

ECOSISTEMAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS

Libro traducido y adaptado para la red Internet con autorización del autor

"Environmental Systems and Public Policy"



Copyright: H. T. Odum *et al.*

Ecological Economics Program.

University of Florida, Gainesville 32611,

USA. 1988.



Índice General

- [Autores del libro e Introducción a la lectura](#)
- [Notas de los traductores y adaptadores para Internet](#)
- [Derecho de uso de algunas imagenes \(Editora CRC, EUA\)](#)
- [Programas en Basic para Simulación de Ecosistemas](#)
- [Programas em Delphi para Simulação de Ecosystemas](#)
- [Programas em Java para Simulação de Ecosystemas](#)
- [Este curso en Lengua Portuguesa](#)



PARTE 1 - Principios y lenguaje simbólico

- [Capítulo 1](#) - Sistemas y símbolos.
- [Capítulo 2](#) - Flujos de energía y materiales a través de ecosistemas.
- [Capítulo 3](#) - Cadena alimenticia del bosque de pinos.
- [Capítulo 4](#) - Niveles tróficos y calidad de energía.
- [Capítulo 5](#) - Producción y principio de la máxima potencia.
- [Capítulo 6](#) - Modelos de crecimiento.
- [Capítulo 7](#) - Mas modelos de crecimiento.
- [Capítulo 8](#) - Simulando modelos cuantitativos.
- [Capítulo 9](#) - Sistemas oscilatorios.



PARTE II - Tipos de ecosistemas

- [Capítulo 10a](#) - Océanos (primera parte).
- [Capítulo 10b](#) - Océanos (segunda parte).
- [Capítulo 11](#) - Estuarios.
- [Capítulo 12](#) - Lagos y corrientes.
- [Capítulo 13](#) - Zonas húmedas.
- [Capítulo 14](#) - Biomas fríos.
- [Capítulo 15](#) - Biomas de floresta templada
- [Capítulo 16](#) - Biomas de desierto y praderas.
- [Capítulo 17](#) - Biomas tropicales.

- [Capítulo 18](#) - Sistemas agrícolas.
- [Capítulo 19](#) - Plantaciones de florestas.
- [Capítulo 20](#) - Sistemas urbanos.



PARTE III - El sistema económico

- [Capítulo 21](#) - Culturas tribales primitivas.
- [Capítulo 22](#) - Energía y economía.
- [Capítulo 23](#) - Bases ambientales de la economía de los E.U.A.
- [Capítulo 24](#) - Sistema económico de un Estado
- [Capítulo 25](#) - Impactos económicos en el ambiente
- [Capítulo 26](#) - Electricidad y combustibles
- [Capítulo 27](#) - Fuentes alternativas de energía
- [Capítulo 28](#) - Población y capacidad de sustentación
- [Capítulo 29](#) - Intercambio internacional
- [Capítulo 30](#) - Simulando el futuro
- [Capítulo 31](#) - Un mundo de baja energía



PARTE IV - Apendices

- A. Programas de computador por Capítulos
- B. Notas de pie de página para análisis en los E.U.A.
- C. Conversiones útiles
- D. Lecturas sugeridas y de consulta
- E. Glosario
- F. Índice de referencias

Archivos de fotos

- [Archivo de fotos de Ecosistemas](#)
- [Archivo de fotos sobre Energia](#)



[Lab. Eng. Ecológica](#)



[Encabezado](#)



[Capítulo 1](#)

Dudas? Sugestiones sobre esta versión en español? Escriba para:
Laboratório de Engenharia Ecológica e Informática Aplicada. E-mail: leia@fea.unicamp.br
29 de diciembre de 1997. Última revisão: 11 de septiembre de 2000



CURSO DE ECOSISTEMAS E Y POLÍTICAS PÚBLICAS

PARTE I. PRINCIPIOS Y LENGUAJE SIMBOLICO

CAPITULO 1.

SISTEMAS Y SÍMBOLOS

OBJETIVOS:

1. Listar las partes de un ecosistema (componentes vivos y no-vivos);
2. Nombrar los símbolos usados para diagramar ecosistemas y describir cada símbolo;
3. Construir un diagrama de un ecosistema (modelo simple) utilizando símbolos.

1.1 Sistemas.

Un **sistema** es un grupo de partes que están conectadas y trabajan juntas. La tierra está cubierta de cosas vivas y no-vivas que interactúan formando sistemas, también llamados **ecosistemas** (sistema ecológico) . Un típico ecosistema contiene, cosas vivas como por ejemplo árboles, animales; y cosas no-vivas como sustancias nutrientes y agua.

La superficie de la tierra, donde existen los seres vivos, es llamada **biosfera** y contiene muchos pequeños ecosistemas como ser bosques, campiñas, lagos y estepas.

A todos los individuos de una especie de organismos, se los denomina **población**. Cada ecosistema contiene diversas poblaciones. Un ecosistema puede contener una población de árboles, una población de ardillas y una población de saltamontes.

Las partes vivas de un ecosistema son llamadas **comunidades**. La comunidad está conformada por las poblaciones de muchas especies que interactúan unas con otras.

1.2 Procesos de un ecosistema.

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 los productos alimenticios son llamadas **productores**. El alimento producido es utilizado por células vivas para hacer mas

células y formar la **materia orgánica**, como lana y grasa. Los productos orgánicos de organismos vivos son, algunas veces denominados **biomasa**.

Ciertos organismos consumen productos elaborados por los productores, a estos organismos se las denomina **consumidores**. Los *consumidores* pueden comer plantas (herbívoros), carne (carnívoros), ó asimilar materia orgánica muerta (descompositores, como hongos y bacterias).

Luego de que el *consumidor* ha digerido y utilizado este alimento, restan pocos productos químicos de desecho. Estos productos de desecho, que se necesitan como fertilizante para plantas, son denominados **nutrientes**. Cuando los *consumidores* liberan *nutrientes* y vuelven a ser utilizados por las plantas, nosotros decimos han sido **reciclados**.

La floresta es un ejemplo de un típico ecosistema. Los árboles y otras plantas productoras utilizan la energía solar y los nutrientes químicos para elaborar materia orgánica. Esta es comida por los consumidores que devuelven los nutrientes a la raíz de las plantas. La Figura 1.1 muestra esa parte del sistema forestal y las flechas muestran el flujo que siguen la energía, alimento y nutrientes.

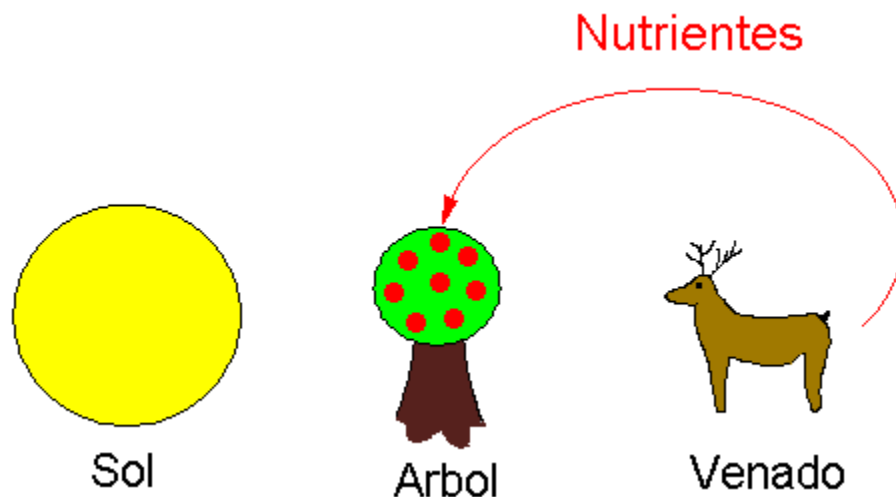


Figura 1.1 Partes de una floresta

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

1.3 Símbolos.

Los símbolos son sencillos y establecen gráficamente las relaciones de los sistemas. El primer grupo de símbolos que es necesario aprender es dado en la Figura 1.2.

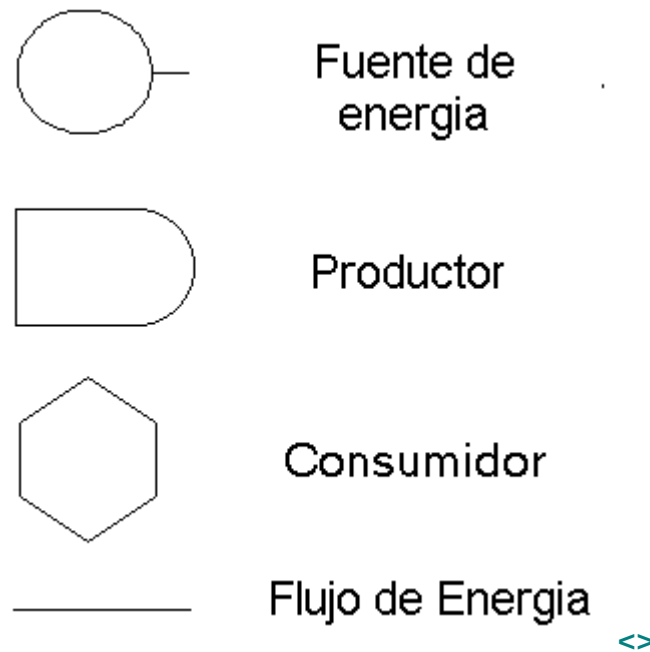


Figura 1.2 Símbolos

La Figura 1.3 muestra un sistema forestal en estos símbolos. Estas unidades y caminos son las mismas que en la Figura 1.1, pero substituidas por símbolos: el sol es representado por el símbolo de *fuentes de energía*, las plantas verdes son representadas por el símbolo de *productores* y los animales por el símbolo de los *consumidores*. Las flechas representan el flujo de energía de una unidad a otra. Muchos caminos cargan materiales y energía. Un **modelo** es el diagrama que muestra importantes relaciones en un vía simple.

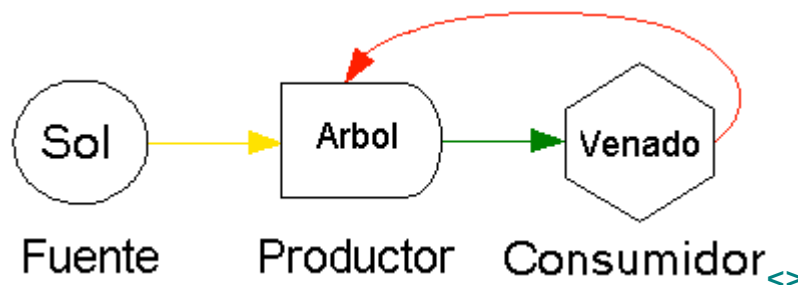


Figura 1.3 Símbolos que representan partes de una floresta

*Figure reprinted with permission from
 Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
 Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

La Figura 1.4 presenta otros dos símbolos. Un proceso de interacción (por ejemplo, la interacción de energía y materiales en la fotosíntesis) es representado en los diagramas de sistemas energéticos por un **símbolo de interacción**. Una cantidad (por ejemplo, un depósito de nutrientes) representada por símbolo de **depósito** en la Figura 1.4. Este símbolo tiene la forma de algunos tipos de tanques de agua.

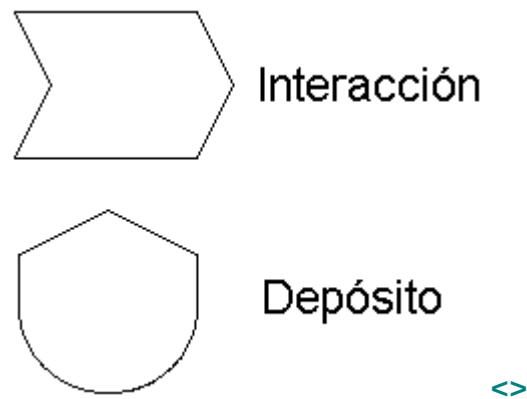


Figura 1.4 Símbolos para Interacción y Depósito.

Las partes y caminos internos hacia un productor o consumidor son diagramados en la Figura 1.5. El proceso de fotosíntesis muestra internamente al productor como una interacción que combina los nutrientes y la energía. La producción también necesita una cierta cantidad de plantas (depósito de biomasa de planta) para hacer el trabajo de fotosíntesis. Un consumidor también tiene un proceso de interacción y depósito. En el ejemplo del venado, el proceso de interacción es el de comer las plantas. El depósito es la biomasa del tejido del venado. Las partes y caminos internos a un consumidor son similares a los de un productor.

Retroalimentación

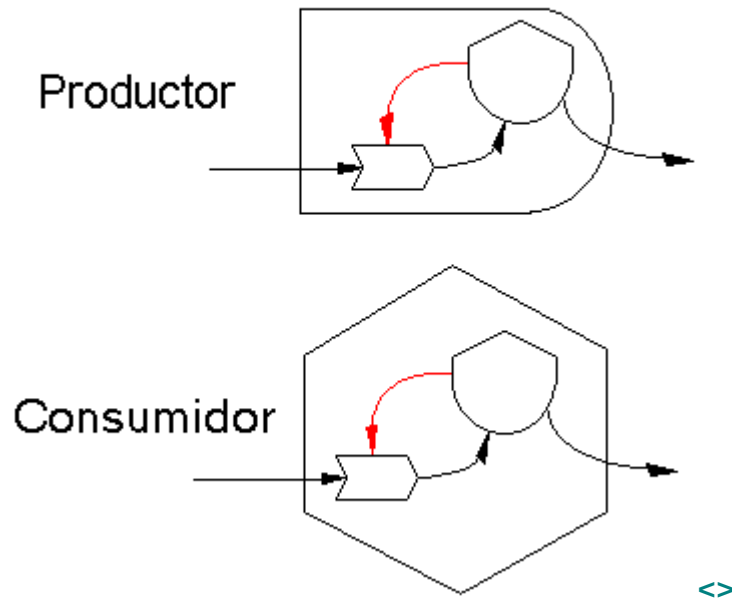


Figura 1.5 Partes internas a un productor y un consumidor.

En la Figura 1.5 existen líneas que fluyen de los depósitos nuevamente a los procesos de interacción. Esto indica que el depósito de biomasa está envuelto en la producción de más biomasa. Una línea que retorna hacia la izquierda del diagrama se llama **retorno**, o **retroalimentación**.

La energía está disponible para realizar trabajo solamente cuando está relativamente concentrada. Cuando la energía se disipa, perdiendo su concentración y su capacidad de realizar trabajo útil, decimos que está dispersa. Algo de energía está siempre siendo dispersada de un depósito de energía concentrada y cuando es usada en un proceso de interacción. La dispersión de energía que acompaña todos los depósitos y procesos se muestra con el símbolo de **sumidero de calor** en la Figura 1.6. La energía dispersa no puede ser usada nuevamente.

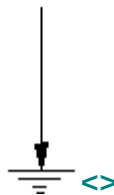


Figura 1.6 Sumidero de calor.

Mucha de la energía solar usada en el proceso de producción es dispersada durante su uso. Es necesario dispersar la mayoría de la energía solar incidente para poder producir un pequeño depósito de energía como biomasa. Cuando un animal consumidor come una planta, la mayoría de la energía del alimento es dispersada para mantener al animal con vida y operar los procesos de crecimiento.

1.4 Sistema forestal.

Las partes de la floresta expuestas en las figuras anteriores pueden ser integradas para mostrar un sistema forestal completo de forma simple, como se muestra en la Figura 1.7. La caja diseñada al rededor de los símbolos marca los limites del sistema. Solamente los símbolos de la fuente de energía y el sumidero de calor son diseñados fuera de los limites, esto debido a que la primera es abastecida por una fuente externa al sistema, y en el sumidero de calor la energía es dispersada del sistema y no puede ser reutilizada.

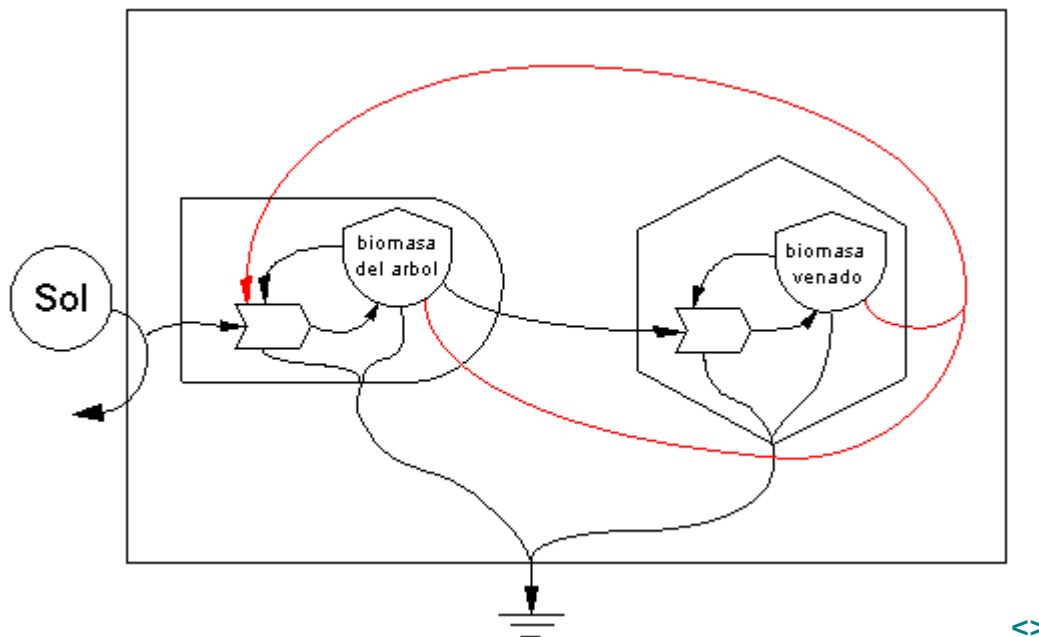


Figura 1.7 Ecosistema forestal diseñado con los símbolos.

Debido a que parte de la energía solar fluye por la floresta sin ser utilizada, la línea del sol es diseñada con un brazo que sale nuevamente del sistema. Los nutrientes liberados por los consumidores se muestran reciclados hacia la izquierda volviendo nuevamente al proceso de producción de la planta.

En resumen, los símbolos de energía muestran como están conectadas las partes *productoras* y *consumidoras* de un ecosistema, el uso de la energía, el reciclaje de materiales y el uso del depósito para ayudar a los procesos de producción.

1.5 El símbolo de transacción monetaria.

En un sistema económico que incluye dinero, este es utilizado para pagar bienes y servicios. Como se muestra en la Figura 1.8, la energía fluye en una dirección (las líneas sólidas) mientras que el dinero fluye en dirección opuesta (línea interrumpida). La carne y las cosechas van desde la hacienda hasta la ciudad, y los dólares retornan para pagarlos.

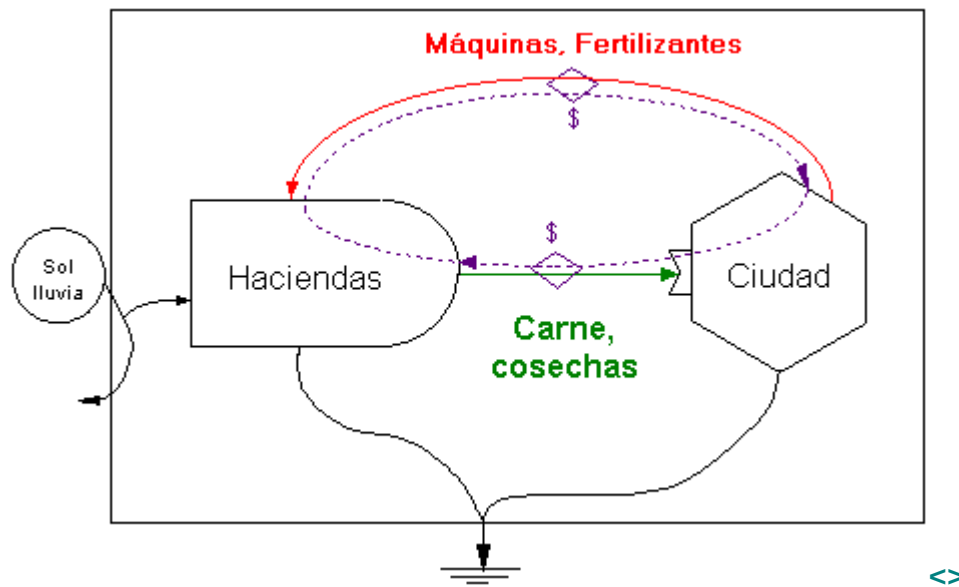
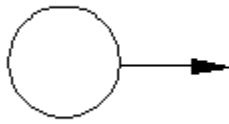


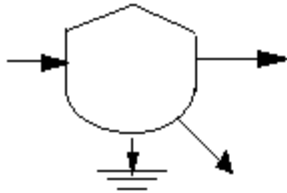
Figura 1.8 Energía y dinero fluyen en dirección opuesta.

Los símbolos con los caminos usuales de conexión se dan en la Figura 1.9. Siete de ellos son usados en este capítulo; los últimos tres se presentarán mas adelante.

—————▶ **Camino energético-** flujo de energía o materiales.



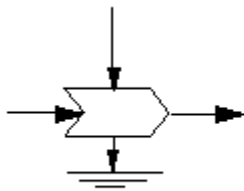
Fuente de energía energía que acompaña cada recurso usado por el ecosistema, como el sol, el viento, las mareas, las olas en las playas, la lluvia, las semillas traídas al sistema por el viento y las aves.



