



Universidad de Concepción

# ***“Un Océano en Cambio: Impactos y Desafíos para Chile y el Mundo”***

Osvaldo Ulloa, Ph.D.  
Departamento de Oceanografía  
& Instituto Milenio de Oceanografía  
Universidad de Concepcion  
Concepción, Chile

[oulloa@udec.cl](mailto:oulloa@udec.cl)



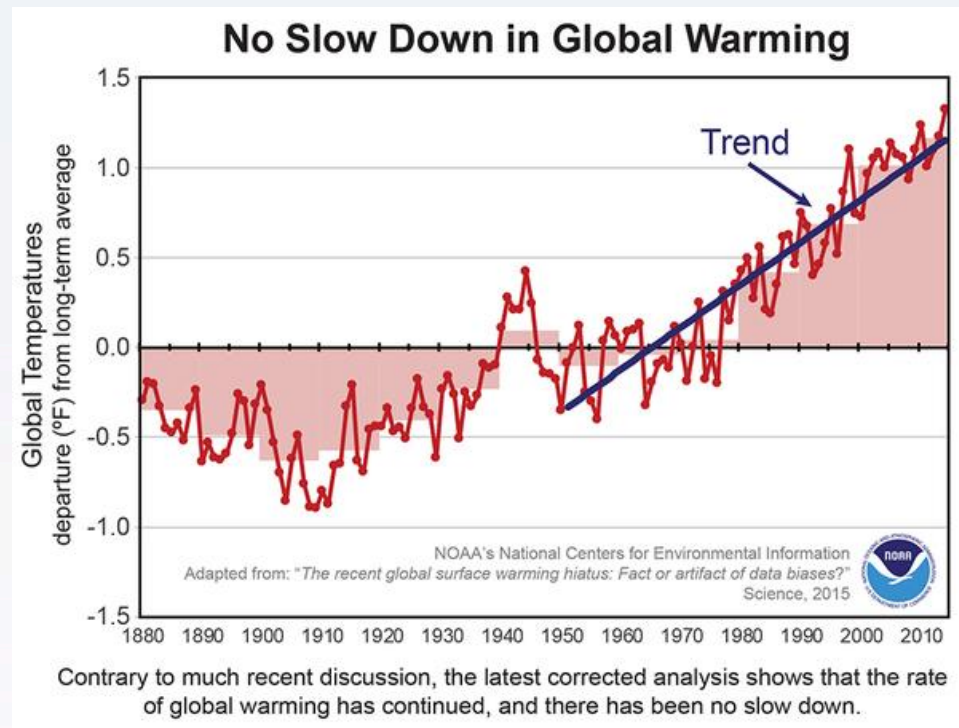
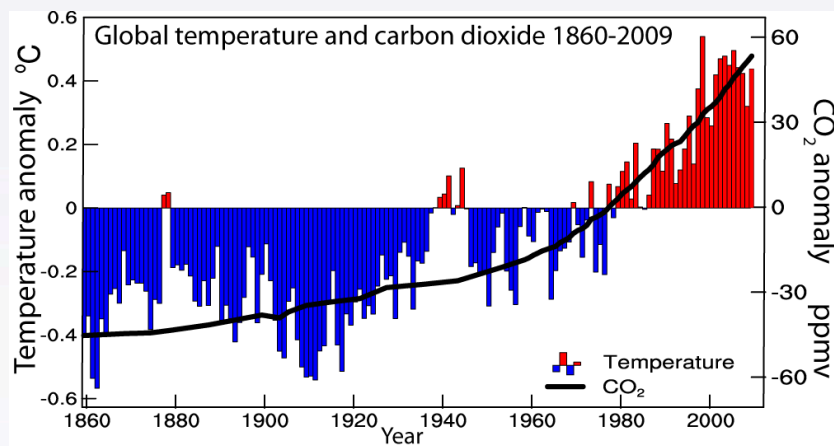
# Principales cambios que están ocurriendo en el océano a raíz del incremento del CO<sub>2</sub> atmosférico

1. *Calentamiento del océano*
2. *Desertificación de los giros centrales*
3. *Desoxigenación de las aguas intermedias*
4. *Acidificación de las aguas*

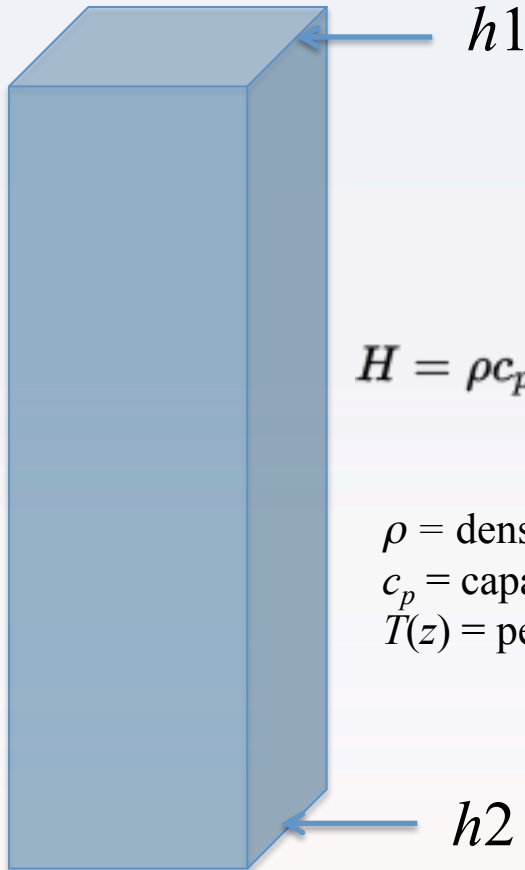




# Calentamiento del océano superficial



# Contenido Calórico del Océano

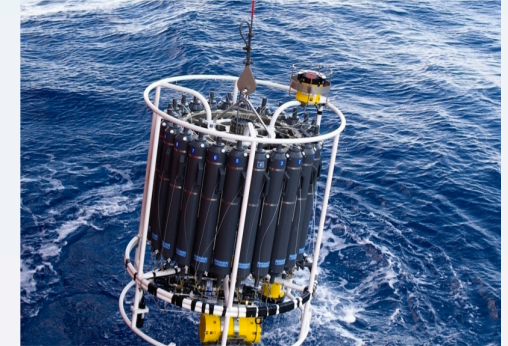
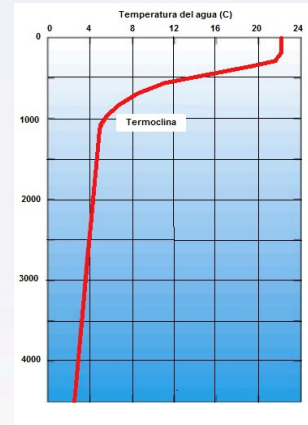


