

INFORME FINAL

COORDINACIÓN DE HIDROLOGÍA
SUBCOORDINACIÓN DE HIDROMETEOROLOGÍA

PROYECTO INTERNO TH1409.1

Sistema de Pronóstico Numérico de Oleaje
para las costas Mexicanas utilizando modelos acoplados.

Dr. José Antonio Salinas Prieto.

LI. Constantina Hernández

Ing. Jorge Armando Ibarra Romero

NOVIEMBRE DE 2014

Contenido

Introducción.....	4
Objetivos.....	6
Metodología.....	6
Descripción del modelo WRF	10
GEOGRID.....	10
UNGRIB	11
METGRID.....	11
REAL.....	11
WRF.....	11
Procesamiento en paralelo.....	12
Configuración en paralelo del modelo WRF	13
Descripción del modelo WAM	19
Diagrama de flujo de modelo WAM.....	19
Módulo 1: Preprowk	19
Archivo par_coarse.f.....	20
Módulo 1: Presetwk	21
Módulo 1: Wamodwk.....	21
Descripción del modelo SWAN.....	23
Diagrama de flujo modelo SWAN.....	25
Diagrama general.....	27
Configuraciones de las mallas anidadas	28
Datos observados de oleaje y viento para verificaciones	28
Resultados	29
Automatización de la ejecución del modelo WRF	29
Casos de estudio	33
Discusiones y conclusiones.....	43
Bibliografía.....	45

Resumen

Se incorporó al sistema POMA (Pronóstico de Oleaje con Modelos Acoplados) desarrollado durante 2006 y 2007 con patrocinio del IMTA, el modelo atmosférico WRF, en sustitución del modelo MM5 y se aplicó esta nueva versión a costas mexicanas en una nueva configuración de mallas que cubren el Atlántico en el Hemisferio Norte, (modelos WRF y WAM) para oleaje distante que se aproxima al Golfo de México, para oleaje local, se incorporaron dos mallas anidadas con el modelo SWAN. Para el Pacífico, se generó una malla que lo abarca totalmente, (modelos WRF, y WAM) para oleaje distante que se aproxima a costas del Pacífico Mexicano, para oleaje local, se generó una malla anidada con el modelo SWAN. Se evaluó el desempeño del nuevo sistema de modelación mediante verificaciones de las simulaciones de oleaje comparando con observaciones disponibles de la región obtenidas por el Centro Nacional de Datos de Boyas de EU para los siguientes eventos atmosféricos: frente frío: 1-6 de enero 2014, corriente en chorro del Caribe: 14-18 julio 2014, oleaje distante: 1-6 julio 2014 y huracán Marie en el Pacífico: 25-27 de agosto 2014, ello mediante las métricas: raíz cuadrática media, error medio absoluto y varianza, comparando con las observaciones disponibles en el Golfo de México y Caribe.

Los resultados de las simulaciones en esta nueva configuración en tiempo real se actualizan automáticamente en una nueva página WEB <http://ciclón.imta.mx/wrf-oleaje/> de consulta dinámica de pronóstico para 48 horas en Pacífico del sur, central y del este, Pacífico Mexicano, Golfo de México y Caribe con gráficos animados de rapidez y dirección de viento, altura significativa de ola en formato GIF. Los procedimientos se describen en un manual de operación e interpretación para usuarios del sistema, el cual contiene los alcances y limitaciones del sistema y se accede desde la página WEB de resultados.

Introducción

El oleaje es uno de los procesos oceánicos con mayor influencia en diversos sectores socio-económicos, ya que afecta tanto a la navegación como a actividades marinas y costeras, de ahí la importancia de su medición y pronóstico sistemáticos. Generar redes de observación que abarquen el mar patrimonial mexicano es una tarea costosa, no obstante es posible utilizar fuentes alternativas y complementarias de información del comportamiento del oleaje, como la modelación numérica. En los últimos años se ha incrementado la demanda del pronóstico de oleaje, tanto para actividades en ciudades costeras, la navegación y planeación de infraestructura portuaria. Dada su versatilidad, la modelación numérica, es una alternativa para la descripción de la dinámica del oleaje, que en tiempo real se convierte en una herramienta de pronóstico. El auge de los modelos numéricos de atmósfera y océano en los últimos años se debe al avance tecnológico en el equipo de cómputo, aumentando tanto la cantidad de operaciones por unidad de tiempo, como su capacidad de almacenamiento, estos modelos numéricos han tenido en los últimos años un creciente uso tanto por su desempeño favorable, como por la incorporación de nueva tecnología de cómputo.

El desarrollo de modelos numéricos de viento y oleaje ha alcanzado una etapa de madurez, ya que estos modelos describen tanto la dinámica general de los procesos de transferencia de momento desde la atmósfera hacia el océano como la transferencia entre componentes espectrales (oleaje de diferente período y dirección). Esta etapa debe aprovecharse en países en vías de desarrollo como México, ya que ante la creciente demanda de datos de oleaje en tiempo real y el alto costo de instrumentar los amplios mares territoriales mexicanos (uno de los más grandes del mundo), la modelación numérica, adecuadamente validada, se convierte en una herramienta complementaria de suma utilidad para la toma de decisiones ante eventos extremos con fines de protección civil, de planeación y de actividades costeras cotidianas. Por otra parte, la relación costo- beneficio de la modelación numérica es favorable, ya que el costo de la ejecución de modelos ha disminuido gracias al desarrollo tecnológico (computadoras con procesadores más rápidos y en paralelo, transferencia electrónica de datos en mayor ancho de banda y desarrollos WEB eficientes para difundir los resultados).

Los modelos numéricos de la atmósfera y del océano han tenido en los últimos años un creciente uso tanto por su desempeño favorable, como por la incorporación de nueva tecnología de cómputo. Estos modelos son versátiles al reproducir la dinámica del océano y atmósfera, ya que además de ser factible repetir experimentos numéricos, el costo de computadoras de alto rendimiento es cada vez menor. Así, la modelación numérica de la atmósfera se convirtió en los últimos 20 años en una herramienta incorporada a la comunidad operativa, ya que en sus orígenes estuvo confinada en la comunidad científica. Con ello, los modelos son sometidos a exhaustivas pruebas, mediante transparentes evaluaciones, manteniéndose así en una mejora continua. En cuanto a los modelos numéricos de oleaje, también han tenido un auge en los últimos años, debido a que el oleaje aunado a las mareas, son los procesos oceánicos de mayor impacto en actividades humanas. Dada la complicada dinámica del oleaje y la inoperancia de manejar olas individuales, los modelos numéricos funcionan separando los grupos de olas con períodos similares (modelos espectrales), manejando tanto la respuesta al forzamiento del viento, como la interacción entre estos grupos de olas, de manera independiente, aunque el resultado

final se presenta de manera acoplada, tal como funciona en la naturaleza. El desarrollo de modelos de oleaje ha transitado por diferentes fases, las cuales se han clasificado de acuerdo a la forma de abordar el crecimiento, disipación y transferencia de energía entre componentes de oleaje de diferente tamaño y período. En la actualidad, las mejoras en estos modelos se dan en los cálculos de transferencia de energía entre estos grupos de olas, y ello ha sido posible gracias al equipo de cómputo de alto rendimiento. En general, estos modelos manejan la fluctuación del oleaje en tiempo y espacio mediante una ecuación de conservación de energía, la cual considera la energía del oleaje, velocidad de propagación y su fuente energética, dividiéndose en: el forzamiento del viento, la transferencia entre olas y la disipación (pérdida de energía).

El desarrollo de los modelos numéricos de oleaje ha transitado por diversas etapas, las cuales se han clasificado de acuerdo a la forma de abordar el crecimiento, disipación y transferencia de energía entre componentes espectrales adyacentes. En 1955, Pierson, Neumann y James desarrollaron el Método Espectral, el cual estima las componentes oscilatorias que conforman al oleaje. Este método describe matemáticamente la distribución del cuadrado de las elevaciones de la superficie del mar en función de su frecuencia. Una característica importante del espectro de potencia del oleaje es que la energía del mismo está concentrada en un ancho de banda angosta alrededor de la frecuencia más energética. Esta energía se incrementará si aumenta la velocidad del viento. Dada la complicada dinámica del oleaje, los modelos numéricos que lo describen funcionan separando los grupos de olas con períodos similares (modelos espectrales), manejando de manera independiente tanto la respuesta al forzamiento del viento, como la interacción entre estos grupos de olas, aunque el resultado final se presenta de manera acoplada, tal como funciona en la naturaleza. El desarrollo de modelos de oleaje ha transitado por diferentes fases, las cuales se han clasificado de acuerdo a la forma de abordar el crecimiento, disipación y transferencia de energía entre componentes de oleaje de diferente tamaño y período.

En la actualidad, las mejoras en estos modelos son en los cálculos de transferencia de energía entre estos grupos de olas, y ello ha sido posible gracias al equipo de cómputo de alto rendimiento. En general, estos modelos manejan la fluctuación del oleaje en tiempo y espacio mediante una ecuación de conservación de energía, la cual considera la energía del oleaje, velocidad de propagación y su fuente energética, dividiéndose en: el forzamiento del viento, la transferencia entre olas y la disipación (pérdida de energía).

La creciente confiabilidad de los modelos espectrales de oleaje ha permitido que sean utilizados de manera sistemática de manera operativa en los llamados países desarrollados. Las etapas de transición de los modelos numéricos de oleaje fueron descritas brevemente en el informe anterior, fundamentalmente dependen del manejo del crecimiento, la transferencia energética entre componentes espectrales y de los procesos de disipación, por ello a estos tipos de modelos se les llama espectrales. El estado de desarrollo actual de estos modelos espectrales permite sean transferidos a la comunidad operativa, ello dada la creciente versatilidad de la modelación numérica de la atmósfera y del oleaje, la cual se refleja en la facilidad de reproducir su dinámica a un bajo costo, como en experimentos numéricos y reproducción de casos históricos para conocer sus alcances y limitaciones.

Objetivos

1. Actualizar el sistema *POMA* (*Pronóstico de Oleaje con Modelos Acoplados*) desarrollado en el IMTA en 2006 y 2007 mediante la sustitución del modelo atmosférico MM5 por el modelo WRF.
2. Verificar el desempeño del sistema *POMA* utilizando la base de datos del Centro Nacional de Datos de Boyas (NDBC, por sus siglas en inglés) en eventos históricos bajo condiciones: de nortes, oleaje lejano (situación en calma en condiciones atmosféricas locales) y ciclones tropicales.
3. Actualización automática de una página WEB de consulta dinámica de resultados.

