentan solamente de cuatro a cinco niveles tróficos.

a) Basándose en la ley del diez por ciento, estime las kilocalorías (C) que cada uno de los miembros de la siguiente cadena alimenticia, debe añadir a su contenido energético, considerando que cada uno de ellos se alimenta con el tejido de un organismo del nivel precedente. Escriba las cifras en los espacios vacíos.

Productor

elabora 1000 C de tejido

Herbívoro

aprovecha _____ C de energía en forma de tejido del herbívoro.

Carnívoro

aprovecha _____ C de energía en forma de tejido del carnívoro.

Carnívoro final

aprovecha _____ C de energía en forma de tejido del carnívoro final.

b) ¿Cuál es el límite superior práctico del número de etapas que puede presentar una cadena alimenticia? ¿Por qué? _____

(a) El herbívoro aprovecha 100 C de energía; el carnívoro 10 C de energía; el carnívoro final 1 C de energía.

(b) El límite superior práctico corresponde aproximadamente 4 o 5 niveles tróficos, debido a que se pierde una gran cantidad de energía en cada nivel (en cada transferencia energética), de manera que al final existe energía insuficiente (tejidos) para sostener a otro organismo.

10. Como es fácil comprender, los problemas técnicos que plantea la determinación del flujo energético en un ecosistema, son bastante complejos. Por ello, no es posible indicar en los modelos todos los números que teóricamente pudieran desearse. No obstante, la observación de ambos diagramas debe permitir llegar a las siguientes conclusiones:

Solo una pequeña parte de la luz solar que llega a los productores, se transforma realmente en materia orgánica (sustancias ricas en energía).

De la energía que el productor obtiene se emplea una gran parte en la respiración (y se elimina del sistema).

La cantidad total de energía en cada nivel trófico es mucho menor que la del nivel precedente (80-90% menos).

Los reductores derivan su energía del tejido muerto de los organismos que ocupan todas las etapas precedentes (todos los niveles tróficos excepto el primero). A veces, esto se considera como una cadena alimenticia detritófaga separada.

11. Las estructuras tróficas para las comunidades de organismos se representan con frecuencia, gráficamente en las llamadas *pirámides ecológicas*.

Se ha observado cómo se representan los eslabones sucesivos de una cadena alimenticia por unos cuantos individuos. Los primeros eslabones de la cadena deben producir lo suficiente para mantenerse a sí mismos, y para nutrir al siguiente eslabón. Cada uno de los pasos sucesivos, desde el vegetal al carnívoro, pasando por el herbívoro, representa, progresivamente, una menor cantidad de la energía original del sistema. Además, generalmente se presenta una menor cantidad de material vivo (*biomasa*) a lo largo de la cadena alimenticia. En todos estos aspectos —número, energía y biomasa— existe un efecto piramidal en la estructura trófica de la comunidad. En la figura 3.19 se indican tres tipos de pirámides ecológicas. En estos ejemplos, se considera una cadena hipotética entre la alfalfa, una ternera y un niño, con base en la suposición de que se cultivan 4.047 hectáreas al año.

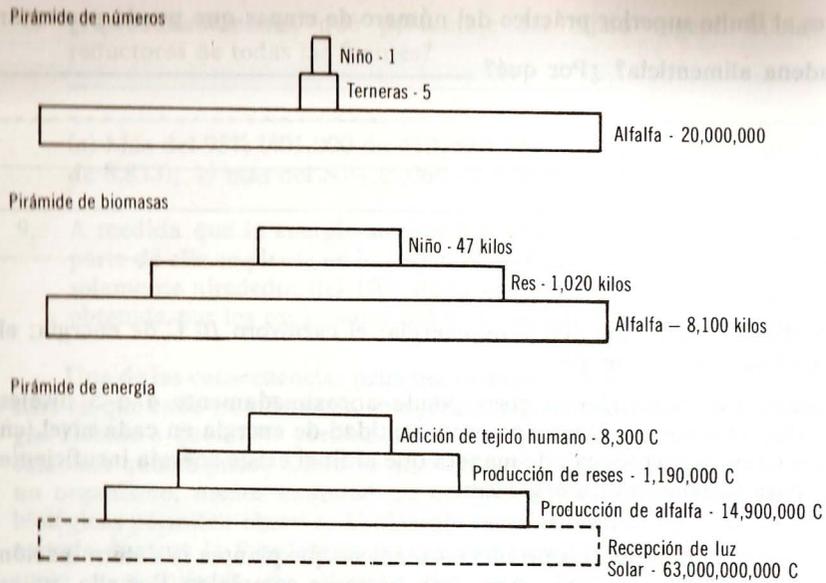


Figura 3.19 Tipos de pirámides ecológicas (modificación hecha por Odum, 1971). (La figura se basa en una escala logarítmica).

Note que en estas pirámides ecológicas no se representan los organismos reductores. Su número de organismos es tan grande y su peso tan pequeño que no podrían medirse, o graficarse, convenientemente. Aun cuando fluye una cantidad considerable de energía a través de los reductores, su valoración implica muchos problemas y raramente se toman en consideración. Su omisión en las pirámides ecológicas limita definitivamente la utilidad de éstas. Por lo tanto, deben observarse con reserva, procurando no ignorar la función vital que dichos organismos desempeñan en los ecosistemas.

Identifique en la figura 3.20 cada uno de los tipos de pirámides tróficas.

