COMPUTATIONAL
CLIMATE & OCEAN GROUP
at UC Davis



IA para los océanos y los sistemas marinos

Comprender mejor y reforzar la resiliencia

Maike Sonnewald

Escuela de verano Climate Change AI 2026

UCDAVIS

Índice

El océano físico, químico y biológico

¿Qué está cambiando?

Calentamiento, nivel del mar, acidificación, olas de calor marinas y sus efectos en cadena sobre el plancton y la pesca

¿Qué datos hay para comprender y predecir el océano?

Observación in situ, teledetección y modelos numéricos, y las lagunas de cada uno

¿Por qué el AA?

Breve introducción y panorama

Estudios de caso

pCO_2 por satélite, plancton antártico, atribución de olas de calor y circulación del océano Atlántico

¿Debería llamarse planeta Océano?

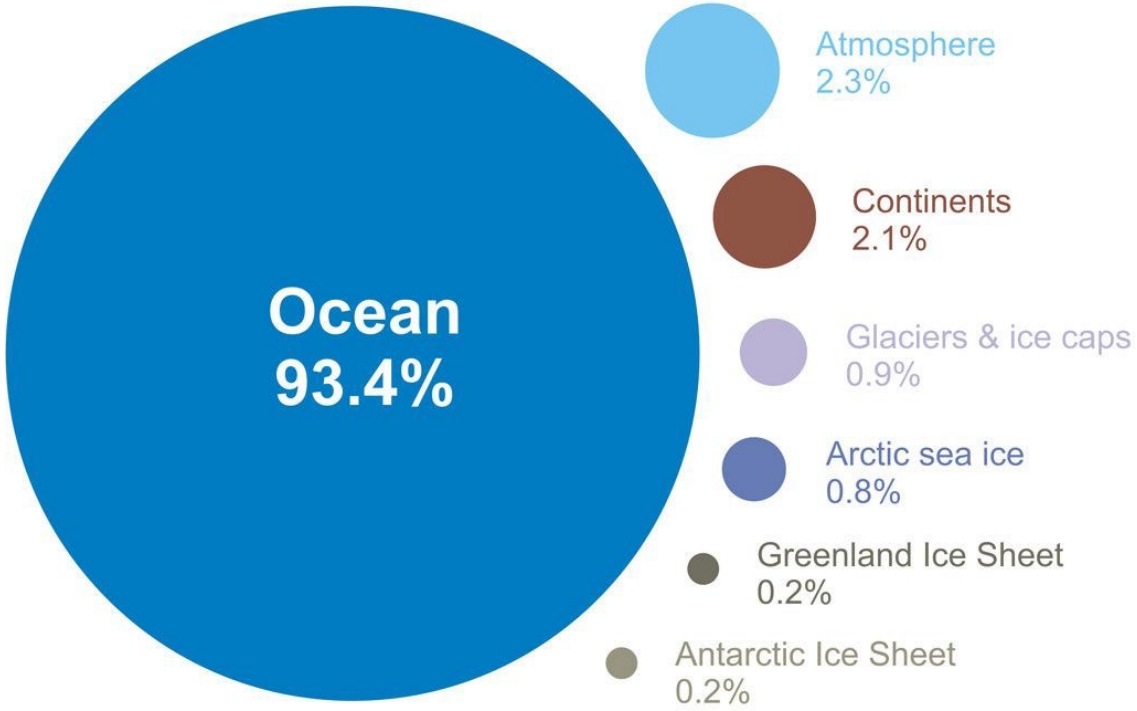
El océano cubre cerca del 70 % de la superficie terrestre y contiene el 97 % de su agua.



¿Qué parte del calor añadido por el ser humano va al océano?

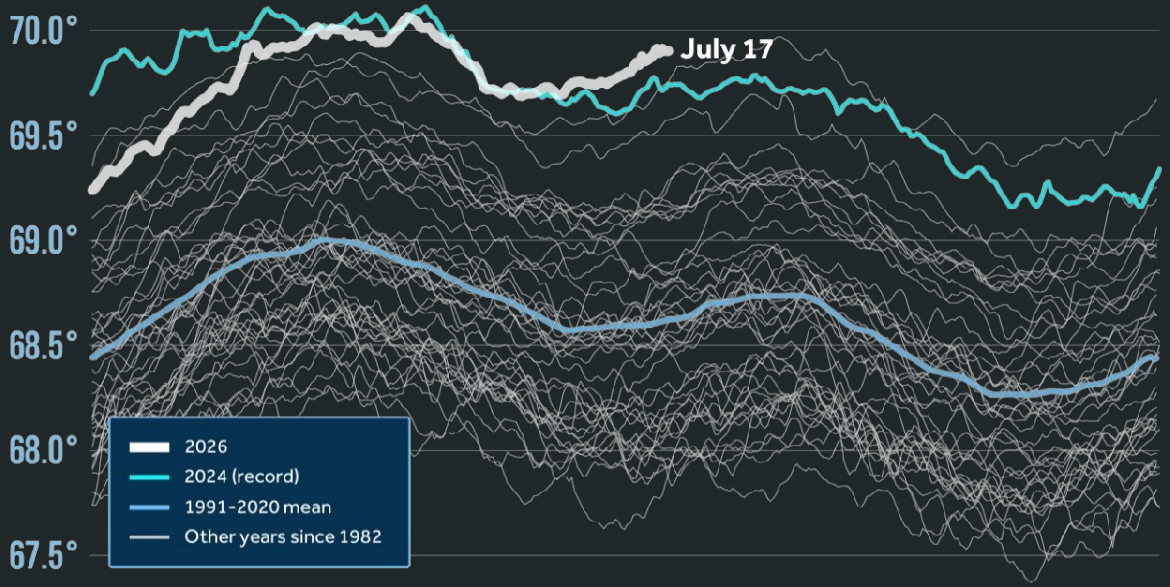
https://partici.fi/86456312

Where is global warming going?



http://skepticalscience.com/

Temperatura diaria de la superficie del océano mundial (ºF)



Data for 2026 includes January 1 through July 17. Source: NOAA OISSTv2.1.

Los servicios que presta el océano



71%

of Earth's surface is ocean



~90%

of global-warming heat is stored in the ocean



~25%

of our CO_2 emissions absorbed by the sea



50%+

of the oxygen you breathe made by ocean plankton

El océano tiene cuencas de distintos tamaños

La más pequeña: el Ártico, 5,4 millones de millas cuadradas

La más grande: el Pacífico, > 60 millones de millas cuadradas

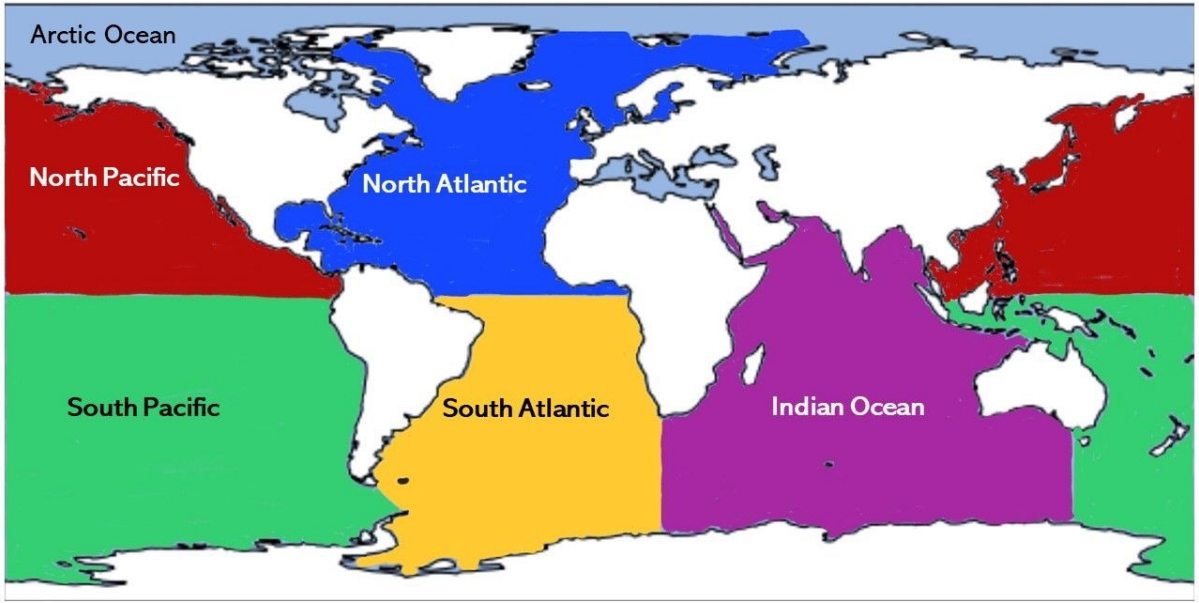
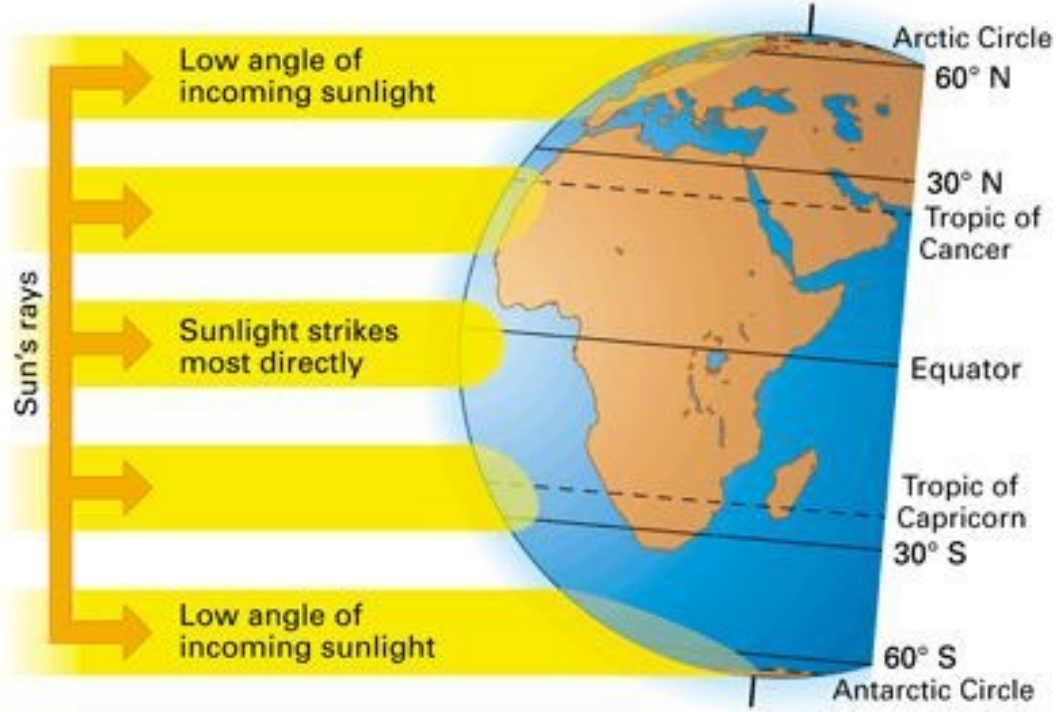


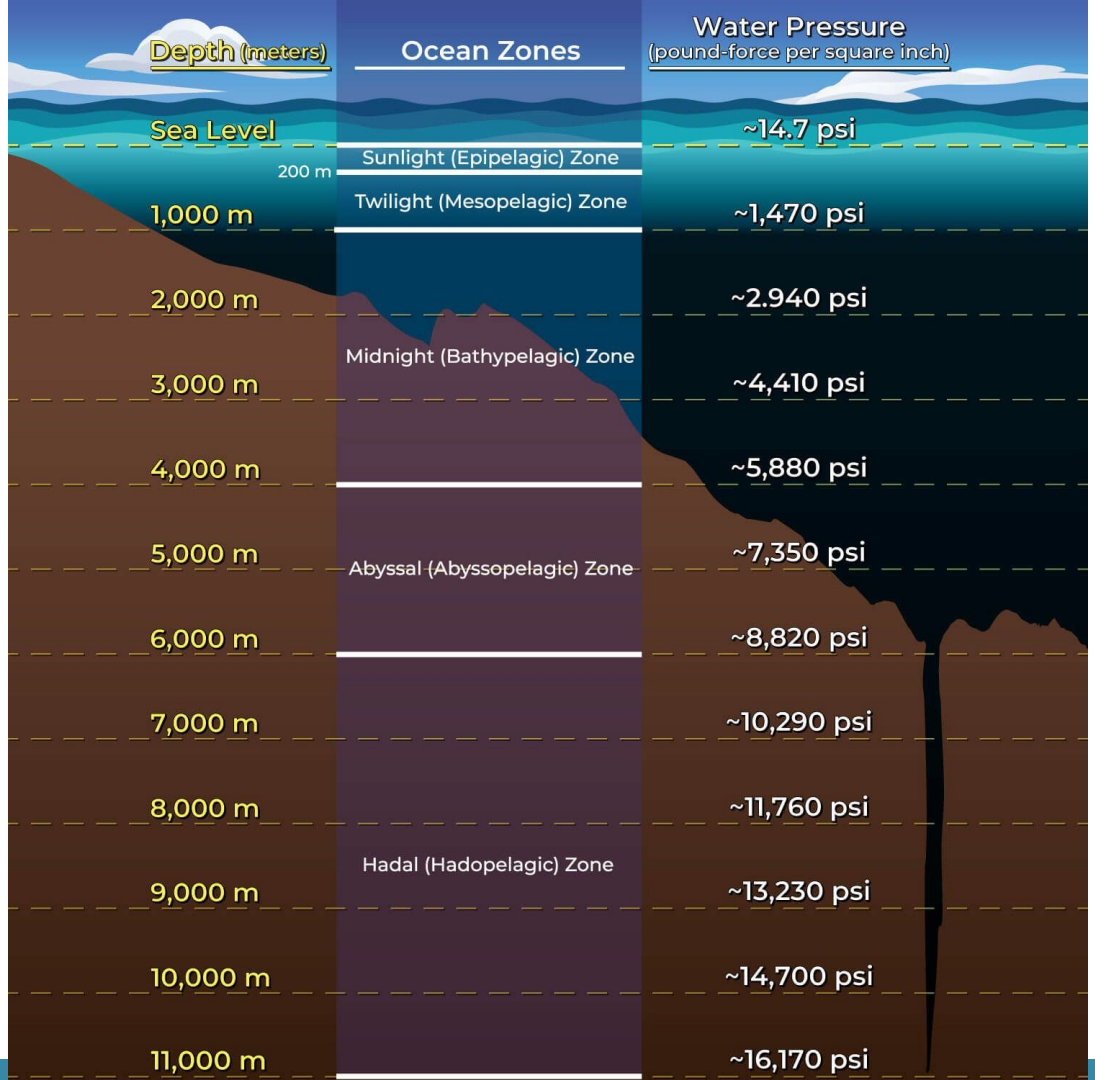
Imagen: wikipedia.com

El calentamiento desigual tiene un gran impacto



himaya.com

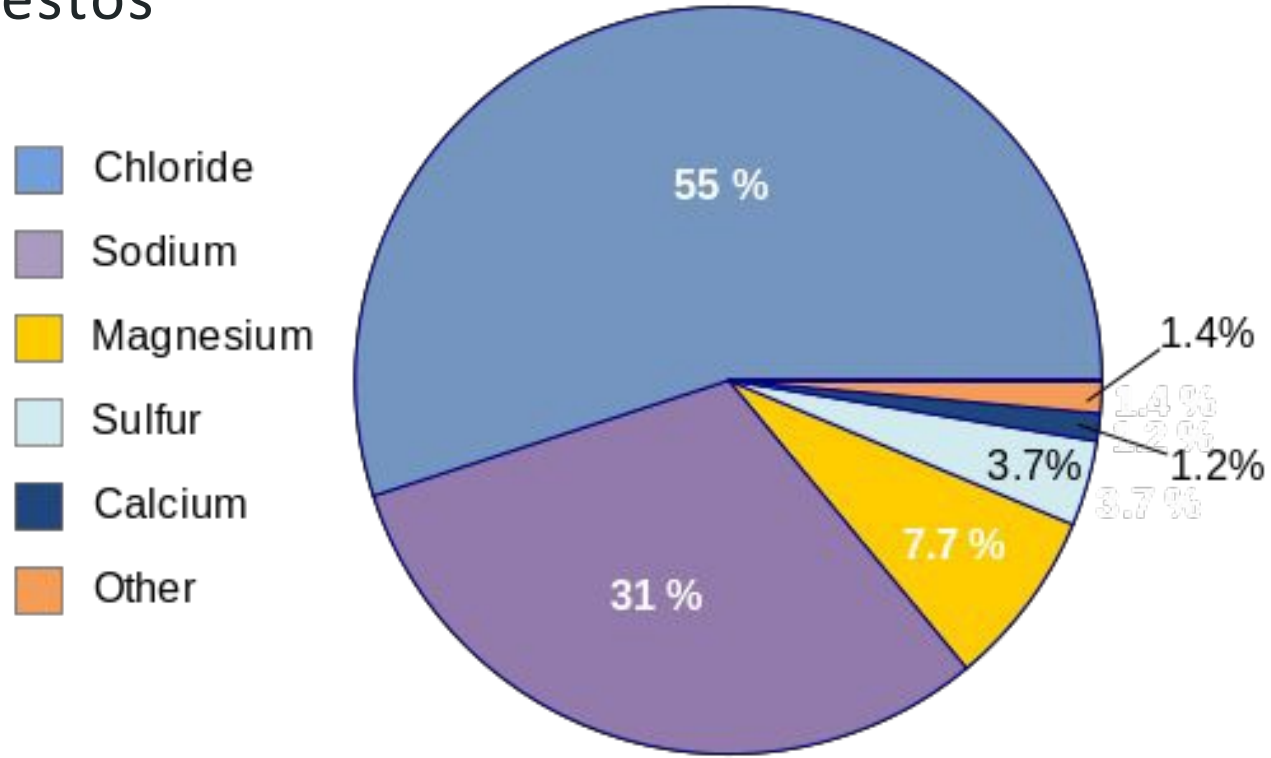
Luz



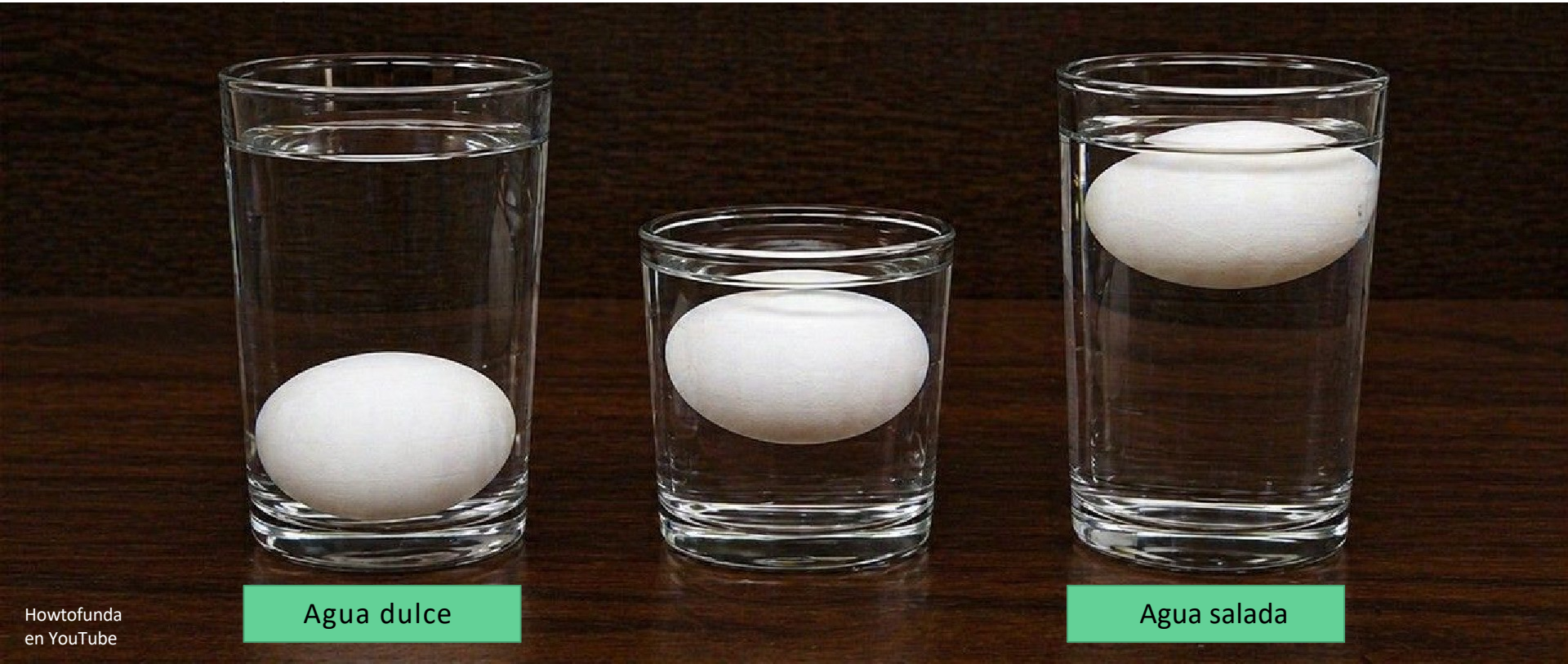
Presión

surfertoday.com

El agua de mar está compuesta de agua y otros compuestos

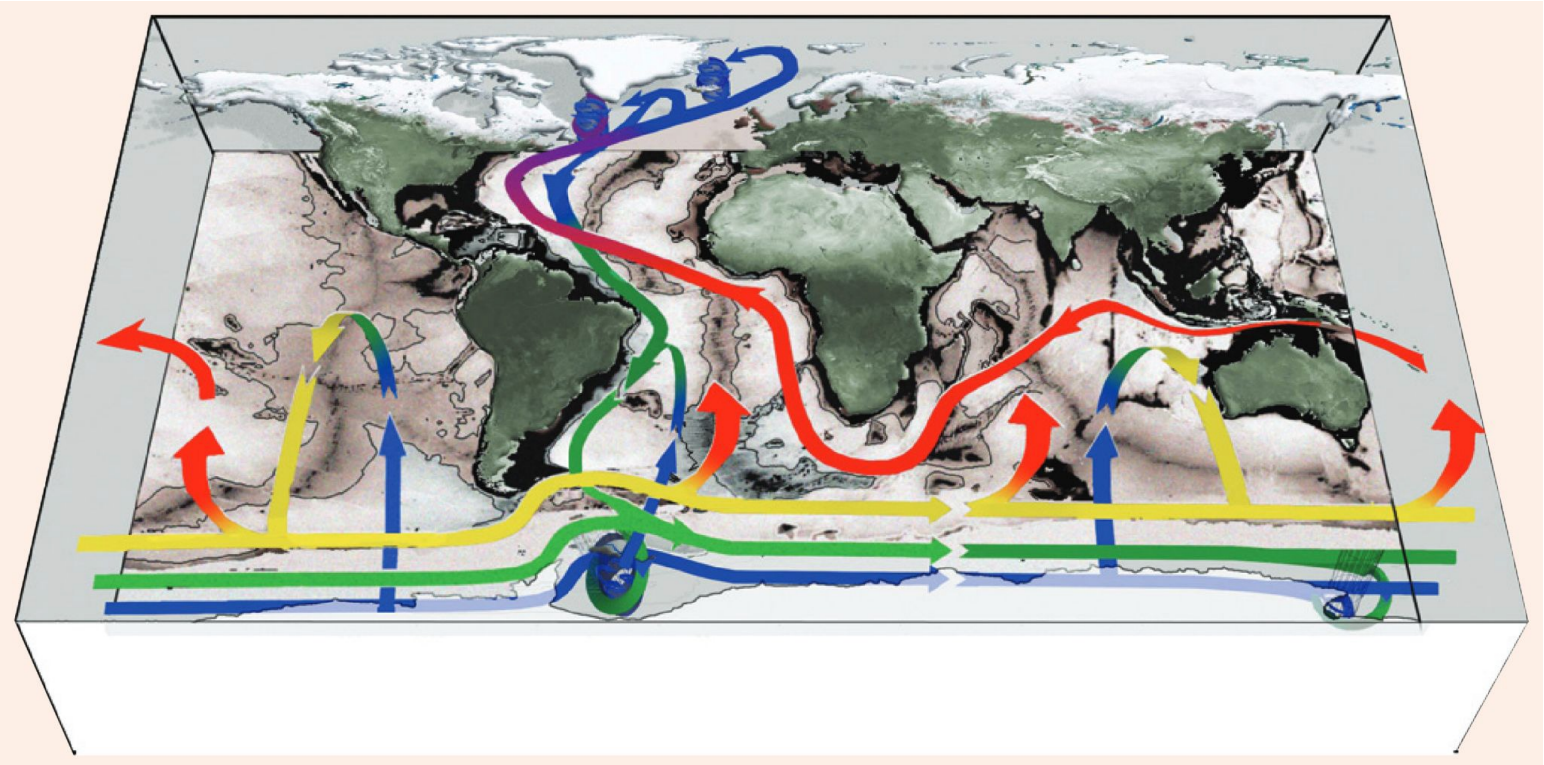


El agua salada es más densa que el agua dulce



Howtofunda
en YouTube

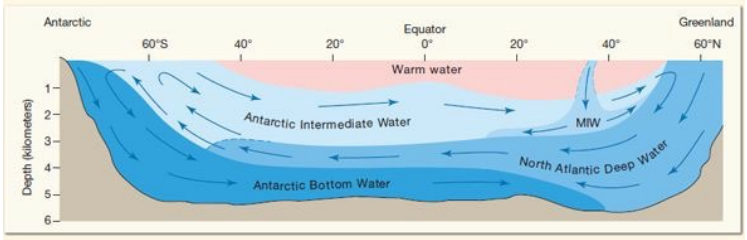
La circulación oceánica es un fenómeno global emergente



[Marshall & Speer, 2012]

Frío Caliente

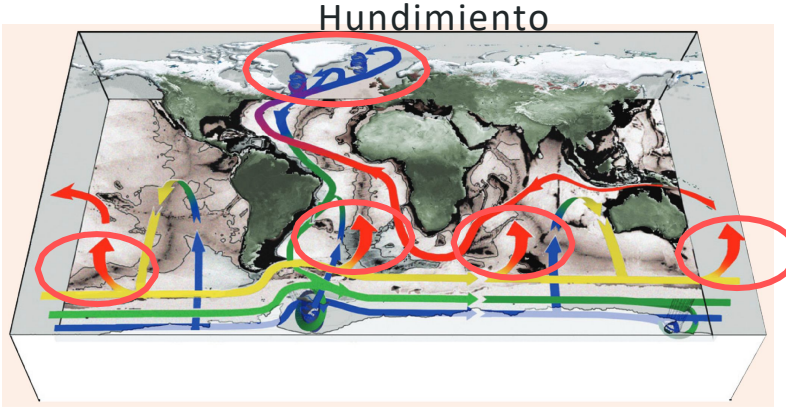
Una «cinta transportadora» global



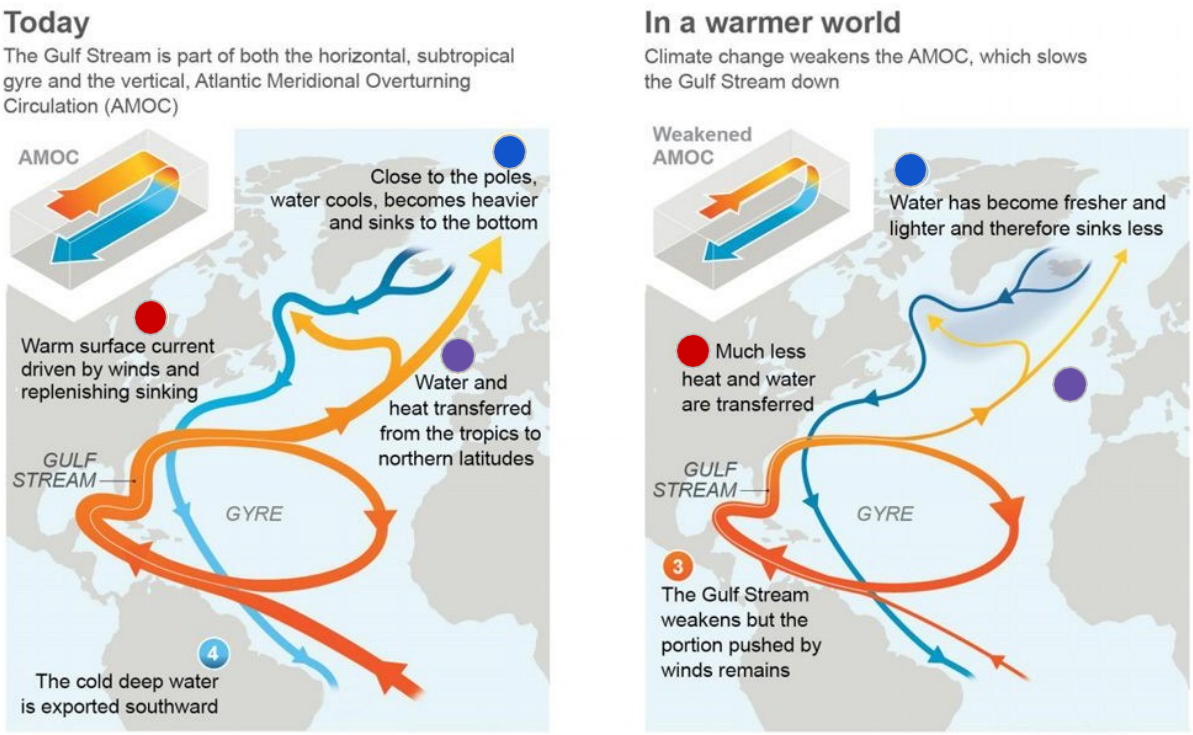
- El calentamiento/enfriamiento asimétrico, junto con el rechazo de salmuera al formarse el hielo, crea la circulación termohalina
- Se denomina «circulación meridional de vuelco»

