

Tutorial 03 CROCO: Simulación Climatológica

1. Propósito

En este tutorial revisaremos como realizar una climatología del dominio de Benguela, los archivos importantes para este tipo de simulaciones, y la validación de esta.

2. Creando el directorio de trabajo CLIMATOLOGIA

El ejemplo más sencillo de CROCO es la configuración llamada BENGUELA_LR que corresponde a un dominio de la zona de surgencia de Benguela de baja resolución (de ahí el LR : *Low Resolution*). Esta configuración es la que viene por defecto en el código de CROCO y lo que haremos es similar a lo descrito en Penven et al. (2001).

Es muy recomendable probar nuevas opciones del código CROCO en este dominio antes de intentarlo en un dominio mas complejo o que demore mucho mas en tiempo de cálculo. Asumiremos que ya tiene una copia local del código de CROCO y de CROCO_TOOLS en su directorio raíz. Esto se puede lograr siguiendo los pasos del Tutorial 01.

El primer paso es editar el archivo `create_run.bash` con las instrucciones para crear un nuevo directorio de trabajo que llamaremos **CLIMATOLOGIA**

```
1 cd andres/croco
2 nano create_run.bash
```

Ahora tiene que modificar esta sección para colocar los directorios correctos

```
1 #=====
2 # BEGIN USER MODIFICATIONS
3 #
4 # Get CROCO directory
5 CROCO_DIR="/home/courses/student11/andres/croco"
6 #
7 SOURCES_DIR="/home/courses/student11/andres/croco"
8 #
9 TOOLS_DIR="/home/courses/student11/andres/croco/croco_tools"
10 #
11 MY_CONFIG_PATH=${SOURCES_DIR}
12 #
13 # Name of the configuration directory defined by the user
14 #
15 MY_CONFIG_NAME='CLIMATOLOGIA'
16 #
17 #
18 # END USER MODIFICATIONS
19 #=====
```

y después ejecute la instrucción

```
1 ./create_run.bash
```

3. Los archivos de entrada

Los archivos de entrada que leerá el ejecutable **croco** los crearemos con la herramienta **CROCO_TOOLS**. Esta depende principalmente de dos archivos, el **start.m** y el **crocotools_param.m**

3.1. start.m

Para poder usar el código de CROCO_TOOLS debe editar el archivo **start.m** si usa Matlab

```
1 cd CLIMATOLOGIA
2 nano start.m
```

y modificar la siguiente línea

```
1 tools_path='/home/courses/student11/andres/croco/croco_tools/';
```

3.2. crocotools_param.m

Como se vio en el tutorial anterior, este archivo es muy importante pues acá definimos la región de estudio y las dimensiones de los archivos de entrada, que deben ser compatibles con las definidas anteriormente en el **param.h**.

En esta ocasión cambiaremos la línea

```
1 %
2 makeplot = 0; % 1: create graphics after each preprocessing step
3 %
```

a

```
1 %
2 makeplot = 1; % 1: create graphics after each preprocessing step
3 %
```

para ver unos gráficos de los archivos de entada que son creados.

3.3. Usando Matlab

Para crear los archivos de entrada usando Matlab, las instrucciones a usar, desde el directorio de trabajo **CLIMATOLOGIA** son

Para crear los archivos de entrada usando Matlab, primero tenemos que cargar el programa usando

```
1 ml purge
2 ml Matlab/2017
3
4 LD_PRELOAD=/home/lmod/software/Core/ifort/2019.2.187-GCC-8.2.0-2.31.1/
5 compilers_and_libraries_2019.6.324/linux/compiler/lib/intel64/libirc.so
6
7 matlab -nodesktop -nosplash
```

Dentro de Matlab las instrucciones a usar, desde el directorio de trabajo **CLIMATOLOGIA** son:
Primero definir los caminos de búsqueda (*path*) de las herramientas que usa CROCO_TOOLS

```
1 start
```

