

# Cambio climático

M. de Castro  
M. Gómez Gesteira

EPhysLab (UVIGO)

# Sección 4.

## El clima del futuro



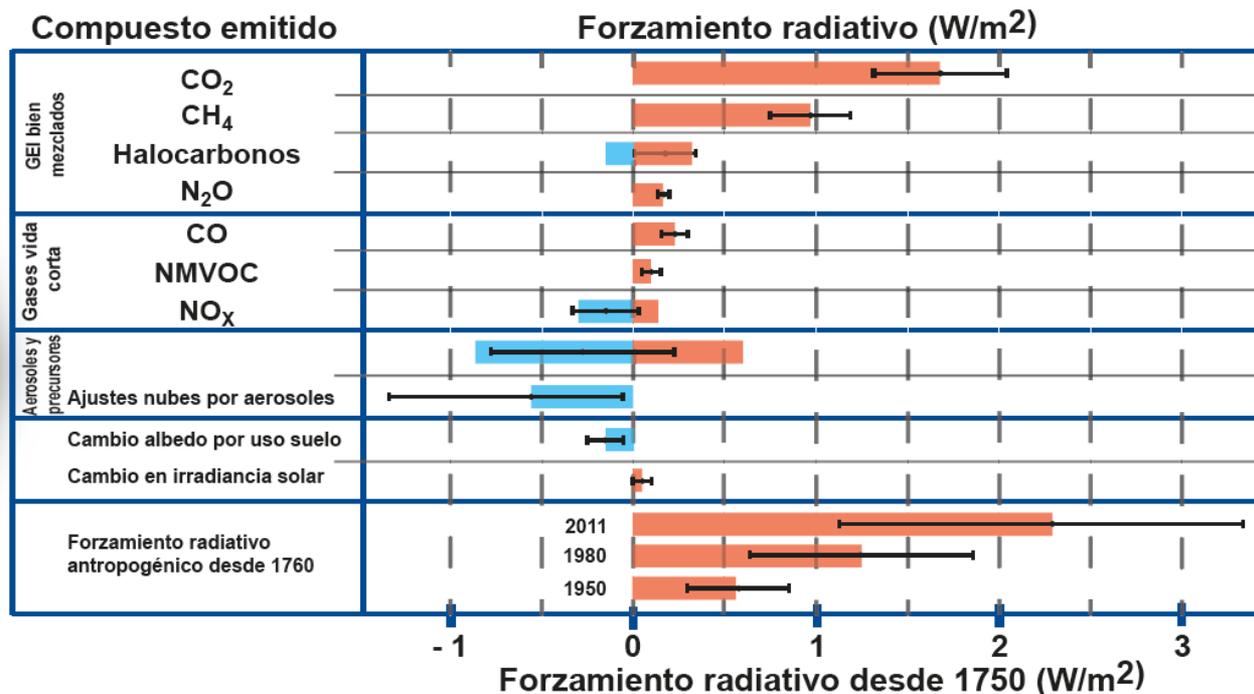
Environmental Physics Laboratory  
EPhysLab

Universidade de Vigo

# Proyecciones y escenarios



Contribución de diferentes factores al forzamiento radiativo terrestre (en watos / m<sup>2</sup>).



El forzamiento radiativo desde 1750 es  $>2 \text{ W m}^{-2}$



# Escenarios de cambio futuro

## Representative Concentration Pathways (RCPs)

Diferentes escenarios de cambio climático diseñados por IPCC para el quinto informe en 2014.

Consideran diferentes concentraciones de gases de efecto invernadero.

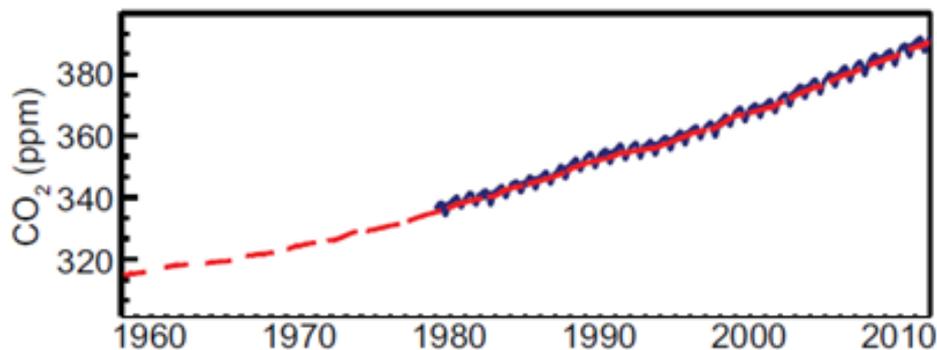
Estas concentraciones dan lugar a un aumento del forzamiento radiativo que es la diferencia entre la energía que recibe y emite la Tierra .



## Evolución de los gases de efecto invernadero

### Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>)

La abundancia era de 390.5 ppm en el año 2011; un 40% mayor que en 1750 cuando era del orden de 280 ppm



# Escenarios de cambio futuro

Hay 4 escenarios RCPs:

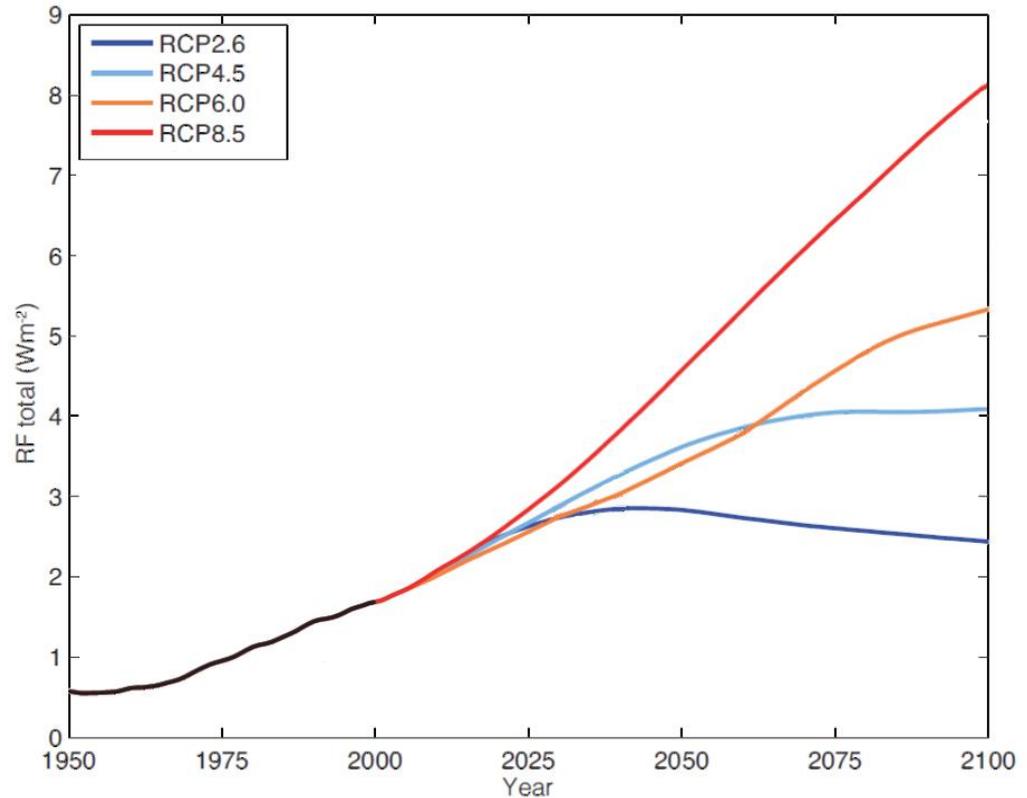
RCP2.6

RCP4.5

RCP6.0

RCP8.5

relativos al forzamiento radiativo en 2100 con respecto a los valores pre-industriales (+2.6, +4.5, +6.0 y +8.5  $\text{W/m}^2$ ).



# Escenarios de cambio futuro

	FR	Tendencia del FR	[CO <sub>2</sub> ] en 2100
RCP2.6	2,6 W/m <sup>2</sup>	decreciente en 2100	421 ppm
RCP4.5	4,5 W/m <sup>2</sup>	estable en 2100	538 ppm
RCP6.0	6,0 W/m <sup>2</sup>	creciente	670 ppm
RCP8.5	8,5 W/m <sup>2</sup>	creciente	936 ppm

# Escenarios de cambio futuro

## Los escenarios más extremos

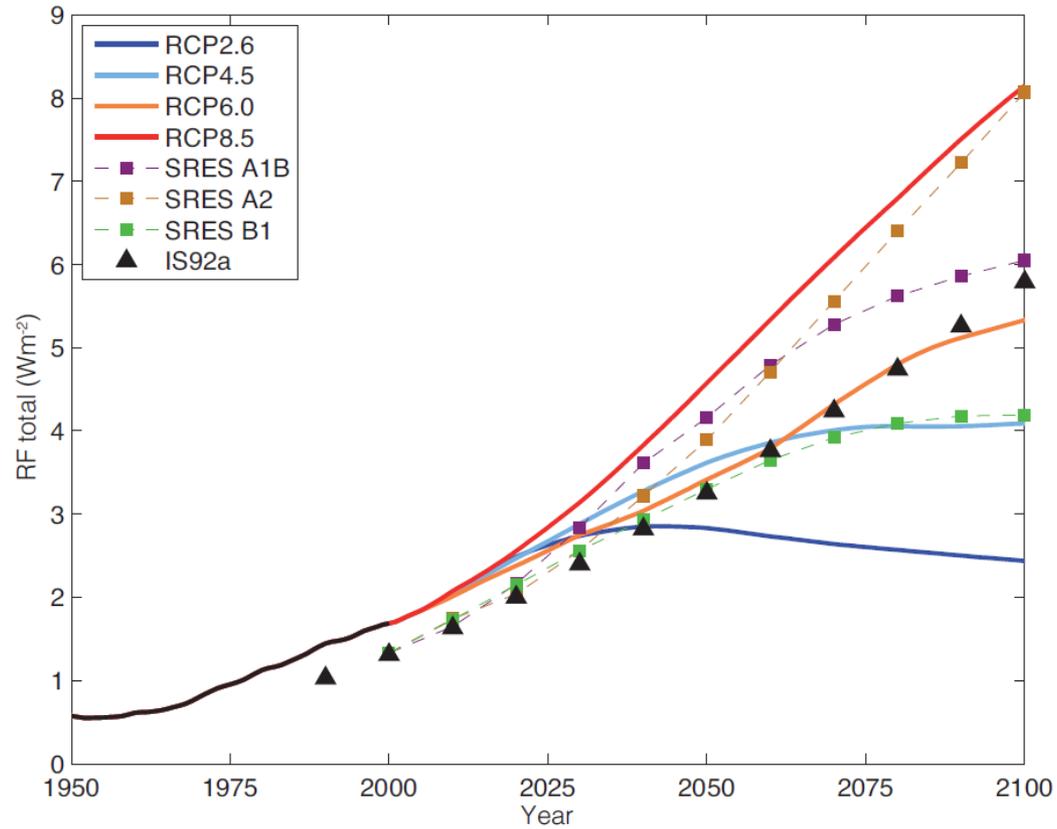
**RCP8.5** alta población y demanda de energía. Sólo pequeñas mejoras energéticas.

