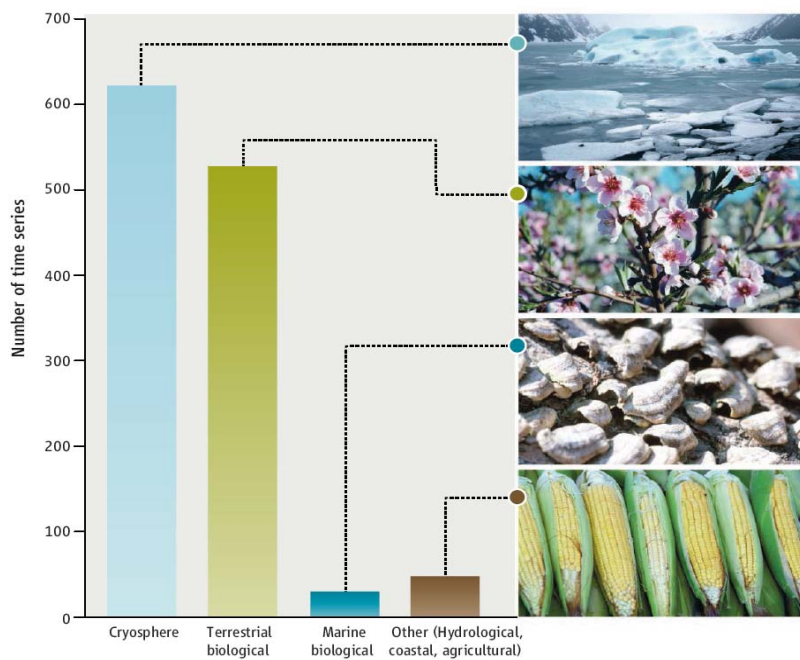


CAMBIO CLIMÁTICO EN EL OCÉANO Y SUS IMPACTOS



Universidad
de Oviedo
1608-2008

Ricardo Anadón
Catedrático de Ecología
Universidad de Oviedo



El número de series temporales de diferentes ambientes incluidos en el reciente Cuarto Informe de Asesoramiento del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) difieren ampliamente. Los sistemas marinos están claramente subrepresentados en comparación con los sistemas terrestres

Del Océano tenemos una información mucho más fragmentaria que de sobre el sistema atmosférico y la vida sobre los continentes.

Y eso a pesar de que cada vez tenemos más claro que los océanos son componentes fundamentales del sistema climático

Primera Idea:

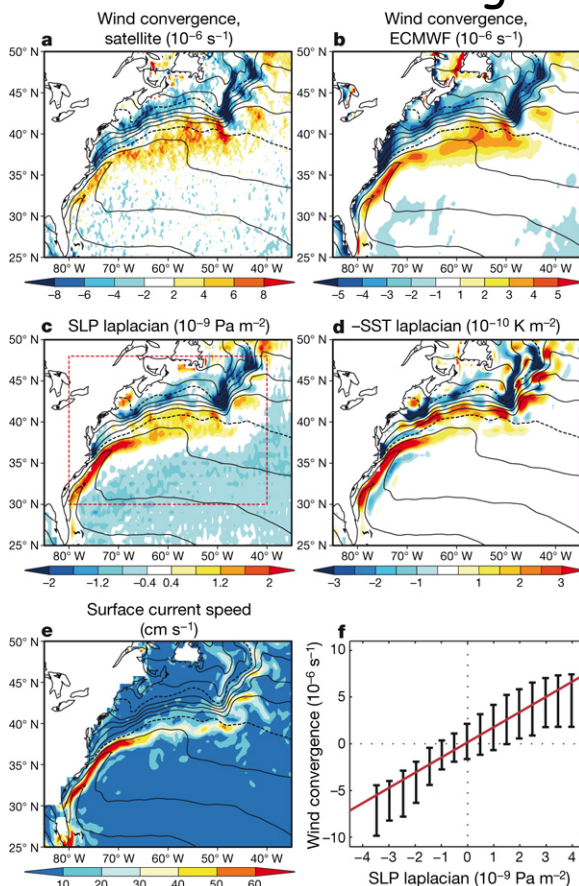
El Océano es un componente fundamental del Sistema Climático

1. Almacén y distribuidor de la energía solar recibida y almacenada
2. Regula la concentración de CO_2 en la atmósfera.

- CICLO DEL CARBONO
- FLUJOS DE CO_2 ATMOSFERA-OCÉANO
- BALANCE GLOBAL DE LA CAPTACIÓN DE CO_2

1

Una muestra del significado climático del Océano



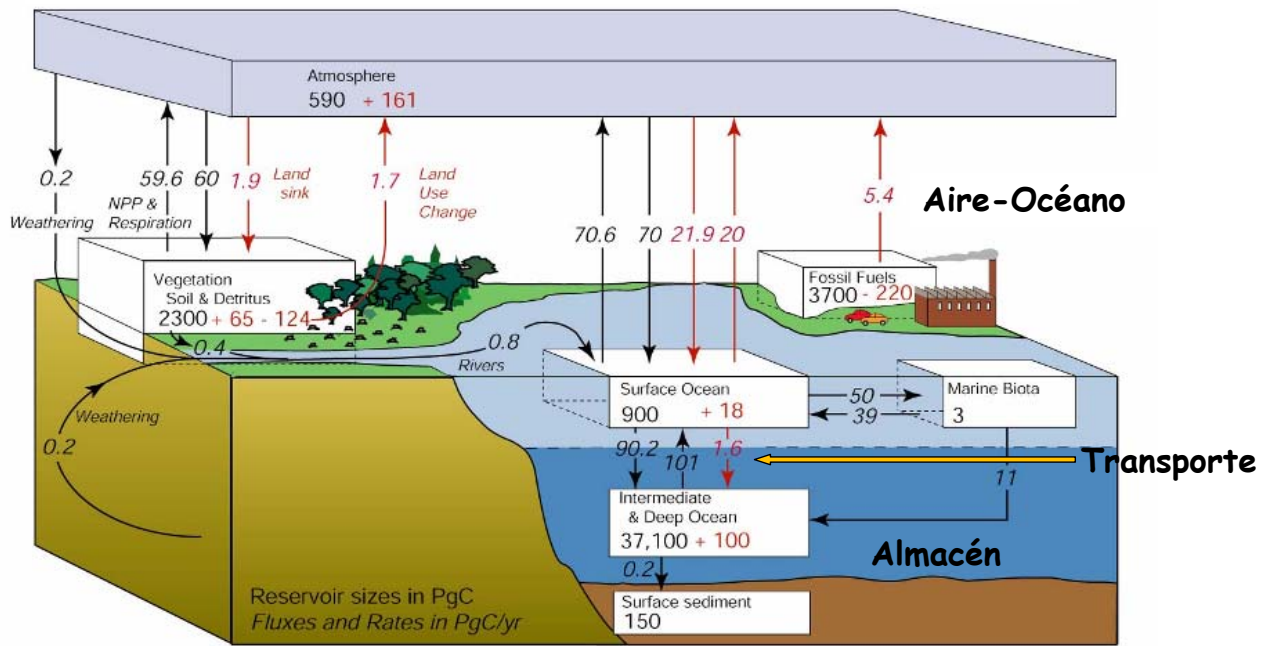
Rising Heat
The Gulf Stream's
influence extends 10 km
above the Atlantic

a, b, 10-m wind convergence (colour) in QuikSCAT satellite observations (**a**) and in the ECMWF analysis (**b**). **c, d**, SLP laplacian (**c**) and sign-reversed SST laplacian (**d**) in the ECMWF analysis. **e**, Surface geostrophic current speed. In **a–e**, SST contours (2°C interval and dashed contours for 10°C and 20°C) are shown. **f**, Relationship between the SLP laplacian and wind convergence based on monthly climatology in the red-dashed box in **c**; the regression line is shown red. Error bars, ± 1 s.d. of wind convergence for each bin of SLP; SLP, Sea level pressure

Minobe et al, 2008

2

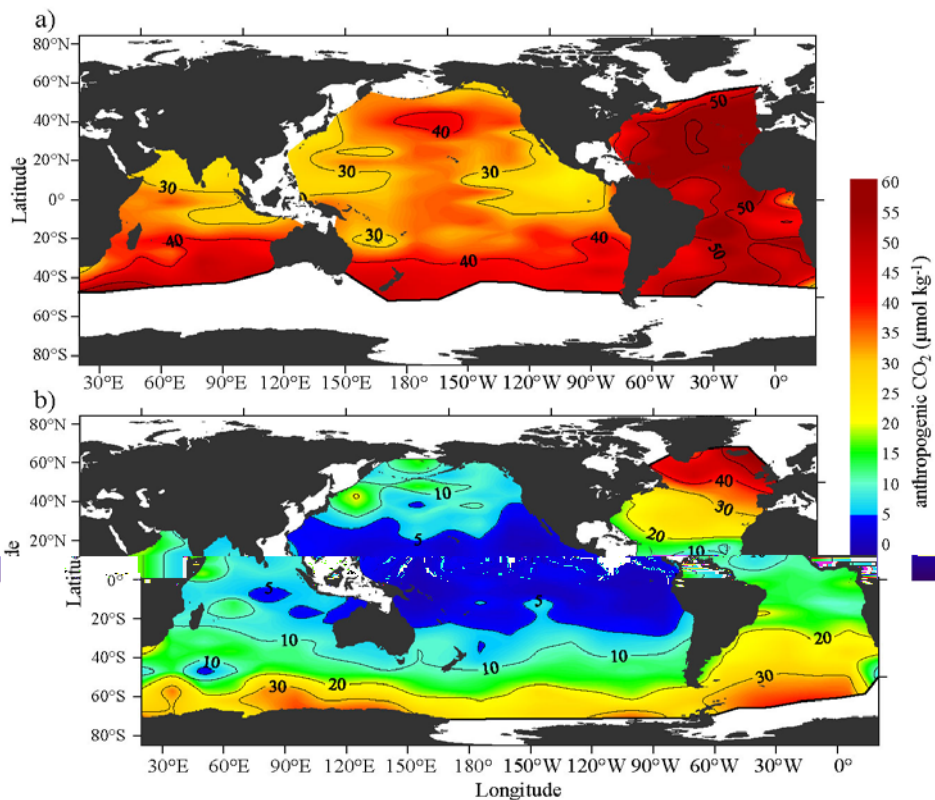
El Ciclo Global del Carbono muestra una acumulación de DIC tanto en el Océano superficial como profundo, después de la perturbación antropogénica



Sarmiento y Gruber, 2002

2

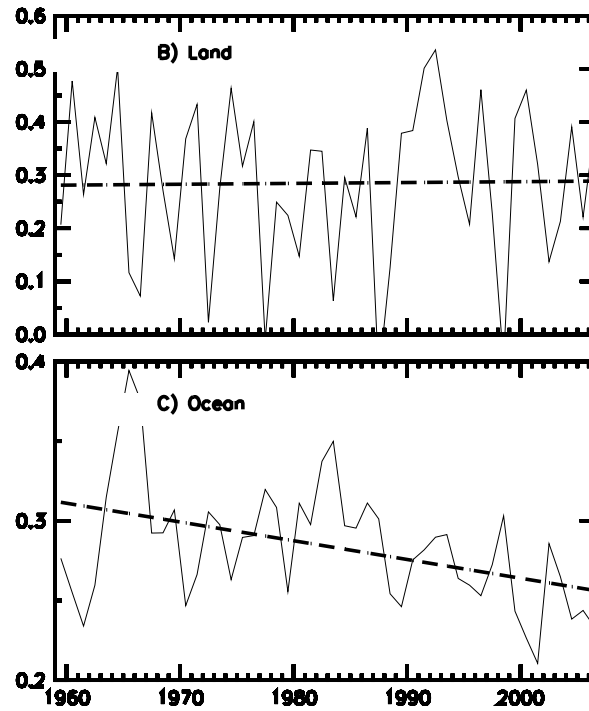
CO₂ Antropogénico a los niveles de densidad potencial 26.0 (a) y 27.3 (b)



(Sabine et al, 2004)

2

Eficiencia de los sumideros naturales: Fracciones de Tierra y Océano



Continente

Océano



Last update: 23 October 2007

Canadell et al. 2007, PNAS

2

Cambios en la captación de CO_2 ?

	Incremento Oceánico Pg C	Emisiones de CO_2 Pg C	Fracción de captación
1800-1994	118±19	244±20	0.48
1980-1999	37±8	117±5	0.32

A pesar de la incertidumbre, parece que el CO_2 captado por los océanos ha descendido, de 48% durante 1800-1994 a 32% durante 1980-1999.

2

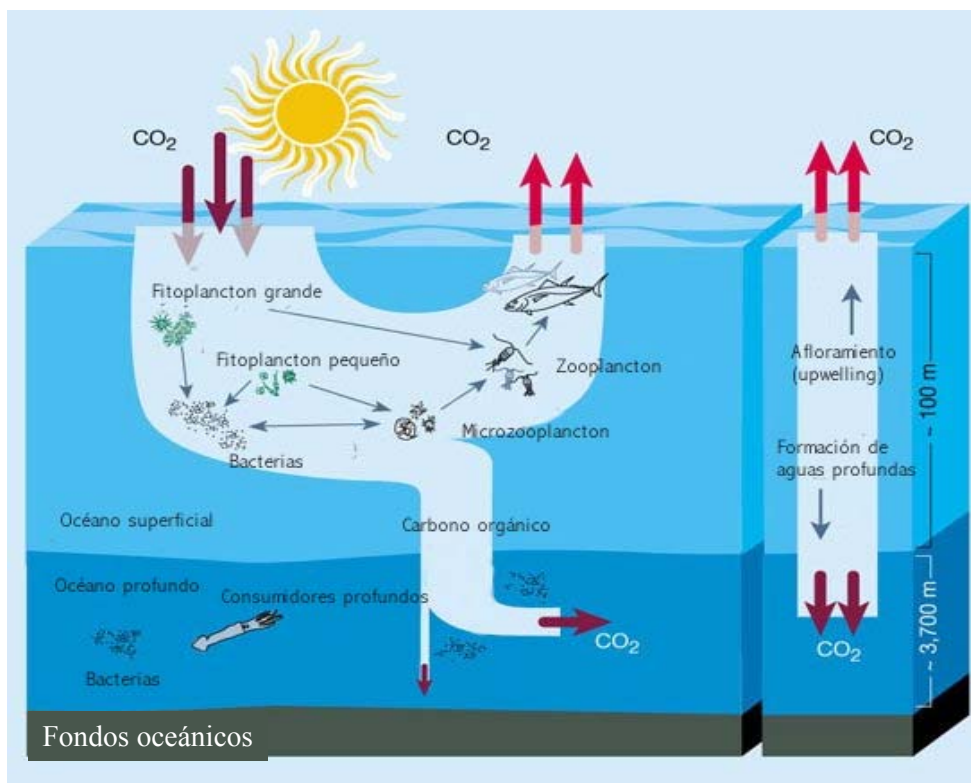
El Ciclo de Carbono en el océano está gobernado por tres factores:

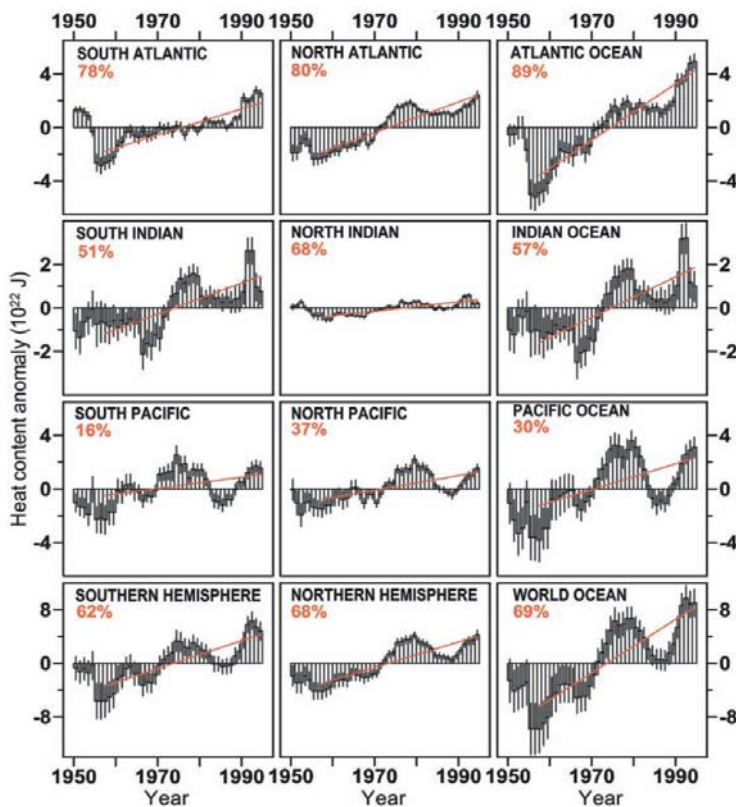
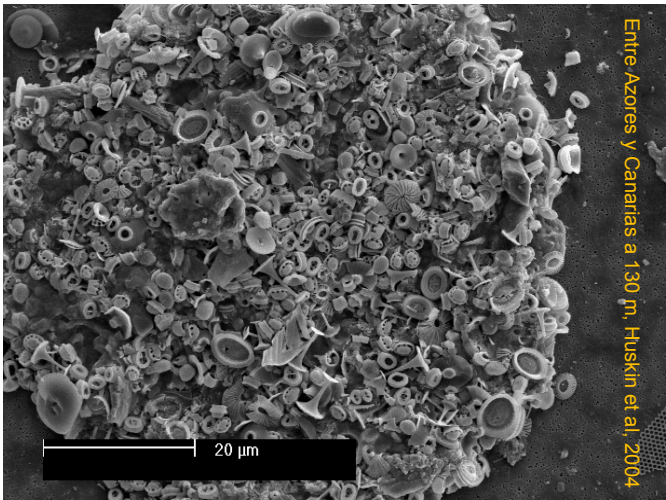
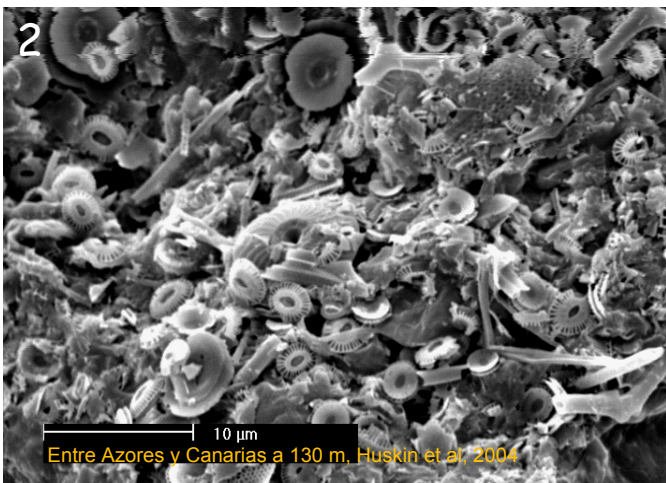
- **Bomba Física (solubilidad de CO_2 en agua de mar)**
 - ✓ Interfase Atmósfera-Océano: Intercambio de CO_2
 - ✓ Circulación de las masas de agua
 - ✓ Distribución de CO_2 oceánico
- **Bomba Biológica (ciclo biogeoquímico del carbono)**
 - ✓ Consumo de CO_2 por fotosíntesis limitada por nutrientes, o/y formación de CaCO_3 en la capa superficial del océano
 - ✓ Sedimentación de CaCO_3 y MO al océano profundo, con posibilidades de respiración.

2

CAMBIO CLIMÁTICO Y RESPUESTA DE LOS OCÉANOS

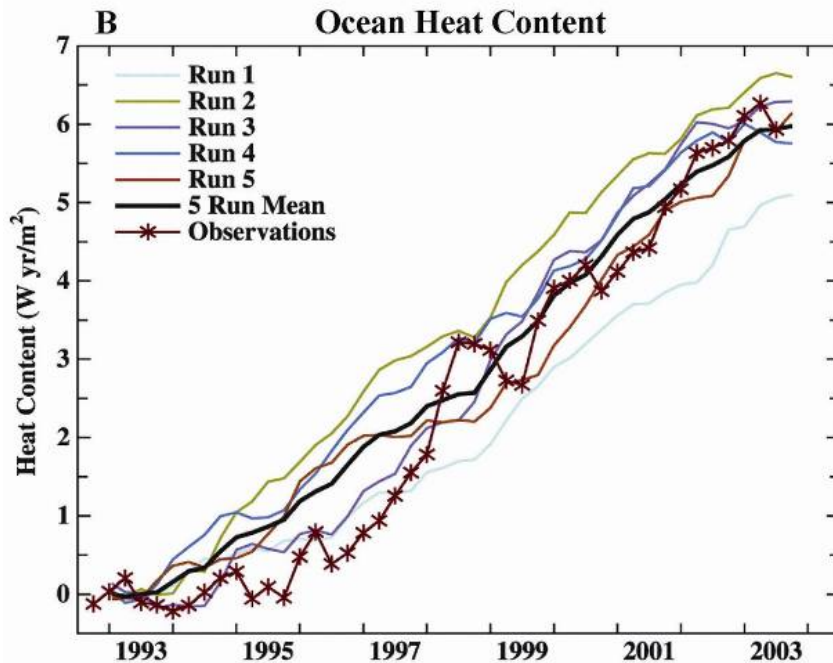
Los océanos, además pueden actuar, y actúan, como sumideros de carbono, por medio de la **Circulación Termohalina** y por medio de la **Bomba Biológica**





Time series of 5-year running composites of heat content (1022 J) in the upper 3000 m for each major ocean basin. Vertical lines represent 61 SE of the 5-year mean estimate of heat content. The linear trend is estimated for each time series for the period 1955 to 1996, which corresponds to the period of best data coverage. The trend is plotted as a red line. The percent variance accounted for by this trend is given in the upper left corner of each panel

La penetración de dióxido de carbono suele estar asociada al transporte de calor, que se produce cuando el agua superficial se hunde o se mezcla, normalmente en invierno.



Ganancia de calor en los 750 metros superiores de los océanos mundiales.