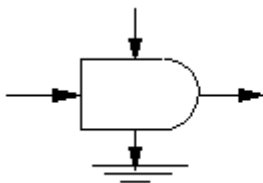
Depósito- es un lugar donde la energía se almacena. Ejern: recursos como biomasa florestal, suelo, materia orgánica, aguasubterranea, arena, nutrientes, etc.



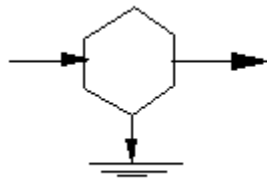
Sumidero de calor- energía dispersada y que no puede ser reutilizada. Como la energía en la luz solar después de la fotosíntesis, o el calor que sale por el metabolismo animal. Estas dispersiones estan asociadas a almacenes, interacciones, productores, consumidores y símbolos de interruptores.



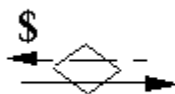
Interacción proceso que combina diferentes tipos de flujos de energía o de materiales.



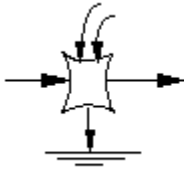
Productor - unidad que hace productos a partir de energía y materiales primarios, como arboles, cosechas o fábricas.



Consumidor unidad que usa los productos de productores, como: insectos, ganado, microorganismos, seres humanos y ciudades.



Transacción- intercambio comercial de dinero para energía, materiales o servicios prestados.



Interruptor o desvío proceso que se inicia ó termina, como un incendio o de la polinización de las flores..



Caja - simbolo para definir los limites de un sistema, subsistema, etc.

Figura 1.9 Símbolos de energía

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

Preguntas y actividades para el Capítulo 1

1. Defina:

- a. consumidor
- b. productor
- c. descompositor
- d. fotosíntesis
- e. población
- f. nutrientes
- g. dispersión de energía
- h. proceso de interacción
- i. depósito (almacenamiento)
- j. producción
- k. fuente
- l. biosfera

2. Use la Figura 1.7 para explicar el ecosistema forestal

3. Dibuje los 8 símbolos utilizados en este capítulo y explique que representa cada uno.

4. Trace la energía y nutrientes a través del diagrama de la floresta

5. Dibuje un diagrama de usted, vendiendo 4 lápices a un amigo por un dólar.

6. Dibuje nuevamente la Figura 1.7.



CURSO DE ECOSISTEMAS E POLÍTICAS PÚBLICAS
PARTE I. PRINCÍPIOS Y LENGUAJE SIMBÓLICA

CAPITULO 2.

**LOS FLUJOS DE ENERGÍA Y MATERIALES
A TRAVÉS DE ECOSISTEMAS**

OBJETIVOS:

1. Listar las principales fuentes de energía y mostrar su flujo a través de una floresta;
2. Enunciar dos leyes de energía y explicarlas mediante ejemplos;
3. Definir las unidades de energía: kilocaloria y joules;
4. Identificar y diagramar los principales elementos y productos de la fotosíntesis, y el consumo orgánico;
5. Trazar los ciclos de fósforo y nitrógeno en el ecosistema forestal;
6. Acompañar el flujo de agua en el ecosistema forestal;
7. Diagramar un ecosistema forestal que incluya las fuentes y los flujos de energía, fósforo, nitrógeno, agua, oxígeno y dióxido de carbono.

2.1. Un modelo más detallado del sistema forestal.

En el Capítulo I examinamos un modelo muy simple de ecosistema forestal e hicimos una introducción de los símbolos para diagramar las partes y los procesos. En este capítulo continuaremos usando el mismo modelo, mostrando el almacenamiento y los flujos de desperdicios (residuos), nutrientes, dióxido de carbono y oxígeno. Para sobrevivir, un ecosistema necesita un abastecimiento continuo de materiales esenciales. Estos pueden venir de fuera del sistema, del reciclaje de los materiales o de ambos. Un diagrama de sistema puede ser usado para mostrar las fuentes y flujos, de los materiales mas importantes y de la energía. Un diagrama puede también diseñarse para mostrar las fuentes y flujos de cada tipo de material por separado.

Generalmente, se puede resumir el proceso de producción de la fotosíntesis por las plantas verdes (por ejemplo: hojas de los árboles) con ayuda de energía solar, de la siguiente manera :

(agua) + (dióxido de carbono) + (nutrientes) \rightarrow (material orgánico) + (oxígeno)

El proceso de consumo orgánico por los consumidores (incluyendo fuego y consumo industrial de combustibles) ocurre en dirección contraria:



Los procesos de producción y consumo en una floresta se muestran, con ayuda de símbolos, en la Figura 2.1.

Las partes y procesos mostrados en el diagrama del bosque (Figura 2.1) integran un ecosistema trabajando. Las diversas plantas verdes utilizan la energía del sol, agua y nutrientes del suelo y dióxido de carbono del aire para producir materia orgánica. Parte de la materia orgánica es alimento de insectos cuando aún esta verde, parte es consumida por **microbios** (organismos microscópicos) luego de que cae al suelo, parte se quema en los incendios. Los consumidores usan oxígeno del aire y liberan nutrientes, dióxido de carbono y un poco de agua como subproductos.

El viento es una fuente externa que abastece oxígeno y dióxido de carbono.

Cuando el viento sopla a través de la floresta, lleva consigo cualquier exceso de dióxido de carbono acumulado por los consumidores.

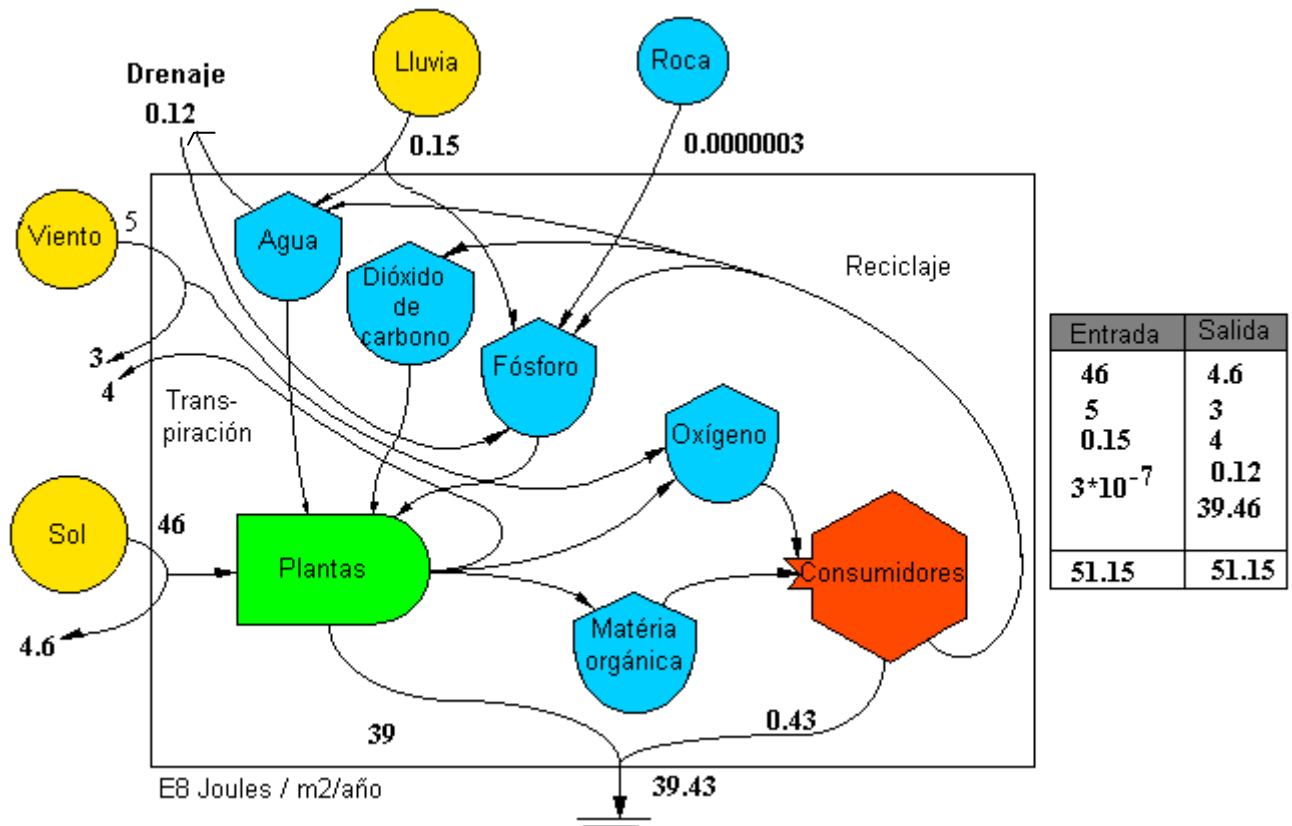


Figura 2.1 Diagrama de producción fotosintética y del consumo orgánico en una floresta, mostrando fuentes, flujos de calor, reciclaje y el balance de entradas y salidas. (Los números en los caminos están en E6 joules por metro cuadrado de floresta por año).

Después de algunos años, el ecosistema forestal puede entrar en equilibrio. El agua fluye de adentro para afuera del ecosistema; los nutrientes se mueven desde el suelo hacia los organismos vivos y vuelven a él nuevamente. Organismos crecen, mueren se descomponen y sus nutrientes retornan al sistema. Si los depósitos permanecen constantes, con los flujos de entrada iguales a los de salida, se dice que el ecosistema está en **estado de equilibrio**.

2.2 Cuantificación de los flujos de energía.

La energía es necesaria para todos los procesos. La cantidad de energía puede ser medida por el calor liberado. Existen dos unidades comúnmente usadas para medir energía. La **caloría** es la cantidad de calor necesaria para elevar la temperatura de un gramo de agua en un grado en la escala Celsius (grado centígrado). Una **kilocaloría** representa mil calorías. Un cuerpo humano libera cerca de 2500 kilocalorías por día, energía proporcionada por los alimentos consumidos.

Por acuerdos internacionales, una unidad de energía diferente se está utilizando con mayor frecuencia, el **Joule (J)**. Una kilocaloría es equivalente a 4186 joules.

La energía es necesaria para todos los procesos en un ecosistema. La floresta usa la energía del sol (energía solar) y pequeñas cantidades de otras fuentes. Las fuentes energéticas, depósitos y flujos en un ecosistema forestal están marcadas en el diagrama de la floresta en la Figura 2.1. (las cantidades están en joules).

El diagrama incluye algunos números elevados. Los números elevados con muchos ceros pueden representarse como el producto de la parte inicial del número multiplicado por 10 para cada cero.

Por ejemplo: 627 000 puede ser representado como:

$$6.27 * 10^5$$

o, puede usarse el siguiente formato en los programas de computación:

6.27 E5

donde E5 (5 exponencial) significa multiplicar $10 * 5$. Esto es lo mismo que adicionar 5 ceros. Esta última notación es usada en la Figura 2.1 para indicar el flujo de joules.

2.3 Colocando valores en los caminos del diagrama.

Una buena manera de ver como los materiales, energía ó dinero fluyen dentro de un sistema, es escribir sus valores en los caminos del diagrama. Por ejemplo, los números en las líneas de flujo en la Figura 2.1 son las proporciones de flujo de energía por año. En la Figura 2.3 los números son gramos de fósforo fluyendo por el sistema, por metro cuadrado por año. A veces es útil mostrar las cantidades medias de los depósitos. Por ejemplo, en la Figura 2.3, el depósito medio de fósforo en la biomasa es de 10 gramos por metro cuadrado por año.

2.4 Las leyes de energía

El diagrama energético de la floresta ilustra dos leyes fundamentales:

La primera es la **Ley de la Conservación de Energía** que declara que la materia no puede ser creada ni destruida. En nuestro caso, significa que la energía que fluye hacia dentro de un sistema es igual a la energía adicionada al depósito mas aquella que fluye hacia fuera del sistema. En la Figura 2.1 los depósitos no están cambiando, la suma de las entradas es igual a la suma de las salidas de energía; los joules de energía que entran al sistema de las fuentes externas, son iguales a los joules de energía que se dispersan por el sumidero.

La segunda ley, es la **Ley de Dispersión de Energía**. Esta ley declara que la disponibilidad para que la energía realice algún trabajo se agota debido a su tendencia a la dispersión (se degrada). La energía también se dispersa de los depósitos de energía. Cuando presentamos el símbolo del sumidero de calor en el último capítulo, dijimos que los sumideros de calor eran necesarios para todos los procesos y depósitos. Los sumideros de calor son necesarios debido a la segunda ley. Observe los caminos de la dispersión de energía en el diagrama de la floresta en la Figura 2.1, los joules de energía que fluyen por el sumidero de calor no están disponibles para realizar mas trabajo porque la energía se encuentra demasiado dispersa; la energía que se dispersa es energía utilizada, no es energía

desperdiciada; su salida del sistema es parte inherente y necesaria de todos los procesos, biológicos o cualquier otro.

2.5 El ciclo del agua en la floresta.

Los ecosistemas necesitan agua. Los árboles de la floresta absorben grandes cantidades de agua por las raíces, a través de los troncos, hasta las hojas, y la expulsa mediante poros microscópicos en las hojas en forma de vapor. Esta salida de agua se llama **transpiración**. La cantidad de agua que fluye a través de los árboles por el proceso de transpiración es mucho mayor a la pequeña cantidad de agua usada en la fotosíntesis. Parte del agua se evapora antes de alcanzar el suelo. La suma de la transpiración y de la evaporación es llamada **evapotranspiración**. La Figura 2.2 muestra los flujos y depósitos de agua en un metro cuadrado de un ecosistema forestal. Poca agua es almacenada (en depósito) comparada con la cantidad que fluye a través de todo los sistema (lluvia, lixiviación y transpiración). La Figura 2.2 es la parte del agua de la Figura 2.1.

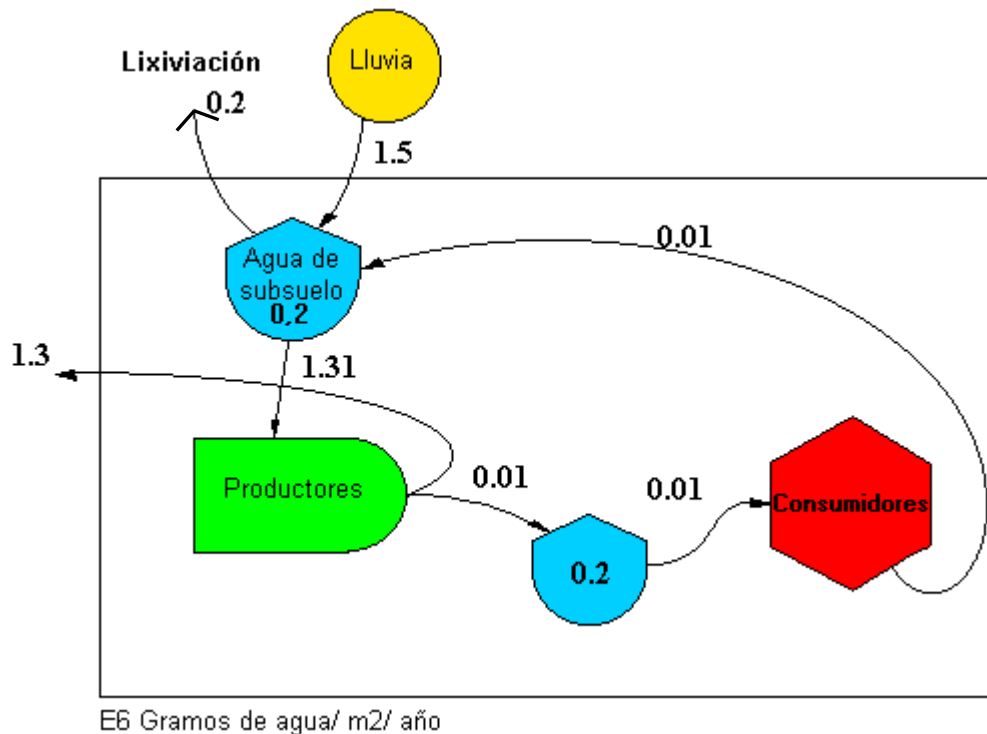


Figura 2.2 Depósitos y flujos de agua en el ecosistema forestal de la Figura 2.1

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
 Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

2.6 El ciclo del fósforo.

Substancias químicas (nutrientes) son también necesarias para los depósitos y procesos de un ecosistema. Uno de los nutrientes mas importantes para la construcción de organismos sanos es el fósforo. Generalmente el fósforo es más escaso que otros nutrientes, tales como el nitrógeno y el potasio. Si el sistema forestal no reciclase el fósforo, este se podría volver tan escaso, que limitaría el crecimiento de las plantas de la floresta.

Flujos y depósitos que contienen nutrientes ricos en fósforo están incluidos en la Figura 2.1. La entrada y el reciclaje del fósforo puede mostrarse por separado retirando del diagrama los ítems que no contienen fósforo. En la Figura 2.3 se muestran los caminos y depósitos restantes como el diagrama del ciclo del fósforo.

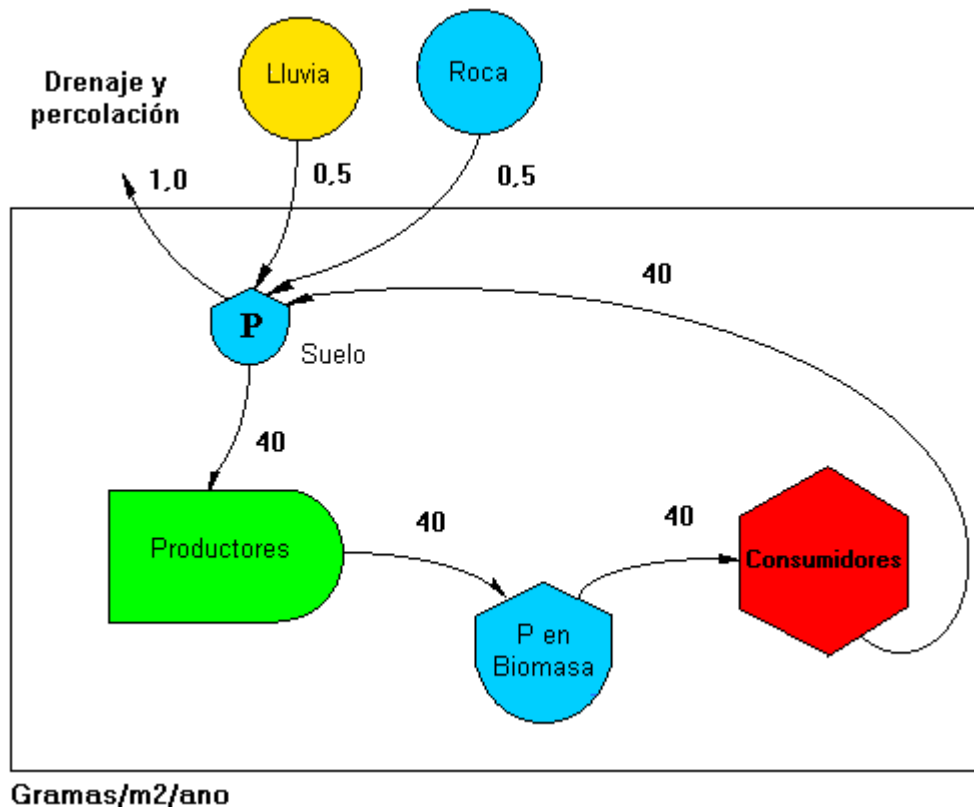


Figura 2.3 Ciclo del fósforo para el ecosistema diseñado en la Figura 2.1.

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
 Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

El diagrama muestra la lluvia y las rocas como fuentes externas de fósforo. El fósforo está presente como fosfatos inorgánicos que las plantas usan para producir compuestos orgánicos necesarios para la vida. El fósforo en estos compuestos, participa de la biomasa que regresa a formas inorgánicas mediante

los consumidores cuando ellos usan la biomasa como alimento. El fósforo inorgánico liberado se vuelve parte de los depósitos de nutrientes en el suelo. Así, el fósforo se mueve en un ciclo circular como muestra la Figura 2.3. Parte fluye para afuera del sistema con las aguas que salen por la superficie del suelo o percola hasta la capa freática. El fósforo no tiene fase gaseosa en su ciclo.

2.7 El ciclo del nitrógeno.

El elemento químico nitrógeno es esencial para todas las formas de vida y sus productos. Es uno de los elementos necesarios para hacer proteínas (músculos en carnes, nervios, cabellos, tendones, piel, plumas, seda, leche, queso, semillas y nueces, enzimas), y estructuras genéticas.

El 78% del aire es gas nitrógeno, pero la mayoría de los organismos no pueden usarlo en esta forma. El nitrógeno en su estado gaseoso puede convertirse en formas utilizables (nitratos, nitritos, y amonio) por procesos especiales que necesitan de energía. Por ejemplo, los procesos industriales usan combustible para convertir el gas nitrógeno para fertilizante de nitrógeno para las haciendas. La energía en los relámpagos convierte el nitrógeno en nitratos en la lluvia. Las plantas, algas y bacteria que pueden hacer esto son llamadas **fijadoras de nitrógeno**. Algunas plantas y árboles tienen nódulos que fijan nitrógeno usando azúcar que es transportado desde las hojas como fuente de energía. Las algas azul-verdes pueden fijar el nitrógeno usando la luz solar. Algunas bacteria pueden fijar el nitrógeno usando materia orgánica como fuente de energía.

