

**Curso: LOS IMPULSORES DEL CAMBIO EN OCÉANOS
Y COSTAS**

La maquinaria de la biosfera.

**El *Sistema* Biogeoquímico Global: Ciclos del
C,N,P**

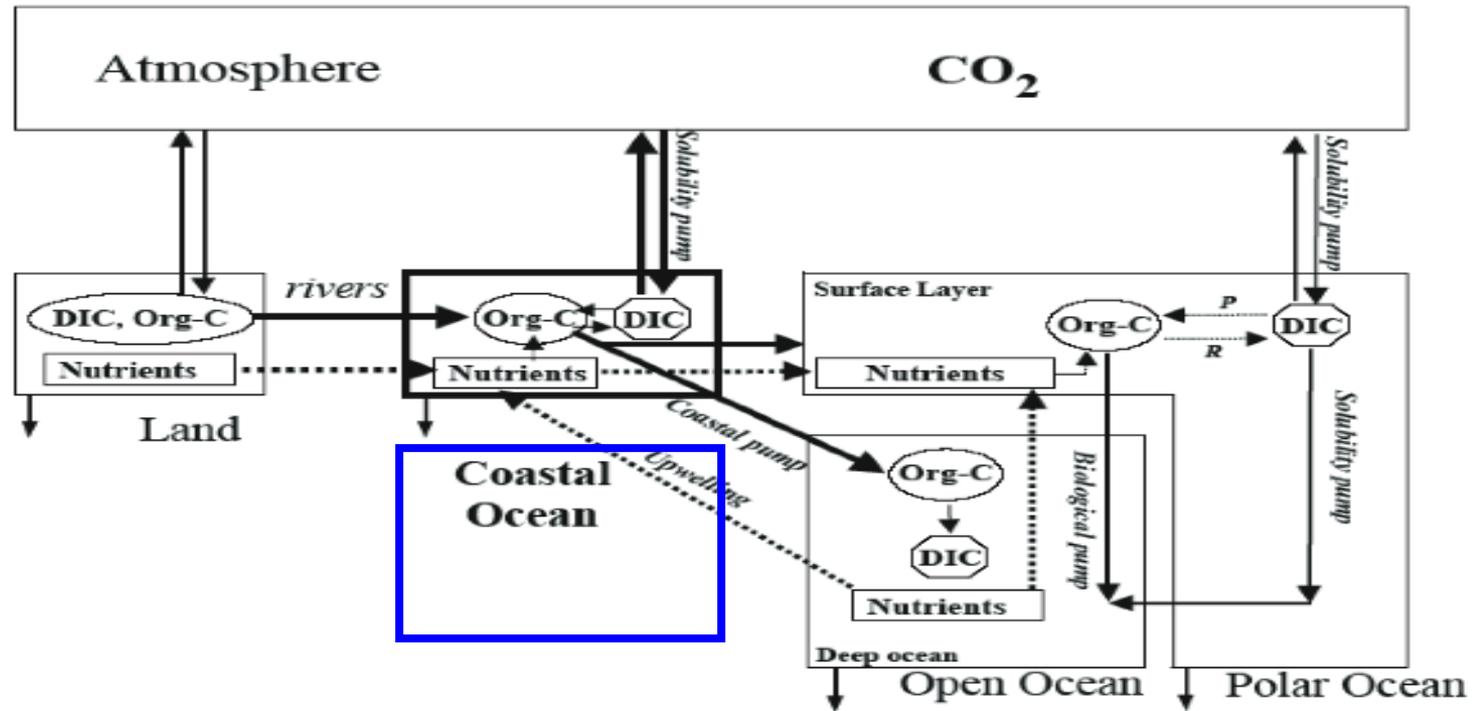
El N y sus interrelaciones con el C Global y en el Océano

Prof Adj de Ciencias Ambientales

Gustavo J Nagy

29/04/2020

El Ciclo Costero del Carbono y Nutrientes asociados (N,P) de importancia global

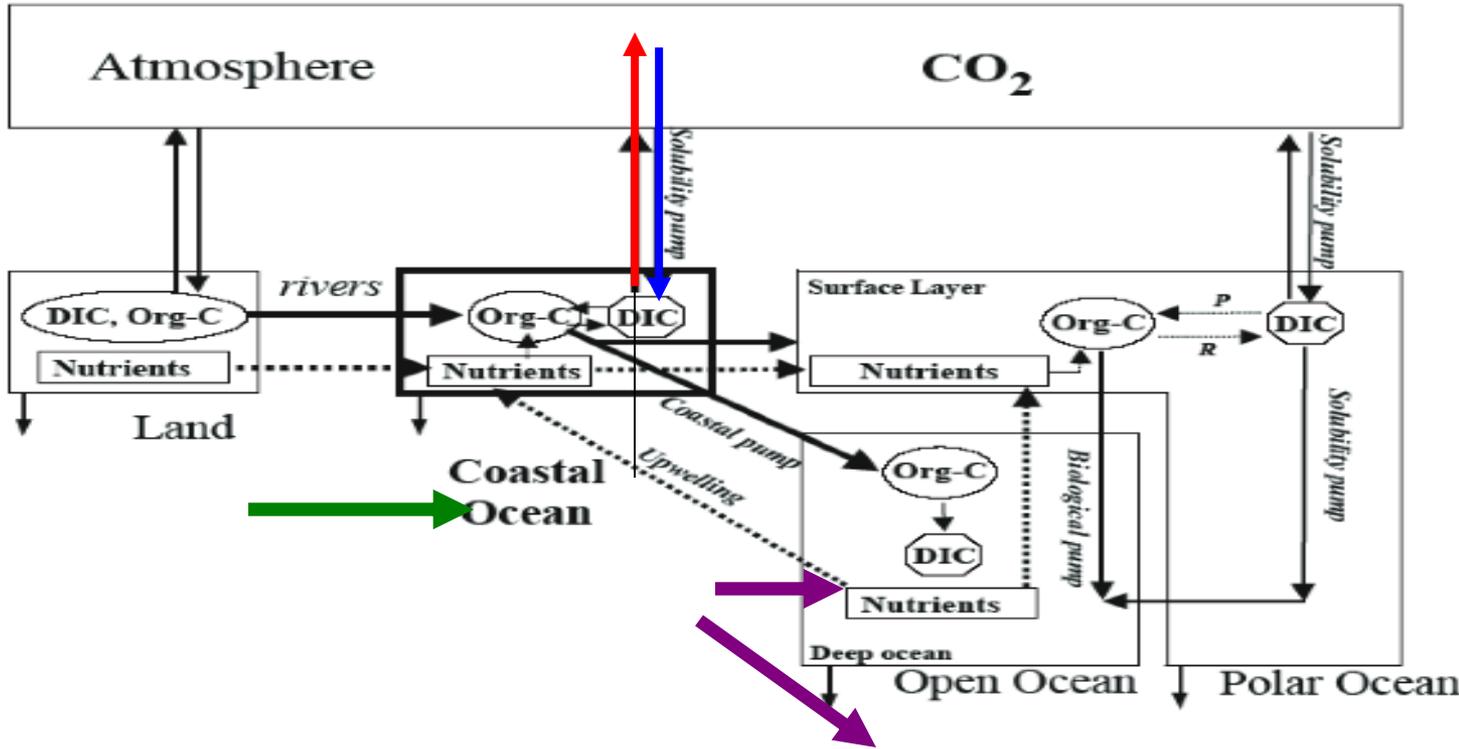


“El océano costero es donde los componentes biósfera-tierra-océano-atmósfera se juntan e interactúan a nivel del sistema biogeoquímico planetario”

Ducklow and McAllister 2005

El C,N,P en el Océano (agua + biota marinas + particulado y sedimentos) están asociados por el proceso biogeoquímico de producción y destrucción de materia orgánica que involucra la movilización de (aproximadamente) 106 C 16 N 1P (Modelo o paradigma de Redfield basado en la ecuación de la materia orgánica marina en el plancton). Una vez que consideramos al C en el océano, está ligado a este reciclaje CNP común. El C difunde de la atmósfera al océano y viceversa a favor del gradiente de presión, mientras que el N lo hace como N_2 desde la atmósfera y también como N_2O asociado al proceso de desnitrificación (Denit) en agua y ecosistemas terrestres húmedos, como pantanos, arrozales irrigados. Denit implica una pérdida de N no reciclada (en CNP). El P (prácticamente) no se intercambia con la atmósfera (salvo bajo la forma poco común de PH_2). Por ello no se discute aquí pero su reciclaje se asocia cuantitativamente al del N (y el C) en el agua.

Balance Metabólico (Estado Trófico: Autotrofia-Heterotrofia o Sumidero-Fuente de C) del Océano Costero.



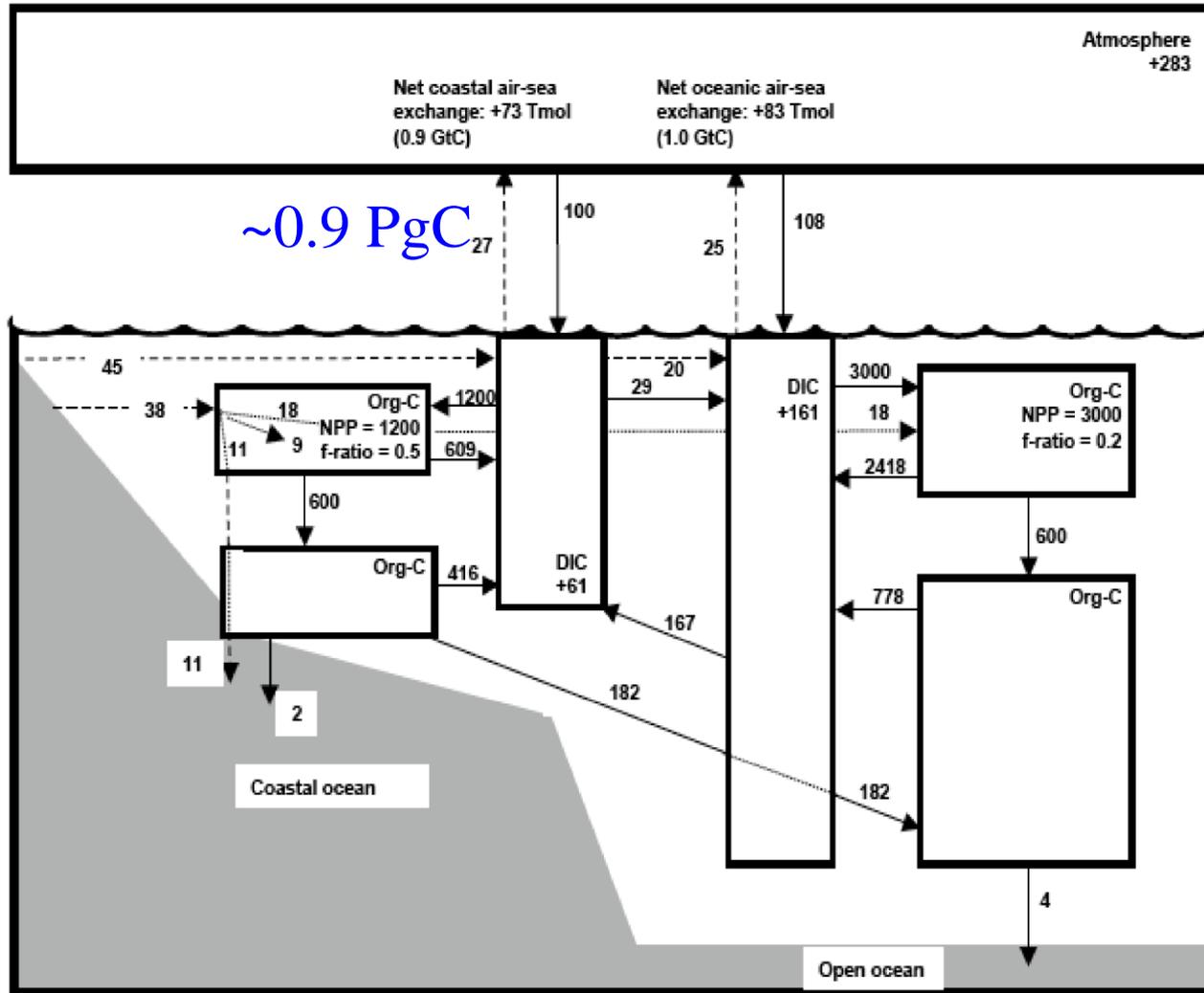
Los nutrientes NP se acoplan en el ciclo y metabolismo en agua + biota

