

LAGOS Y RESERVORIOS

- **Eutroficación**
- **Relaciones empíricas**
- **Modelos de balance de nutrientes**
- **Modelos de fósforo-fitoplancton**
- **Modelos de eutroficación**
- **Dimensionalidad**

LAGOS Y RESERVORIOS

- **Eutroficación**
- Relaciones empíricas
- Modelos de balance de nutrientes
- Modelos de fósforo-fitoplancton
- Modelos de eutroficación
- Dimensionalidad

EUTROFICACIÓN

- **Eutrófico = Rico en nutrientes**
- **Aporte antropogénico excesivo**
- **Observado como florecimiento algal**
- **Disminución de OD**
- **Aporte de nutrientes limitantes (P, N)**

ESTADO TRÓFICO

Estado trófico	Oligotrófico	Mesotrófico	Eutrófico
Nivel general de producción	Bajo	Medio	Alto
Biomasa	Baja	Media	Alta
Fracciones de algas verdes ó azulverdosas	Bajas	Variables	Altas
Contenido de oxígeno hipolimnético	Alto	Variable	Bajo
Deficiencias de uso multipropósito	Pocas	Variable	Muchas

LAGOS Y RESERVORIOS

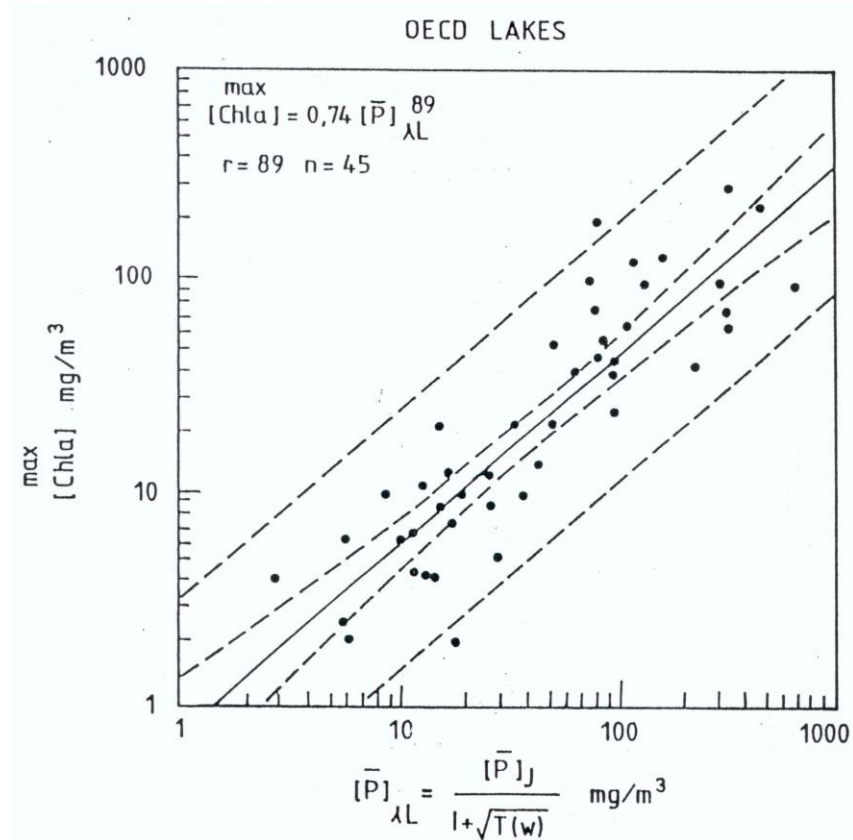
- Eutroficación
- Relaciones empíricas
- Modelos de balance de nutrientes
- Modelos de fósforo-fitoplancton
- Modelos de eutroficación
- Dimensionalidad

RELACIONES EMPÍRICAS

Vollenweider

$$Chl = 0,37 X^{0,79}$$

$$Chl_{max} = 0,74 X^{0,89}$$



Chl, Chl_{max} :
 $X = P / (1 + t_w^{0,5})$:

P :

t_w :

concentraciones media y máxima clorofila-a ago [mg/m^3]

concentración media corregida del aporte de fósforo

conc. media anual aporte total de fósforo [mg/m^3]

tiempo de residencia medio del agua en el lago [$años$]

RELACIONES EMPÍRICAS

Criterio de estado trófico en base a concentración de equilibrio de clorofila-a, [Cl-a], para lagos templados:

- $[Cl-a] < 2,7 \mu g/l$: oligotrófico
- $2,7 < [Cl-a] < 9 \mu g/l$: mesotrófico
- $[Cl-a] > 9 \mu g/l$: eutrófico

LAGOS Y RESERVORIOS

- Eutroficación
- Relaciones empíricas
- Modelos de balance de nutrientes
- Modelos de fósforo-fitoplancton
- Modelos de eutroficación
- Dimensionalidad

MODELOS DE BALANCE DE NUTRIENTES

- Modelo cerodimensional (modelo de lago-reactor)

$$\frac{dP}{dt} = \frac{1}{V} (L_e - Q_s P) - \kappa P$$

P : P : concentración de fósforo total en el lago [ML^{-3}]