La Figura 2.4 muestra el ciclo del nitrógeno en los ecosistemas. Iniciando por los organismos fijadores de nitrógeno, el nitrógeno pasa a las plantas y luego, siguiendo la cadena alimentaria, para los animales. En las plantas y en los animales, el nitrógeno se encuentra en forma de compuestos orgánicos como las proteínas. El nitrógeno retorna para el suelo y el agua en forma de desechos animales y por la descomposición de plantas y animales. Varias sustancias de desechos que contienen nitrógeno, como la urea en la orina, son convertidas por bacteria en amonio, nitritos y nitratos; estos son usados nuevamente por las plantas para cerrar el ciclo. Algunos microbios devuelven el nitrógeno a la atmósfera como gas nitrógeno. Esto se llama **desnitrificación**.

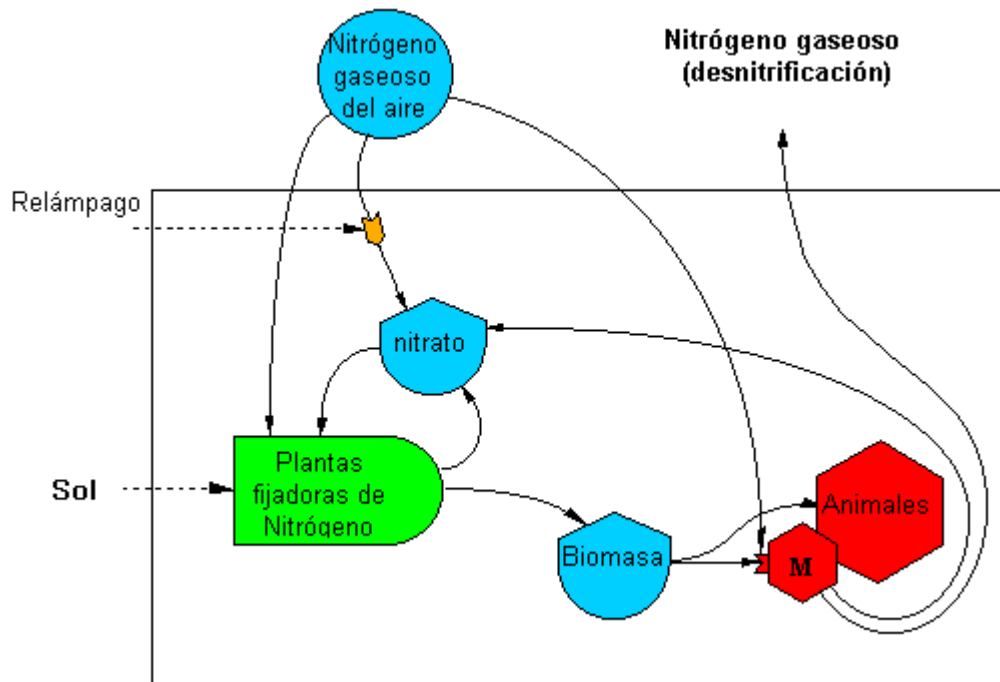


Figura 2.4 Ciclo del nitrógeno en un ecosistema. 'M' representa los microbios. Diagramas parecidos pueden ser diseñados para cada sustancia química utilizada en los procesos de producción y consumo, tales como el carbono y el oxígeno.

En resumen, los diagramas simbólicos son una forma de representar los flujos dentro de los ecosistemas incluyendo energía, agua, y fósforo. El diagrama, con todos sus componentes, muestra como la energía y los materiales interactúan para formar un único sistema.

Preguntas y actividades para el Capítulo 2.

1. Defina lo siguiente

- a. biomasa
- b. fijador de nitrógeno
- c. nutrientes
- d. transpiración
- e. kilocaloria
- f. joule
- g. estado de equilibrio
- h. microbios

2. Mencione tres funciones importantes del viento en el ecosistema forestal

3. Mencione dos fuentes de energía (aparte del sol) en el ecosistema forestal

4. Mencione dos consumidores en el ecosistema forestal

5. Diga la diferencia entre evaporación y transpiración
6. Explique por qué el fósforo es importante en el ecosistema forestal
7. Use la Figura 2.1 para explicar la Ley de Dispersión de Energía
8. Qué son las leyes de energía?
9. Escriba la ecuación de producción de la fotosíntesis y la de consumo orgánico.
10. Explique 'fijación de nitrógeno' y 'desnitrificación'
11. En la Figura 2.1, qué porcentaje de energía incidente es dispersada por el sumidero?



CURSO DE ECOSISTEMAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS

PARTE I. PRINCIPIOS Y LENGUAJE SIMBÓLICO

CAPITULO 3.

CADENA ALIMENTICIA DEL BOSQUE DE PINOS

OBJETIVOS:

1. Hacer una lista de las partes y explicar los procesos del ecosistema forestal, usando el bosque de pinos como ejemplo;
2. Explicar como, muchas partes del árbol, reciben su alimento a partir de las hojas;
3. Trazar los caminos de la cadena alimenticia del bosque de pinos, conectando plantas, animales, suelo y microorganismos;
4. Nombrar y describir el símbolo para una función de interrupción o desvío; explicar como, el incendio en la floresta es un ejemplo; indicar como, el fuego es un consumidor, e identificar sus subproductos;
5. Explicar como, la retroalimentación que proviene de los animales puede controlar las plantas.

En el Capítulo 2, los flujos de energía y materiales en ecosistemas, fueron estudiados usando la floresta como ejemplo. En este capítulo estudiaremos con mas detalle los árboles, la cadena alimenticia, los descompositores, el control de las acciones de los animales y el fuego, y la forma en que el ecosistema del bosque de pinos se reorganiza con el tiempo.

3.1 Fotosíntesis y respiración de la planta.

El azúcar producido por la fotosíntesis de la hoja alimentará otras partes del árbol. El azúcar pasa a través de delgados canales de las hojas hacia los brazos, tronco, raíz, flores y frutos. La Figura 3.1 muestra las hojas como *productoras* y el resto del árbol como *consumidor*. Las partes consumidoras de la árbol mantienen las hojas, procesan nutrientes y agua provenientes del suelo y llevan a cabo la reproducción. En la noche, las hojas también se vuelven consumidoras, utilizando los depósitos de azúcar producidos durante el día anterior con la luz del sol. El proceso de consumo utiliza azúcar y oxígeno y libera dióxido de carbono, agua y

nutrientes conforme se describió en el Capítulo 2. Ese proceso es también llamado **respiración**.

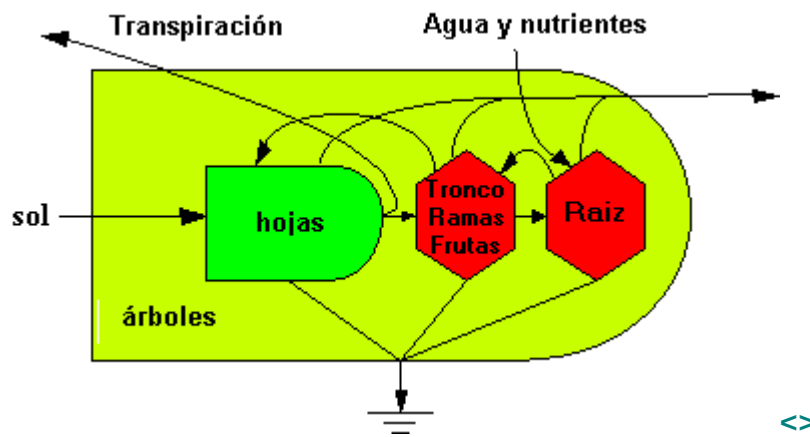


Figura 3.1 Fotosíntesis y Transpiración de la planta

Normalmente la producción de las hojas es mayor que el consumo por el resto de la planta. El árbol entero produce alimento suficiente para mantener otras partes del ecosistema, incluyendo animales y organismos del suelo. Para mostrar que la fotosíntesis y la respiración son partes del proceso de producción de la planta, un gran símbolo de *producción* es diseñado al rededor de todas las partes del árbol en la Figura 3.1.

El sol y el viento proveen energía para ayudar a las hojas a transpirar el agua. Ese flujo de agua va por delgados canales en la madera de los troncos, transportando al mismo tiempo los nutrientes necesarios para la fotosíntesis de la hoja. En la Figura 3.1, el camino del agua y nutrientes es mostrado como un camino que se origina en la tierra y va hacia las hojas.

3.2 Materia orgánica del suelo y descompositores.

Las plantas y animales eliminan materiales o mueren, sus restos caen al suelo como materia orgánica muerta. A ese material se le llama **lecho**. Están incluidos en el lecho las hojas muertas, ramas, troncos, excrementos de animales, plumas, etc. Muchas especies de animales del suelo, incluyendo una gran biomasa de gusanos, se alimentan del lecho, subdividiéndolo en pequeñas partículas. Hongos, bacterias y otros microorganismos usan la materia orgánica restante como comida. A esos consumidores se los llama *descompositores* porque desdoblan

moléculas orgánicas complejas en nutrientes simples; producen nutrientes (como fosfatos, nitratos, potasio y muchas otras sustancias químicas) que pueden nuevamente ser absorbidos por las raíces.

3.3 Fuego y el símbolo de interrupción ó desvío.

En la Figura 3.2 está un nuevo símbolo, el cual representa la acción de **interrupción o desvío**. Ese símbolo es usado para indicar que el camino se inicia o se termina, de acuerdo con algunas condiciones de control. Por ejemplo, el fuego es una acción de desvío, se inicia cuando la biomasa es suficientemente alta y algo enciende la llama, en la Figura 3.3 se lo representa con el símbolo de desvío. El fuego consume la biomasa y muchos nutrientes son liberados.

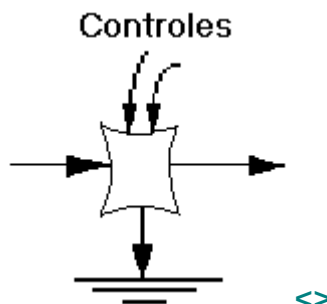


Figura 3.2 Símbolo para un interrupción o desvío que puede ser iniciado o apagado.

3.4 Diagrama mas detallado del bosque de pinos.

Un modelo mas detallado del ecosistema del bosque de pinos, está diseñado en la Figura 3.3. Incluye los símbolos de la Figura 3.1. Se refiere a los caminos del lecho, los depósitos de biomasa muerta, de microbios descompositores con su liberación de nutrientes y la interacción con los animales del suelo.

3.5 Estructura de la cadena alimenticia.

En una cadena simple de alimentación la planta productora es comida por un consumidor de plantas (herbívoro), que a su vez puede ser ingerido por un carnívoro. El primero es un *consumidor primario* y el segundo es un *consumidor secundario*. Por ejemplo, la ardilla come semillas de pino, y el búho se come a la ardilla. En cada eslabón de la cadena alimenticia algún alimento se vuelve parte de los tejidos del próximo consumidor.

Usualmente cadenas alimenticias simples están ligadas a otras cadenas alimenticias con caminos ramificados, que forman la **Red Alimenticia**. La cadena alimenticia del bosque de pinos es presentada en la Figura 3.3.

3.6 Control de retroalimentación.

En la Figura 3.3 los caminos de retroalimentación muestran la acción de los consumidores para controlar las plantas, y la acción de los altos consumidores en controlar los más bajos. Mientras el alimento se mueve de izquierda a derecha, la acción de control va de derecha a izquierda. El término **control de retroalimentación** se refiere al servicio que hace el consumidor de nivel superior para los organismos inferiores. Por ejemplo, las abejas polinizan las flores mientras recolectan néctar; los ardillas plantan frutos de encina, y los pájaros transportan semillas.

El control de la población es otro ejemplo del servicio de control de la retroalimentación. Cuando una especie de planta se torna numerosa, la población de insectos que se alimenta de ella, también aumenta. Al comer gran cantidad de plantas, los insectos pueden regular el número de plantas de aquella especie, permitiendo el aumento de otras especies. Como resultado, la floresta mantiene una gran **diversidad** (diferentes especies) y mejor producción global.

3.7 Fuego.

En el bosque de pinos frecuentemente, cuando el tiempo está seco, el fuego se propaga matando pequeños árboles jóvenes. Como los pinos resisten al fuego debido a una gruesa capa protectora, ellos sobreviven. La 'quema' regular mantiene el área del bosque de pinos.

Al pasar muchos años entre 'quemadas', mucha materia orgánica puede alimentar el fuego y cuando él viene, es tan caliente y quema tan rápido que consume todos los árboles y algunas veces hasta casas. Quemadas frecuentes y controladas son uno de los caminos para prevenir fuegos destructivos. En áreas poco elevadas o húmedas, la ausencia de fuego permite que árboles de madera de ley crezcan, evitando que la luz llegue a las nuevas mudas de pino, y convirtiéndose en un bosque maduro de madera de ley (Vea la discusión sobre Sucesión en el Capítulo 15).

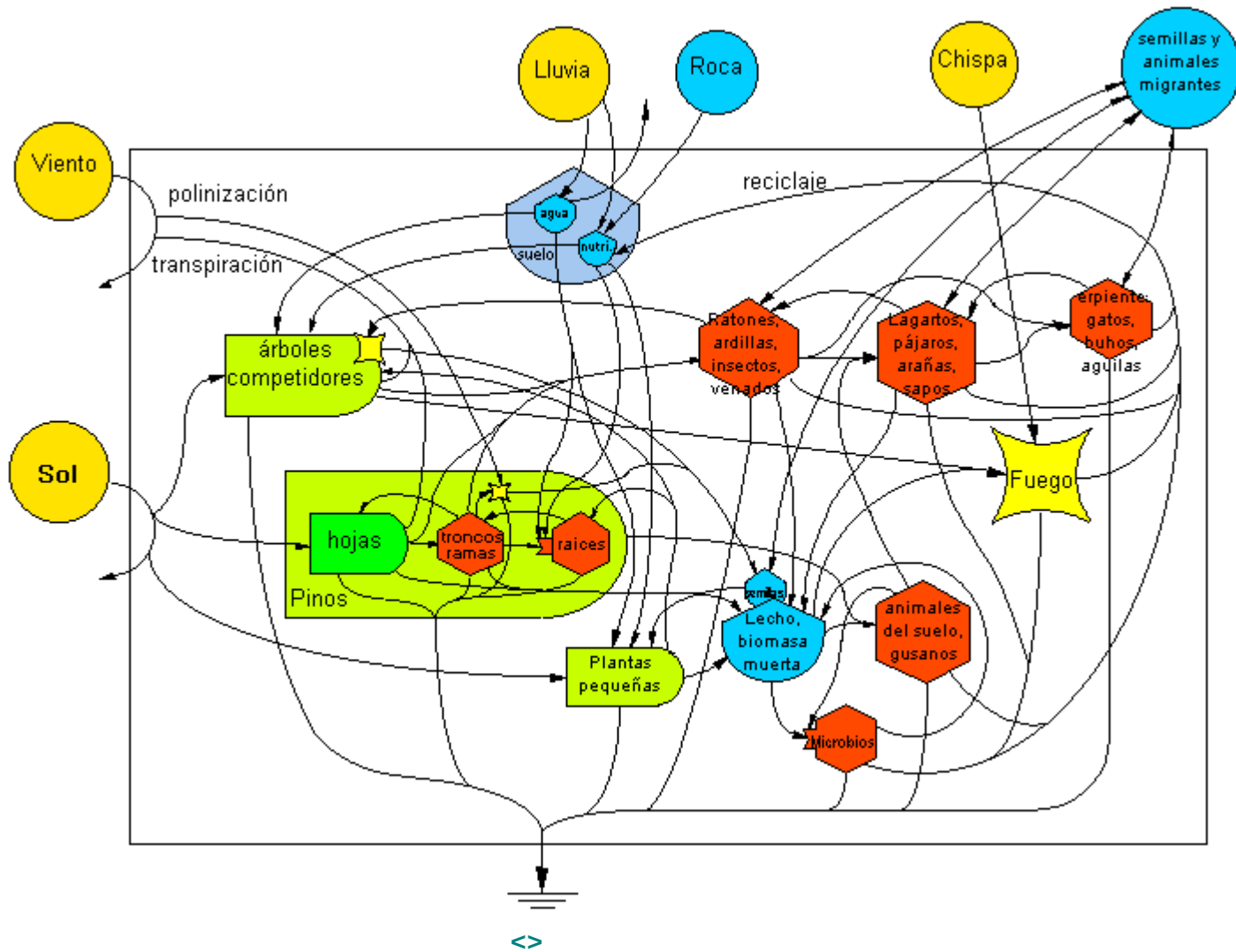


Figura 3.3 Ecosistema de bosque de pinos

Preguntas y actividades para el Capítulo 3.

- Definir los términos siguientes:
 - desvío
 - respiración
 - control de la población
 - diversidad
 - lecho
 - cadena alimenticia
 - retroalimentación
- Use la Figura 3.3 para explicar el papel de los consumidores primarios, secundarios y terciarios en el ecosistema de la floresta.
- Defina la cadena alimenticia y úsela en una frase completa.

4. Porque los controles de retroalimentación son necesarios para la sobrevivencia de un ecosistema?.

5. Identifique los términos con el símbolo correcto:

	<p>_____ suelo</p> <p>_____ hojas</p> <p>_____ gavián</p> <p>_____ lluvia</p> <p>_____ fuego</p> <p>_____ produção</p>
--	--

6. De 2 ejemplos de control de retroalimentación o servicio.

7. Marque los siguientes animales con la letra del grupo al cual ellos pertenecen (algunos pueden pertenecer a mas de un grupo).

<p>a. consumidores primarios</p>	<p>_____ búho</p> <p>_____ insectos</p> <p>_____ pájaros</p>
----------------------------------	--

b. consumidores secundarios

_____ sapos
_____ serpientes
_____ ratones

c. consumidores terciarios

8. Describa 2 caminos de minerales que puedan ser reciclados en un ecosistema.



CURSO DE ECOSISTEMAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS

PARTE I. PRINCIPIOS Y LENGUAJE SIMBÓLICO

CAPITULO 4.

NIVELES TRÓFICOS Y CALIDAD DE ENERGÍA

OBJETIVOS:

1. Definir y diagramar una cadena alimenticia, distinguiendo los niveles tróficos, (jerárquicos) usando símbolos de energía;
2. Ilustrar la capacidad de sustentación de un sistema;
3. Diferenciar entre energía y eMergia;
4. Calcular el valor para Transformidad en la cadena alimenticia de una floresta;
5. Comparar la energía relacionada con la sociedad de manufactura moderna con la sociedad agrícola.

En el Capítulo 3 se estudió una Red Alimenticia. En este Capítulo, consideraremos a las redes alimenticias como cadenas de transformaciones sucesivas de energía. Para investigar cambios de energía relacionados con la red alimenticia, frecuentemente es conveniente reorganizar la red en una simple cadena alimenticia. La cadena alimenticia puede ser dividida en niveles categorizados por los tipos de alimentos que los organismos consumen. Estos pasos son denominados **niveles tróficos**.

4.1 Una cadena alimenticia cuantitativa.

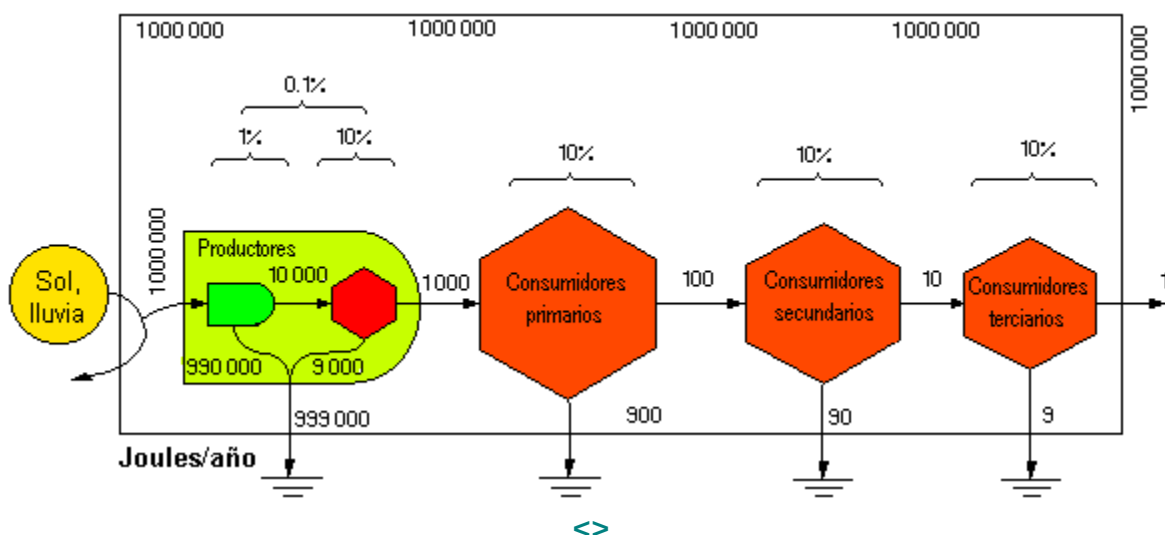


Figura 4.1 Cadena alimenticia de la floresta con niveles de transformación sucesiva de energía. Se omite la retroalimentación de los servicios.

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

La cadena alimenticia de una floresta se presenta en la Figura 4.1. La relación de energía entre las partes de una cadena, puede ser fácilmente observada.