Luego escribimos la instrucción para generar la grilla del modelo, la que queda descrita en el archivo **cro-co_grd.nc** que se generará en el directorio **CROCO_FILES**

```
1 >> make_grid
2 mkdir: cannot create directory '/home/courses/student11/andres/croco/CLIMATOLOGIA/CROCO_FILES/':
3 File exists
4
5 Making the grid: /home/courses/student11/andres/croco/CLIMATOLOGIA/CROCO_FILES/croco_grd.nc
6
7 Title: Benguela Model
8
9 Resolution: 1/3 deg
10
11 Do you want to use interactive grid maker ?
12 (e.g., for grid rotation or parameter adjustments) : y, [n]
```

apretamos **n** y luego aparece

```
1 Create the grid file...
2 LLm = 41
3 MMm = 42
4
5 Fill the grid file...
6
7 Compute the metrics...
8
9 Min dx=29.1913 km - Max dx=33.3244 km
10 Min dy=29.2434 km - Max dy=33.1967 km
11
12 Fill the grid file...
13
14 Add topography...
15 CROCO resolution : 31.3 km
16 Topography data resolution : 3.42 km
17 Topography resolution halved 4 times
18 New topography resolution : 54.6 km
19 Processing coastline_l.mat ...
20
21 Do you want to use editmask ? y, [n]
22
```

acá veremos la Fig. 1, y nuevamente escogemos la opción **n**

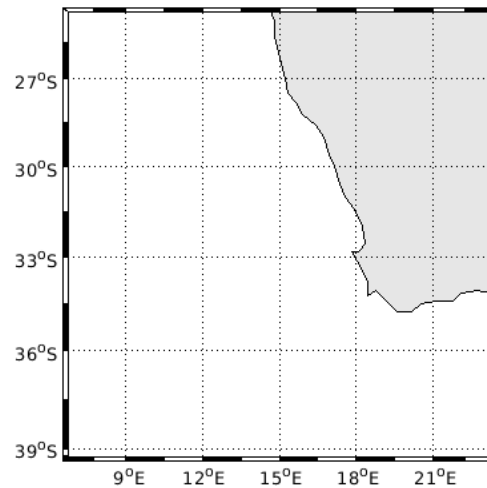


Figura 1: Mapa aproximado del dominio Benguela

finalmente vemos los siguientes mensajes

```
1 Filter topography ...
2 Apply a filter on the Deep Ocean to reduce isolated seamounts :
3   4 pass of a selective filter.
4 Apply a selective filter on log(h) to reduce grad(h)/h :
5   20 iterations - r_max = 0.27931
6   29 iterations - r_max = 0.24975
7 Smooth the topography a last time to prevent 2DX noise:
8   2 pass of a hanning smoother.
9
10 Write it down...
```

y obtendremos la figura

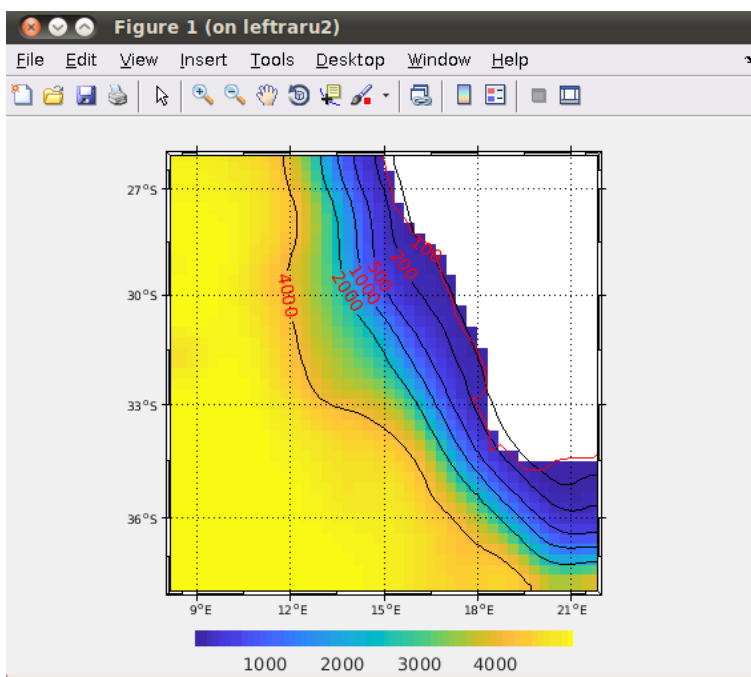


Figura 2: Mapa final del dominio Benguela

La siguiente instrucción es **make_forcing** que genera el archivo **croco_frc.nc** con la información del forzante atmosférico.

```
>> make_forcing
```