$$H = \rho c_p \int_{h2}^{h1} T(z) dz$$

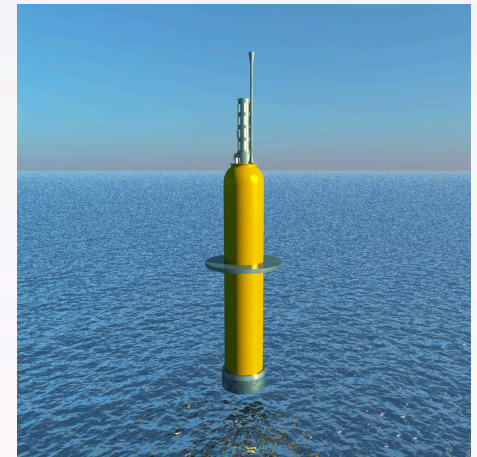
$\rho$  = densidad del agua de mar

$c_p$  = capacidad calórica específica del agua

$T(z)$  = perfil de temperatura

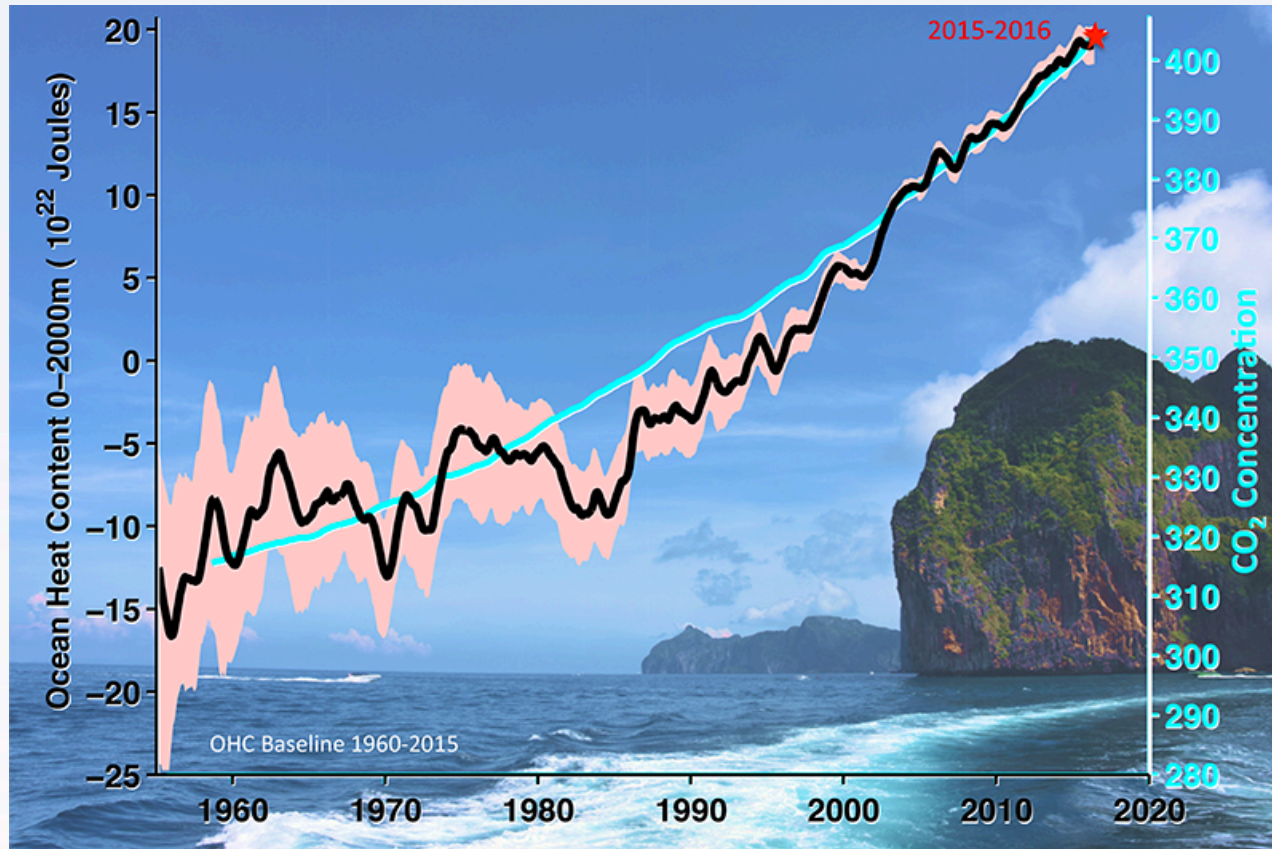


Roseta con CTD



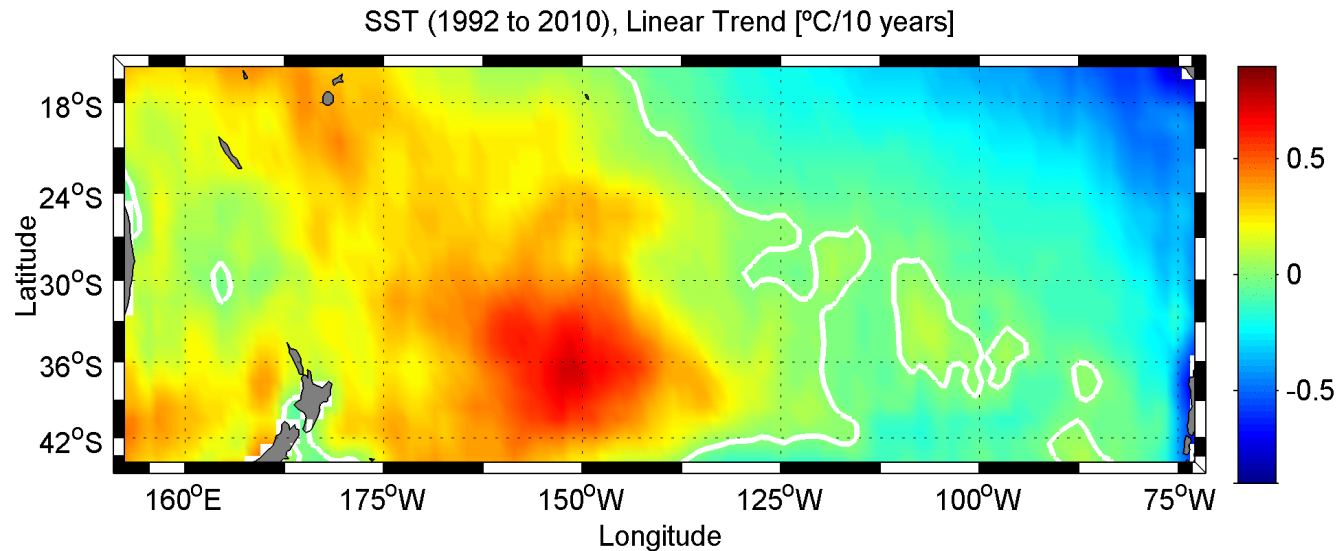
Perfilador ARGOS

# Aumento del Contenido Calórico del Océano



Cheng et al. *Science* (2017)

## ...pero un enfriamiento del Pacífico Sudoriental



Source: Schneider unpublished

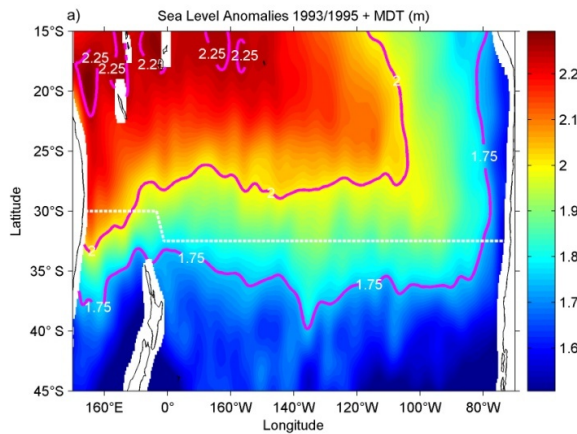
Intensificación del gradiente de la temperatura superficial del mar a través de la cuenca del Pacífico Sur ( $\sim 1$   $^{\circ}\text{C}$  en diez años)

Aguas costeras de Chile se han enfriado en las últimas décadas (serie de tiempo de  $T^{\circ}$  del agua de mar 2012-2016)