Aproximadamente 1 000 000 (1 millón) de joules de la luz solar son representados contribuyendo a la fotosíntesis. Parte de esta, es luz solar directa; parte es energía solar que cae en el océano para enviar lluvia a la floresta. Cerca de 1 % de esta energía es transformada, por los productores de la floresta, en biomasa vegetal. En otras palabras, cerca de 10 000 joules de árboles nuevos y otras plantas son producidos por año. 999 000 joules se pierden como energía necesaria utilizada durante el proceso de producción. La eficiencia de uso de la energía solar, es por tanto:

$$\frac{10\ 000}{1\ 000\ 000} = \frac{1}{100} \text{ ó } 1\%$$

La faja de eficiencia para la fotosíntesis, en diferentes especies de plantas, está entre 0,01- 2%. Estas eficiencias son bajas porque la luz solar es muy 'diluida', y son necesarios muchos pasos sucesivos y extensiva maquinaria celular (que contiene clorofila) para concentrarla y obtener una energía de alta calidad. Las plantas están envueltas en el proceso fotosintético desde hace varios billones de años, por lo tanto, esto debe ser la manera mas eficiente de usar la energía solar. Esta idea es importante cuando la energía solar es considerada como fuente de energía para sistemas humanos.

A cada nivel sucesivo de nuestra cadena alimenticia forestal, cerca de 10% de la energía disponible para aquel nivel, es convertida en nueva biomasa. Esta faja también se aplica a productores, los cuales consumen 90% de su propia producción durante la respiración.

1 000 000 joules de energía solar que sustentan la floresta en un año se convierten en:

10 000 joules de energía transformada (dentro del productor fotosintético), de los cuales:

1000 joules es nueva biomasa del productor, la cual es consumida para producir:

100 joules de nueva biomasa del consumidor primario, la cual es consumida para producir:

10 joules de nueva biomasa del consumidor secundario, la cual es consumida para producir:

1 joule de nueva biomasa del consumidor terciario.

Esto puede ser resumido diciendo que, para producir 1 joule de consumidor terciario (como una serpiente) se necesitan 1 000 000 joules del sol y de lluvia.

4.2 Capacidad de sustentación.

La capacidad de sustentación de un área, es la cantidad de varios tipos de organismos que pueden vivir en esta área sin perjudicar los recursos básicos. Generalmente, cuanto mas energía fluye hacia una área, mayor será su capacidad de sustentación. Con menos energía, la capacidad de sustentación es menor. Por ejemplo, si la cantidad de luz solar que cae en la floresta es disminuida por causa de polvo en el aire, la capacidad de sustentación en la población de la floresta se reduce. Recursos como los nutrientes también contribuyen a la capacidad de sustentación de la población.

La capacidad de sustentación de una área, para ciertos organismos, depende de donde están ubicados en la cadena alimenticia. Generalmente, una área puede soportar muchos productores (en el extremo izquierdo de la cadena alimenticia) y pocos consumidores de alta calidad (en el extremo derecho). Por ejemplo, en el rancho de la Figura 4.2 crecerá mas pasto que ganado.

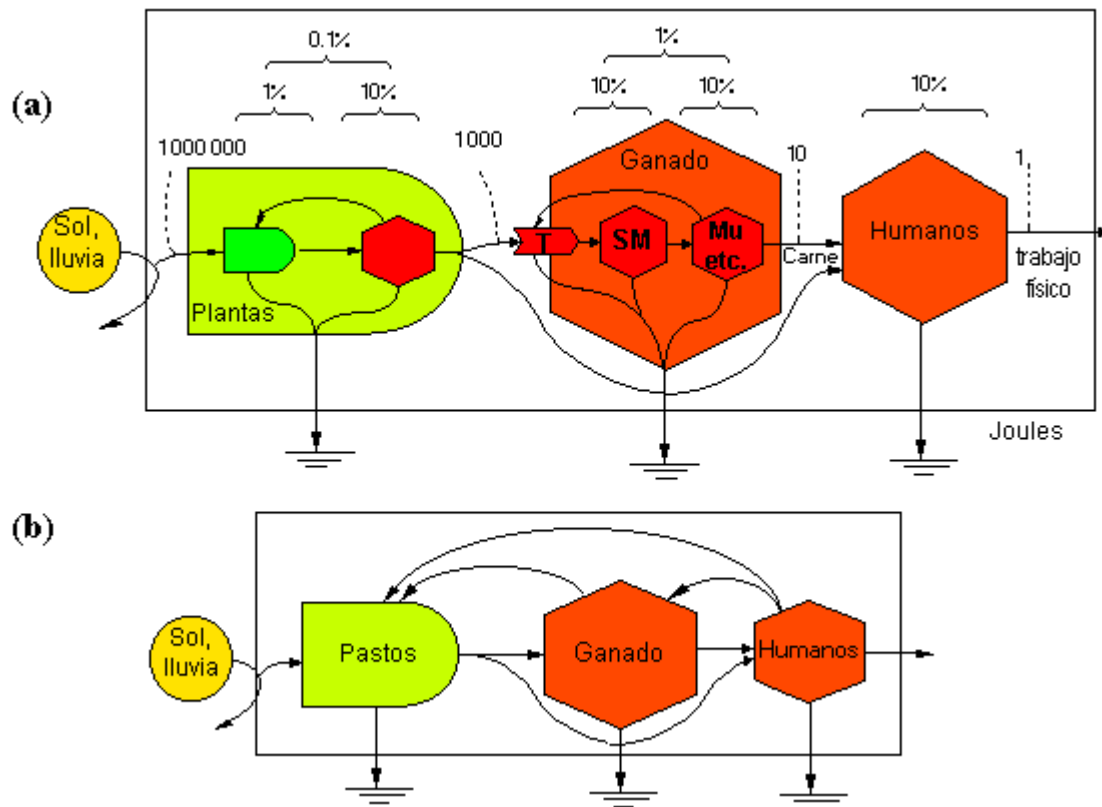


Figura 4.2 Cadena alimenticia de un rancho de ganado, soportando seres humanos

- (a) con niveles de energía de transformación;
- (b) mostrando retroalimentación de servicios.

Significado de las letras usadas: T, dientes; SM, estómago; MU, músculos.

4.3 Calidad de energía.

Consideramos la energía de la derecha como de alta calidad, porque se utilizan muchos joules en el extremo izquierdo de la cadena para hacer pocos joules en la derecha. Un gramo de serpiente recibe mas energía para ser producida que un gramo de árbol; por tanto, la serpiente es energía de alta calidad. La calidad de energía es menor en la izquierda y aumenta en cada paso a lo largo de la cadena.

4.4 Relaciones de energía en un sistema simple de granja.

Imagine una pequeña granja de ganado: en esta el granjero cultiva el pasto, el ganado pasta y luego, este es usado como única fuente de alimentos. La energía usada en la manutención del sistema proviene del trabajo del granjero. La cadena

alimenticia para este sistema simple de una granja es representada en la Figura 4.2 (a).

Observe como es representado el ganado. El ganado realmente posee dos niveles tróficos en el interior de su cuerpo. Ellos comen pasto, que es previamente digerido por microorganismos en sus intestinos, luego los microorganismos y el pasto restante son digeridos y absorbidos por el ganado. Podríamos esperar que el ganado convierta cerca de 10% de la energía disponible para ellos en una nueva biomasa, pero debido a estos dos procesos de alimentación, el ganado convierte solamente cerca de 1% de la energía del paso en carne y leche. En este sistema de granja, el granjero convierte 10% de la energía proveniente del ganado en trabajo con el cual mantiene el sistema.

En el ejemplo de la floresta (Figura 4.1) fueron necesarios 10^6 joules de energía solar para producir 1 joule de actividad de la serpiente. En el sistema simple de la granja se necesita de la misma cantidad de energía solar para producir 1 joule de trabajo del granjero. En otras palabras, la serpiente y el granjero trabajan en niveles similares de calidad de energía. Ambos utilizan la energía de sus cadenas alimenticias para controlar sus sistemas.

La retroalimentación en la Figura 4.2 (b) va de la hacienda hacia el ganado y de este al pastizal. La retroalimentación desde el granjero representa la administración en la forma de cría, rebaño, y protección del pastizal.

El ganado también controla el pastizal alimentándose de las plantas. Esto mantiene el pasto creciendo firme y evita el crecimiento de arbustos y la proliferación de árboles. Esta retroalimentación, como aquella de los insectos en la floresta, parece ser necesarias para la sobrevivencia de todos sistemas.

Existen algunas sugerencias de que mucha energía podría ser ahorrada eliminando la carne de la cadena alimenticia humana, y alimentándose únicamente de vegetales. Cuando observamos la situación de la alimentación en este mundo de personas hambrientas, esto es una propuesta desafiante. Existe 100 veces mas energía disponible en el pasto, del que hay en el ganado en el ejemplo de la granja. Sin embargo, como se puede ver en todas las cadenas alimenticias, la energía es concentrada por trabajo en cada nivel. Para tener una

dieta balanceada, alimentándose solo de plantas, los seres humanos necesitan realizar el trabajo de recolectar y concentrar energía que los animales hacen ahora. Cultivar y cosechar cereales, vegetales y nueces necesarios para una dieta saludable requiere una cantidad de energía muy grande. Además, el ganado puede digerir pasto, que los seres humanos no pueden.

En muchas culturas, sin embargo, los seres humanos comen más carne de la que necesitan. La dieta más eficiente podría ser en su mayor parte vegetariana, con una pequeña y regular contribución de carne, para asegurar una nutrición balanceada.

4.5 Relaciones de energía en la sociedad moderna.

La Figura 4.2 representa la más baja energía en el mundo. El trabajo de los hombres es sustentado por una cadena alimenticia rural basada en pasto y ganado. En la sociedad industrial moderna los hombres poseen una cadena de energía más larga. Ella converge más energía para cada ser humano. El servicio humano tiene una calidad de energía mucho mayor, haciendo posible servicios de gran calidad y efecto. La Figura 4.3 muestra la mayor y moderna cadena alimenticia, la cual se inicia con las plantas verdes produciendo materia orgánica; esta es transformada en carbón y óleo, luego en electricidad y combustible (como la gasolina), sustentando una población altamente educada. La Figura 4.3 muestra que 20 millones de joules solares son necesarios para un joule de servicio humano, 20 veces más que en el patrón simple de la granja en la Figura 4.2 (a).

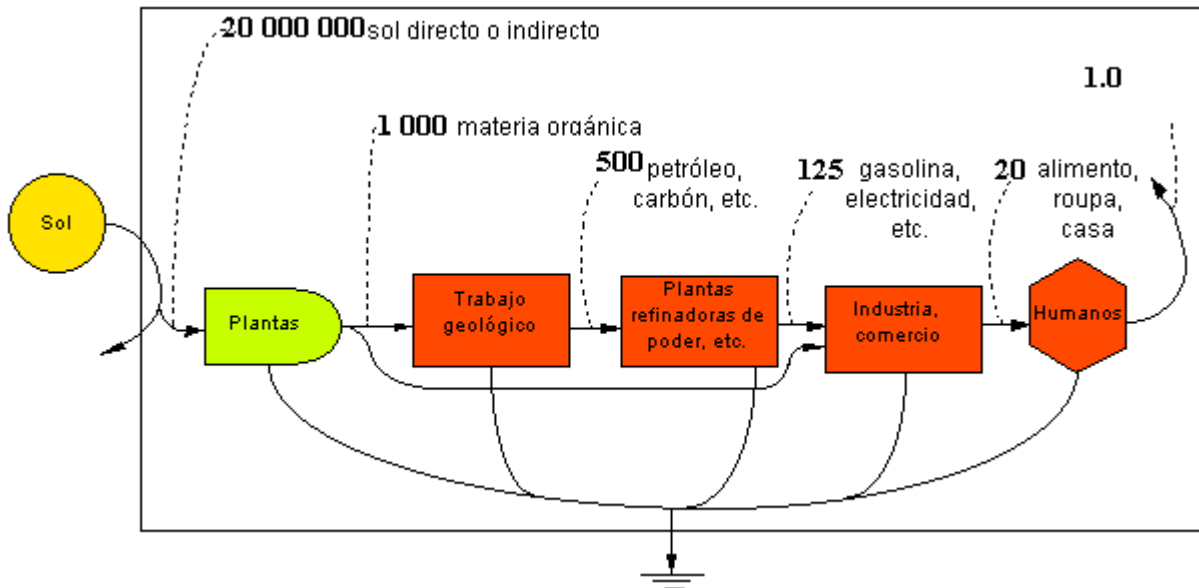


Figura 4.3 Cadena energética para una población urbana, basada en combustible.

*Figure reprinted with permission from
 Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
 Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

4.6 eMergia solar.

Toma mucha energía de baja calidad (solar) el hacer energía de alta calidad (combustible fósil). Por tanto, para comparar diferentes formas de energía, debe hacerse un cálculo. Este es generalmente realizado usando los joules de energía solar como punto de partida para determinar cuantos joules de energía solar toma el producir otra fuente de energía.

Usamos la palabra **eMergia** para expresar la cantidad de energía solar utilizada para hacer un producto. Esta es expresada en **eMjoules**. Por ejemplo, si toma 40.000 joules de luz solar para producir 1 joule de carbón, la *eMergia* de un joule de carbón es 40.000 *eMjoules* solar.

4.7 Transformidad solar.

La energía solar requerida para hacer un joule de algún tipo de energía es la **Transformidad solar** de aquel tipo de energía.. Las unidades son: eMjoules solares por joule (abreviado sej / J).

Transformidad solar de energía tipo A = joules solares requeridos

1 joule de energía tipo A

En la Figura 4.1, 1 000 000 de joules solares generó 100 joules de consumidores primarios. Por tanto, la Transformidad solar de los consumidores primarios es:

$$\frac{1\ 000\ 000\ \text{joules solares}}{100\ \text{joules de consumidores primarios}} = 10\ 000\ \text{sej} / \text{J}$$

100 joules de consumidores primarios

La energía de los consumidores primarios es 10 000 veces mas valorizada que la luz solar. El incremento hacia la derecha produce el aumento de la Transformidad en la cadena alimenticia .

Vea la Lista de Transformidad en la Tabla 27.1

Preguntas y actividades para el Capítulo 4.

1. Defina los siguientes términos:

- a) eficiencia
- b) nivel trófico
- c) cuantitativo
- d) clorofila
- e) evolucionar
- f) capacidad de sustentación
- g) calidad de energía
- h) eMergia
- i) eMjoules
- j) Transformidad

2. En la cadena alimenticia forestal, donde está la mayor calidad de energía? Por que?

3. Discuta la importancia de la retroalimentación en la Figura 4.2 (b).

4. Explique por que los seres humanos son ubicados al final de la cadena alimenticia en la Figura 4.2 (b).

5. En términos de calidad de energía, cómo se comparan los seres humanos de la Figura 4.3 con los de la Figura 4.2 (b)?

6. Mil joules de energía solar fueron transformados en 10 joules de azúcar por algas en el agua. Cual es la eMergia contenida en el azúcar?Cuál es su Transformidad? No olvide las unidades (J, sej, sej/J).



[Indice General](#)



[Capítulo Anterior](#)



[Encabezado de este Capítulo](#)



[Capítulo Siguiente](#)

"Environmental Systems and Public Policy" Copyright: H. T. Odum *et al.*
Ecological Economics Program. University of Florida, Gainesville 32611, USA. 1988.

Dudas? Sugestiones? Escriba para leia@fea.unicamp.br

Ultima revisão: 31 de diciembre de 1997.



CURSO DE ECOSISTEMAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS
PARTE I. PRINCIPIOS Y LENGUAJE SIMBÓLICO

CAPITULO 5.

PRODUCCIÓN Y PRINCIPIO DE LA MÁXIMA POTENCIA

OBJETIVOS:

1. Explicar el proceso de producción usando símbolos de energía;
2. Comparar producción bruta y líquida;
3. Identificar factores limitantes externos e internos dentro de un sistema energético;
4. Explicar el principio de la máxima potencia.

5.1 Producción.

Producción es el proceso por el cual dos o mas insumos son combinados para formar un nuevo producto. Por ejemplo, nutrientes del suelo, agua, dióxido de carbono y luz solar son combinados para formar materia orgánica durante la fotosíntesis. Generalmente, producción industrial envuelve el uso de energía, trabajo, capital y materia prima para formar productos industrializados. En la Figura 5.1 se ilustra el proceso de producción. Observe el símbolo de interacción en punta, en el cual entran insumos y salen productos. Siempre que este símbolo es usado, significa que ese proceso de producción está ocurriendo.

(Ingredientes necesarios
conteniendo energía potencial)

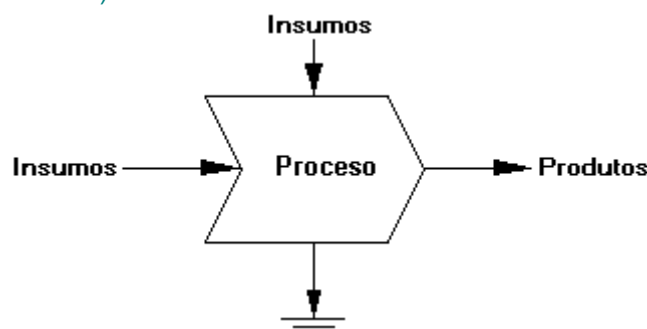


Figura 5.1 Proceso de producción con dos insumos que interactúan. Durante el proceso de producción, cada entrada de insumos lleva energía de diferentes tipos y calidad. Durante la producción, esas energías son transformadas en una nueva forma. Parte de ella es degradada y perdida a través de calor.

Transformaciones de energía como esa ocurren durante procesos de producción y son denominadas **trabajo**.

5.2 Producción Bruta y Líquida.

Donde hay un proceso de *producción* seguido de un proceso de *consumo* - como en la fotosíntesis y respiración de plantas - debemos distinguir entre producción y producción menos su correspondiente respiración. En la Figura 5.2, **producción bruta** es la tasa real de producción de materia orgánica. *Producción bruta* es el flujo que sale del símbolo de interacción (5 gramos por día, en este caso).

Producción neta es la producción realmente observada cuando producción y algo de respiración ocurren al mismo tiempo. En la Figura 5.2, la tasa bruta de producción de biomasa es 5 gramos por día y la tasa de respiración es 3 gramos por día. La producción líquida es igual la producción bruta menos la respiración. Por tanto, la producción líquida es 2 gramos por día.

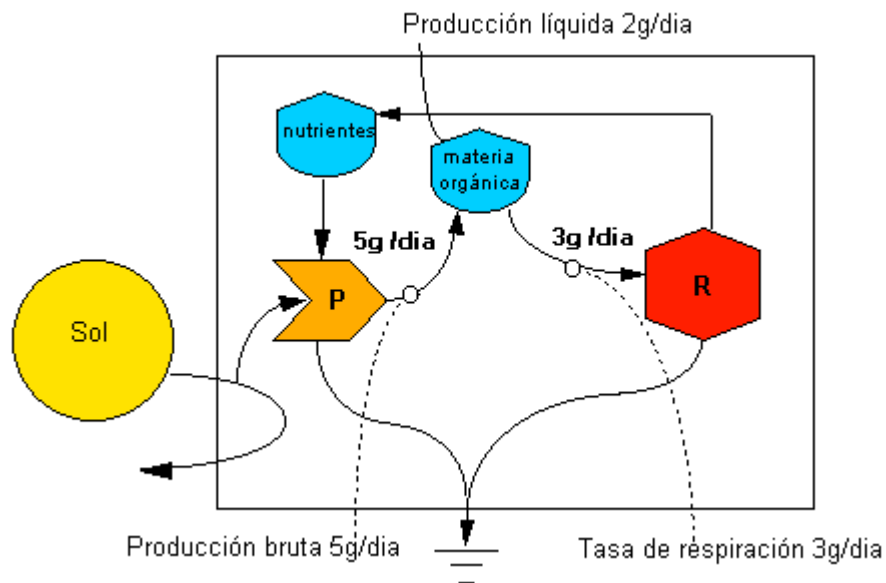


Figura 5.2 Producción bruta y líquida. P, producción; R, respiración.

En sistemas más complejos, como en la floresta, donde existen varias etapas de producción y consumo, hay más de un tipo de producción líquida. Por ejemplo, producción líquida de madera, producción líquida de lecho, etc.

La producción líquida también depende del tiempo en que es medida. Por ejemplo, en la noche muchas plantas consumen la mayor parte de aquello que produjeron durante el día. Su producción líquida durante el día es grande, pero su producción

líquida, incluyendo la respiración de noche, es muy pequeña. Si se considerase la producción líquida durante todo un año, sería muy pequeña o aún cero.

5.3 Factores limitantes.

La mayoría de los procesos de producción ocurren rápidamente cuando los insumos están disponibles en grandes cantidades. Con todo, la velocidad de una reacción es determinada por el reactivo menos disponible. Este reactivo es llamado **factor limitante**. Por ejemplo, la luz es necesaria para la fotosíntesis, por tanto este proceso se vuelve mas lento y se detiene durante la noche; la luz del sol es el factor limitante que controla ese proceso.

En la Figura 5.3, aún aumentando el abastecimiento de nutrientes, no aumentará la producción. Este es un ejemplo de un **factor limitante externo**; está fuera del sistema.

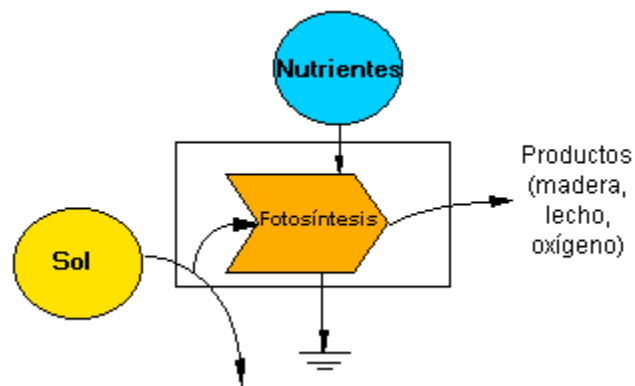


Figura 5.3 El sol es el factor limitante en el proceso de fotosíntesis.