**RCP6.0** Se toman medidas para disminuir emisiones (carbon tax)



# Escenarios de cambio futuro

Comparativa entre los escenarios de cambio climático de diferentes proyectos



# Cambio en diferentes variables



# Temperatura superficial

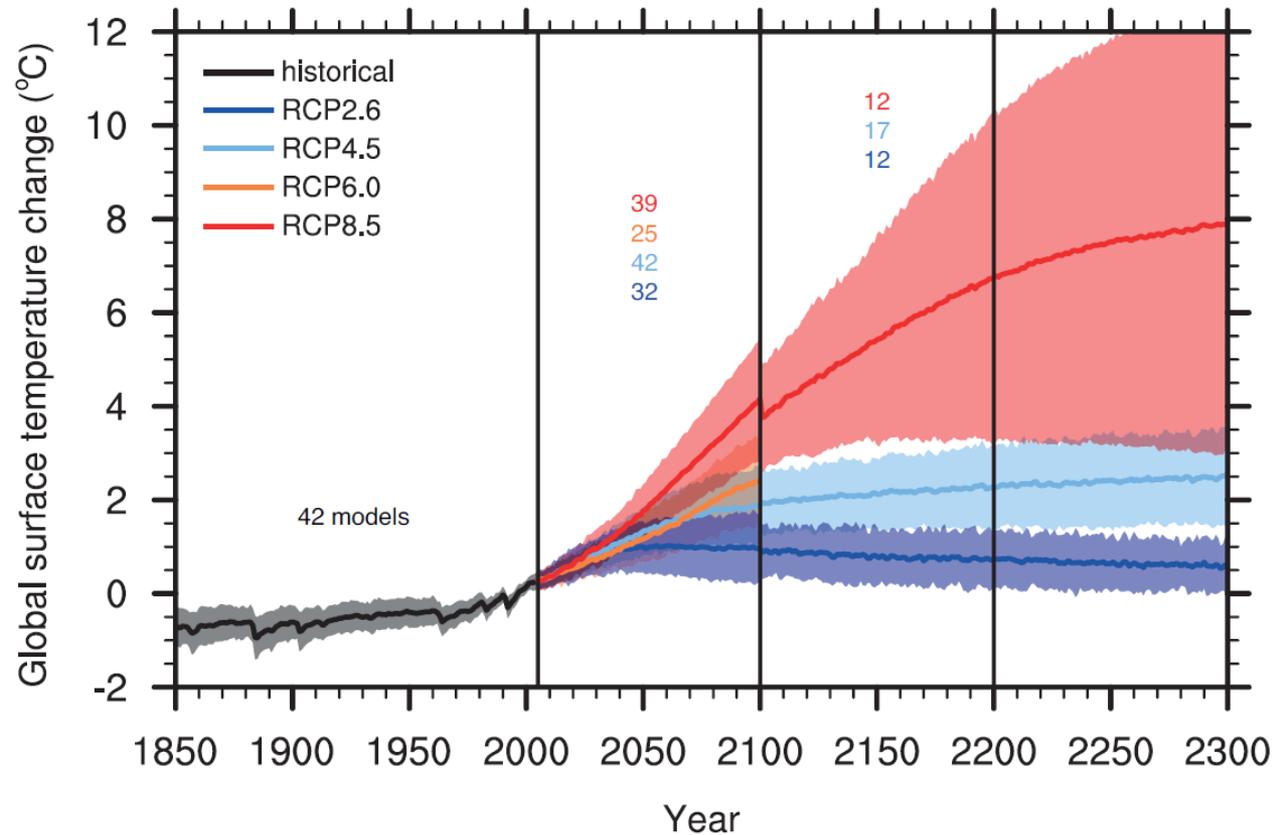


Environmental Physics Laboratory  
EPhysLab

Universidade de Vigo

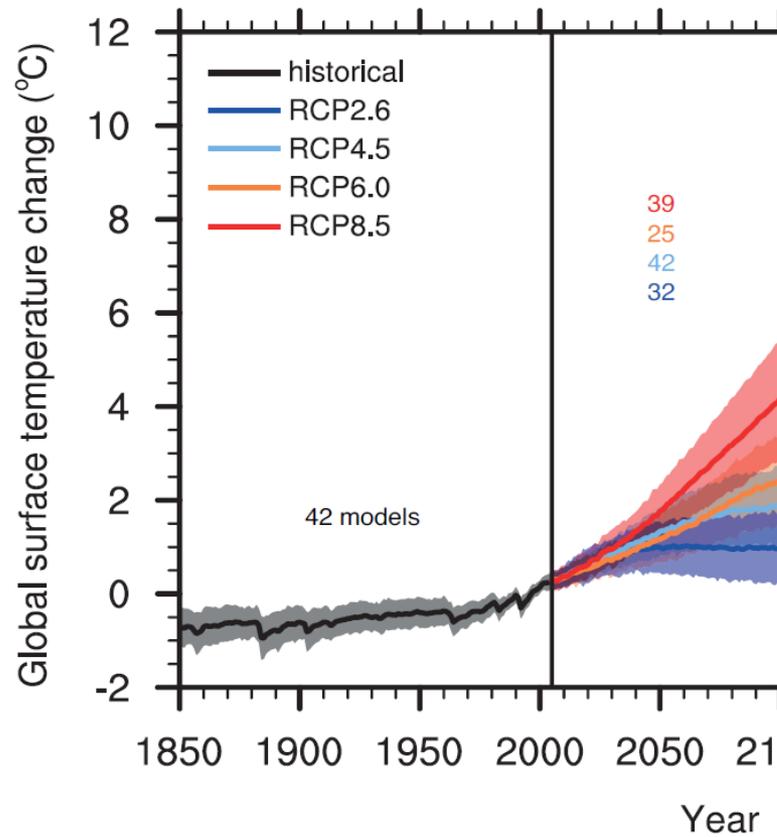
# Clima Futuro: Temperatura superficial

Diferencias relativas al periodo 1986-2005.



# Clima Futuro: Temperatura superficial

Diferencias relativas al periodo 1986-2005.



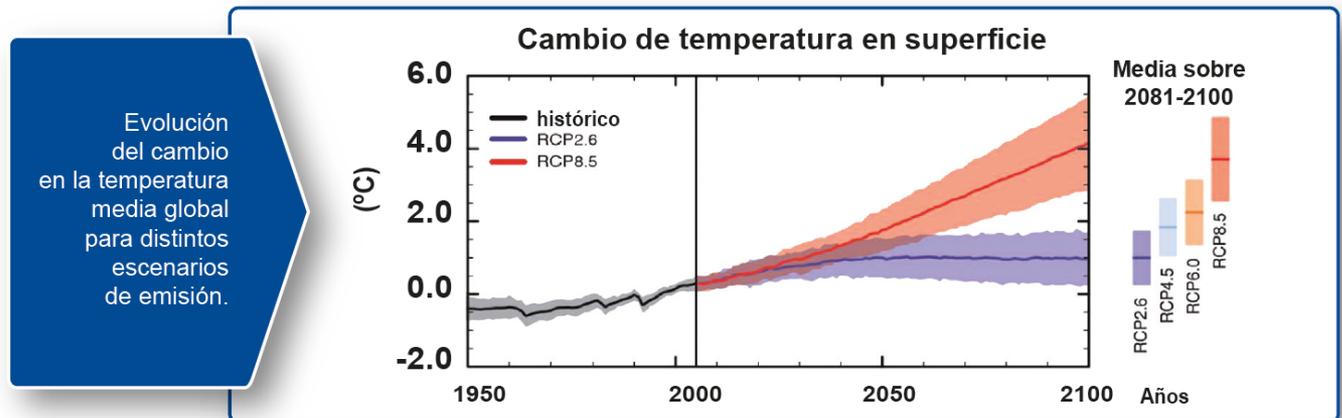
# Clima Futuro: Temperatura superficial

Proyecciones de la temperatura del aire. Diferencias relativas al periodo 1986-2005.

	RCP2.6 ( $\Delta T$ in °C)	RCP8.5 ( $\Delta T$ in °C)
Global: 2046–2065	1.0 ± 0.3 (0.4, 1.6)	2.0 ± 0.4 (1.4, 2.6)
2081–2100	1.0 ± 0.4 (0.3, 1.7)	3.7 ± 0.7 (2.6, 4.8)
2181–2200	0.7 ± 0.4 (0.1, 1.3)	6.5 ± 2.0 (3.3, 9.8)
2281–2300	0.6 ± 0.3 (0.0, 1.2)	7.8 ± 2.9 (3.0, 12.6)
Land: 2081–2100	1.2 ± 0.6 (0.3, 2.2)	4.8 ± 0.9 (3.4, 6.2)
Ocean: 2081–2100	0.8 ± 0.4 (0.2, 1.4)	3.1 ± 0.6 (2.1, 4.0)
Tropics: 2081–2100	0.9 ± 0.3 (0.3, 1.4)	3.3 ± 0.6 (2.2, 4.4)
Polar: Arctic: 2081–2100	2.2 ± 1.7 (-0.5, 5.0)	8.3 ± 1.9 (5.2, 11.4)
Polar: Antarctic: 2081–2100	0.8 ± 0.6 (-0.2, 1.8)	3.1 ± 1.2 (1.1, 5.1)

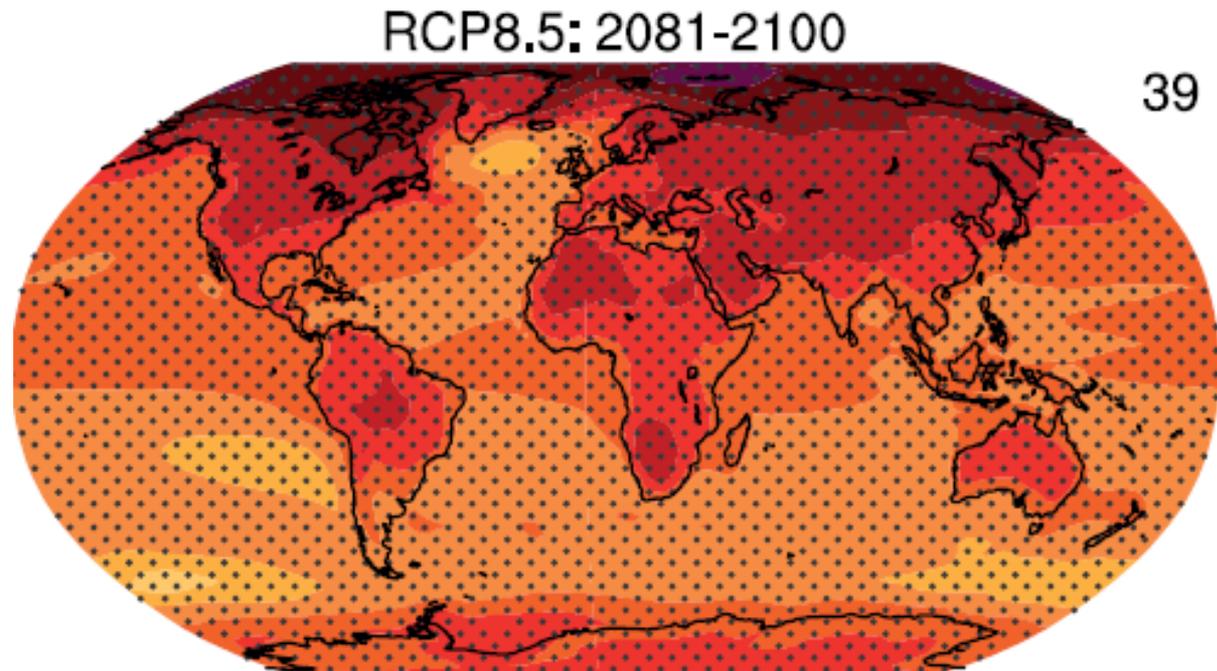
# Clima Futuro: Temperatura superficial

Variable	Escenario	2046-2065		2081-2100	
		Media	Rango Probable	Media	Rango Probable
Cambio temperatura superficial media (°C)	RCP2.6	1.0	0.4 - 1.6	1.0	0.3 - 1.7
	RCP4.5	1.4	0.9 - 2.0	1.8	1.1 - 2.6
	RCP6.0	1.3	0.8 - 1.8	2.2	1.4 - 3.1
	RCP8.5	2.0	1.4 - 2.6	3.7	2.6 - 4.8



# Clima Futuro: Temperatura superficial

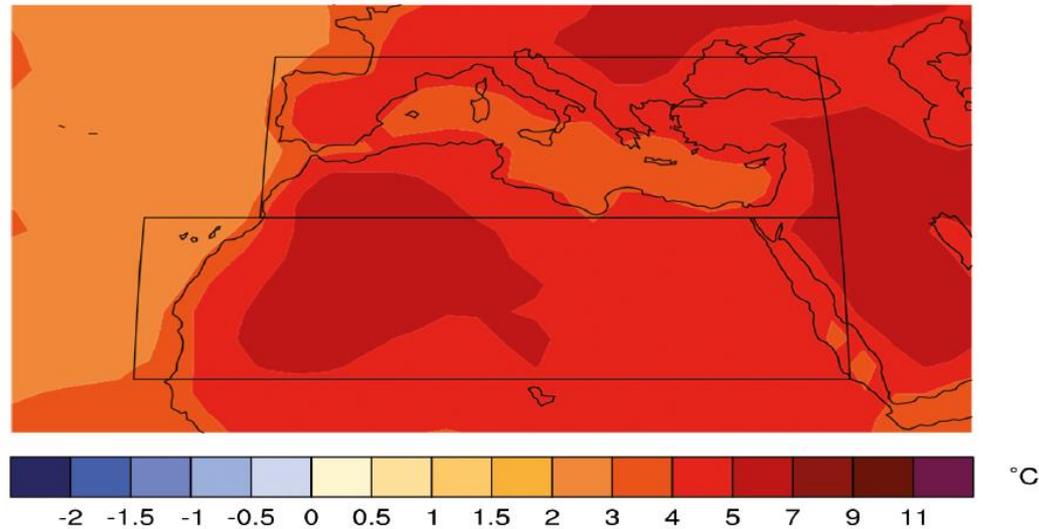
Proyecciones de la temperatura del aire bajo el escenario RCP8.5 para el futuro lejano (2081- 2100). Diferencias relativas al periodo 1986-2005.



# Clima Futuro: Temperatura superficial

Cambio estimado de la temperatura anual media para finales del siglo XXI (promedio entre 2081 y 2100) respecto a la actualidad (promedio entre 1986 y 2005) para el escenario RCP8.5.

Cambio temperatura 2081–2100 resp. 1986–2005



# Temperatura del océano



Environmental Physics Laboratory  
EPhysLab

Universidade de Vigo

# Clima Futuro: temperatura del océano

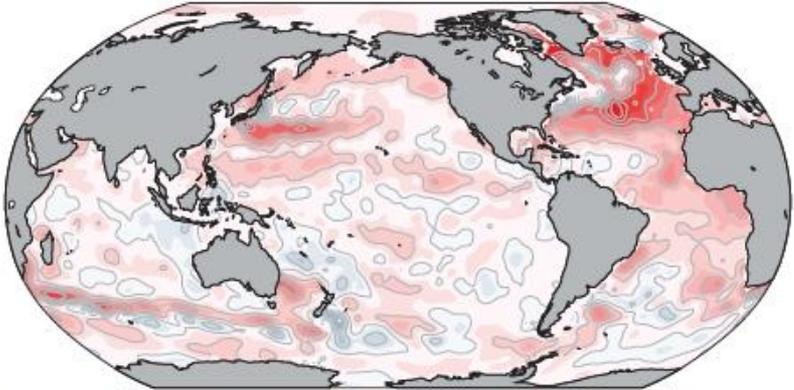
En el pasado

Tendencia de 1971 a 2010 (primeros 700 m)

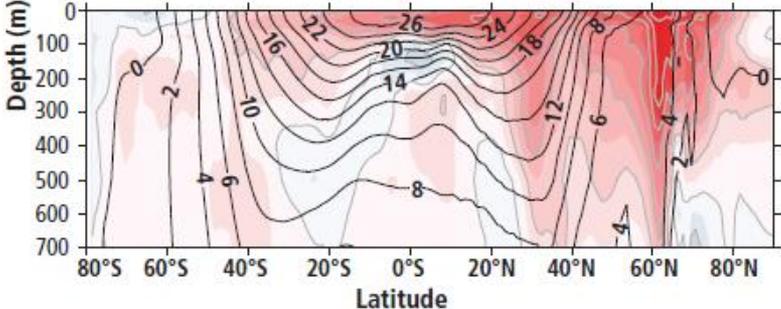
Tendencia de 1971 a 2010 (promedio en longitud)

Anomalía

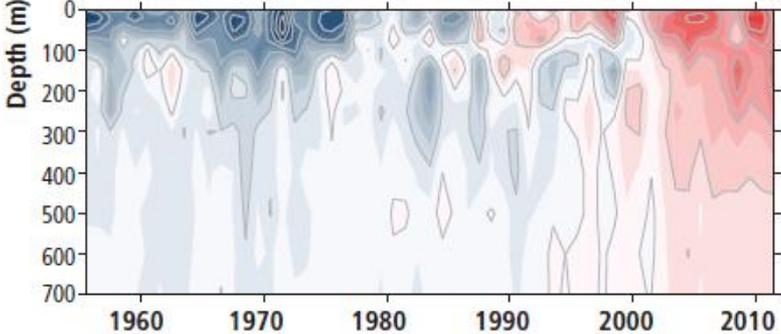
(a)



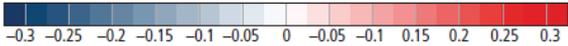
(b)



(c)

