

ECOLOGÍA DE COMUNIDADES Y SISTEMAS

GUÍA DE TRABAJOS PRÁCTICOS: SISTEMAS

Introducción

El estudio de los conceptos generales de sistemas es fundamental para visualizar redes complejas de objetos y procesos. Se debe comenzar por definir entonces el término de **sistema**. Este término es ampliamente usado en el lenguaje cotidiano y por lo general hay tendencia a olvidar lo que significa.

Patten (1.971) lo define en general como un ‘conjunto de objetos relacionados por alguna forma de interacción o interdependencia de tal manera que forman una entidad o un todo’; el mismo autor define a un **sistema biológico** como un ‘grupo de componentes biológicos conectados o relacionados de tal manera como para constituir y actuar como una unidad’.

Caswell *et al.* (1.971) sostiene que un sistema es una ‘colección de objetos, cada uno comportándose de tal manera como para mantener una consistencia en el comportamiento con su ambiente’.

Odum (1.983) lo define como un ‘grupo de partes que interactúan conforme a algún tipo de proceso’.

En una u otra definición hay elementos que se mantienen, todas sostienen que un sistema es *un conjunto de objetos que se relacionan entre sí*. Admitir la existencia de un conjunto de objetos que se relacionan entre sí implica reconocer una estructura interna y un funcionamiento característico.

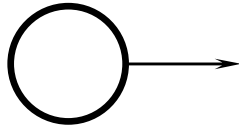
El término **ecosistema** es una expresión amplia de **sistema ecológico**. La expresión *sistema ecológico* también es utilizada como sinónimo de *sistema ambiental*. Para Lugo y Morris (1.982) los términos *sistema natural*, *sistema ecológico* y *ecosistema* son sinónimos. Algunos autores utilizan el término *ecosistema* solamente para aquellos sistemas de la naturaleza que no incluyen al hombre.

El hombre ve a los sistemas ecológicos, por ser parte de los mismos, con tanto detalle que a menudo necesita una versión simplificada para poder entenderlos. Estas simplificaciones se denominan **modelos**. Para la construcción de un modelo se puede utilizar cualquier *simbolismo* que facilite la comprensión de las relaciones entre las partes de un sistema. Estos simbolismos constituyen los **lenguajes de sistemas**. En los Trabajos Prácticos se utilizará el **lenguaje de energía de Odum** (Odum, 1.983) en combinación con **diagramas de bloques** y **ecuaciones diferenciales**.

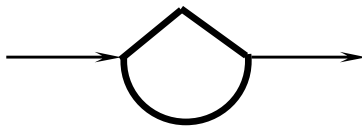
Lenguaje de Odum



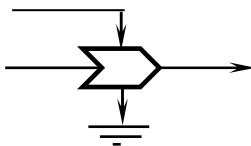
a. **Circuito de energía.** Conexión o vía cuyo flujo es proporcional a la cantidad en el almacenaje o fuente donde se origina. La flecha indica el sentido causal.



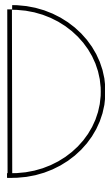
b. **Fuente de energía.** También denominadas funciones forzantes (ej.: sol, combustibles fósiles o viento). Representan los estímulos producidos por el medio exterior al sistema. La descripción completa requerirá una descripción complementaria indicando si es de fuerza constante, de flujo constante o si es transmitida con una periodicidad específica (ej.: una onda sinusoidal).



c. **Almacenaje o Tanque.** Este símbolo representa el almacenaje de cualquier sustancia en el ecosistema, sin que ocurra una transformación de energía durante el mismo (ej.: hojas en el piso de un bosque, combustible en el tanque de un automóvil). Representan objetos con memoria (ej.: variables de estado).



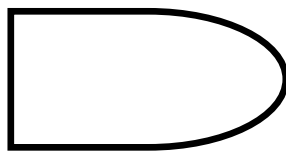
d. **Interacción.** Intersección interactiva de dos vías acopladas para producir una salida en proporción a una función de ambas (ej.: puerta de trabajo). Son objetos sin memoria de comportamiento continuo.