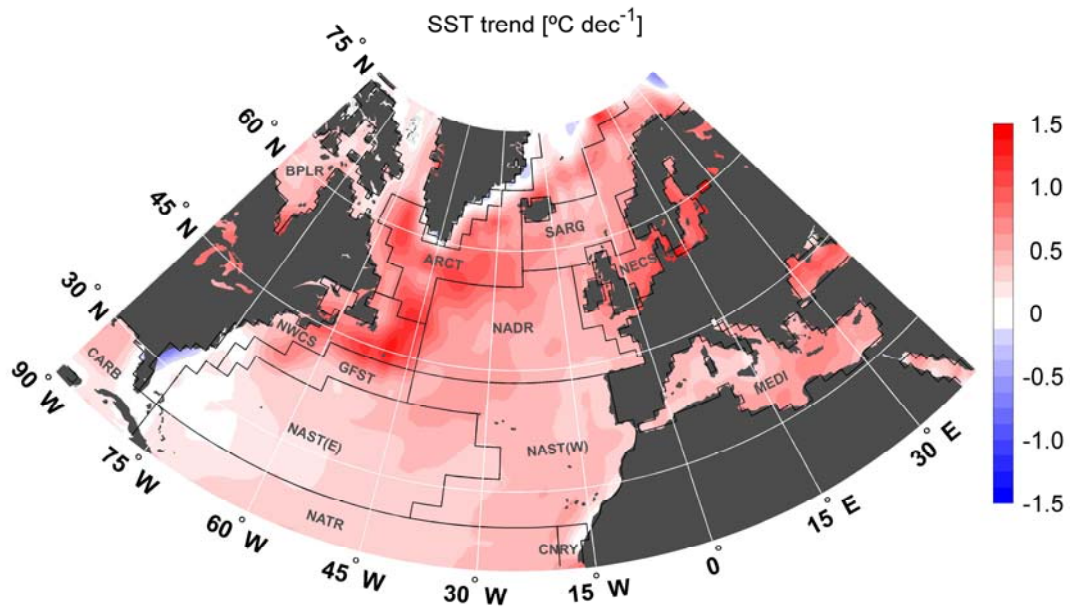
Hansen et al, 2005.

IMPACTOS DE LOS CAMBIOS EN EL OCÉANO Y LA ZONA COSTERA

- Cambios de temperatura. Efectos biológicos
- Cambios en corrientes y estacionalidad. Efectos biológicos
- Subida del nivel del mar. Efectos sobre la costa
- Alcalinización y calcificación.
- Algunas sorpresas recientes

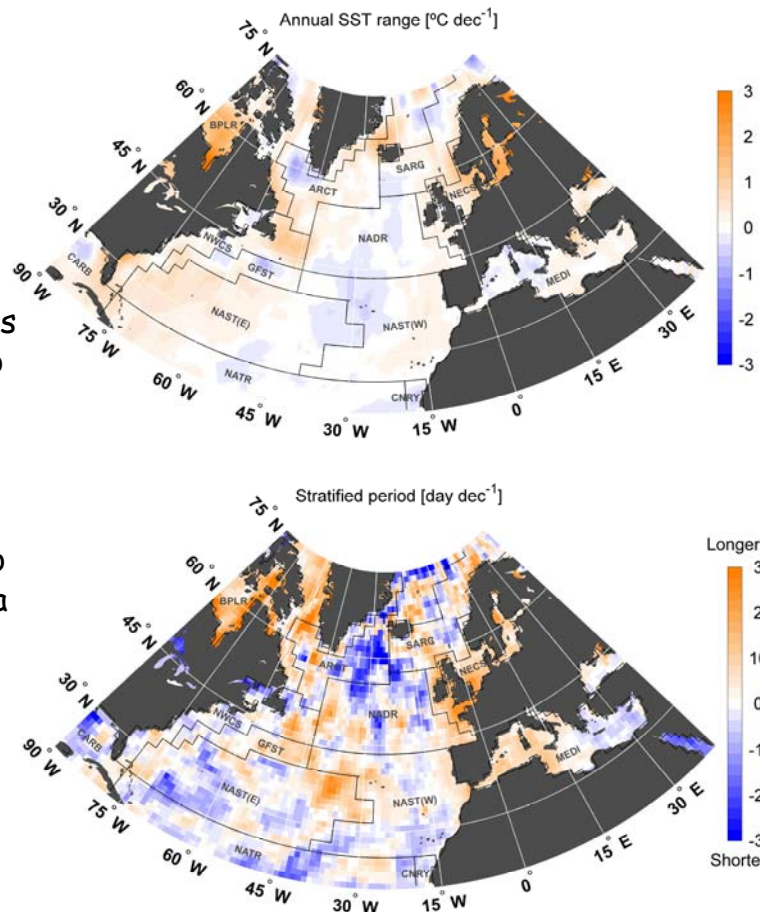
El calentamiento superficial en los últimos 20 años ha sido muy elevado, pero ocurre de manera diferencial en partes del océano, Incremento anual

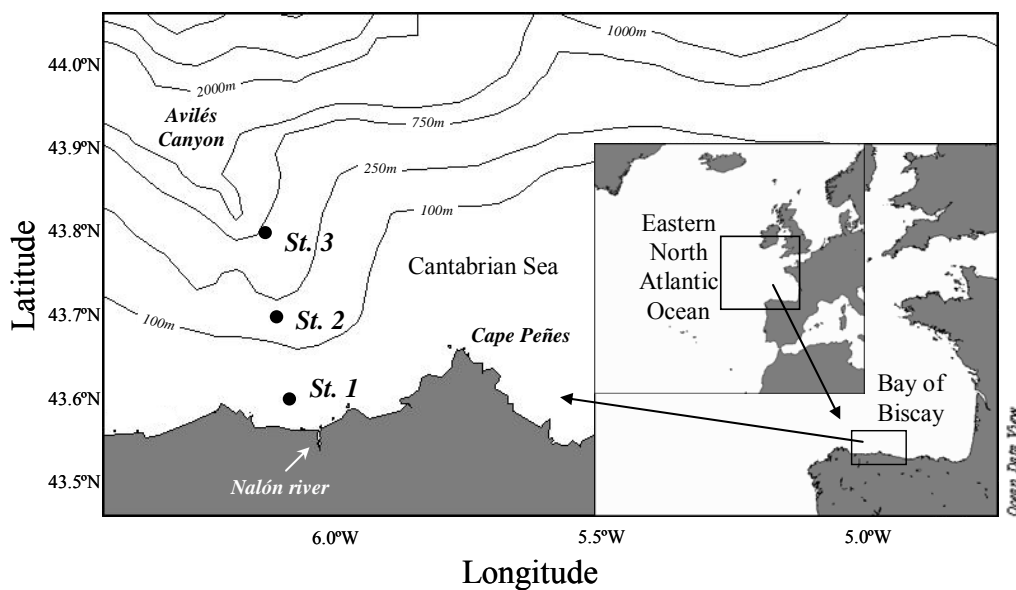
(ajuste lineal de la temperatura superficial del mar calculada con datos del satélite AVHRR entre 1985 y 2005)



González Taboada y Anadón, 2008

Los rangos de temperatura se incrementan en muchas áreas del océano, pero el periodo de estratificación no parece tener un comportamiento homogéneo. El entorno de la Península Ibérica si manifiesta un incremento de su longitud

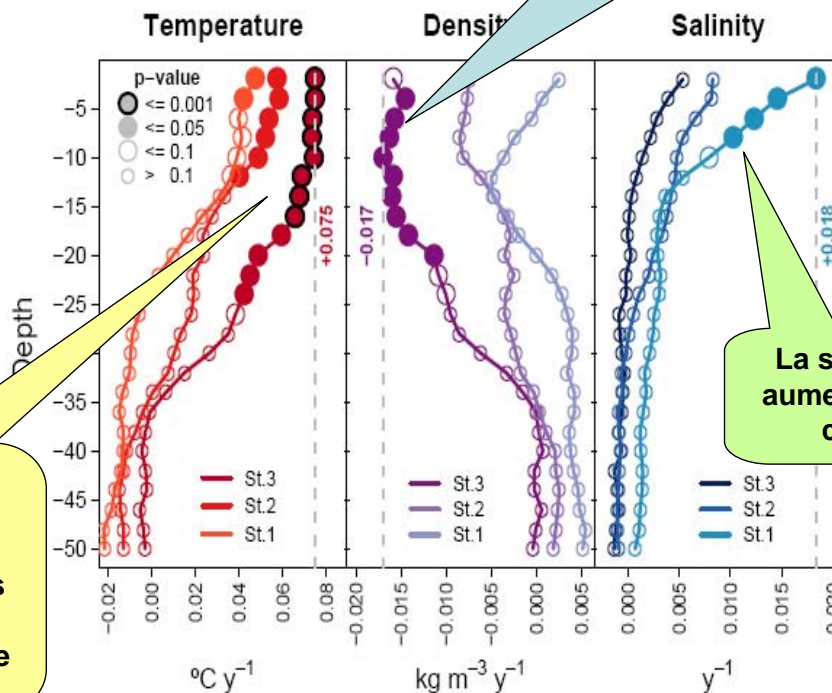




3

La Temperatura aumenta más en superficie lo que incrementa la estratificación

La densidad disminuye en el océano al aumentar la temperatura



También en el Cantábrico empezamos a tener evidencias de que el calentamiento de acelera

La salinidad aumenta en la costa

El incremento de la estratificación puede generar un decremento de la concentración de nutrientes, y por ello influir sobre la producción primaria

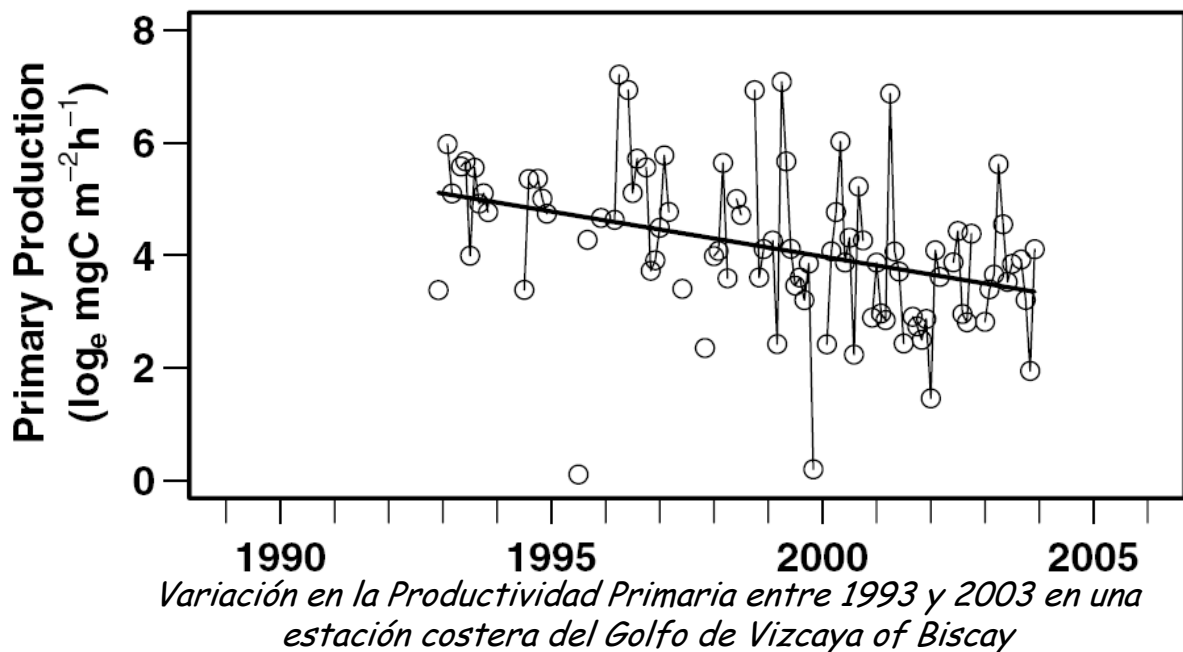
NO_3^-	Station 3				Station 2				Station 1			
	Seas		Slope		Seas		Slope		Seas		Slope	
	%	%	$\mu\text{mol kg}^{-1}\text{y}^{-1}$	p-value	%	%	$\mu\text{mol kg}^{-1}\text{y}^{-1}$	p-value	%	%	$\mu\text{mol kg}^{-1}\text{y}^{-1}$	p-value
0m	76.7	2.4	-0.080	0.004	71.0	3.1	-0.092	0.001	44.6	2.4	-0.089	0.046
10m	78.7	2.5	-0.081	0.002	74.0	3.1	-0.093	0.001	52.7	-	-0.033	0.412
20m	73.7	3.3	-0.094	0.001	72.6	1.9	-0.068	0.011	41.1	-	-0.024	0.608
30m	69.3	3.5	-0.099	0.002	50.8	-	-0.040	0.287	25.6	-	-0.033	0.582
40m	55.9	3.5	-0.102	0.011	26.1	-	-0.043	0.372	-	-	-0.051	0.391
50m	39.3	5.8	-0.131	0.005	19.0	-	-0.029	0.573	-	-	-0.022	0.742
75m	33.9	-	-0.059	0.282	22.6	-	-0.034	0.579	-	-	-	-
100m	27.9	-	-0.039	0.512	22.2	-	-0.004	0.950	-	-	-	-
150m	30.9	-	-0.090	0.113	-	-	-	-	-	-	-	-
200m	-	-	-0.027	0.692	-	-	-	-	-	-	-	-

$Si(OH)_4$	Station 3				Station 2				Station 1			
	Seas		Slope		Seas		Slope		Seas		Slope	
	%	%	$\mu\text{mol kg}^{-1}\text{y}^{-1}$	p-value	%	%	$\mu\text{mol kg}^{-1}\text{y}^{-1}$	p-value	%	%	$\mu\text{mol kg}^{-1}\text{y}^{-1}$	p-value
0m	38.3	7.3	-0.068	0.001	66.3	2.5	-0.061	0.002	32.5	3.2	-0.076	0.028
10m	43.6	3.5	-0.043	0.022	57.8	4.7	-0.066	0.000	46.4	-	-0.019	0.351
20m	44.0	6.0	-0.055	0.002	57.9	3.7	-0.049	0.003	31.9	-	0.003	0.899
30m	41.2	6.2	-0.056	0.002	40.2	3.4	-0.046	0.022	16.8	-	0.003	0.888
40m	34.7	6.7	-0.057	0.003	36.0	-	-0.020	0.311	-	-	-0.035	0.135
50m	31.3	8.3	-0.063	0.002	-	-	-0.021	0.311	-	-	0.002	0.943
75m	33.1	-	-0.017	0.334	-	-	-0.011	0.616	-	-	-	-
100m	24.8	5.5	-0.046	0.014	-	-	0.017	0.465	-	-	-	-
150m	32.4	8.0	-0.057	0.002	-	-	-	-	-	-	-	-
200m	25.8	4.6	-0.051	0.023	-	-	-	-	-	-	-	-

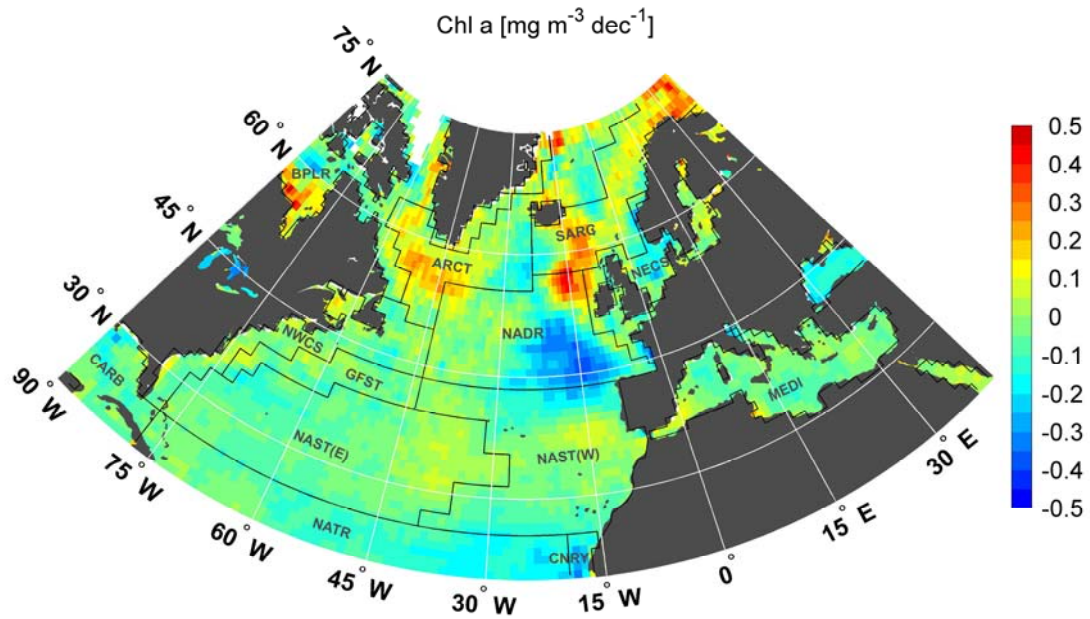
3

Los efectos sobre la producción primaria son decrecientes en zonas costeras de Asturias

Changes in species composition were associated to a decreasing productivity in some geographic areas

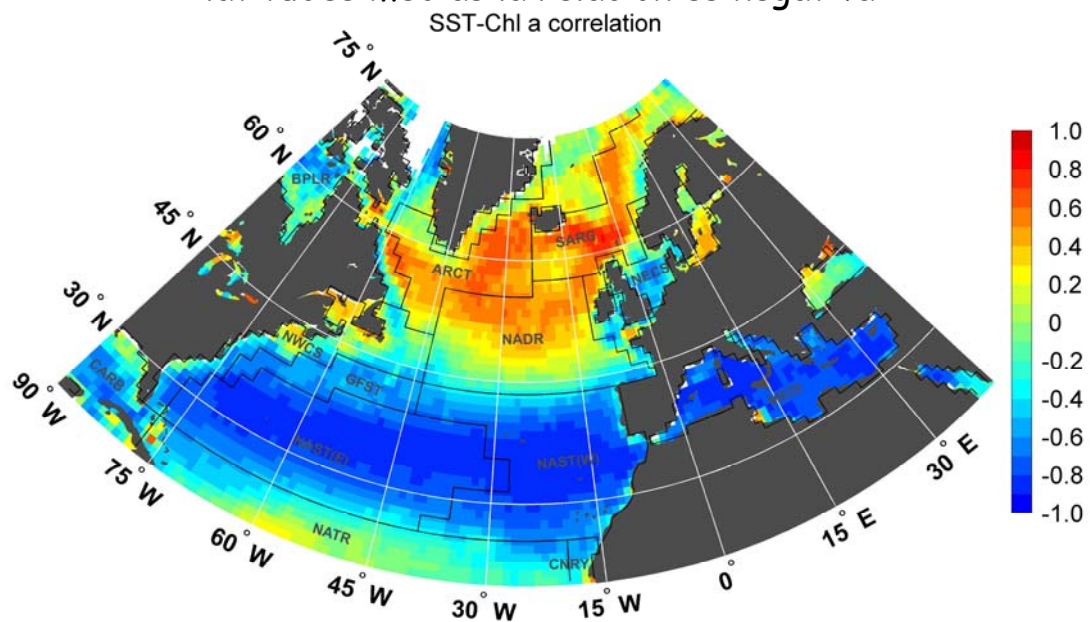


Las tendencias pueden variar dependiendo si el tiempo de estratificación ya era elevado o corto. En el primer caso se puede reducir la producción anual, mientras que en el segundo se puede esperar una elevación



González Taboada y Anadón, 2008

Los valores positivos de correlación entre SST y Clorofila en latitudes elevadas así parece demostrarlo, mientras en latitudes medias la relación es negativa