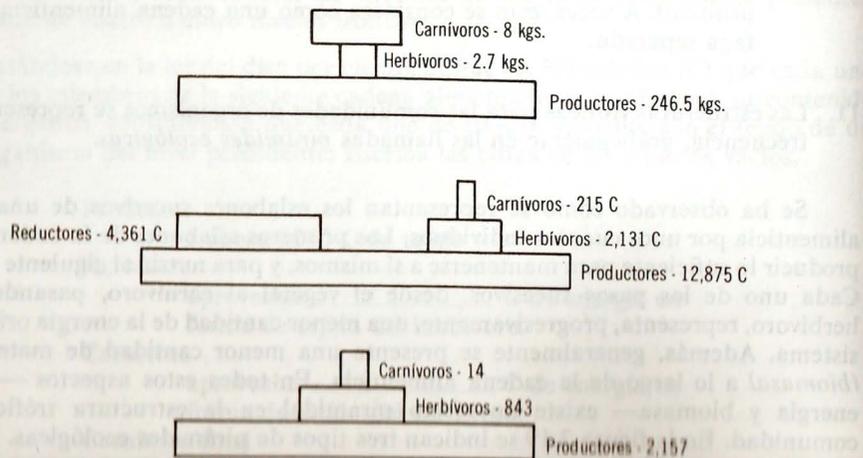


Figura 3.20

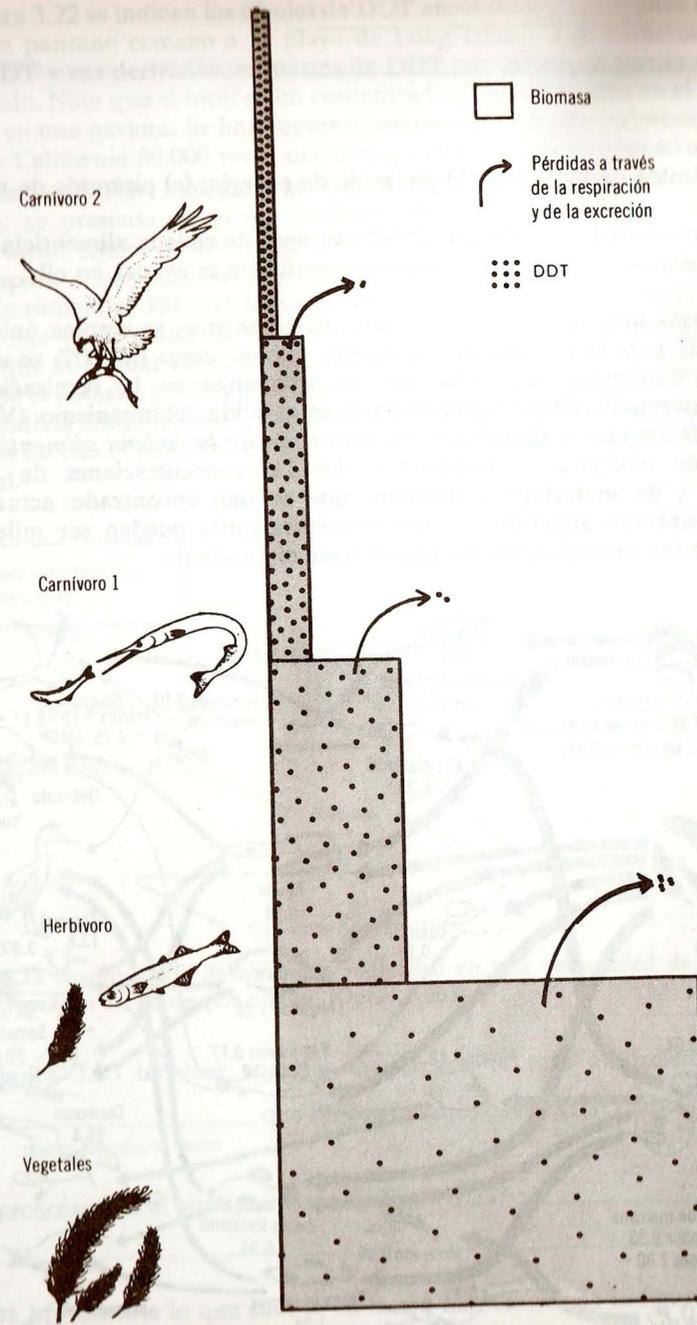


Figura 3.21 Concentración de residuos de DDT en una cadena alimenticia simple (tomado de "Toxic Substances and Ecological Cycles" por George M. Woodwell, *Scientific American*, Marzo de 1967. Copyright © 1967 de la Scientific American, Inc. Todos los derechos reservados).

- a) _____
- b) _____
- c) _____

 (a) pirámide de biomasa; (b) pirámide de energía; (c) pirámide de números.

12. Una característica fundamental del concepto de cadena alimenticia consiste en la concentración de ciertas sustancias conforme se avanza en ella.

La energía que recibe como alimento un organismo, se emplea únicamente en forma parcial para la elaboración de nuevos tejidos; cerca del 50% se utiliza en la respiración. Cualquier sustancia que no intervenga en la respiración, ni sea fácilmente excretada, tiende a concentrarse en el tejido del organismo. (Vea la figura 3.21). Este fenómeno se denomina *concentración de la cadena alimenticia*, o bien, *magnificación biológica*, y origina las elevadas concentraciones de plaguicidas persistentes y de materiales radiactivos que se han encontrado actualmente en diversos organismos superiores. Estas concentraciones pueden ser miles de veces mayores que las correspondientes al ambiente circundante.

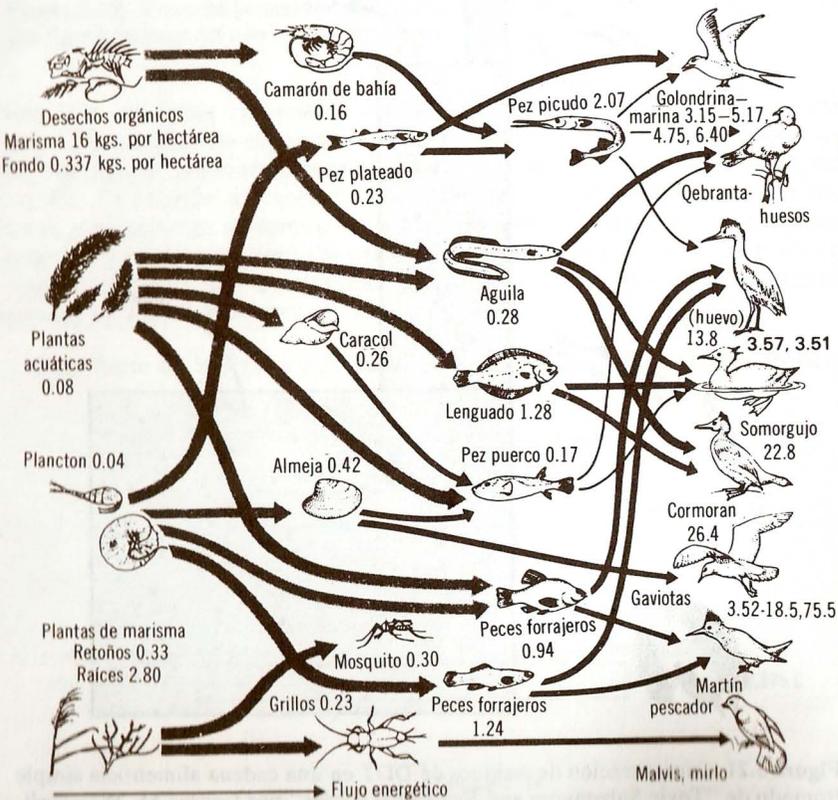


Figura 3.22 Niveles de DDT en una red alimenticia de las playas de Long Island (adaptado de "Toxic Substances and Ecological Cycles" por George M. Woodwell, *Scientific American*, Marzo de 1967. Copyright © 1967 de la Scientific American, Inc. Todos los derechos reservados).