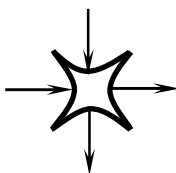
e. **Receptor de energía.** Este símbolo representa la recepción de energía ondular, como la energía solar, el sonido o el oleaje. La energía activa algún material cíclico y este transfiere la energía potencial y retorna a su estado de receptor (ej.: la recepción de luz por la clorofila).



f. **Consumidor.** Este símbolo representa cualquier población de consumidores en un sistema. Almacena energía potencial activamente y utiliza parte del almacenaje para realizar trabajo y obtener más energía potencial.



g. **Productor.** Es la combinación de dos símbolos, un receptor de energía y un consumidor. La respiración del sistema es el consumidor, el cual mantiene la maquinaria metabólica y recibe energía potencial del receptor (ej.: un árbol, un bosque, etc.).



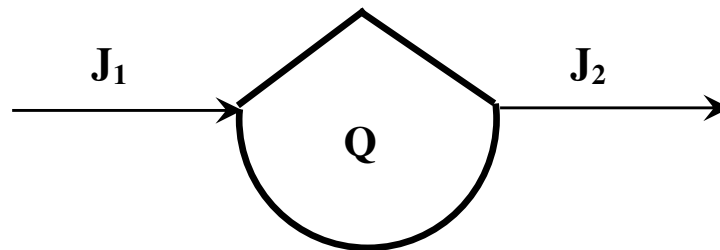
h. **Interruptor.** Intersección de comportamiento lógico, discreto. Denota procesos que tienen estados activados y no activados. El flujo no es posible en ausencia de la señal de activación, cuando la señal está presente el interruptor se activa y es posible el flujo de materia o energía (ej.: germinación de una semilla).

VARIABLES DE ESTADO

Una cantidad valuable que es almacenada y que describe el estado del sistema se denomina **variable de estado (Q)**. Las cantidades almacenadas en un sistema pueden variar, mientras estén *variando* el sistema estará en *estado de transición*. En un sistema abierto cuando el almacenaje y otras condiciones se tornan constantes, con un balance de entradas y salidas, el sistema estará en un *estado estable*.

Las ecuaciones de flujo (**J**) son aquellas que representan una entrada o salida de un tanque o almacenaje y cuyo efecto consiste en cambiar el estado de éste.

Para una mejor comprensión veamos el ejemplo de un tanque con un flujo de entrada (**J₁**) y uno de salida (**J₂**).



El tanque **Q** representa la cantidad de hojarasca en el piso de un bosque, **J₁** el flujo de caída de hojarasca al piso y **J₂** el flujo de salida de esa hojarasca. Tanto el flujo de entrada como el de salida representan procesos y se expresan como tasas en las mismas unidades, y el almacenaje también en la misma unidad pero sin tiempo.

$$J_2 = k * Q$$

k: constante de transferencia que se define como la fracción del almacenaje que es transferida por un flujo de salida en una unidad de tiempo dada. Esta constante depende en parte de la naturaleza del flujo y en parte de la naturaleza del almacenaje.

$$k = \frac{J}{Q}$$

$$k = \frac{2 \text{ g día}^{-1}}{100 \text{ g}} = 0.02 \text{ día}^{-1}$$

Por otra parte, también podemos utilizar las **ecuaciones de estado**, que expresan el balance de las ecuaciones de flujo respecto de una variable de estado y definen la magnitud del cambio de estado.

$$\frac{dQ}{dt} = J_1 - J_2$$

[Cambio de estado de Q] = [Tasa de entrada] – [Tasa de salida que es dependiente de la cantidad almacenada]

El cambio de estado de Q respecto del tiempo es indicado con un punto sobre la letra Q . Estas ecuaciones son llamadas **ecuaciones diferenciales**. Las ecuaciones diferenciales para un tanque simple, sin ninguna vía multiplicativa, son denominadas ecuaciones de primer orden, por lo que el sistema es de primer orden.