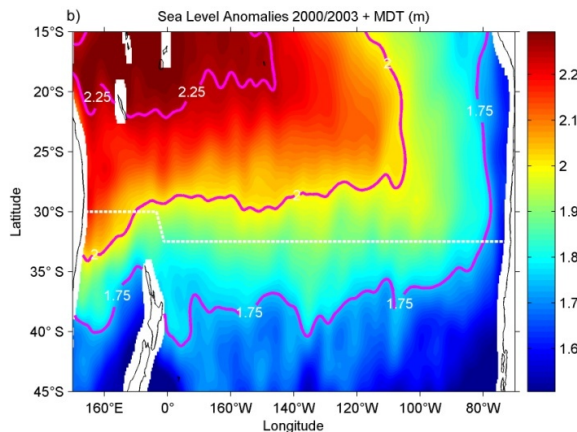


# Cambios en la circulación oceánica del Pacífico Sur

Nivel del Mar 1993



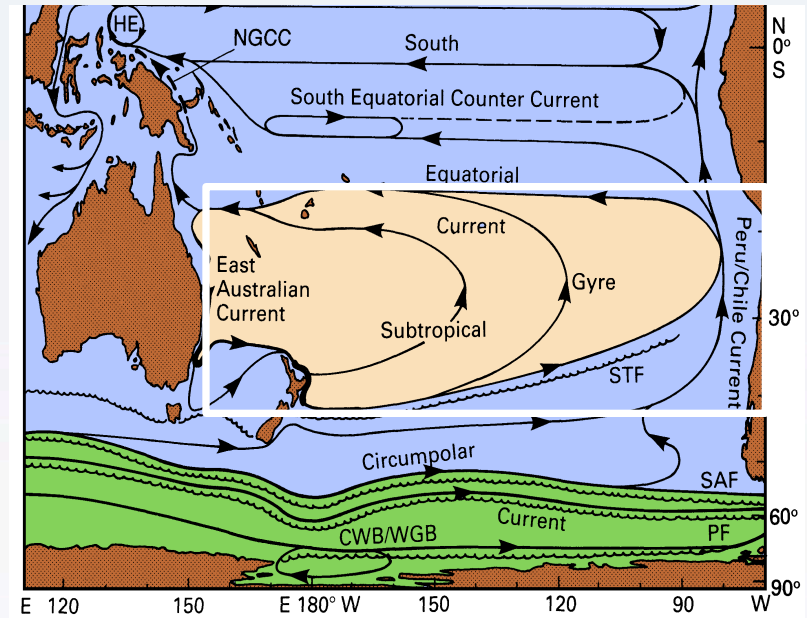
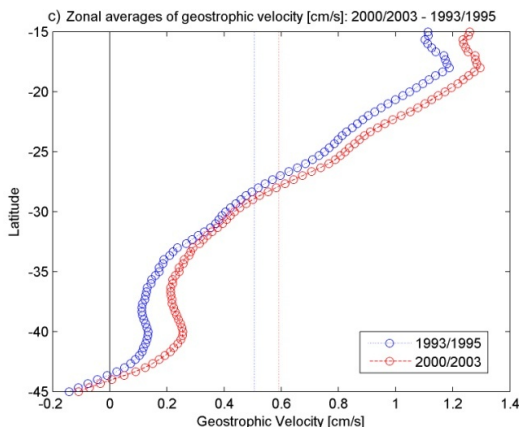
Nivel del Mar 2003



Zonal Mean of  
Velocidad  
Superficial S-N

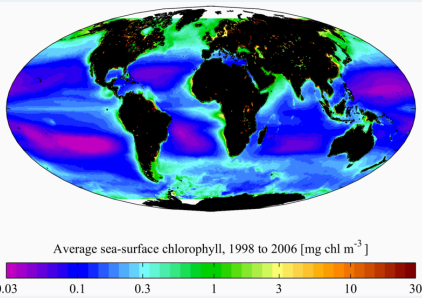
1993

2003

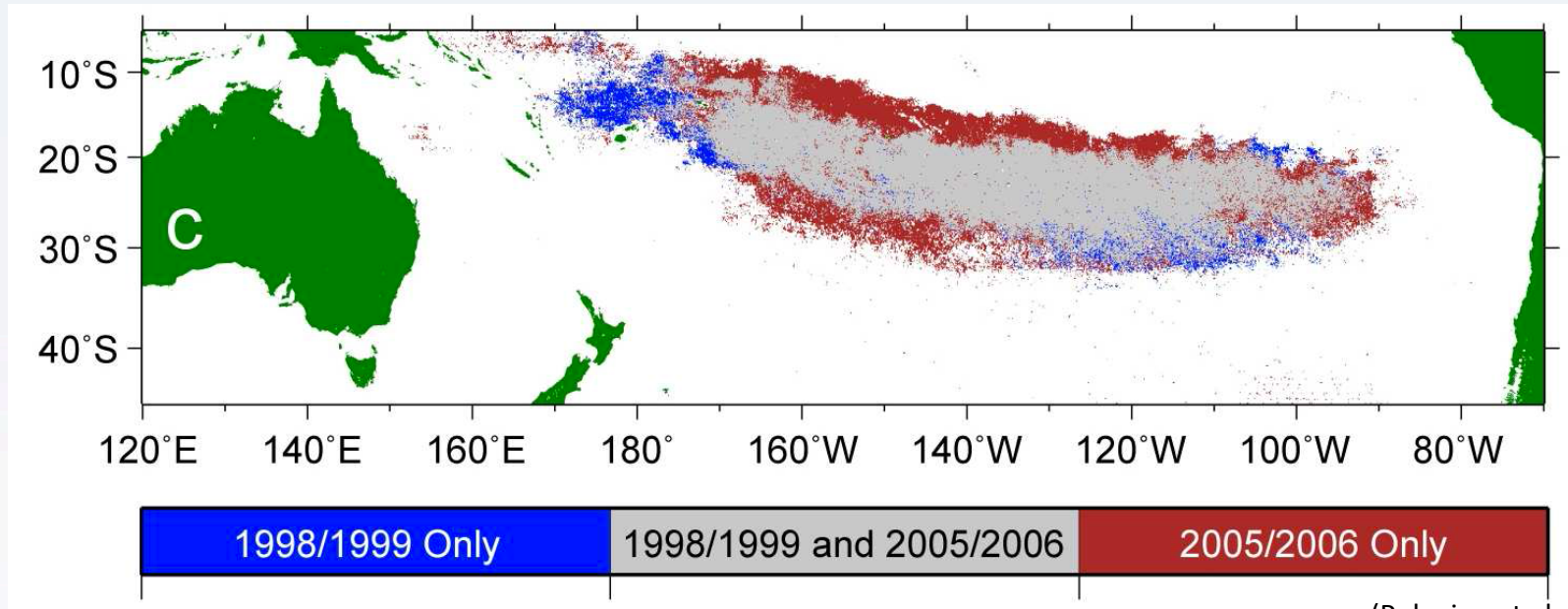


- Calentamiento y Aumento del Nivel del Mar
- Expansión del Giro Subtropical
- Intensificación de la Circulación Superficial

Schneider et al. (2007)



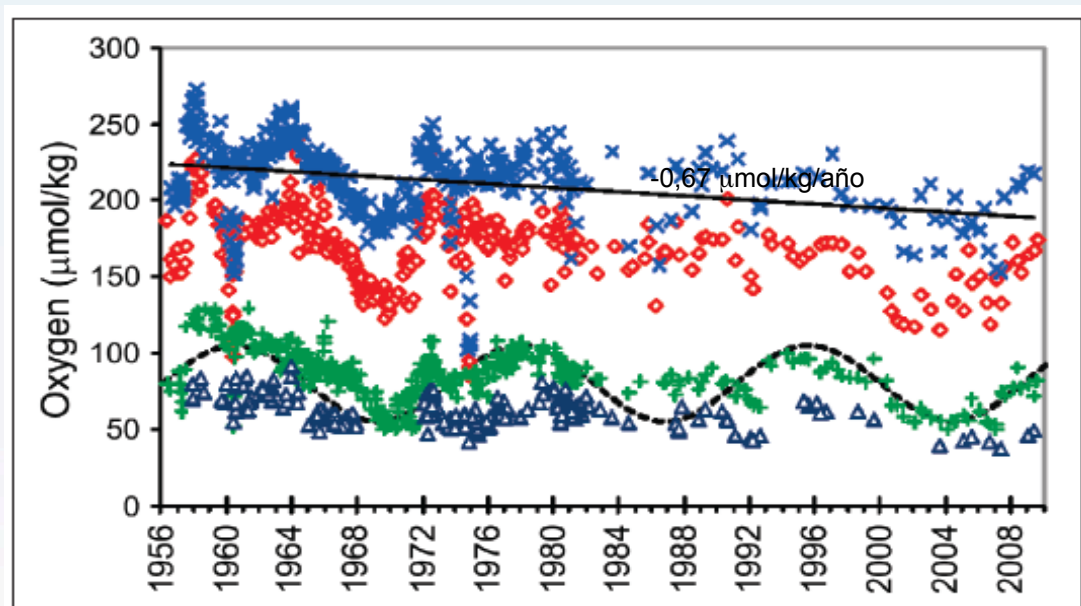
# Desertificación



(Polovina et al. 2008)

Las áreas de baja clorofila/productividad se están expandiendo a una tasa promedio de 2.9% al año  
(aguas más transparentes/pobres del mundo al oeste de Isla de Pascua)