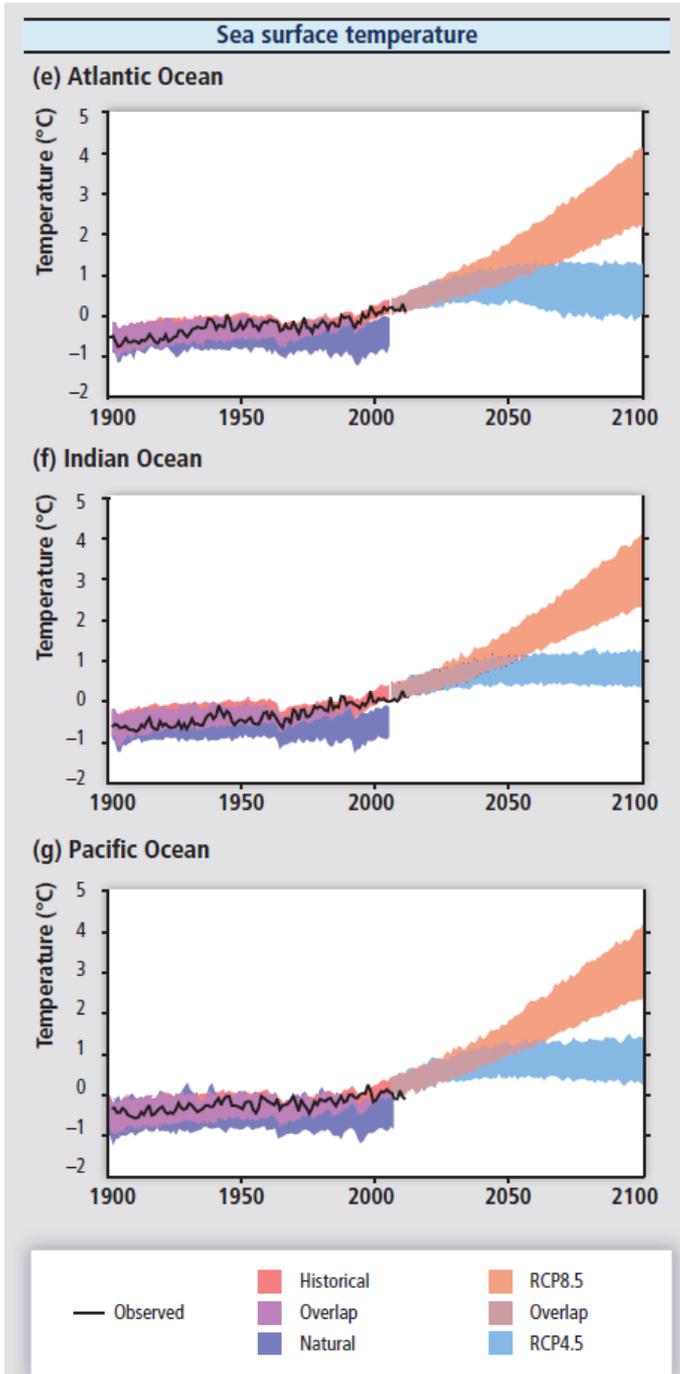


(a,b) Temperature Trend (°C per decade)  
(c) Temperature Anomaly (°C)



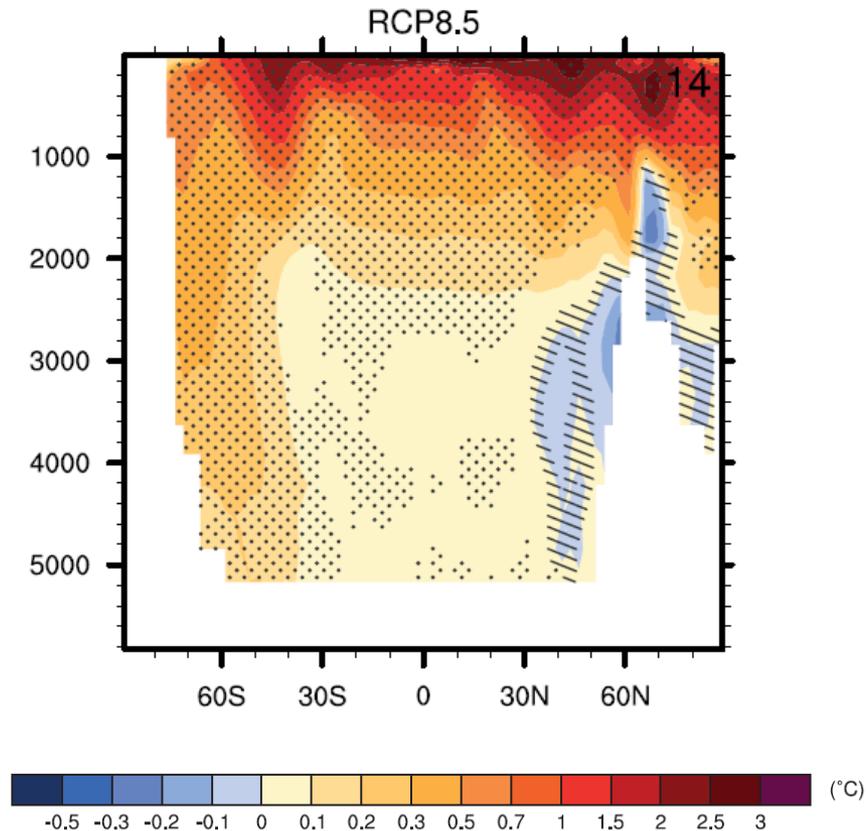
# Clima Futuro: temperatura del océano

Anomalías



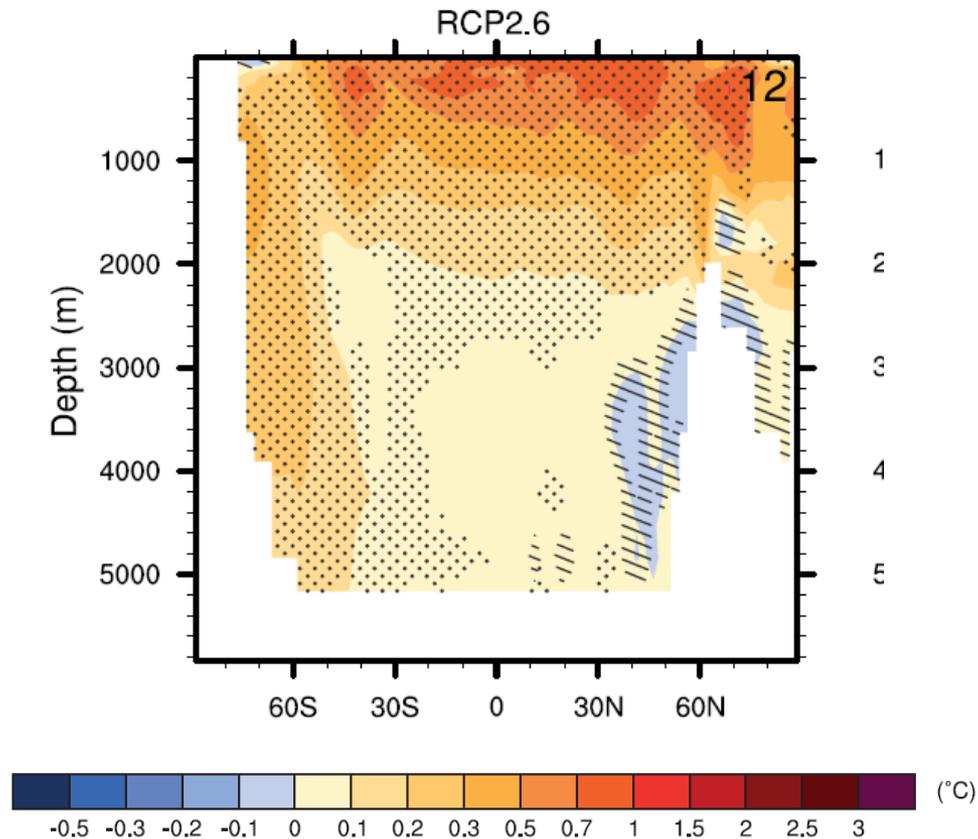
# Clima Futuro: temperatura del océano

Proyecciones de la temperatura del mar bajo el escenario RCP8.5 para el futuro lejano (2081- 2100). **Diferencias relativas al periodo 1986-2005.**



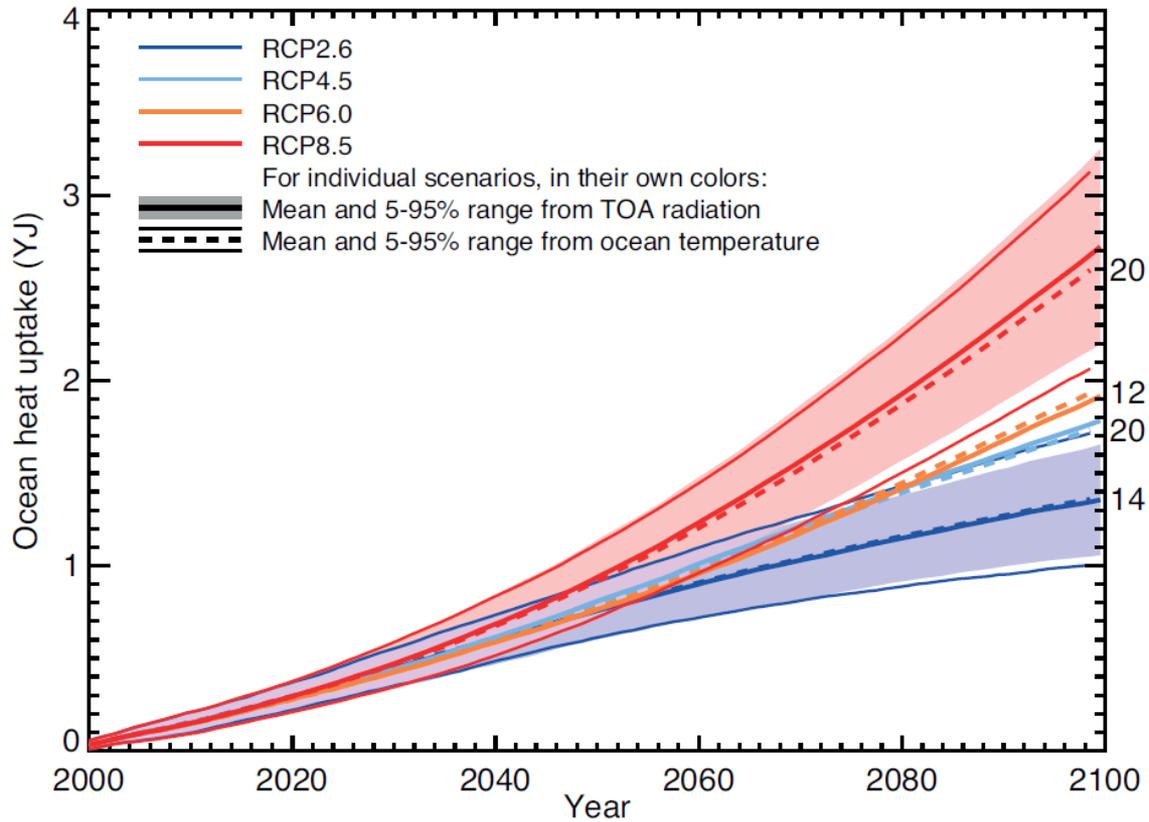
# Clima Futuro: temperatura del océano

Proyecciones de la temperatura del mar bajo el escenario RCP2.6 para el futuro lejano (2081- 2100). Diferencias relativas al periodo 1986-2005.



# Clima Futuro: Contenido de calor

Proyecciones futuras del contenido de calor del Océano.



1 YJ=10<sup>24</sup> J



# Nivel del mar



Environmental Physics Laboratory  
EPhysLab

Universidade de Vigo

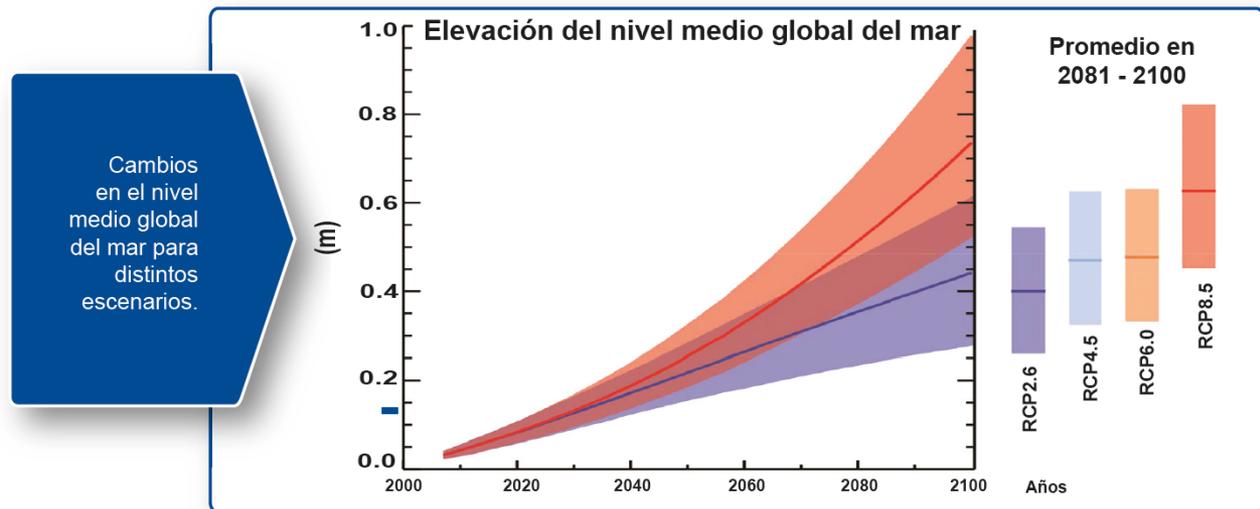
## Elevación del nivel del mar

- ▶ Ha aumentado 120–130 m desde último máximo glacial sucedido hace unos 20000 años.
- ▶ El nivel es similar al actual desde hace unos 6000 años
- ▶ Los cambios desde mitad del siglo XIX han sido mayores que durante los dos milenios anteriores
- ▶ Durante el siglo XX el crecimiento medio ha sido de aproximadamente  $1.7 \text{ cm década}^{-1}$
- ▶ Ese crecimiento se ha acelerado hacia finales de siglo, siendo de aproximadamente  $3.1 \text{ cm década}^{-1}$



