



ÁREA  
GEOCIENCIAS

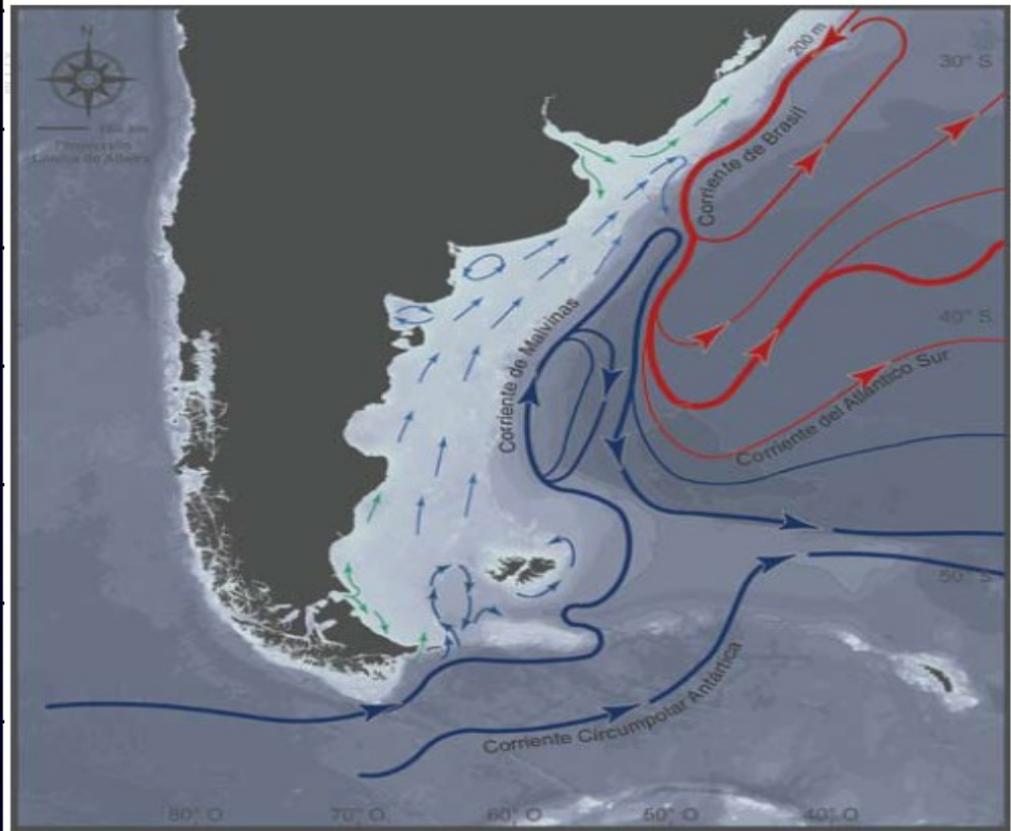
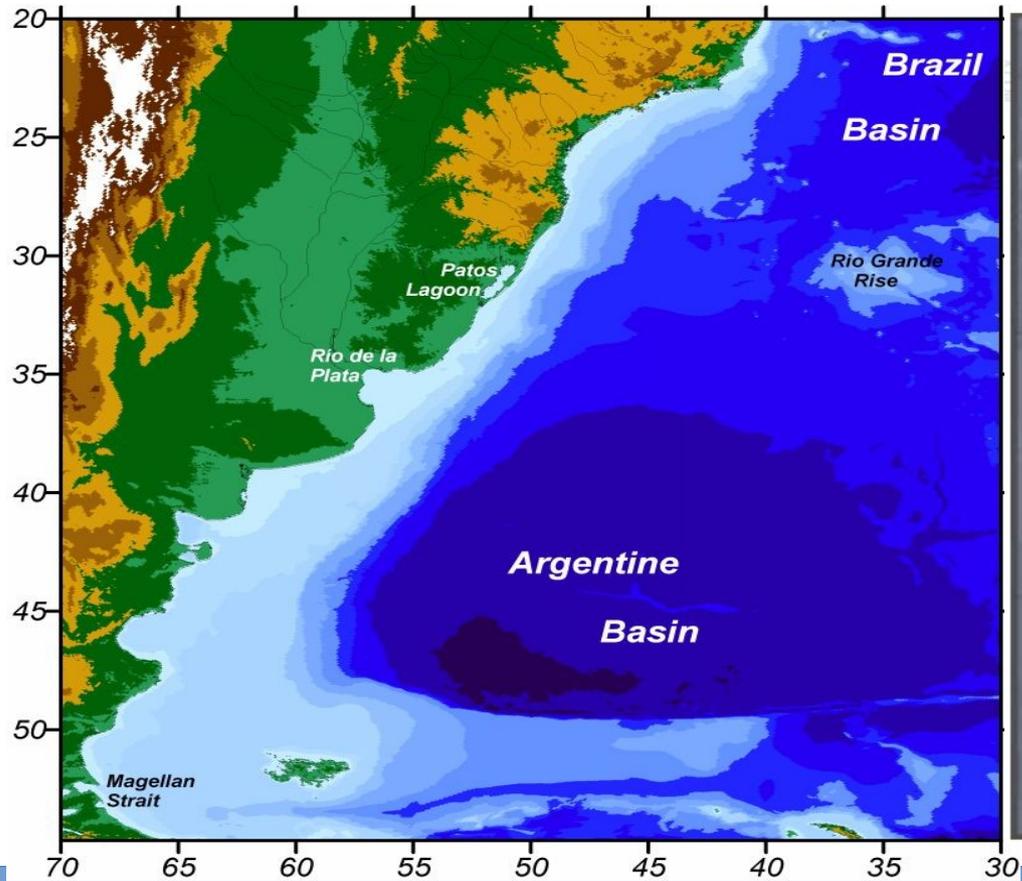
# El Sistema Climático

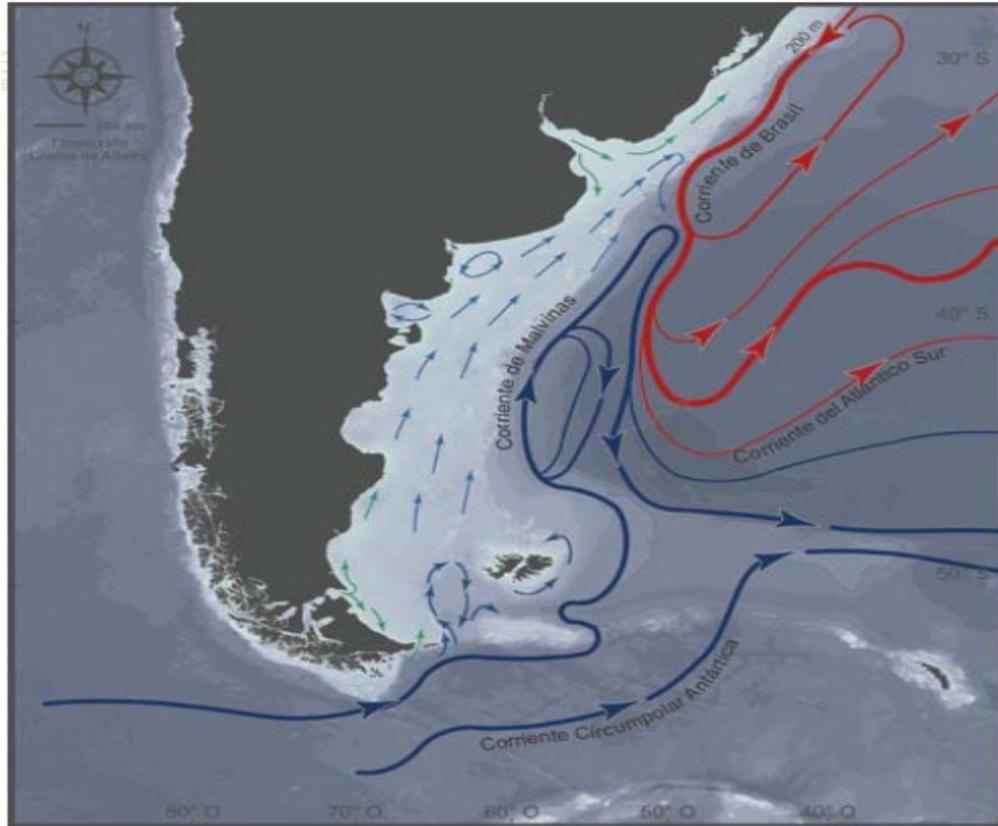
## Maestría en Geociencias

2023

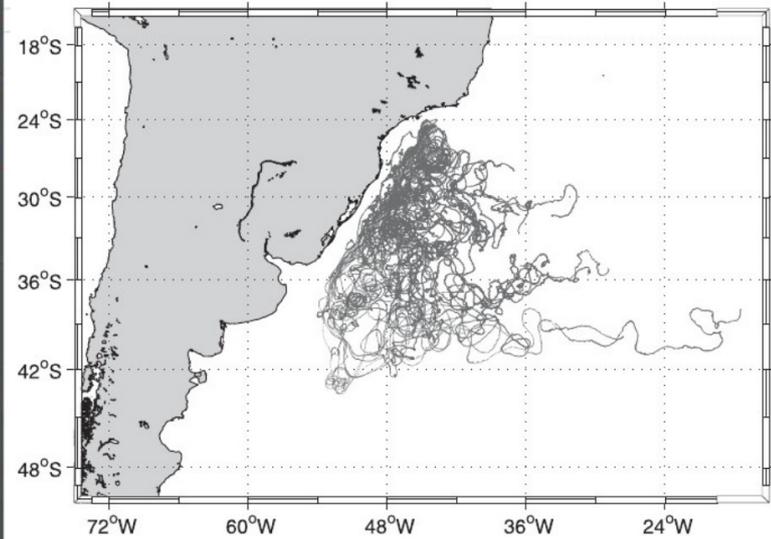
# **Circulación oceánica en el Atlántico Suroccidental**

# CIRCULACIÓN EN EL ASO



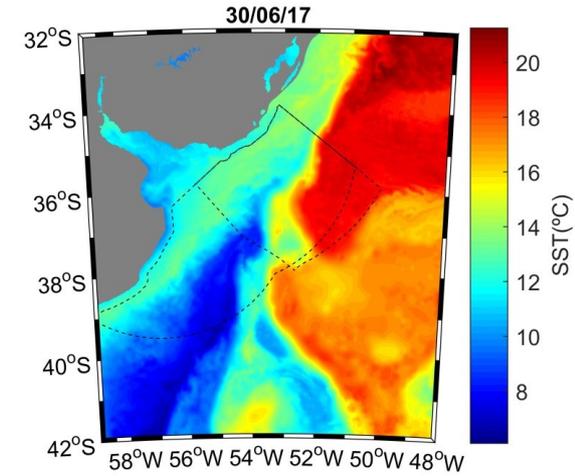
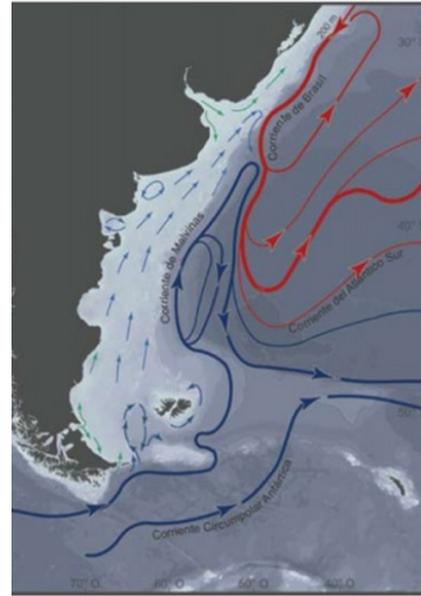
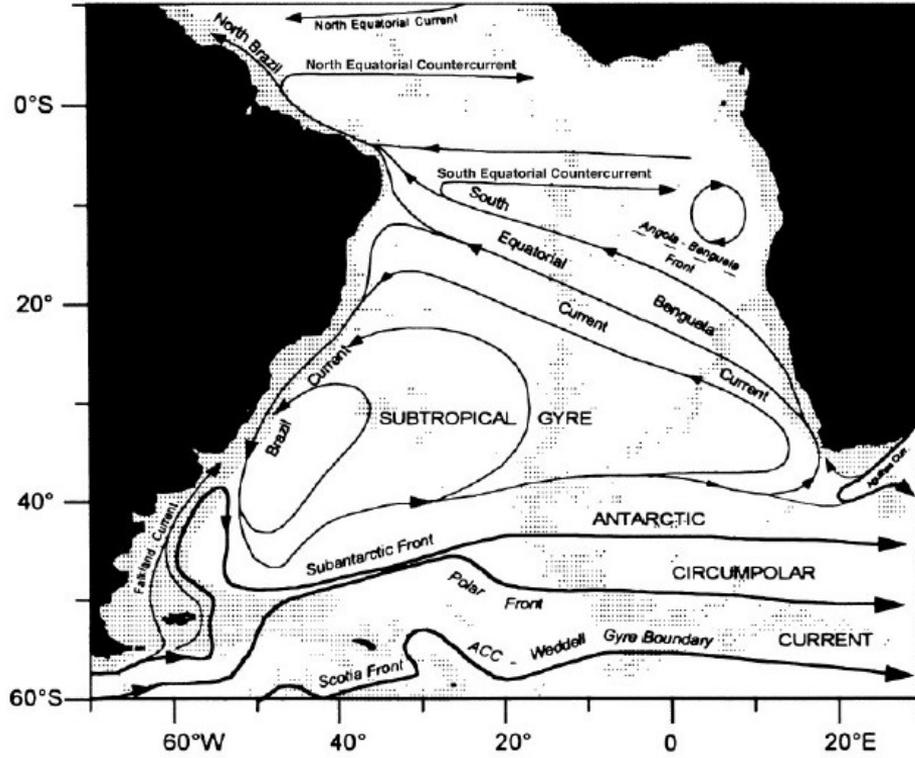


Trayectorias de muchas boyas



Berti et al 2011

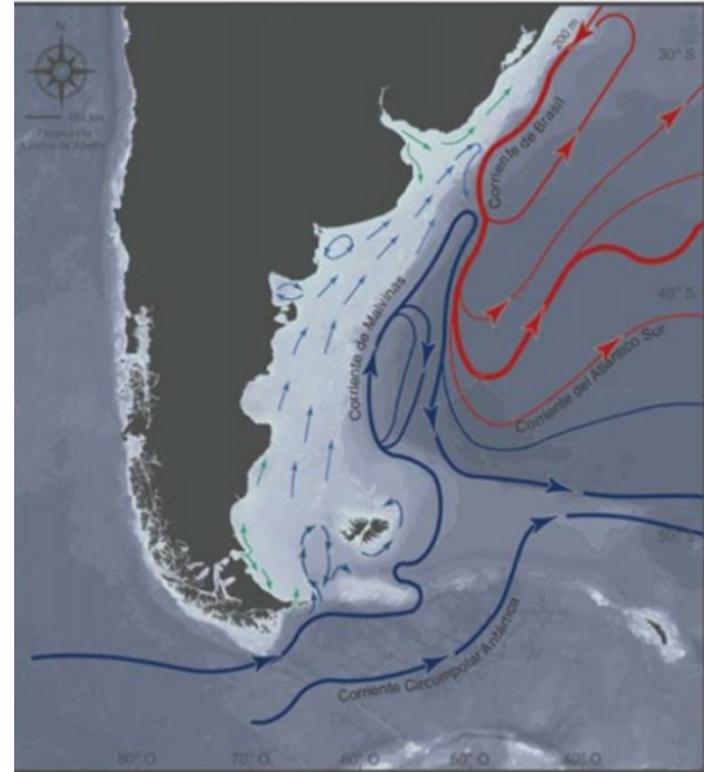
# CIRCULACIÓN EN EL ASO



Corriente de Brasil (AT y AST AAI)  
Corriente de Malvinas (ASA AAI)

## Corriente de Brasil

- La CB se extiende hacia el sur a lo largo del talud
- Es baroclínica (la velocidad varía con Z, viento térmico), genera inestabilidades se generan meandros y eddies.
- Transporta masas de agua:
  - a) Agua Tropical (TW,  $T > 20\text{ °C}$ ,  $S > 36$ ) hasta los 200m
  - b) Agua Central de Atlántico Sur o Agua subtropical (SACW o STW,  $6\text{ °C} < T < 20\text{ °C}$ ,  $34,6 < S < 36$ ).



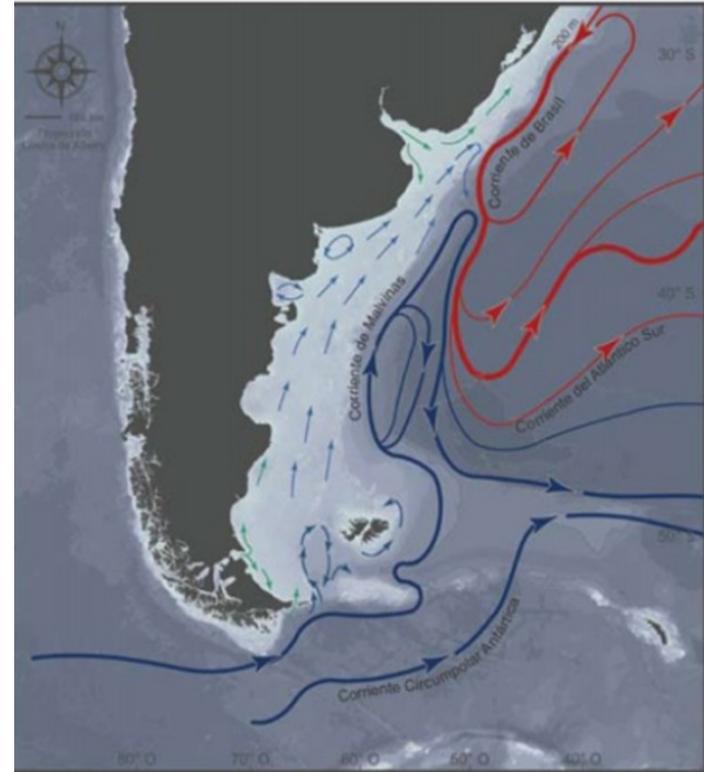
## Corriente de Malvinas

- Se origina de la rama norte de la Corriente Circumpolar Antártica
- Aguas relativamente diluidas y frías
- Fluye por el talud hacia le N, hasta que alcanza a la CB

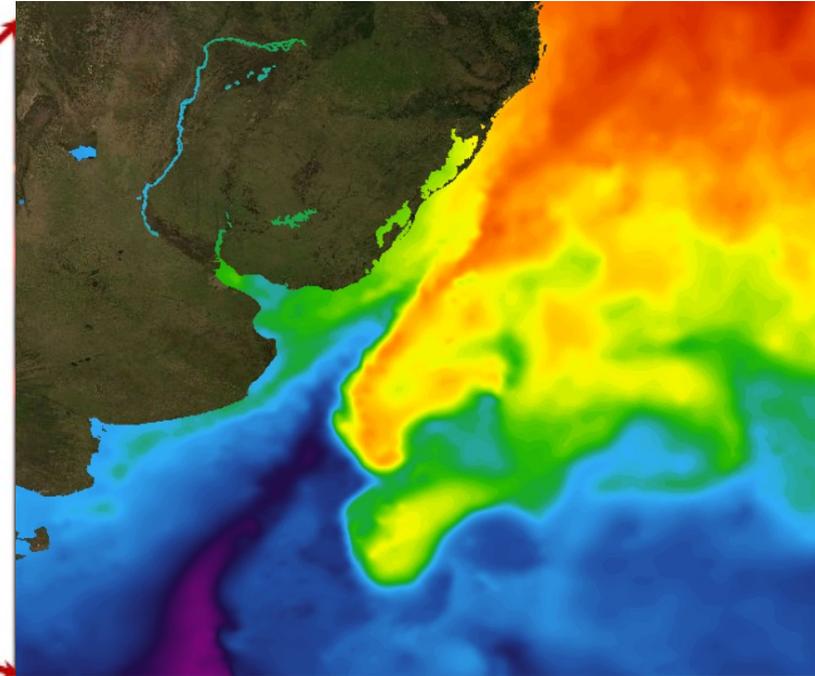
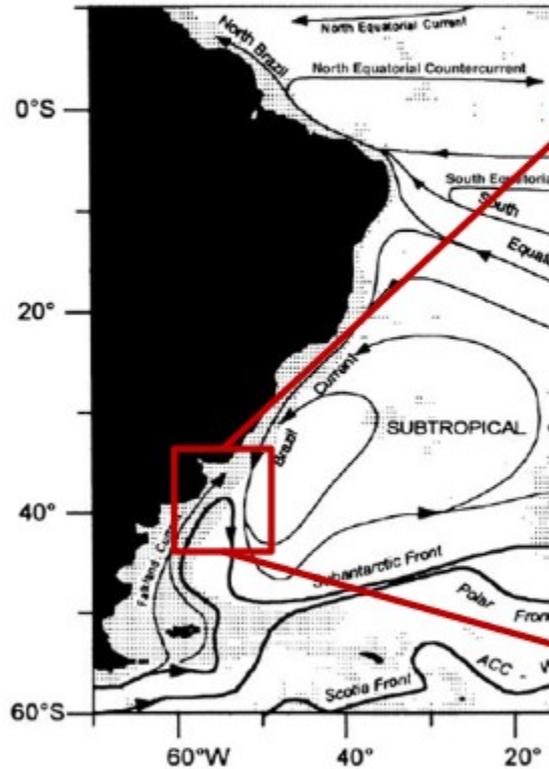
Transporta

Aguas subantárticas:  $2^{\circ}\text{C} > T < 8^{\circ}\text{C}$ , son aguas ricas en oxígeno y nutrientes y Agua antártica Intermedia.

- La zona donde ocurre es altamente productiva debido a que allí ocurre un proceso de surgencia.



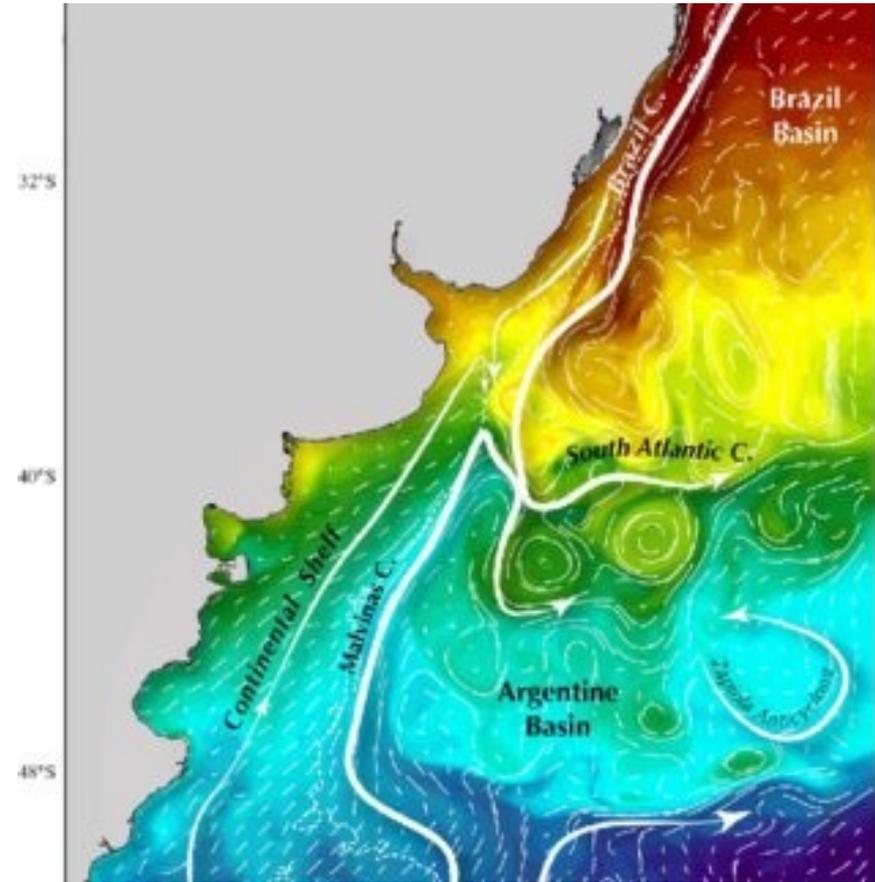
# Confluencia Brasil-Malvinas (~38°S)



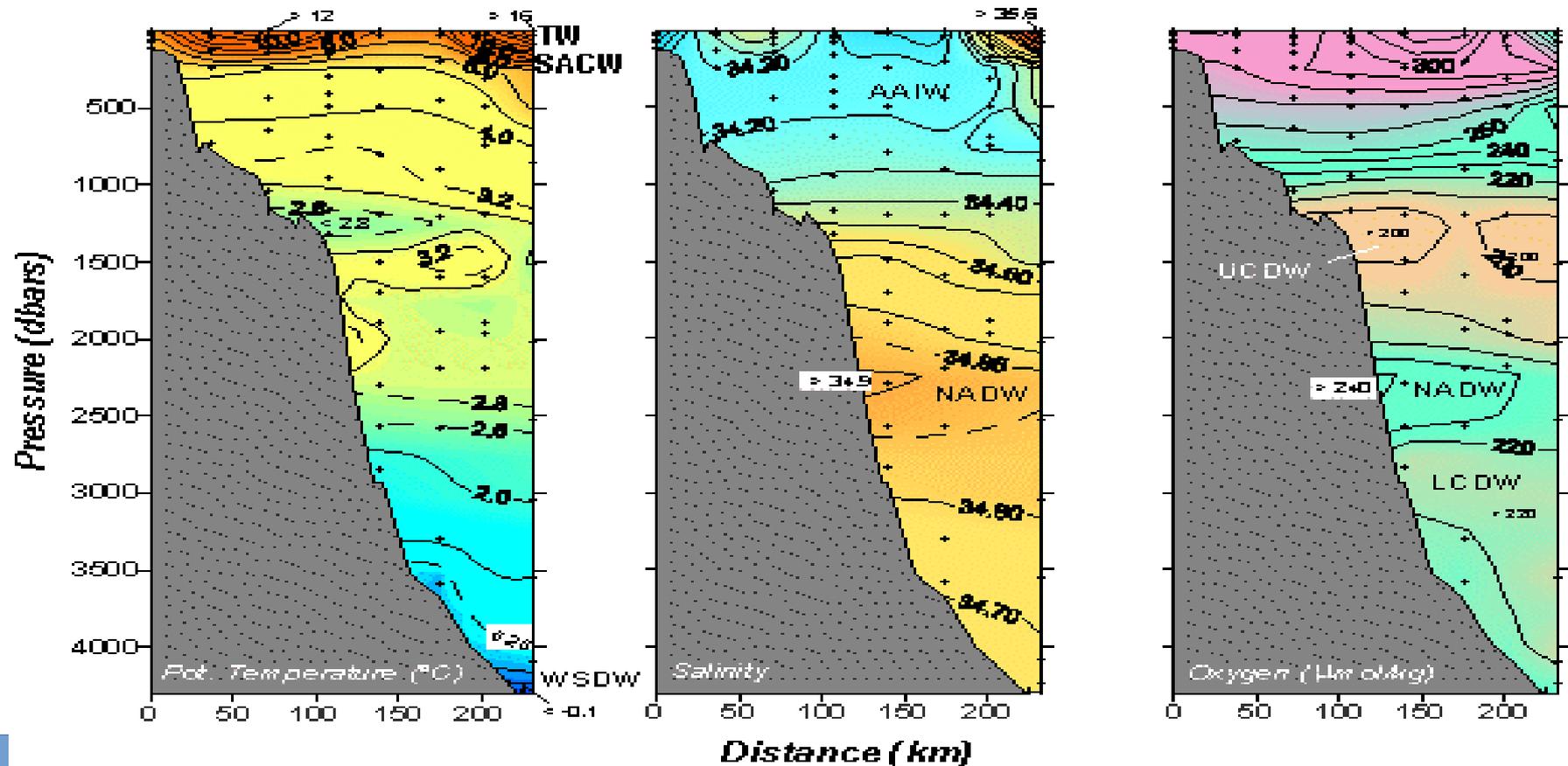
- Característica oceanográfica que más se destaca en la región
- Zona de convergencia de masas de aguas de diferentes características.
- Es una de las zonas más energéticas del océano global.