Metodología

La actualización del sistema de simulación de oleaje consistió en la sustitución del modelo MM5 por el modelo WRF, para simular numéricamente las condiciones oceánicas y atmosféricas sobre el Pacífico, las nuevas configuraciones de las mallas se realizaron para que incluya el oleaje distante del pacífico del sur y del oeste, que afectan las costas mexicanas del Pacífico, además de extender la malla del Caribe hacia el este, para incorporar los efectos de la dinámica atmosférica del caribe. Para ello, se generaron dos grandes dominios: uno sobre el Atlántico para reproducir el oleaje distante, dentro de este dominio se generó una malla con resolución espacial de 30 Km. El segundo dominio sobre el Pacífico, para reproducir oleaje de ambos hemisferios, dentro de este dominio se generó un subdominios para costas mexicanas. Las variables a simular son: rapidez y dirección de viento, altura significativa de ola. Las mallas externas darán las condiciones iniciales y de frontera a las mallas ubicada sobre las costas mexicanas para simular oleaje.

Para ello se generaron los macros y programas necesarios para transferir la información de condiciones iniciales y de frontera, como viento (modelo WRF) y oleaje (WAM y SWAN), incorporando datos de la batimetría de la base de datos ETOPO II, aplicando un estudio del desempeño de los modelos al compararlos con las simulaciones numéricas aplicando parámetros estadísticos como error cuadrático medio y error medio absoluto entre observaciones y simulaciones, además de varianza.

Los procesos de anidamiento se automatizaron a través de macros que transfieren la información adecuada, como fechas y tiempos de simulación, así como las variables que se desplegarán como resultados. Los resultados se actualizan automáticamente una página WEB de desplegado de resultados gráficos.

El esquema de la transferencia de datos entre las principales componentes del sistema de simulación de oleaje se muestra en la Fig. 1.

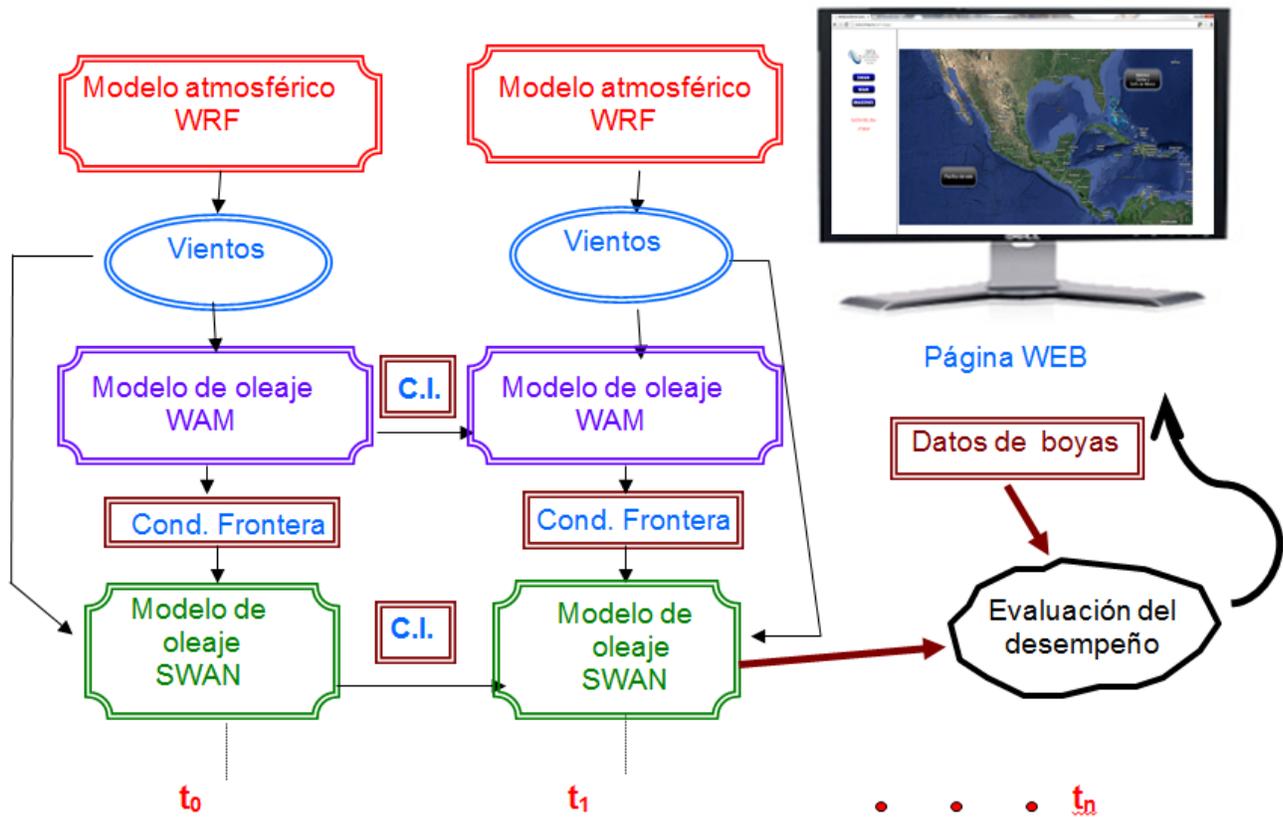


Fig. 1 Diagrama de las componentes principales del sistema de simulación de oleaje a diferentes tiempos.

La configuración de dos grandes mallas se realizó de la siguiente forma: la primera cubriendo el Atlántico tropical sobre el hemisferio norte, y la segunda cubriendo el Pacífico del sur, hasta el Pacífico del norte desde las costas de Australia y Asia para simular viento a 10 m. de altura. (Tabla 1)

Tabla 1. Configuración de las mallas utilizadas en este estudio y configuración geográfica: $\Delta\lambda,0$ es la resolución espacial en longitud λ y latitud ϕ y $N\lambda$ y $N\phi$ y son el número de puntos en λ y ϕ , respectivamente.

<i>Mallas</i>	<i>Longitud</i>	<i>Latitud</i>	$\Delta\lambda,0$	$N\lambda$	$N\phi$
Gruesa(WRF)	-175.827°, - 60.173°	-41.784°, 33.890°	0.25	158	80
Gruesa(WAM)	-175.827°, - 60.173°	-41.784°, 33.890°	.7°	159	104

Fina(SWAN)	-120°, -62°	10°, 33°	0.1	381	231
------------	-------------	----------	-----	-----	-----

Tabla 2. Dominio espectral para los modelos de oleaje f_{low} f_{high} [s⁻¹] son frecuencias espectrales mínima y máxima, respectivamente; n_f , el número de frecuencias espectrales; Δf , el ancho espectral de la frecuencia, y $\Delta\theta$ es el ancho espectral de dirección.

Parámetros	Valores
f_{low}, f_{high} [s ⁻¹]	0.0412, 0.4060
$n_f, \Delta f$	24, 0.1xf
$n_\theta, \Delta\theta$	36, 10°

Para simular numéricamente el oleaje distante que arriba a costas mexicanas del Pacífico durante el invierno del hemisferio sur (verano del hemisferio norte) se generó una malla desde 40°S hasta 35°N y de 60°W hasta 180°W (Fig. 2).

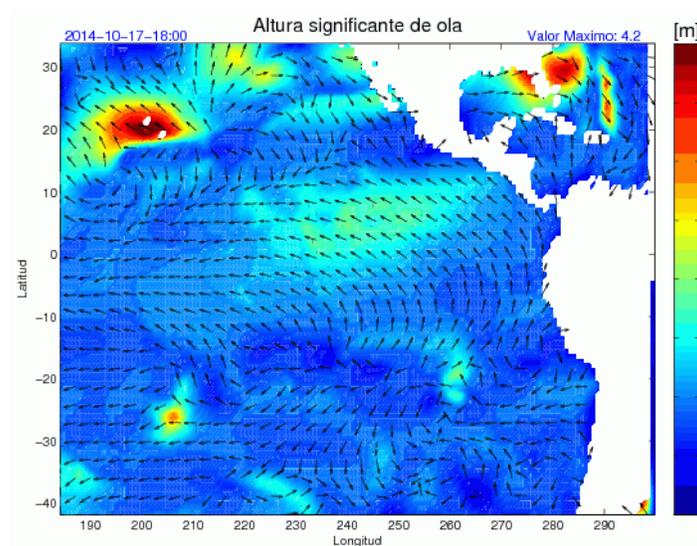


Fig. 2. Área geográfica de la malla del Pacífico (modelo WAM).

Generación de mallas anidadas dentro del nuevo dominio del Pacífico.

Mediante anidamientos del modelo SWAN en el modelo WAM se generaron dos mallas, la primera cubriendo el Pacífico del este abarcando las costas mexicanas (Fig. 3) y la segunda cubriendo el Atlántico (Fig. 4)

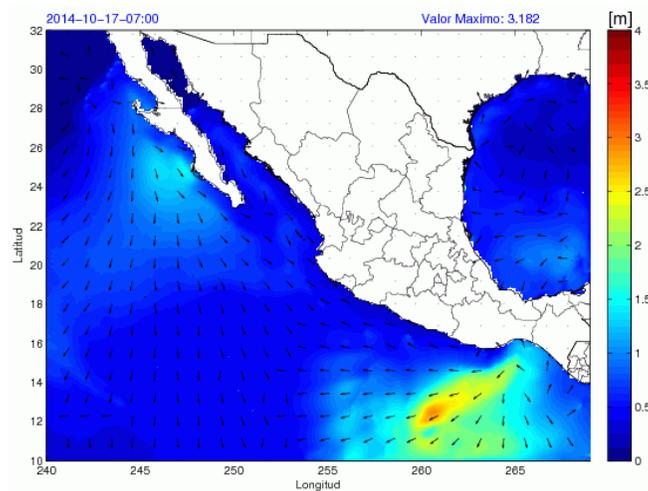


Fig. 3. Área geográfica de la malla anidada del Pacífico (modelo SWAN).

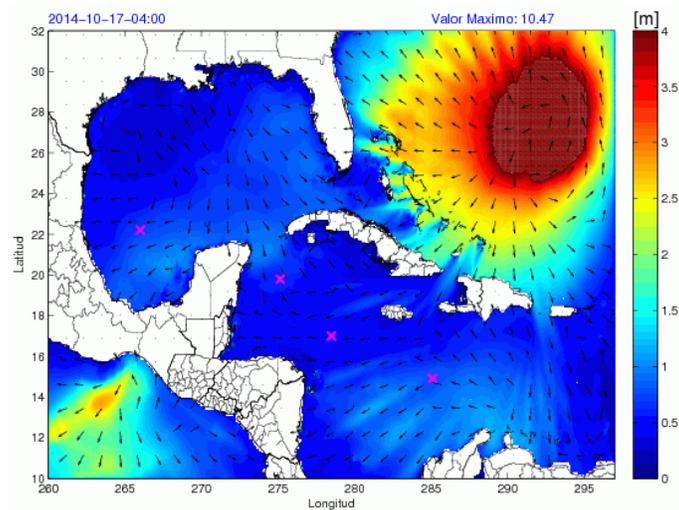


Fig. 4. Área geográfica de la malla anidada del Atlántico (modelo SWAN).