Otra forma de describir el sistema es mediante ecuaciones de acumulación del almacenaje Q , estas ecuaciones son llamadas **ecuaciones integrales**. Éstas son expresiones para la acumulación del almacenaje en las cuales se suma a la cantidad inicial (Q_0), presente al comienzo del período de simulación ($t = 0$), la cantidad neta que se acumula con el balance de entradas y salidas.

$$Q_{0+\Delta t} = Q_0 + \int (J_1 - J_2) \Delta t$$

[Cantidad almacenada después de un tiempo] = [Cantidad inicial] + [Suma de entradas y salidas en el tiempo considerado]

Podemos decir que mientras la ecuación de estado (Q) describe la suma de entradas y salidas de la hojarasca al piso del bosque, la ecuación integral nos da la cantidad de hojarasca en el piso después de un tiempo, debido al efecto neto de los flujos y de la cantidad encontrada al comienzo. El proceso de sumas de flujos en un período de tiempo es indicado con el símbolo integral delante de los flujos a ser integrados (entre paréntesis) y Δt significa que el cálculo de la acumulación es sobre un período de tiempo dado. Las ecuaciones para Q que resultan de la integración se denominan ecuaciones integrales. La suma de procesos es llamado integración.

SIMULACIÓN

El proceso de *simulación* consiste en generar los estados del modelo de un sistema en el tiempo, y resulta de aplicar una secuencia ordenada de operaciones matemáticas. Mediante este procedimiento podemos conocer el comportamiento del sistema modelado.

La simulación comprende cálculos sucesivos de las cantidades en los almacenajes o tanques (variables de estado) que cambian con los flujos de entrada y salida. A intervalos regulares de tiempo el cálculo incorpora, a la cantidad almacenada con anterioridad, las entradas y salidas producidas durante ese lapso. El cálculo es repetido para el próximo intervalo de tiempo. Esta secuencia repetitiva de cálculo es denominada *iteración*.

Veamos un ejemplo de un tanque simple, con un flujo de entrada J_1 y uno de salida J_2 .

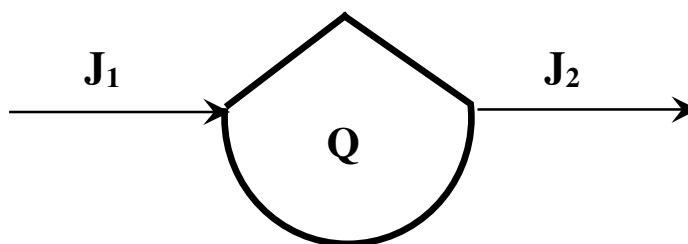


Figura 1

La cantidad inicial en el almacenaje $Q_0 = 0$, el flujo de entrada constante $J_1 = 10$, la constante de transferencia $k = 0,5$, y el intervalo de tiempo $\Delta t = 1$. En la Tabla 1 se presentan los resultados de la simulación para los primeros intervalos. El proceso comienza en el *tiempo 0* con las cantidades iniciales, y continúa con el *tiempo 1* mediante el cálculo de $Q_1 = Q_0 + (J_1 - J_2) \Delta t$, $J_2 = k * Q_1$ y $Q = J_1 - J_2$.