En la Figura 5.2, aumentando la luz, los nutrientes se vuelven limitantes porque ellos quedan retenidos en la materia formada y no se reciclan rápido. Este es un ejemplo de **factor limitante interno**; limita porque el reciclaje no es suficientemente rápido.

En la Figura 5.4, están graficados varios valores de producción en función de los nutrientes. Conforme aumentan los nutrientes, la tasa de producción aumenta. A pesar de ello, conforme la luz se vuelve limitante, la tasa de producción reduce su aumento. Este es un gráfico típico de factores limitantes. Esta curva también ilustra la **ley del retorno decreciente** en economía.

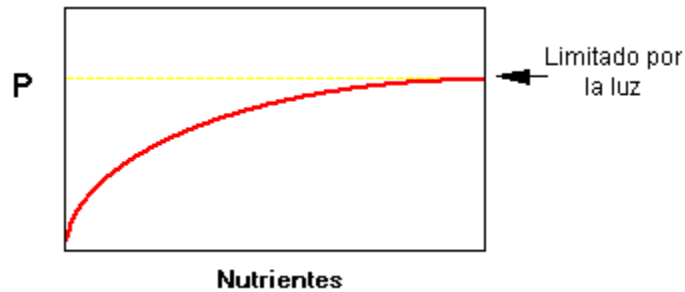


Figura 5.4 Gráfico de la tasa de producción (P) del proceso de la Figura 5.3 conforme los nutrientes aumentan y la luz se vuelve limitante.

5.4 El Principio de la Máxima Potencia.

El Principio de la Máxima Potencia indica porqué ciertos modelos de organización de sistemas sobreviven y otros no. El principio explica porqué sistemas exitosos poseen redes de organización parecidos. Un proyecto que tuvo éxito es aquel que sobrevive a la prueba del tiempo. El principio dice que:

Esquemas de sistemas que sobreviven son aquellos organizados de tal modo, que traen energía para sí lo mas rápido posible y utilizan esa energía para retroalimentarse y traer más energía.

Otro modo de expresar este principio es:

Hay sobrevivencia en el planeamiento del sistema mas adaptado; que es aquel que puede extraer para si el máximo de potencia, usándola para satisfacer sus otras necesidades.

Los esquemas de sistemas que maximizan el poder de transformar energía en productos de alta calidad, son aquellos que retroalimentan para ayudar a ganar mas energía, y la usan lo mas eficientemente posible sin que el proceso reduzca el ritmo de su actividad. Diagramas de ecosistemas en capítulos anteriores tienen ejemplos de retroalimentación que aumenta el proceso de producción.

Los sistemas que maximizan la potencia también son sistemas que retroalimentan a un sistema mayor, del cual hacen parte. Por ejemplo, las especies en un ecosistema están organizadas para ser parcialmente responsable del uso de todo el sistema de energía. En sistemas grandes, como la floresta, un árbol usa energía solar para que sus hojas aumenten en tamaño y en número, y puedan captar mas energía del sol. El proceso del árbol auxilia el sistema de la floresta, produciendo

nutrientes, construyendo un micro-clima estable, reciclando nutrientes y proporcionando comida a los animales. Así, el árbol maximiza ambos: su propia potencia y la potencia de un sistema mayor al cual pertenece.

Para maximizar la potencia en una actividad económica, recursos locales son usados y cambiados por recursos adicionales. Por ejemplo, consideremos una hacienda en la cual la zafra es plantada en la mejor época del año. Los mejores fertilizantes son utilizados y cuando la zafra sea cosechada, las personas la comprarán. Esta hacienda producirá suficiente retorno financiero para que el hacendado viva bien, mantenga el suelo y repita el proceso año tras año. Él también podrá expandir su sistema comprando haciendas menos eficientes. La exitosa administración de la hacienda sobrevivirá y será copiada por otros hacendados. Debido a que su trabajo ayuda a incrementar el consumo de la energía de toda la economía, este comportamiento es sustentado por la economía y sobrevive.

Durante el tiempo de abastecimiento abundante de energía, maximizar el crecimiento, maximiza la potencia. Así, durante las etapas iniciales de la secuencia, las comunidades incrementan su biomasa rápidamente.

Cuando el abastecimiento de energía es estable, máxima potencia significa menos competición y un aumento en la diversidad y eficiencia. Como los recursos energéticos que se vuelven limitantes, el desenvolvimiento de la eficiencia a través de la **diversidad** maximiza la potencia útil. En una floresta madura, cada organismo tiene su **nicho** y hay poca competición. Los organismos tienden a cooperar entre si en lugar de competir. En un sistema económico maduro la cooperación también es mas común que la competición. Es de esperar, entonces, que cuando los combustibles fósiles se estén acabando y los países corran atrás de fuentes alternativas de energía, la tendencia de expansión y crecimiento entre ellos irá disminuyendo. Las relaciones entre las naciones serán, entonces, mas pacíficas.

Preguntas y actividades del Capítulo 5.

1. Defina los siguientes términos:

- a. trabajo
- b. producción bruta
- c. producción líquida

- d. factores limitantes
- e. principio de la máxima potencia
- f. ley del retorno decreciente
- g. competición
- h. nicho
- i. combustibles fósiles
- j. micro-clima

2. Discuta factores limitantes externos e internos. Dé un ejemplo de cada uno.
3. Distinga producción y trabajo.
4. Diseñe un gráfico mostrando la producción (fotosíntesis) y la respiración como una función del tiempo en un período de un día.
5. Explique el principio de la máxima potencia.
6. Diseñe un sistema que maximiza la potencia. Explique como su sistema usa el principio de la máxima potencia.
7. Corra el programa en factores limitantes listado en el Apéndice A. También está en el disquete que acompaña este libro. Explique que observa.



[Índice General](#) [Capítulo Anterior](#) [Encabezado de este Capítulo](#) [Capítulo Siguiente](#)

**"Environmental Systems and Public Policy" Copyright: H. T. Odum *et al.*
Ecological Economics Program. University of Florida, Gainesville 32611, USA. 1988.**

Dúbidas? Sugestiones? Escriba para leia@fea.unicamp.br

Última revisão: 29 de dezembro de 1997.



CURSO DE ECOSISTEMAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS
PARTE I. PRINCIPIOS Y LENGUAJE SIMBÓLICO

CAPITULO 6.

MODELOS DE CRECIMIENTO

OBJETIVOS:

El estudiante podrá elaborar un diagrama y dar un ejemplo de:

1. Modelo de crecimiento exponencial;
2. Modelo de crecimiento logístico;
3. Crecimiento de una fuente renovable con flujo constante.

La biosfera está constituida de sistemas que cambian con el pasar del tiempo. Ambos sistemas: ambiental y humano, pueden describirse por la forma de sus cambios. El modo por el cual el sistema cambia depende de la organización del sistema y del tipo de fuente de energía que está disponible. Por ejemplo, algunos ecosistemas aumentan en tamaño y complejidad mientras otros detienen su crecimiento. Algunas pequeñas ciudades pueden crecer y convertirse en ciudades grandes mientras que otras ciudades parecen permanecer del mismo tamaño durante décadas (ellas parecen haber alcanzado un estado de estabilidad). Otras ciudades disminuyen de tamaño y complejidad, industrias cierran, y los habitantes se trasladan.

La organización de un sistema puede estudiarse diseñando un diagrama del sistema (modelo). A través de los tipos de fuentes de energía en un diagrama, podemos decir como el sistema crece o disminuye. Diseñaremos en un gráfico los cambios para cada tipo de sistema.

6.1 Modelo 1: Crecimiento Exponencial.

El primer modelo se muestra en la Figura 6.1. Él representa el crecimiento de la población en una *fente de presión constante*. La fuente de presión constante puede abastecer tanta energía como se necesita. Por ejemplo, piense en una población de conejos en crecimiento, con abastecimiento de alimento que no considera la rapidez con que ellos comen. Siga el flujo del diagrama para ver

como la población de conejos aumenta, esta retroalimenta para traer mas energía (a través de mas alimentación) para procrear mas conejos. Si el sistema comienza con un conejo macho y una hembra, y ellos producen cuatro conejitos que a su vez producen ocho; y así, en la misma tasa de aumento, la próxima generación producirá 16, la próxima 32 , la próxima 64 y así sucesivamente. Como el número de conejos aumenta, ellos usan mas de la fuente de energía y el número aumenta rápidamente.

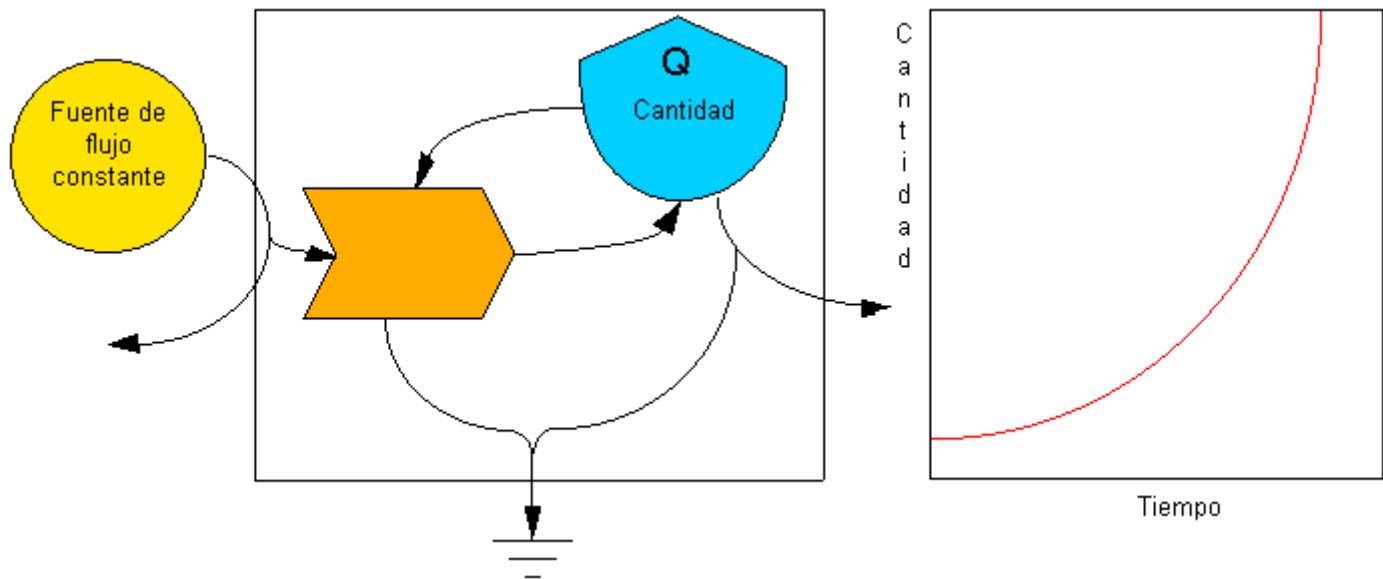


Figura 6.1 Crecimiento exponencial de un sistema con fuente de energía que mantiene una presión constante.

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
 Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

Puede verse que existe una aceleración del crecimiento de la población de conejos a lo largo de la misma concentración de abastecimiento de alimento. La curva de una población bajo estas condiciones se denomina **crecimiento exponencial**. El *crecimiento exponencial* aumenta en un constante porcentual en función del tiempo.

En la práctica, la fuente de energía a presión constante no puede ser mantenida indefinidamente, entonces el crecimiento exponencial infinito es imposible. De cualquier manera, durante las primeras etapas del crecimiento de la población, cuando la demanda de alimento es pequeña (comparada con la cantidad disponible) la energía puede estar disponible a presión constante y el crecimiento

puede ser exponencial. Pero eventualmente, el alimento podría volverse limitante y la situación necesitaría ser representada por un modelo diferente.

6.2 Modelo 2: Crecimiento Logístico.

Las poblaciones creciendo inicialmente rápido en una fuente de presión constante, se vuelven tan numerosas que pierden su capacidad de crecer debido a interacciones entre los miembros de la población, resultando así un estado de equilibrio. Este tipo de crecimiento se llama **crecimiento logístico**.

Crecimiento logístico es el balance entre *producción* en proporción a la población, y a las *perdidas* en proporción a la oportunidad de interacciones individuales.

El proceso de crecimiento puede ser entendido con el auxilio del diagrama de símbolos del modelo en la Figura 6.2. Un ejemplo es el crecimiento de levadura en el fermento del pan. Primeramente, el crecimiento de la población es casi exponencial. La disponibilidad de alimento es constante y como la población crece esto implica comer más y más. Sin embargo, las células de levaduras se vuelven tan numerosas que sus productos comienzan a interferir con el propio crecimiento. Resultando un estado de equilibrio entre producción y pérdida de células.

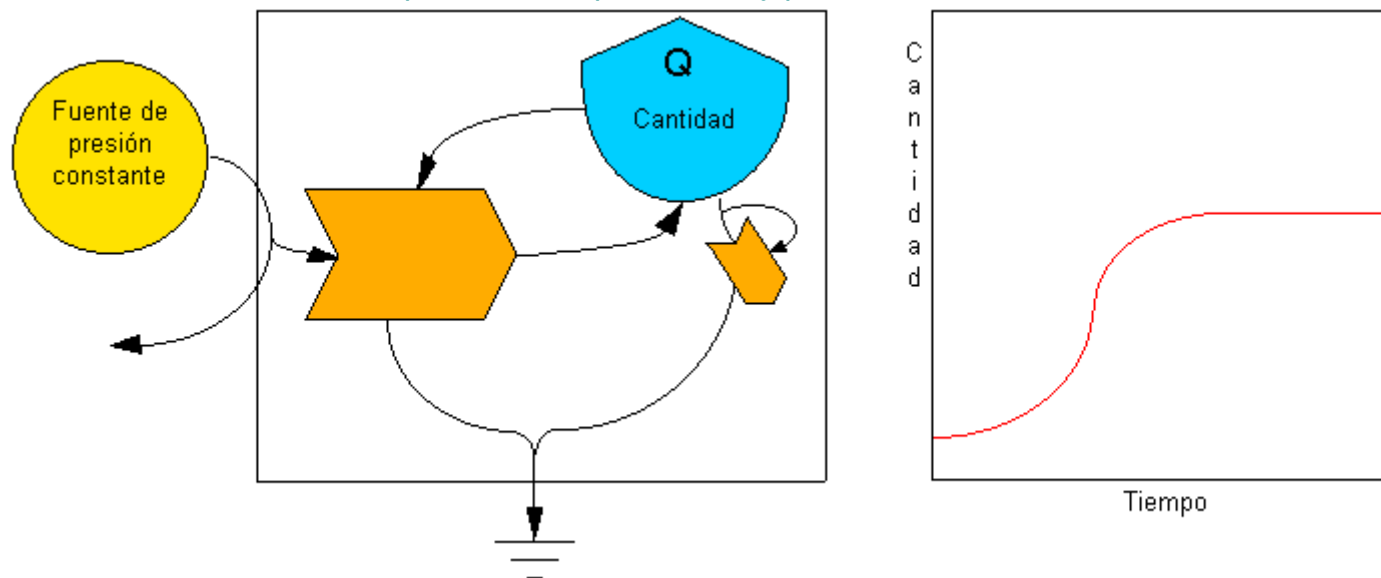


Figura 6.2 Crecimiento logístico: Crecimiento de un sistema con una fuente de energía a

presión constante y una auto-interacción en un drenaje de salida.

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

En la Figura 6.2 se observa que parte de la producción del modelo, es la misma que aquella de la Figura 6.1. El abastecimiento de energía es una fuente de presión constante, y la población está extrayendo energía y retroalimentando para extraer más. El crecimiento de la población es por esta razón, al principio, exponencial. No obstante, la Figura 6.2 muestra que la población, por interacciones consigo misma, crea un drenaje acelerado de energía, el cual irá eventualmente a extraer energía suficiente para detener el crecimiento de la población. En estas condiciones, el gráfico muestra el crecimiento exponencial que disminuye, y eventualmente se nivela a un estado de equilibrio. Este sistema tiene una **fuentes de presión constante y un drenaje de auto-interacción**.

Observe que en la Figura 6.2, la etiqueta en el símbolo de depósito es "cantidad". Nosotros continuaremos usando este termino genérico para denominar el contenido del depósito. Debemos recordar que "cantidad" puede referirse a números de población, biomasa, depósito de energía o para todos ellos.

Otro ejemplo del modelo 2 (Figura 6.2) es el crecimiento de la población humana y sus servicios en la ciudad. El crecimiento puede aumentar exponencialmente hasta que la superpoblación de casas, calles, tiendas, y autos comience a aumentar los factores negativos de suciedad, ruido, crimen, y polución, y el costo de lidiar con esto se torne progresivamente mayor. Cuanto más crece la población, mayor es el drenaje, hasta que el crecimiento de la ciudad se nivele.

6.3 Modelo 3: Crecimiento en una fuente de flujo constante.

Ecosistemas utilizan muchas fuentes cuyo flujo es controlado por sistemas externos. Ejemplos de **fuentes de flujo constante** son el sol, la lluvia, el viento y las corrientes de ríos. Las poblaciones en los sistemas no pueden aumentar los flujos externos. Su crecimiento se limita a aquello que pueda ser mantenido por el flujo interno de energía. Un ejemplo es la utilización de la luz solar por los árboles, no hay nada que los árboles puedan hacer para aumentar o disminuir la incidencia de luz solar. Este tipo de fuente es también llamado fuente **renovable**.

La Figura 6.3 muestra como este tipo de fuente es representado en un diagrama de símbolos. Un camino desde la fuente se muestra atravesando el sistema con parte de él saliendo nuevamente del sistema. El uso de la energía se muestra

como una línea desde el lado del camino interno. Se puede pensar que esto es un caño conectado al lado de un drenaje para retirar agua.

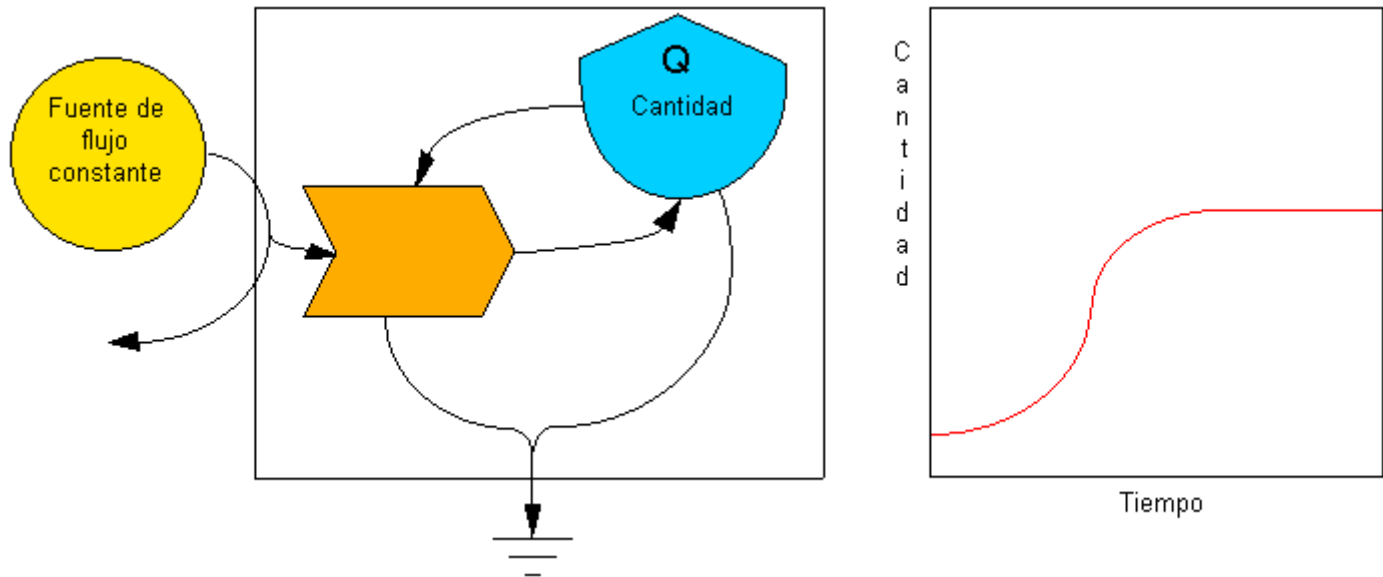


Figura 6.3 Crecimiento de una sistema con una fuente de energía de flujo constante.

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

Ahora, considere el crecimiento que ocurre en esta fuente cuando el influjo es constante, y el bombeo está en proporción al número de la población que usa el caudal (Figura 6.3). El modelo es como el modelo de crecimiento exponencial excepto que hay una fuente de flujo constante en lugar de la fuente de presión constante. A medida que la población crece, el influjo es desviado mas y mas, hasta que casi todo es usado tan rápidamente como fluye hacia adentro. Luego de ello, ningún crecimiento es posible, y la población llega a un estado de equilibrio. Un importante ejemplo en la naturaleza es la sucesión, como el crecimiento de una floresta. Cuando la floresta es joven, la energía de la luz no es limitante. El crecimiento de árboles pequeños es rápido y la mayoría del excedente de luz que pasa no es utilizada. Con el crecimiento de la floresta, no obstante, los árboles utilizan mas y mas energía, y menos energía escapa de no ser utilizada. El crecimiento decrece y se detiene. La floresta se vuelve un balance entre crecimiento y descomposición. La sucesión es discutida en la introducción de la Parte II y en el Capítulo 15.