nos entrega 7 figuras, Figs. 3-6

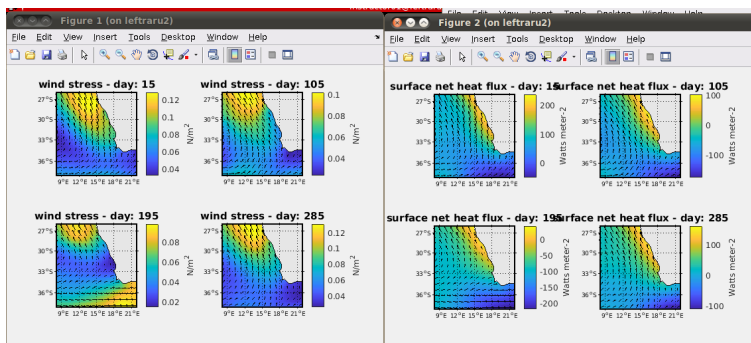


Figura 3: Variables de forzamiento atmosférico: esfuerzo del viento superficial y flujo neto de calor superficial

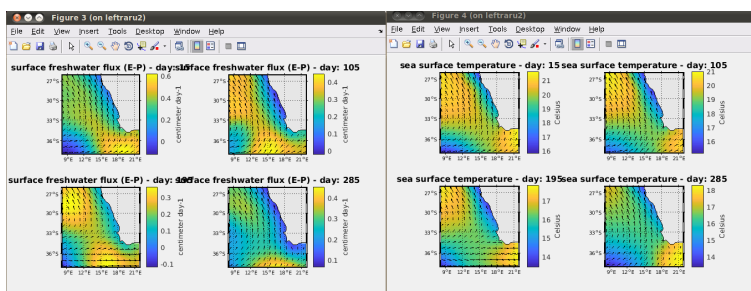


Figura 4: Variables de forzamiento atmosférico: balance superficial de agua fresca (E-P) y temperatura superficial del mar

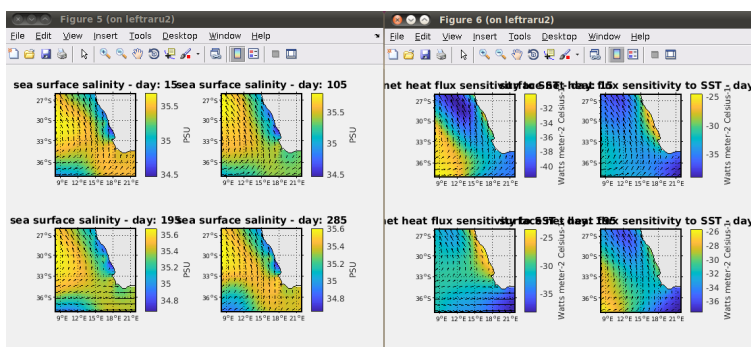


Figura 5: Variables de forzamiento atmosférico: salinidad superficial del mar y sensibilidad a la temperatura superficial del mar del flujo de calor latente

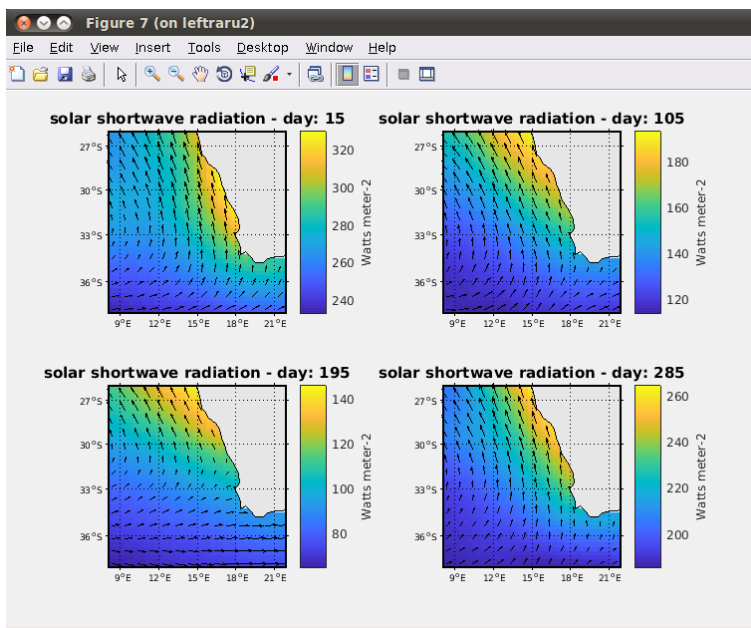


Figura 6: Variables de forzamiento atmosférico: radiación solar de onda corta

Y finalmente la instrucción **make_clim** que crea el archivo **croco_clm.nc** con la condición de borde oceánica

```
1 make_clim
```