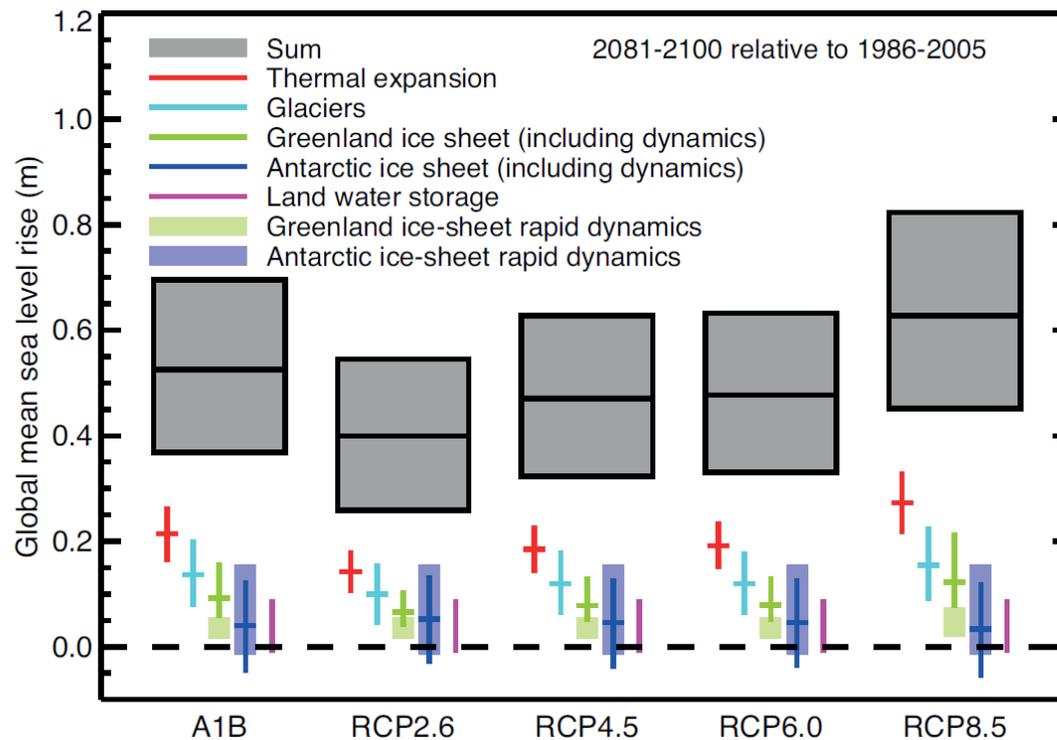
# Clima futuro: Nivel del mar

Variable	Escenario	2046-2065		2081-2100	
		Media	Rango Probable	Media	Rango Probable
Cambios en el nivel medio global del mar (m)	RCP2.6	0,24	0,17– 0,31	0,40	0,26-0,54
	RCP4.5	0,26	0,19-0,33	0,47	0,32-0,62
	RCP6.0	0,25	0,18-0,32	0,47	0,33-0,62
	RCP8.5	0,29	0,22-0,37	0,62	0,45-0,81



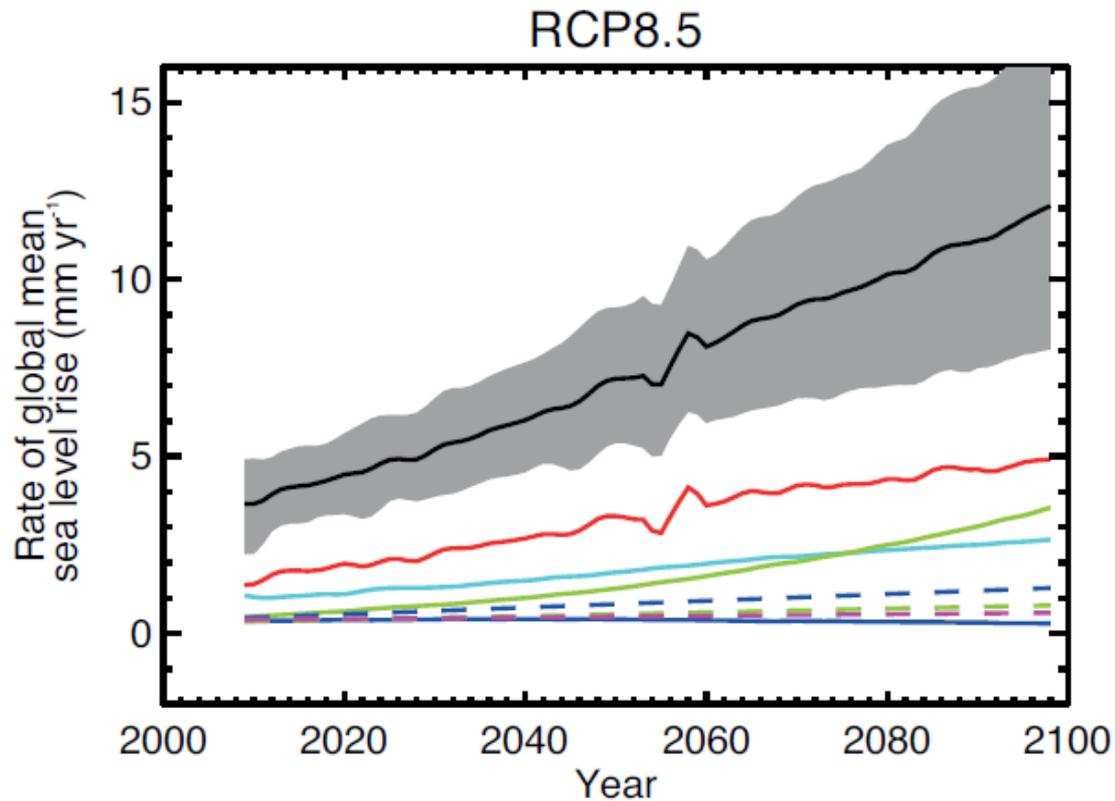
# Clima Futuro: Nivel del mar

Proyecciones futuras del nivel del mar global de los océanos para el periodo 2081- 2100 relativo al 1986- 2005.



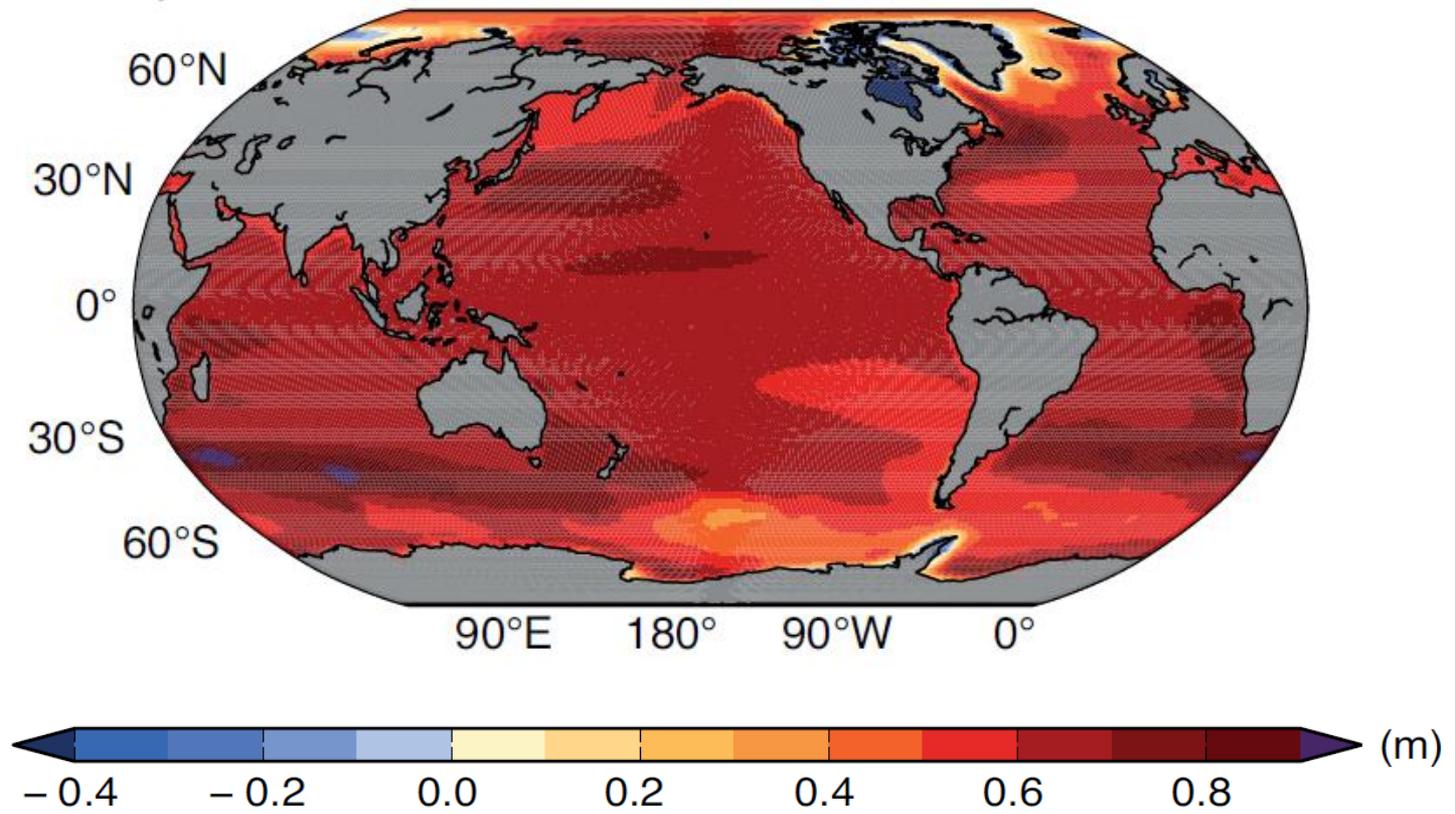
# Clima Futuro: Nivel del mar

Proyecciones futuras del nivel del mar global de los océanos bajo el escenario RCP8.5.



# Clima Futuro: Nivel del mar

Proyecciones futuras del nivel del mar global de los océanos para el periodo 2081- 2100 relativo al 1986- 2005.



# Extremos en nivel del mar

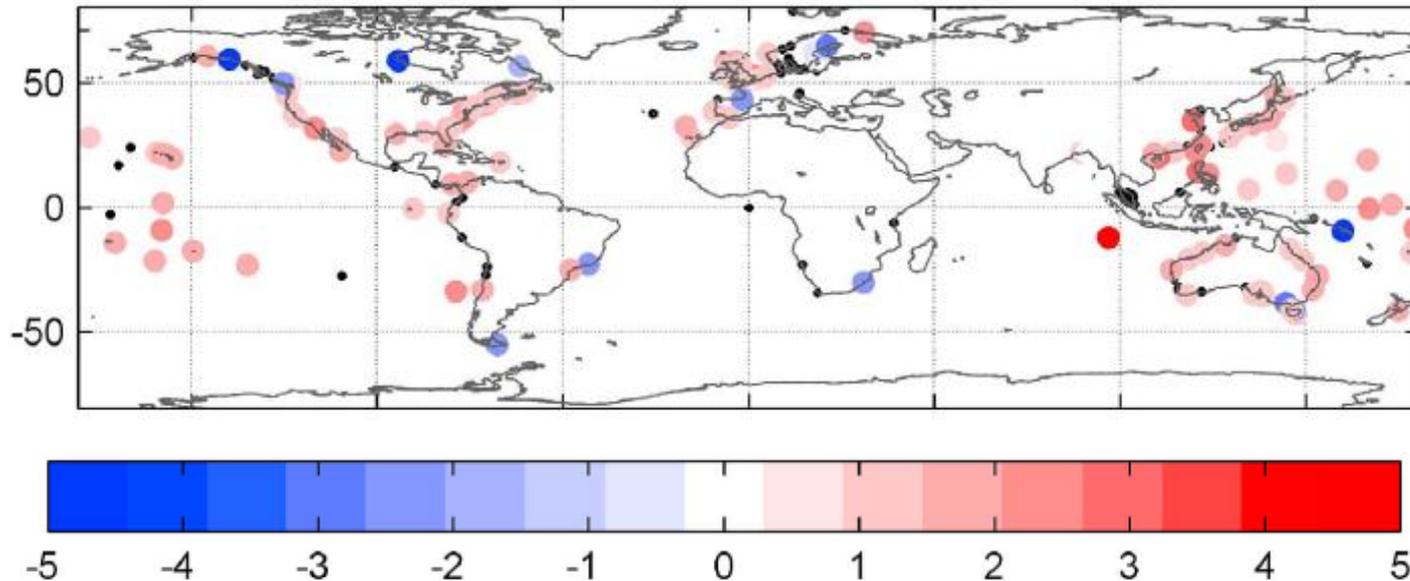
Debidos principalmente a

- ▶ Bajada de presión asociada a tormentas (barómetro invertido)
- ▶ Fuertes vientos asociados a tormentas

Se conocen como marejadas (*storm surges*)



# Cambios en la frecuencia de extremos en el nivel del mar desde 1970



Porcentaje de cambio desde 1970  
Puntos negros no son significativos

**Changes in extreme high water levels based on a quasi-global tide-gauge data set**

Melisa Menéndez<sup>1</sup> and Philip L. Woodworth<sup>2</sup>

JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 115, C10011, doi:10.1029/2009JC005997, 2010

# Cambios en la frecuencia de niveles de mar extremos desde 1970

Los estudios concluyen

- ▶ En general, la frecuencia de eventos extremos ha aumentado
- ▶ Si a la señal se le sustrae la mediana anual la tendencia es más moderada.
- ▶ Esto prueba que gran parte del efecto se debe a la elevación media del nivel del mar



