

# Balance anual de los flujos mar-atmósfera de CO<sub>2</sub> en el Mar Patagónico

Bianchi, A.A., H. G. Isbert, D. Ruiz Pino  
A.P. Osiroff, C. F. Balestrini



# Veremos:

## Mar de la Patagonia

- Motivación científica
- Balance anual mar-atmósfera de  $CO_2$  y variabilidad estacional. Rol de la estratificación y los sistemas frontales en los flujos de  $CO_2$ .
- Rol de la estructura de la comunidad en la dinámica del  $CO_2$ .
- La mitigación y los bonos de carbono

# Introducción

- $CO_2$  como gas invernadero → modulación del clima
- Los océanos están considerados como un sumidero importante de  $CO_2$ . El conocimiento de los flujos aire-mar es crucial para la comprensión del futuro del  $CO_2$  emitido hacia la atmósfera.
- El contenido de carbono en los océanos está afectado por la circulación oceánica, los ciclos biogeoquímicos y la actividad biológica (fotosíntesis, respiración y calcificación)
- El reservorio oceánico de carbono es 50 veces mayor que el de la atmósfera y el intercambio aire-mar es 15 veces mayor que el producido por la quema de combustibles fósiles, la deforestación y otras actividades humanas. Consecuentemente, los cambios en el balance de  $CO_2$  pueden tener un fuerte impacto en el clima.

## Flujo medio anual de $\text{CO}_2$ océano-atmósfera (de Takahashi et al, 2002)

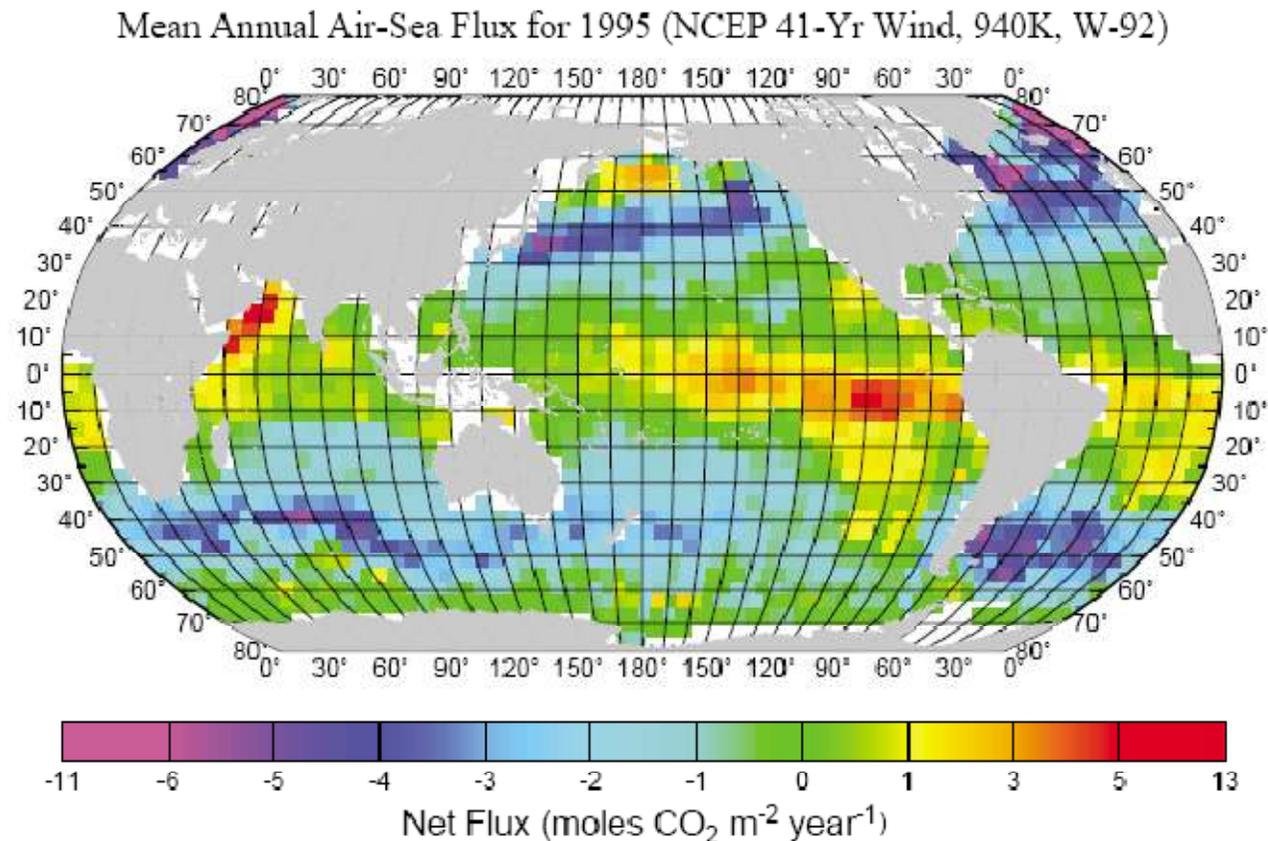
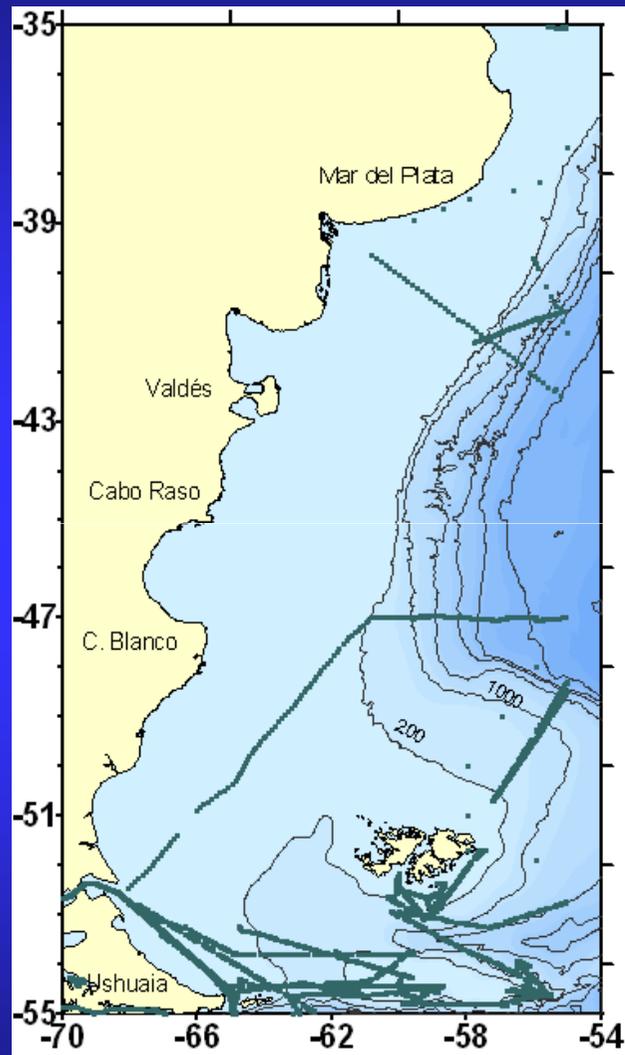
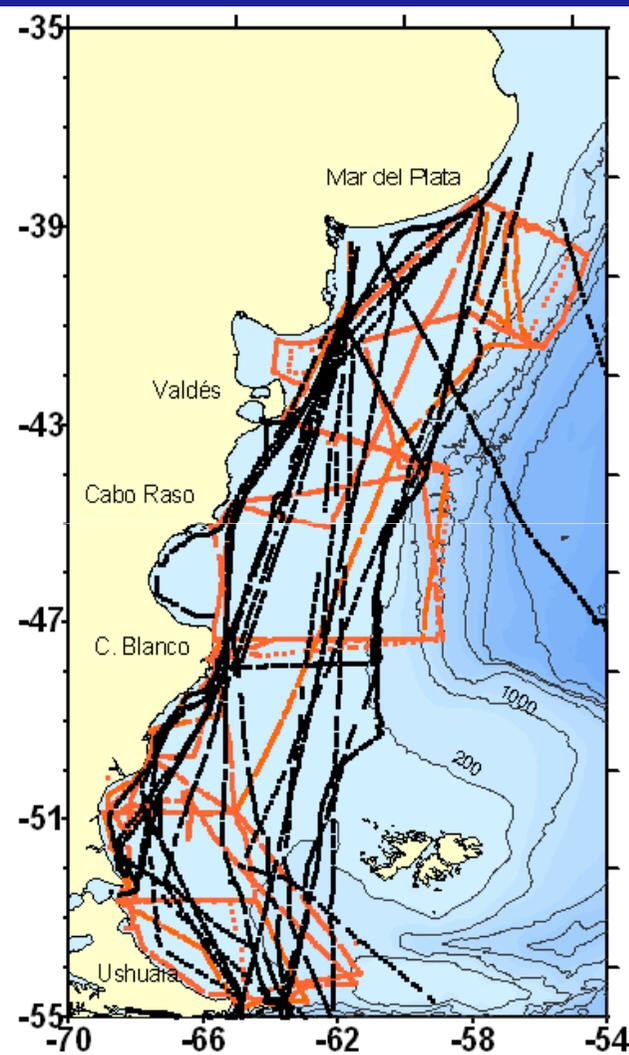