1. transporta \longrightarrow materia orgánica (CH_2O) de tierra a océano costero-OC.

2. Transporte neto \longrightarrow de CH_2O del OC al Océano abierto (OA) (“bomba de la plataforma continental”).

3. Intercambio $\uparrow\downarrow$ de CO_2 atmosférico aire/océano-superficie.

OC: ¿Sumidero o Fuente?



Ducklow & McAllister (2005) concluyeron que el OC global es autotrófico y potencialmente un fuerte **sumidero de CO₂ atmosférico** (~0.9 Pg CO₂ yr⁻¹). Esto involucra al NP y el ciclo de CH₂O en el océano. Empero, el exceso de NP transportado al océano costero cambia el estado trófico e induce eutrofización local si las condiciones ambientales son propicias.

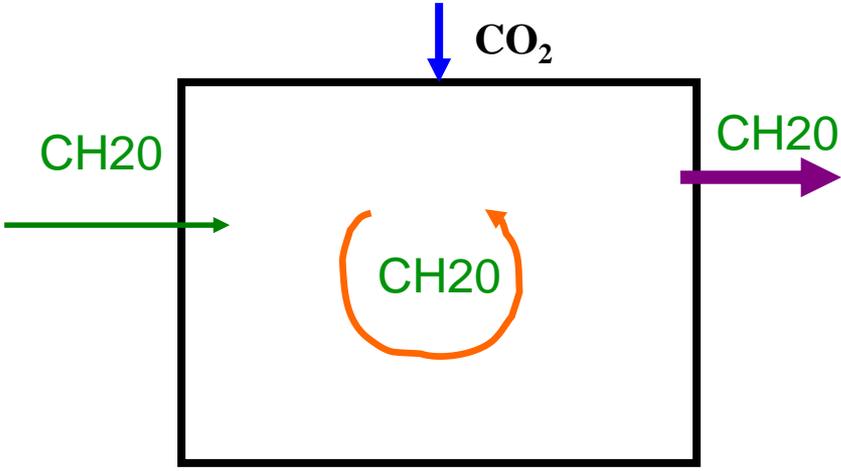
Algunas preguntas sobre el Ciclo del Carbono, el Nitrógeno y el metabolismo orgánico (Estado Trófico) en el Océano y su relación con el Cambio Global

1. ¿Cuáles son las magnitudes y distribuciones de las fuentes (sources) y sumideros (sinks) globales y oceánicas, los procesos de control y cambios temporales?
2. ¿Cuáles son los efectos de los cambios de uso del suelo pasados, presentes y futuros y las prácticas de gestión de recursos naturales sobre fuentes y sumideros?
3. ¿Cuáles serán las concentraciones atmosféricas futuras de CO_2 y CH_4 y cómo cambiarán las fuentes y sumideros globales en el futuro?
4. ¿Cómo van el Sistema Terrestre y sus subsistemas (por ej. El Océano incluyendo Agua + Biota) y elementos a responder a las diferentes opciones socioeconómicas de gestión del C (y el N) en el ambiente y cuáles son las necesidades de información científica requeridas para la evaluación?

Estado Metabólico Oceánico Costero ¿Fuente o Sumidero de CO₂?

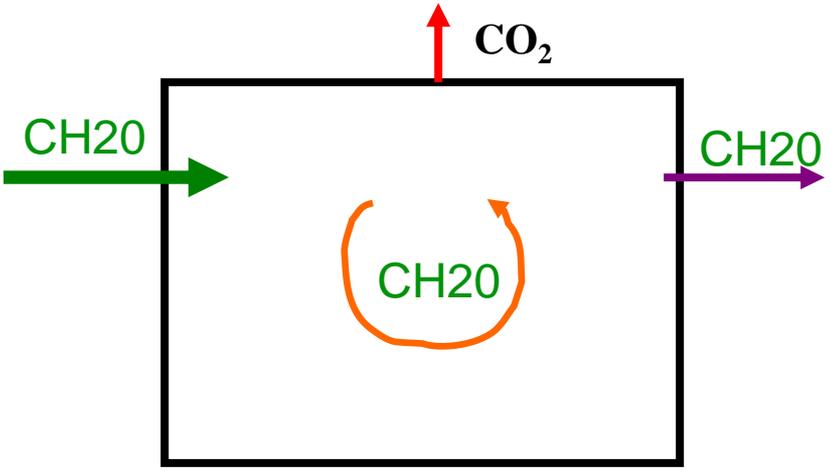
Los cambios tróficos (balance producción-destrucción de CH₂O) involucran cambios en los nutrientes (NP) y el O₂ a nivel local.

Autotrofia neta



Sumidero oceánico costero de CO₂

Heterotrofia neta



Fuente oceánica costera de CO₂

1. transporte de CH₂O Tierra→OC.
2. transporte neto of CH₂O del OC→OA.
3. Intercambio  de CO₂ atm. aire/océano.

Ciclo del N y relaciones con el C Global y en el Océano

Pérdidas/Fuentes

Pérdida - Denitrificación

Reacciones

Distribuciones

Fuente – Fijación del N (N-Fix)

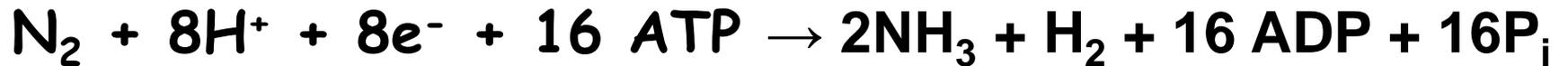
Reacciones

Distribuciones

Fuente de N

Fijación Nn (N-Fix)

Reducción catalyzada enzimática de N₂



Mediada por la enzima nitrogenasa

Inactivada en presencia de O₂

Sumidero Oceánico de N

N fijado (NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+) es
Convertido a N_2 en zonas con bajo oxígeno del océano

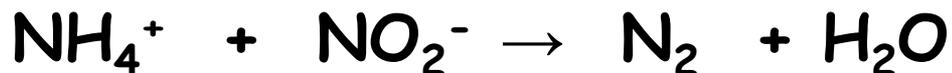
Dos Caminos

Denitrificación (Denit) (<2 a $10 \mu\text{M O}_2$)

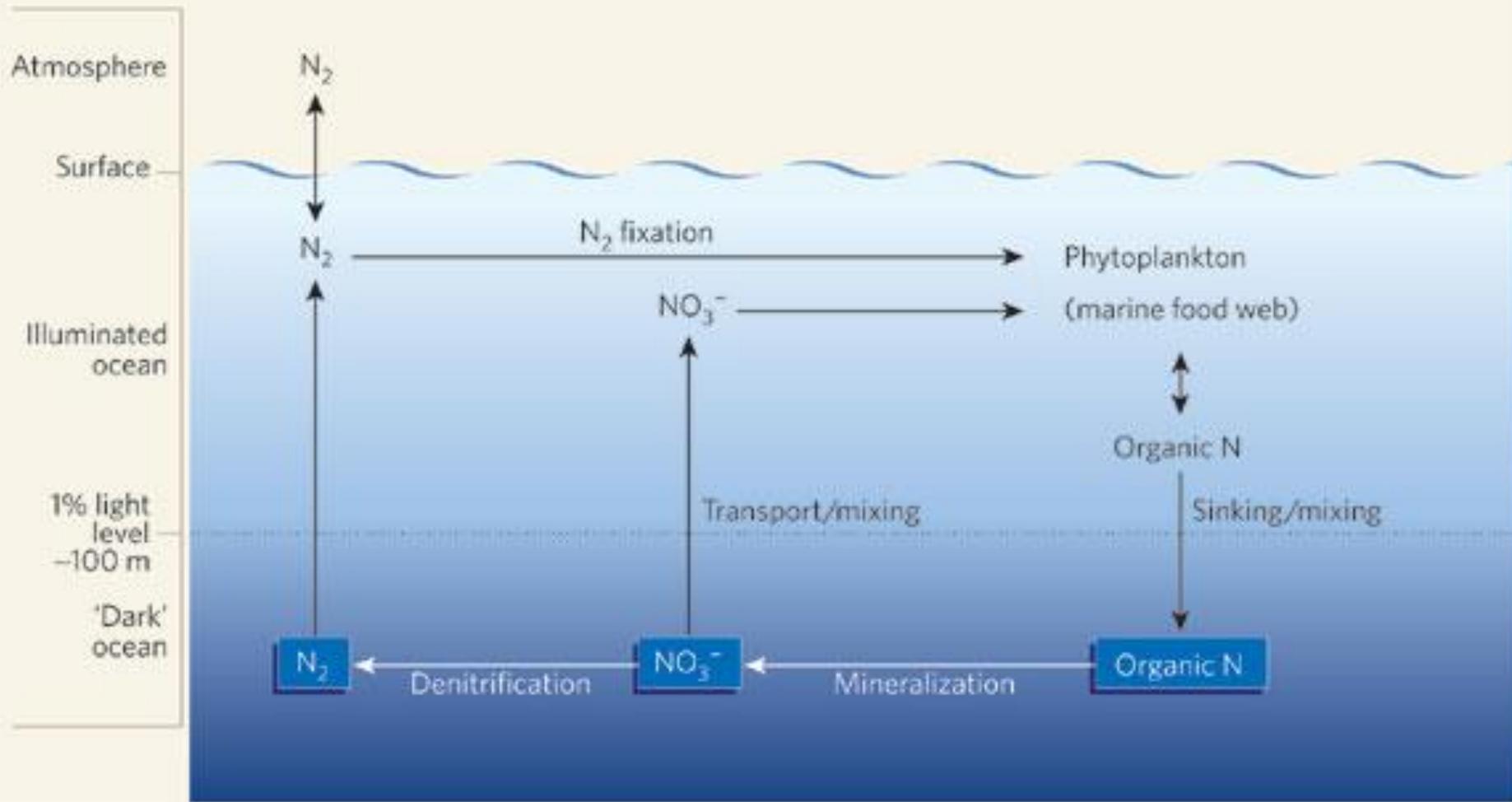
(Nota: equivale a $\sim 0.05-0.25 \text{ ml O}_2 / \text{L} \dots \sim 0.07-0.35 \text{ mg O}_2 / \text{L}$):



