

Applet 13.1. Modelo de dinámica del fitoplancton de Margalef

Introducción

Este **applet** permite realizar de forma cómoda los complejos cálculos del modelo matricial de dinámica del fitoplancton de Margalef (1983). Este modelo incluye tres factores decisivos en la dinámica del fitoplancton y, por ende, en la producción primaria de los sistemas acuáticos: (1) **Sedimentación**. Las células del fitoplancton son partículas y como tales están afectadas por la ley de la gravedad: inexorablemente sedimentan a una cierta velocidad. (2) **Turbulencia**. La turbulencia mezcla los distintos estratos con lo que se homogeniza la columna de agua. La turbulencia transporta velozmente agua, solutos y células de un estrato a otro, de forma que lo que antes estaba iluminado ahora puede estar a oscuras y viceversa. (3) **Reproducción**. Las células del plancton se reproducen a una cierta tasa que depende, principalmente, de la disponibilidad de nutrientes y de la radiación.

El modelo simula una columna de agua en un lago (u océano) de hasta 100 m de profundidad. Para un correcto tratamiento con matrices la columna de agua se discretiza de metro en metro. El **applet** permite avanzar el modelo de hora en hora o de día en día, aunque los cálculos se realizan cada hora.

Applet

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

|              |       |           |   |   |             |      |               |
|--------------|-------|-----------|---|---|-------------|------|---------------|
| Cons. Chl    | 0.996 |           | Comprobar                                     | Inicializar                                 | Vel. sedim. | 0.5  | cm/h          |
| PO4 lago     | 1     | g PO4/m2  | 1 hora  | 1 día                                       | Turbulencia | 5    |               |
| [Chl]        | 100   | mg Chl/m2 | <input type="radio"/> P en profundidad        | <input checked="" type="radio"/> P uniforme | pmax        | 0.5  | g C/g Chl/h   |
| Prof. lago   | 50    | m         | <input checked="" type="radio"/> Chl Uniforme | <input type="radio"/> Máximo Chl            | Km rad.     | 25   | micromol/m2/s |
| Prof. mezcla | 10    | m         |   |   | Km P        | 0.1  | mg PO4/l      |
|              |       |           |   |   | Rad. máx.   | 1000 | micromol/m2/s |

El significado de los parámetros del modelo es el siguiente (para más detalles consultar el apartado 13.2 del libro):

- “Cons. Chl”. Proporción de la cantidad de clorofila que se conserva de una hora a la siguiente; uno menos este parámetro representa la cantidad de fitoplancton que se pierde por mortalidad o consumo del zooplancton.
- “PO<sub>4</sub> lago”. Cantidad total de fósforo en el lago (en g PO<sub>4</sub>·m<sup>-2</sup>). Aunque el applet siempre habla de P, si en el lago que se desea simular el nutriente limitante es otro, el usuario puede imaginar que donde dice P se refiera al otro nutriente. Este P puede repartirse de dos formas: (1) uniformemente en la columna de agua, o (2) con un incremento lineal de la concentración con la profundidad del lago.
- “[Chl]”. Cantidad inicial de clorofila en el lago (en mg Chl·m<sup>-2</sup>). Ésta puede repartirse inicialmente de dos formas: (1) uniformemente en la columna de agua, o (2) concentrada a una cierta profundidad (seleccionable).
- “Prof. lago”: Profundidad del lago (en m).
- “Prof. mezcla”. Profundidad que alcanza la mezcla de agua por turbulencia (en m). El agua que se encuentra por debajo de esta profundidad permanece totalmente estática.
- “Vel. sedim.”. Velocidad de sedimentación del fitoplancton (en cm·h<sup>-1</sup>). Este valor se utiliza para parametrizar una matriz de sedimentación.