Los cambios en la circulación de vuelco tienen un gran impacto climático

- El océano está estratificado, con el agua más pesada/densa en el fondo
- El intenso enfriamiento y la formación de hielo en los polos crean aguas muy densas



Las grandes corrientes pueden cambiar en un clima más cálido: el ejemplo de la Corriente del Golfo

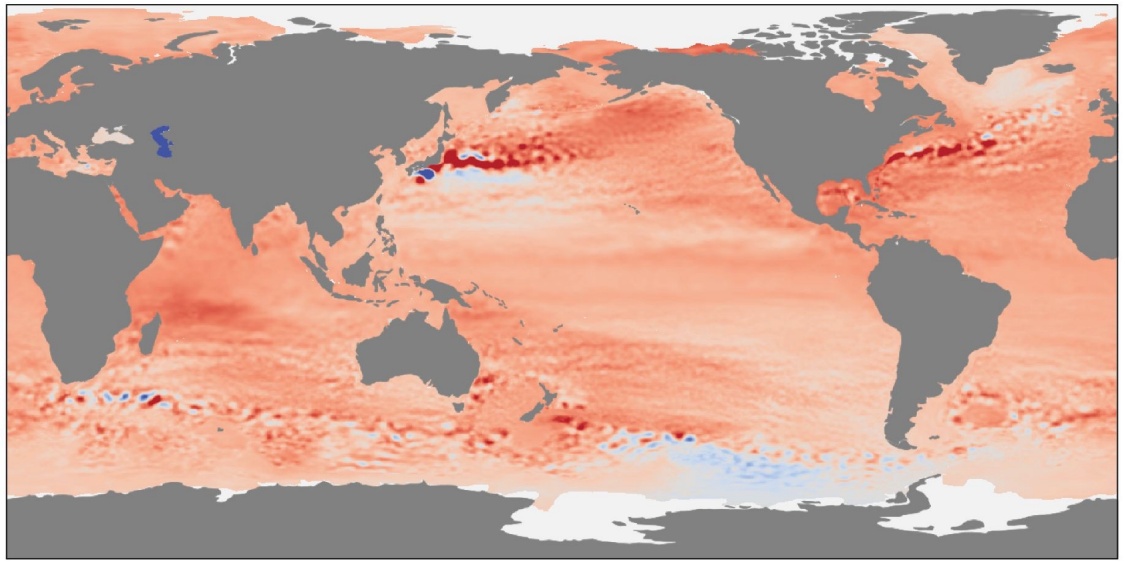


- La Corriente del Golfo se desplaza al norte
- Cambia la trayectoria del aporte de calor
- Aguas menos densas/pesadas

Sexto Informe de Evaluación del IPCC

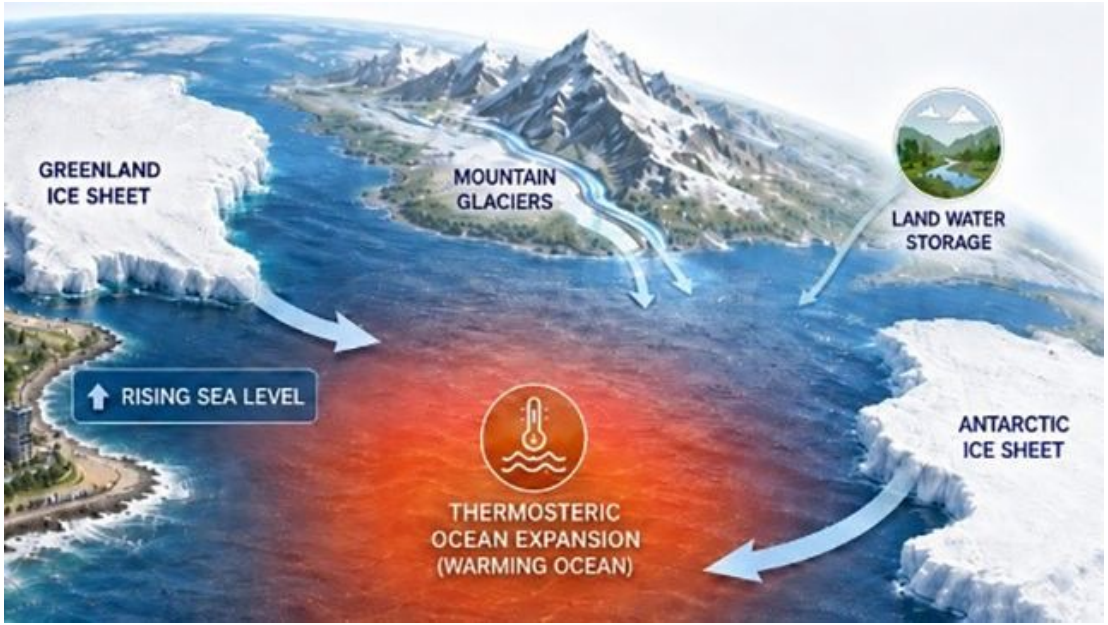
Sea level trends from February 1999 to May 2025

Data: CMEMS Ocean Monitoring Indicator based on C3S sea level product • Credit: C3S/ECMWF/CMEMS



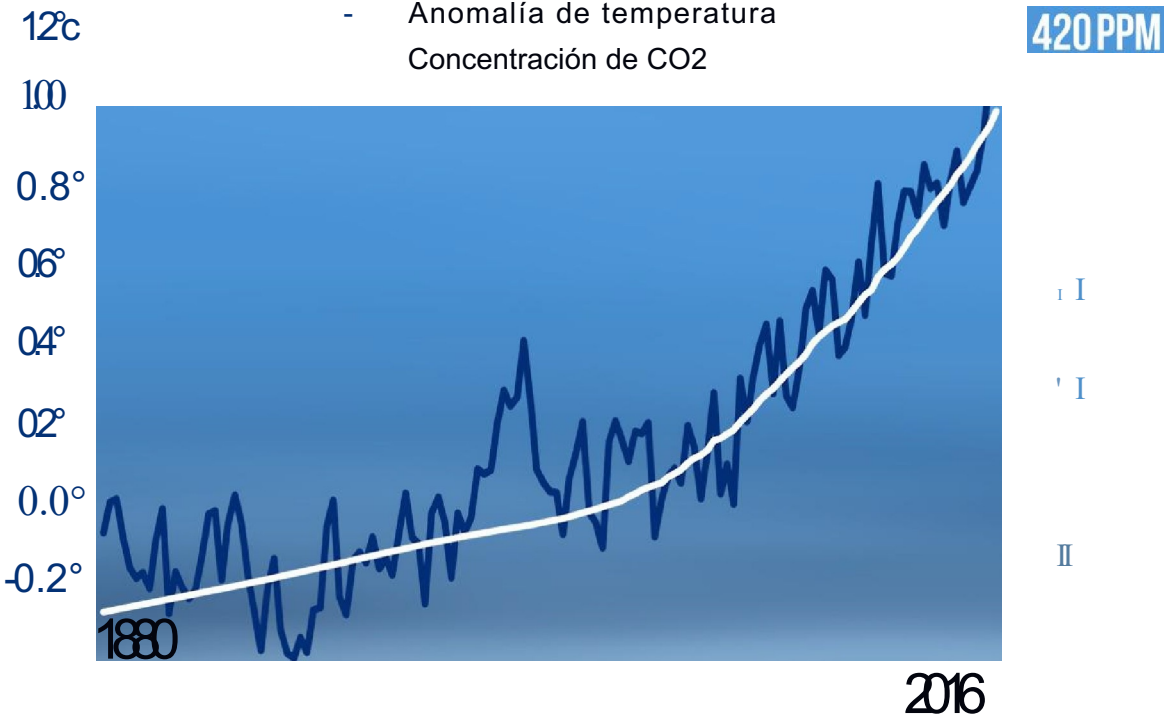
PROGRAMME OF THE EUROPEAN UNION
Copernicus Europe's eyes on Earth
Climate Change Service
IMPLEMENTED BY ECMWF

El aumento del nivel del mar tiene varias causas



sciencealert.com

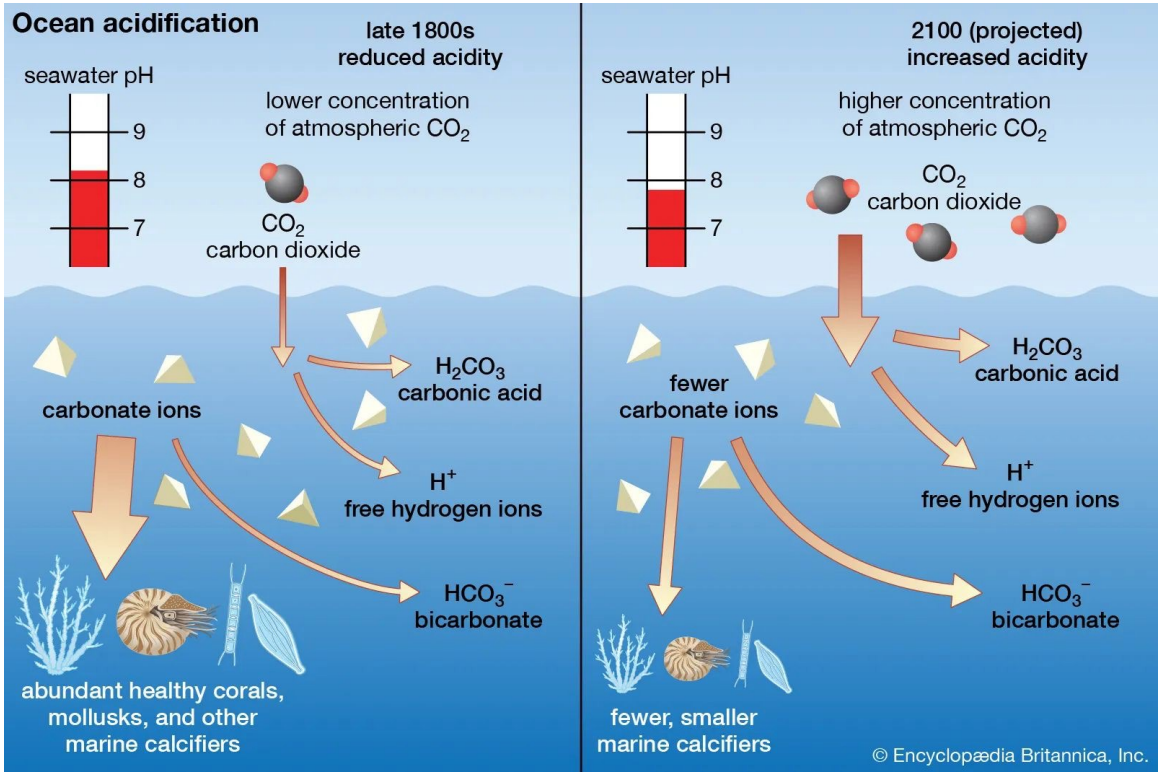
Temperatura mundial y dióxido de carbono



Global temperature data averaged and adjusted to early industrial baseline (1881-1910).
Source: NASA GISS, NOAA NCEI, ESRL

CLIMATE CENTRAL

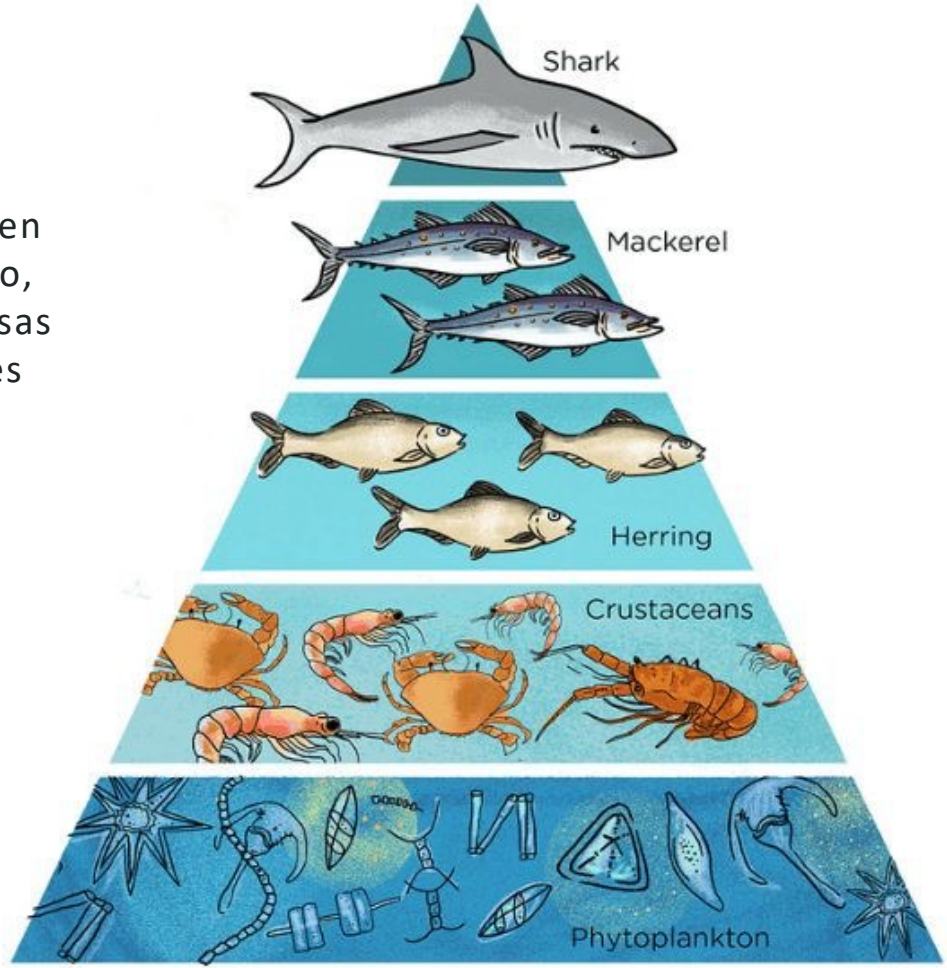
El cambio climático hará el océano más ácido



britanica.com

La vida marina

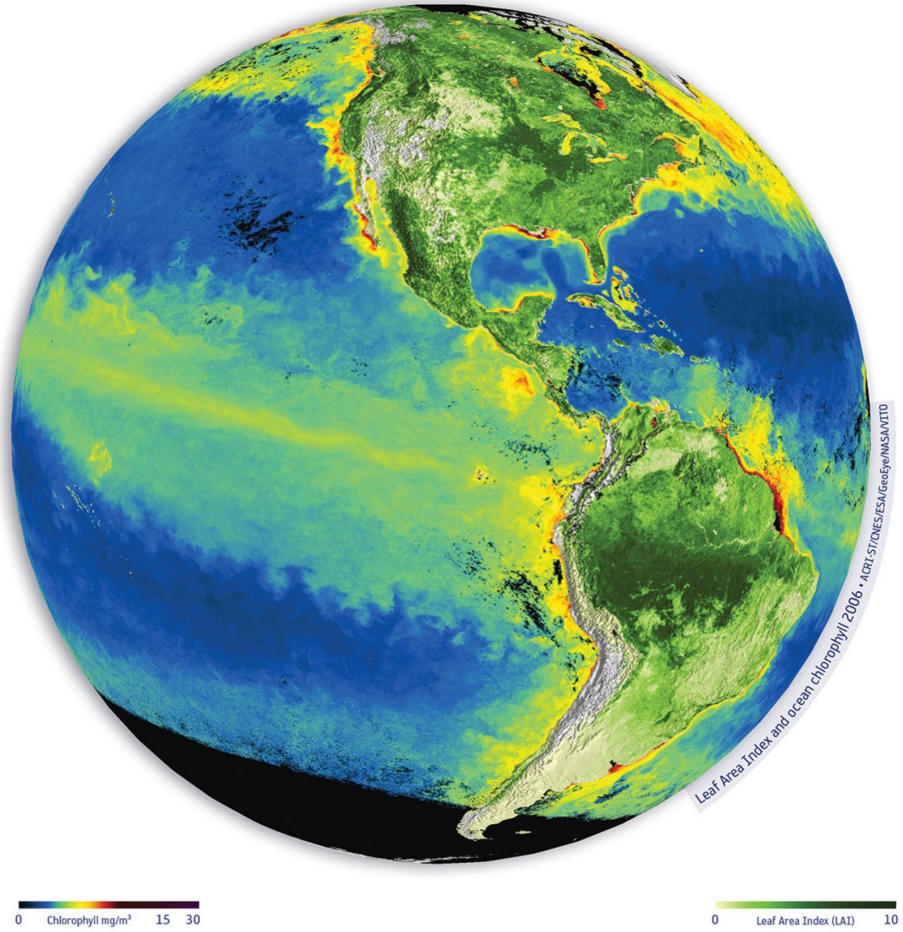
La red trófica se apoya en las «plantas» del océano, con especies muy diversas en los niveles superiores



ocean.org

La base: el plancton

Como las plantas terrestres, el plancton produce clorofila y necesita luz y nutrientes para crecer; hay muchos tipos



La base: el plancton

La gran variedad de tipos abarca varios órdenes de magnitud de tamaño y ocupa distintos «nichos», que se expresan, por ejemplo, en lo que necesitan para prosperar:

¡Algunos construyen conchas y otros fabrican sus propios nutrientes!

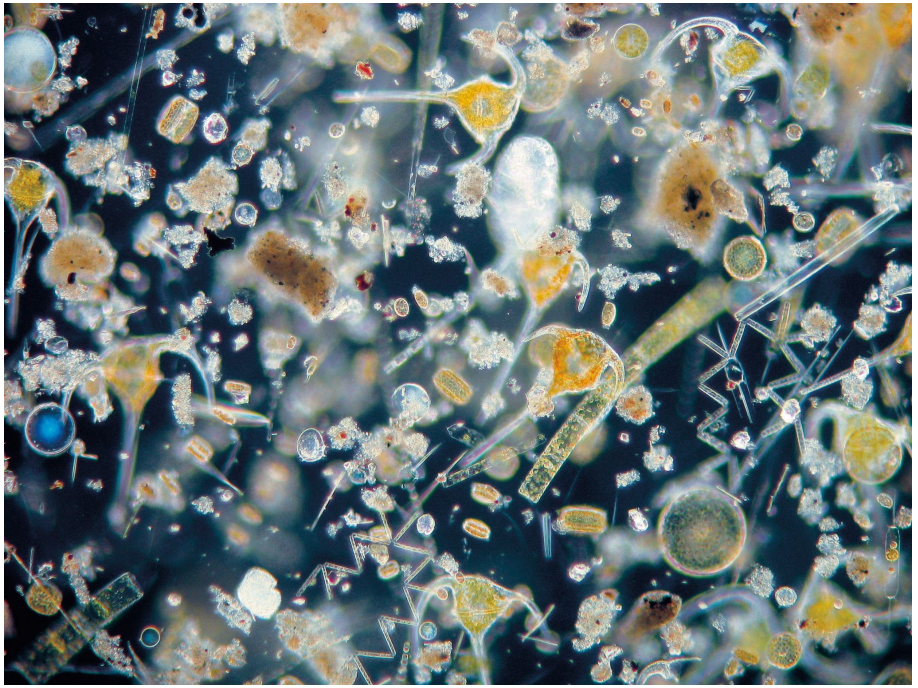
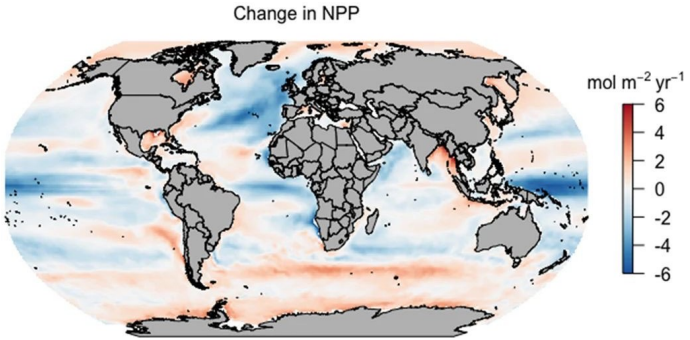


Foto: Annegret Stuhr, GEOMAR

La base: el plancton

Se prevé que la producción primaria neta (PPN) cambie drásticamente



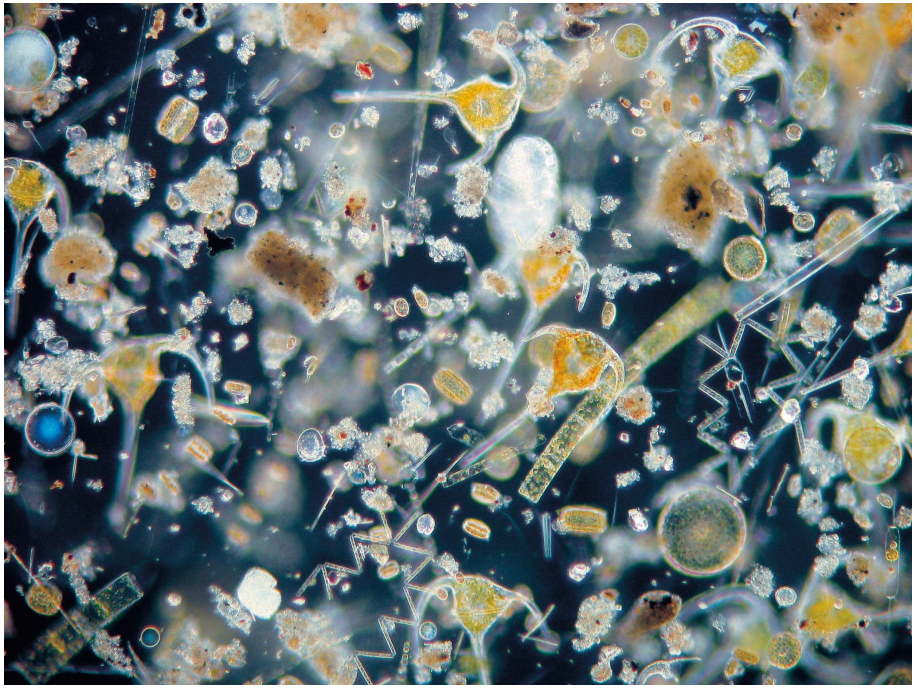


Foto: Annegret Stuhr, GEOMAR

Ratnarajah et al., 2023

La base: el zooplancton

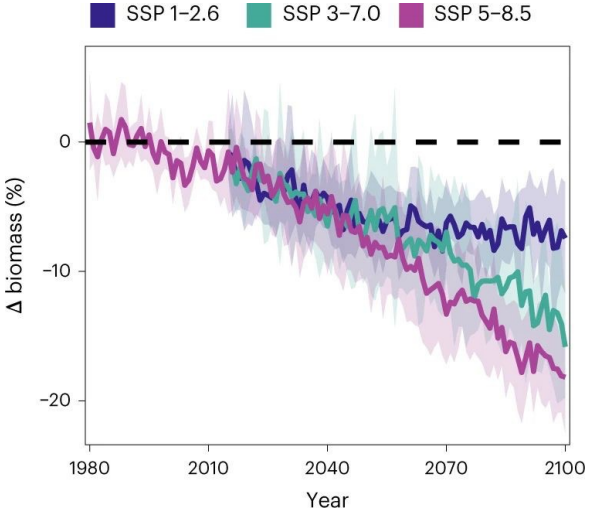
Estos organismos microscópicos que «pastan» otro plancton también varían mucho de tamaño y forma



Tyler Rohr http://communities.springernature.com/

Pesca y conservación

Los peces dependen del zooplancton para alimentarse



Heneghan et al., 2023

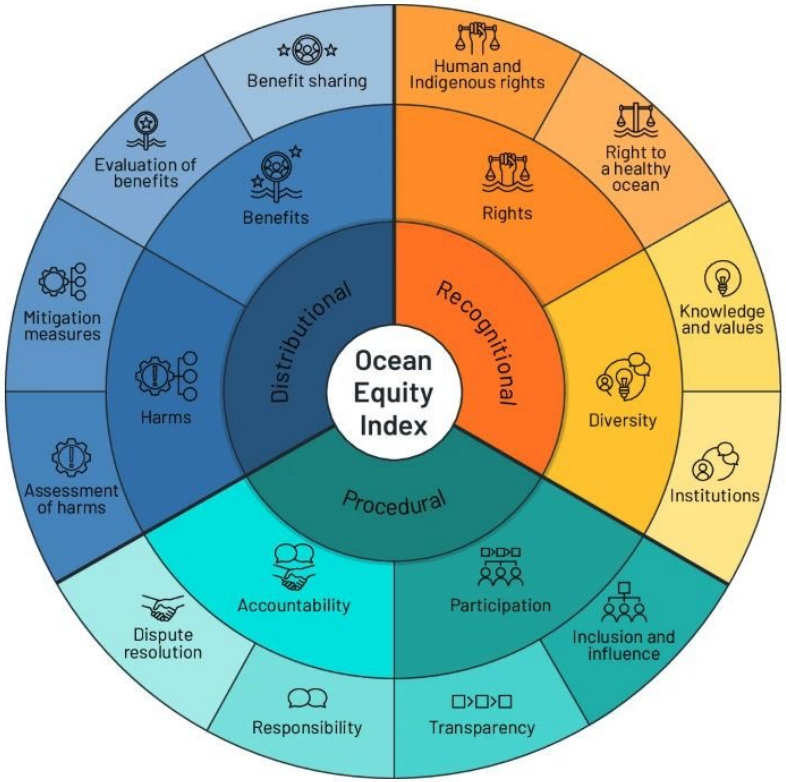


400 toneladas de jurel capturadas por un cerquero chileno.
Foto vía Wikimedia Commons.

Equidad y partes interesadas

¿Quién asume el riesgo? ¿Quién se beneficia?