Anammox ($<2 \mu\text{M O}_2$)

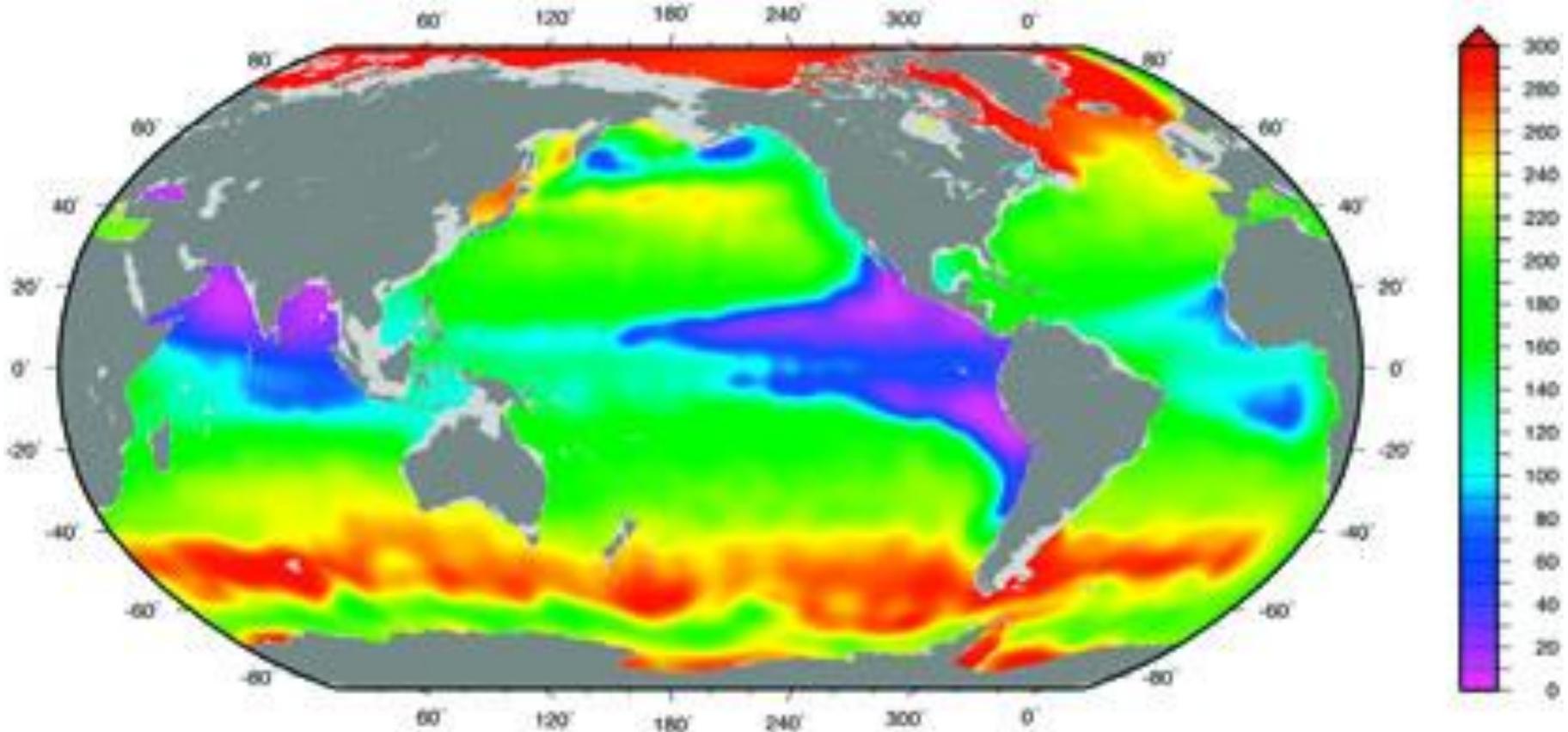


Esquema del Ciclo del N Oceánico



Zonas oceánicas de bajo oxígeno?

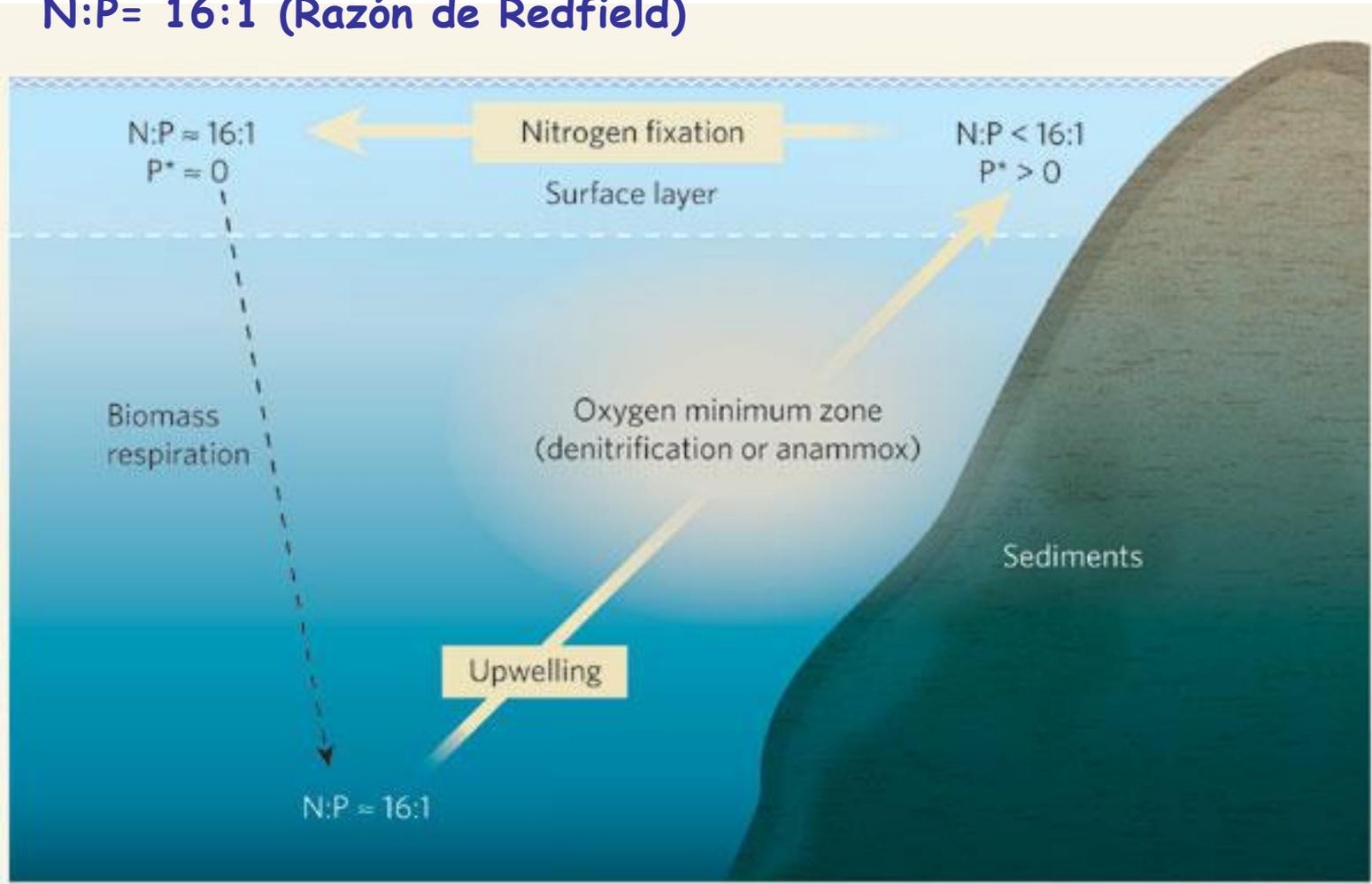
Oxygen ($\mu\text{mol/kg}$) at 200 m



**Distribución Global de O_2 a la profundidad del mínimo de oxígeno
Gruber and Sarmiento, 1997**

Acoplamiento Espacial de las fuentes/sumideros de N (Deutsch et al, 2007, Nature, 445, 163)

N:P= 16:1 (Razón de Redfield)