Fig. 2. Mean annual net air-sea flux for  $\text{CO}_2$  (mole  $\text{CO}_2$   $\text{m}^{-2}$   $\text{yr}^{-1}$ ) for 1995. The following information has been used; (a) climatological distribution of surface-water  $p\text{CO}_2$  for the reference year 1995, (b) the NCEP/NCAR 41-year mean wind speeds, (c) the long-term wind-speed dependence of the sea-air  $\text{CO}_2$  transfer velocity by Wanninkhof (1992), (d) the concentration of atmospheric  $\text{CO}_2$  in dry air in 1995 (GLOBALVIEW-CO<sub>2</sub>, 2000), and (e) the climatological barometric pressure and sea-surface temperature (Atlas of Surface Marine Data, 1994). Red-yellow areas indicate that the ocean is a source for atmospheric  $\text{CO}_2$ , and blue-purple areas indicate that the ocean is a  $\text{CO}_2$  sink.

Takahashi data

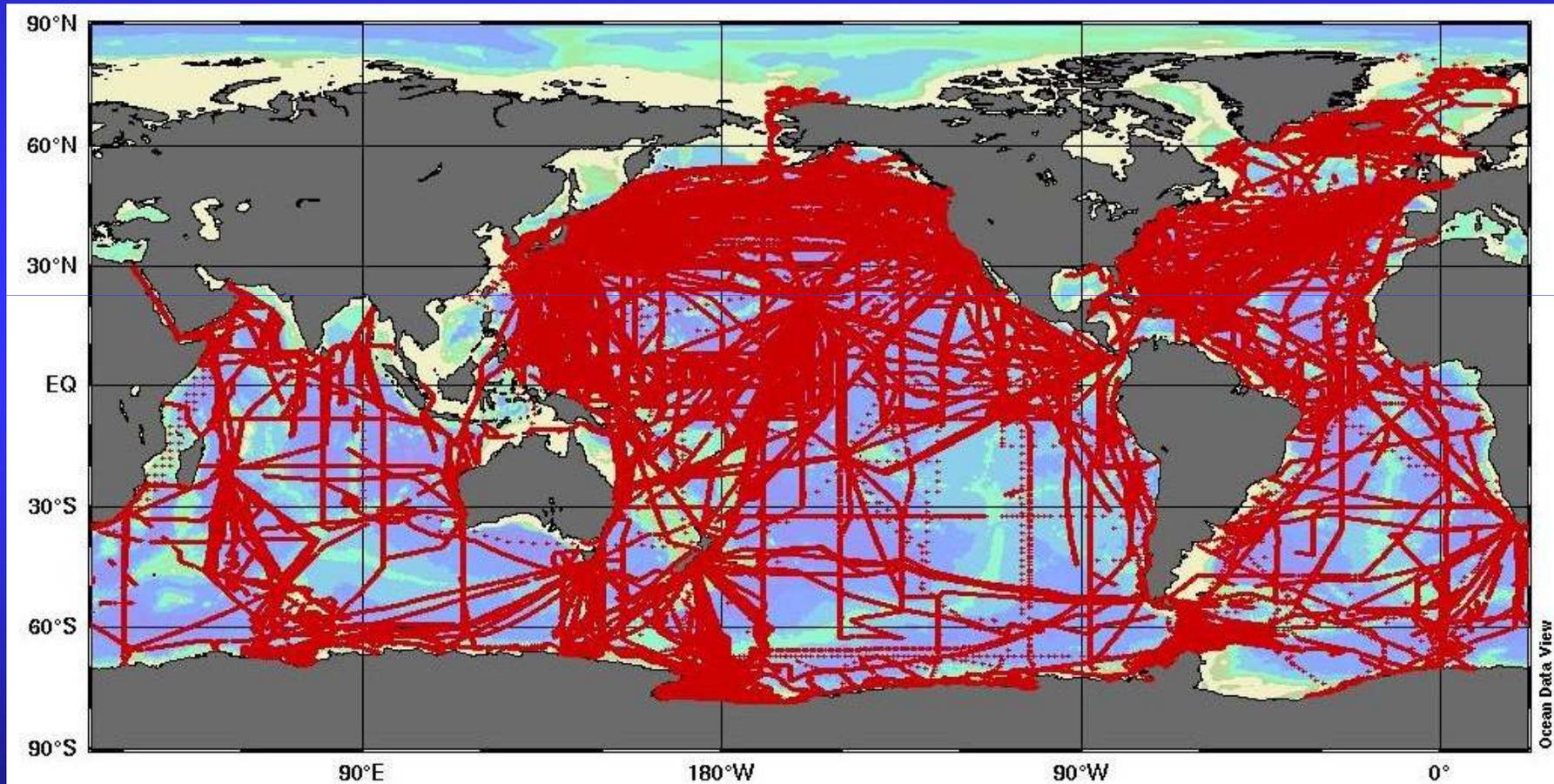


ARGAU+GEF data



# Takahashi et al. (2008)

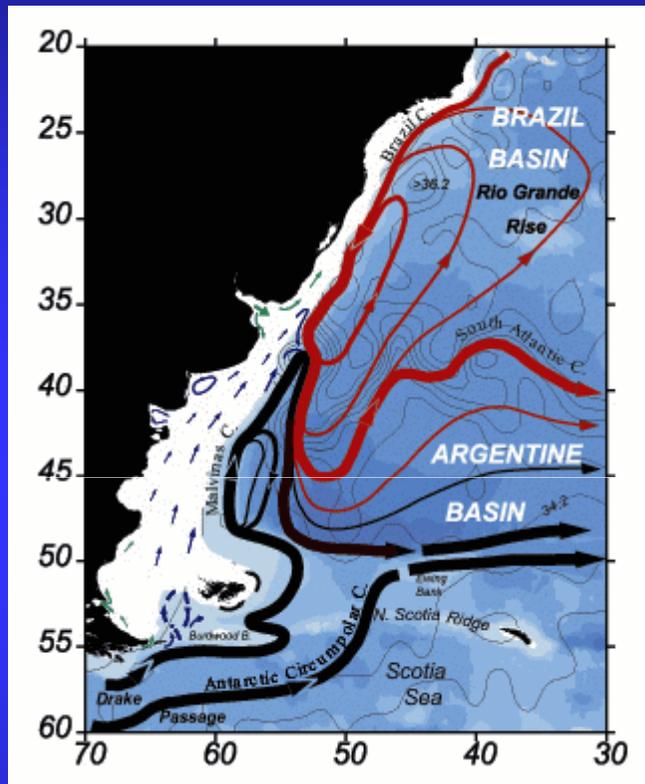
## Base de datos 1968-2006



# Mares Marginales

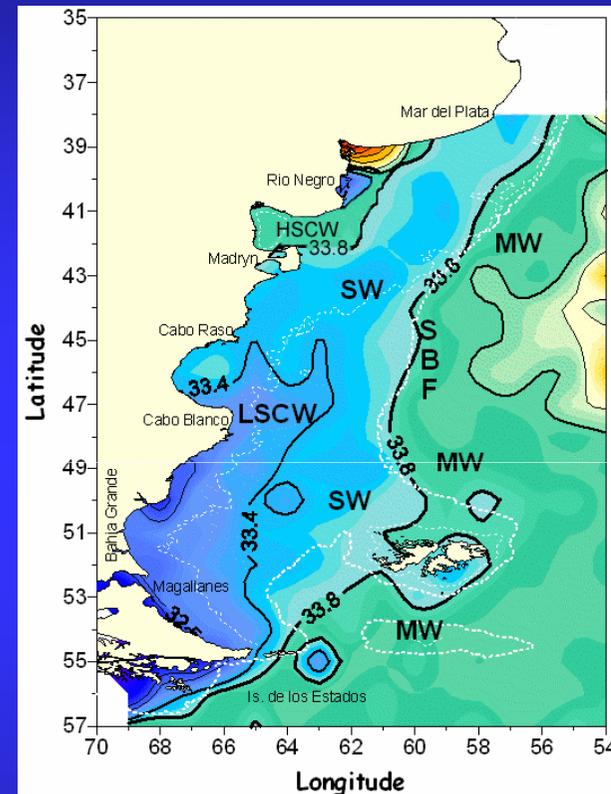
- Biogeoquímicamente, los océanos marginales son una de las regiones más activas de la biosfera, reciben masivos ingresos de C, N y P e intercambian grandes cantidades de los mismos con la atmósfera y el océano abierto. Los mares marginales, aunque frecuentemente no son tenidos en cuenta, representan importantes lazos en el ciclo global del carbono.
- Relativamente pequeñas áreas regionales oceánicas pueden producir fuerte hundimiento o emisión de  $CO_2$ . Recientemente, varios autores han estudiado los flujos mar-aire de  $CO_2$  en plataformas continentales y mares marginales. La extrapolación de sus resultados conduce a que unas  $0.4 \text{ GT C}\cdot\text{año}^{-1}$  podrían ser secuestrados en los mares costeros. No obstante, es necesario obtener muchos más datos para llegar a una extrapolación confiable y rigurosa a escala global.