Cada nuevo valor del almacenaje estará dado por el algoritmo de Euler:

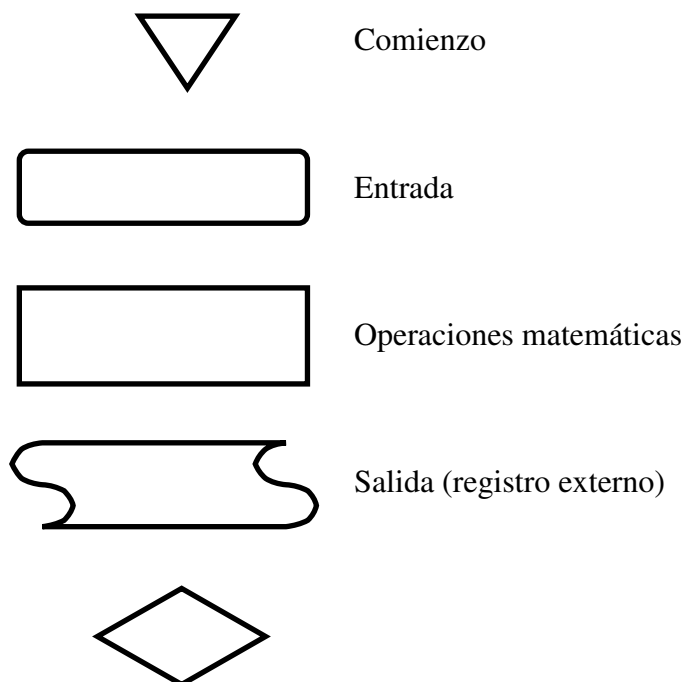
$$Q_t = Q_{t-\Delta t} + (J_1 - J_2) \Delta t$$

que integra en forma aproximada los cambios del almacenaje en el lapso considerado. Este algoritmo dice que el valor actual de la variable de estado se puede estimar sumándole al valor pasado el producto del diferencial por el intervalo de tiempo utilizado.

Tabla 1. Simulación del modelo de la Figura 1.

Tiempo (t)	Almacenaje (Q)	Entrada (J ₁)	Salida (J ₂)	Balance del Almacenaje (Q = J ₁ - J ₂)
0	0	10	0	10
1	10	10	5	5
2	15	10	7,5	2,5
3

Los pasos en una simulación pueden representarse en un diagrama que muestra la secuencia ordenada de operaciones como bloques conectados según el orden en que se deben realizar los cálculos. A este tipo de diagrama se lo denomina *diagrama de bloques o de flujo*. La simbología utilizada es la siguiente:



Operador lógico (bifurcación, compara dos situaciones e indica el camino que debe tomarse en el diagrama)



Final

TRABAJO PRÁCTICO nº1

I. Primera parte

En este práctico se simulará el modelo de la Figura 1 con distintas constantes de transferencia e incrementos de tiempo, luego se graficará Q respecto de t y se comentarán las observaciones. Para la realización de este práctico el alumno necesitará una calculadora y papel cuadriculado para graficar.

a) $Q_0 = 0$	b) $Q_0 = 0$	c) $Q_0 = 0$	d) $Q_0 = 0$
$J_1 = 10$	$J_1 = 10$	$J_1 = 10$	$J_1 = 20$
$k_2 = 0,5$	$k_2 = 0,2$	$k_2 = 0,5$	$k_2 = 0,5$
$\Delta t = 1$	$\Delta t = 1$	$\Delta t = 0,5$	$\Delta t = 1$