L_e : carga de fósforo aportada al lago [MT^{-1}]

Q_s : caudal de salida del lago [$\text{L}^3 \text{T}^{-1}$]

$$\kappa = \frac{S}{H}$$

S : tasa de sedimentación [LT^{-1}]

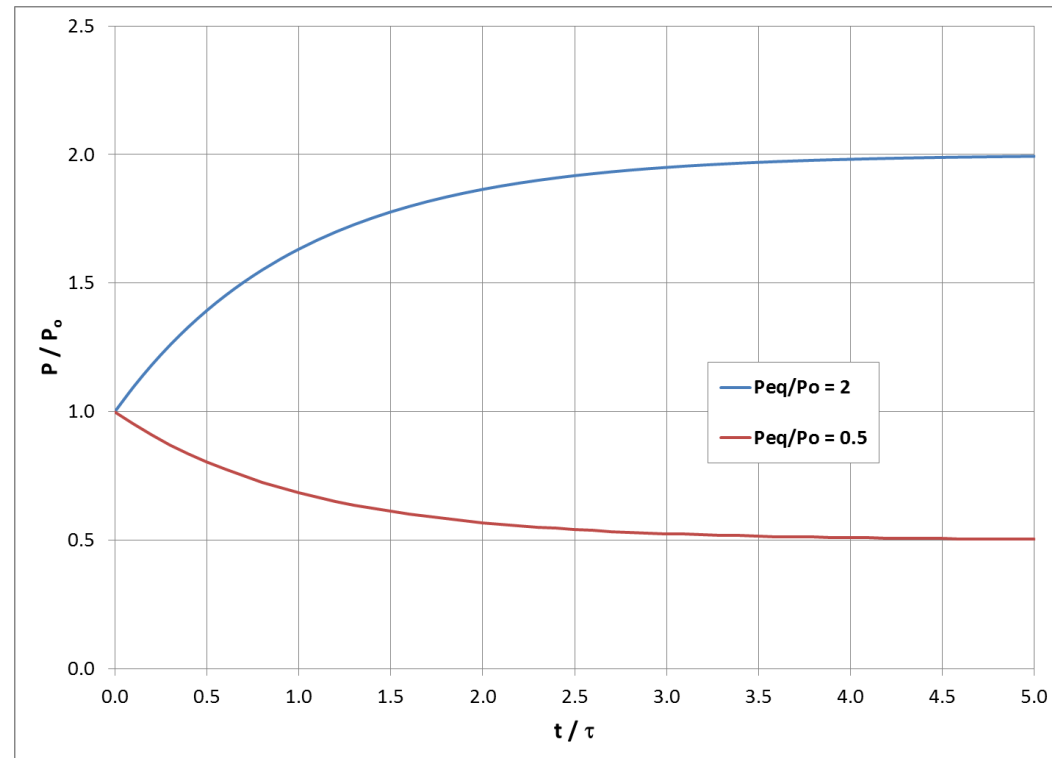
H : profundidad media

MODELO DE LAGO-REACTOR

$$P(t) = P_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{L_e \tau}{V} \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad P(0) = P_0 \quad \tau = \frac{V}{Q_s + \kappa V}$$

Concentración de equilibrio:

$$P_{eq} = \frac{L_e \tau}{V} = \frac{L_e}{Q_s + \kappa V}$$



COMPLEJIZACIÓN DEL MODELO DE LAGO REACTOR

- Adición de carga interna desde los sedimentos (desorción)
- Consideración de estratificación térmica
- Distinción entre forma particulada y disuelta de fósforo
- Consideración del proceso de transporte entre el epilimnio y el hipolimnio a través de la termoclina
- Inclusión de interacciones entre el agua y los sedimentos (“enterramiento permanente” de una fracción del fósforo depositado)