nos entrega 8 figuras, figs. 7-10

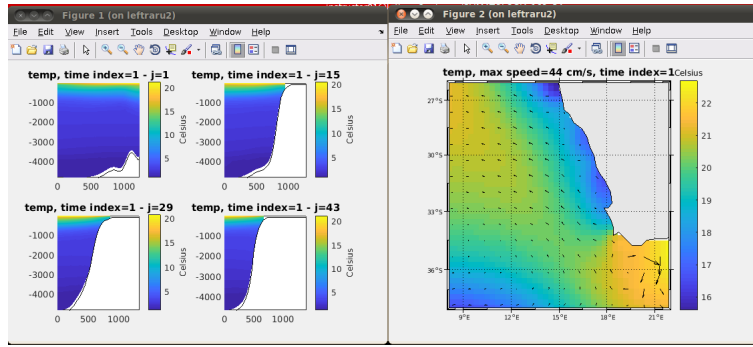


Figura 7: Variables de forzamiento lateral oceánico: temperatura en secciones verticales y en superficie en $t = 1$.

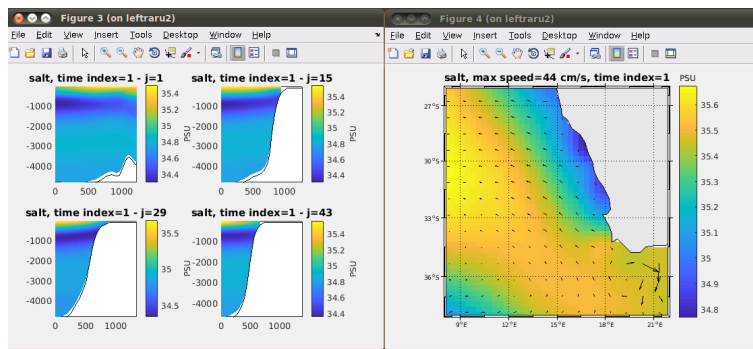


Figura 8: Variables de forzamiento lateral oceánico: salinidad en secciones verticales y en superficie en $t = 1$.

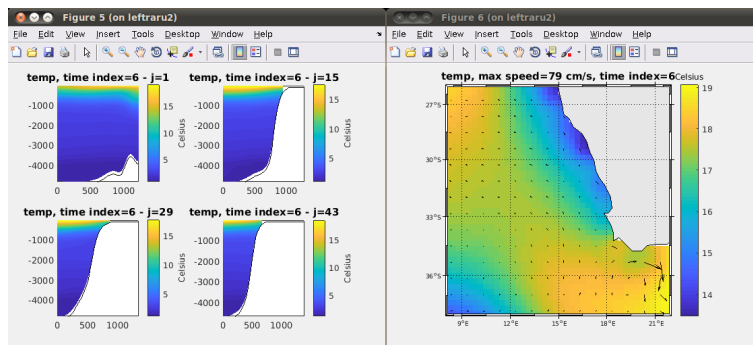


Figura 9: Variables de forzamiento lateral oceánico: temperatura en secciones verticales y en superficie en $t = 6$.

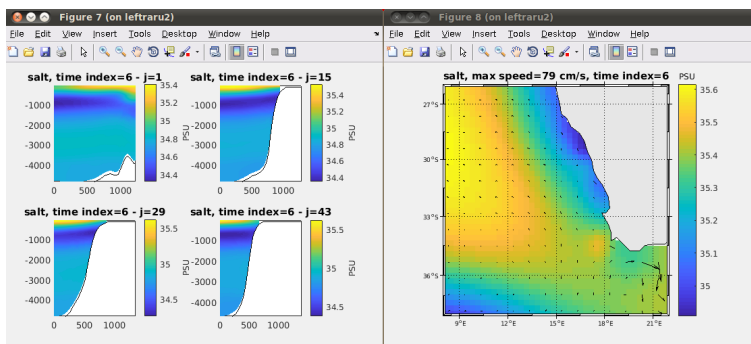


Figura 10: Variables de forzamiento lateral oceánico: salinidad en secciones verticales y en superficie en $t = 6$.

Recordemos que esta instrucción también implica la creación del archivo de condiciones iniciales **croco_ini.nc**, el cual puede ser creado independientemente usando la instrucción **make_ini**

Es importante que primero llamemos la función **make_forcing** y después **make_clim**. Estas instrucciones crearán los archivos de entrada, en formato NetCDF. Estos archivos quedarán dentro del directorio **CROCO_FILES** y son

```
1 croco_clm.nc croco_frc.nc croco_grd.nc croco_ini.nc croco_oa.nc
```

Los archivos que obtenga deben ser iguales a los que se encuentran en

```
1 http://mosa.dgeo.udec.cl/CROCO2022/CursoBasico/Tutorial03/ArchivosIniciales/
```

si tuvo problemas con esta etapa, copie esos archivos en el directorio **CROCO_FILES** para avanzar a la siguiente sección.