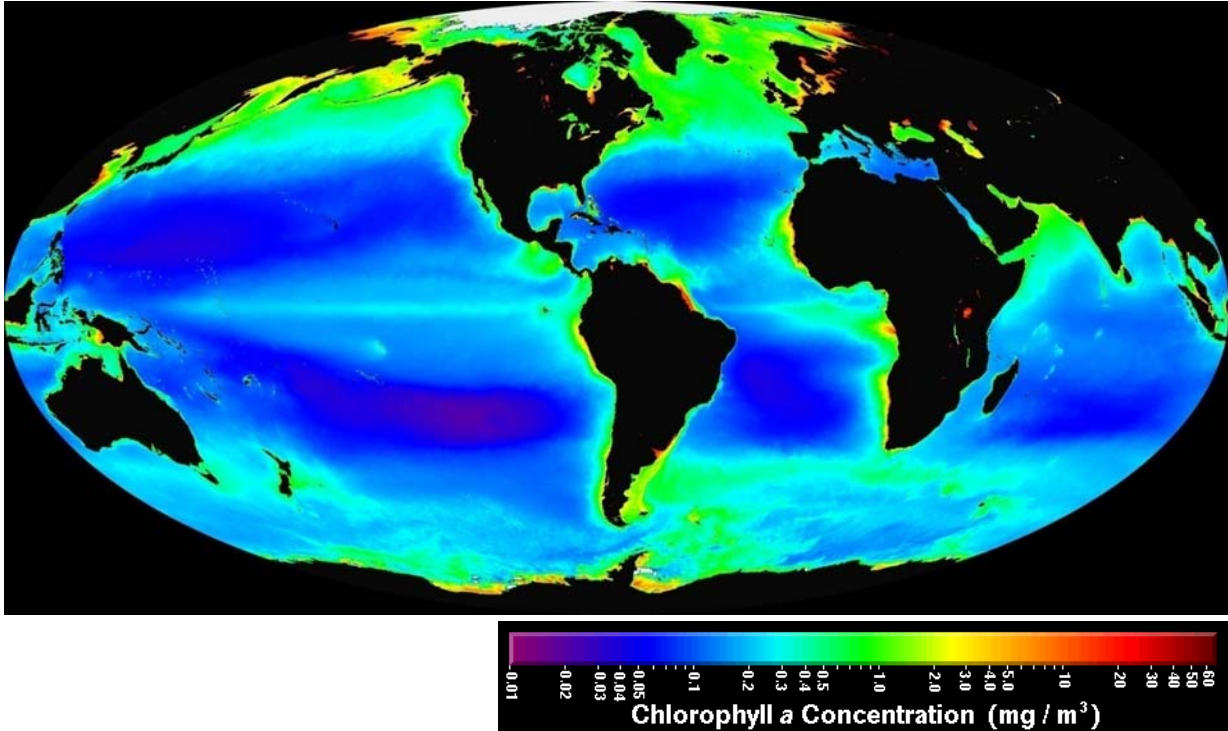


González Taboada y Anadón, 2008

CAMBIO CLIMÁTICO PERSPECTIVAS EN LA CONSERVACIÓN DE LA BIODIVERSIDAD

Biomasa de fitoplancton en el océano mundial

Imagen promedio entre Agosto 1997 y Noviembre 2003

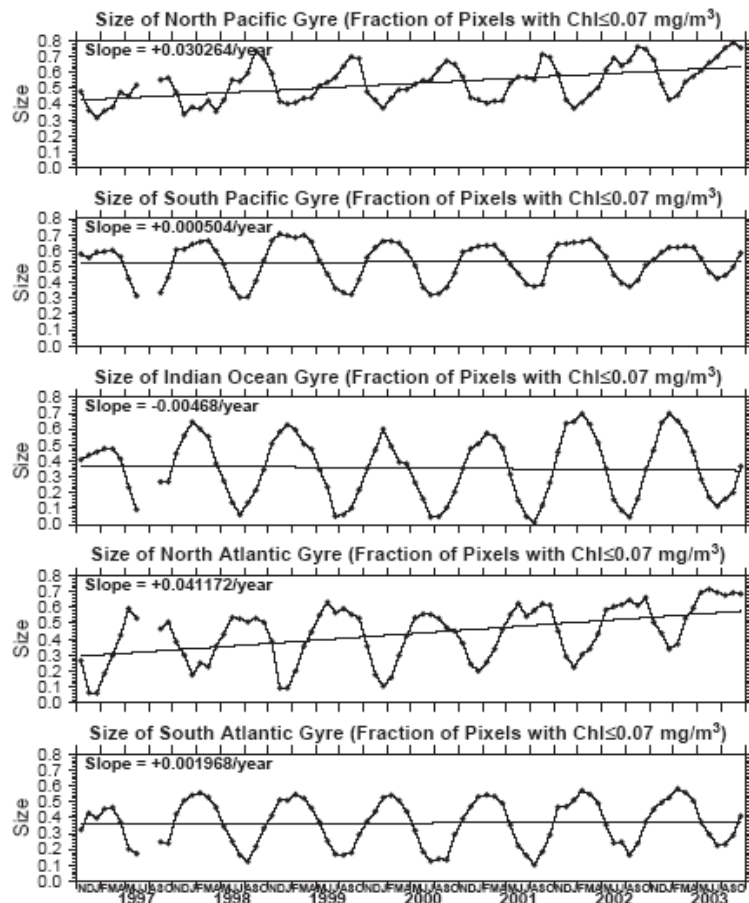


© SeaWiFS Project

NASA - Orbimage

Las zonas oligotróficas subtropicales se están expandiendo en algunos océanos

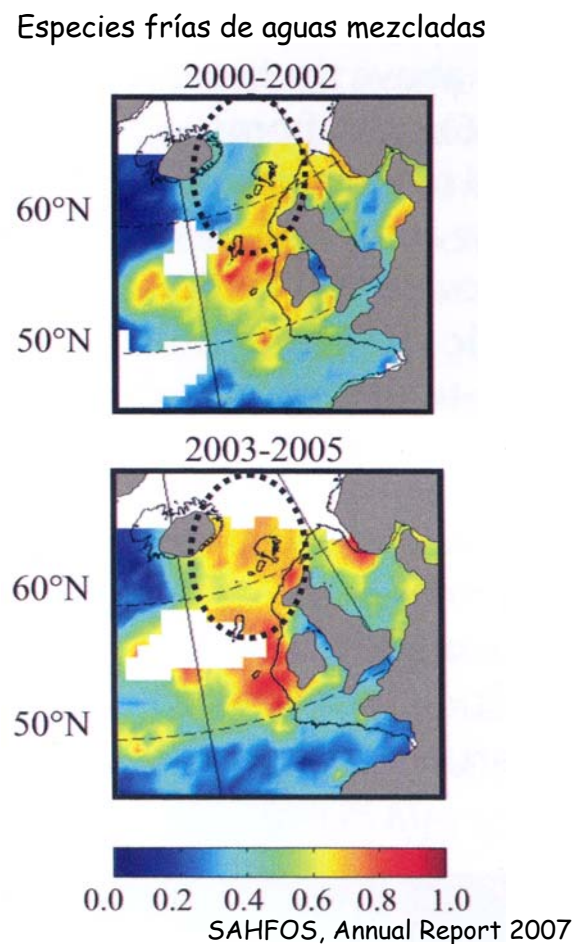
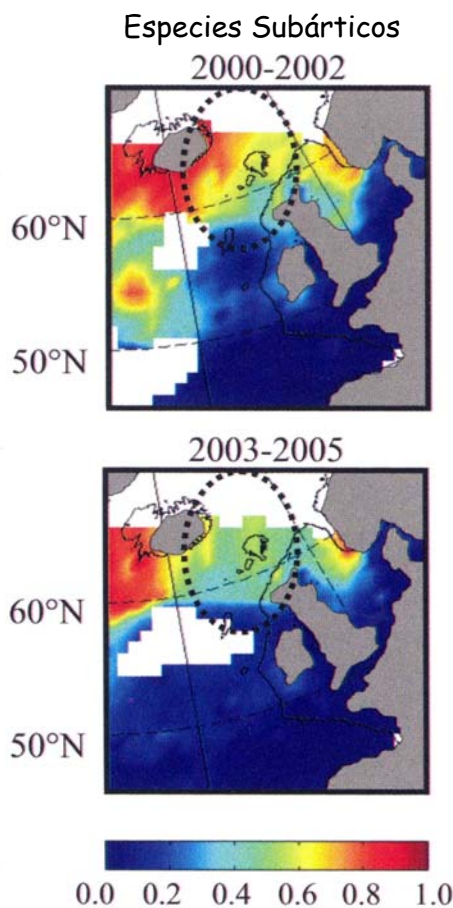
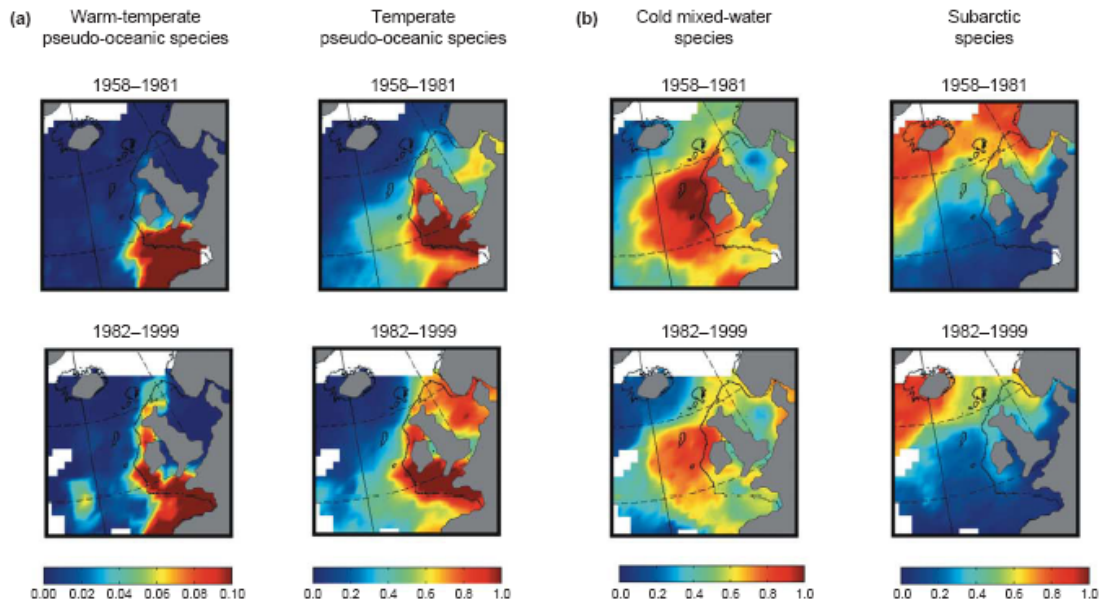
Time series of the fractional size of the oligotrophic areas ($\text{chl}a \leq 0.07 \text{ mg m}^{-3}$) inside the North Pacific, South Pacific, Indian Ocean, North Atlantic, and South Atlantic subtropical gyres. The values were derived from OCTS (November 96–June 97) and SeaWiFS (September 97–October 03) data. The linear trends are superimposed on each plot and represent seven complete years of data (November 96–October 03). Tomado de McClain et al, 2004)



Desplazamiento hacia el norte de las comunidades de zooplancton en el Atlántico Noroeste

El análisis de las asociaciones de copépodos calanoides revela un desplazamiento de 1000 km hacia el norte de las especies de aguas templadas en los últimos 40 años

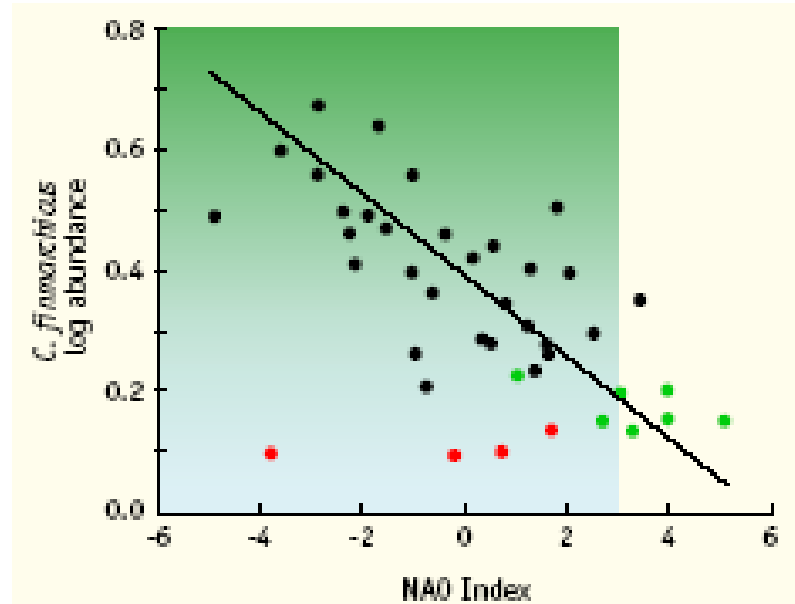
Beaugrand et al, Nature 2001



3

Los procesos de reorganización generados por el cambio climático pueden dar lugar a cambios permanentes, como se refleja en la relación entre la abundancia de *C. finmarchicus* y la NAO

Desde 1989 la especie ha reducido su abundancia en el Atlántico norte (Fromentin & Planque (1996), reelaborado por GLOBEC (2003)) probablemente afectadas por la reducción de las áreas de hibernación (overwintering) de copepoditos V



Fromentin & Planque (1996), reelaborado por GLOBEC (2003))

3

Los límites de distribución no siempre resultan ligados a una temperatura

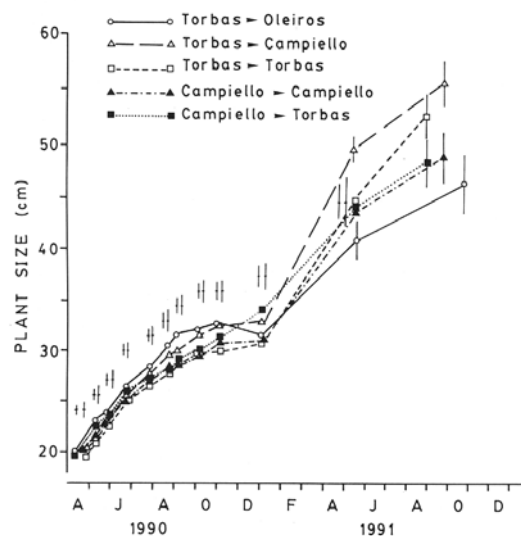
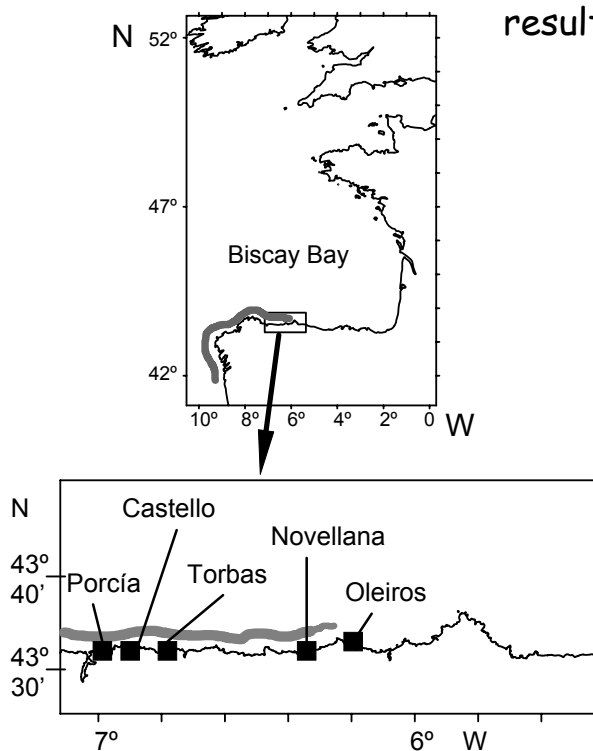


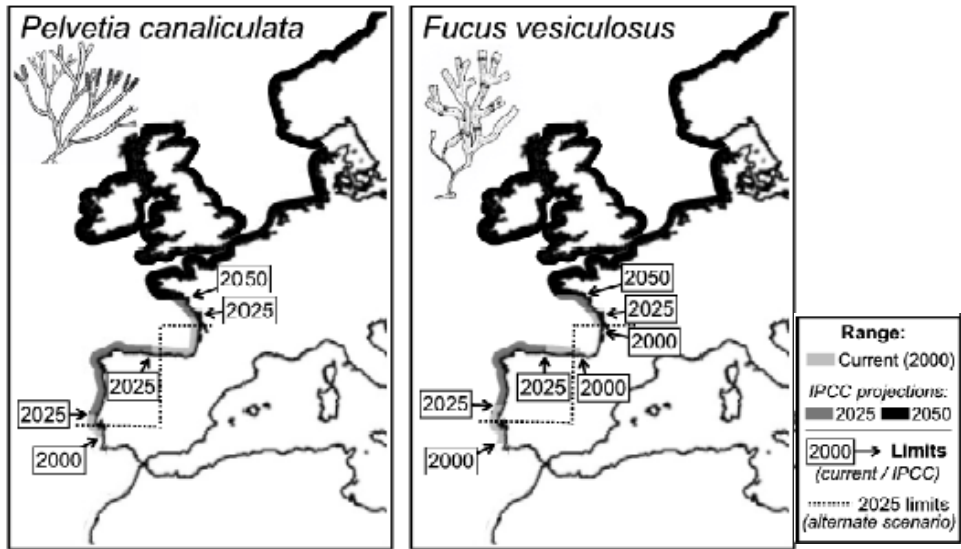
Fig. 8. *Fucus serratus*. Variation in size of transplanted specimens. Means \pm SE. Error bars as in Fig. 6

Experimentos de transplante de *Fucus serratus* entre localidades ya ocupadas por la especie, y con un localidad no ocupada

Arrontes, MEPS, 1993

También comienzan a conocerse efectos del cambio climático en las comunidades del litoral atlántico español, que pueden asociarse a Cambio de Clima

Resulta complicado hacer previsiones sobre cambios en poblaciones y comunidades de la línea de costa. (Alcock 2003) analiza el problema considerando los límites térmicos de las especies en la actualidad, y su proyección en los futuros escenarios térmicos

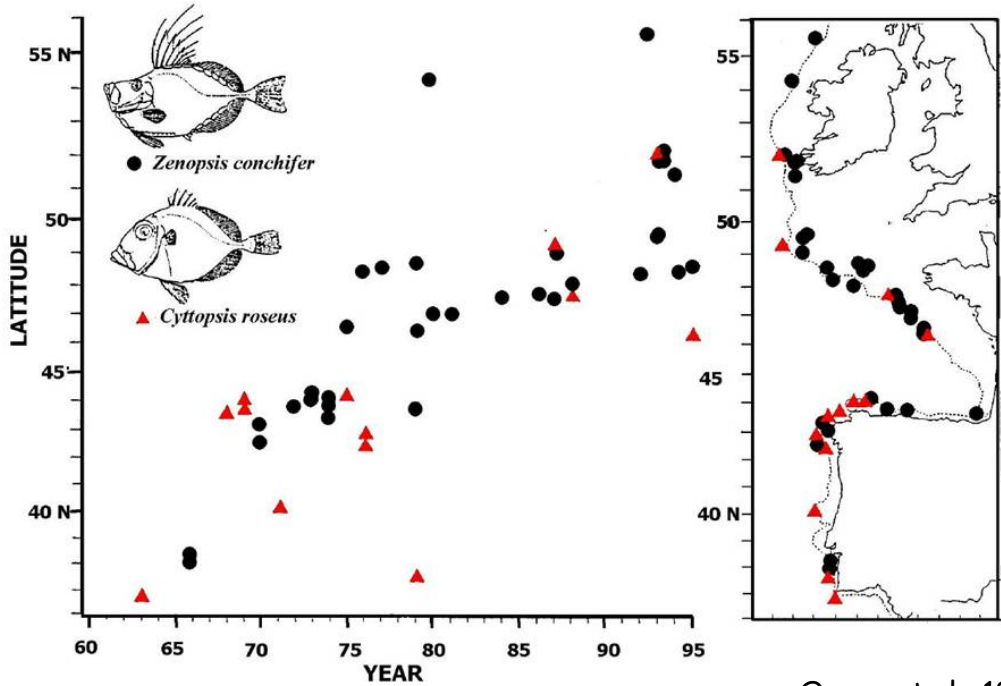


(Alcock 2003)



3

Desplazamiento hacia el norte de especies de peces de apetencias subtropicales

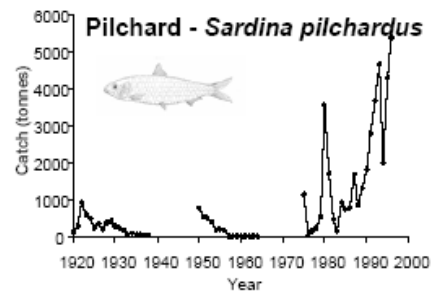
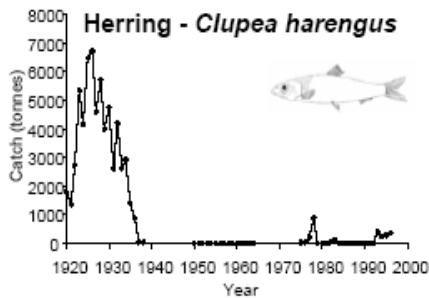


Quero et al, 1998

4

Otro ejemplo, distribución general dos especies explotadas de peces pelágicos

Cambios en los desembarcos en el puerto de Plymouth, reflejo de los cambios de distribución de las especies



Arenque



HERRING
Clupea harengus

Sardina



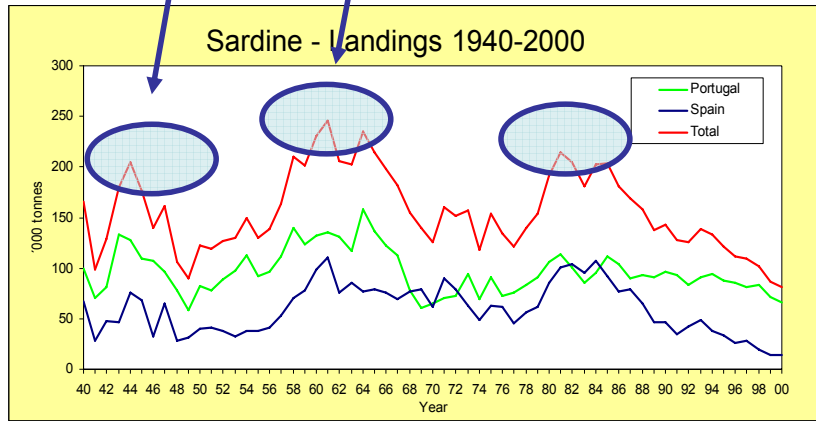
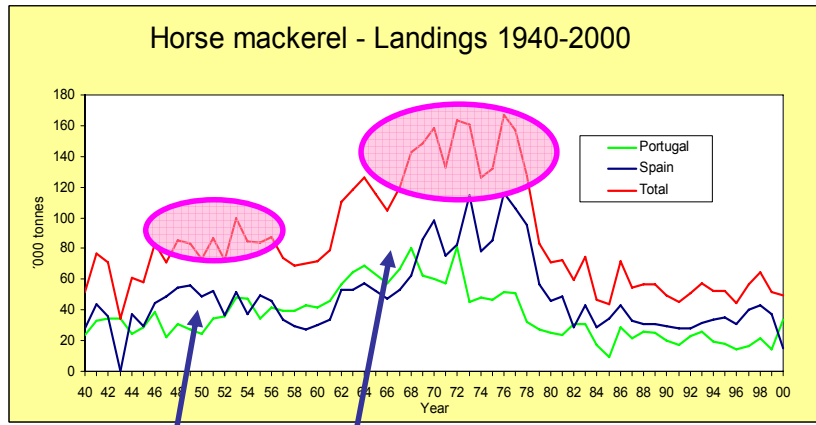
PILCHARD
Sardina pilchardus

Hawkins, 2005

4

CAMBIO CLIMÁTICO Y RESPUESTA DE LOS OCÉANOS

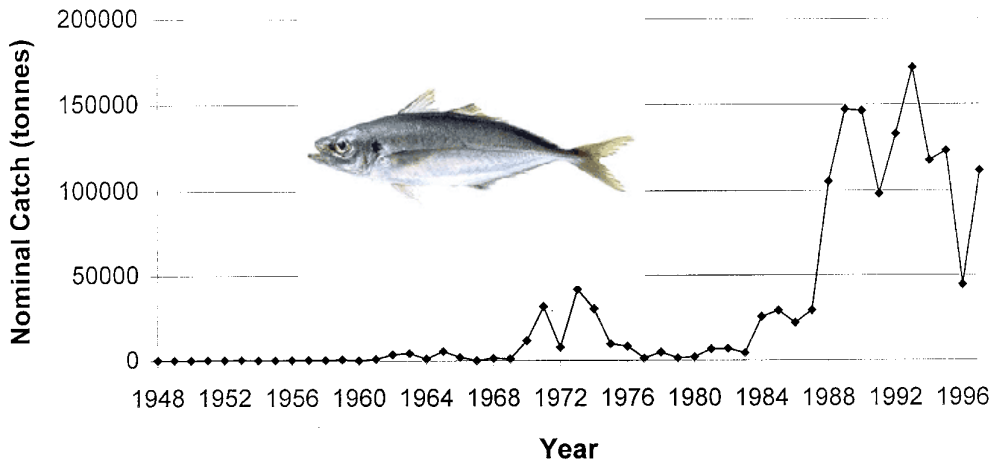
Alternancia de especies planctívoras



4

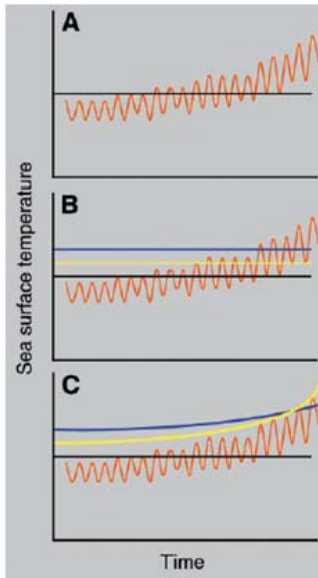
Annual landings of horse mackerel in the North Sea

Geographical displacements of populations can occur, changing fishing and other economic activities

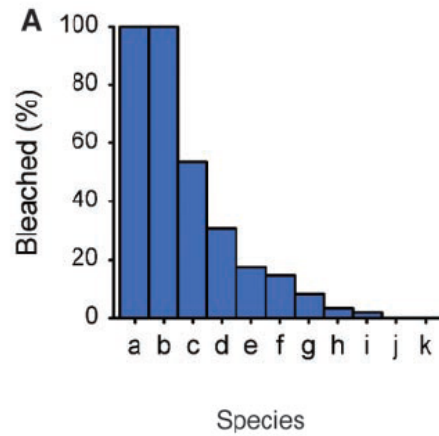


Reid *et al.* 2001. Fisheries Research

3



Algo que no podemos olvidar, pero de lo que sabemos muy poco. Las respuestas individuales y los procesos adaptativos abren incógnitas en la previsión de la distribución de especies



- (A) Un modelo que muestra un nivel umbral de respuesta constante, que muy probablemente se superará de forma crónica con el incremento de la temperatura oceánica
- (B) Un modelo alternativo que incorpora diferencias en los umbrales de respuesta (e.g., entre especies, profundidad y localidades), indicadas con líneas paralelas.
- (C) Un escenario más realista en los que cambios en los umbrales también ocurren en el tiempo, hecho atribuible a aclimatación y evolución.