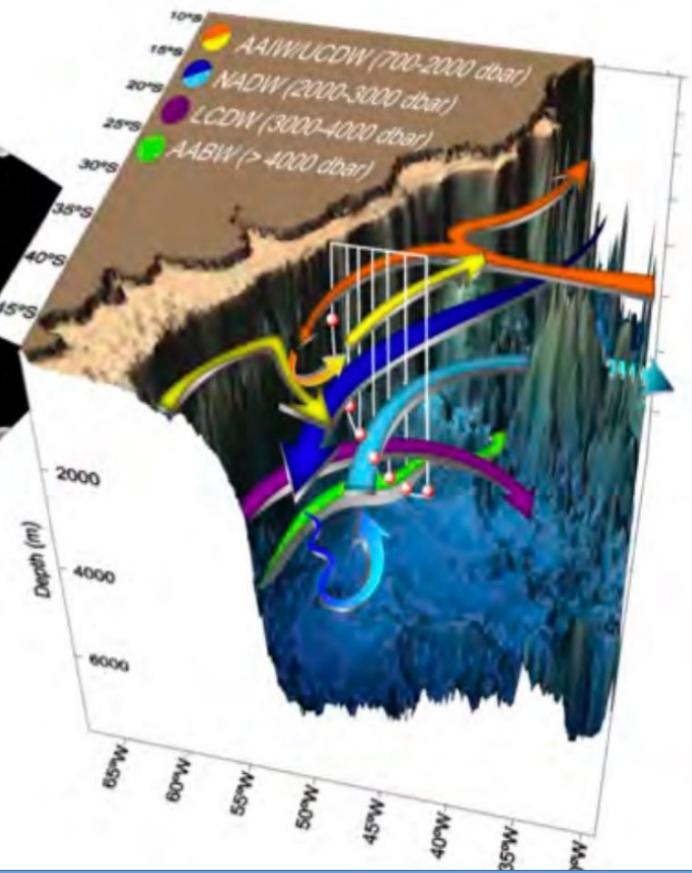
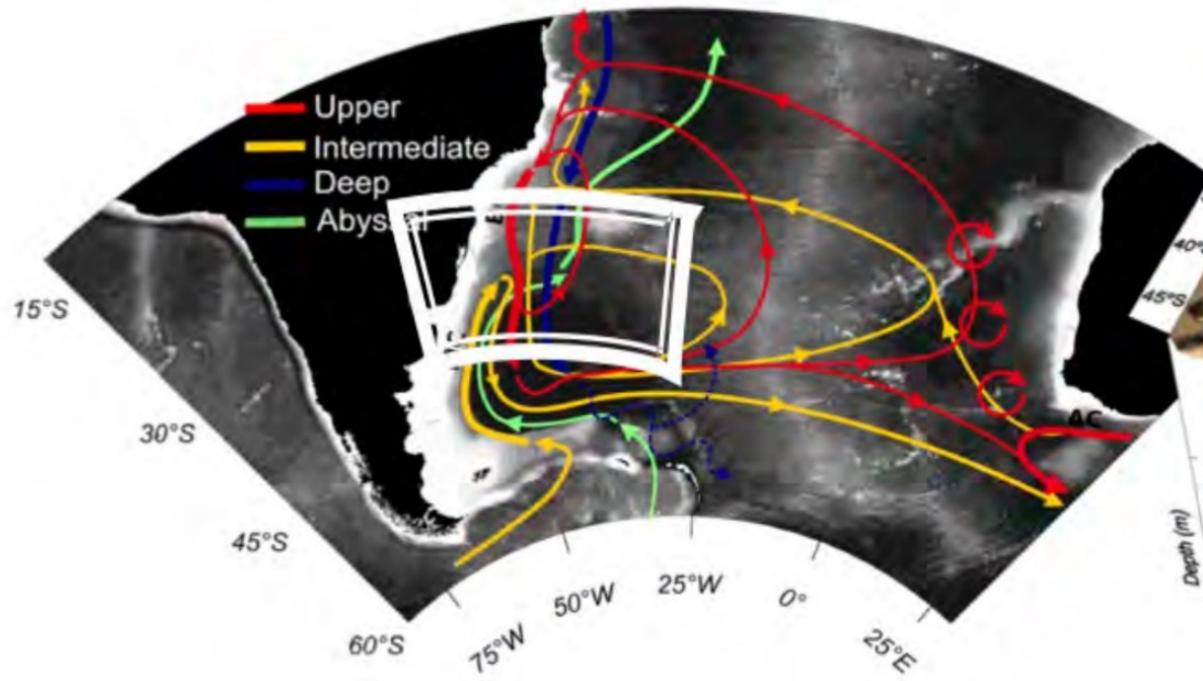
La convergencia genera inestabilidades y desprendimientos de eddies con características térmicas y halinas diferentes a las aguas circundantes.

Los eddies de núcleo cálido pueden tener una anomalía de T de  $10^{\circ}\text{C}$ , duración de dos meses y hasta 500km de diámetro.



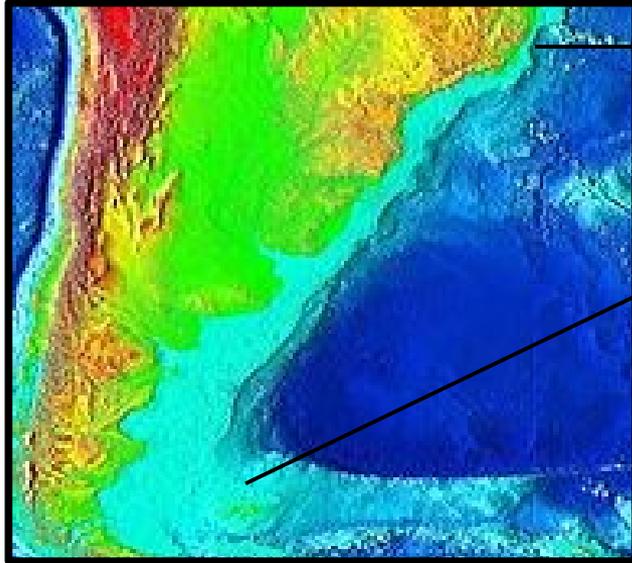
La confluencia de Brasil Malvinas determina una compleja estructura vertical de masas de agua sobre la plataforma del ASO.







# PLATAFORMA DEL ASO



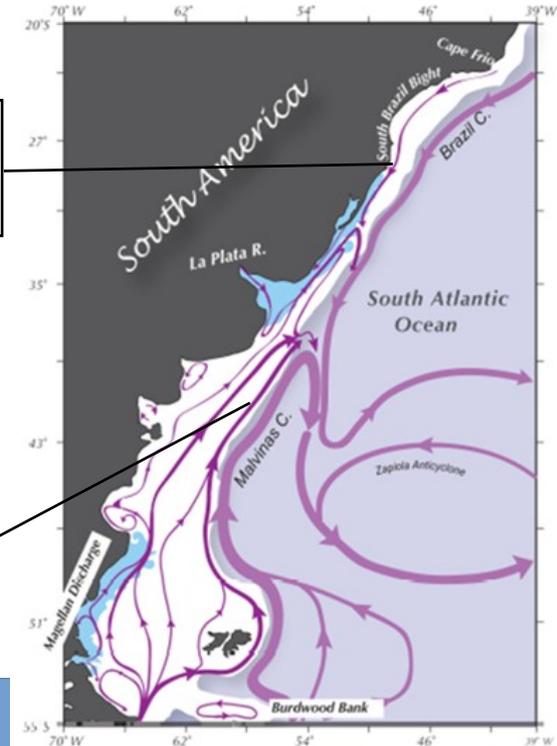
La plataforma del ASO se extiende desde Cabo Frío (23°S)

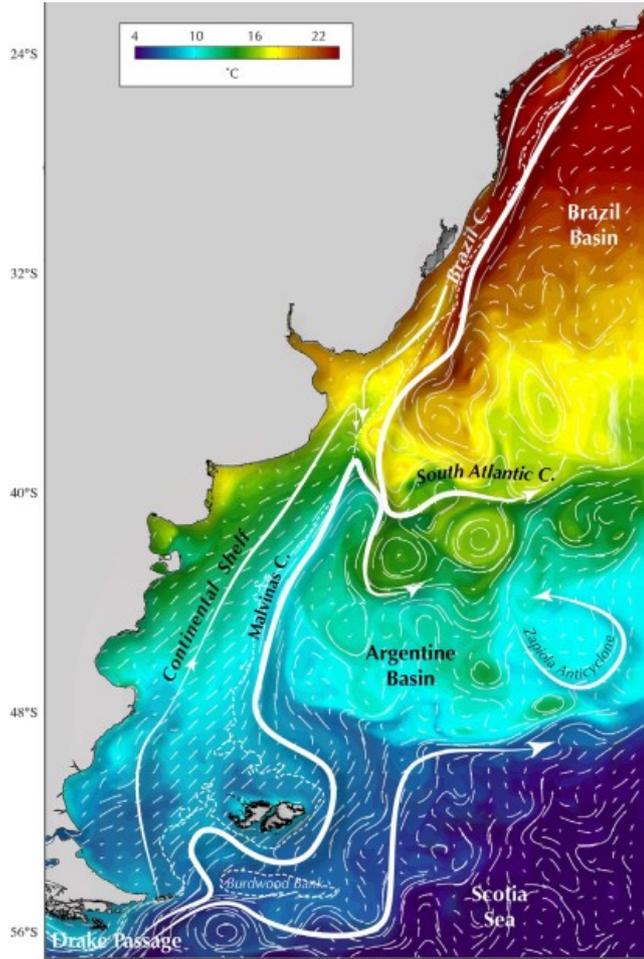
al Banco Burdwood (55°S).

Flujo hacia el S de aguas cálidas

Flujo hacia el N de aguas frías

Se ensancha hacia el Sur, llegando a 860km





**Región Norte 23-28°S:** Limita al Este por la CB quien ejerce influencia sobre la circulación en plataforma.

**Región Central 28-38°S:** Fuertemente influenciada por la descarga del RdP y Laguna de los Patos y su proximidad a la BC y a la CBM que limitan offshore y generan intercambios entre plataforma y aguas oceánicas.

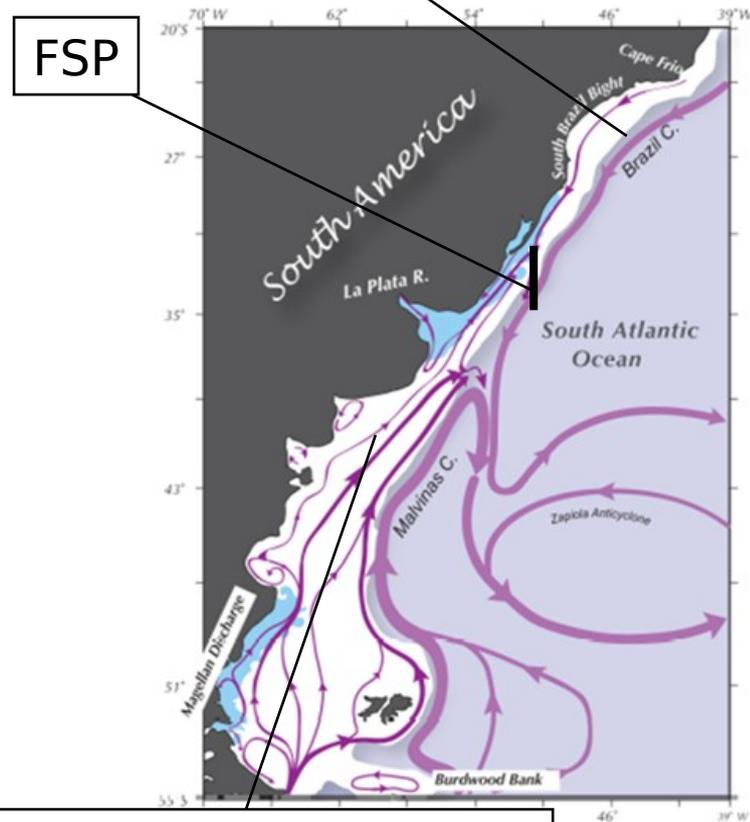
**Región Sur 38-55°S :** La Plataforma patagónica es ancha e influenciada por los vientos del W y amplia amplitud de marea. Se encuentra limitada offshore por aguas de la CCA que son advectadas al N por la CM sobre el talud.

# MASAS DE AGUA

- Agua Subantártica de Plataforma (SASW)
  - Dilución de SAW en el Pacífico Sur por exceso de pp y escorrentía superficial
- Agua Subtropical de Plataforma (STSW)
  - Mezcla entre TW SACW y PPW
- Aguas costeras ( $S < 33.5$ )
 

La descarga del RdIP y la Laguna de los Patos forma una lengua de baja S que determina una dilución adicional de las aguas superficiales de plataforma

Flujo hacia el S de aguas cálidas



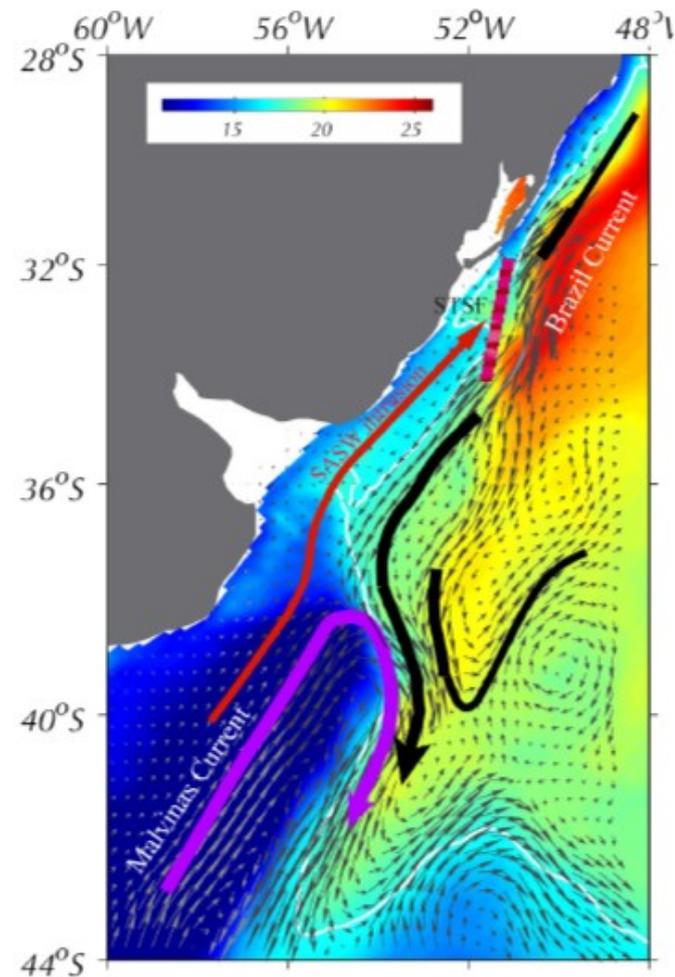
Flujo hacia el N de aguas frías

# FRENTE SUBTROPICAL DE PLATAFORMA

Su límite N ( $33^{\circ}\text{S}$ ) se encuentra en aguas someras sobre plataforma

En su progreso hacia el S se acerca hacia el borde de la plataforma del ASO, hasta los  $\sim 36^{\circ}\text{S}$  donde deja la plataforma

Está presente desde casi superficie (donde está “cubierto” por el agua de baja S del RdIP y la Laguna de los Patos) hasta el fondo.

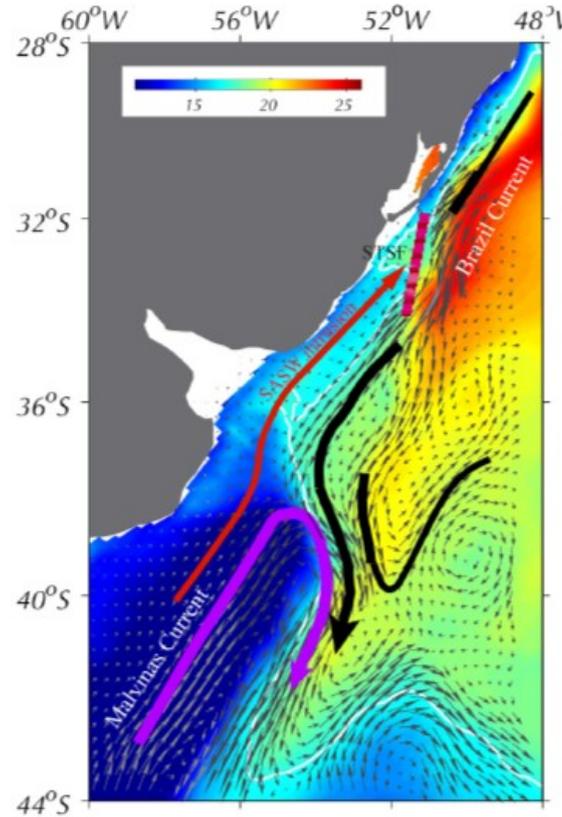


# FRENTE SUBTROPICAL DE PLATAFORMA

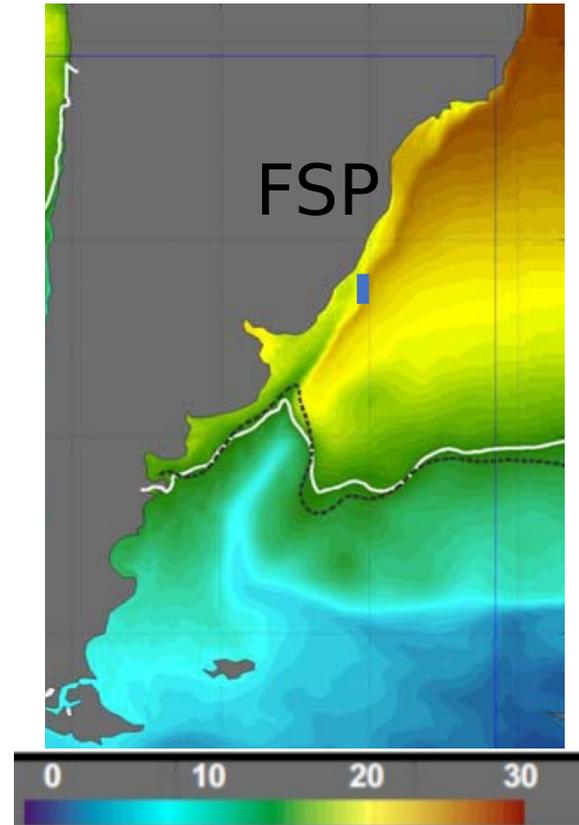
- Extensión de la CBM en la plataforma
- Localizado isobata 50m
- Divide la plataforma en dos regiones :

**Norte:** agua cálida, salada y oligotrófica de origen tropical y subtropical

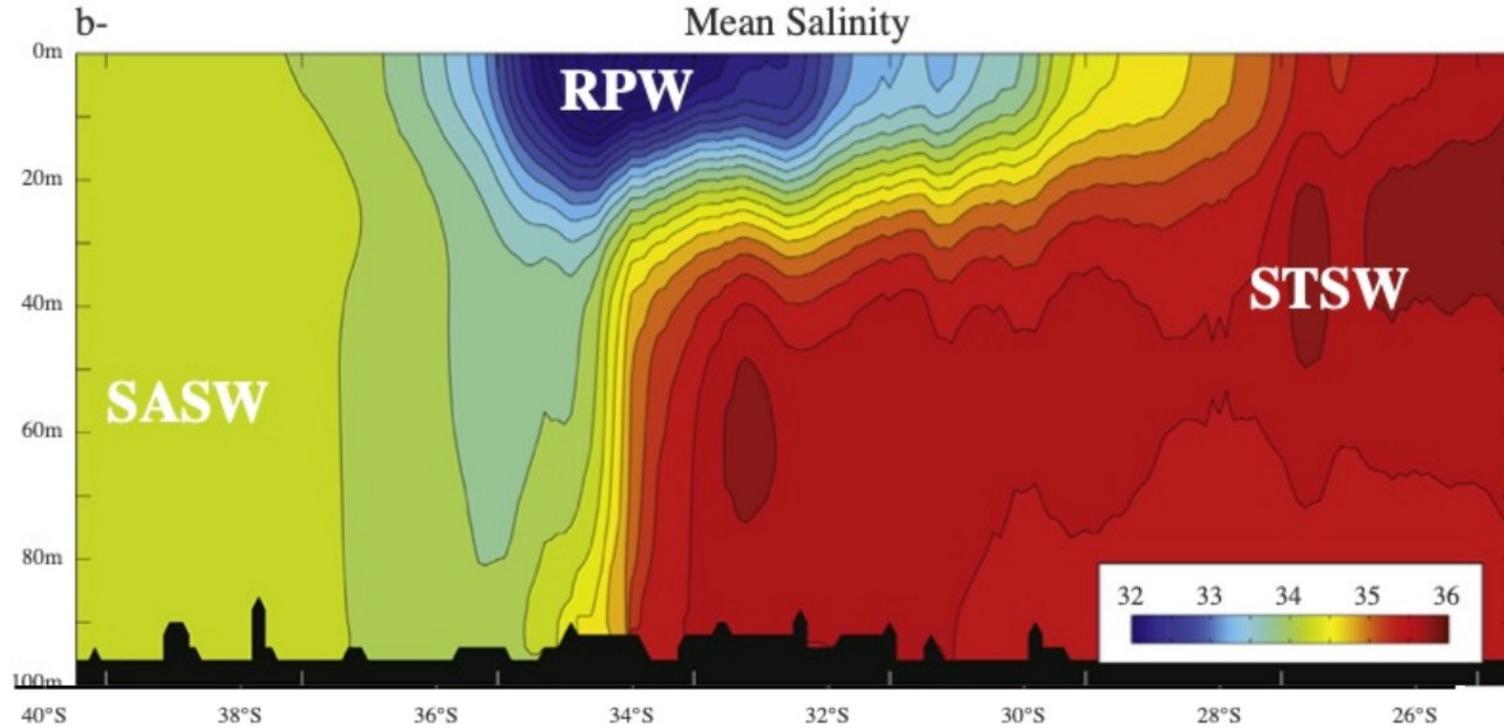
**Sur:** agua rica en nutrientes, menor salinidad y frías de origen subantártico

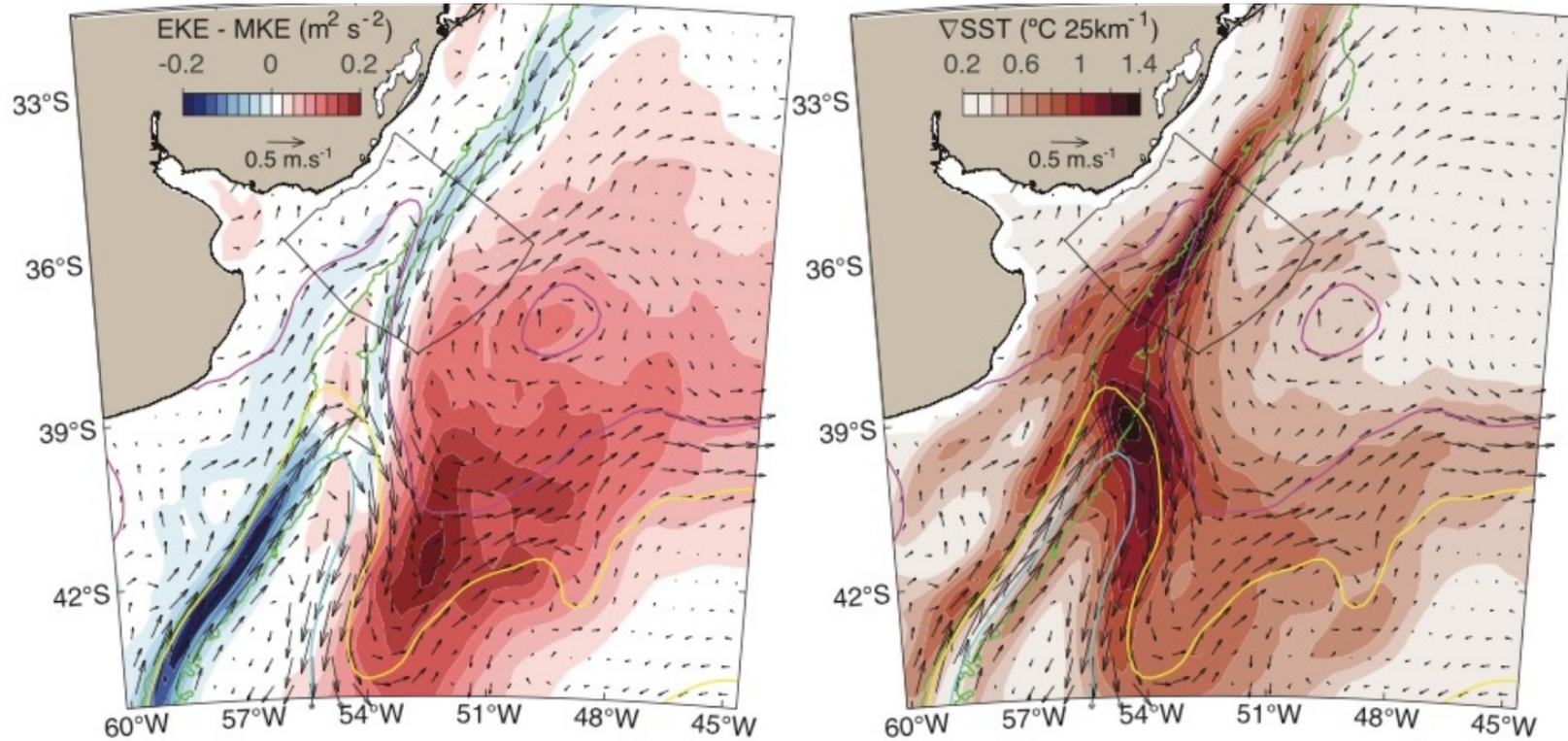


## PLATAFORMA DEL ASO



# Sobre isóbata de 100 m

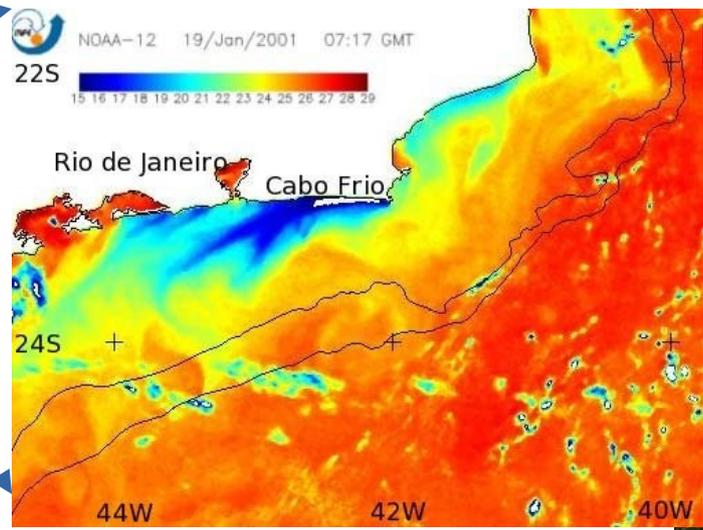
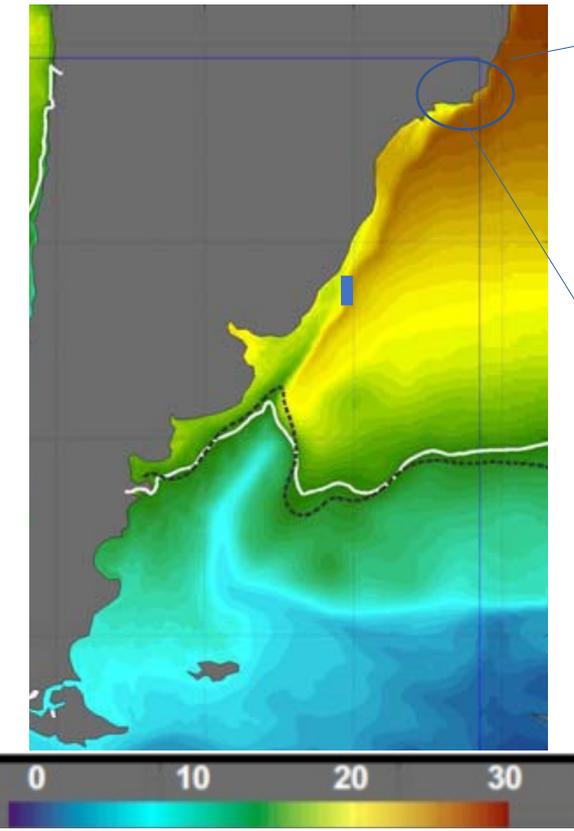




