

# Tema 14: Biogeoquímica de estuarios y lagunas costeras

**Salvador Sánchez Carrillo**

Departamento de Biogeoquímica y Ecología Microbiana

Museo Nacional de Ciencias Naturales-CSIC

email: [sanchez.carrillo@mncn.csic.es](mailto:sanchez.carrillo@mncn.csic.es)

# Índice

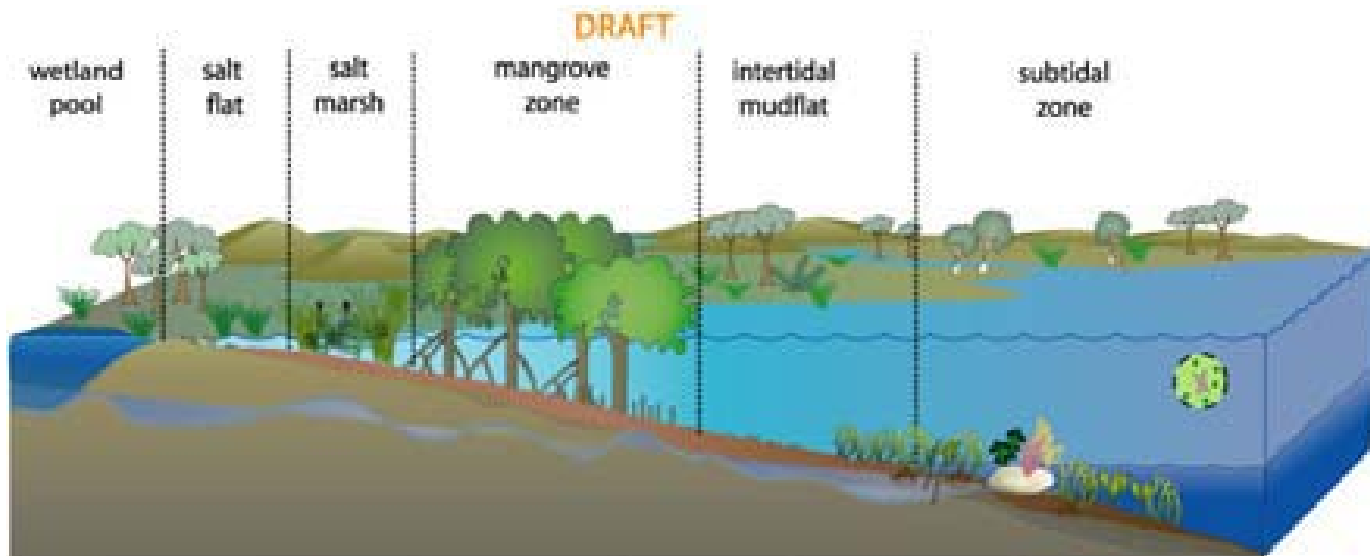
- Introducción
- Principales procesos biogeoquímicos en estuarios y lagunas costeras
- Flujos de C, N y P en estuarios y l. costeras.
- Escenarios de cambio global y efectos en los balances de C, N y P en estuarios y l. costeras

# Introducción

**Definición:** masa de agua costera parcialmente cerrada, con conexión libre con el mar donde se existe una dilución o mezcla de esta agua con el agua dulce procedente del drenaje del continente.

*En zonas áridas y semiáridas hay lagunas costeras que reciben pocos o nulos aportes de agua dulce y sólo dependen de las entradas de agua del mar*

*También hay estuarios que sólo conectan con el mar estacionalmente*



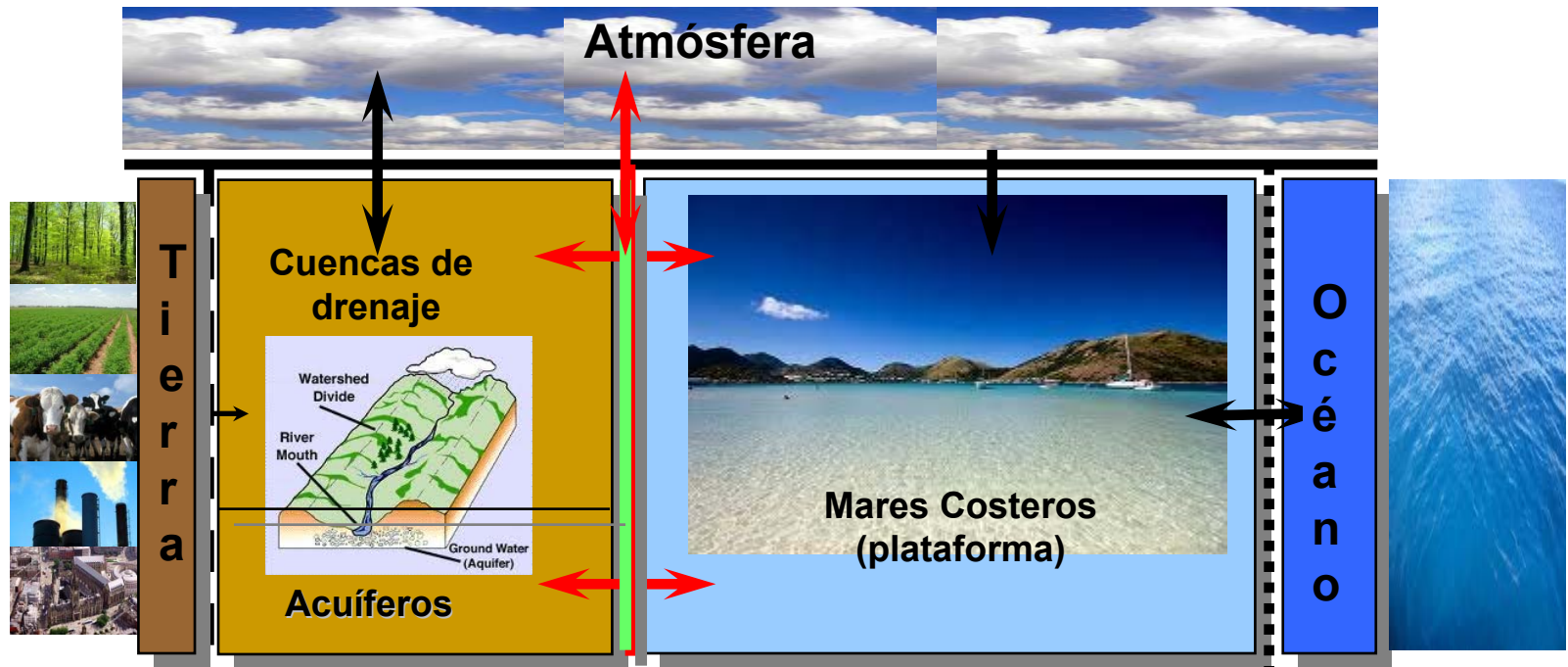
# Introducción

The value of the world's ecosystem services (1994 US \$)  
(by Robert Costanza (U. Maryland) et al. NATURE, Vol 387 page 253-260)

Biome	%globe	%land	\$/ha/Yr	NPP <sub>gC/m<sup>2</sup>/y</sub>
Marine	70.3	\	577	69
Open ocean	64.3	\	252	57
Coastal	6.0	\	4,052	162
Estuaries	0.3	\	22,832	810
Coral reefs	0.1	\	6,075	900
Terrestrial	29.7	100.0	804	324
Tropical forest	3.7	12.4	2,007	900
Temperate/boreal	5.7	19.3	302	500
Grass/rangelands	7.6	25.4	232	280
Wetlands	0.6	2.2	14,785	1,125
Tidal marsh	0.3	1.1	9,990	1,150
Swamps	0.3	1.1	19,580	1,100
Lakes/rivers	0.4	1.3	8,498	225
Desert	3.7	12.6	\	32
Tundra	1.4	4.8	\	65
Ice/rock	3.2	10.7	\	1.5
Cropland	2.7	9.1	92	290
Total	100.0	\	\	



Ésta es una región ESTRECHA pero vital en el planeta  
(muchos SISTEMAS, FRONTERAS Y FLUJOS)



Estuarios

Arrecifes de Coral  
Mantos Macroalgas

Marismas

Lagunas Costeras

Comunidades de fondos blandos  
Sistemas planctónicos

Manglares

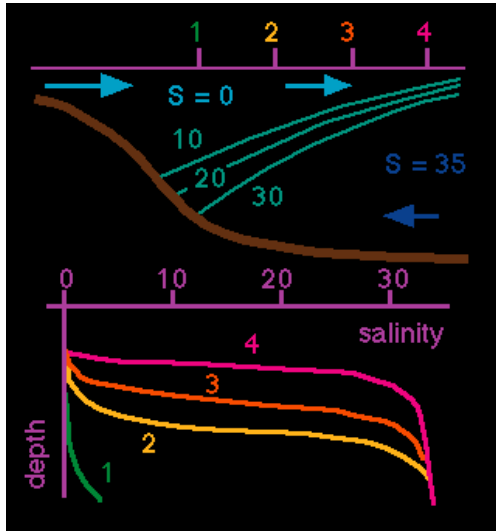
# Procesos biogeoquímicos



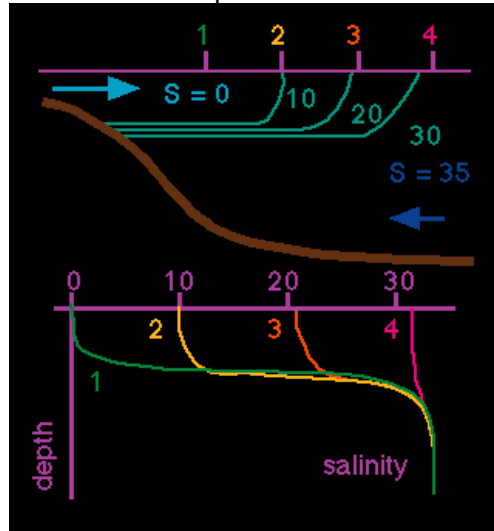
- Flujo bidimensional (estuárico más largo y constante, mareal periódico)
- Flujo dirigido a través de un balance entre gradiente de presiones y fricción (movimiento mareal más importante)
- Difusión turbulenta ocurre a muchas escalas
- Estratificación de gran importancia para el flujo y la mezcla

# Procesos biogeoquímicos

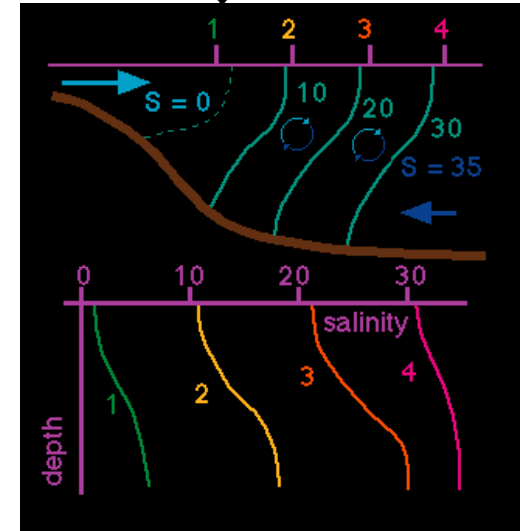
Estuario de cuña salina



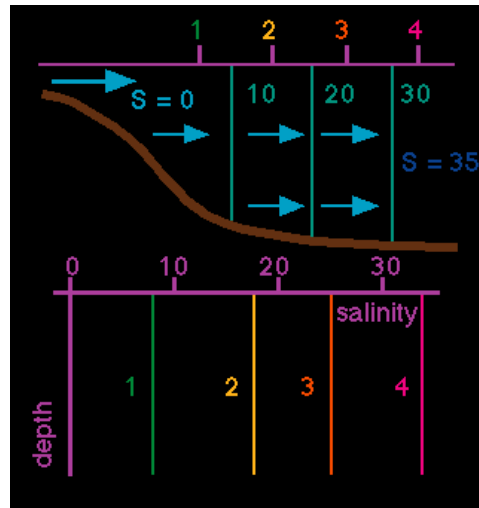
Estuario ↑ estratificado



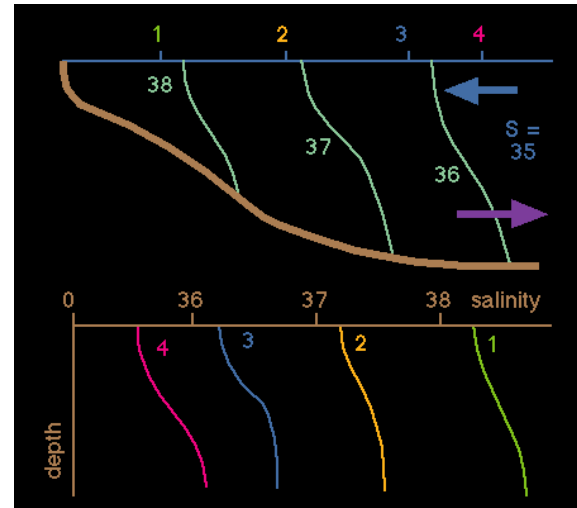
Estuario ↓ estratificado



Estuario mezclado vtcalm.



Estuario inverso



# Procesos biogeoquímicos

## CLASIFICACION POR RANGO DE MAREAS

- MICROMAREAL ( $H < 2$  m)
- MESOMAREAL ( $2 \leq H \leq 4$  m)
- MACROMAREAL ( $H > 4$  m)

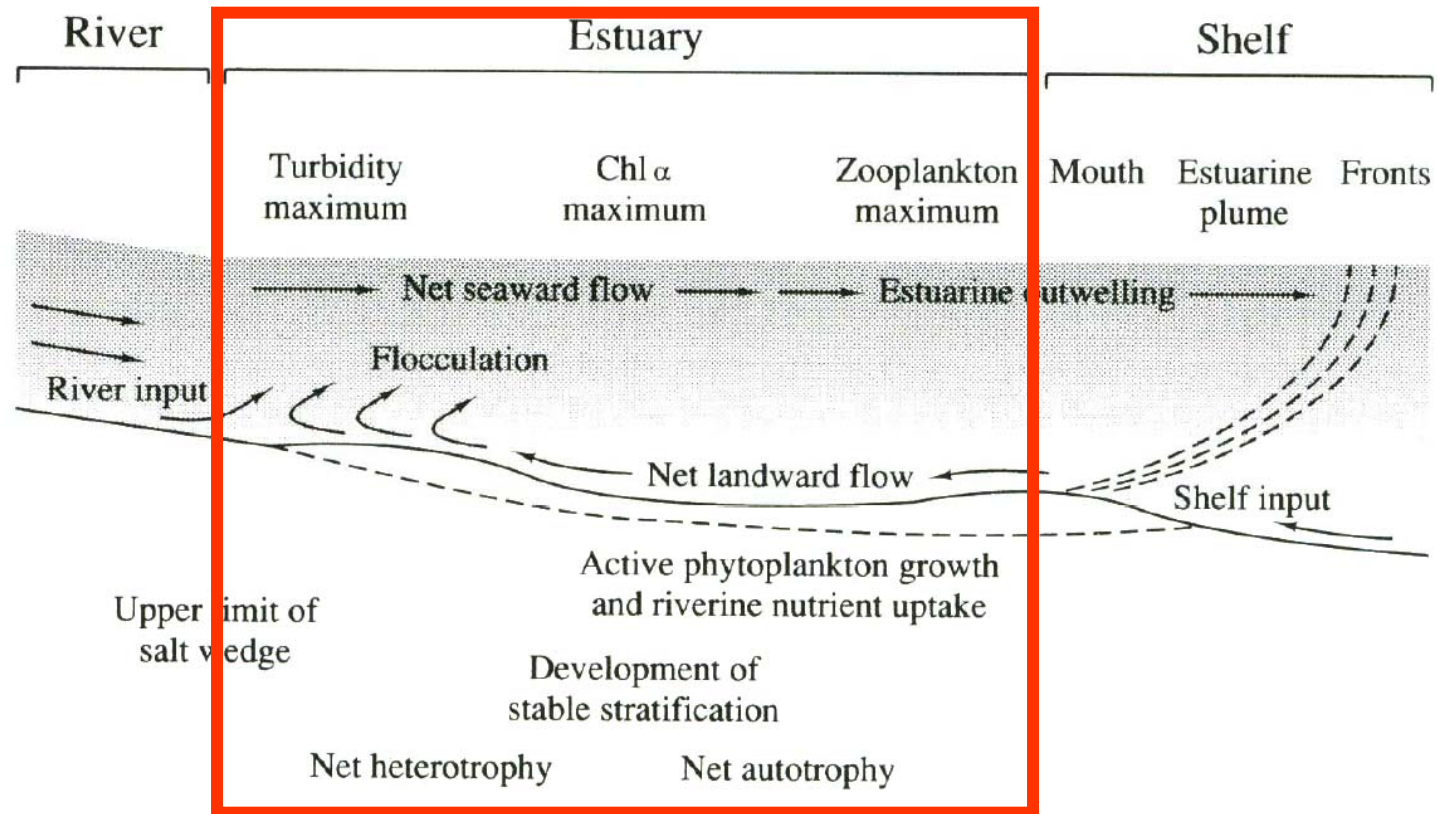


¡Muy importante para los flujos de intercambio de materia y nutrientes!  
Define el metabolismo heterotrófico del sistema

*“Estuarine outwelling”*



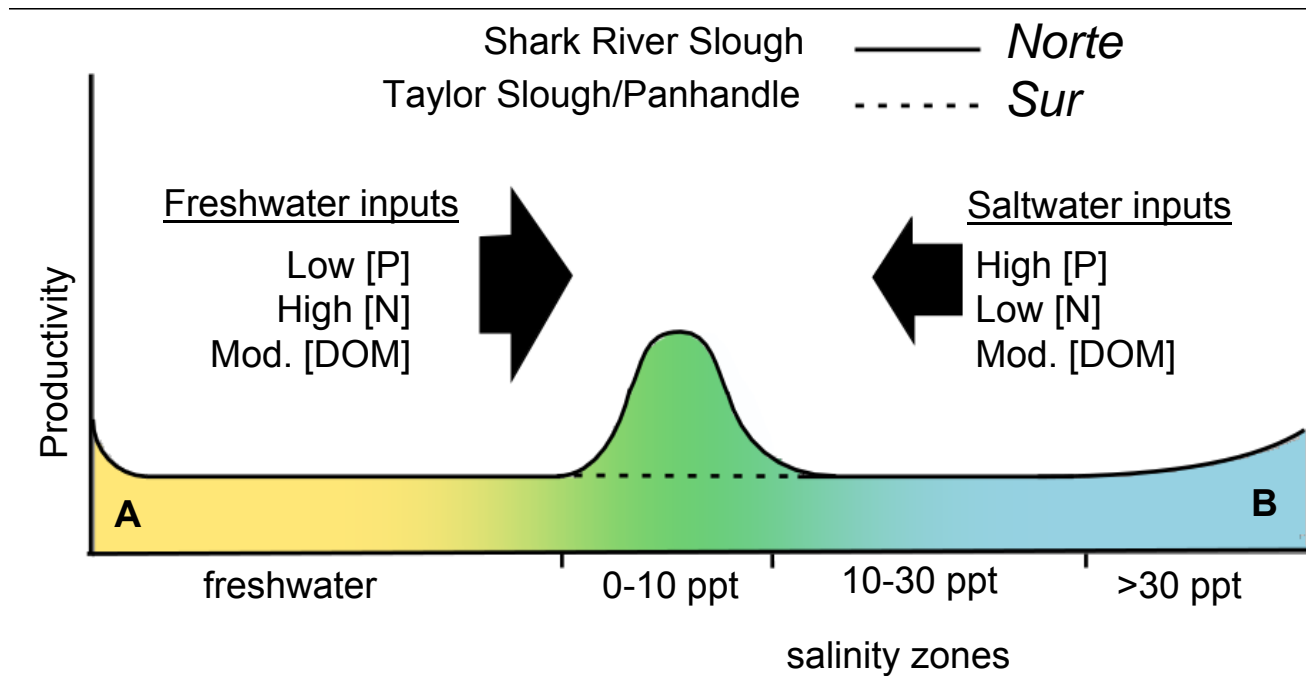
# Procesos biogeoquímicos



## **Modelo conceptual de la estructura química y biológica de un estuario.**

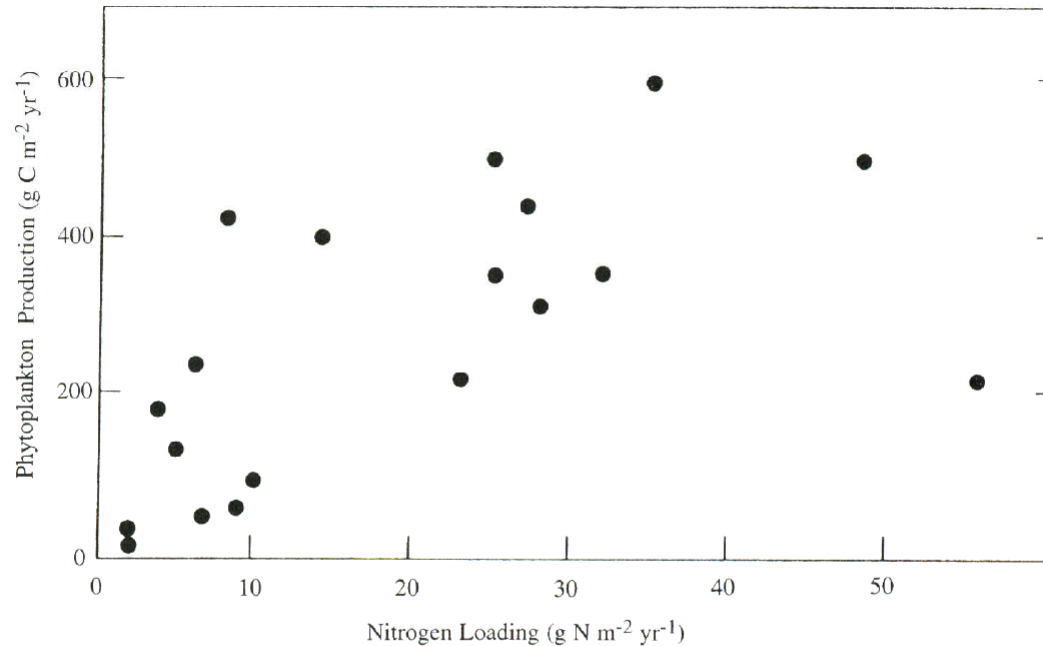
Debido a la carga en suspensión procedente del río y la disponibilidad de nutrientes, la producción del fitoplancton aumenta, incrementando la producción del zooplancton y de los niveles tróficos superiores.

# Procesos biogeoquímicos



**Productividad primaria: Everglades (Golfo de México)**

# Procesos biogeoquímicos

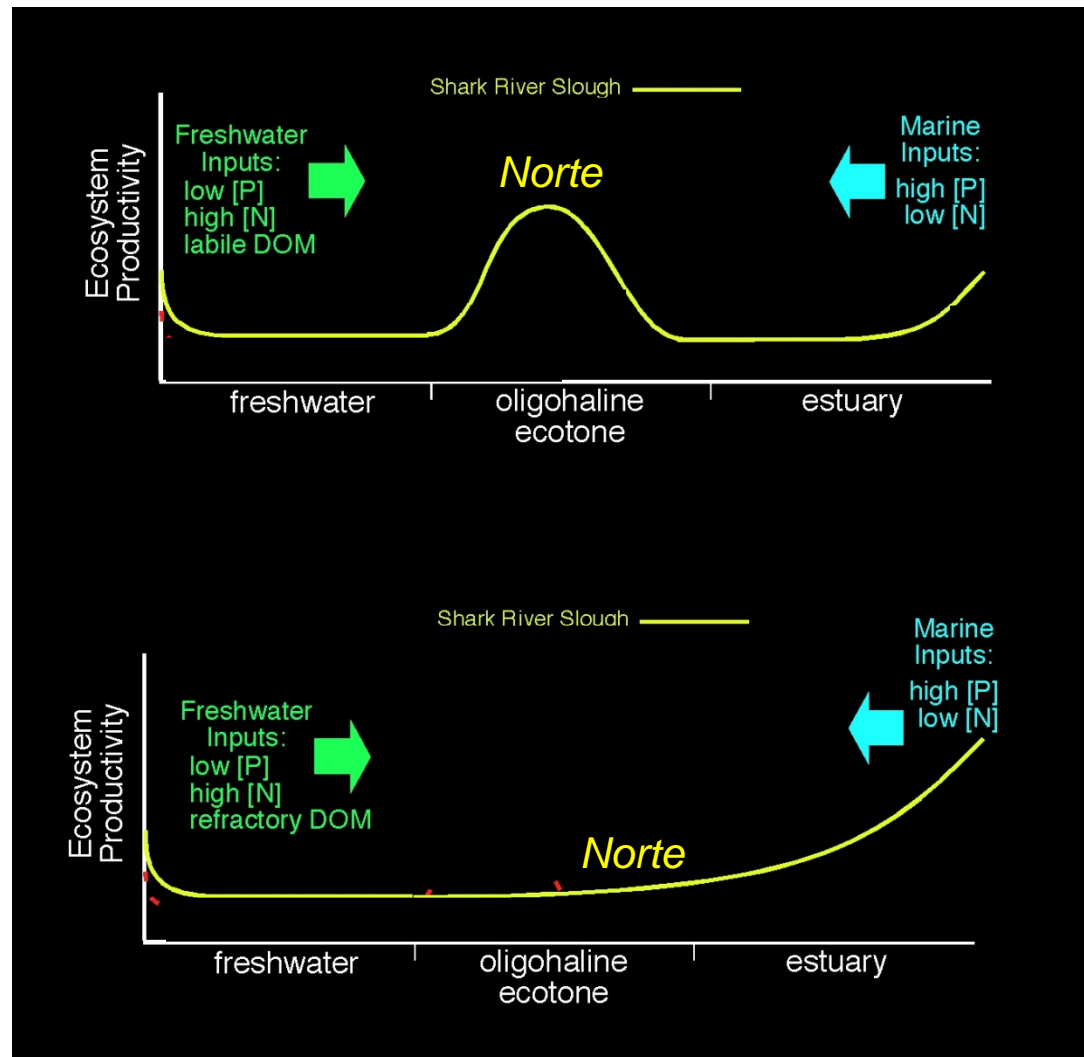


**Figure 8.14** Annual phytoplankton productivity in estuaries as a function of the new inputs of nitrogen to their waters. From Boynton et al. (1982).