- "Turbulencia". Parámetro sin unidades que refleja el grado de turbulencia del agua (sólo de la parte entre la superficie del lago y la profundidad de mezcla). Varía entre 0 (no hay turbulencia) y un valor máximo de 25.
- "pmax". Velocidad máxima de crecimiento del fitoplancton (en g C·g Chl<sup>-1</sup>·h<sup>-1</sup>). El crecimiento del plancton se simula con una función tipo Michaelis-Menten de tres parámetros, una **p<sub>máx</sub>** y dos **K<sub>m</sub>** (una para la radiación **S** y una para el fósforo P). La producción primaria neta del fitoplancton (**p**) se calcula como

$$p = p_{\max} \cdot \frac{S}{S + K_{m_S}} \cdot \frac{P}{P + K_{m_P}}$$

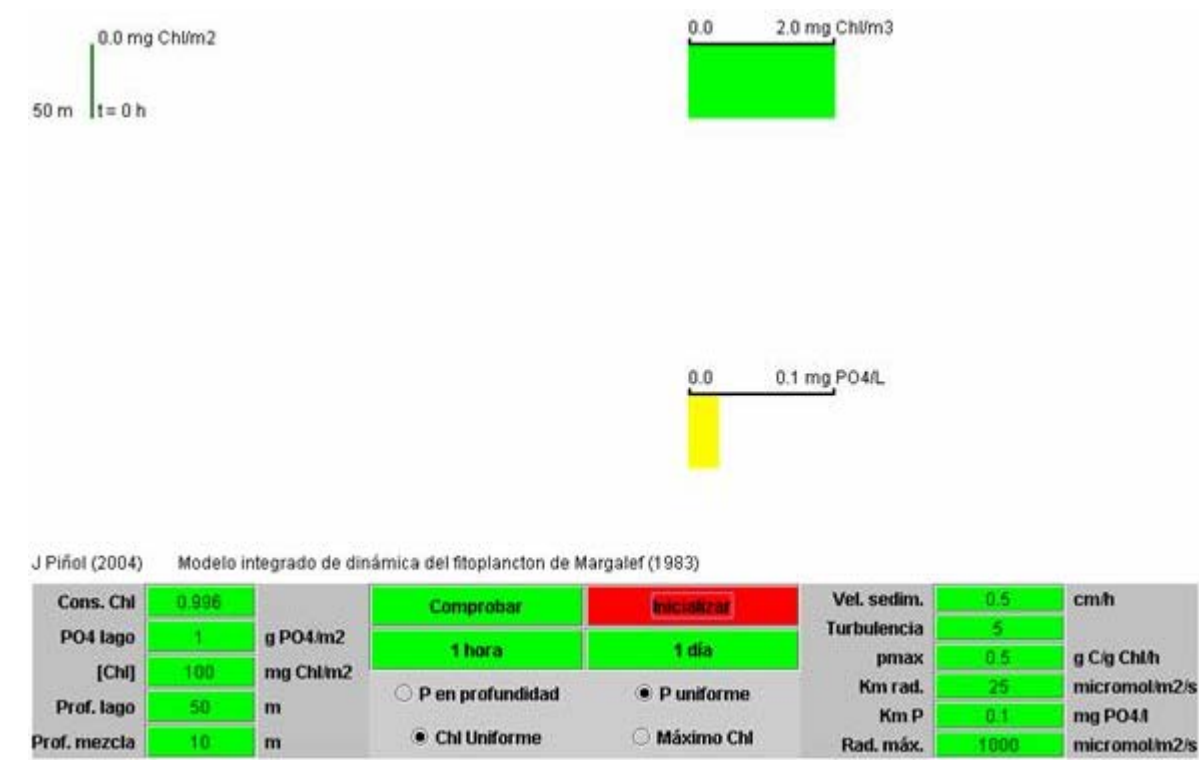
- "Km rad.". Radiación a la que el fitoplancton crece a una tasa igual a ½ de **p<sub>máx</sub>** (**K<sub>m<sub>S</sub></sub>** de la expresión anterior) (en mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>).
- "Km P". Cantidad de P a la que el fitoplancton crece a una tasa igual a ½ de **p<sub>máx</sub>** (**K<sub>m<sub>P</sub></sub>** de la expresión anterior) (en mg P·l<sup>-1</sup>).
- "Rad. máx". Radiación que llega a la superficie del lago (en mmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>). Esta radiación se va extinguiendo dentro del lago según la ley de Beer-Lambert de parámetro **m<sub>S</sub>**, el cual se calcula de la forma siguiente:

$$\mu_S = 0.03 + 0.015 \cdot [\text{Chl}]$$

El cálculo se hace de forma iterativa de arriba hacia abajo. Con la [Chl] del primer metro y la radiación en la superficie se calcula la radiación a 1 m de profundidad. Luego, con la [Chl] del segundo metro del lago y la radiación que llega a 1 m se calcula la radiación que llega a 2 m, y así sucesivamente hasta el fondo del lago.

