

# Modelación Aplicada del Océano

## Curso Básico CROCO

Mauro Santiago

Centro de Investigación Científica y Enseñanza Superior de Ensenada

19 Enero 2021

- Hoy: **Mejoras a la simulación: Mareas**

# Mareas

## Astronómica

- La marea es descrita como los cambios del nivel del mar debido a los efectos gravitacionales sobre el agua (marea astronómica) y a las variaciones en la presión atmosférica (marea meteorológica).

# Mareas

## Astronómica

- La marea es descrita como los cambios del nivel del mar debido a los efectos gravitacionales sobre el agua (marea astronómica) y a las variaciones en la presión atmosférica (marea meteorológica).
- La marea astronómica es representada a través de una serie de componentes armónicos, asociados a interacciones gravitacionales entre el Sol, la Tierra, y la Luna.

# Mareas

## Astronómica

- La marea es descrita como los cambios del nivel del mar debido a los efectos gravitacionales sobre el agua (marea astronómica) y a las variaciones en la presión atmosférica (marea meteorológica).
- La marea astronómica es representada a través de una serie de componentes armónicos, asociados a interacciones gravitacionales entre el Sol, la Tierra, y la Luna.
- Aproximamos entonces la marea astronómica por

$$\eta_A(t) = \eta_o + \sum_i^n \alpha_{\omega_i} \sin(\omega_i \times t + \theta_{\omega_i})$$

# Mareas

## Astronómica

- La marea es descrita como los cambios del nivel del mar debido a los efectos gravitacionales sobre el agua (marea astronómica) y a las variaciones en la presión atmosférica (marea meteorológica).
- La marea astronómica es representada a través de una serie de componentes armónicos, asociados a interacciones gravitacionales entre el Sol, la Tierra, y la Luna.
- Aproximamos entonces la marea astronómica por

$$\eta_A(t) = \eta_o + \sum_i^n \alpha_{\omega_i} \sin(\omega_i \times t + \theta_{\omega_i})$$

- Donde  $n$  es el número de componentes armónicos a estudiar. Los valores de  $\omega_i$  son conocidos,  $t$  es el tiempo y en nuestro análisis, buscamos obtener tanto el nivel medio  $\eta_o$ , como la amplitud  $\alpha_{\omega_i}$  como la fase  $\theta_{\omega_i}$  de cada componente  $\omega_i$ .

# Mareas

## Principales componentes

Name	Symbol	Period, solar hr
Principal lunar	$M_2$	12.42
Principal solar	$S_2$	12.00
Larger lunar elliptic	$N_2$	12.66
Luni-solar semidiurnal	$K_2$	11.97
Larger solar elliptic	$T_2$	12.01
Smaller solar elliptic	$L_2$	12.19
Lunar elliptic second order	$2N_2$	12.91
Larger lunar evectional	$v_2$	12.63
Smaller lunar evectional	$\lambda_2$	12.22
Variational	$\mu_2$	12.87
Luni-solar diurnal	$K_1$	23.93
Principal lunar diurnal	$O_1$	25.82
Principal solar diurnal	$P_1$	24.07
Larger lunar elliptic	$Q_1$	26.87
Smaller lunar elliptic	$M_1$	24.84
Small lunar elliptic	$J_1$	23.10
Lunar fortnightly	$Mf$	327.86
Lunar monthly	$Mm$	661.30
Solar semiannual	$Ssa$	2191.43

# Mareas

- En las zonas costeras, las corrientes debido a la marea pueden ser un componente importante para la circulación.

# Mareas

- En las zonas costeras, las corrientes debido a la marea pueden ser un componente importante para la circulación.
- El modelo CROCO permite agregar el efecto de las mareas mediante la función **make\_tides**.

# Mareas

- En las zonas costeras, las corrientes debido a la marea pueden ser un componente importante para la circulación.
- El modelo CROCO permite agregar el efecto de las mareas mediante la función **make\_tides**.
- Esta función agrega la información relevante a la zona en el archivo **croco\_frc.nc**, por lo que **make\_forcing** debe ser ejecutado antes de **make\_tides**.

