

Escuela de Verano 2022

Curso Básico de CROCO

Clase 10: Ríos

Presentado por: Marcela Contreras
(marcela.contreras@legos.obs-mip.fr)

13 de enero de 2022

Informaciones: Andrés Sepúlveda (asepulveda@dgeo.udec.cl)

Introducción

El rol de los ríos en la dinámica costera

- Los ríos tienen un rol esencial en la productividad biológica costera y ciclos biogeoquímicos (Vargas et al., 2020, Masoti et al., 2018)
 - e.g., Ríos en Chile como Rapel, Maipo y Biobío exportan cientos de toneladas de nitrógeno y miles de toneladas de silicio y carbono (Perez et al., 2014), contribuyendo significativamente a la biomasa de peces en las costas de Chile.
- Pero también puede exportar aguas intervenidas por humanos lo que puede contener contaminantes para el ecosistema.
- Incluso, en algunas regiones los ríos tienen una contribución similar a las precipitaciones. En el Golfo de Bengala se ha observado que simulaciones que no incluyen ríos tienden a sobreestimar la salinidad en 2-4 psu (Han & McCreary, 2001).
- El aporte de agua dulce de los ríos modifica la estratificación, generando gradientes de boyantes, lo cual impacta al balance energético, y al desarrollo de actividad de mesoescala y submesoescala (Luo et al., 2016).

Introducción: ejemplos de observaciones y magnitudes caudal

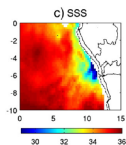


Figura: Río Congo. Hopkins et al., (2013)

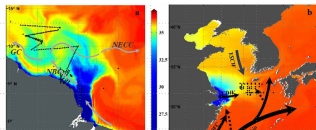


Figura: (Izq) Río Amazona (Der) Río Changjiang. Gomes et al. (2020)

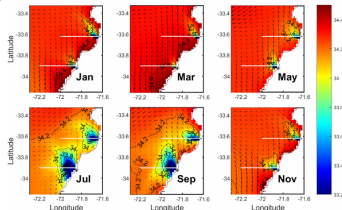


Figura: Río Maipo y Rapel. Salcedo et al., 2020

Río	Caudal (m ³ /s)
Amazona	171410
Congo	39860
Orinoco	31160
Changjiang	28800
Brahmaputra	20600

Tabla: Ríos de mayor caudal a escala global. Dai & Trenberth (2002)

Río	Caudal (m ³ /s)
Biobio	1010
Baker	870
Puelo	664

Tabla: Ríos de mayor caudal en Chile. Dai & Trenberth (2002)

Cuando se incluye un río, el flujo puede ser **constante** o **variable**.

Para implementar una de estas opciones se debe seguir diferentes pasos. Sin importar cual de estas dos opciones se desean incorporar, se debe informar al modelo las siguientes variables.

Variables a definir en ríos

- Números de ríos (N_{src})
- Posición de los ríos en la grilla de la simulación (I_{src}, J_{src})
- Dirección del flujo del río ($D_{src}=0$ (1) si es zonal (meridional))
- Caudal del río (m^3s) (Q_{bar})
- Sentido del río (norte-sur o sur-norte (este-oeste o oeste-este))
 - En flujo constante la dirección se representa por el signo de Q_{bar} (negativo para flujos de este-oeste o norte-sur)
 - Para flujos variables se define en q_{baddir} (-1 este-oeste, norte-sur, 1 oeste-este, norte-sur)
- Distribución vertical de la descarga del río.
- Opcional: Valores de trazadores (temperatura, salinidad, propiedades biogeoquímicas).