## Productividad primaria: Efecto del nutriente limitante

En algunos casos N, en otros P y, en ocasiones, diferente según el grupo trófico: e.g. plantas superiores pueden estar limitadas por N y bacterias por P

# Procesos biogeoquímicos

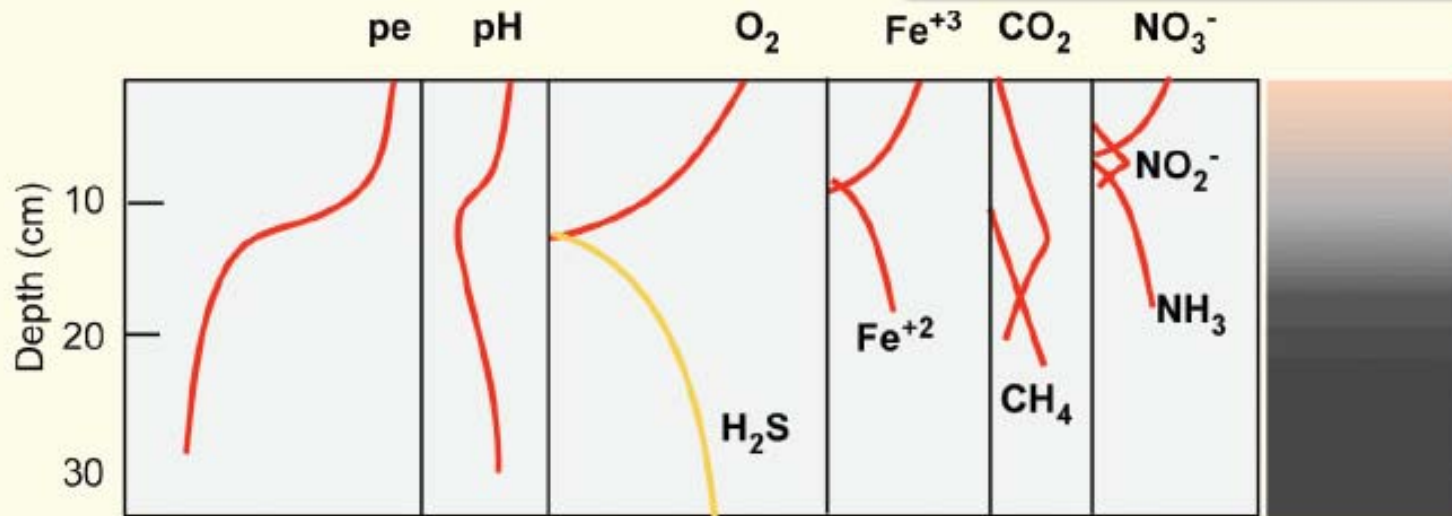


Productividad primaria: Efecto de la materia orgánica disuelta (DOM) lábil

# Procesos biogeoquímicos

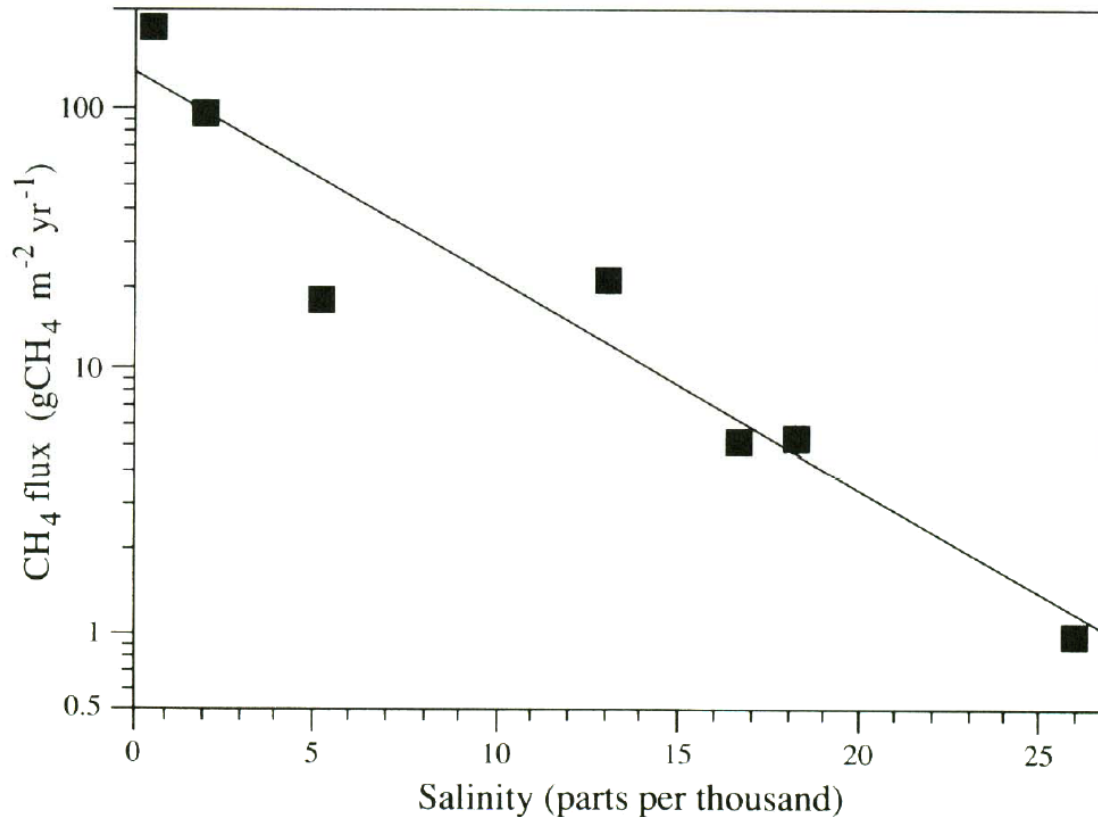
## Transformaciones anaeróbicas en el sedimento

As organic matter is consumed by respiration,  $O_2$  is depleted and new electron acceptors are used.



# Procesos biogeoquímicos

## Transformaciones anaeróbicas en el sedimento: salinidad



**Figure 8.11** Annual methane lost from salt marsh soils as a function of salinity. From Bartlett et al. (1987).

# Procesos biogeoquímicos

## Transformaciones anaeróbicas en el sedimento: sulfato

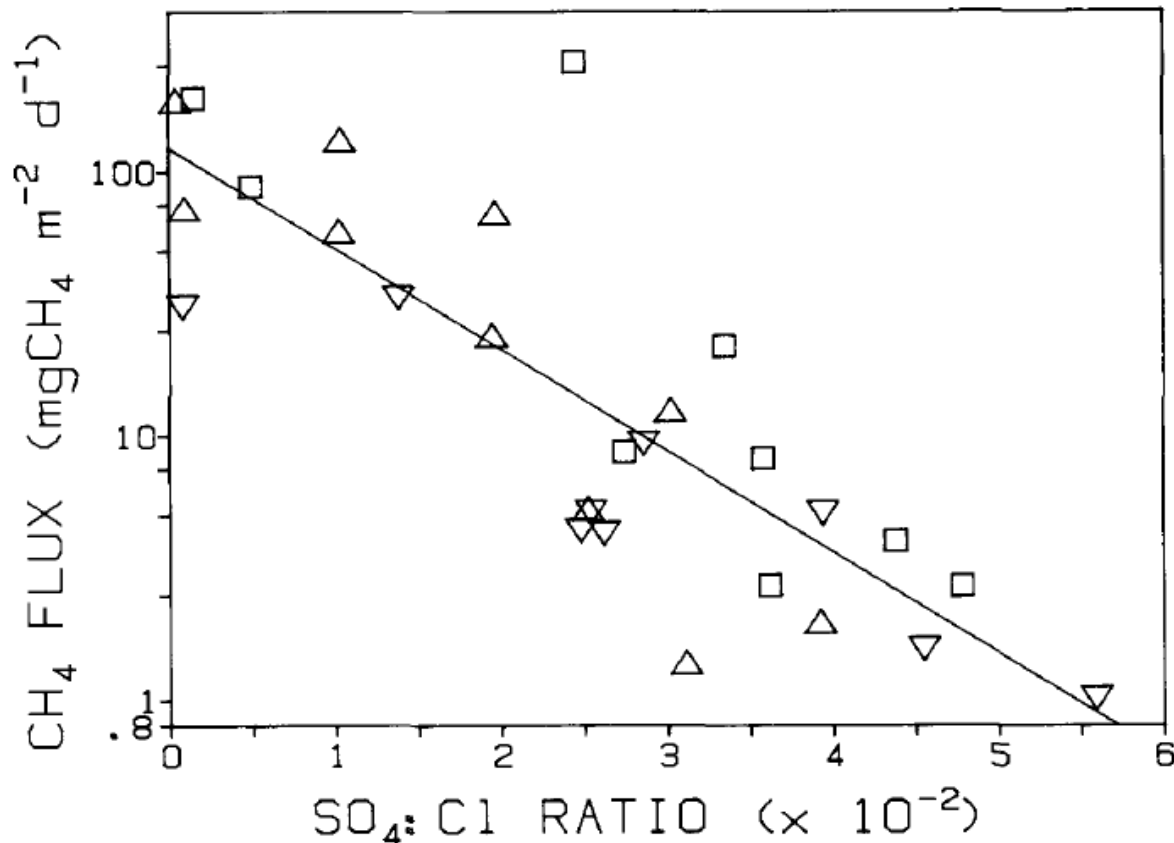
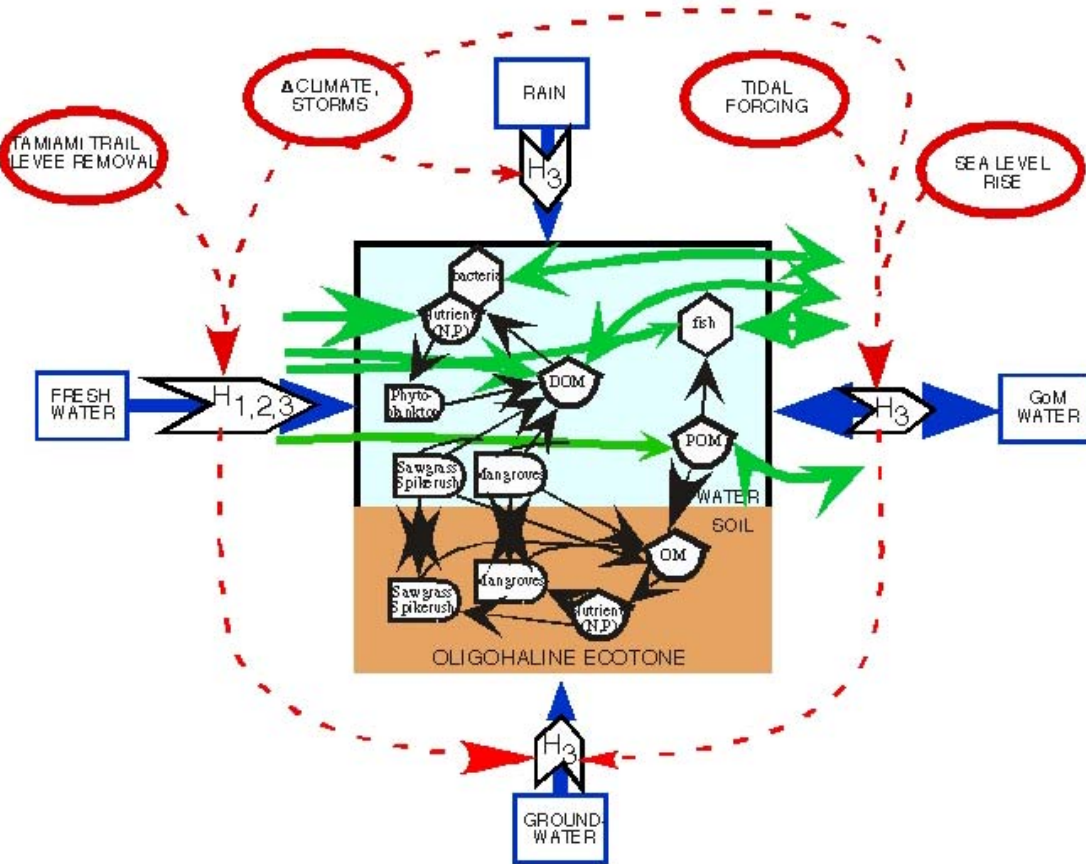


Fig. 7. Average  $\text{SO}_4:\text{Cl}$  ratios in the top 15 cm of marsh soils and methane emissions across the air-soil interface. ( $r = -.824$ ,  $p < .01$ ). Site designation as in Fig. 2.

# Flujos de C, N y P



**Input**  
  
**Output**

- Rango mareal
- Frecuencia mareal
- Entradas fluviales
- Lluvia
- Geomorfología
- Nutrientes disueltos vs. Particulados
- Productividad
- Consumo
- Mineralización
- Otros...



# Flujos de C, N y P

## *El mito del outwelling costero*

**Table 8.7** Annual Flux of Carbon and Nutrients from Salt Marshes to Coastal Waters<sup>a</sup>

Marsh	Carbon (g C m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )			Nitrogen (g N m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )			Phosphorus (g P m <sup>-2</sup> yr <sup>-1</sup> )	
	DOC	POC	TOC	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	Total	PO <sub>4</sub>	TP
Great Sippewissett, Massachusetts		-76 <sup>b</sup>		-4.2	-3.8	-24.6	-0.6	
Flax Pond, Long Island, New York	-8.4	+61	+53	-2.0	+1.0		-1.4	-0.3
Canary Creek, Delaware	-38	-62	-100	+0.7	+1.9	-1.2	<-0.1	
Gott's Marsh, Patuxent River, Maryland		-7.3		-0.4	-0.9	-3.7		-0.3
Ware Creek, York River, Virginia	-80	-35	-115	-2.9	+2.3	-2.8	-0.1	+0.7
Carter Creek, York River, Virginia	-25	-116	-142	-0.3	+0.3	-4.0	-0.6	0
Dill Creek, South Carolina		-303					-6.4	
North Inlet, South Carolina			-431					
Barataria Bay, Louisiana	-140	-25	-165					

<sup>a</sup> From Nixon (1980).

<sup>b</sup> Negative values are losses.



# Flujos de C, N y P: ejemplos

## El mito del outwelling costero

### Flujos de carbono orgánico en manglares

(g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>)

(Litterfall)

500

456

300

Export

470

(94%)

Export

192

(42%)

Export

64

(21%)

(Internal recycling) 30 (6%)

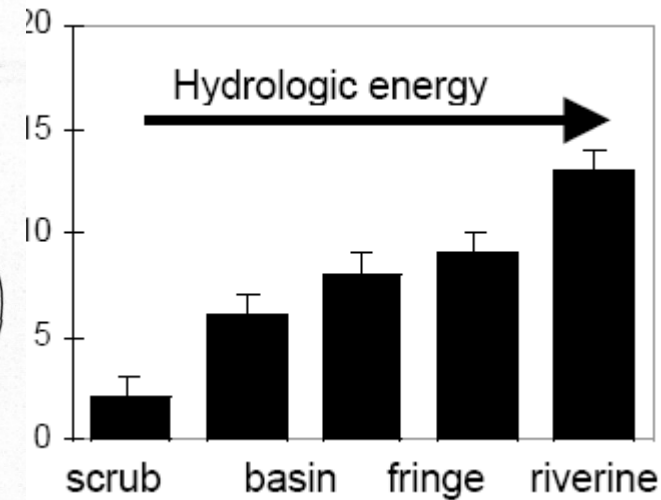
264 (58%)

236 (79%)

Riverine  
Mangrove

Fringe  
Mangrove

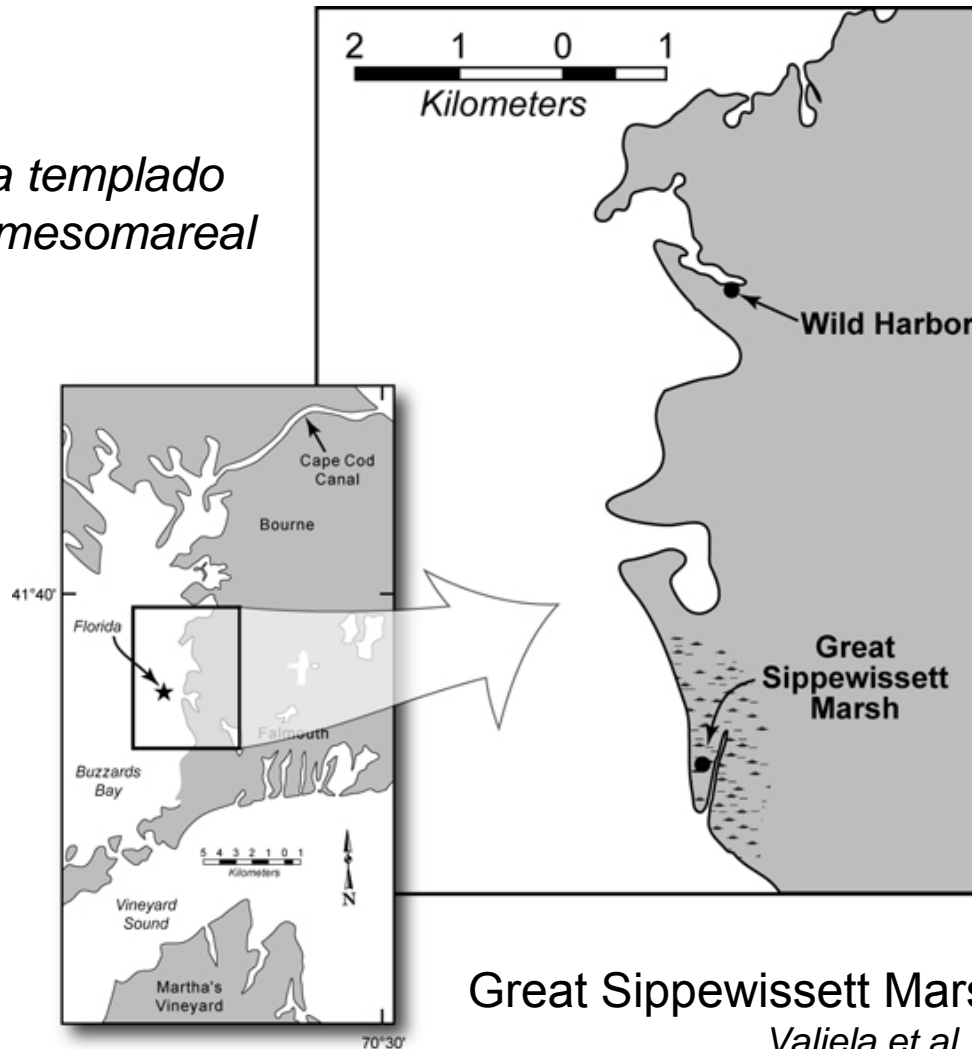
Basin  
Mangrove



# Flujos de C, N y P: ejemplos

## *Salt marshes*

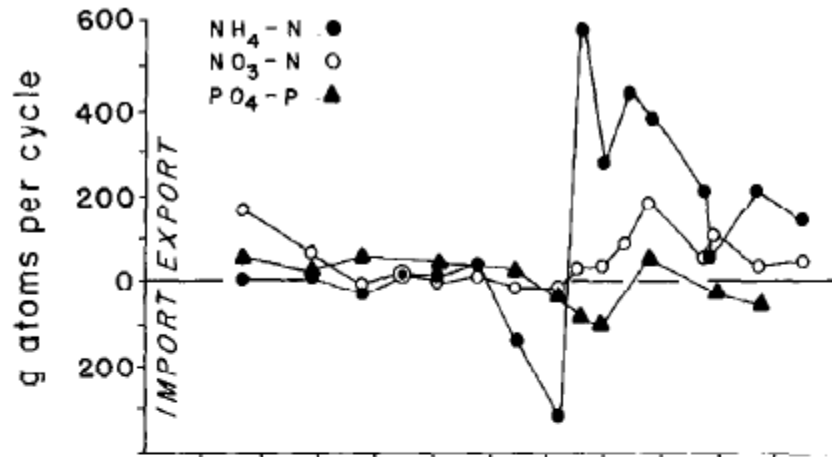
*Clima templado*  
*Micro-mesomareal*



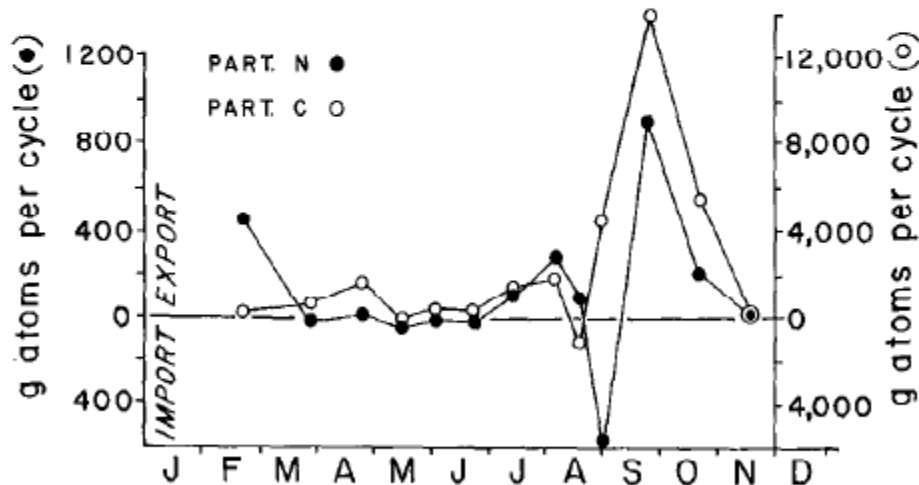
Great Sippewissett Marsh (Massachusetts)

*Valiela et al. (1978)*

# Flujos de C, N y P: ejemplos



**La exportación ocurre principalmente cuando acaba el ciclo vegetativo y empiezan las mareas vivas estivales**



**Estacionalmente exporta PC y PN**

Fig. 4. Net exchanges of nutrients between Great Sippewissett Marsh and Buzzards Bay. Export and import refer to marsh.

# Flujos de C, N y P: ejemplos

Table 2. Annual exchanges of nutrients carried by tides in and out of marsh. Losses from marsh shown as negative.