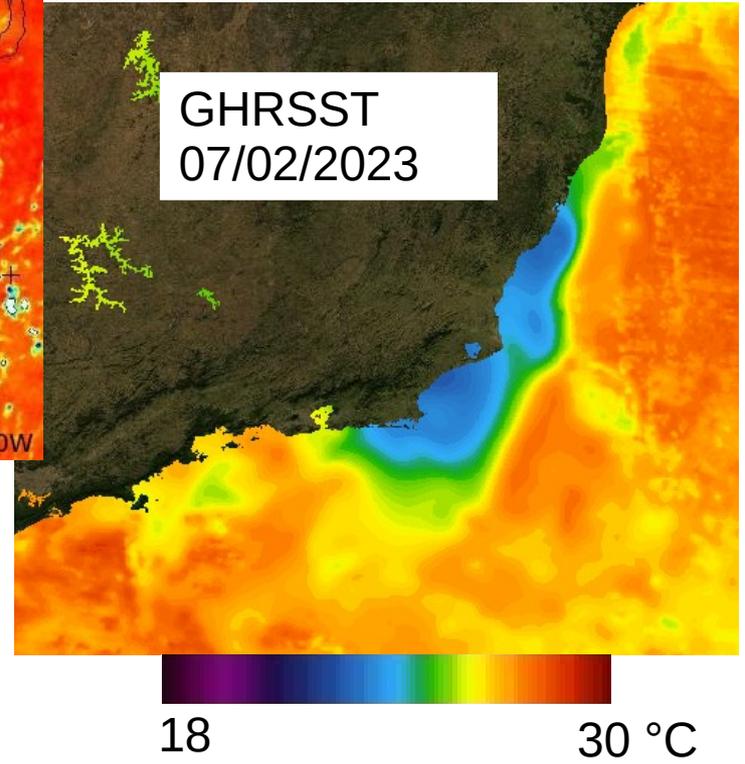
EL STSF y la CBM forman un continuo

# REGIÓN NORTE PLATAFORMA ASO

## Surgencia Cabo Frío



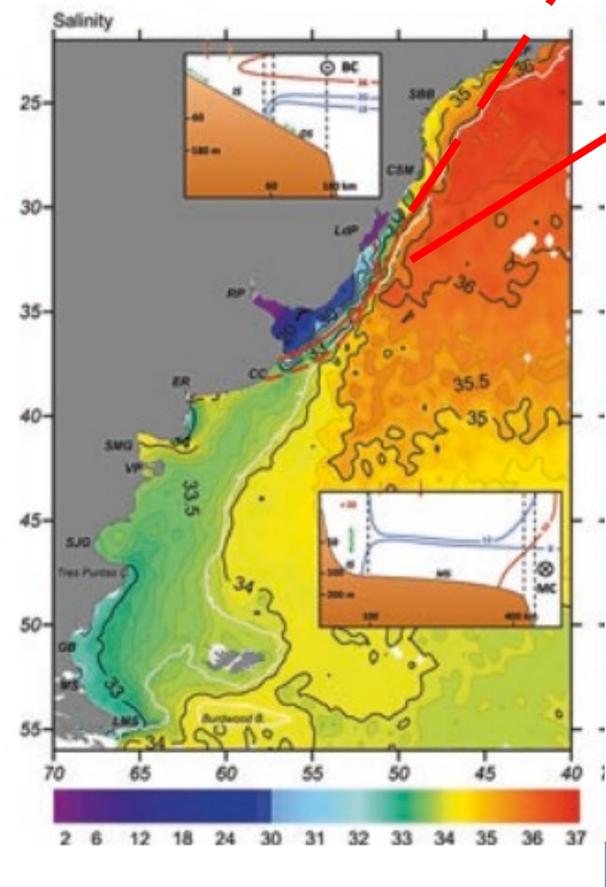
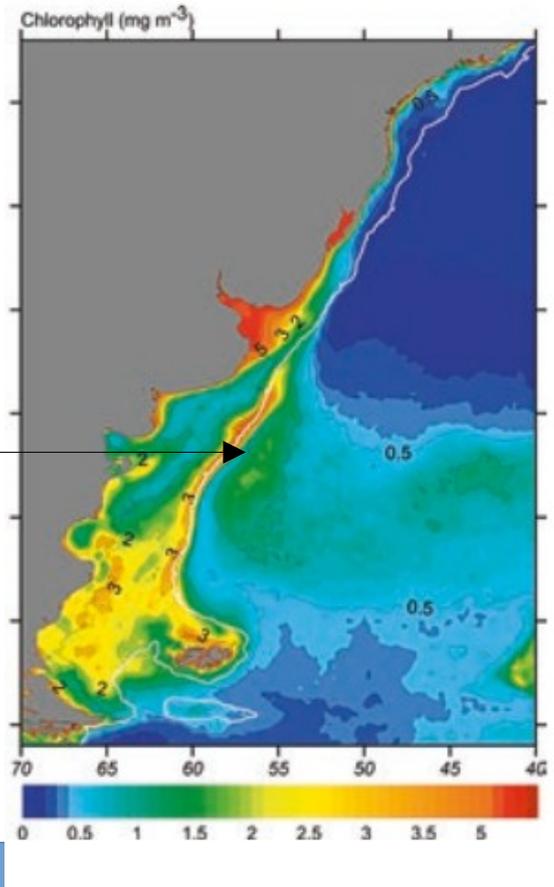
AVHRR  
10/01/2001



# REGIÓN SUR PLATAFORMA ASO

Máximos de cloa indican surgencia de agua rica en nutrientes: surgencias de quiebre de talud

Máximo de Clo a sobre la isobata de los 200m

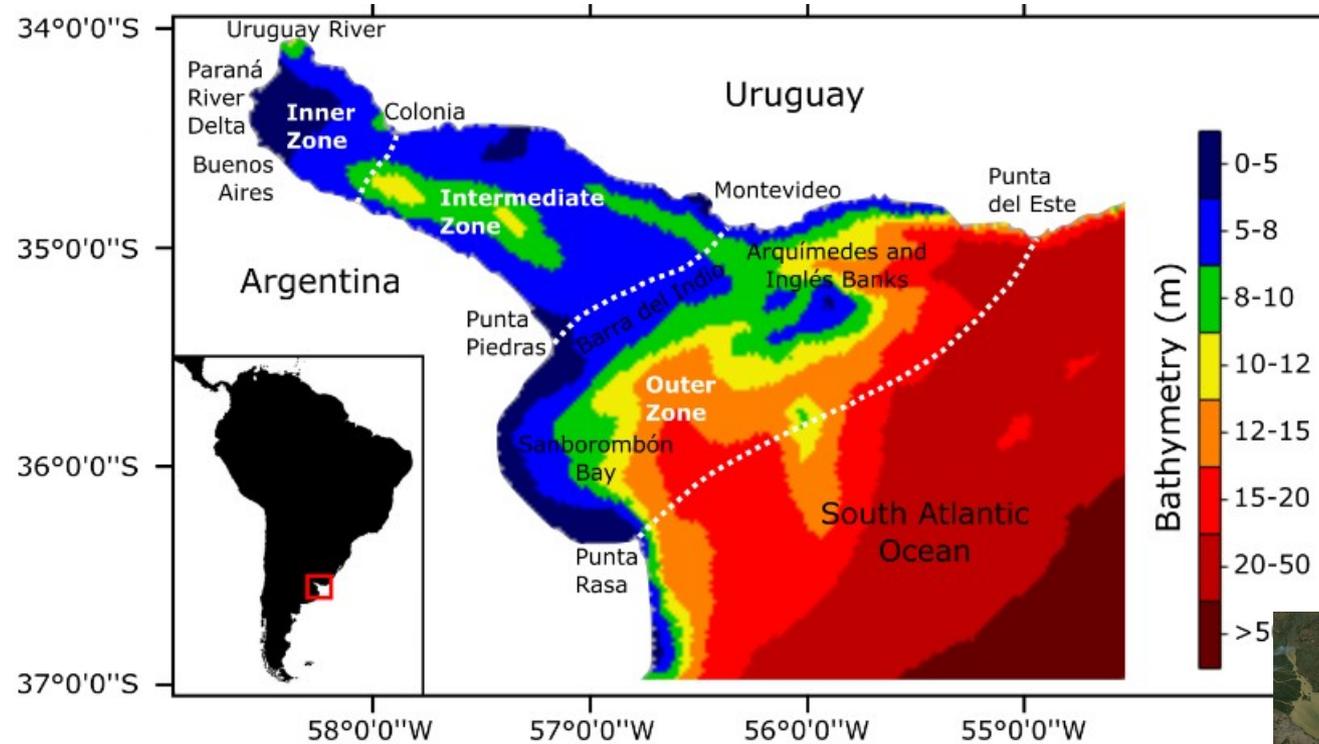


## 2. PLATAFORMA URUGUAYA



35.000km<sup>2</sup>

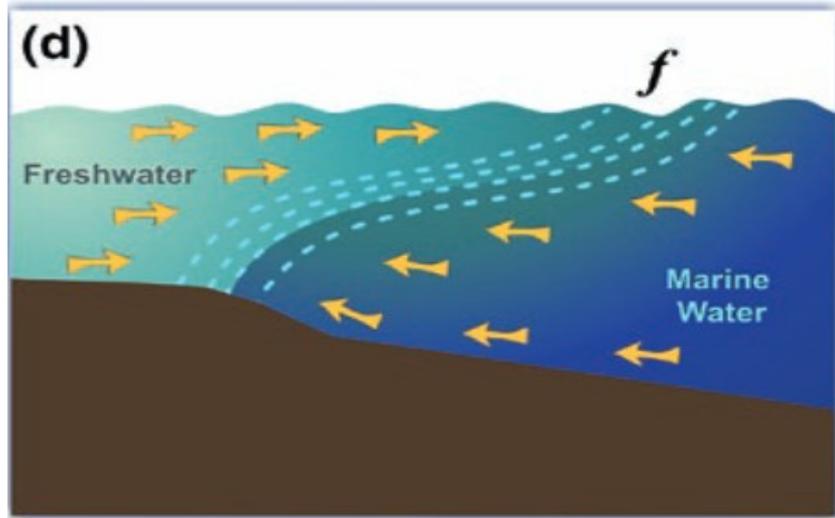
- Destaca la presencia del del RdP con el mayor flujo de agua dulce del área (~34°S)
  - Descarga promedio de 25.000m<sup>3</sup>s<sup>-1</sup>
- El caudal depende de ríos Paraná y Uruguay



**Figure 1:** *The Río de la Plata estuary, located between Uruguay and Argentina. Its bathymetry and some characteristic features are indicated.*



# FRENTE: Frentes salino



## PLATAFORMA URUGUAYA



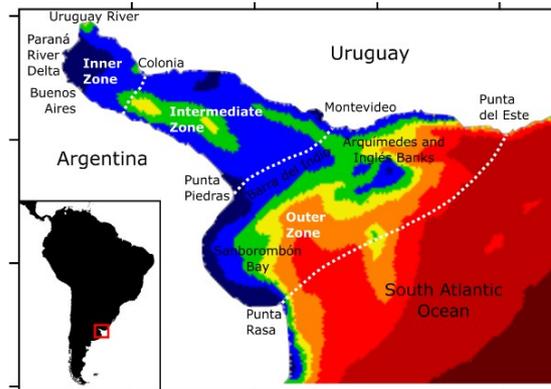
El agua de plataforma forma una cuña bajo la descarga continental.

- El máximo gradiente de turbidez: floculación de material en suspensión en el límite de la intrusión salina por el fondo
- **En superficie**  
Se forma una pluma de descarga y frentes costeros en el estuario

## Frente de turbidez

“La frontera de la influencia del agua dulce turbia”

Ubicación media sobre la barra del indio.



El estrés del fondo así como la composición del fondo influyen en la localización del frente de turbidez.



## Frente de turbidez

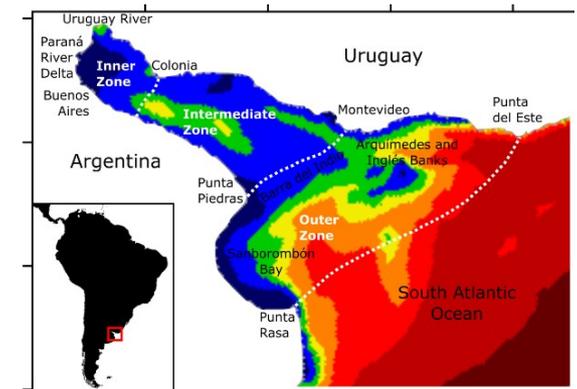
“La frontera de la influencia del agua dulce turbia”

Ubicación media sobre la barra del indio.

### Motivos

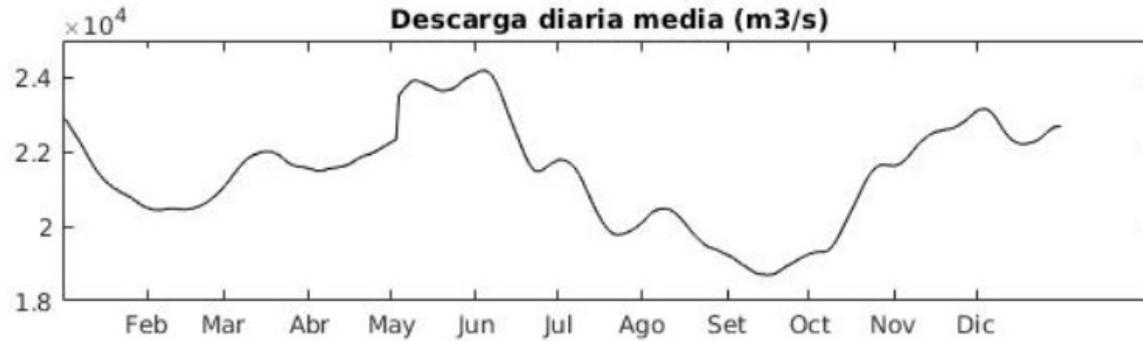
- Dinámico, se ensancha en río, se profundiza enlentece y los sedimentos decantan
- Físico-químico: Flocculación.

En contacto con la sal sedimentos se agregan entre sí, formando flóculos densos que decantan



## CAUDAL DEL RDP

No presenta gran variabilidad estacional en el caudal



Gran variabilidad interanual:

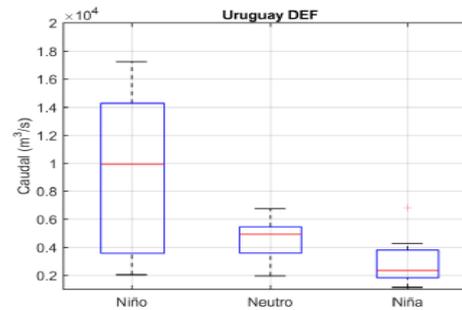
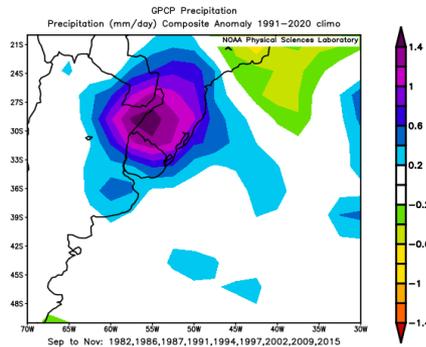
eventos ENOS

# CAUDAL DEL RDP



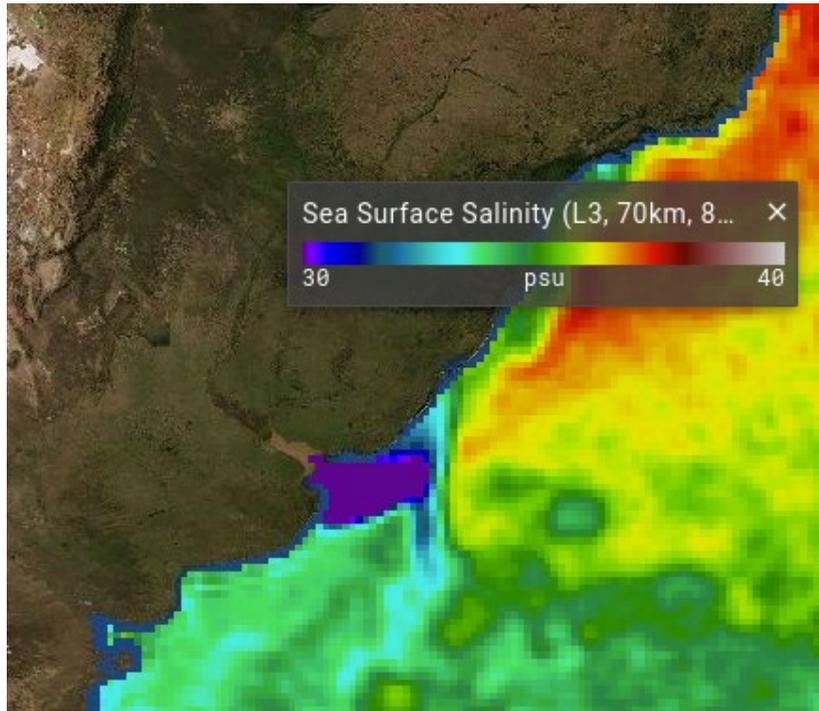
Gran variabilidad interanual:

eventos ENOS



El Niño

Mayores precipitaciones → Mayor descarga Rdp



SMAP/REMSS 17/02/2016

Caudal  $49.000\text{m}^3\text{s}^{-1}$

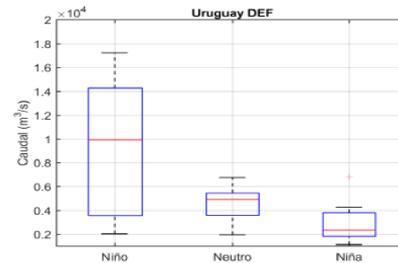
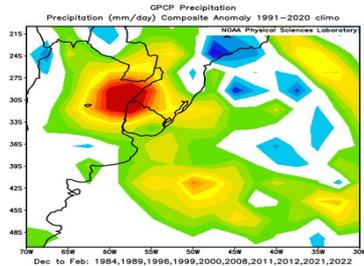
Filamentos de la  
descarga del RdP  
pueden alcanzar la  
zona de la CBM  
durante El Niño

# CAUDAL DEL RDP



Gran variabilidad interanual:

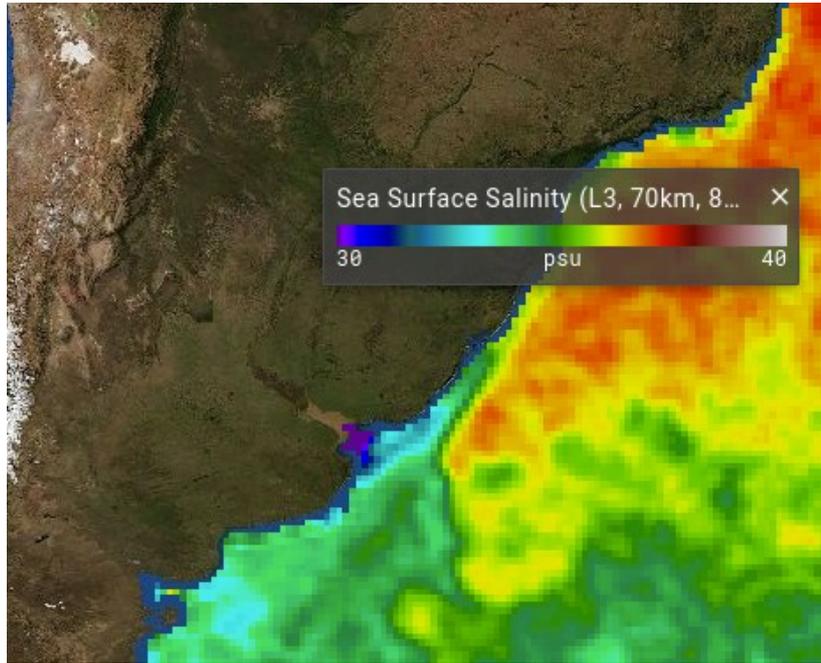
eventos ENOS



Menores precipitaciones → Menor descarga RdP

Durante La Niña:

PP durante primavera y verano sobre el SE de Sudamérica disminuyen, afectando la descarga del RdIP



SMAP/REMSS 17/02/2022

# VIENTOS

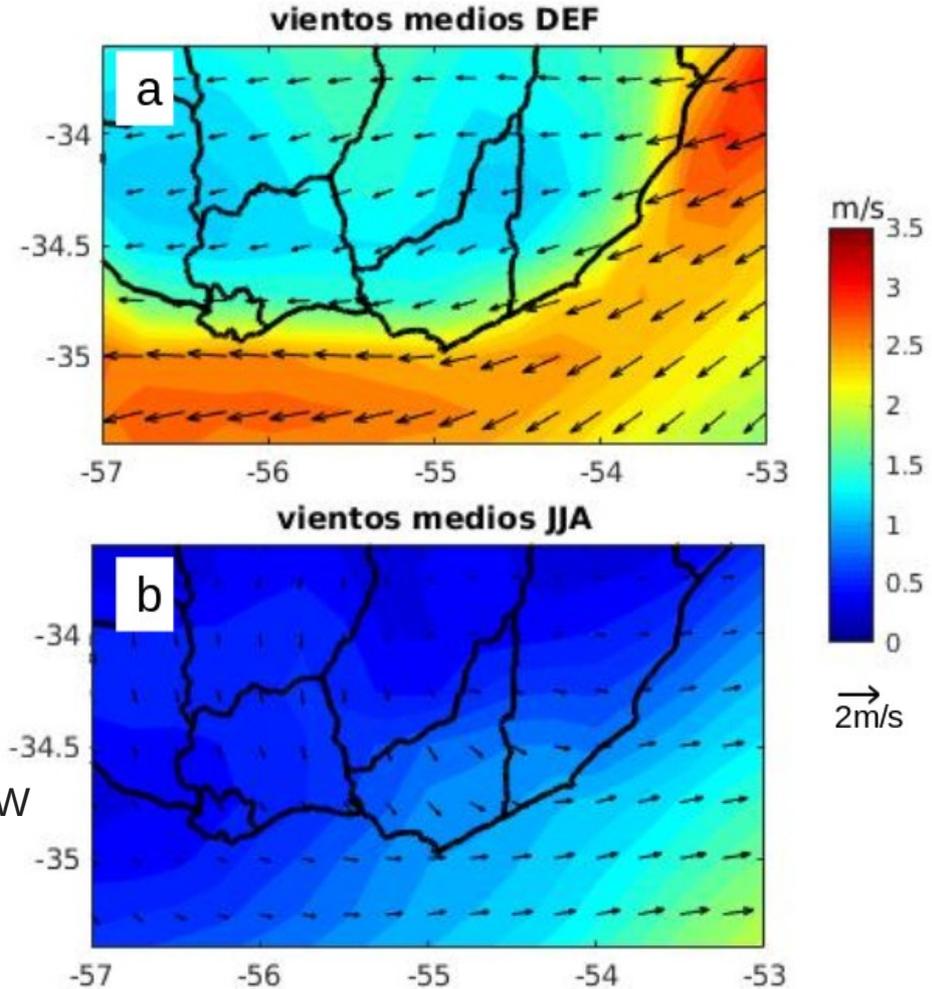
## Principal factor controlador de la circulación

La circulación y variabilidad del estuario del RdP se encuentran moduladas principalmente por vientos.

Verano: Del sector NNE más intensos

A nivel estacional

Invierno: Del sector S-SW



# VIENTOS

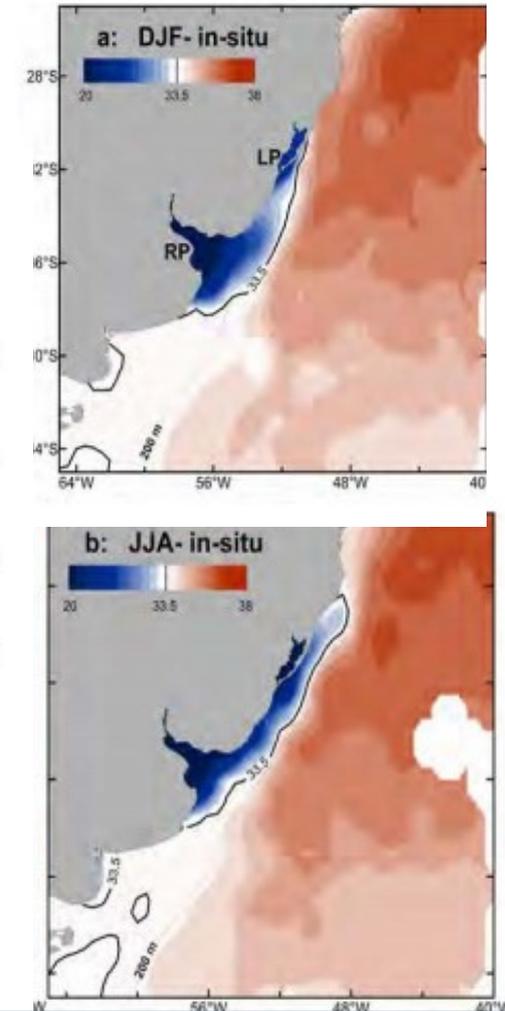
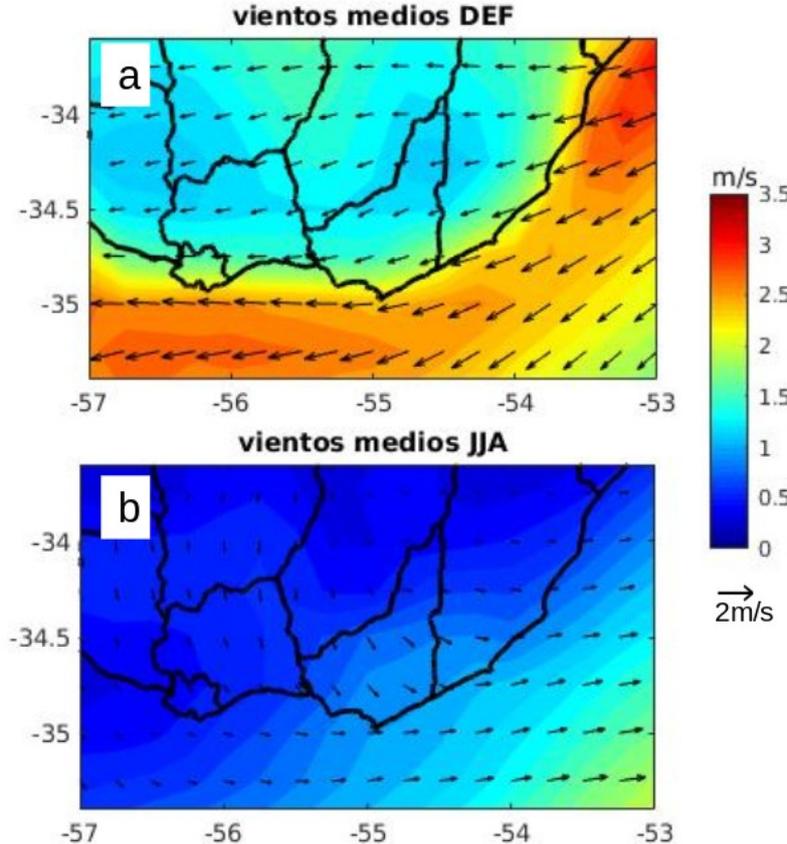
Principal factor controlador de la circulación

## Verano

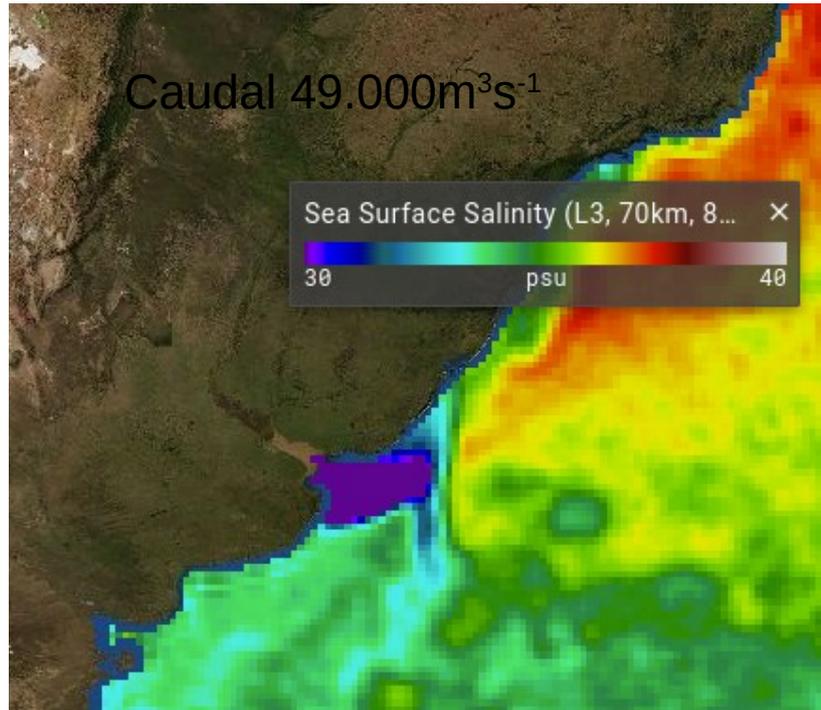
Vientos NNE + Coriolis = Flujo hacia Argentina  
 Surgencia de aguas oceánicas sobre la costa uruguaya

## Invierno

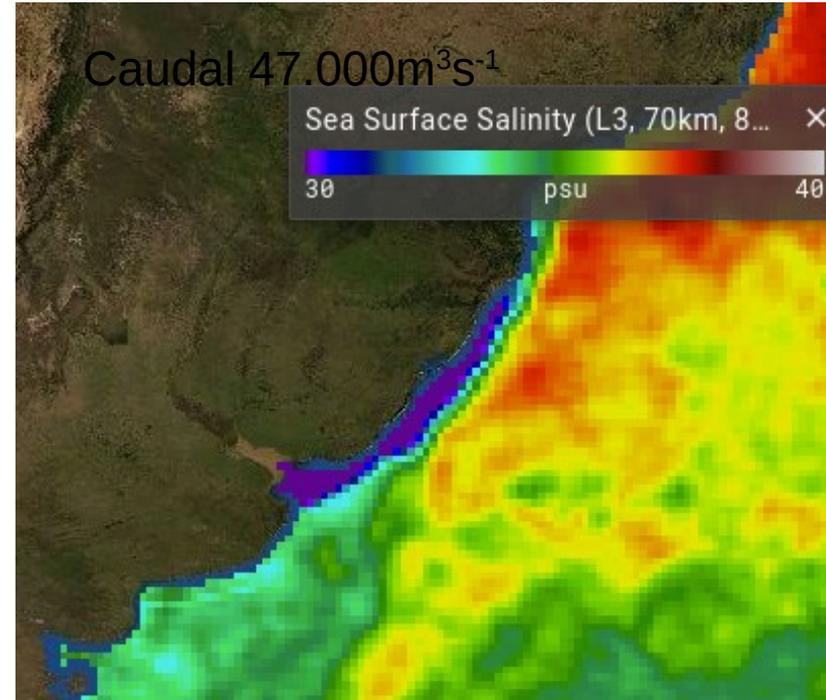
Menor influencia de vientos + Coriolis = Flujo NNE sobre la costa.



