

Applet 14.2. Circulación de nutrientes en ecosistemas acuáticos

Introducción

Este **applet** permite realizar de forma rápida cálculos de circulación de nutrientes en ecosistemas acuáticos (columna de agua en un lago o en el océano). La columna se divide en dos partes, una de superior (zona fótica, donde tiene lugar la producción primaria, que, por comodidad, la equiparamos con el epilimnion) y una de inferior (zona afótica, donde tiene lugar la mineralización de nutrientes, pero no hay fotosíntesis; por comodidad la equiparamos con el hipolimnion). Estas dos capas de agua se pueden mezclar hasta una cierta profundidad, elegida por el usuario. Cuando se utilizan la mayoría de compartimentos y flujos que permite el modelo éste adquiere una complejidad considerable, por lo que su correcta utilización requiere un cierto tiempo de aprendizaje.

Se han considerado los siguientes 6 compartimentos y 10 flujos:

COMPARTIMENTOS

1. Nutrientes minerales disueltos (DIS) de la zona superior (o fótica, o epilimnion)
2. Fitoplancton (FITO) de la zona superior
3. Zooplancton (ZOO) de la zona superior
4. Nutrientes minerales disueltos (DIS) de la zona inferior (o afótica, o hipolimnion)
5. Material detrítico (DETR) de la zona inferior
6. Sedimento del lago (SEDIM)

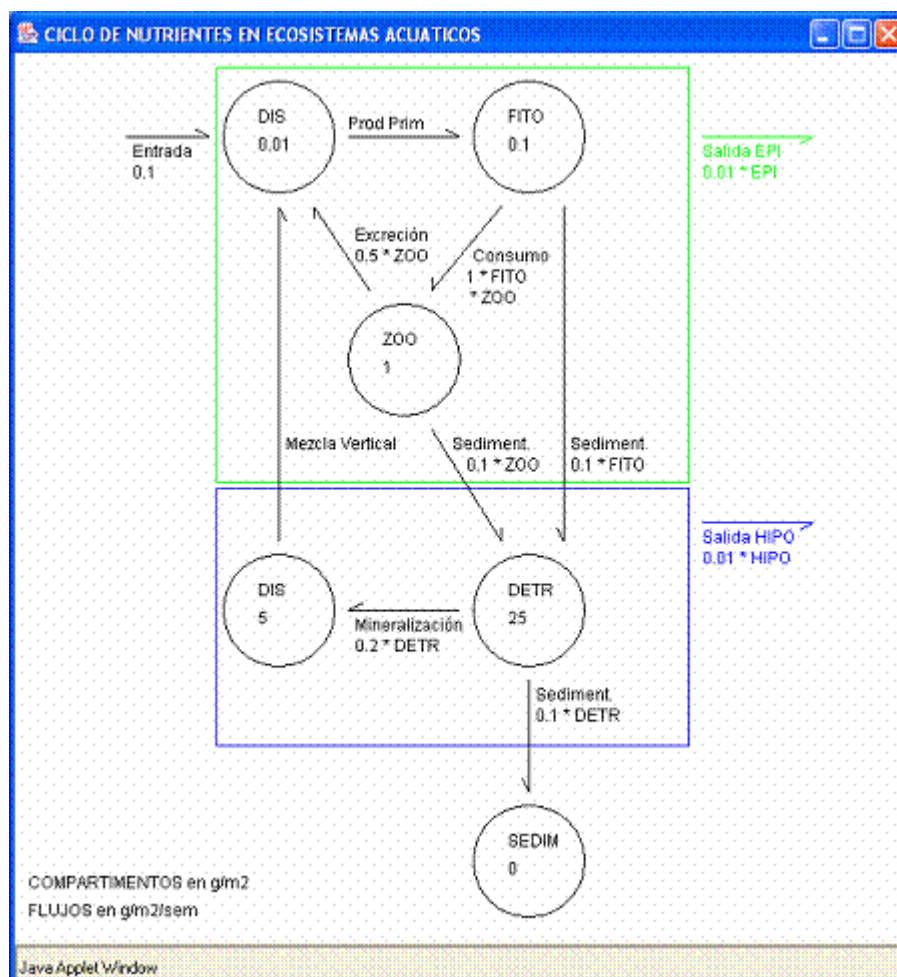
FLUJOS DENTRO DEL ECOSISTEMA

1. Absorción de nutrientes por el fitoplancton (producción primaria)
2. Consumo de fitoplancton por el zooplancton
3. Excreción de nutrientes minerales por el zooplancton
4. Sedimentación del fitoplancton y zooplancton de la zona superior a la inferior
5. Mineralización de material detrítico en la zona inferior del lago
6. Mezcla del agua de las zonas superior e inferior del lago

FLUJOS DE ENTRADA Y SALIDA DEL ECOSISTEMA

7. Entradas de nutrientes minerales en la zona superior (hidrológicas y atmosféricas)
8. Salidas hidrológicas de la parte superior del lago (afectan a DIS, FITO y ZOO)
9. Salidas hidrológicas de la parte inferior del lago (afectan a DIS y DETR)
10. Sedimentación de material detrítico de la zona inferior del lago al sedimento del mismo

El paso de tiempo del modelo es de una semana. Los compartimentos y flujos se relacionan de la forma que indica el siguiente diagrama, que se puede obtener en cada caso clicando el botón "Esquema" del **applet**.