El estudio del desempeño del sistema se realizó mediante comparación entre simulaciones y observaciones mediante el cálculo de los parámetros estadísticos: error cuadrático medio, error medio absoluto y varianza para calibrar las simulaciones numéricas para la región donde existan boyas del Centro Nacional de Datos de Boyas (NDBC).

Descripción del modelo WRF

El modelo atmosférico WRF (The Weather Research and Forecasting) es de área limitada, no hidrostático, sensible a las características del terreno y diseñado para predecir la circulación atmosférica a escala sinóptica, mesoescala y regional. Se trata de un modelo a disposición de la comunidad científica cuyas principales características son las siguientes:

- Capacidad de anidamiento múltiple.
- Dinámicas no hidrostáticas, lo que permite al modelo ser usado en una escala de unos pocos kilómetros.
- Una gran capacidad de asimilación de información.
- Múltiples opciones de parametrizaciones físicas.

WRF ha sido desarrollado en colaboración entre la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), el National Center for Atmospheric Research (NCAR) y otras organizaciones.

La implantación del modelo tiene capacidad multitarea para memoria compartida y distribuida.

Está preparado para trabajar en entornos de cálculo paralelo con memoria compartida, mediante OpenMP, y de memoria distribuida, mediante MPI. Además, el modelo tiene la capacidad de combinar ambas tecnologías.

El modelo de predicción numérica WRF se compone de varios módulos que se reparten distintas funcionalidades:

- **GEOGRID:** Permite configurar el área geográfica objeto de estudio.
- **UNGRIB:** Prepara los datos de inicialización del modelo y las condiciones de contorno.
- **METGRID:** Interpola horizontalmente los diferentes campos meteorológicos extraídos de los datos de inicialización del modelo.
- **REAL:** Realiza la interpolación vertical de los datos.
- **WRF:** Contiene las ecuaciones físicas de pronóstico y diagnóstico que permiten realizar una predicción con un horizonte temporal prefijado.

GEOGRID

Geogrid permite seleccionar el área geográfica de interés, teniendo en cuenta la topografía, usos del suelo y características físicas del terreno en función de la época del año. El dominio seleccionado queda definido por las coordenadas geográficas de las fronteras de dicho dominio.

El anidamiento es necesario para realizar pronósticos en áreas del orden de mesoescala. La resolución espacial de las condiciones iniciales fijadas desde un modelo de circulación general obliga a definir dominios que permitan ejecutar el modelo, imponiendo las condiciones de contorno necesarias para asegurar la estabilidad de las salidas.

UNGRIB

En este módulo se preparan los datos de inicialización del modelo y las condiciones de contorno, fijados por la salida de un modelo de mayor cobertura espacial, como GFS5 o ECMWF6, adaptándose a las características de los dominios definidos en GEOGRID.

METGRID

En este módulo los valores de los campos meteorológicos correspondientes a las condiciones iniciales, son interpolados horizontalmente a la rejilla definida.

REAL

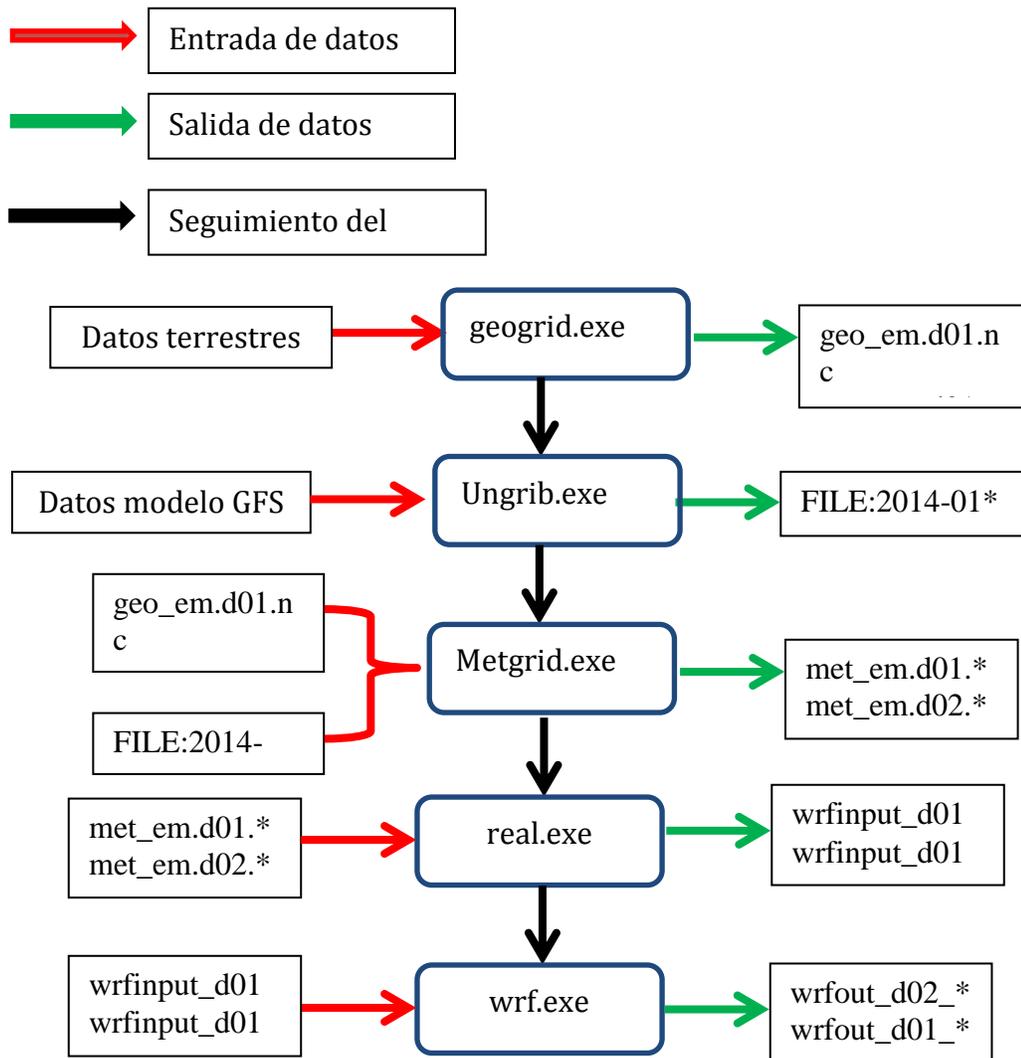
REAL realiza la interpolación vertical desde los niveles de presión hasta el sistema de coordenadas normalizadas sigma de WRF. Se trata de la definición de un sistema de coordenadas, que sigue las irregularidades propias del terreno, adaptándose a los distintos tipos de orografía presente en los dominios de predicción.

WRF

El módulo WRF contiene las ecuaciones físicas de pronóstico y diagnóstico que permiten realizar una predicción con un horizonte temporal prefijado.

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.

Diagrama de flujo Modelo WRF



Procesamiento en paralelo

Es un proceso empleado para acelerar el tiempo de ejecución de un programa dividiéndolo en múltiples trozos que se ejecutarán al mismo tiempo, cada uno en sus propios procesadores.

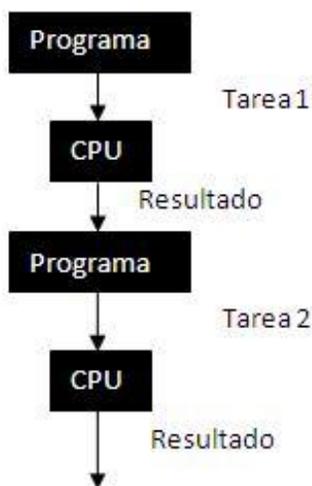
La razón principal para crear y utilizar computación paralela es que el paralelismo es una de las mejores formas de salvar el problema del cuello de botella que significa la velocidad de un único procesador.

Las aplicaciones que se benefician de una aceleración más significativa son las simulaciones de modelos moleculares, climáticos o económicos tienen todas una amplia componente paralela, como los sistemas que representan.

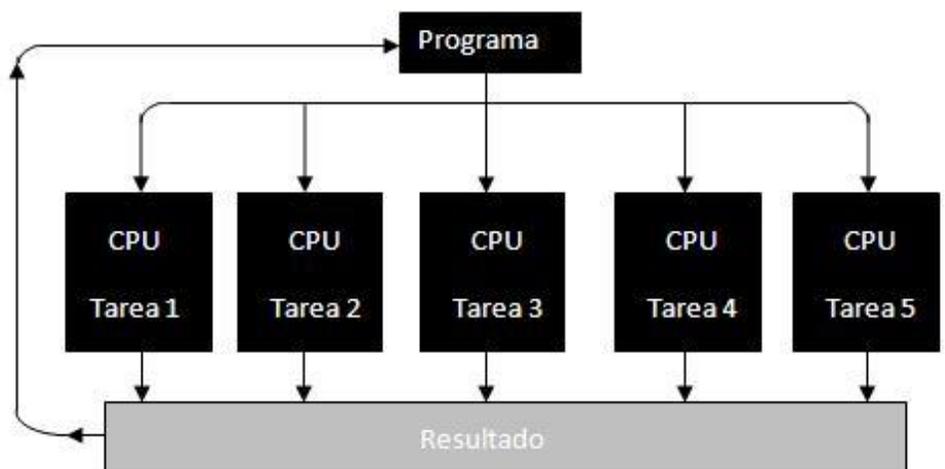
El hardware de la máquina entra en juego ya que es preciso maximizar la relación entre el tiempo de cálculo útil y el perdido en el paso de mensajes, parámetros que dependen de la capacidad de proceso de las CPUs y de la velocidad de la red de comunicaciones.

La figura siguiente compara el procesamiento en paralelo con el procesamiento en serie usado en computadoras convencionales. En el procesamiento en paralelo, múltiples unidades de procesamiento (CPUs) dividen un proceso en partes pequeñas y trabajan al mismo tiempo.