El Niño

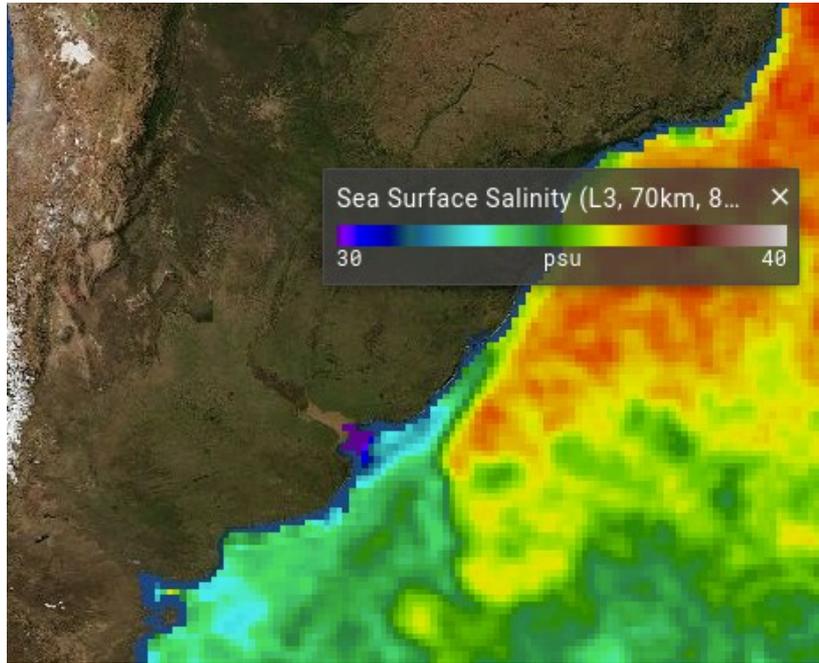


SMAP/REMSS 17/02/2016

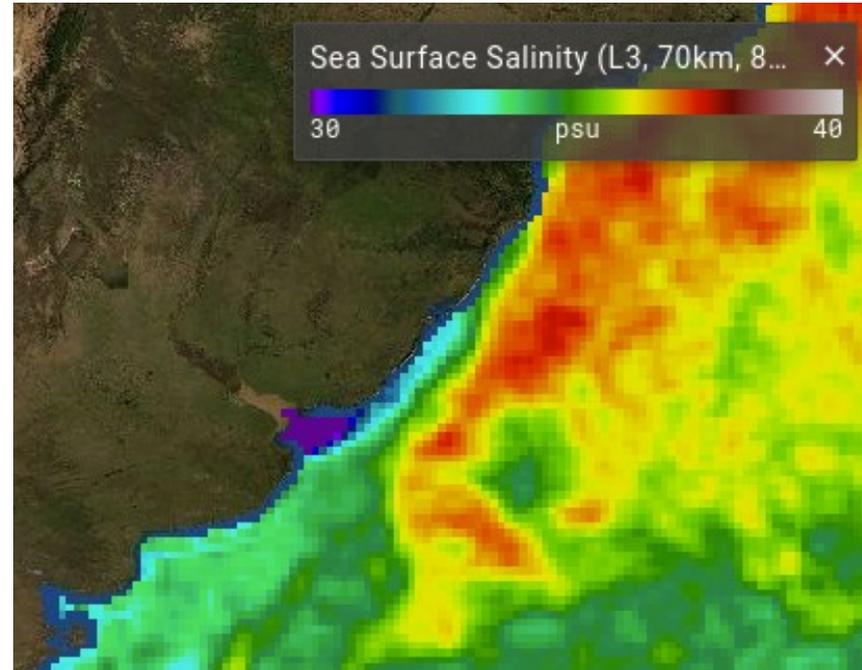


SMAP/REMSS 17/05/2016

## La Niña



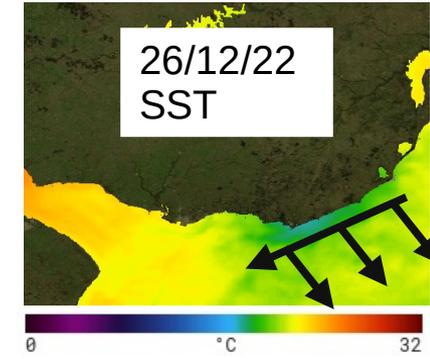
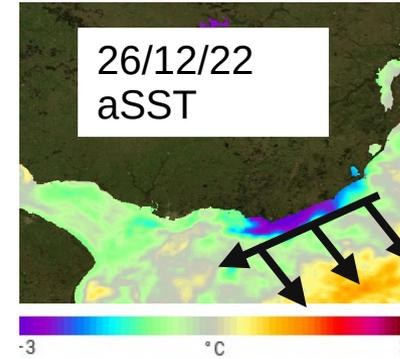
SMAP/REMSS 17/02/2022



SMAP/REMSS 17/05/2022

## Surgencias costeras durante el verano

- Asociadas a Vientos del ENE
- Implican movimientos ascendentes de agua hacia superficie



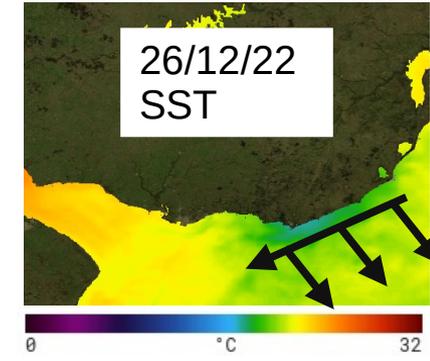
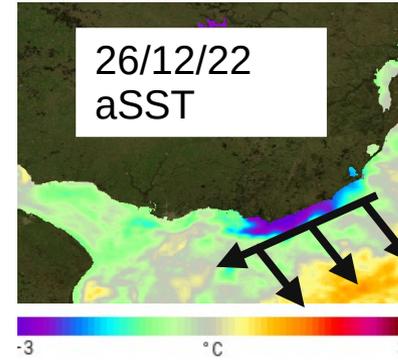
## Mecanismo

- Vientos paralelos a la costa + rotación terrestre
- Transporte Ekman *offshore* del agua superficial
- Agua de profundidad más fría alcanza la superficie
- Pueden ser identificadas como un enfriamiento del agua superficial

# Surgencias costeras durante el verano

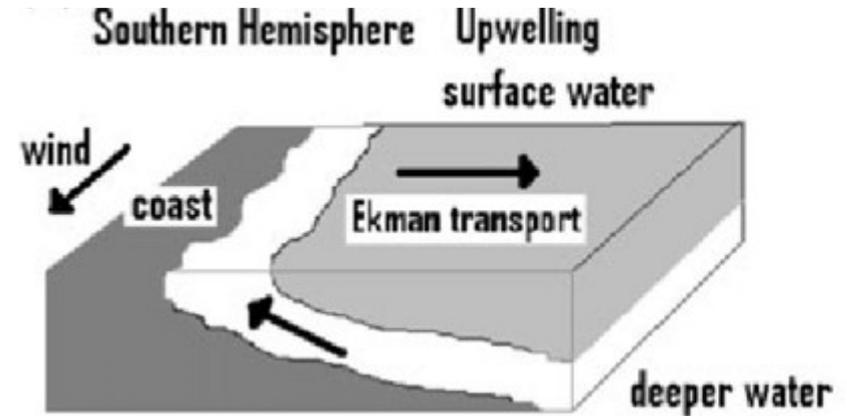
## Mecanismo

- Vientos paralelos a la costa + rotación terrestre
- Transporte Ekman *offshore* del agua superficial
- Agua de profundidad más fría alcanza la superficie



$$U_E = \int_{-\infty}^0 u_E(z) dz = \frac{1}{\rho_0 f} \tau_y$$

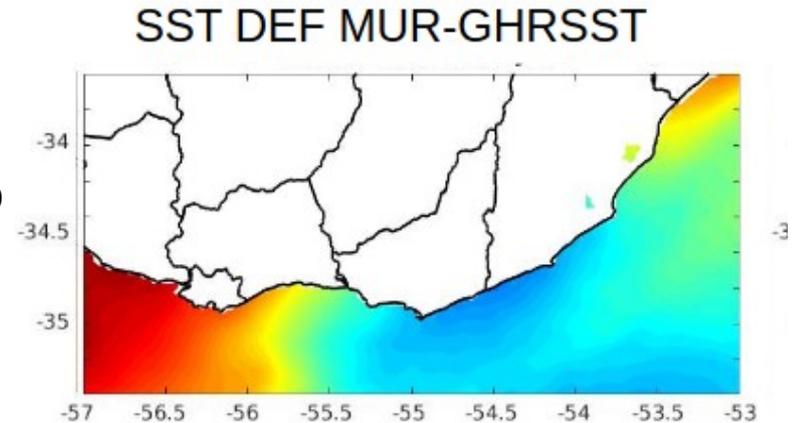
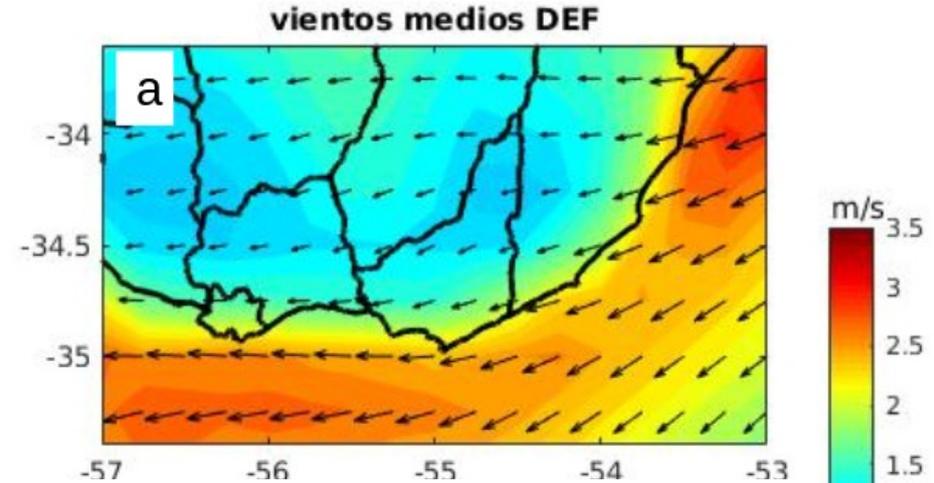
$$V_E = \int_{-\infty}^0 v_E(z) dz = \frac{-1}{\rho_0 f} \tau_x$$



# Surgencias costeras durante el verano

A nivel climatológico → Verano: Del sector NNE más intensos

La costa Oceánica uruguaya presenta surgencia climatológica durante el verano relacionadas al viento y orientación de la costa.



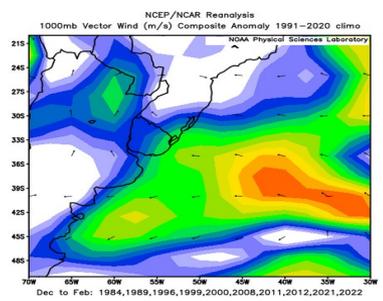
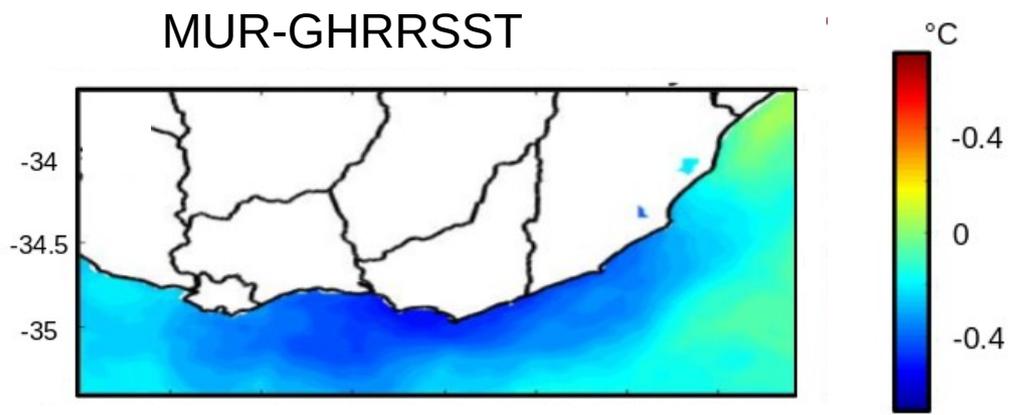
# Surgencias costeras durante el verano

## Variabilidad interanual

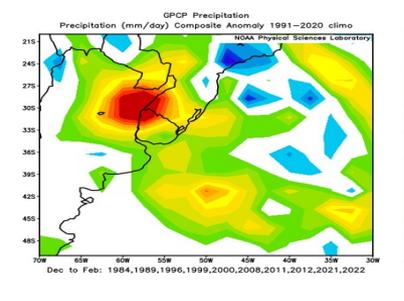
### SST DEF Niña - SST DEF

Surgencia climatológica más intensa durante La Niña

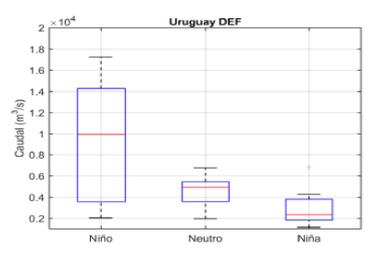
La Niña induce  
Vientos del E anómalos  
Menores descargas



Anom vientos del E



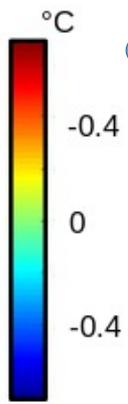
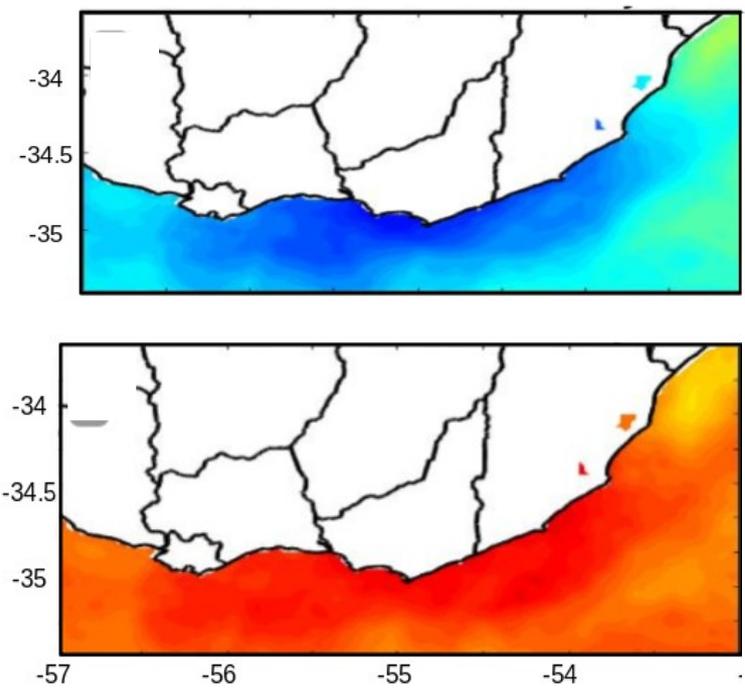
Menores precipitaciones → Menor descarga RdP



# Surgencias costeras durante el verano

## Variabilidad interanual

MUR-GHRRSST



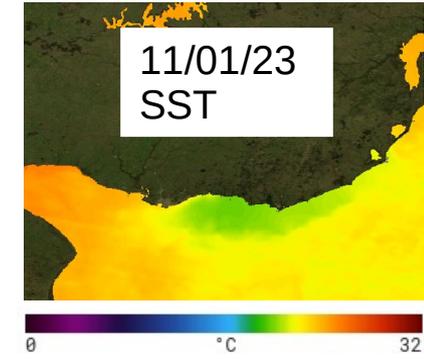
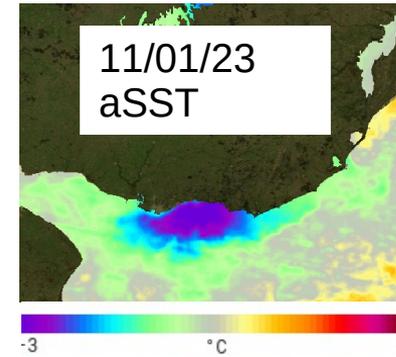
● SST DEF Niña - SST DEF

● SST DEF Niño - SST DEF

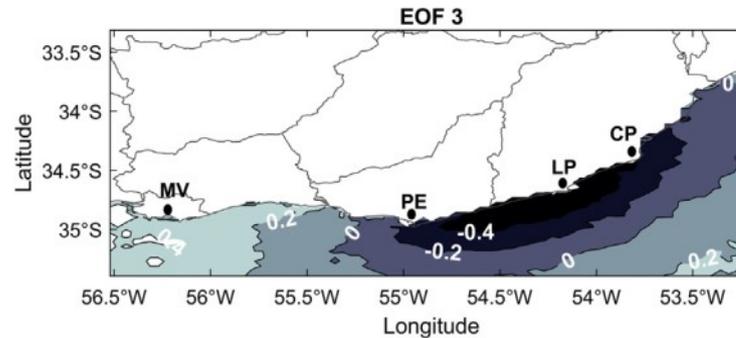
# Surgencias costeras durante el verano

## ● Eventos de surgencia intensa

Estudio sistemático de estructura espacial y características de las surgencias aSST satelital



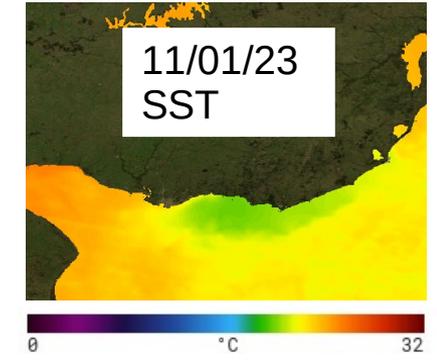
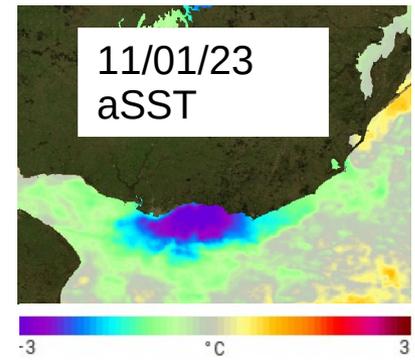
Región oceánica entre PdE y CP



# Surgencias costeras durante el verano

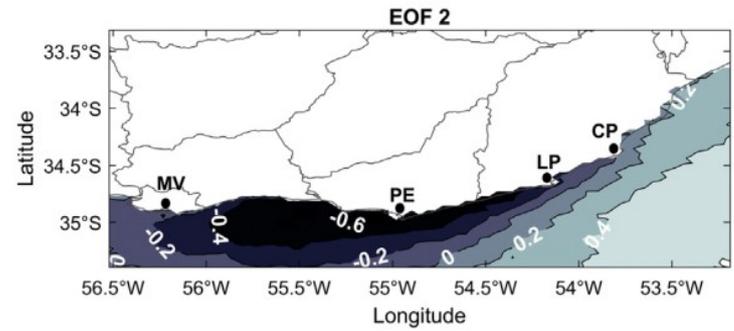
## ● Eventos de surgencia intensa

Estudio sistemático de estructura espacial y características de las surgencias aSST satelital



Región oceánica entre PdE y CP

Región estuarina entre Mvd y PdE

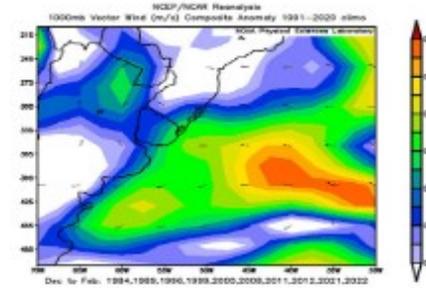


# Surgencias costeras durante el verano

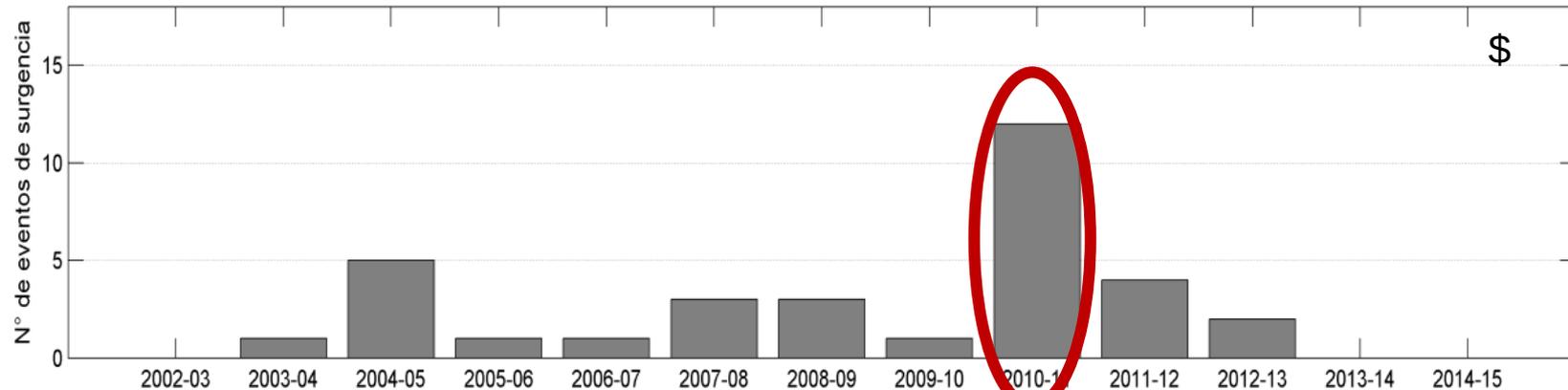
## Eventos de surgencia intensa

La variabilidad en los patrones de vientos se encuentra relacionada con las fases cálidas y frías de ENOS,

Durante las fases frías (La Niña) se observa durante el verano vientos anómalos del sector E paralelos a la costa.



Anom vientos del E



Evento Niña intenso

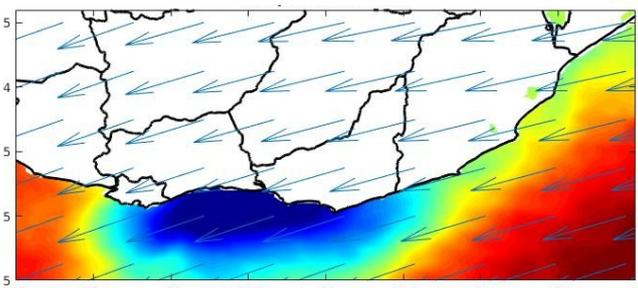
Trinchin et al., 2019

\$

# Surgencias costeras durante el verano

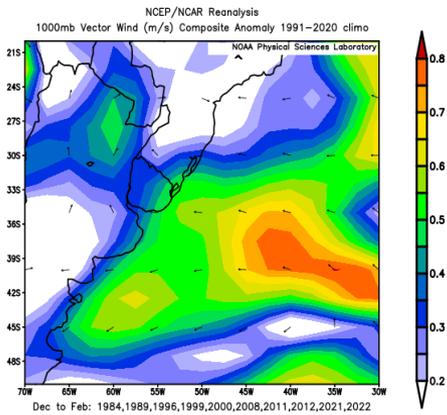
## Eventos de surgencia intensa

aSST GH NIÑA

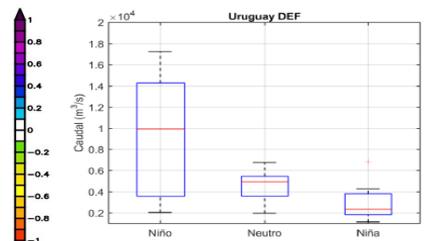
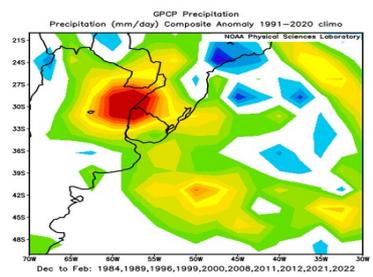


La mayoría de los días de surgencia intensa ocurren durante la Niña y son más intensos.

- Vientos anómalos paralelos a la costa
- Menor descarga de agua dulce



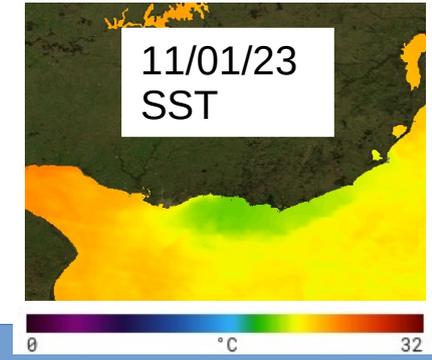
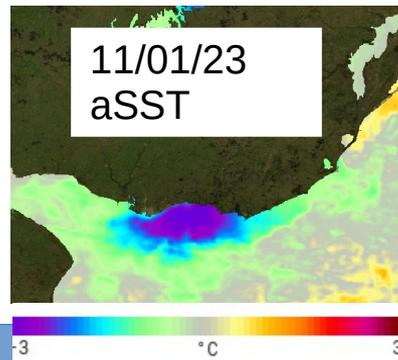
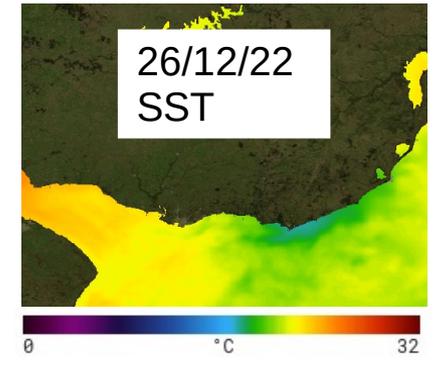
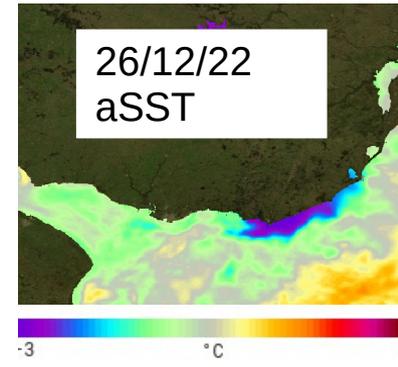
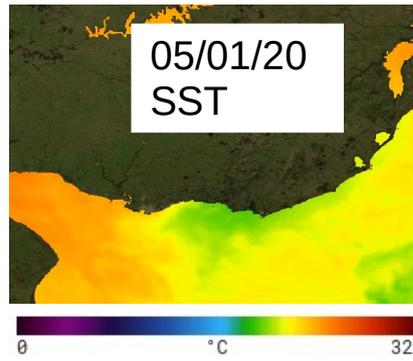
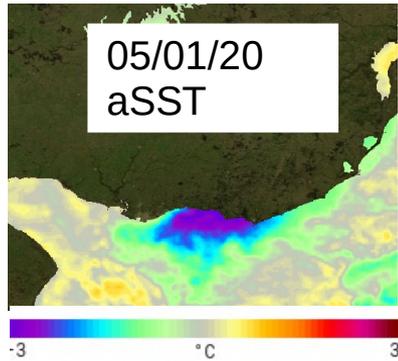
Vientos anómalos del E



Menores precipitaciones → Menor descarga RdP

## Surgencias costeras asociadas el viento

En la costa uruguaya asociados a vientos del sector N-NE y favorecidos por bajas descargas del RdP ocurren procesos de surgencia.