# Mareas

- En las zonas costeras, las corrientes debido a la marea pueden ser un componente importante para la circulación.
- El modelo CROCO permite agregar el efecto de las mareas mediante la función **make\_tides**.
- Esta función agrega la información relevante a la zona en el archivo **croco\_frc.nc**, por lo que **make\_forcing** debe ser ejecutado antes de **make\_tides**.
- Se usa el enfoque propuesto por Flather (1976)

A TIDAL MODEL OF THE NORTH-WEST EUROPEAN CONTINENTAL SHELF.  
FLATHER RA (BIDSTON OBS., BIRKENHEAD, MERSEYSIDE L437RA)  
MEM. SOC. R. SCI. LIEGE, 8E; BELG.; DA. 1976; VOL. 10;  
PP. 141-164; BIBL. 1 P. 1/2;  
(CONT. SHELF DYN. LIEGE COLLOQ. OCEAN HYDRODYN. 7; LIEGE; 1975

# CROCO V1.0

- Para esto modifica el **cppdefs.h** de

```
/* Open Boundary Conditions */  
# undef  TIDES  
  
a  
  
/* Open Boundary Conditions */  
# define  TIDES
```

# CROCO V1.0

- Para esto modifica el **cppdefs.h** de

```
/* Open Boundary Conditions */  
# undef TIDES
```

a

```
/* Open Boundary Conditions */  
# define TIDES
```

- Lo que implica

```
/* Open Boundary Conditions */  
# ifdef TIDES  
# define SSH_TIDES  
# define UV_TIDES  
# undef POT_TIDES  
# define TIDERAMP  
# define OBC_M2FLATHER
```

# CROCO V1.0

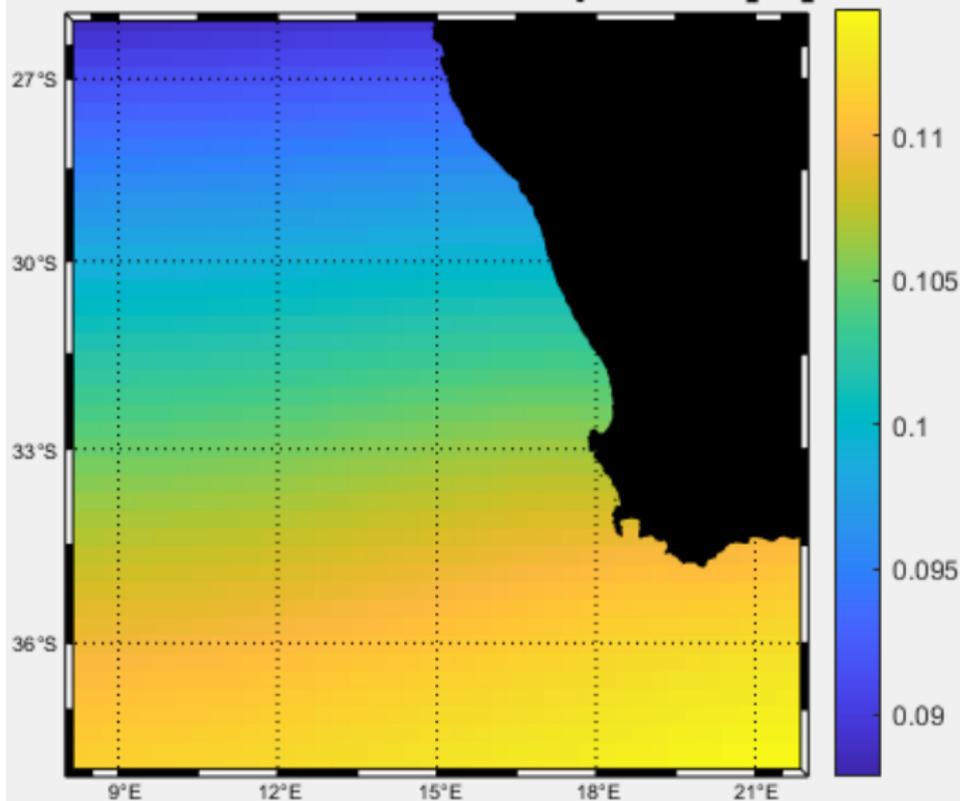
Las componentes mareales usadas están definidas en el archivo **crocotools\_param.m**