Otro ejemplo de crecimiento, en una fuente de flujo constante, es la construcción de ciudades a lo largo de un río. Las ciudades usan agua para beber, producción agrícola, pesca y uso de aguas servidas tratadas. Nuevas ciudades pueden construirse hasta que toda el agua sea utilizada tan rápido cuanto fluya por el río. El gráfico de crecimiento de una fuente de flujo constante es una curva en " S " (Figura 6. 3). Esta tiene la misma forma de un crecimiento logístico (Figura 6.2) pero por una diferente razón. El *modelo logístico* no es limitado por su fuente (presión constante no limita el crecimiento) es limitado por la super-población. El *modelo de fuente de flujo constante* es limitado por la tasa de abastecimiento de su fuente.

Preguntas y actividades para el Capítulo 6

1. Defina los siguientes términos:

- a. modelo
- b. crecimiento exponencial
- c. fuente de presión constante
- d. aceleración
- e. logística
- f. drenaje auto-interactivo
- g. fuente renovable de flujo constante

2. Diseñe su propio modelo de un sistema de vida. Asegúrese de dar títulos a todas las partes de su modelo.

3. Dé tres ejemplos de sistema de vida que presenten crecimiento exponencial en sus etapas iniciales.

4. En un sistema de vida con crecimiento exponencial los niveles caen rápidamente a un estado de equilibrio. Cuales son las dos posibles causas?

5. Desarrolle un modelo apropiado en disquete de computador, disponible con este libro. El programa también esta listado en el Apéndice A. Una explicación total de simulación se da en el Capítulo 8.



CAPITULO 7.

MÁS MODELOS DE CRECIMIENTO

OBJETIVOS:

1. Diagramar y explicar el modelo de un tanque de depósito (almacenaje) con flujo de entrada y salida;
2. Diagramar y explicar el modelo de una población con una fuente de energía no renovable;
3. Diagramar y explicar el modelo con ambas fuentes de energía: renovable y no renovable;
4. Explicar como cada uno de los tres modelos en este capítulo genera un gráfico de cantidad versus tiempo;
5. Dar ejemplos de cada uno de los tres modelos.

En el Capítulo 6, se presentaron tres modelos, que son útiles para entender poblaciones y sistemas en crecimiento. En este capítulo se verán otros tres modelos para crecimiento en sistemas.

7.1 Modelo 4: Crecimiento en un tanque de depósito simples

El cuarto modelo es para un tanque de depósito con una entrada, proveniente de una fuente de energía, y una salida. Como ejemplo, piense en un tanque de agua vacío ubicado en un lugar alto sobre la ciudad, con una entrada de flujo estacionario de agua y un drenaje a través del cual el agua sale. A medida que el agua entra, el tanque se llena. A medida que este se llena, el peso del agua crece y hace que fluya por el drenaje mas rápido. Eventualmente, el agua fluirá en la entrada y en la salida con el mismo caudal, y el nivel del agua permanecerá constante. Esta situación está representada en la Figura 7.1 (a). El gráfico muestra el cambio de la cantidad de agua que aumenta rápidamente, después disminuye y finalmente alcanza un estado estacionario algunas veces llamado **equilibrio dinámico** .

El camino del flujo de salida es diseñado con un 'brazo'; el agua sale hacia la derecha y la energía dispersada sale a través del sumidero.

Suponiendo que el tanque esté lleno desde el principio en lugar de vacío. Qué sucedería entonces? Como muestra la Figura 7.1 (b), si se empieza con un tanque lleno, el nivel disminuirá hasta alcanzar el mismo estado estacionario. Qué sucedería si la entrada de agua se cerrara? Como muestra la Figura 7.1 (c), el nivel del tanque disminuye rápidamente al principio y después lentamente, porque a medida que la cantidad de agua disminuye, su presión sobre el drenaje se vuelve menor.

Un ejemplo en la naturaleza, es una corriente fluyendo constantemente hacia una laguna que también tiene una corriente fluyendo hacia fuera de ella. Cuando la corriente comienza a fluir, el lago se llena hasta un nivel donde el flujo de entrada se iguala al flujo de salida (Figura 7.1 (a)). La Figura 7.1 (b) ilustra la situación del lago luego de una lluvia fuerte. La cantidad de agua en el lago es grande (por causa de la lluvia) pero pronto regresa al nivel inicial. Si la corriente de entrada es repentinamente desviada, el agua en la laguna será drenada hasta agotarse, como se muestra en la Figura 7.1 (c).

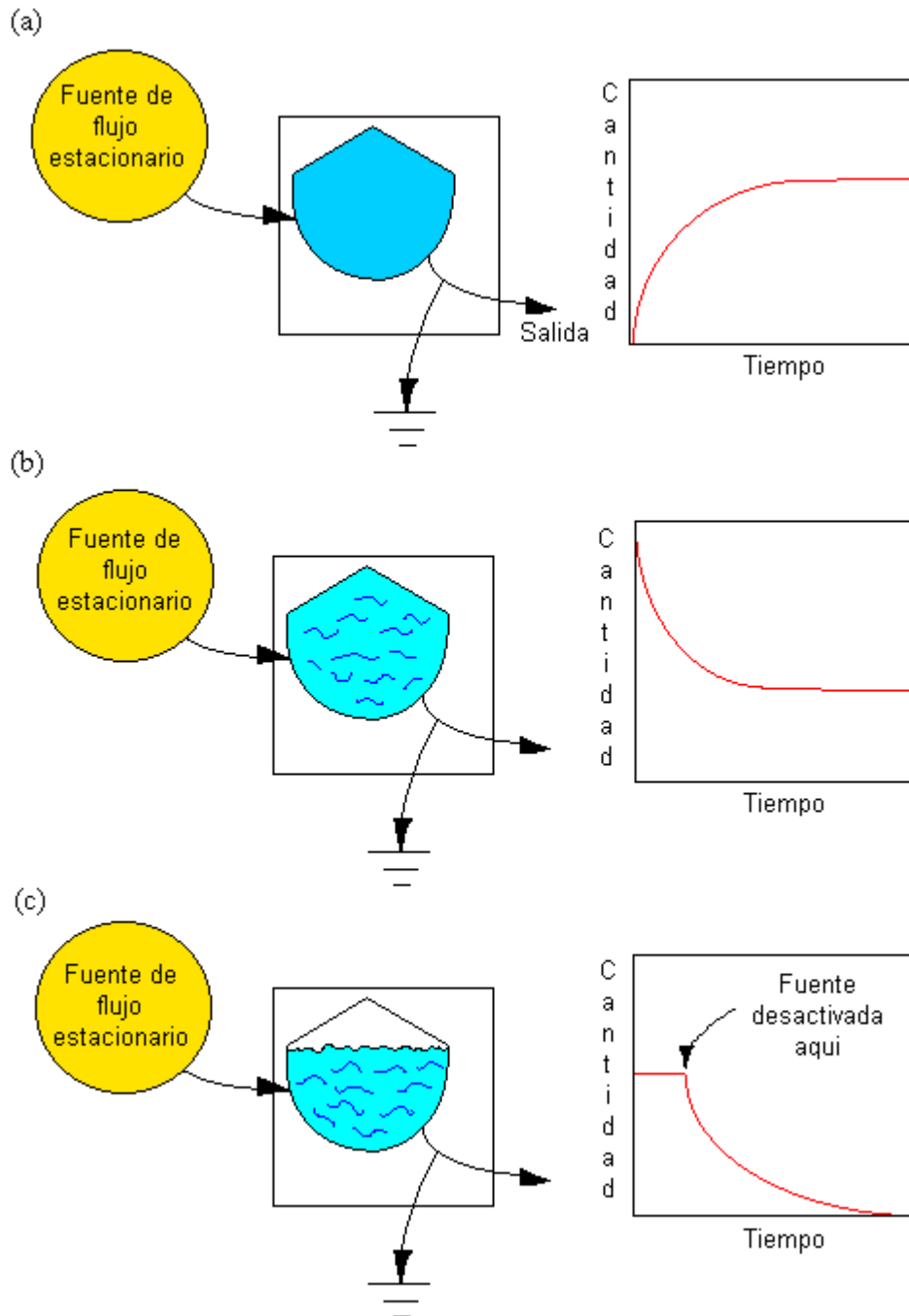


Fig. 7.1 Modelo 4 : Crecimiento, estado estacionario y declinio de un sistema de un tanque de depósito y una fuente de energía con flujo estacionario.

(a) Inicio con tanque de depósito vacío ;

(b) Inicio con tanque lleno ;

(c) Inicio con estado estacionario, después corta la fuente de energía.

*Figure reprinted with permission from
 Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
 Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

Otro ejemplo es la formación del lecho de hojas en la floresta. Este lecho se forma por capas de hojas que continúan creciendo hasta que la proporción de pérdida por descomposición se iguala a la proporción de crecimiento por la caída de las hojas (Fig. 7.1 (a)). Si una repentina brisa derriba gran cantidad de hojas en el piso, la variación en la cantidad total de hojas sería descrita por la Figura 7.1 (b). En algunas florestas, las hojas dejan de caer en el invierno; la pila de hojas entonces disminuye, como se muestra en la Figura 7.1 (c).

7.2 Modelo 5: Crecimiento en una fuente no renovable.

Algunos sistemas dependen de recursos provenientes de fuentes **no renovables**; por ejemplo una población de escarabajos creciendo con la energía disponible de un tronco en descomposición (Fig. 7.2). Cuando la población de escarabajos es pequeña, hay una energía amplia y el crecimiento es exponencial. Mas tarde, como el tronco empieza a disminuir en tamaño, el crecimiento de la población de escarabajos disminuye hasta que no queda más tronco- y ningún escarabajo. En el gráfico, la línea Q representa el número de la población. La línea N representa la energía restante en el tronco en determinado tiempo .

Otro ejemplo es una ciudad minera, con un único recurso económico no renovable como un depósito de carbón. Ella se convertirá en una ciudad fantasma.

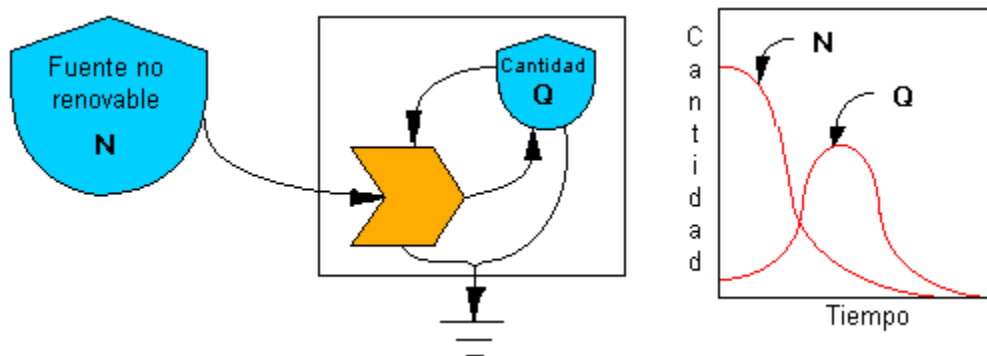


Figura 7.2 Modelo 5: Crecimiento en un sistema con una fuente de energía no renovable

*Figure reprinted with permission from
Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

7.3 Modelo 6 : Crecimiento en 2 fuentes.

Nuestro sexto modelo tiene 2 fuentes, una renovable y otra no renovable (Figura 7.3). Ambas fuentes interactúan con la cantidad en el tanque, que crece y

proporciona retroalimentación al proceso. Así crece utilizando ambas fuentes. Como la fuente no renovable se va consumiendo, el crecimiento declina hasta esta llegar a un estado estacionario, donde usa solamente la fuente renovable. El modelo está formado por la combinación de modelos de una fuente de energía no renovable (Figura 7.2) y una fuente (de caudal constante) renovable (Figura. 7.3).

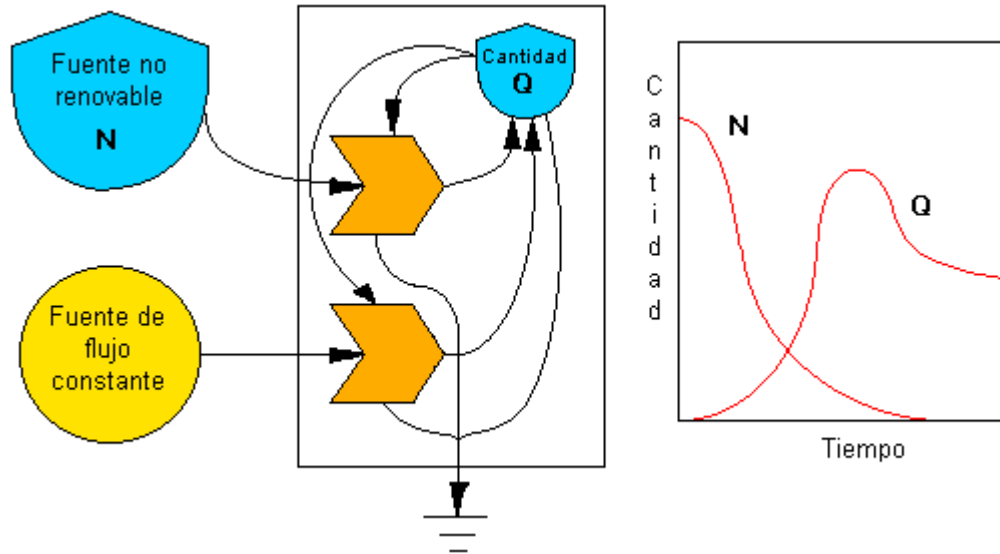


Fig. 7.3 Modelo 6: Crecimiento en un sistema con dos fuentes de energía, una fuente no renovable y la otra renovable (caudal constante).

Un ejemplo del Modelo 6 es una población de peces que viven en un lago, en el cual fue adicionada cierta cantidad de comida. Las dos fuentes de energía son: la energía solar que llega al lago a través del sol (renovable) y la fuente no renovable es la comida de pez arrojada en el lago. La población de peces crecerá exponencialmente al principio, hasta que la comida de peces se vuelva escasa, entonces, la población declinará hasta un nivel en que pueda ser sustentada por la cadena alimentaria basada en el uso de los rayos de sol (por el lago) para fotosíntesis. Otro ejemplo es el sistema económico creado por las sociedades humanas. Nuestro sistema económico ha estado crecido tanto en la extracción de combustibles fósiles (no renovables) como en fuentes renovables como sol, lluvia y viento. Como las fuentes no renovables va ha consumirse, nuestro sistema económico tendrá que disminuir en la cantidad y llegar a un estado estacionario, viviendo apenas de la agricultura, silvicultura y energía hidroeléctricas sustentadas

por energías renovables. De todas maneras, si nuevos modelos son encontrados, habrá necesidad de otro modelo, diferente.

Preguntas y actividades del Capítulo 7.

1. Definir los siguientes términos:

- a. Equilibrio dinámico
- b. Recurso no renovable
- c. Recurso renovable

2. Haga su propio modelo de crecimiento en un tanque de depósito. Explicar si su modelo comienza o termina en un estado estacionario.

3. Diagrame la "Busca del Oro de 1849". Que podría parecer el gráfico de su diagrama? Por que ?

4. Por qué es importante conservar energía, y mantener constantes investigaciones en la búsqueda de formas renovables de energía ?

5. Explique como los sistemas de este Capítulo usan sus productos para incrementar el uso de energía. Como ilustra esto el principio de la Fuerza Máxima dada en el Capítulo 5?

6. Establecer los caminos que representan las perdidas de depósito (almacenamiento) que están siempre presentes por causa de la segunda ley de la energía.

7. Si los tanques de depósito de estos modelos estuvieran inicialmente vacíos (Cantidad = cero), en qué modelos podría crecer la cantidad ?

8. Usando la agricultura como ejemplo, explicar como fuentes renovables y no renovables de energía interactúan y proporcionan alimentación?

9. Cuáles modelos en los Capítulos 6 y 7 representan mejor el crecimiento y sucesión en una floresta?

10. Usando el disquete de computador disponible con este libro o los programas listados en el Apéndice A, correr los programas de simulación para los modelos en este Capítulo.



CURSO DE ECOSISTEMAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS
PARTE I. PRINCIPIOS Y LENGUAJE SIMBÓLICO

CAPITULO 8.

SIMULANDO MODELOS CUANTITATIVOS

OBJETIVOS:

1. Escribir una ecuación para la variación de la cantidad, en un tanque de depósito donde existe un drenaje;
2. Usando una tabla, calcular la cantidad y flujo por hora, graficando los resultados en un eje de cantidad versus tiempo; explicando como estos cálculos son capaces de simular procesos representados por modelos;
3. Representar la simulación con un flujograma;
4. Escribir un programa en lenguaje BASIC que haga la misma simulación en un computador;
5. Preparar un modelo de producción-consumo, hacer una simulación y comparar con la simulación del computador.

En este Capítulo se introducirá en las técnicas para simulación de **modelos cuantitativos** de sistemas. Primero, usando un modelo de tanque con agua, se harán los cálculos a mano y se preparará una tabla y un gráfico con los cambios en cantidad de agua almacenada en un tanque versus el tiempo. Aquellos que disponen de un computador podrán hacer los cálculos en el mismo. Esto se llama "correr un programa".

8.1 Introducción.

Los diagramas de energía son una manera de visualizar la forma como se comportan los sistemas. Seis modelos de sistemas con diferentes tipos de fuentes de energía y depósito fueron introducidos en los Capítulos 6 y 7.

Luego de la lectura del Capítulo y de los ejercicios, estará apto para hacer gráficos de cómo cada ecosistema responde en función del tiempo. El lenguaje simbólico de energía se tornará mucho mas comprensible, sobre todo cuando se usen números reales para mostrar el comportamiento del sistema.

El lenguaje de diagramas de energía, que hemos estado utilizando, son expresiones matemáticas. Con él hemos representado los procesos y sus relaciones. Ellos se convertirán en expresiones matemáticas cuando coloquemos

números en los símbolos de proceso, depósito y en las razones de flujo, en cada trayectoria de energía. Si hacemos esto, tendremos un lenguaje próximo a aquel que los computadores consiguen comprender.

Si tiene acceso a un computador, podrá hacer ejercicios de simulación de esta sección usando la máquina. Si tiene un acceso restringido, puede obtener una demostración de simulación de computador usando los programas del Capítulo 8, disponibles en el disco que acompaña este libro. Si no tiene acceso a un computador, no se preocupe, podrá hacer los cálculos manualmente.

8.2 Coeficientes para parámetros simples.

Para representar cuantitativamente lo que está sucediendo en un modelo, a cualquier hora, se escribe números sobre diagramas. Las razones de flujo se escriben sobre parámetros de líneas y cantidades en depósito se escriben en los símbolos de depósito.

Imagine un tanque conteniendo 20 litros (20 lt) de agua. Una manguera drena 10% del flujo de agua restante por hora. Durante las primeras horas, el tanque drenará 2 lt. de agua. Los diagramas para cantidad de energía de estos sistema son así:

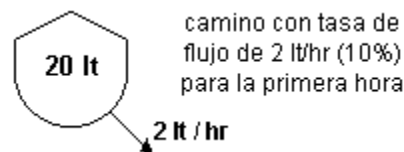


Figura 8.1 Modelo de tanque de drenaje.

Este diagrama es la descripción cuantitativa de sistemas que se presenta así durante la primera hora. No obstante, al inicio de la segunda hora, las cosas cambian; la cantidad de agua restante en el tanque es ahora 18 lt y la razón de flujo de salida es 10% de esto, o sea 1.8 lt/hr. Como a cada hora que pasa mas agua corre, los valores disminuyen. Debemos encontrar una ecuación para estos cálculos.

- Primero, representamos la cantidad de agua en depósito con Q (y admitimos que Q cambiará con el tiempo).
- Segundo, describimos el flujo como un **coeficiente de parámetro**, llamado k , que indica la fracción de agua restante drenada por hora. Cuanto mas grande el diámetro de la manguera, mayor es el coeficiente. En este ejemplo el coeficiente de parámetro es 0.1 (o 10%).

Note que:

Flujo = coeficiente de parámetro x cantidad en depósito = $k \times Q$

donde:

Coeficiente de parámetro = fracción decimal del flujo de depósito por unidad de tiempo.

El modelo para el tanque con drenaje sería entonces así:

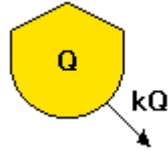


Figura 8.2 Modelo de tanque mostrando Q y kQ , $k = 0.1$.

8.3 Simulación manual.

La Tabla 8.1 muestra los cálculos del tanque de depósito y flujo por hora.

Tabla 8.1. Cálculos horarios para el tanque con drenaje (Figura 8.2)

Tiempo (horas)	Cantidad Q (litros)	Tasa de salida (litros/hora)
0	20	2
1	18	1.8
2	16.20	1.62
3	14.58	1.46
4	13.12	1.31
5	11.81	1.18
$k = 0.1$		

Vamos a examinar los cálculos que se hicieron para formar la Tabla 8.1. El proceso se calculó repitiendo una serie de sustracciones, paso a paso, del

depósito. El proceso de hacer cálculos repetidos como este se llama **iteración**. El proceso en las Figuras 8.1 y 8.2 podría ser expuesto como sigue:

La cantidad, a un intervalo de tiempo próximo, es la cantidad en el momento presente menos el flujo.

$$(\text{nuevo } Q) = (\text{anterior } Q) - (k \times Q)$$

En otras palabras, la ecuación dice:

El nuevo Q igualará al anterior Q menos k veces el anterior Q.