### Funcionamiento del *applet*

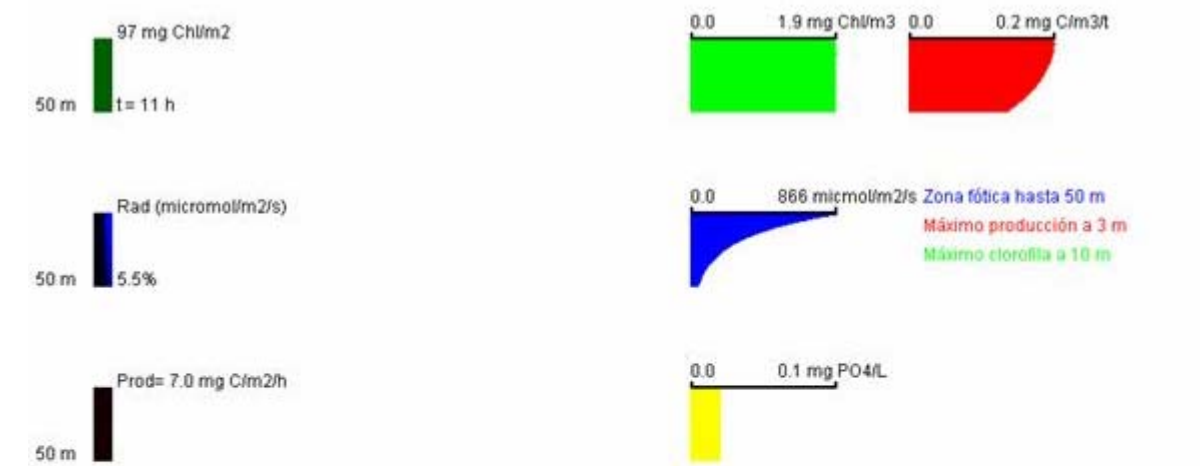
1. Entrar el valor de los parámetros.
2. Seleccionar la distribución en profundidad del P y de la clorofila.
3. Con el botón "Comprobar" averiguar si todos los parámetros introducidos se encuentran dentro de los rangos permitidos.
4. Clicar el botón "Inicializar". Al hacerlo se inicia una simulación con los parámetros seleccionados y se obtiene una imagen como la siguiente. A la derecha se muestra la distribución vertical de clorofila (uniforme en este caso) y de P (también uniforme en este caso).



5. El modelo se puede avanzar de hora en hora con el botón “1 hora”. La siguiente pantalla muestra el resultado de haber clicado 11 veces este botón. A la izquierda del panel de salida se muestra, de arriba abajo, lo siguiente:
- Distribución de la clorofila ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) en los 50 m de profundidad del lago a lo largo del tiempo. El color verde indica una [Chl] elevada y el color negro baja. Se da el valor numérico de la cantidad de clorofila total el lago (en  $\text{mg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) y el tiempo desde el inicio de la simulación en horas.
  - Radiación que llega a cada profundidad del lago a lo largo del tiempo. El color azul indica una radiación elevada y el color negro baja. Obsérvese que la radiación sigue un ciclo día-noche. Se proporciona el valor numérico del porcentaje de radiación que llega al fondo del lago.
  - Distribución en profundidad de la producción primaria neta del fitoplancton a lo largo del tiempo. En color rojo se indican producciones elevadas y en color negro bajas.
6. A la derecha del panel de salida se muestra, de arriba abajo, lo siguiente:
- Perfil vertical de la concentración de clorofila (verde) y de la producción primaria neta (rojo).
  - Perfil vertical de radiación. Se indica la radiación que llega a la superficie, la profundidad de la zona fótica (allí donde llega el 1% de la radiación de la superficie) y las profundidades a las que se

encuentran los máximos de clorofila y de producción primaria.

- Perfil vertical de la concentración de P. Este perfil no varía temporalmente puesto que en el modelo el P no es consumido.