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% 5 - Parameters for tidal forcing
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% TPX0 file name (TPX06 or TPX07)
%
tidename=[DATADIR,'TPX07/TPX07.nc'];
%
% Self-Attraction and Loading GOT99.2 file name
%
sal_tides=1;
salname=[DATADIR,'GOT99.2/GOT99_SAL.nc'];
%
```

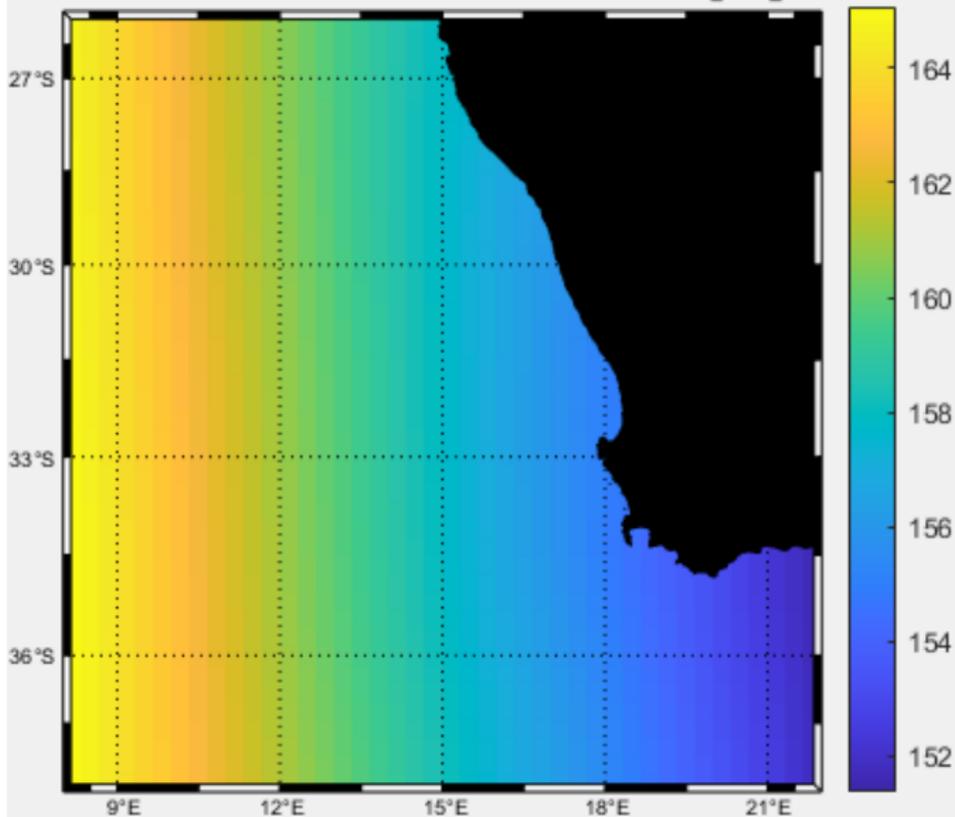
# CROCO V1.0