Configuración de un Flujo constante

- Recordando que elementos esenciales en la configuración de una simulación con CROCO son: los archivos de entrada, cppdefs.h, param.h y croco.in.
- Para incluir un río de flujo constante, no se hacen modificaciones a los archivos de entrada (grd.nc, clim/bry.nc, frc.nc y ini.nc). Pero se debe realizar las siguientes cambios.

cppdefs.h

Para que el modelo reconozca la fuente en cppdefs.h se debe definir la opción PSOURCE

```
                /* Point Sources - Rivers */  
# define PSOURCE  
# undef PSOURCE_NCFILE  
# ifdef PSOURCE_NCFILE  
#  undef PSOURCE_NCFILE_TS  
# endif
```

param.h

En caso de incluir más de 100 fuentes se debe modificar la sección *! Point sources, Floast, Stations* (en particular en línea 315)

```
!-----
! Point sources, Floast, Stations
!-----
!
#if defined PSOURCE || defined PSOURCE_NCFILE
    integer Msrc                ! Number of point sources
# ifdef RIVER
    parameter (Msrc=2)         ! =====
# else
    parameter (Msrc=100)       ! =====
# endif
#endif
```

croco.in

En el archivo *croco.in* debemos indicar:

- Cantidad de ríos (Nsrc)
- Posición de la boca del río (Isrc, Jsrc)
- Orientación (Dsrc)
 - Zonal, Dsrc=0
 - Meridional Dsrc=1
- Caudal (Qbar)
- Sentido
 - Si flujo es O/E o S/N, Qbar>0
 - Si flujo es E/O o N/S, Qbar<0
- Definición de trazadores (Lsrc) (donde 1era y 2da columna es temp y sal, respectivamente)
 - Si deseamos que el modelo lea trazadores: T
 - Si no deseamos que el modelo lea trazadores: F
- Valores trazadores (Tsrc) (donde 1era y 2da columna es temp y sal, respectivamente)

```

236 sediment_history_fields: bed thick bed_poros bed_fra(sand,silt)
237                               20*F
238
239 bbl_history_fields: Abed Hripple Lripple Zbnot Zbapp Bostrw
240                               T F F F T F T
241
242 floats: LDEFFLT, NFLT, NRPFFLT / inpname, hisname
243                               T 6 0
244                               floats.in
245 CROCO_FILES/floats.nc
246 float_fields: Grdvar Temp Salt Rho Vel
247                               T T T T T
248
249 stations: LDEFSTA, NSTA, NRPFFSTA / inpname, hisname
250                               T 400 0
251                               stations.in
252 CROCO_FILES/stations.nc
253 station_fields: Grdvar Temp Salt Rho Vel
254                               T T T T T
255
256 source: Nsrc Isrc Jsrc Dsrc Qbar [m3/s] Lsrc Tsrc
257         2
258         3 54 1 200. T T 20. 15.
259         3 40 0 200. T T 20. 15.
260
261 psource_ncfile: Nsrc Isrc Jsrc Dsrc qbardir Lsrc Tsrc runoff file name
262 CROCO_FILES/croco_runoff.nc
263         2
264         24 35 0 -1 30*T 20.0 15.0
265         35 13 1 -1 30*T 20.0 15.0
266
267 online: byear bmonth recordsperday byearend bmonthend / data path
268         2000 1 4 2000 3
269 DATA/CFSR/Benguela_LR/
  
```

Figura: Sección psource en croco.in

Configuración de un flujos variable

- En el caso de incluir un río de flujo variables, también debemos modificar `cppdefs.h` y `croco.in` (`param.h` en caso de ser necesario).
- Pero adicionalmente de los archivos de entrada usualmente utilizados (`grd.nc`, `clim/bry.nc`, `frc.nc` y `ini.nc`), para este caso deberemos incluir un quinto archivo denominados por default `croco_runoff.nc`.
- Este archivo se puede generar a través de `make_runoff.m`, rutina que es parte de los `croco_tools`
- Con respecto a los trazadores, tenemos las siguientes opciones:
 - No definir trazadores.
 - Definir trazadores constante en el tiempo.
 - Definir trazadores variables en el tiempo.
- En los trazadores, también es posible definir sedimentos o nutrientes.