# Disminución del O<sub>2</sub> (desoxigenación)



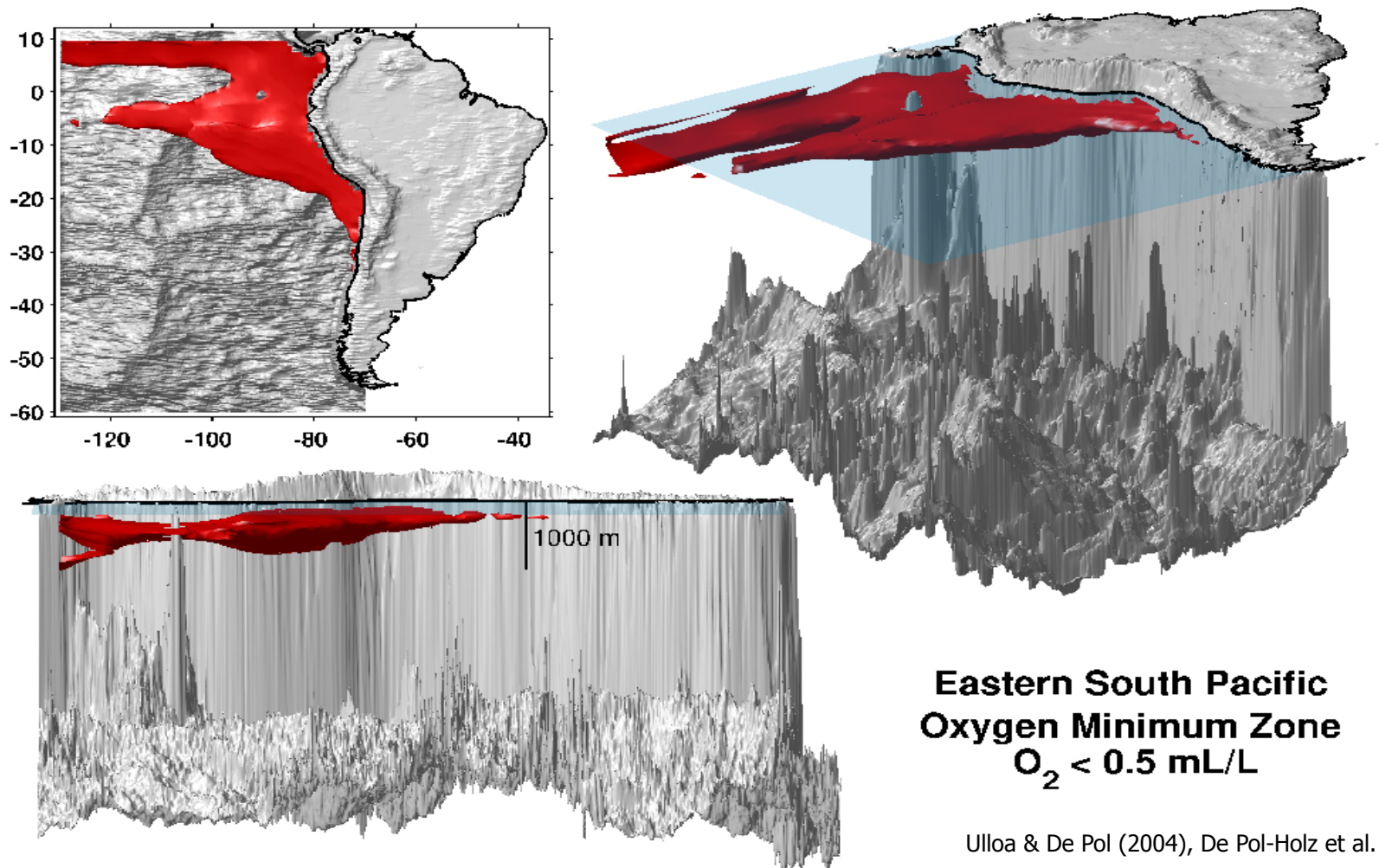
*Falkowski et al. (2011)*

Fluctuaciones decadales y tendencias en la concentración de oxígeno a distintas profundidades en el Pacífico Nororiental (50 °N, 150 °W)

Desoxigenación del océano debido a la disminución de la solubilidad de los gases por una mayor temperatura y al aumento de la estratificación (gradiente vertical de la densidad)

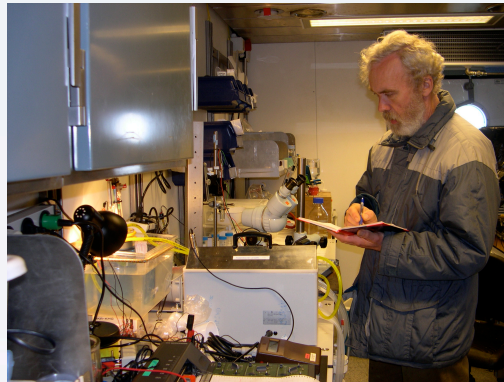
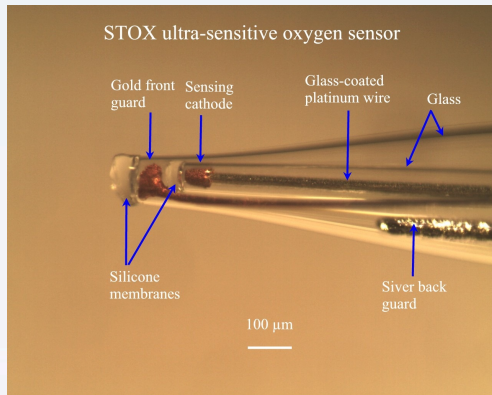


# El Pacífico Sudoriental contiene una de las mayores Zonas de Mínimo de Oxígeno del planeta



Ulloa & De Pol (2004), De Pol-Holz et al. (2007).

# Nuevas técnicas analíticas para medir concentraciones de oxígeno ultra bajas



Niels Peter Revsbech  
Microbiólogo danés  
Universidad de Aarhus, Dinamarca



Expedición Galathea 3

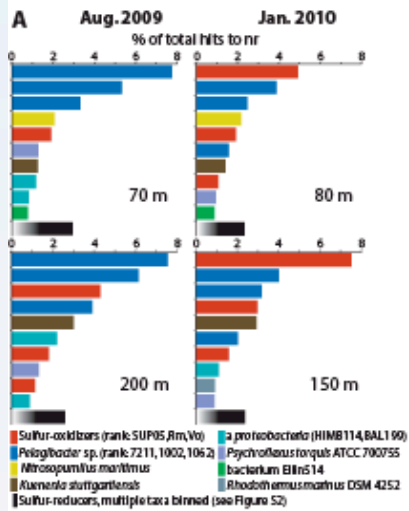
Límite de detección del  
Sensor STOX:  $\sim 1\text{-}10\text{ nM}$

( $1\text{ nM} = 10^{-9}\text{ mol L}^{-1}$ )

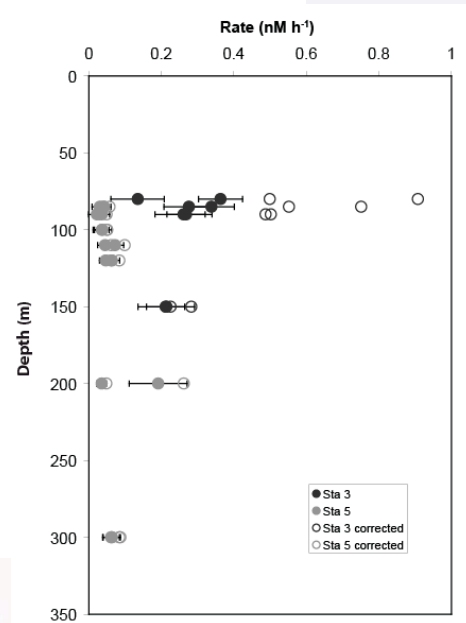
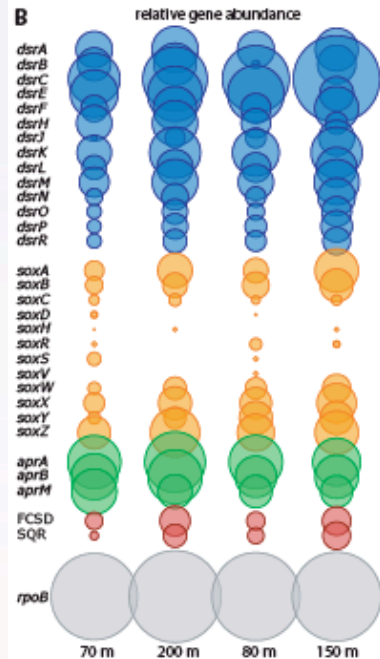
Revsbech et al. *Limnol. Oceanogr. Methods* (2009).