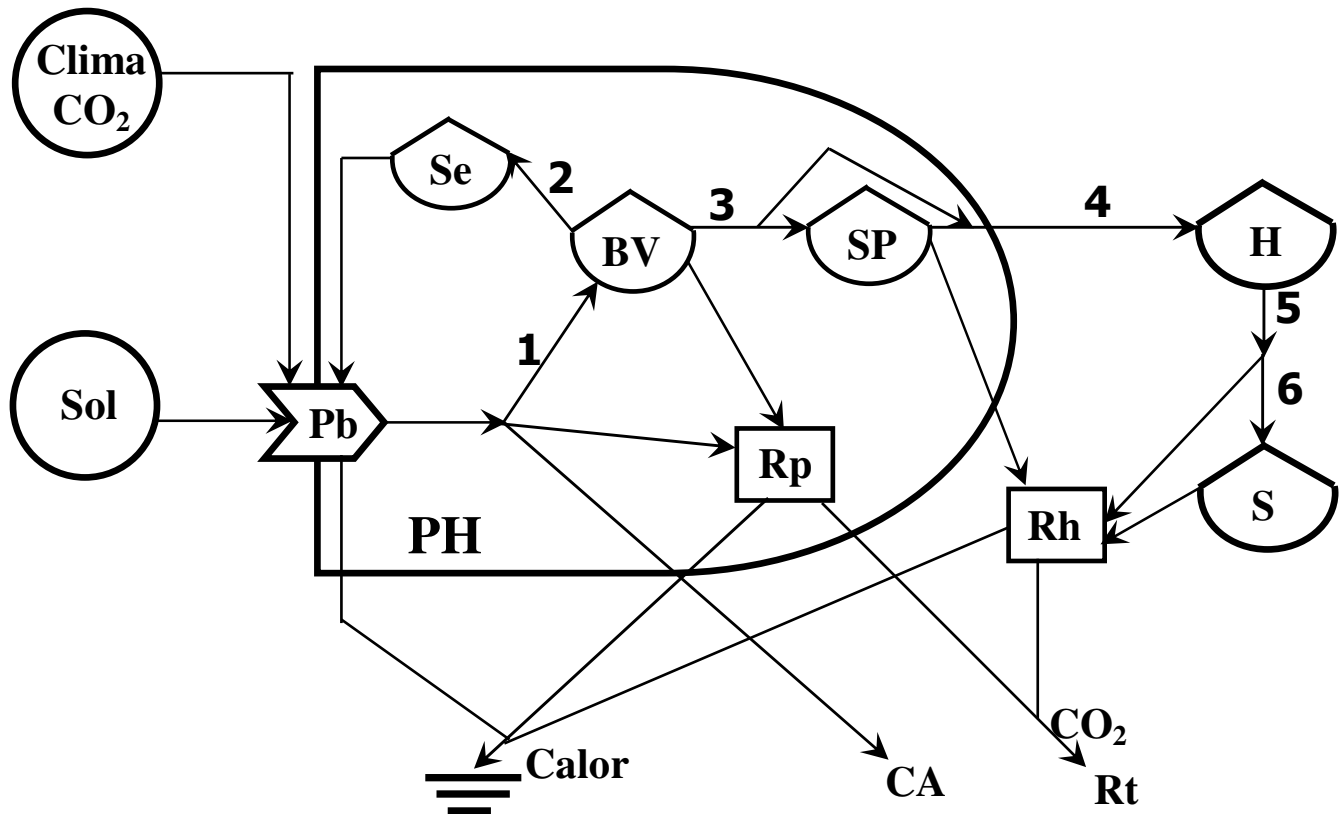
Por último se calcularán valores con la ecuación integrada y se los comparará con los de la simulación por pasos.

$$Q_t = Q_0 + \int (J_1 - J_2) \times \Delta t = \frac{J_1}{k} \times (1 - e^{-k \times t}) + Q_0 \times e^{-k \times t}$$

II. Segunda Parte

Modelo sobre la dinámica de un pastizal natural de Sierra de la Ventana

El modelo de circulación de la materia vegetal aérea seca en un pastizal de 'flechillas' de Sierra de la Ventana (Frangi et al., 1.980) que se presenta a continuación fue realizado con el objetivo de estudiar la estructura y la dinámica de ese sistema.