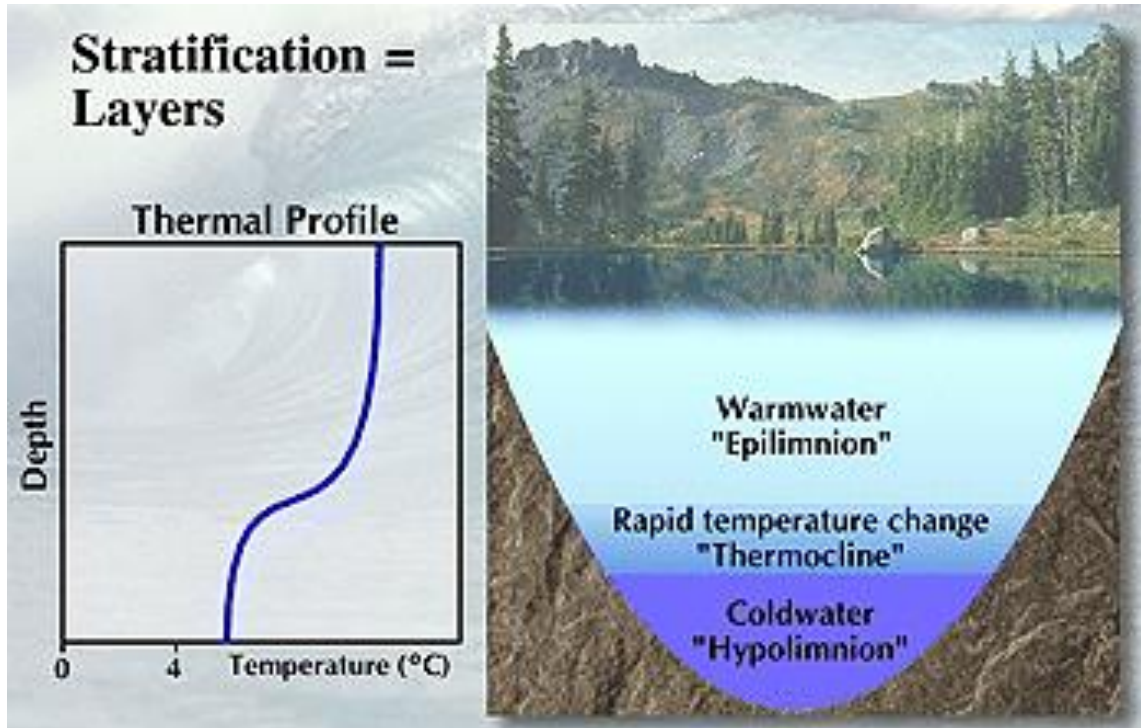
MODELO UNIDIMENSIONAL

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial z} \left(AK_v \frac{\partial T}{\partial z} \right) + \frac{h}{\rho C_p}$$

$$K_v = \frac{K_{vo}}{(1 - 0,1 Ri)^{1/2}}$$

$$Ri = \frac{N^2}{\left| \frac{\partial U}{\partial z} \right|^2}$$

$$N = \sqrt{-\frac{g}{\rho_o} \frac{\partial \rho}{\partial z}}$$



LAGOS Y RESERVORIOS

- Eutroficación
- Relaciones empíricas
- Modelos de balance de nutrientes
- Modelos de fósforo-fitoplancton
- Modelos de eutroficación
- Dimensionalidad

MODELOS DE FÓSFORO-FITOPLANCTON

- Modelo cerodimensional (modelo de lago-reactor)

$$\frac{dPP}{dt} = \frac{1}{V} (L_p - Q_s PP) + \kappa_c PP - \kappa_d PP$$

PP : concentración de fitoplancton en el lago [ML^{-3}]

L_p : carga de fitoplancton aportado al lago [ML^{-3}]

κ_c : tasa de crecimiento del fitoplancton [T^{-1}]

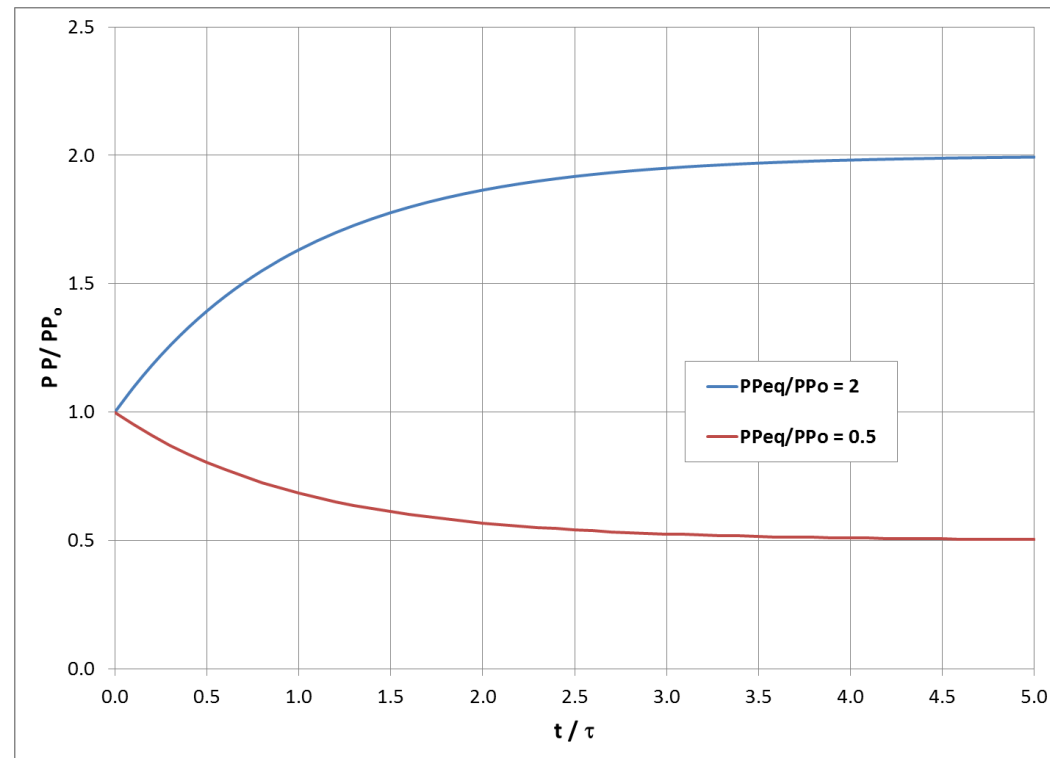
κ_d : tasa de decaimiento del fitoplancton [T^{-1}]