Creando `croco_runoff.nc`

- En la carpeta *Rivers* de *croco_tools* se encuentra la rutina *make_runoff.nc*, la cual genera el archivo *croco_runoff.nc*
- `make_runoff.m` es un código para MATLAB interactivo
- Esta rutina requiere una base de datos de los caudales de los ríos a incluir. En *croco_tools* esta incluida la base de datos Dai & Trenberth (2002).
- En esta rutina debemos definir si los trazadores son:
 - Variables en el tiempo (`psource_ncfile_ts=1`) Si son variables, tenemos las siguientes opciones
 - Automática (`psource_ncfile_ts_auto`): la información de los trazadores se obtiene de `croco_clm.nc`
 - Manual `psource_ncfile_ts_manual`: el usuario define los valores en la rutina
 - Constante en el tiempo (`psource_ncfile_ts=0`)

Creando croco_runoff.nc

```

%=====
% Choose the grid level into which you want to set up the runoffs

gridlevel=0
if ( gridlevel == 0 )
    % #-> Parent / zoom #0
    grdname = [CROCO_files_dir,'croco_grd.nc'];
    rivname = [CROCO_files_dir,'croco_runoff.nc']
    clmname = [CROCO_files_dir,'croco_clm.nc'];    % <- climato file for runoff
else
    % # -> Child / zoom #XX
    grdname = [CROCO_files_dir,'croco_grd.nc.',num2str(gridlevel)];
    rivname = [CROCO_files_dir,'croco_runoff.nc.',num2str(gridlevel)];
    clmname = [CROCO_files_dir,'croco_clm.nc.',num2str(gridlevel)]; % <- climato file for runoff
end

% Choose the monthly runoff forcing time and cycle in days
clim_run=1

if (clim_run == 1)
    qbar_time=[15:30:365];
    qbar_cycle=360;
else
    qbar_time=[15.2188:30.4375:350.0313];
    qbar_cycle=365.25;
end

...
..
.

```

Creando croco_runoff.nc

```

...
..
.
% Choose if you process variable tracer concentration(temp, salt, NO3, ...)

psource_ncfile_ts=0;

if psource_ncfile_ts
    psource_ncfile_ts_auto=0 ;
    psource_ncfile_ts_manual=1;
end

%      - psource_ncfile_ts = 0 => Constant analytical runoff tracers concentration no processing
%      It reads analytical values in croco.in
%      or use default value defined in
%      analytical.F
%
%      - pource_ncfile_ts = 1 => Variable runoff tracers
%      concentration processing is activated.
%      It needs the climatology
%      file created with make_clim.m
%
%      In this case, either choose:
%      - psource_ts_auto : auto definition using
%                          the nearest point in the climatology file
%
%      - psource_ts_manual : manually definition the
%                          variable tracer concentration
%
...
..
.

```


PSOURCE_NCFILE_TS

Si se escogió la opción de definir trazadores variables (`psource_ncfile_ts=1`), y además la definición es automática (`psource_ncfile_ts_auto=1`), entonces la definición de temperatura y salinidad es la que muestra la Figura

```

499
500     if psource_ncfile_ts_auto
501         %=====
502         ncclim=netcdf(clname);
503         N=length(ncclim('s_rho'));
504
505         for k0=1:number_rivertoprocess
506             k=rivertoprocess(k0);
507             %%
508             %% For temperature, use the closest surface point in the clim file
509             %% to reduce any heat flux induced by the rivers
510             %%
511             T=squeeze(ncclim('temp')(:,N,J(k)+1,I(k)+1));
512             my_temp_src0(k,:)=T;
513             %%
514             %% For salinity ... ?
515             %%
516             S=squeeze(ncclim('salt')(:,N,J(k)+1,I(k)+1))-10; % hum...
517             S(S<2)=2; % to prevent negative salinities in the
518                 % equation of state
519             disp([' Use psource_ncfile_ts_auto using S = sclim -10 '])
520             disp([' Check line 464 in make_runoff.m to change ' ...
521                 'this arbitrary runoff salinity'])
522             %%S=2;
523             my_salt_src0(k,:)=S;
524             if makebio==1
525                 NO3=squeeze(ncclim('NO3')(:,N,J(k)+1,I(k)+1));
526                 my_no3_src0(k,:)=NO3;
527             end
528         end
529         close(ncclim)

```

- 1 Usualmente, el acceso a datos de temperatura y salinidad en la boca de los ríos no están disponible.
- 2 En caso de la opción automático, la información es obtenida de `make_clim.nc`