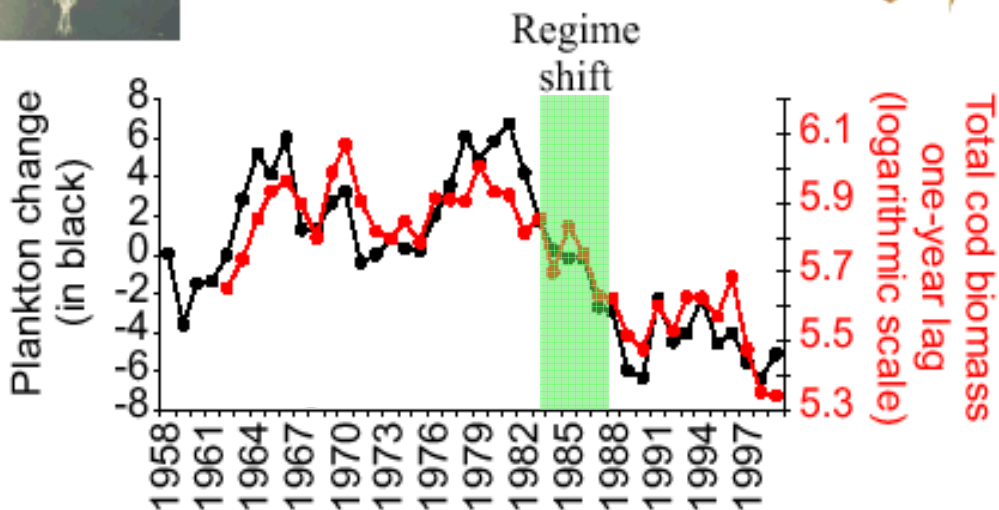
Respuestas de blanqueo diferencial de nueve especies de corales de Raiatea, Polynesia Francesa durante Mayo 2002. (a, *Acropora anthocercis*; b, *A. retusa*; c, *Montipora tuberculosa*; d, *Pocillopora verrucosa*; e, *M. calculata*; f, *Leptastrea transversa*; g, *P. eydouxii*; h, *P. meandrina*; i, *L. bewickensis*; j, *Porites lobata*; k, *L. purpurea*.

Hughes et al (2003)

4

Los cambios en la composición del zooplancton, las presas de muchas larvas de peces, pueden afectar a su reclutamiento,

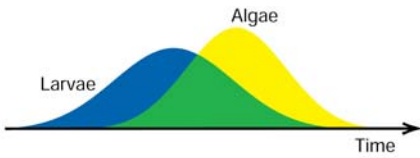
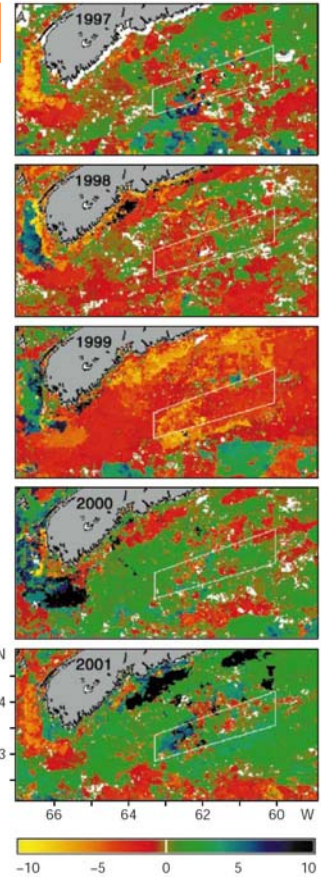
El caso del bacalao en el Mar del Norte, El cambio más importante para el bacalao consistió en la reducción de su presa, el copépodo *Calanus finmarchicus* (en la foto)



Beaigrand et al, 2003 Nature

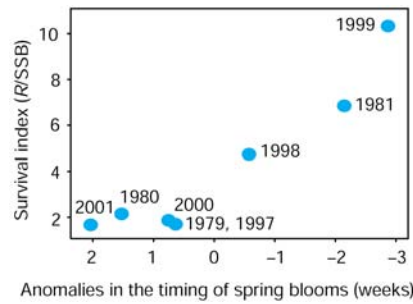
Desajuste entre ciclos atmosféricos y astronómicos

Si los ciclos atmosféricos cambian por el cambio climático, es posible que las especies no puedan modificar sus ciclos reproductivos regulados astronómicamente. Se podrán producir desajustes entre depredadores y presas, como el mostrado para el caso de las larvas de bacalao en Terranova



Mapas que muestran las desviaciones respecto a la media en la aparición de la floración de fitoplancton en distintos años (en semanas). Rojo, antes; Azul, después

Modelo ilustrativo del proceso. En azul el número de larvas de bacalao. En amarillo la biomasa de microalgas. Si se adelanta la floración ambos se solapan la larvas crecen y sobreviven. Si se retrasa las larvas pueden morir de inanición

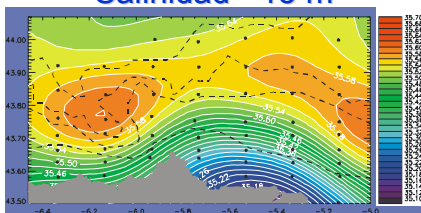


Relación entre reclutamiento y las desviaciones en las floraciones de fitoplancton

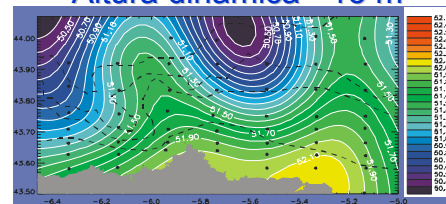
Platt et al (2003)

El proceso de reclutamiento de especies puede estar afectado por cambios en la circulación costera. Un ejemplo en Asturias

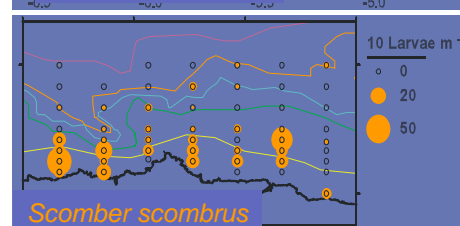
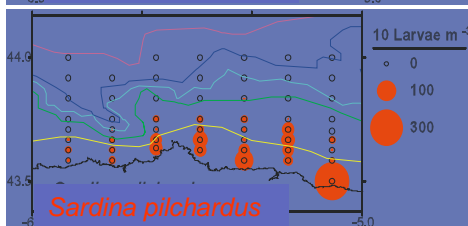
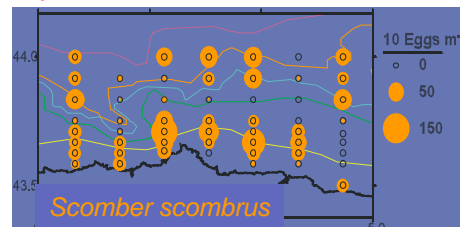
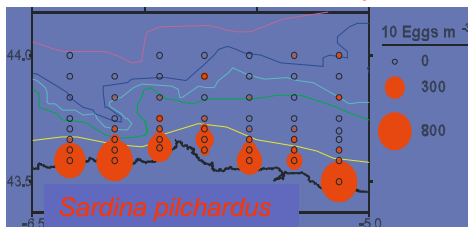
Salinidad - 15 m



Altura dinámica - 15 m



Distribución de huevos y larvas de sardina y verdel en Abril de 2002



González-Quirós et al., 2004

5

Cambios en estacionalidad del Afloramiento en la costa de Asturias en los últimos 30 años. Cambios de intensidad y de frecuencia

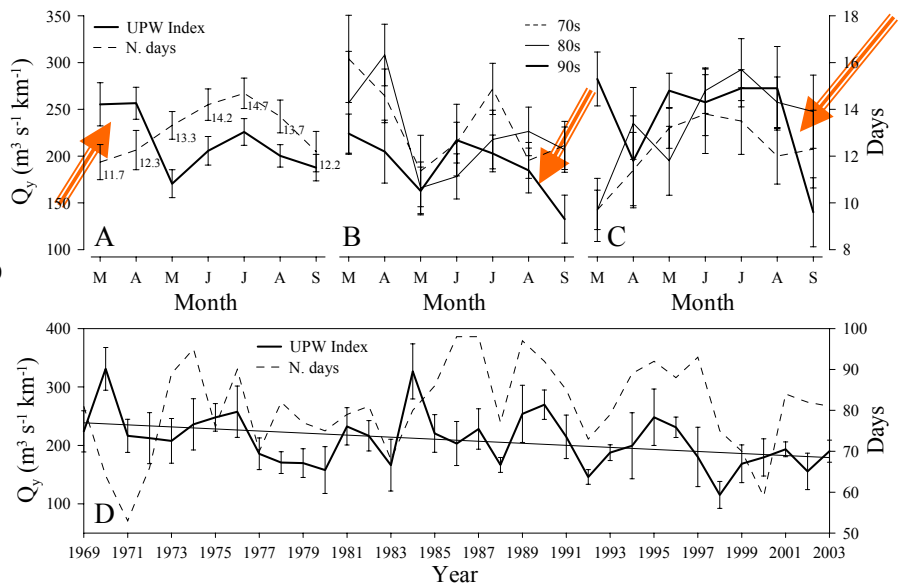
(A) Valor medio de la intensidad de afloramiento y número de días de valores positivos (frecuencia de afloramiento) por mes, desde Marzo-Septiembre (1969-2003).

(B) Intensidad de afloramiento por décadas: 70, 80 y 90.

(C) Número de días con afloramiento por década: 70, 80, 90.



Cambios en la década de los 90



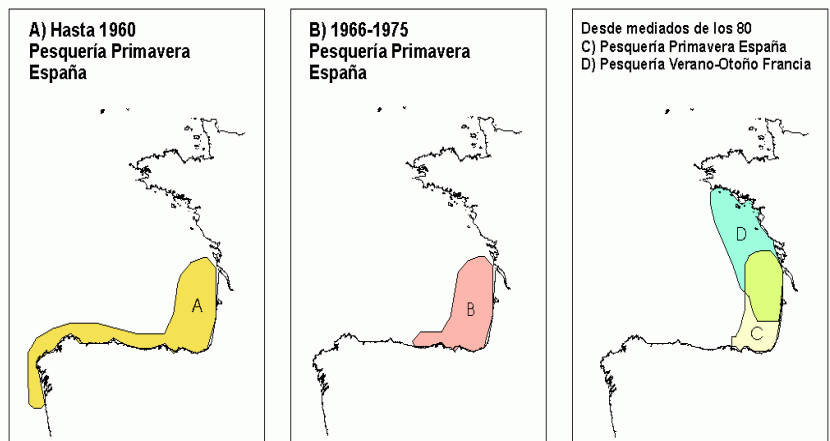
Intensidad (Media y S.E.) y número de días con afloramiento por año promediando valores por año de Abril-Septiembre. La línea recta es el ajuste lineal para la intensidad

Llope, Anadón et al (2006)

4

Anchoa golfo de Vizcaya Evolución espacial de la pesquería

- Reducción del área de distribución en la costa española.
- Reducción de las capturas de primavera en el sur.
- Desparecen las capturas de otoño en el sur.
- Desarrollo de una pesquería en otoño en el norte.

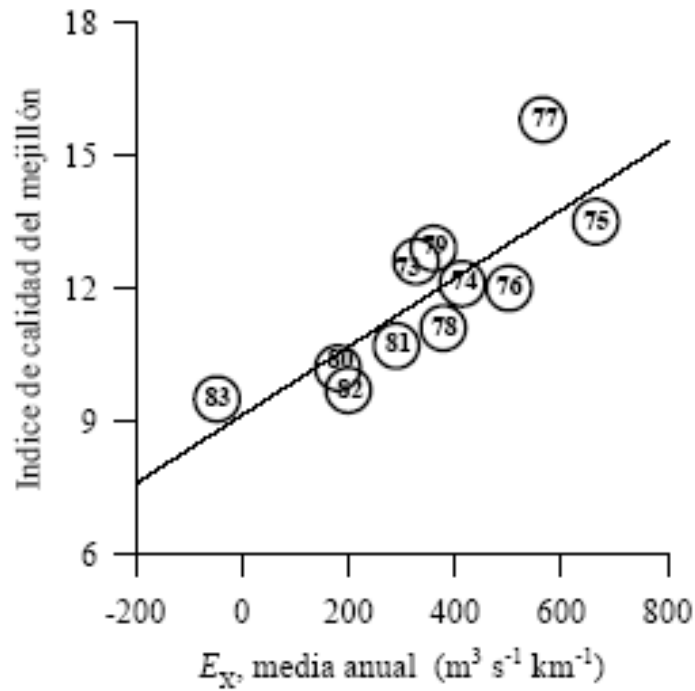


Informe IEO. 2006

3

Los cambios en la productividad primaria afecta al crecimiento de organismos explotados

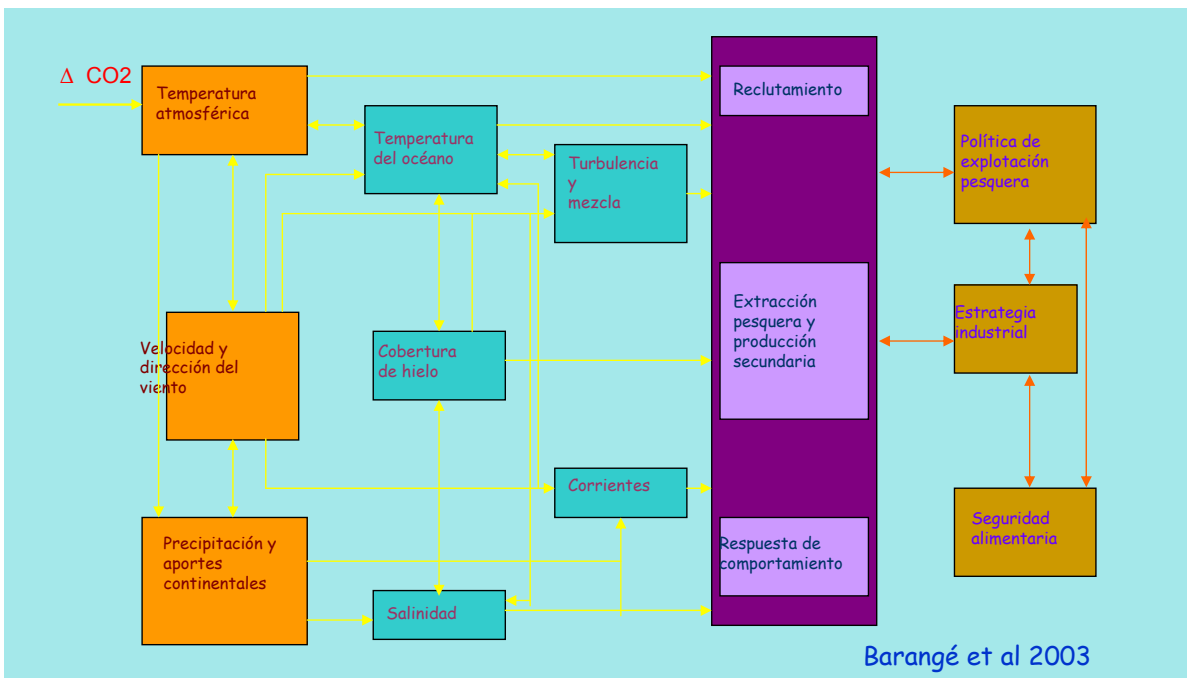
Relación entre el transporte de Ekman medio de Abril a Septiembre (época de afloramiento) y el índice de calidad del mejillón (% de carne respecto a peso total) entre 1973 y 1983. Blanton et al (1987)



3

Habrá cambios asociados al Calentamiento Global El océano tendrá respuestas directas e indirectas, influirá en los procesos biológicos, y afectará a nuestro uso futuro de los recursos

EFFECTOS DIRECTOS → *EFFECTOS INDIRECTOS* → *PROCESOS BIOLÓGICOS* → *RESPUESTA ANTROPOGÉNICA*

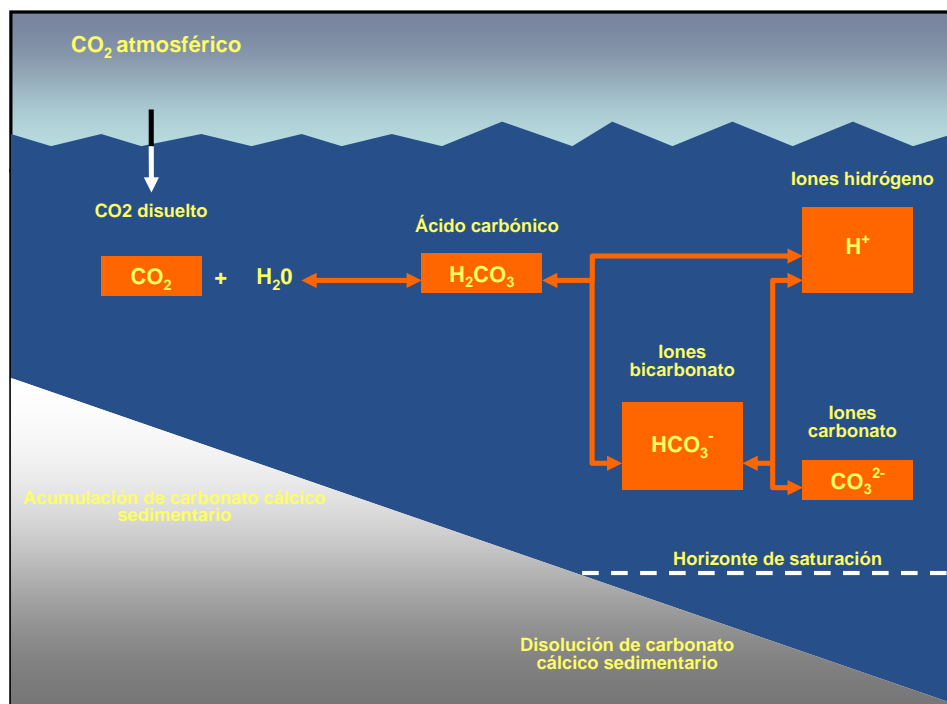


Barangé et al 2003

2

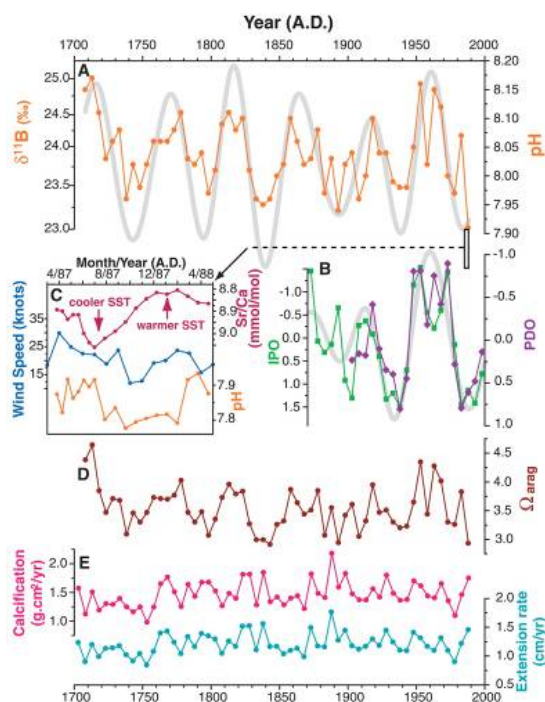
Parte del exceso antropogénico de CO₂ atmosférico queda distribuido entre los reservorios más accesibles de nuestro planeta, siendo los océanos el sumidero mayoritario (Sabine et al, 2004), A medida que el CO₂ se disuelve en el agua de mar, aumenta la concentración de iones bicarbonato y de protones ([H⁺]) y, por tanto, en un aumento de la acidez marina, Los balances de masa indican que, en el año 2000, los océanos deberían haberse acidificado en 0,1 unidades de pH respecto a épocas preindustriales (Fig. 1; Brewer, 1997; Wolf-Gladrow et al, 1999; Caldeira and Wickett, 2003),