MODELO DE LAGO-REACTOR

$$PP(t) = PP_0 e^{-\frac{t}{\tau}} + \frac{L_P}{Q_s + V(\kappa_d - \kappa_c)} [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}] \quad PP(0) = PP_0 \quad \tau = \frac{V}{Q_s + (\kappa_d - \kappa_c)V}$$

Concentración de equilibrio:

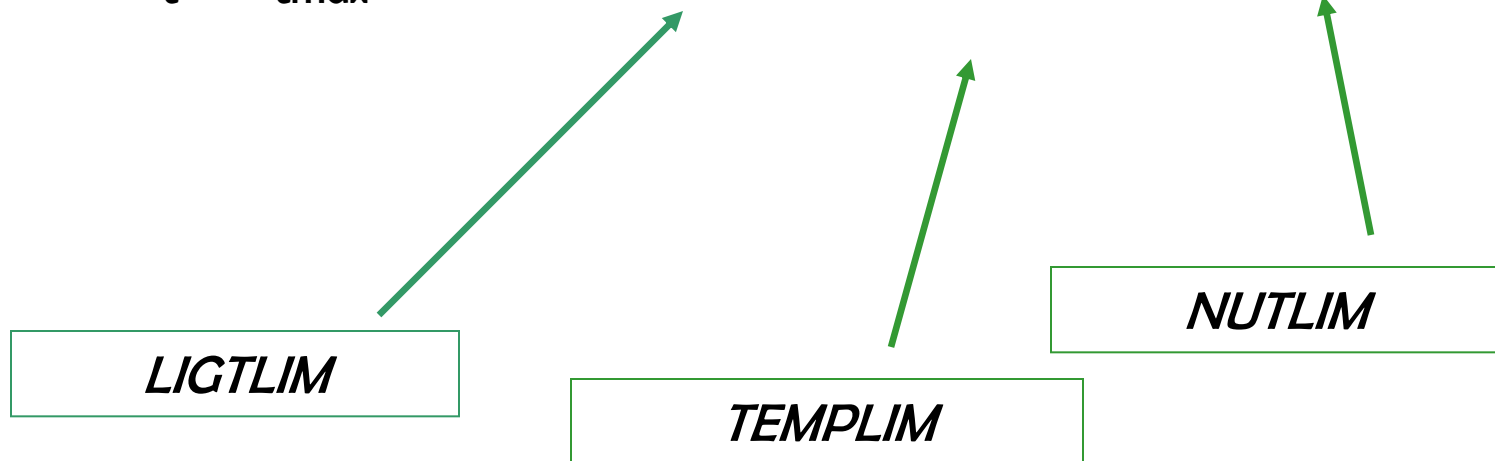
$$PP_{eq} = \frac{L_P}{Q_s + V(\kappa_d - \kappa_c)}$$



DINÁMICA DE CRECIMIENTO DEL FITOPLANCTON

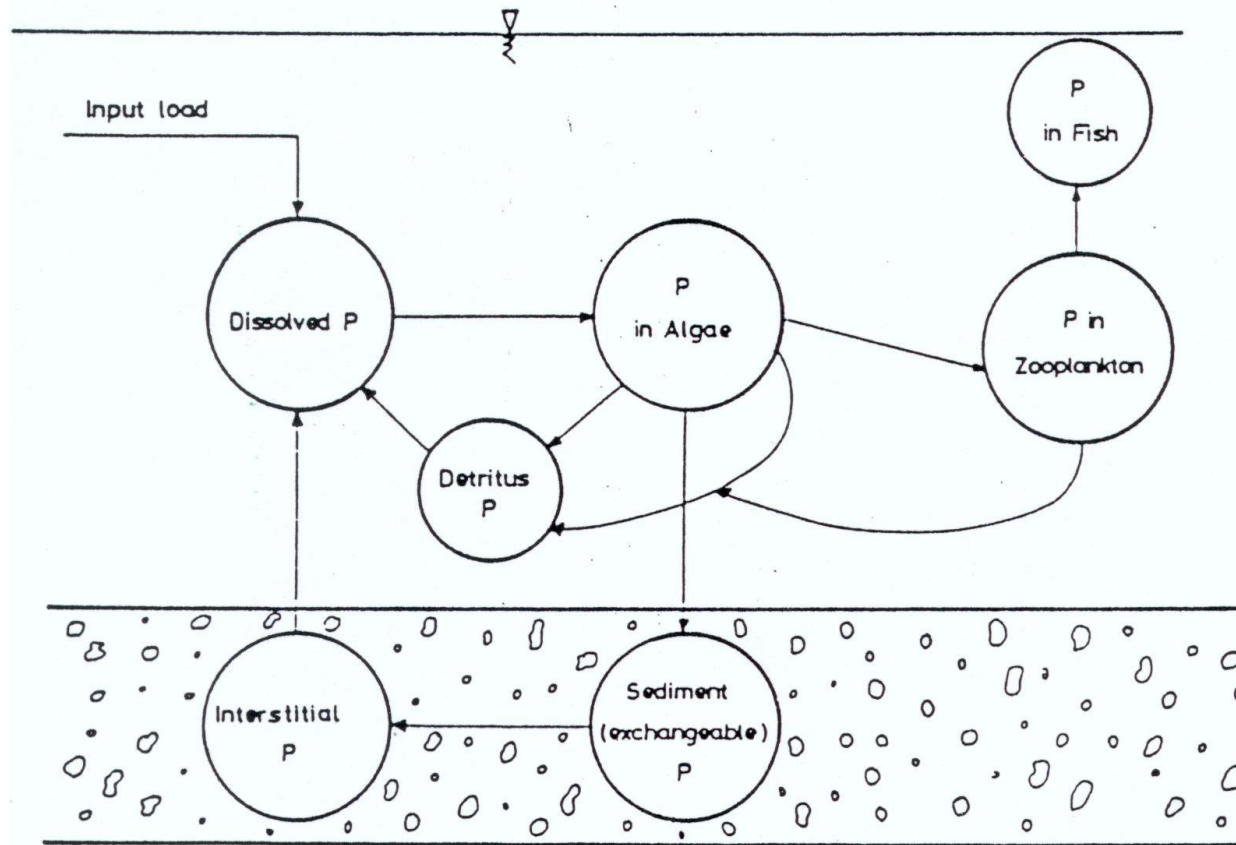
Tasa de crecimiento:

$$\kappa_c = \kappa_{\max} \text{SUMLIM (luz, temperatura, nutrientes)}$$



MODELOS MULTICOMPONENTES

Modelo de Jorgensen:



LAGOS Y RESERVORIOS

- Eutroficación
- Relaciones empíricas
- Modelos de balance de nutrientes
- Modelos de fósforo-fitoplancton
- Modelos de eutroficación
- Dimensionalidad

BALANCE DE OXIGENO (MODELO OD-DBO)

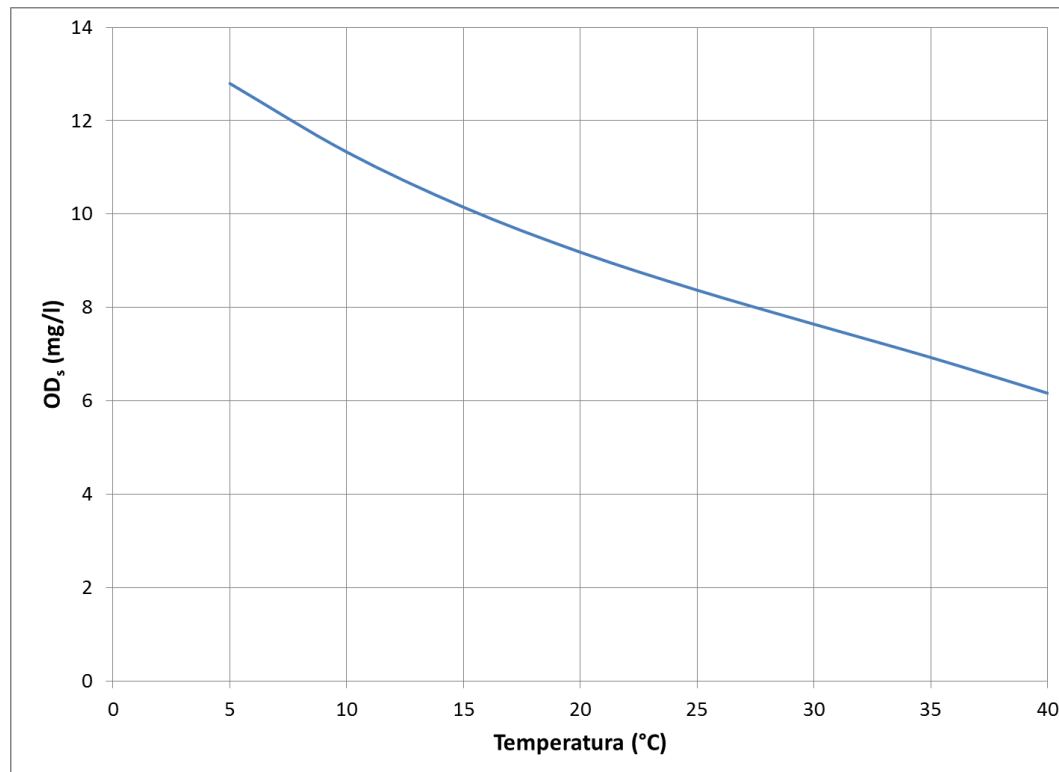
$$\frac{dDO}{dt} = -\kappa_a DO + \kappa_d DBO$$