  - Consecuentemente, una de las claves para identificar el  $CO_2$  faltante en la atmósfera es aumentar el pobre conocimiento del rol de los balances mar-aire de los océanos costeros.

# Physical Characterization of the Western South Atlantic



Upper layer circulation of the Western South Atlantic.

*Extracted from Piola and Matano (2001).*



Patagonia Sea surface salinity classification of water masses (based on historical data)

ARGAU  
(Projet de Coopération avec l'ARGentine pour l'étude de l'Océan  
Atlantique sud-AUstral)



2000-2005 more than 20  
months of field work in the  
Patagonia (Sea surface),  
Scotia and Weddell Seas in  
the warm period

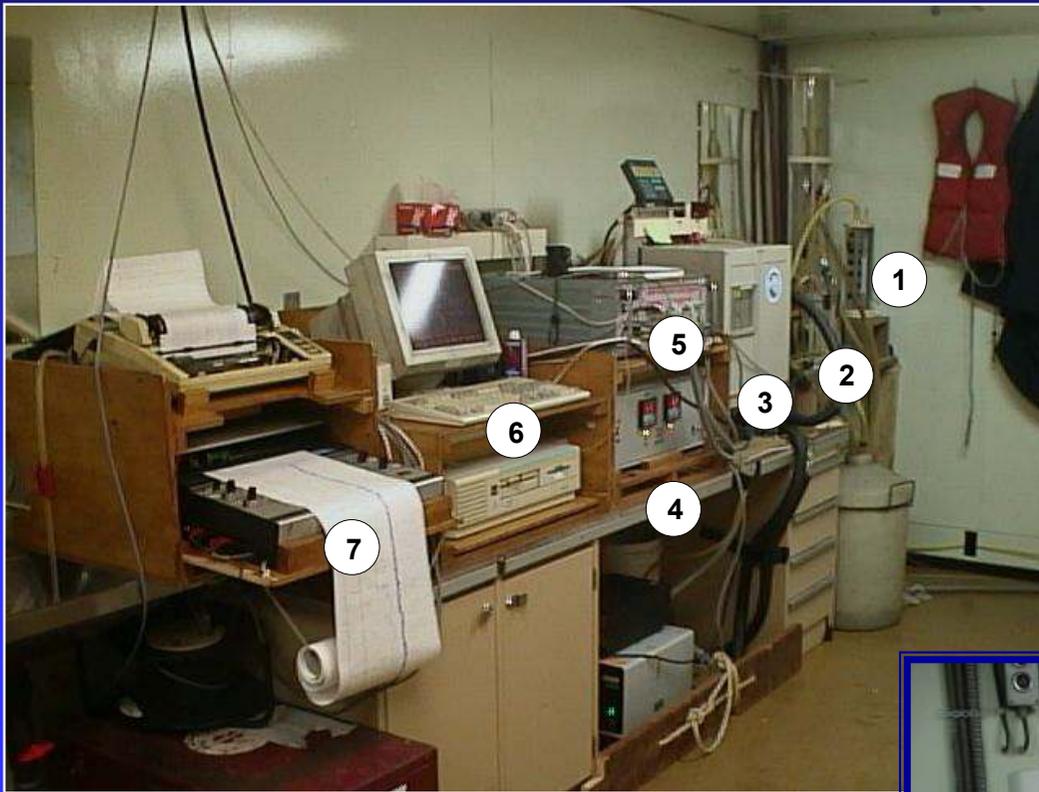
INSU, LEFE, SHN, DNA



Patagonia-GEF (Global Environmental Facility) Project: Environmental Conditions in the Patagonia Sea, 3 inter-disciplinary cruises (209 full depth stations)

## ¿Cómo se estima el flujo de $\text{CO}_2$ entre el mar y la atmósfera?

- Se deben medir: temperatura, salinidad, viento y presiones parciales de  $\text{CO}_2$  en el mar y la atmósfera para aplicar el siguiente algoritmo:
- $F_{(\text{mar-aire})} = k_s \cdot k_w \cdot \Delta p \text{ CO}_2$



- 1- CT Sea-bird SB-37
- 2- Equilibrador
- 3- Analizador IR
- 4- Sistema de enfriamiento
- 5- Interfase multicanal
- 6- PC

Medición de alcalinidad total (AT)  
y de carbono inorgánico disuelto (DIC).



# Resultados

*Bianchi et al (JGR, 2005, 2009)*

*Schloss et al (MEPS, 2007)*

*Lutz et al (JPR, 2010)*

*Bianchi et al (Ciencia Hoy, 2010)*

# 1. Balance annual mar-aire de CO<sub>2</sub>

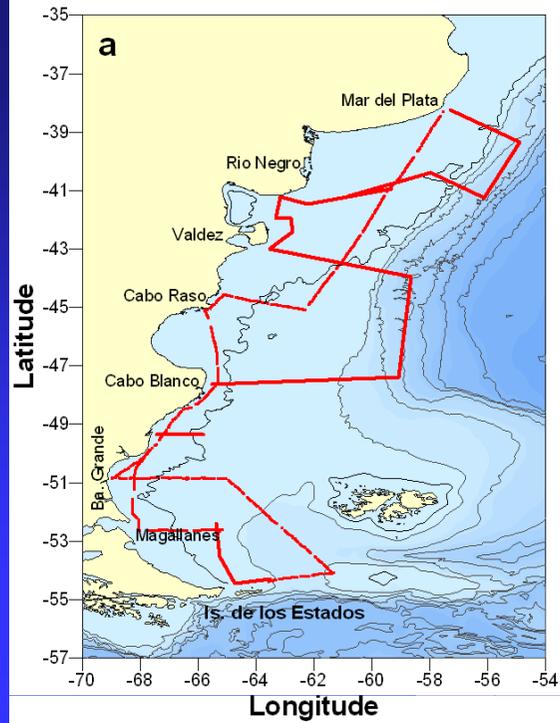
Determinar los roles de la estratificación  
y los frentes en la dinámica del CO<sub>2</sub>