También, Capone and Knapp (2007) Nature, 445, 159

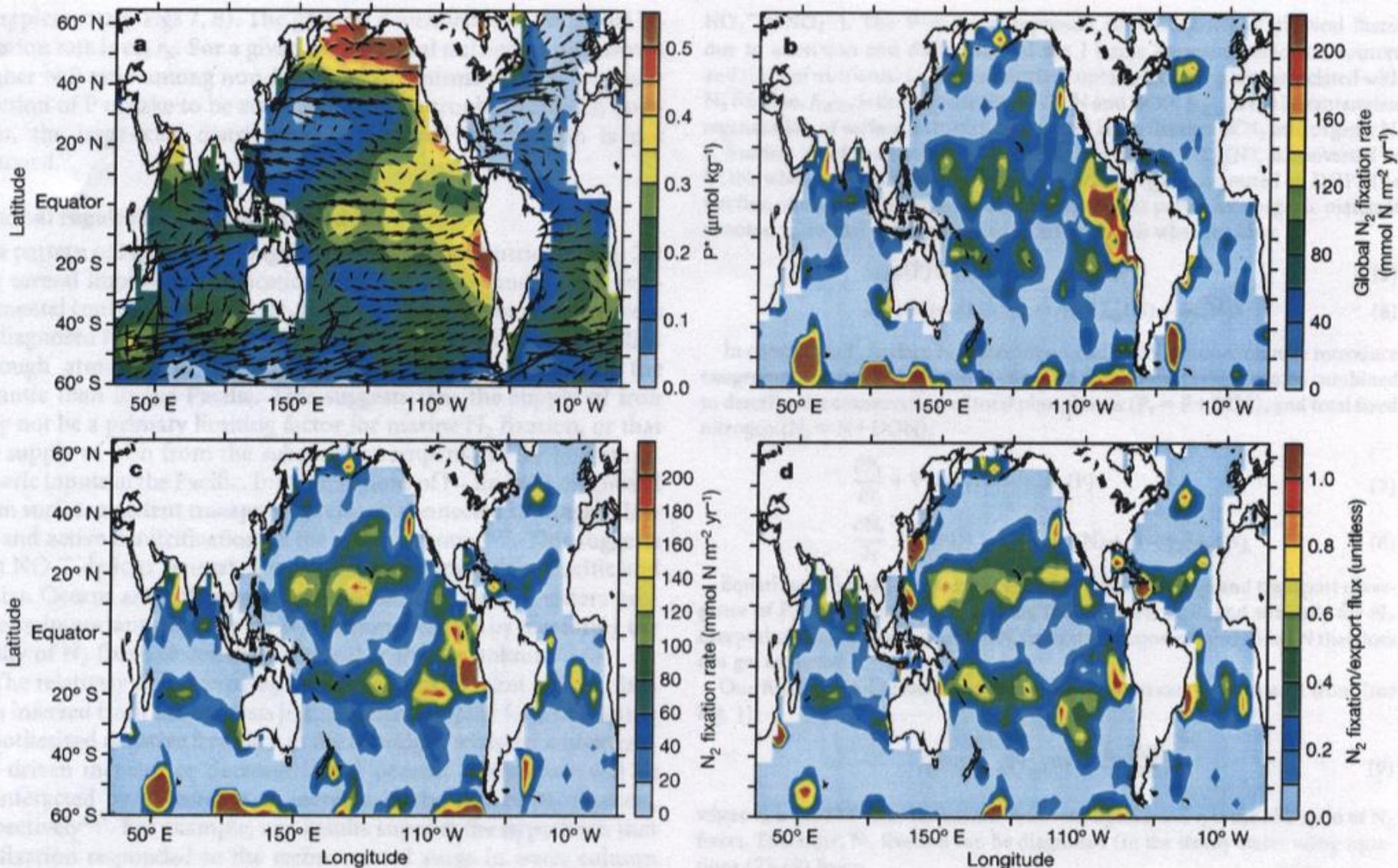
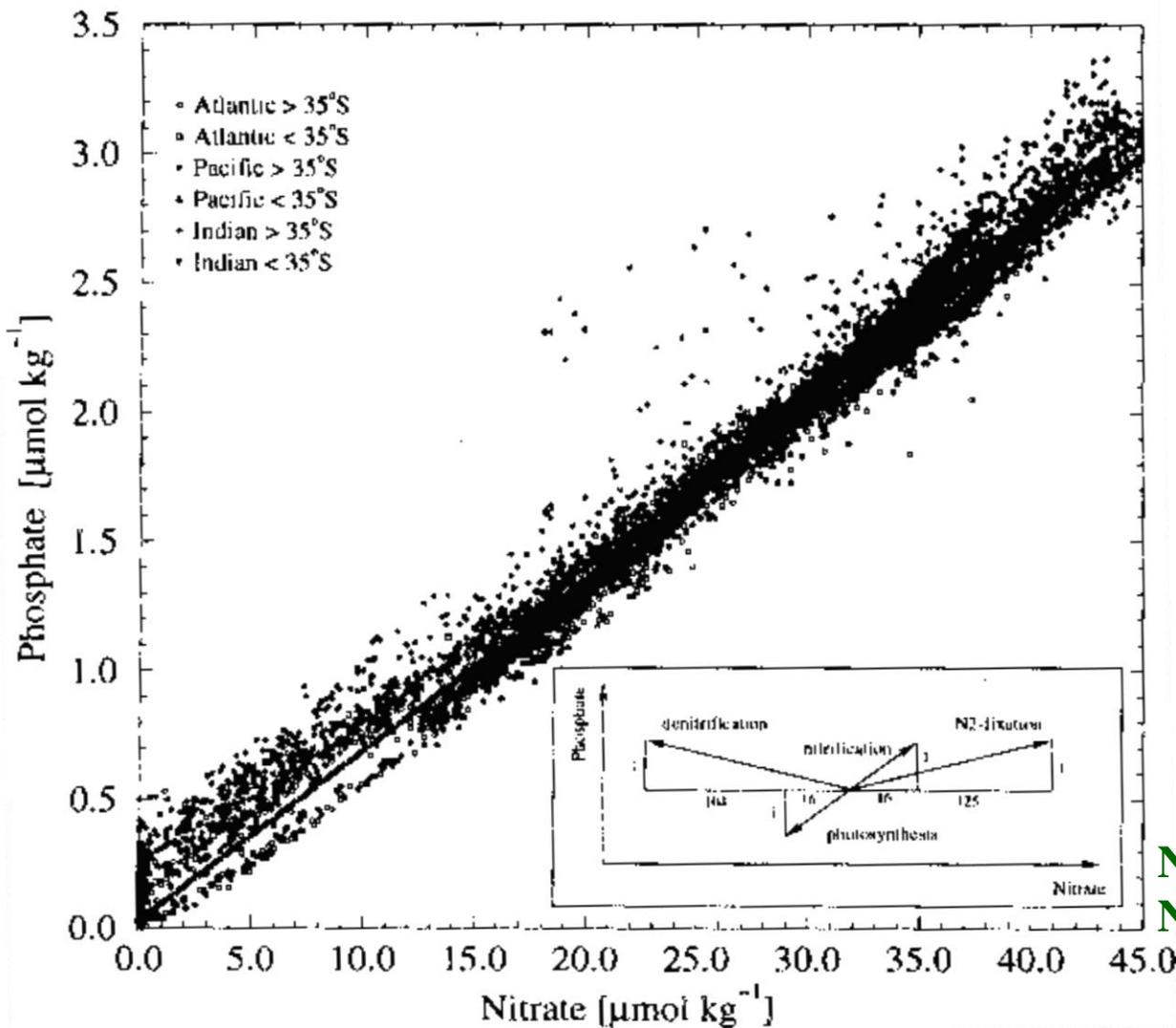


Figure 2 | Annual mean distribution of P^* , ocean currents, and the N_2 fixation rates determined from them at 0–120 m depth. a, The P^* distribution ($P^* = PO_4^{3-} - NO_3^-/r_n$) is based on climatological data from the World Ocean Atlas¹⁰, and the surface velocity is computed from the MOM3 ocean general circulation model³⁰. **b**, Global N_2 fixation rates diagnosed from the convergence of excess inorganic PO_4^{3-} , $-\lambda \nabla \cdot \Phi(P^*)$.

which requires an excess uptake of PO_4^{3-} relative to the biological N requirement. **c**, Rates of N_2 fixation accounting for both inorganic and organic nutrient pools, equal to $-\lambda \nabla \cdot \Phi(P_i^*)$ where this term is positive (that is, where excess P_i converges). **d**, N_2 fixation rates (from **c**) as a fraction of the export flux of organic matter.



Qué es N*?

Cálculo del exceso o déficit de NO_3^-

La línea sólida muestra la Ecuación lineal
 $P = 1/16 N + 0.345$
 (equivalente a $N^* = 0$)
 (se basa en el Paradigma de Redfield)

Valores a la derecha tienen $N^* +$ y a la izquierda tienen $N^* -$

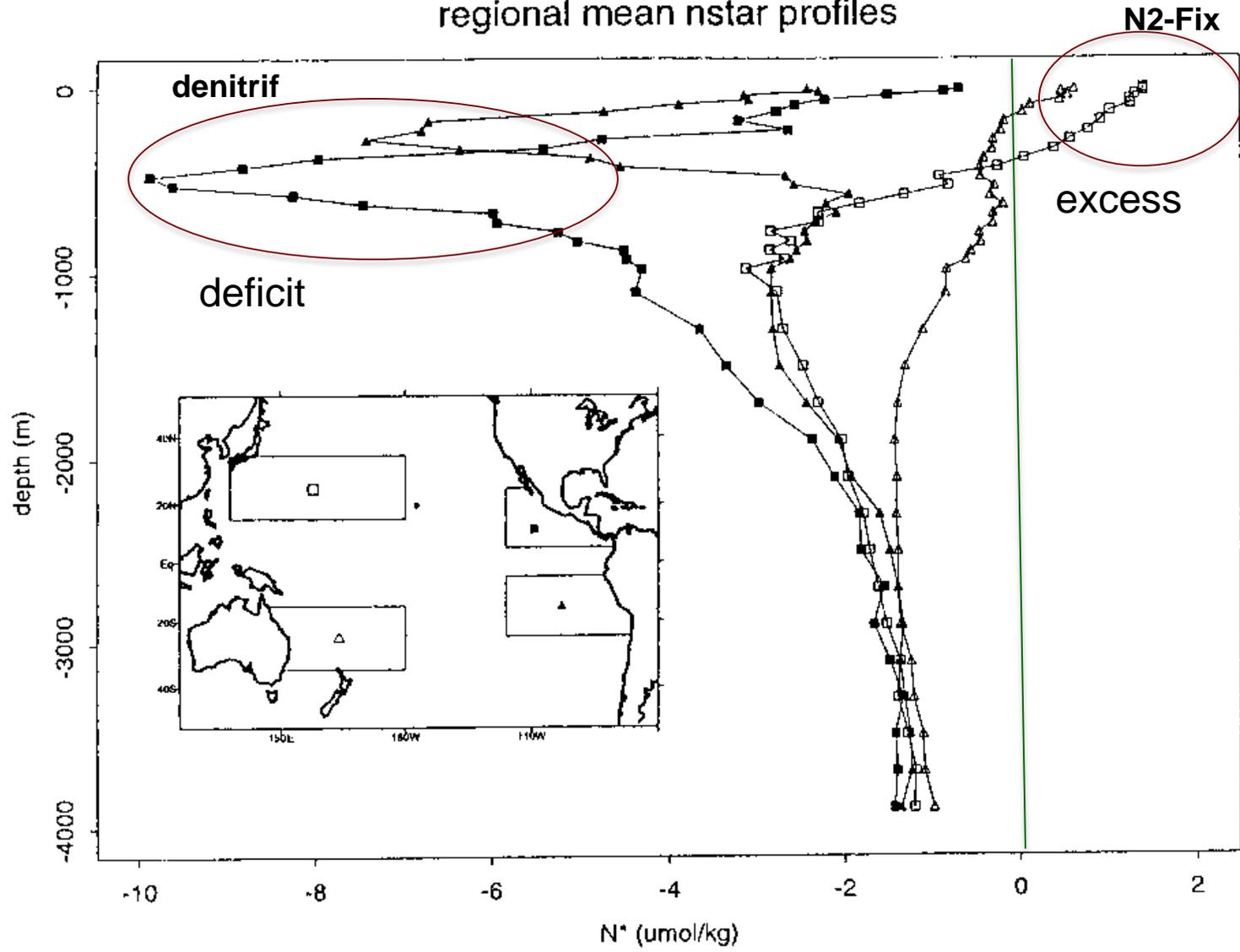
N^* es definido como
 $N^* = [\text{NO}_3^-] - 16 \times [\text{PO}_4] + 2.9$

PO4 vs Nitrato (data de GEOSECS)

El recuadro insertado muestra los efectos de: nitrificación, fotosíntesis, fijación del N_2 y de la desnitrificación.