```
% Number of tides component to process
%
Ntides=10;
%
% Chose order from the rank in the TPX0 file :
% "M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 Q1 Mf Mm"
% " 1  2  3  4  5  6  7  8  9 10"
%
tidalrank=[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10];
%
% Compare with tidegauge observations
%
lon0 = 18.37;    % Example:
lat0 = -33.91;  % Cape Town location
Z0   = 1;       % Mean depth of tide gauge
```

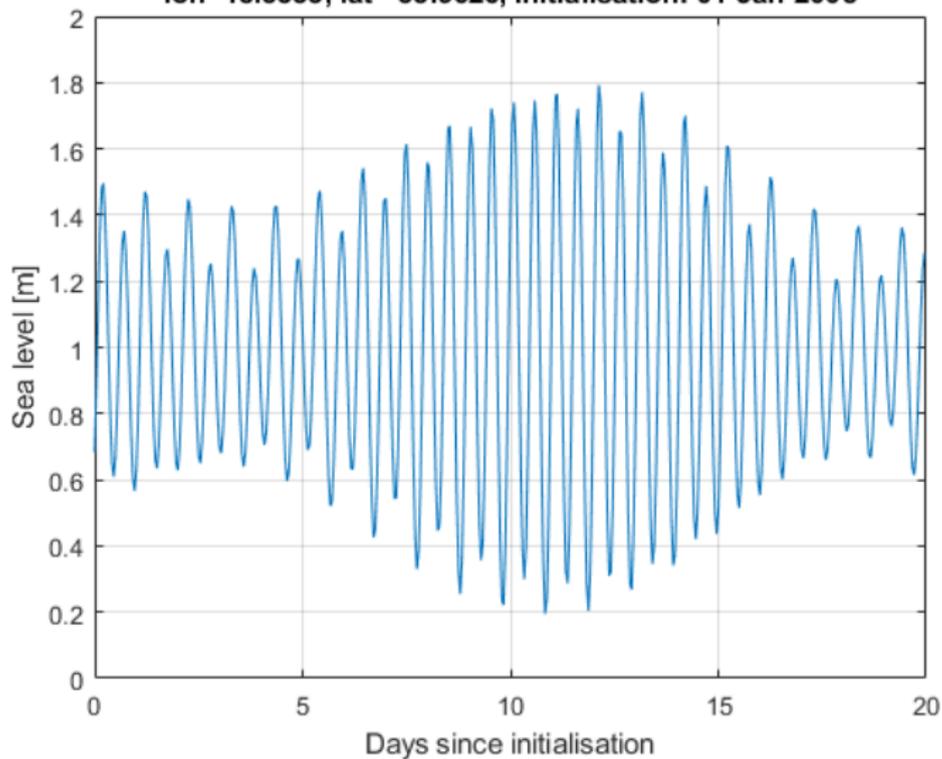
# Potential Tides: K1 Amplitude [m]



# Potential Tides: K1 Phase [m]



lon=18.3333, lat=-33.9626, Initialisation: 01-Jan-2005



# CROCO V1.0

- La información es extraída del archivo *TPXO7.nc*, basado en el modelo global de mareas oceánicas OTIS, solución TPXO7 (Egbert and Erofeeva, 2002).

Egbert, Gary D., and Svetlana Y. Erofeeva. "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19.2 (2002): 183-204.

# CROCO V1.0

- La información es extraída del archivo *TPXO7.nc*, basado en el modelo global de mareas oceánicas OTIS, solución TPXO7 (Egbert and Erofeeva, 2002).