$\Delta p$  CO<sub>2</sub> y Chl-*a*

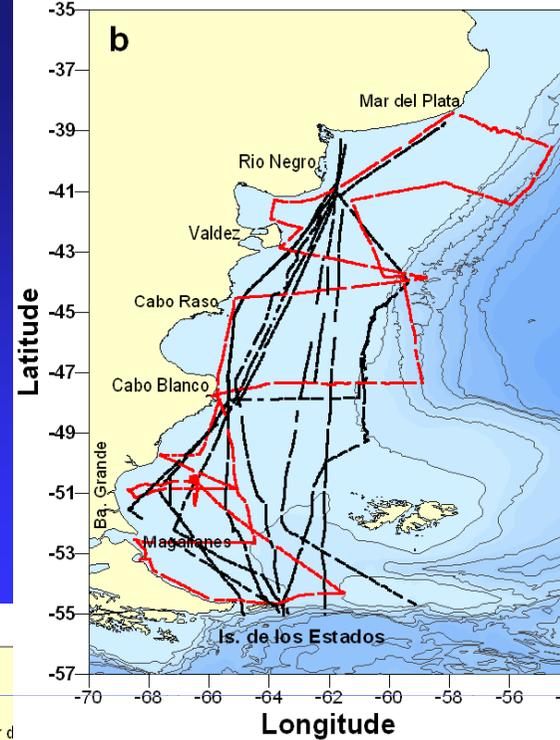


Bomba biológica

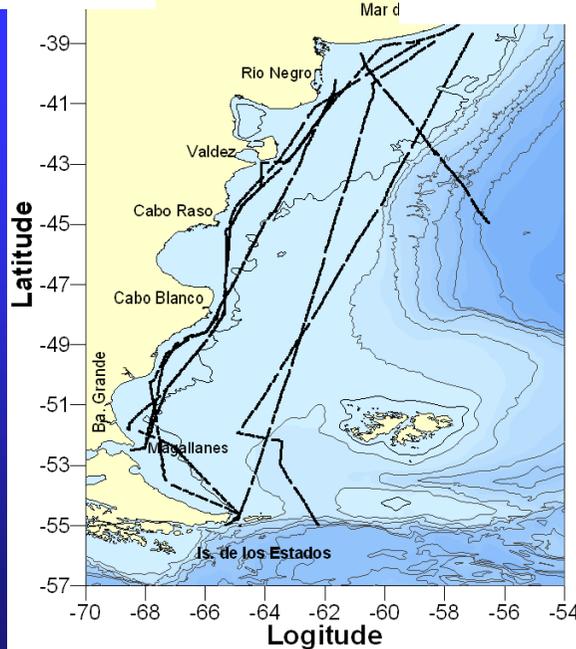
SPRING



SUMMER

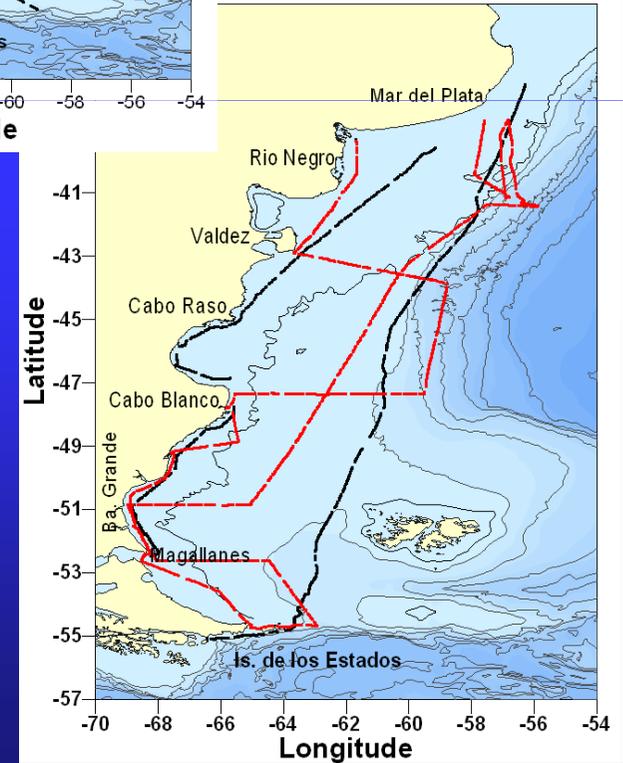


AUTUMN



negro: ARGAU  
rojo: GEF

WINTER



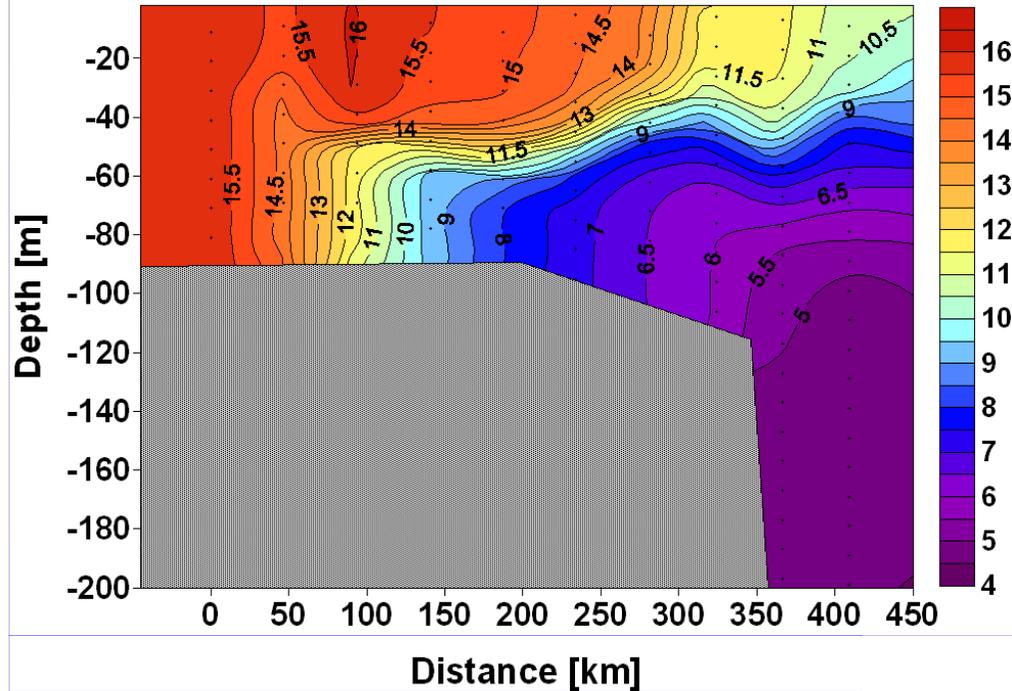
Datos:  
 CO<sub>2</sub>atm y sup. del mar  
 Salinidad y temperatura  
 Fluorescencia  
 Variables meteorologicas  
 Especies Fitoplancton  
 Clorofila  
 Oxígeno y nutrientes  
 pH, alcalinidad

## Frentes de marea y de talud

- La amplitud de la marea en la plataforma Patagónica es una de las mayores del océano global y las corrientes de marea son muy energéticas. Consecuentemente, la fricción en el fondo de las corrientes de marea es un mecanismo clave para la generación de los frentes de marea (FM), ya que mezclan verticalmente las aguas costeras. Los FM existen entre primavera y otoño. Estos frentes son un claro ejemplo de la mezcla vertical diferencial y su impacto en la biomasa planctónica.
- El Frente de Talud separa las aguas subantárticas diluidas de plataforma de las aguas más salinas de la Corriente de Malvinas (HNLC). Este frente se asocia con alta concentración de clorofila e importantes pesquerías (calamar y merluza).
- El impacto de ambos frentes en los trazadores biogeoquímicos es evidente.