	Annual exchanges (kg·yr <sup>-1</sup> )			
	Flood	Ebb	Net	kg/ha/yr
NH <sub>4</sub> -N	2,623	3,539	-916	-18.3
NO <sub>3</sub> -N	386	1,215	-829	-16.6
NO <sub>2</sub> -N	154	166	-12	-0.24
DON	16,346	18,479	-2,133	-42.6
PN	6,743	8,205	-1,462	-29.2
PC	53,159	69,660	-16,501	-330.0
PO <sub>4</sub> -P	2,575	2,711	-136	-2.7

(Marsh area= 50 ha)

**Exportador neto de C, N y P**



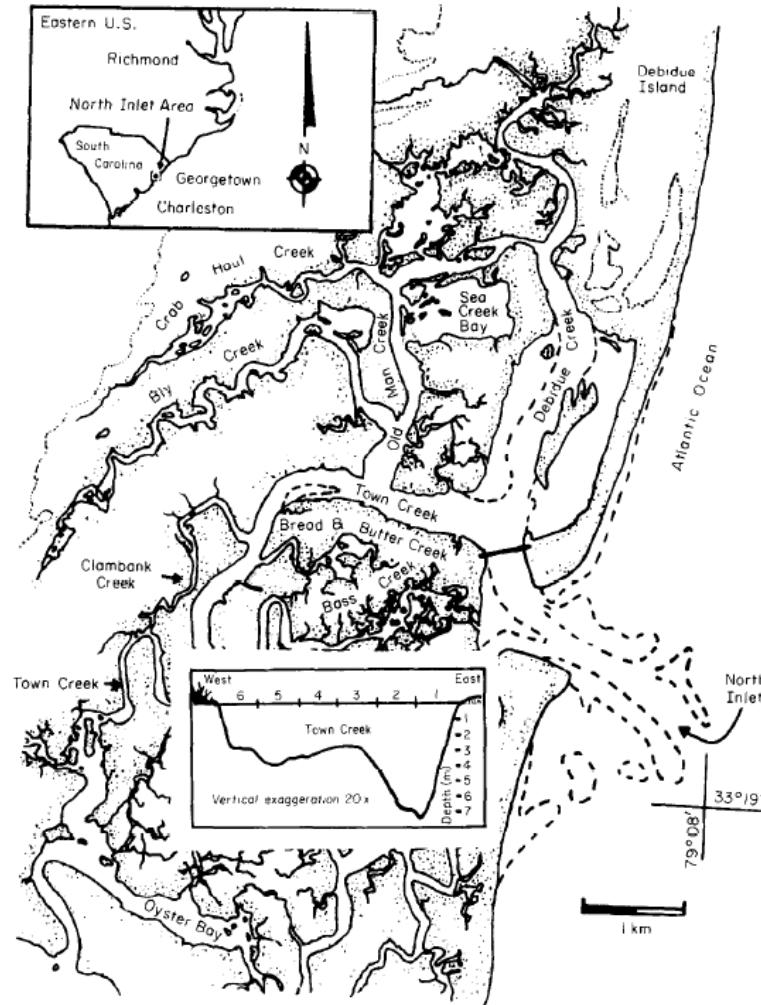
Exportación



Importación

# Flujos de C, N y P: ejemplos

## *Salt marshes*



North Inlet Estuary (South Caroline)

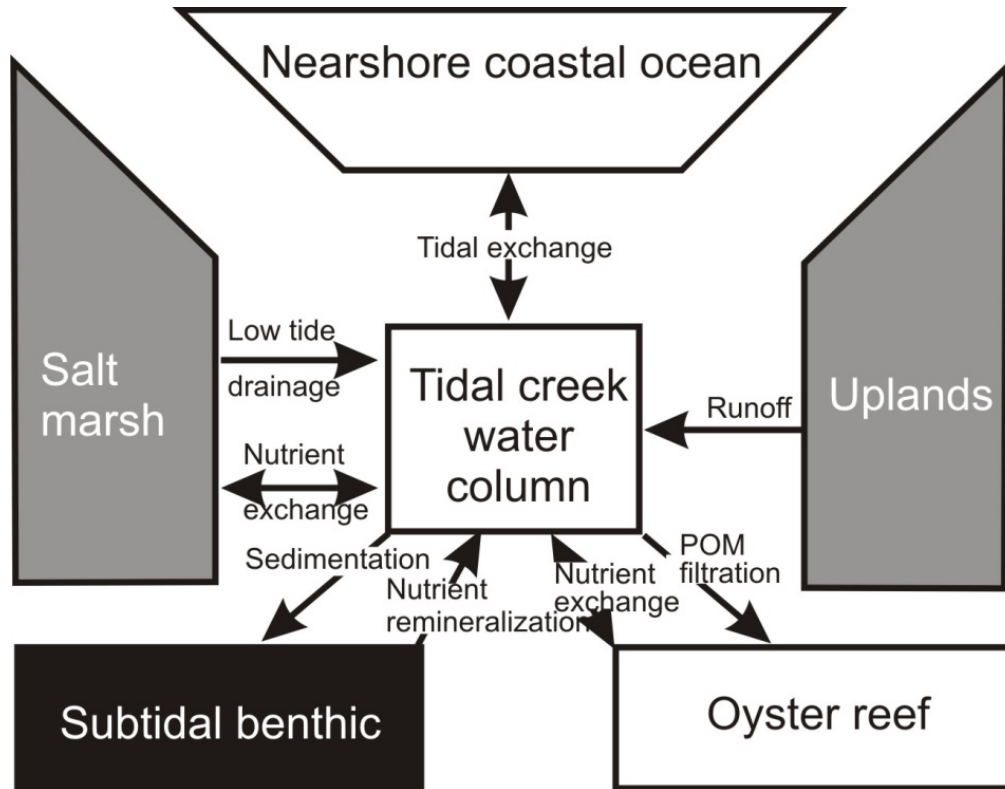
*Childers et al. (1993)*

# Flujos de C, N y P: ejemplos

North Inlet Estuary (South Caroline)

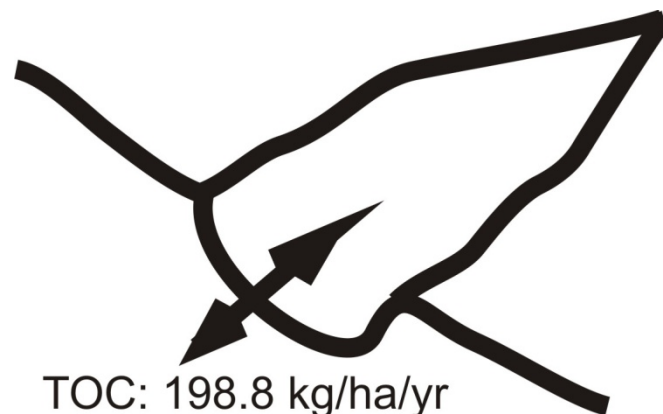
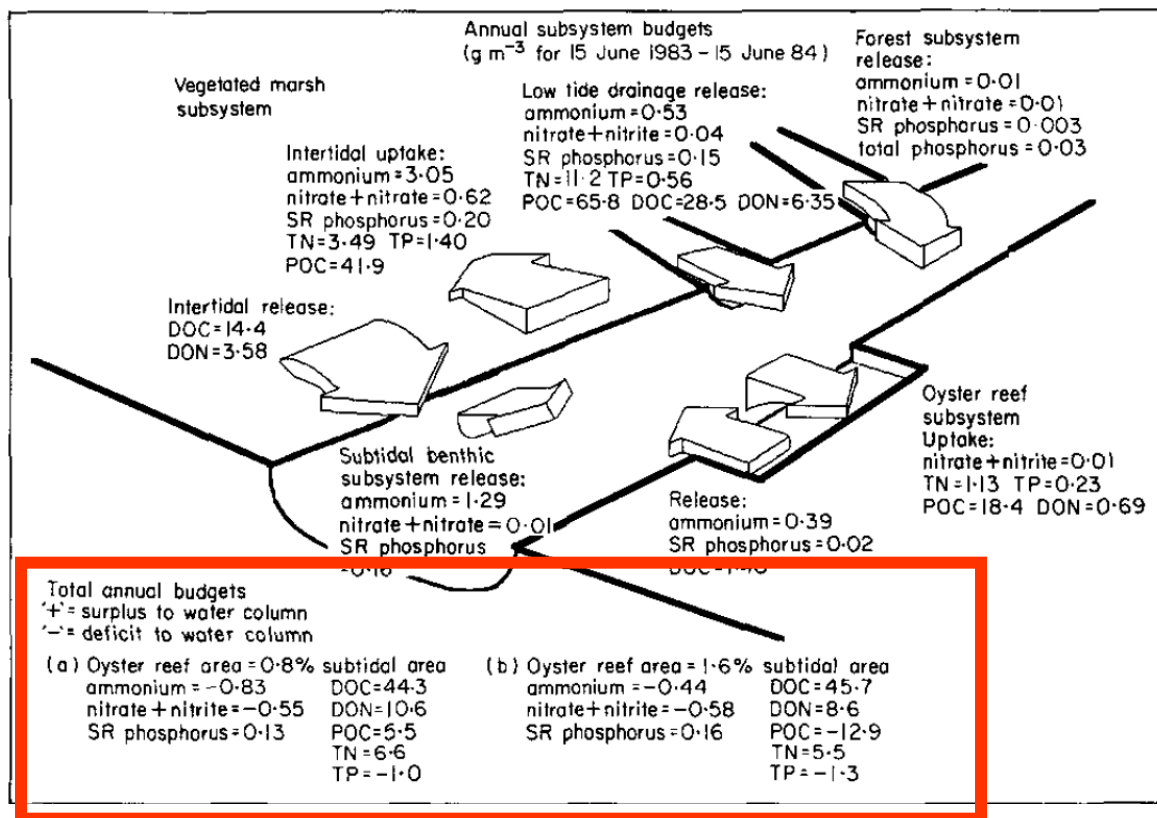
*Clima subtropical húmedo*

*Micro-mesomareal*



# Flujos de C, N y P: ejemplos

## North Inlet Estuary (South Caroline)



TOC: 198.8 kg/ha/yr  
TN: 27.6 kg/ha/yr  
TP: -5 kg/ha/yr

**Exportador neto de C y N  
Limitado por P**

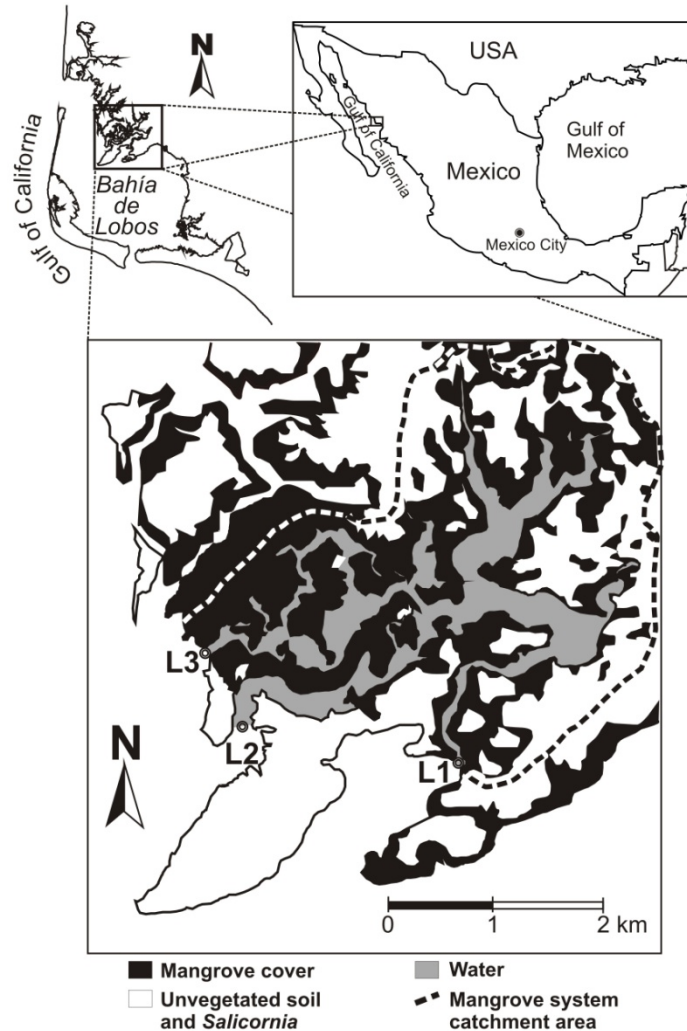
Figure 5. Schematic diagram of an idealized North Inlet estuary showing total annual fluxes generated by the dynamic budget for each subsystem, in g C, N, or P m<sup>-3</sup> year<sup>-1</sup>. Total annual budgets in lower left sum these habitat-specific interactions for each constituent into the net annual exchanges for the 0.8% oyster reef area used in the budget and for the 1.6% oyster reef area sensitivity analysis (note that positive values represent a net annual surplus while negative values represent a net annual deficit).

+ → Exportación - ← Importación



# Flujos de C, N y P: ejemplos

## *Mangroves*

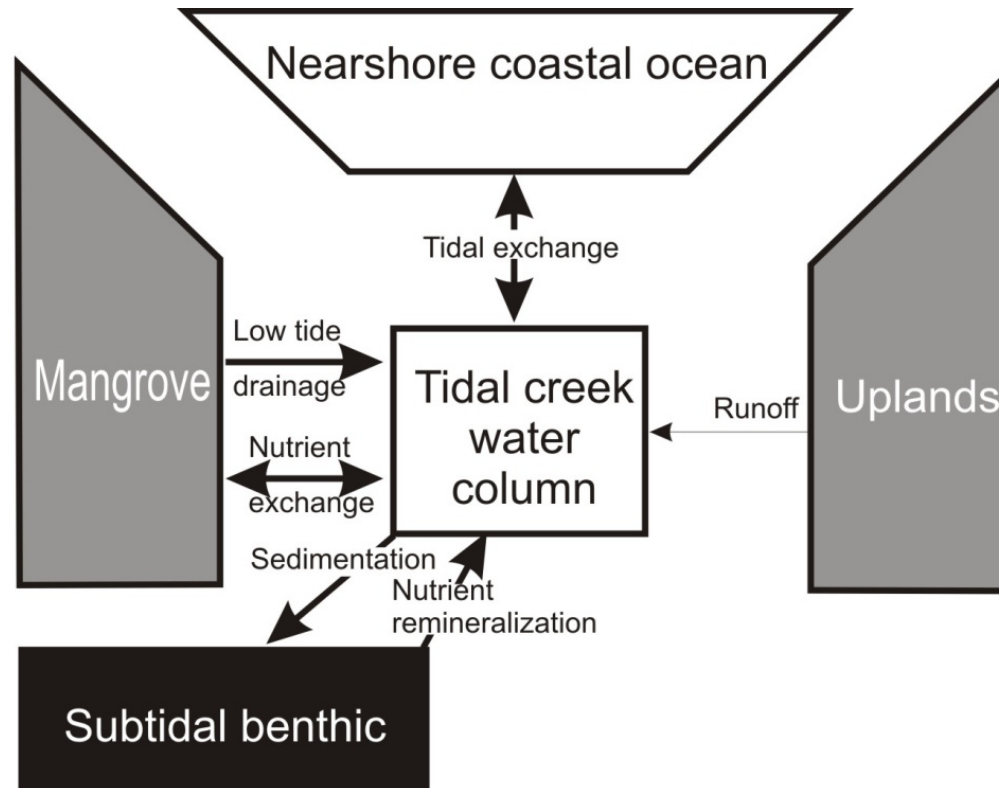


Bahía de Lobos (Norte de México)

*Sánchez-Carrillo et al. (2009)*

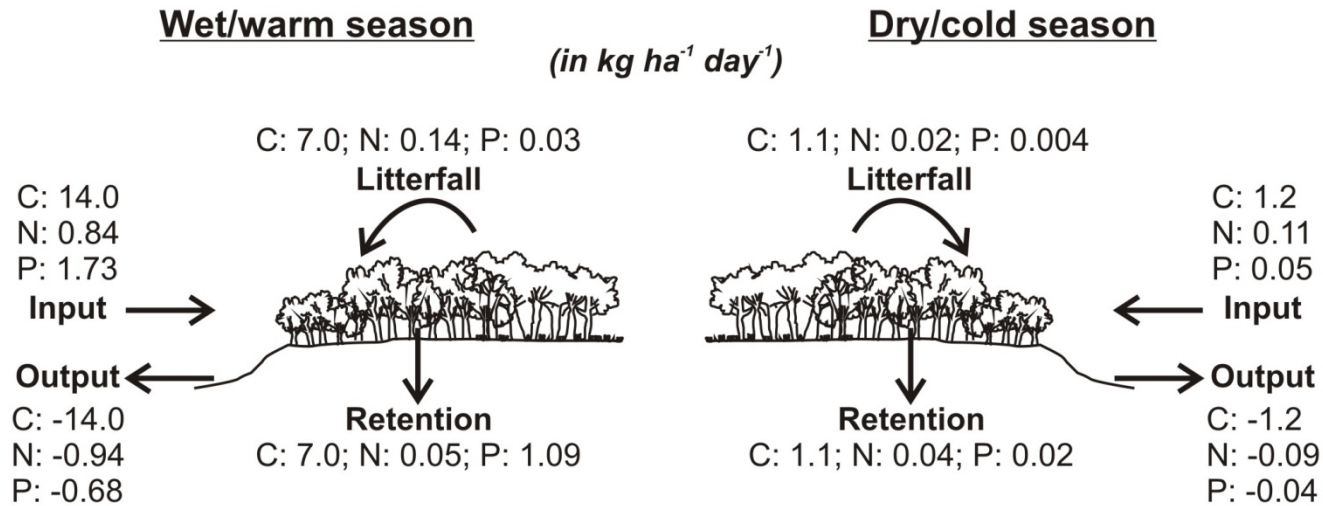
# Flujos de C, N y P: ejemplos

Bahía de Lobos (Norte de México)  
*Clima subtropical Semiárido*  
*Micromareal*

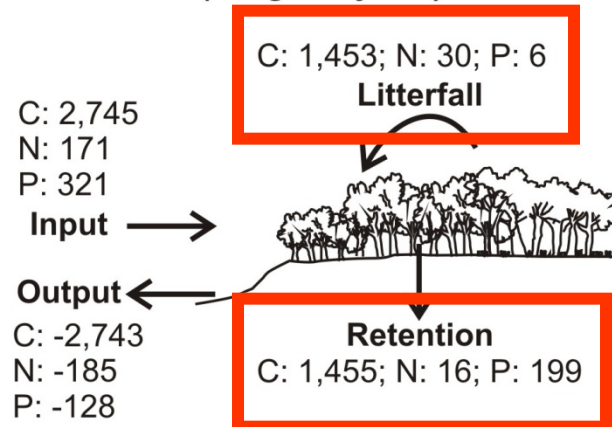


# Flujos de C, N y P: ejemplos

Bahía de Lobos (Norte de México)



**Annual budget**  
(in kg ha<sup>-1</sup> year<sup>-1</sup>)



Estos ecosistemas son neutrales desde el punto de vista metabólico

Exporta N  
 Importa P  
 Retiene P  
 Neutral C

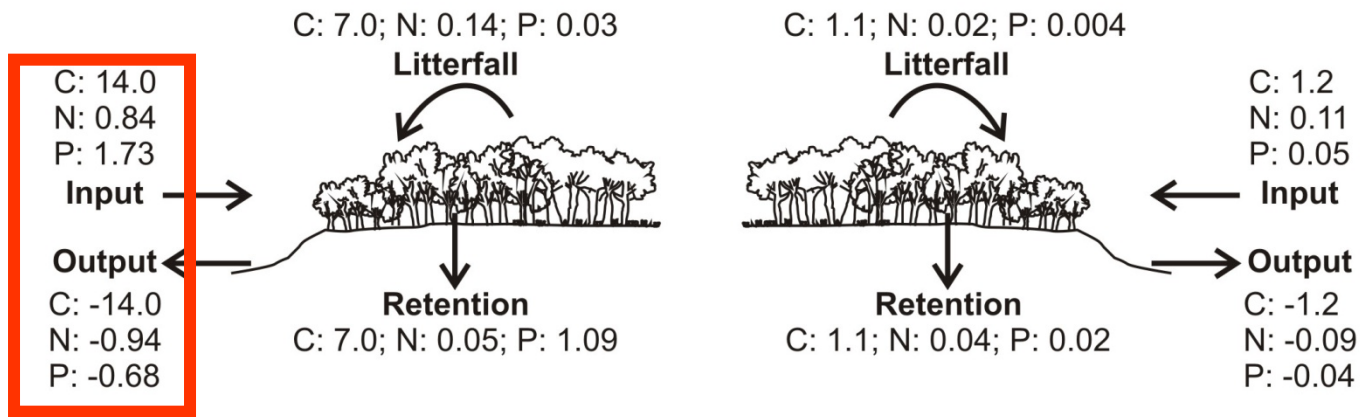
# Flujos de C, N y P: ejemplos

Bahía de Lobos (Norte de México)

Wet/warm season

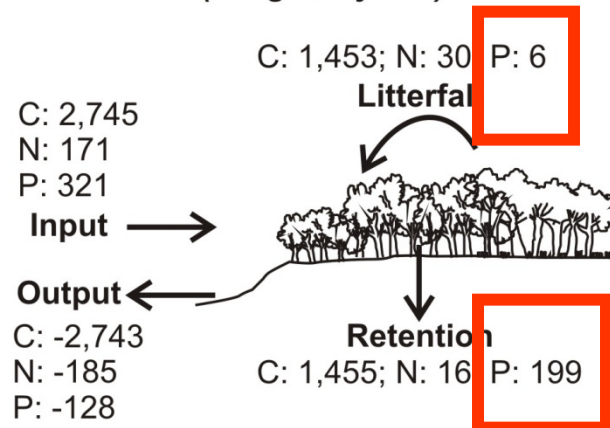
(in  $kg\ ha^{-1}\ day^{-1}$ )

Dry/cold season



Annual budget

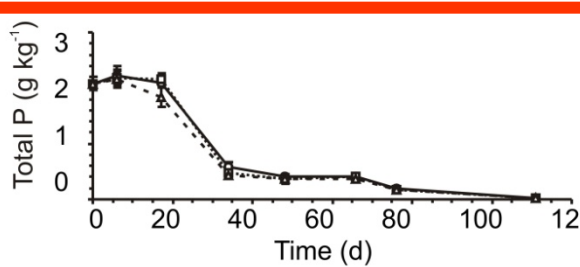
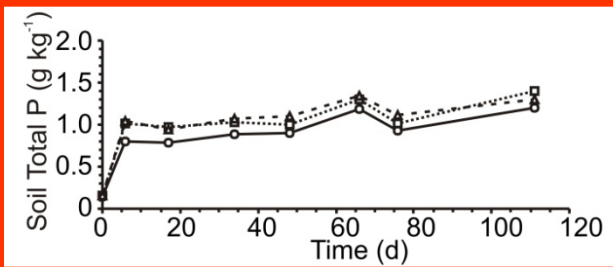
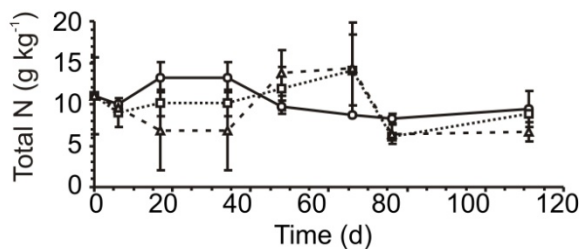
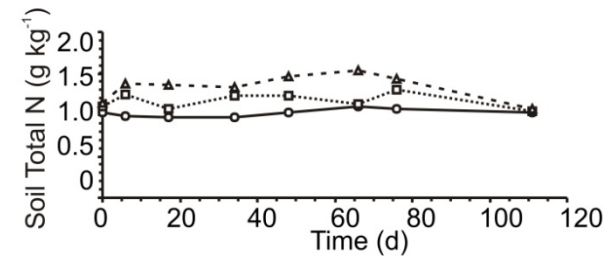
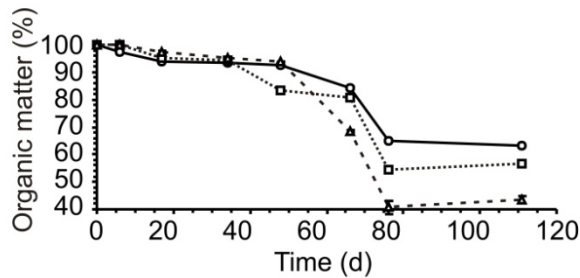
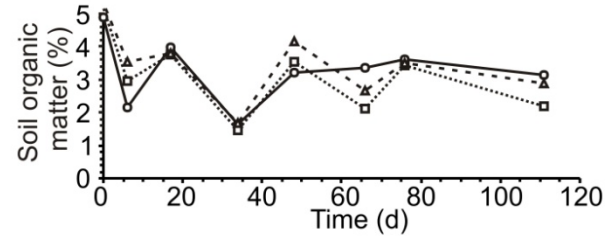
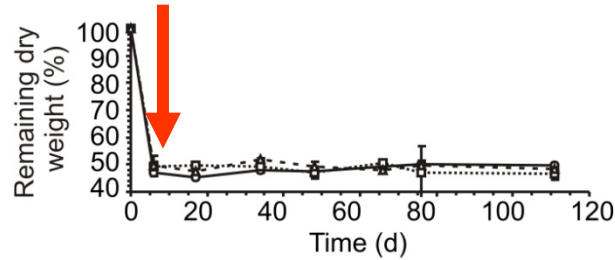
(in  $kg\ ha^{-1}\ year^{-1}$ )



Pero depende de las entradas de P desde la costa que limita la productividad en el ciclo vegetativo