PROCESAMIENTO EN SERIE



PROCESAMIENTO EN PARALELO



Configuración en paralelo del modelo WRF

Para iniciar la configuración en paralelo del modelo WRF, moverse al directorio `/home/simpat/WRF/WRFV3` y ejecutar el siguiente comando.

```
[simpat@gaial1 WRFV3]$ ./configure
```

Al ejecutar el comando se desglosara una lista de opciones, Estas opciones van desde la compilación para un solo puesto de trabajo del procesador, para usar OpenMP de memoria compartida o las opciones de paralelización de memoria distribuida para múltiples procesadores. Algunas opciones de soporte de anidación, otros no lo hacen.

- **serial:** solo procesador.
- **smpar:** opción de memoria compartida (OpenMP).
- **dmpar:** opción de memoria distribuida (MPI).
- **dm + sm:** Memoria distribuida con memoria compartida (por ejemplo, a través de MPI nodos con OpenMP dentro de un nodo) - por lo general un mejor rendimiento es a través **dmpar** sólo.

En este caso seleccionar la opción número 3.

```
[simpat@gaia1 WRFV3]$ ./configure
checking for perl5... no
checking for perl... found /usr/bin/perl (perl)
Will use NETCDF in dir: /export/comp/NetCDF
PHDF5 not set in environment. Will configure WRF for use without.
which: no timex in (./:/usr/local/ncl-6.1.2/bin:/export/comp/pgi/linux86-64/13.9/bin:/usr/local/bin:/bin:/usr/bin:/opt/bio/ncbi/bin:/opt/bio/mpiblast/bin:/opt/mrbayes:/opt/bio/fasta:/opt/bio/glimmer/bin:/opt/bio/glimmer/scripts:/opt/bio/gromacs/ganglia/bin:/opt/ganglia/sbin:/usr/java/latest/bin:/opt/maven/bin:/opt/pdsh/bin:/opt/simpat/matlab/bin:/NCARG_ROOT/bin:/export/comp/pgi/linux86/13.9/bin:/home/simpat/bin)
$JASPERLIB or $JASPERINC not found in environment, configuring to build without grid
-----
Please select from among the following supported platforms.

 1. Linux x86_64 i486 i586 i686, PGI compiler with gcc (serial)
 2. Linux x86_64 i486 i586 i686, PGI compiler with gcc (smpar)
 3. Linux x86_64 i486 i586 i686, PGI compiler with gcc (dmpar)
 4. Linux x86_64 i486 i586 i686, PGI compiler with gcc (dm+sm)
 5. Linux x86_64 i486 i586 i686 PGI compiler with pgcc YELLOWSTONE (serial)
 6. Linux x86_64 i486 i586 i686 PGI compiler with pgcc YELLOWSTONE (smpar)
 7. Linux x86_64 i486 i586 i686 PGI compiler with pgcc YELLOWSTONE (dmpar)
 8. Linux x86_64 i486 i586 i686 PGI compiler with pgcc YELLOWSTONE (dm+sm)
 9. Linux x86_64, PGI compiler with pgcc, SGI MPT (serial)
10. Linux x86_64, PGI compiler with pgcc, SGI MPT (smpar)
11. Linux x86_64, PGI compiler with pgcc, SGI MPT (dmpar)
12. Linux x86_64, PGI compiler with pgcc, SGI MPT (dm+sm)
13. Linux x86_64, PGI accelerator compiler with gcc (serial)
14. Linux x86_64, PGI accelerator compiler with gcc (smpar)
15. Linux x86_64, PGI accelerator compiler with gcc (dmpar)
16. Linux x86_64, PGI accelerator compiler with gcc (dm+sm)
17. Linux x86_64 i486 i586 i686, ifort compiler with icc (serial)
```

Una vez realiza la selección, seleccionamos el tipo de anidacion, en este caso es 1 la básica, por ultimo enter para iniciar la configuración.

```
Enter selection [1-55] : 3
-----
Compile for nesting? (1=basic, 2=preset moves, 3=vortex following) [default 1]: 1
```

La configuración anterior creará un archivo llamado *configure.wrf*, editamos el archivo y buscamos la sección: *Settings for Linux x86_64 i486 i586 i686, PGI compiler with gcc (dmpar)*

```
[simpat@gaiia1 WRFV3]$ vim configure.wrf
```

En las variables SFC y CCOMP, colocamos la dirección exacta de los compiladores de PGI quedando el archivo como se muestra en la siguiente imagen.

```
#### Architecture specific settings ####
# Settings for Linux x86_64 i486 i586 i686, PGI compiler with gcc (dmpar)
#
DMPARALLEL      =      1
OMPCCPP         =      # -D_OPENMP
OMP              =      # -mp -Minfo=mp -Mrecursive
OMPCC           =      # -mp
SFC              =      /export/comp/pgi/linux86-64/13.9/bin/pgf90
SCC              =      gcc
CCOMP           =      /export/comp/pgi/linux86-64/13.9/bin/pgcc
DM_FC           =      mpif90 -f90=$(SFC)
DM_CC           =      mpicc -cc=$(SCC) -DMPI2_SUPPORT
FC              =      $(DM_FC)
CC              =      $(DM_CC) -DFSEEK064_OK
LD              =      $(FC)
RWORDSIZE       =      $(NATIVE_RWORDSIZE)
PROMOTION       =      -r$(RWORDSIZE) -i4
ARCH_LOCAL      =      -DNONSTANDARD_SYSTEM_SUBR -DWRF_USE_CLM
CFLAGS_LOCAL    =      -w -O3
LDFLAGS_LOCAL   =
```

Después de haber realizado la configuración y los cambios necesarios al archivo *configure.wrf*, ejecutamos el siguiente comando, para iniciar la compilación del modelo WRF para datos reales.

```
[simpat@gaiia1 WRFV3]$ ./compile em_real >& compile.log
```

La ejecución del comando anterior genera un archivo llamado compile.log el cual lo editamos y buscamos la palabra Error, esto se realiza para verificar la compilación exitosa del modelo WRF.

El siguiente paso es editar el archivo machinefile y modificarlo, quedando de la siguiente manera.

```
[simpat@gaiia1 run]$ vim machinefile
compute-0-0:8
compute-0-1:8
compute-0-2:8
compute-0-3:8
compute-0-4:8
compute-0-5:8
compute-0-6:8
compute-0-7:8
compute-0-8:8
~
~
```

Por último paso para ejecutar el modelo WRF en paralelo se ejecuta el siguiente comando.

```
[simpat@gaiia1 run]$ /export/comp/mpich/bin/mpirun -f machinefile ./wrf.exe
```

Cuando el comando se ejecuta correctamente, sale en pantalla los siguientes mensajes.

```
[simpat@gaia1 run]$ /export/comp/mpich/bin/mpirun -f machinefile ./wrf.exe
Warning: Permanently added 'compute-0-8' (RSA) to the list of known hosts.
starting wrf task      24 of starting wrf task      17 starting wrf task      40 of      72
starting wrf task      0 of      72
starting wrf task      56 of      72
72
starting wrf task      19 of      72
starting wrf task      41 of      72
starting wrf task      4 of      72
starting wrf task      58 of      72
starting wrf task      26 of      72
of      72
starting wrf task      43 of starting wrf task      5 of      72
starting wrf task      59 of      72
starting wrf task      27 of      72
starting wrf task      20 of      72
starting wrf task      45 of      72
starting wrf task      6 of      72
starting wrf task      61 of      72
starting wrf task      28 of      72
starting wrf task      22 of      72
starting wrf task      42 of      72
starting wrf task      1 of      72
starting wrf task      63 of      72
starting wrf task      30 of      72
starting wrf task      16 of      72
72
starting wrf task      2 of      72
starting wrf task      57 of      72
starting wrf task      29 of      72
starting wrf task      21 of      72
starting wrf task      44 of      72
starting wrf task      3 of      72
starting wrf task      60 of      72
starting wrf task      31 of      72
starting wrf task      23 of      72
starting wrf task      46 of      72
starting wrf task      7 of      72
starting wrf task      62 of      72
starting wrf task      25 of      72
starting wrf task      47 of      72
starting wrf task      18 of      72
starting wrf task      55 of      72
starting wrf task      50 of      72
```

El modelo WRF genera como salida dos archivos, ya que fue configurado para dos dominios, los archivos son en formato NetCDF.

```
-rw-rw-r-- 1 simpat simpat 5504629348 Feb 6 11:20 wrfout_d01_2013-11-26_00:00:00
-rw-rw-r-- 1 simpat simpat 11073016596 Feb 6 11:21 wrfout_d02_2013-11-26_00:00:00
```

Generación de programas de transferencia de las condiciones iniciales del modelo WRF al modelo WAM en ambos océanos y en las cinco mallas anidadas.

Las condiciones iniciales y de frontera se generan automáticamente mediante la automatización de procesos, desde la descarga de datos del modelo GFS hasta el recorte y generación de mallas en el dominio de la Fig. (), donde se muestra el área geográfica que simulara el modelo WRF:

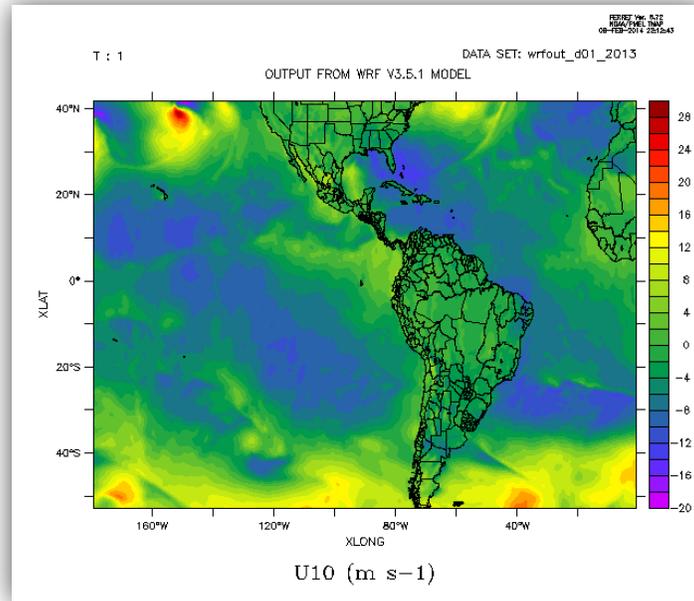


Fig.5 dominio 1: Atlántico y Pacífico variable U10

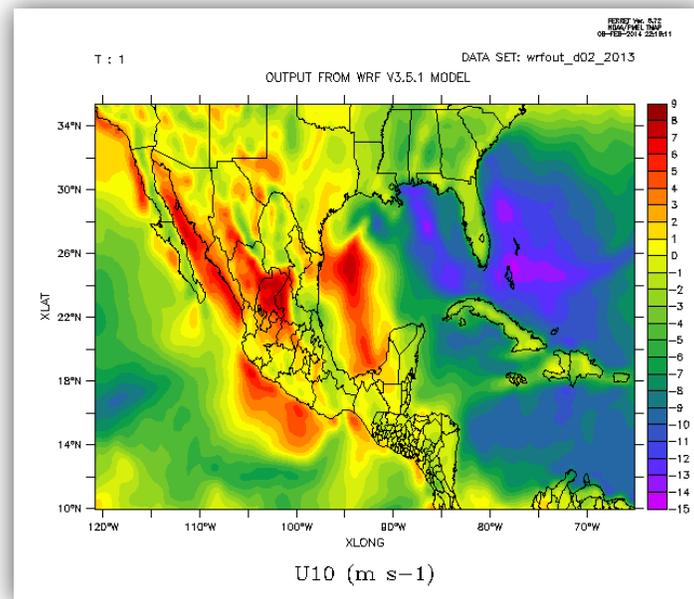


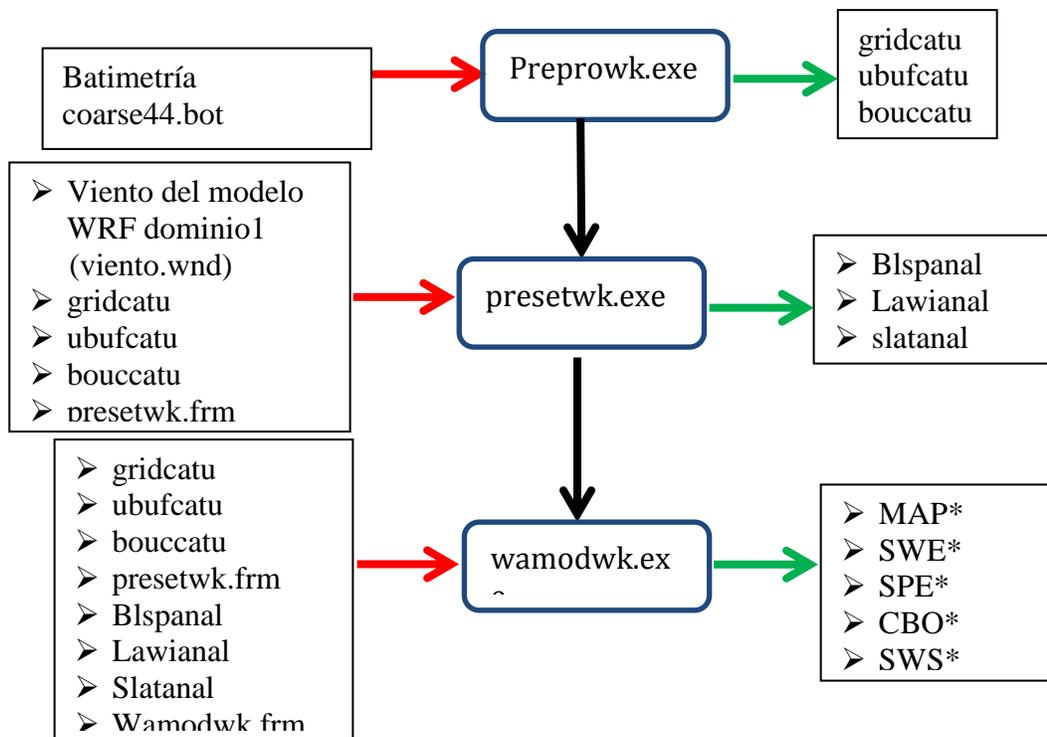
Fig.6 dominio 2: Pacífico, Golfo de México y Caribe variable U10

Descripción del modelo WAM

Simula numéricamente oleaje en aguas profundas utilizando forzamientos provenientes del modelo MM5 (viento a 10m. de altura sobre el nivel de superficie). Para que el modelo WAM proporcionara las condiciones de frontera para el SWAN y las condiciones iniciales para el mismo WAM, se agregó la información adecuada en los módulos llamados PREPROWK.FRM y WAMODWK.FRM.

Generación de un campo de oleaje para utilizarlo como condiciones iniciales para el siguiente intervalo de simulación: En WAMODWK.FRM se estableció la información necesaria para que el modelo WAM produjera el campo de oleaje a las 24 horas, las cuales sirven como condiciones iniciales para el próximo intervalo de simulación de oleaje.

Diagrama de flujo de modelo WAM



El modelo WAM se divide en 4 **modulos preprowk, presetwk,wamodwk y pgridwk.**

Módulo 1: Preprowk

En el archivo preprowk.frm se configuran la malla WAM, la anidada y la batimetría

```

C XDELLA REAL GRID INCREMENT FOR LATITUDE (SECONDS)
C XDELLO REAL GRID INCREMENT FOR LONGITUDE (SECONDS)
C AMOSOP REAL MOST SOUTHERN LATITUDE IN GRID MATRIX (SEC)
C AMONOP REAL MOST NORTHERN LATITUDE IN GRID MATRIX (SEC)
C AMOWEP REAL MOST WESTERN LONGITUDE IN GRID MATRIX (SEC)
C AMOEAP REAL MOST EASTERN LONGITUDE IN GRID MATRIX (SEC)
C
C XDELLA XDELLO AMOSOP AMONOP AMOWEP AMOEAP
C -----
  2640.  2640.  -150423.12  122005.44  -632977.56  -216622.8
  
```

```

C AMOSOC REAL SOUTHERN-MOST LATITUDE OF NEST (SECONDS)
C AMONOC REAL NORTHERN-MOST LATITUDE OF NEST (SECONDS)
C AMOWEC REAL WESTERN-MOST LONGITUDE OF NEST (SECONDS)
C AMOEAC REAL EASTERN-MOST LONGITUDE OF NEST (SECONDS)
C (THESE NEST BOUNDARIES HAVE TO BE GIVEN
C IF IBOUNC = 1)
C
CIBOUNC IBOUNF AMOSOC AMONOC AMOWEC AMOEAC
C -----
  1 0 36000. 118800. -360000. -223200.
  
```

Archivo par_coarse.f

Este archivo pasa parámetros al programa presetwk_coarse.f wamodwk_coarse.f pgridwk_coarse.f

- NGX o NC: son los puntos es X
- NGY o NR: son los puntos en Y

PARAMETER (NANG = 24, NFRE = 25, NGX = 159, NGY = 104,

1 NBLO = 1, NIBLO = 14264, NOVER = 1,

2 MOUTP = 1, MOUTT= 130)

PARAMETER (NMAXC = 100, NMAXF = 1, NBINP = 1)

PARAMETER (NIBL1 = 1,

1 NIBLD = NIBLO, NBLD = NBLO,

2 NIBLC = 1, NBLC = 1)

C

PARAMETER (NBMAX = 1000) !NEW LINE FOR CURV. BOUND. COUND

Módulo 1: Presetwk

En el archivo preprowk.frm se lee el primer campo de viento.

En la sección *WIND INPUT PARAMETERS* se configure la fecha inicial de nuestro archive de viento.

```
C      **** WIND INPUT PARAMETERS ****
C
C  IDATEA  INTERGER*14  START DATE OF RUN (YYYYMMDDHHMMSS)
C  IDELWI  INTEGER*7    TIMESTEP ON INPUT WIND FILE (SECONDS)
C  U      CHARACTER*1  TIME UNIT S SECONDS OR H HOURS
C
C  IDATEA      IDELWI U
C-----
20140806000000  21600 S
```

Módulo 1: Wamodwk

Se define la fecha de inicio, intermedia y final del archivo de viento.

```
C      **** PERIOD OF MODEL RUN ****
C
C  IDATEA  INTERGER*12  START DATE OF RUN (YYMMDDHHMMSS)
C  IDATEE  INTERGER*12  END DATE OF RUN (YYMMDDHHMMSS)
CRST IDATER  INTEGER*12  RESTART FILES ARE SAVED (YYYYMMDDHHMM)
CRST          1) IF IDATER IS LEFT BLANCK, THEN RESTART
CRST          FILES WILL BE SAVED EVERY IDELRES S/H.
CRST          2) IDATER MUST BE DEFINED IN COINCIDENCE
CRST          WITH AN OUTPUT TIME STEP DEFINED BY
CRST          IDELRES.
C
C  IDATEA      IDATEE      IDATER
C-----
20140806000000  20140808000000  20140807000000
```

```
C  IDATES      IDELFI  U
C-----
20140806000000  24      H
```

Generación de las condiciones de frontera para la malla anidada.

En PREPROWK.FRM se estableció la información de la malla anidada para que el WAM produjera las condiciones de frontera para esta malla, como sigue:

CIBOUNC IBOUNF AMOSOC AMONOC AMOWEC AMOEAC

C-----

C 1 0 18 DEG 24 DEG -94 DEG -82 DEG

1 0 64800. 86400. -338400. -295200.

IBOUNC: Bandera para malla gruesa. 1= Información para malla anidada será generada

IBOUNF: Bandera para malla fina. 0 = El modelo no espera condiciones de frontera.

Las siguientes variables determinan la posición y dimensión de la malla a anidar.

AMOSOC: Latitud más hacia el sur.

AMONOC: Latitud más hacia el norte.

AMOWEC: Longitud más hacia el oeste.

AMOEAC:: Longitud más hacia el este.

El flujo secuencial de datos se automatizó programando macros, los cuales deben corresponder a la ubicación y tamaño de las mallas externas e internas. A continuación se enlistan los macros y sus funciones que realizan estos procesos.

DATOS_FTP.CSH

En este macro se establecen las dimensiones del dominio mayor y menor, de los cuales se obtendrán los datos de viento que van a ser usados en los modelos WAM y SWAN, estos están divididos en intervalos de seis horas por un periodo de 48 horas. MMOUTDOMAIN1 y MMOUTDOMAIN2 son el resultado final de esta ejecución, trasladándose al directorio /home2/datos.

PASARVIENTOAINTERPOLADOR.SH

Este macro ejecuta **interpola.f90** que recibe como parámetro de entrada MMOUTDOMAIN1 generando un archivo llamado **xyuv.wnd** con información de intensidad de viento a 10 m. de altura ordenada de la siguiente manera: **lon lat u10 y v10**, el cual está dividido en ocho secciones cubriendo cada una seis horas iniciando el día actual a las seis horas y terminando dos días después a las cero horas, cada sección tiene un encabezado formado por: **AAAAMMDD HHHHHH**. Es decir si se tomara de ejemplo que hoy es 07 de noviembre del 2007, la primera sección tendrá como encabezado: 20071107 060000, siendo el ultimo encabezado: 20071109 000000.