Algunas comunidades son más vulnerables que otras, por ejemplo, las de Estados costeros bajos o las que viven de la pesca, y pueden no tener recursos para adaptarse



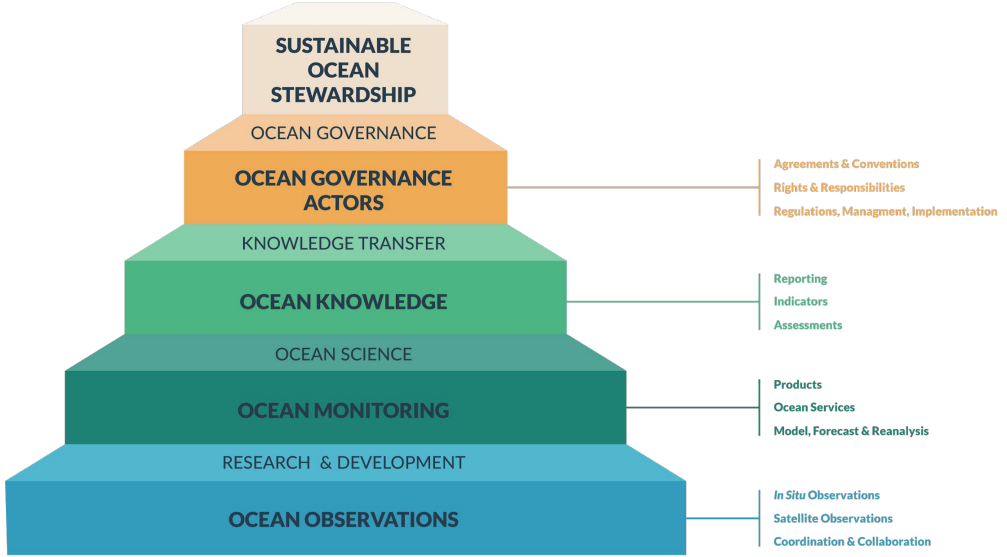
Blythe et al., 2026

Recursos y gobernanza del océano

Los recursos oceánicos abarcan muchas actividades: pesca, turismo, transporte marítimo y protección ambiental

La mayoría de los gobiernos tienen sus propias políticas, junto con algunos organismos regionales y mundiales y leyes que rigen las aguas internacionales

Existen iniciativas mundiales de conservación del océano, como el objetivo «30x30» de proteger el 30 % de la superficie terrestre y oceánica para 2030

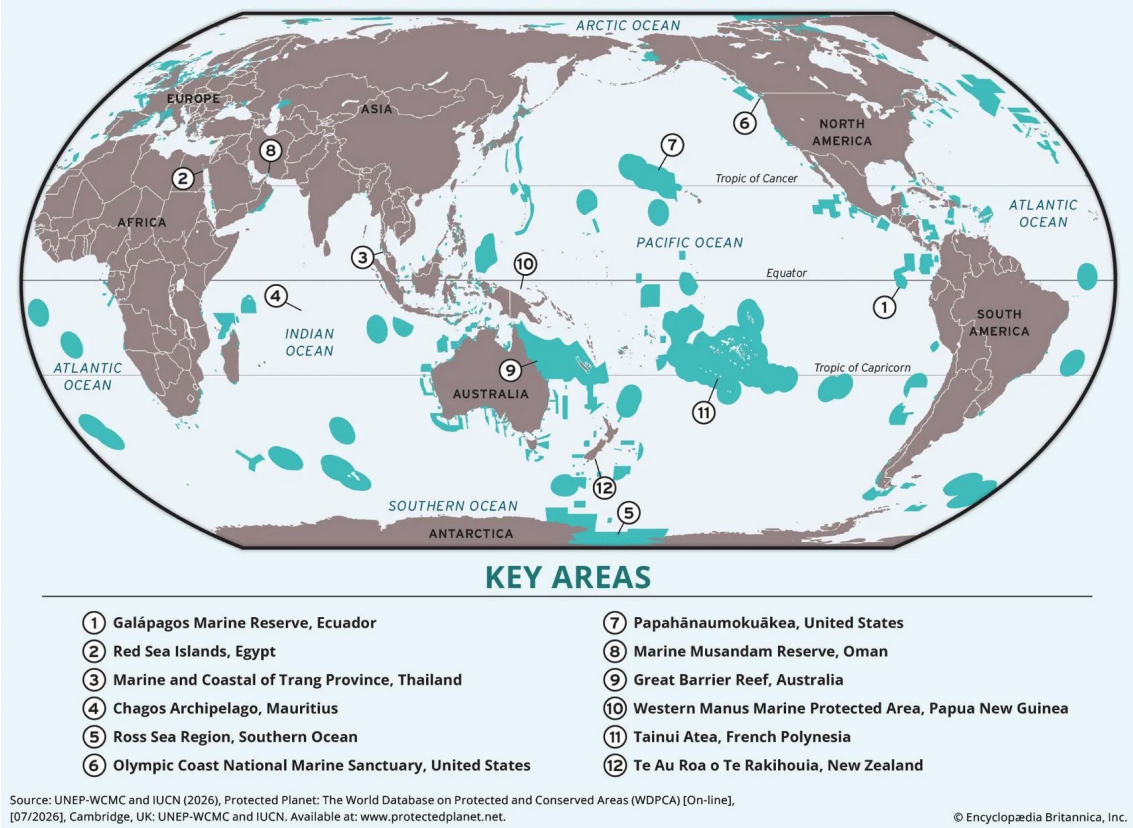


marine.copernicus.eu

2. ¿Qué parte del océano crees que es hoy un área marina protegida capaz de proteger la biodiversidad?

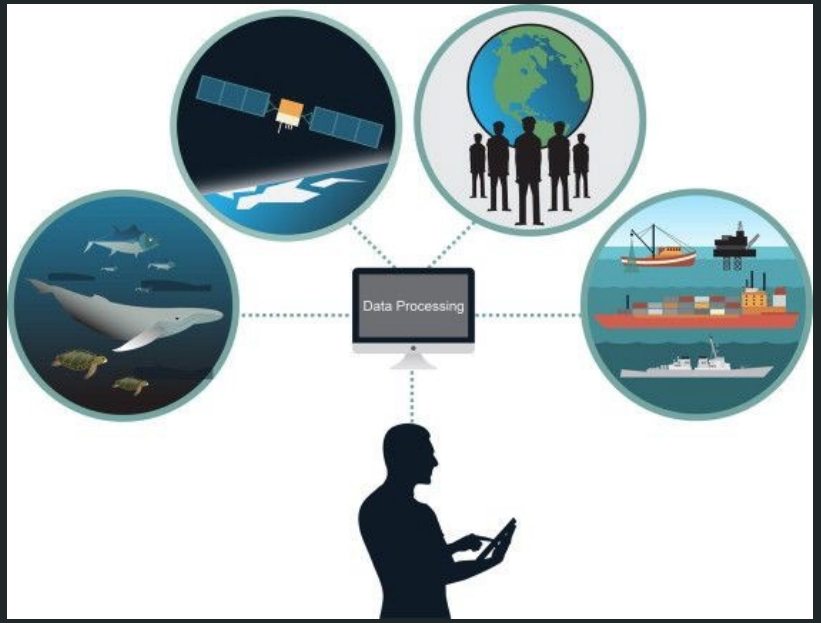
https://partici.fi/86456312

Áreas marinas protegidas



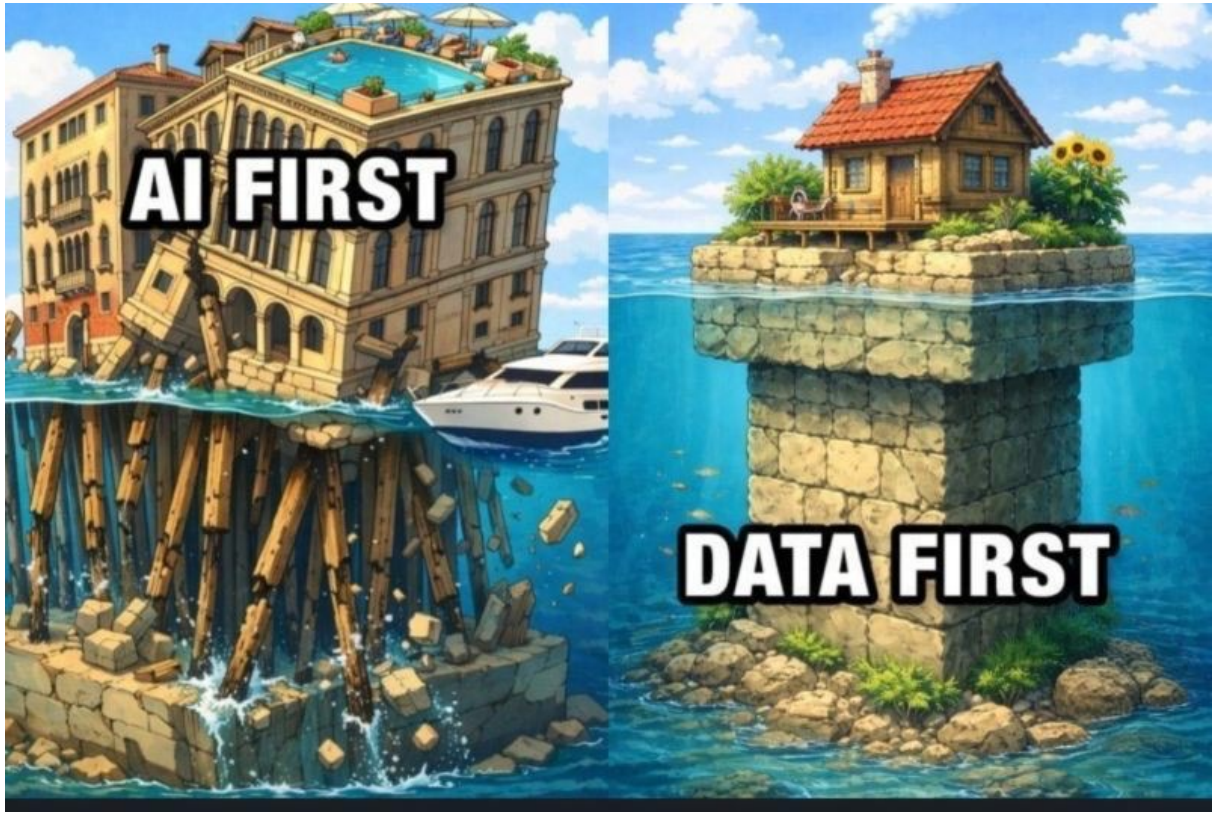
¿Revolución o problema de datos?

¿Somos ricos en datos y pobres en conocimiento, o pobres en datos y ricos en conocimiento?



Maxwell et al., 2015

Nuestra IA solo es tan potente como nuestros datos

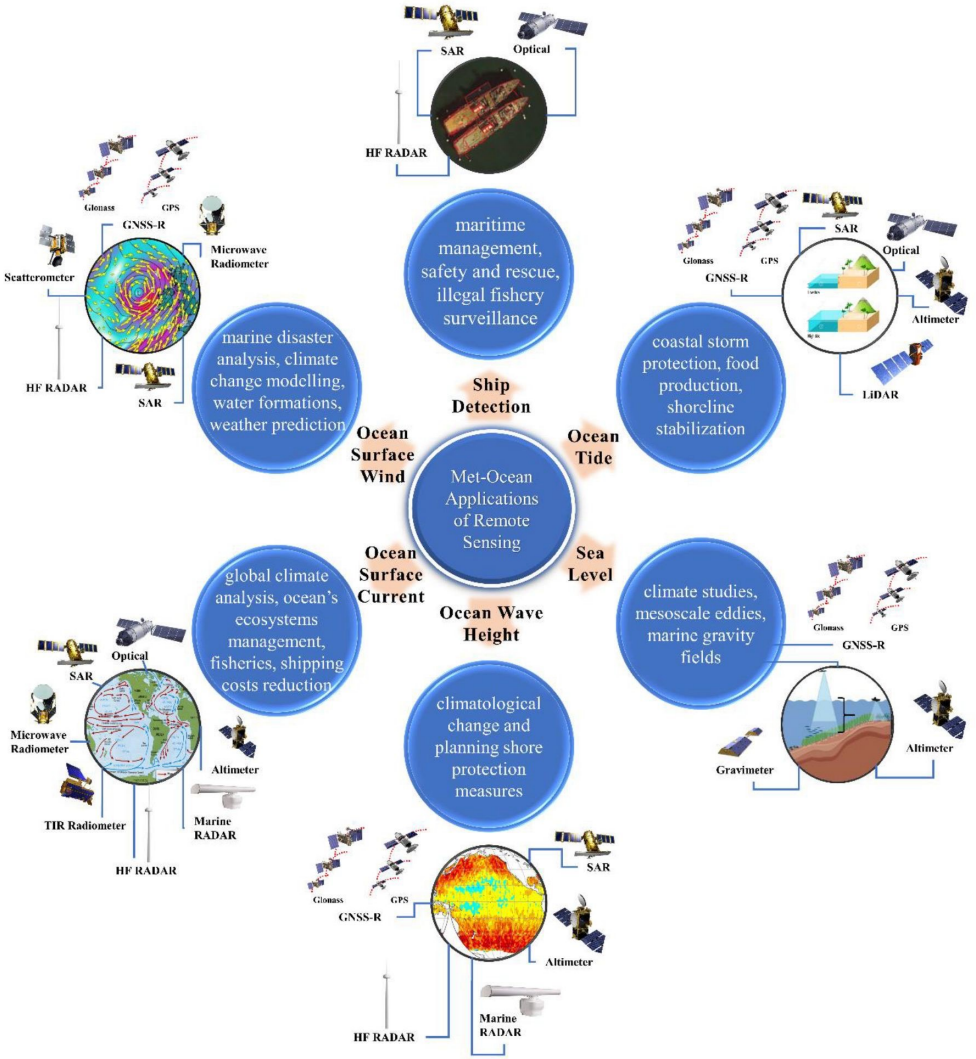


linkedin.com

Observaciones: recogidas «in situ»

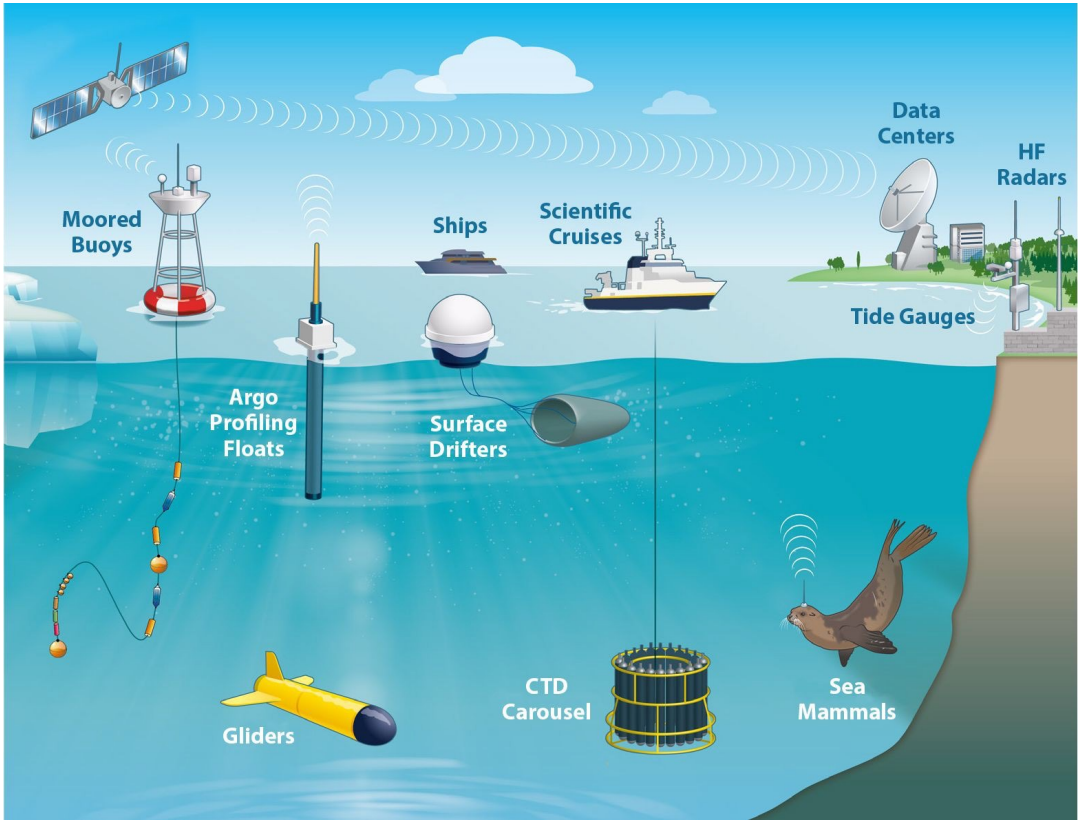


Observaciones: teledetección



Amani et al., 2022

Observaciones: una red mundial



Las observaciones pueden recibir una pequeña ayuda…

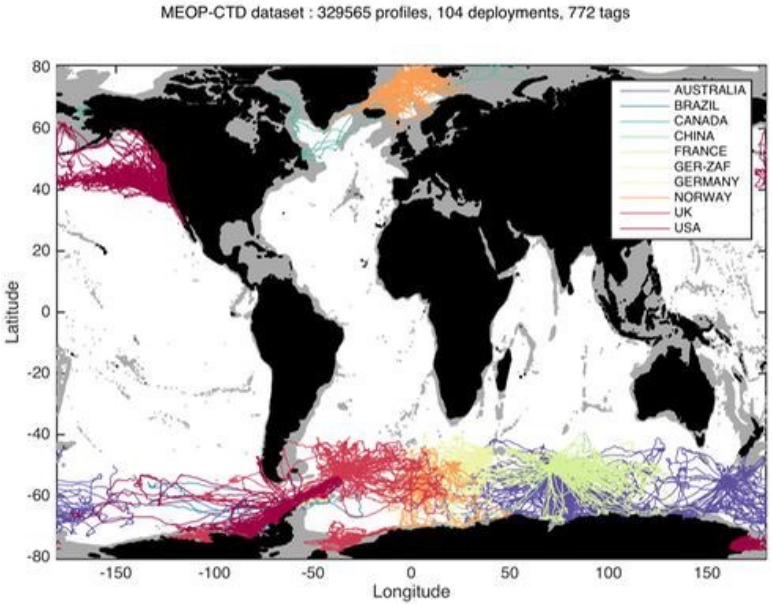
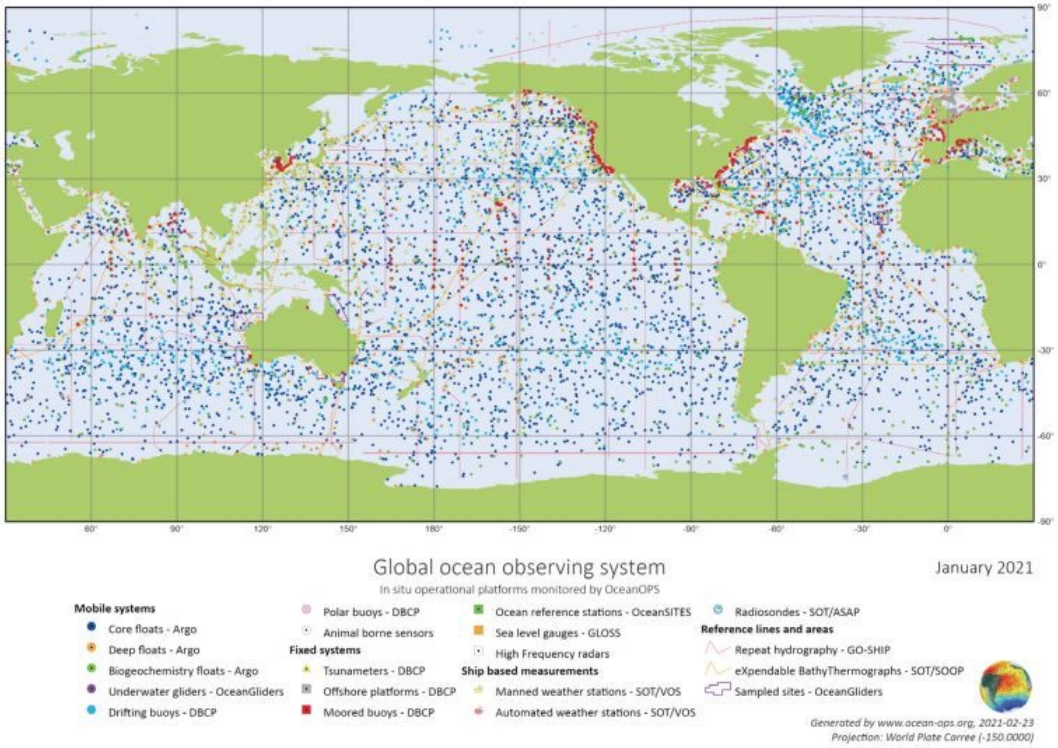


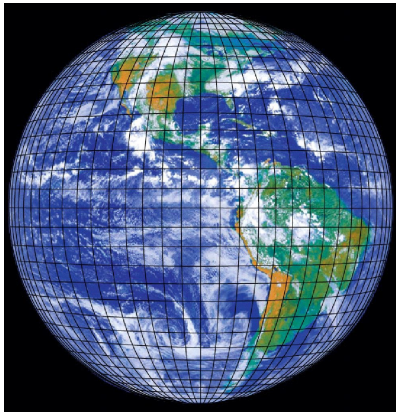


Foto: D. Costa

¿Equidad en las observaciones?

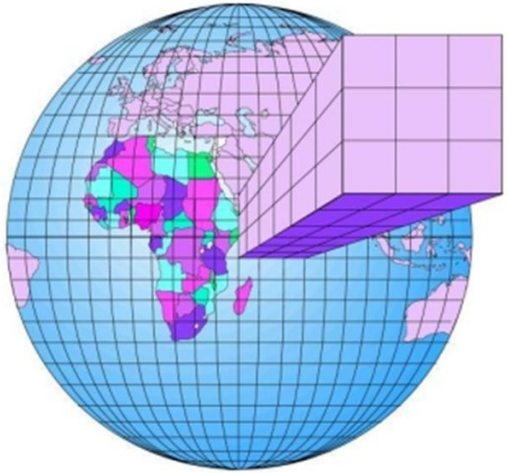


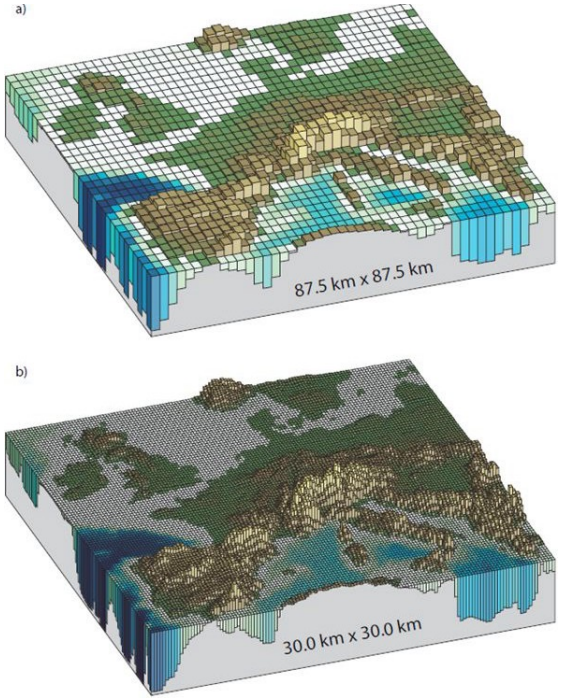
Modelos numéricos



Las mallas se extienden hacia abajo, en el suelo y los océanos.

Como en la televisión, más resolución significa más realismo





Modelos numéricos: ecuaciones primitivas

Navier-Stokes + ecuación de estado: fluido delgado en rotación sobre una esfera

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u\frac{\partial u}{\partial x} + v\frac{\partial u}{\partial y} + w\frac{\partial u}{\partial z} - fv = -\frac{1}{\rho_o}\frac{\partial P}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m\frac{\partial u}{\partial z}\right) + F_u, \quad \text{Momentum (u component)}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u\frac{\partial v}{\partial x} + v\frac{\partial v}{\partial y} + w\frac{\partial v}{\partial z} + fu = -\frac{1}{\rho_o}\frac{\partial P}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z}\left(K_m\frac{\partial v}{\partial z}\right) + F_v \quad \text{Momentum (v component)}$$

$$\frac{\partial P}{\partial z} = -\rho g, \quad \text{density}$$

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0, \quad \text{continuity}$$

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} + u\frac{\partial \theta}{\partial x} + v\frac{\partial \theta}{\partial y} + w\frac{\partial \theta}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_h\frac{\partial \theta}{\partial z}\right) + F_\theta, \quad \text{Advection of temperature}$$

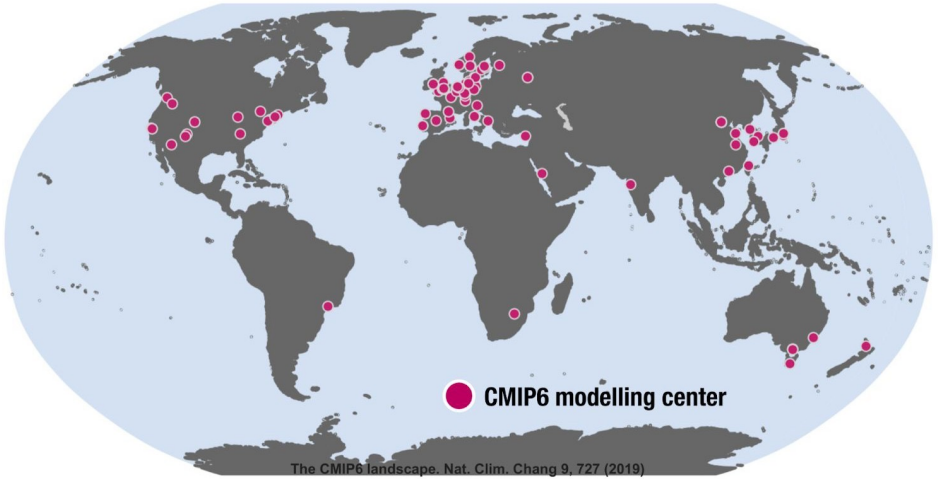
$$\frac{\partial s}{\partial t} + u\frac{\partial s}{\partial x} + v\frac{\partial s}{\partial y} + w\frac{\partial s}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial z}\left(K_h\frac{\partial s}{\partial z}\right) + F_s, \quad \text{Advection of salinity}$$

$$\rho = \rho(\theta, s), \quad \text{Density as a function of S and T}$$

El Proyecto de Intercomparación de Modelos Climáticos (CMIP)

WCRP CMIP6
World Climate Research Programme

Los centros de modelización colaboran a escala mundial para realizar y compartir experimentos sobre cómo las acciones de las sociedades afectarán al clima

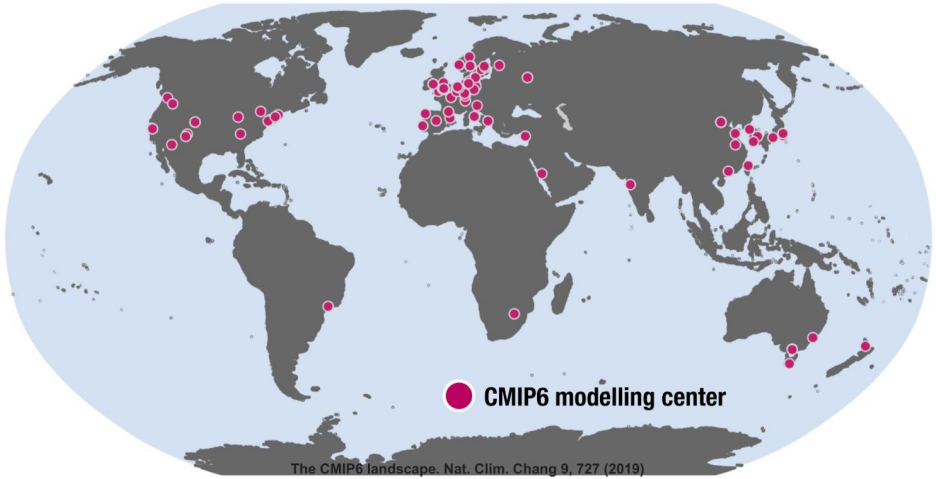


¿Equidad en el desarrollo de modelos y el intercambio de datos?