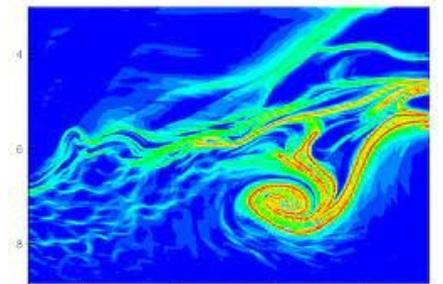
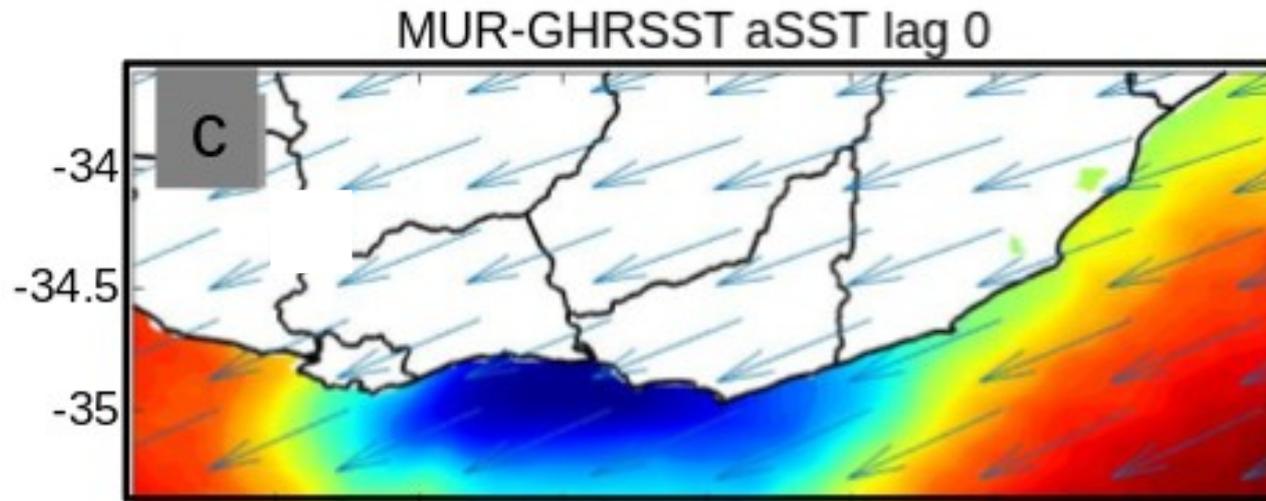


Implicancias??

Retención

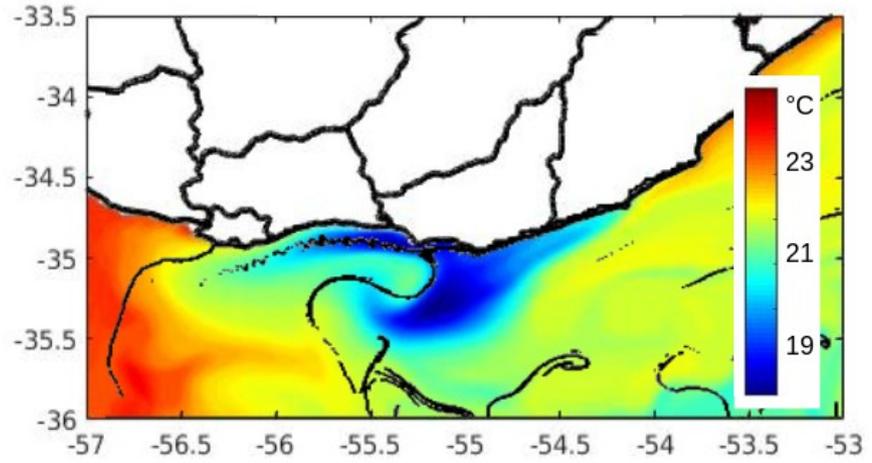
Transporte

- Asociados a las surgencias se generan frentes en superficie.
- Organismos y material en suspensión pueden quedar retenidos o ser transportados durante la evolución de los frentes, con implicancias a distintos niveles ecológicos.

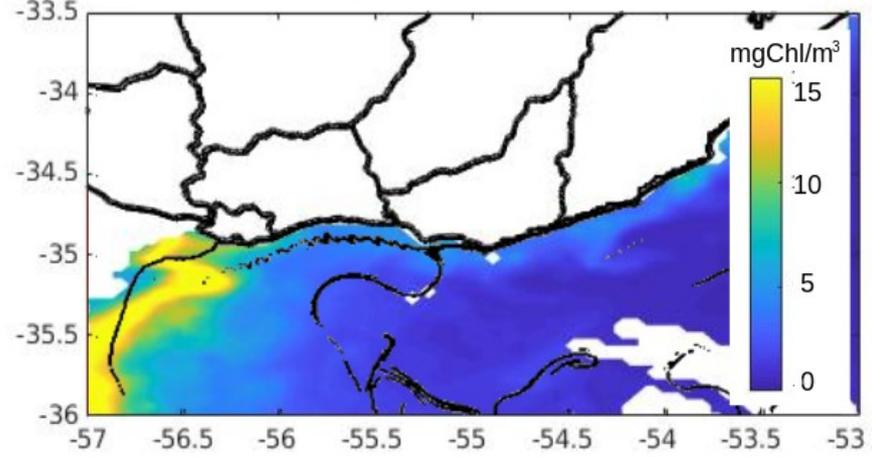


● Frentes durante eventos de surgencia intensa

SST 21 Feb 08



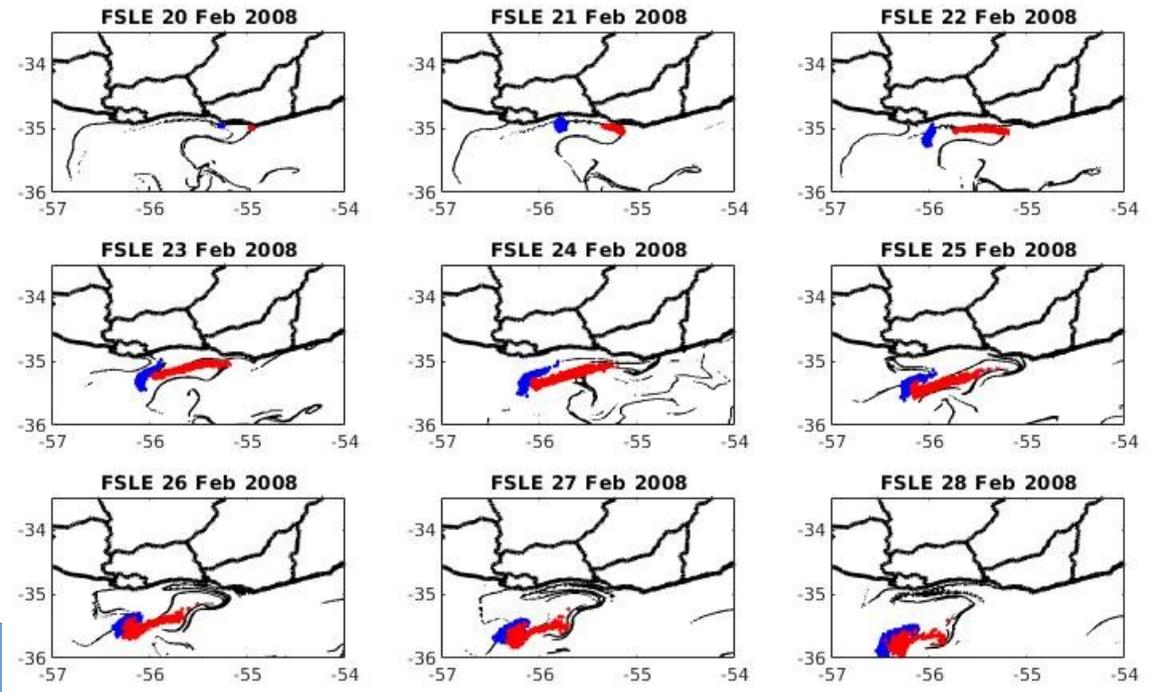
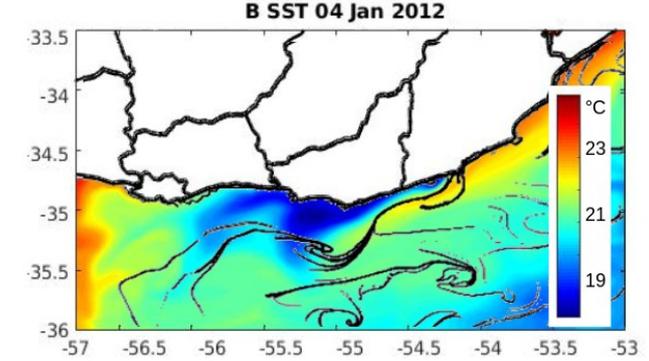
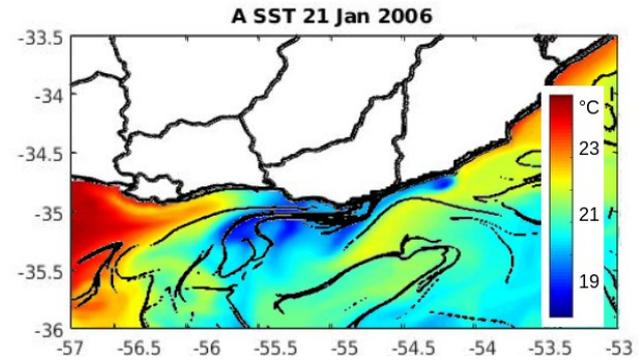
MODIS AQUA Chla 21 Feb 08



frente de turbidez

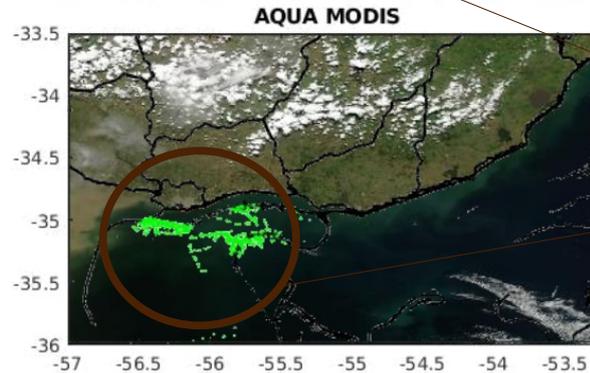
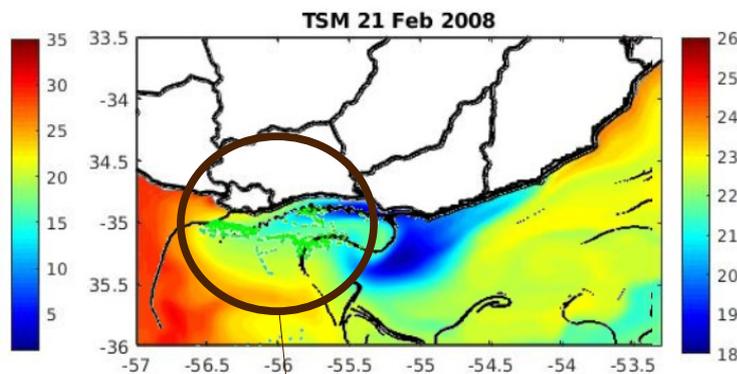
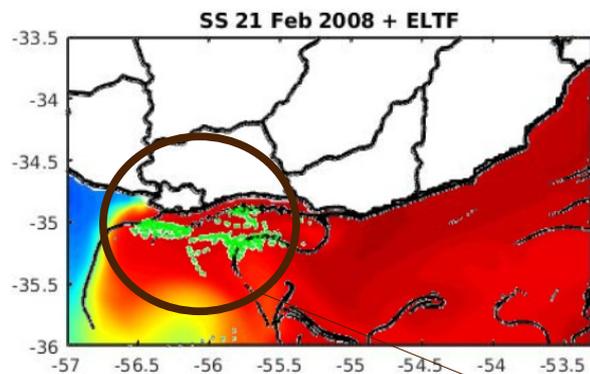
ROL EN

● Transporte offshore



# SURGENCIAS COSTERAS EN URUGUAY

ROL EN ● Pesquerías?



VMS de la flota CB durante actividades de pesca



# **PROCESOS COSTEROS**

## **BRISA MARINA**

# PROCESOS COSTEROS

## BRISA MARINA

Ciclo diario de vientos en la costa generado por el calentamiento diferencial agua - tierra

Su estudio es importante para

- Generación de energía eólica
- Turismo
- navegación
- Desarrollo urbano



## BRISA MARINA

Ciclo diario de vientos en la costa generado por el calentamiento diferencial del agua - tierra

Durante el día:

La TSM no se eleva tanto como la de la tierra debido a la mayor capacidad calórica del agua.

Se genera una celda de circulación que en superficie tiene dirección hacia la tierra

- Aparece al final de la mañana, alcanzando su máxima intensidad al comienzo de la tarde.
- Se observa la formación de cúmulus sobre tierra y la desaparición de ellos sobre el mar.

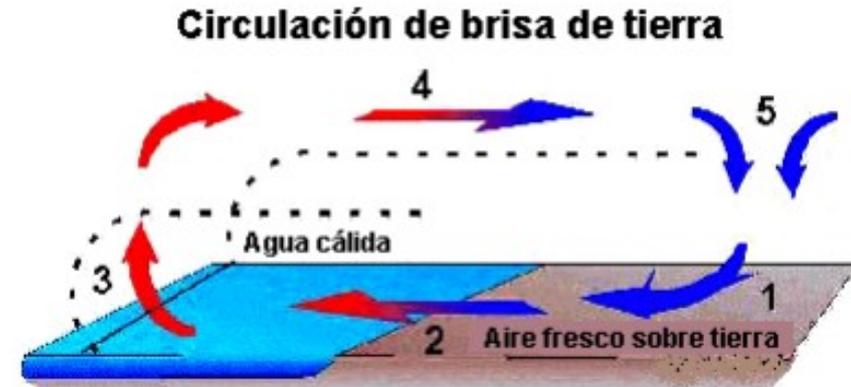


## BRISA MARINA

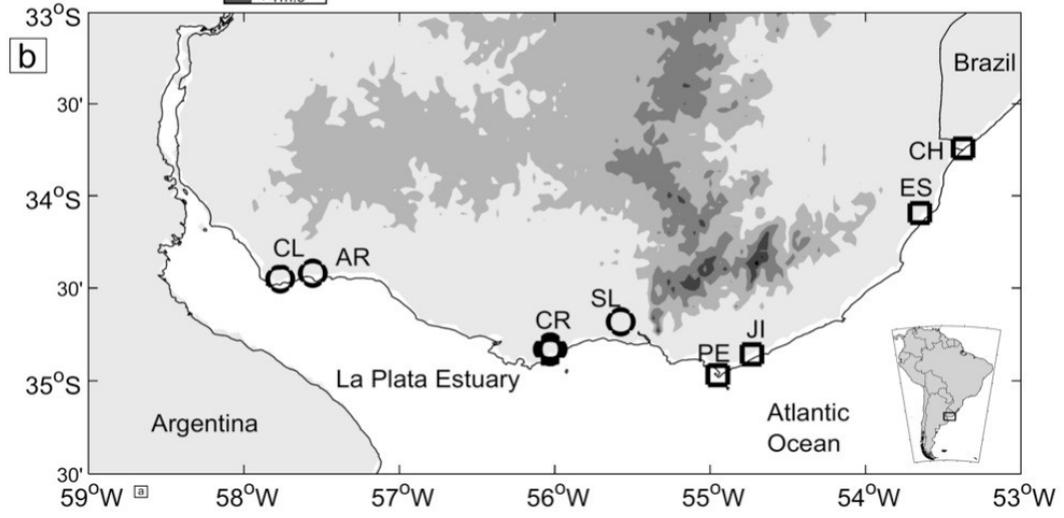
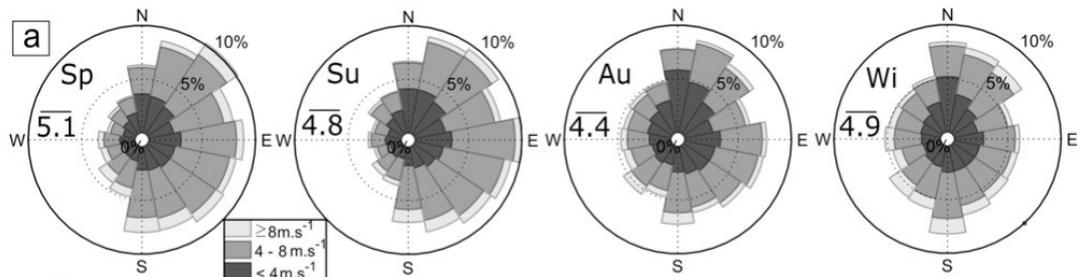
Ciclo diario de vientos en la costa generado por el calentamiento diferencial del agua - tierra

Durante la noche:

Se produce un enfriamiento radiativo más intenso sobre el continente, desarrollándose una circulación en sentido inverso (brisa terrestre).



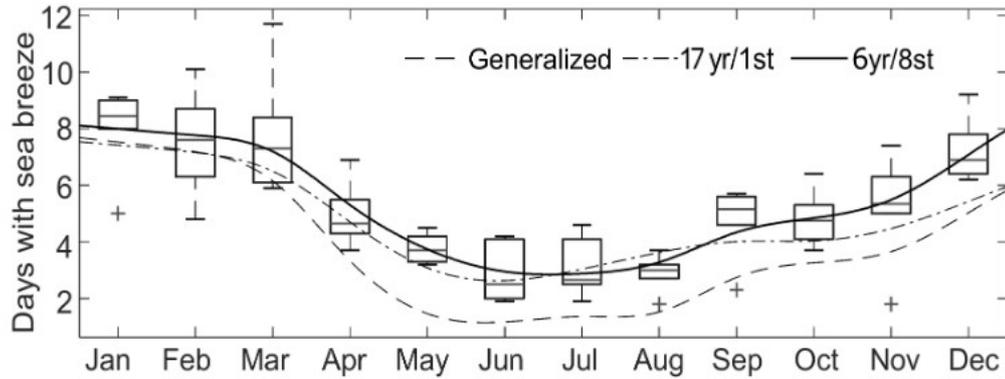
# BRISA MARINA EN URUGUAY



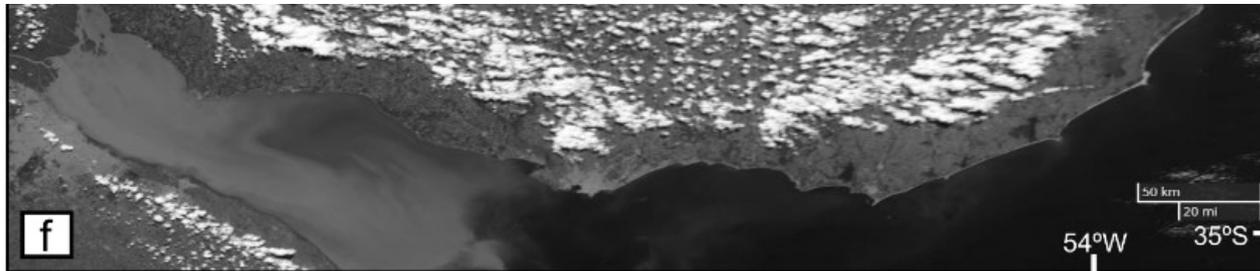
- Vientos del NE prevalecen la mayor parte del año, particularmente durante el verano.
- Vientos del SW son igualmente importantes durante el invierno (Migración al N del Anticiclón semipermanente del Atlántico)

Los índices de brisa detectan una rápida variación en la velocidad y dirección del viento.

# BRISA MARINA EN UEUGUAY



- 4°C dif de T
- Veloc hasta 7.1 ms<sup>-1</sup>



## BRISA MARINA EN URUGUAY

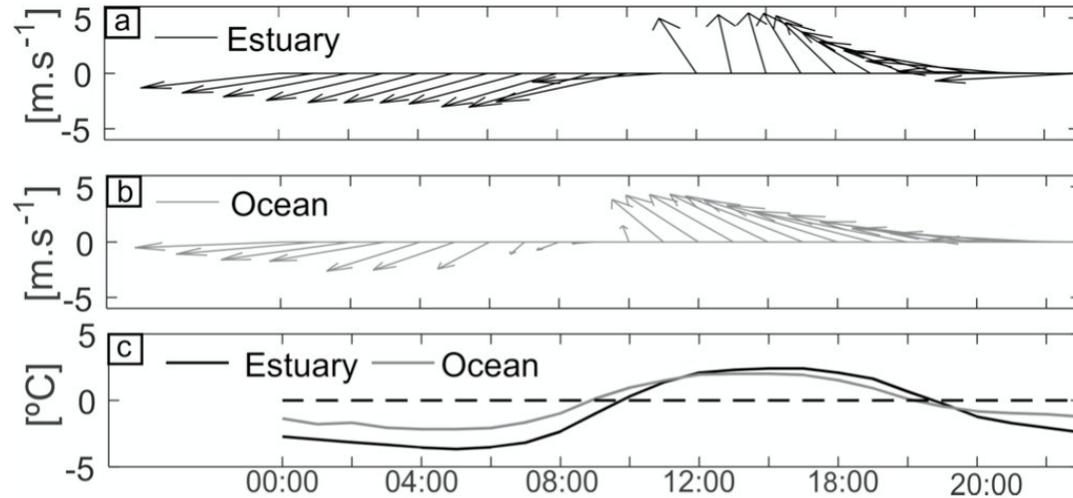
DIFERENCIAS ESTUARIO OCÉANO  
durante el verano

Figure 4: Daily cycle of winds [ $\text{m.s}^{-1}$ ] during summer in: a) Estuary and b) Ocean. c) Difference between air and water temperature [ $\Delta T$ ,  $^{\circ}\text{C}$ ] in the estuary and oceanic region during summer, respectively. Wind data and air temperature from all estuarine and oceanic stations were used to compute each panel respectively. For the SST, representative time series for each region was taken (see methods).



$\Delta T$  en Océano y Estuario son distintos (el estuario en gral está a mayor T) los contrastes son distintos generando diferencias en las características de la brisa en ambas regiones

La orientación de la costa en relación a los vientos prevalentes también juega un rol

# BRISA MARINA EN URUGUAY

## DIFERENCIAS ESTUARIO OCÉANO durante el verano

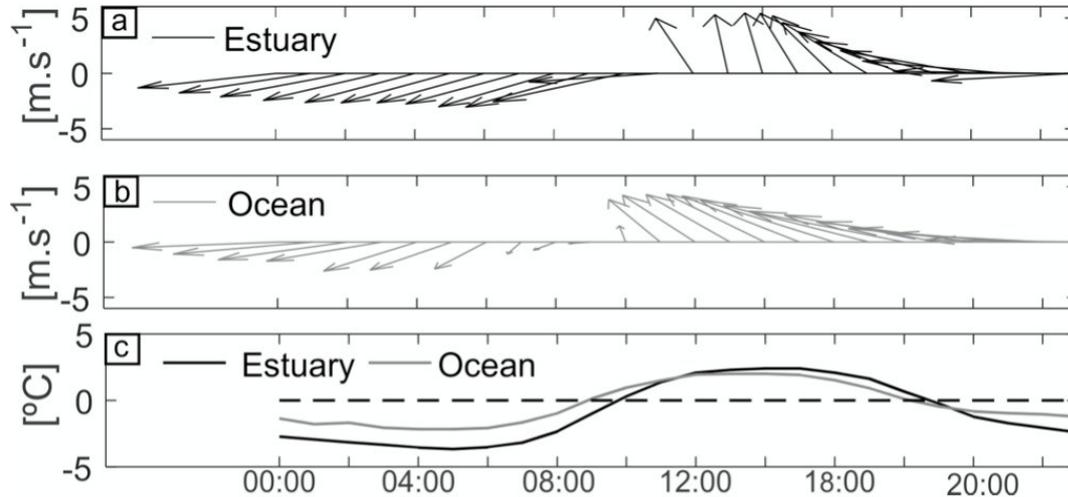


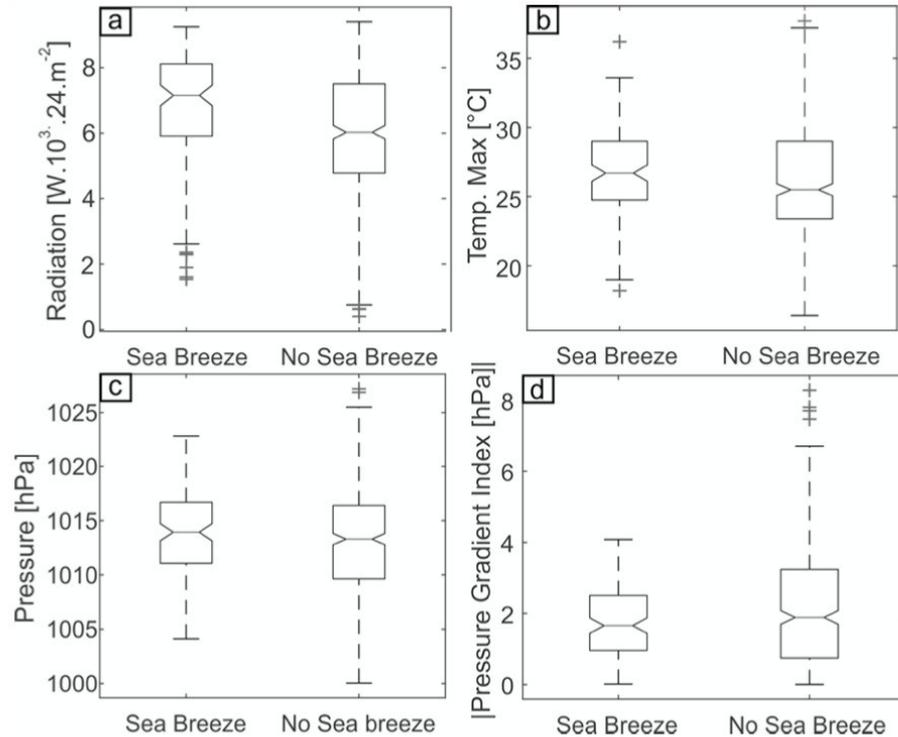
Figure 4: Daily cycle of winds [ $m.s^{-1}$ ] during summer in: a) Estuary and b) Ocean. c) Difference between air and water temperature [ $\Delta T, ^\circ C$ ] in the estuary and oceanic region during summer, respectively. Wind data and air temperature from all estuarine and oceanic stations were used to compute each panel respectively. For the SST, representative time series for each region was taken (see methods).

Región Oceánica:  
Comienza a las 11:00 ( $\Delta T > 0$   
más temprano)

Los vientos deben “rotar”  
menos

Región Estuarina:  
Comienza a las 12:00

# BRISA MARINA EN URUGUAY



- Viento sinóptico débil
- Cielo despejado
- Alivia T máximas

Figure 6: Box plot derived from Kruskal-Wallis test for summer days between 2011 and 2016 ( $n = 728$ ) in Uruguay with or without sea breeze for: a) Daily cumulative in situ radiation ( $p < 0,05$ ), b) Daily maximum temperature ( $p < 0,1$ ). c) Pressure in CR ( $p < 0,1$ ), d) Pressure Gradient Index ( $PGI = SLP_{ocean36\tilde{z}S,53\tilde{z}W} - SLP_{land33\tilde{z}S,56\tilde{z}W}$ ;  $p < 0,05$ ). Box limits extend to the median, 25<sup>th</sup> and 75<sup>th</sup> percentile. Whiskers extend to almost all data range, except for sum symbols automatically considered as outliers.