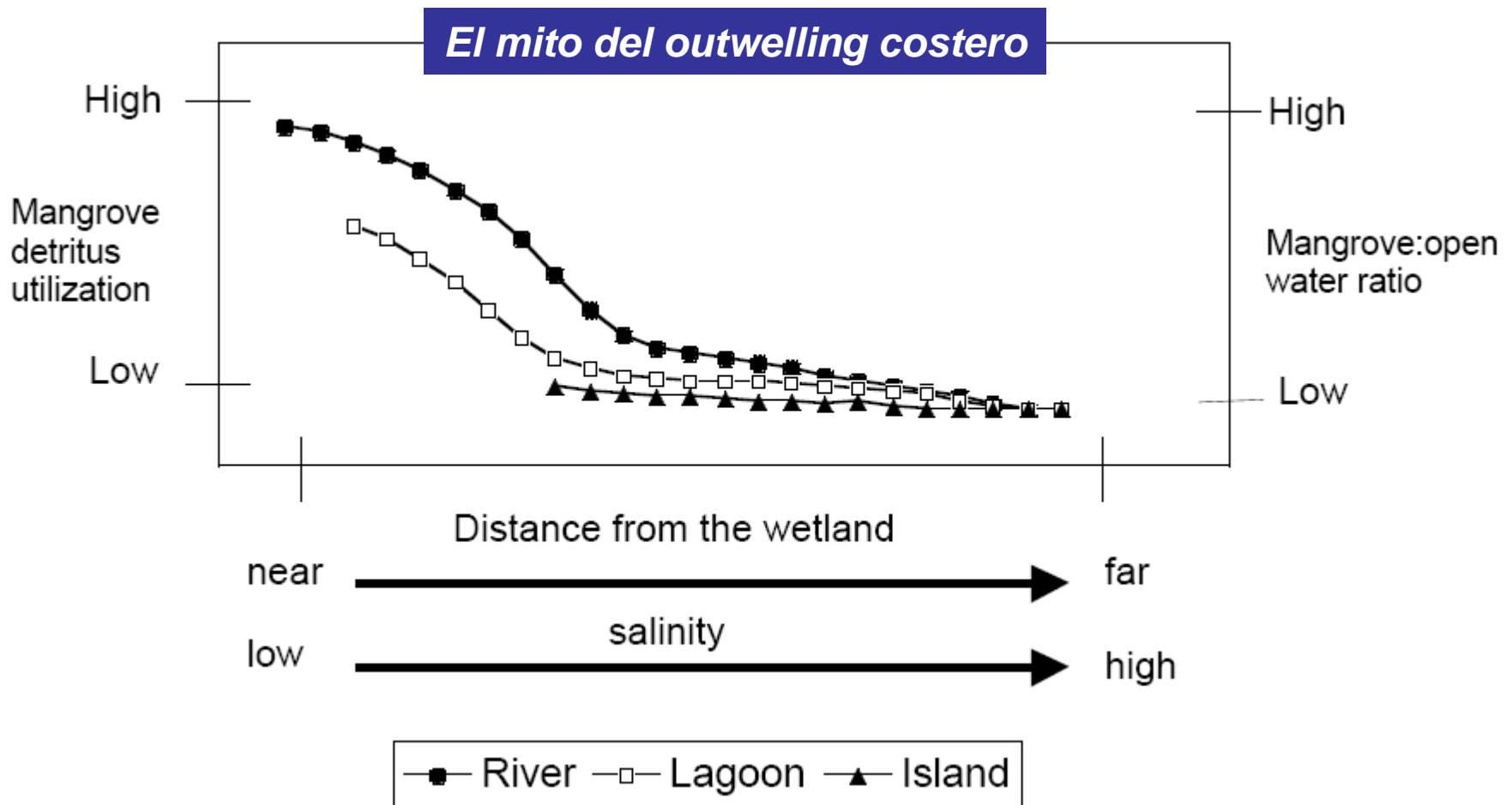
# Flujos de C, N y P: ejemplos

—○— zone a    - -□- - zone b    - -△- - zone c



De hecho, el metabolismo del ecosistema depende del reciclado rápido del P presente en la hojarasca por parte de las bacterias

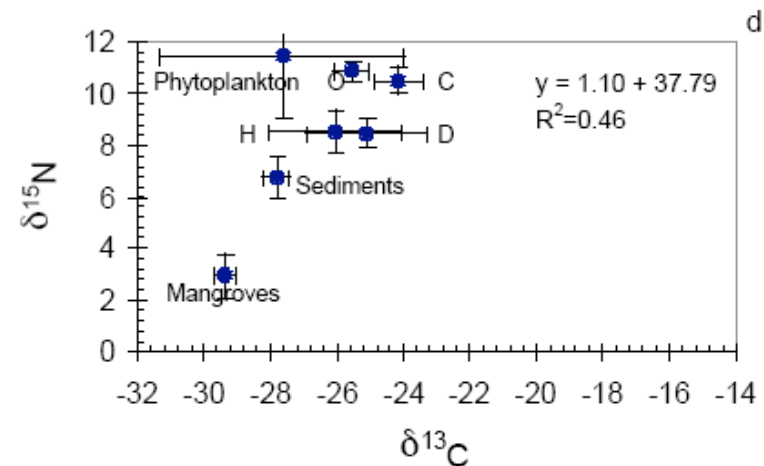
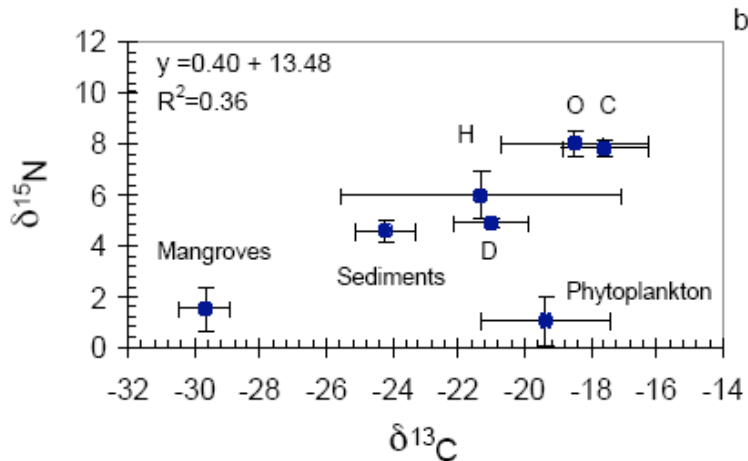
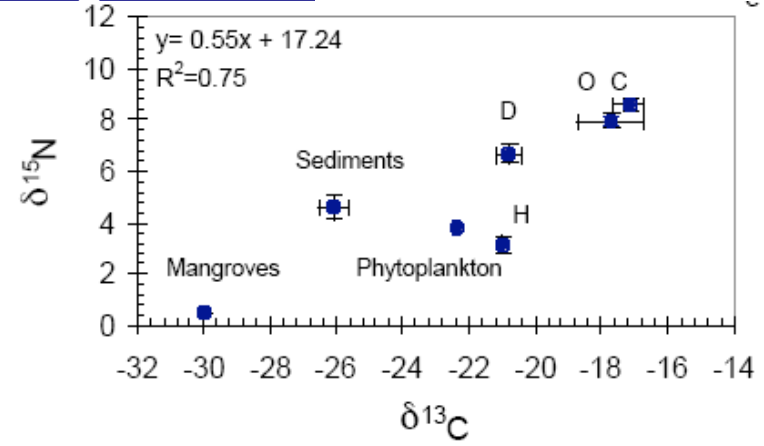
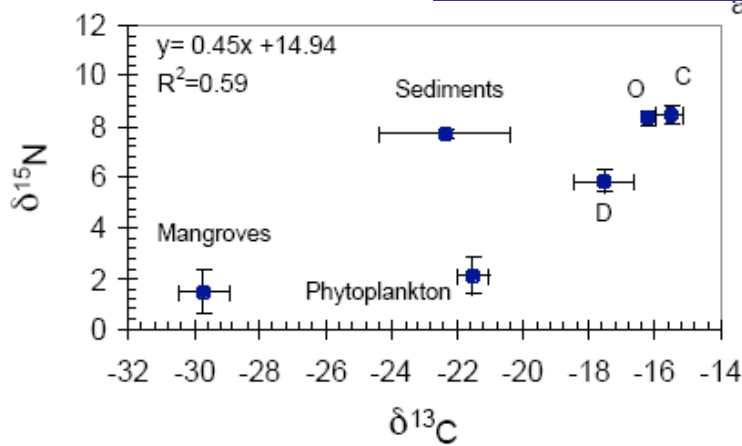
# Flujos de C, N y P: ejemplos



Modelo conceptual de la utilización de los detritos del manglar por los consumidores en función de las características ambientales, distancia al humedal, salinidad y el cociente del área de manglar:zonas de aguas libres

# Flujos de C, N y P: ejemplos

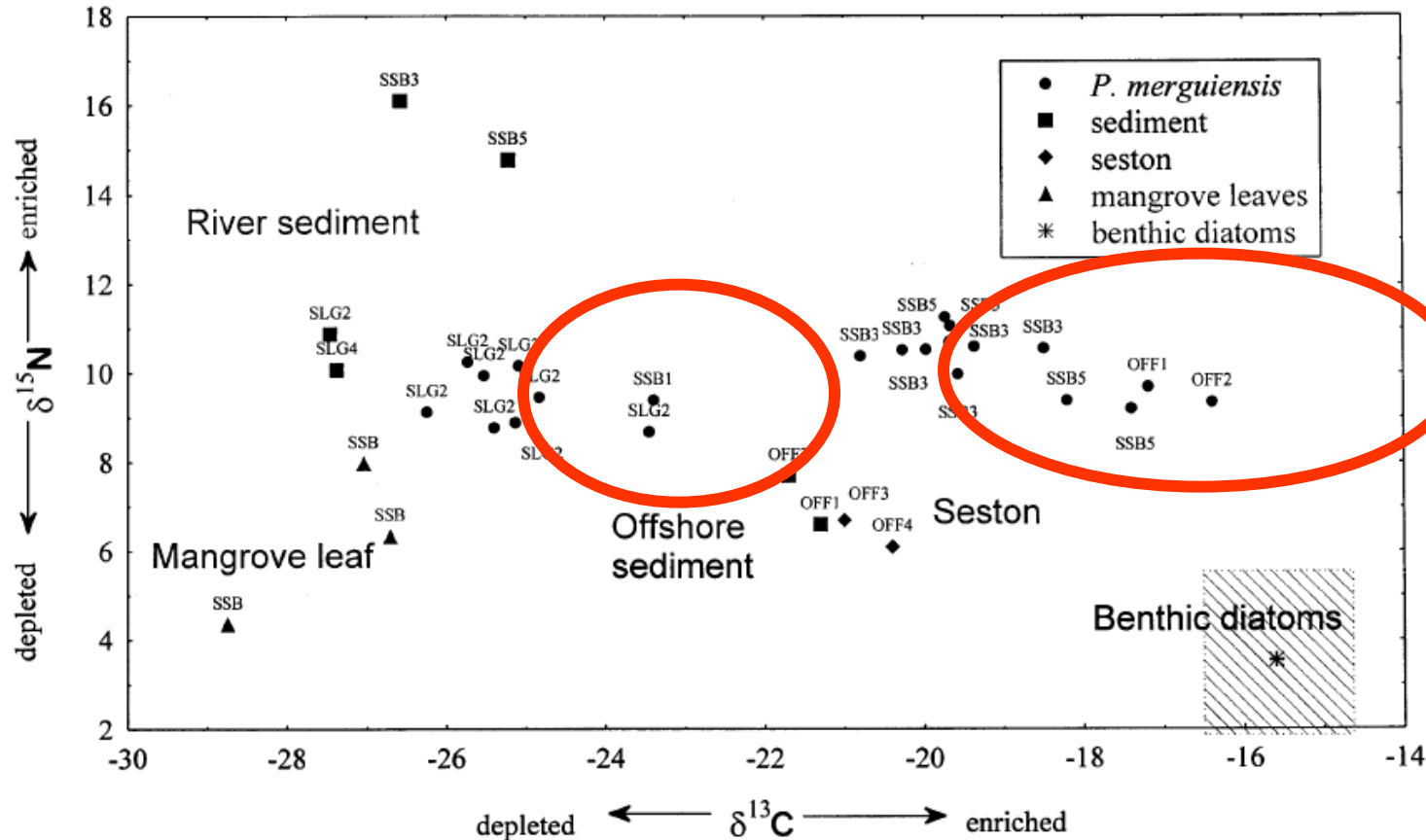
## El mito del outwelling costero



Correlation between  $\delta^{15}\text{N}$  and  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) composition measured in mangrove litter (n=8), seston (phytoplankton, n=15), sediments (n=9), and fish tissue, in zones 1(a), 2(b), 3(c), and 4(d) of Ciénaga Grande de Santa Marta complex. Values are the mean  $\pm$  1 SE. D= detritivores, H= herbivores, O= omnivores, C= carnivores.

# Flujos de C, N y P: ejemplos

## El mito del outwelling costero



(Chong et al. (2001):  
Marine Biol. 138: 77-86)

El detritus del manglar contribuye a la nutrición de los camarones juveniles en función de la distancia: cuando nos alejamos de la fuente se consume menos detritus procedente del manglar y aumenta el consumo de material derivado del plancton. Los adultos que se concentran en zonas marinas derivan muy poco su nutrición del manglar



# Flujos de C, N y P: ejemplos

## El mito del outwelling costero

**Table 4** Potential contribution (%) of mangroves, plankton and benthic diatoms to the carbon assimilated by various species of penaeid prawns in and outside the Matang mangrove swamp, Malaysia. Calculated values are based on a simple mixing model assuming two end points (any two of three carbon sources), and isotopic fractionation of 1‰. Assumed mean  $\delta^{13}\text{C}$  values (‰) of carbon sources are plankton = -17.9, mangrove = -27.7 and benthic diatoms = -15.6 (see text). Percentage contribution of plankton: benthic diatoms calculated when contribution of mangrove: plankton becomes negligible (< 5%) (outside mangrove swamp)

Species	Site	Prawn muscle: mean $\delta^{13}\text{C}$	Mangrove: plankton % mangrove contribution	Plankton: benthic diatoms % plankton contribution
<i>Penaeus merguensis</i>	SLG2	-25.2	84	
	SSB1	-20.3	35	
	SSB3	-19.9	30	
	SSB5	-18.5	16	
	OFF1-2	-16.8		94
<i>Metapenaeus brevicornis</i>	SSB1	-25.1	83	
	SSB3-4	-20.9	40	
	SSB5	-18.3	14	
	OFF1-2	-19.3	24	
<i>M. affinis</i>	SSK	-23.9	71	
	OFF1-2	-16.0		58
<i>M. lysianassa</i>	OFF1-2	-17.3	3	100
<i>Parapenaeopsis sculptilis</i>	SSB1	-25.1	83	
	OFF1-2	-18.5	16	
<i>P. coromandelica</i>	OFF1	-17.0	1	100
<i>P. hardwickii</i>	OFF2	-15.4		34

# Flujos de C, N y P: ejemplos



## Modelo de Balances Biogeoquímicos de LOICZ

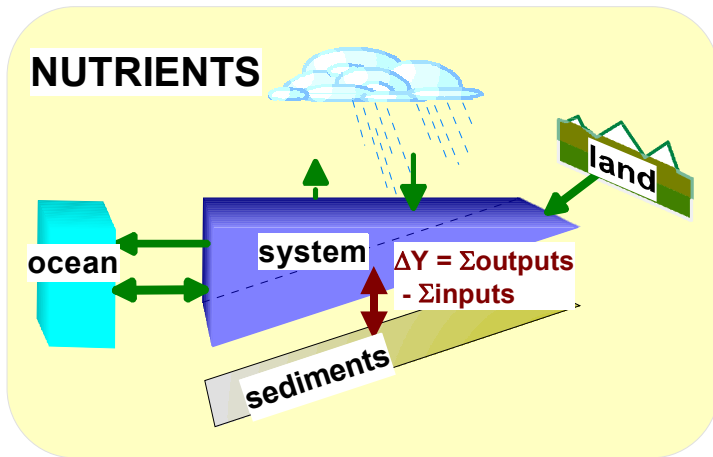


- Se estudian las interacciones entre el continente y el océano en la zona costera
- Uno de sus objetivos es elaborar balances de C, N y P en diferentes zonas costeras del planeta considerando la dimensión humana (socioeconomía)
- Extrapolará los datos de flujos locales a flujos globales

Balances de Agua, Sal y de Nutrientes  
“Relacionados Estequiométricamente”



# LOICZ: Balances de Nutrientes

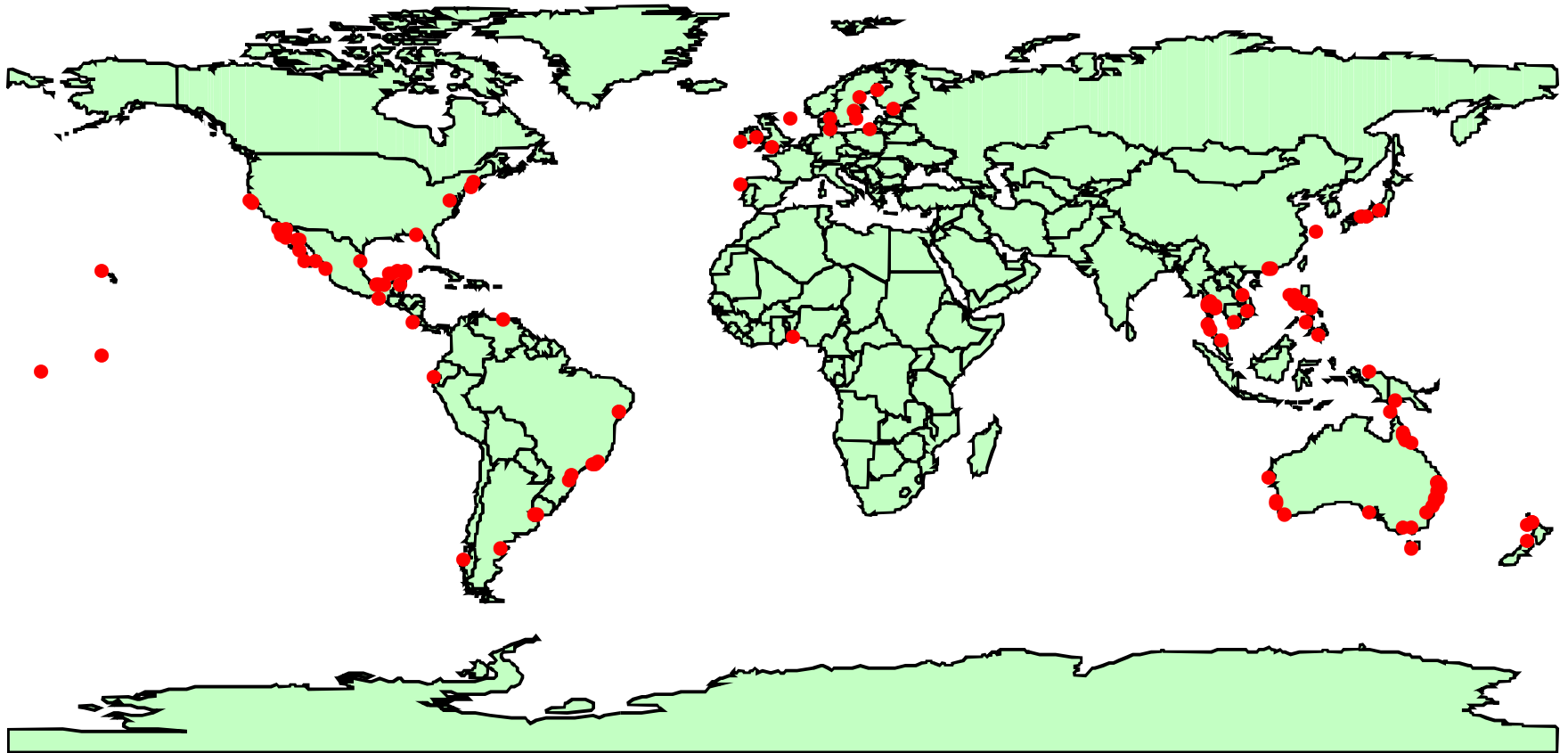


- Balance del elemento (Y)
  - El aporte o salida interna neta dentro del sistema ( $\Delta Y$ ) conserva Y.
- Cálculos basados en estequiometría simple
  - Suponiendo una razón C:N:P Redfield (106:16:1)
    - (*producción - respiración*) =  $-106 \times \Delta \text{DIP}$
    - (*Fijación de Nitrógeno - denitrificación*) =  $\Delta \text{DIN}_{\text{obs}} - 16 \times \Delta \text{DIP}$



# Resultados Preliminares de los Balances de LOICZ

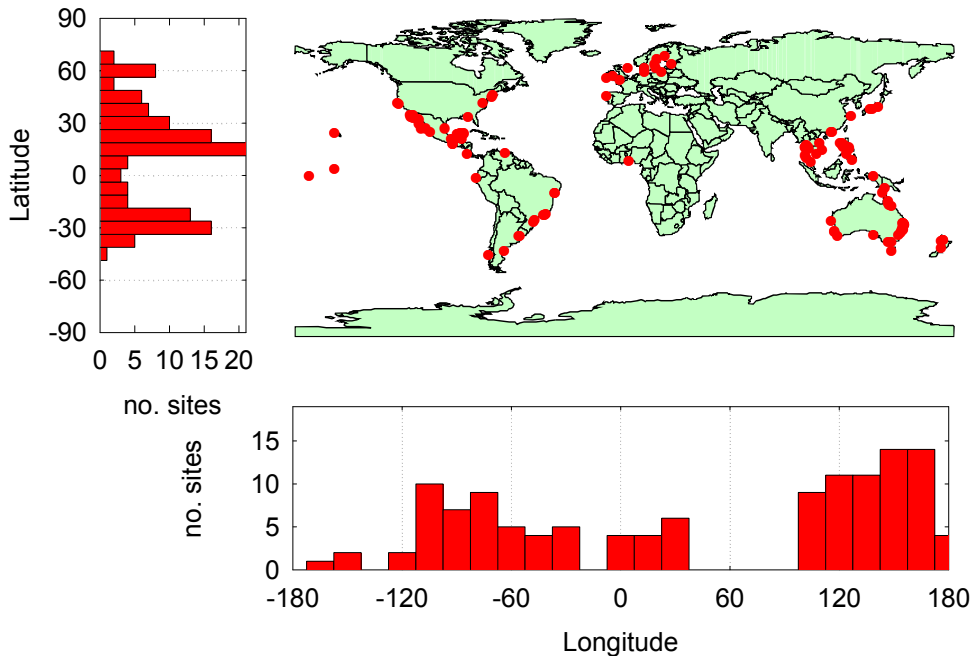
# Sitios con Balances a la Fecha



>100 sitios actualmente; > 200 sitios deseables.

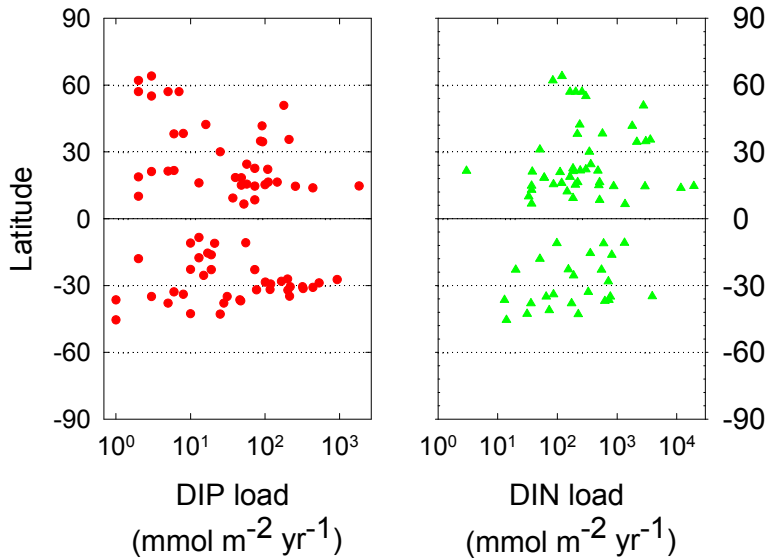
# Latitud, Longitud de los Sitios

## Cobertura actual



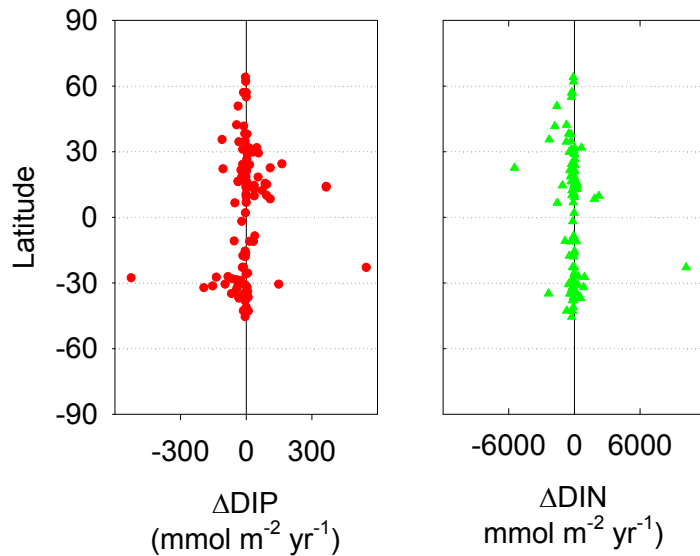
- Pobre en altas latitudes (N & S).
- Pobre entre 10°N - 15°S.
- Pobre en Africa.
- Sitios S. Asia todavía no colocados en la página.

# Descarga de Nutrientes vs Latitud



- Variaciones de descarga algo mas obvias con DIP.
- Altas descargas cerca de 15°N son del SE Asia.
- Altas descargas cerca de 30°S son en Australia

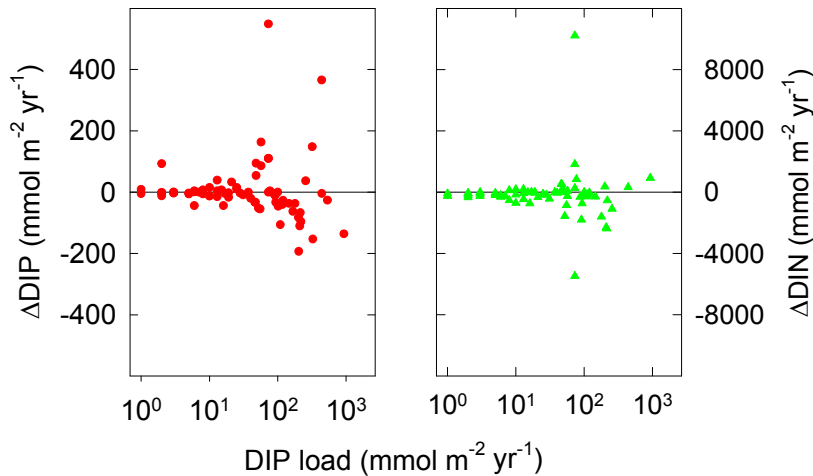
# Flujo Interno de Nutrientes vs Latitud



- La respuesta de  $\Delta\text{DIP}$  a las descargas tal vez difiere entre H.N. y HS.
- La respuesta de  $\Delta\text{DIN}$  a la descarga parece mas débil que  $\Delta\text{DIP}$ .