$$\frac{dDBO}{dt} = -\kappa_d DBO$$

$$DO = OD_s - OD$$

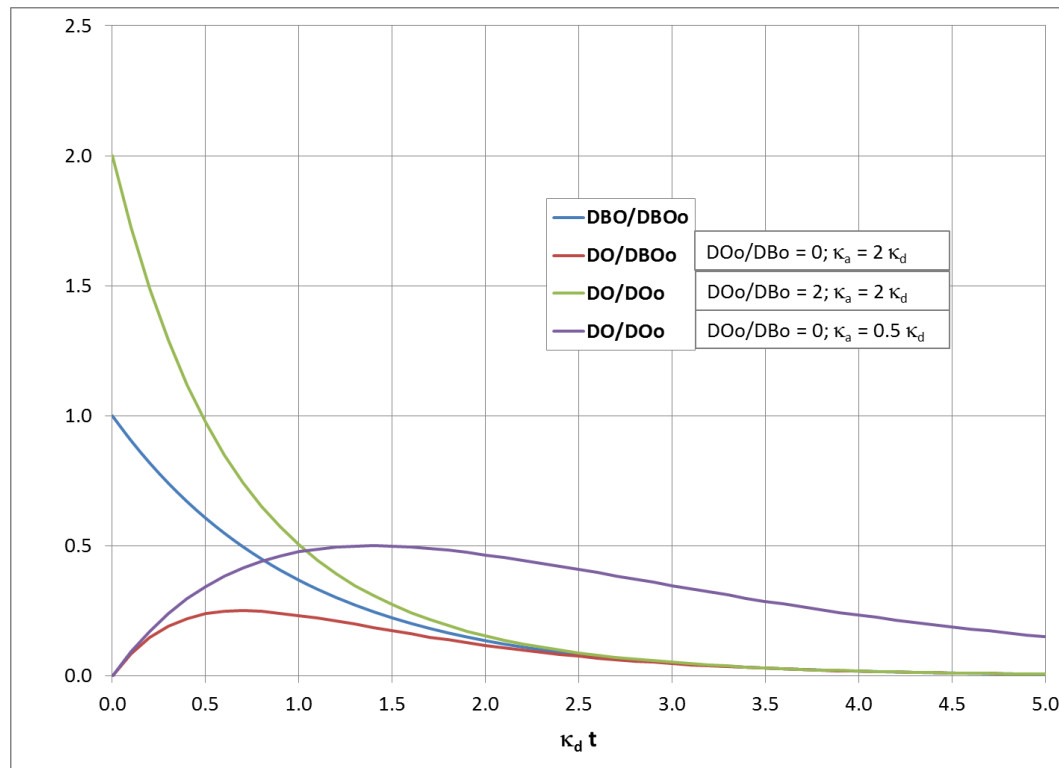
CONCENTRACION DE SATURACION DE OXIGENO DISUELTO

$$OD_s = 14,61996 - 0,40420 T + 0,00842 T^2 - 0,00009 T^3$$

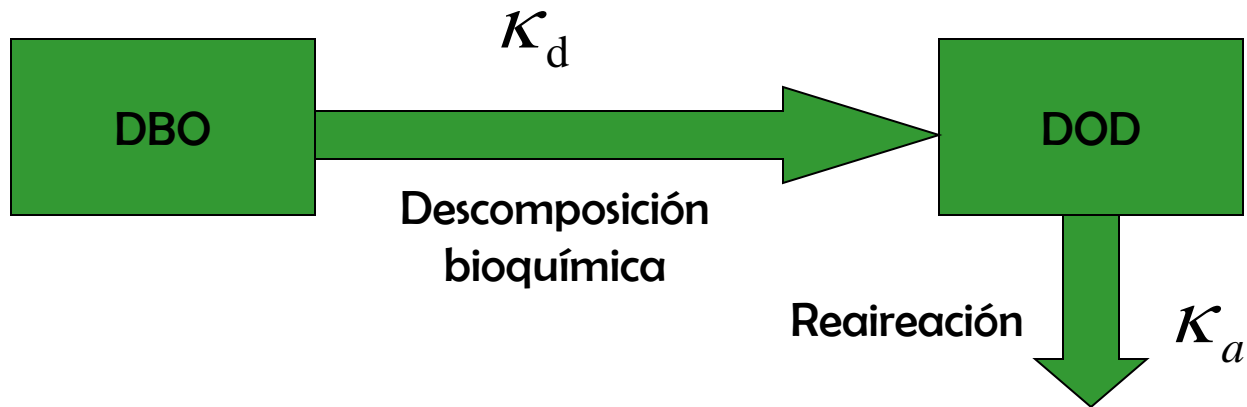


BALANCE DE OXIGENO (MODELO OD-DBO)

