

Generar pronósticos meta-oceánicos operacionales con resolución espacial de meso escala (~18km) para el Caribe colombiano, con escalamiento de sub-mesoescala (~6 km).

A continuación se describen los scripts desarrollados para la ejecución operacional del modelo Weather Research and Forecasting (WRF). El documento está organizado de la siguiente manera: i) Descripción del modelo WRF, ii) Requisitos para la ejecución del modelo de pronóstico operacional, iii) Esquema de clases desarrollados para la ejecución operacional del modelo de pronóstico.

Modelo atmosférico: Weather Research and Forecasting (WRF)

El Weather Research and Forecasting ó WRF (por sus siglas en inglés) es un modelo numérico de predicción meteorológica diseñado para fines investigativos y pronóstico operacional. Fue desarrollado por National Center for Atmospheric Research's (NCAR) con la colaboración de Mesoscale and Microscale Meteorology división (MMM), the National Oceanic and Atmospheric Administration's (NOAA), National Centers for Environmental Predictions (NCEP), Earth System Research Laboratory (ESRL).

El modelo WRF incluye el pre-procesamiento de los diferentes modelos globales con los cuales es posible realizar pronósticos operacionales, el WRF pre-processing system ó WPS (por sus siglas en inglés) consta de tres procedimientos, **i) geogrid:** se define el dominio y malla de simulación a partir de la resolución espacial, número de filas y columnas y coordenadas geográficas del centro del dominio. Además, se interpolan parámetros invariantes necesarios para la simulación (uso del suelo, altura sobre el nivel del mar, tipo de suelo entre otros) utilizando bases predefinidas por los desarrolladores del modelo. **ii) ungrib:** Este programa abre los archivos de las condiciones de borde en formato GRIB y genera archivos en un formato más simple llamado Intermediate format, además, verifica que los archivos contengan la información necesaria para la ejecución del modelo. Los archivos GRIB normalmente contienen más información meteorológica de la que se necesita para la ejecución del WRF, por lo tanto se debe identificar y escoger las variables y niveles necesarios. Para esto Ungrib se basa en tablas con el nombre, niveles, código y descripción de las variables y esta tabla es llamada Vtable. **iii) metgrid:** interpola horizontalmente la información meteorológica que se encuentra en los archivos generados por ungrib, a los dominios definidos por el programa geogrid, finalmente los campos interpolados los guarda en archivos en formato netcdf para cada uno de los dominios definidos en geogrid y para cada periodo de tiempo en el cual el modelo va a tomar las condiciones de frontera.

La ejecución del modelo WRF consta de dos procedimientos, i) **real**: pre-procesa la información generada en el WPS para generar las condiciones iniciales y de frontera para la modelación de casos reales. El programa real verifica la disponibilidad de las variables meteorológicas estén disponibles para todos los puntos definidos en la malla tanto en superficie como en los niveles de presión definidos. ii) **wrf**: Esta es la parte del modelo encargado de resolver las ecuaciones dinámicas en el time step indicado en la configuración del modelo. Dichas ecuaciones se resuelven numéricamente utilizando Runge-Kutta3. En este módulo se incluyen también las parametrizaciones que permiten describir los fenómenos físicos cuya escala espacial-temporal es inferior a la resolución fijada en las simulaciones. Cabe resaltar que los scripts que ejecutan el modelo WRF de forma operacional conservan el nombre de cada uno de los procesos descritos previamente.