En la figura 3.22 se indican los niveles de DDT encontrados en algunas muestras tomadas en un pantano cercano a la playa de Long Island. Los números indican residuos de DDT y sus derivados, en partes de DDT por millón de partes de tejido corporal húmedo. Note que el nivel se ha concentrado desde 0.04 ppm en el plancton hasta 75 ppm en una gaviota. Se han reportado acumulaciones en colimbo muertos en Clear Lake California 80,000 veces mayores que las del medio circundante.

Cierta concentración biológica se denomina *concentración idiosincrática*. Generalmente, se presenta como un resultado de la absorción selectiva de una sustancia por varios tejidos de un organismo. Por ejemplo, la glándula tiroides de los vertebrados separa selectivamente el yodo del torrente sanguíneo. De esta manera, cuando el yodo radiactivo ¹³¹I está presente en la sangre de un organismo, se absorbe selectivamente en la glándula tiroides. Las sustancias radiactivas, del tipo del estroncio 90, que es similar en actividad biológica al calcio, y del cesio 137, que se comporta como el potasio, pueden concentrarse en los huesos. La figura 3.23, muestra una red alimenticia simplificada, en la cual el estroncio radiactivo se concentra en los organismos de una comunidad de agua dulce. Está basada en las investigaciones de I. L. Ophel.

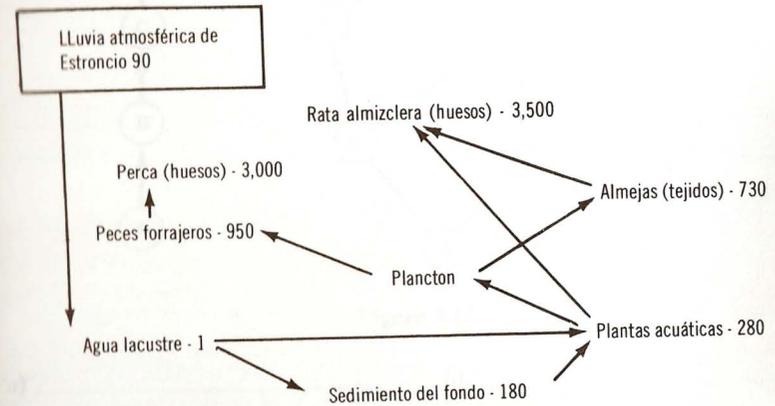


Figura 3.23 Acumulación de estroncio radiactivo en una comunidad de agua dulce, expresado en partes por millón. (Ophel, 1963).

a) Si la figura 3.23 indicase energía, la perca y la rata almizclera deberían tener _____ que los productores básicos (las plantas acuáticas).
 mucho más/mucho menos

b) ¿Qué mecanismo es el que aparece en la figura 3.23? _____

c) Describa brevemente lo que sucede en la red alimenticia de la figura 3.23

Relaciones entre la alimentación y la productividad

OBJETIVOS

Al finalizar este capítulo el lector podrá:

- 1 ● definir una cadena de alimentación y una red alimenticia;
- 2 ● definir, discriminar y relacionar: productores, consumidores, reductores, autótrofos, heterotrofos, herbívoros, carnívoros y carnívoros finales.
- 3 ● trazar el flujo de energía a través de una cadena alimenticia.
- 4 ● identificar un parásito y un detritófago en una cadena alimenticia.
- 5 ● definir nivel trófico y determinar los niveles tróficos de varios organismos, dentro de las redes alimenticias.
- 6 ● definir la ley del diez por ciento y usarla para determinar la energía disponible para organismos colocados en diferentes niveles tróficos de un ecosistema.
- 7 ● identificar y describir las pirámides de números, las pirámides de biomásas y las pirámides de energía,
- 8 ● describir la forma en que las cadenas alimenticias pueden concentrar ciertas sustancias cuando éstas pasan de un organismo al siguiente.

Si ha logrado estos objetivos y piensa que puede omitir total o parcialmente este capítulo, pase a la página 81 y resuelva el autoexamen. Los resultados le permitirán evaluar sus conocimientos con respecto al contenido de este capítulo. Si todas las respuestas son correctas, podrá iniciar el capítulo siguiente. Si algunas respuestas están equivocadas deberá estudiar los cuadros que se indican después de las respuestas del autoexamen.

Si el material es nuevo para Ud., o si decide no realizar el autoexamen, principie con el cuadro 1.

1. La energía se mueve en la biosfera en forma de moléculas de elevada energía, que originalmente son elaboradas y almacenadas por los *productores*. Estos sirven de alimento a una serie de *consumidores*. Tanto los productores como los consumidores obtienen energía a partir de las mencionadas moléculas ricas en energía. Finalmente, cualquier energía que hayan fijado los productores, o acumulado los consumidores, y que ninguno de los dos emplee, es liberada por los reductores. Estas relaciones alimenticias pueden esquematizarse ya sea en *cadena alimenticia* o bien, en *redes alimenticias*.

La energía fluye a través de la biosfera secuencialmente y de un organismo a otro. Una *cadena alimenticia* es una serie de relaciones de alimentación entre organismos,

la cual indica quién come a quién. La energía se transforma primero mediante la fotosíntesis y después se transfiere de un organismo a otro, produciéndose rearrreglos de los compuestos químicos en cada etapa. También en cada una de estas etapas, la energía se transforma parcialmente en calor y sale del sistema. En la figura 3.1 se esquematiza una cadena alimenticia abstracta.

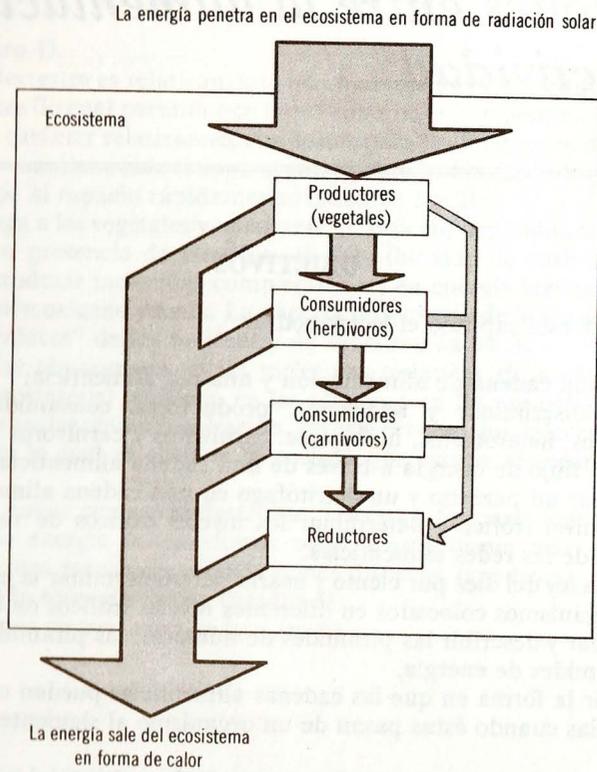


Figura 3.1 Flujo energético que pasa a través de un ecosistema (una cadena alimenticia).