Interpola.f90

Programa realizado en Fortran 90. Lee simulaciones realizadas con el modelo MM5 en formato binario, generando un archivo ascii donde se almacena la longitud, latitud y ambas componentes horizontales de viento: *lon,lat,u,v* en los nodos de la malla configurada conformando la malla de salida del dominio mayor del modelo, la cual está lista para su interpolación.

INTERPOLADOR.M

Programa realizado en Matlab. Lee ambas componentes horizontales de viento del dominio mayor simulado con mm5 e interpola linealmente a los nodos de mallas del modelo WAM. El archivo tiene como nombre siempre: **xyuv.wnd** y diariamente se genera de acuerdo a la información establecida en un archivo llamado **prepowk.frm** se interpolan los datos generando un archivo llamado **xyz.wnd** acomodándolos por secciones de cada seis horas cada uno manteniendo el mismo encabezado que en el archivo **xyuv.wnd**. Este programa incluye opciones de graficado para verificar visualmente las interpolaciones, que en modo automático permanecen desactivadas.

prepowk.frm

Se establecen las dimensiones de la malla mayor del modelo WAM así como las de la malla anidada en caso de requerirse condiciones de frontera (utilizada en SWAN). Solo será modificado bajo dos condiciones:

Las dimensiones de la malla grande se modificaron.

En la sección OUTPUT GRID DEFINITIONS se adecuará como sigue, (los valores están dados en segundos de grado):

Descripción del modelo SWAN

Simula oleaje local, utiliza condiciones iniciales y de frontera provenientes del modelo WAM y forzantes de viento a 10 metros de altura, del modelo WRF. Ello al generar un campo de oleaje para utilizarlo como condiciones iniciales para el siguiente intervalo de simulación. Para que el modelo SWAN generara el archivo de re-inicio (para las condiciones iniciales del siguiente periodo de simulación) se realizaron los siguientes macros.

EXECUTEALL.CSH

Este macro se utiliza para que el modelo SWAN, reciba las condiciones de frontera dadas por el modelo WAM para tomar en cuenta oleaje que llega a la zona desde lugares lejanos a través de sus cuatro fronteras. La primera vez que se ejecuta WAM será sin condiciones iniciales, generando unas propias que serán utilizadas en la siguiente corrida (por única ocasión), como resultado de ambas corridas, se generaran condiciones de frontera iniciales que se utilizan por el SWAN.

Dentro de este macro se ejecutan una serie de operaciones secuenciales que obtendrán dichas condiciones, el proceso es como se describe:

1. El archivo **xyz.wnd** contiene el resultado de la interpolación de los datos de la malla grande del modelo MM5, se transporta a una carpeta llamada viento, con el nombre de viento.wnd.
2. **wam_compiler** compila y crea los archivos ejecutables utilizados para el manejo de la información de la malla grande
3. **2cwam_runner** Durante la primera ejecución del modelo WAM, el primer módulo (programas PREPROC y PRESET) debe ser ejecutado para generar información que el módulo principal (programa WAMOD) necesita.

El programa PREPROC procesa la información que no cambiará con el tiempo (dimensiones y resolución tanto de la batimetría como del espectro de energía, fechas de inicio y fin de la corrida, entre otros datos), a su vez el programa PRESET toma parte de esa información y genera el campo inicial para el programa principal, este archivo se llama BLSPANAL.

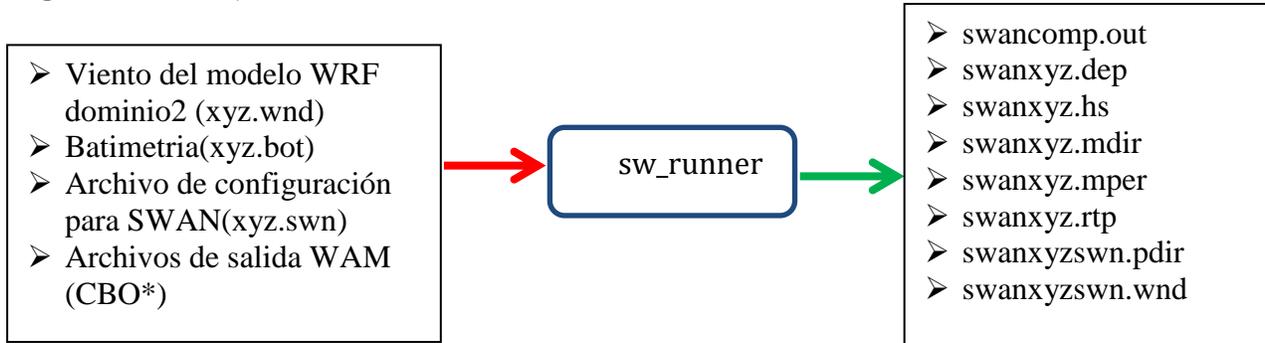
BLSPANAL es leído por WAMOD para establecer las condiciones iniciales. En un sistema operativo y una vez ejecutado el WAMOD es este programa el que genera las condiciones iniciales para el siguiente intervalo de simulación, por lo tanto WAMOD genera también un archivo BLSPANAL que contiene las condiciones del oleaje en la fecha indicada en IDATER

Dentro del archivo 2cwam_runner se encuentran estos tres módulos, a continuación se describe cada uno de ellos:

MODULO PREPOC

Este módulo procesa la información que no cambiará con el tiempo (dimensiones y resolución tanto de la batimetría como de las resoluciones del espectro de energía, fechas de inicio y fin de la simulación, entre otros datos), que son almacenados en cuatro archivos generados al final de este modulo: gridcatu, ubufcatu, bouccatu y prepowk.out. Para lograr esto, dentro del modulo se localiza una línea: \$wvdir/work/modificaprepowk.frm, que genera un archivo de manera automática llamado prepowk.frm. Las líneas que se generan de manera automática dentro de prepowk.frm son dos:

Diagrama de flujo modelo SWAN



El Modelo SWAN necesita cuatro archivos de entrada:

Viento: El viento del dominio 2 del modelo WRF en el formato que lo necesita SWAN

```

20141016 000000
-5.778 -5.658 -5.529 -5.417 -5.331 -5.246 -5.154 -5.012 -4.830 -4.624
-4.406 -4.198 -3.971 -3.718 -3.431 -3.112 -2.779 -2.428 -2.061 -1.677
-1.279 -0.867 -0.442 -0.043 0.333 0.722 1.116 1.515 1.899 2.246
2.598 2.965 3.320 3.659 3.982 4.222 4.194 3.999 3.671 3.316
  
```

```

20141016 060000
-5.778 -5.658 -5.529 -5.417 -5.331 -5.246 -5.154 -5.012 -4.830 -4.624
-4.406 -4.198 -3.971 -3.718 -3.431 -3.112 -2.779 -2.428 -2.061 -1.677
-1.279 -0.867 -0.442 -0.043 0.333 0.722 1.116 1.515 1.899 2.246
2.598 2.965 3.320 3.659 3.982 4.222 4.194 3.999 3.671 3.316
  
```

Batimetría:

De la base de datos de batimetría se extrae el área de interés utilizando las latitudes y longitudes de la malla del viento.

```
./escribe.exe -100 -62 33 10 12 xyz.bot
```

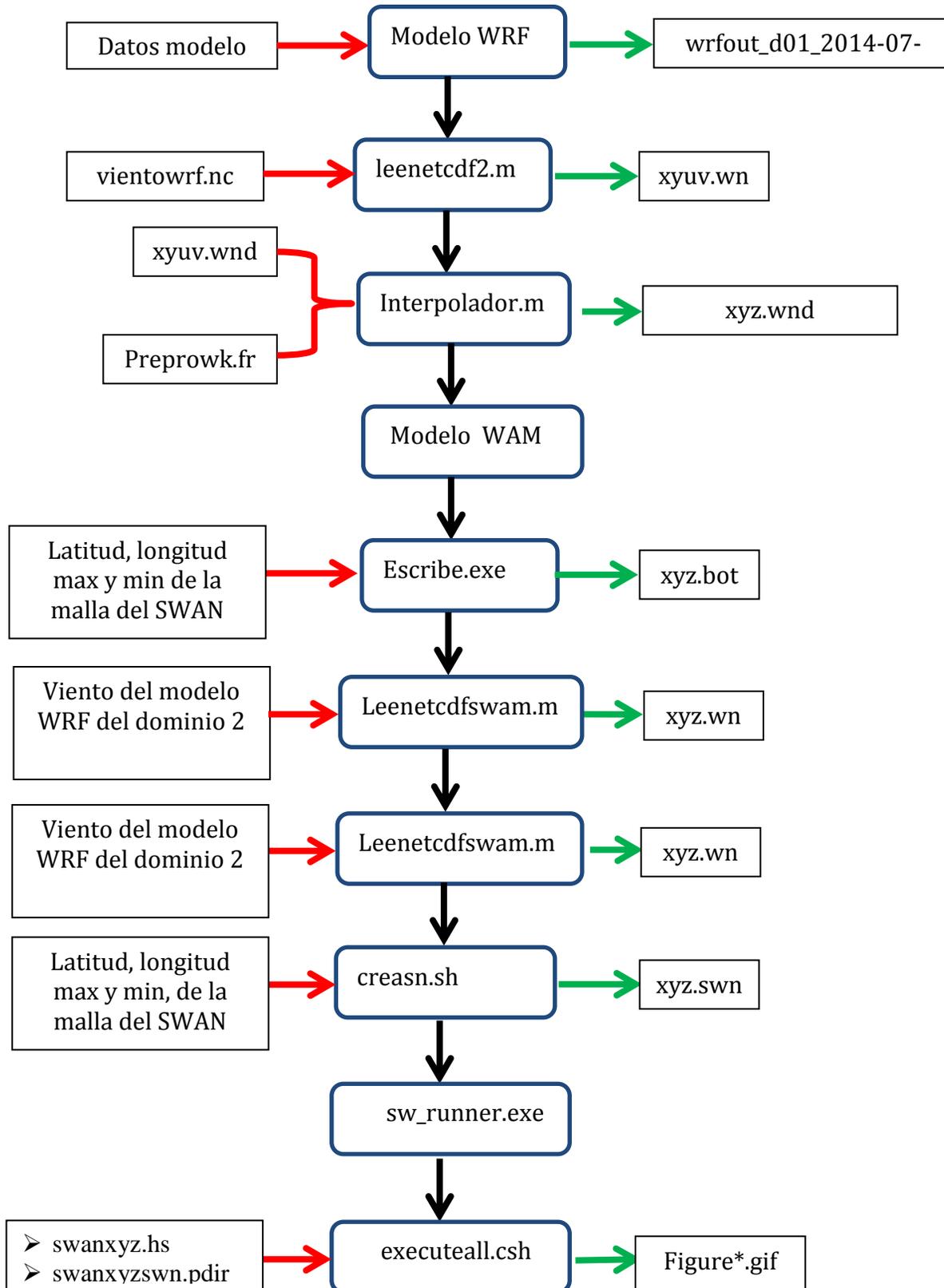
Archivo de configuración SWAN:

```

PROJ 'xyz' 'G14'
MODE NONSTATIONARY
COORD SPHERICAL
CGRID 240 10 0. 29 22 300 230 CIRCLE 36 .04118 .406 24
INPUT BOTTOM 240 10 0. 150 115 0.2 0.2
TEST 0 0
READ BOTTOM 1. 'xyz.bot' 1 0 format='(10f8.1)'
INPUT WIND 238.3683 -.2572 0. 215 128 .278064 .261105 &
NONSTAT 20141016.000000 6. HR 20141018.000000
READ WIND 1. 'xyz.wnd' 6 0 1 0 FORMAT '(10f8.3)'
  