**En el Pacífico Sudoriental NO se pudo detectar oxígeno utilizando el STOX:  
¡las aguas son anóxicas!**

# Un ciclo del azufre críptico



AGOR Vidal Gormaz



Tasas de sulfato reducción

La sulfato reducción (que produce H<sub>2</sub>S) y la oxidación de los sulfuros contribuyen al flujo de energía y el ciclaje de los elementos en la zona marina anóxica frente al norte de Chile.

## A Cryptic Sulfur Cycle in Oxygen-Minimum-Zone Waters off the Chilean Coast

Don E. Canfield,<sup>1\*</sup> Frank J. Stewart,<sup>2</sup> Bo Thamdrup,<sup>1</sup> Loreto De Brabandere,<sup>1</sup> Tage Dalsgaard,<sup>3</sup> Edward F. Delong,<sup>2</sup> Niels Peter Revsbech,<sup>4</sup> Osvaldo Ulloa<sup>5</sup>

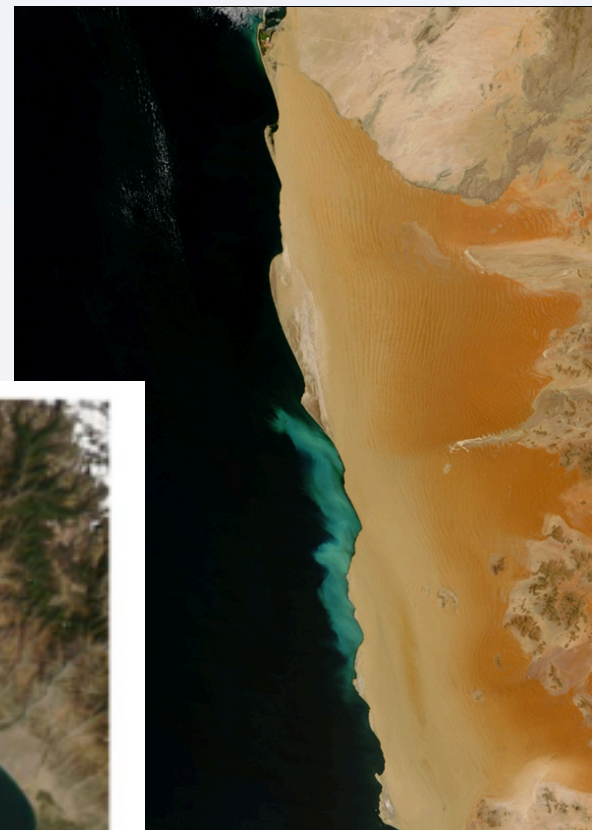
Science (2010)



# Aguas decoloradas por presencia de $H_2S$



Bahía de Concepción



Namibia



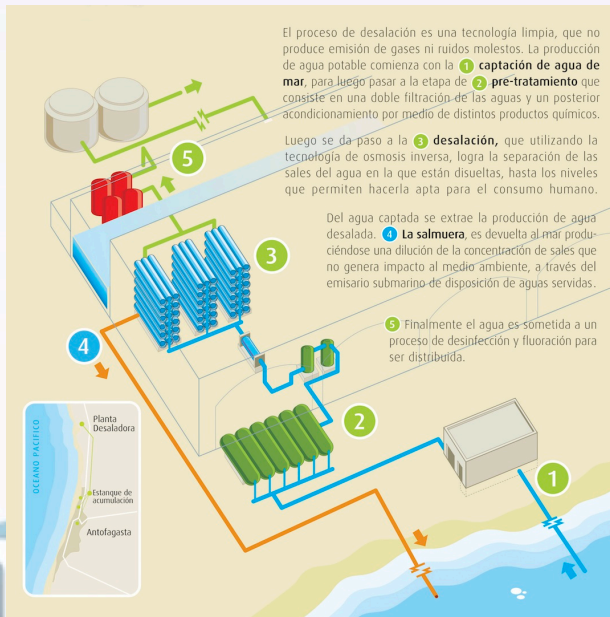
Perú

# Impacto sobre las plantas desaladoras de agua

## Antofagasta, Chile the First Latin American City Supplied 100 Percent Using Desalination

18 Sep 2012 - 00:00 by OOSKANews Correspondent  
CHILE, ANTOFAGASTA

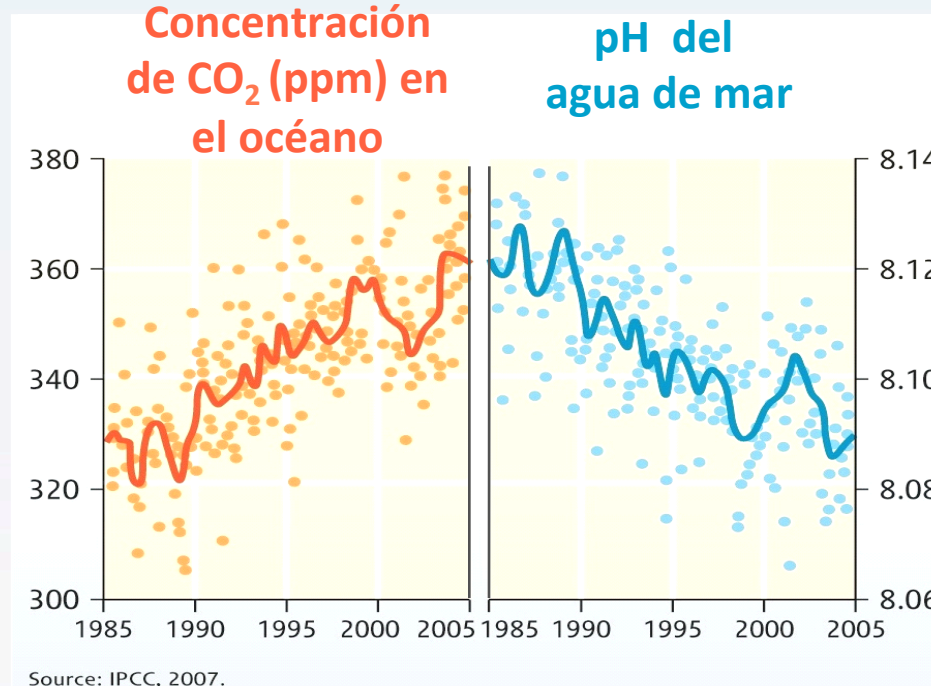
On September 12th the Chilean Environment Ministry's Evaluation Service recommended approval for construction of a new desalination plant to supply drinking water in the Antofagasta region.



H<sub>2</sub>S afecta negativamente los filtros.

Se debe parar la operación de las plantas.