Vamos escribir esta ecuación de la forma como aparece en la pantalla de un computador, donde * significa multiplicación, e = significa "será igual".

$$Q = Q - k * Q$$

En el modelo del tanque con drenaje (Figura 8.1) el valor inicial para Q es 20 lt y k = 0.1 por hora. En la tabla 8.1 el inicio es indicado por la primera línea, cuando el tiempo es 0, y Q es 20 lt.

1. Para la primera hora:

Flujo de salida = k*Q

$$= 0.1/\text{hr} * 20 \text{ lt}$$

$$= 2 \text{ lt/hr (2 litros por hora)}$$

Al final de la primera hora el agua en el depósito se calcula por la sustracción:

Nuevo depósito = depósito anterior - flujo habido en una hora

$$\text{Nuevo depósito} = 20 \text{ lt} - 2 \text{ lt}$$

$$\text{Nuevo depósito} = 18 \text{ lt}$$

2. Para la segunda hora:

Flujo de salida = k*Q

$$= 0.1 \text{ lt/hr} * 18 \text{ lt}$$

$$= 1.8 \text{ lt/hr}$$

Al final de la segunda hora:

Nuevo depósito = depósito anterior- flujo en una hora

$$\text{Nuevo depósito} = 18 \text{ lt} - 1.8 \text{ lt}$$

$$\text{Nuevo depósito} = 16.2 \text{ lt}$$

La Tabla 8.1 muestra los cálculos para las primeras cinco horas. Si se extiende esta tabla para 20 horas y se gráfica los puntos sobre el eje se obtendría la siguiente figura:

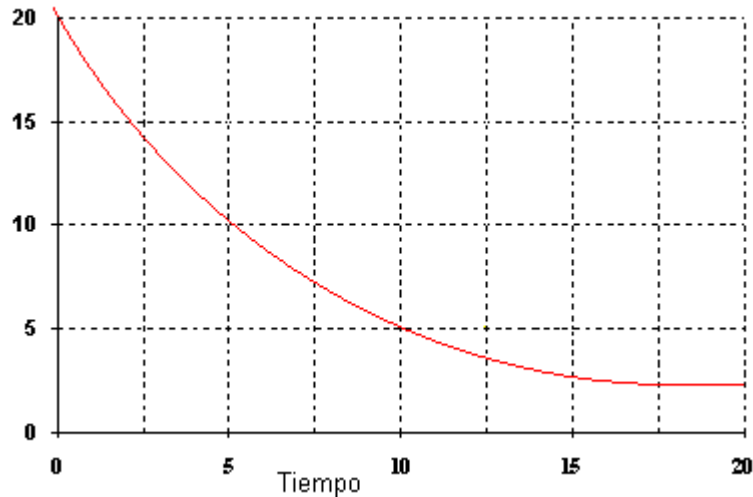


Figura 8.3 Gráfico de la cantidad en depósito (Q) versus tiempo, como fue calculado en la Tabla 8.1, simulando el modelo en la Figura 8.2.

8.4 Diagrama de flujo.

Cuando una serie de cálculos se hacen una y otra vez, se pueden escribir los pasos, del procedimiento de calculo, como un diagrama de flujo. La Figura 8.4 es el diagrama de flujo para los cálculos que se hicieron en la Tabla 8.1. Leyendo desde el inicio hasta el fin, se instruye suministrar los números iniciales; trasladar los valores sobre un gráfico, calcular los valores después del intervalo de tiempo, retornar, graficar y calcular nuevamente, así sucesivamente hasta llegar a 20 horas.

La lista de pasos, en el procedimiento, es llamado **programa**. El gráfico de flujo (Figura 8.4) es una manera de escribir un programa. Si se escribe una lista de instrucciones para un computador, se conoce como **programa de computador**.

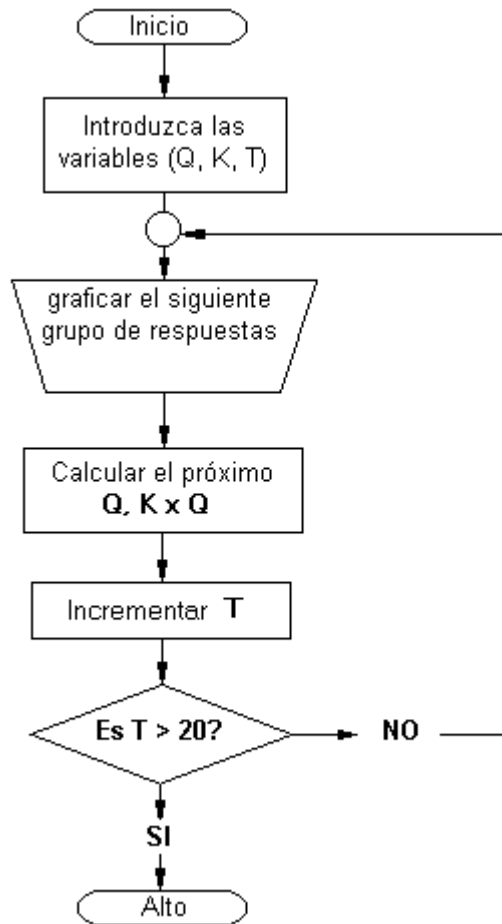


Figura 8.4 Diagrama de flujo para cálculos en la tabla 8.1, el cual simula el modelo de la Figura 8.2.

8.5 Simulación de computador. (Si no tiene acceso a un computador vaya a la Sección 8.6).

Primero, indicaremos como hacer una simulación en un computador Apple II.

Para hacer que un computador realice cálculos, debe darle una lista de instrucciones en el lenguaje en el cual él esté programado para responder. Las palabras y símbolos que necesita usar para instruir un computador, se dan en la Tabla 8.2. Ellos son parte del lenguaje BASIC. Si pone un disquete que haya sido preparado para el computador, y enciende la máquina, estará listo para ser utilizado en las instrucciones del programa.

Las instrucciones necesarias se dan en la Tabla 8.3, estas se numeran: 10, 20, 30, etc. Después de que el programa haya sido tecleado y esté almacenado en la memoria de trabajo en la pantalla, teclee RUN y el computador seguirá la lista de

instrucciones hasta que los cálculos estén completos. Los números calculados a mano en la Tabla 8.1 se listarán en la pantalla. Para que el programa aparezca en la pantalla, teclee LIST. Para salvar el programa en un disquete, teclee SAVE y el nombre del programa.

Tabla 8.2. Algunas instrucciones en lenguaje BASIC

<i>COMANDO</i>	<i>Que hace</i>
RUN	Corre el programa, listando las instrucciones en orden numérica.
GO TO	Va a la instrucción designada por el número y lo ejecuta en el texto.
IF	Da una instrucción para realizar alguna cosa, como ir a otra línea,
PRINT	Muestra sobre la pantalla el valor numérico de las cantidades que se listaron
PSET	Muestra sobre la pantalla un punto relativo a los nuevos valores de las variables
END	Detiene el programa.
=	Dispone una cantidad igual para el que es especificada.
+	Adiciona la próxima cantidad.
*	Multiplica la próxima cantidad.
/	Divide entre la próxima cantidad.
<	Menor que.
>	Mayor que.

Si el computador es una Apple II que está conectado a una impresora y quiere imprimir el programa, teclee PR#1 y luego LIST. Para imprimir los cálculos, teclee PR#1 y luego RUN. Para volver a la pantalla teclee PR#0. Si el computador es compatible con IBM-PC, imprima el programa tecleando LLIST. Para imprimir los cálculos, teclee CTRL PRTSC y entonces RUN.

Lo que sigue, es una explicación de las instrucciones en el programa (Tabla 8.3 y Figura 8.2)

Primero, decimos al computador el tamaño de las cantidades con las que se trabajarán al principio. Así, tenemos (en la Tabla 8.3):

10 Q = 20 (cantidad en depósito = 20).

20 k = 0.1 (coeficiente de parámetro = 0.1).

30 T = 0 (tiempo = 0).

Luego le diremos al computador que imprima estos números:

40 PRINT T, Q, k*Q

A seguir, le diremos al computador que hacer con estos números:

Q = Q - k*Q

lo cual significa, "nuevo Q es igual al anterior Q menos k multiplicado por el anterior Q".

(Note: * significa multiplicar, para evitar confusión sobre el significado de x).

Habiendo hecho esto, se le dirá al computador avanzar en el tiempo una unidad:

60 T = T + 1

y entonces, si T es menor de que 20, repetirá las instrucciones 40, 50 y 60:

70 IF T < 20 GO TO 40

El computador repite los cálculos para cada nuevo intervalo de tiempo, imprime los resultados y avanza el tiempo hasta llegar a T = 20. En este punto, cuando llega

a la instrucción 70, no vuelve a 40, en lugar de eso, va a la línea 80 la cual dice:

80 END

La secuencia entera de los cálculos lleva pocos segundos; los resultados son listados en la pantalla en forma de tabla. Ahora puede simular a mano.

Tabla 8.3. Programa en BASIC para una simulación de modelo en la Figura 8.1

10	Q = 20
20	k = .1
30	T = 0
40	PRINT T, Q, k*Q
50	Q = Q - k*Q
60	T = T + 1
70	IF T < 20 GO TO 40
80	END

En la mayoría de los computadores, incluida la Apple, las instrucciones 30 y 80 son innecesarias.

Para obtener un gráfico en lugar de una tabla de resultados, podemos reemplazar la comando PRINT en la línea 40, por el comando PLOT. El comando PLOT varia con el tipo de computador, este instruye al computador a realizar un gráfico de puntos sucesivos con T en el eje horizontal y Q en el eje vertical. Se obtiene la Figura 8.3 dando al computador la siguiente instrucción:

```
40 HPLOT T,160-Q
```

Para poner el computador en modo gráfico y cambiar el color del fondo a blanco, se necesita otra instrucción:

```
5 HGR: HCOLOR = 3
```

En IBM PC las instrucciones son:

```
SCREEN 1,0: COLOR 0,0
```

y

```
PSET (T/0.07, 180-Q/200) , 3
```

La curva en la Figura 8.3 muestra que la tasa de flujo disminuye proporcional a la disminución de la presión de agua en el tanque. Un programa similar está en el Apéndice Tabla A.8.

8.6 Una simulación mas compleja.

Si pudo trabajar en la simulación del tanque con desagüe sin mucha dificultad, está listo para un modelo mas complejo, Figura 8.5.

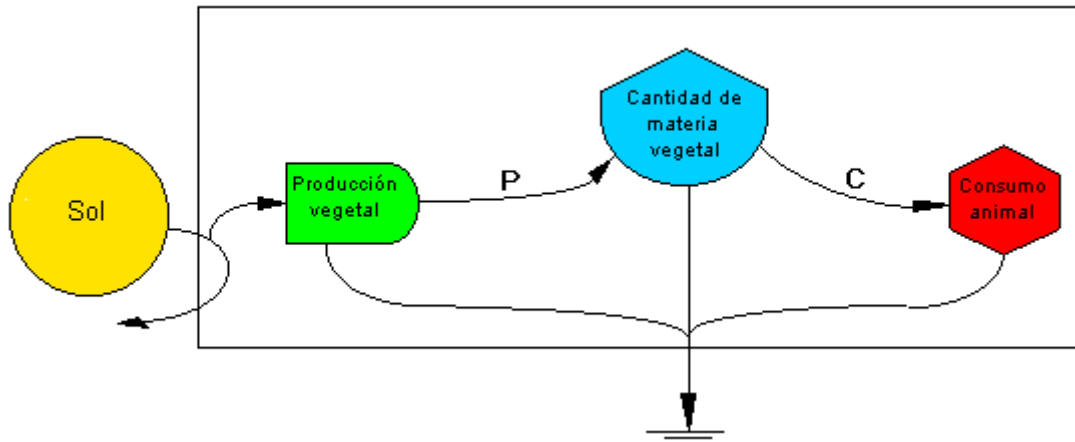


Figura 8.5 Diagrama de ecosistema.

Este modelo representa cualquier ecosistema. Muestra que, la luz solar que llega a los productores, es capturada durante la fotosíntesis y se almacena como biomasa hasta ser consumida por tejidos animales o tejidos vegetales durante la noche. Ahora vamos a adicionar algunos datos. La incidencia de la luz del sol varía durante el año, puede proveer las siguientes cantidades de energía:

Año	Estación	Luz solar (E3 joules/m2/estación)
1	Invierno	5 000
	Primavera	10 000
	Verano	15 000
	Otoño	10 000

Si las plantas capturan y almacenan .1% de la energía solar disponible ($k_1 = 0.001$), y si los animales consumen 20% de la energía total almacenada en los tejidos de las plantas ($k_2 = 0.2$), entonces el modelo cuantitativo se parece a la Figura 8.6.

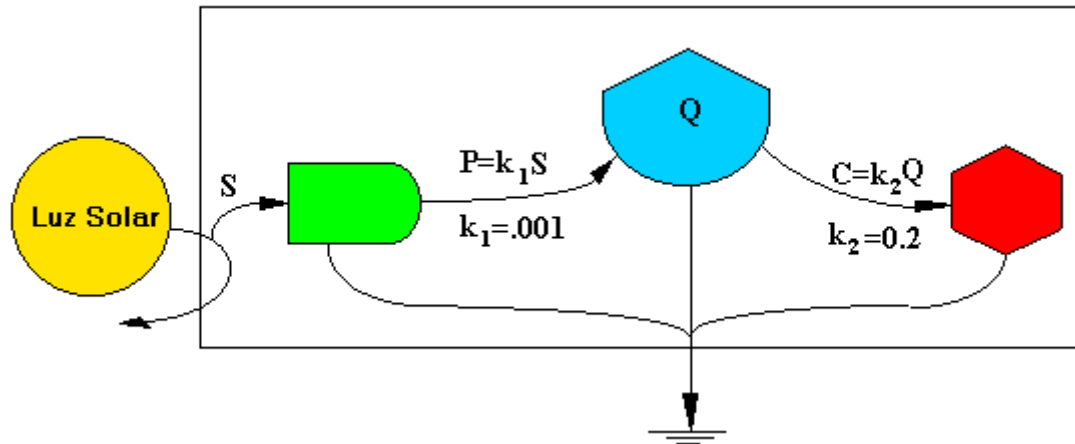


Figura 8.6 Diagrama de ecosistema con coeficientes de parámetros. La simulación manual del sistema podría comenzar con $Q=0.1$. Haga los cálculos en cada línea de izquierda a derecha, para ver si puede reproducir los números de la Tabla 8.4. Trabajo para dos figuras significativas.

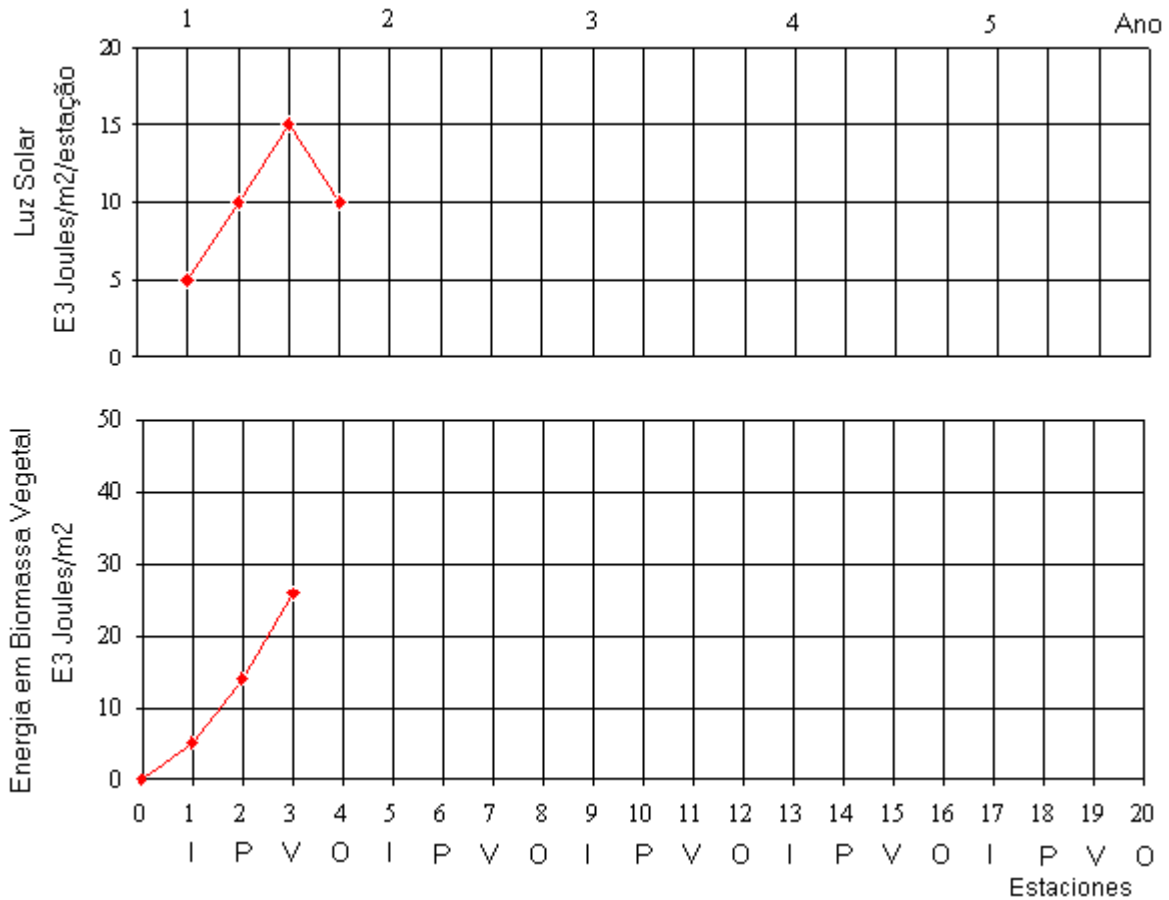
Tabla 8.4. Cálculos para simulación manual del diagrama en la Figura 8.6.

Las unidades son E3 joules/m2/estación.

Año	Estación	Luz solar S	Producción vegetal $P=0.001 \cdot S$	Consumo Animal $C=0.2 \cdot (\text{anterior } Q)$	Cantidad de materia vegetal Nuevo $Q = \text{anterior } Q + P - C$
0	Comienzo	-	-	-	0.1
1	Invierno	5 000	5	$0.2 \cdot 0.1 = 0.02$	$0.1 + 5 - 0.02 = 5.1$
	Primavera	10 000	10	$0.2 \cdot 5.1 = 1.0$	$5.1 + 10 - 1 = 14$
	Verano	15 000	15	$0.2 \cdot 14 = 2.8$	$14 + 15 - 2.8 = 26$
	Otoño				
2	Invierno				
	Primavera				
	etc.....				

Continúe los cálculos en otra hoja de papel hasta obtener datos de cinco años.
 Grafique los valores para luz solar y cantidad de materia vegetal sobre la Figura 8.7, continuando el gráfico iniciado arriba.

Año: 1 2 3 4 5



inicio

Figura 8.7 Gráfico para los datos de la simulación del modelo del sistema P-R en la Figura 8.6 versus tiempo.

8.8 Computador para Simulación de Producción y Modelo de Consumo

El modelo en la Figura 8.5, que fue "simulado manualmente" en la Figura 8.7 y que puede ser escrito para simulaciones en computador como se muestra en la Tabla 8.5. Los programas para este y otros modelos se incluyen en el disquete de computador disponible junto a este libro, y están listados en el Apéndice A.

Tabla 8.5. Programa de computador en BASIC para el modelo P-R en la Figura

8.6.

(resultados multiplicados por 1000.)

10	Q = 0.1
20	k1= 0.001
30	k2 = 0.2
40	N = 1
50	IF N = 1 THEN S = 5 000
60	IF N = 2 THEN S = 10 000
70	IF N = 3 THEN S = 15 000
80	IF N = 4 THEN S = 10 000
90	N = N +1
100	IF N = 5 THEN N = 1
110	PRINT T, S, P, C, Q
120	P = k1*S
130	C = k2*Q
140	Q = Q + P - C
150	T = T + 1
200	IF T < 20 GO TO 50

Nota:

Para que el computador use diferentes valores de luz solar, N se usa para cambiar los valores en cada estación.

Para mandar al computador *plotar* gráficos, substituya el comando de la línea 110.

Las instrucciones son diferentes para cada tipo de computador.

Para Apple II, cambia lo siguiente:

5 HGR: HCOLOR = 3

6 HPLOT 0.0 to 0, 159 to 279, 0 to 0, 0

```
110 HPLOT T/0.07, 50- S/350
```

```
115 HPLOT T/0.07, 160- Q/0.5
```

```
200 IF T/0.07<320 GOTO 50
```

Para el IBM PC, los cambios serian:

```
5 SCREEN 1,0: COLOR 0,0
```

```
6 LINE (0,0)-(320,180),1,B
```

```
110 PSET (T/0.07, 50-S/350)
```

```
115 PSET (T/0.07, 180-Q/.5)
```

```
200 IF T/0.07<320 GO TO 50
```

Para imprimir el gráfico en la hoja de papel, en el IBM presione la tecla SHIFT con la tecla PRINT SCREEN (PrtSc). Para la Apple, hay varios programas especiales como el Printographer y el Beagle Brothers Triple Dump.