1 Descenso de la captación de CO₂ por el océano al disminuir el pH del agua.



2

Fig. 2. Record of Flinders Reef coral $\delta^{11}B$, reconstructed oceanic pH, aragonite saturation state, PDO and IPO indices, and coral calcification parameters



C. Pelejero et al., Science 309, 2204 -2207 (2005)



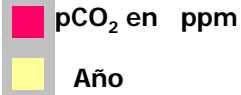
1 Deshielo de la permafrost del norte de Asia, y liberación del carbono orgánico retenido en los suelos yedoma

2 Descenso de la captación de CO₂ por el océano al disminuir el pH del agua.

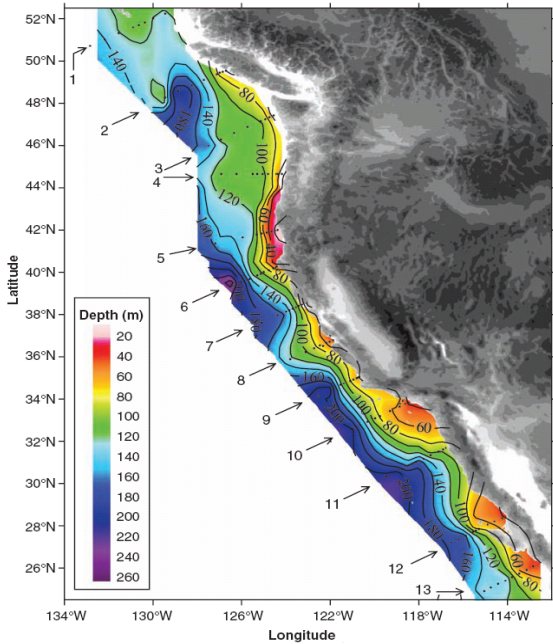
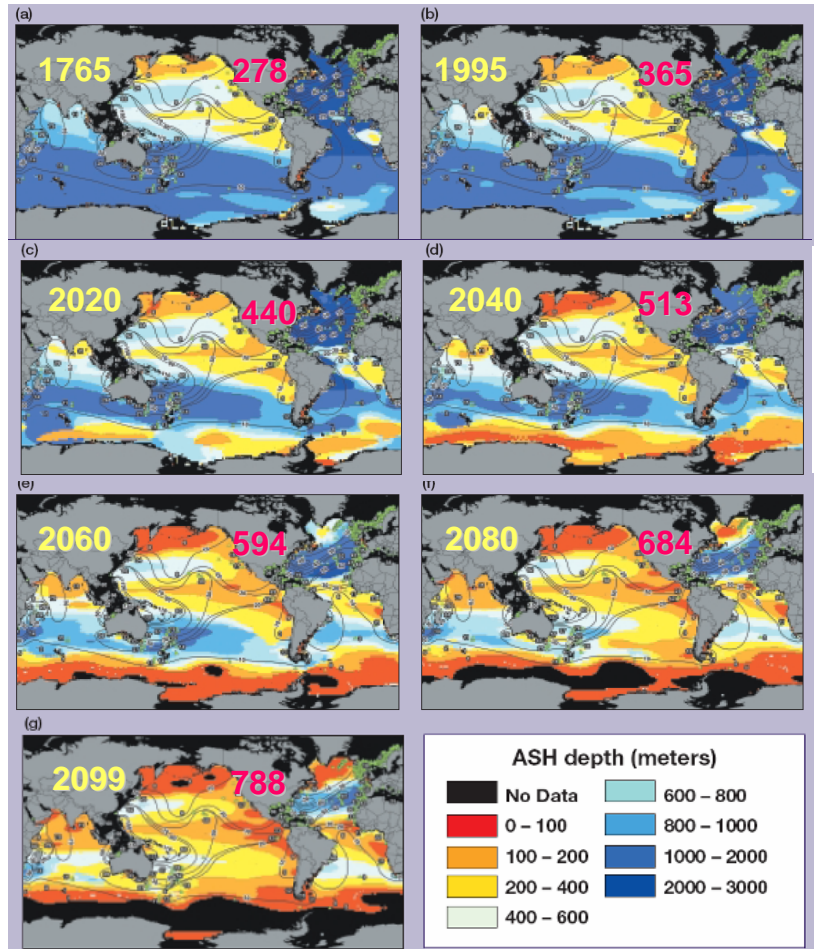
Profundidad del horizonte de saturación de aragonito ASH durante el presente siglo

Las zonas negras que aparecen en el océano austral en las figuras e-g y en el Pacífico norte en g indican que ASH llegó a la superficie,

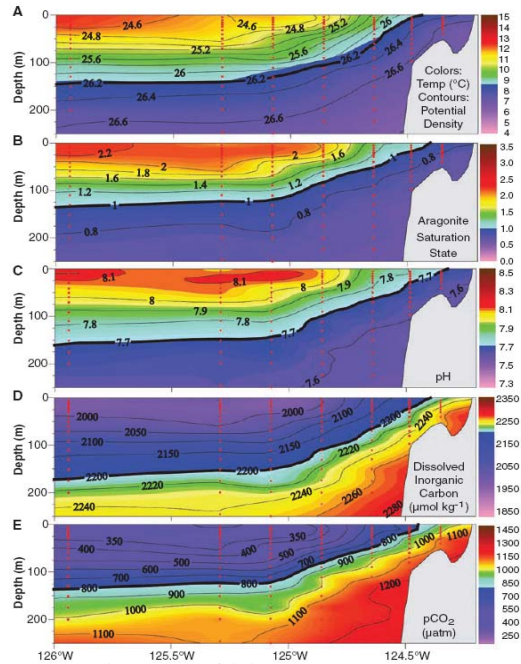
Profundidad proyectada de ASH



Guinotte et al, 2006, *Front Ecol Environ*



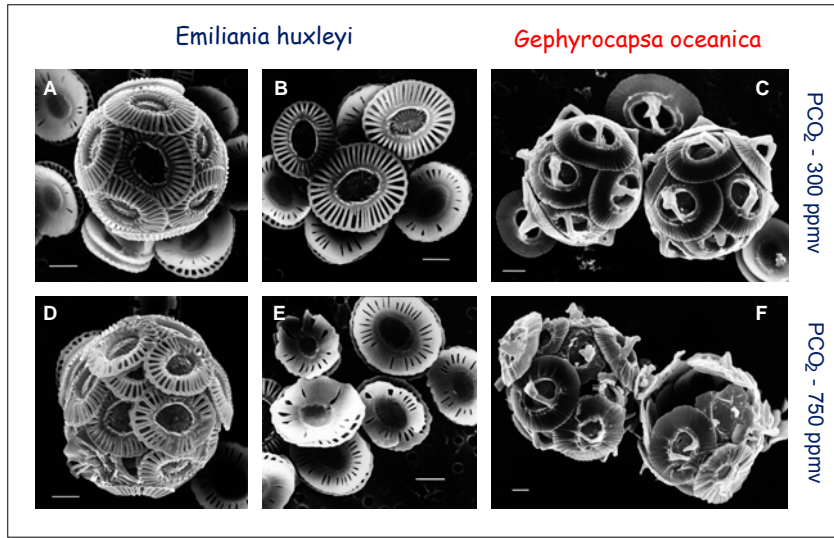
Distribution of the depths of the undersaturated water (aragonite saturation < 1.0; pH < 7.75) on the continental shelf of western North America from Queen Charlotte Sound, Canada, to San Gregorio Baja California Sur, Mexico. On transect line 5, the corrosive water reaches all the way to the surface in the inshore waters near the coast. The black dots represent station location



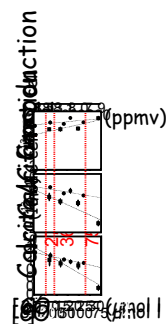
Vertical sections of (A) temperature, (B) aragonite saturation, (C) pH, (D) DIC, and (E) pCO₂ on transect line 5 off Pt. St. George, California. The potential density surfaces are superimposed on the temperature section. The 26.2 potential density surface delineates the location of the first instance in which the undersaturated water is upwelled from depths of 150 to 200 m onto the shelf and outcropping at the surface near the coast. The red dots represent sample locations.

Feely et al, 2008

Efecto sobre la biocalcificación

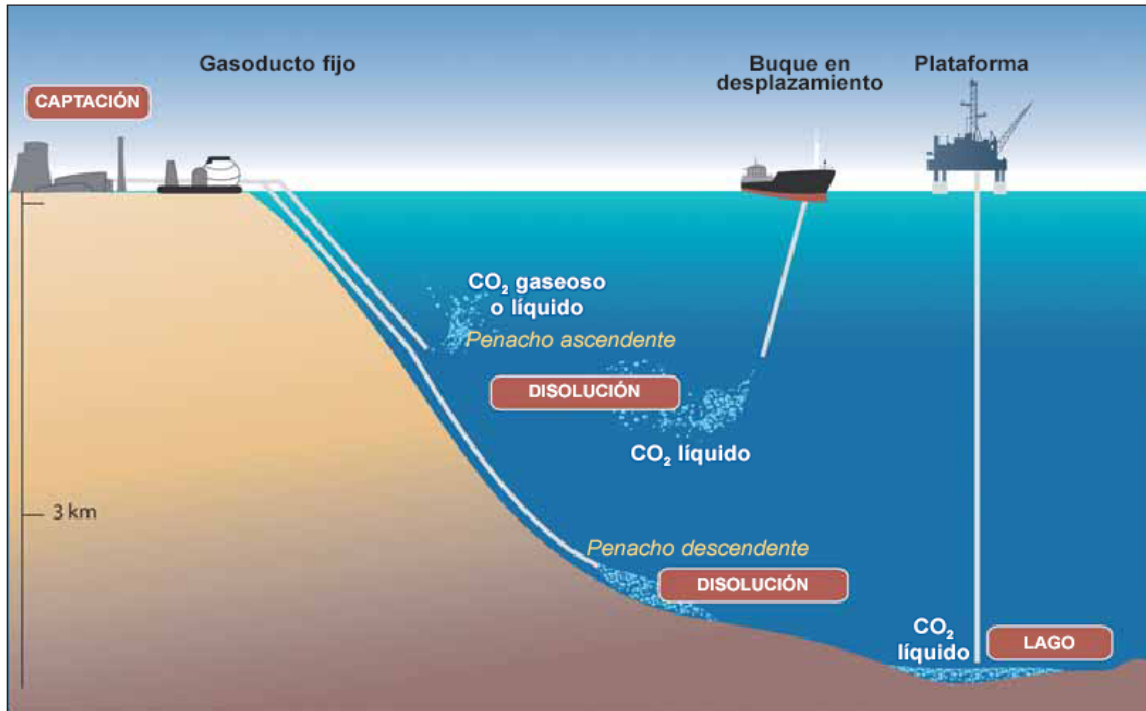


Riebesell et al, 2000



Riebesell et al, 2000

Sumideros Oceánicos

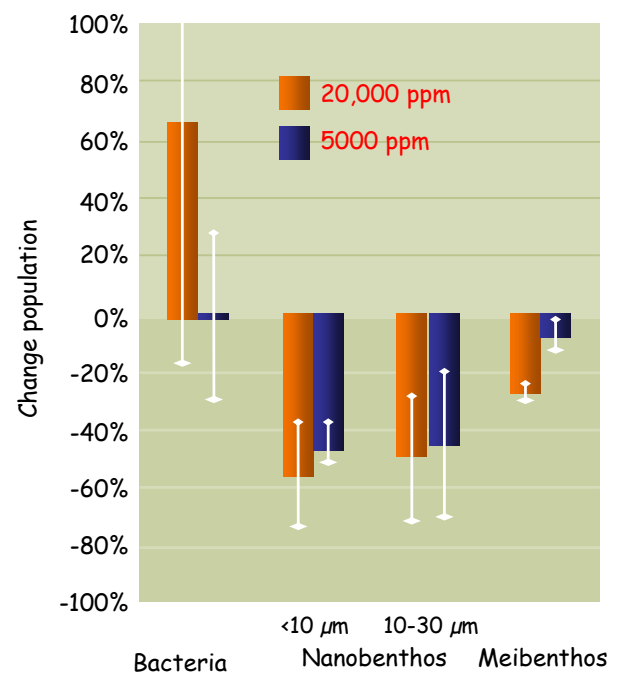


CO₂ Ocean Storage

Impacts

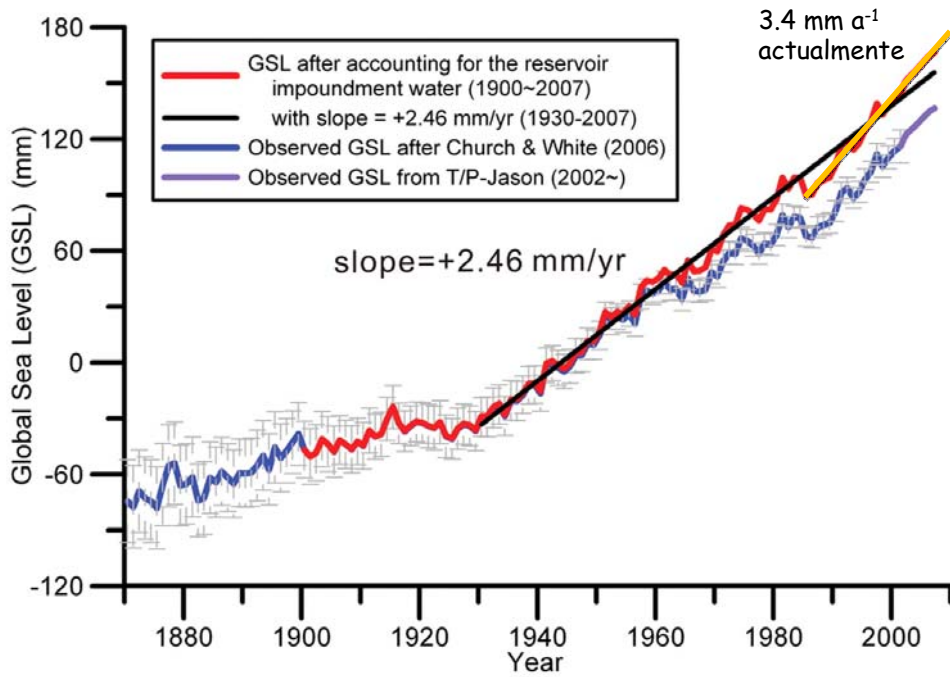
- pH change
- Mortality of ocean organisms
- Ecosystem consequences
- Chronic effects unknown

Change of bacteria, nanobenthos and meiobenthos abundance after exposure to 20,000 and 5,000 ppm for 77-375 hrs during experiments carried out at 2000 m depth in NW Pacific



2

Fig. 4. The blue curve with error bar is the observed GSL history (zero level is arbitrary), with a purple segment from altimetry data spliced on for the past few years after adjusting a vertical offset

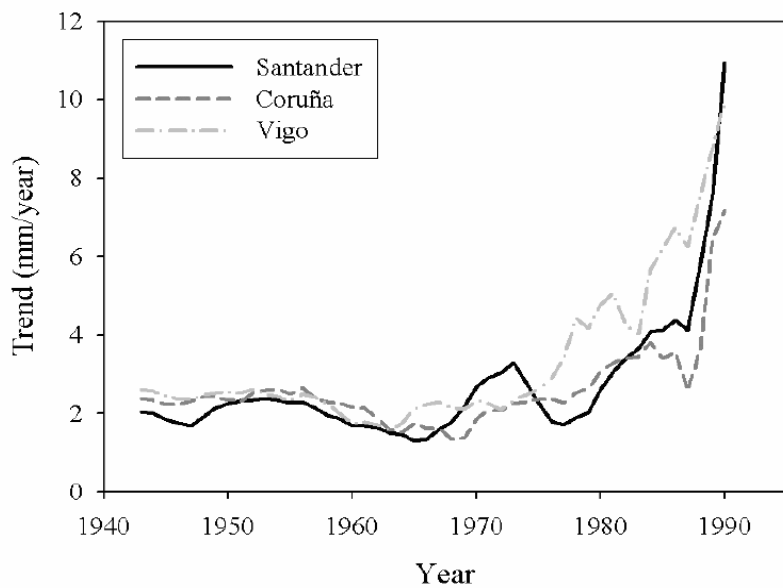


B. F. Chao et al., Science 320, 212 -214 (2008)

Published by AAAS

2

Consistencia de las series de nivel del mar en la costa Norte de España

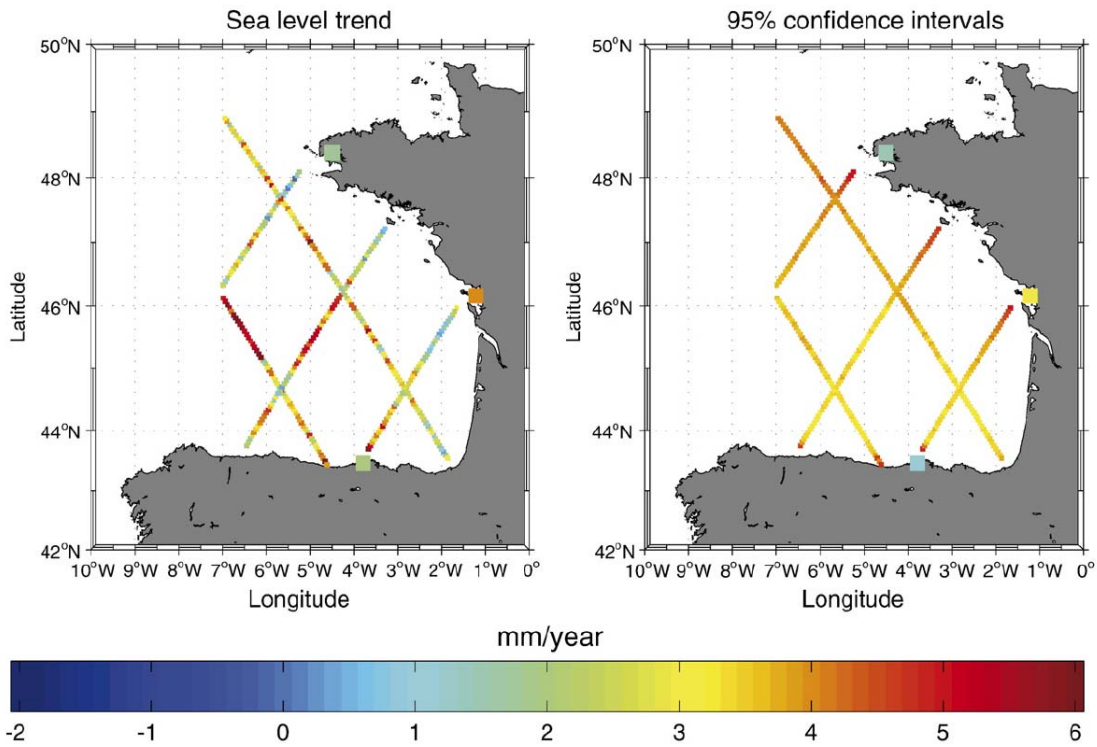


Las zonas bajas , sobre todo Megadeltas pueden verse seriamente afectadas

Marcos et al 2005 (a partir de mareógrafos del IEO)

Tendencias del nivel del mar y límite de confianza en cada pixel de los recorridos del satélite TOPEX

(media en el Golfo de Vizcaya: $3,09 \pm 0,21 \text{ mm a}^{-1}$; 1993-2002)



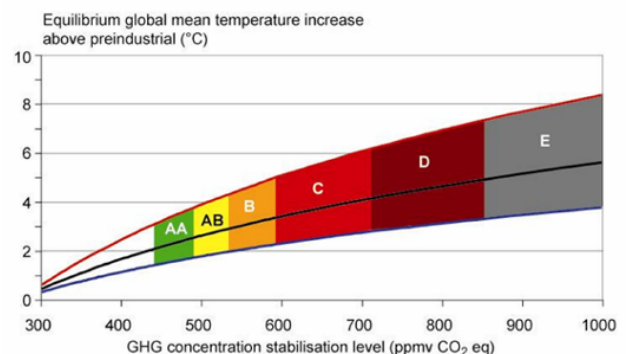
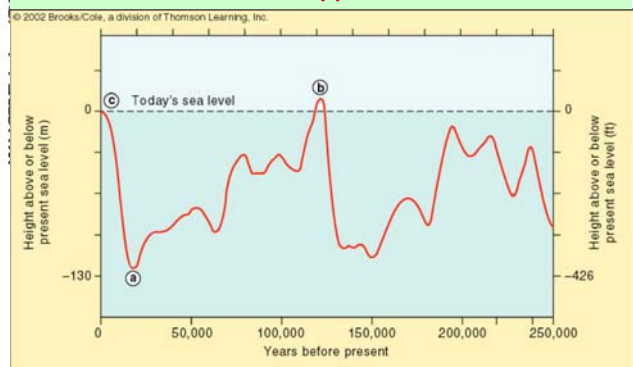
Marcos et al, 2007. J.Mar Systems

2

Ultimas estimaciones sobre incremento del nivel del mar en relación a la concentración de CO_2

El nivel del mar era entre 4 y 6 metros superior al actual hace 120000 años, durante un periodo en el que la concentración de CO_2 era inferior al actual 290 ppmv

CO ₂ concentration at stabilization (2005 = 379 ppm) ^(a)	CO ₂ -equivalent Concentration at stabilization including GHGs and aerosols (2005 = 375 ppm) ^(a)	Global average sea level rise above pre-industrial at equilibrium from thermal expansion only ^(f)	Number of assessed scenarios
ppm	ppm	metres	
350 – 400	445 – 490	0.4 – 1.4	6
400 – 440	490 – 535	0.5 – 1.7	18
440 – 485	535 – 590	0.6 – 1.9	21
485 – 570	590 – 710	0.6 – 2.4	118
570 – 660	710 – 855	0.8 – 2.9	9
660 – 790	855 – 1130	1.0 – 3.7	5