Figura: Definición automática de T y S en `make_runoff.m`

```

usuario@usuario-PC: ~/CROCOV3/BENGUELA_R2A/CROCO_FILES
Archivo Editar Ver Buscar Terminal Ayuda
ncv(base) usuario@usuario-PC:~/CROCOV3/BENGUELA_R2A/CROCO_FILES$ ncdump -h croco_runoff.nc
netcdf croco_runoff {
dimensions:
    qbar_time = 12 ;
    n_qbar = 2 ;
    runoffname_strlen = 30 ;
    one = 1 ;
    two = 2 ;
variables:
    double qbar_time(qbar_time) ;
        qbar_time:long_name = "runoff time" ;
        qbar_time:units = "days" ;
        qbar_time:cycle_length = 360. ;
    double temp_src_time(qbar_time) ;
        temp_src_time:long_name = "runoff time" ;
        temp_src_time:units = "days" ;
        temp_src_time:cycle_length = 360. ;
    double salt_src_time(qbar_time) ;
        salt_src_time:long_name = "runoff time" ;
        salt_src_time:units = "days" ;
        salt_src_time:cycle_length = 360. ;
    char runoff_name(n_qbar, runoffname_strlen) ;
        runoff_name:long_name = "runoff time" ;
    double Qbar(n_qbar, qbar_time) ;
        Qbar:long_name = "runoff discharge" ;
        Qbar:units = "m3.s-1" ;
    double temp_src(n_qbar, qbar_time) ;
        temp_src:long_name = "runoff temp conc." ;
        temp_src:units = "deg.celsius" ;
    double salt_src(n_qbar, qbar_time) ;
        salt_src:long_name = "runoff salt conc." ;
        salt_src:units = "psu" ;

// global attributes:
    :title = "runoff forcing file (Dai and Trenberth, 2002 dataset)" ;
    :date = "02-Jan-2021" ;
    :grd_file = "/home/usuario/CROCOV3/BENGUELA_R2A/CROCO_FILES/croco_grd.nc" ;
    :type = "CROCO runoff file" ;
}
(base) usuario@usuario-PC:~/CROCOV3/BENGUELA_R2A/CROCO_FILES$

```

Figura: croco_runoff.nc

La información del archivo runoff.nc que se muestra en la figura, corresponde al archivo cuando `psource_ncfile_ts=1`. En caso de `psource_ncfile_ts=0`, en el archivo runoff.nc no estarán las variables `temp_src_time`, `salt_src_time`, `temp_src` y `salt_src`.

Creando croco_runoff.nc

Después de ejecutar en MATLAB la rutina `make_runoff.nc`, se habrá generado el archivo `croco_runoff.nc` y además en la terminal de MATLAB aparecerá un mensaje que debe ser copiado en `croco.in`. Por ejemplo:

```
psource_ncfile:  Nsrc  Isrc  Jsrc  Dsrc  qbardir  Lsrc  Tsrc  runoff file name
                  CROCO_FILES/croco_runoff.nc
                2
                  25  34  0  -1   30*T   15.3139  4.928
                  31  19  0  -1   30*T   16.5999  5.1513
```


croco.in

En el archivo *croco.in* debemos indicar:

- Cantidad de ríos (Nsrc)
- Posición de la boca del río (Isrc, Jsrc)
- Dirección (Dsrc)
 - Zonal, Dsrc=0
 - Meridional Dsrc=1
- Sentido
 - Si flujo es O/E o S/N, qbardir=1
 - Si flujo es E/O o N/S, qbardir=-1
- Definición de trazadores (Lsrc) (donde 1era y 2da columna es temp y sal, respectivamente)
 - Si deseamos que el modelo lea trazadores: 30T
 - Si no deseamos que el modelo lea trazadores: 30F
- Valores trazadores (Tsrc) (donde 1era y 2da columna es temp y sal, respectivamente)

```

h cppdefs.h x  make_runoffm x  croco.in x
236 sediment_history_fields: bed_thick bed_poros bed_fra(sand,silt)
237                               20°F
238
239 bbl_history_fields: Abed Hripple Lripple Zbnot Zbapp Bostrw
240                               T       F       F       T       F       T
241
242 floats: LDEFFLT, NFLT, NRPFFLT / inpname, hisname
243                               T       6       0
244                               floats.in
245 CROCO_FILES/floats.nc
246 float_fields: Grdvar Temp Salt Rho Vel
247                               T       T       T       T       T
248
249 stations: LDEFSTA, NSTA, NRPFSTA / inpname, hisname
250                               T       400       0
251                               stations.in
252 CROCO_FILES/stations.nc
253 station_fields: Grdvar Temp Salt Rho Vel
254                               T       T       T       T       T
255
256 psource:  Nsrc  Isrc  Jsrc  Dsrc  Qbar [m3/s]  Lsrc  Tsrc
257            2
258            3  54  1  200.          T T  20. 15.
259            3  40  0  200.          T T  20. 15.
260
261 source_ncfile:  Nsrc  Isrc  Jsrc  Dsrc qbardir  Lsrc  Tsrc  runoff file name
262                CROCO_FILES/croco_runoff.nc
263                2
264                24 35 0 -1 30*T  20.0 15.0
265                35 13 1 -1 30*T  20.0 15.0
266
267 online:  byear  bmonth recordsperday byearend bmonthend / data path
268          2000  1      4              2000    3
269 DATA/CFSR Benguela LR/