```

```
BOUNDNEST2 WAMNEST 'CBONAMEFILE' UNFORMATTED WKSTATION
GEN3
FRIC
BREAK
INITIAL HOTSTART 'HOTINPACIFICO'
TABLE 'COMPGRID' NOHEADER 'swanxyz.dep' DEPTH
TABLE 'COMPGRID' NOHEADER 'swanxyz.hs' XP YP HS &
OUTPUT 20141016.000000 1. HR
TABLE 'COMPGRID' NOHEADER 'swanxyz.mdir' DIR &
OUTPUT 20141016.000000 1. HR
TABLE 'COMPGRID' NOHEADER 'swanxyz.mper' TM01 &
OUTPUT 20141016.000000 1. HR
TABLE 'COMPGRID' NOHEADER 'swanxyz.rtp' RTP &
OUTPUT 20141016.000000 1. HR
TABLE 'COMPGRID' NOHEADER 'swanxyzswn.wnd' WIND &
OUTPUT 20141016.000000 1. HR
TABLE 'COMPGRID' NOHEADER 'swanxyzswn.pdir' PDIR &
OUTPUT 20141016.000000 1. HR
TEST 0 0
COMPUTE 20141016:000000 60 MIN 20141017:000000
HOTFILE 'HOTOUTPACIFICO'
COMPUTE 20141017:000000 60 MIN 20141018:000000
STOP
```

Diagrama general



Nota1: El archivo **wrfout_d01_2014-07-19.nc** se cambia de nombre a **vientowrf.nc**

Nota2: El archivo que ejecuta el WRF está en el directorio,
/home/simpat/WRF/CRON/ejecuta.sh

Nota3: Los archivos **leenetcdf2.m** y **Interpolador.m** se encuentran en el directorio
/home/simpat/WAM/interpolador/

Nota4: El archivo **xyuv.wnd** generado por el macro **leenetcdf2.m** se copia al directorio
/home/simpat/WAM/interpolador/wam/data.

Nota5: El archivo **preprowk.frm** se configura la malla computacional y la malla anidada, la malla computacional, la malla de batimetría y la malla viento tienen que tener el mismo tamaño.

```
C      **** OUTPUT GRID DEFINITIONS ****
C XDELLA      XDELLO      AMOSOP      AMONOP      AMOWEP      AMOEAP
C -----      -----      -----      -----      -----      -----
      2640.      2640.    -150423.12    122005.44    -632977.56    -216622.8
```

```
C      **** NESTED GRIDS ****
C CIBOUNC IBOUNF      AMOSOC      AMONOC      AMOWEC      AMOEAC
C-----      -----      -----      -----      -----      -----
      1          0      36000.      118800.      -360000.      -223200.
```

Nota6: El macro **Interpolador.m** toma los datos de entrada del directorio
/home/simpat/WAM/interpolador/wam/data y el archivo de salida **xyz.wnd** lo escribe en el directorio **/home/simpat/WAM/interpolador/wam/work**

Nota7: el viento **xyz.wnd** ubicado en el directorio
/home/simpat/WAM/interpolador/wam/work se copia al directorio
/home/simpat/WAM/curso/imta_curso_setup/bomb_jan_02/data con el nombre
viento.wnd

Configuraciones de las mallas anidadas

Datos observados de oleaje y viento para verificaciones

Para verificar el desempeño de los modelos, se compararon las simulaciones con datos de observaciones obtenidos de boyas administradas por el Centro Nacional de Datos de Boyas (NDBC, por sus siglas en inglés). En el área del Caribe del oeste se localizan tres boyas, la más cercana a la Península de Yucatán es la número 42056, localizada en: 19.87 N 85.06 W (19°52'27" N 85°03'33" W), las variables que registra son: temperatura del aire (10 m. sobre nivel del mar) y océano (1 m. bajo el

nivel del mar), viento, presión atmosférica. La profundidad donde está instalada es de 4,446.0 m. (http://www.ndbc.noaa.gov/maps/West_Caribbean.shtml)

Resultados

Automatización de la ejecución del modelo WRF

Una vez de ejecutar el WRF en paralelo, se inició con la automatización de la ejecución del modelo WRF, la cual se realizó en dos partes, la primera fue automatizar el sistema de pre-procesamiento (WPS) la segunda la ejecución del modelo WRF.

Se creó un macro principal *ejecuta.sh*, este macro se encarga de copiar los datos del modelo GFS, el cual ejecuta a su vez los macros, *crea_sed.input00z.php*, *CorreWPS00z.sh* y *CorreWRF01.sh*.

ejecuta.sh

```
#!/bin/bash  
  
hr=00  
  
FECHA=`date +%Y%m%d`$hr  
Y=`date +%Y`  
m=`date +%m`  
d=`date +%d`  
  
DIRCRON=/home/simpat/WRF/CRON/  
DIRDATOS=/home/simpat/WRF/Datos/GFS/  
DATOS=/home/modelos/datos/GFS  
cd $DIRDATOS  
mkdir $FECHA  
cd $DATOS  
cp gfs.t00z.* $DIRDATOS/$FECHA  
cd $DIRDATOS/$FECHA  
rm -rf *.1
```

```
rm -rf *.2  
cd $DIRCRON  
php crea_sed.input00z.php  
./CorreWPS00z.sh  
./CorreWRF01.sh  
cd /home/simpat/WRF/WRFV3/run  
rm -rf rsl.out.*  
rm -rf rsl.error.*
```

Se modificó el macro **CorreWPS00z.sh** aplicando las nuevas configuraciones.

Este macro ejecuta en forma automática los módulos **geogrid.exe**, **ungrib.exe**, **metgrid.exe** y el macro **link_grib.csh**, los archivos de salida son:

- **geogrid.exe**
 - geo_em.d01.nc
 - geo_em.d02.nc

- **ungrib.exe**
 - FILE:2014-02-11_00
 - FILE:2014-02-11_06
 - FILE:2014-02-11_12
 - FILE:2014-02-11_18
 - FILE:2014-02-12_00

- **metgrid.exe**
 - met_em.d01.2014-02-11_00:00:00.nc
 - met_em.d01.2014-02-11_06:00:00.nc
 - met_em.d01.2014-02-11_12:00:00.nc
 - met_em.d01.2014-02-11_18:00:00.nc
 - met_em.d01.2014-02-12_00:00:00.nc
 - met_em.d02.2014-02-11_00:00:00.nc
 - met_em.d02.2014-02-11_06:00:00.nc
 - met_em.d02.2014-02-11_12:00:00.nc
 - met_em.d02.2014-02-11_18:00:00.nc

➤ `met_em.d02.2014-02-12_00:00:00.nc`

➤ **link_grib.csh**

- `GRIBFILE.AAA -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf00.grib2`
- `GRIBFILE.AAB -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf03.grib2`
- `GRIBFILE.AAC -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf06.grib2`
- `GRIBFILE.AAD -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf09.grib2`
- `GRIBFILE.AAE -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf102.grib2`
- `GRIBFILE.AAF -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf105.grib2`
- `GRIBFILE.AAG -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf108.grib2`
- `GRIBFILE.AAH -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf111.grib2`
- `GRIBFILE.AAI -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf114.grib2`
- `GRIBFILE.AAJ -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf117.grib2`
- `GRIBFILE.AAK -> /home/simpat/WRF/Datos/GFS/2014021100/gfs.t00z.pgrbf12.grib2`

Nota: Estos links se realiza para cada dato del modelo GFS

CorreWPS00z.sh

`HH="00"`

`FECHA=`date +%Y%m%d``

`DIRCRON=/home/simpat/WRF/CRON`

`DIRRUN=/home/simpat/WRF/WPS`

`NAMELIST=namelist.wps`

`DIRDATA=/home/simpat/WRF/Datos/GFS/${FECHA}${HH}`

`GRIB=grib2`

`if [-f sed.input];`

`then`

`cd $DIRRUN`

`cp $DIRCRON/NAMELIST/$NAMELIST ./namelist.wps.tmp`

`cp $DIRCRON/sed.input ./sed.input`

`sed -f sed.input namelist.wps.tmp > $NAMELIST`

`date > tiempo.txt`

```
rm -f FILE:* met_em.d0*
./geogrid.exe >& geogrid.output
./link_grib.csh ${DIRDATA}/gfs.t${HH}z*${GRIB}
./ungrib.exe >& ungrib.output
./metgrid.exe >& metgrid.output
date >> tiempo.txt
# Borramos archivos temporales
#rm -f GRIBFILE* FILE:* PFILE:* namelist.wps.tmp
else
echo "Error.. no se encontro el archivo sed.input";
fi
```

Se modificó el macro **CorreWPS00z.sh** aplicando las nuevas configuraciones.