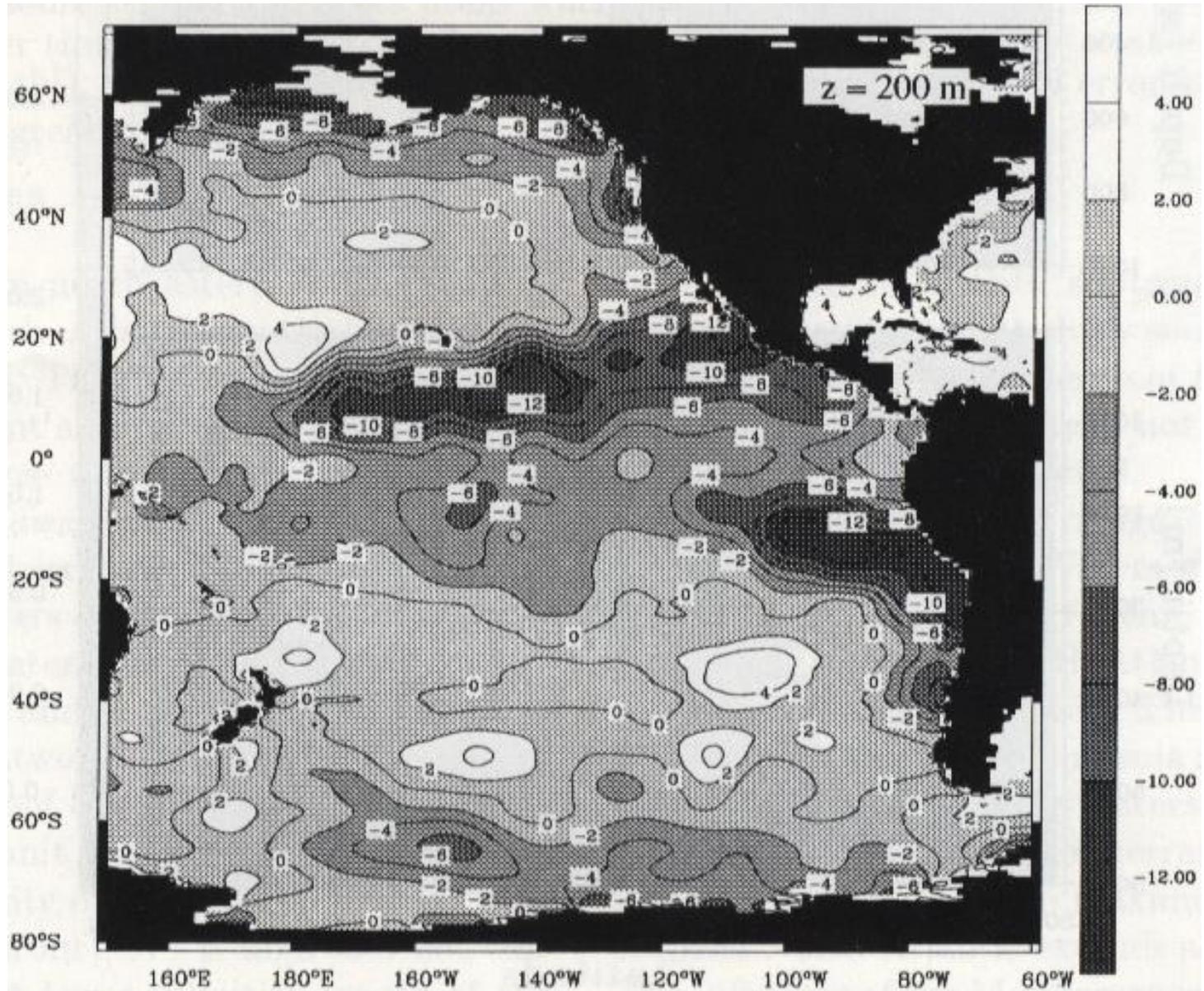
Distribución vertical de N*

regional mean nstar profiles

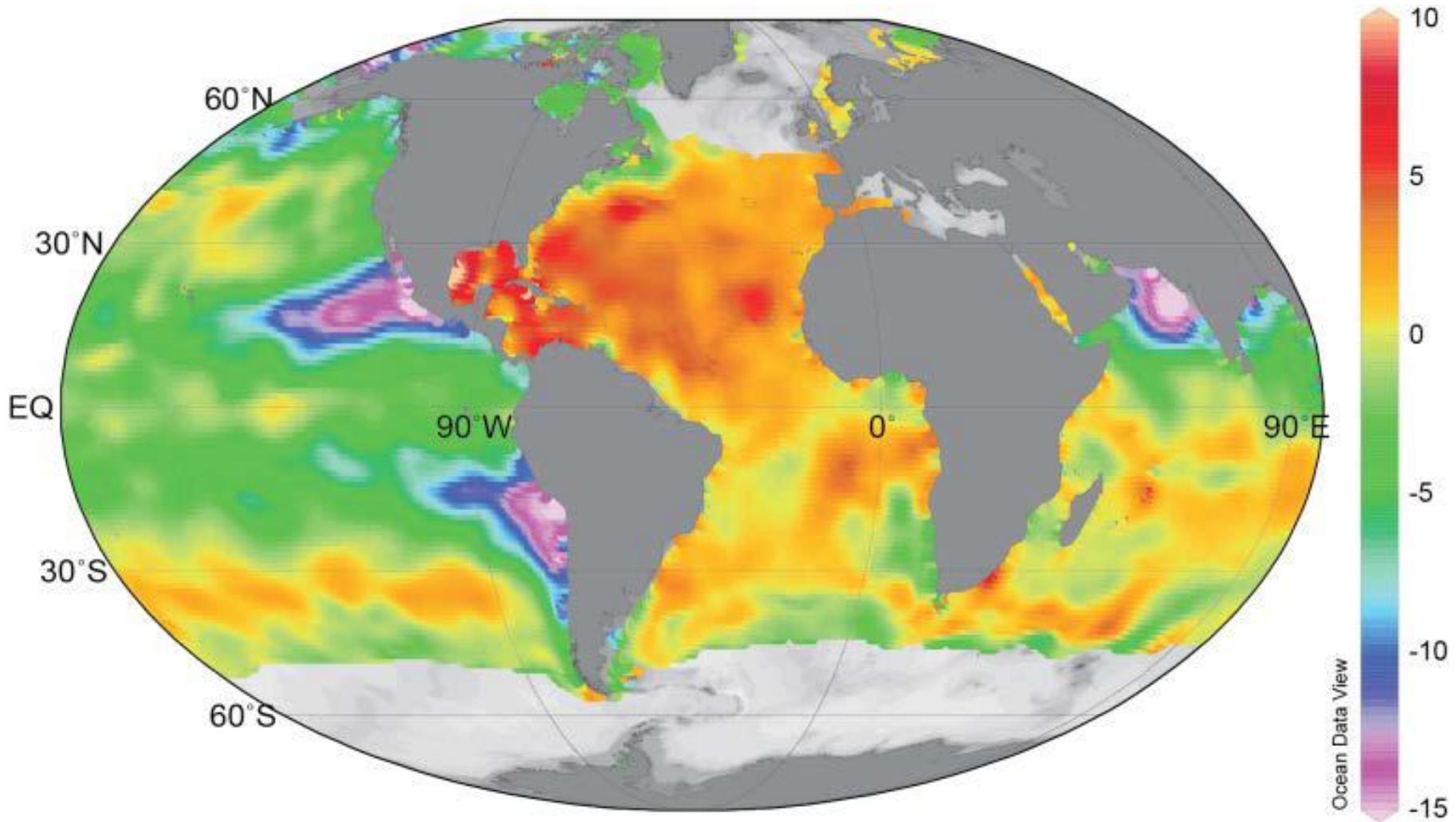


$$N^* = [NO_3] - 16 \times [PO_4] + 2.9$$

Mapa mundial del N*



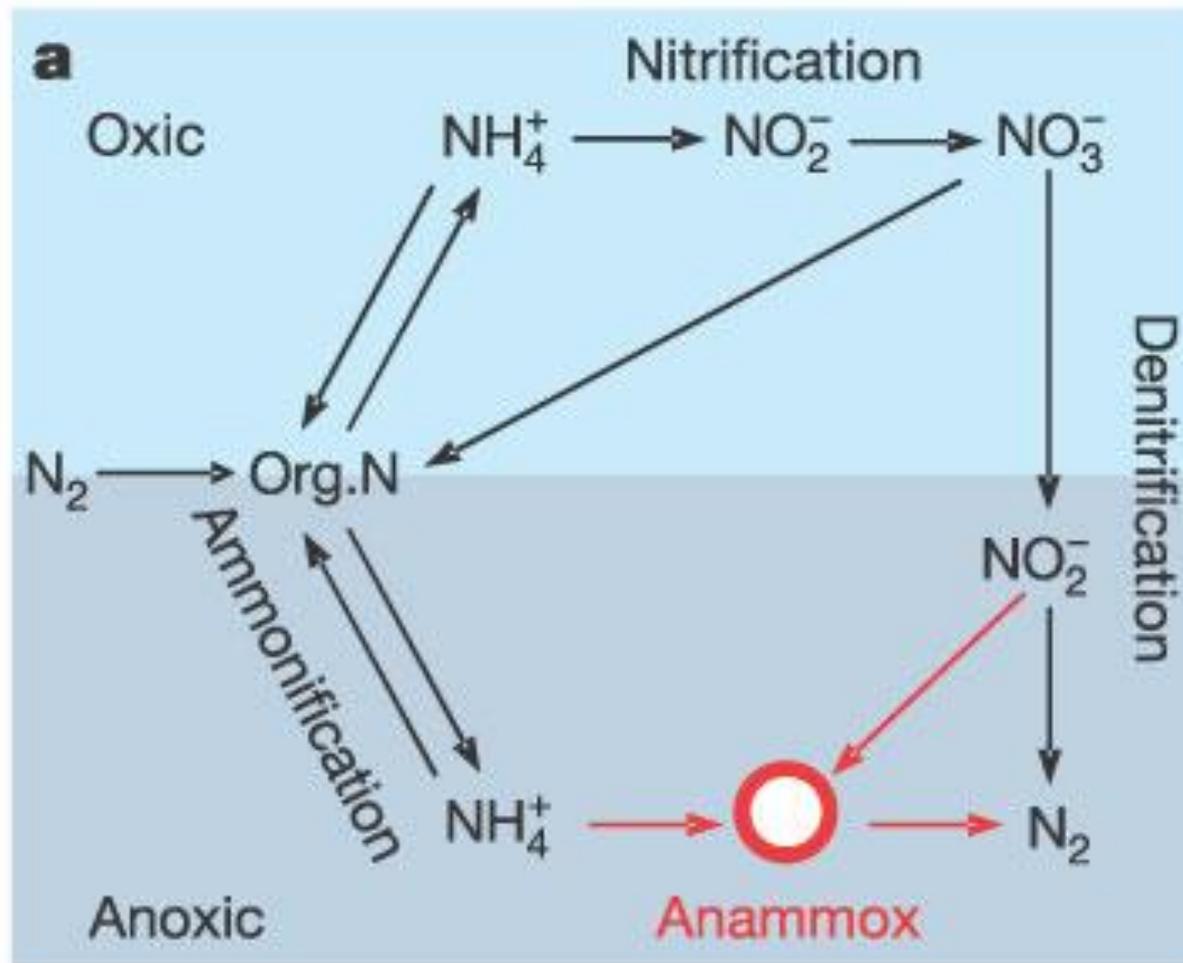
N* a 200m en el Pacific (Gruber and Sarmiento, 1997)