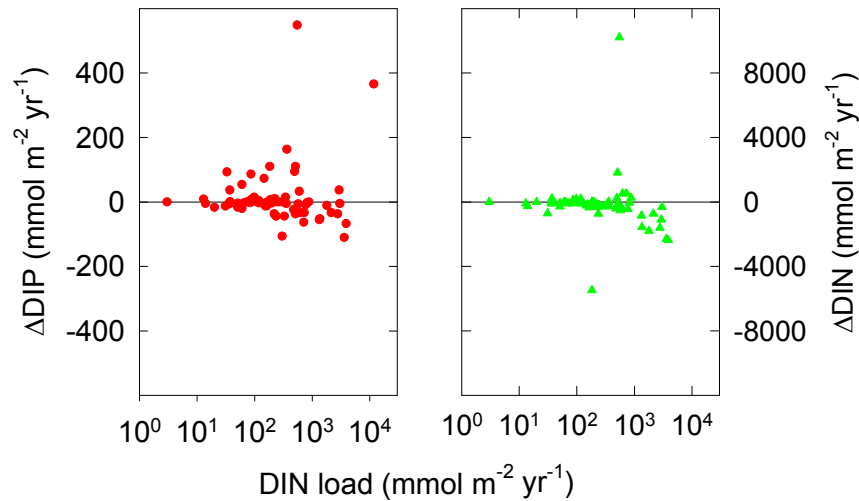


# $\Delta$ DIP, $\Delta$ DIN vs Descarga de DIP



- $\Delta$ DIP y  $\Delta$ DIN aumentan (+ o -) con altas descargas de DIP.
- Respuestas algo mas obvias para DIP que para DIN.

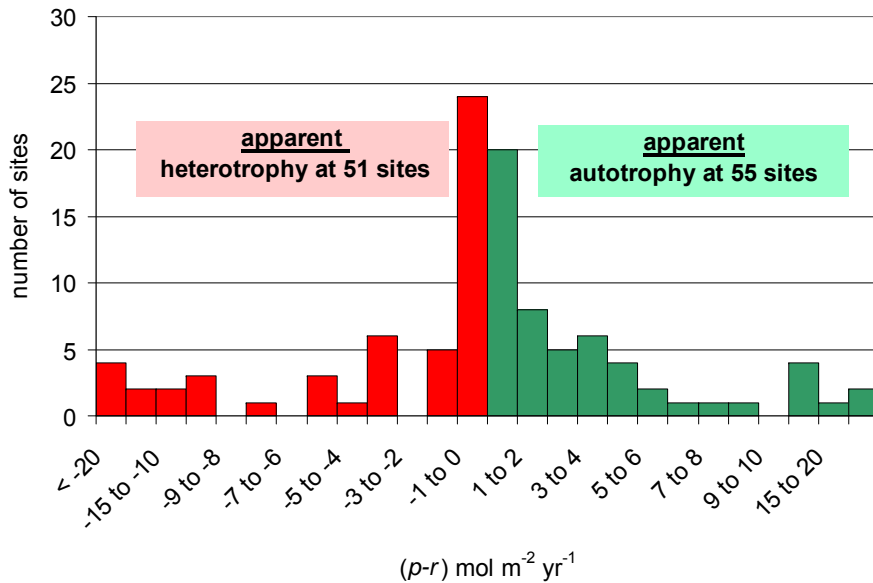
# $\Delta$ DIP, $\Delta$ DIN vs Descarga de DIN



- No hay efecto claro de la descarga de DIN en  $\Delta$ DIP.

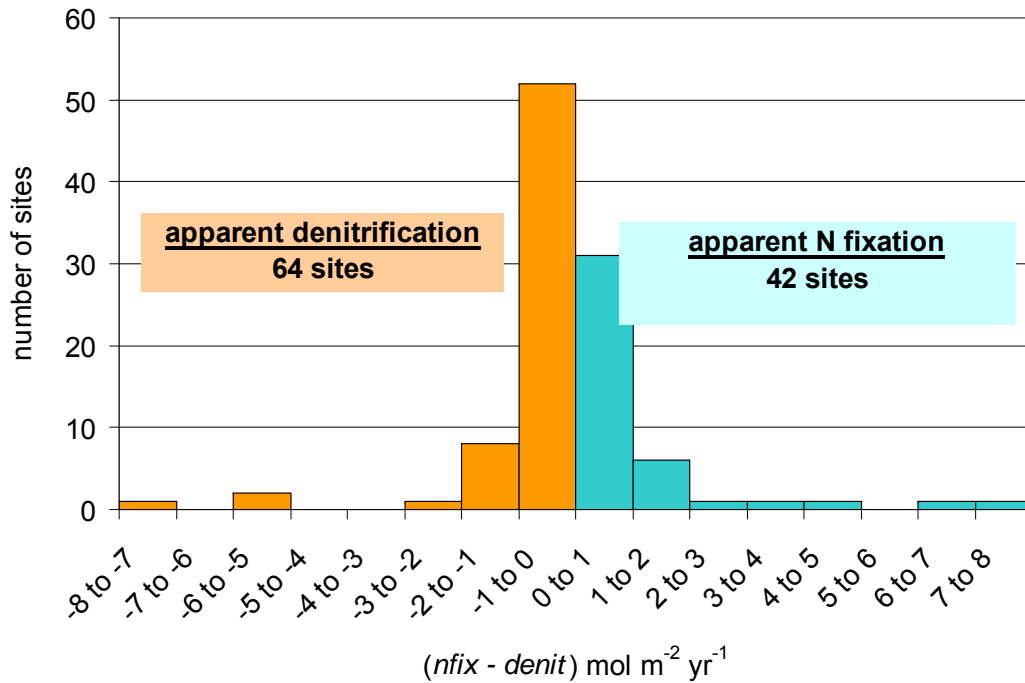
- $\Delta$ DIN mas negativos con alta descarga de DIN.

# Metabolismo Neto del Ecosistema (*producción – respiración*)



- Recordar: Las tasas son aparentes, basadas en suposiciones estequiométricas.
- No hay tendencia general clara; la mayoría de los valores agrupados alrededor de 0.
- Valores extremos (mayores  $\pm 10$ ) = cuestionables.

# *(Fijación Nitrogeno – Denitrificación)*



- Aunque los valores son en gral. cercanos a 0, domina la desnitrificación (aparente).

- La fijación de N >5 parece ser muy alta.

# Imprecisiones LOICZ a considerar

- Algunos balances individuales pueden tener problemas de calidad de datos.
- La estequiometría es “aparente” y no siempre es confiable.
- El promedio simple de los balances no es una forma adecuada para evaluar el comportamiento global; la zona costera es muy heterogénea y el muestreo muy sesgado para promediar.
- Además, el tamaño del sistema o la importancia geográfica, no considerados en promedios simples.
- El “escalamiento” debe considerar estos factores.

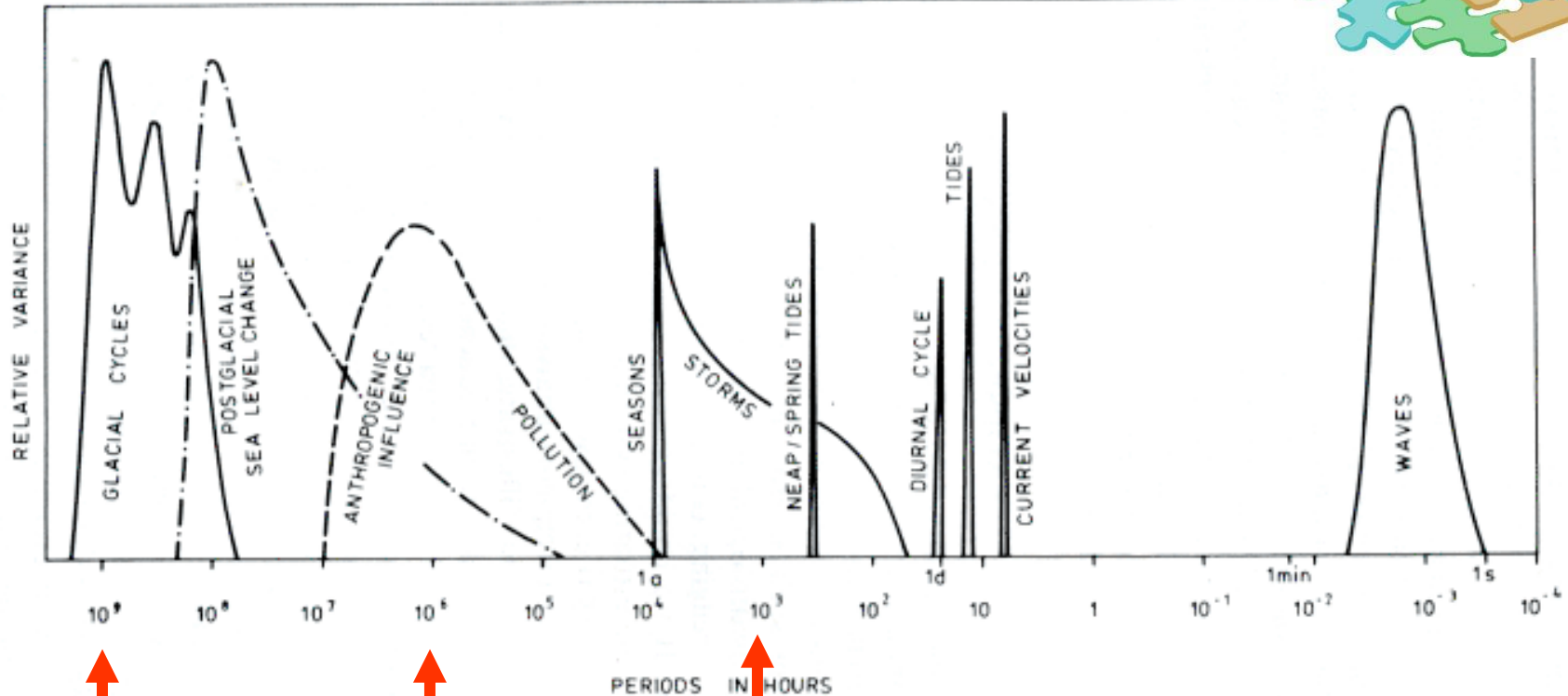
# Conclusiones y Comentarios sobre Balances y Tipología

- Se está aumentando cobertura global sobre flujos CNP en la zona costera.
- Empiezan a emerger algunas tendencias.
- La extrapolación de balances individuales a flujos en la “zona costera global” sigue siendo “el gran reto”.
- Esta extrapolación precisa apoyarse en una “tipología global” de la zona costera.
- La tipología y los balances deberán reflejar las influencias naturales y las dimensiones humanas.
- En España sólo se ha aplicado a la Ría de Vigo (~25 sitios en Europa –incluyendo el M. Norte y M. Báltico)

# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes



PERIODS OF IMPORTANT ESTUARINE PROCESSES



↑  
 $\approx 114.000$  años

↑  
 $\approx 114$  años

↑  
 $\approx 42$  días

# Cambio global y efectos en los balances de nutrientes

## 1. Efectos de la urbanización (descarga de aguas residuales) en redes tróficas estuáricas

Table 1. Nitrogen loading rates and relative contributions to total N load by atmospheric deposition (atm.), wastewater, and fertilizer to five estuaries adjoining separate subwatersheds within the Waquoit Bay watershed. Loading rates were calculated using the Waquoit Bay LMER nitrogen loading model (Valiela et al. 1997).

Estuary	Subwatershed area (ha)	N load per estuary area (kg N ha <sup>-1</sup> yr <sup>-1</sup> )				Percent of total N load		
		Total	Atm.	Fertilizer	Wastewater	Atm.	Fertilizer	Waste-water
Timms Pond	85	2	2	0	0	100	0	0
Sage Lot Pond	119	9	7.3	0.3	1.4	81	3	16
Eel Pond	356	88	21.1	9.7	57.2	24	11	65
Quashnet River	2,084	390	175.5	101.4	109.2	45	26	28
Childs River	875	467	121.4	56.0	289.5	26	12	62



# 1. Efectos de la urbanización (descarga de aguas residuales) en redes tróficas estuáricas

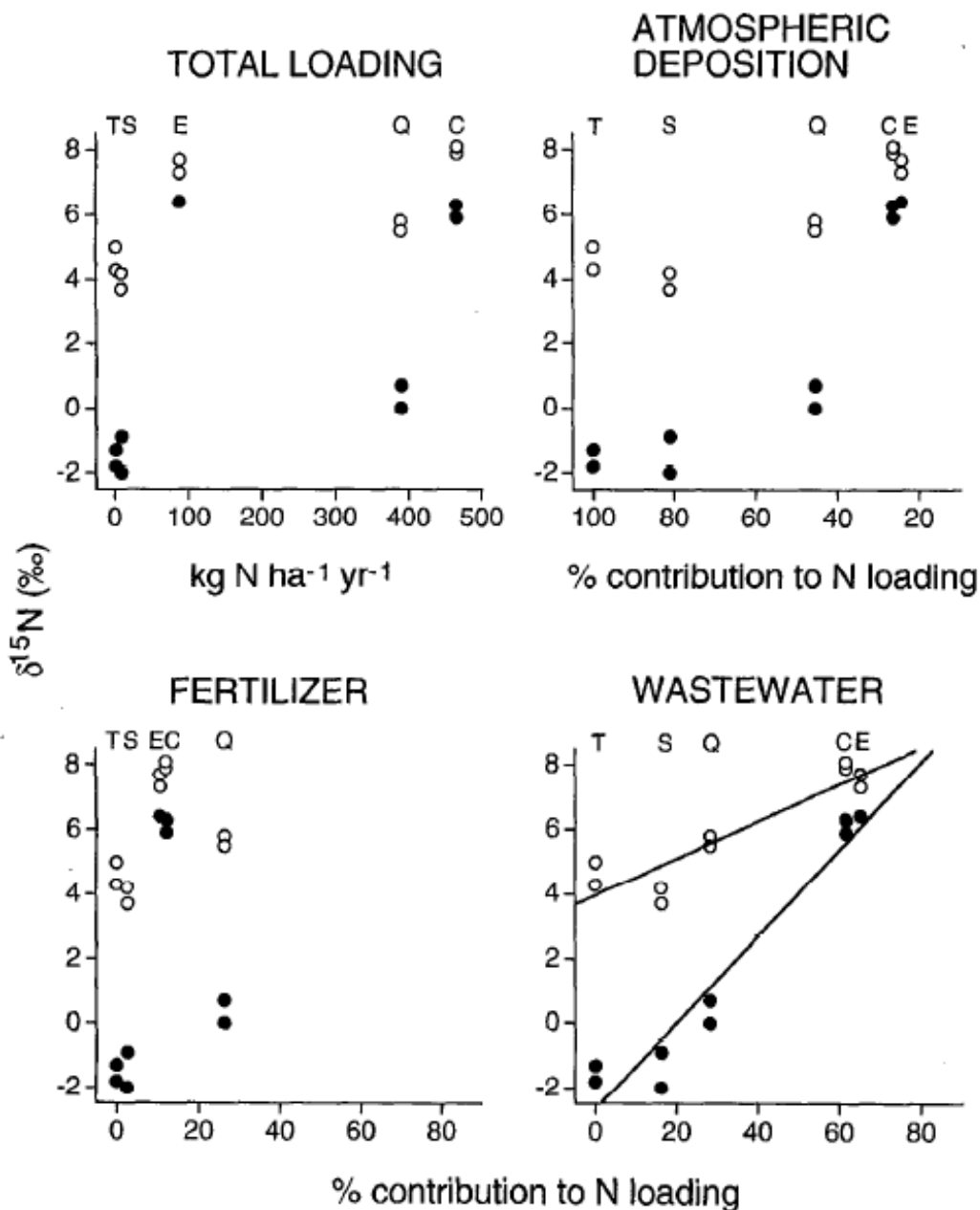


Fig. 2. Total nitrogen loading and percent contribution to N loading by atmospheric deposition, fertilizer, and wastewater to the Timms Pond (T), Sage Lot Pond (S), Eel Pond (E), Quashnet River (Q), and Childs River (C) estuaries of Waquoit Bay versus  $\delta^{15}\text{N}$  in eelgrass, *Zostera marina* (●), and the macroalgae *Gracilaria tikvahiae* (○) in these estuaries. Eelgrass and *G. tikvahiae* were sampled from 15 different sites within each estuary, and each plotted point represents a composite of 15 samples. Two separate composites were made from each estuary, except for eelgrass from Eel Pond, for which only a single composite was made. Eelgrass was collected May 1995, and *G. tikvahiae* was collected July 1995. Linear regression analysis of the data in the total loading vs.  $\delta^{15}\text{N}$  graph generates  $P = 0.09$ ,  $r^2 = 0.36$  for eelgrass and  $P = 0.06$ ,  $r^2 = 0.37$  for *G. tikvahiae*. Linear regression analysis of the data in the percent wastewater vs.  $\delta^{15}\text{N}$  graph generates  $P = 0.0001$ ,  $r^2 = 0.93$  for eelgrass and  $P = 0.0001$ ,  $r^2 = 0.87$  for *G. tikvahiae*.

● *Zoostera marina*  
○ *Gracilaria tikvahiae*

Estuary	Atm.	Fertilizer	Waste-water
Timms Pond (T)	100	0	0
Sage Lot Pond (S)	81	3	16
Eel Pond (E)	24	11	65
Quashnet River (Q)	45	26	28
Childs River (C)	26	12	62

# 1. Efectos de la urbanización (descarga de aguas residuales) en redes tróficas estuáricas

Estuary	Concn ( $\mu\text{M}$ )	
	$\text{NO}_3^-$	$\text{NH}_4^+$
Childs River	$2.0 \pm 2.9$	$1.5 \pm 2.6$
Quashnet River	$0.7 \pm 1.1$	$1.1 \pm 1.5$
Sage Lot Pond	$0.4 \pm 1.1$	$1.5 \pm 2.1$

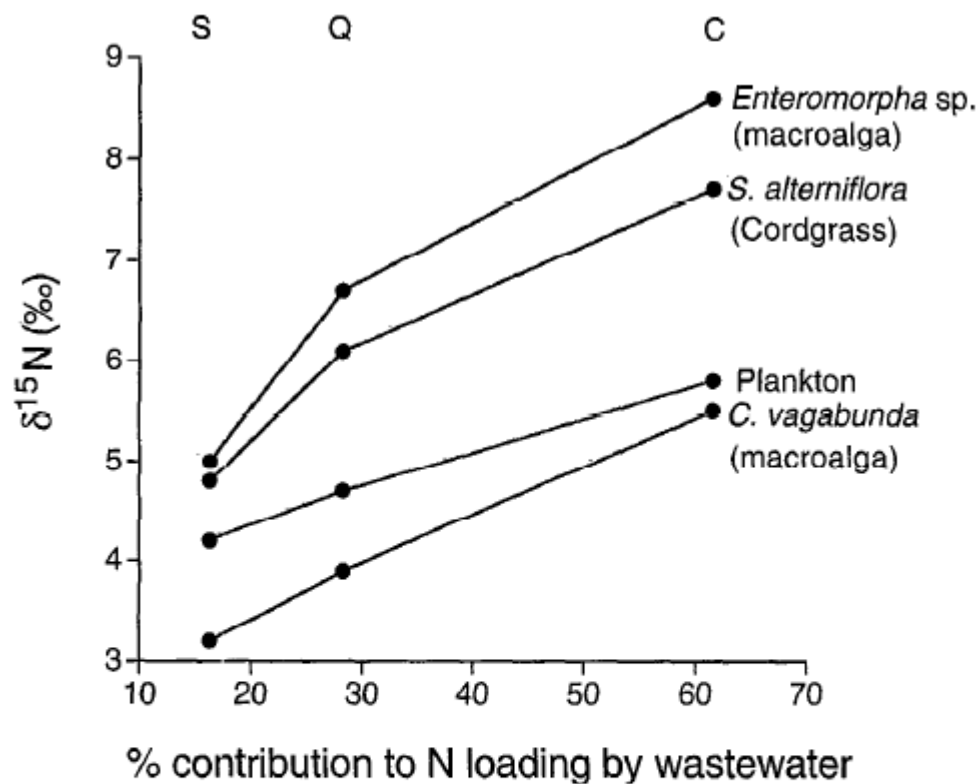


Fig. 3. Percent contribution to nitrogen loading by wastewater to the Sage Lot Pond (S), Quashnet River (Q), and Childs River (C) estuaries of Waquoit Bay versus  $\delta^{15}\text{N}$  in various primary producers from the estuaries. Samples were collected during July 1994 from 15 different sites within each estuary, and each plotted point represents a composite of 15 samples. All *Spartina alterniflora* samples were collected from banks adjacent to the open water of the estuaries.

Estuary	Atm.	Fertilizer	Waste-water
Timms Pond (T)	100	0	0
Sage Lot Pond (S)	81	3	16
Eel Pond (E)	24	11	65
Quashnet River (Q)	45	26	28
Childs River (C)	26	12	62

# 1. Efectos de la urbanización (descarga de aguas residuales) en redes tróficas estuáricas

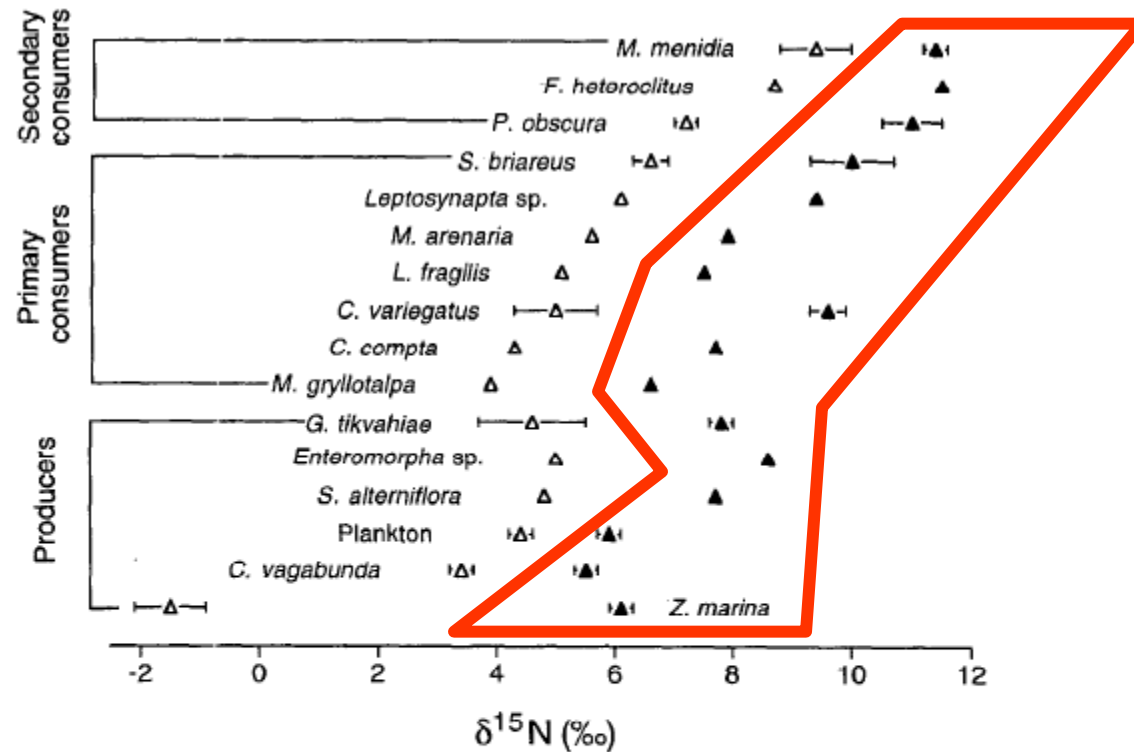


Fig. 4. Nitrogen stable isotope signatures of producers and consumers from the Sage Lot Pond (16% wastewater,  $\Delta$ ) and Childs River (61% wastewater,  $\blacktriangle$ ) estuaries of Waquoit Bay. Data without error bars are from composite samples (15–250 individuals) taken during July 1994. Average  $\pm$  standard error are presented for biota sampled during multiple seasons. Common names of consumers from top to bottom are: silverside, mummichog, polychaete worm, sea cucumber, sea cucumber, soft shell clam, polychaete worm, sheepshead minnow, amphipod, and amphipod.