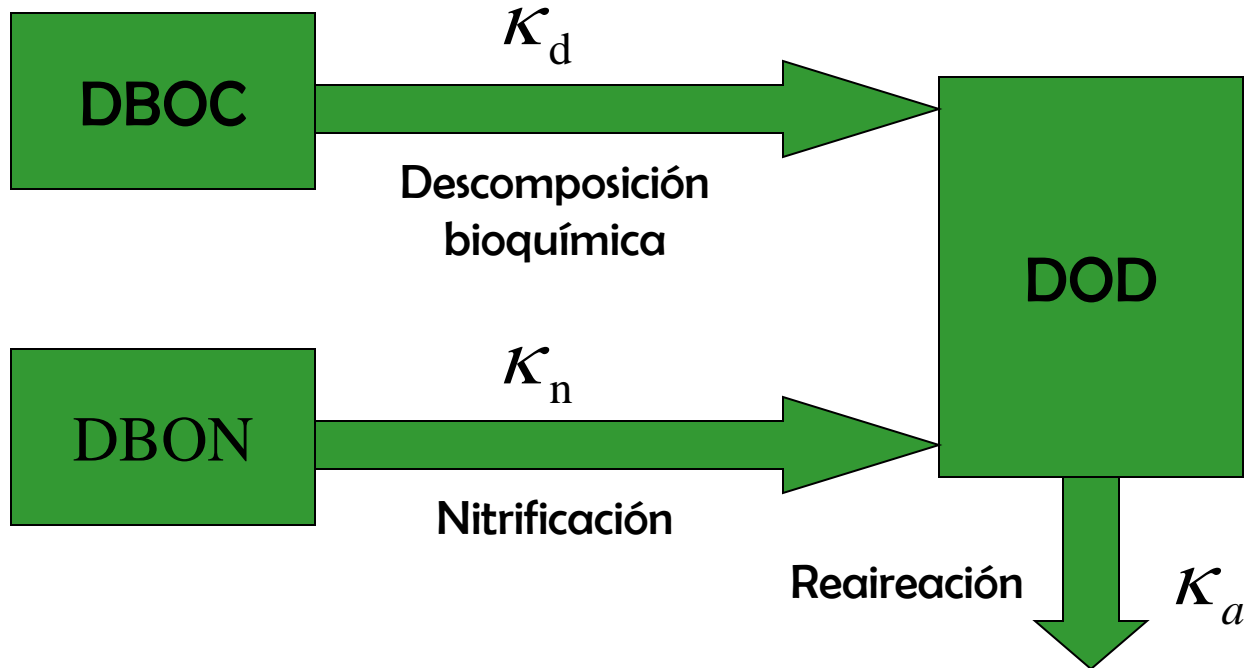
$$DBO = DBO_0 e^{-\kappa_d t} \quad DO = \frac{\kappa_d}{\kappa_a - \kappa_d} DBO_0 \left(e^{-\kappa_d t} - e^{-\kappa_a t} \right) + DO_0 e^{-\kappa_a t}$$