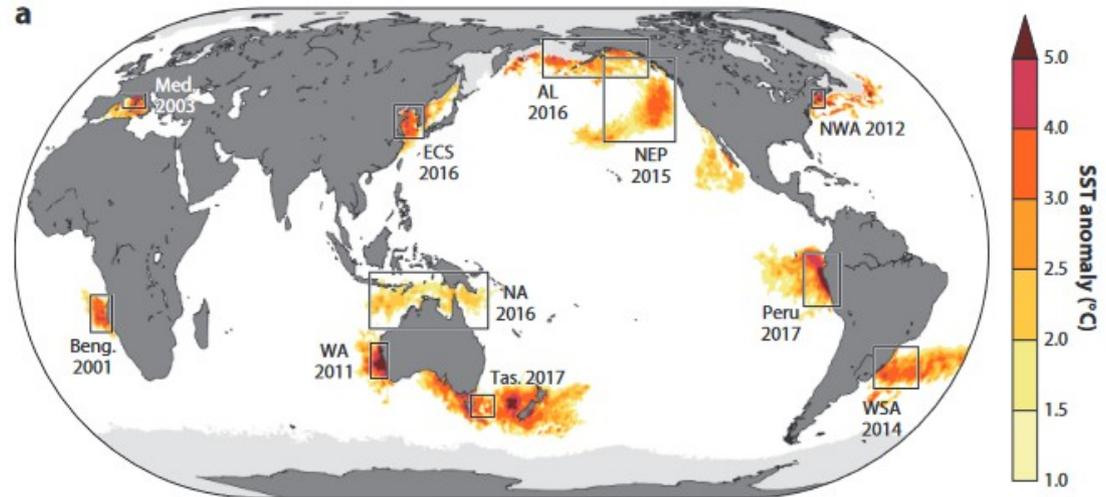
# PROCESOS COSTEROS

## OLAS DE CALOR MARINAS

# Olas de calor marinas

Eventos climáticos extremos que ocurren en los océanos

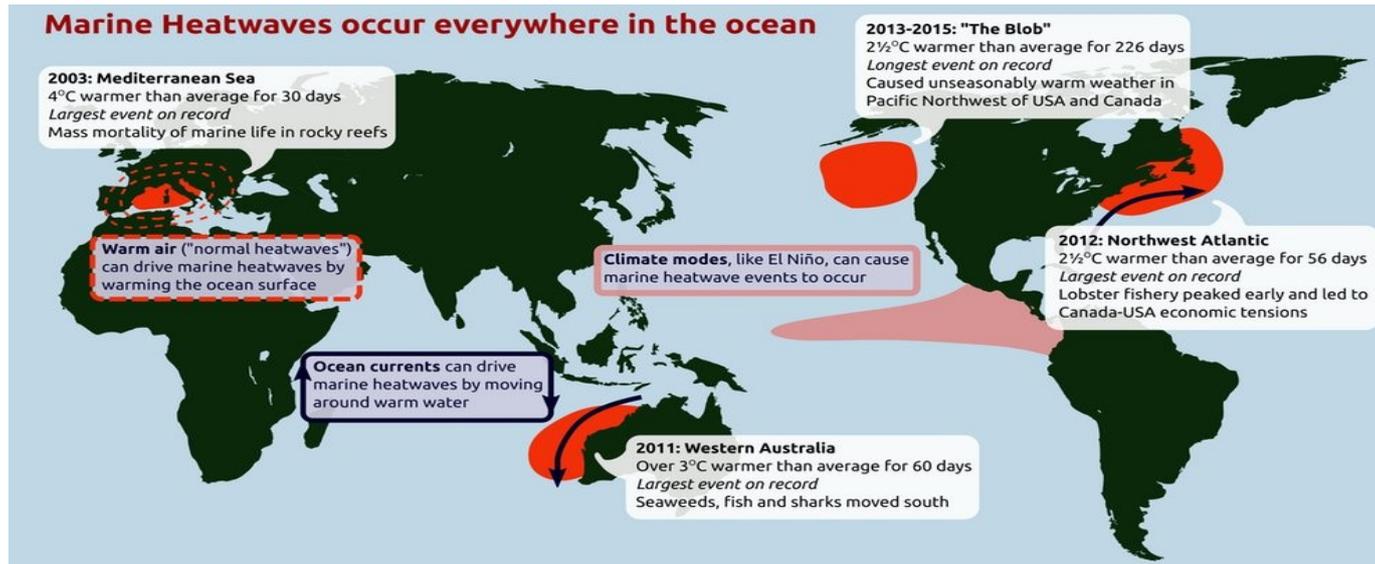
Generan impactos sobre los ecosistemas con consecuencias socioeconómicas (e.j. mortandades masivas, floraciones)



# Olas de calor marinas

Son eventos con al menos 5 días consecutivos de temperaturas cálidas por encima del percentil 90th basado en un período de 30 años.

(Hobday et al., 2016)



- ❑ Reportadas en todos los océanos, son cada vez más frecuentes y duraderas
- ❑ Mecanismos de generación: flujos de calor, estratificación, advección, teleconexiones

# Olas de calor marinas en el ASO

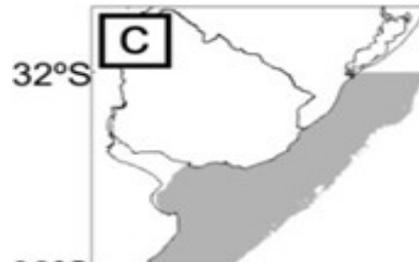
Siguiendo metodología de Hobday et. al (2016) se calcularon las MHW a la serie de SST promediada en un área con similar dinámica

75 MHW en 30 años (1988-2017)

Total de 893 días  
con MHW

2017 año con más  
cantidad de días  
168

Tendencia creciente  
en duración e  
intensidad



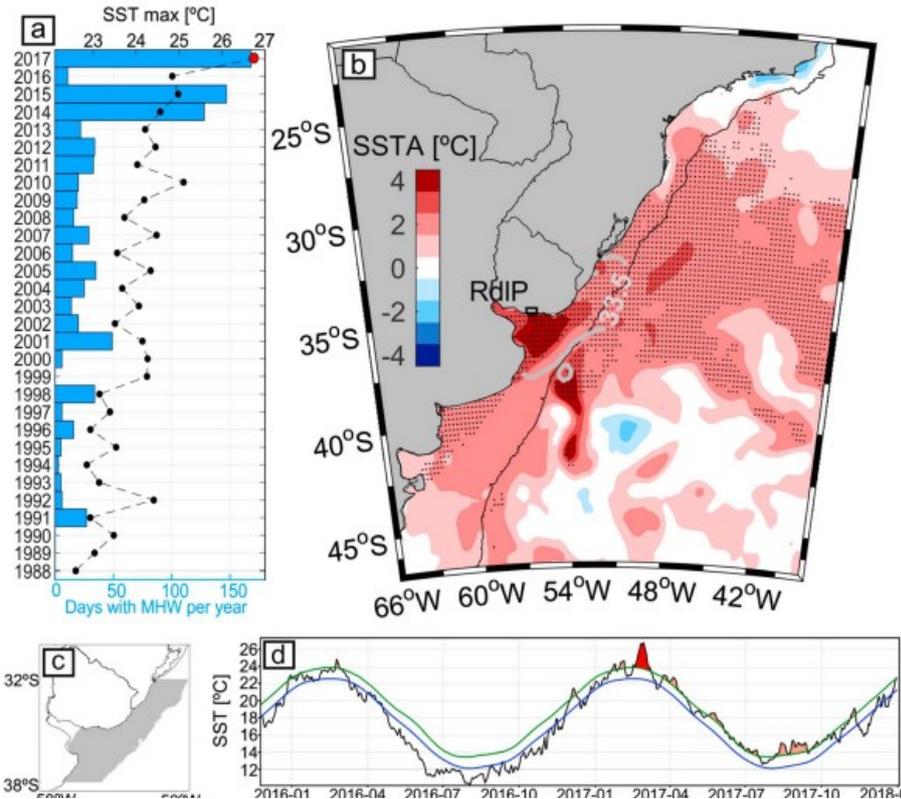
# Olas de calor marinas en el ASO

□ Evento extremo (categoría 4)

□ Duración: 22 días

□ Fue el más intenso en términos de:

- Anomalía: 4.26 °C
- SST absoluta: 26.8 °C
- 1.7 y 1.5 °C más que el segundo y tercer máximo histórico de 2010 y 2015 respectivamente

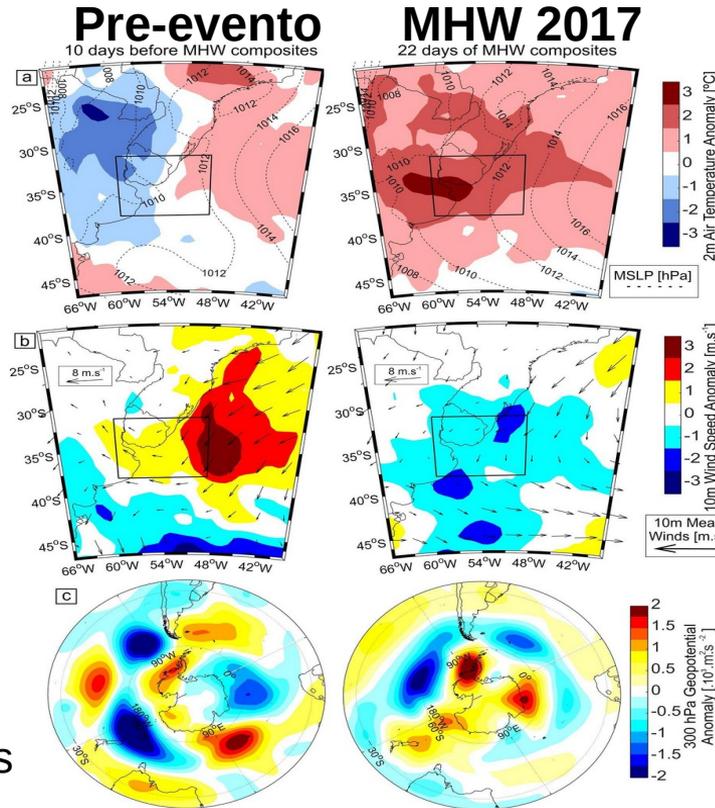


# Olas de calor marinas en el ASO

P favorece viento N

Anomalia positiva de Viento NE (aire cálido)

# de onda 3, propagación lenta  
Asociado a persistencia de condiciones sinópticas previas  
→ Consistente con teleconexión atmosférica de MJO durante fases 6 a 8 (MJO intensa)

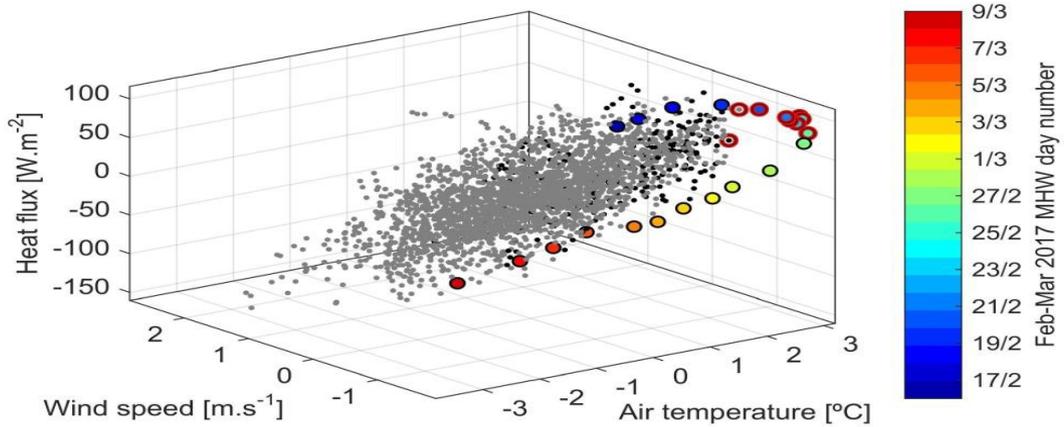


Favorece intercambio de flujos de calor

En altura bloqueo omega  
Consistente con teleconexión de MJO fases 2-3, anom + de geo pot sobre Uruguay que debilita jet en lat subtropicales

# Olas de calor marinas en el ASO

Condiciones que favorecieron la ocurrencia de este evento



Posibilidad de evaluar predictabilidad relacionada a MJO

Combinación singular de persistencia de anomalía Taire



Anomalías de flujo de calor sobre percentil 95th y anom negativas de viento por debajo del percentil 5<sup>th</sup>



Intenso loop de calentamiento y estratificación difícil de romper por viento débil

**Toneladas de peces muertos y algas tóxicas fueron reportados en la costa de Montevideo en 2017. Similar a 2015 (Méndez et al., 2015)**



INFORME

**Dinara estima que muerte de peces pudo haber sido por falta de oxígeno**

**Playas se llenan de peces muertos desde la Ciudad Vieja hasta Costa de Oro**

Toneladas de lachas muertas cubrieron ayer las costas de Montevideo y Canelones. El fenómeno muchas veces ocurre por contaminación o por un cambio de salinidad del agua, pero ambas posibilidades parecerían quedar descartadas de acuerdo a las primeras observaciones realizadas por la Intendencia de Montevideo y la Dirección Nacional de Recursos Acuáticos (Dinara).

**EL PAIS**



EL OBSERVADOR

INGRESAR

NACIONAL > MONTEVIDEO

**Todas las playas de Montevideo están inhabilitadas por presencia de cianobacterias**

Se prevé que la situación se mantenga durante todo el fin de semana



**Esfuerzo coordinado para monitorear y entender la interacción de este proceso físico con la componente biológica del sistema**





# CRIOSFERA

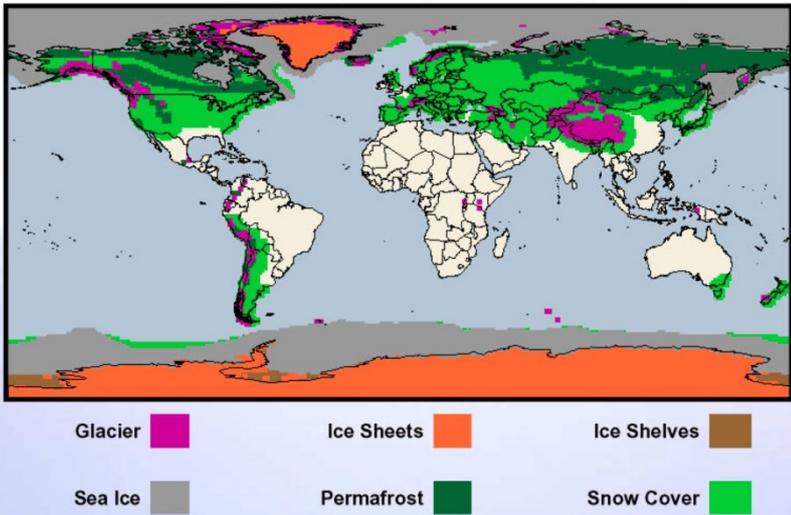
Glaciares  
Glaciares de montaña  
Hielos marinos  
Cobertura de nieve  
Permafrost



# CRIOSFERA

Agua en estado sólido: glaciares, capas de hielo, hielo marino, nieve y permafrost.

- Masas de hielo y nieve de la Tierra.
- Representa el reservorio de agua dulce más grande del planeta
- Elevado albedo y su baja conductividad.
- Son valiosos para la investigación científica, ya que las capas de hielo pueden contener información sobre el clima pasado y las condiciones atmosféricas.



Rol en los cambios climáticos a escalas de decenas de miles de años (glaciaciones - periodos interglaciales durante el Pleistoceno)

# CRIOSFERA

- Contribuye al albedo terrestre
- Influye en circulación termohalina: cambios en salinidad
- Es un reservorio de agua que puede influenciar el nivel del mar

| Component                               | Area ( $10^6$ km <sup>2</sup> ) | Ice volume ( $10^6$ km <sup>3</sup> ) | Sea level equivalent (m) |
|---|---------------------------------|---------------------------------------|--------------------------|
| Continuous permafrost                   | 10.69                           | 0.0097-0.0250                         | 0.024-0.063              |
| Discontinuous permafrost                | 12.10                           | 0.0017-0.0115                         | 0.004-0.028              |
| East Antarctica                         | 10.1                            | 22.7                                  | 56.8                     |
| West Antarctica and Antarctic Peninsula | 2.3                             | 3.0                                   | 7.5                      |
| Greenland                               | 1.8                             | 2.6                                   | 6.6                      |
| Small ice caps and mountain glaciers    | 0.68                            | 0.18                                  | 0.5                      |
| Ice shelves                             | 1.5                             | 0.66                                  | -                        |

# HIELOS CONTINENTALES

## GLACIARES

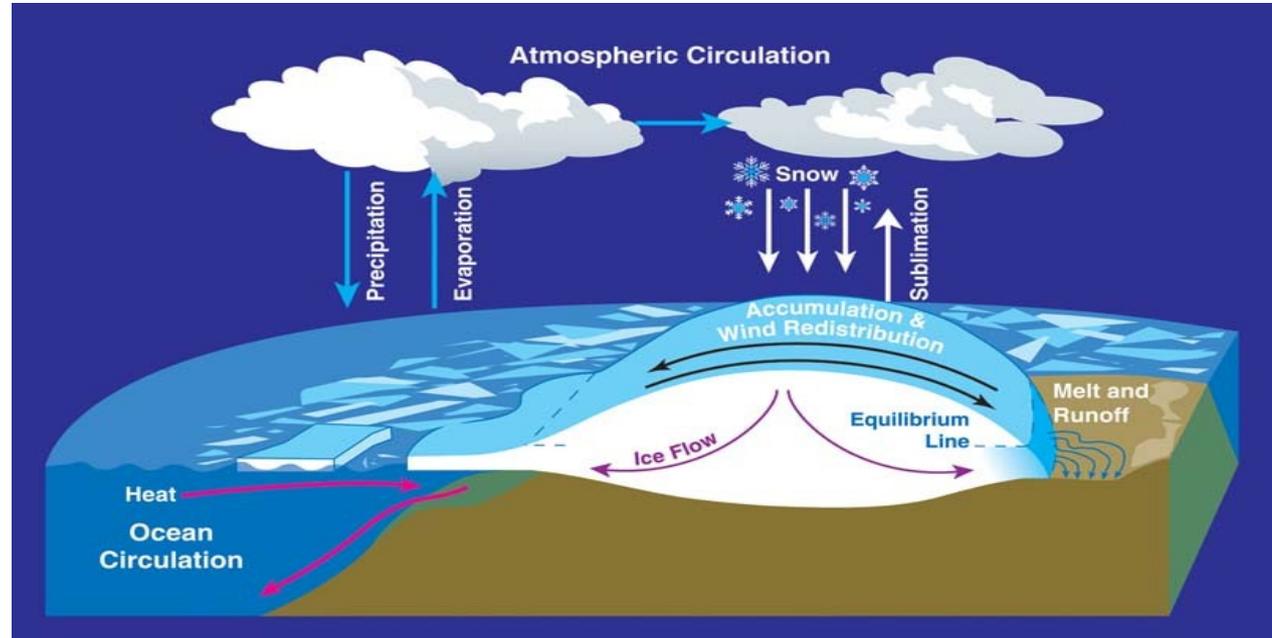
- Un glaciar es una masa de hielo y nieve gruesa perenne que se origina en la superficie terrestre y muestra evidencia de flujo (pasado o presente).
  - Si el glaciar se extiende en capas continuas, se mueve en todas las direcciones y es del tamaño de la Antártida o Groenlandia se denomina capa de hielo (“ice sheets”)
  - Si el glaciar está confinado a fluir en una sola dirección se denominan glaciar de montaña



# HIELOS CONTINENTALES

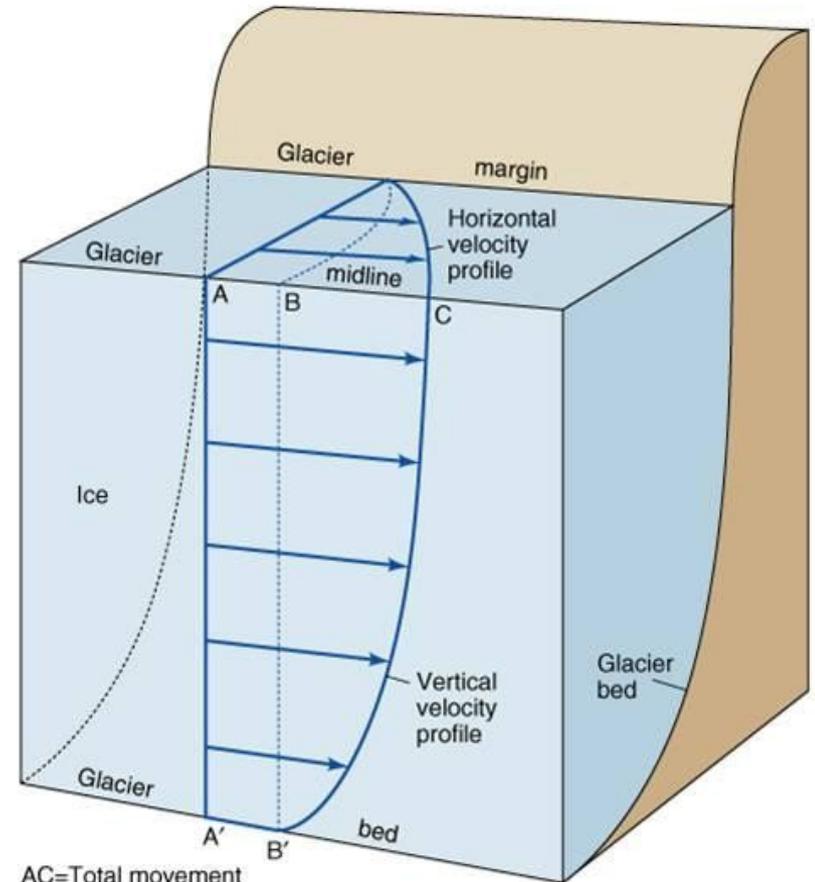
## CAPAS DE HIELO

- Groenlandia y la Antártida
- Crecen por nieve y pierden masa (ablación) por sublimación, por generación de icebergs, y en verano por el descongelamiento. El balance neto de masa indica si crecen o decrecen.
- La región de acumulación está en el interior del continente y las de ablación en zonas periféricas.



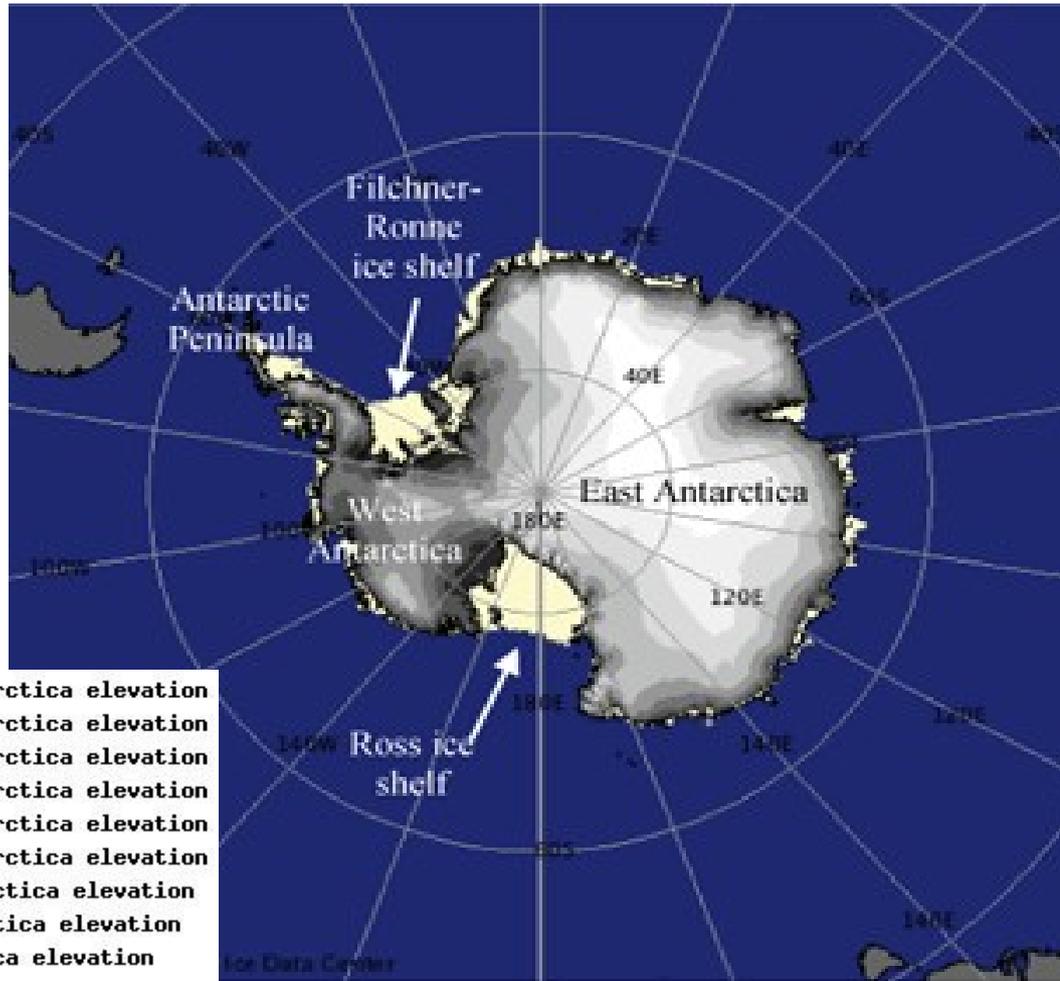
# CAPAS DE HIELO

- En escalas de milenios las capas anuales de nieve en el centro del glaciar son comprimidas por el peso encima de ellas y la nieve se convierte en hielo.
- Debido a la presión los cristales se deforman y las capas comprimidas fluyen gradualmente hacia la periferia causando que la capa se extienda horizontalmente y se afine.
- El glaciar también puede moverse debido a una superficie con menor rozamiento por la presencia de agua. El flujo está concentrado a lo largo de canales.



AC=Total movement  
AB=A'B'=Sliding on bed  
BC=Internal flow

# CAPAS DE HIELO



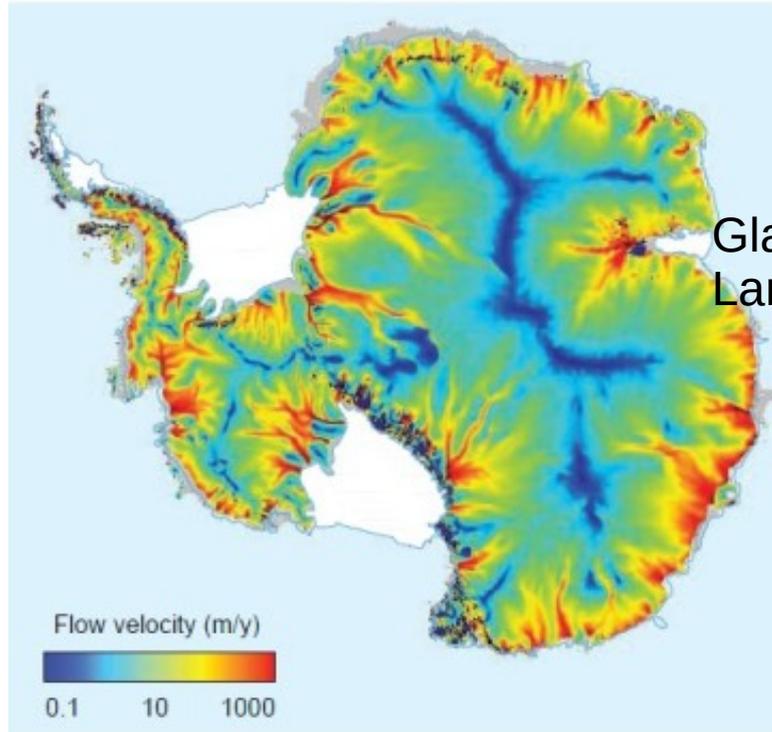
## Antártida

EAIS – está situado sobre continente a una altura considerable y es estable

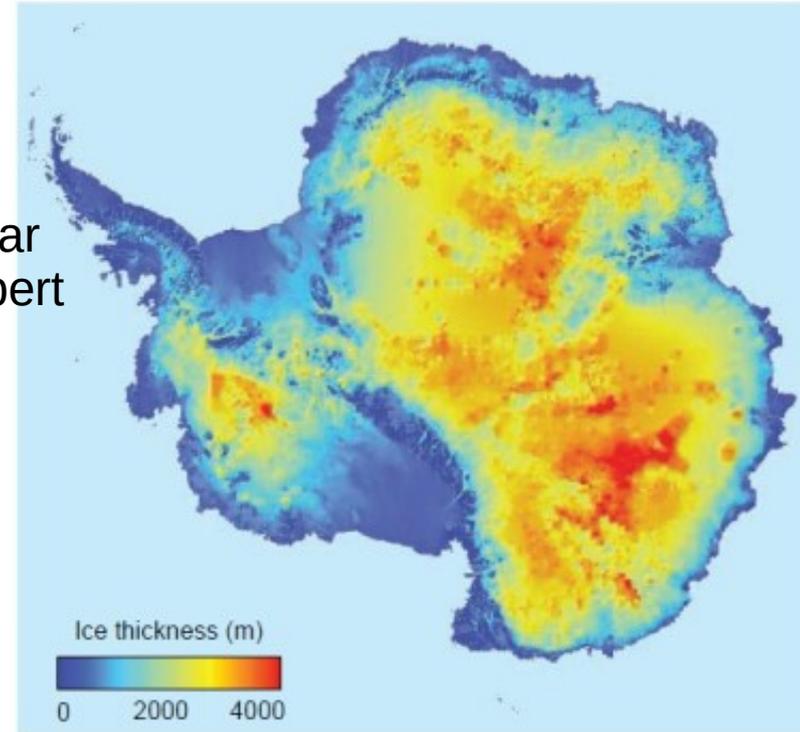
WAIS – está situado en gran parte por debajo del nivel del mar y es inestable. Contiene masa para elevar en 7.5 m el nivel del mar.