# Olas

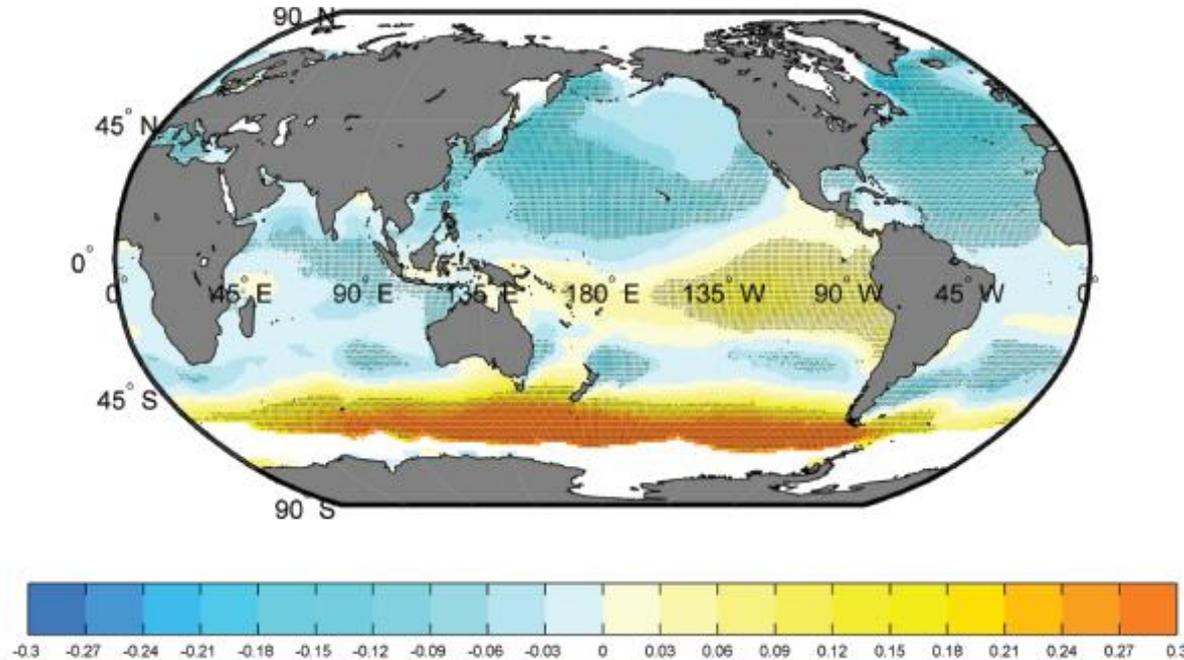


Environmental Physics Laboratory  
EPhysLab

Universidade de Vigo

# Cambio altura significativa de 2070–2100 relativo a 1979–2005

Escenario RCP 8.5 (30 modelos)



Statistical wave climate projections for coastal impact assessments

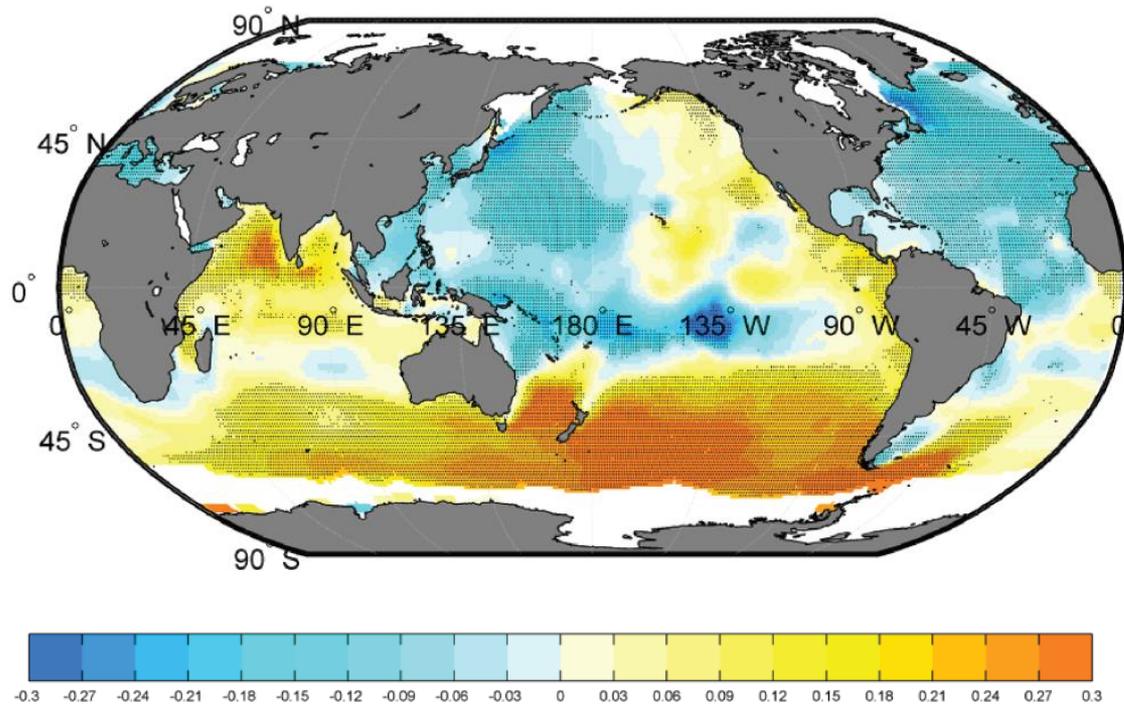
P. Camus<sup>1</sup>, I. J. Losada<sup>1</sup>, C. Izaguirre<sup>1</sup>, A. Espejo<sup>1</sup>, M. Menéndez<sup>1</sup>, and J. Pérez<sup>1</sup>

**Earth's Future**



# Cambio periodo de ola de 2070–2100 relativo a 1979–2005

Escenario RCP 8.5



Statistical wave climate projections for coastal impact assessments

P. Camus<sup>1</sup>, I. J. Losada<sup>1</sup>, C. Izaguirre<sup>1</sup>, A. Espejo<sup>1</sup>, M. Menéndez<sup>1</sup>, and J. Pérez<sup>1</sup>

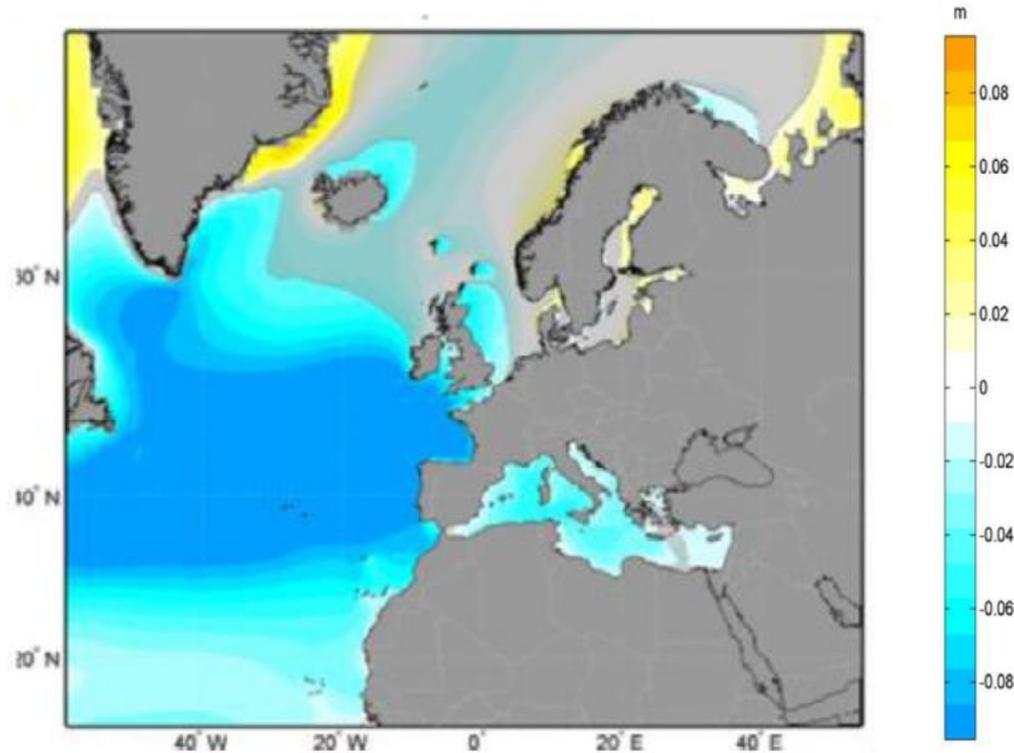
**Earth's Future**



# Oleaje futuro

Cambio en altura significativa para el periodo 2070-2099 relativo al periodo 1975-2004