## 2. Adición de nutrientes en estuarios por residuos animales: Principales transformaciones

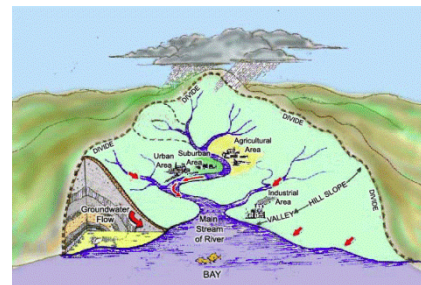
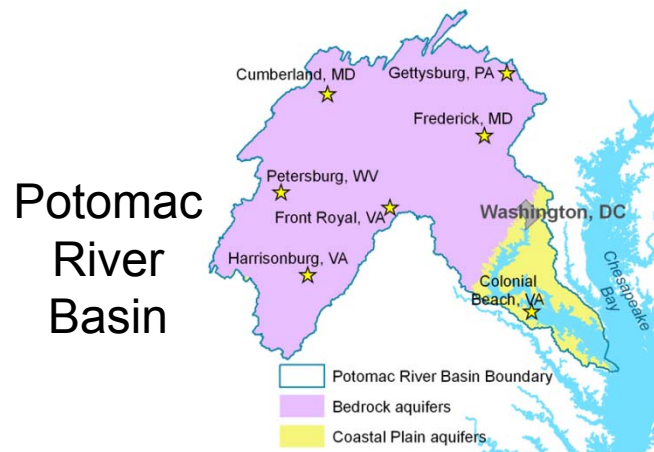
TABLE 1. Nutrient loading in  $\text{kg} \times 10^6 \text{ yr}^{-1}$  (1983–1988) of the upper Potomac River basin as determined by the Maryland Department of Environment and the Metropolitan Council of Governments.

Year	Total				
	River Flow*	Suspended Solids	Total Phosphorous	Oxidized Nitrogen	Total Nitrogen
1983	413.6	1,441.4	2.50	18.0	29.4
1984	463.1	1,604.5	3.07	20.6	35.2
1985	324.5	2,950.4	3.82	12.7	27.4
1986	228.6	769.1	1.25	9.8	16.2
1987	321.2	960.4	1.91	13.9	23.4
1988	245.1	977.2	1.79	9.2	16.9
Average	332.6	1,450.5	2.39	14.0	24.8

\* Flow = Average daily discharge in  $\text{m}^3 \text{ sec}^{-1}$ .

TABLE 2. Wet deposition data for the upper Potomac River basin from the National Acid Deposition Program.

Year	Ammonia as N $\text{kg} \times 10^6 \text{ yr}^{-1}$	Nitrate as N $\text{kg} \times 10^6 \text{ yr}^{-1}$
1983	6.97	11.88
1984	9.35	12.07
1986	6.42	12.73
1987	4.73	9.84
Average	6.87	11.63
Total wet deposition ( $\text{kg ha}^{-1} \text{ yr}^{-1}$ )		6.2
Ammonia		2.3
Nitrate		3.9



## 2. Adición de nutrientes en estuarios por residuos animales: Principales transformaciones

TABLE 6. Values of nitrogen mass balance for each input and output term.

Input Term	Total Nitrogen (kg × 10 <sup>6</sup> yr <sup>-1</sup> )
Atmospheric deposition	39.5
Fixation and adsorption	16.7
Fertilization	23.0
→ Animal waste	61.2
Wastewater discharges	3.1
Total inputs	143.5
Output Term	
River export	24.7
Crop harvest	24.6
Other sinks & storage change	94.2 <sup>a</sup>
Total outputs	143.5

<sup>a</sup> This term was determined by difference, that is, other sinks and storage change (94.2 × 10<sup>6</sup>) = total input or output (143.5 × 10<sup>6</sup>) - river export (29.7 × 10<sup>6</sup>).

TABLE 7. Input and output terms of total phosphorus as determined from the Metropolitan Council of Governments study (Lugbill 1990).

Input Term	Total Phosphorus (kg × 10 <sup>6</sup> yr <sup>-1</sup> )
Atmosphere	2.3
Soil fertilization	8.4
→ Animal waste	17.3
Wastewater	0.9
Total inputs	28.9
Output Term	
River export	2.4
Crop harvest	7.5
Storage change	19.0 <sup>a</sup>
Total outputs	28.9

<sup>a</sup> This term was calculated by difference as was the nitrogen balance presented previously.

## 2. Adición de nutrientes en estuarios por residuos animales: Principales transformaciones

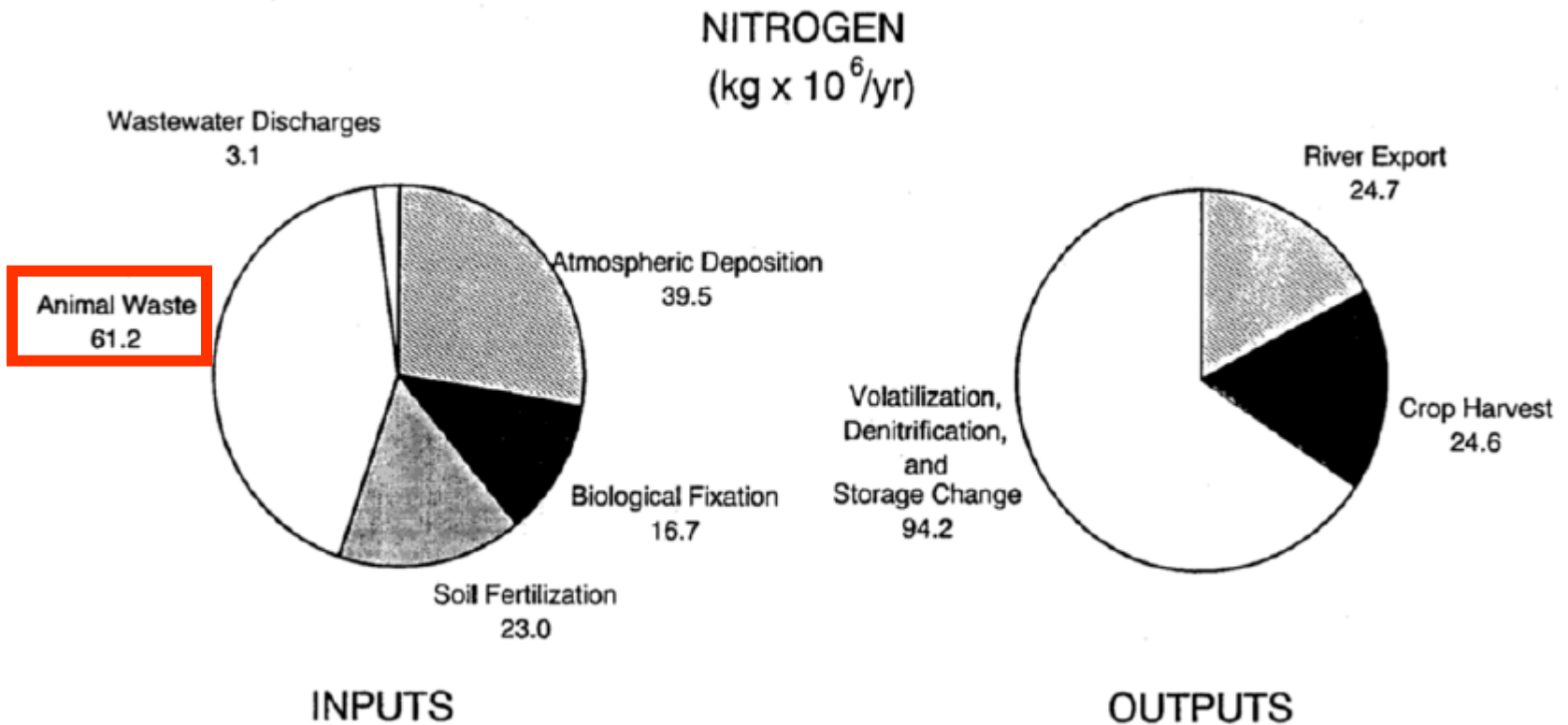


Fig. 3. Estimated nitrogen mass balance for the upper Potomac River basin watershed.

## 2. Adición de nutrientes en estuarios por residuos animales: Principales transformaciones

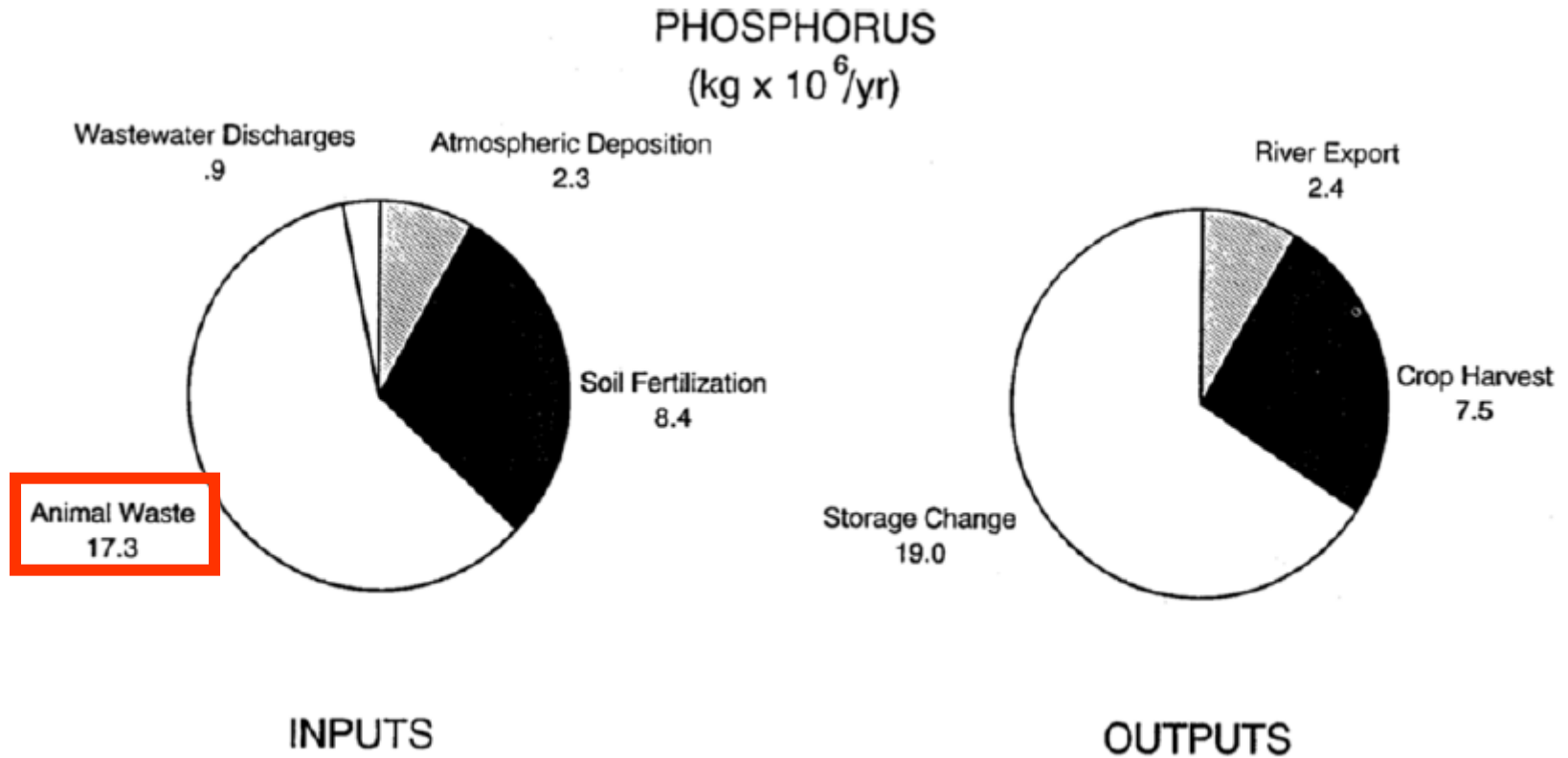


Fig. 4. Estimated phosphorus mass balance for the upper Potomac River basin watershed.

## 2. Adición de nutrientes en estuarios por residuos animales: Principales transformaciones

### Cambios estequiométricos N:P

TABLE 10. The ratio of nitrogen to phosphorus (N:P) in major terms in the determination of mass balances in the Potomac River watersheds.

Term	N:P Ratio
Soil fertilization	2.7
Animal waste	3.5
Wastewater	3.4
Atmospheric deposition	17.2
Fixation and adsorption	— <sup>a</sup>
Total input	5.0
River export	10.3
Crop harvest	3.3
Storage change	4.9
Total output	5.0

<sup>a</sup> Not applicable.



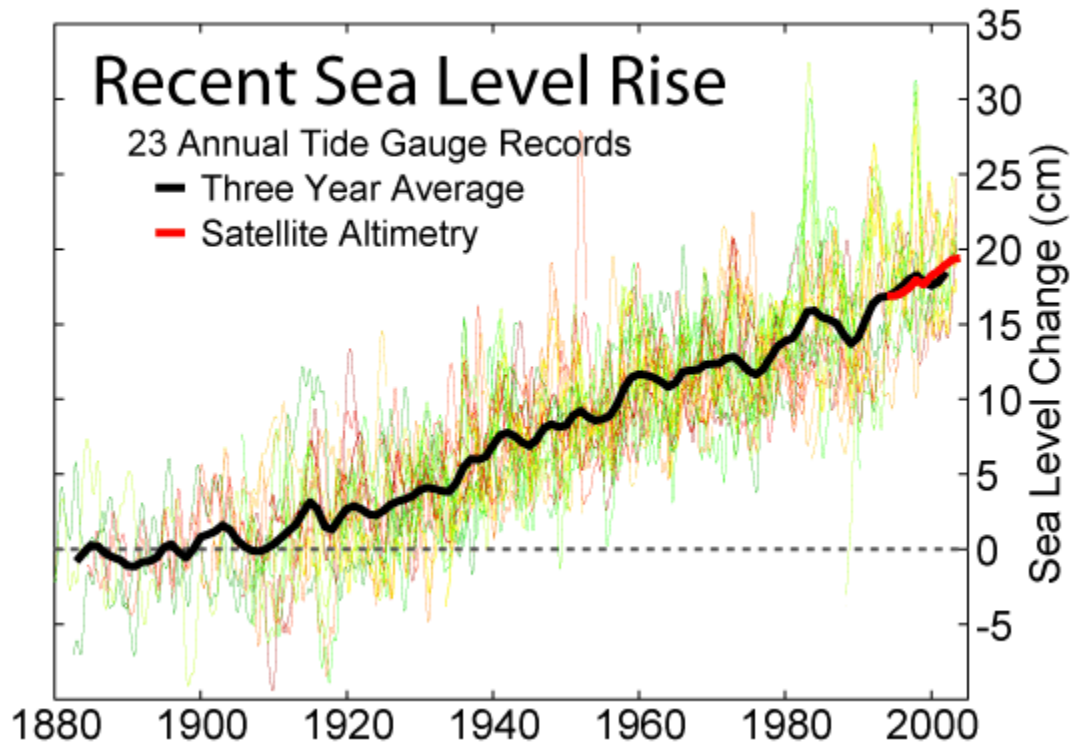
**Table 1**

Estimates from the SPARROW model for the relative importance of atmospheric deposition, “non-agricultural non-point sources,” and sewage wastewater as nitrogen inputs to several coastal marine ecosystems in the northeastern United States

	Atmosphere (%)	Non-ag non-point (%)	Wastewater (%)
Casco Bay	22	54 ←	13
Great Bay	9	58 ←	23
Merrimack River	28	43 ←	20
Buzzards Bay	12	14	63 ←
Narragansett Bay	10	19	62 ←
Hudson River	26	21	40 ←
Barnegat Bay	19	28	43 ←
Delaware Bay	22	17	35 ←
Chesapeake Bay	28 ←	22	8

Note that the atmospheric deposition terms are estimated just from wet deposition monitoring data. Note further that the “non-agricultural non-point sources” may include a substantial amount of input from dry atmospheric deposition near emission sources in urban and suburban environments, and this would not be included in the SPARROW estimate of the atmospheric deposition input. See text for further discussion. Based on Alexander et al. (2000). Reprinted from Howarth (2008).

### 3. Aumento del nivel del mar

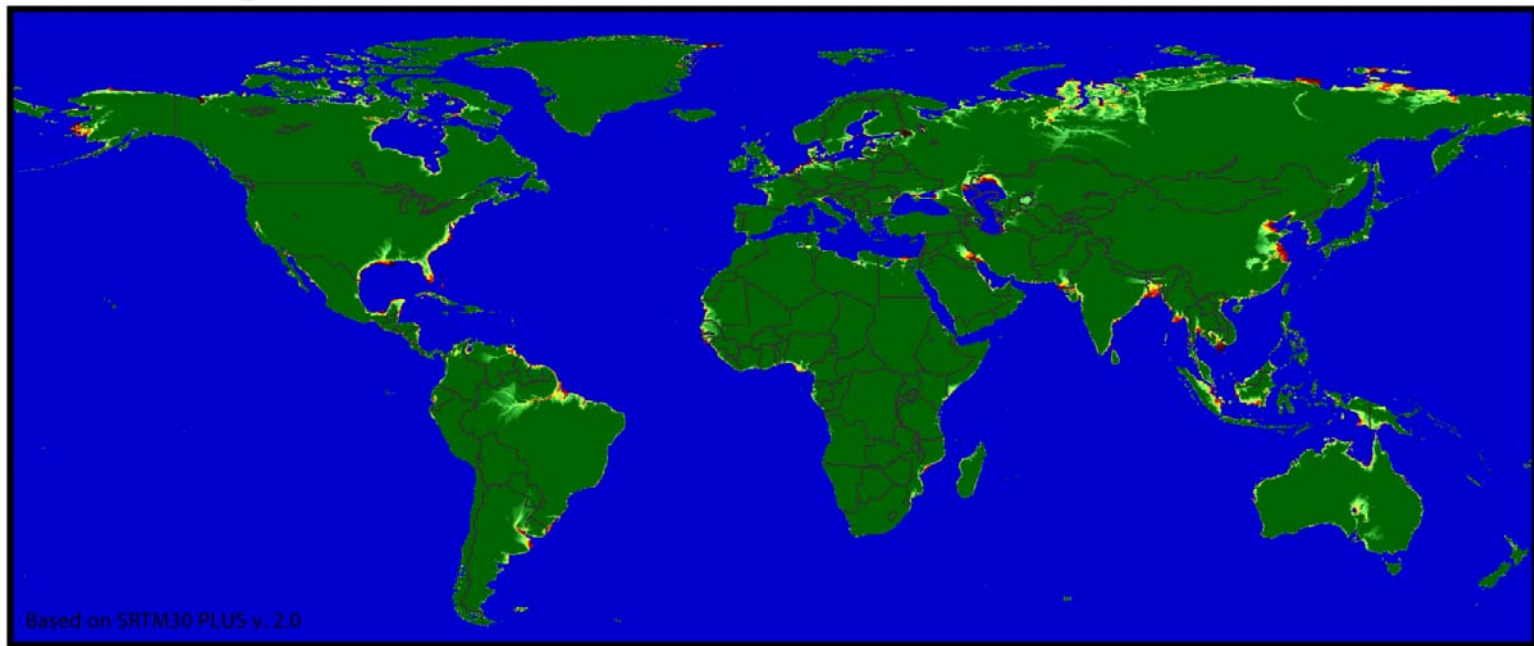


Observaciones: 0,8 – 3,3 mm/año

Satélite: 2,8 mm/año

### 3. Aumento del nivel del mar

## Regions Vulnerable to Sea Level Rise



**Height Above  
Sea Level (m)**



Qué efectos inmediatos  
podemos esperar...



- **Más estuarios y lagunas costeras en el mundo**
- **Estuarios y lagunas costeras de mayor tamaño**
- **Zonas intermareales actuales desaparecen**
- **Zonas terrestres se inundan**
- **Estructura física de estuarios se modifica**
- **Otros indirectos...**

### 3. Aumento del nivel del mar

## Efectos en el balance de nutrientes: se reducen las exportaciones

TABLE 3. Output demonstrating the sensitivity of the dynamic budget to incremental increases in sea level (SLR), thus sensitivity to increased inundation of the salt marsh. Average SLR at North Inlet is 2–3 mm year<sup>-1</sup>, and the ‘years =’ column estimates [theoretically] how long to realize the SLR shown in each column. The Outwelling Study synthesis data are from Dame *et al.* (1986). Negative values from the Outwelling Study represent import to the estuary and, equivalently, negative values from the dynamic budget represent a deficit of that constituent. All values are in kg.

Constituent	Outwelling Study	SLR=0 years=0	2.5 cm 10	5 cm 20	10 cm 40	15 cm 60	20 cm 80
ammonium	$1.5 \times 10^5$	$-1.4 \times 10^4$	$-1.7 \times 10^4$	$-1.9 \times 10^4$	$-2.2 \times 10^4$	$-2.6 \times 10^4$	$-2.9 \times 10^4$
nitrate + nitrite	$2.1 \times 10^4$	$-8.9 \times 10^3$	$-9.4 \times 10^3$	$-9.8 \times 10^3$	$-1.2 \times 10^4$	$-1.2 \times 10^4$	$-1.3 \times 10^4$
soluble reactive phosphorus	$4.0 \times 10^4$	$1.8 \times 10^3$	$1.5 \times 10^3$	$1.2 \times 10^3$	-2.5	$-4.1 \times 10^2$	$-7.8 \times 10^2$
POC	$3.0 \times 10^6$	$3.9 \times 10^4$	$-3.0 \times 10^4$	$-1.1 \times 10^5$	$-4.4 \times 10^5$	$-5.5 \times 10^5$	$6.4 \times 10^5$
DOC	$7.8 \times 10^6$	$6.6 \times 10^5$	$6.3 \times 10^5$	$6.1 \times 10^5$	$5.8 \times 10^5$	$5.6 \times 10^5$	$5.4 \times 10^5$
DON		$1.4 \times 10^5$	$1.4 \times 10^5$	$1.4 \times 10^5$	$1.3 \times 10^5$	$1.2 \times 10^5$	$1.2 \times 10^5$
TN	$1.0 \times 10^6$	$9.4 \times 10^4$	$8.4 \times 10^4$	$7.5 \times 10^4$	$3.4 \times 10^4$	$2.0 \times 10^4$	$6.4 \times 10^3$
TP	$7.3 \times 10^4$	$-1.7 \times 10^4$	$-1.8 \times 10^4$	$-1.9 \times 10^4$	$-2.5 \times 10^4$	$-2.7 \times 10^4$	$-2.8 \times 10^4$

### 3. Aumento del nivel del mar

## Efectos en la producción orgánica

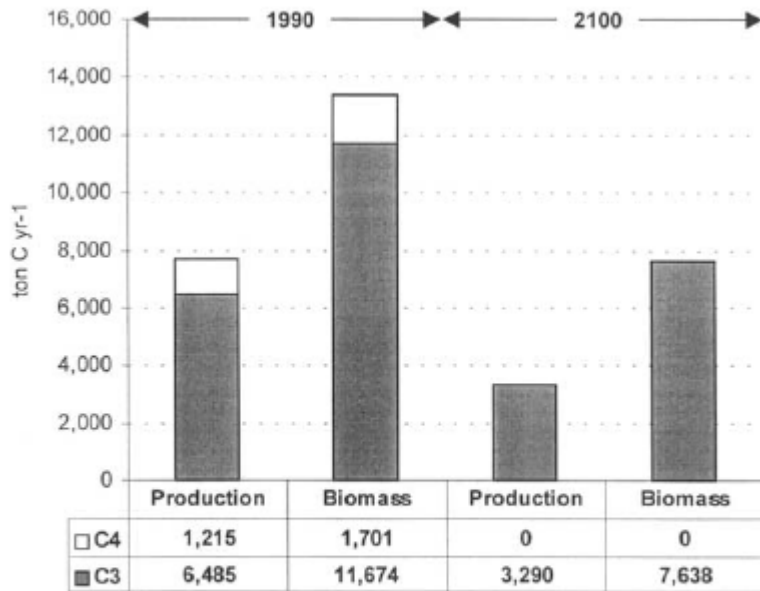


Fig. 6. Model results of total biomass and production in lower and upper marsh for both scenarios proposed.

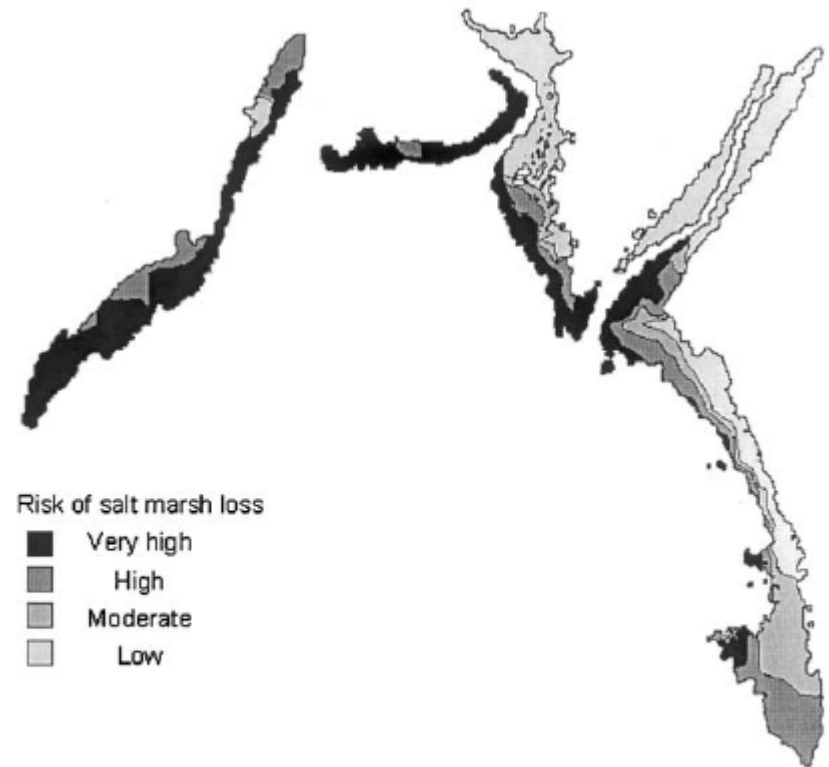


Fig. 7. Results of the risk assessment for the losses in salt marsh areas of the Tagus estuary.