```

Figura: Sección `psource_ncfile` en `croco.in`

Configuración de ríos de flujos variable

cppdefs.h

Para que el modelo reconozca la fuente de flujo variable en cppdefs.h y lea el archivo croco_runoff.nc, se debe definir la opción PSOURCE_NCFILE

```
/* Point Sources - Rivers */  
  
# undef PSOURCE  
# define PSOURCE_NCFILE
```

Además, si no deseamos que los trazadores sean leído del archivo croco_runoff.nc (en make_runoff se utilizó la opción psource_ncfile_ts=0), entonces en cppdefs.h:

```
# ifdef PSOURCE_NCFILE  
# undef PSOURCE_NCFILE_TS  
# endif
```

Pero, si deseamos definir los trazadores a partir del archivo croco_runoff.nc (en make_runoff se utilizó la opción psource_ncfile_ts=1), entonces

```
# ifdef PSOURCE_NCFILE  
# define PSOURCE_NCFILE_TS  
# endif
```

param.h

Nuevamente, en caso de incluir más de 100 fuentes se debe modificar la sección !
Point sources, Floast, Stations(en particular en línea 315)

```
!-----  
! Point sources, Floast, Stations  
!-----  
!  
#if defined PSOURCE || defined PSOURCE_NCFILE  
    integer Msrc                ! Number of point sources  
# ifdef RIVER  
    parameter (Msrc=2)          ! =====  
# else  
    parameter (Msrc=100)        ! =====  
# endif  
#endif
```

Posición de fuente en la grilla

- La posición de la fuente debe ubicarse en coordenadas U o V de la grilla y no en coordenadas rho.
- El flujo fluye a través de la cara u (v) hacia la celda
- La cara en U (o la cara en V) debe ser un límite de máscara de tierra / mar (es decir, una línea de costa)
 - Si el flujo se ubica en tierra, no se incluya el efecto de la fuente.
 - Si esta al medio del océano el flujo en esa cara de la celda calculado por el algoritmo de advección es REEMPLAZADO, no aumentado, por la fuente".
- Para buscar la posición utilizar la variable *mask_psi* guardada en *croco_grd.nc*

$$\begin{array}{ccccc}
 \Psi_{i,j+1} & - & V_{i,j+1} & - & \Psi_{i+1,j+1} \\
 | & & | & & | \\
 U_{i,j} & & \rho_{i,j} & & U_{i+1,j} \\
 | & & | & & | \\
 \Psi_{i,j} & - & V_{i,j} & - & \Psi_{i+1,j}
 \end{array}$$

Figura:
Coordenadas
Arakawa-C.
Fuente: Wiki
ROMS-Rutgers .

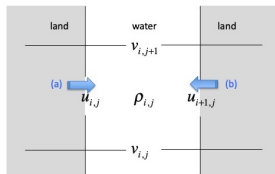
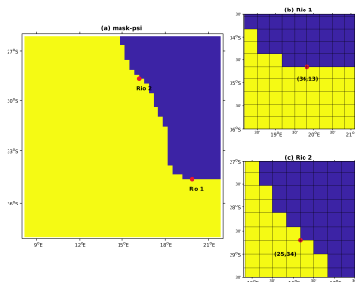


Figura: Ejemplo de índice de la posición de la fuente del punto del río: Fuente: Wiki ROMS-Rutgers .