4. Cómo hacer una climatología en el NLHPC

Para calcular una climatología, tenemos que forzar el modelo durante varios años con las mismas condiciones de borde, oceánicas y atmosféricas, año a año. En este ejercicio haremos varias simulaciones, cada una de un año de duración. Para esto modificaremos el **croco.in** para que el número de pasos de tiempo sea 8640

```
1 time_stepping: NTIMES   dt [sec]  NDTFAST  NINFO
2                 8640     3600     60       1
```

Una vez hecho esto, compilamos el modelo

```
1 ml purge
2 ml intel/2019b
3 ml netCDF-Fortran/4.4.4
4 ./jobcomp
```

y lanzamos la simulación copiando el script *run_nlhpc.bash* de los tutoriales anteriores

```
1 cp ../BENGUELA_LR/run_nlhpc.bash .
```

y lanzando la simulación

```
1 sbatch run_nlhpc.bash
```


Una vez que la simulación termine exitosamente, encontraremos en el directorio **CROCO_FILES** los siguientes archivos de salida

```
1 croco_avg.nc
2 croco_his.nc
3 croco_rst.nc
```

El archivo **croco_rst.nc** contiene la información para continuar la simulación, por lo que para calcular el siguiente año tenemos que copiar este archivo con el nombre **croco_ini.nc**, que es el archivo que CROCO lee como condición inicial.

```
1 cp croco_rst.nc croco_ini.nc
```

Si volvemos a lanzar la simulación de nuevo, los archivos HIS y AVG serán reemplazados, por lo que debemos cambiarles el nombre antes de calcular el 2do año.

```
1 mv croco_avg.nc croco_avg_Y1.nc
2 mv croco_his.nc croco_his_Y1.nc
3 mv croco_rst.nc croco_rst_Y1.nc
```

y ahora si podemos calcular el 2do año. Para hacer una buena climatología hay que calcular entre 10 y 20 años, por lo que hay que repetir este proceso muchas veces. Si su *BASH FU* es fuerte, puede automatizar este proceso en un script.

Para propósito de este curso, analizaremos sólo 10 años. Recuerden que los primeros años de una simulación no son confiables, son parte del llamado periodo transiente (en inglés, *spin up*).

El código de CROCO contiene una rutina que realiza este proceso de correr la simulación, renombrar y continuar de forma automática, es el archivo llamado **run_croco.bash**. Desafortunadamente este script no funciona en ambientes como el NLHPC.

5. Validación de la climatología

Para analizar la climatología nos conviene separar los archivos anuales en archivos mensuales. Para esto usaremos el script **separa_meses.bash** que utiliza las rutinas **NCO**.

```

1 #!/bin/bash
2
3 #
4 # Andrés Sepúlveda 12/2020 (DGEO-UDEC)
5 #
6
7 #
8 # Se asume que estamos grabando el archivo cada 3 días
9 #
10 export model=croco
11 export type=avg
12
13 yi=1
14 yf=2
15
16 while [ "$yi" -le "$yf" ]
17 do
18     ncks -F -d time,1,10 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M1.nc
19     ncks -F -d time,11,20 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M2.nc
20     ncks -F -d time,21,30 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M3.nc
21     ncks -F -d time,31,40 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M4.nc
22     ncks -F -d time,41,50 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M5.nc
23     ncks -F -d time,51,60 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M6.nc
24     ncks -F -d time,61,70 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M7.nc
25     ncks -F -d time,71,80 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M8.nc
26     ncks -F -d time,81,90 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M9.nc
27     ncks -F -d time,91,100 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M10.nc
28     ncks -F -d time,101,110 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M11.nc
29     ncks -F -d time,111,120 "$model" "$type" _Y"$yi".nc "$model" "$type" _Y"$yi"M12.nc
30     yi=`expr $yi + 1`
31 done
32 exit

```

```

1 ml icc/2018.5.274-GCC-8.2.0-2.31.1 impi/2018.4.274 NCO/4.7.6
2 ./separa_meses.bash

```

Esto nos entregará archivos como

```

1 croco_avg_Y1M1.nc
2 croco_avg_Y1M2.nc
3 croco_avg_Y1M3.nc
4 croco_avg_Y1M4.nc
5 ...