Egbert, Gary D., and Svetlana Y. Erofeeva. "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19.2 (2002): 183-204.

- La versión más actualizada es la TPXO9.

<https://www.tpxo.net/global>

# CROCO V1.0

- La información es extraída del archivo *TPXO7.nc*, basado en el modelo global de mareas oceánicas OTIS, solución TPXO7 (Egbert and Erofeeva, 2002).

Egbert, Gary D., and Svetlana Y. Erofeeva. "Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides." *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19.2 (2002): 183-204.

- La versión más actualizada es la TPXO9.

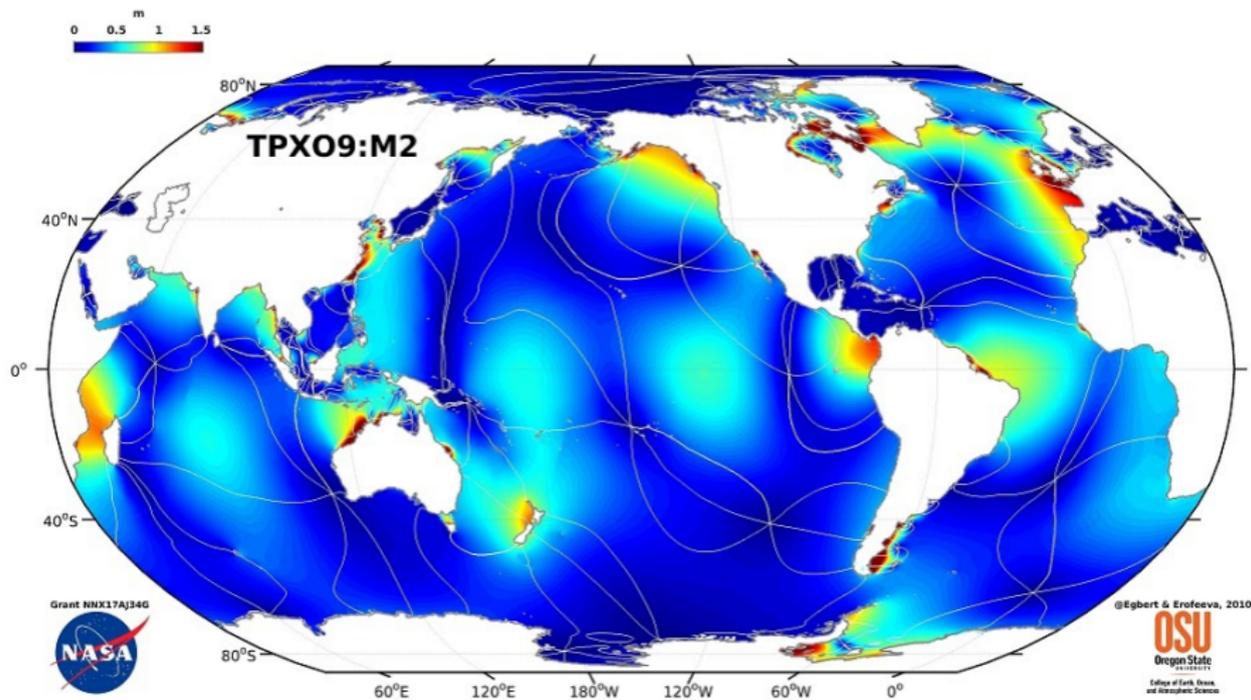
<https://www.tpxo.net/global>

- Existen otros modelos globales de mareas

Stammer, D., Ray, R. D., Andersen, O. B., Arbic, B. K., Bosch, W., Carrère, L., ... & Erofeeva, S. Y. (2014). Accuracy assessment of global barotropic ocean tide models. *Reviews of Geophysics*, 52(3), 243-282.

# TPX09

M2



# CROCO V1.0

Es importante definir el origen de la coordenada temporal (*crocotools\_param.m*).