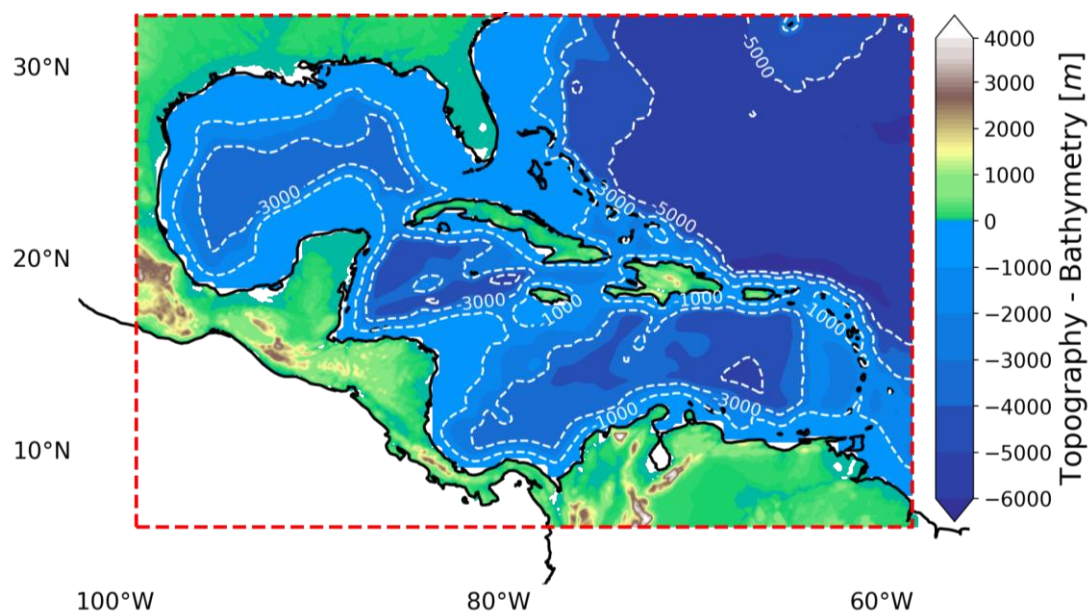


Figura 1

Se configuró el modelo WRF para el dominio mostrado en la Figura 1, el cual abarca el mar Caribe desde la costa Colombiana hasta las antillas mayores (en la dirección sur norte) y desde aproximadamente los 66° W hasta centro América (en la dirección este-oeste). Con una resolución espacial de 9 km y paso temporal de cálculo de 50 s, se utilizó ERA5 como condiciones iniciales y de frontera (cada 6 horas). El conjunto de parametrizaciones utilizadas se muestran en la Tabla 1, las parametrizaciones se escogieron basados en un análisis de sensibilidad realizado previamente (no se mostrará en el presente documento) y en la revisión de bibliografía relacionada.

Tabla 1 Parametrizaciones en la configuración de WRF

Nombre del proceso	Parametrización	Descripción
Microfísica	WSM6 (6)	Cuantifica la cantidad de precipitación en superficie a escala microfísica
Capa límite planetaria	Mellor-Yamada-Janjic (2)	Cuantifica los flujos de calor, momentum y humedad al interior

		de la capa límite planetaria
Cumulus	Kain-Fritsch (1)	Cuantifica perfiles de humedad y temperatura en la atmósfera para procesos convectivos que ocurren a una escala inferior a la resolución espacial
Radiación LW/SW	GFDL/GFDL (99/99)	Cuantifica los flujos radiactivos (onda larga/onda corta), bajo condiciones de cielo despejado y con cobertura de nubes.

Requisitos

La versión del modelo WRF desacoplado es **4.1.5** y la del WPS (WRF pre-processing system) es la **4.1**, para la adecuada compilación del modelo WRF y WPS es necesario compilar adecuadamente las siguientes librerías:

- **jasper 1.900.1**: Necesaria para WPS
- **netcdf 4.1.3**: Necesaria para WRF y WPS
- **mpich 3.3.2**: Necesaria para la ejecución en paralelo del modelo WRF
- **zlib 1.2.11**: Necesaria para WPS
- **libpng 1.6.37**: Necesaria para WPS
- **csh, sh**: Lenguaje de programación para compilar el modelo WRF y WPS
- **gfortran**: Compilador de fortran
- **cpp**: Compilador de c++
- **screen**: Ejecución del modelo en background

Además, se debe verificar que los siguientes comandos están disponibles independiente de la terminal que se está usando: ar, awk, cat, cd, crontab, cp, cut, expr, file, grep, gzip, head, hostname, ln, ls, make, mkdir, m4, mv, nm, printf, rm, sed, sleep, sort, tar, touch, tr, uname, wc, which. Teniendo en cuenta que la ejecución operacional del modelo se realiza desde python es necesario instalar los siguientes paquetes de python3:

- numpy
- os
- pandas
- datetime
- shutil
- fileinput
- subprocess
- wget

Esquema de clases

El piloto operacional para el modelo WRF está basado en dos scripts: i) **clases_wrf.py**, donde se encuentran todas las clases asociadas a la ejecución automática del modelo WRF; ii) **operacional_wrf.py**, donde se definen los parámetros de cada ejecución y se hace un llamado de las clases definidas en **clases_wrf.py**. Inicialmente se debe definir la fecha de inicio del modelo (fecha_ini, en el formato de datetime), el horizonte de pronóstico (nhora, entero en horas) y los siguientes directorios:

- **ruta_main**: ruta donde se raiz del modelo operacional (string)
- **ruta_wpsx**: ruta de los ejecutables de wps (string)
- **ruta_arwx**: ruta de los ejecutables de arw (string)
- **ruta_mpir**: ruta de los ejecutables de mpich (string)

A continuación se describen los argumentos de entrada de cada una de las clases desarrolladas (**clases_wrf.py**) para la ejecución operacional del modelo WRF.

Nombre	Argumentos	Funciones	Descripción
oper_carpetas	ruta_raiz (str) fecha_ini (datetime)	crear_carpetas_l1 crear_carpetas_l2 crear_carpetas_l3	Crea los directorios del esquema descrito previamente, en los diferentes niveles
wrf_gfs	ruta_raiz (str) fecha_ini (datetime) nhora (int)	descarga_gfs	Descarga los resultados del modelo Global Forecast System para el horizonte de pronóstico definido, se utilizan para generar las condiciones de iniciales y de frontera
wrf_geo	ruta_raiz (str) fecha_ini (datetime) ruta_geox (str)	copiar_archivos editar_namelist ejecutar_geogrid	Copia los archivos necesarios para su ejecución, edita el archivo de configuración (namelist.wps) y ejecuta el programa geogrid.exe, el cual hace parte del WPS
wrf_lng	ruta_raiz (str) fecha_ini (datetime) ruta_lngx (str) suffix (str)	ejecutar_linkgrib	Ejecuta linkgrib.csh, el cual hace parte del WPS
wrf_ung	ruta_raiz (str) fecha_ini (datetime) fecha_fin (datetime) ruta_ungx (str)	copiar_archivos editar_namelist ejecutar_ungrib	Copia los archivos necesarios para su ejecución, edita el archivo de configuración (namelist.wps) y ejecuta el programa ungrib.exe, el cual hace parte del WPS

wrf_met	ruta_raiz (str) fecha_ini (datetime) fecha_fin (datetime) ruta_metx (str)	copiar_archivos editar_namelist ejecutar_metgrid	Copia los archivos necesarios para su ejecución, edita el archivo de configuración (namelist.wps) y ejecuta el programa metgrid.exe, el cual hace parte del WPS
wrf_real	ruta_raiz (str) fecha_ini (datetime) fecha_fin (datetime) ruta_realx (str)	copiar_archivos editar_namelist ejecutar_real	Copia los archivos necesarios para su ejecución, edita el archivo de configuración (namelist.wps) y ejecuta el programa real.exe, el cual hace parte del ARW
wrf_wrf	ruta_raiz (str) fecha_ini (datetime) ruta_mpix (str) nproc (int) name_nodo (str) ruta_wrfx (str)	ejecutar_wrf	Ejecuta el modelo WRF
oper_copiar	ruta_raiz fecha_ini	copia_wrfout copia_wrfhr copia_wrfst copia_config copia_gfs	Copia los resultados del modelo, condiciones de frontera y archivos de configuración del modelo, del directorio temporal de ejecución al directorio de almacenamiento

Resultados

Los resultados del modelo WRF desacoplado comparados con los resultados del modelo acoplado se muestran en el Anexo 3.C_WRF-CROCO_AcopladoPronostico.

Las rutinas de preprocesamiento, ejecución y posprocesamiento de los resultados estan indicadas en el material complementario 3.