## Efectos en el balance subsistencia / sedimentación

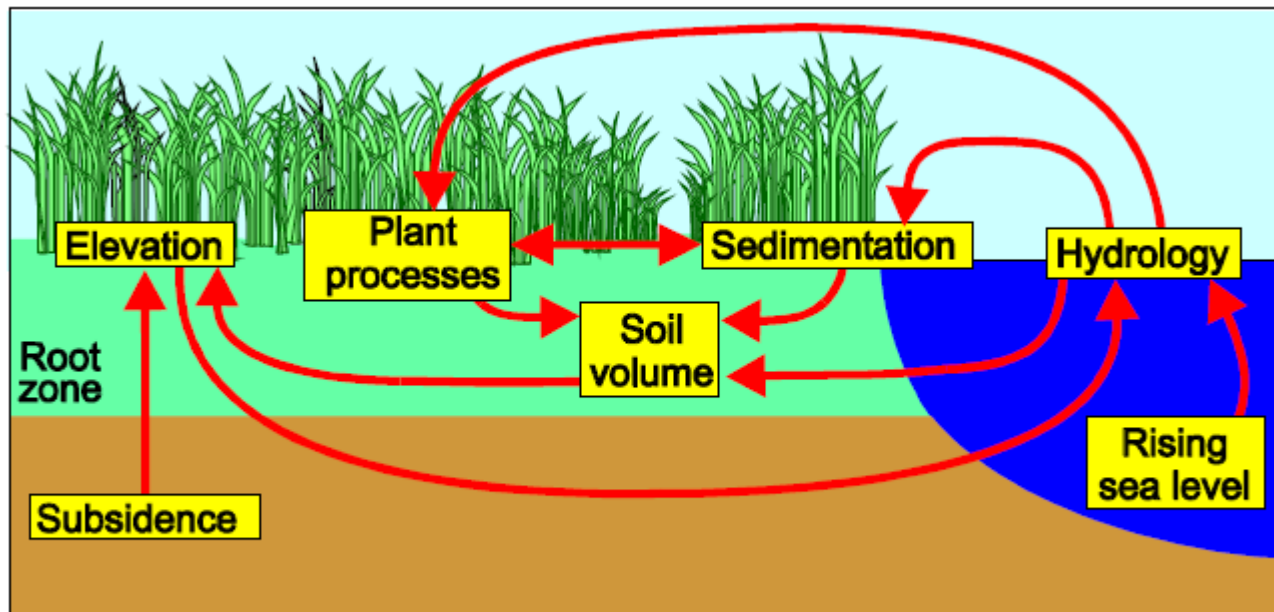
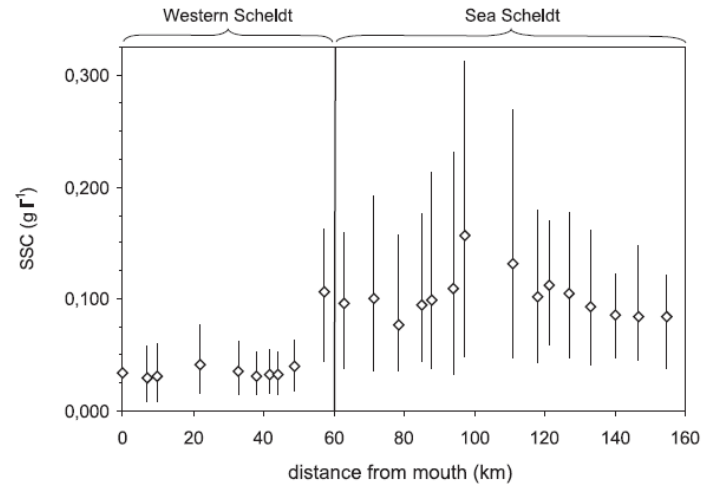
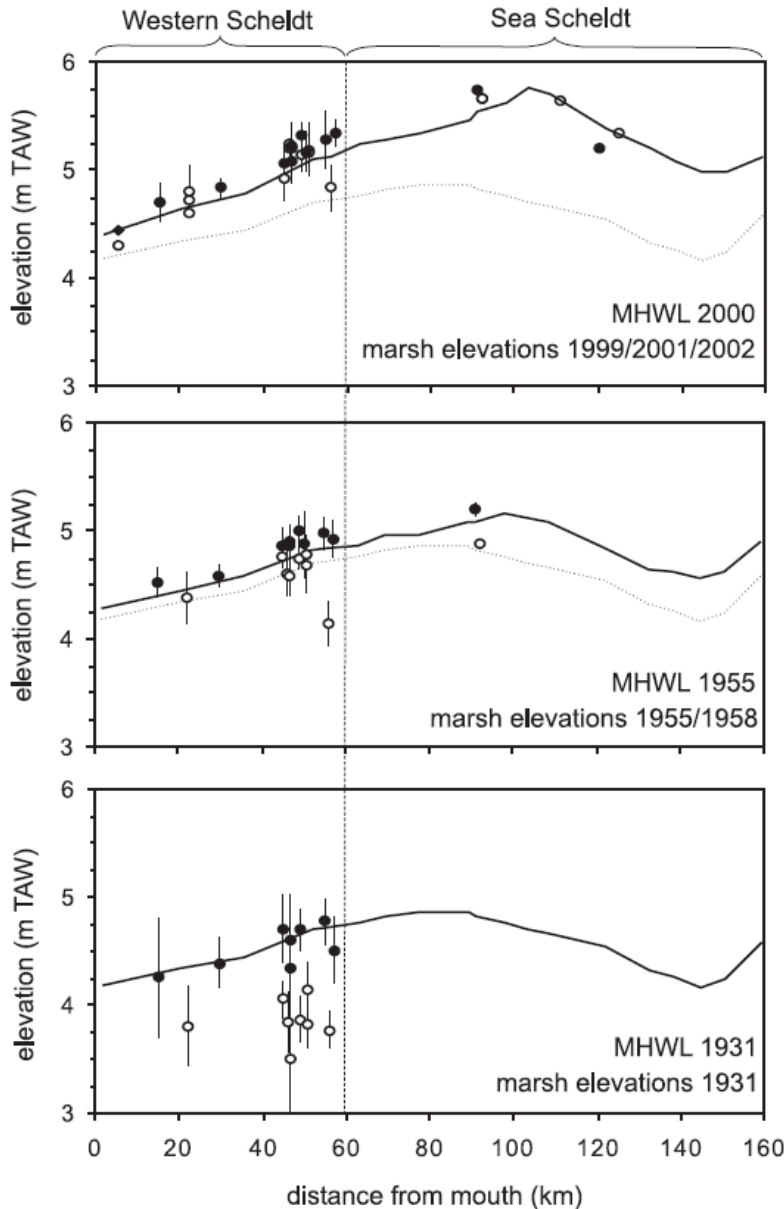


Fig. 1. Relationships influencing marsh elevation.

### 3. Aumento del nivel del mar



**Efectos en el balance  
subsistencia / sedimentación**

**Dependencia de mantener las  
concentraciones de sólidos  
suspendidos en las  
descargas fluviales**



## 4. Reducción de las descargas de agua dulce

**Sin embargo, se están reduciendo las descargas fluviales hacia el mar (no sólo por el cambio climático)**

Efecto en las descargas de agua dulce en el delta del Nilo tras la construcción de la presa Assuan.

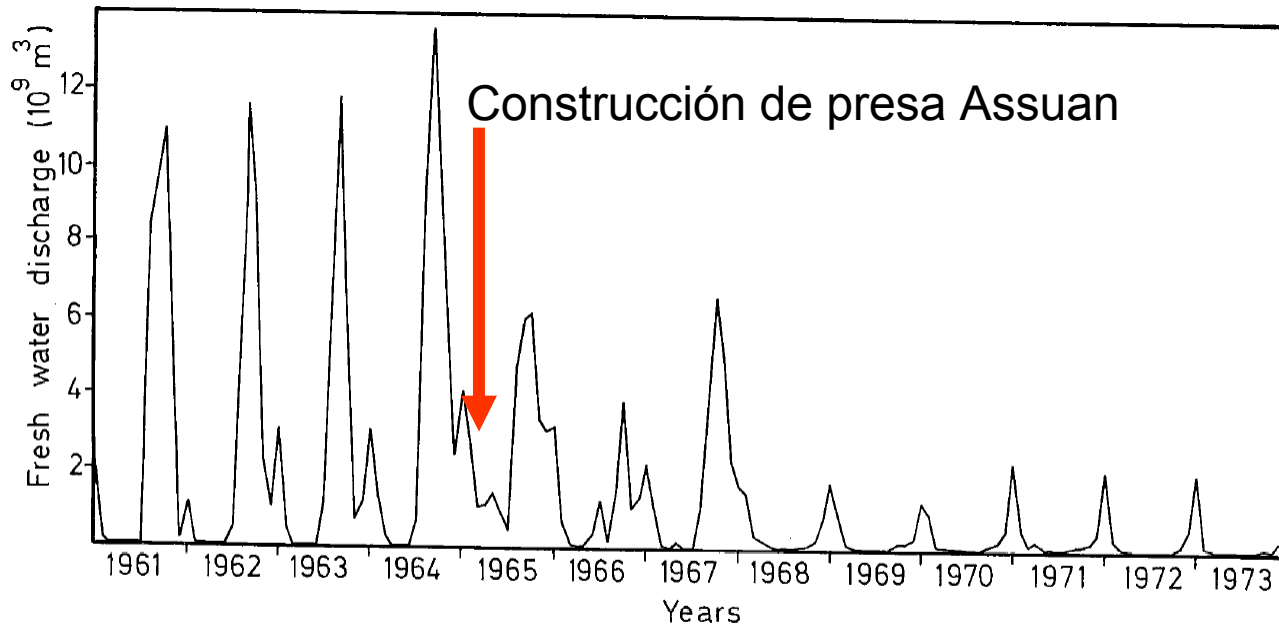
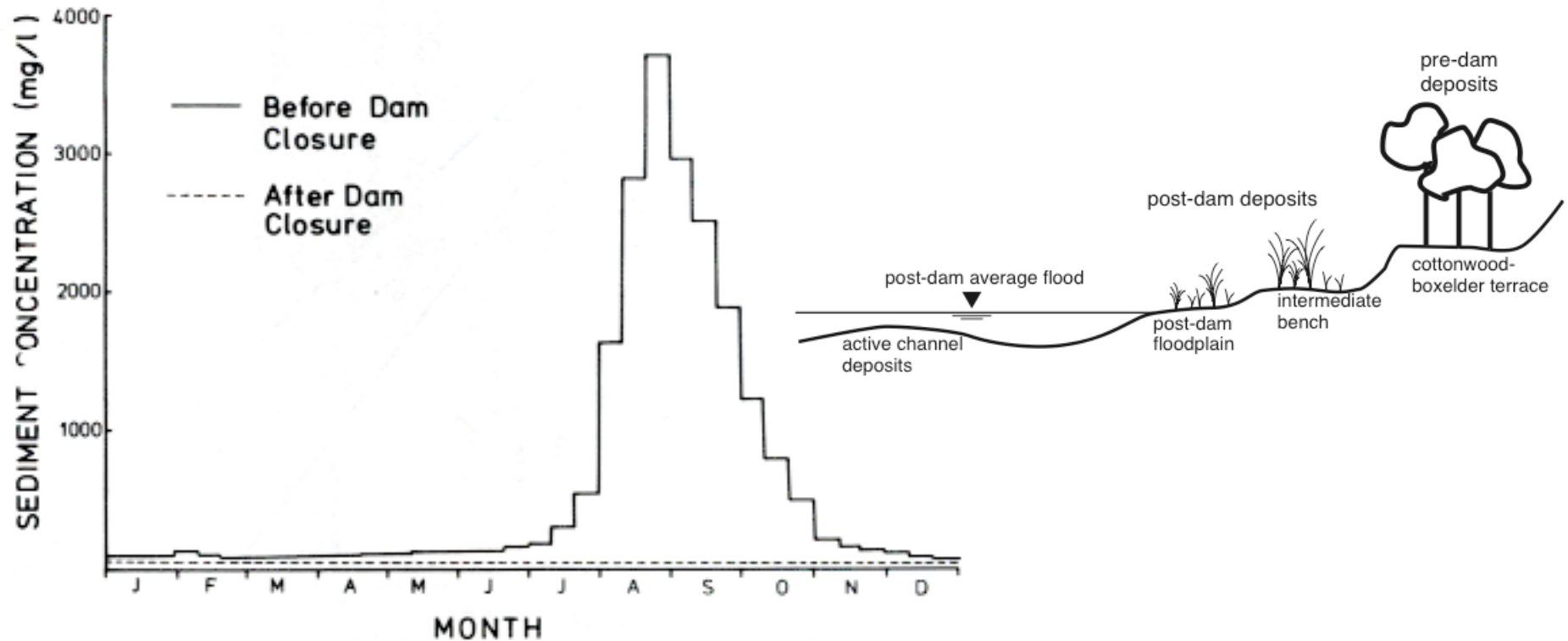


Fig. 2. Variation of total freshwater discharged from Damietta and Rosetta branches and received by Mediterranean Sea, 1961–1973.

## 4. Reducción de las descargas de agua dulce

Efecto en la concentración de sólidos suspendidos tras la construcción de la presa Assuan en el Río Nilo. Medida realizada 35 km aguas abajo (Schamp, 1983).



#### 4. Reducción de las descargas de agua dulce

**Qué efectos inmediatos  
podemos esperar...**



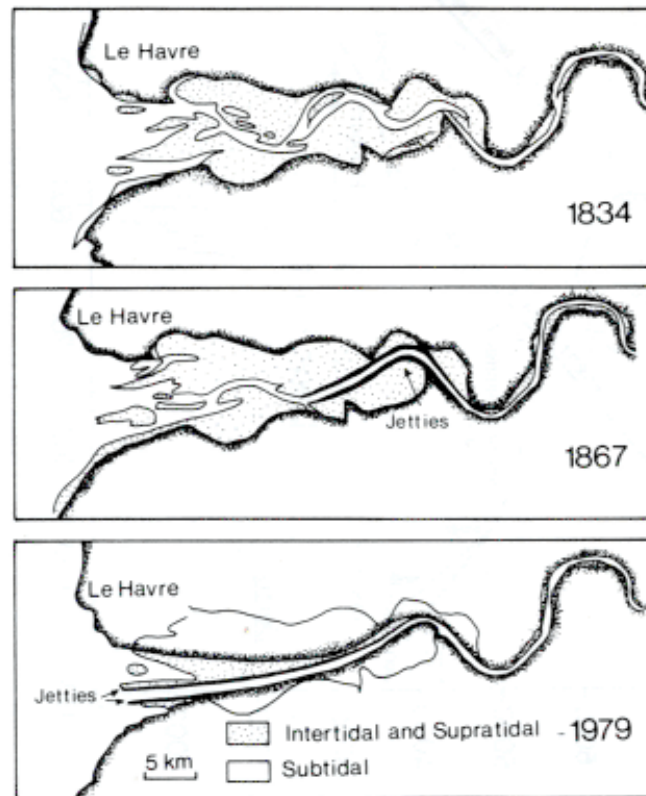
**Al entrar menos agua dulce cambian las condiciones de salinidad y los aportes de sólidos, nutrientes y DOC**



**Cambios en estratificación, en procesos dependientes de la salinidad (CH<sub>4</sub>), en balance de nutrientes y en productividad**

## 4. Reducción de las descargas de agua dulce

Cambio de la fisiografía del Estuario del Sena entre 1834 y 1979 debido a variaciones en la carga de sedimentos (Avoine *et al.*, 1981)



**Pero también...  
la deforestación aumenta la  
producción de sedimento y su  
transporte hasta el mar, así  
que podría balancearse  
dependiendo de si se conserva  
el caudal...**



**...sin embargo, eso generará menor  
fertilidad de suelos, mayor uso de  
fertilizantes, más aportes de P, etc. que  
pueden retroalimentar el sistema hacia  
niveles de complejidad e irreversibilidad  
mayores...**

#### 4. Reducción de las descargas de agua dulce



- **Menos aportes de sedimentos → aumenta erosión costera**
- **Más aporte de sedimento → colmatación de estuarios → eutrofización → anoxia**
- **Alteración física de estuarios: cambia configuración de zonas sub/inter/supramareales**
- **Más?? (se admiten sugerencias)**

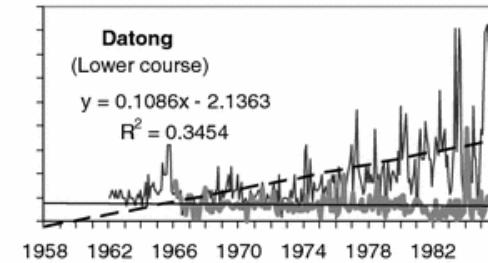
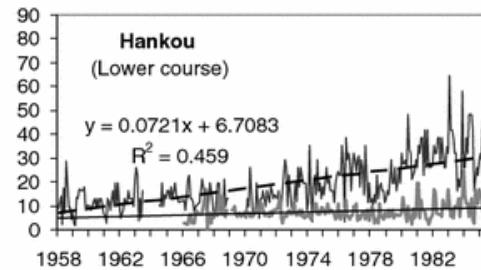
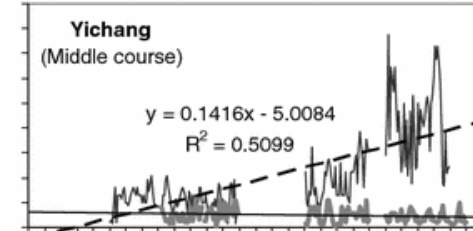
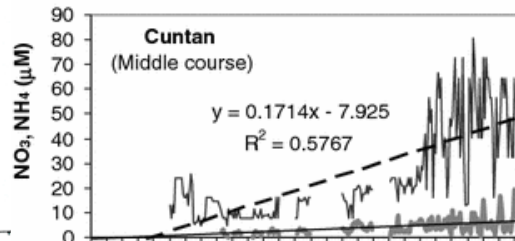
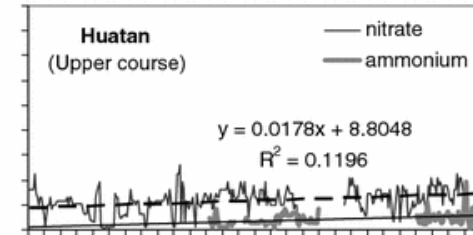
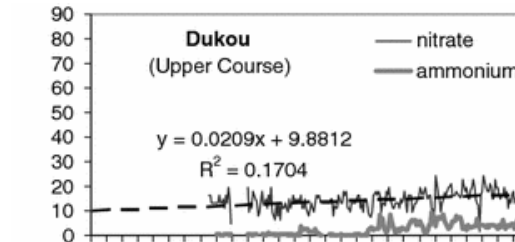
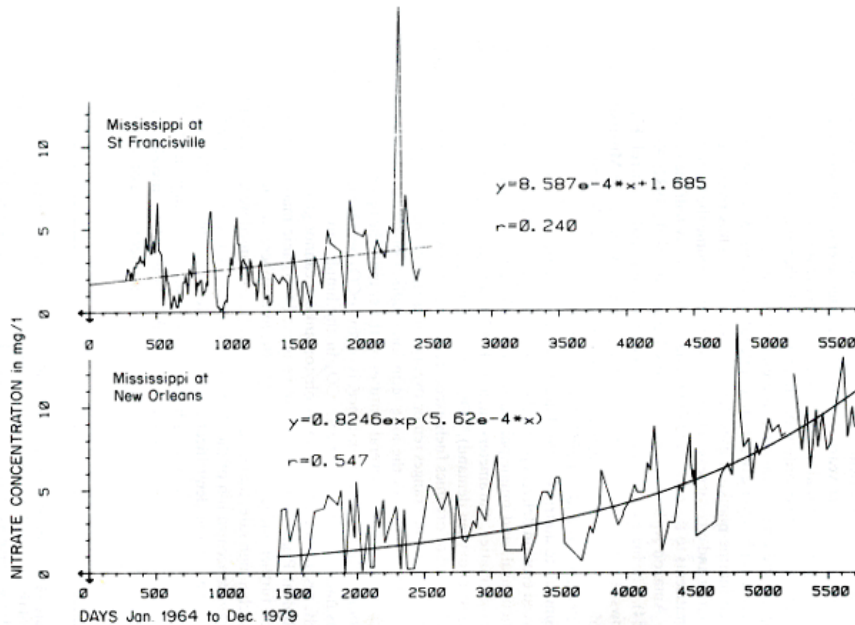


# 5. Aumenta la carga de nutrientes en los ríos

## “Aumento en la concentración de nitrato en ríos”

### Yangtze (China)

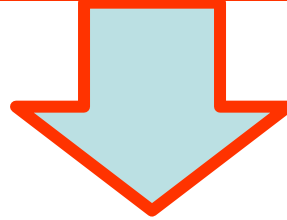
### Mississippi (EEUU)







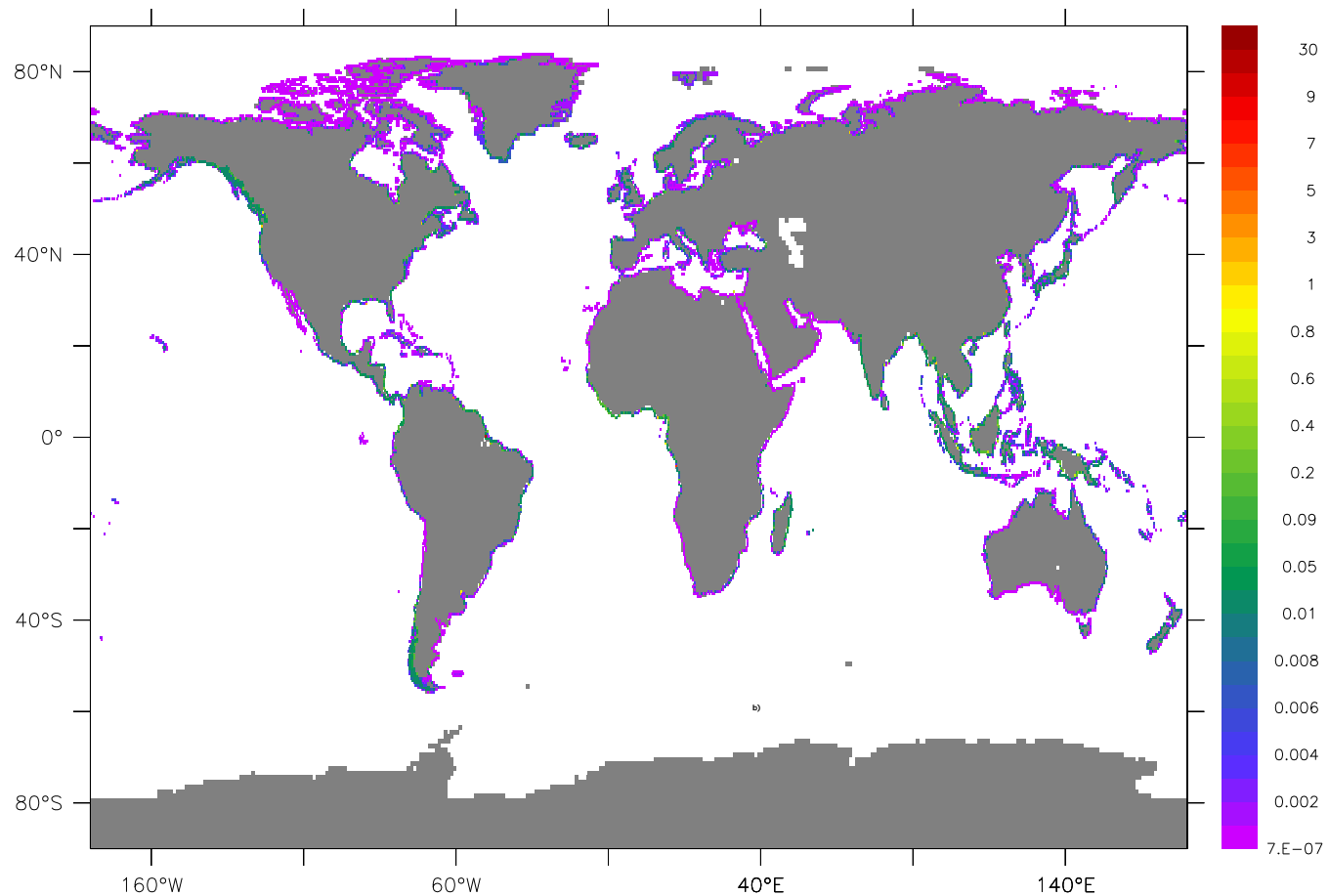
**Qué efectos inmediatos  
podemos esperar...**