Pb: Productividad bruta; **Rp:** Respiración de los productores (plantas); **Rh:** Respiración de los consumidores primarios; **Rt:** Respiración total; **CA:** Cadenas alimentarias

Compartimientos:

PH: Plantas herbáceas (924 g m^{-2})

Se: Semillas

BV: Biomasa verde (255 g m^{-2})

SP: Seco en pie (669 g m^{-2})

H: Hojarasca (197 g m^{-2})

S: Suelo (20.619 g m^{-2})

Flujos:

1: Productividad Primaria Aérea Neta ($1,99 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

2: Estructuras Reproductivas ($0,09 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

3: Mortalidad ($1,90 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

4: Caída ($1,76 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

5: Desaparición ($1,70 \text{ g m}^{-2} \text{ día}^{-1}$)

6: Exportación

Estos estudios son de interés teórico y aplicado ya que, por un lado, contribuyen al conocimiento sobre la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas, en este caso un pastizal -el sistema ecológico 'flechillar'-, y por otro lado, dicho conocimiento es fundamental para la planificación de su uso racional.

El modelo de circulación de la materia vegetal aérea está representado en el lenguaje de energía de Odum. En el mismo se sintetizan las observaciones realizadas durante la temporada: *mayo de 1976 a mayo de 1977*. Los compartimientos vegetales identificados en el modelo corresponden a: *biomasa verde, materia vegetal seca en pié, semillas y hojarasca*. En dichos compartimientos se realizaron estimaciones de la biomasa presente en diferentes momentos del año, correspondiendo el valor del *tanque* al promedio anual, expresado en $g\ m^{-2}$. A partir de los valores de biomasa se realizaron estimaciones de la *Productividad, Mortalidad, Caída y Desaparición de Materia Vegetal*. Estos procesos se representan en el modelo como flujos entre compartimientos y se expresan en $g\ m^{-2}\ día^{-1}$.

Los procesos mencionados se suceden en el tiempo de la siguiente manera:

- durante la primavera el compartimiento verde incrementa su biomasa y se detecta un pico de productividad;
- hacia fines de primavera el material muere (aumenta la biomasa de material seco en pié por mortalidad);
- en verano se produce la caída del material seco en pié que pasa a formar parte de la hojarasca;
- en otoño se produce otro pico de productividad seguido por los procesos señalados.

Parte del material vegetal depositado sobre la superficie del suelo se incorpora posteriormente al mismo por el proceso de descomposición. La descomposición tiene como función principal la mineralización de elementos esenciales y la formación de la materia orgánica del suelo.

El objetivo de este trabajo práctico es la interpretación del modelo de un ecosistema de pastizal y la simulación de uno de sus subsistemas.

Desarrollo:

1. Lectura e interpretación del modelo general de un sistema natural.
2. Reconocer en el modelo y aislar el subsistema de la *Hojarasca*, identificar la variable de estado (Q_H) y los flujos de entrada (J_C) y de salida (J_D).
3. Calcular el valor de las constantes de *Caída* (k_c) y *Desaparición* (k_d).
4. Calcular el valor de Q_H estable (Q_{Hs}).
5. Realizar un diagrama de bloques.
6. Simular el comportamiento del subsistema de la *Hojarasca* hasta alcanzar el Q_{Hs} .
7. Discusión y conclusiones.

Bibliografía

- FRANGI, J.L., N.E. SÁNCHEZ, M.G. RONCO, G.S. ROVETTA & R.L. VICCARI. 1.980b. *Dinámica de la Biomasa y Productividad Primaria Aérea Neta de un Pastizal de "Flechillas" de Sierra de la Ventana (Buenos Aires, Argentina)*. **Boletín de la Sociedad Argentina de Botánica**, 19 (1-2): 203-228.-
- LUGO, A.E. & G.L. MORRIS. 1.982. *Los Sistemas Ecológicos y la Humanidad*. **Monografías de la OEA n°23**. Serie de Biología.-
- ODUM, H.T. 1.983. **System Ecology: an Introduction**. John Wiley & Sons.-

PATTEN, B.C. 1971. *A Primer for Ecological Modelling and Simulation with Analog and Digital Computers*. pp. 4-21, in **Systems Analysis and Simulation in Ecology**. Volume I, Academic Press, New York and London.