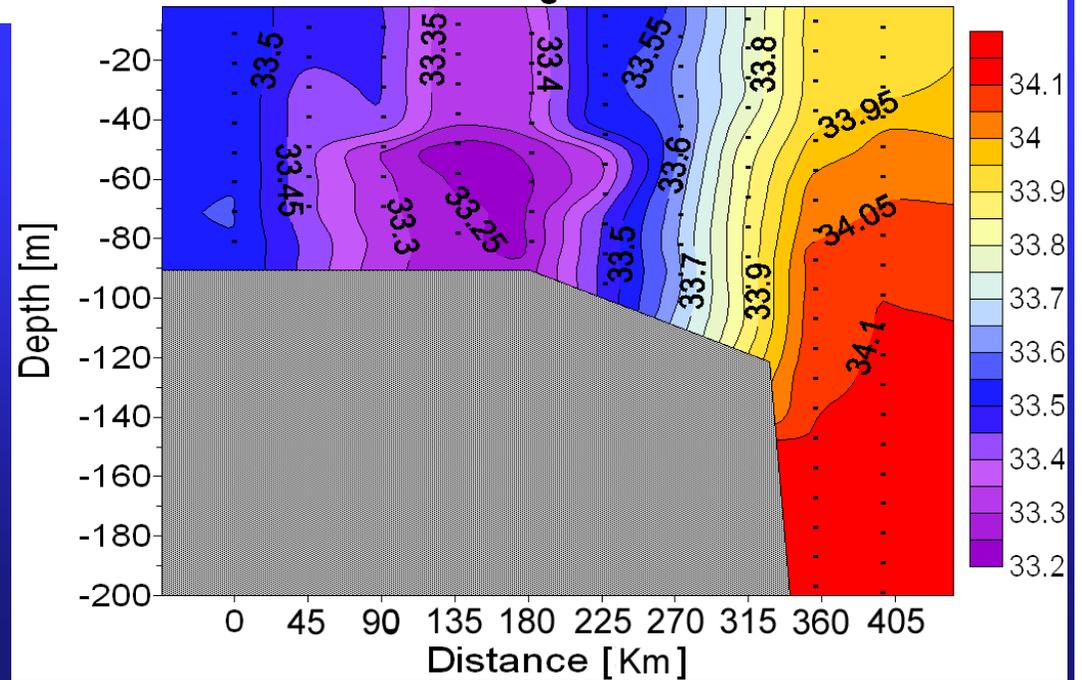
# Sección vertical de Temperatura

## VALDEZ Leg - SUMMER



# Sección vertical de salinidad

## VALDEZ leg - SUMMER

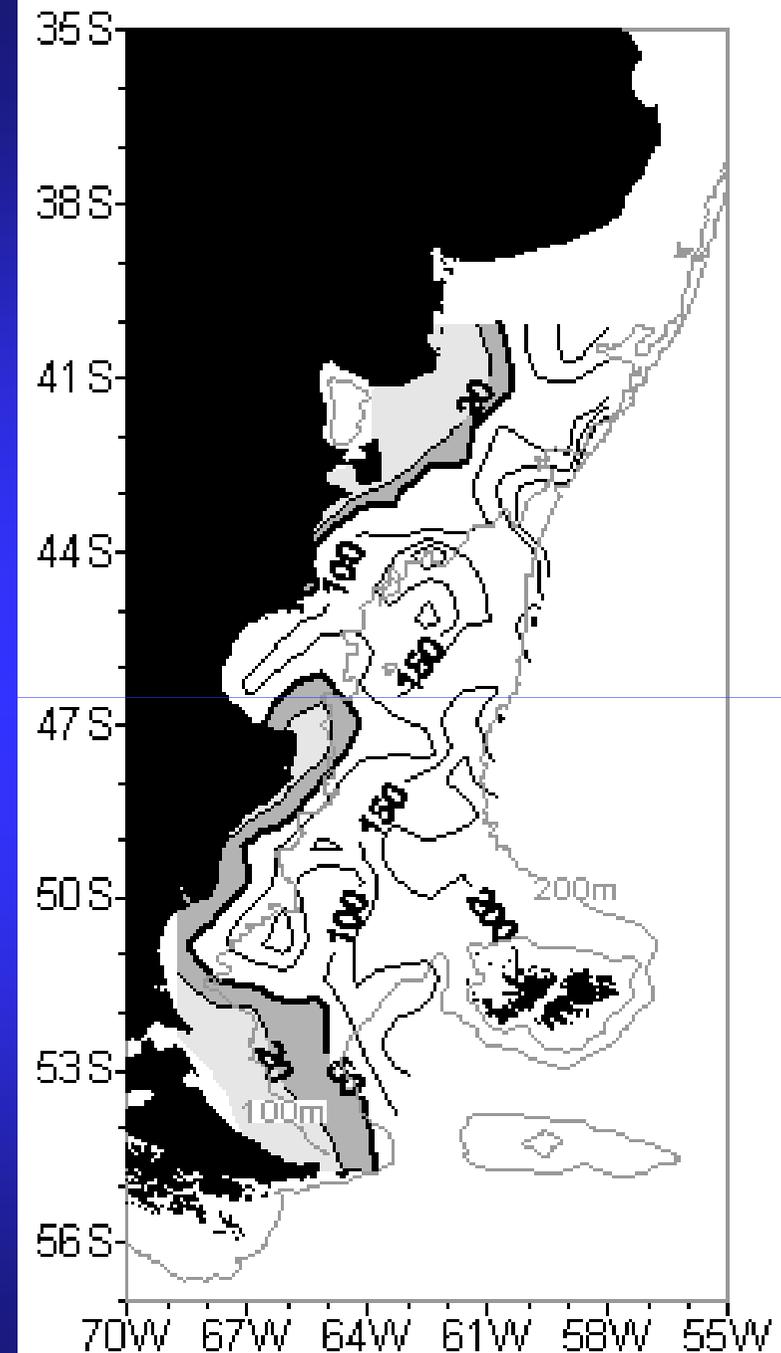


# Parámetro de Simpson

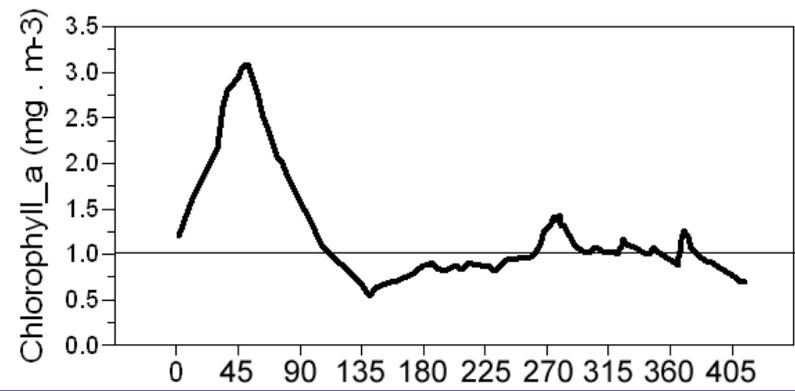
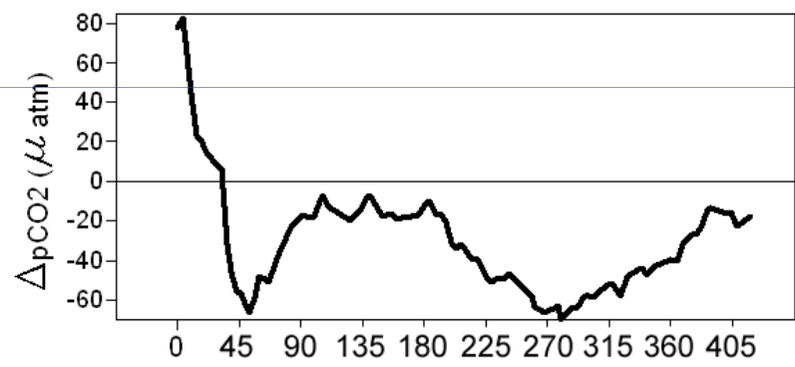
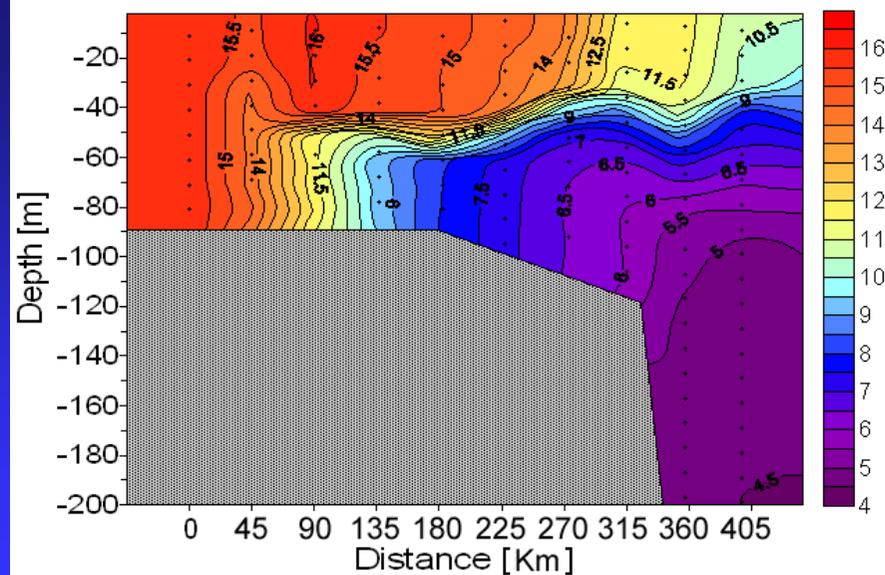
- Es una medida del trabajo necesario para mezclar convectivamente la columna de agua:

$$\Phi = \frac{g}{h} \int_{-h}^0 (\rho - \rho_0) \cdot z \cdot dz,$$

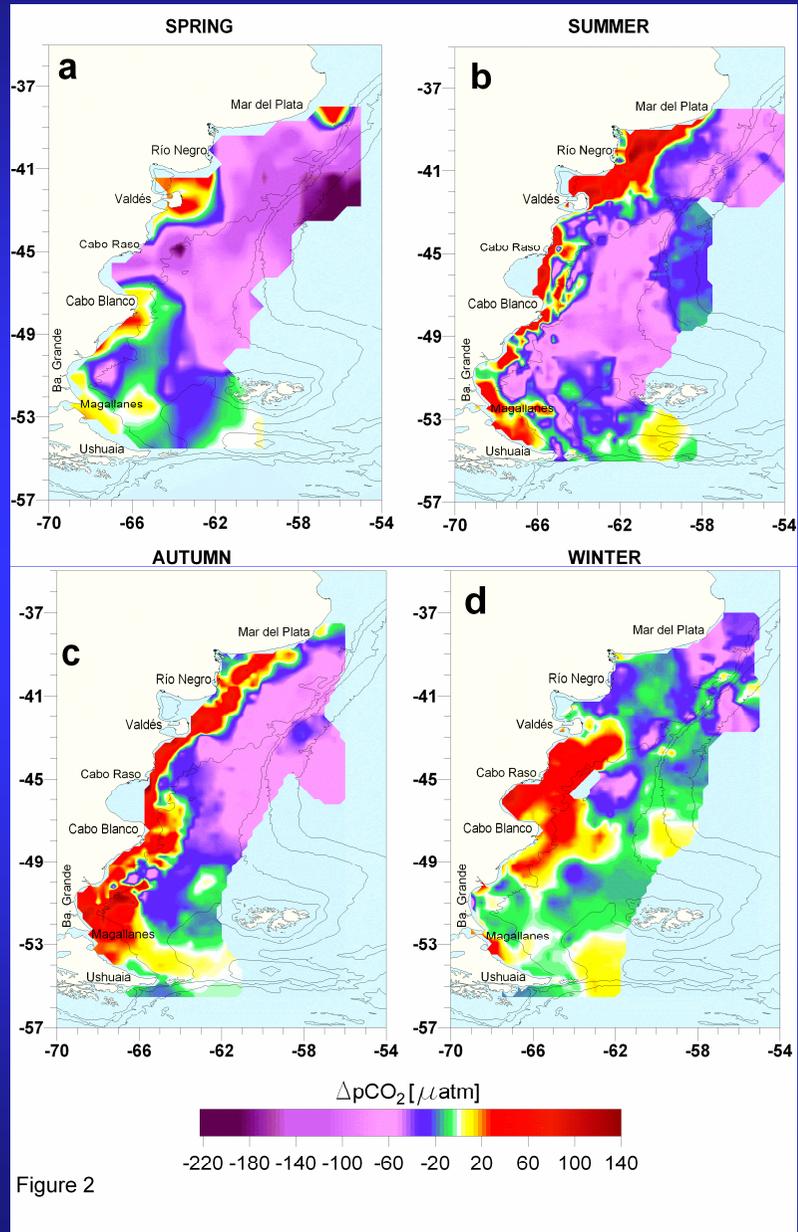
- Un valor de  $50 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$  es considerado crítico. Valores menores se asocian con aguas mezcladas y los mayores corresponden a aguas estratificadas. Esta figura fue realizada a partir de datos históricos oceanográficos para verano-otoño. (Bianchi et. al., 2005)



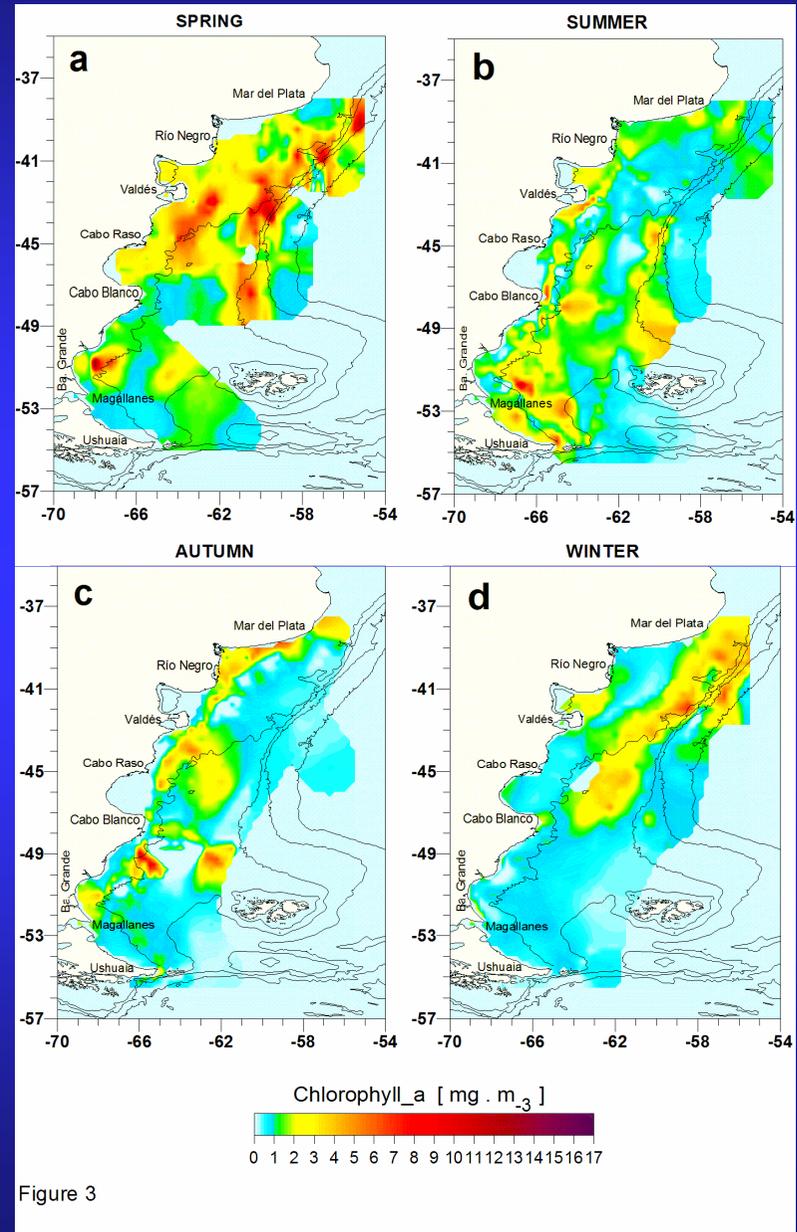
# VALDEZ leg - SUMMER



# $\Delta pCO_2$



# Clorofila a



Valores estacionales y medios anuales de  $\Delta p\text{CO}_2$ , flujo mar-aire de  $\text{CO}_2$  y Chl-a. También se presentan los errores standard de  $\Delta p\text{CO}_2$  y Chl-a

