

# Escuela de Verano 2021

## Modelación Aplicada del Océano usando CROCO

### Clase 07: Ríos

Presentado por: Marcela Contreras

21 de enero de 2021

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).



# Ríos en modelos numéricos oceánicos.

## Ríos en modelos regionales, CROCO

- Los ríos en el modelo son interpretados como fuentes (sumideros), usualmente de agua dulce.
  - Son interpretados como condiciones de bordes para la ecuación de trazadores y de momentum.
  - La desembocadura del río es representado por una celda. En río de mayor aporte, se divide el caudal en varias celdas.
- 
- Modelos regionales, como CROCO, solo muestran la influencia de los ríos en las regiones costeras.
  - Para una reproducción adecuada de la dinámica costera local de los ríos se utilizan modelos costeros (e.g. SWON), ya que capturan mejor los balances friccionales.

## VARIABLES A DEFINIR EN RÍOS

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.

- 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 ( $m^3/s$ ) ( $Q_{bar}$ )
- 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  $q_{bdir}$  (-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`. Entonces 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)

```

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 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 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 ant 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
%
...
.
.
.

```

## Creando croco\_runoff.nc

```

...
..
.
% Fancy plots

plotting=1;
plotting_zoom=0;
%
%=====
% Add biogeochemical variables
if (makepzpd | makepisces | makebioebus)    makebio = 1;
else
    makebio = 0;
end
%%
disp(' ')
disp(['Create runoff forcing from Dai and Trenberth's global monthly climatological run-off dataset'])
disp(' ')
title_name='runoff forcing file (Dai and Trenberth, 2002 dataset)'

%=====
define_dir=0 ; %%->flag to define directly the orientation / direction of the runoff
%
if define_dir==1

    %% Define orientation/direction of the flow. First column is the u- (0) or v- (1)
    %% orientation. Second column is the direction of the flow in the chosen orientation

% $$$    %%EXAMPLE GIGAT1 FAMILY for river # 1 to 9 without #7 and #8
% $$$    dir(1,:) = [0 , 1]; % # Amazon
...
end
%=====
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%% END USERS DEFINED VARIABLES %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%
```

## 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
501     if psource_ncfile_ts_auto
502         %=====
503         ncclim=netcdf(clmname);
504         N=length(ncclim('s_rho'));
505
506         for k0=1:number_rivertoprocess
507             k=rivertoprocess(k0);
508             %
509             % For temperature, use the closest surface point in the clim file
510             % to reduce any heat flux induced by the rivers
511             %
512             T=squeeze(ncclim{'temp'}(:,N,J(k)+1,I(k)+1));
513             my_temp_src0(k,:)=T;
514             %
515             % For salinity ... ?
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 = sctlim -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   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 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\_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*

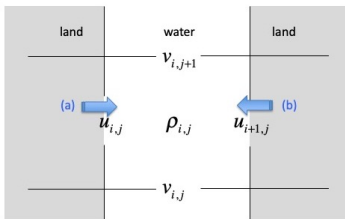
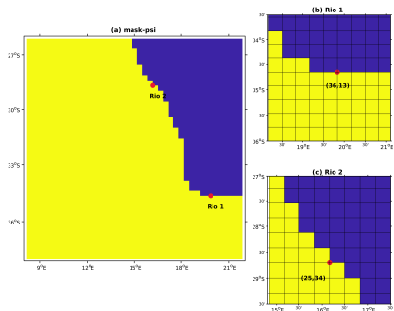


Figura: Ejemplo de índice de la posición de la fuente del punto del río: Caso a (b) flujo oeste - este (este - oeste). Fuente: Wiki ROMS-Rutgers .



# 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.



# NOTA:

Se debe mencionar que en CROCO, está disponible el caso idealizado RIVER. Este caso consiste en una situación hipotética de dos ríos. Para correr ver los ejemplos de los casos

# 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.