```

Después, use las rutinas

1. croco-diags.m
2. plot-diags.m

que son parte de CROCO_TOOLS para su análisis.

5.1. Calculo de climatologías mensuales

Una vez que tenemos los archivos mensuales podemos usar el script

```
1 http://mosa.dgeo.udec.cl/CROCO2022/CursoBasico/Tutorial03/script_make_clim.v2.bash
```

para promediar todos los meses de cada año simulado y así obtener su propia climatología mensual.
Para poder usar este script necesita primero cargar el módulo de **NCO**

```
1 m1 icc/2018.5.274-GCC-8.2.0-2.31.1 impi/2018.4.274 NCO/4.7.6
```

5.2. Resultados Esperados

Ud. debe poder generar

1. Mapa del dominio
2. Los gráficos de serie de tiempo generados por la función *plot_diags.m*
3. Mapas de la temperatura superficial para los promedios estacionales y el promedio anual.

5.3. Validación de la climatología

El archivo de temperatura superficial del mar global medida entre 1985 y 1997 con el sensor AVHRR-Pathfinder (Casey and Cornillon, 1999)

```
1 /home/dbs/croco/DataSets/SST_pathfinder/climato_pathfinder.nc  
2
```

Los valores son promedios mensuales de la temperatura superficial del mar a una resolución de 9.28 km. Use este archivo y programe una rutina que le permita obtener lo siguiente:

1. Los datos Pathfinder de TSM en promedio estacional y anual para la región de estudio.
2. Un mapa con la diferencia entre sus resultados los datos Pathfinder.

Haga lo mismo para la climatología mensual de la salinidad superficial del mar que puede obtener en el siguiente archivo

```
1 http://mosa.dgeo.udec.cl/CROCO2022/DataSets/SMAP_L3_SSS_MONTHLY_CLIM_V5.0.nc
```

6. Trabajo Avanzado

Realice una simulación para un dominio de su interés.

7. Conclusión

En este tutorial aprendió mas detalles de los archivos **cppdefs.h**, **param.h**, y **croco.in**, y las modificaciones que hay que hacer para hacer una simulación climatológica, así como aspectos de la validación de los resultados.

Para más información:

Andrés Sepúlveda (asepulveda@dgeo.udec.cl)

Contribuciones de:

Iván Almendra

Marcela Contreras

Mauro Santiago

8. Referencias

Casey, K. S., & Cornillon, P. (1999). A Comparison of Satellite and In Situ-Based Sea Surface Temperature Climatologies. *J. Climate*, 12, 1848-1863

Penven, P., Roy, C., Brundrit, G. B., De Verdière, A. C., Fréon, P., Johnson, A. S., Lutjeharms J. R. E. & Shillington, F. A. (2001). A regional hydrodynamic model of upwelling in the Southern Benguela. *South African Journal of Science*, 97(11-12), 472-475.

9. Enlaces útiles

- Herramientas NCO

<http://research.jisao.washington.edu/data/nco/>

10. ANEXO A: croco.in

De forma alternativa podemos configurar el archivo **croco.in** para que en una simulación anual, donde

```
1 time_stepping: NTIMES dt[sec] NDTFAST NINFO
2                 8640   3600     60     1
```

grabe archivos cada 30 días. Para esto modificamos la sección del **croco.in** donde dice

```
1 history: LDEFHIS, NWRT, NRPFHIS / filename
2           T      72     0
3 averages: NTSAVG, NAVG, NRPF AVG / filename
4           1      72     0
5
```

a

```
1 history: LDEFHIS, NWRT, NRPFHIS / filename
2           T      24     30
3 averages: NTSAVG, NAVG, NRPF AVG / filename
4           1      24     30
5
```

Lo que se interpreta como se grabarán archivos **HIS** y **AVG** cada día (24 pasos de 3600 segundos), que separan los archivos cada 30 registros grabados, es decir cada 30 días.

Al terminar la simulación encontraremos en el directorio **CROCO_FILES** los archivos

```
1 croco_his.00000.nc
2 croco_his.00030.nc
3 croco_his.00060.nc
4 croco_his.00120.nc
5 croco_his.00150.nc
6 croco_his.00180.nc
7 croco_his.00210.nc
8 croco_his.00240.nc
9 croco_his.00270.nc
10 croco_his.00300.nc
11 croco_his.00330.nc
12
```

uno por cada mes.