```
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
% 6 - Reference date and simulation times
%     (used for make_tides, make_CFSR (or make_NCEP), make_OGCM)
%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
Yorig      = 2000;          % reference time for vector time
                               % in croco initial and forcing files
%
Ymin       = 2005;          % first forcing year
Ymax       = 2005;          % last forcing year
Mmin       = 1;             % first forcing month
Mmax       = 3;             % last forcing month
%
Dmin       = 1;             % Day of initialization
Hmin       = 0;             % Hour of initialization
```

# CROCO V1.0

Al usar *make\_tides.m* deberían ver

```
>> make_tides
```

```
Start date for nodal correction : 1-Jan-2005
```

```
Reading CROCO grid parameters ...
```

```
Tidal components : M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 Q1 Mf Mm
```

```
Processing tide : 1 of 10
```

```
ssh...
```

```
Getting ssh_r for time index 1
```

```
Getting ssh_i for time index 1
```

```
u...
```

```
Getting u_r for time index 1
```

```
Getting u_i for time index 1
```

```
v...
```

```
Getting v_r for time index 1
```

```
Getting v_i for time index 1
```

```
Convert to tidal ellipse parameters...
```

```
Process equilibrium tidal potential...
```

```
Process tidal loading and self-attraction potential...
```

```
Get total tidal potential...
```

# Mareas

## Varios

- Incluido en CROCO\_TOOLS está el código v1.3 de t\_tides

# Mareas

## Varios

- Incluido en CROCO\_TOOLS está el código v1.3 de t\_tides
- Noten que se entrega información tanto de la variación por marea del nivel del mar, como de las corrientes

```
# define SSH_TIDES
```

```
# define UV_TIDES
```

# Mareas

## Varios

- Incluido en CROCO\_TOOLS está el código v1.3 de t\_tides
- Noten que se entrega información tanto de la variación por marea del nivel del mar, como de las corrientes

```
# define SSH_TIDES
# define UV_TIDES
```
- Considerando que modificamos la física, recuerden que hay que recompilar el modelo.

# Mareas

## Varios

- Incluido en CROCO\_TOOLS está el código v1.3 de t\_tides
- Noten que se entrega información tanto de la variación por marea del nivel del mar, como de las corrientes

```
# define SSH_TIDES
```

```
# define UV_TIDES
```

- Considerando que modificamos la física, recuerden que hay que recompilar el modelo.
- Cuidado con la opción

```
# define TIDERAMP
```

Esto atenúa la marea los primeros tres días de cada simulación.

# Mareas

## Varios

- Incluido en CROCO\_TOOLS está el código v1.3 de t\_tides
- Noten que se entrega información tanto de la variación por marea del nivel del mar, como de las corrientes

```
# define SSH_TIDES  
# define UV_TIDES
```

- Considerando que modificamos la física, recuerden que hay que recompilar el modelo.
- Cuidado con la opción  

```
# define TIDERAMP
```

Esto atenúa la marea los primeros tres días de cada simulación.
- Úsenla el primer mes, desactiven, recompilen, y simulen los siguientes meses.

# Mareas

## Varios

- Noten que el archivo *param.h* también está involucrado

```
#if defined SSH_TIDES || defined UV_TIDES
    integer Ntides                ! Number of tides
                                ! ===== == =====
# if defined IGW || defined S2DV
    parameter (Ntides=1)
# else
    parameter (Ntides=10)
# endif
#endif
```

# Mareas

## Varios

- Noten que el archivo *param.h* también está involucrado

```
#if defined SSH_TIDES || defined UV_TIDES
    integer Ntides                ! Number of tides
                                ! ===== == =====
# if defined IGW || defined S2DV
    parameter (Ntides=1)
# else
    parameter (Ntides=10)
# endif
#endif
```

- Esta información debe ser consistente con lo definido en el *crocotools\_param.m*

# Mareas

## Varios

- En CROCO v1.1 hay un nuevo método para la construcción de la elevación mareal en base a los constituyentes armónicos, el método *Simon* del SHOM (Fr).

```
# define TIDES_MAS      (default undef)
```

- En CROCO v1.1 hay un nuevo método para la construcción de la elevación mareal en base a los constituyentes harmónicos, el método *Simon* del SHOM (Fr).

```
# define TIDES_MAS      (default undef)
```

- En caso de usar otra fuente de información, si sólo tienen las variaciones del nivel del mar, o se aplica una señal de marea sintética, existe la opción

```
# define OBC_REDUCED_PHYSICS
```

para calcular las corrientes asociadas. En ese caso, hay que

```
# undef UV_TIDES
```

# Mareas

## Varios

- Las últimas versiones del código incluyen el término de *Self-attraction and loading* (SAL)