AR4, IPCC 2007

Cambios en la Pérdida de masa del casquete polar de Groenlandia 10 años

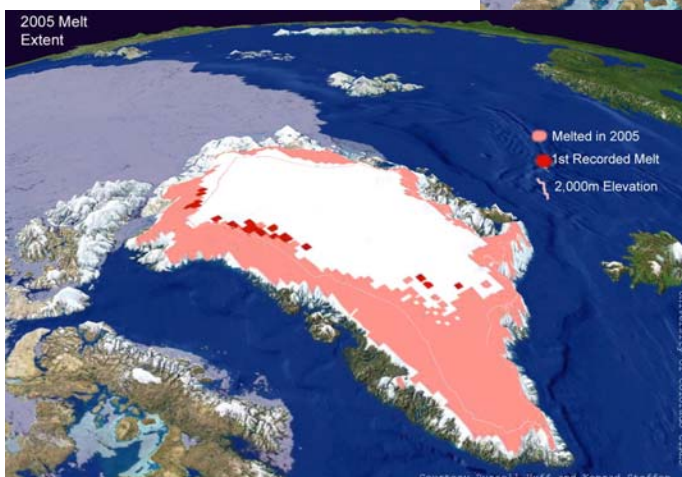
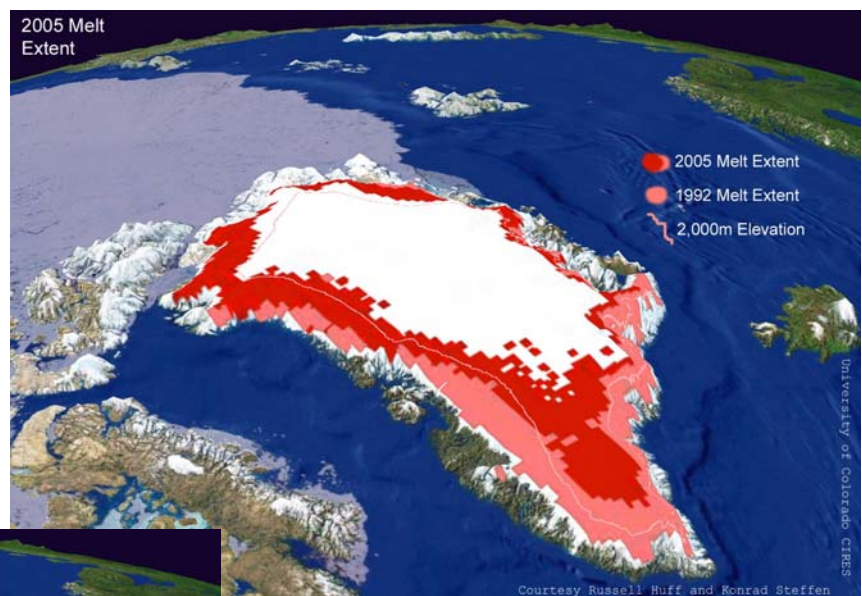
Rignot et al, 2006, Science

Masa Glaciar	Área de drenaje km ²	Balance Masas km ³ /año		
		1996	2000	2005
Oeste	521350	-21,7	-40,6	-47,0
Total	1209280	-56 ± 30	-92 ± 30	-167 ± 40
Total + BMS		-91 ± 31	-138 ± 31	-224 ± 41

BMS Balance Masas por Superficie
Los datos con métodos diferentes
resultan coherentes

231 ± por
métodos
gravimétricos

El deshielo de Groenlandia se incrementó en extensión e intensidad en el 2005

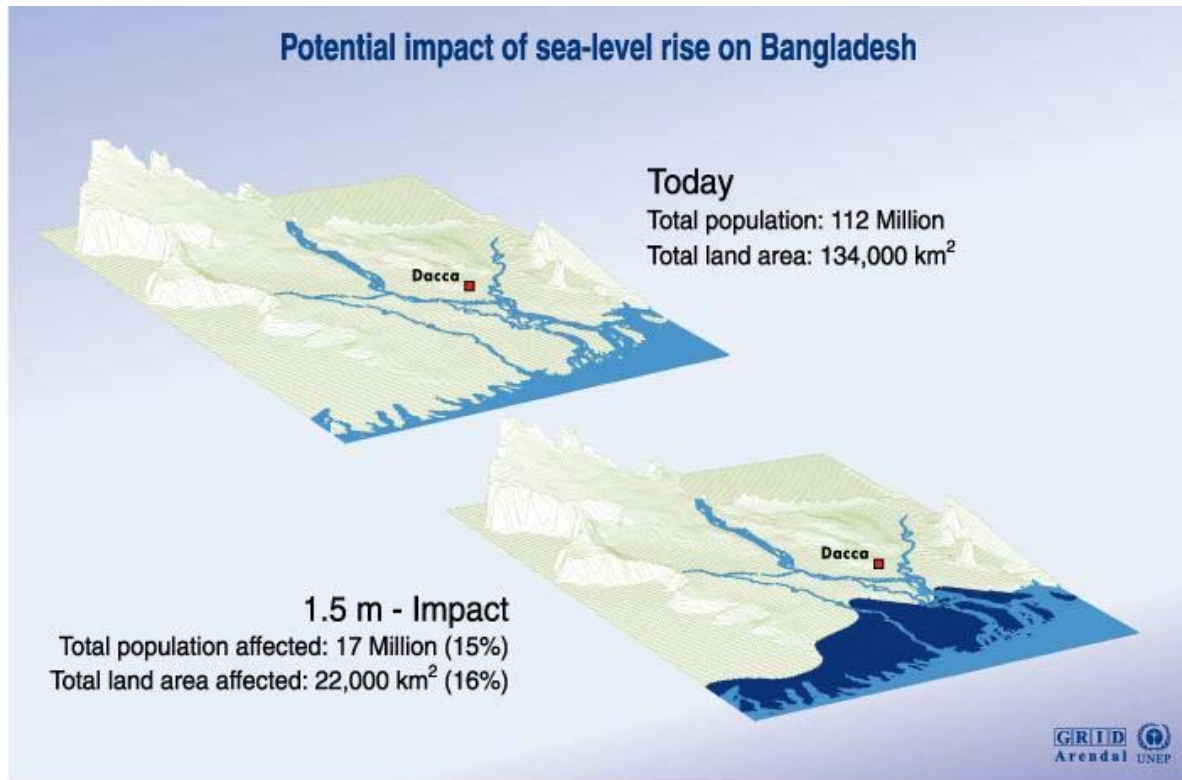


También se detectaron por primera vez algunas zonas con principio de deshielo en este año

Steffen y Huff, Univ. Colorado en Boulder

2

Escenarios de transgresión del nivel del mar para Bangladesh



Source : UNEP/GRID Geneva; University of Daacca; JRO Munich; The World Bank; World Resources Institute, Washington D.C.

2

Nos queda un motivo de preocupación severa
El nivel del mar era entre 4 y 6 metros superior al actual
hace 120000 años, durante un periodo en el que la
concentración de CO₂ era inferior al actual 290 ppmv

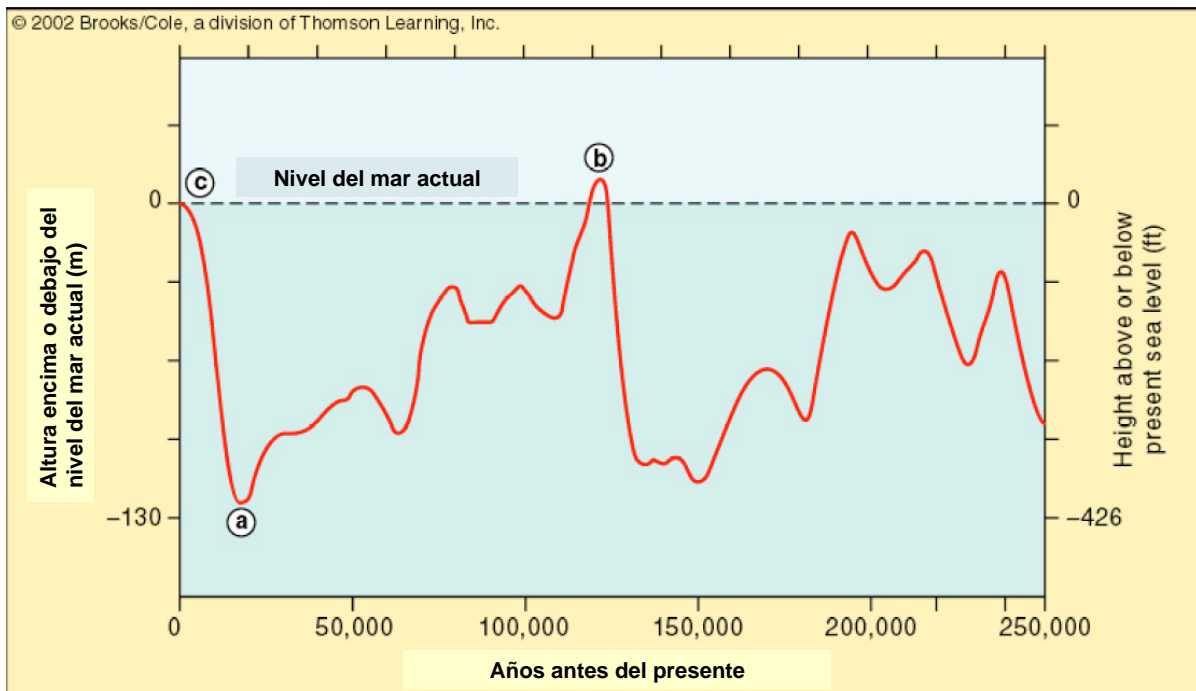
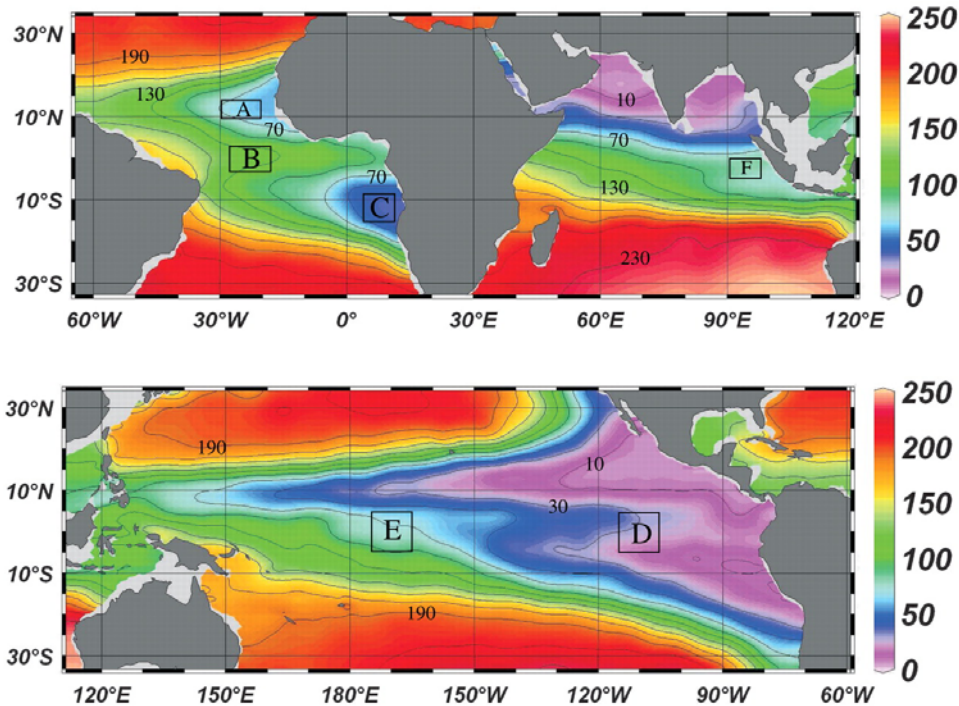


Fig. 1. Climatological mean (18) dissolved oxygen concentrations ($\mu\text{mol kg}^{-1}$ shown in color) at 400 m depth contoured at 20- $\mu\text{mol kg}^{-1}$ intervals from 10 to 230 ($\mu\text{mol kg}^{-1}$ (black lines) using Ocean Data View (19) software

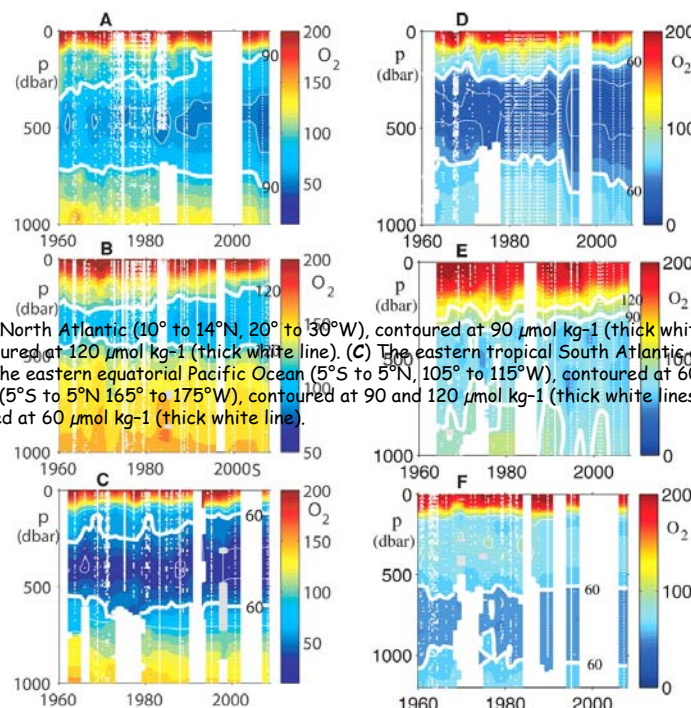


L. Stramma et al., Science 320, 655 -658 (2008)



Published by AAAS

Fig. 2. Dissolved oxygen concentration ($\mu\text{mol kg}^{-1}$ shown in color) maps (20, 21) versus time (1960-2008) and pressure (1 dbar ~ 1 m) with sample locations (white dots)



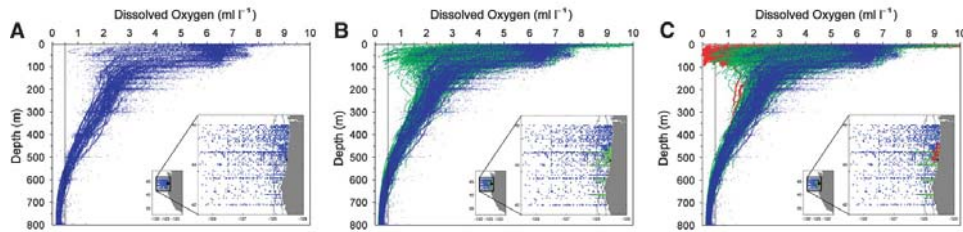
(A) The eastern tropical North Atlantic (10° to 14°N, 20° to 30°W), contoured at 90 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (thick white line). (B) The central equatorial Atlantic (3°N, 28° to 18°W), contoured at 120 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (thick white line). (C) The eastern tropical South Atlantic, at (14° to 8°S, 4° to 12°E), contoured at 1 (thick white line). (D) The eastern equatorial Pacific Ocean (5°S to 5°N, 105° to 115°W), contoured at 60 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (thick white line). (E) The central equatorial Pacific Ocean (5°S to 5°N 165° to 175°W), contoured at 90 and 120 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (thick white lines). (F) The eastern equatorial Indian Ocean (0, 90° to 98°E), contoured at 60 $\mu\text{mol kg}^{-1}$ (thick white line).

L. Stramma et al., Science 320, 655 -658 (2008)



Published by AAAS

Fig. 1. Dissolved oxygen profiles during the upwelling season (mid-April to mid-October) in the upper 800 m of the continental shelf and slope of Oregon (42.00{degrees}N to 46.00{degrees}N)



F. Chan et al., Science 319, 920 (2008)

Published by AAAS

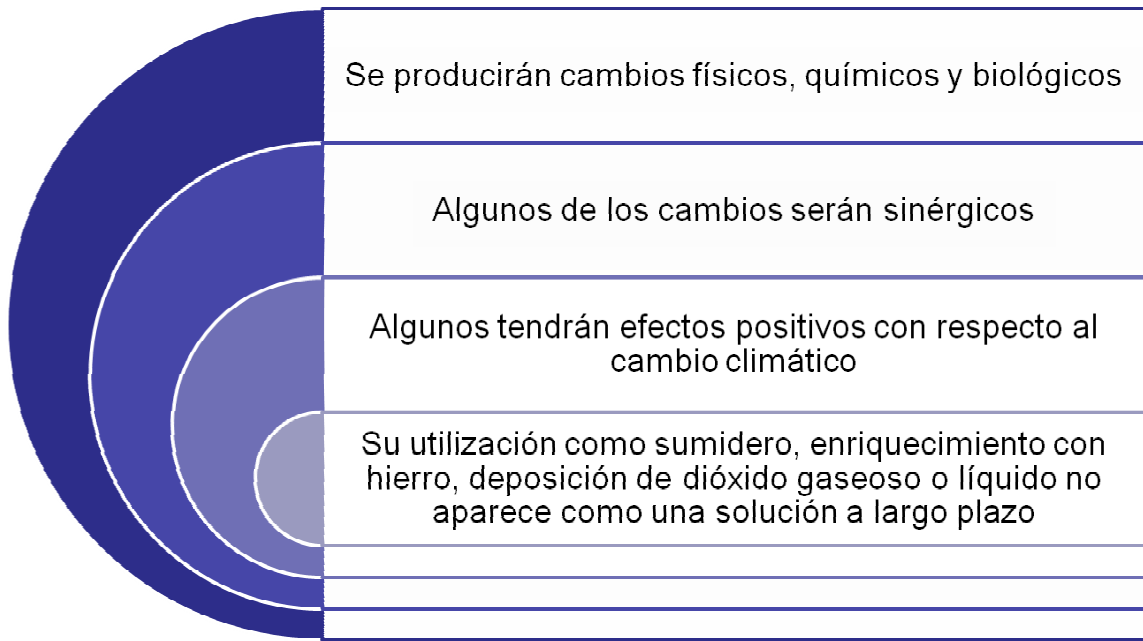


8

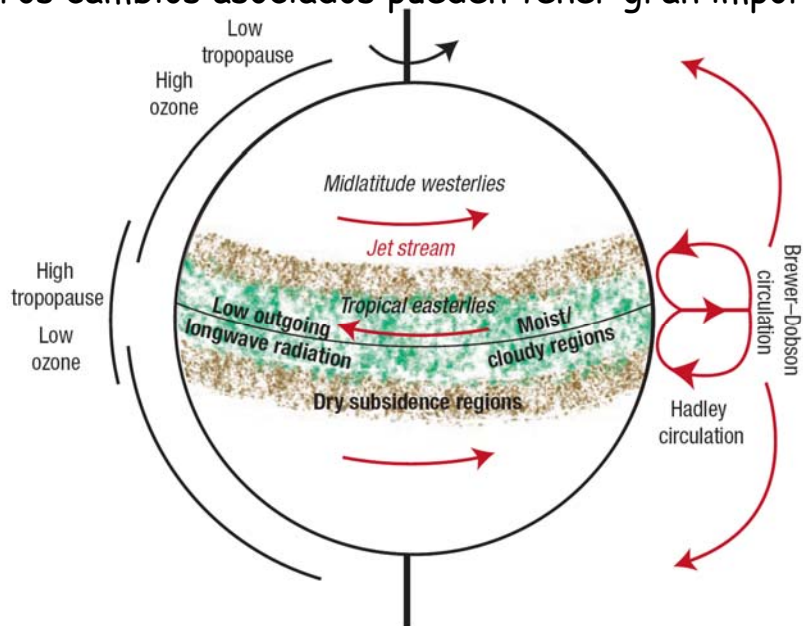
¿Qué decimos desde el conocimiento a los ciudadanos y a los que tienen responsabilidad política o de gestión de grandes corporaciones?

- ❖ Transmitir la información científica de una manera veraz y meditada, de forma clara y precisa, tal como recomienda el IPCC
- ❖ Que dediquemos nuestros mejores esfuerzos para comprender la trascendencia de los cambios
- ❖ Que promovamos y desarrollemos nuevos métodos y enfoques para lograr predicciones más ajustadas y transmitir las a la sociedad
- ❖ Que la situación es muy preocupante, y que los nuevos conocimientos confirman esta visión o la hacen más preocupante
- ❖ Que deben tomarse medidas de forma rápida para minimizar los efectos desfavorables del cambio

En el océano tenemos un problema serio, tan serio como en medio atmosférico



1 La variación Climática no es sólo Cambio de temperatura y Pluviosidad. Otros cambios asociados pueden tener gran importancia

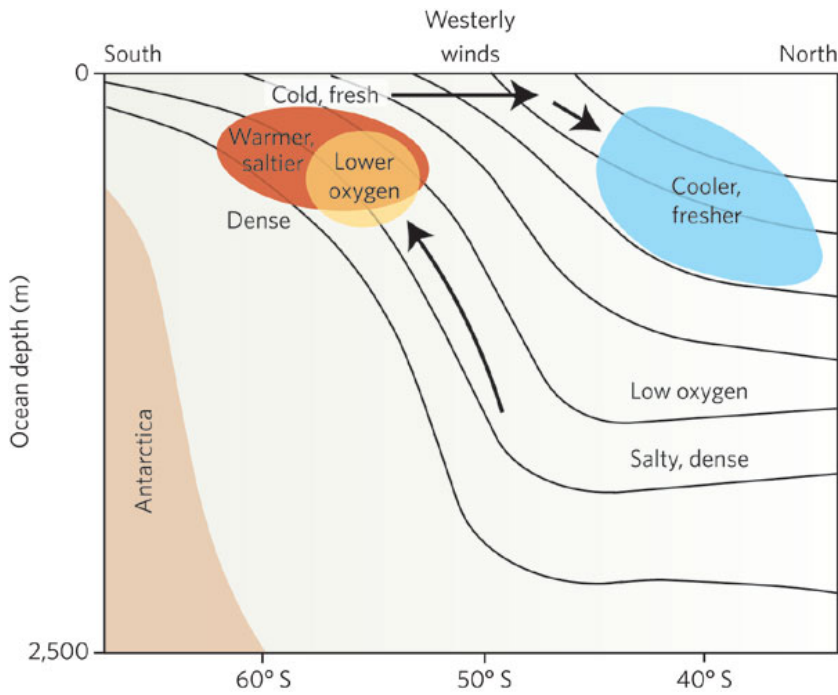


Seidel et al, 2007

¿Que características definen los Trópicos?