Distribución vertical de la descarga

Variables a definir en ríos

En el archivo *analytical.F* (que se encuentra en el directorio OCEAN), podemos especificar el tipo de distribución vertical.

Este archivo es un conjunto de subrutina en las cuales se proporcionan varios campos analíticos al modelo cuando son requerido, como por ejemplo la distribución de vertical del flujo. Buscamos la subrutina *ana_psource* (línea 1759), donde se define la parte analítica de los ríos.

```
!-----  
!  
!           subroutine ana_psource  
!-----  
!  
#if defined PSOURCE && defined ANA_PSOURCE  
!  
!-----  
!   Set analytical tracer and mass point sources and sinks  
!-----  
!  
!           subroutine ana_psource_tile (Istr,Iend,Jstr,Jend)  
!           implicit none  
!           # include "param.h"  
!           # include "scalars.h"  
!           # include "sources.h"  
!           # include "ocean3d.h"  
!           # include "grid.h"  
!  
!
```

```

# include "grid.h"
!
...
# elif defined REGIONAL
# define CST_SHAPE
# ifdef CST_SHAPE
    cff=1./float(N)
    do k=1,N                ! Uniform vertical
        do is=1,Nsrc       ! distribution
            Qshape(is,k)=cff
        enddo
    enddo
# elif defined EXP_SHAPE
    do is=1,Nsrc
#   ifdef MPI
        i=Isrc_mpi(is,mynode)
        j=Jsrc_mpi(is,mynode)
#   else
        i=Isrc(is)
        j=Jsrc(is)
#   endif
    Hs=h(i,j)                ! Exponential vertical distribution
    cff=5.                    ! Hs/z0 (z0 surface layer depth)
    cff1=cff/(1-exp(-cff))
    cff2=0.
    do k=1,N
        Qshape(is,k)=cff1*exp(z_r(i,j,k)*cff/Hs)*
&          (z_w(i,j,k)-z_w(i,j,k-1))/Hs
        cff2=cff2+Qshape(is,k)
    enddo
    do k=1,N
        if (cff2 .gt. 0.0) then
            Qshape(is,k)=Qshape(is,k)/cff2
        endif
    enddo
enddo
# endif

```


Conclusiones

- CROCO presenta la opción de incluir ríos donde podemos modificar diversos parametros para que se adapten a nuestro objetivos de estudios.
- Podemos definir ríos de flujo constante y variable, como también definir los trazadores que advectan.
- Se debe recordar que CROCO solo contribuye a describir la influencia del ríos.

Referencias

- Salcedo-Castro, J., Saldias, G. S., Saavedra, F., & Donoso, D. (2020). Climatology of Maipo and Rapel river plumes off Central Chile from numerical simulations. *Regional Studies in Marine Science*, 38, 101389.
- Dai, A., & Trenberth, K. E. (2002). Estimates of freshwater discharge from continents: Latitudinal and seasonal variations. *Journal of hydrometeorology*, 3(6), 660-687.
- Gomes, H. D. R., Xu, Q., Ishizaka, J., Carpenter, E. J., Yager, P. L., & Goes, J. I. (2018). The influence of riverine nutrients in niche partitioning of phytoplankton communities—a contrast between the Amazon River Plume and the ChangJiang (Yangtze) River diluted water of the East China Sea. *Frontiers in Marine Science*, 5, 343.
- Hopkins, J., Lucas, M., Dufau, C., Sutton, M., Stum, J., Lauret, O., & Channelliere, C. (2013). Detection and variability of the Congo River plume from satellite derived sea surface temperature, salinity, ocean colour and sea level. *Remote sensing of environment*, 139, 365-385.
- Han, W., & McCreary Jr, J. P. (2001). Modeling salinity distributions in the Indian Ocean. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 106(C1), 859-877.
- Luo, H., Bracco, A., Cardona, Y., & McWilliams, J. C. (2016). Submesoscale circulation in the northern Gulf of Mexico: Surface processes and the impact of the freshwater river input. *Ocean Modelling*, 101, 68-82.