# CAPAS DE HIELO

## Glaciares continentales



Glaciar  
Lambert

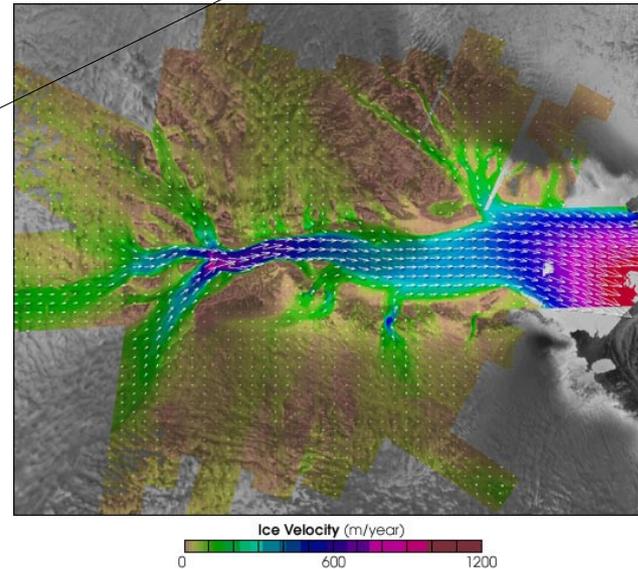
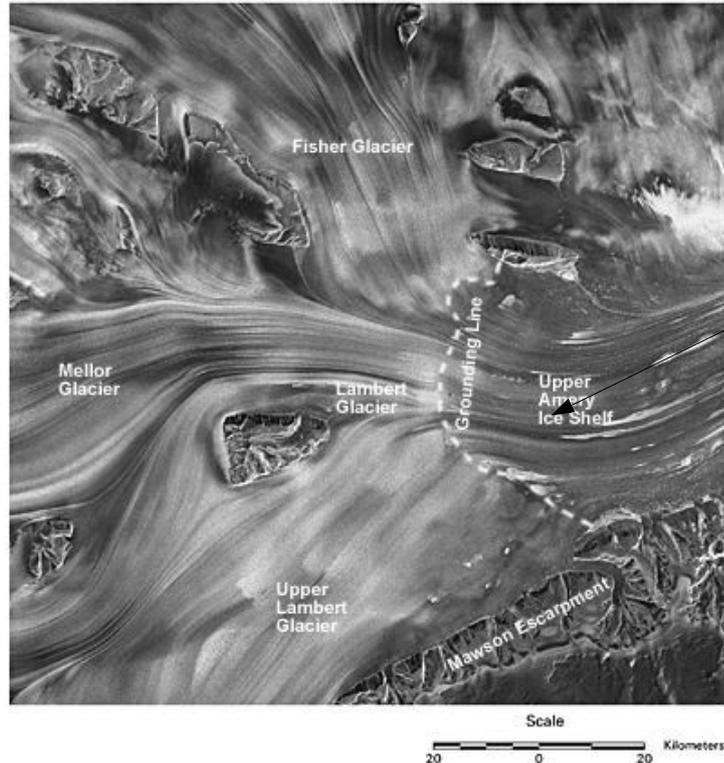


**(C)** The ice moves as much as several hundred meters per year as shown in his computer model. "Drainage basins" are bounded by slow ice. Fast treams of ice are concentrated on the margins but extend deep into the interior. *(Roland Warner, Antarctic CRC and Australian Antarctic Division)*

**(D)** The Antarctic ice sheet is as much as 3000 m thick but tapers toward the margins of the continent. *(Data from the BEDMAP Project)*

# CAPAS DE HIELO

El glaciar de Lambert es el glaciar mas grande del mundo.  
Por año fluyen 900.000 km<sup>2</sup> de hielo.



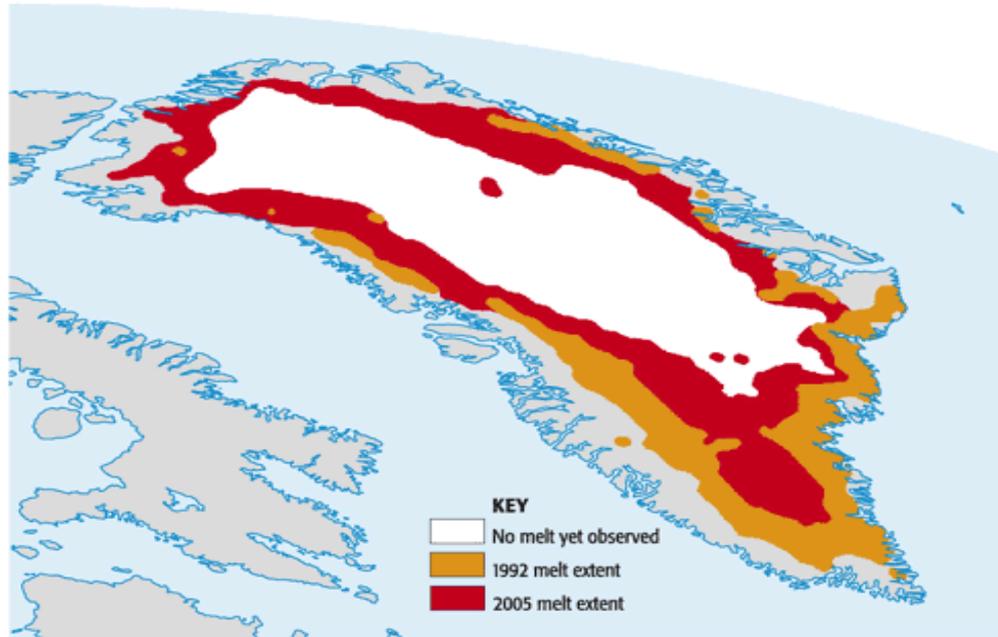
Plataforma de hielo

# CAPAS DE HIELO

## Groenlandia

La región de ablación en Groenlandia se ha expandido en los últimos años

GREENLAND'S MELTING CONTINENTAL ICE SHEET

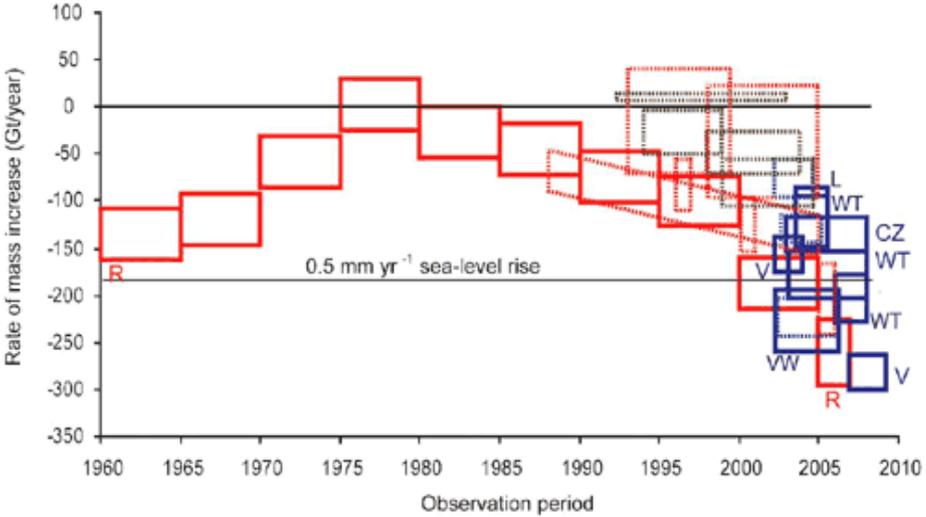


© 2009 Pearson Education, Inc.



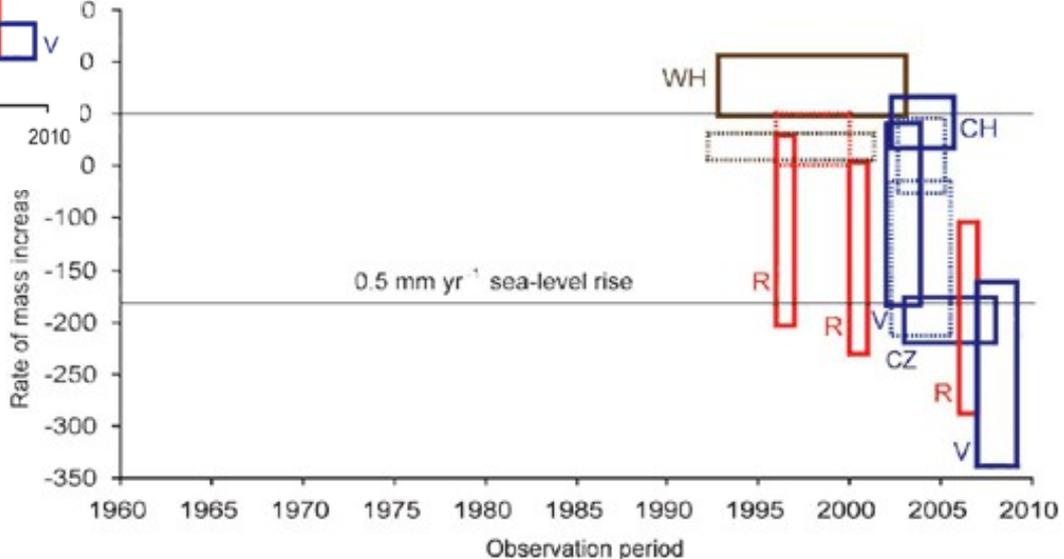
# CAPAS DE HIELO

## Razón de ganancia neta de masa de hielo



**Antártida**

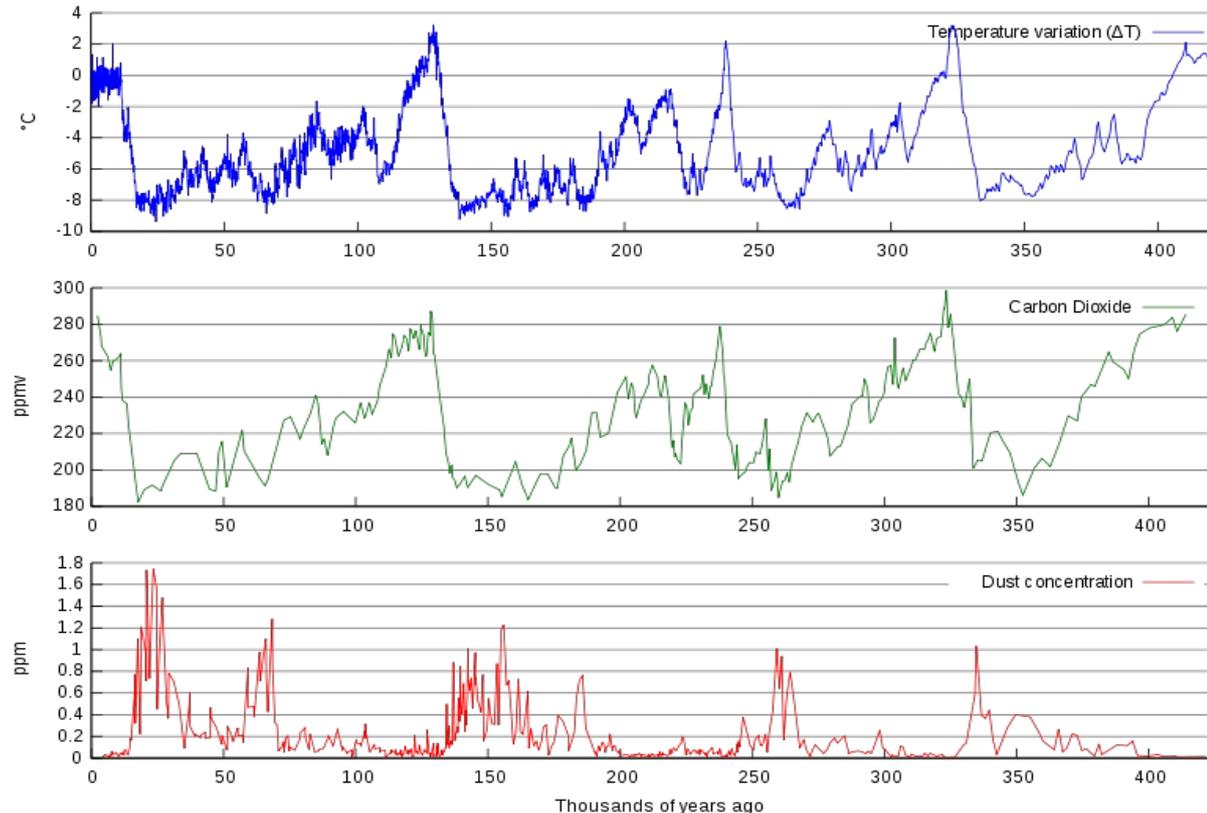
**Groenlandia**



Ablación es mayor que la acumulación en Groenlandia y la Antártida.

# CAPAS DE HIELO

- En las mesetas el movimiento horizontal es muy lento y las capas verticales representan la edad del hielo (hasta 100 ka en G y 800 ka en AA).
- El análisis de burbujas de aire y polvo atrapados en el hielo provee información sobre climas pasados



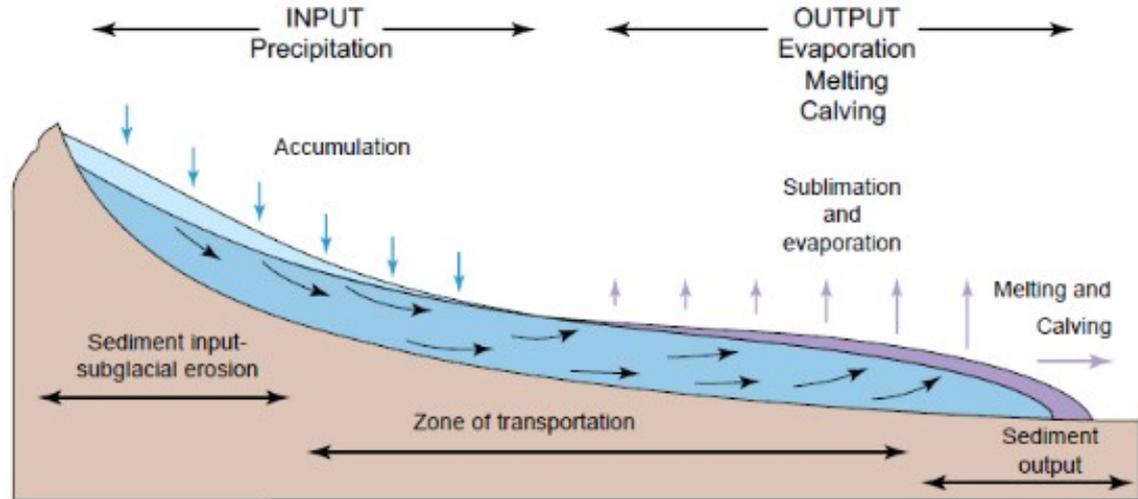
Vostok

# HIELOS CONTINENTALES

## GLACIARES DE MONTAÑA

- Se comportan en forma muy parecida a los otros glaciares y su evolución depende del balance de masa. Las parcelas de hielo fluyen continuamente desde lo alto hasta alturas menores donde el agua se descongela.
- Debido a su menor masa estos glaciares responden mas rápidamente a cambios climáticos.

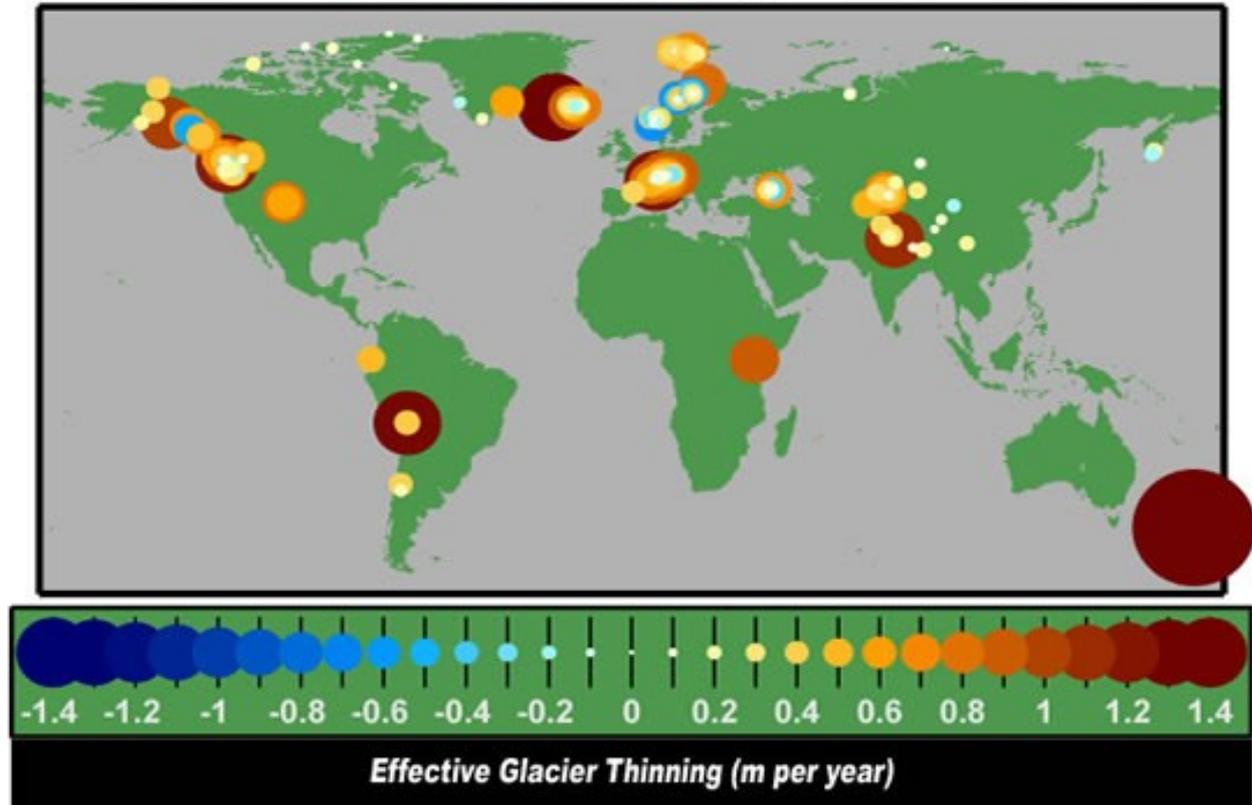
Glaciar de Behring  
Alaska



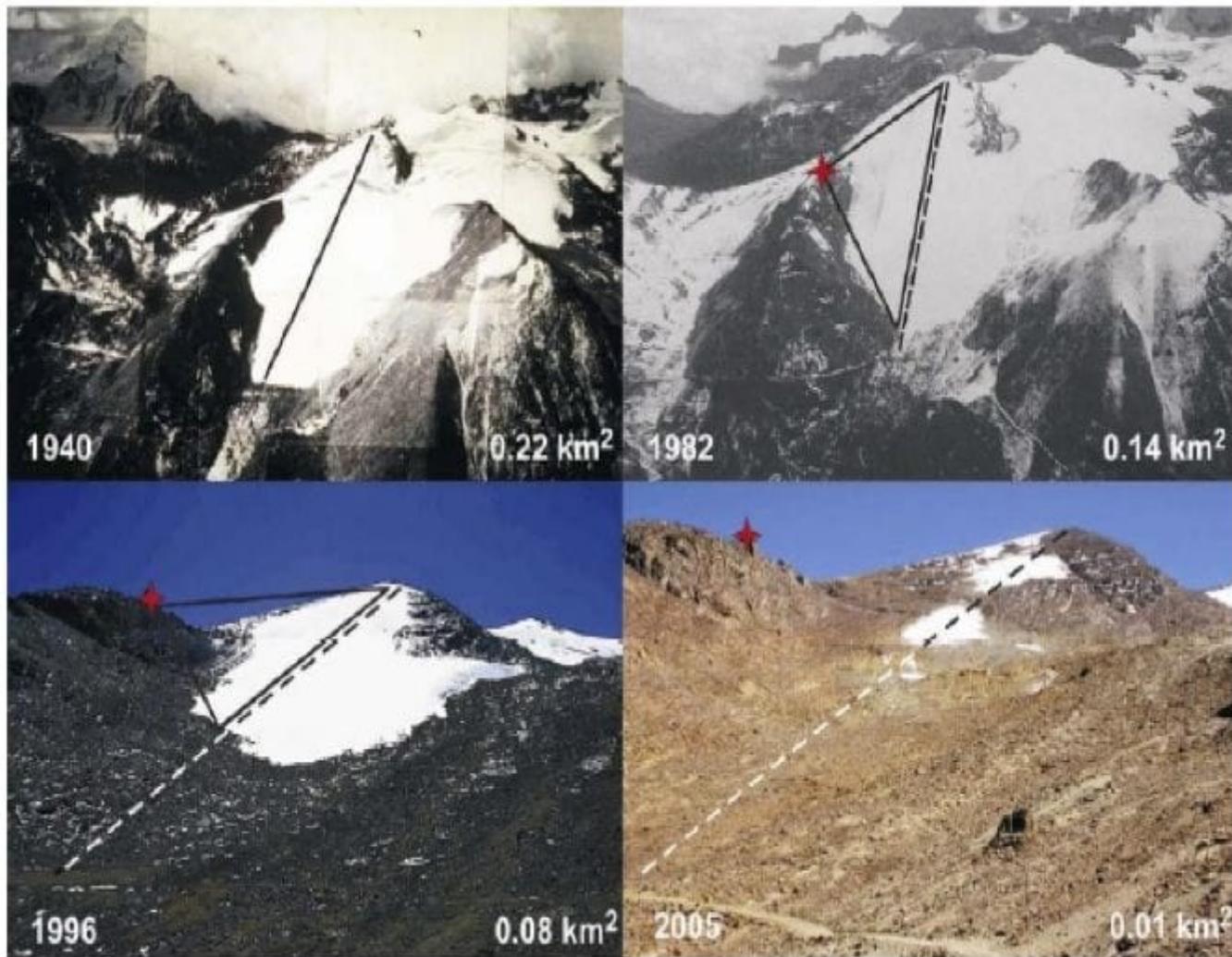
# HIELOS CONTINENTALES

# GLACIARES DE MONTAÑA

Mountain Glacier Changes Since 1970

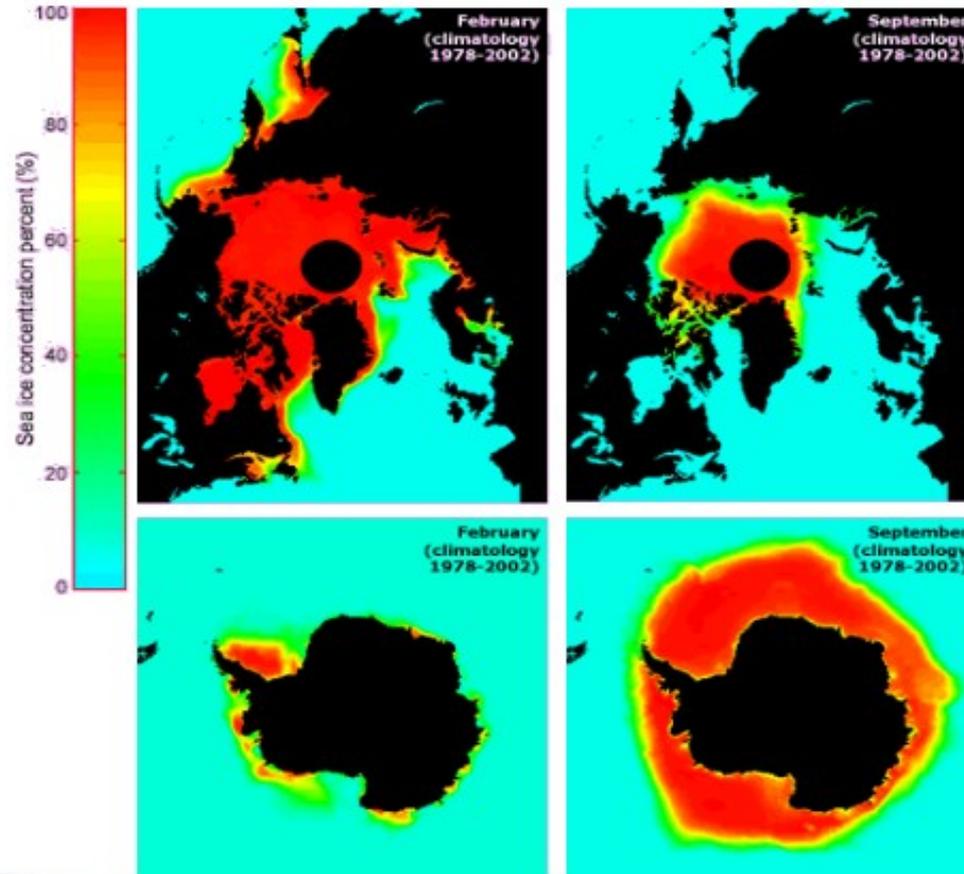


# GLACIAR DE CHACALTAYA (BOLIVIA)



# HIELOS OCEÁNICOS

- Cubren una superficie mayor que los hielos continentales pero su espesor es de solo 1-3 m.



## HIELOS OCEÁNICOS

No forman una superficie continua, se encuentra en general resquebrajada con pedazos de distinto tamaño que se mueven arrastrados por el viento.