Escenario RCP 8.5



Statistical multi-model climate projections of surface ocean waves in Europe

Jorge Perez\*, Melisa Menendez, Paula Camus, Fernando J. Mendez, Inigo J. Losada

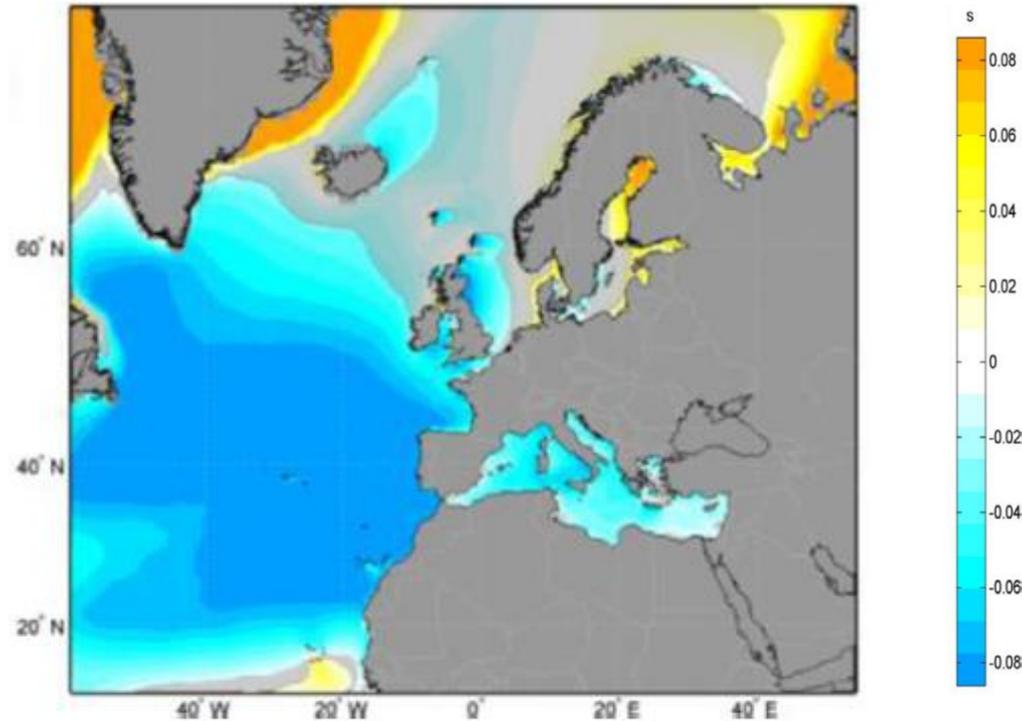
Ocean Modelling 96 (2015) 161–170



# Oleaje futuro

Periodo de ola medio para el periodo 2070-2099 relativo al periodo 1975-2004

Escenario RCP 8.5



Statistical multi-model climate projections of surface ocean waves in Europe

Jorge Perez\*, Melisa Menendez, Paula Camus, Fernando J. Mendez, Inigo J. Losada

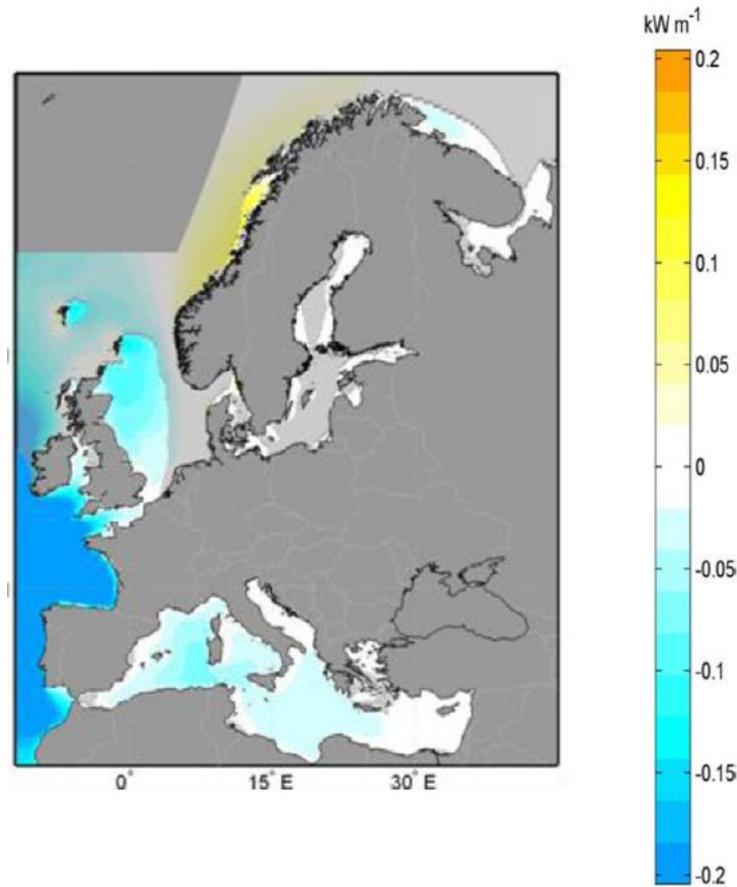
Ocean Modelling 96 (2015) 161–170



# Oleaje futuro

Cambio en energía del oleaje del periodo 2070-2099 relativo al periodo 1975-2004

Escenario RCP 8.5



Statistical multi-model climate projections of surface ocean waves in Europe

Jorge Perez\*, Melisa Menendez, Paula Camus, Fernando J. Mendez, Inigo J. Losada

Ocean Modelling 96 (2015) 161–170



# Afloramiento (Upwelling)

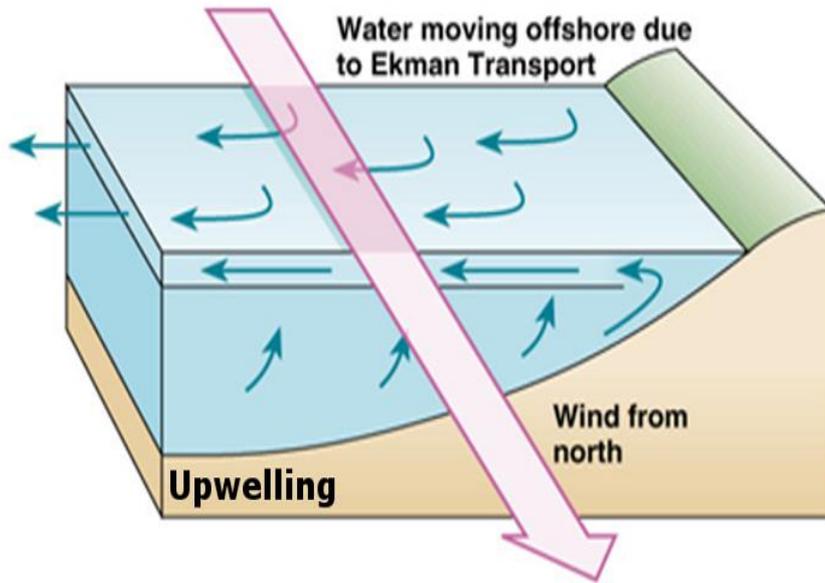


Environmental Physics Laboratory  
EPhysLab

Universidade de Vigo

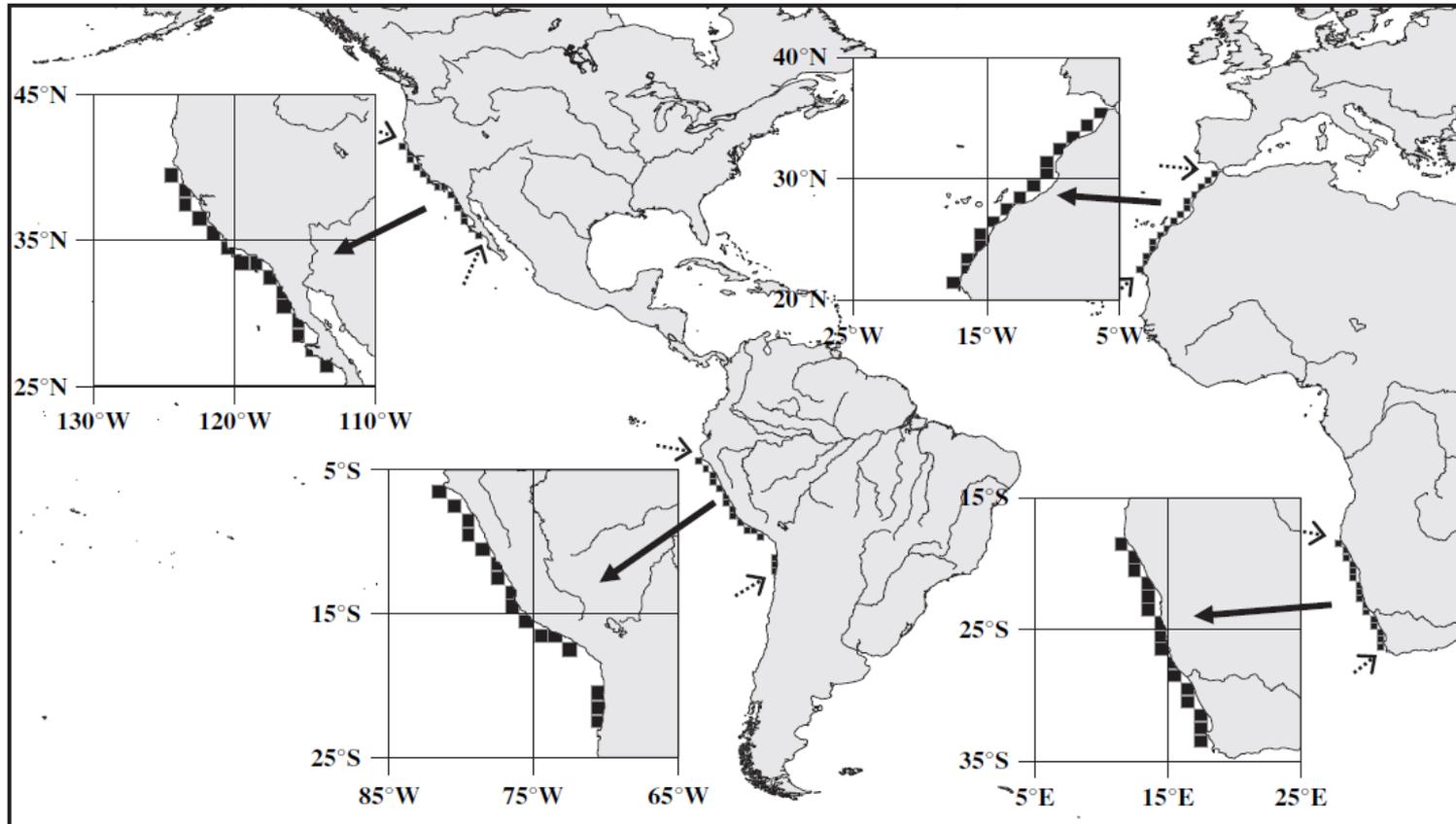
# Breve descripción

## Qué es

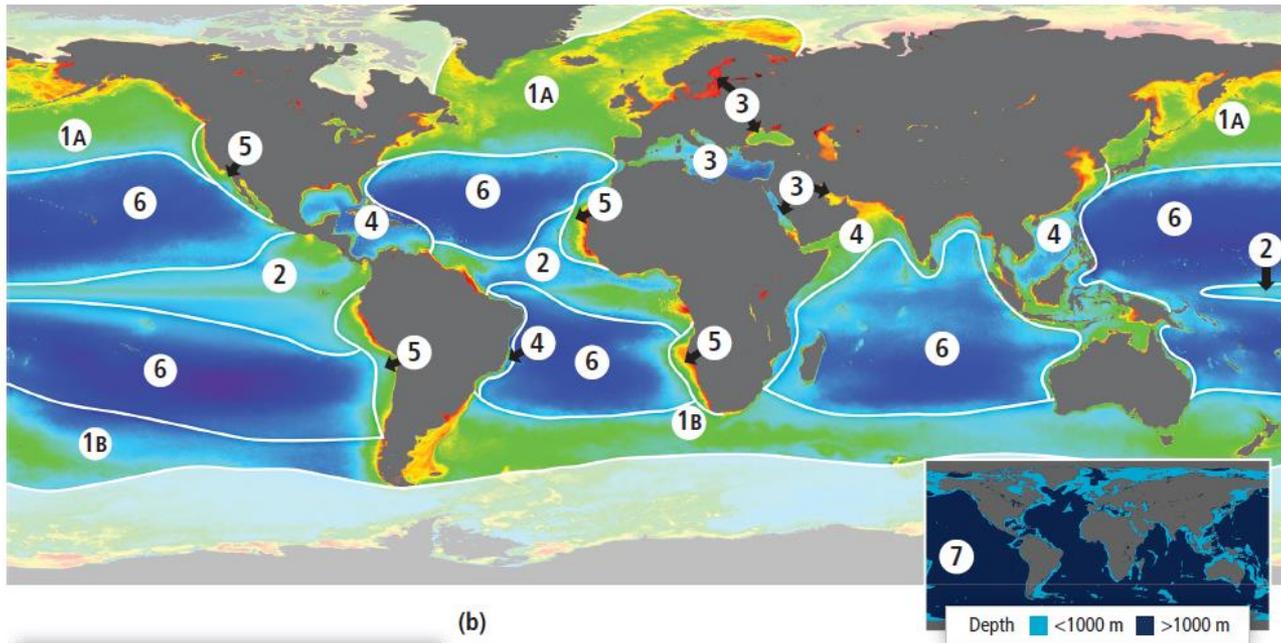


- Vientos paralelos a la costa
- Hacia el sur en hemisferio norte
- Transporte de agua hacia el océano
- Agua reemplazada por agua más profunda
- El agua nueva es fría y rica en nutrientes.

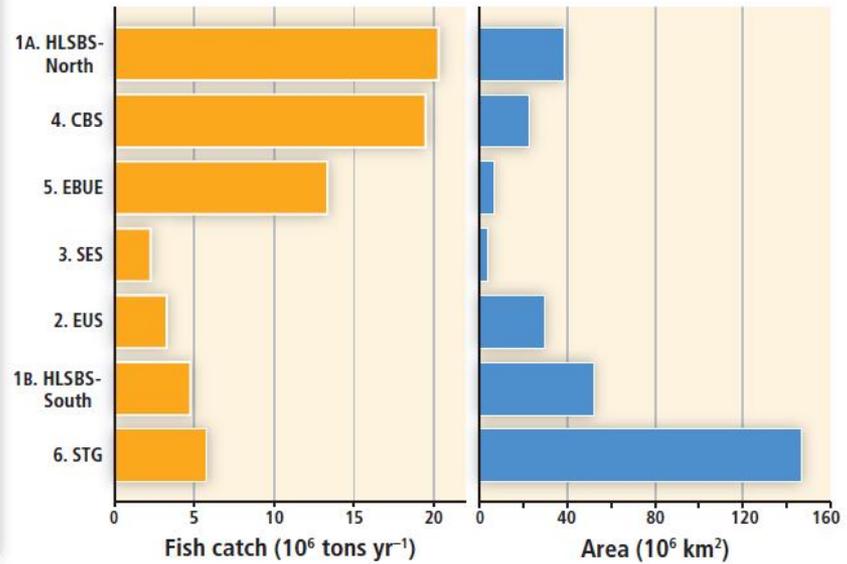
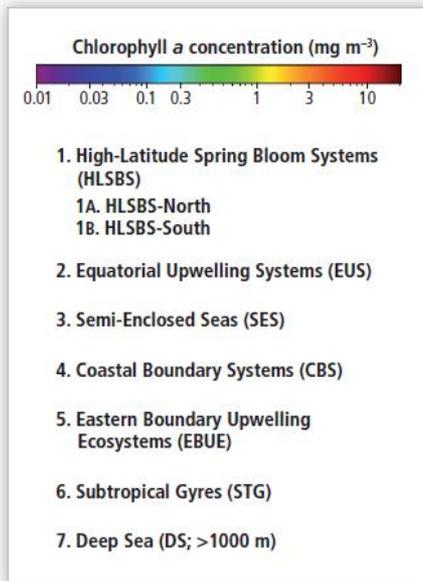
# Los EBU son las 4 zonas más importantes de afloramiento del mundo



Son solo un 1% del oceano, pero propocionan el 20% de las capturas de pescado



(b)



# Hipótesis de Bakun (1990)

- ▶ Cambio climático
- ▶ Aumento general de la temperatura
- ▶ Intensificación de los gradientes térmicos tierra/océano
- ▶ Desarrollo de diferencia de presión tierra/océano
- ▶ Aumento de vientos paralelos a la costa
- ▶ Más afloramiento



# Tendencias pasadas

Investigación reciente afirma que la hipótesis de Bakun no se cumple necesariamente en todos los sistemas de afloramiento, aunque a grandes rasgos si lo hace en los sistemas más importantes: Benguela, Perú, Canarias y zona norte de California (periodo 1982– 2010)

SCIENTIFIC REPORTS

**OPEN** Has upwelling strengthened along worldwide coasts over 1982-2010?

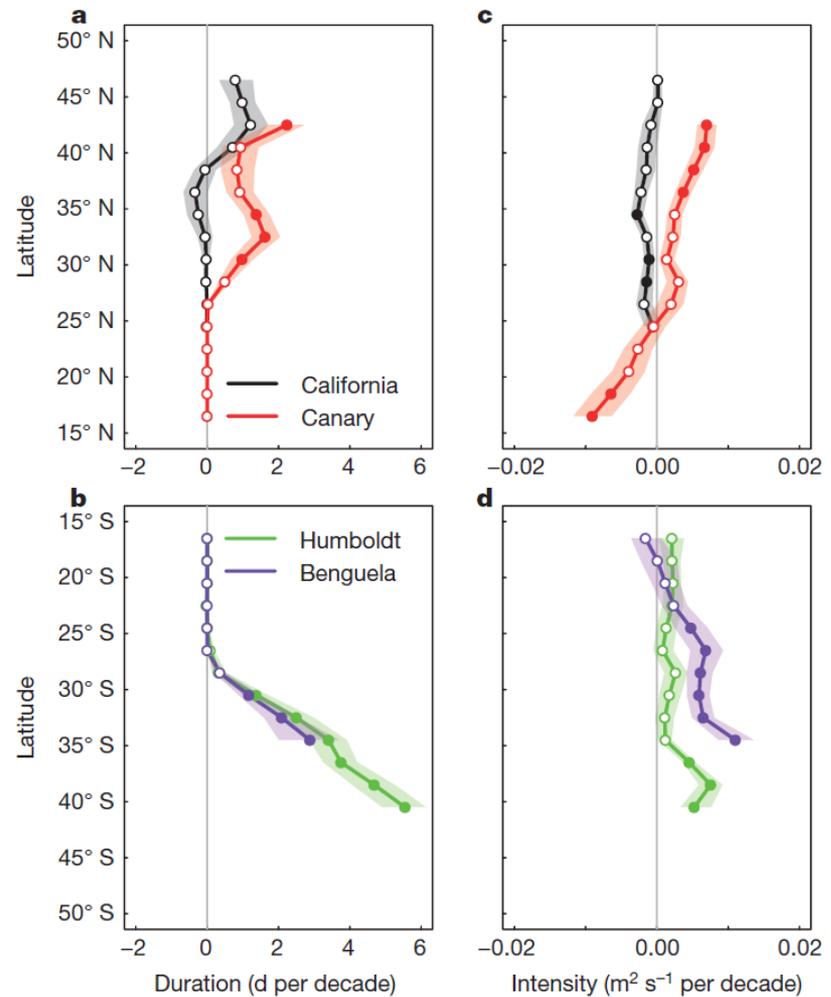
R. Varela<sup>1</sup>, I. Álvarez<sup>1,2</sup>, F. Santos<sup>1,2</sup>, M. deCastro<sup>1</sup> & M. Gómez-Gesteira<sup>1</sup>



# Tendencias futuras

A finales de S. XXI la estación de afloramiento

- ▶ Aumentará en duración e intensidad para altas latitudes (excepto en California)
- ▶ Permanecerá constante o incluso disminuirá a bajas latitudes



LETTER

doi:10.1038/nature14235

## Intensification and spatial homogenization of coastal upwelling under climate change

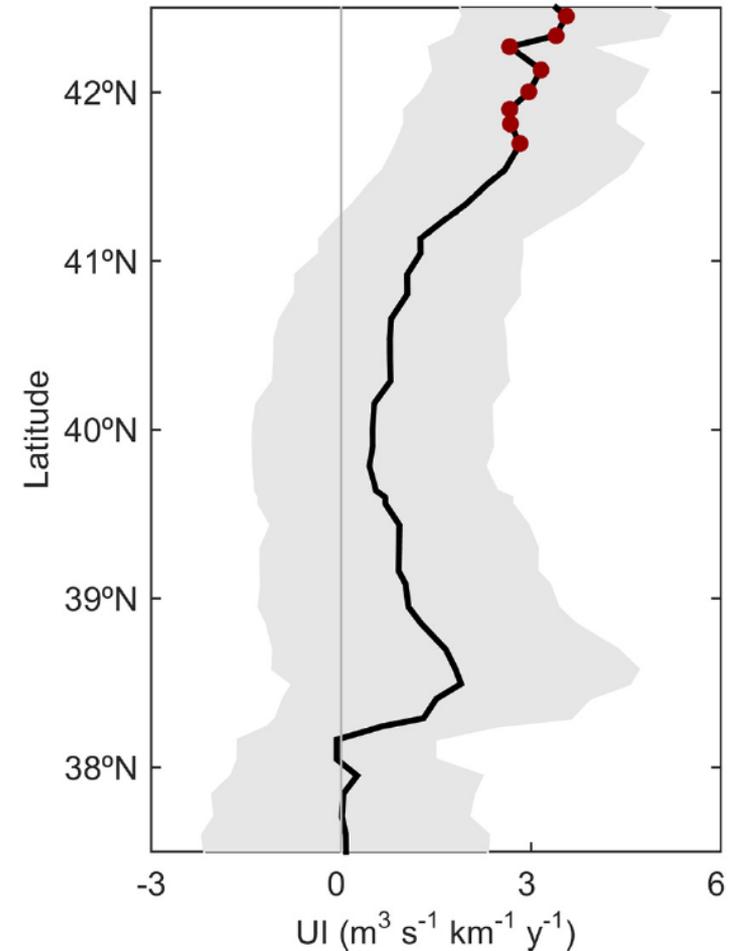
Daiwei Wang<sup>1</sup>, Tariq C. Gouhier<sup>2</sup>, Bruce A. Menge<sup>3</sup> & Auroop R. Ganguly<sup>1</sup>



# Península Ibérica

A finales de S. XXI el afloramiento

- ▶ Habrá aumentado en la mayor parte de la fachada atlántica
- ▶ Ese aumento será especialmente patente en Galicia



Why coastal upwelling is expected to increase along the western Iberian Peninsula over the next century?