Los flujos anteriores se calculan de la forma siguiente:

- Absorción.** Se calcula según una función tipo Michaelis-Menten dependiente de la concentración de nutrientes disponibles:

$$\text{Absorción} = \text{Producción primaria} = v_{\max} \cdot \frac{C}{C + K_m}$$

Donde v_{\max} es la máxima velocidad de crecimiento del fitoplancton, K_m es la concentración de nutriente para la que se alcanza la mitad de v_{\max} y C es la concentración de nutriente mineral.

- Consumo.** Se calcula como el producto de la cantidad de zooplancton por la de fitoplancton y por un coeficiente que elige el usuario ("Consumo"). Se trata, pues, de un proceso de segundo orden: hay más consumo si hay más consumidores pero también si hay más comida.
- Excreción.** Es una proporción de la cantidad de nutrientes en el zooplancton ("Excr. Zoo").
- Sedimentación** (de fitoplancton y zooplancton hacia la parte inferior del lago). Es una proporción que decide el usuario ("Sedim. EPI").
- Mineralización.** Es una proporción (que decide el usuario) de la cantidad de nutrientes que hay en el compartimento de material detrítico ("Mineral.").
- Mezcla.** Se mezclan las aguas de la parte superior e inferior del lago. La mezcla alcanza una profundidad que decide el usuario ("Prof. mezcla") y sólo afecta a los nutrientes disueltos. La mezcla se realiza cuando el usuario clicca el botón "Mezcla".
- Entradas** de nutrientes minerales a la parte superior del lago. Es una cantidad constante que decide el usuario ("Input").

8. **Salidas hidrológicas del epilimnion.** Es una proporción (que decide el usuario) de la cantidad de nutrientes en los compartimentos del epilimnion FITO, ZOO y DIS ("Out. EPI").
9. **Salidas hidrológicas del hipolimnion.** Es una proporción (que decide el usuario) de la cantidad de nutrientes en los compartimentos del hipolimnion DET y DIS ("Out. HIPO").
10. **Sedimentación** de material detrítico de la zona inferior del lago al sedimento del mismo. Es una proporción (que decide el usuario) de la cantidad de material detrítico ("Sedim. HIPO").

Applet

Si el **applet** se ha cargado correctamente se mostrará una imagen como la siguiente:

Comprobar	vMáx	0.1	mg/l/sem.	Km	0.01	mg/l	EPI dis.	0.1	mg/l
Esquema	Entrada	0	mg/m2/sem.	Prof. mezcla	100	m	EPI fito.	0	mg/l
Inicializar	Out EPI	0.1	1/sem.	Out HIPO	0.01	1/sem.	EPI zoo.	0.1	mg/l
1 semana	Consumo	0.5	L/(mg-sem.)	Mineral.	0.1	1/sem.	HIPO detr.	0.2	mg/l
1 mes	Sedim. EPI	0.1	1/sem.	Sedim. HIPO	0.1	1/sem.	HIPO dis.	0.2	mg/l
1/2 año	Excr. ZOO	0.1	1/sem.				EPI prof.	10	m
Mezcla							HIPO prof.	50	m

Funcionamiento del applet

1. Entrar los valores de los parámetros que controlan los flujos (cajas de texto centrales).
2. Entrar las concentraciones iniciales de nutrientes en todos los compartimentos (cajas de texto de la derecha).
3. Entrar la profundidad del epilimnion (parte superior, zona fótica) y del hipolimnion (parte inferior, zona afótica) (cajas de texto de la derecha).
4. Con el botón "Comprobar" averiguar si todos los parámetros introducidos se encuentran dentro de los rangos permitidos.
5. Con el botón "Esquema" se obtiene un diagrama de los flujos tal como los interpreta el programa. En el esquema siempre se proporcionan los contenidos iniciales de los compartimentos.
6. Inicializa el modelo con el botón "Inicializar".
7. El modelo se puede ejecutar por un periodo de una semana ("1 semana"), de cuatro semanas ("1 mes") o de 24 semanas ("1/2 año").
8. El botón "Mezcla" permite mezclar el agua del epilimnion con la del hipolimnion, hasta la profundidad indicada en la casilla "Prof. mezcla". Este botón se puede pulsar en cualquier momento de la simulación.

Se obtiene las siguientes salidas, numéricas y gráficas:

- En la parte superior izquierda se dan los contenidos y concentraciones de nutrientes en los distintos compartimentos. También se da la producción acumulada (en unidades de nutriente) desde el inicio de la simulación y la cantidad de nutriente que ha ascendido del hipolimnion al epilimnion en los episodios de mezcla. La diferencia entre estos dos valores da la cantidad de producción debida al reciclaje de nutrientes en el epilimnion.
- En la parte inferior izquierda se dan los principales flujos en la última semana simulada (240, en el ejemplo).
- En la parte superior derecha se muestra gráficamente el reparto de nutrientes entre los distintos compartimentos.
- En la parte central derecha se muestran gráficamente las entradas y salidas hidrológicas de nutrientes y la sedimentación al fondo del lago. También se da el balance de nutrientes (= entradas – salidas – sedimentación).
- En la parte inferior derecha se muestran gráficamente los tres flujos de nutrientes del epilimnion:

absorción, consumo y excreción. En el ejemplo que se adjunta se observan unos aumentos en estos flujos que coinciden con periodos de mezcla, en los cuales se inyectan nutrientes minerales a la zona iluminada del lago.