- **Más eutrofización**
- **Más salidas de nutrientes hacia los mares costeros??**
- **Más producción y acumulación orgánica**
- **Más compactación y subsidencia**
- **Alteración biótica de estuarios**
- **Condiciones reductoras por aumento de MO**

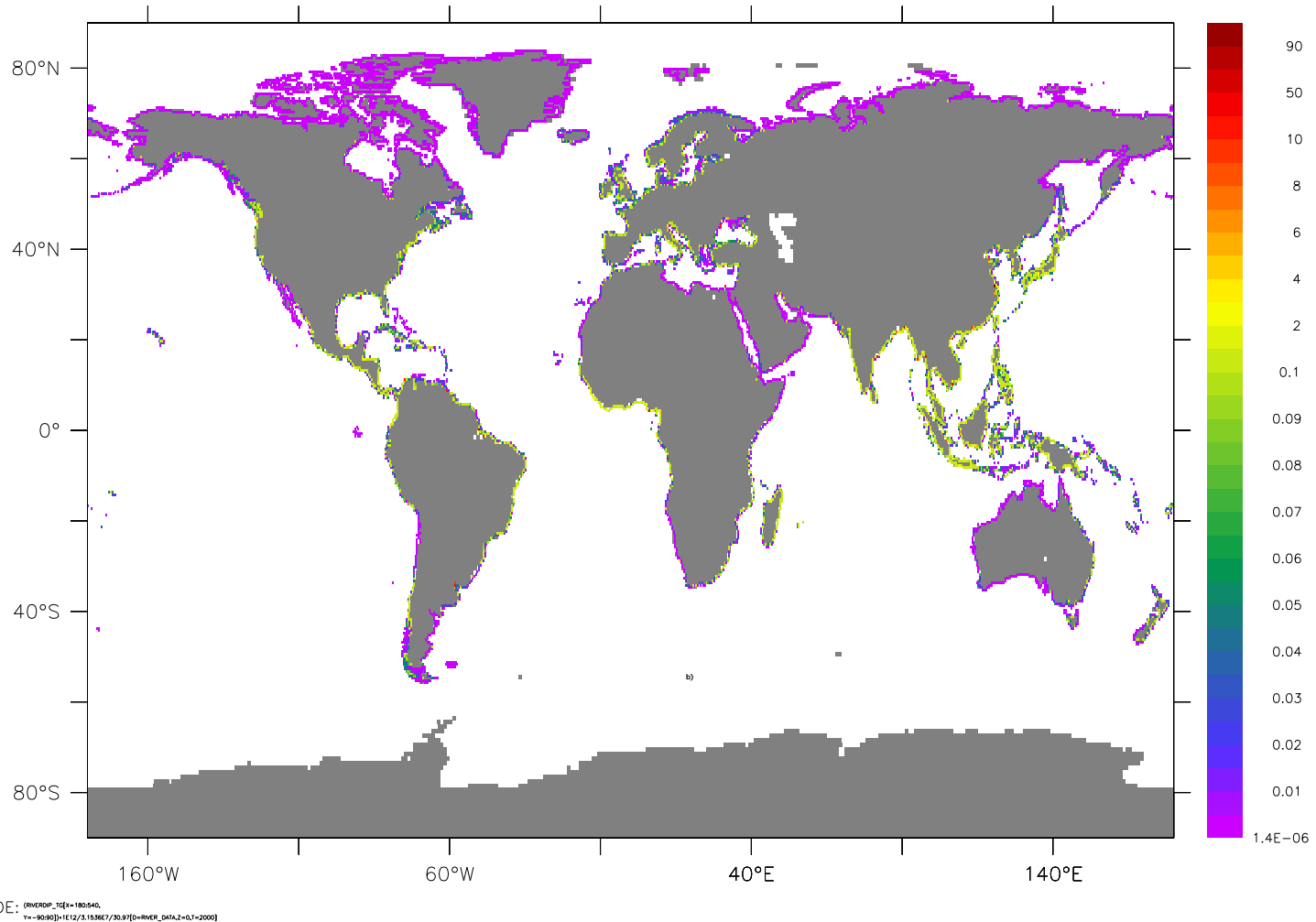
## 5. Aumenta la carga de nutrientes en los ríos

# Modelación de los efectos en las aguas costeras: un ejemplo



**Riverine inputs of nutrients to the coastal ocean in  $\text{mol s}^{-1}$ . a) dissolved iron, NET input considering 80% of loss to the particulate phase in estuaries**

# Modelación de los efectos en las aguas costeras: un ejemplo



**Riverine inputs of nutrients to the coastal ocean in mol s<sup>-1</sup>. b) dissolved inorganic phosphorus [Smith et al., 2003]**

## 5. Aumenta la carga de nutrientes en los ríos

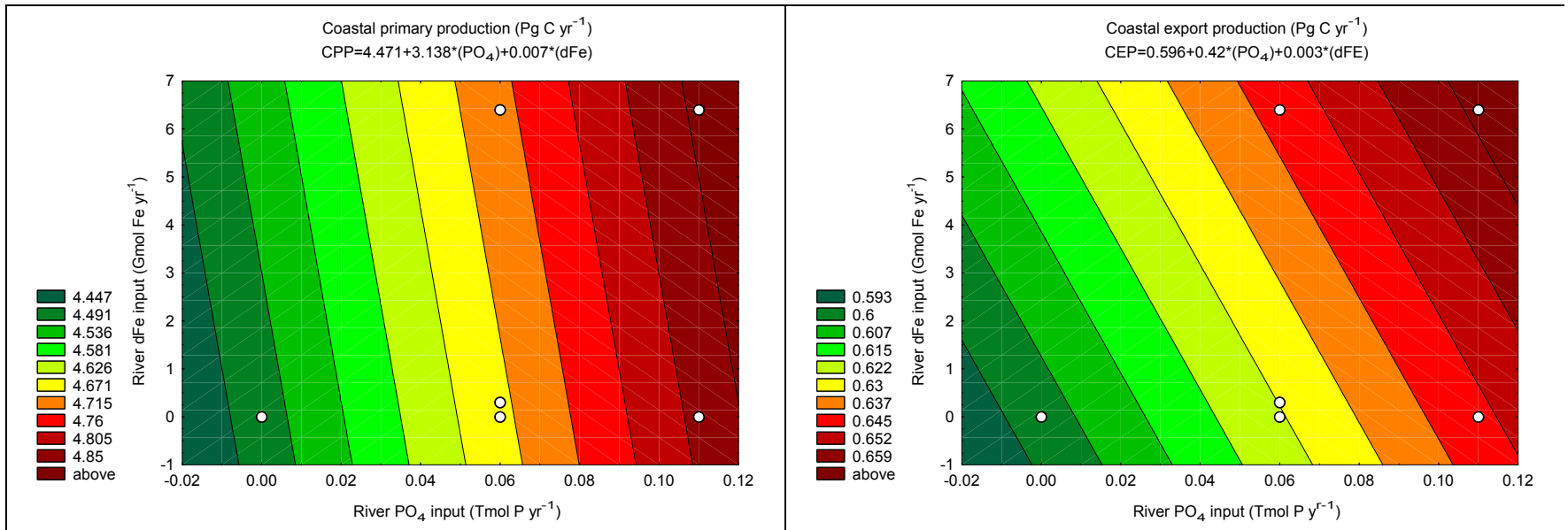
# Modelación de los efectos en las aguas costeras: un ejemplo

Table 1 – River nutrient scenarios

Simulation	Riverine inputs				Details on riverine nutrient inputs
	OM	P	Si	Fe	
	(Tmol C yr-1)	(Tmol yr-1)	(Tmol yr-1)	(Gmol yr-1)	
NORIVER	0	0	0	0	No riverine input of nutrients
NUT	0	0.06 <sup>1</sup>	5.4 <sup>2</sup>	0	DIP (pop = 6 10 <sup>9</sup> ), Si
12BDIP	0	0.11 <sup>1</sup>	5.4	0	DIP (pop = 12 10 <sup>9</sup> ), Si
12BPFE	0	0.11	5.4	6.4 <sup>3</sup>	DIP (pop = 12 10 <sup>9</sup> ), Si, dFe ( <b>80% dFe loss</b> )
NUTFE	0	0.06	5.4	6.4	DIP (pop = 6 10 <sup>9</sup> ), Si, dFe ( <b>80% dFe loss</b> )
99PFE	0	0.06	5.4	0.3 <sup>3</sup>	DIP (pop = 6 10 <sup>9</sup> ), Si, dFe ( <b>99% dFe loss</b> )
C2SIPFE	28.1 <sup>2</sup>	0.06	6.7 <sup>4</sup>	6.4	DIP (pop = 6 10 <sup>9</sup> ), Si, dFe ( <b>80% loss</b> ), DOC+POC

References: 1) (Smith et al., 2003); 2) (Ludwig et al., 1996); 3) (Chester, 1990; Martin and Whitfield, 1983); 4) (Treguer et al., 1995)

# Modelación de los efectos en las aguas costeras: un ejemplo



**Fig. 3 – Changes in modelled coastal primary and export production according to riverine DIP and dFe inputs**

## 5. Aumenta la carga de nutrientes en los ríos

# Modelación de los efectos en las aguas costeras: un ejemplo

Para incrementar la eficiencia biológica es necesario que se reduzca el flujo de CO<sub>2</sub> del mar al aire del 21-53% en la zona costera

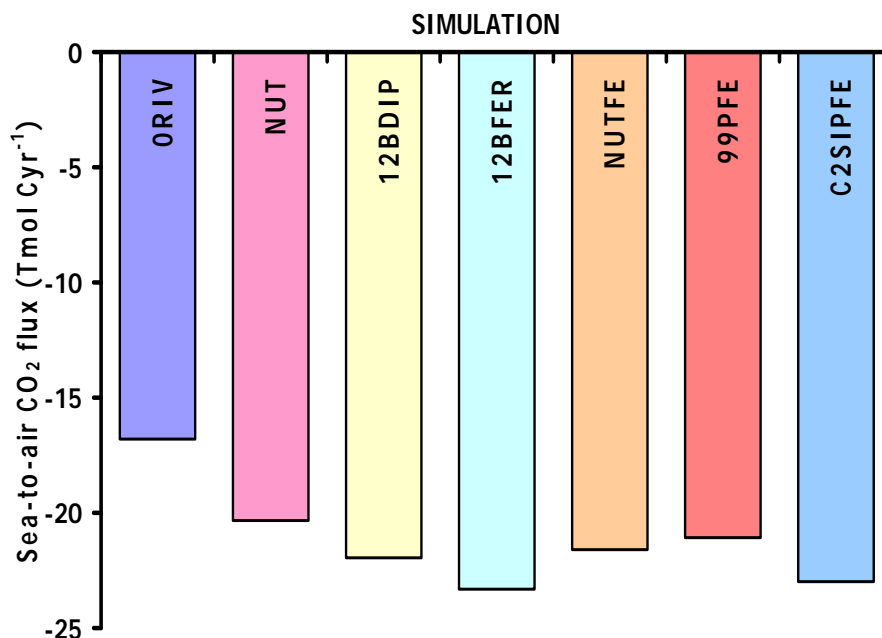


Fig. 4 – Difference between model scenarios coastal sea-to-air CO<sub>2</sub> flux (year 20).

## Modelación de los efectos en las aguas costeras: un ejemplo

### **Resultados ( $\uparrow$ Fe y $\uparrow$ P):**

- Aumento de exportaciones del 5-12%
- Aumento de producción primaria del 4.8-7.8% (20-28% diatomeas)
- Reducción del flujo de CO<sub>2</sub> a la atmósfera del 21-53%
- La extensión de zonas con deficiencia de oxígeno se incrementa de 8.1 to 9.6 10<sup>6</sup> km<sup>2</sup> por el aumento de la actividad biológica

P es el nutriente limitante en la zona costera mientras que el Fe tiene impacto en la abundancia relativa de diatomeas y consecuentemente en la exportación de C y CO<sub>2</sub>.

Aportes de nutrientes de ríos sostienen la exportación costera: 15-26% DIP, 80-100% dSi, y 24-500% dFe.

## 6. Disminuye los aportes de CO<sub>2</sub> en los ríos

Historical variation of CO<sub>2</sub> emission flux and DIC fluvial flux in Changjiang

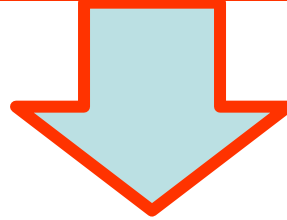
	1960s	1970s	1980s	1990s
<i>F<sub>ex</sub></i> mol.m <sup>-2</sup> .yr <sup>-1</sup>	-54.4	-29.7	-21.6	-14.2
CO <sub>2</sub> degassed from the Changjiang basin. Mt C.yr <sup>-1</sup>	58.8	32.1	23.3	15.3
DIC flux. Mt C.yr <sup>-1</sup>	20.6	17.6	20.4	20.3

-: means CO<sub>2</sub> is transferred from river into the atmosphere.

*F<sub>ex</sub>*: CO<sub>2</sub> flux by evasion into the atmosphere from river



**Qué efectos inmediatos  
podemos esperar...**



- **Llega menos CO<sub>2</sub> a estuarios pero...**

**No se tiene idea, aún, sobre los efectos colaterales en estuarios (ni en ríos, recordad).**

# 7. Aumenta la eutrofización costera

Figure 5. *Level of expression of eutrophic conditions*

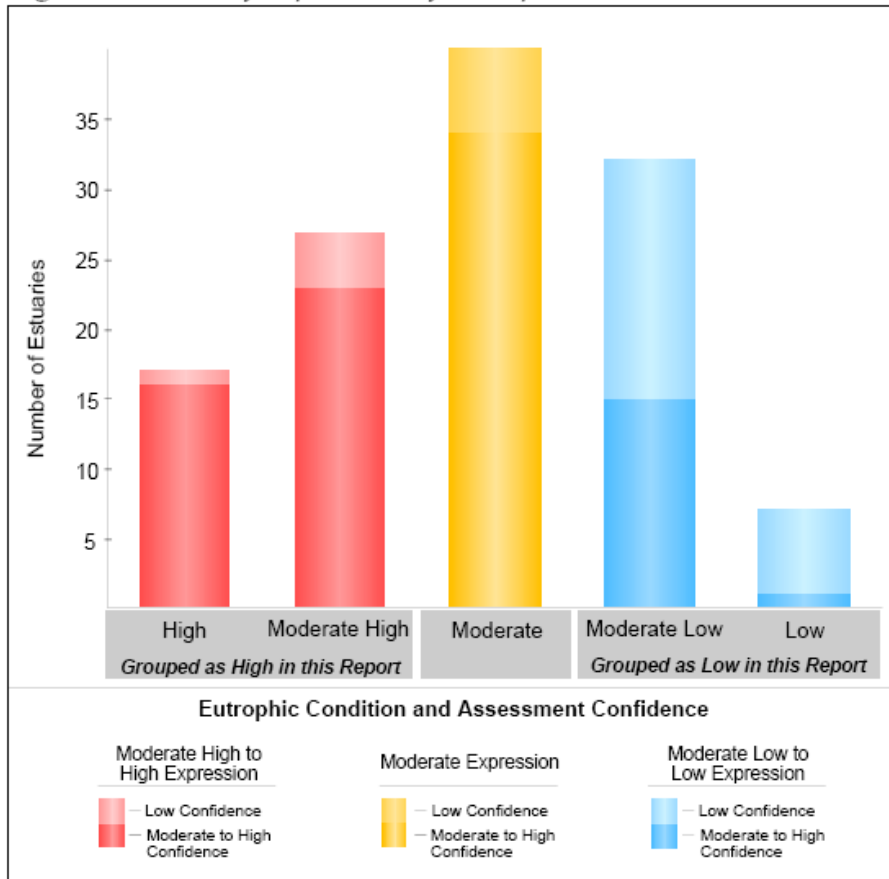
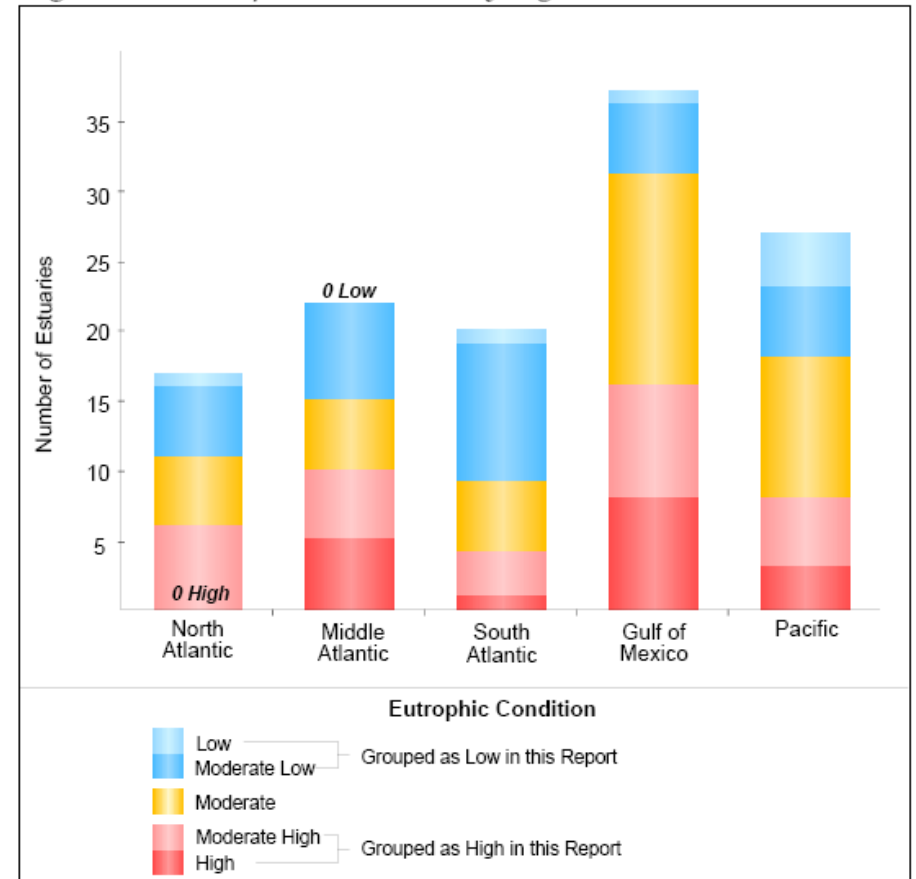
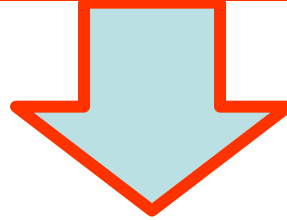


Figure 6. *Eutrophic conditions by region*

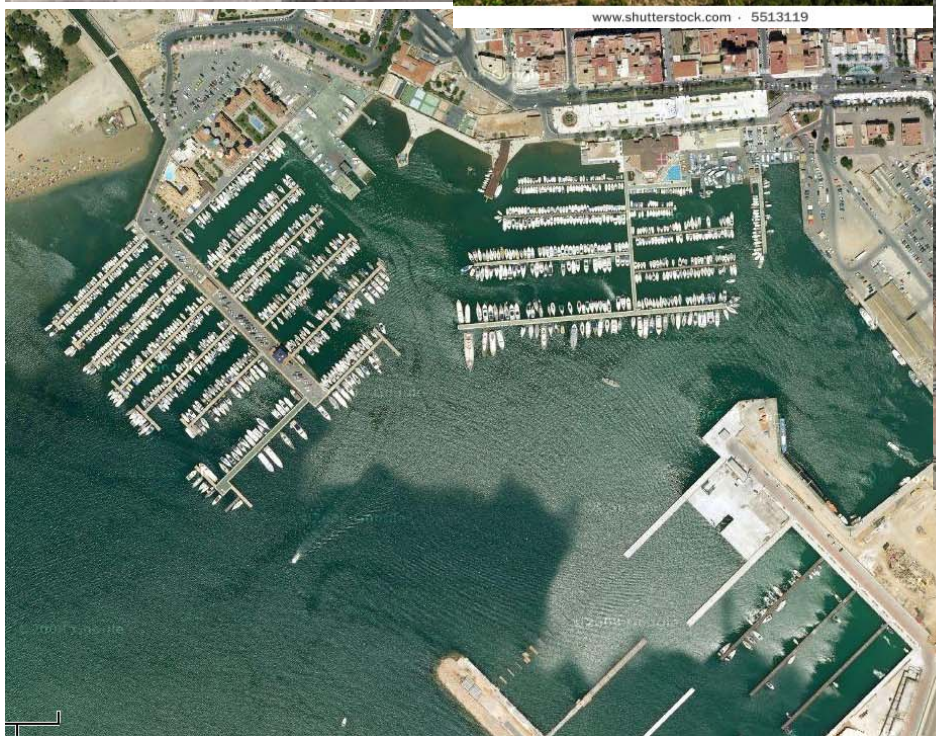


Qué efectos inmediatos  
podemos esperar...

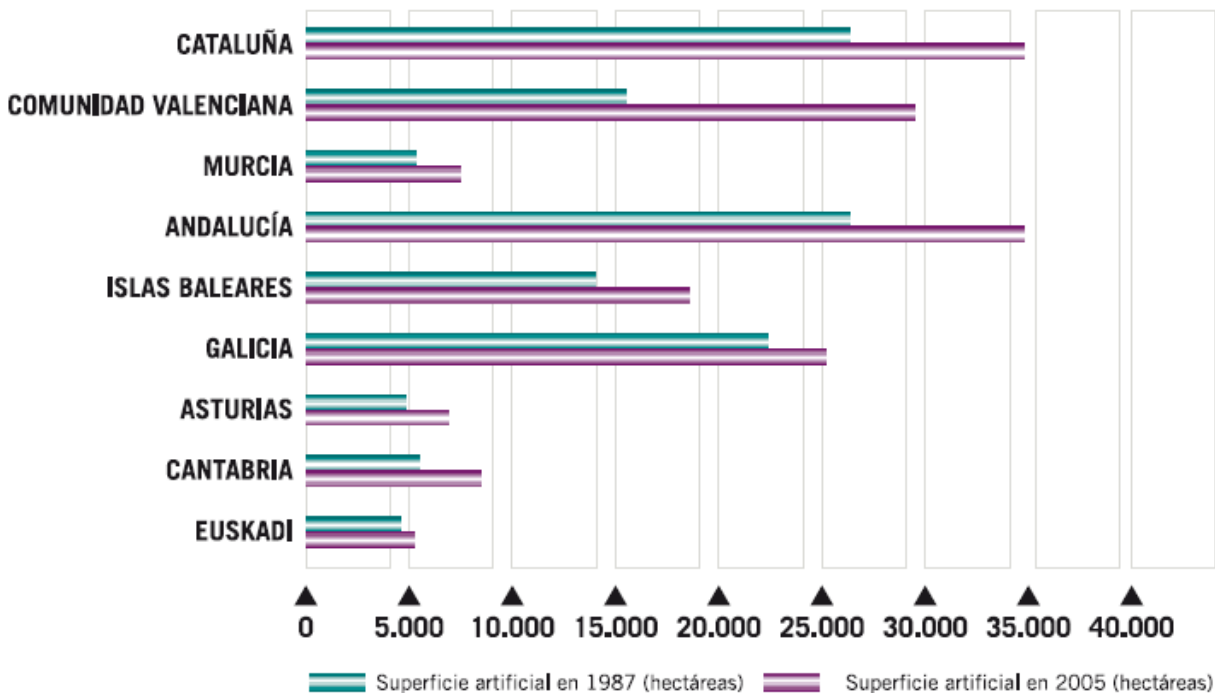


- **Más salidas de nutrientes hacia la costa**
- **Alteración biótica de estuarios**
- **Condiciones reductoras por aumento de MO**
- **Más emisiones de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub> (NO y N<sub>2</sub>O)**
- **Más???**

# 8. Destrucción de hábitats (principalmente por urbanización)



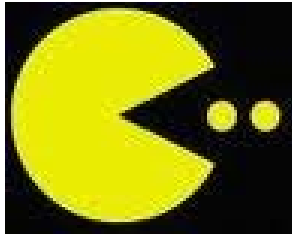
## 8. Destrucción de hábitats (principalmente por urbanización)



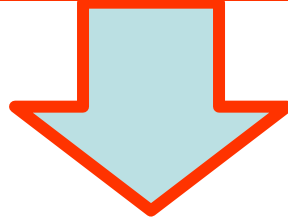
**GRÁFICA 1.** Diferencia en la superficie artificial (suelo equipado para urbanizaciones, zonas industriales, comerciales, etc.) por comunidades autónomas entre los años 1987 y 2005<sup>1</sup>.

*Fuente: elaboración propia a partir de Cambios de ocupación del suelo en España. A partir del proyecto "Corine Land Cover". IGN-CNIG y datos 2005 interpretación encargada por OSE a partir de imagen CLC 2005.*

## 8. Destrucción de hábitats (principalmente por urbanización)



Qué efectos inmediatos podemos esperar...



- **Pues se acaba y nos vamos...**