Se desarrollan pocos modelos en el hemisferio sur, por lo que el conocimiento de estas zonas puede quedar peor reflejado

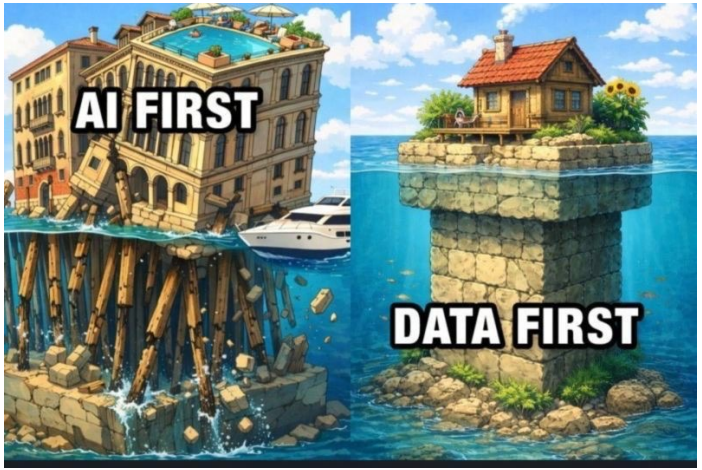
Solo una parte de los datos puede compartirse realmente, por lo que los datos para comprender, por ejemplo, por qué el océano

cambia son difíciles de obtener



Apoyar la recogida de datos es vital

Es tentador centrarse solo en la IA, pero seguir apoyando la mejora de los datos de los que depende la IA es crucial



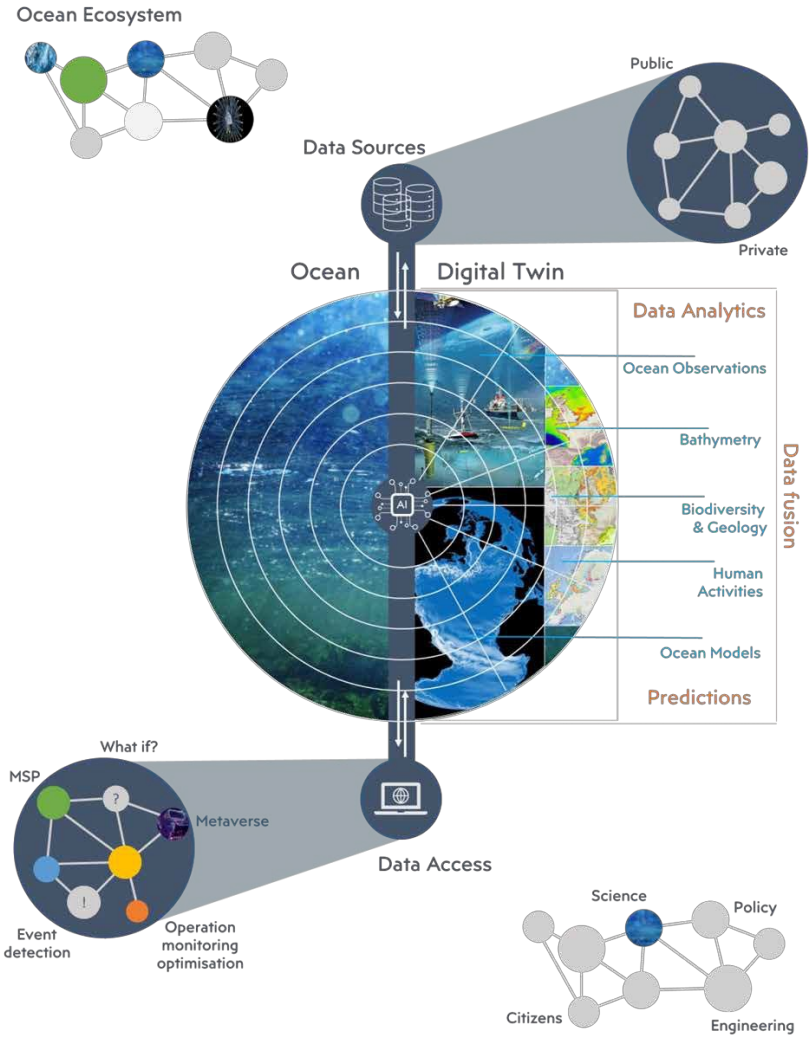
Crear conjuntos de datos con una representación equilibrada de lugares y desarrolladores puede mejorar la equidad

Pausa: ¿qué crees que es lo más importante proteger en el océano?

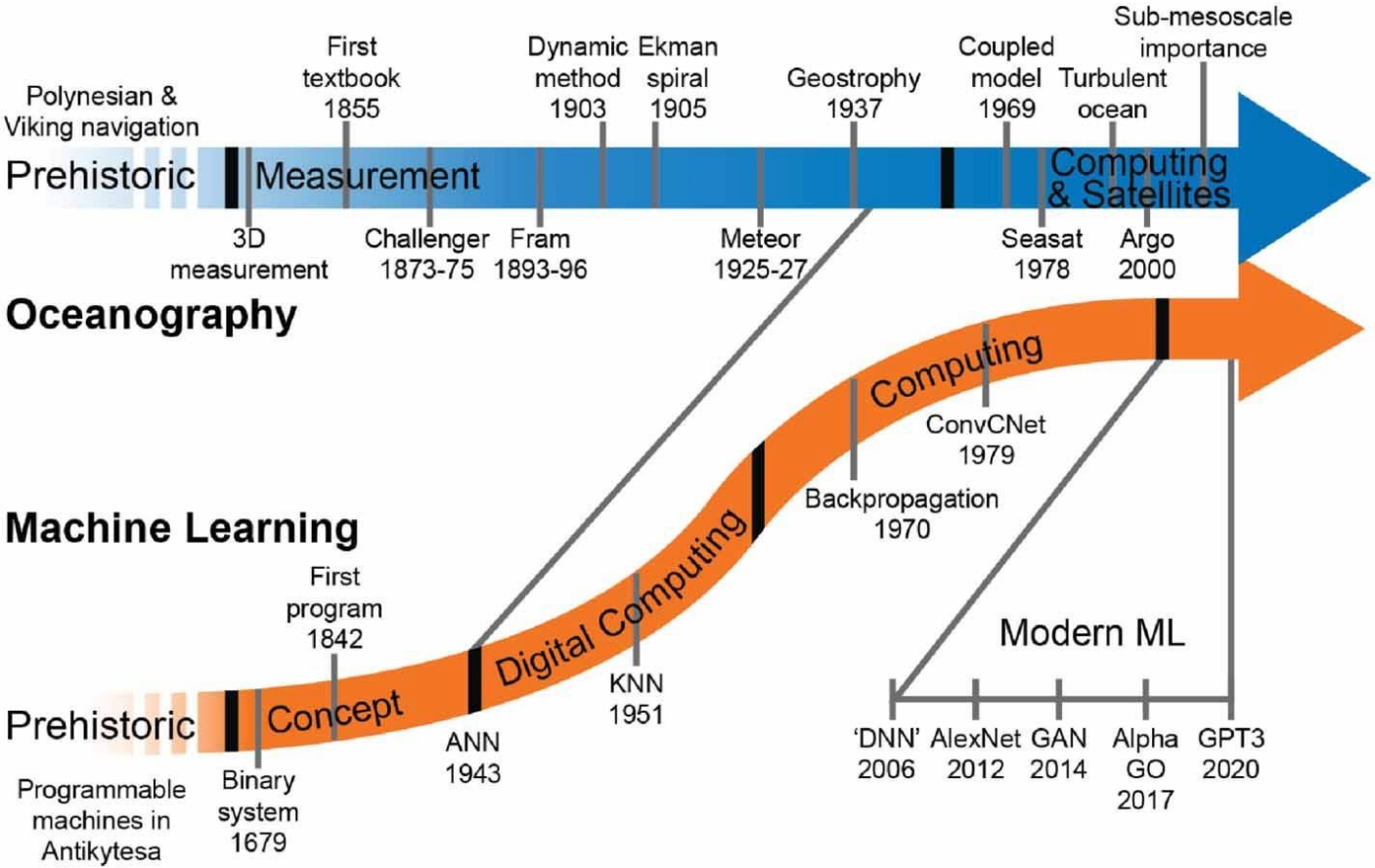
https://partici.fi/86456312

IA para los océanos y las ciencias marinas

Cómo podemos aprender y ayudar a reforzar la resiliencia



Bronner, Sonnewald and Visbeck, 2023



Sonnewald et al., 2021

El AA: ¿la pieza que falta?

Demasiado simple:
Las descripciones teóricas tienden a simplificar en exceso

Demasiado difícil:
Inferir principios básicos solo a partir de los datos es extremadamente difícil

El puente: el AA



Sonnewald et al., 2021

El AA en la oceanografía



- Observation operators
- Gap filling
- Error detection and bias correction
- Synthesis of observations
- In situ feature detection

- Learn equations and boundary conditions
- Unsupervised learning to understand dynamics and causality
- Learn process interactions
- Learn sub-grid-scale representation of models

- Learn low-order models
- In situ updates of boundary conditions
- Speed-up simulations via emulation and preconditioning
- Compare models against observations
- Uncertainty quantification

- Data assimilation
- Error correction
- Down-scaling
- Understand climate response
- Improve signal-to-noise
- In situ alarm systems

- Alarm systems
- Climate mitigation
- Route planning
- Oil spilling
- Flooding

Sonnewald et al., 2021

Supervised

-Labeled data

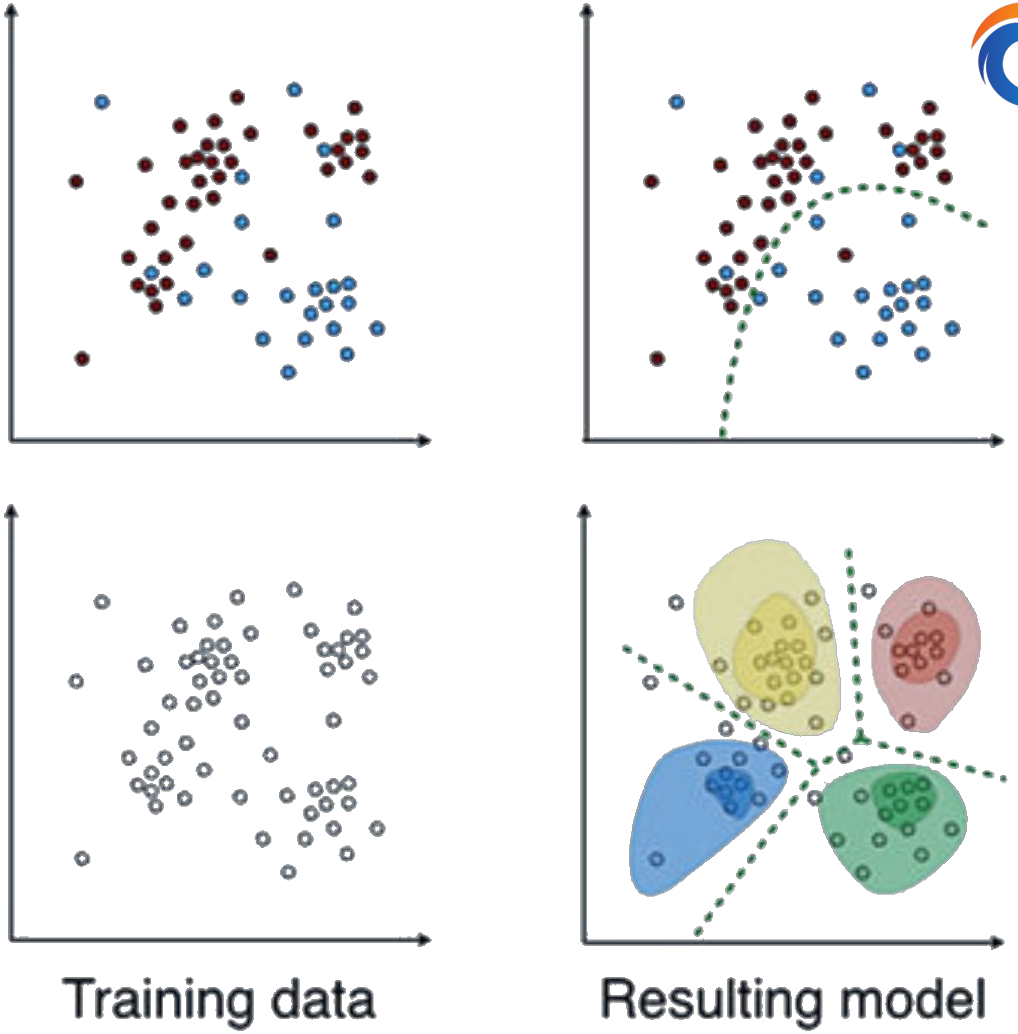
-Decision boundary

Supervisado, no supervisado

Unsupervised

-No labels

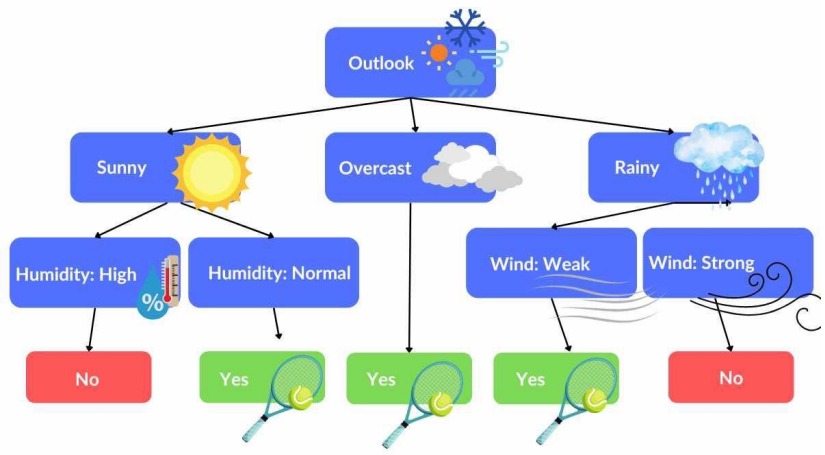
-Identify structures



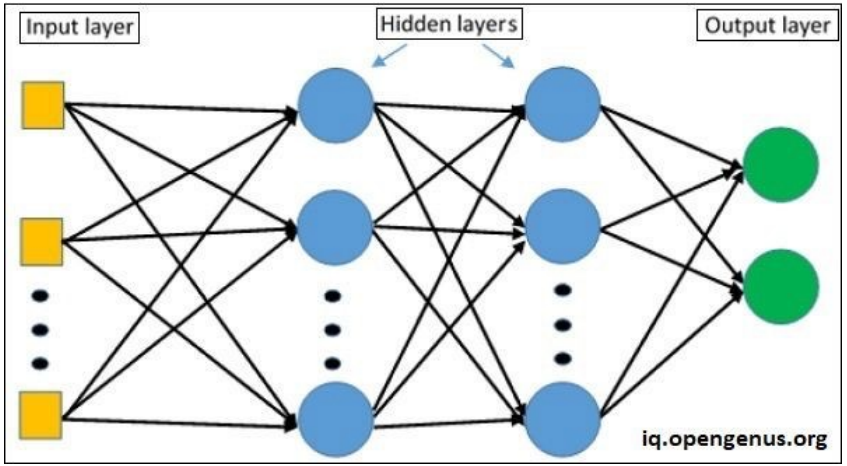
Langs et al., 2018

Dos métodos de AA supervisado

Bosques aleatorios



Redes neuronales

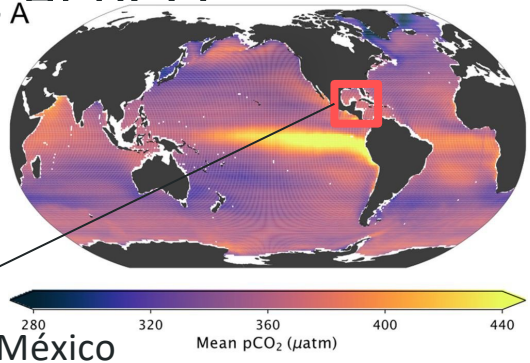


spotIntelligence.com

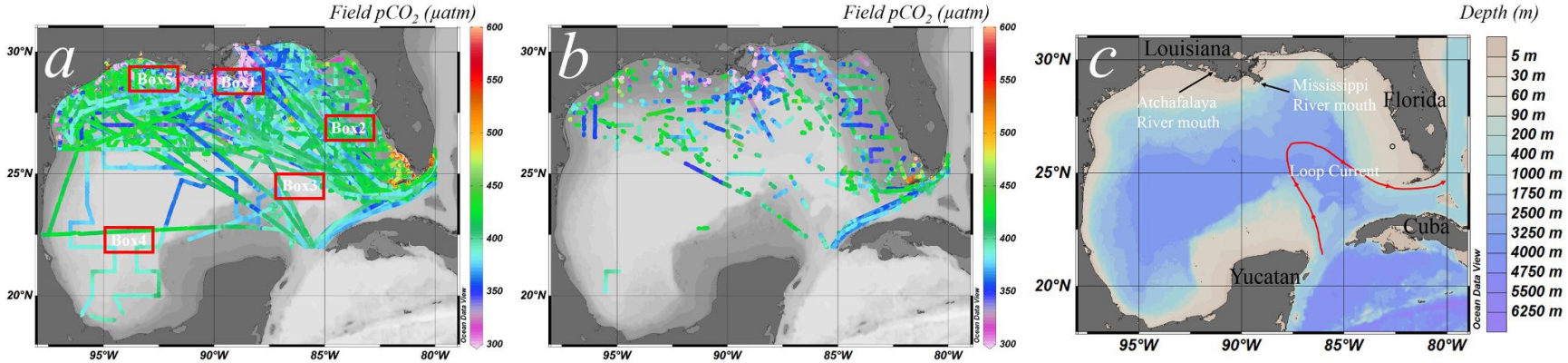
AA para vigilar, en la superficie del océano, el pCO

Medir el CO_2 exige un gran esfuerzo

No existe una función conocida entre otra variable predictiva y el pCO2 de superficie



Golfo de México



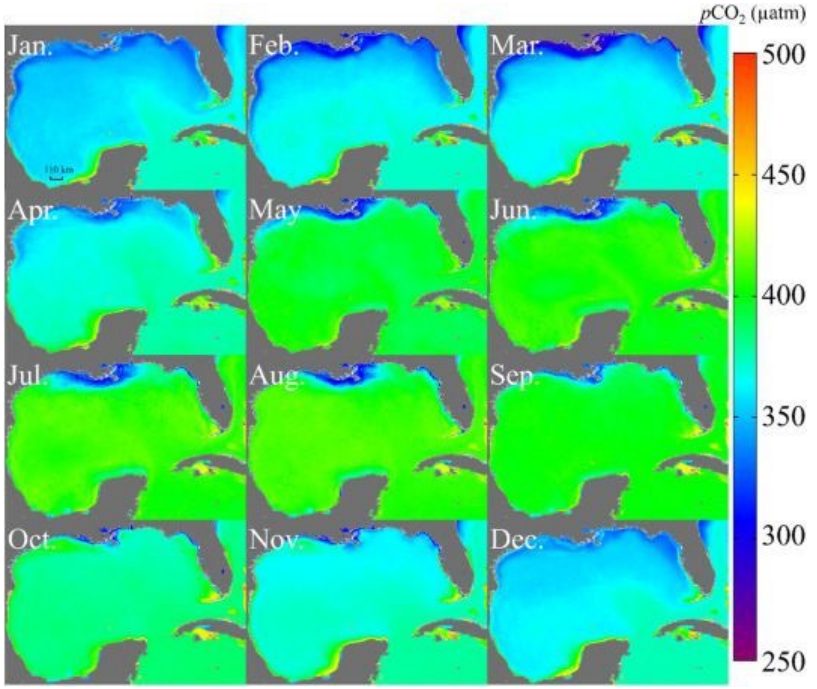
Chen et al,. 2019

AA para vigilar, en la superficie del océano, el pCO_2

Medir el CO_2 exige un gran esfuerzo

No existe una función conocida entre otra variable predictiva y el pCO2 de superficie

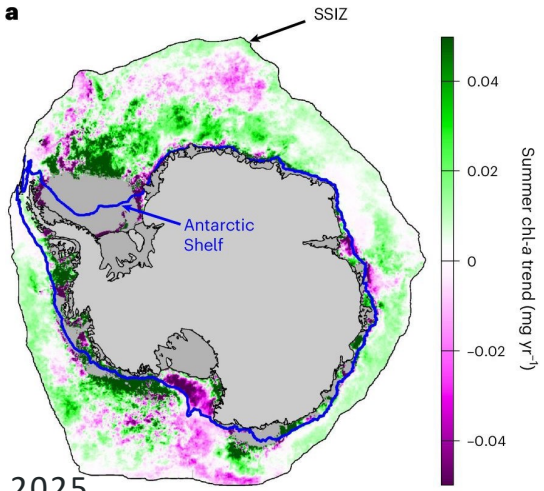
Chen et al., 2019 usaron un bosque aleatorio para que los satélites predijeran el pCO2

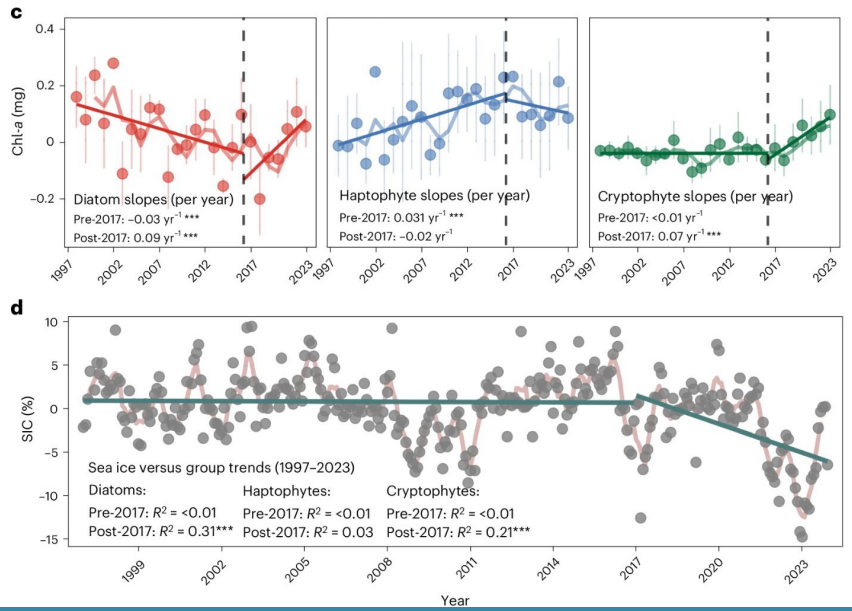


AA para vigilar el plancton antártico

El fitoplancton es clave para la red trófica marina antártica y el secuestro de carbono, pero los cambios a largo plazo en su composición se conocen mal

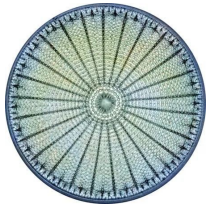
Hayward et al., 2025 usaron bosques aleatorios para mostrar cómo ha cambiado la composición de las comunidades con la evolución del hielo marino





Hayward et al., 2025

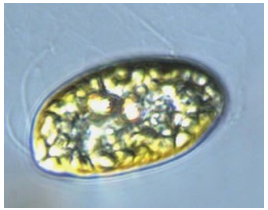
AA para vigilar el plancton antártico



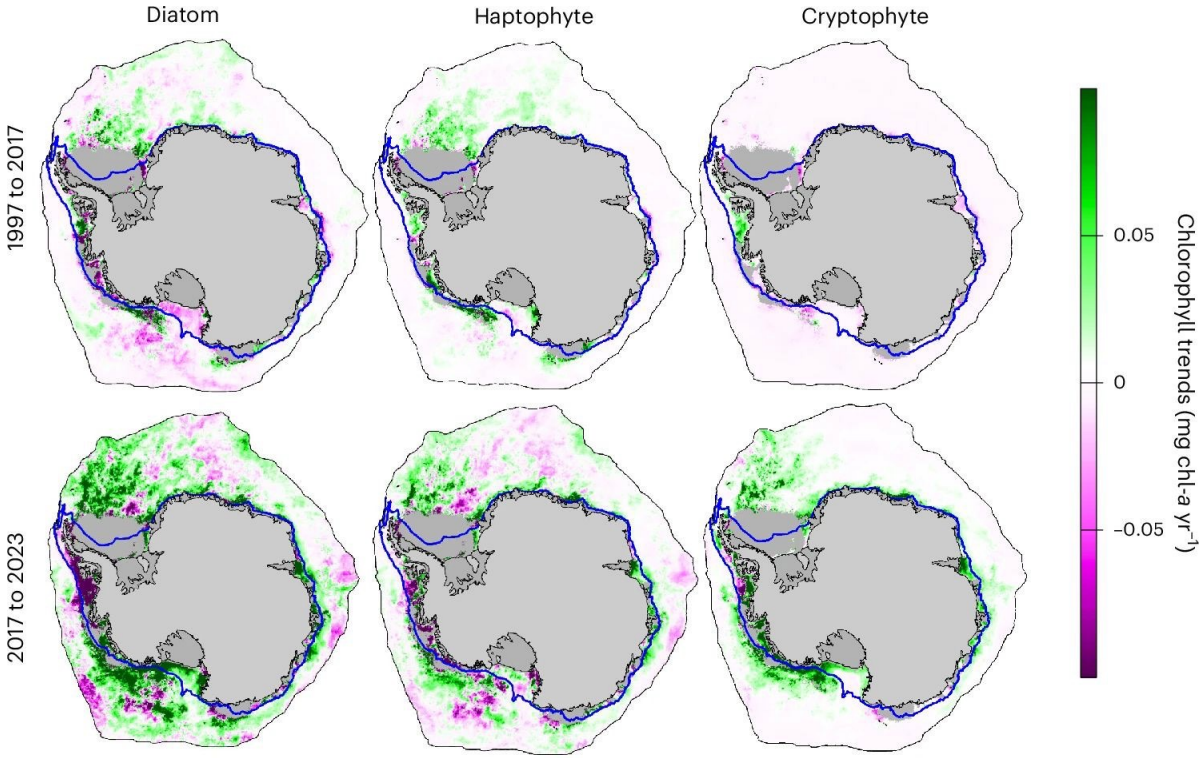
Diatomeas



Haptofitas



Criptofitas

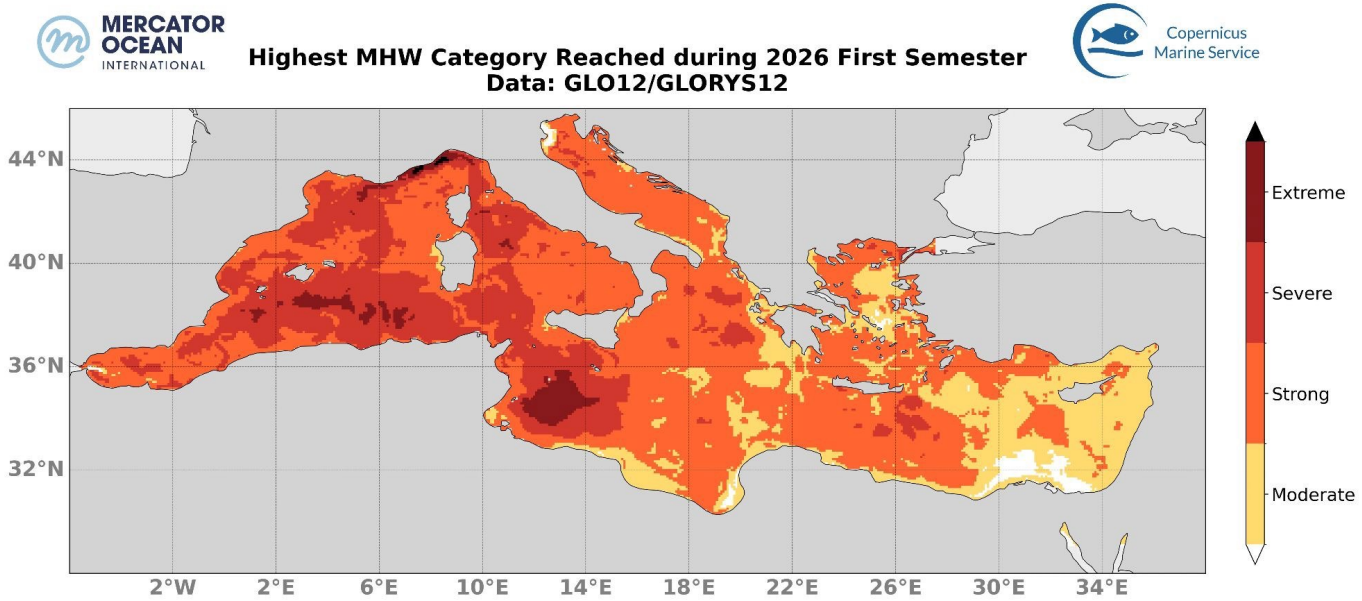


R. Graves, Wikipedia.com, J Oyandomari

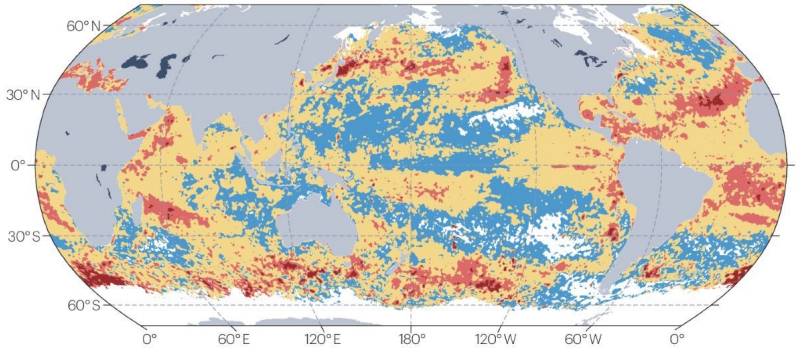
3: ¿Qué parte de la superficie del Mediterráneo sufrió una ola de calor en el primer semestre de 2026?