Las cadenas alimenticias raramente corresponden a secuencias aisladas. Generalmente se entrelazan varias de ellas para constituir una *red alimenticia*, que es una serie relativamente compleja de relaciones alimenticias.

Indique en la figura 3.2 las etapas de una cadena alimenticia "ideal".

Revise, si es necesario la página 61.

- Un *productor* (vegetal) utiliza la luz solar y, por medio de la fotosíntesis, produce moléculas ricas en energía. La mayoría de las moléculas producidas sencillamente hace que aumente el tejido vegetal. Algunas de estas moléculas se degradan poco después de su elaboración, para constituirse en el combustible de los procesos vitales diarios de la planta (así como para la elaboración de tejido adicional). En el curso de su vida, los vegetales emplean la mayor parte de la energía que fijan para conservarse vivos, o bien, reproducirse. Cuando mueren, el tejido "muerto" contiene aún energía, que pueden aprovechar los organismos

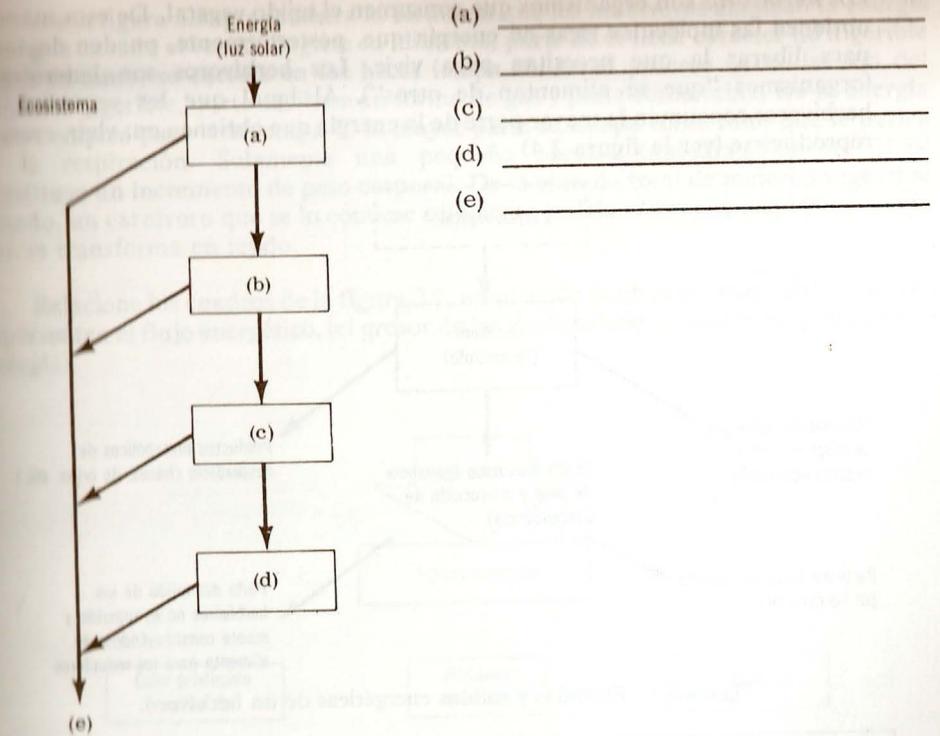


Figura 3.2

denominados reductores. En ocasiones, el hombre utiliza la energía restante de estos tejidos muertos; por ejemplo, cuando quema madera como combustible. La figura 3.3, indica las entradas y salidas de un productor típico.

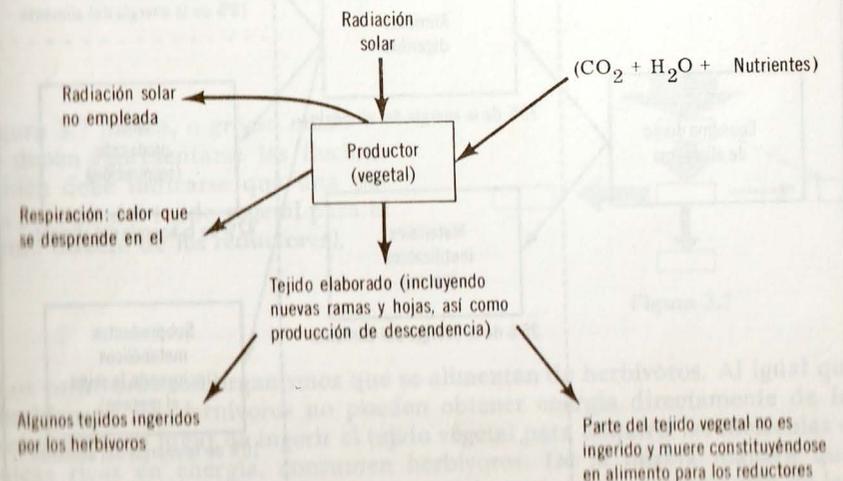


Figura 3.3 Entradas y salidas energéticas de un productor.

3. Los *herbívoros* son organismos que consumen el tejido vegetal. De esta manera, obtienen las moléculas ricas en energía que, posteriormente, pueden degradar para liberar la que necesitan para vivir. Los herbívoros son heterotrofos (organismos "que se alimentan de otros"). Al igual que los vegetales, los herbívoros consumen la mayor parte de la energía que obtienen en: vivir, crecer y reproducirse (ver la figura 3.4)

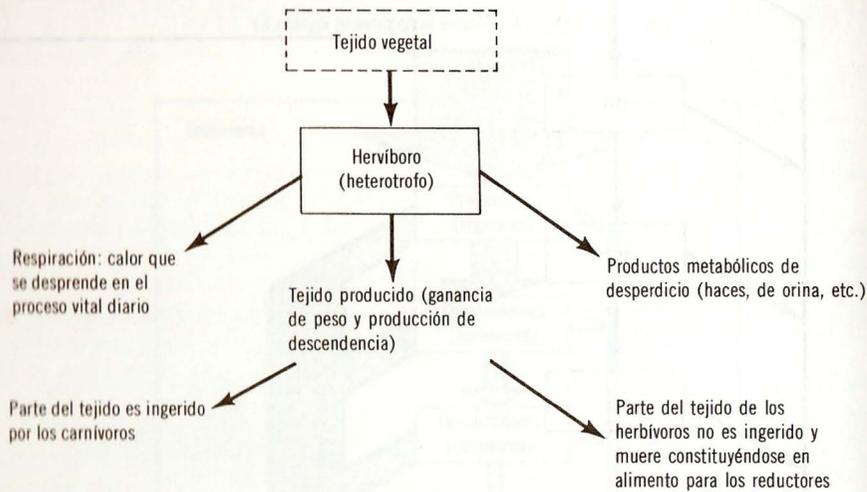


Figura 3.4 Entradas y salidas energéticas de un herbívoro.