```
%-----  
% Read and store in a netcdf file the Self-attraction/Loading  
% "tide" amplitude and phase from the tide model GOT99.2b of  
% R Ray/GSFC %  
% for principal constituents:  
%           M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 Q1  
% itide=  1  2  3  4  5  6  7  8  
%  
% P. Marchesiello 2015  
%-----
```

# Mareas

## Varios

- Las últimas versiones del código incluyen el término de *Self-attraction and loading* (SAL)

```
%-----  
% Read and store in a netcdf file the Self-attraction/Loading  
% "tide" amplitude and phase from the tide model GOT99.2b of  
% R Ray/GSFC %  
% for principal constituents:  
%           M2 S2 N2 K2 K1 O1 P1 Q1  
% itide=  1  2  3  4  5  6  7  8  
%  
% P. Marchesiello 2015  
%-----
```

- Esto implica una corrección del 5% de la amplitud, con una desfase de  $180^\circ$  con la marea local o aún más en zonas costeras.

[https://www.esr.org/data-products/antarctic\\_tg\\_database/ocean-tide-and-ocean-tide-loading/](https://www.esr.org/data-products/antarctic_tg_database/ocean-tide-and-ocean-tide-loading/)

- Algunos estudios relevantes para Chile son:

Artal, O., Pizarro, O., & Sepúlveda, H. H. (2019). The impact of spring-neap tidal-stream cycles in tidal energy assessments in the Chilean Inland Sea. *Renewable Energy*, 139, 496-506.

y

Aiken, C. M. (2008). Barotropic tides of the Chilean Inland Sea and their sensitivity to basin geometry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C8).

- Algunos estudios relevantes para Chile son:

Artal, O., Pizarro, O., & Sepúlveda, H. H. (2019). The impact of spring-neap tidal-stream cycles in tidal energy assessments in the Chilean Inland Sea. *Renewable Energy*, 139, 496–506.

y

Aiken, C. M. (2008). Barotropic tides of the Chilean Inland Sea and their sensitivity to basin geometry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C8).

- Noten la relevancia de los componentes mareales no-lineales (e.g. M4) y el tratamiento de la fricción de fondo (lineal o cuadrático).

# Mareas

## Varios

- Algunos estudios relevantes para Chile son:

Artal, O., Pizarro, O., & Sepúlveda, H. H. (2019). The impact of spring-neap tidal-stream cycles in tidal energy assessments in the Chilean Inland Sea. *Renewable Energy*, 139, 496-506.

y

Aiken, C. M. (2008). Barotropic tides of the Chilean Inland Sea and their sensitivity to basin geometry. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 113(C8).

- Noten la relevancia de los componentes mareales no-lineales (e.g. M4) y el tratamiento de la fricción de fondo (lineal o cuadrático).
- Por el momento no se usa el potencial generador de las mareas.

# Mareas

## Estructura vertical de las corrientes

- Si se cuentan con mediciones de ADCP anclado, es posible realizar un análisis de la variabilidad vertical de las corrientes de marea, caracterizándolas en su valor residual y las elipses de marea correspondientes a cada armónico.