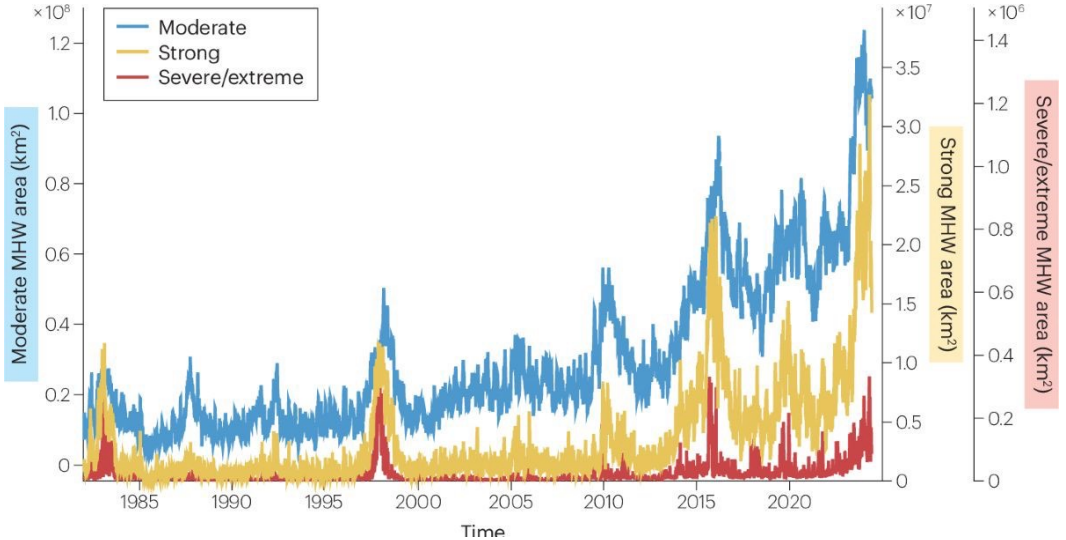
https://partici.fi/86456312

¿Qué parte de la superficie del Mediterráneo sufrió una ola de calor en el primer semestre de 2026?



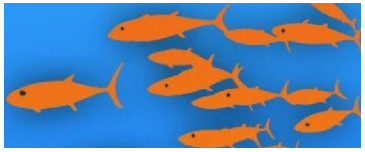
Las olas de calor marinas son cada vez más frecuentes e intensas



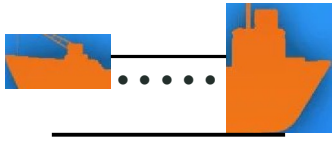


Wernberg et al., 2025

IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS OCÉANOS



CAMBIAN LAS ÁREAS DE LAS ESPECIES



IMPACTOS ECONÓMICOS EN LA PESCA

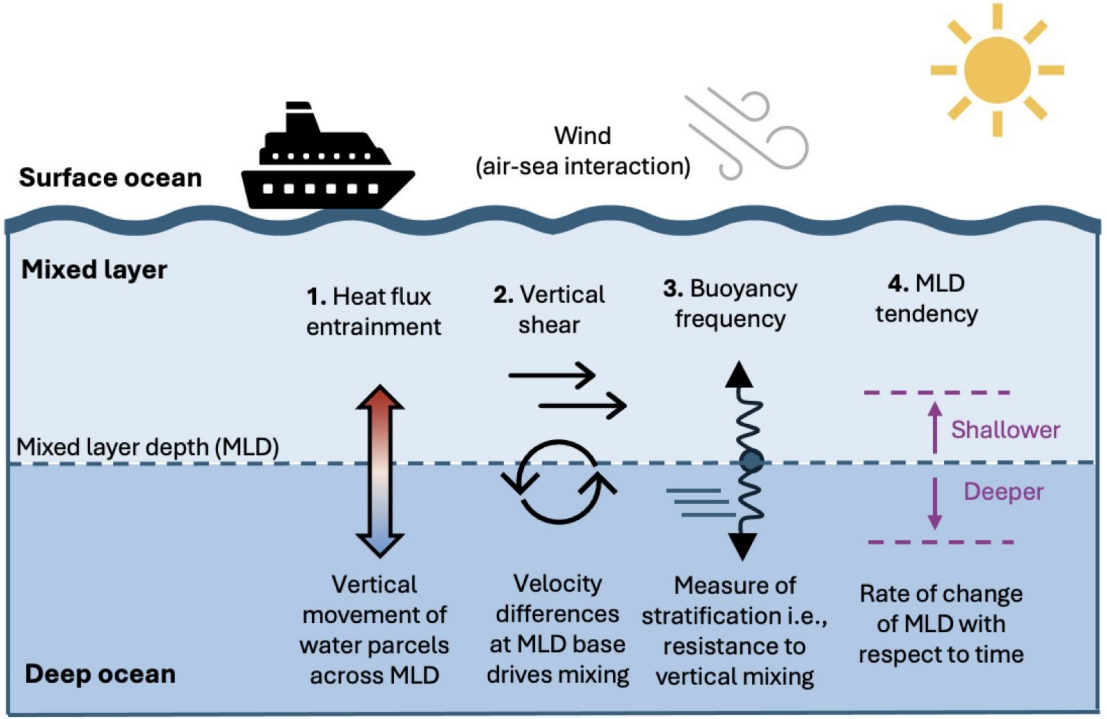
REFUERZAN Y HURACANES TROPICALES



BLEACHES CORAL

CLIMATE CENTRAL

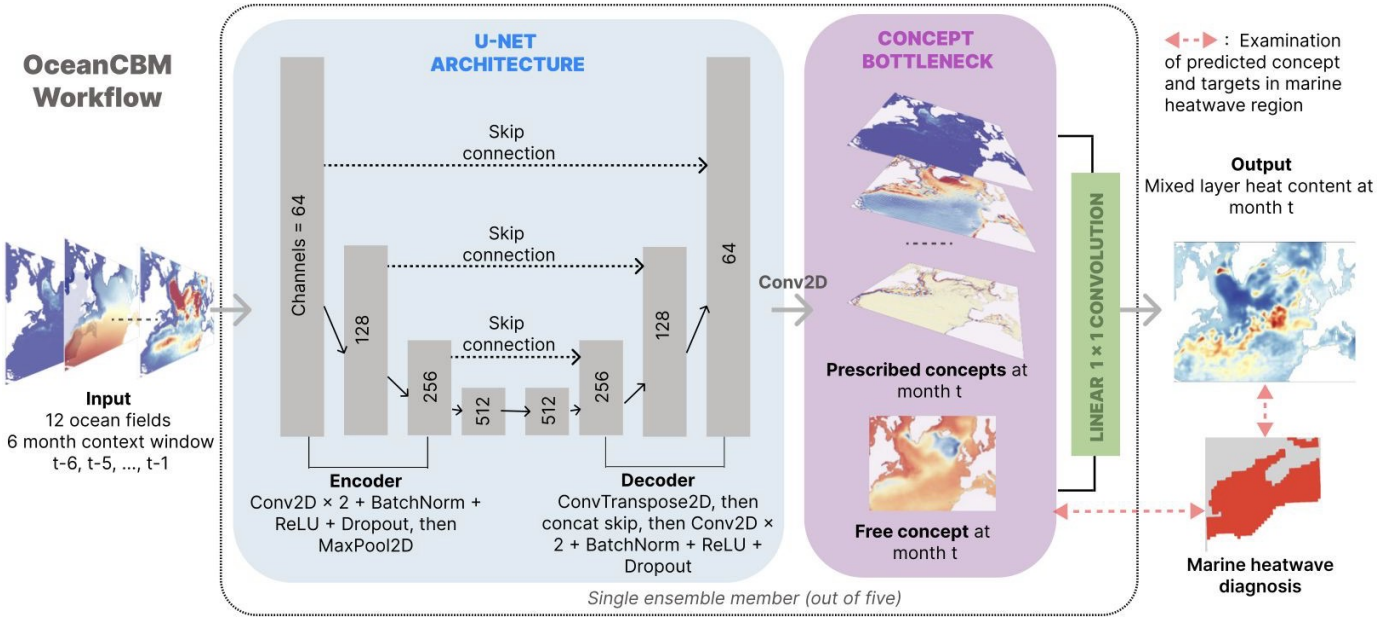
AA para la predicción y atribución de olas de calor marinas



Suri et al., 2026

AA para la predicción y atribución de olas de calor marinas

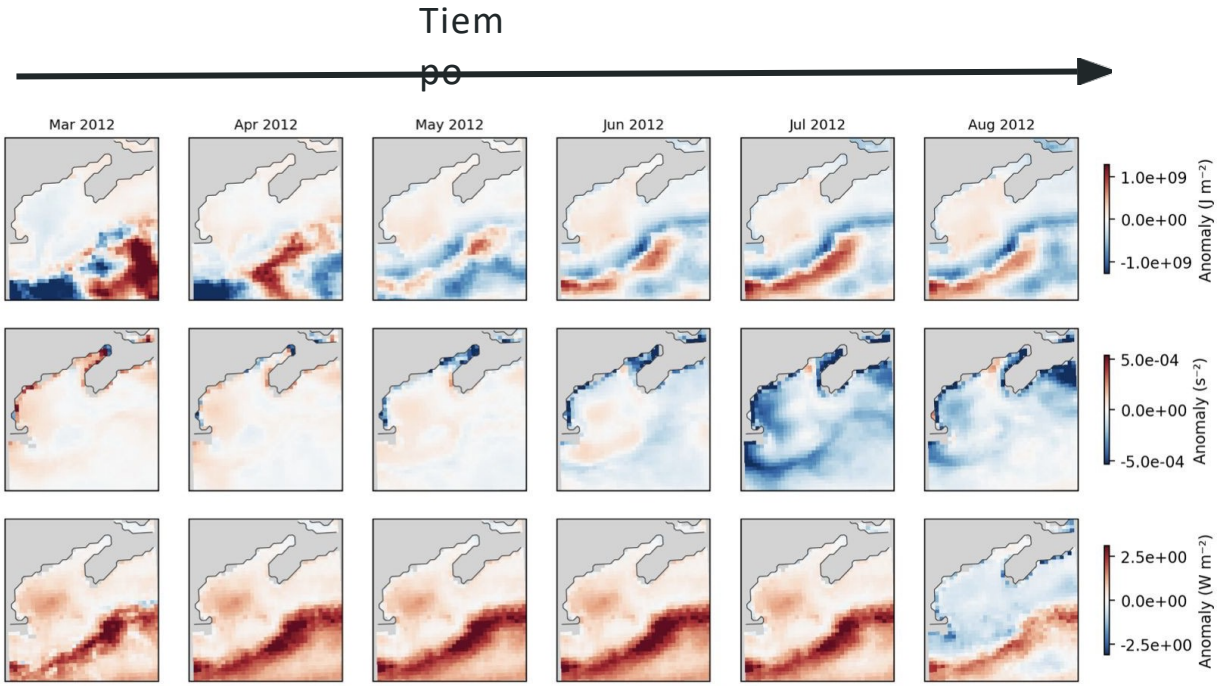
Predecir el contenido de calor de la capa de mezcla dejando que la red elija lo importante

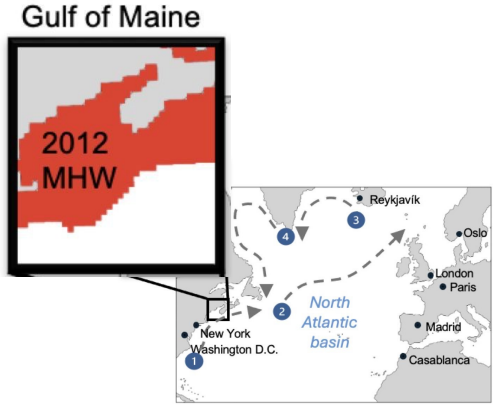


Suri et al., 2026

AA para la predicción y atribución de olas de calor marinas

Conceptos (selección)

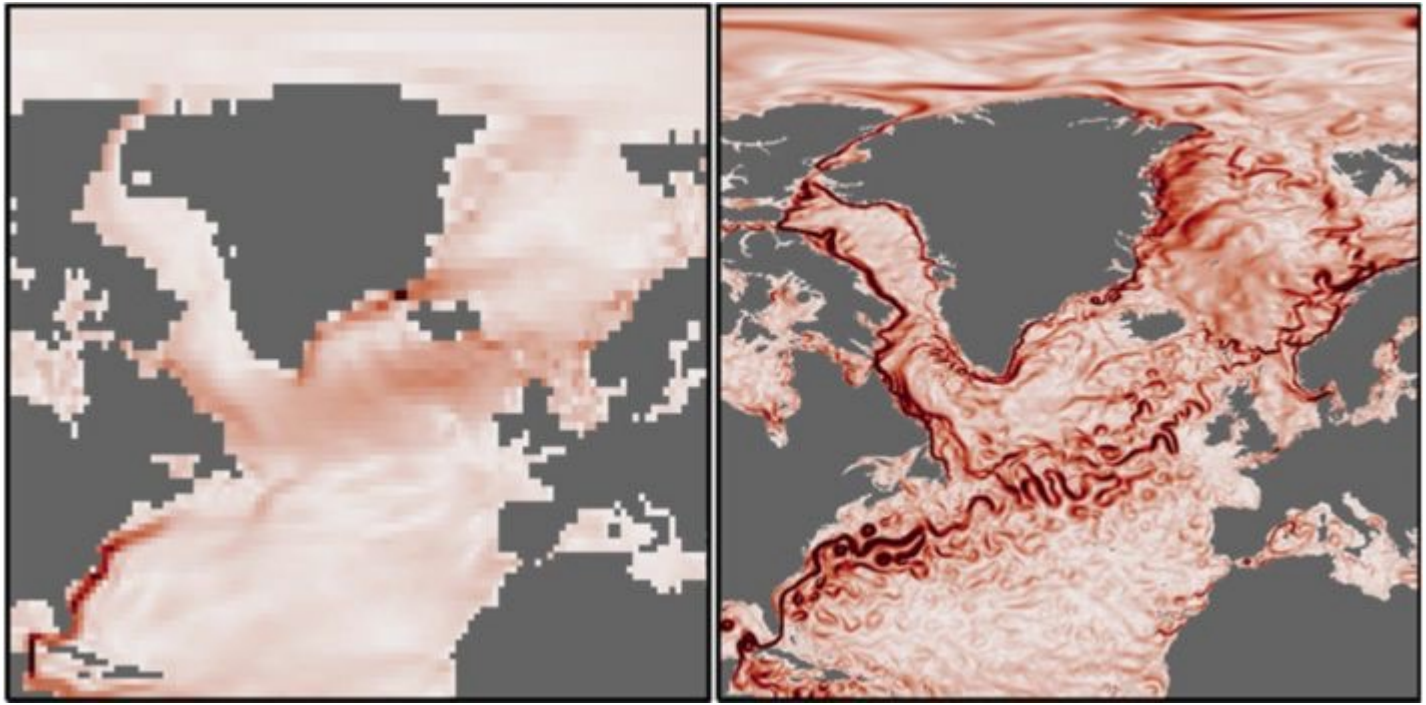




Conclusión:
El aporte de calor atmosférico que calentó la capa de mezcla
+
el aumento de la estratificación atrapó el calor cerca de la superficie

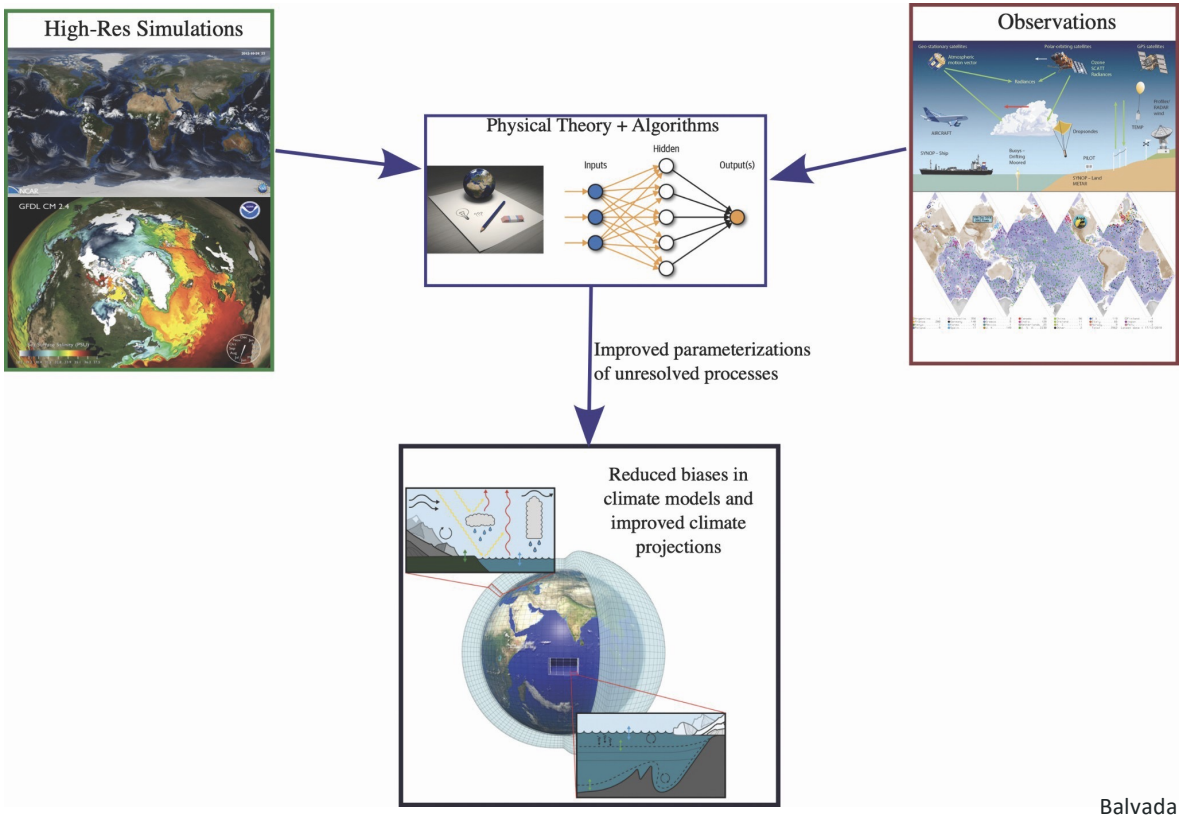
Suri et al., 2026

AA para la parametrización de modelos oceánicos



fyfluiddynamics.com

AA para la parametrización de modelos oceánicos



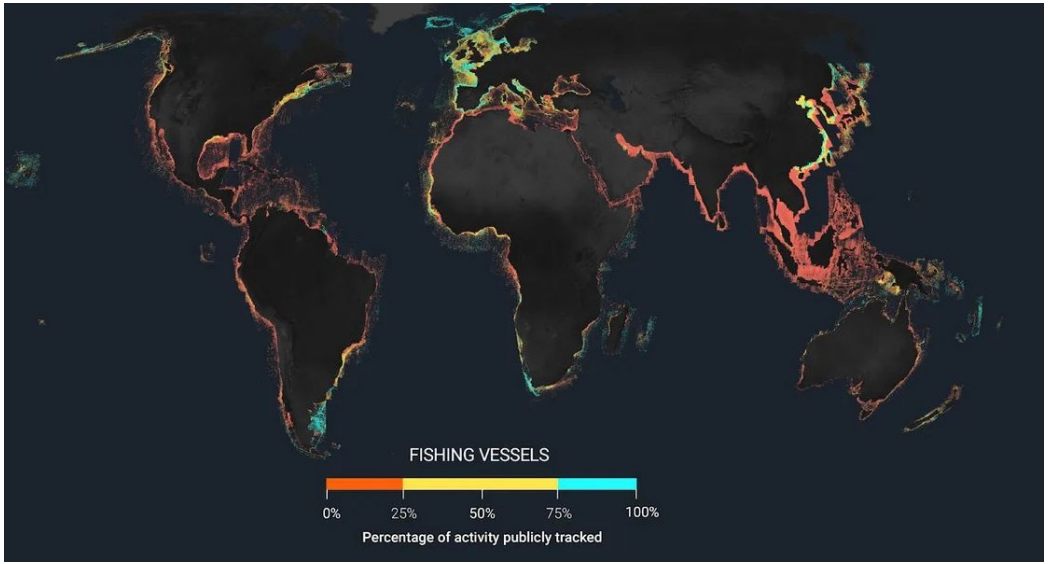
Balvada and Zanna, 2022

AA para la gestión pesquera

Global Fishing Watch ofrece un mapa casi en tiempo real de la pesca industrial para combatir las actividades ilegales

Usan datos de seguimiento de buques e IA

Los datos disponibles dan, por ejemplo, la posición, la velocidad y el rumbo, pero no la intención. La IA clasifica el tipo de buque (arrastrero, palangrero, cerquero) y deduce si está en tránsito o pescando



AA para la gestión pesquera:
Una nota sobre quién se beneficia

Global Fishing Watch saca a la luz la actividad ilegal, pero la capacidad de control está repartida de forma desigual

Detectar sin capacidad de actuar puede trasladar la carga a donde hay menos capacidad



La circulación oceánica ante el clima: a fondo

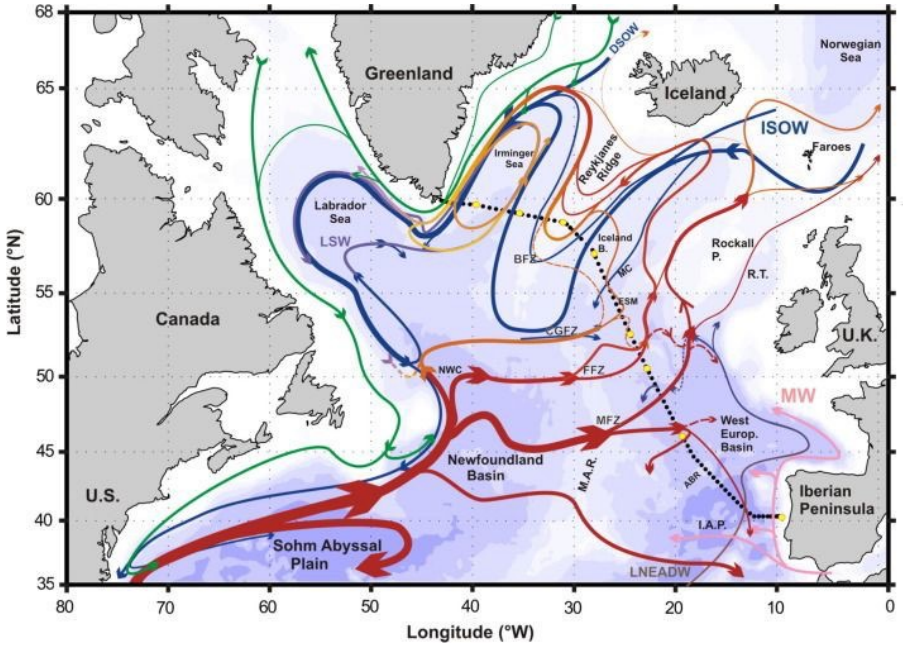
Circulación meridional de vuelco del Atlántico (AMOC):

- Transporte de calor hacia Europa
- Patrones atmosféricos
- Sequías
- Nivel del mar en la costa este de EE. UU.
- Huracanes



Islandia ha declarado el riesgo de un colapso de la AMOC como amenaza para la seguridad nacional

AA para entender el cambio de la AMOC en el CMIP



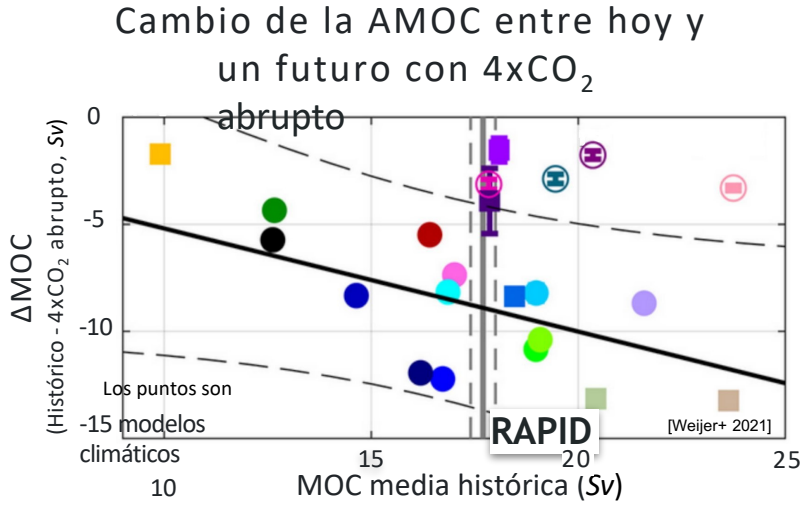
Evaluada con una métrica simplista: el caudal a 26°N

¿Un solo número para describir corrientes complejas?

Daniault et al., 2016

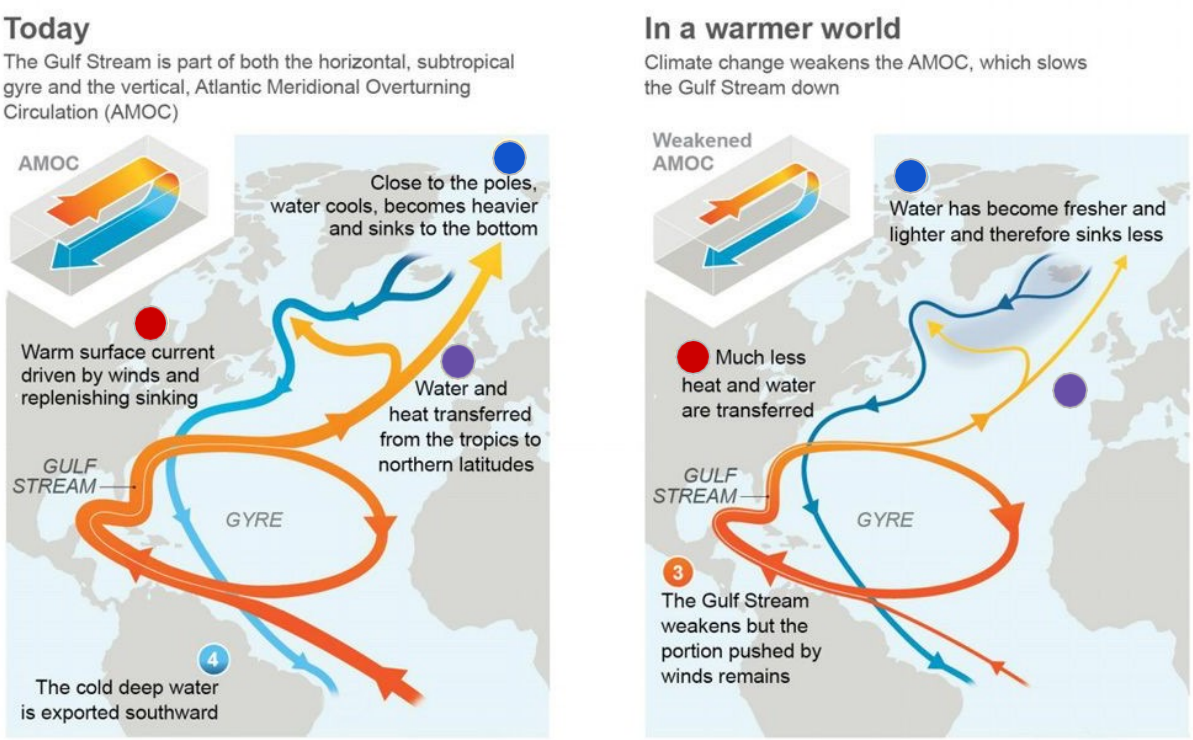
Al CMIP le faltan datos para entender el cambio

- Las métricas agregadas son habituales
  - P. ej.: la métrica de la circulación meridional de vuelco del Atlántico (AMOC)
- Mide la intensidad y el transporte de volumen de la AMOC
- Sigue la rapidez con que el agua cálida avanza hacia el norte y el agua fría vuelve hacia el sur
- Transporte de volumen de las corrientes: medido con la profundidad, la velocidad, la temperatura y la salinidad del océano
  - Ubicación de los conjuntos: seguimiento en las latitudes 26,5°N (RAPID), 34,5°S (SAMBA) y en regiones subpolares.