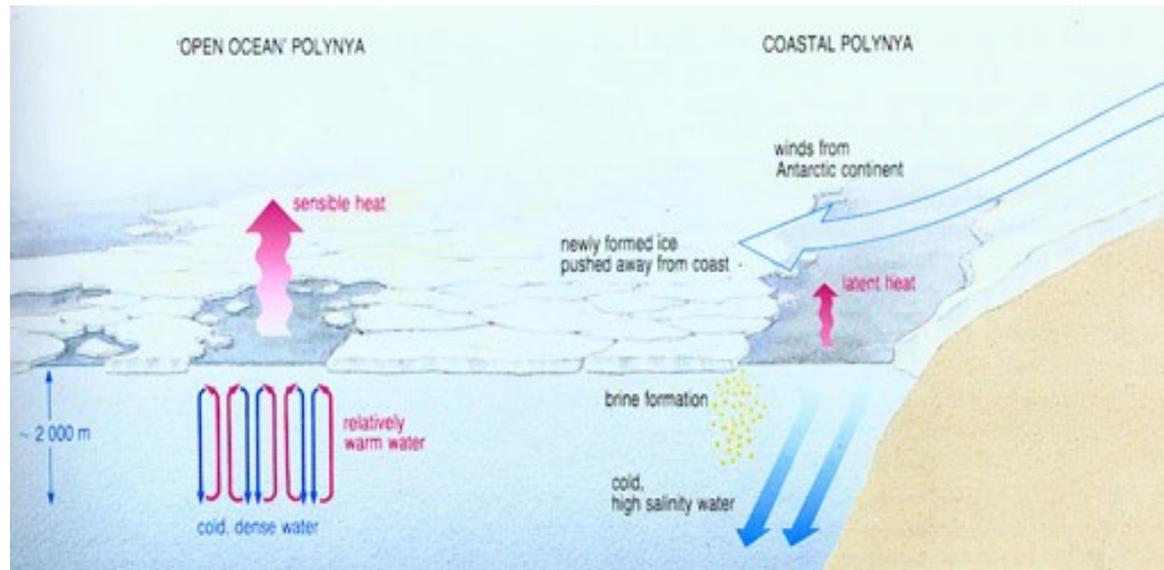
Circulación media anual  
- Giro de Beaufort  
- Deriva transpolar



# HIELOS OCEÁNICOS

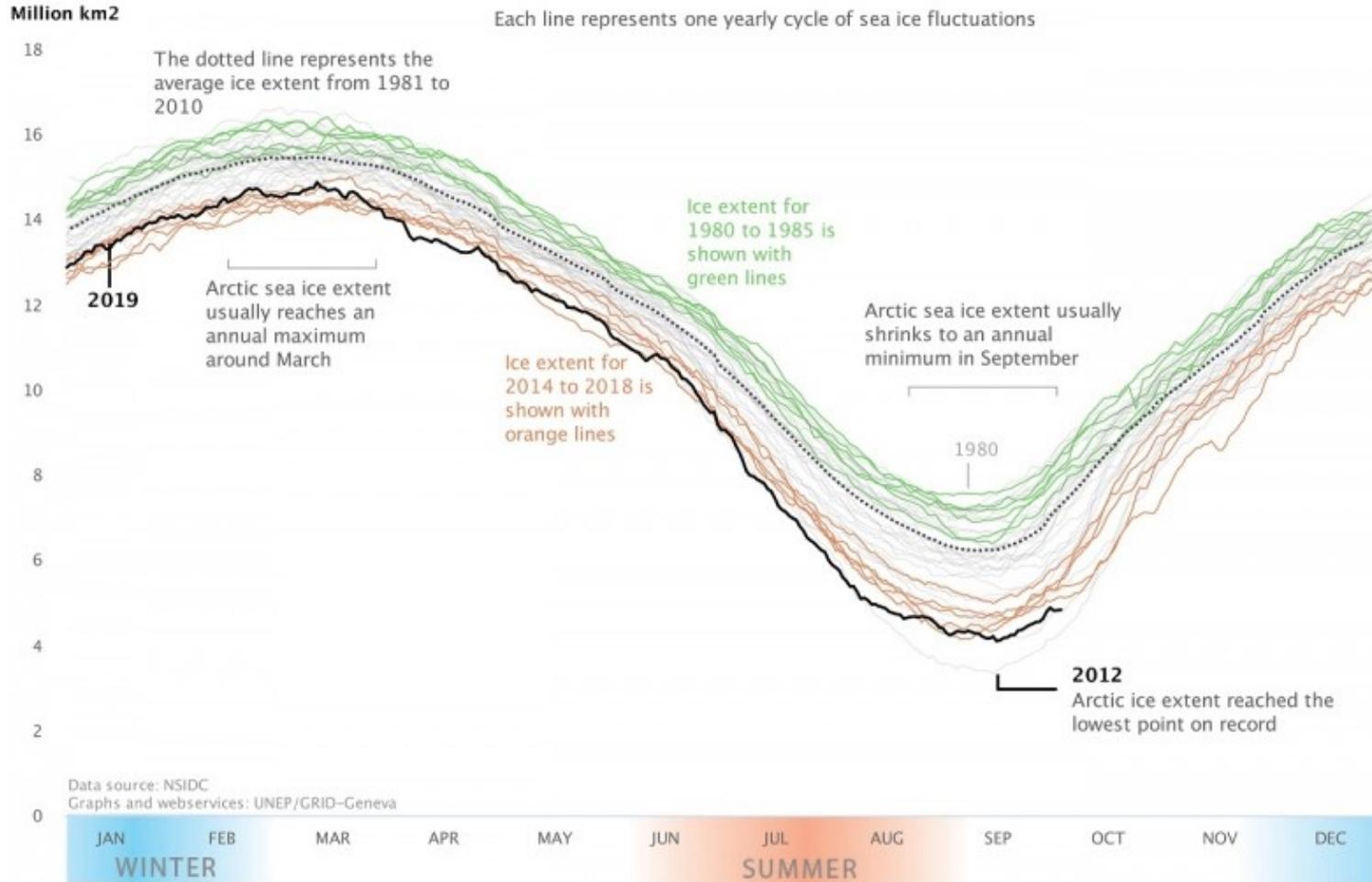
## Influencia sobre circulación oceánica

- Cuando se **congela el agua**, quedan aguas de salinidad muy concentrada conocidas como “brine”, que al mezclarse con su entorno aumenta la salinidad de las aguas. Este proceso es fundamental para dar lugar a la formación de aguas profundas.
- Creación de **polinias** (hueco en la cobertura de hielo). Polinias costeras se generan alrededor de la Antártida por fuertes vientos soplando hacia el océano (50-100km). Estas polinias influyen la circulación a través de la formación de hielo. Polinias en océano abierto son mayores (1000x350 km) y pueden permitir un enfriamiento de las aguas superficiales que induzca convección.



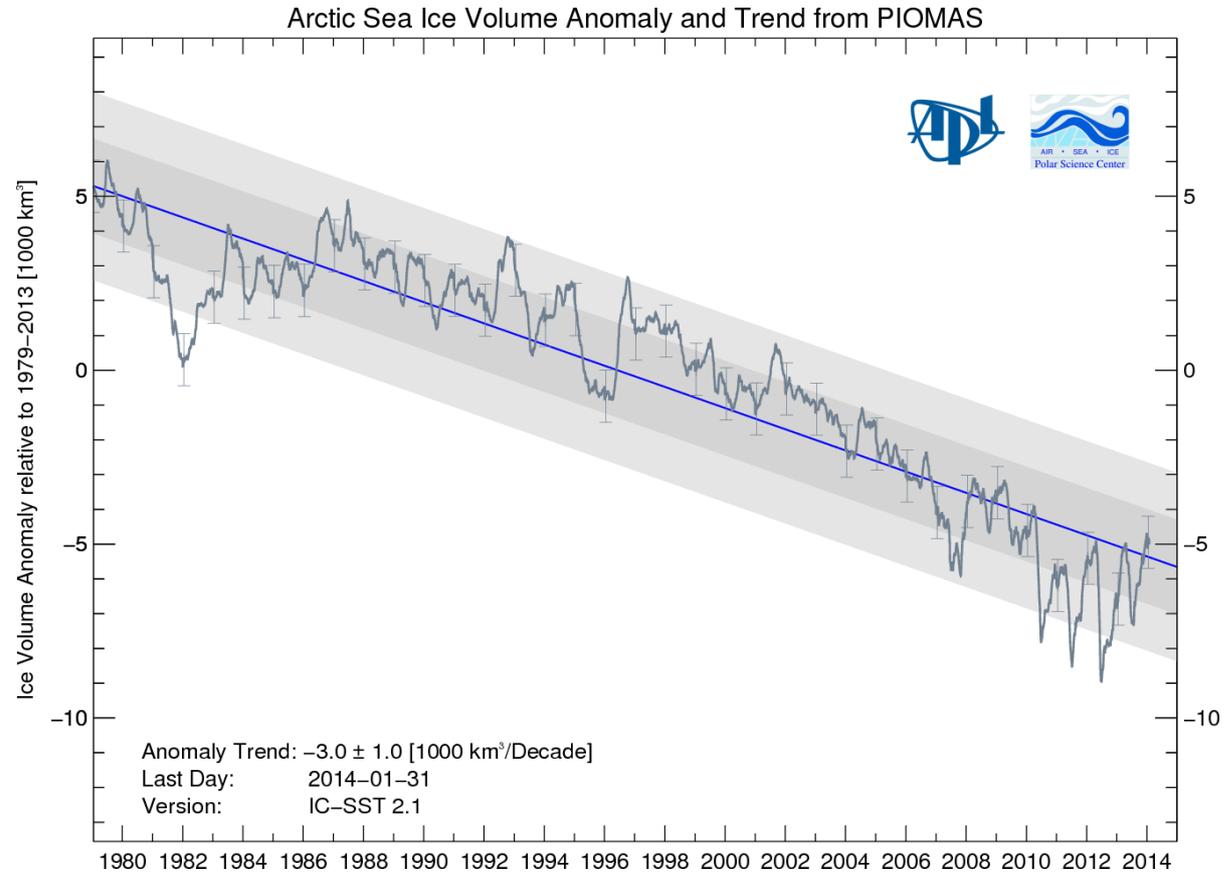
# HIELOS OCEÁNICOS

## Arctic Sea Ice Extent



Data source: NSIDC  
Graphs and webservice: UNEP/GRID-Geneva

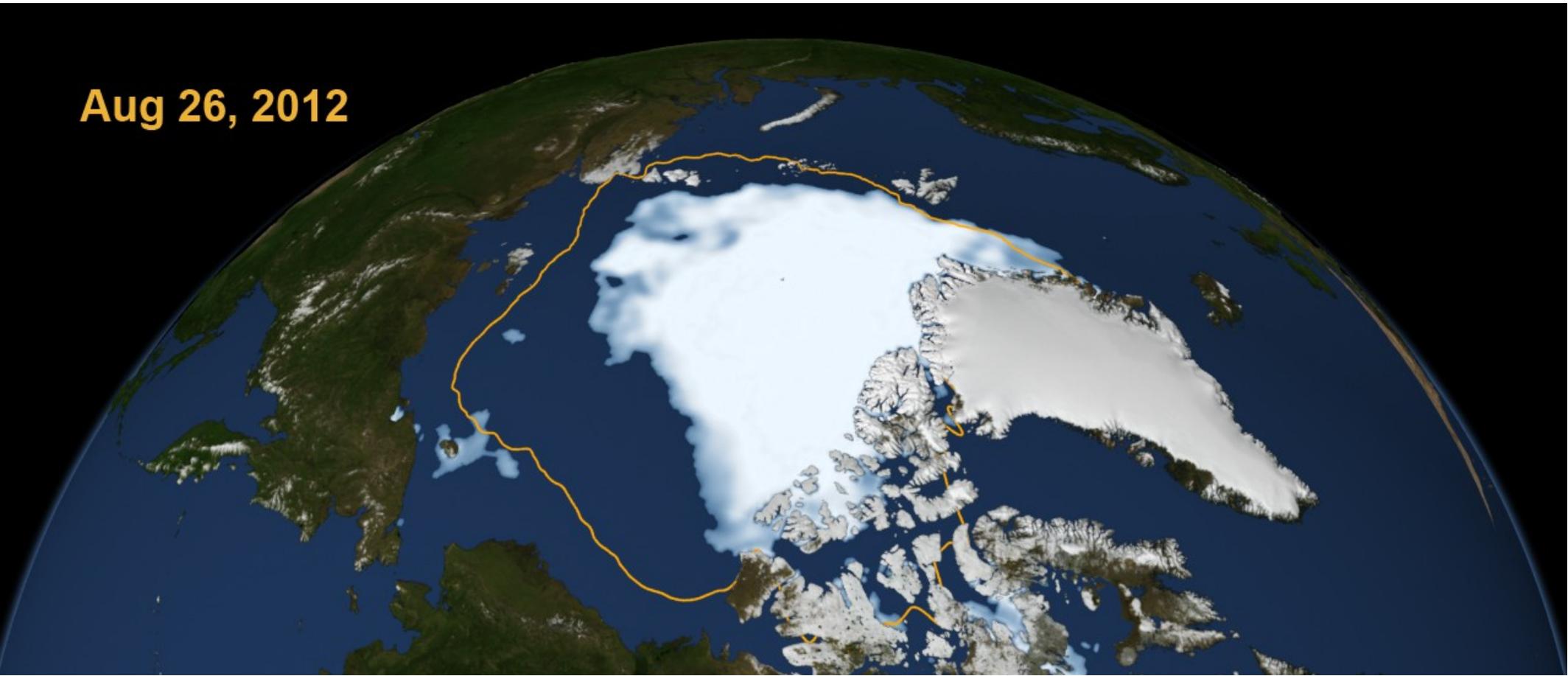
# HIELOS OCEÁNICOS



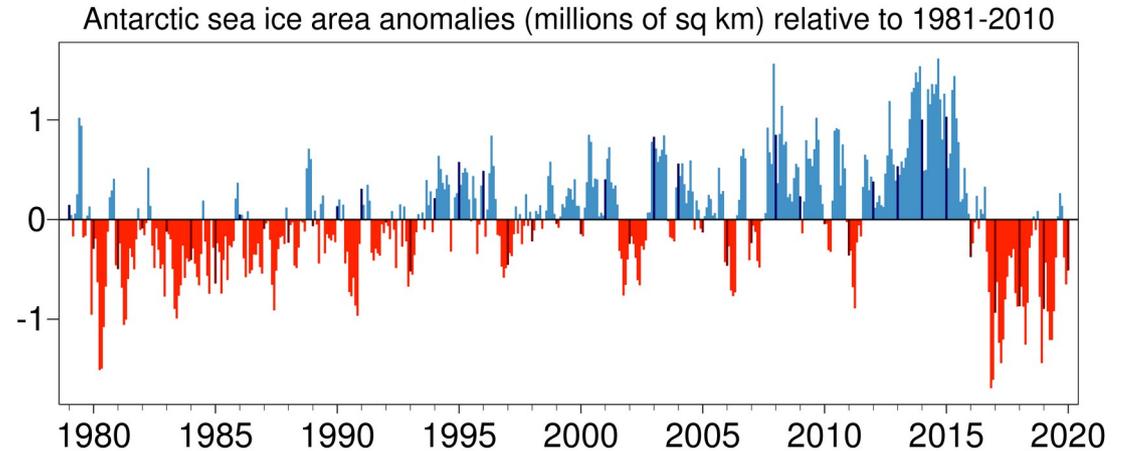
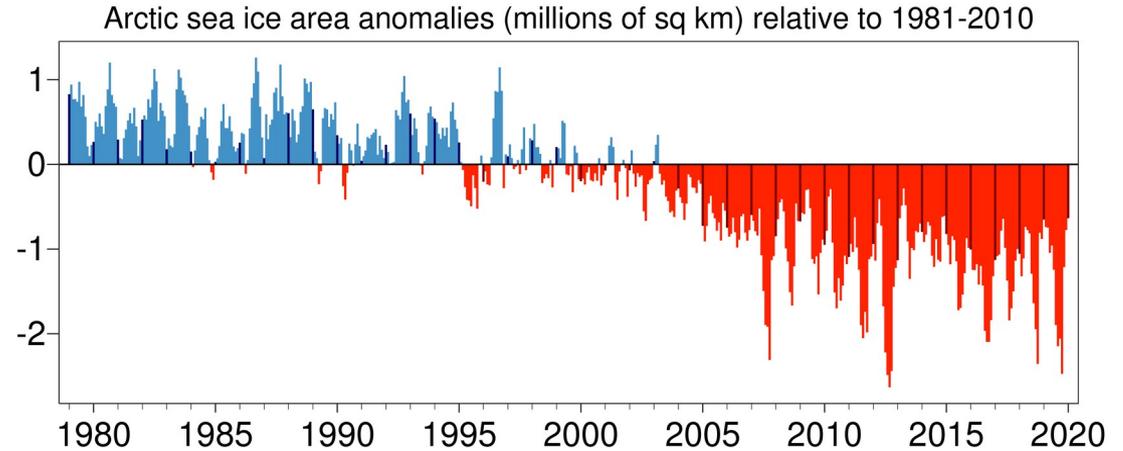
# HIELOS OCEÁNICOS

## Cobertura de hielo mínima histórica

**Aug 26, 2012**



# HIELOS OCEÁNICOS

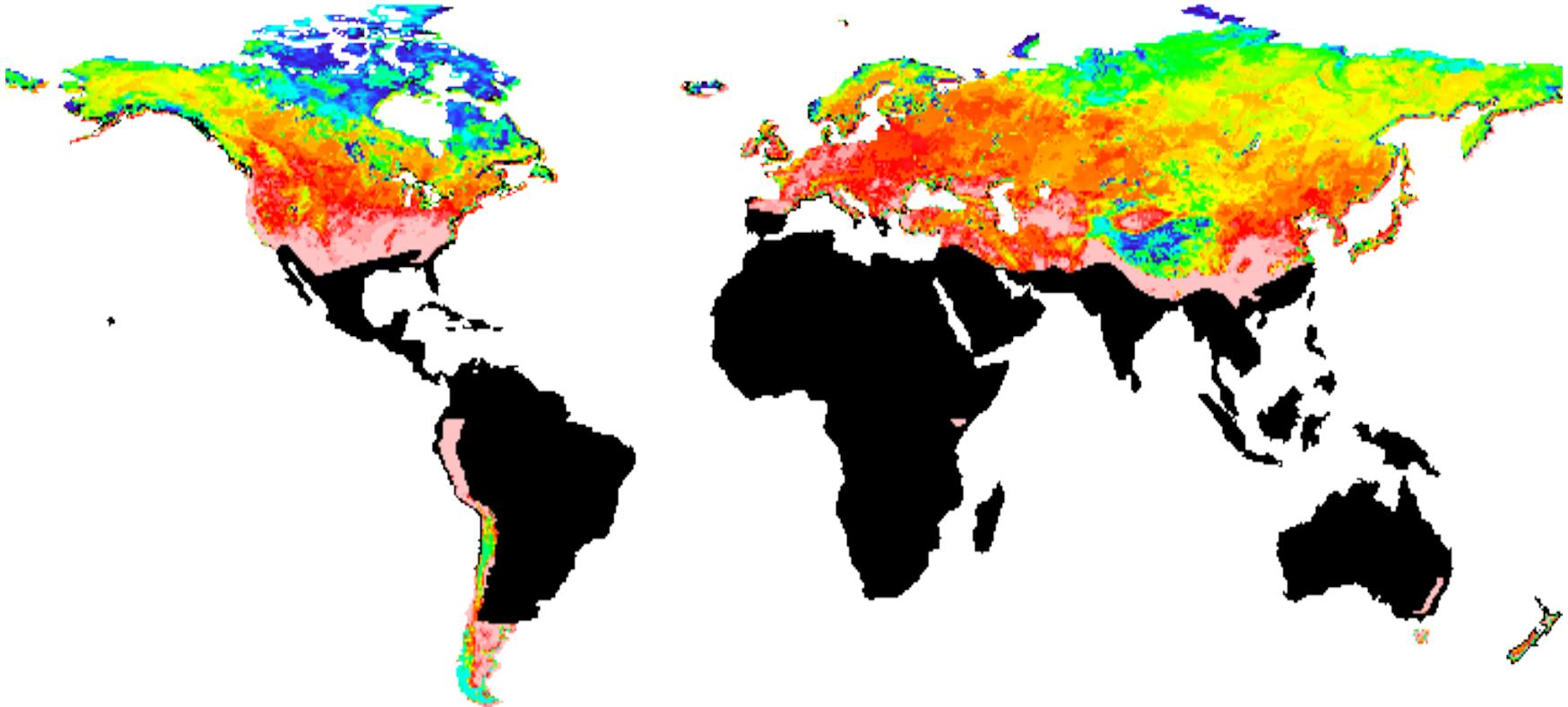


Mas figuras en: <https://sites.uci.edu/zlabe/arctic-sea-ice-figures/>

## NIEVE

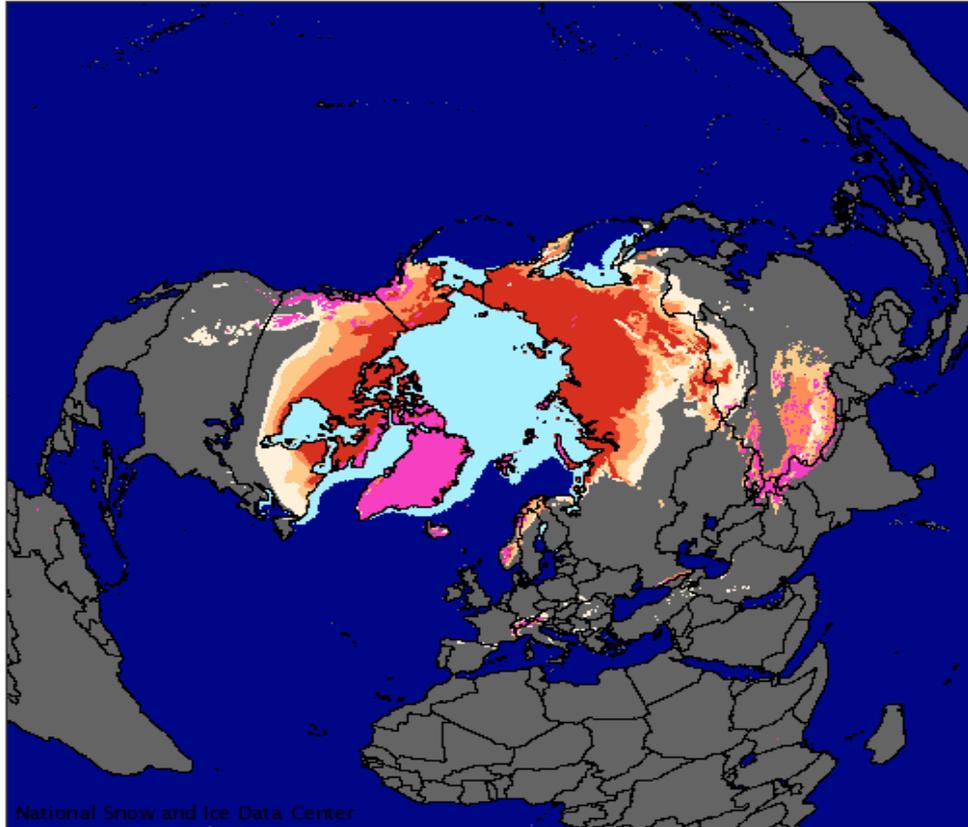
### Cobertura de nieve

En el continente ocupa una extensión aún mayor que la cobertura de hielo marino y tiene una variabilidad muy grande. Desaparece en la primavera.



# PERMAFROST

Suelo a menor temperatura que la del congelamiento del agua (0° C).



- + North Pole, Geographic (90°N)
- continuous permafrost (90-100%)
- discontinuous permafrost (50-90%)
- sporadic permafrost (10-50%)
- isolated permafrost (0-10%)
- snow extent, January (1967-2005)
- land
- sea ice extent, January (1979-2007)

Aún en la zona de permafrost continua, los primeros metros del suelo se descongelan en verano.

La difusión de calor del interior de la Tierra limita la extensión vertical de la capa.

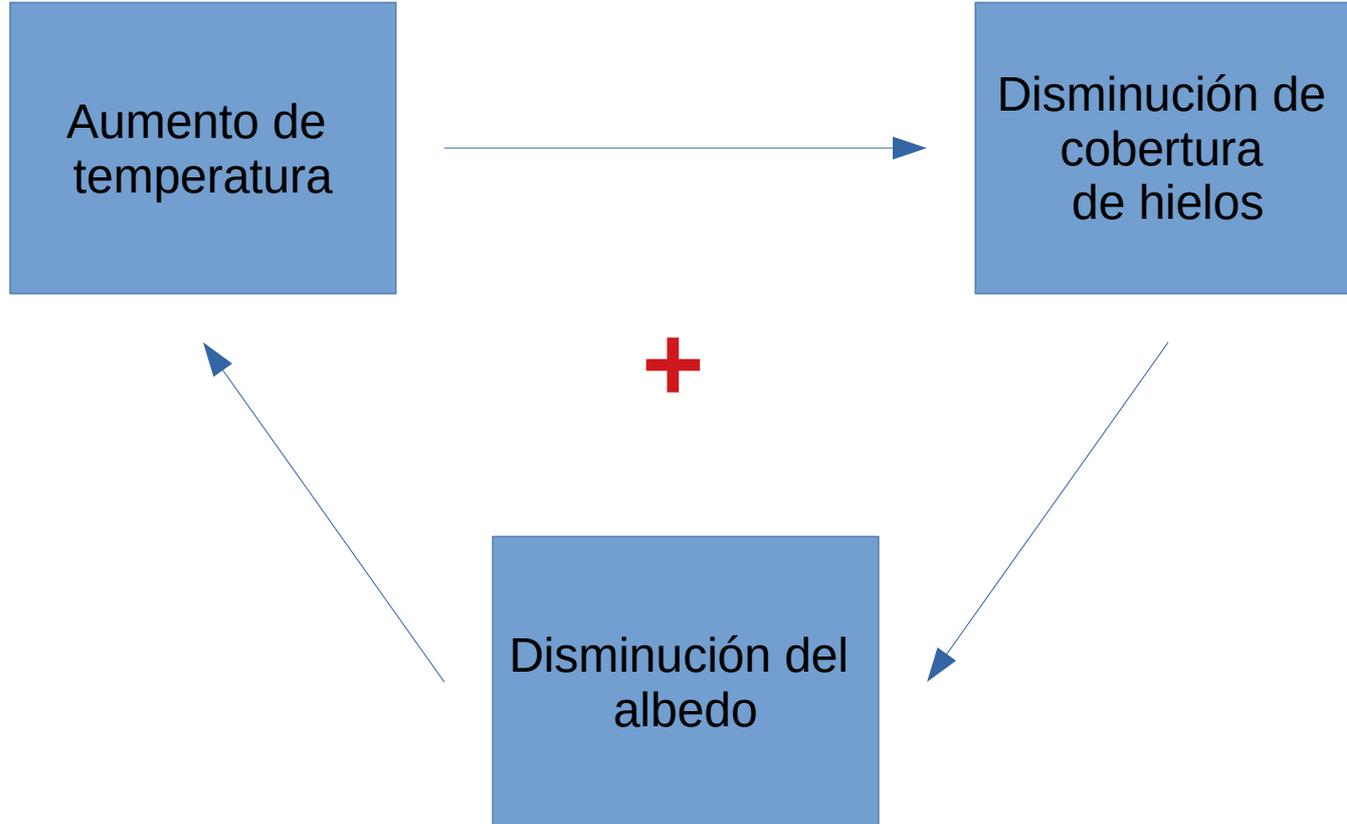
National Snow and Ice Data Center

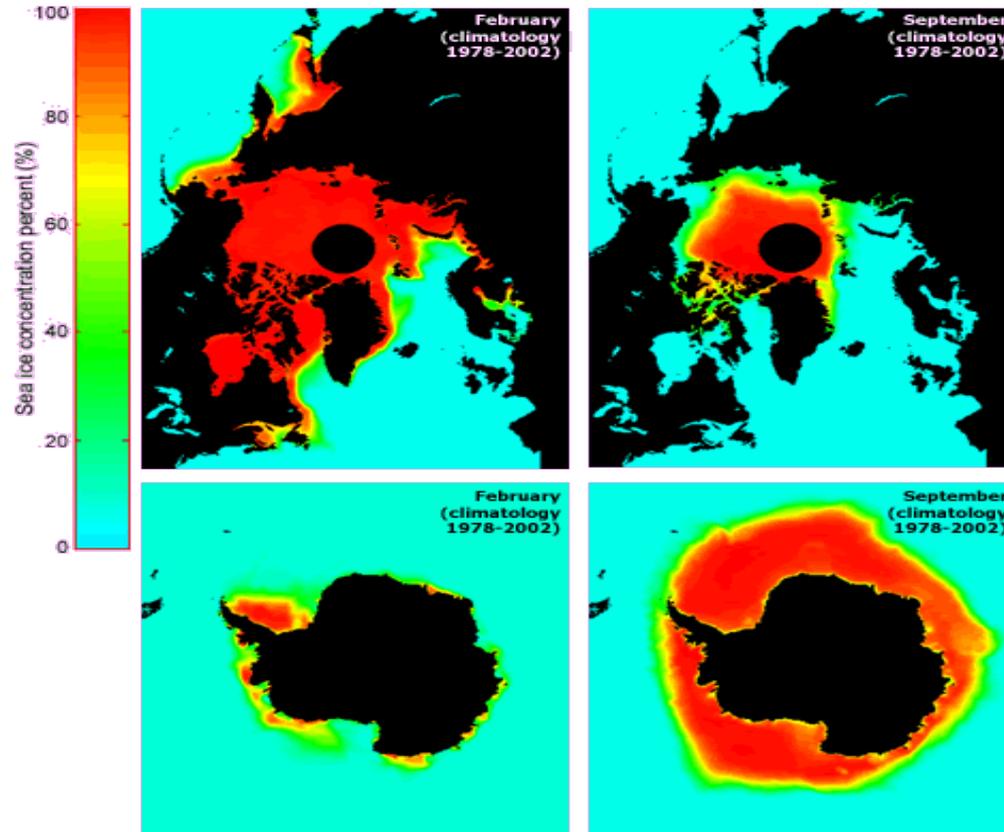
0 1900 3800 5700 km

# RETROALIMENTACIONES CON HIELO

Opera en verano en latitudes altas

## HIELO - ALBEDO





Cambios en la cobertura de hielos marinos en el Artico son más importantes para la retroalimentación hielo-albedo que los cambios en la cobertura de hielos marinos en la Antártida pues en la Antártida los hielos desaparecen todos los veranos que es cuando incide la radiación solar y actúa el albedo.

## RETROALIMENTACIONES CON HIELO

### HIELO – FLUJOS DE CALOR

Depende de que el océano es una fuente de calor para la atmósfera polar y que está limitado por el hielo (opera todo el año)