La estructura atmosférica, la circulación, y las características hidrológicas mostradas en el diagrama de la Tierra se han movido hacia los polos en décadas recientes, indicando una amplificación del cinturón Tropical y de la circulación de Hadley.

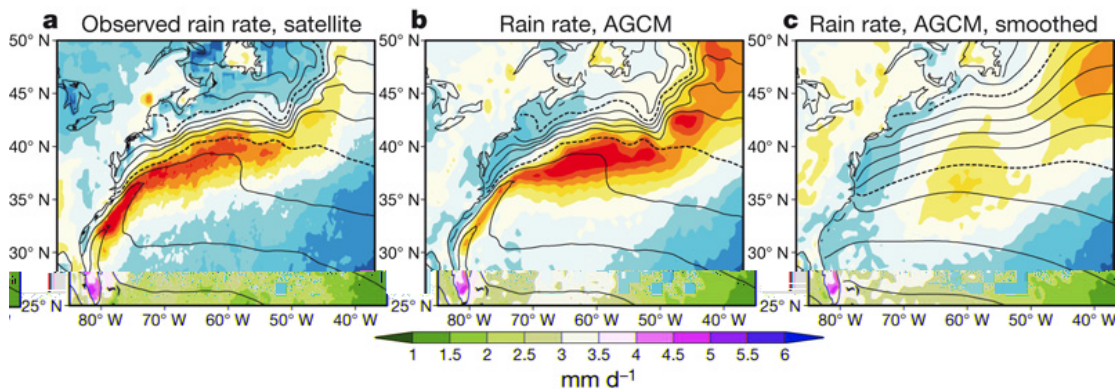
2



Ocean circulation in a warming climate
 J. R. Toggweiler & Joellen Russell
 Nature 451, 286-288(17 January 2008)

The curved lines are isolines of constant density. These lines plunge downwards and to the north, reflecting the flow of the current (out of the page in the centre of the figure). Westerly winds above the ACC (also blowing out of the page) push cold, fresh surface waters away from Antarctica across the ACC (towards the blue area) and draw slightly warmer and salty water that is low in oxygen up from the interior to the surface (towards the red and yellow areas). Stronger winds in the past 40 years have resulted in more surface water being pushed northwards and have drawn more deep water up to the surface. As a result, the water just below the surface around Antarctica is now warmer, saltier and lower in oxygen, despite an overall freshening of the ocean around Antarctica. The water in the blue area to the north has become cooler and fresher

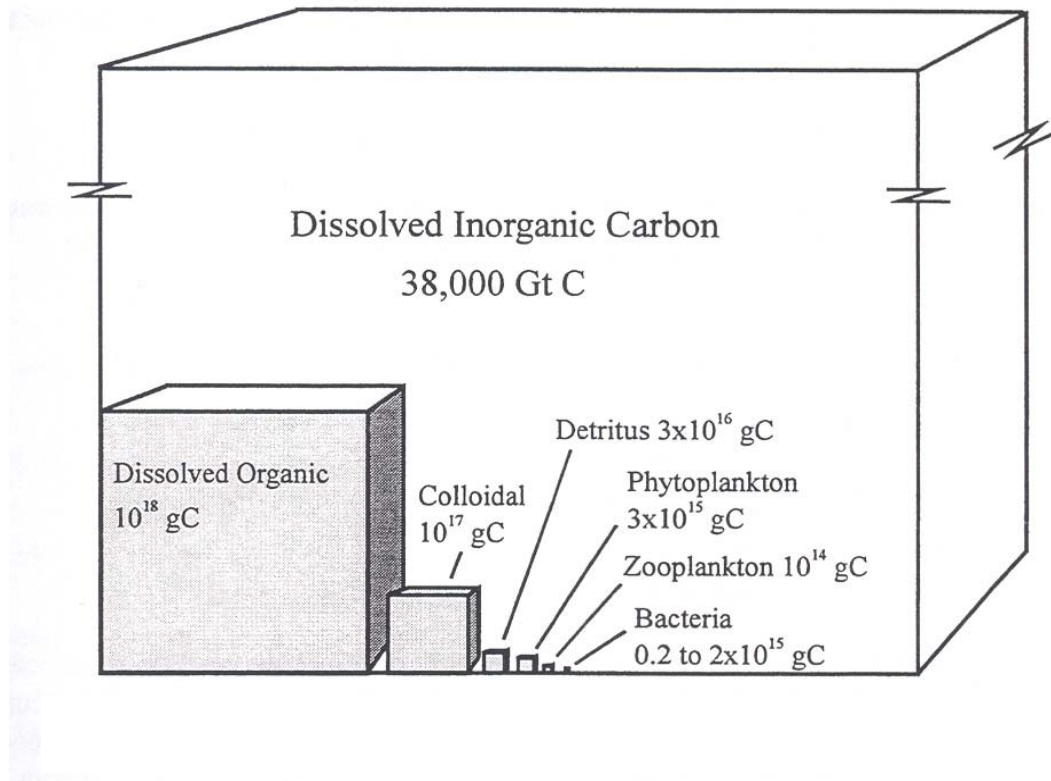
1



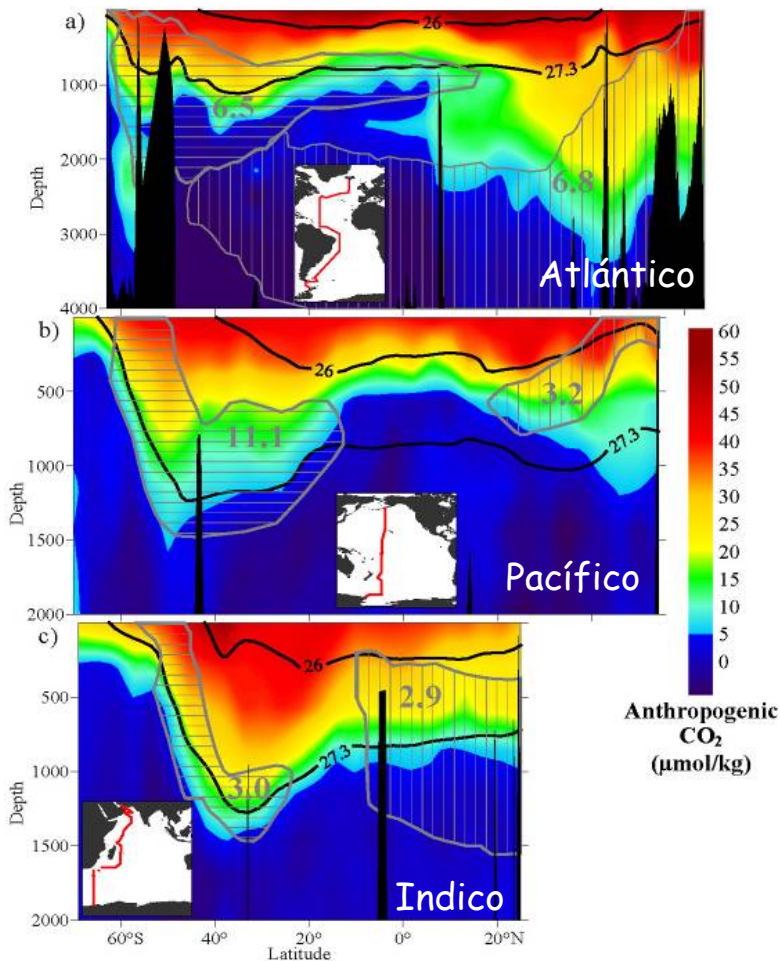
a, Observed by satellites. b, c, In the AGCM with observed (b) and smoothed (c) SSTs. Contours are for SST, as in Fig. 1.

2

Importancia de los mayores reservorios de carbono en los océanos



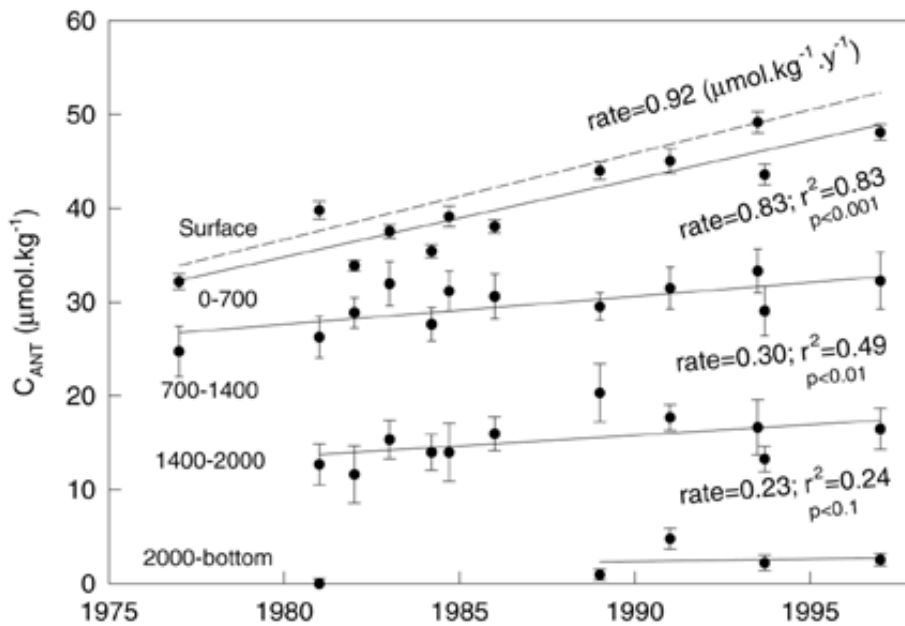
2



La penetración del dióxido de Carbono atmosférico se realiza por la superficie del océano y ha de ser transportado hacia el interior del océano. Las capas profundas del océano han acumulado menos CO_2 que la superficie

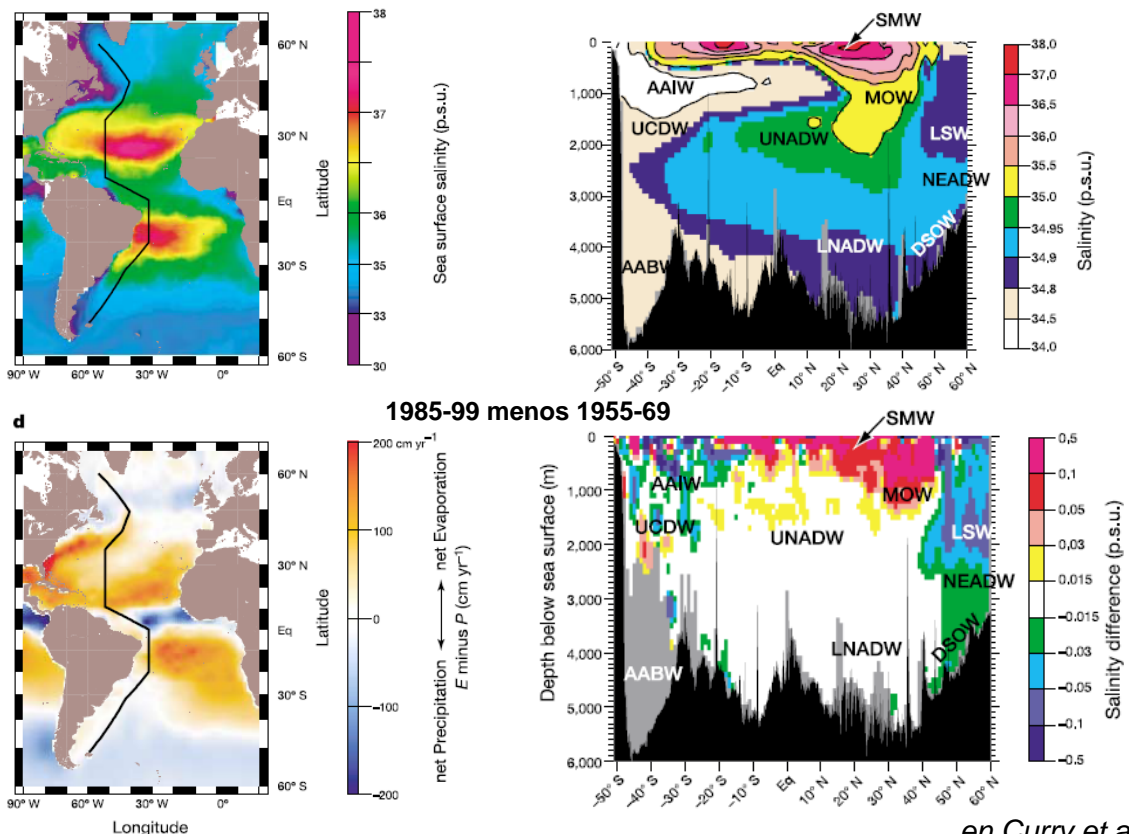
¿Cómo se produce la transferencia?

(Sabine et al, 2004)



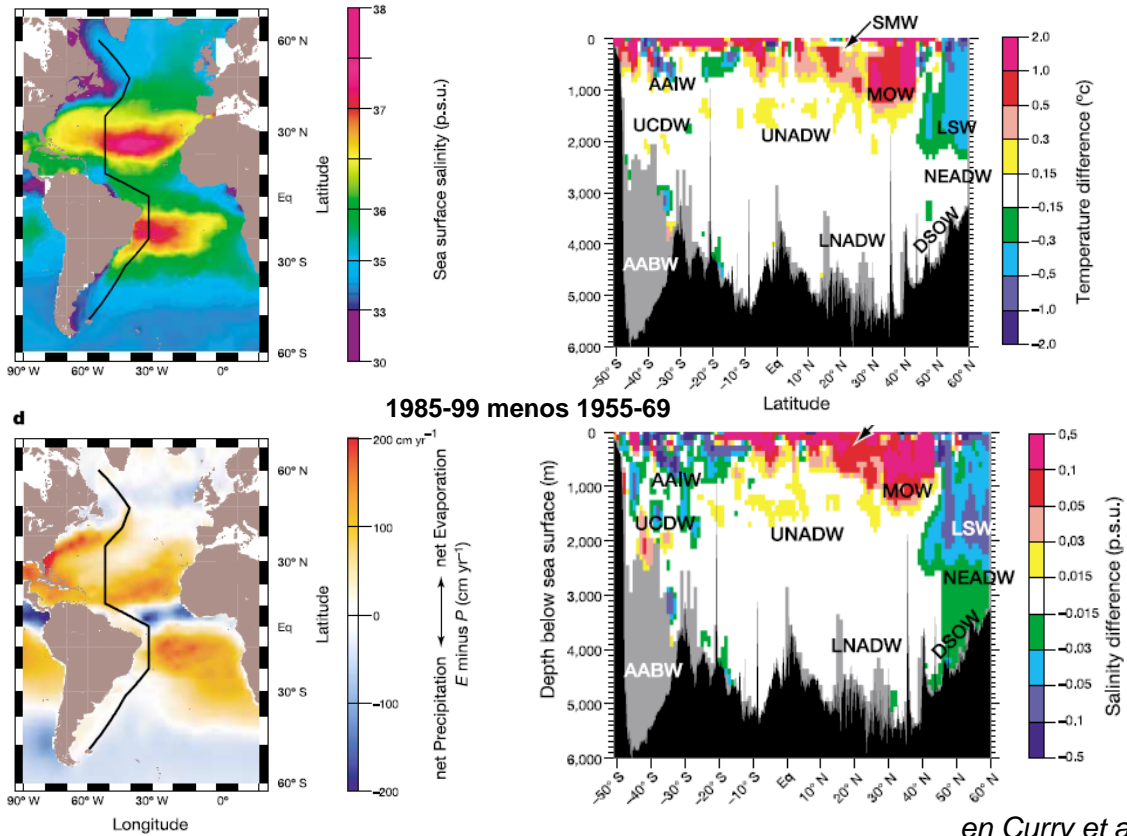
Estimacion a largo termino (1977-1997) de la entrada de carbono antropogenico en el Atlantico Noroeste. Tasa de incremento de 0.83 10⁻⁶mol/kg por año, para la capa superficial de 700m. [\(Rios et al. 2001; version en pdf\)](#)

2 Los Cambios termohalinos estan asociados a las Masas de Agua del Océano. Por esto el Atlántico Norte es muy importante Los océanos cambian de salinidad y de temperatura



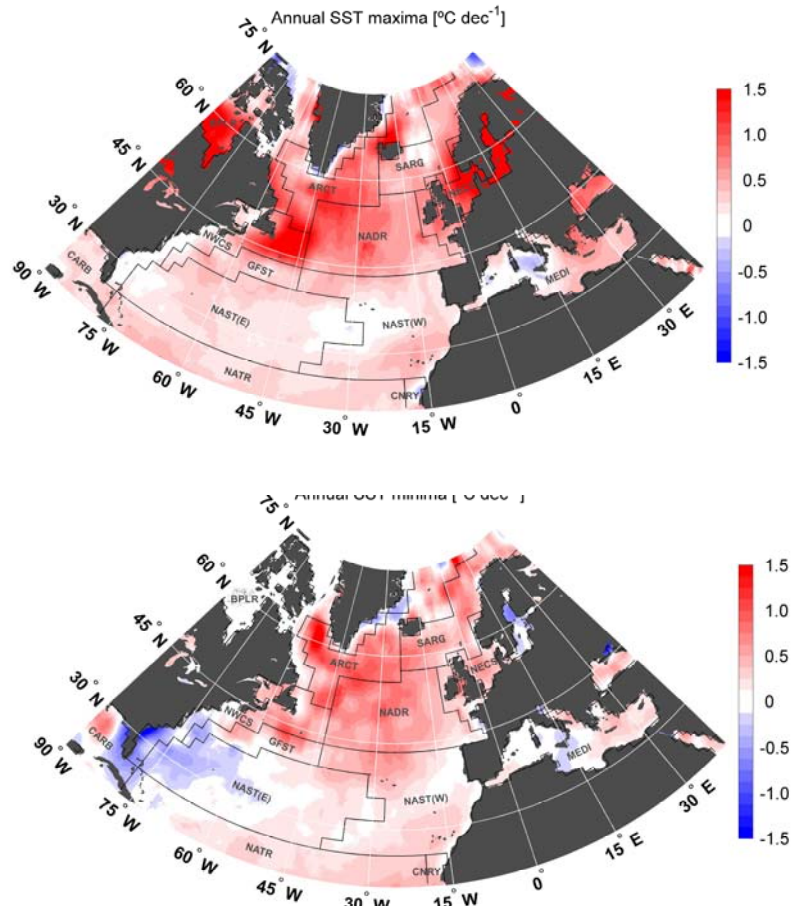
CAMBIO CLIMÁTICO Y RESPUESTA DE LOS OCÉANOS

Los océanos cambian de salinidad y de temperatura

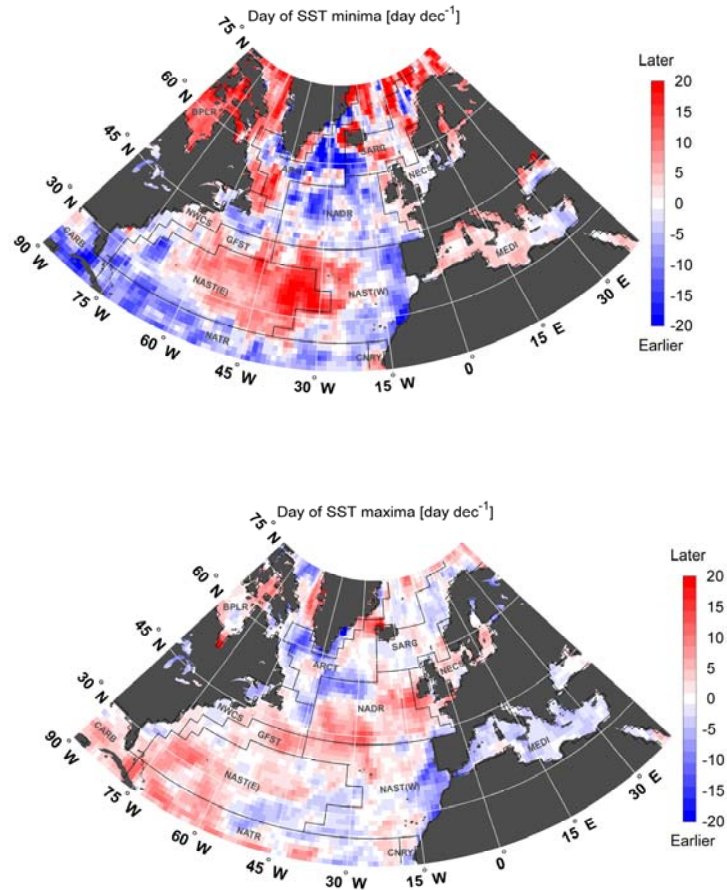


en Curry et al., 2003

Las temperaturas superficiales (SST) máximas y mínimas no aumentan a la misma tasa, ni desde luego parecen estar afectadas por los mismos procesos



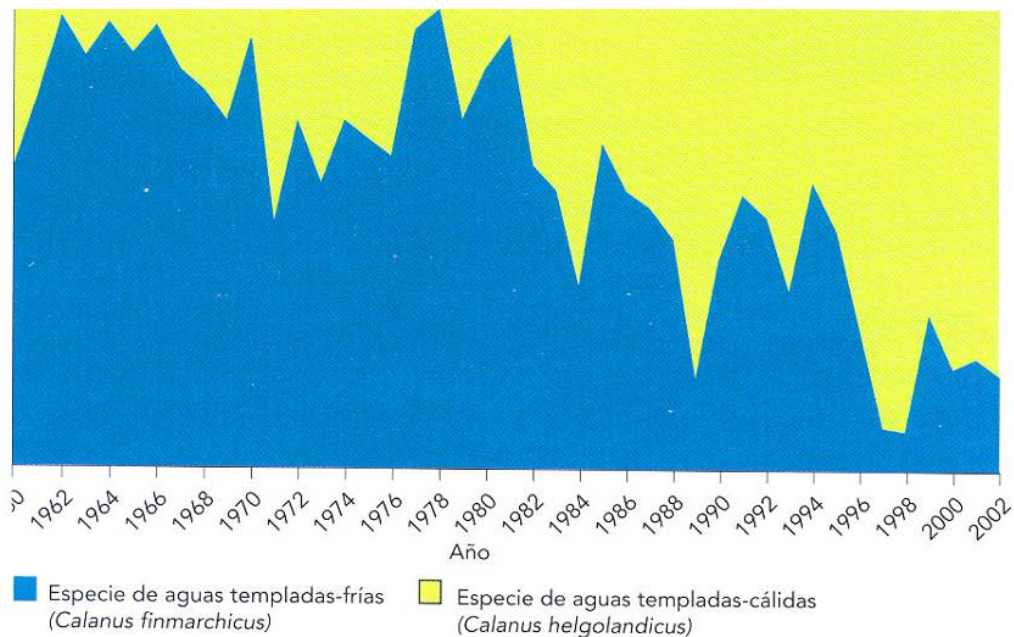
González Taboada y Anadón, 2008



3

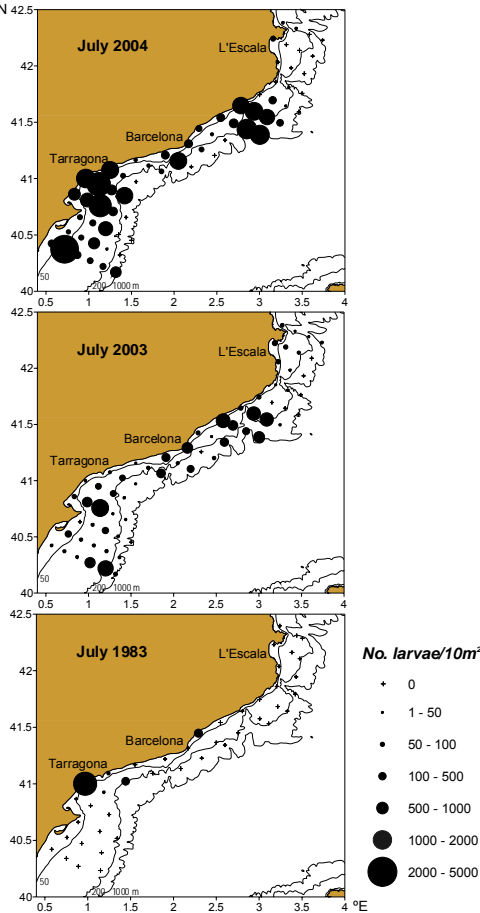
Cambios en las abundancias relativas de especies de aguas templadas y frías

Los cambios en la composición del zooplancton, las presas de muchas larvas de peces, pueden afectar a su reclutamiento,



Fuente: Edwards, SAHFOS, 2003.