# Mareas

## Estructura vertical de las corrientes

- Si se cuentan con mediciones de ADCP anclado, es posible realizar un análisis de la variabilidad vertical de las corrientes de marea, caracterizándolas en su valor residual y las elipses de marea correspondientes a cada armónico.
- En estudios de corrientes de marea de alta resolución se suelen hacer mediciones con ADCP arrastrado, repitiendo varias veces un mismo transecto.

# Mareas

## Estructura vertical de las corrientes

- Si se cuentan con mediciones de ADCP anclado, es posible realizar un análisis de la variabilidad vertical de las corrientes de marea, caracterizándolas en su valor residual y las elipses de marea correspondientes a cada armónico.
- En estudios de corrientes de marea de alta resolución se suelen hacer mediciones con ADCP arrastrado, repitiendo varias veces un mismo transecto.
- Esto nos permite obtener una serie de tiempo a lo largo del transecto, la cual puede ser ajustada para poder caracterizar la marea.

# Mareas

## Estructura vertical de las corrientes

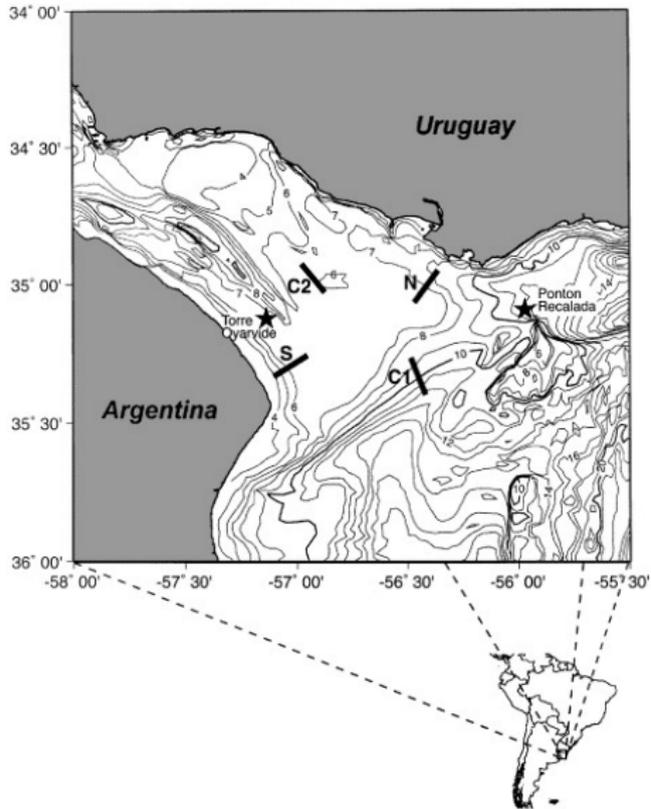
- Si se cuentan con mediciones de ADCP anclado, es posible realizar un análisis de la variabilidad vertical de las corrientes de marea, caracterizándolas en su valor residual y las elipses de marea correspondientes a cada armónico.
- En estudios de corrientes de marea de alta resolución se suelen hacer mediciones con ADCP arrastrado, repitiendo varias veces un mismo transecto.
- Esto nos permite obtener una serie de tiempo a lo largo del transecto, la cual puede ser ajustada para poder caracterizar la marea.
- Debido a que la frecuencia de muestreo debe ser tal que tengamos al menos 7 u 8 mediciones en cada punto de la transecta el largo de esta está limitado a algunos kilómetros, y el periodo de medición a un mínimo de 12-24 h seguidas.

# Mareas

## Estructura vertical de las corrientes

- Si se cuentan con mediciones de ADCP anclado, es posible realizar un análisis de la variabilidad vertical de las corrientes de marea, caracterizándolas en su valor residual y las elipses de marea correspondientes a cada armónico.
- En estudios de corrientes de marea de alta resolución se suelen hacer mediciones con ADCP arrastrado, repitiendo varias veces un mismo transecto.
- Esto nos permite obtener una serie de tiempo a lo largo del transecto, la cual puede ser ajustada para poder caracterizar la marea.
- Debido a que la frecuencia de muestreo debe ser tal que tengamos al menos 7 u 8 mediciones en cada punto de la transecta el largo de esta está limitado a algunos kilómetros, y el periodo de medición a un mínimo de 12-24 h seguidas.
- Para hacer un análisis similar con las salidas de CROCO, pueden basarse en el siguiente código, desarrollado por el Geofísico Christian Segura:

[https://raw.githubusercontent.com/AndresSepulveda/CROCO\\_plots/master/tidal\\_fit/example.m](https://raw.githubusercontent.com/AndresSepulveda/CROCO_plots/master/tidal_fit/example.m)



Sepúlveda, H. H., Valle-Levinson, A., & Framiñan, M. B. (2004). Observations of subtidal and tidal flow in the Río de la Plata Estuary. *Continental Shelf Research*, 24(4-5), 509-525.

## Diurnal Ellipses – Summer Cruise