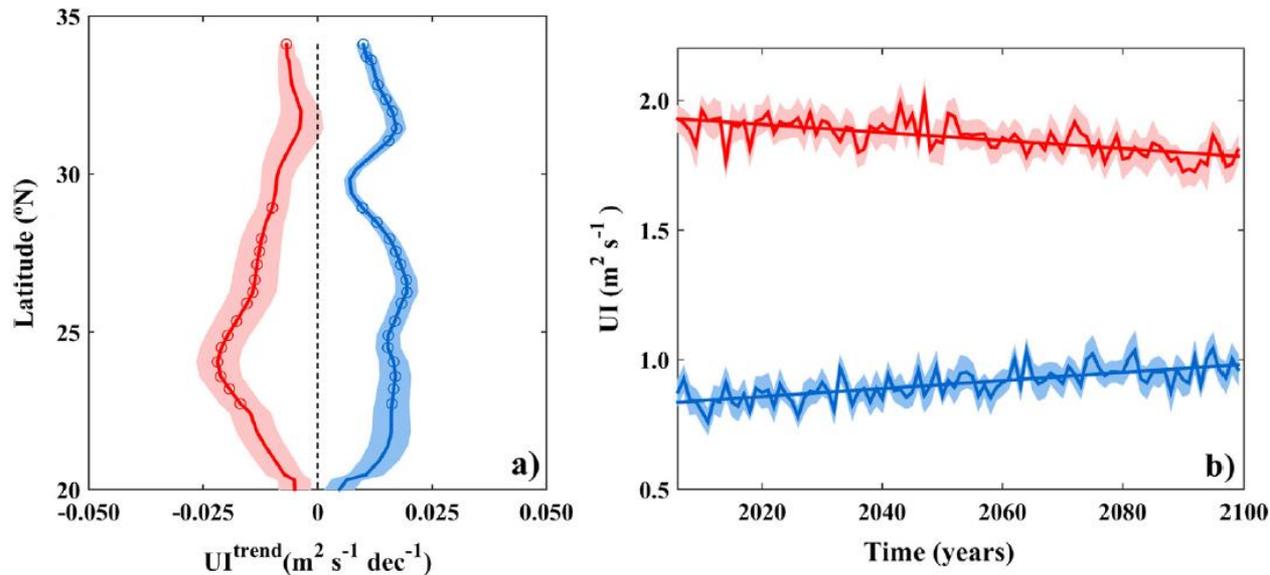
Magda Catarina Sousa <sup>a,\*</sup>, Maite deCastro <sup>b</sup>, Ines Alvarez <sup>a,b</sup>, Moncho Gomez-Gesteira <sup>b</sup>, João Miguel Dias <sup>a</sup>



# Canarias

A finales de S. XXI el afloramiento

- ▶ Habrá disminuido para Mayo–Agosto (en rojo)
- ▶ Habrá aumentado para Octubre–Abril (en azul)



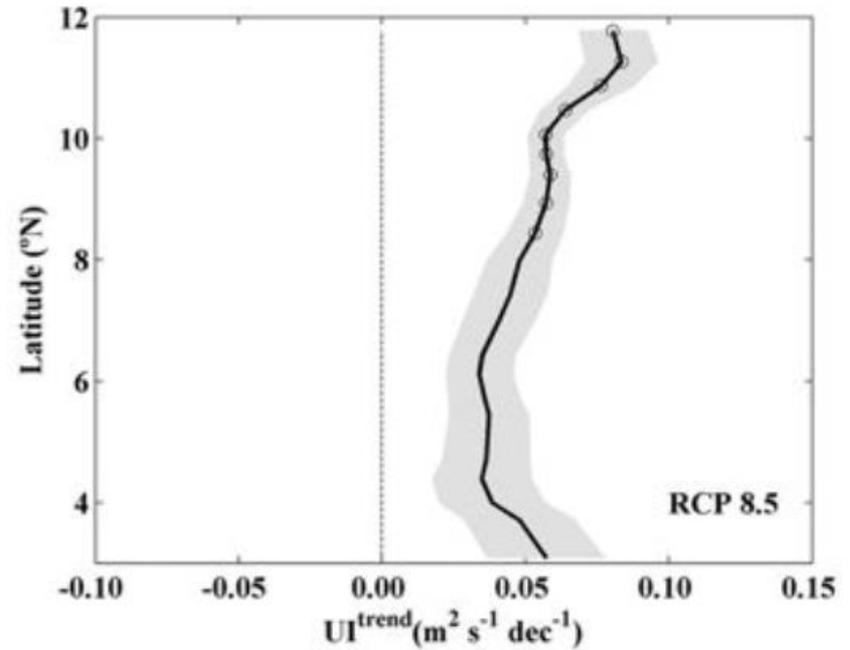
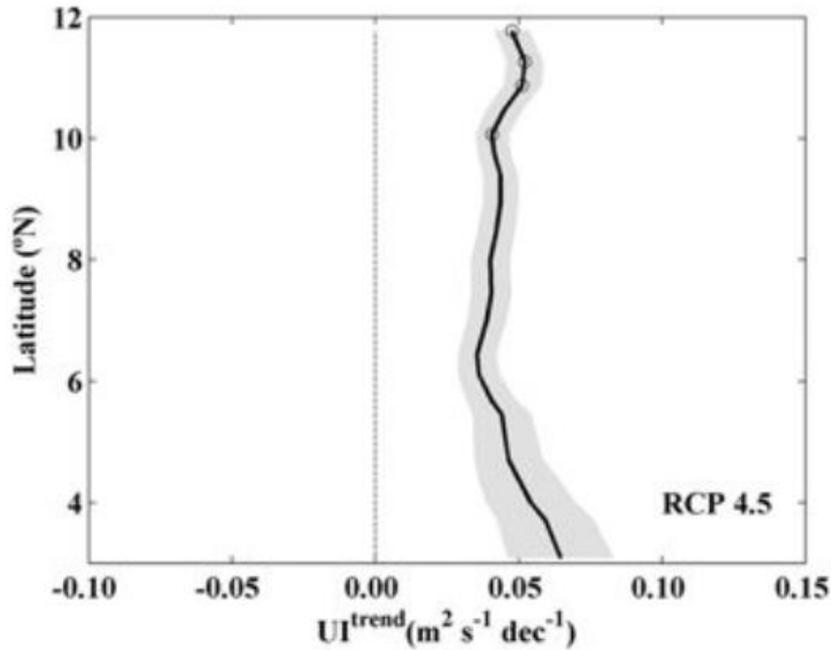
Seasonality of coastal upwelling trends under future warming scenarios along the southern limit of the canary upwelling system



Magda Catarina Sousa<sup>a,\*</sup>, Ines Alvarez<sup>a,b</sup>, Maite deCastro<sup>b</sup>, Moncho Gomez-Gesteira<sup>b</sup>, João Miguel Dias<sup>a</sup>

# Somalia

El afloramiento crecerá durante el siglo XXI aun más que en los EBU



SCIENTIFIC REPORTS

Article | OPEN | Published: 21 July 2016

How will Somali coastal upwelling evolve under future warming scenarios?

M. deCastro , M. C. Sousa, F. Santos, J. M. Dias & M. Gómez-Gesteira



# Biogeoquímica

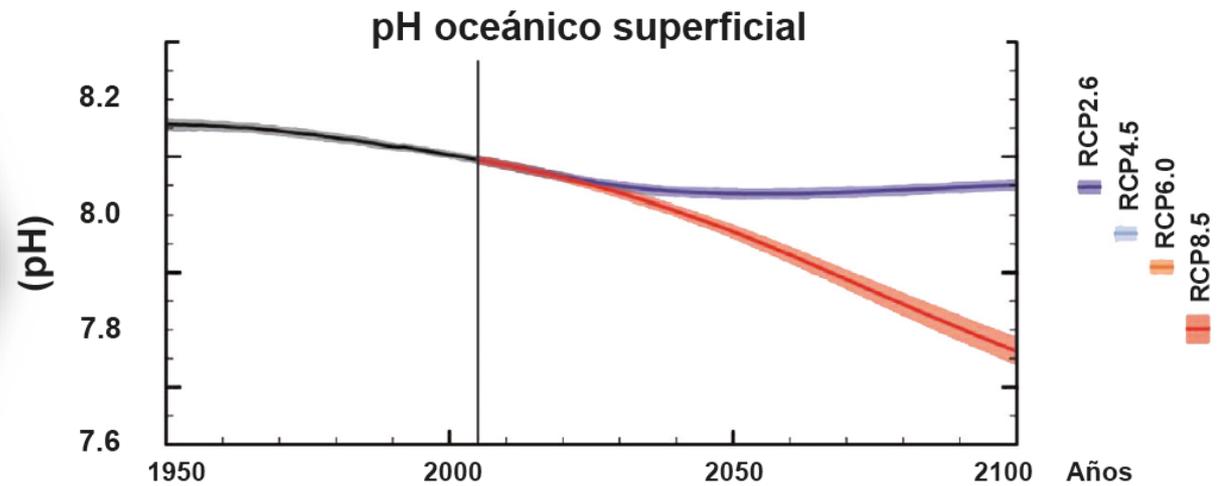


Environmental | Physics | Laboratory  
EPhysLab

Universida de Vigo

# Clima futuro: pH

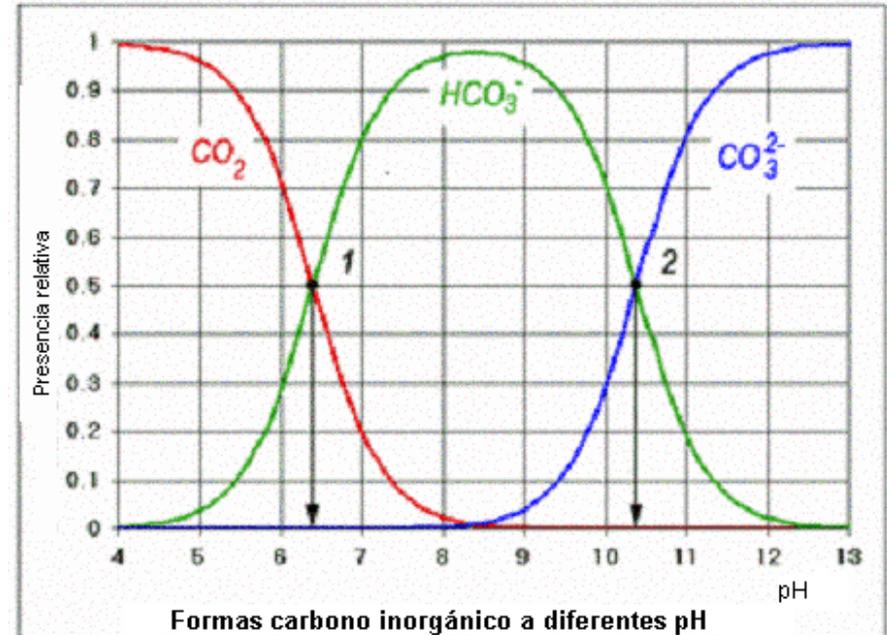
Evolución del pH en la superficie del océano para distintos escenarios.



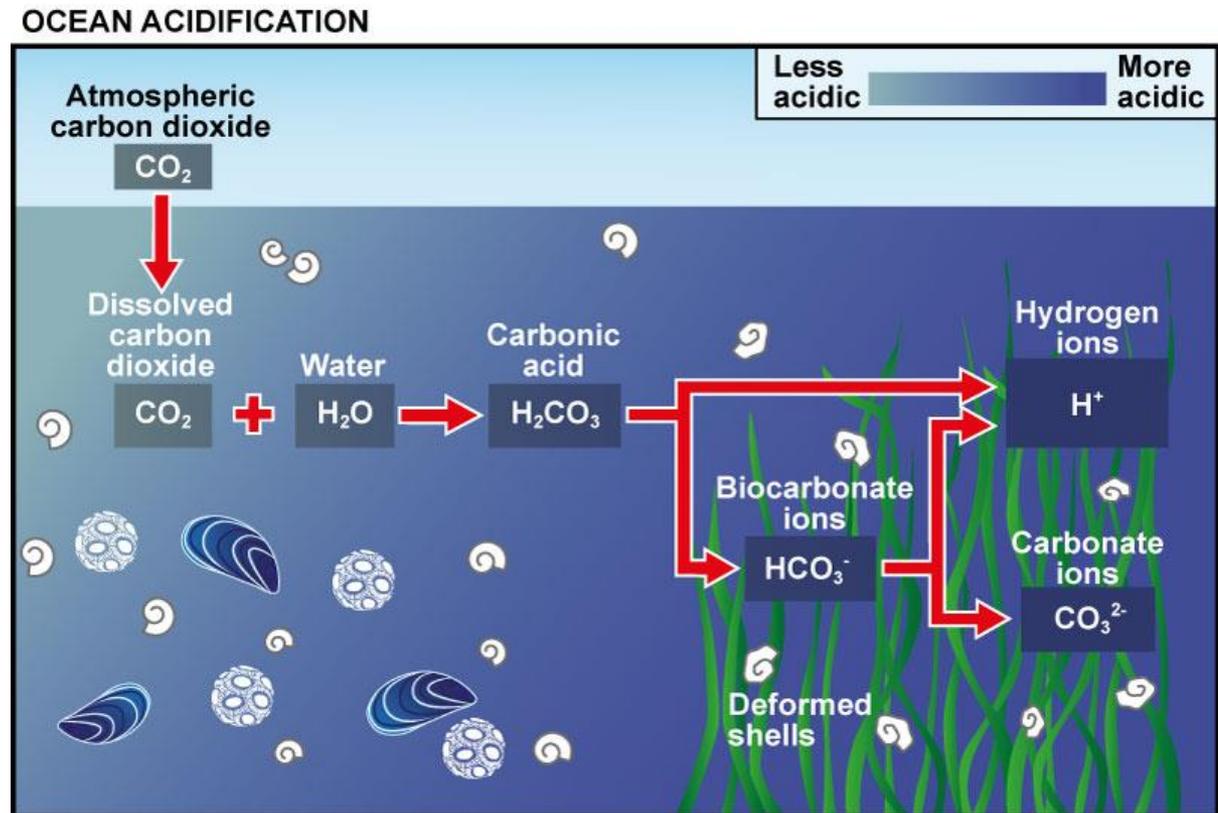
El dióxido de carbono que está sobre el mar interactúa con las moléculas de agua de las capas superficiales produciendo ácido carbónico, que es un compuesto intermedio que reacciona con los iones de hidrógeno e iones bicarbonato presentes en el agua de manera natural