σ_t^* en la densidad 26.5 (densidad referente, función de temperatura y salinidad, utilizada en mapeos en Oceanografía)

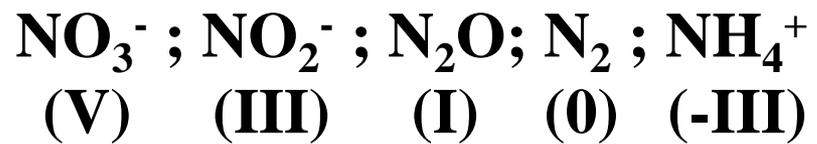
¿Por qué es N^* negativo – dos sumideros (Sink) del N)

Ciclo del N con/ anammox y denitrificación



Kuypers (2003) *Nature* 422: 608-611.

Especies del N:



Balance Global del Nitrógeno-Un ejemplo clásico

(Brandes et al, 2002)

Table 1. Fluxes and Isotopic Values for Source and Sink Nitrogen Budgets^a

Term	Flux, Tg N yr ⁻¹	Isotopic Value, ‰
Riverine source	25	4 (±4)
Atmosphere sources (DON + DIN)	25	-4 (±5)
Nitrogen fixation	110-330	-1 (±1)
Total sources	160-380	-1
Sedimentary denitrification	-200-280	3.5 (±2)
Water column denitrification	-75	-20 (±3)
Organic burial	-25	6 (±4)
Total sinks	-300-380	-1
Net	-200-0	-1 (±2)

El Océano podría estar en estado estacionario o no!

^aValues in parentheses for isotopic values are estimated variances for each term. See text for references.

¿Por qué es esto importante para Oceanografía Química?

¿Qué controla el C, N, P oceánico?

$g \approx 1.0$

La concentración de nutrientes del océano profundo se ajustará (equilibrará) de manera tal que la de B preservada en los sedimentos iguale el influjo (input) fluvial (total que llega al Océano Global)!

Balance de Masa para el océano total:

$$\delta C / \delta t = V_R C_R - f B$$

$$C_S = 0; C_D = C_D$$

$$V_U = V_D = V_{MIX}$$

Control de Retroalimentación negativo:

si

$$V_{MIX} \uparrow$$

$$V_U C_D \uparrow$$

$$B \uparrow$$

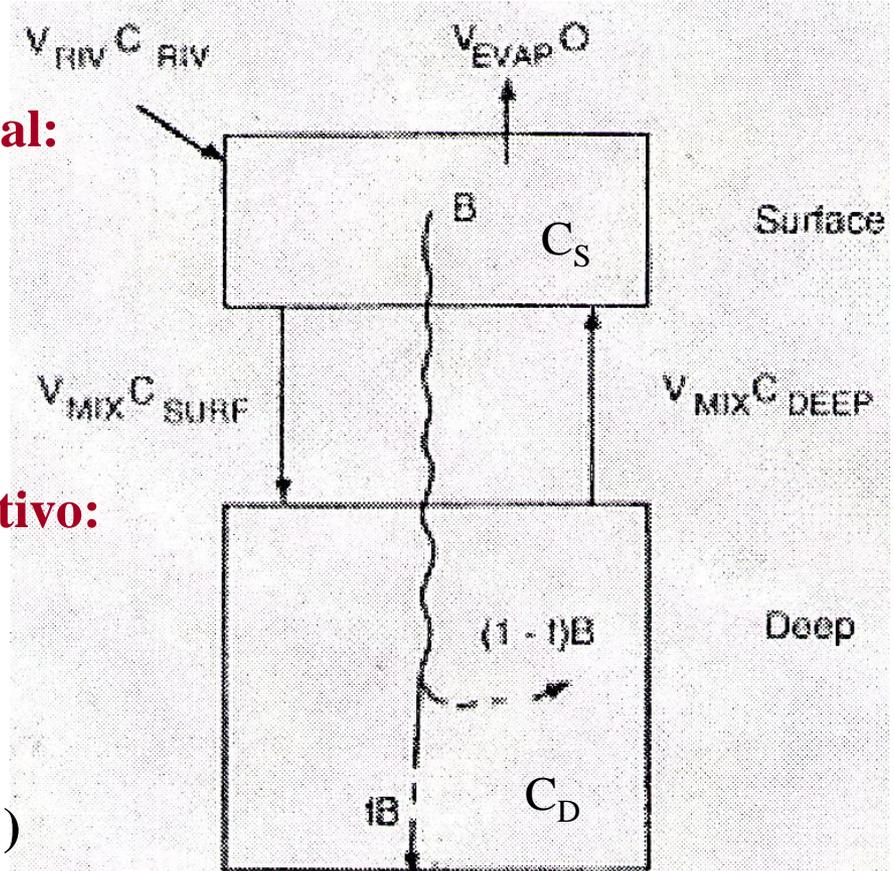
$$f B \uparrow \quad (\text{asume que } f \text{ será constante!})$$

$$\text{asume } V_R C_R \leftrightarrow$$

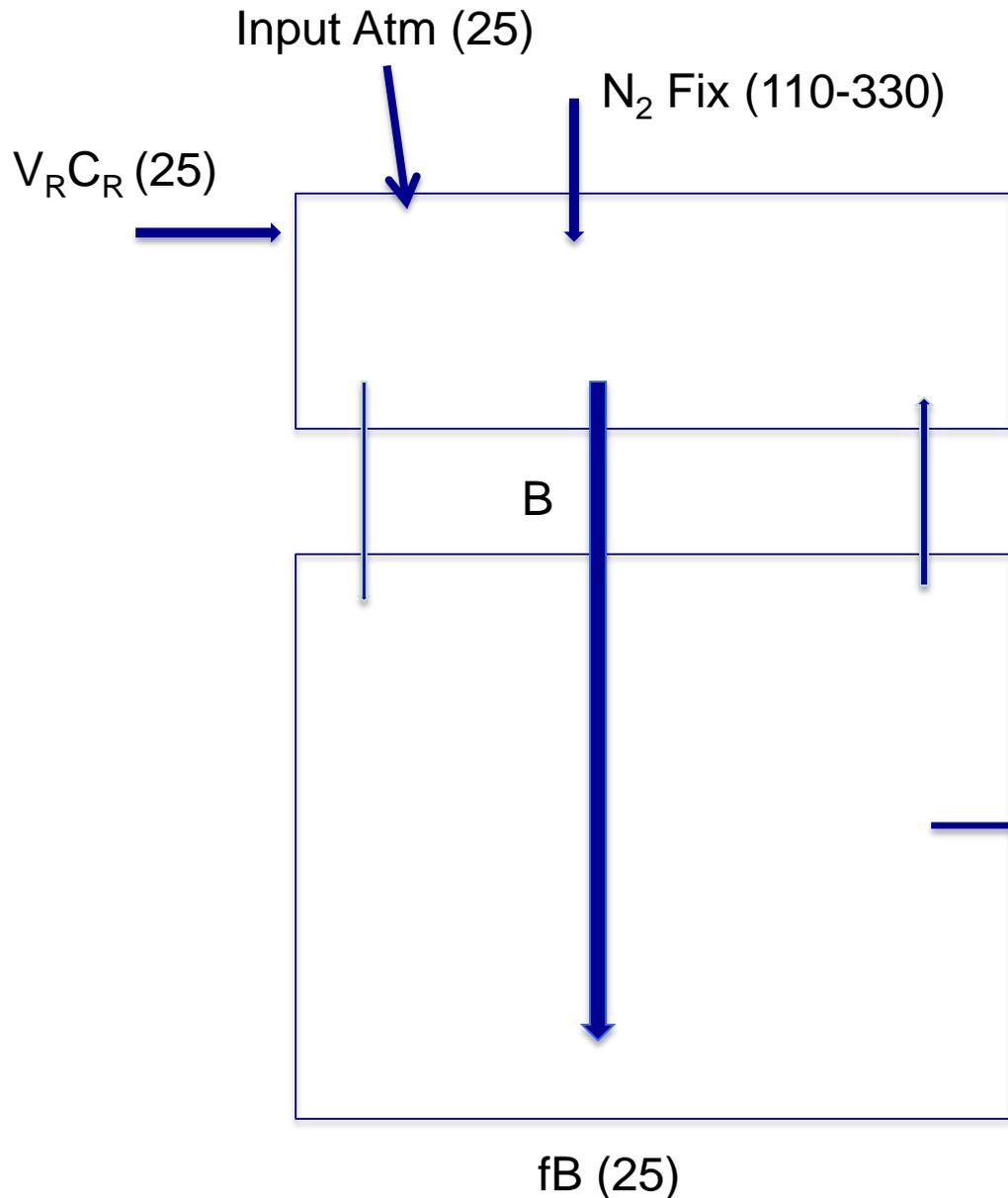
entonces $C_D \downarrow$ (porque el balance total oceánico

$V_U C_D \downarrow$ ha cambiado; pérdida > fuente)

$$B \downarrow$$



if $V_{MIX} = m \text{ y}^{-1}$ and $C = \text{mol m}^{-3}$
flux = $\text{mol m}^{-2} \text{ y}^{-1}$