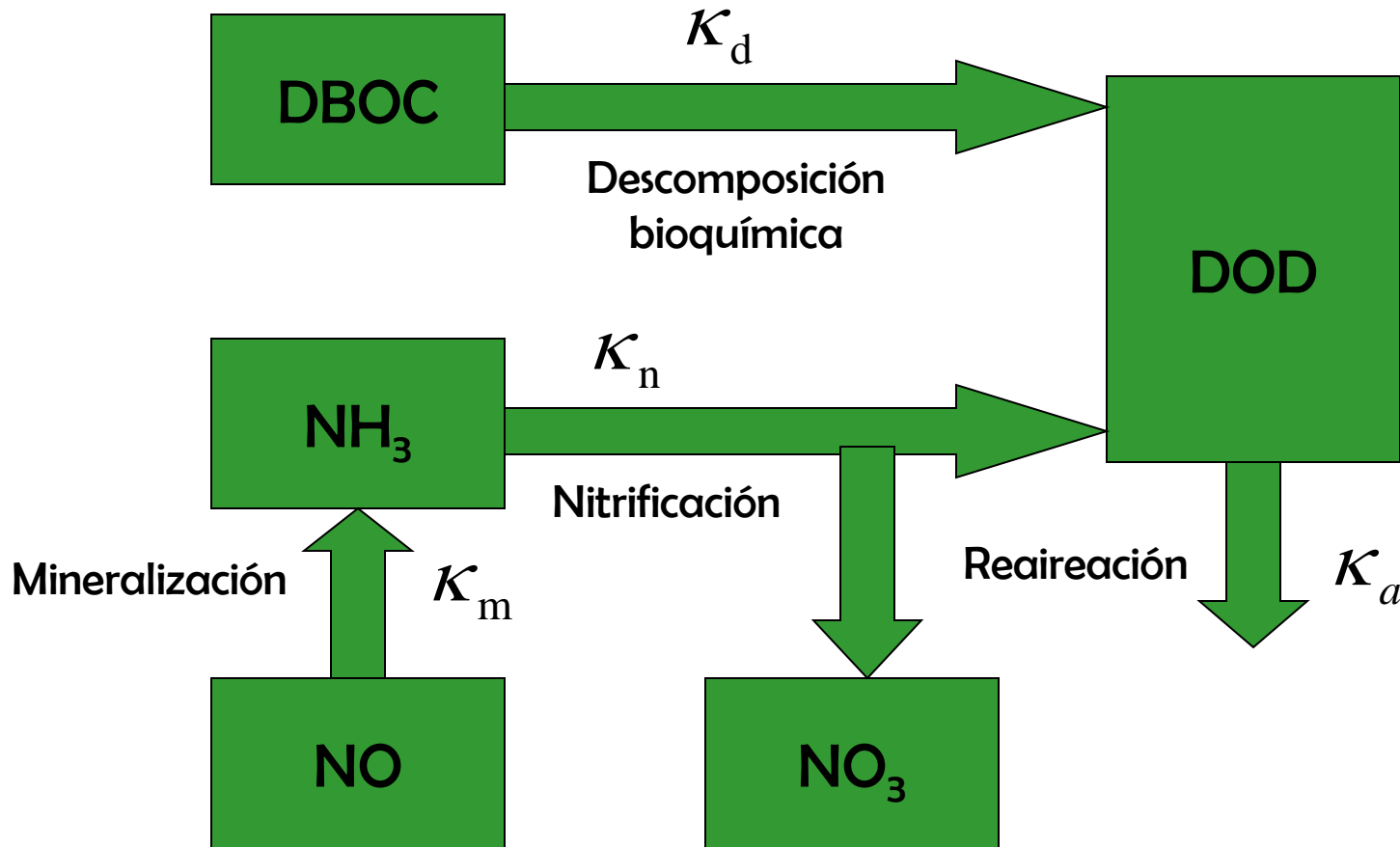
MODELO DE OD-DBO



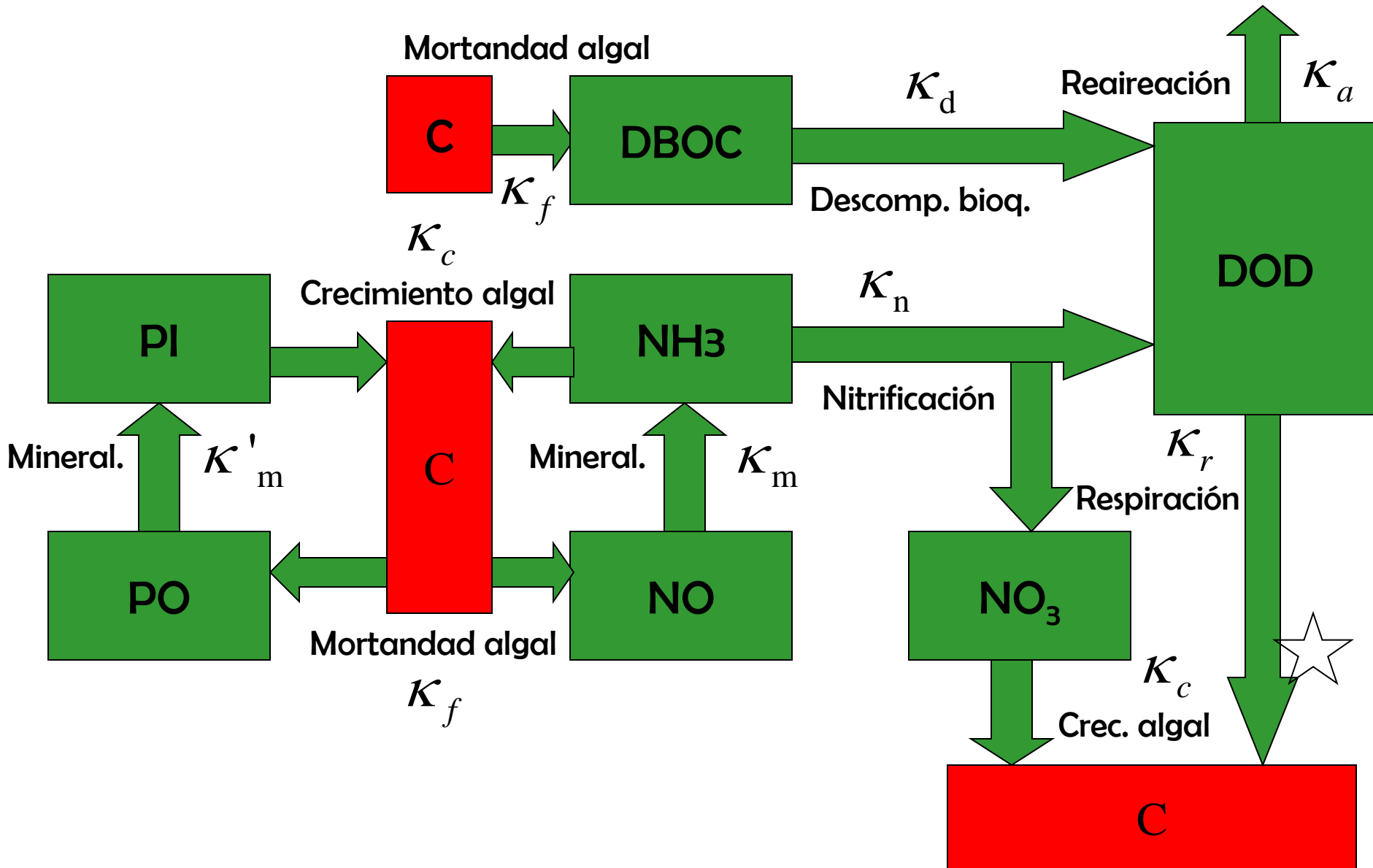
DISCRIMINACION DE DBO



DISCRIMINACION CICLO NITROGENO



CINETICA DE EUTROFICACION



LAGOS Y RESERVORIOS

- Eutroficación
- Relaciones empíricas
- Modelos de balance de nutrientes
- Modelos de fósforo-fitoplancton
- Modelos de eutroficación
- Dimensionalidad

DIMENSIONALIDAD

Dimensión espacial	Descripción
0-D	Reactor completamente mezclado
1-D	Vertical ó longitudinal
2-D	Plano vertical ó plano horizontal (una capa)
3-D	Completamente 3D ó multicapa o Eckman