CO<sub>2</sub> en agua  
dependiendo  
del PH

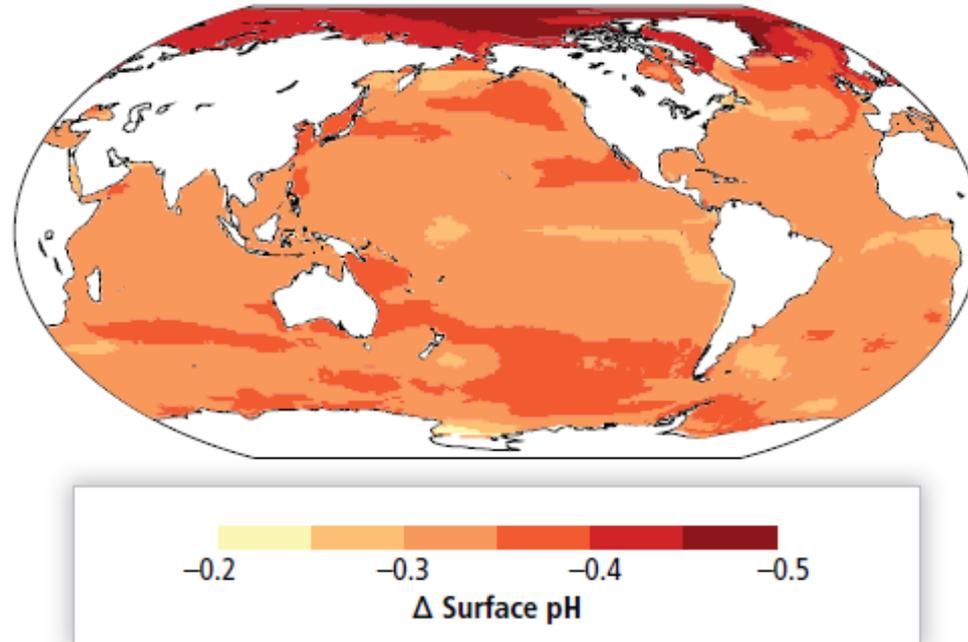


Los moluscos dependen de la existencia continua de concentraciones de iones carbonatos para producir el carbonato cálcico necesario para formar su concha. La acidificación merma los niveles de iones carbonatos lo que puede ralentizar la producción de carbonato cálcico por parte de organismos marinos como el coral, las algas y el fitoplancton.



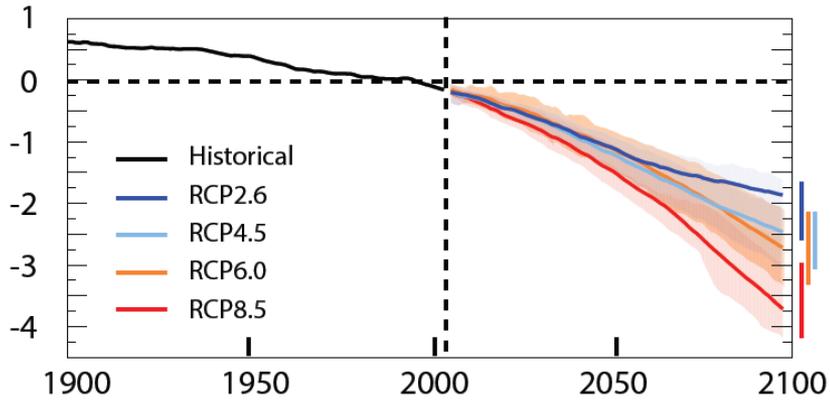
# Clima futuro: pH

(b) Change in surface pH in 2090s from 1990s (RCP8.5)



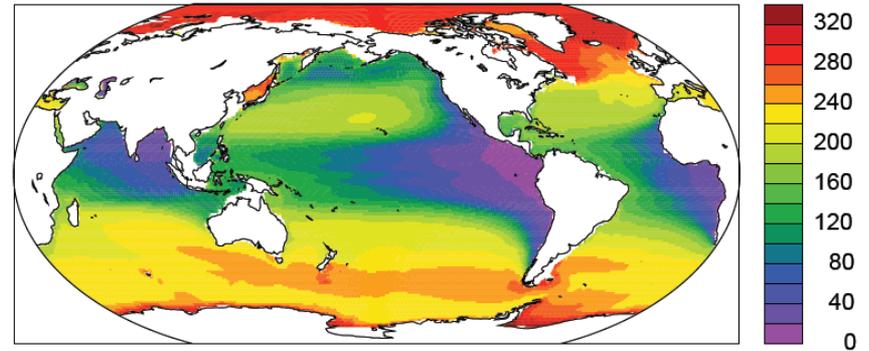
# Clima futuro: O<sub>2</sub>

a. Ocean oxygen content change (%)



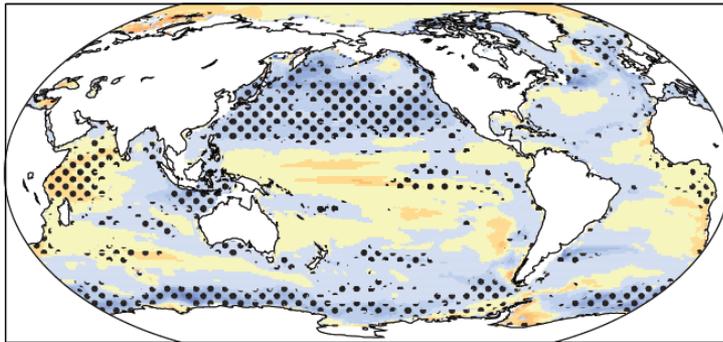
b. Oxygen concentrations (200-600m)

1990s



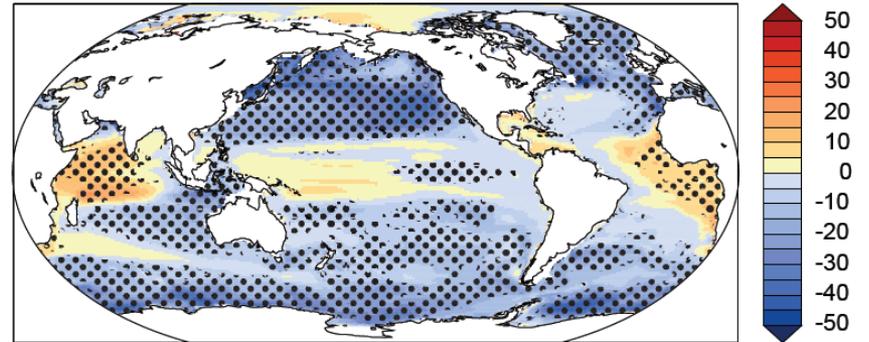
c. 2090s, changes from 1990s

RCP2.6



d. 2090s, changes from 1990s

RCP8.5

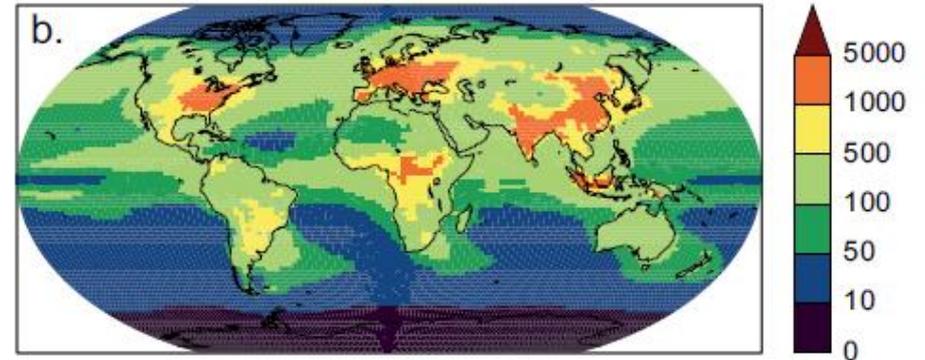


(mmol m<sup>-3</sup>)

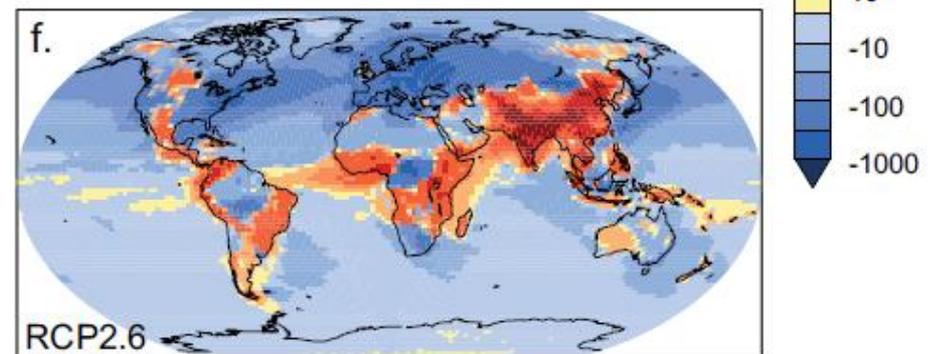
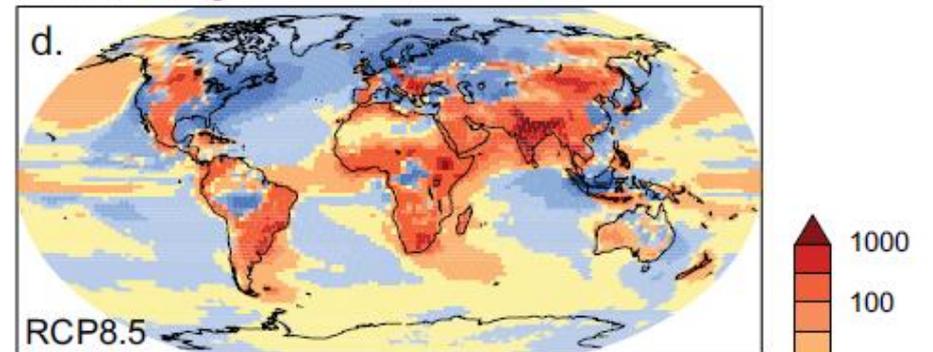
# Clima futuro: N

N deposition ( $\text{kgN km}^{-2} \text{y}^{-1}$ )

1990s



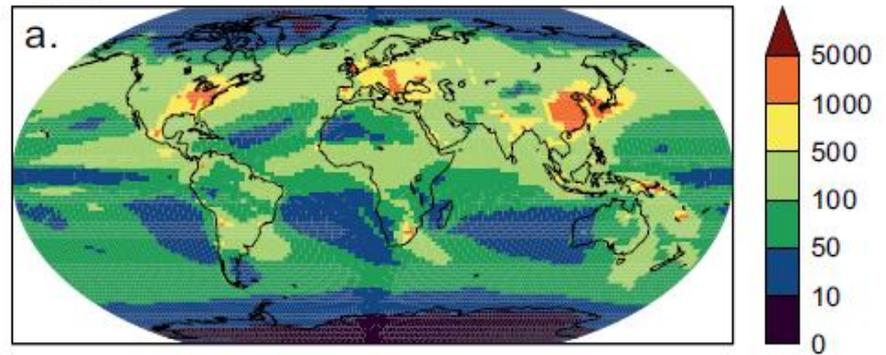
2090s, changes from 1990s



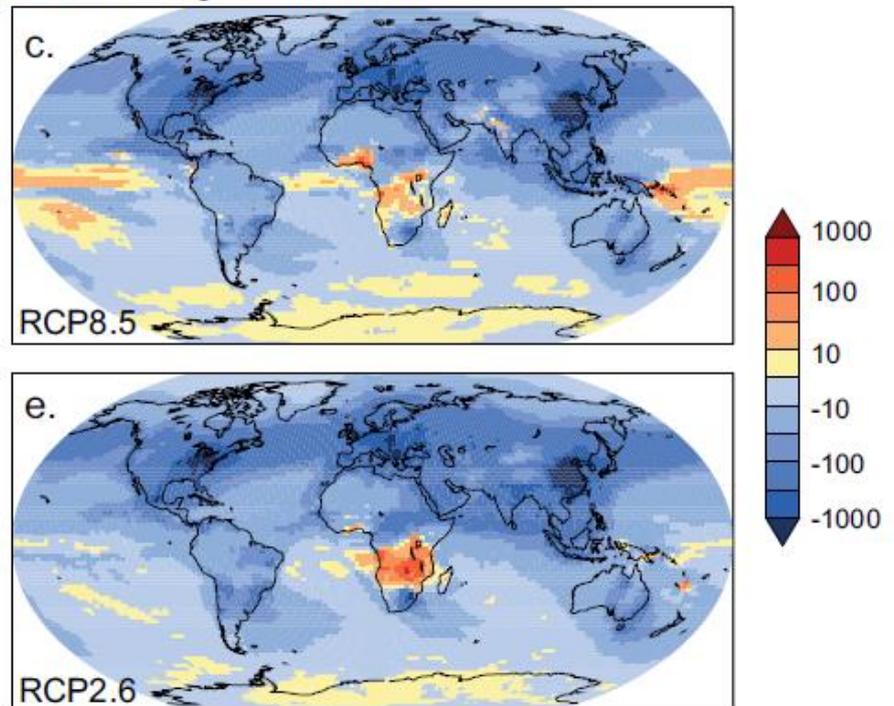
# Clima futuro: S

SO<sub>x</sub> deposition (kgS km<sup>-2</sup> y<sup>-1</sup>)

1990s



2090s, changes from 1990s



**Siguiente por sectores**