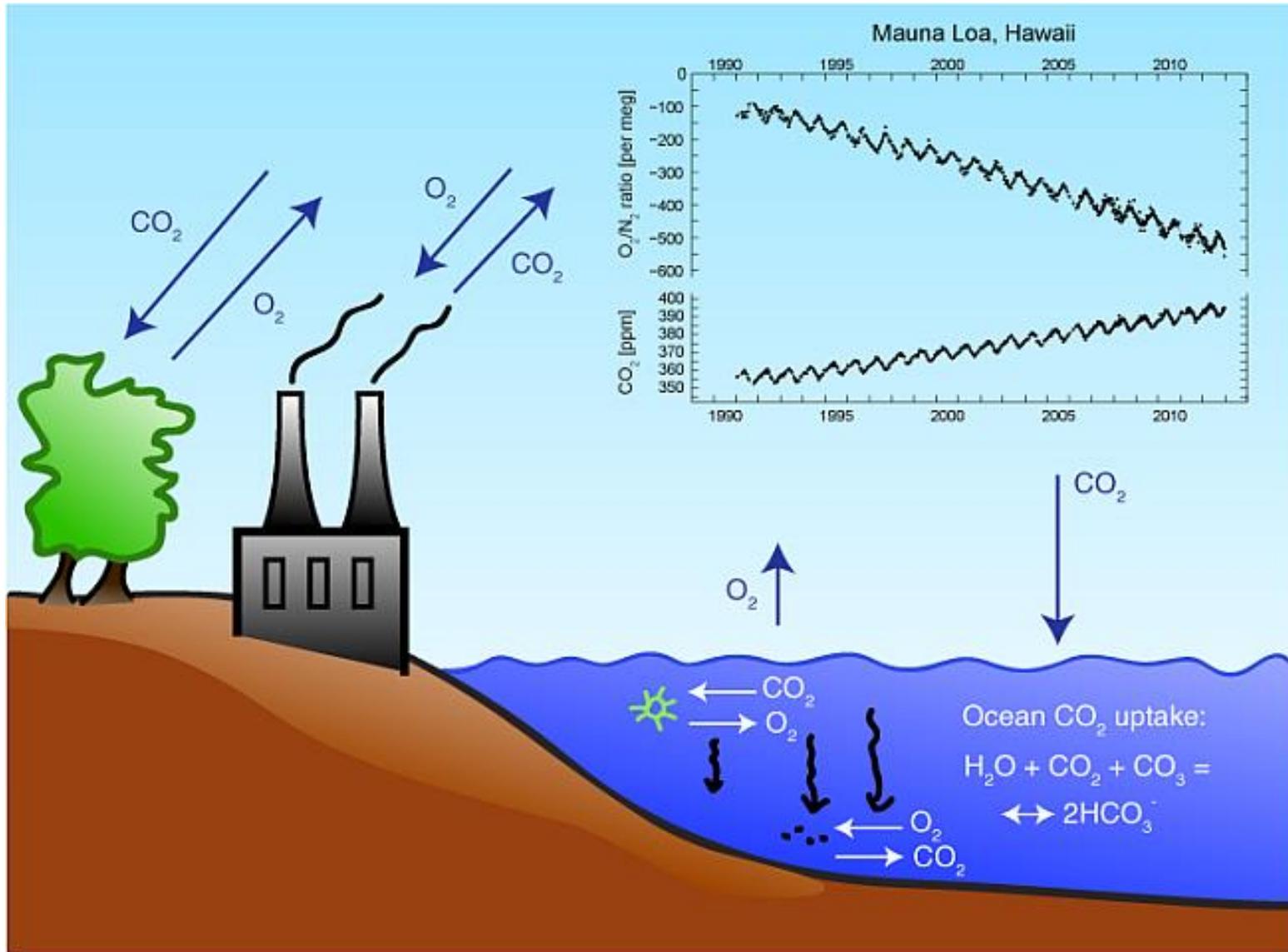


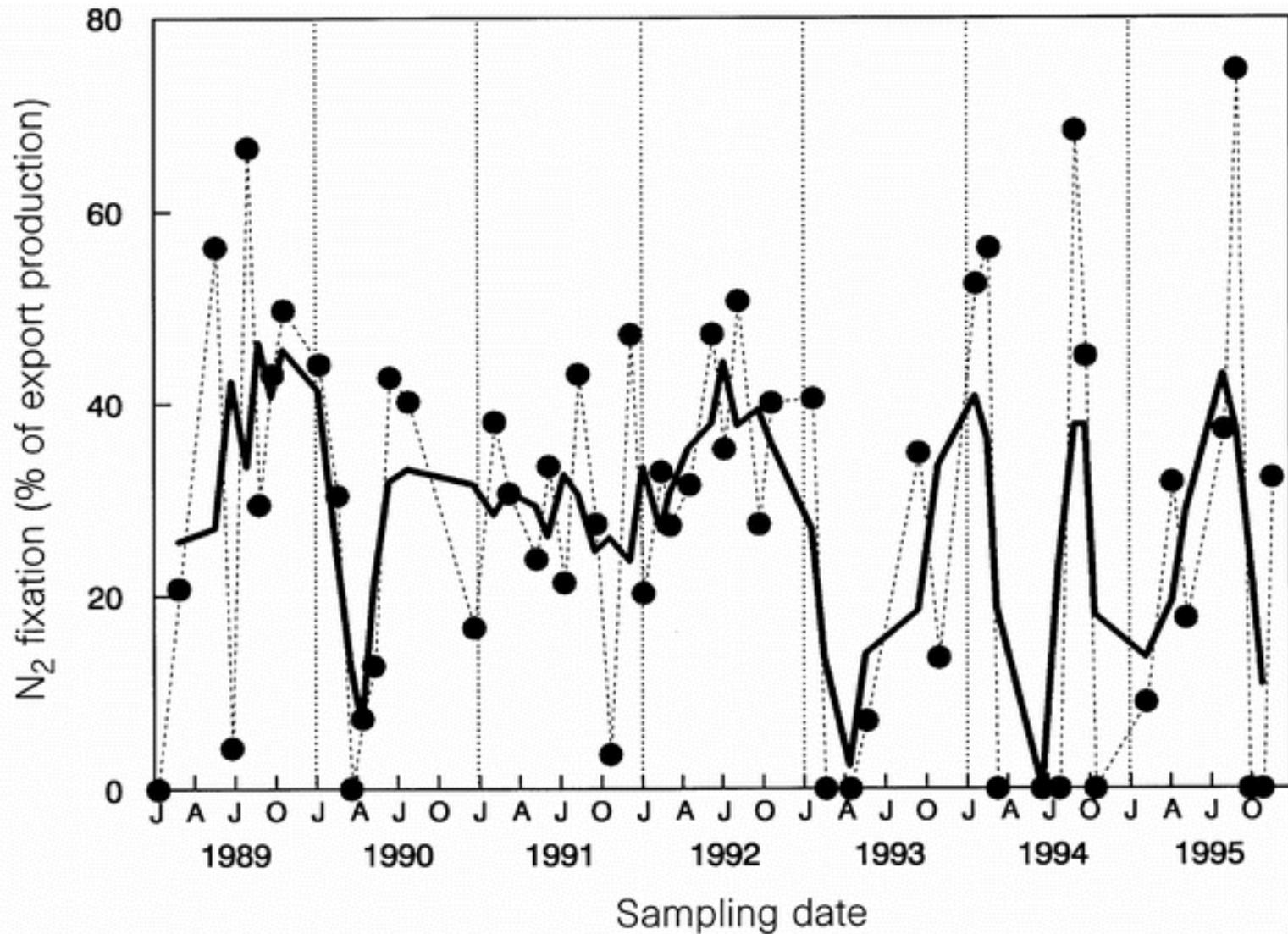
Balance N

Denitrificación
 sed = 200-280
 columna agua = 75

Flujos netos
 = -200 to 0
 (pérdida > source; no-EE?)

$\text{CO}_2 \uparrow$ and $\text{O}_2 \downarrow$





% de la Producción Exportada (como N) derivada de la N₂-Fix

(Modelo de Balance de masa N-P de Karl et al (1997) Nature 388, p. 533)