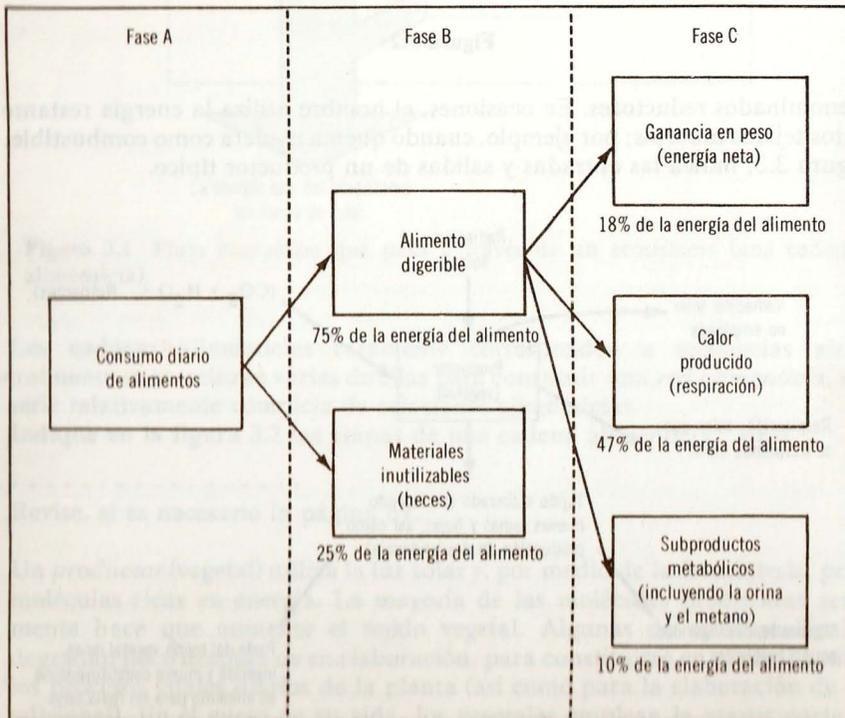


Figura 3.5 Valores relativos de los productos finales del metabolismo energético de un venado de cola blanca. (Cowan, 1962).

Vea la figura 3.5 que muestra la forma en que los herbívoros emplean la energía. Note que cuando el venado ingiere su alimento, parte de él tiene carácter no digerible y, por lo tanto, se excreta en las heces (etapa B). En el proceso de utilización del alimento digerible, parte se libera en forma de gas y parte como orina. De la energía que se emplea para vivir (etapa C) la mayor parte se escapa como calor que se deriva de la respiración. Solamente una pequeña porción (aproximadamente 18%) constituye un incremento de peso corporal. De la entrada total de material vegetal al venado, un carnívoro que se lo comiese solamente podría utilizar la pequeña porción que se transforma en tejido.

Relacione los cuadros de la figura 3.6, empleando flechas gruesas y delgadas que representen el flujo energético, (el grosor de las flechas debe indicar la magnitud de la energía).

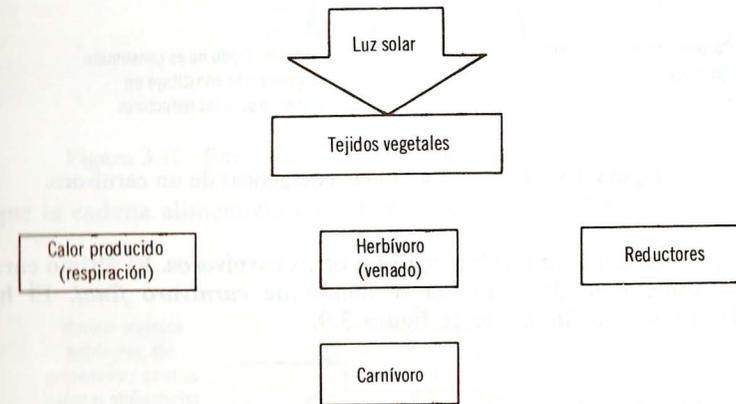


Figura 3.6

La figura 3.7 indica, a *grosso modo*, cómo deben representarse las flechas. (También debe indicarse que una pequeña porción del tejido vegetal pasa al consumo directo de los reductores).

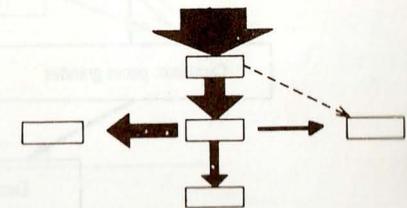


Figura 3.7

4. Los *carnívoros* son organismos que se alimentan de herbívoros. Al igual que los herbívoros, los carnívoros no pueden obtener energía directamente de la luz solar. Pero en lugar de ingerir el tejido vegetal para adquirir las moléculas orgánicas ricas en energía, consumen herbívoros. De la misma manera que los herbívoros, los carnívoros gastan su energía tanto en la conservación de la vida (respiración) como en la elaboración de tejidos (crecimiento y reproducción). Observe la figura 3.8.

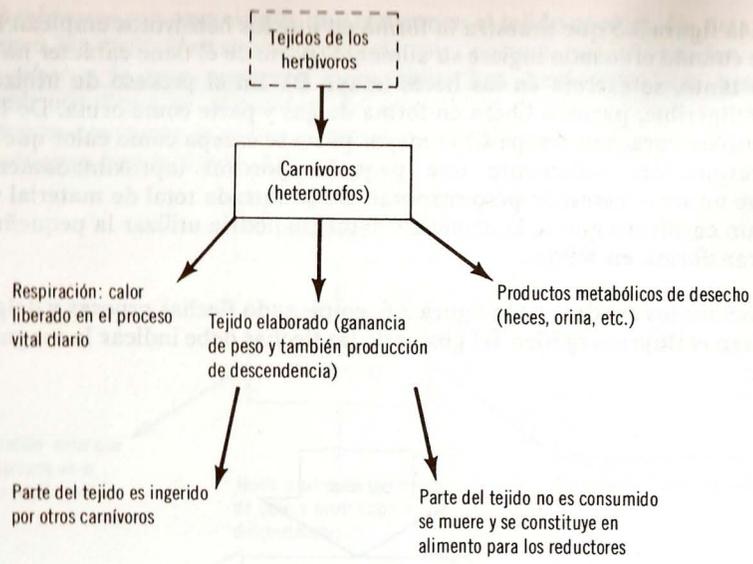


Figura 3.8 Entradas y salidas energéticas de un carnívoro.