1Sv = 10^6 m^3/s

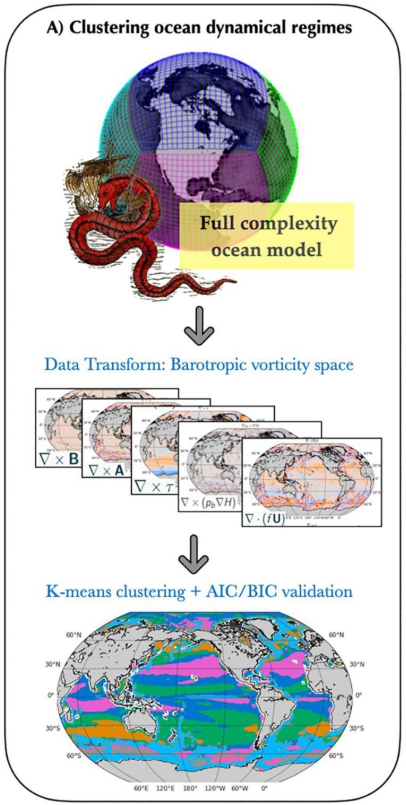
¿Se detendrá la Corriente del Golfo con el cambio climático?

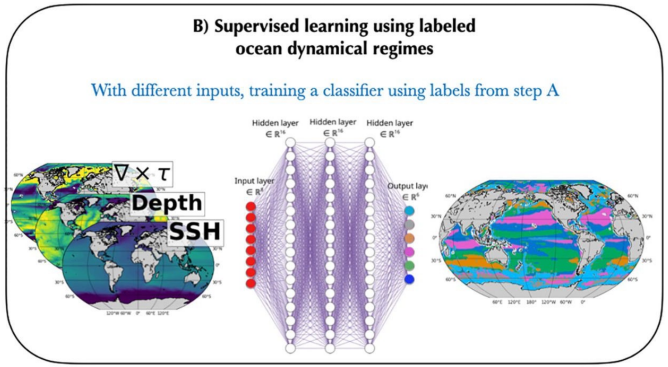


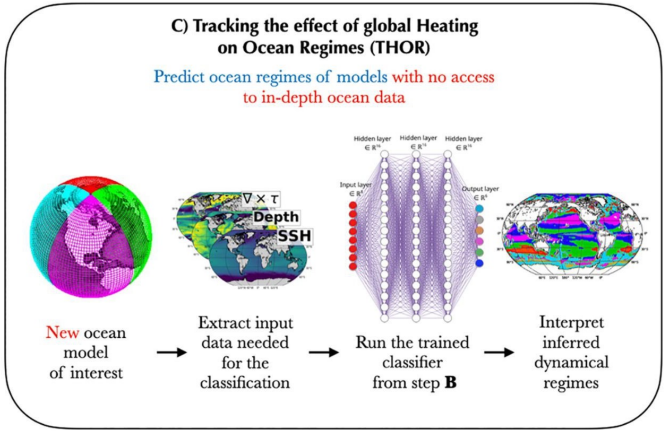
- La Corriente del Golfo se desplaza al norte
- Cambia la trayectoria del aporte de calor
- Aguas menos densas/pesadas

Adaptado del AR5 del IPCC

Método: seguir el calentamiento global con regímenes oceánicos (THOR)







Inferir el detalle de las corrientes con los escasos datos disponibles

Computación equitativa: código abierto y HPC en la nube

GitHub maikejulie/DNN4Cli

FAIR

AWS

Sonnewald and Lguensat, 2021, ***JAMES***

Sonnewald, et al., 2021, ***International Conference on Machine Learning (ICML)*** **workshop paper spotlight**

Gille […], **Sonnewald** et al., 2018, **Open Code Policy for NASA Space Science, white paper**

Dominar la complejidad de los fluidos en los modelos climáticos

Componente oceánico de complejidad completa



Transformación simbólica



Marco del espacio de ecuaciones fundamentales

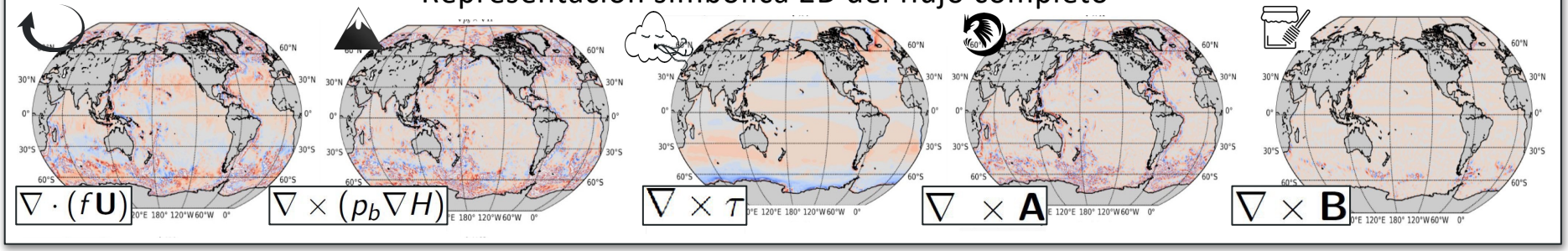
(Ecuación de vorticidad barotrópica)

Advection — Wind and Bottom Stress — Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque — Non-linear Torque

Representación simbólica 2D del flujo completo



[SWH 2019 ESS]

Dominar la complejidad de los fluidos en los modelos climáticos

Componente oceánico de complejidad completa



Transformación simbólica

Marco del espacio de ecuaciones fundamentales

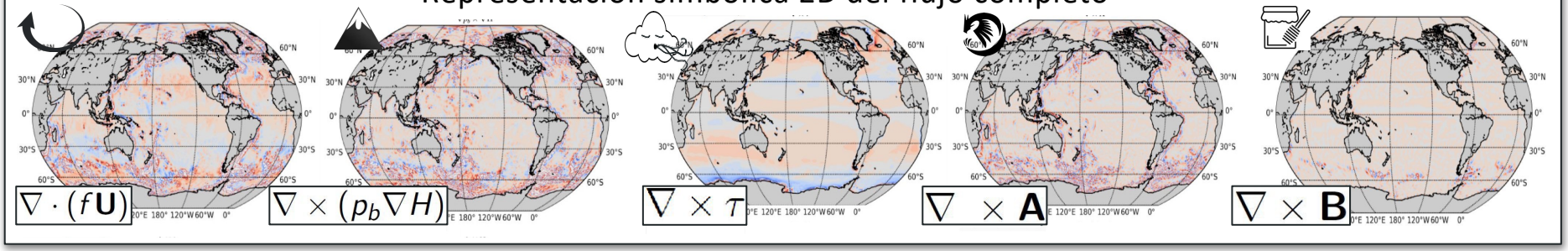
(Ecuación de vorticidad barotrópica)

Advection | Wind and Bottom Stress | Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque | Non-linear Torque

Representación simbólica 2D del flujo completo



[SWH 2019 ESS]

Dominar la complejidad de los fluidos en los modelos climáticos

Componente oceánico de complejidad completa



Transformación simbólica

Marco del espacio de ecuaciones fundamentales

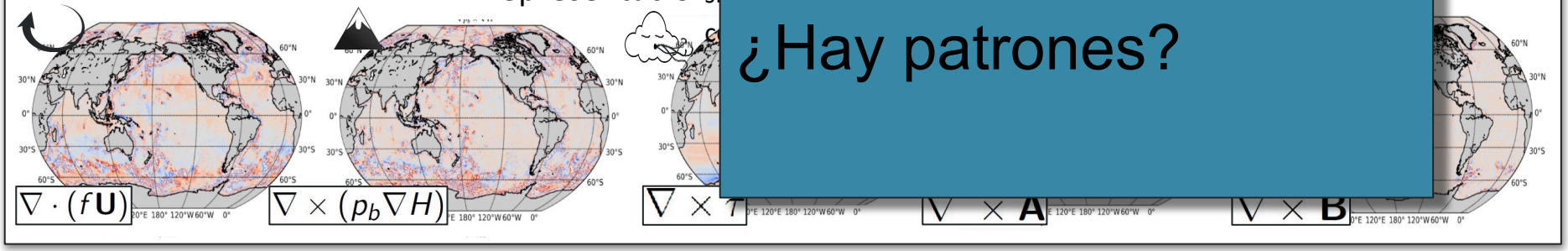
(Ecuación de vorticidad barotrópica)

Advection | Wind and Bottom Stress | Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque | Non-linear Torque

Representación



¿Hay patrones?

[SWH 2019 ESS]

Dominar la complejidad de los fluidos en los modelos climáticos

Componente oceánico de complejidad completa



Transformación simbólica

Marco del espacio de ecuaciones fundamentales

(Ecuación de vorticidad barotrópica)

Advection | Wind and Bottom Stress | Lateral Viscosity

$$0 = \nabla \cdot (f\mathbf{U}) - \nabla \times (p_b \nabla H) + \nabla \times \tau - \nabla \times \mathbf{A} + \nabla \times \mathbf{B}$$

Bottom Pressure Torque | Non-linear Torque

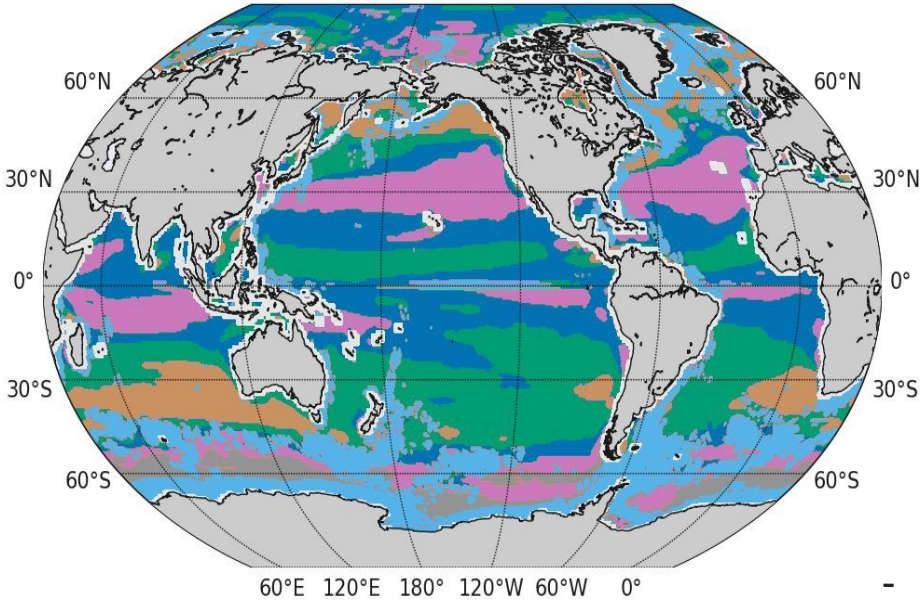
Representación

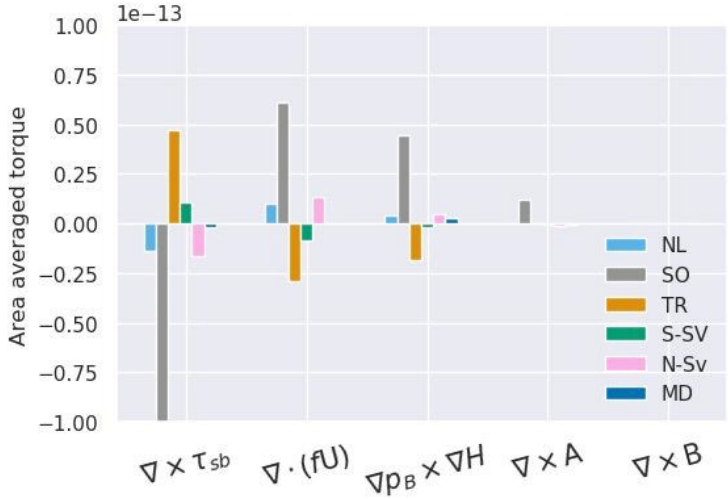


¿Hay patrones?

Usar clustering

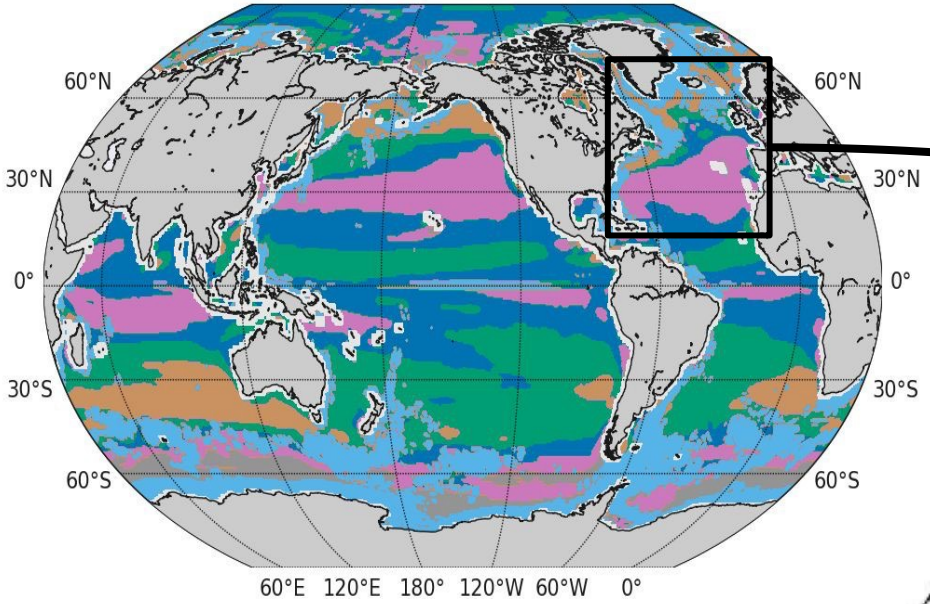
[SWH 2019 ESS]

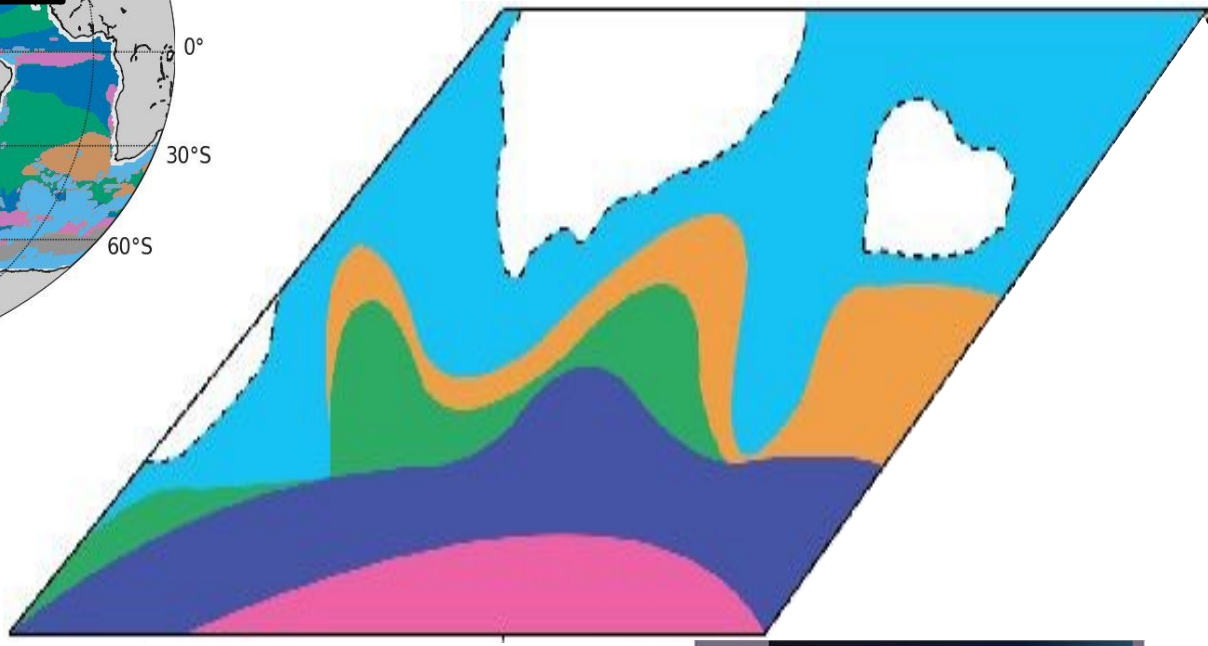




- Surgen regiones coherentes
- Los regímenes indican el equilibrio de los términos de la ecuación

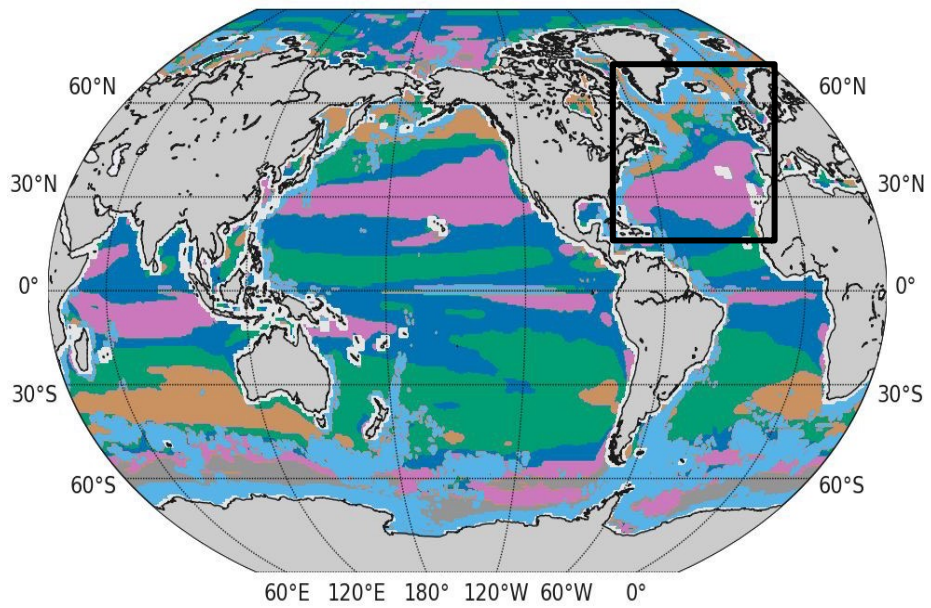
NL - No lineal	**SO - Océano Austral**	**TR - De transición**
S-SV - Sverdrupiano HS	**N-SV - Sverdrupiano HN**	**MD - Dominado por el momento**

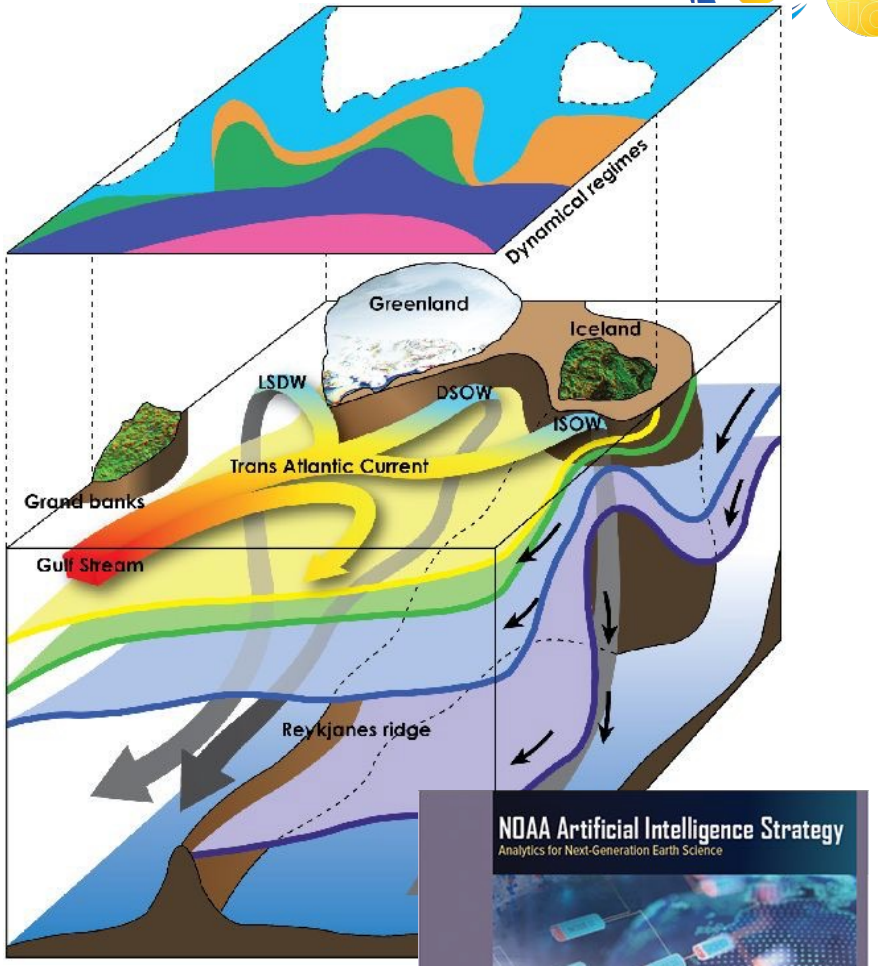






Nuevo conocimiento: Sonnewald, Reeve & Lguensat, 2023
Principal: Sonnewald, Wunsch & Heimbach, 2019,
Formalismo: Kaiser, Sanches, Sonnewald & Livrenco, 2022

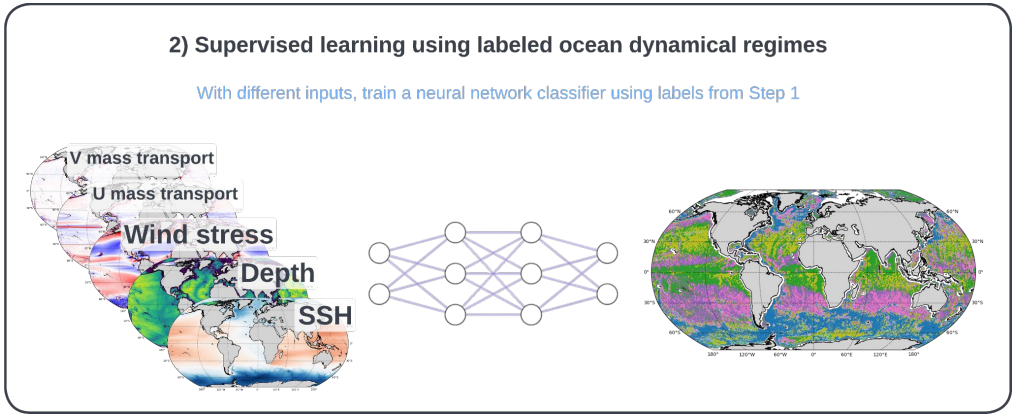




Los regímenes revelan estructuras oceánicas 3D vinculadas, por ejemplo, al transporte de calor

- Corrientes cálidas llevadas al norte (rojo)
- Enfriamiento al cruzar la cuenca (amarillo)
- Hundimiento en profundidad (gris)

Aprender regímenes a partir de campos disponibles

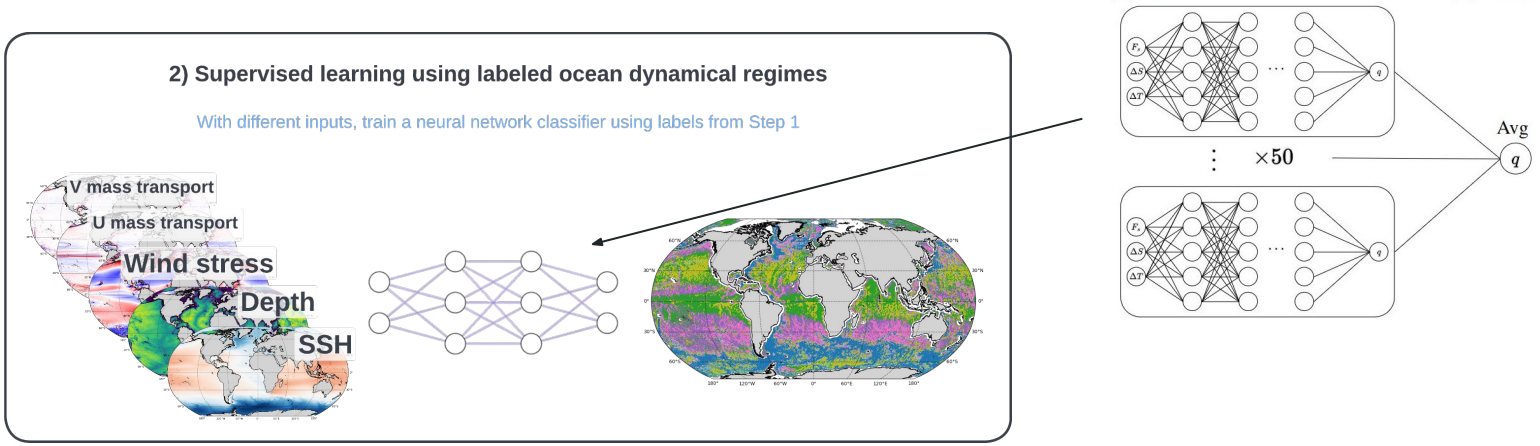


- Entradas: «palabras» aproximadas
  - Altura de la superficie del mar (ZOS) + gradientes x/y
  - Profundidad (altura de la columna) + gradientes x/y
  - Rotacional de la tensión del viento ($\nabla \times \tau$)
  - Transporte de masa mensual integrado en profundidad (umo_2d + vmo_2d)
  - Parámetro de Coriolis (f)

- Las etiquetas aportan el «contexto»: 6 regímenes dinámicos
- Ensamble profundo (50 MLP) para cuantificar la incertidumbre
- Aplicación de técnicas de IA explicable

Sonnewald, Reeve & Lguensat, en prensa, Nature Comm. Earth and Env. Principal:
Sonnewald, Wunsch & Heimbach, 2019, ESS.
Formalismo: Kaiser, Sanches, Sonnewald & Livrenco, 2022 Eng Appl AI

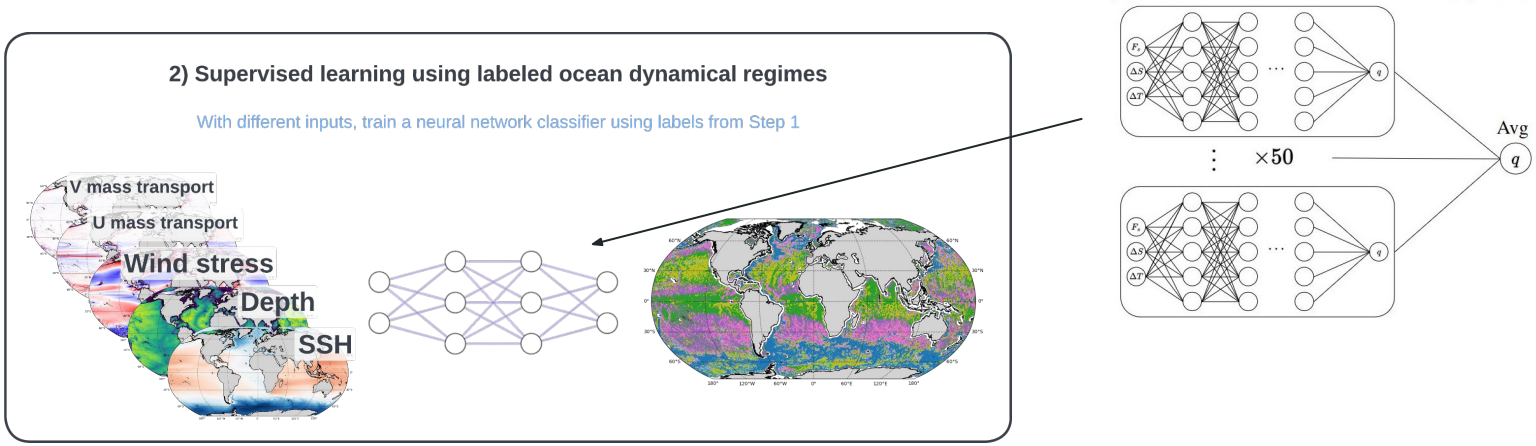
Aprender regímenes a partir de campos disponibles