	$\Delta p\text{CO}_2$ ( $\mu\text{atm}$ )	Std. error ( $\mu\text{atm}$ )	Sea-air $\text{CO}_2$ flux ( $10^{-3}\text{mol.m}^{-2}.\text{d}^{-1}$ )	Chl a ( $\text{mg.m}^{-3}$ )	Std. error ( $\text{mg.m}^{-3}$ )	AOU ( $\mu\text{mol.kg}^{-1}$ )
Spring	-67	$\pm 4.0$	-7	2.5	$\pm 0.12$	-16
Summer	-30	$\pm 3.8$	-3.8	1.4	$\pm 0.07$	-11
Autumn	-20	$\pm 2.8$	-2.9	1.2	$\pm 0.08$	-7
Winter	-8	$\pm 1.7$	-1	1.3	$\pm 0.07$	-16
Annual	-31.3		-3.7	1.6		-12.5

Atlántico S -3.1  $\mu\text{atm}$  (Sweeney et al. (2008))

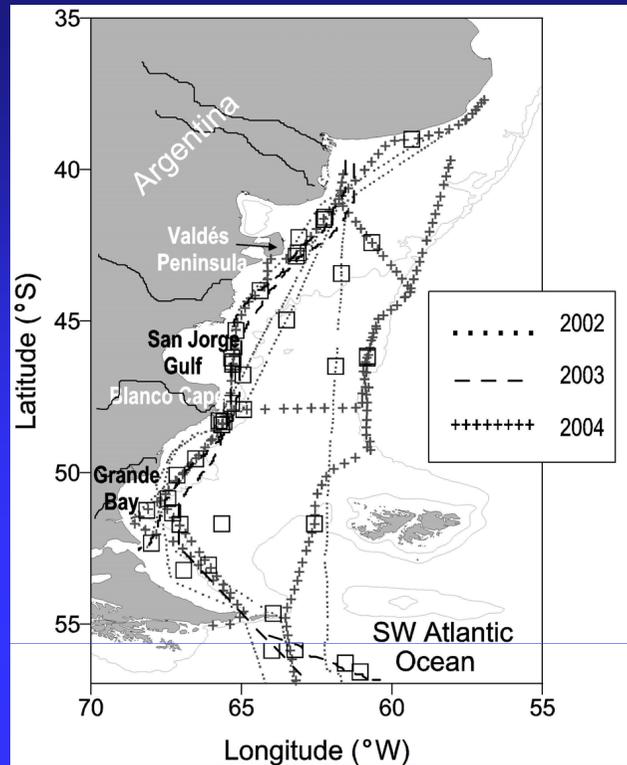
-17  $\text{TgC yr}^{-1}$

## Resumiendo:

- El mar de la Patagonia actúa como un fuerte sumidero de  $CO_2$  atmosférico con una  $\Delta pCO_2$  media anual de  $-31\mu atm$ .
- $\Delta pCO_2$  revela abruptos cambios estacionales
- La estructura de  $\Delta pCO_2$  y *Chl-a* confirman el rol clave de los frentes en la dinámica del  $CO_2$ . Los cambios transversales al talud en la estartificación ejercen un fuerte impacto en la biota marina y el signo y magnitud de los flujos mar-aire de  $CO_2$ .
- Existe una ajustada correlación negativa ( $-0.5$ ) entre  $\Delta pCO_2$  y *Chl-a*. Consecuentemente, la fotosíntesis es un factor principal en el control de la capacidad de la plataforma para  $CO_2$  atmosférico.

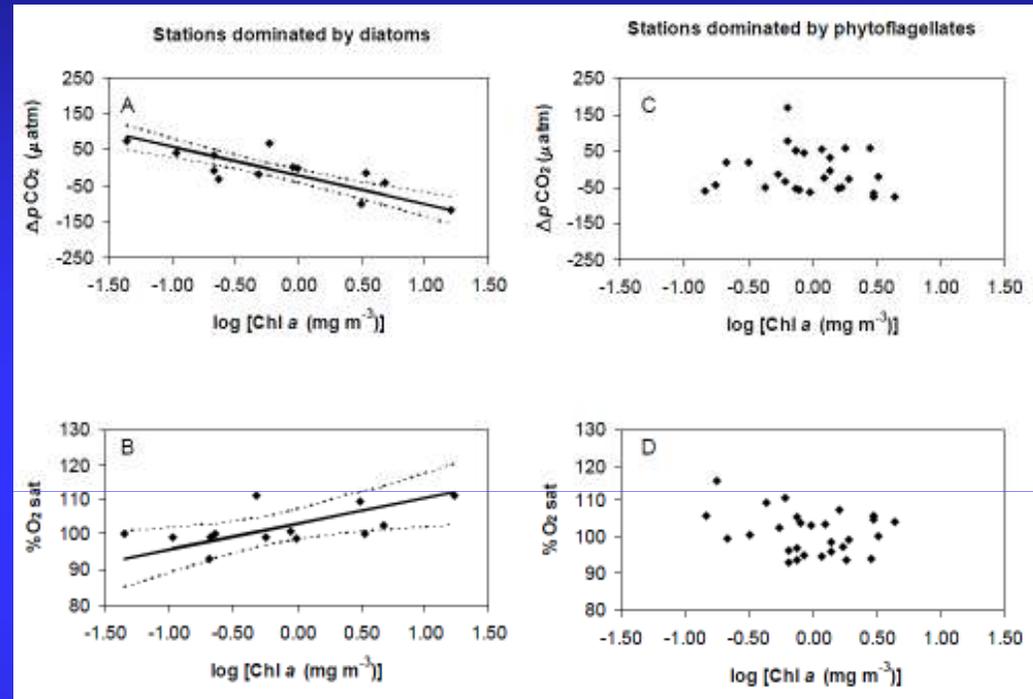
## 2. Clorofila, producción primaria, estructura de la comunidad planctónica y su influencia en la dinámica del $\text{CO}_2$ en el mar de la Patagonia

- Evaluar la producción primaria
- Rol de las comunidad planctónica en los intercambios mar-aire de  $\text{pCO}_2$



## Diatomeas

## Fitoflagelados



Concentración de *Chl a* y NCP (Net Community Production) están correlacionadas negativamente con  $\Delta p\text{CO}_2$  y positivamente con %O<sub>2</sub> de saturación cuando las comunidades de fitoplancton eran dominadas por diatomeas. Esto no ocurre cuando el grupo dominante son los fitoflagelados

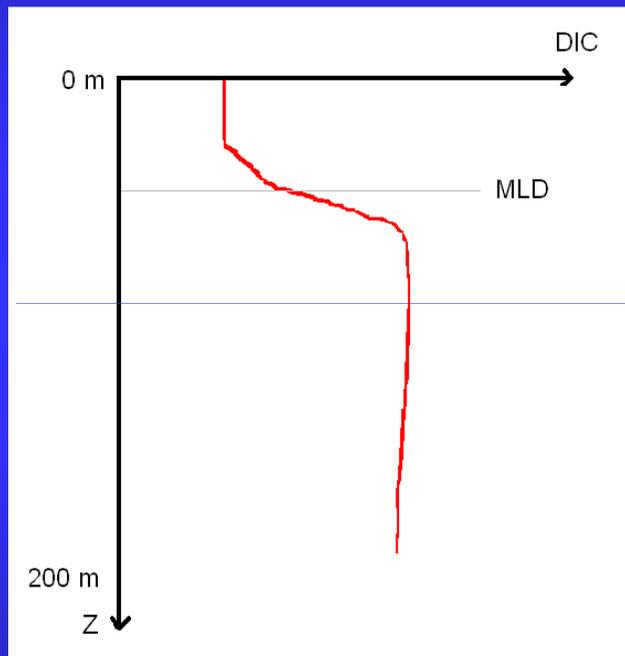
Altas GPP (Gross Primary Production) y NCP se encuentran en las regiones estratificada de los frentes.