# Disminución del pH (acidificación)



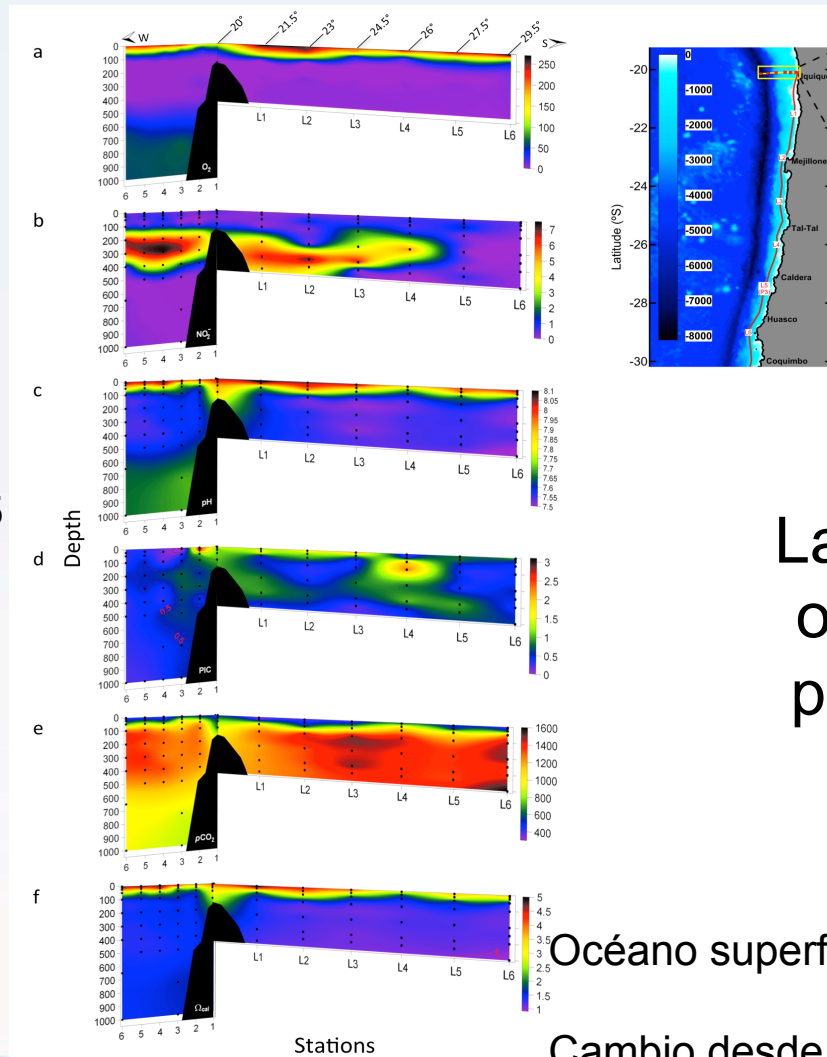
El pH del agua de mar ha disminuido en  $\sim 0.1$  unidades (30% de incremento en acidez) desde la revolución industrial; la acidez del océano se duplicará para el año 2100.



# Aguas deficientes en oxígeno tienen bajo pH



Crucero Lowphox 2015



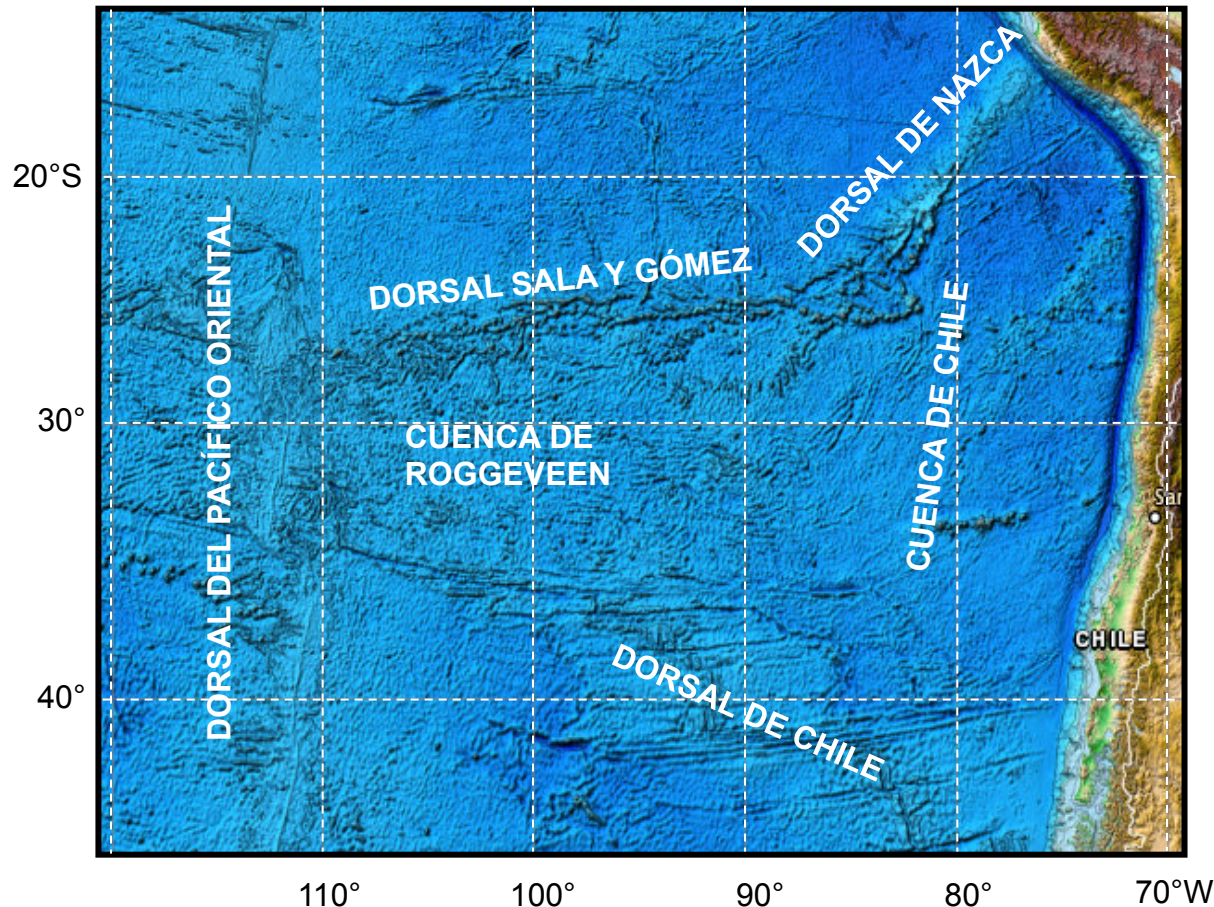
Las aguas con menor oxígeno son las que presentan menor pH ( $\text{pH} < 7.55$ )

Océano superficial actual  $\text{pH} = 8.1$

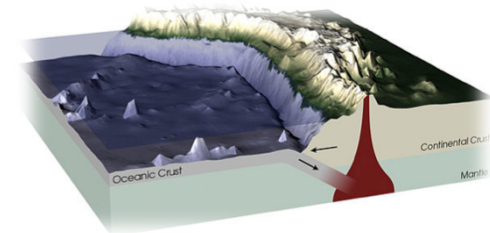
Cambio desde la revolución industrial  $-0.075$



# *La Fosa de Atacama*



- Extensión 5900 km (más extensa)
- Producidas por el proceso de subducción (una placa tectónica se unde bajo otra) generando gran actividad sísmica y volcánica
- Bajo la Corriente de Humboldt (sistema altamente productivo)
- Profundidad máxima ~8000 m frente a Antofagasta