8.7 Discusión.

El anterior gráfico de cantidad, muestra el crecimiento y el estado estacionario como en el Modelo 3 (Figura 6.3). El sol es una fuente renovable fija con flujo constante. En consecuencia, la producción de material vegetal aumenta rápidamente al principio, pero desde que el consumo animal es un porcentaje fijo de material vegetal disponible, los consumidores comienzan a aumentar rápidamente hasta que la producción y consumo son iguales. El crecimiento no es uniforme a causa de las variaciones de la luz solar y el pico de crecimiento vegetal está después del pico de luz solar porque hay un atraso en la formación del depósito de la energía (almacenamiento).

Un ejemplo de este tipo de crecimiento es la sucesión ecológica. El crecimiento rápido de plantas en un campo abierto cambia a un crecimiento neto mas lento de arbustos y luego arboles, y culmina en un estado estacionario donde árboles y otros productores están en balance con los consumidores.

Preguntas y actividades para el Capítulo 8:

1. Defina los siguientes términos:

- a. simulación:
- b. cuantitativo,
- c. coeficiente,

- d. programa,
- e. iteración,
- f. ecuación diferencial,
- g. BASIC

2. Haga el diagrama de una descripción cuantitativa de un tanque de depósito mostrando depósito y flujos
3. Calcule los coeficientes de parámetro de su tanque de depósito, si la cantidad almacenada es 100 litros y el primer flujo es de 5 litros/hora.
4. Usando Tabla 8.1 como guía, haga una lista de los datos de la pregunta #3 en forma de tabla, esta será extendida para un mínimo de 15 horas.
5. Use sus datos del #4 para graficar cantidad (Q) versus tiempo (T) sobre ejes cartesianos.
6. Grafique los valores para luz solar y cantidad de materia vegetal en la Figura 8.7, continuando el gráfico ya comenzado.
7. Explique porque el gráfico que completó en la Figura 8.7 es semejante a un gráfico de sucesión ecológica.
8. Como probablemente sabe, hay mucho más sobre programación de computadores en lenguaje BASIC, pero Ud. sabe lo suficiente para simular los Modelos en los Capítulos 6 y 7. Intente entonces.



[Índice
General](#)



[Capítulo
Anterior](#)



[Encabezado de este
Capítulo](#)



[Capítulo
Siguiete](#)

**"Environmental Systems and Public Policy" Copyright: H. T. Odum *et al.*
Ecological Economics Program. University of Florida, Gainesville 32611, USA. 1988.**
Dudas? Sugestiones? Escriba para leia@fea.unicamp.br
Ultima revisão: 29 de dezembro de 1997.



CURSO DE ECOSISTEMAS Y POLÍTICAS PÚBLICAS
PARTE I. PRINCÍPIOS Y LENGUAJE SIMBÓLICO

CAPITULO 9.

SISTEMAS OSCILATORIOS

OBJETIVOS:

1. Definir y dar ejemplos de sistemas oscilatorios.
2. Diseñar 3 modelos para oscilación.
3. Diseñar el modelo de un ecosistema que periódicamente se quem; explicando como un mecanismo de desvío representa la acción del fuego.
4. Demostrar la simulación de modelos oscilatorios en un computador (si está disponible).
5. Comparar el concepto de oscilación de un ecosistema en crecimiento con el concepto de sucesión-climax.

En los Capítulos 6 y 7 se consideraron sistemas que sufren un período de crecimiento natural, después del cual alcanzan un estado estacionario. El proceso de sucesión es frecuentemente considerado en estos modelos. No obstante, muchos sistemas naturales no desarrollan estados estacionarios.

Los sistemas considerados en este Capítulo trabajan de un modo diferente. En lugar de alcanzar gradualmente un nivel estacionario, desarrollan repetidas **oscilaciones**. En cualquier tiempo las cantidades están siempre aumentando ó disminuyendo.

Como ejemplo se puede ver las oscilaciones en poblaciones del ártico. Cuando la vegetación es abundante, pequeños mamíferos herbívoros (lemures) aumentan en número y la consumen hasta que el alimento escasea. Después, la población de estos mamíferos disminuye hasta que ocurre un nuevo crecimiento de la vegetación y el ciclo recomienza nuevamente. Así, los productores y consumidores aumentan y disminuyen, acompañando el desenvolvimiento uno del otro. Oscilaciones similares se observan en relaciones carnívoros-herbívoros, y relaciones entre hospedero-parásito; por ejemplo, las oscilaciones semanales de fitoplancton y zooplancton en el mar. En economía, las oscilaciones marcan las

relaciones entre comerciantes que crean depósitos de bienes (oferta) y consumidores que compran estos depósitos (demanda).

9.1 Un Modelo de Oscilación Simple.

Un ejemplo simple de un sistema de oscilaciones, es el modelo presa-predador de la Figura 9.1. Los matemáticos y ecologistas pioneros, que descubrieron las propiedades de este modelo, sugirieron que este tipo de relacionamiento podría explicar las oscilaciones observadas entre conjuntos de animales, tales como la liebre de nieve y su predador, el lince. Las oscilaciones regulares de estas poblaciones fueron medidas por conteo de pieles (crudas) en el Canadá por la empresa Hudson Bay Company, de 1845-1935.

Como se muestra en el diagrama de sistemas de la Figura 9.1(a), existe una fuente de presión constante disponible para la población de presas. Cuando la población de presas comienza a crecer exponencialmente, la población de predadores crece rápidamente haciendo que la población de presas se reduzca nuevamente. Con menos comida disponible la población de predadores disminuye. El gráfico de las dos poblaciones versus tiempo se muestra en la Figura 9.1(b).

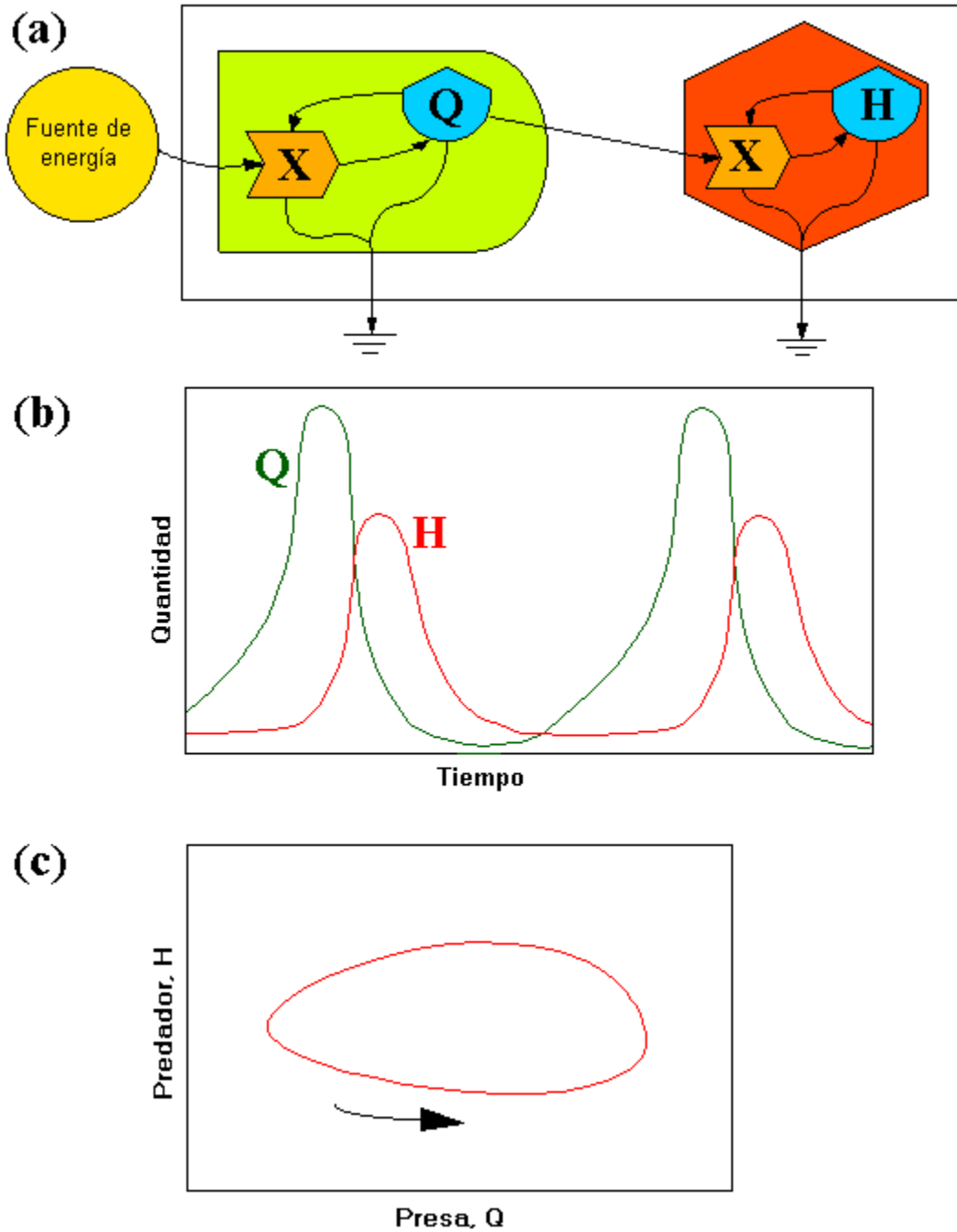


Figura 9.1 Modelo de oscilación simple: predador-presa, mostrando a la presa (Q) siendo

consumida por el predador (H). (a) Modelo; (b) resultados de la simulación;

(c) la misma simulación anterior en un gráfico con las dos poblaciones.

Para muchos sistemas de oscilación este modelo no es realista porque no incluye el reciclaje. También, el tiempo entre oscilaciones depende de la cantidad inicial

de Q y H. En sistemas presa-predador de la vida real, el tiempo entre oscilaciones depende mas de las relaciones entre predadores y presas, y menos de las cantidades iniciales.

9.2 Gráfico correlacionando las dos poblaciones.

En lugar de graficar las dos poblaciones versus tiempo, como en la Figura 9.1 (b), se puede hacer un gráfico con la cantidad de una población sobre el eje horizontal y la cantidad de la otra población sobre el eje vertical. Como resultado del proceso de oscilación, se obtiene un gráfico circular de acuerdo con la Figura 9.1 (c). Este modo de graficar la población muestra que la oscilación se está repitiendo.

9.3 Modelo de desvío (Interruptor).

Otro tipo de modelo de oscilación inicia la acción del consumidor con un camino de desvío que empieza cuando la cantidad de productos alcanza un valor limite. Este modelo se muestra en la Figura 9.2 (a) con un símbolo de un interruptor. Un ejemplo es el sistema de pastoreo y fuego. Cuando la biomasa llega a un nivel suficientemente grande, cualquier llama que aparezca en el sistema, sea por relámpagos o fósforos, genera un incendio. La materia orgánica se consume y muchos de los nutrientes retornan al suelo, quedando almacenados, para estimular un nuevo crecimiento de plantas. Este modelo es apropiado para la quema repetida de mudas de árboles de corteza gruesa en un bosque de pinos (Figura 3.3).

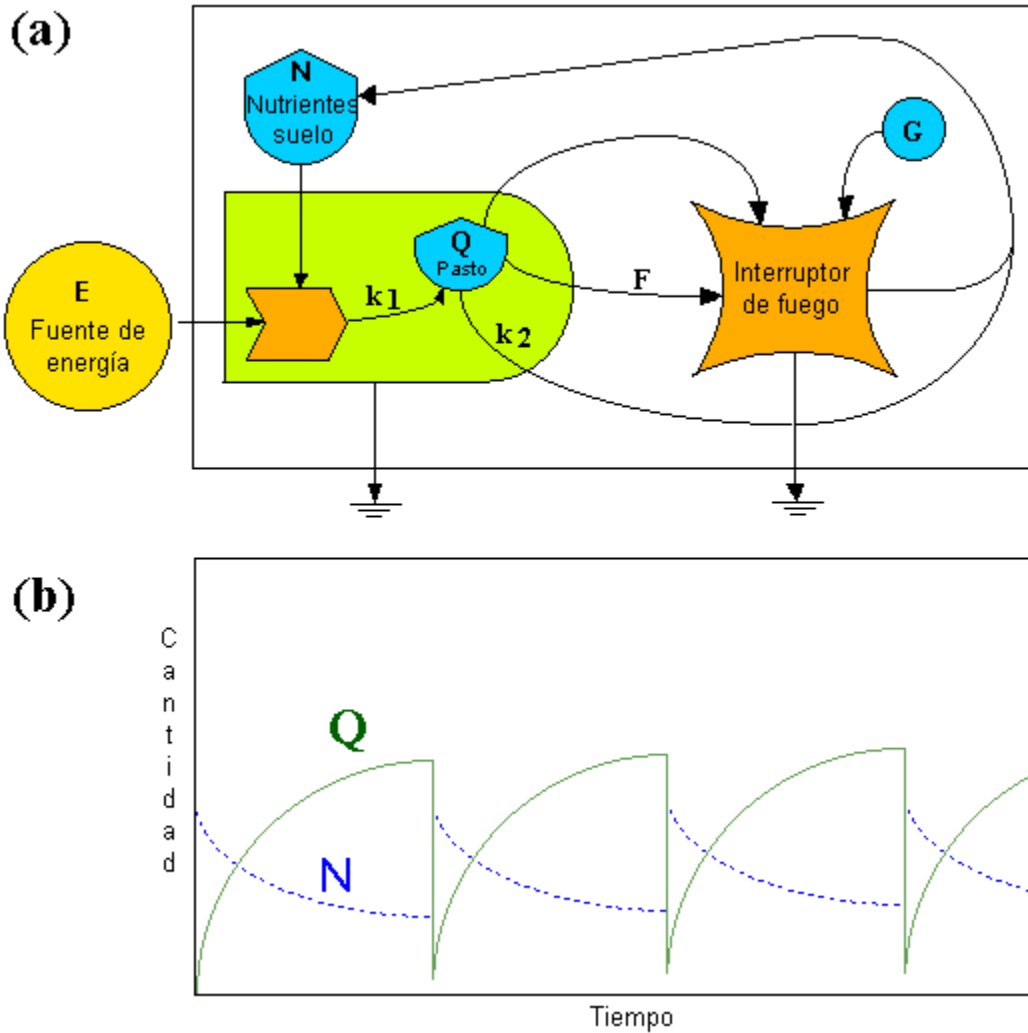


Figura 9.2 Modelo de desvío. Q, cantidad de pasto por m²; F, cantidad consumida por el

fuego; G, cantidad limite de pasto que permite iniciar el proceso de quema;

N, nutrientes en el suelo; E, energía.

El patrón de comportamiento del pasto y de los nutrientes en relación al tiempo que resulta de este modelo, se muestra en la Figura 9.2 (b). La producción se extiende en un periodo largo, mientras que el consumo se realiza como un pico intenso que ocurre un tiempo muy corto.

En el modelo de simulación de este sistema, representamos la acción de desvío con comandos IF en BASIC, por lo cual el computador responderá:

```
IF Q > G THEN Q = Q - F
```

Esto significa que cuando el pasto (Q) crece sobre el límite (G), el fuego se inicia. El pasto se quema hasta un nivel bajo de biomasa (Q - F). Después de eso comienza a crecer nuevamente.

El listado del programa de simulación para un modelo de pasto-fuego se encuentra en la Tabla A.11 del Apéndice A.

9.4 Modelo de Pico de Consumo.

La Figura 9.3 es un modelo importante que ha sido descubierto para aplicar en muchas partes de la biosfera incluyendo predadores y presas. Tiene más de un camino de consumo, uno de estos opera a bajos niveles de energía y uno a altos niveles de energía que se vuelve un consumo frenético. Existe un pico de consumo rápido. Como en modelo de desvío, los nutrientes son reciclados. Como ejemplos tenemos el desarrollo de plantas y el consumo epidémico por una nube invasora de langostas, o insectos forestales que repentinamente consumen todas las hojas. Un ejemplo económico es el almacenamiento de bienes de un país, los cuales son consumidos por un conquistador.

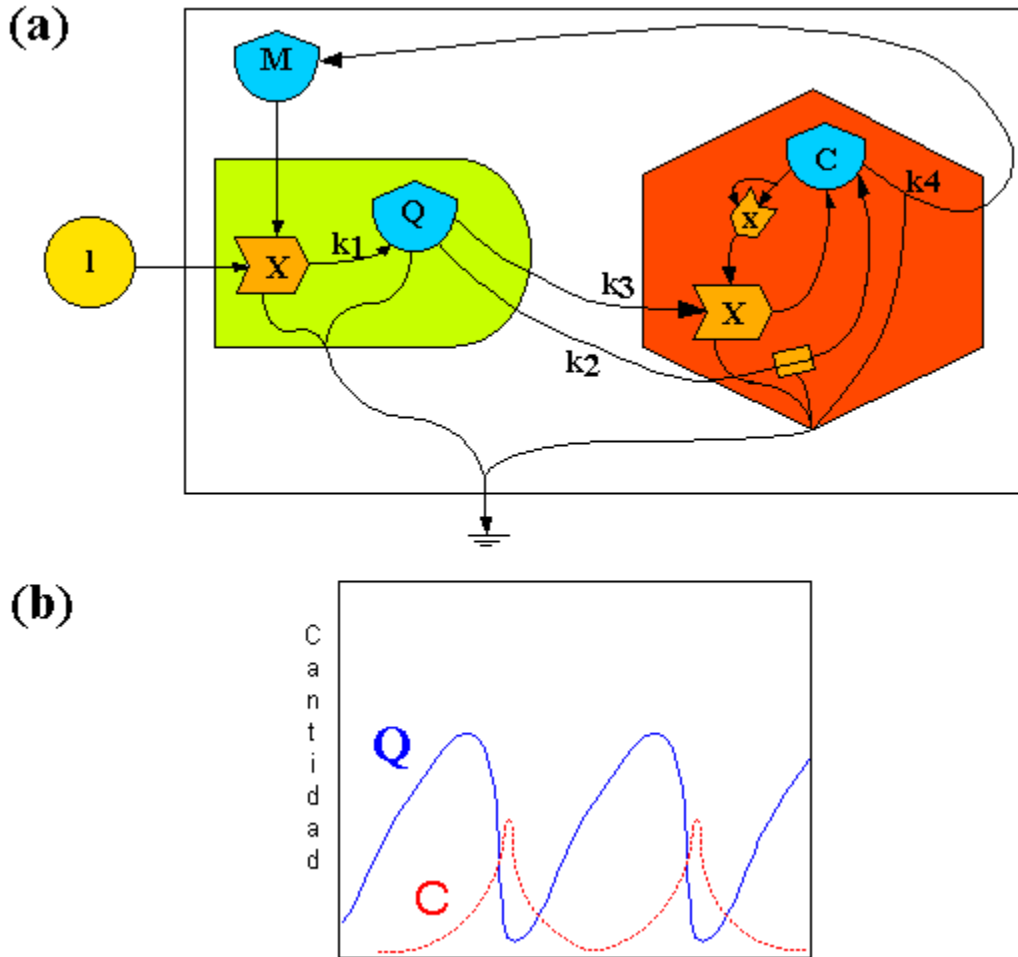


Figura 9.3 Modelo de Pico. Q, productores; C, consumidores.

(a) Diagrama de energía; (b) simulación.

*Figure reprinted with permission from
 Environment and Society in Florida - (Cat#SL0802)
 Copyright CRC Press, Boca Raton, Florida - 1997.*

Un modelo similar explica la oscilación de las reacciones químicas que generan bonitos diseños en soluciones de un laboratorio de química. Las oscilaciones en el tiempo tienen formas espaciales. Existe un interés mundial en la idea de que, mediante este tipo de sistema, las reacciones químicas desarrollan estructuras vivas.

Uso de Planillas de Cálculo:

Otra forma de simular modelos es permitiendo al computador realizar los cálculos en tablas de iteración (como la Tabla 8.4), usando una planilla de cálculos, como

Excel, Quatro, Lotus para IBM PC, etc. Estos programas facilitan la visualización de los resultados y la impresión de los gráficos obtenidos.

Preguntas y actividades del Capítulo 9

1. Definir los siguientes términos:

- a. predador
- b. presa
- c. oscilación
- d. fitoplancton
- e. zooplancton
- f. epidemia

2. Diagrame un sistema predador-presa. Identifique la presa y el predador.

3. Que sucedería en su sistema predador-presa si la fuente de energía aumentase?

4. Que sucedería en su sistema predador-presa si el número de presas en el sistema disminuyese?

5. Discuta una desventaja importante asociada al modelo de oscilación simple predador-presa.

6. Diagrame un sistema oscilante que contenga una trayectoria de reciclaje de materiales.

7. Sobre qué condiciones es adecuado un 'incendio' en un sistema de oscilación típico? Haga mención del valor límite y reciclaje de nutrientes en su respuesta.

8. Corra los programas para las Figuras de este Capítulo. Vea el listado en las Tablas A.10-A.12.



[Índice General](#)



[Capítulo Anterior](#)



[Encabezado de este Capítulo](#)



[Capítulo Siguiete](#)

**"Environmental Systems and Public Policy" Copyright: H. T. Odum *et al.*
Ecological Economics Program. University of Florida, Gainesville 32611, USA. 1988.**

Dudas? Sugestiones? Escriba para leia@fea.unicamp.br

Ultima revisão: 29 de dezembro de 1997.