La tasa promedio GPP/R fue  $\sim 3$  (autotróficos). (R = Respiración)

El medio ambiente físico determina el signo  $\Delta p\text{CO}_2$  y el flujo mar-aire de  $\text{CO}_2$  es intensificado por la bomba biológica.

La intensificación depende de la eficiencia del grupo de "productores primarios".

# Cuánto $\text{CO}_2$ capturado en la superficie es secuestrado ?



## Hipótesis

La secuestración estimada en forma grosera es la diferencia entre el DIC medio en la capa de mezcla y la capa profunda o

**DIC drawdown**



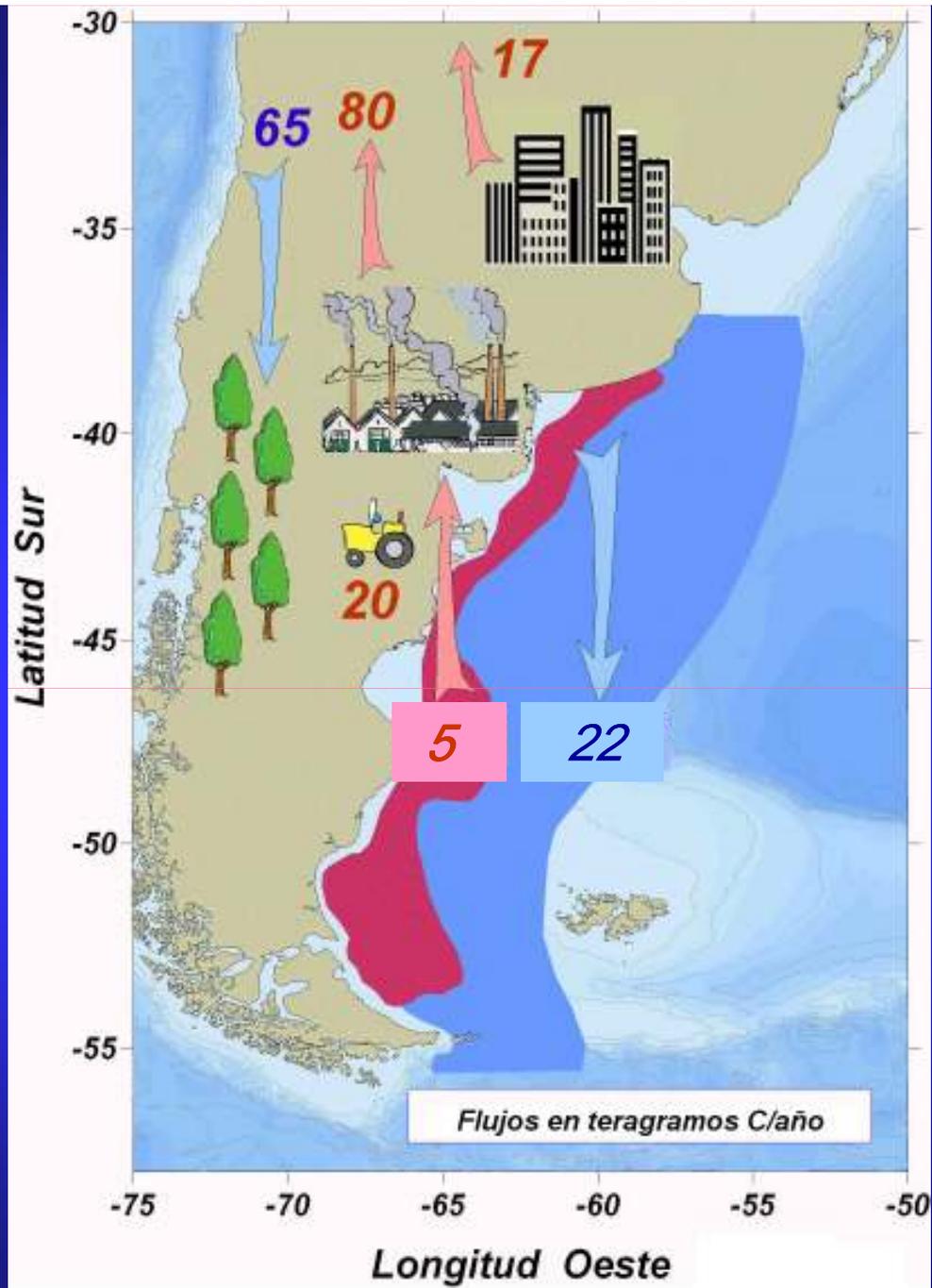
Se utilizan las diferencias de DIC differences a través de la MLD (para cada estación de las campañas GEF)



Una estimación de  $\sim 8.5 \text{TgC yr}^{-1}$  secuestrados, equivalente a un **50%** de la captura anual de  $\text{CO}_2$  del mar de la Patagonia ( $17 \text{gCyr}^{-1}$ )

# Trabajo futuro

- Aumentar el conocimiento acerca de cuales son los grupos fitoplanctónicos actuantes en el secuestro de  $\text{CO}_2$  atmosférico y cuál es la eficiencia de los mismos.
- La variabilidad interanual de las distintas variables físicas y biogeoquímicas será explorada con el objetivo de establecer de qué manera afectan el ambiente y los flujos mar-aire de  $\text{CO}_2$  .
- Las distribuciones de  $\text{CO}_2$  total y alcalinidad, en toda la columna de agua, iluminarán la investigación sobre los intercambios laterales de  $\text{CO}_2$  entre la plataforma y el océano abierto, así como los verticales entre las aguas de superficie y las más profundas.



- Los bonos de carbono son un mecanismo internacional propuesto en el Protocolo de Kyoto para la reducción de emisiones de GEI.
- El sistema ofrece incentivos económicos para las empresas que contribuyan a la mejora de la calidad ambiental disminuyendo la emisión GEI, mientras que las que emiten más quedan sujetas a un régimen de **penalizaciones**. Se considera el derecho a emitir CO<sub>2</sub> como un bien canjeable con un precio establecido en el mercado.
- Las reducciones de emisiones de GEI se traducen en Certificados de Emisiones Reducidas (**CER**). Un CER equivale a una tonelada de carbono que se deja de emitir a la atmósfera, y puede ser vendido en el mercado de carbono a países industrializados. Los tipos de proyecto que pueden solicitar una certificación son, por ejemplo, generación de energía renovable, mejoramiento de eficiencia energética de procesos, forestación, etc. Los firmantes del Protocolo de Kyoto pronosticaban una reducción probable de unas **28 ppm** en la concentración de CO<sub>2</sub> para el 2050.

Los críticos opinan que, en realidad, de esta manera se pone en funcionamiento un mercado de miles de millones de dólares que comercializa **medio ambiente virtual**. Dado que estos bonos pueden canjearse por reducciones de países más pobres, los países desarrollados del hemisferio norte, responsables de más de un 90% de las emisiones de  $CO_2$ , acceden a un medio que les permite continuar e inclusive aumentar la emisión de GEI. Es por esa razón que algunos piensan que la medida será totalmente improductiva en cuanto a la disminución de las emisiones de  $CO_2$ .

Más allá de estas críticas, si bien la captura de dióxido de carbono realizada por el Mar Patagónico no es canjeable por bonos, la misma superaría los **1000 millones de dólares anuales** en el mercado antes descrito.