## MONTE EVEREST

~8.800 m  
de altura

## NEVADOS CHILLÁN

~3.200 m  
de altura

## FOSA DE LAS MARIANAS

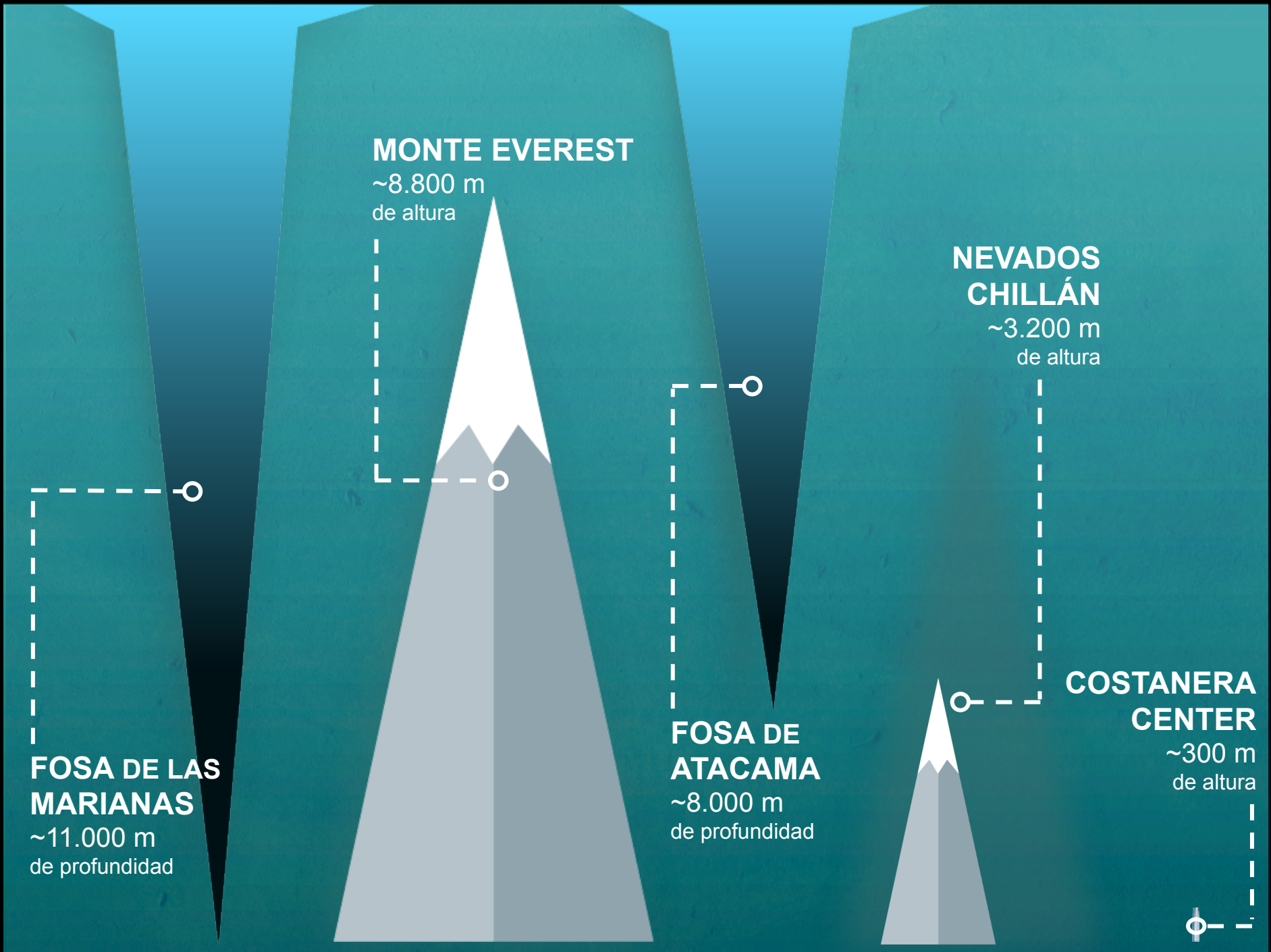
~11.000 m  
de profundidad

## FOSA DE ATACAMA

~8.000 m  
de profundidad

## COSTANERA CENTER

~300 m  
de altura





# Atacamex

Expedición Nacional para  
la Exploración de la Fosa de Atacama

IMO, Universidad de Concepción, P.  
Universidad Católica de Chile,  
Universidad de Antofagasta

Zarpe: 26 de enero 2018 - Valparaíso

Arribo: 2 febrero de 2018 - Iquique



21 Investigadores de Chile  
3 Ingenieros de EE.UU.

---

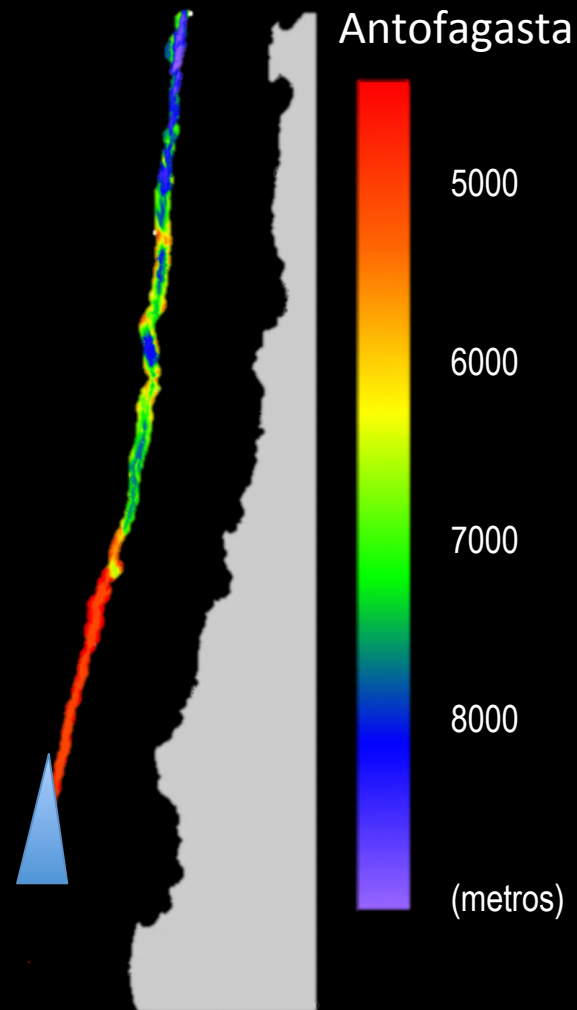
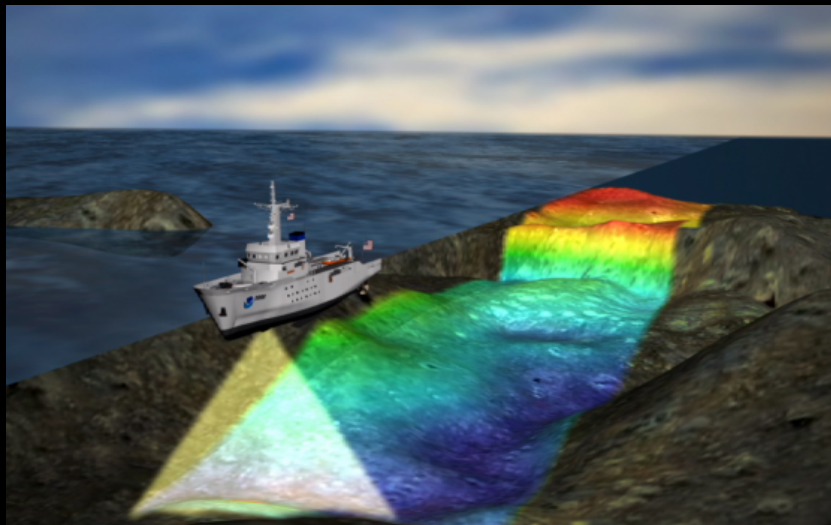
## AGS-61 Cabo de Hornos