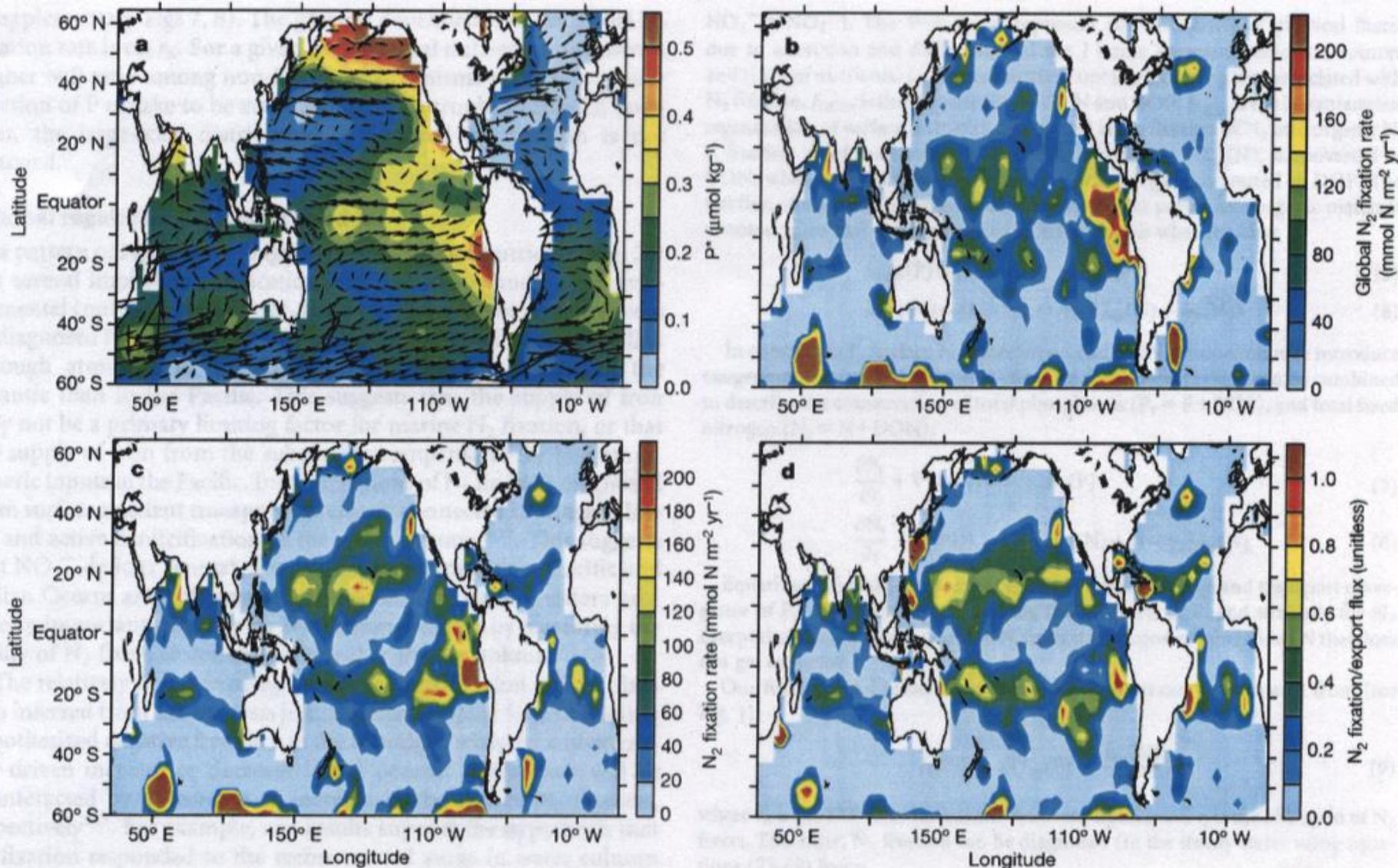


Figure 2 | Annual mean distribution of P^* , ocean currents, and the N_2 fixation rates determined from them at 0–120 m depth. a, The P^* distribution ($P^* = PO_4^{3-} - NO_3^-/r_n$) is based on climatological data from the World Ocean Atlas¹⁰, and the surface velocity is computed from the MOM3 ocean general circulation model³⁰. **b**, Global N_2 fixation rates diagnosed from the convergence of excess inorganic PO_4^{3-} , $-\lambda \nabla \cdot \Phi(P^*)$,

which requires an excess uptake of PO_4^{3-} relative to the biological N requirement. **c**, Rates of N_2 fixation accounting for both inorganic and organic nutrient pools, equal to $-\lambda \nabla \cdot \Phi(P_i^*)$ where this term is positive (that is, where excess P_i converges). **d**, N_2 fixation rates (from **c**) as a fraction of the export flux of organic matter.

Acoplamiento Espacial N₂-fix y Denit (Deutsch et al, 2007)

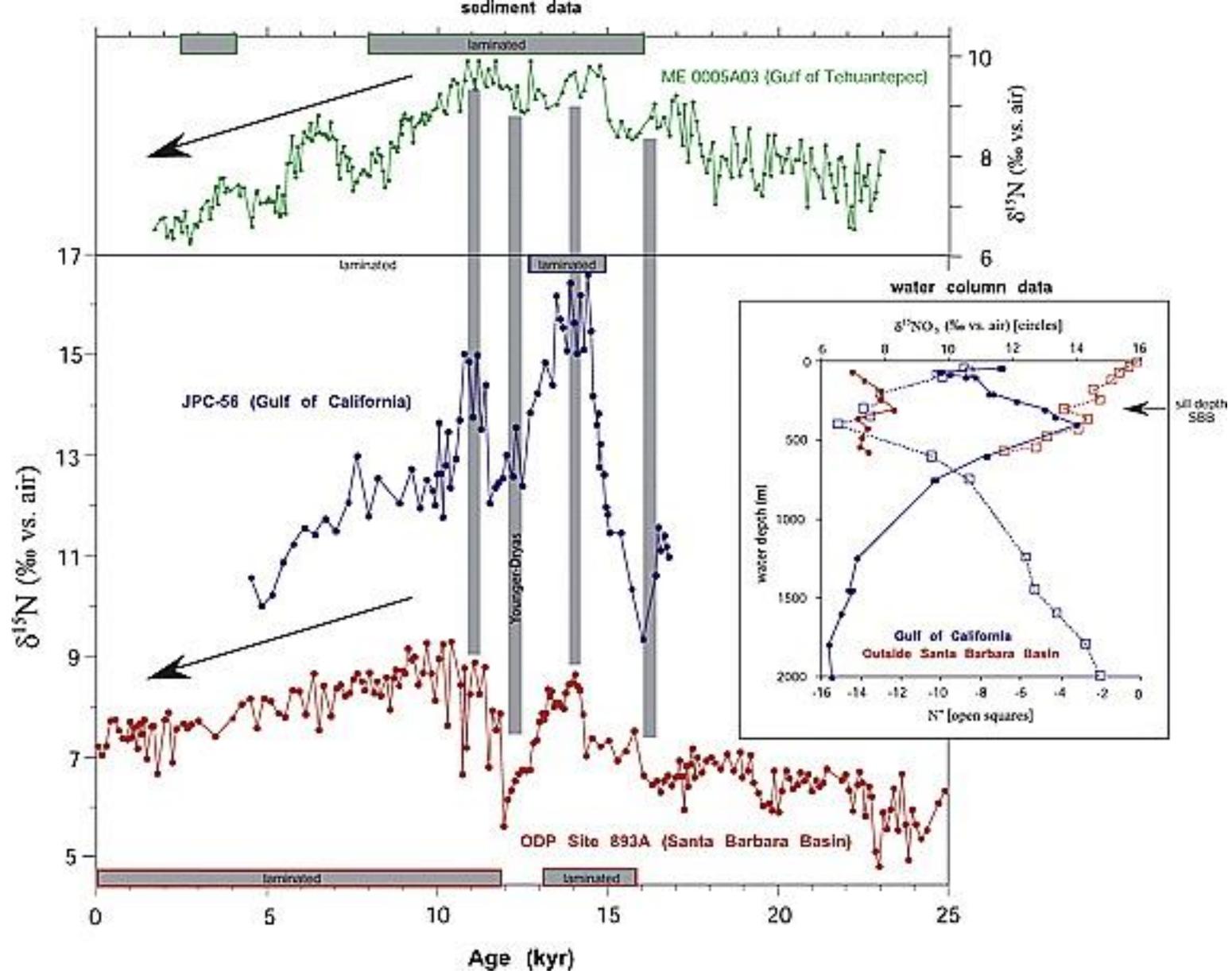
Balance Global N

(Brandes et al, 2002)

Table 1. Fluxes and Isotopic Values for Source and Sink Nitrogen Budgets^a

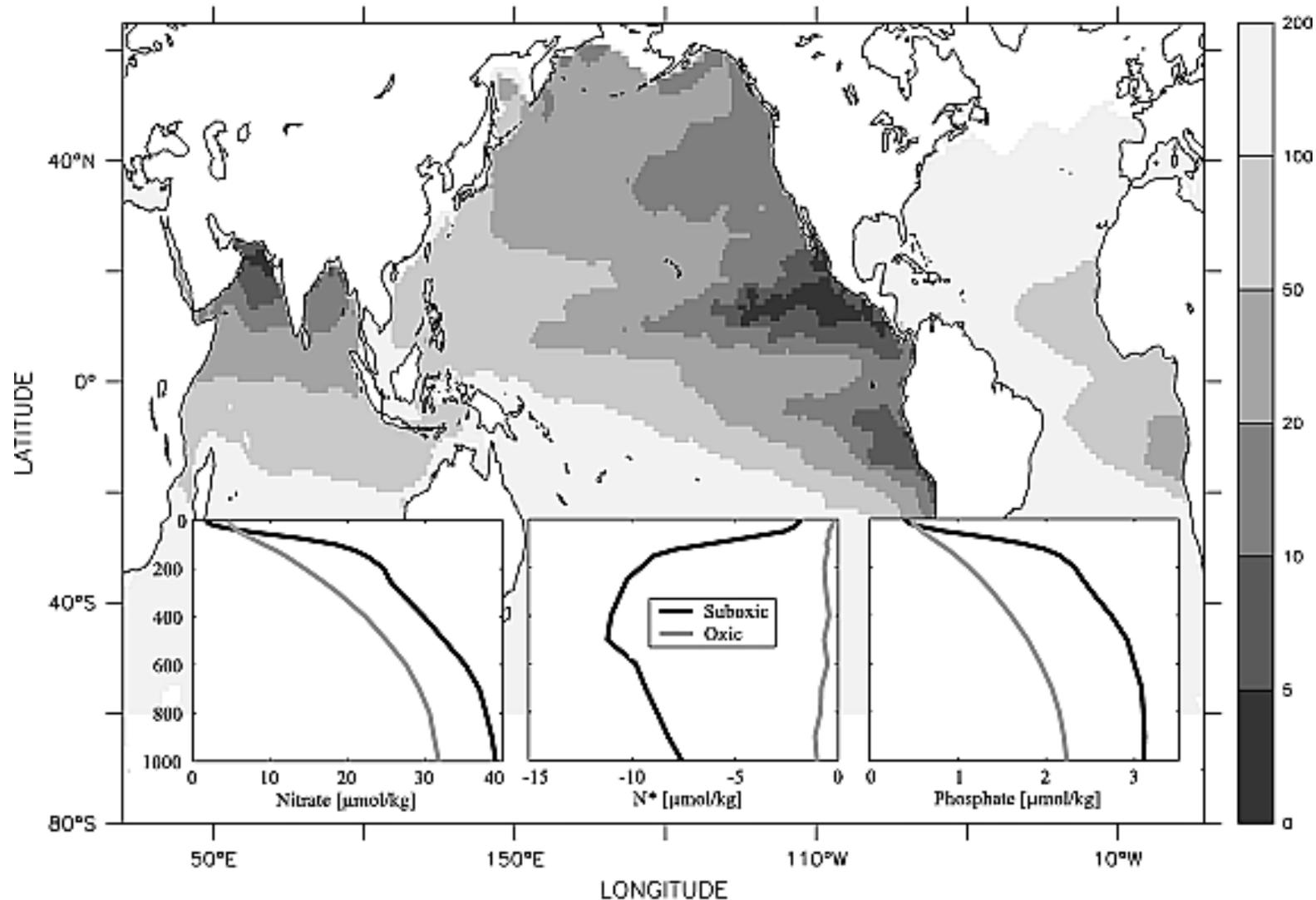
Term	Flux, Tg N yr ⁻¹	Isotopic Value, ‰
Riverine source	25	4 (±4)
Atmosphere sources (DON + DIN)	25	-4 (±5)
Nitrogen fixation	110-330	-1 (±1)
Total sources	160-380	-1
Sedimentary denitrification	-200-280	3.5 (±2)
Water column denitrification	-75	-20 (±3)
Organic burial	-25	6 (±4)
Total sinks	-300-380	-1
Net	-200-0	-1 (±2)

^aValues in parentheses for isotopic values are estimated variances for each term. See text for references.



Registros (en colores) de ^{15}N -orgN de varios sitios
 Altos valores de ^{15}N -OrgN sugieren una denit. mayor

Deutsch et al, 2004)



$[O_2]$ at Oxygen Minimum Zone ($\mu\text{mol/kg}$)