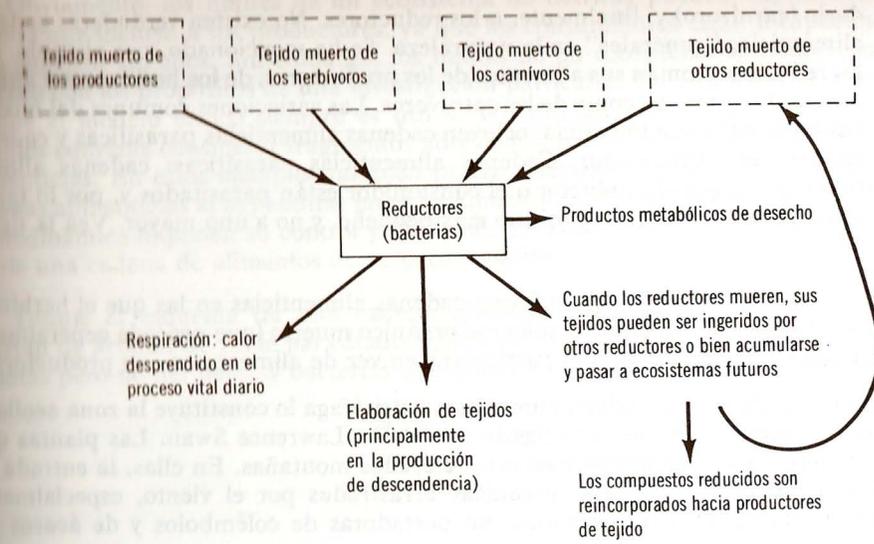


Figura 3.10 Entradas y salidas energéticas de un reductor.

Los carnívoros también pueden comer a otros carnívoros. El último carnívoro en una cadena alimenticia determinada se denomina *carnívoro final*. El hombre a menudo es el carnívoro final. Vea la figura 3.9.

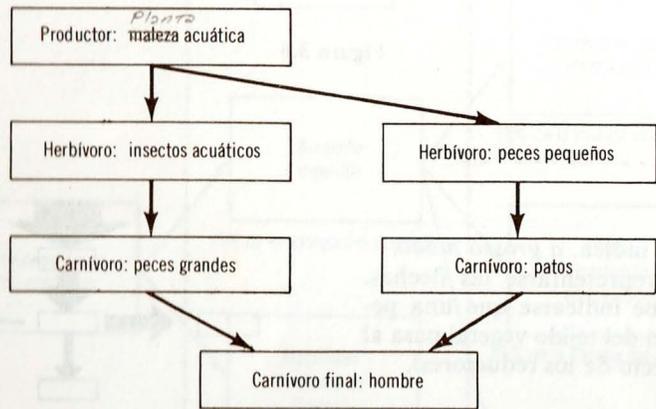


Figura 3.9 Red alimenticia simple en la que el hombre aparece como el carnívoro final.

Marque la cadena alimenticia que aparece en la figura 3.11.

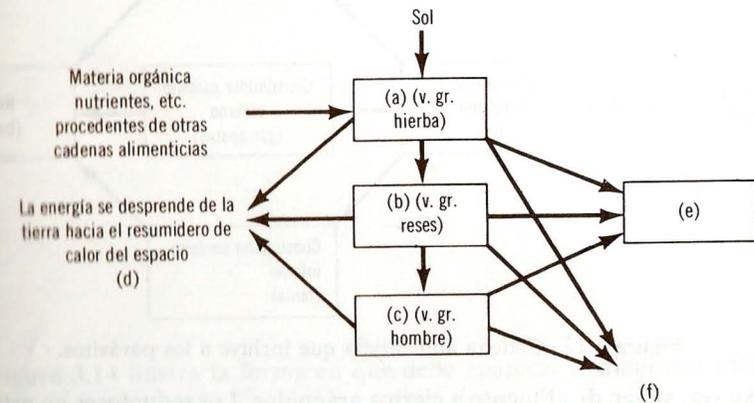


Figura 3.11

- a) _____
- b) _____
- c) _____
- d) _____
- e) _____
- f) _____

a) productor-vegetal; b) consumidor-herbívoro; c) consumidor-carnívoro; d) calor utilizado para conservar la vida: respiración; e) reductores: bacterias; f) descendencia y tejido no ingerido.

b. Se ha considerado una cadena alimenticia general donde la energía pasa, de un productor a un consumidor primario (herbívoro), luego a un consumidor secun-

5. Los *reductores* viven de las moléculas ricas en energía que obtienen de los tejidos de los organismos muertos. Gran parte de los alimentos que ingieren los utilizan en la respiración, pero también se multiplican, con lo cual crean nuevos tejidos. Vea la figura 3.10.

dario (carnívoro) y, finalmente, a los reductores. No existen verdaderas cadenas alimenticias "generales" en la naturaleza. Se ha mencionado, por ejemplo, que los reductores toman sus alimentos de los productores, de los herbívoros y aun de otros reductores, así como de los carnívoros. Las variaciones comunes del modelo básico de cadena alimenticia incluyen cadenas alimenticias parasíticas y *cadena alimenticias detritófagas*. Cadenas alimenticias parasíticas: cadenas alimenticias en las que el productor o el consumidor están parasitados y, por lo tanto, el alimento pasa a un organismo más pequeño, y no a uno mayor. Vea la figura 3.12.

Cadenas alimenticias detritófagas: cadenas alimenticias en las que el herbívoro subsiste por la ingestión de material orgánico muerto (que procede generalmente del exterior del ecosistema particular), en vez de alimentarse con productores.