- Entradas: «palabras» aproximadas
  - Altura de la superficie del mar (ZOS) + gradientes x/y
  - Profundidad (altura de la columna) + gradientes x/y
  - Rotacional de la tensión del viento ($\nabla \times \tau$)
  - Transporte de masa mensual integrado en profundidad (umo_2d + vmo_2d)
  - Parámetro de Coriolis (f)

- Las etiquetas aportan el «contexto»: 6 regímenes dinámicos
- Ensamble profundo (50 MLP) para cuantificar la incertidumbre
- Aplicación de técnicas de IA explicable

Aprender regímenes a partir de campos disponibles



- **Entradas disponibles en el CMIP:**
  - Altura de la superficie del mar (ZOS)
  - Profundidad (altura de la columna)
  - Rotacional de la tensión del viento ($\nabla \times \tau$)
  - Transporte de masa mensual integrado en profundidad
  - Parámetro de Coriolis (f)

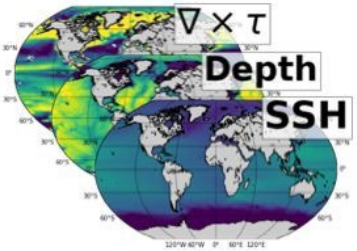
- **Modelo de AA:**
  - Ensamble profundo (50 MLP) para cuantificar la incertidumbre
  - Aplicación de técnicas de IA explicable

Aplicar a distintos escenarios climáticos para comprender los cambios

THOR: regímenes en un modelo no visto

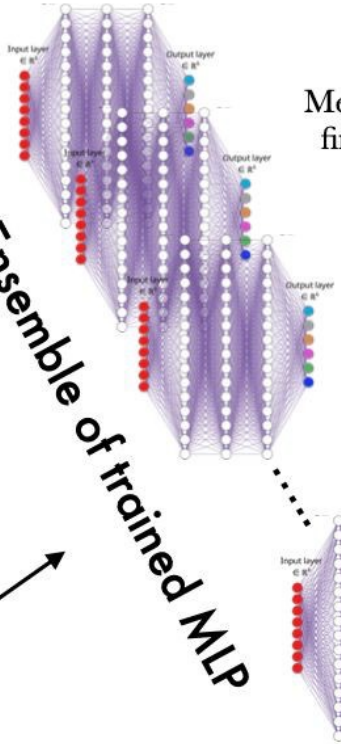


Ocean model of interest



Extract input data needed by the classifier

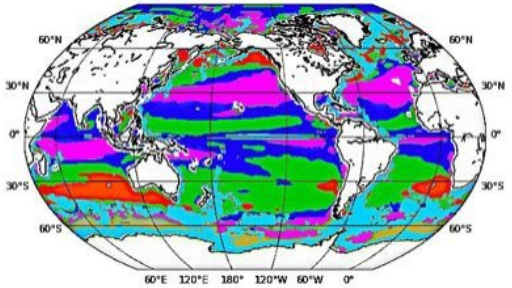
Ensemble of trained MLP



Mean of predictions is used to find the most probable class

Classification

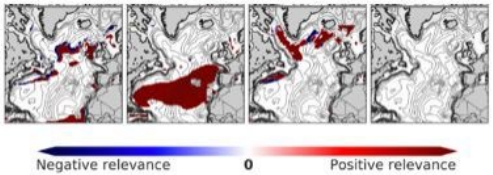
Predict dynamical regimes in unseen data



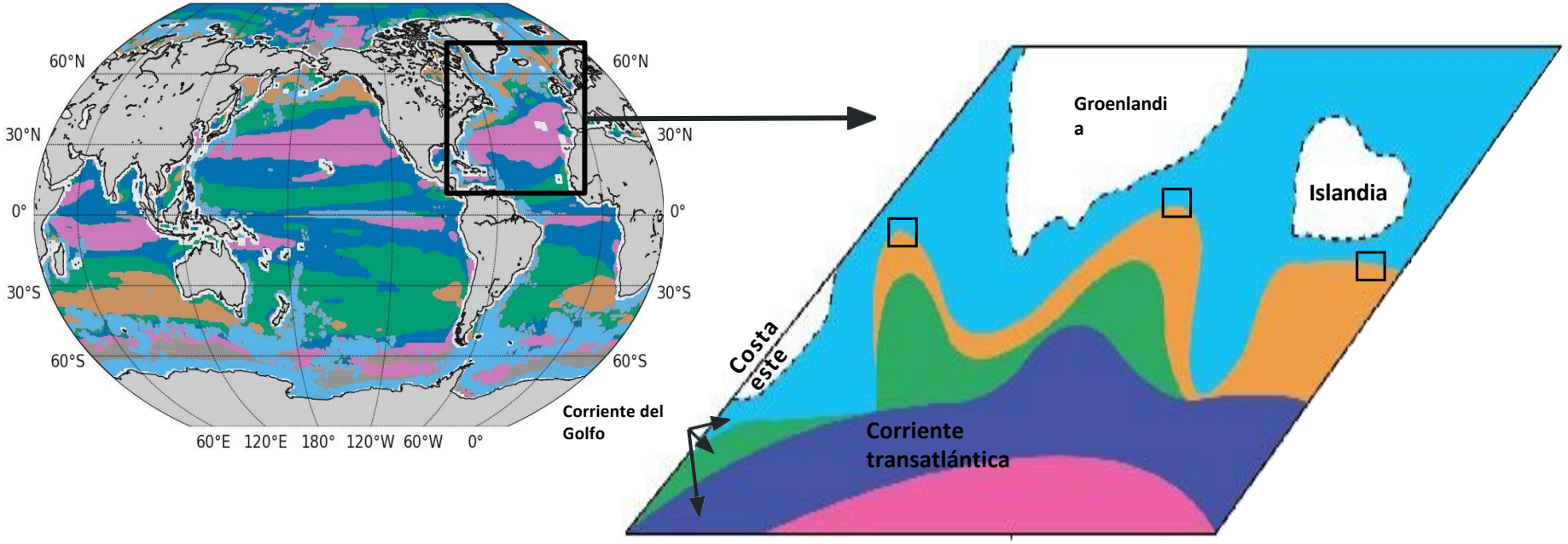
XAI method (ex: LRP) is used for each MLP to obtain the mean of relevances

Explainability

Attribute predictive skill to input features

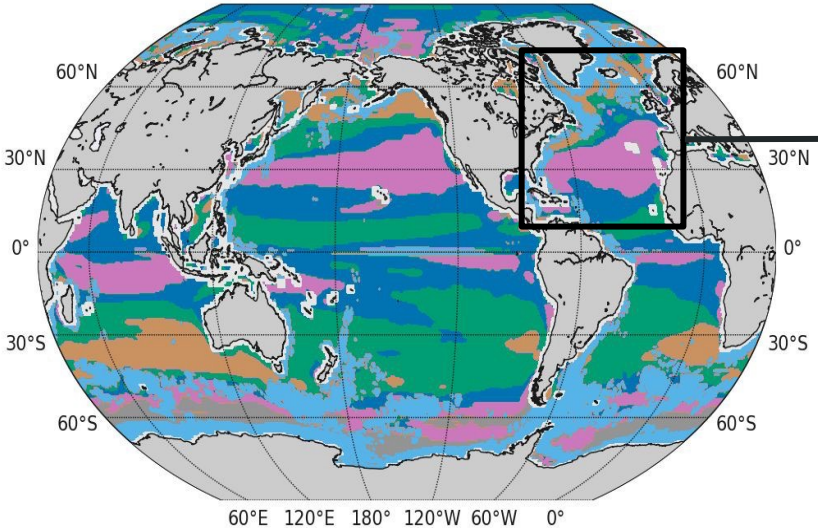


THOR: diagnosticar los procesos de la AMOC



□ = agua densa en superficie

THOR: diagnosticar los procesos de la AMOC

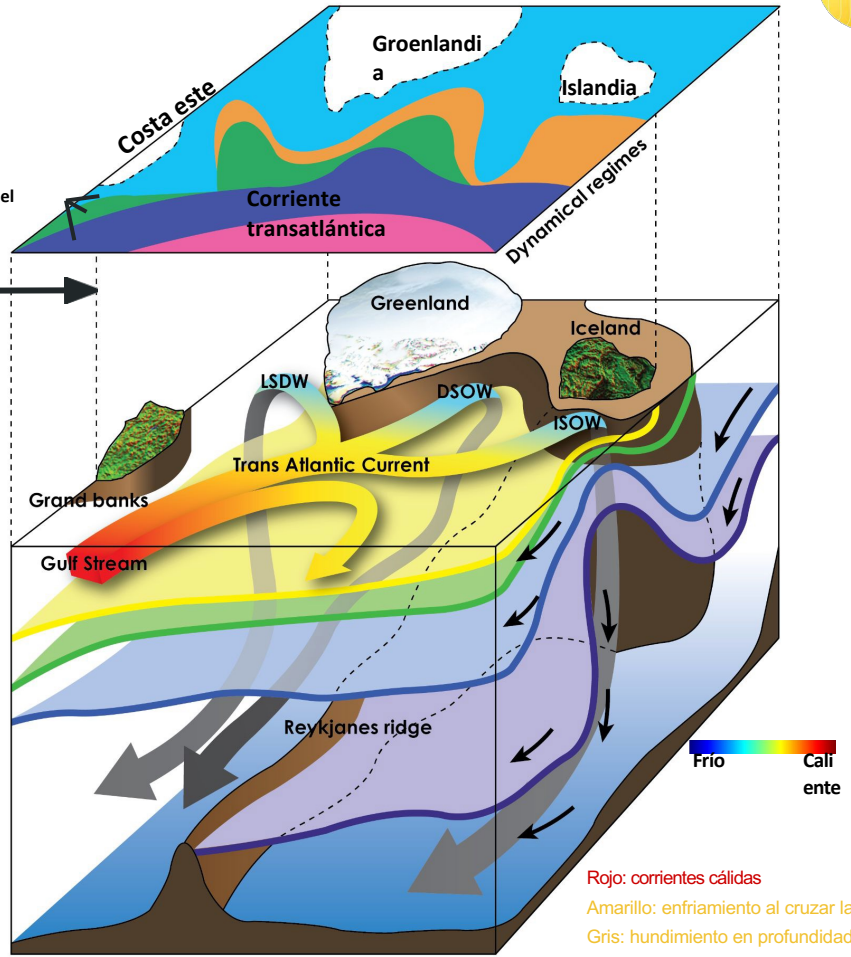


THOR aplicado a modelos CMIP

Diagnosticar procesos para acelerar el ajuste y la parametrización de los modelos

GFDL e IPDL



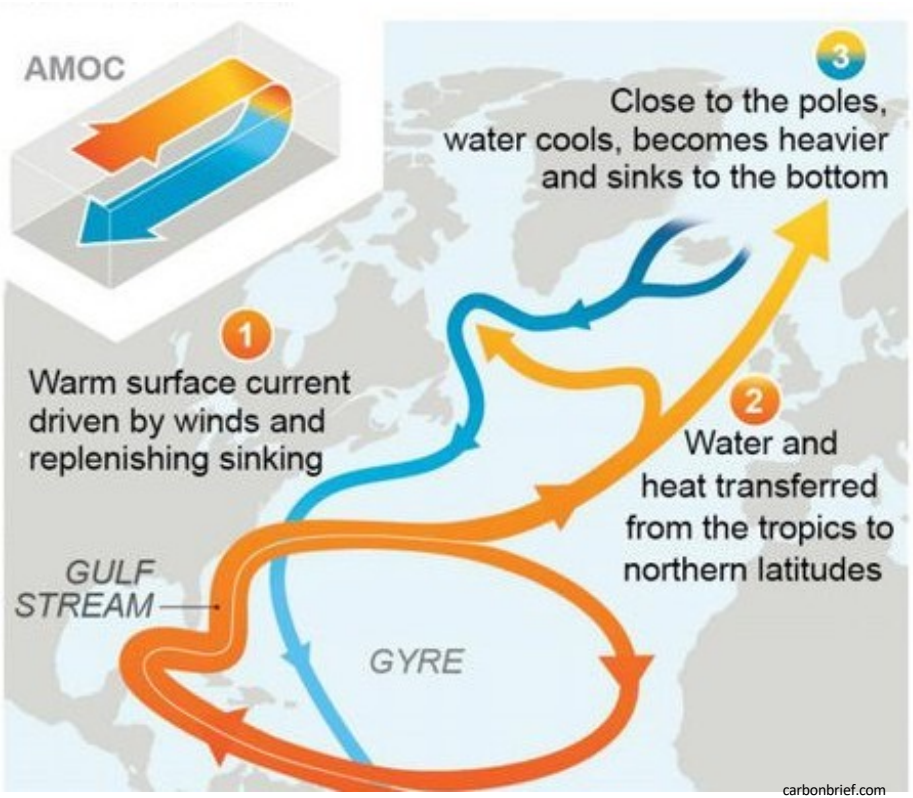


Rojo: corrientes cálidas

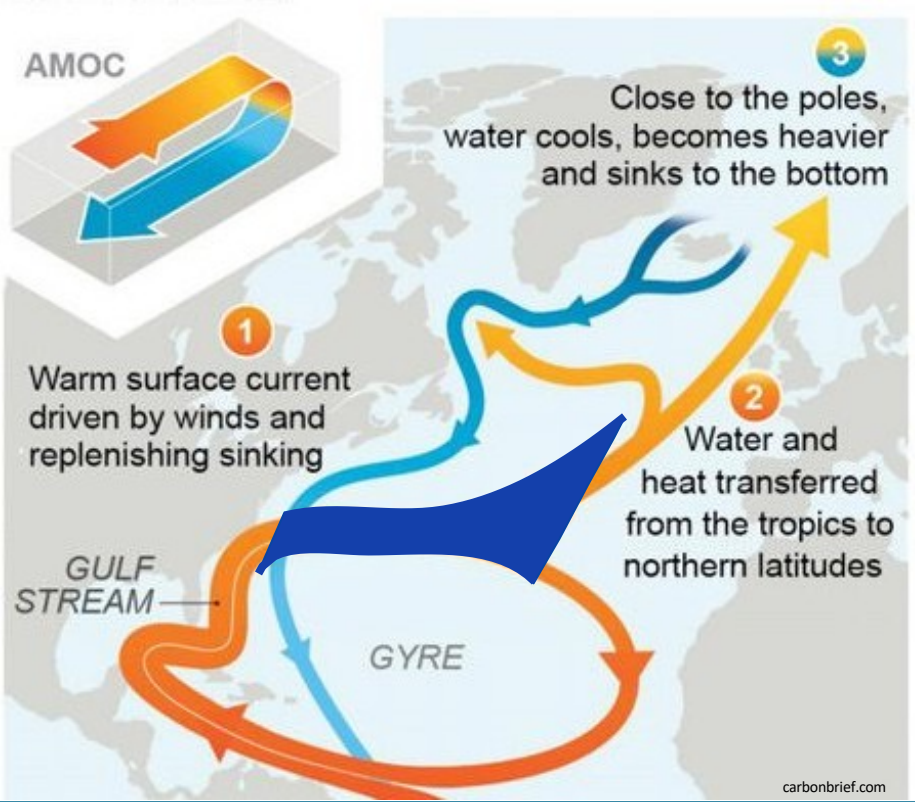
Amarillo: enfriamiento al cruzar la cuenca

Gris: hundimiento en profundidad

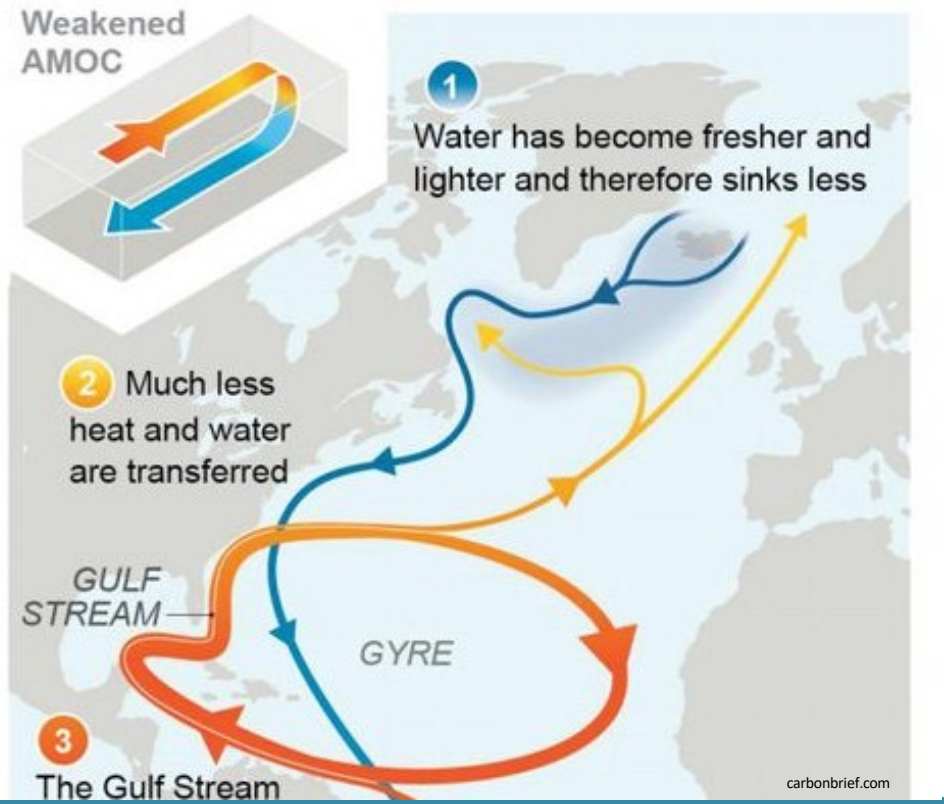
¿Cómo se debilitará la circulación de vuelco?



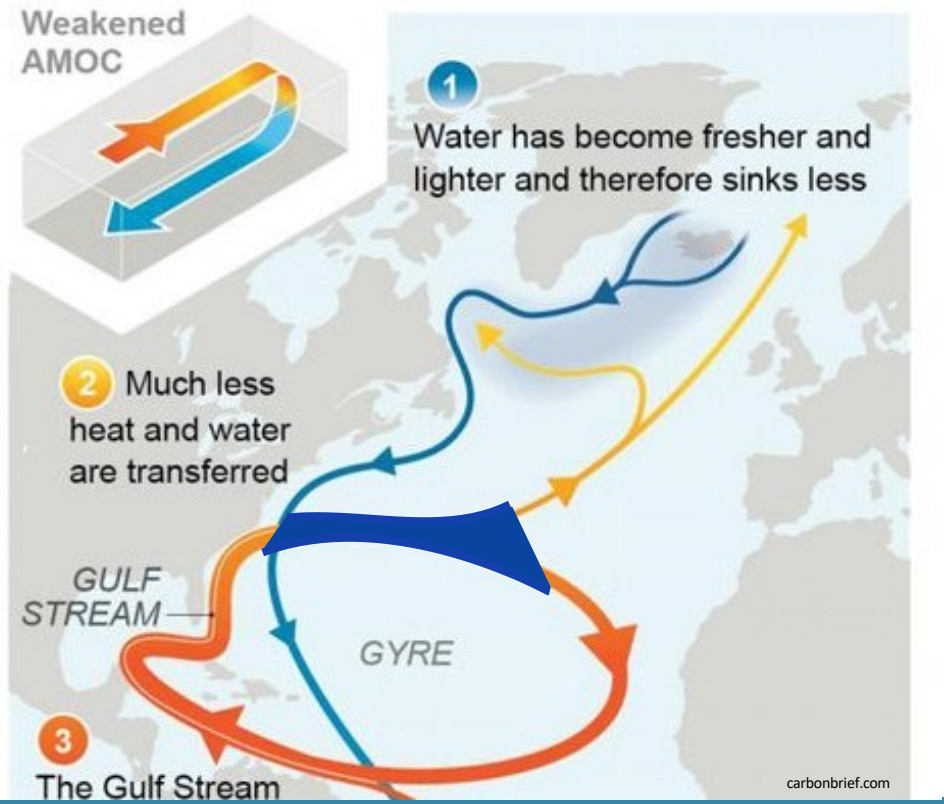
¿Cómo se debilitará la circulación de vuelco?



¿Cómo se debilitará la circulación de vuelco?



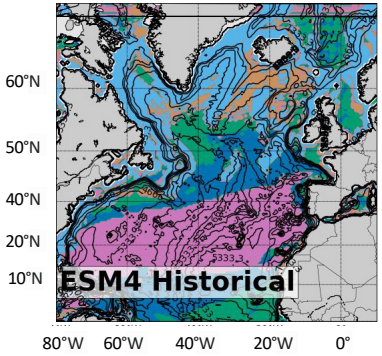
¿Cómo se debilitará la circulación de vuelco?



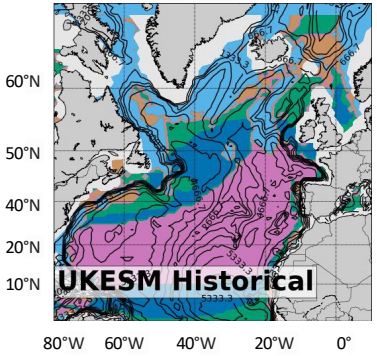
THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias

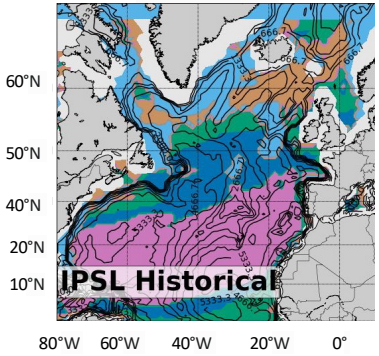
GFDL ESM4

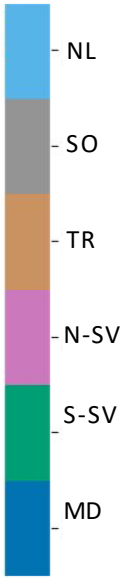


UKESM



IPSL



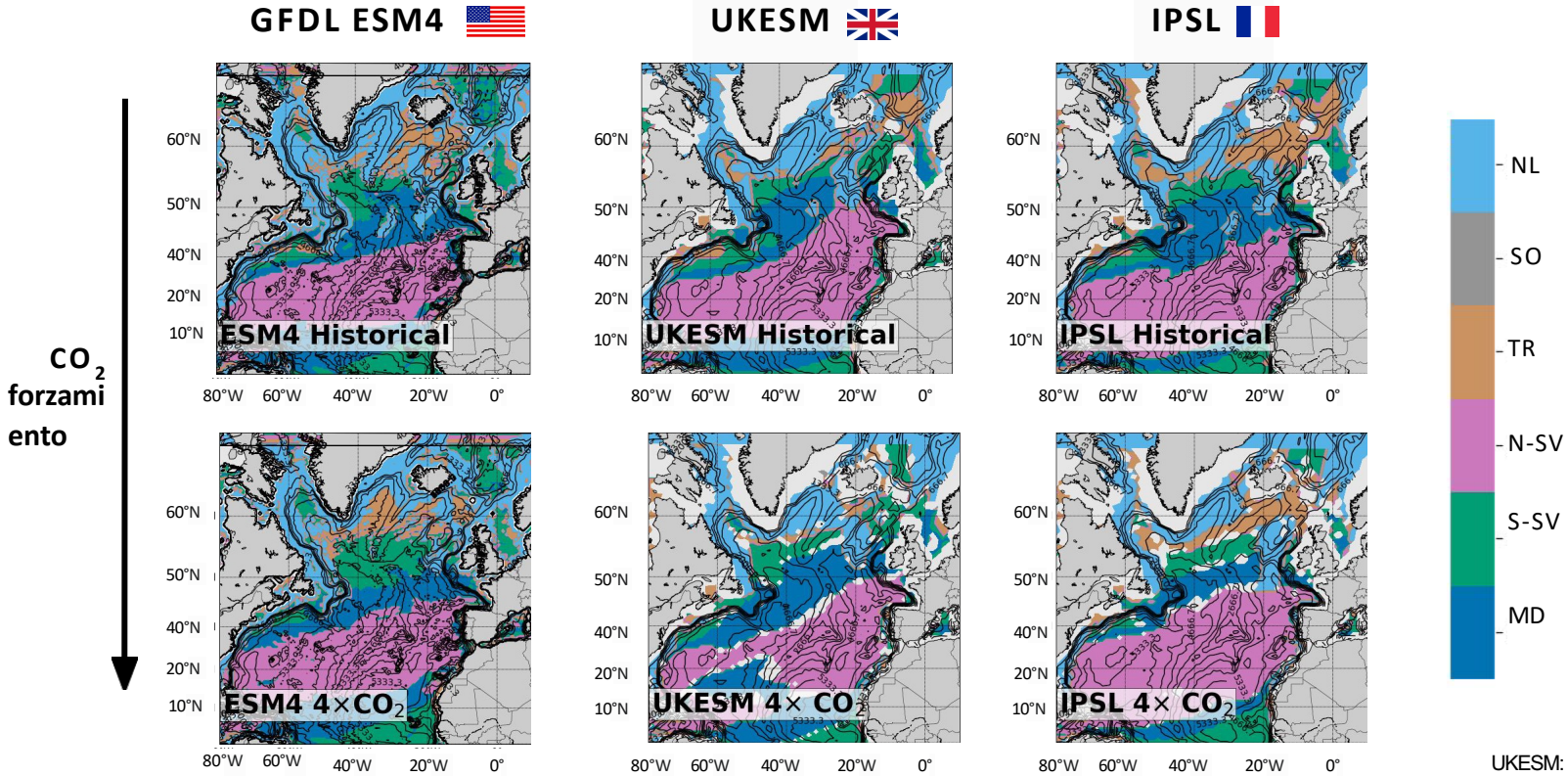


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias

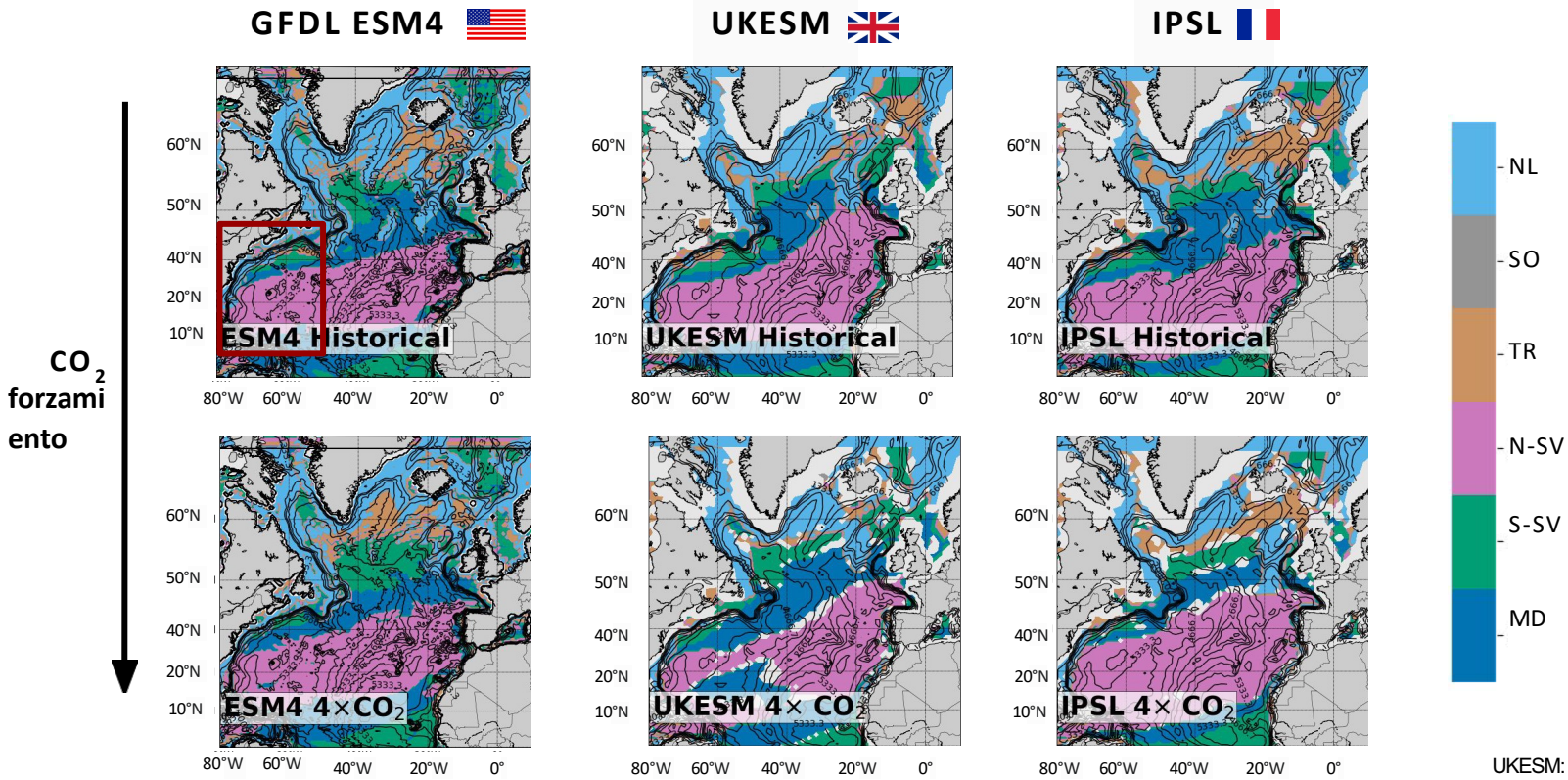


UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

[SL 2021 **JAMES**]

THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias

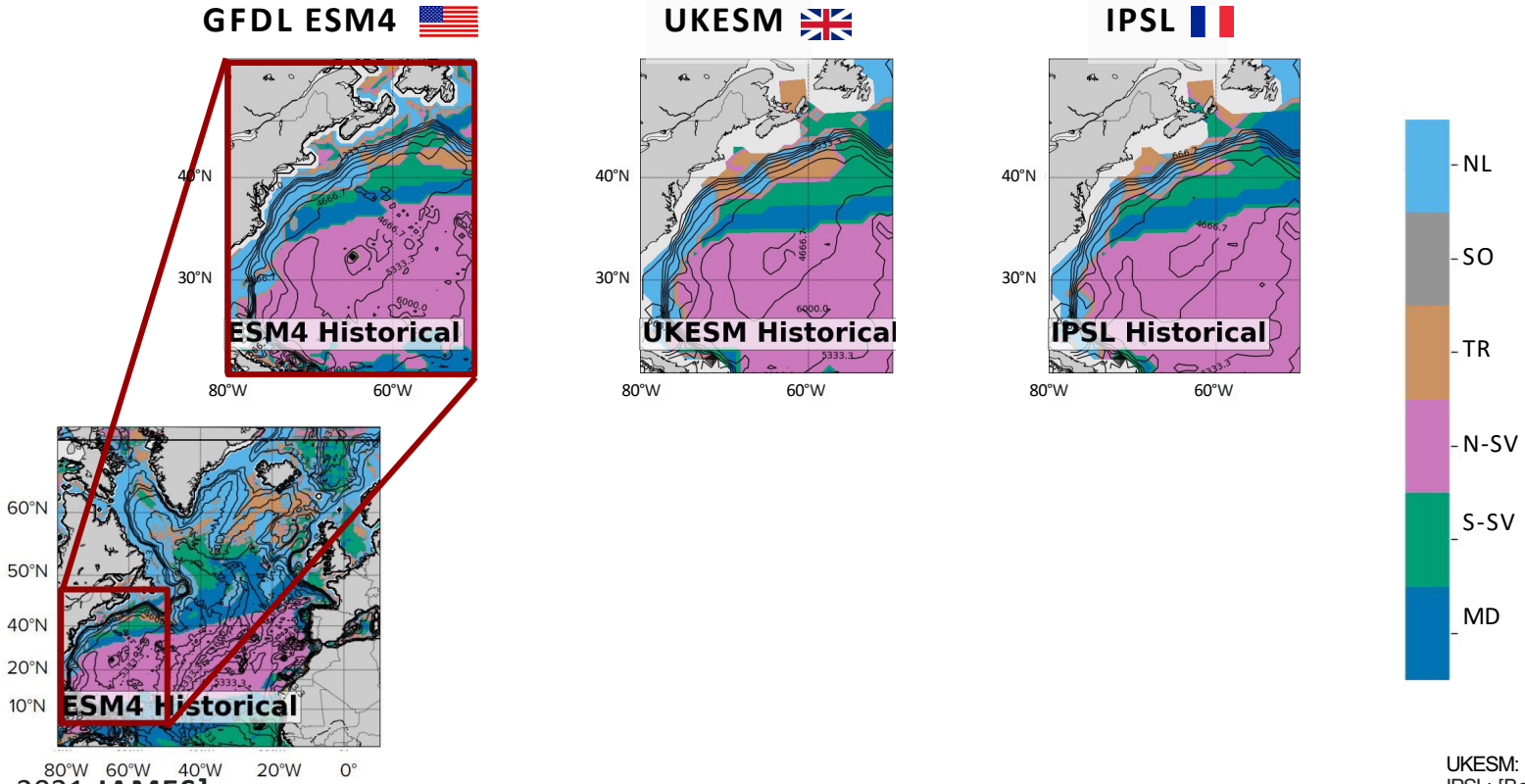


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias

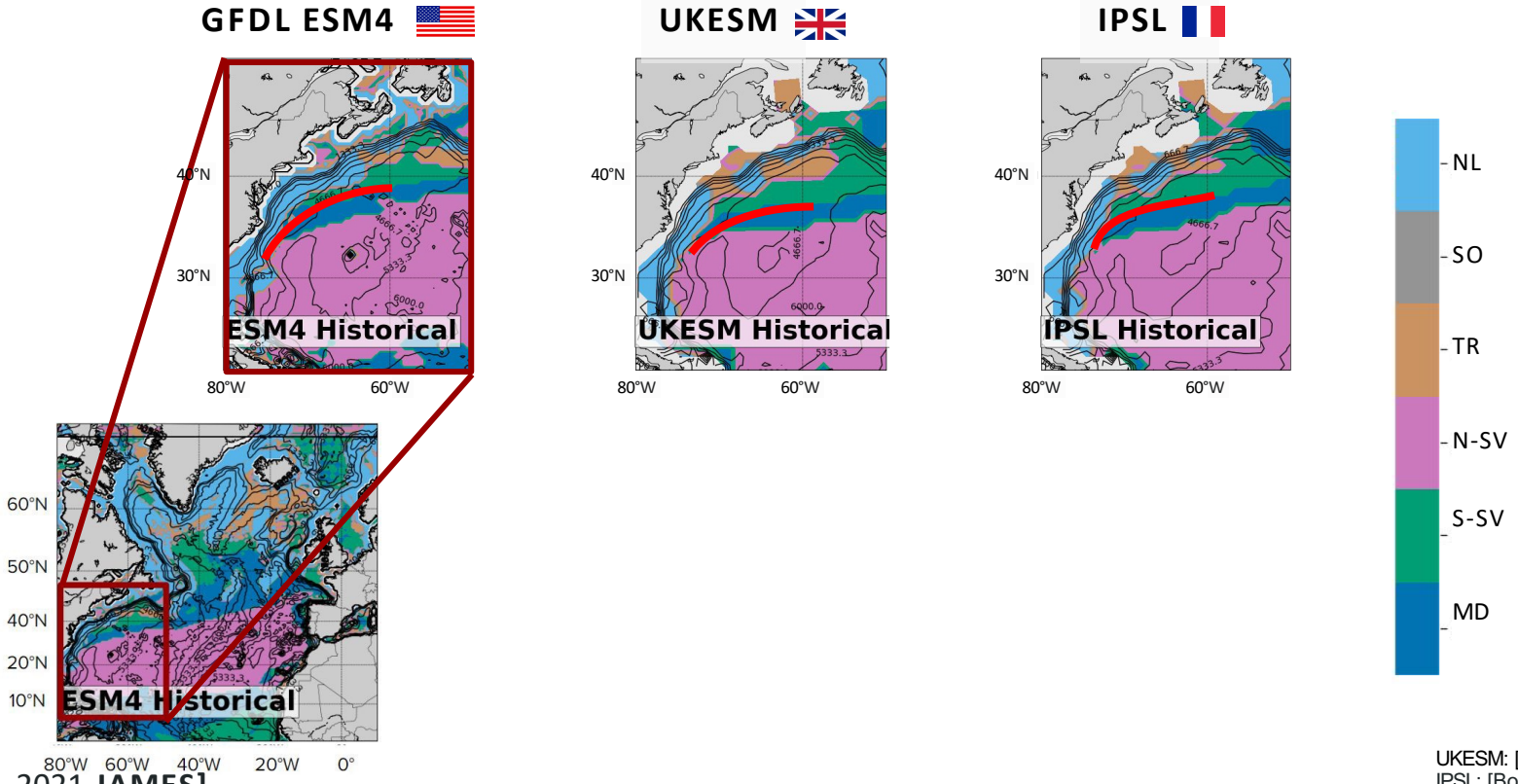


[SL 2021 JAMES]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias

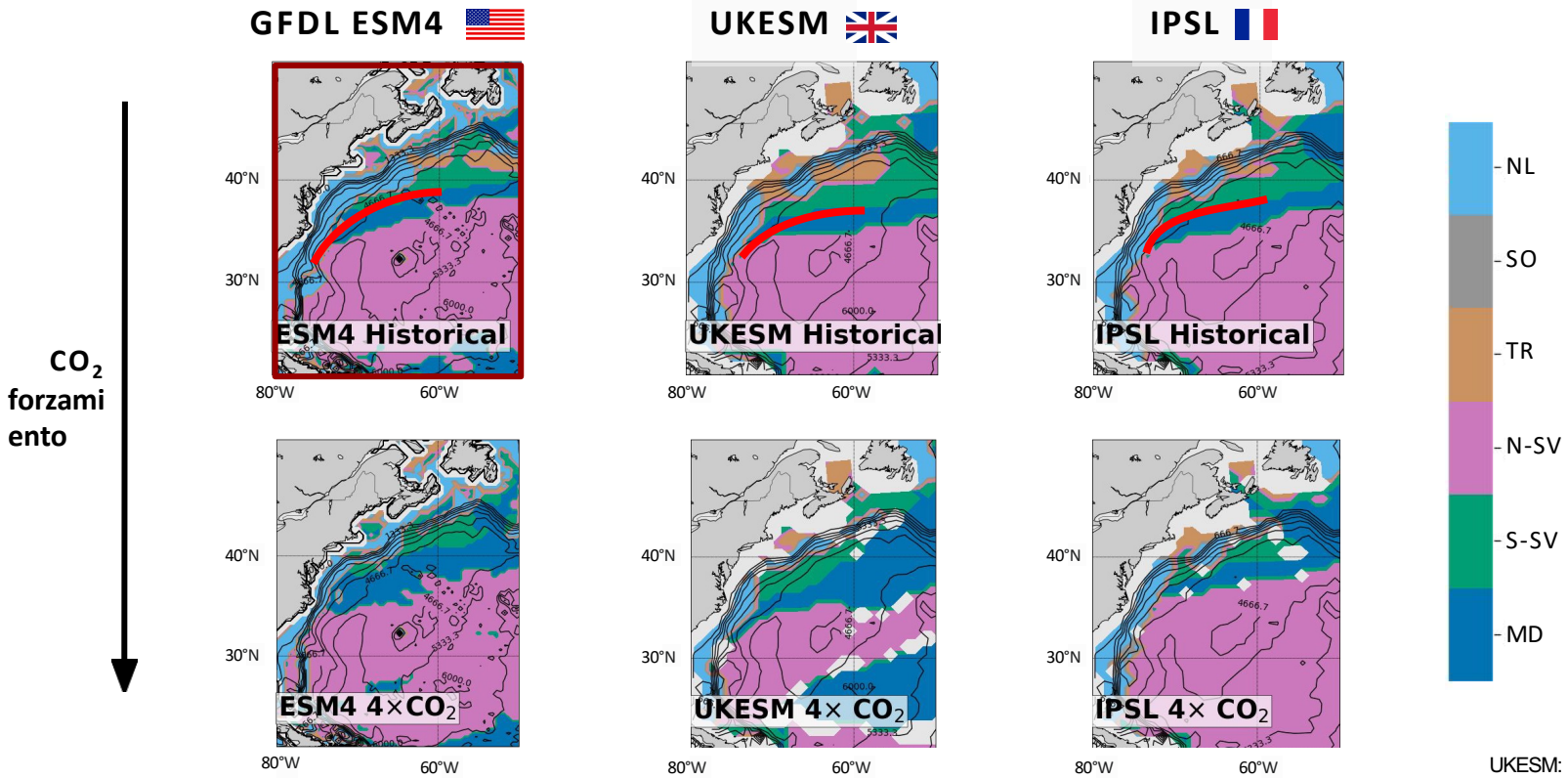


[SL 2021 JAMES]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias



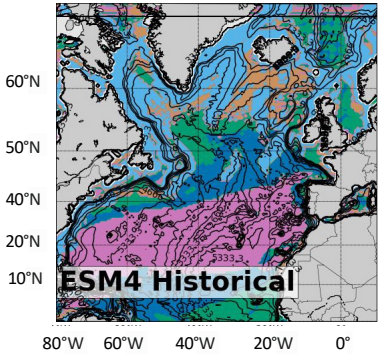
UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

[SL 2021 **JAMES**]

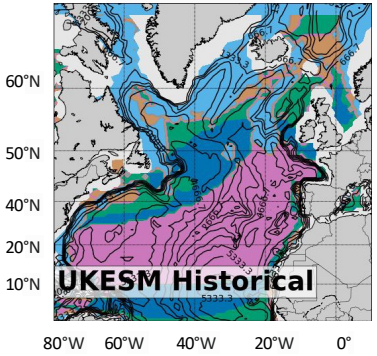
THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias

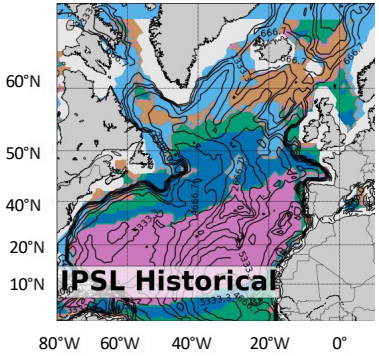
GFDL ESM4

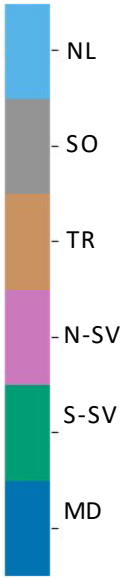


UKESM



IPSL





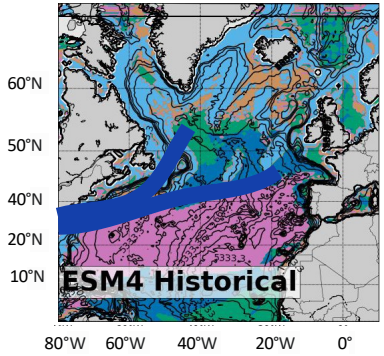
[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

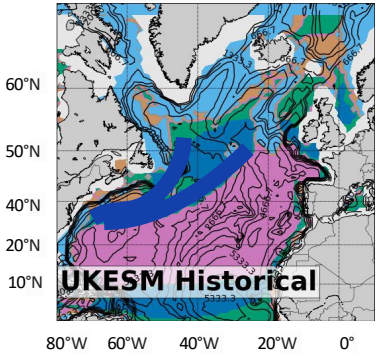
THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias

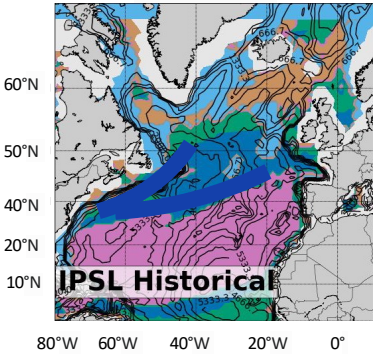
GFDL ESM4

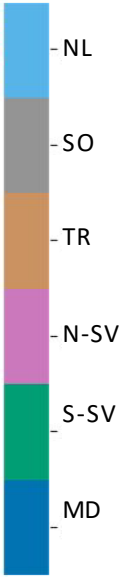


UKESM



IPSL



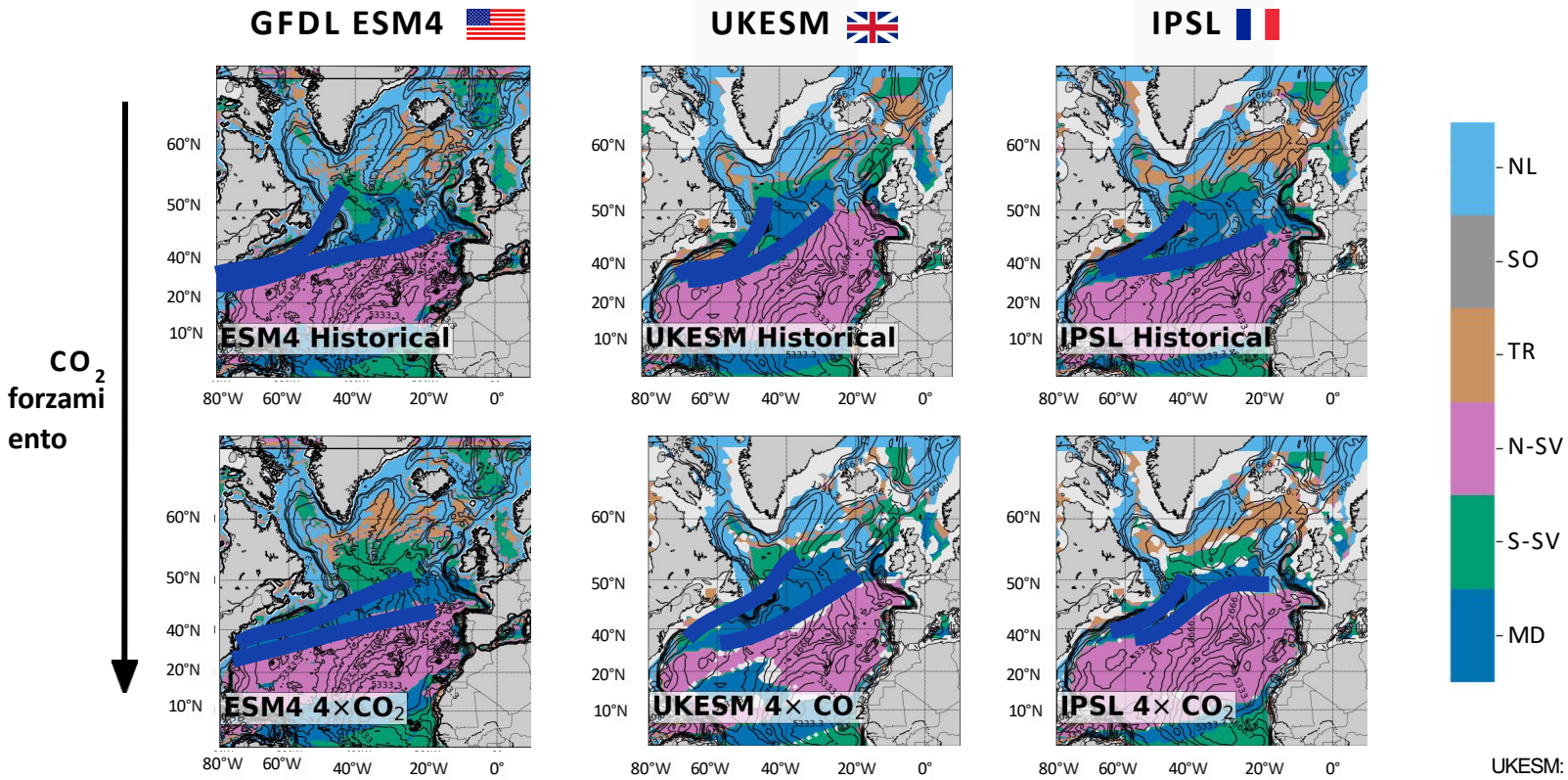


[SL 2021 **JAMES**]

UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

THOR: procesos con cuadruplicación abrupta del CO_2

Los escenarios «históricos» se parecen, pero los futuros revelan diferencias

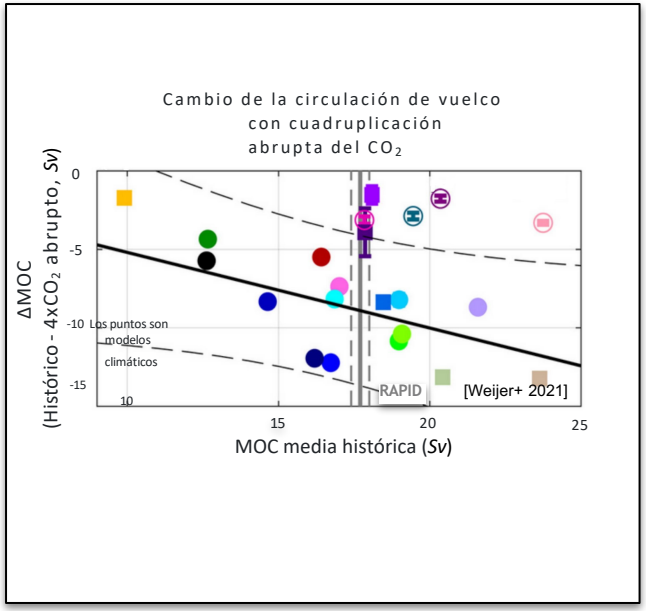


[SL 2021 **JAMES**]

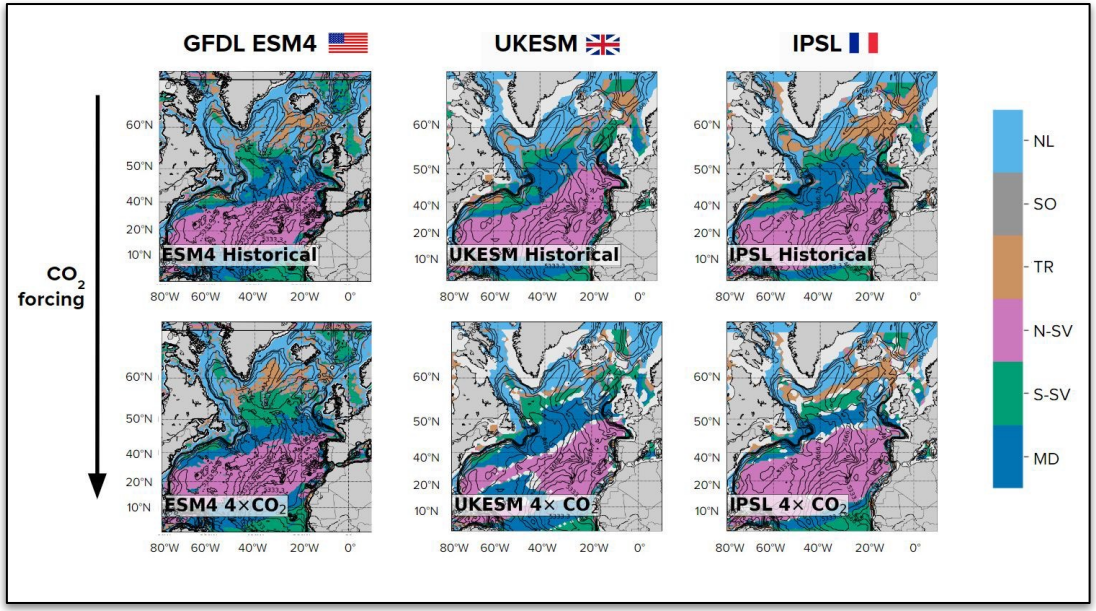
UKESM: [Senior+ 2020]
IPSL: [Boucher+ 2020]

Un método claramente mejor

Anterior



Nuevo método de SL 2021 JAMES



Conjuntos de datos

Océano físico:
Global Ocean Observing Systems (GOOS): https://www.ocean-ops.org/goosreport/
Copernicus Marine (CMEMS) para reanálisis, datos satelitales y previsiones:
https://marine.copernicus.eu/ Datos de modelos climáticos CMIP6: https://esgf.github.io/

Biogeoquímica y ecosistemas oceánicos:
Surface Ocean CO2 Atlas (SOCAT): https://socat.info/
NASA OceanColor y PACE: https://pace.gsfc.nasa.gov/
Datos de biodiversidad marina: Ocean Biodiversity Information System (OBIS):
https://obis.org/ Presencia de especies: Global Biodiversity Information Facility (GBIF):
https://www.gbif.org/

Presiones humanas:
Global Fishing Watch (API abierta): https://globalfishingwatch.org/
Allen Coral Atlas: https://www.allencoralatlas.org/

Regiones polares: MEOP: http://www.meop.net/ (¡las focas!)

Herramientas

Modelo de IA oceánica Samudra:
https://m2lines.github.io/Samudra/docs/

Para usar los datos, la caja de herramientas Python Pangeo:
https://pangeo.io/

Recursos de cómputo:

Google Colab:

https://colab.research.google.com/ Copernicus

WEkEO: https://wekeo.copernicus.eu/

Problemas abiertos apasionantes (¡y grandes!)

Mares costeros y de plataforma, donde modelos y satélites funcionan peor:
La batimetría compleja, los aportes fluviales y las mareas lo dificultan. Reducción de escala y emulación para el riesgo costero.

Extrapolación a estados climáticos futuros:
Un modelo entrenado con el océano histórico al que se pregunta por un mundo con $4\times CO_2$ extrapola por construcción. THOR y OceanCBM trabajan en ello.

Parametrizaciones de subescala en los modelos:
Esquemas de AA que funcionan bien fuera de línea y luego derivan o divergen en línea. Campo muy activo.

Interpretabilidad mecánicamente válida:
OceanCBM es un intento; el problema general sigue muy abierto.

Pesca artesanal:
Detección que no dependa de que los buques emitan voluntariamente su señal.

Fusión multimodal:
Color del océano + in situ + acústica + ADNa para la composición de las comunidades.

¡Cómo participar!

Investigadores y estudiantes:
Asiste a congresos: Ocean Sciences Meeting, EGU/AGU, Climate Informatics y los talleres de CCAI en NeurIPS/ICML/ICLR
Contribuye a códigos como THOR (el enfoque por regímenes se aplica a otras cuencas y variables) o Samudra.
¡Hay muchos!

ONG y gobiernos:
La vía de reconocimiento del Decenio de las Naciones Unidas de los Océanos, el GOOS y sus alianzas regionales (IOGOOS, GOOS Africa), el ODIS de la COI-UNESCO y el programa de colaboración de Global Fishing Watch

Financiadores:
La financiación del trabajo sobre océano y clima se recorta donde tradicionalmente se apoyaba.
Toda la investigación es importante, pero sobre todo deben apoyarse las series temporales sostenidas, la infraestructura de observación en el Sur Global y la creación de capacidades

IA para los océanos y los sistemas marinos

El océano en el sistema climático

97 % del agua, 90 % del exceso de calor, ~25 % de nuestro CO_2, > 50 % del oxígeno

Física simple, con patrones complejos emergentes

Los contrastes de densidad impulsan una circulación de vuelco de alcance mundial

Las consecuencias de un clima cambiante

El calentamiento, la acidificación y las olas de calor afectan a la producción primaria, el zooplancton y la pesca

¿Ricos en datos y pobres en conocimiento, o al revés?

Observaciones, satélites y modelos cubren solo una parte del problema

¡El AA es el puente, no el destino!

GORDON AND BETTY MOORE FOUNDATION

NSF

NOAA NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION U.S. DEPARTMENT OF COMMERCE