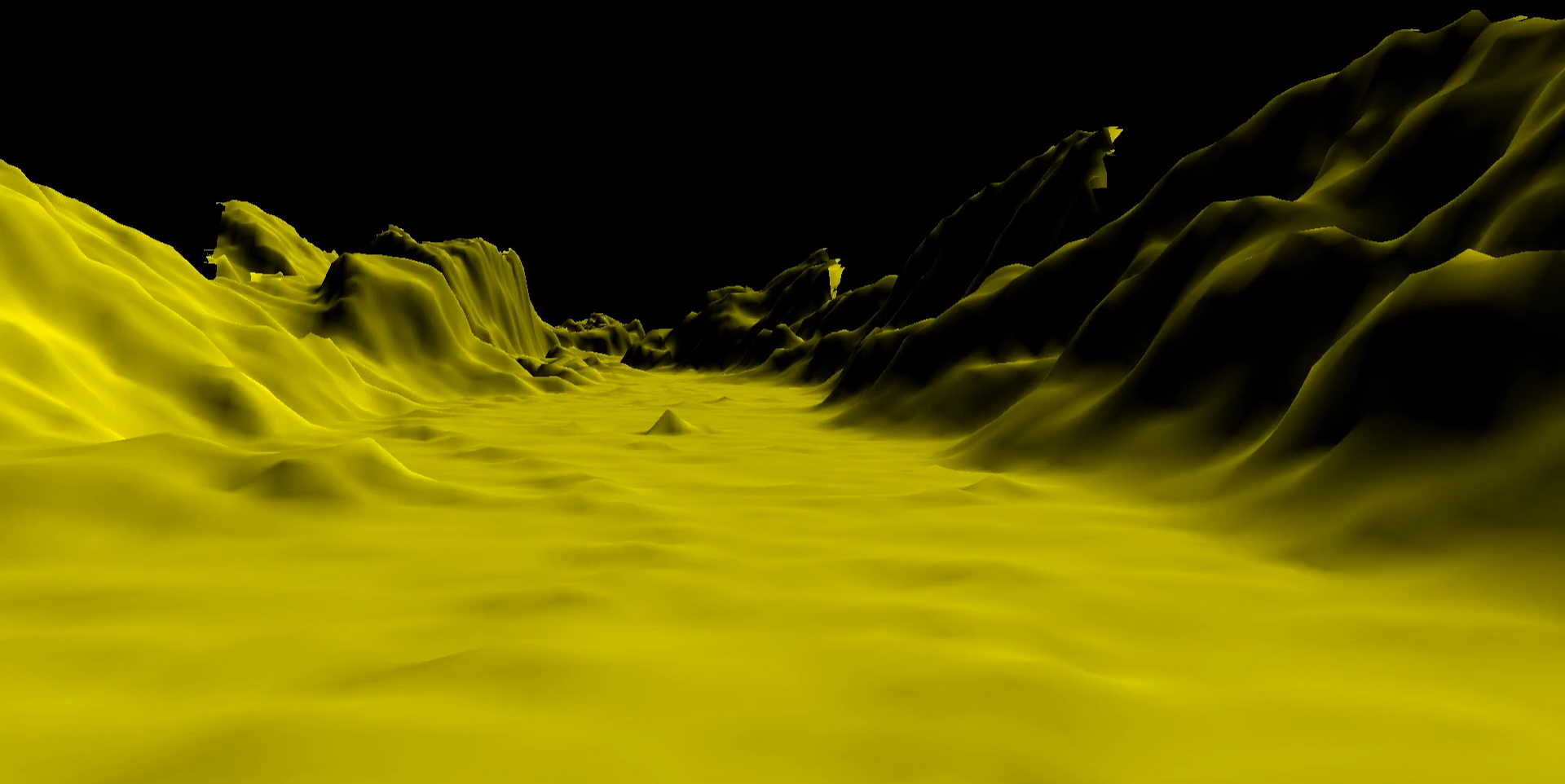
---

Año de construcción	2013
Dueño	Armada de Chile
Desplazamiento	3000 toneladas
Potencia de maquinaria	Tres motores diesel-eléctrico de 1.500 hp c/u
Velocidad máxima	14,5 nudos
Eslora	74,1 m
Manga	15,6 m
Calado	5,8 m
Tripulación	50
Científicos	25
Comandante	Capitan de Fragata Claudio Muñoz Cabrera

---

# Atacamex





Gentileza Ramiro Riquelme (Udec)

6000

7000

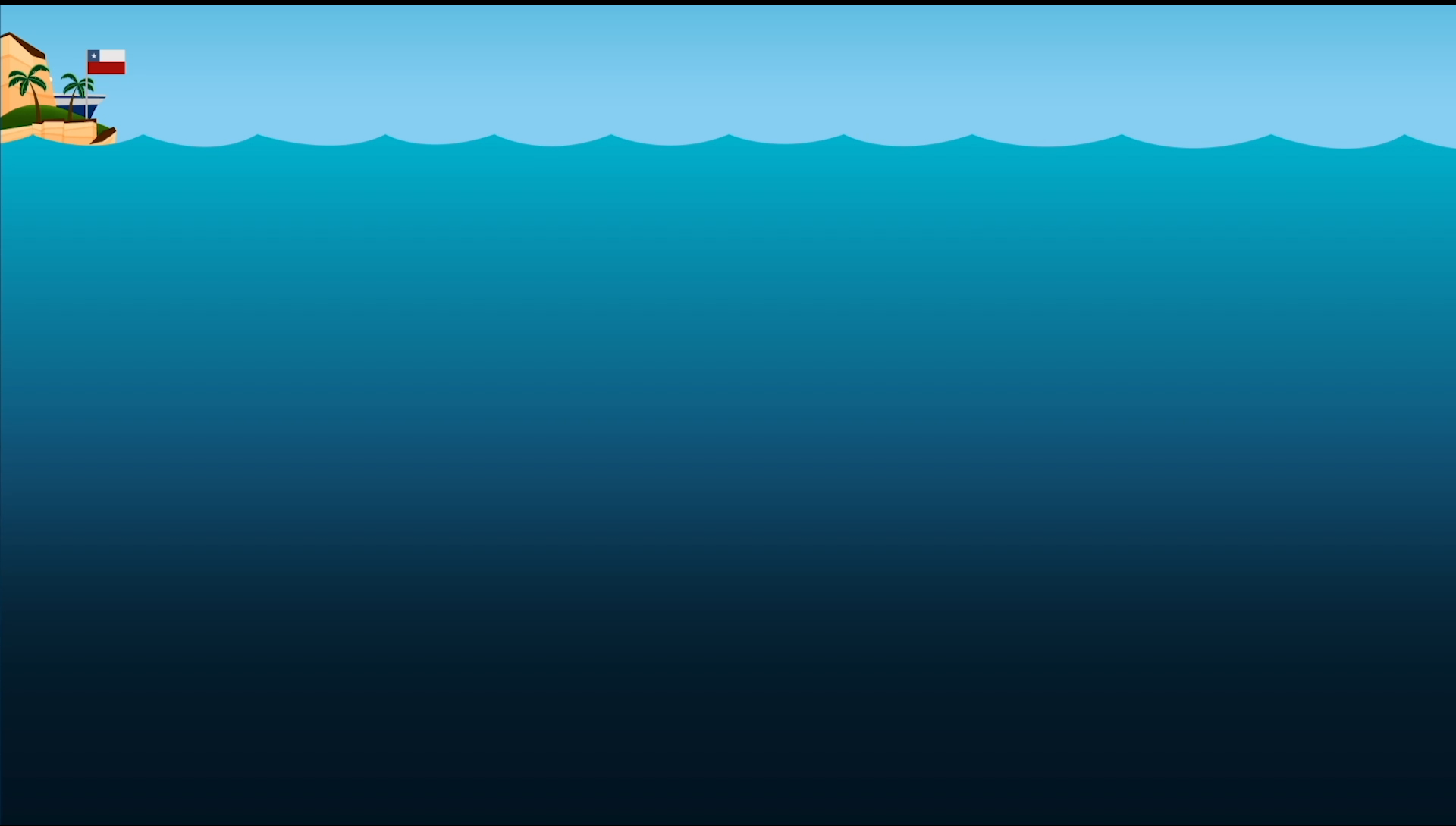
8000 metros

# *Vehículo de Océano Profundo (lander “Audacia”)*

- *Profundidad máxima 10.500 m*
- *Estructura de polímero*
- *Lastre y liberador acústico*
- *Velocidad de descenso y ascenso ~1 m/s*
- *Dos esferas Vitrovex de 17”*
- *Sonda para medidas continuas de Salinidad, Temperatura, O<sub>2</sub> y Presión (CTD)*
- *Sensor de profundidad secundario (independiente)*
- *Dos botellas Niskin de 30 L para coleccionar muestras de agua*
- *Cámara de video y luces LED*
- *Brazo retráctil con trampa con carnada*



*(Se trabajó con la compañía Global Ocean Design que diseñó los landers para el director James Cameron, cuando éste bajó a la Fosa de las Marianas)*









Atacamex: 3 inmersiones a  $> 8000$  m

Máxima profundidad alcanzada ¡¡ **8081 metros** !!

2018/03/22 15:32:57



# Algunos desafíos

***Como sociedad debemos entender que el océano está sufriendo cambios significativos a grandes escalas, cambios que nos impactarán cada día más ...***

***...pero, existen particularidades regionales de impacto planetario que debemos investigar y entender.***

- CONICYT/Fondecyt
- ***La exploración y estudio del océano profundo frente a Chile requiere de un esfuerzo mayor, inter-institucional, público-privado, multidisciplinario,...***
- The Agouron Institute (California, USA)

- The Gordon and Betty Moore Foundation (California, USA)
- ***...debiera ir acompañado de desarrollo tecnológico e innovación: las oportunidades hoy están.***



¡GRACIAS!

• The Gordon and Betty Moore Foundation (California, USA)