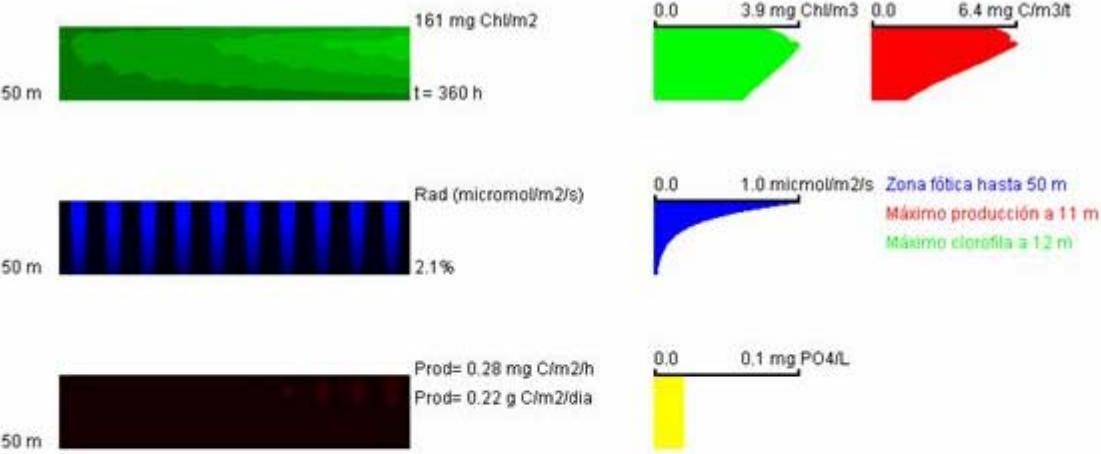


J Piñol (2004)      Modelo integrado de dinámica del fitoplancton de Margalef (1983)

|              |       |           |   |   |             |      |               |
|--------------|-------|-----------|---|---|-------------|------|---------------|
| Cons. Chl    | 0.996 |           | Comprobar                                     | Inicializar                                 | Vel. sedim. | 0.5  | cm/h          |
| PO4 lago     | 1     | g PO4/m2  | 1 hora  | 1 día                                       | Turbulencia | 5    |               |
| [Chl]        | 100   | mg Chl/m2 |   |   | pmax        | 0.5  | g C/g Chl/h   |
| Prof. lago   | 50    | m         | <input type="radio"/> P en profundidad        | <input checked="" type="radio"/> P uniforme | Km rad.     | 25   | micromol/m2/s |
| Prof. mezcla | 10    | m         | <input checked="" type="radio"/> Chl Uniforme | <input type="radio"/> Máximo Chl            | Km P        | 0.1  | mg PO4/l      |
|              |       |           |   |   | Rad. máx.   | 1000 | micromol/m2/s |

7. El modelo se puede hacer avanzar también por un periodo de 24 horas con el botón “1 día”. A continuación se muestra un ejemplo de una simulación de 15 días. Además de los resultados ya comentados que proporciona el **applet**, en este caso también se da la producción primaria neta en la última hora y en el último día. Cuando la zona fótica no alcanza el fondo del lago se indica su profundidad con una línea horizontal negra en los paneles de la derecha (clorofila, producción y P).

13.1. Modelo de dinámica del fitoplancton de Margalef



J Piñol (2004) Modelo integrado de dinámica del fitoplancton de Margalef (1983)

|                      |       |  |  |             |             |      |                            |
|----------------------|-------|--|--|-------------|-------------|------|----------------------------|
| Cons. Chl            | 0.999 | g PO <sub>4</sub> /m <sup>2</sup><br>mg Chl/m <sup>2</sup><br>m<br>m | Comprobar  | Inicializar | Vel. sedim. | 0.5  | cm/h                       |
| PO <sub>4</sub> lago | 1     |  | 1 hora   | 1 día       | Turbulencia | 2    |                            |
| [Chl]                | 100   |  | <input type="radio"/> P en profundidad <input checked="" type="radio"/> P uniforme |             | pmax        | 1    | g C/g Chl/h                |
| Prof. lago           | 50    |  | <input checked="" type="radio"/> Chl Uniforme <input type="radio"/> Máximo Chl     |             | Km rad.     | 25   | micromol/m <sup>2</sup> /s |
| Prof. mezcla         | 10    |  |  |             | Km P        | 0.1  | mg PO <sub>4</sub> /L      |
|                      |       |  |  |             | Rad. máx.   | 1000 | micromol/m <sup>2</sup> /s |