Un ejemplo de una cadena alimenticia detritófaga lo constituye la zona aeoliana de los Himalayas, que fue investigada por el Dr. Lawrence Swan. Las plantas que poseen clorofila no pueden vivir en estas elevadas montañas. En ellas, la entrada de detritus consiste en partículas orgánicas arrastradas por el viento, especialmente granos de polen. Dichas partículas son portadoras de colémbolos y de ácaros los

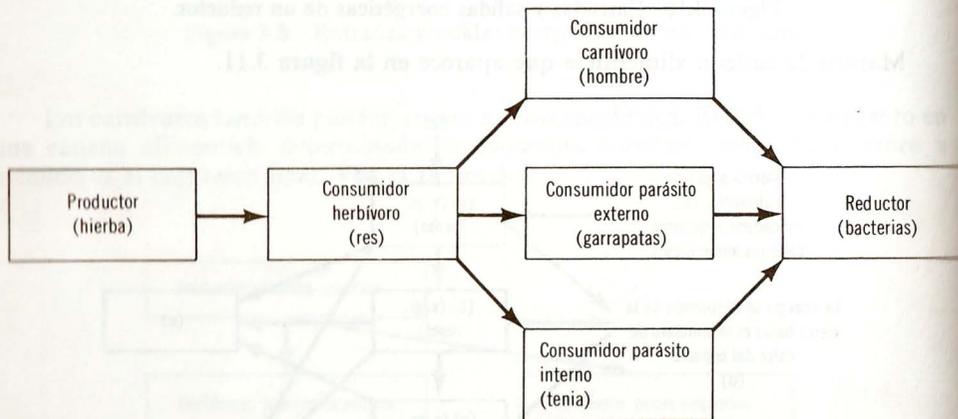


Figura 3.12 Cadena alimenticia que incluye a los parásitos.

cuales, a su vez, sirven de alimento a ciertos arácnidos. Los reductores en este sistema están representados por las bacterias. En la figura 3.13 se esquematiza esta cadena alimenticia detritófaga.

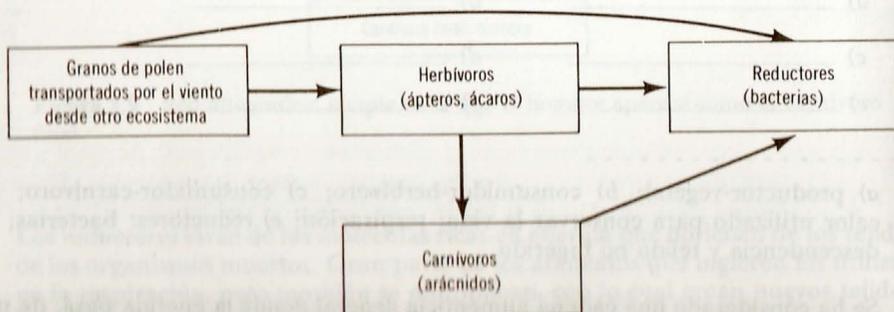
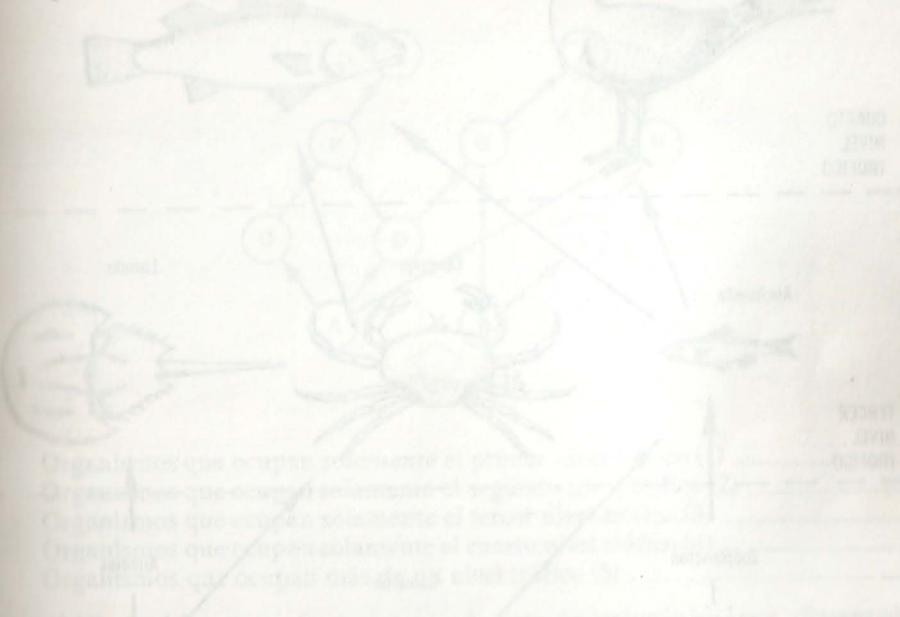


Figura 3.13 Cadena alimenticia de detritus aélicos.

Obviamente, los límites de un ecosistema de detritus pueden expandirse de manera que incluya a los productores, ya que los consumidores están incapacitados para subsistir sin ellos. Sin embargo, los límites de un ecosistema se establecen de acuerdo con los propósitos de una investigación particular. De esta manera, a pesar de que el modelo básico siempre es útil si se investiga lo suficiente, en muchos estudios conviene considerar fragmentos abreviados, o especializados, de las cadenas alimenticias. En estos ejemplos también puede observarse cómo se simplifican las cadenas alimenticias al expandirse en redes alimenticias. Sin embargo, las leyes de la termodinámica imponen su control y limitación invariable, no importa qué tanto se desvíe una cadena de alimentos de su patrón básico.

Dibuje el esquema de una cadena alimenticia parasítica, cuyos miembros constan de árboles de roble parasitados con heno, ardillas que se alimentan de las bellotas pero no del heno, y bacterias que descomponen todo al paso del tiempo.



La figura 3.14 ilustra la forma en que debe aparecer el diagrama solicitado.

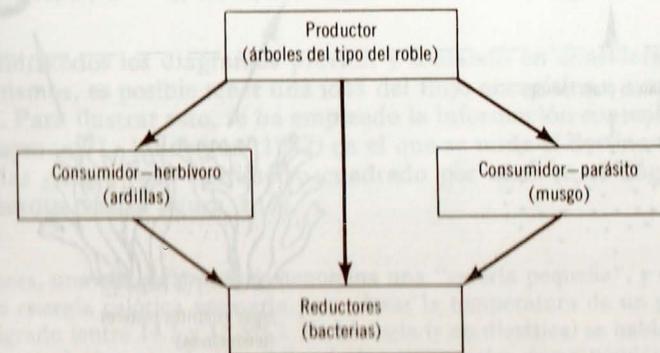


Figura 3.14

7. El nivel trófico de un organismo se refiere al número de etapas que separan a dicho organismo de la producción primaria. La producción primaria constituye el primer nivel trófico. Una forma de observar las redes alimenticias, consiste en analizar a los diferentes organismos de acuerdo con el nivel trófico que ocupan.