5



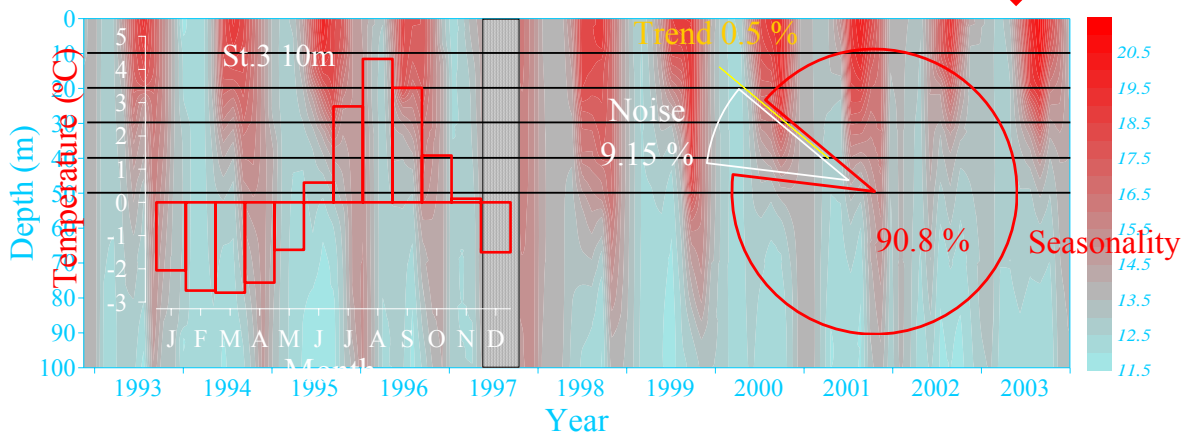
Distribución de larvas de alacha en la plataforma de la costa de Cataluña.

La época de reproducción de la especie es en verano y las larvas se encuentran en el plancton principalmente en los meses de julio y agosto.

La escasa presencia en el año 1983 y el incremento en abundancia y la expansión de su distribución hacia el norte en los años 2003 y 2004, confirman lo observado con el análisis de las capturas e indican el éxito de la reproducción en latitudes más altas.

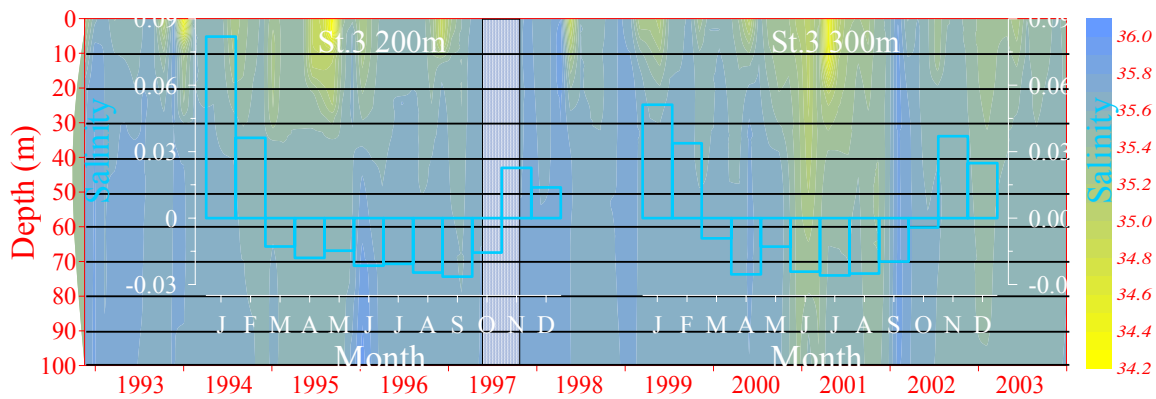
Sabatés et al. 2006,

temperatura



TMP	Station 3				Station 2				Station 1			
	Seas		Slope		Seas		Slope		Seas		Slope	
	%	%	°C y ⁻¹	p-value	%	%	°C y ⁻¹	p-value	%	%	°C y ⁻¹	p-value
10m	0.908	0.005	0.055	0.025	0.892	0.003	0.043	0.067	0.823	-	0.021	0.409
20m	0.874	0.007	0.056	0.027	0.779	-	0.023	0.408	0.745	-	0.010	0.710
30m	0.731	-	0.031	0.275	0.624	-	0.015	0.604	0.676	-	0.000	0.989
40m	0.645	-	-0.004	0.886	0.495	-	-0.015	0.581	0.570	-	0.000	0.991
50m	0.570	-	-0.002	0.941	0.436	-	-0.022	0.383	0.488	-	-0.012	0.668

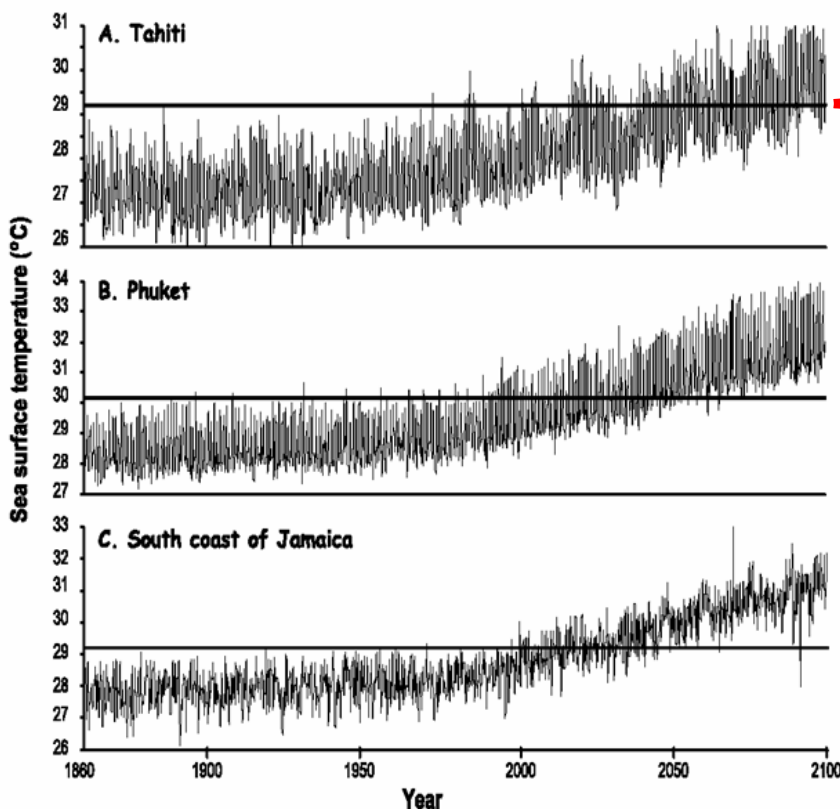
salinidad



SLN	Station 3				Station 2				Station 1			
	Seas		Slope		Seas		Slope		Seas		Slope	
	%	%	y ⁻¹	p-value	%	%	y ⁻¹	p-value	%	%	y ⁻¹	p-value
10m	-	0.051	-0.015	0.024	-	0.013	-0.007	0.238	-	-	-0.002	0.729
20m	-	0.082	-0.017	0.004	-	0.041	-0.010	0.032	-	-	-0.009	0.100
30m	-	0.081	-0.014	0.004	-	0.095	-0.012	0.001	-	0.036	-0.010	0.047
40m	-	0.117	-0.013	0.000	-	0.110	-0.011	0.000	-	0.050	-0.011	0.018
50m	-	0.146	-0.013	0.000	-	0.120	-0.011	0.000	-	0.056	-0.010	0.022
75m	-	0.151	-0.010	0.000	-	0.137	-0.010	0.000	-	-	-	-
100m	-	0.188	-0.010	0.000	-	0.079	-0.007	0.010	-	-	-	-
200m	0.424	0.102	-0.005	0.000	-	-	-	-	-	-	-	-
300m	0.399	0.073	-0.004	0.004	-	-	-	-	-	-	-	-

3

Cambios en las relaciones simbióticas que generan arrecifes coralinos

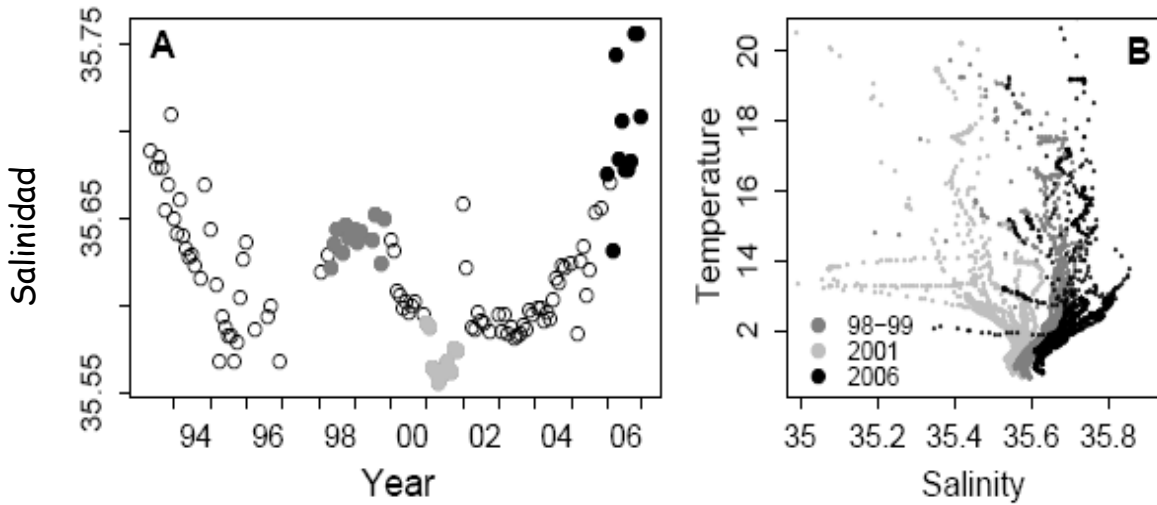


Umbral de temperatura sobre el cual se manifiesta el "blanqueo" de corales (1-2 °C).

A esto hay que añadir las variaciones de pH en el medio marino.

Hoegh-Guldberg (1999)

Las masas de agua han modificado su presencia en la costa cantábrica. Parecen asociada a cambios generales en la atmósfera



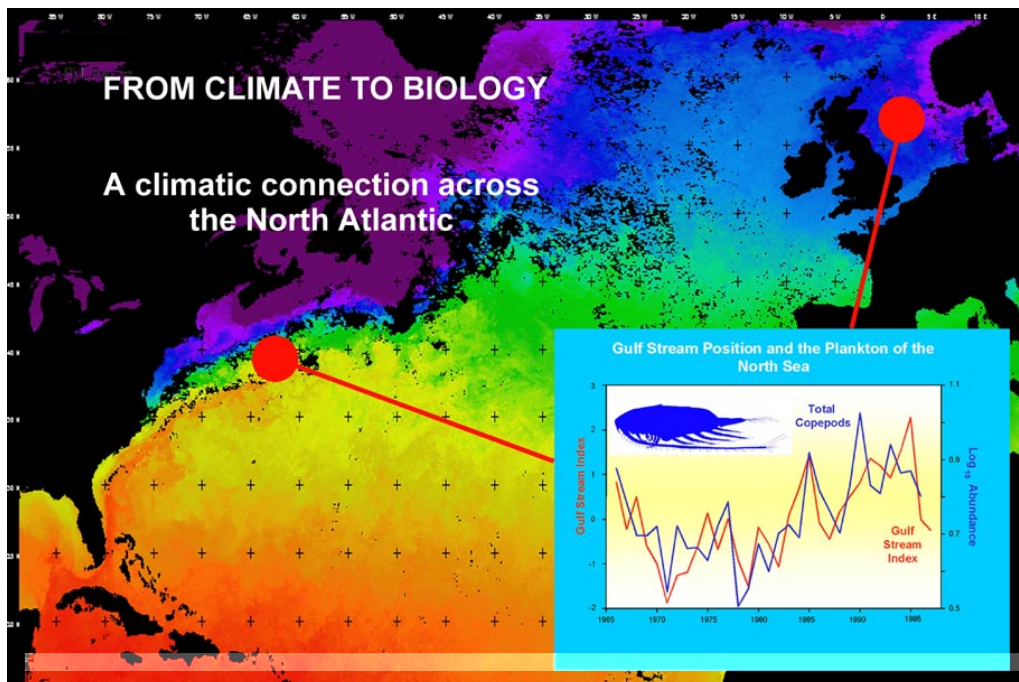
Llope y Anadón (2008)

Cambios de Salinidad frente a Cudillero. Indican cambio en las masas de agua

6

Conexiones Climáticas a través del Atlántico Norte

Falta por evaluar el papel de la variabilidad interanual en relación a eventos que ocurren en cuencas oceánicas, y las interacciones con el Cambio de Clima. Por ejemplo, la posición de la corriente del Golfo



Taylor, 1975. ICES J Mar. Sci.

6



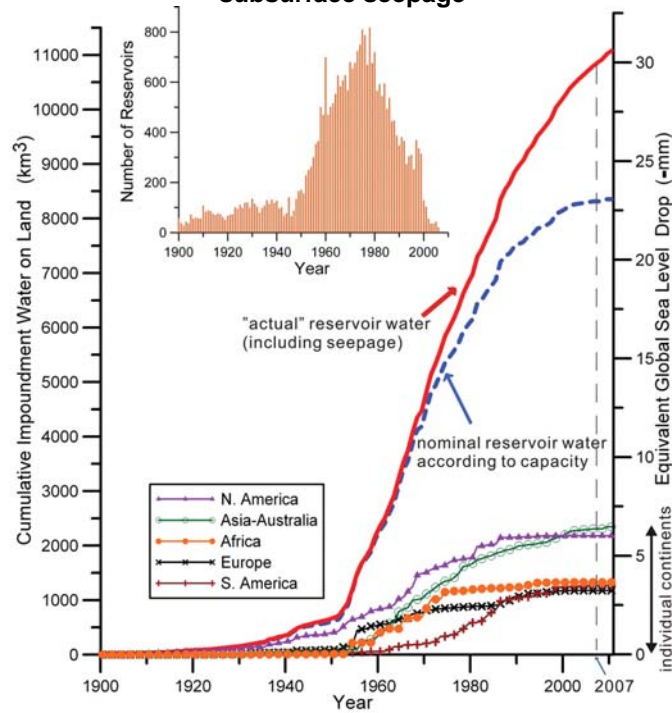
2



Se estima que el Océano profundo puede almacenar 500 Pg C (50-80 años) con un descenso del pH de 0.2 en forma de CO_2 líquido. Pero no se dispone de evaluaciones a largo término



2 Fig. 1. Cumulative water impoundment [V(t), red solid curve] as a function of calendar year, based on the nominal water impoundment (dashed blue curve) according to our compiled tally of 29,484 reservoirs' capacity (17) but also including realistic modifications to account for phenomena such as subsurface seepage

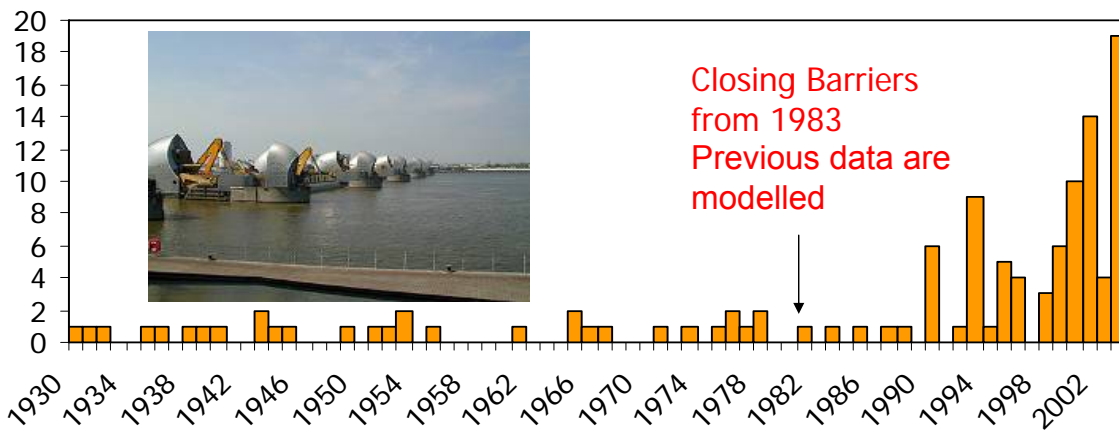


B. F. Chao et al., Science 320, 212-214 (2008)



Published by AAAS

2 Annual protection activities rise with time
The example: Number of closing barriers for protection of Thames river

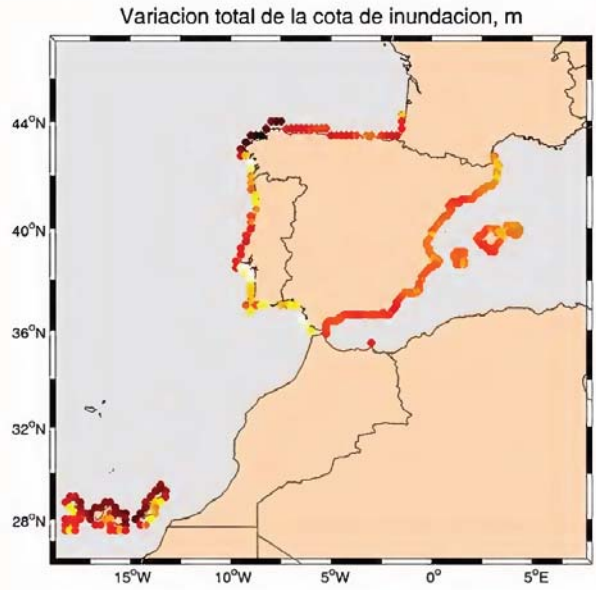


UK Environment Agency http://www.environment-agency.gov.uk/commondata/103601/i2_flood_c4_dt.xls

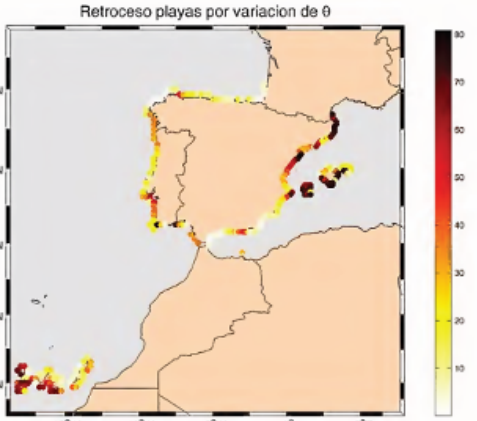
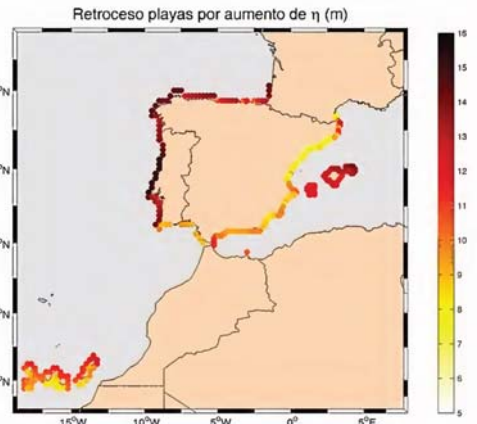
Rotterdam Barrier

2

Sea level rise could affect to many low areas with soft substrate. Many areas of the Iberian Peninsula could be damaged in the future. Adaptive actions must be activated



2.5 Variación neta de la cota de inundación a lo largo del litoral español.



2.7 Retroceso de las playas por variación de la dirección del flujo medio de energía.

Impactos en la costa española por efecto del Cambio Climático, MMA 2006