Es probable que más de un herbívoro puede alimentarse con una especie vegetal determinada. Asimismo, estos consumidores primarios son presa frecuentemente, de más de un carnívoro, y es factible que se alimenten de diferentes tipos de plantas. De esta manera, las cadenas alimenticias generalizadas se entrelazan, lo cual se denomina red alimenticia. Si dos organismos se encuentran separados de los

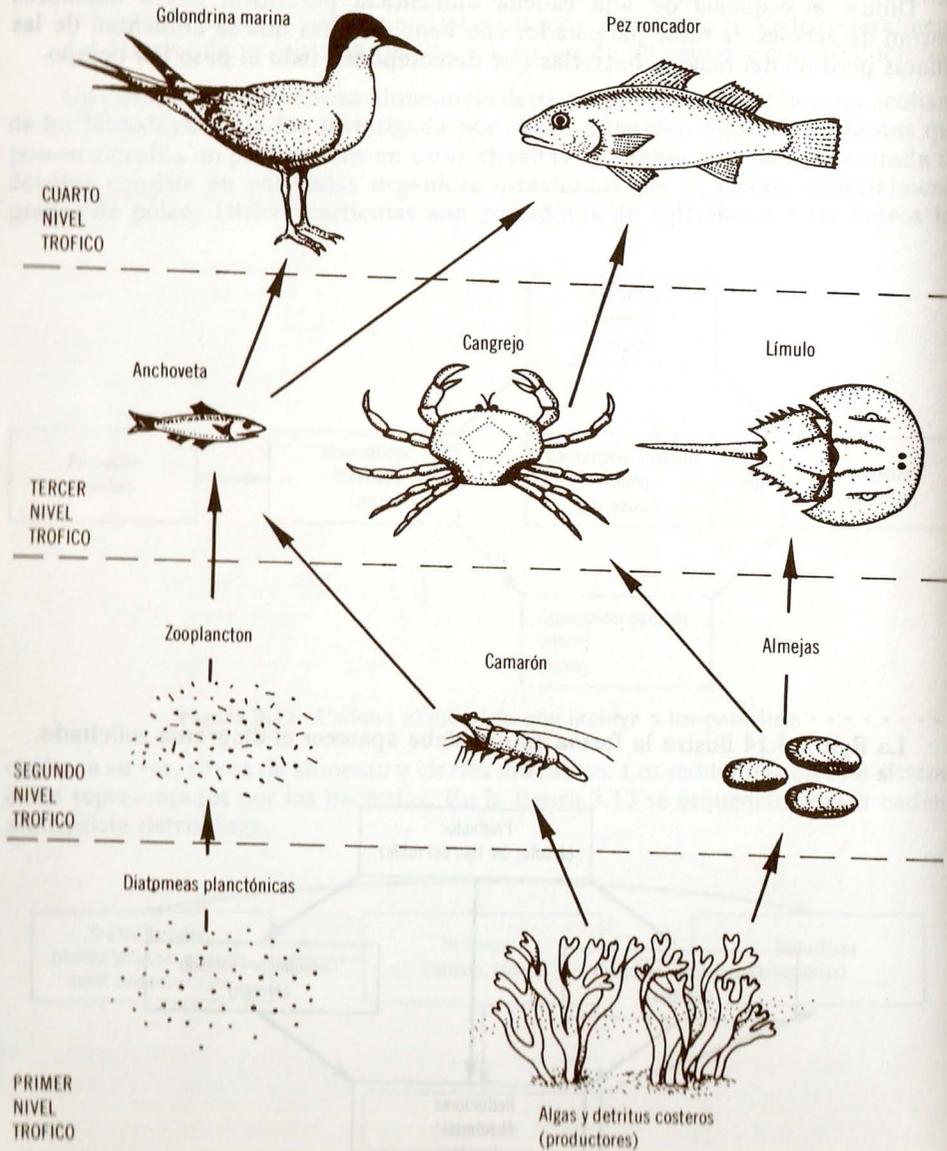


Figura 3.15 Ecosistema de aguas someras en el que se ilustran los niveles tróficos.

productores el mismo número de etapas, se dice que ocupan el mismo nivel trófico. Cuando se analizan las redes alimenticias puede observarse que muchos organismos diferentes aun aquéllos que no sirven de alimento a las mismas especies, aparecen en un mismo nivel trófico. Examine la figura 3.15.

a) Defina el nivel trófico _____

b) En la figura 3.16 se representa una red alimenticia hipotética. Los nombres de los organismos se han reemplazado con letras. Agrupe las letras por niveles tróficos. A y B son productores.

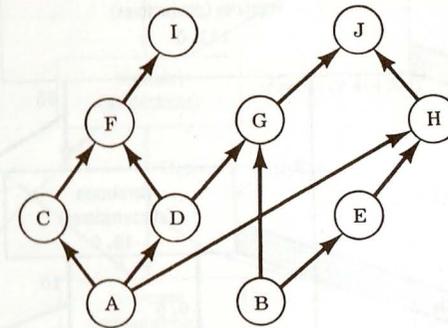


Figura 3.16

- Organismos que ocupan *solamente* el primer nivel trófico (1) _____
 Organismos que ocupan *solamente* el segundo nivel trófico (2) _____
 Organismos que ocupan *solamente* el tercer nivel trófico (3) _____
 Organismos que ocupan *solamente* el cuarto nivel trófico (4) _____
 Organismos que ocupan *más de un nivel trófico* (5) _____

a) Nivel trófico es un término empleado para designar en una red alimenticia, el número de etapas que separamos a un organismo de los productores. Se considera que los productores constituyen el primer nivel trófico.

b) 1 — A, B; 2 — C, D, E; 3 — F; 4 — I; 5 — H, G, J.

b. Uniendo todos los diagramas previos, y tomando en consideración a todos los organismos, es posible tener una idea del flujo energético a través de un ecosistema. Para ilustrar esto, se ha empleado la información contenida en un estudio de Raymond L. Lindeman (1942) en el que se mide el destino de la energía (en calorías gramo¹ por centímetro cuadrado por año) en el Lago Cedar Bog, de Minnesota (vea la figura 3.17).

¹ A veces, una *caloría gramo* se denomina una "caloría pequeña", y es equivalente a la cantidad de energía calórica necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua un grado centígrado (entre 14.5 y 15.5°C). En biología (y en dietética) se habla generalmente en términos de "calorías grandes" o kilocalorías, las cuales corresponden a 1000 calorías pequeñas o calorías gramo. Las calorías grandes se abrevian C (o Kcal).