Este macro ejecuta en forma automática los módulos **real.exe**,
/export/comp/mpich/bin/mpirun -f machinefile ./wrf.exe.

```
DIRCRON=/home/simpat/WRF/CRON
```

```
DIRRUN=/home/simpat/WRF/WRFV3/run
```

```
cd $DIRRUN
```

```
cp $DIRCRON/namelist.input ./namelist.input.tmp
```

```
cp $DIRCRON/sed.input ./sed.input
```

```
sed -f sed.input namelist.input.tmp > namelist.input
```

```
rm -f rsl.*???? met_em.d0*
ln -s ../../WPS/met_em.d0* ./
echo "Ejecucion de real.exe" > tiempo.txt
date >> tiempo.txt
./real.exe
date >> tiempo.txt
echo "Ejecucion de wrf.exe" >> tiempo.txt
date >> tiempo.txt
/export/comp/mpich/bin/mpirun -f machinefile ./wrf.exe
date >> tiempo.txt
```

Casos de estudio

Para verificar el desempeño del nuevo sistema de modelación numérica de viento y oleaje, se eligieron 5 casos de estudio en cuya dinámica se contiene condiciones diferentes, las cuales son susceptibles de verificar:

1. Frente frío No. 8. (21-25 de octubre del 2014): Los frentes fríos en el Golfo de México tienen asociados vientos del norte, los cuales mantienen su dirección predominante, generando un "Fetch" (área de viento forzante hacia la superficie del mar) extenso. El tamaño del Golfo de México es suficiente para generar oleaje extremo por los efectos de estos vientos, provocando eventos extremos que afectan la navegación y operaciones en el Golfo de México. En el Golfo de México, el oleaje asociado a este evento inició el 21 de octubre de 2014, con alturas entre 1m. y 2m. y direcciones predominantes del noreste y este, en esta fecha en el Golfo de Tehuantepec aún no se observa viento intenso. Para el 23 de octubre, se establece más claramente el oleaje con dirección del norte y noreste, incrementando su altura a 2.5m iniciando su impacto en costas de Veracruz y Tabasco los efectos en el Golfo de Tehuantepec inician a manifestarse con alturas de ola de 2m. Para el 24 de octubre los efectos en el Golfo de México disminuyeron iniciando los impactos mayores en el Golfo de Tehuantepec, donde los vientos se aceleran por efectos orográficos, generando oleaje de hasta 4m. de altura alejándose de costas mexicanas del Pacífico.

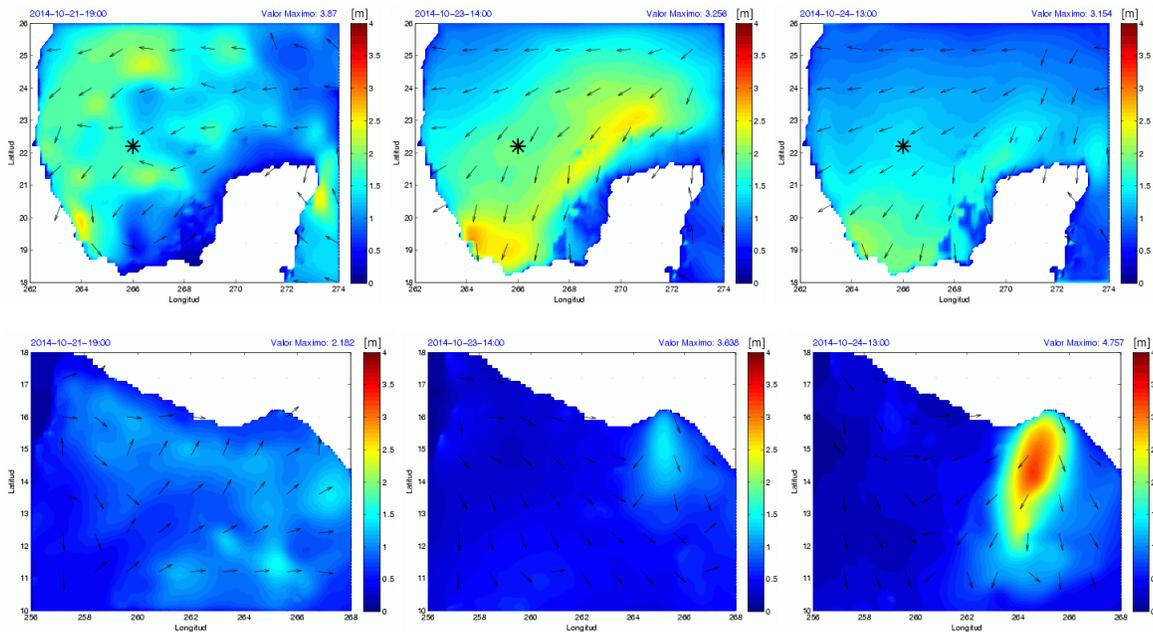


Fig. Dirección y altura de oleaje en el Golfo de México y de Tehuantepec simulado con el sistema anterior.

Para la región del Caribe, los efectos del frente frío se diferencian respecto al Golfo de México en cuanto a las alturas y direcciones del oleaje registrado.

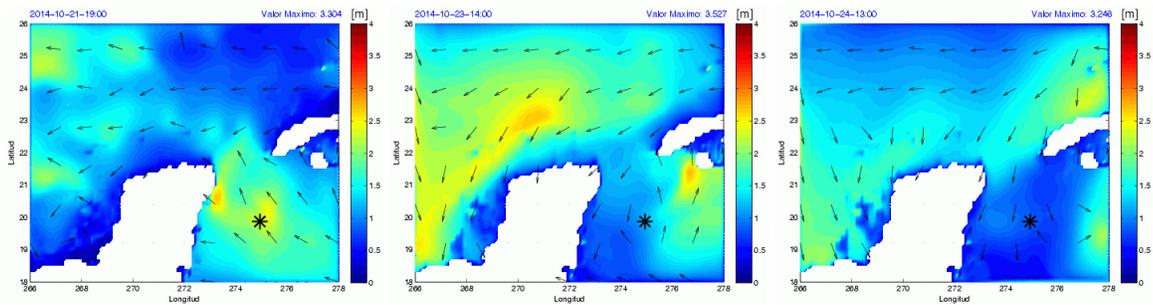
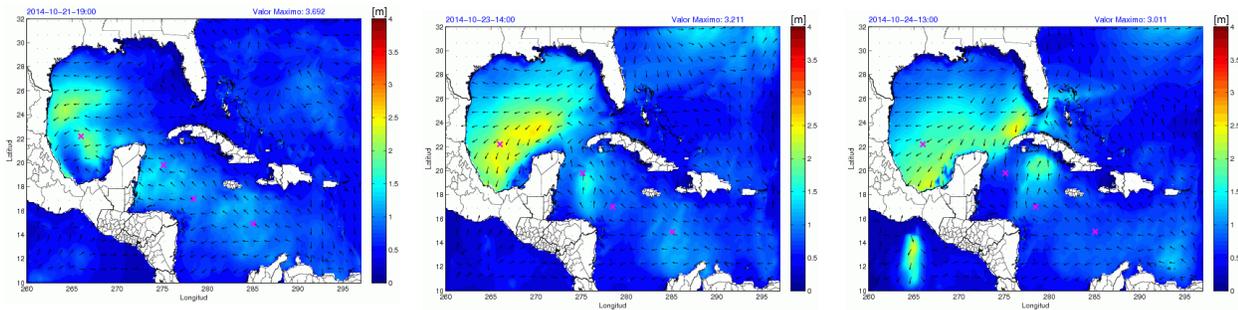


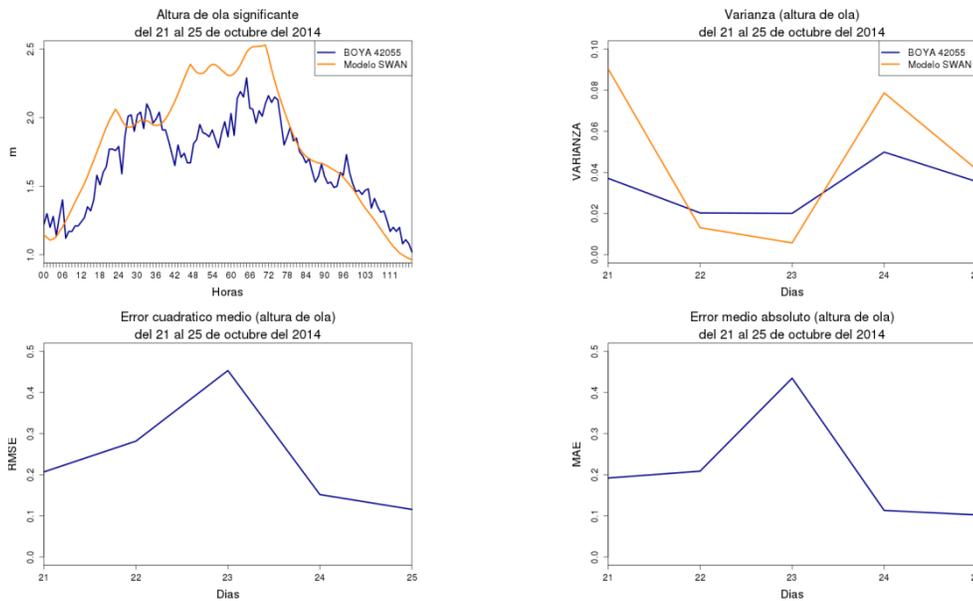
Fig. Dirección y altura de oleaje en el Caribe simulado con el sistema anterior.

Utilizando el nuevo sistema de simulación numérica, en las mallas se observa integralmente los efectos, tanto en el Caribe, Golfo de México y Golfo de Tehuantepec. La secuencia de las simulaciones muestra el paulatino desplazamiento hacia el sur del oleaje afectado por los vientos intentos del sistema. En

general, la secuencia es similar al sistema anterior, reflejándose en la dirección de oleaje, la altura es menor en el nuevo sistema respecto al anterior.



Se realizó una evaluación del desempeño del nuevo sistema respecto a las observaciones (boyas) mediante las métricas: varianza, error cuadrático medio y error medio absoluto. La comparación de altura de ola observada versus simulada mediante la boya 42055, en el Golfo de México, muestra que el modelo SWAN sobre-estima las alturas bajo eventos intensos. En las observaciones de la boya existen dos máximos relativos, el primero, a las 30 horas de simulación (22 de octubre) y el segundo a las 72 horas (23 de octubre), con variaciones de alta frecuencia que no se observan en las simulaciones, por otra parte, las simulaciones también reproducen los dos máximos relativos del 22 y 23 de octubre con menores variaciones de alta frecuencia. Los cambios abruptos son difíciles de reproducir en el modelo de oleaje, sin embargo, los procesos de baja frecuencia (los dos máximos descritos) si son reproducidos por el modelo. Respecto a la varianza, en valores bajos de oleaje (inicio y final de las simulaciones), es mayor la del modelo, mientras que para valores altos (entre el 22 de octubre y 24 de octubre) es mayor la de la boya. El error cuadrático medio es mayor el 23 de octubre, ya en ese día se registró una disminución de altura de oleaje que el modelo no reprodujo, el error medio absoluto tiene un comportamiento similar.



- Corriente en chorro de niveles bajos (del 30 de agosto al 04 de septiembre 2014). En el Caribe, se registra anualmente una intensificación de los vientos superficiales del este entre mayo y julio, (corriente en chorro), desacelerándose entre agosto y octubre, sus impactos en oleaje del Caribe y Golfo de México son importantes, ya que su persistencia genera condiciones de oleaje alto a extremo entre mayo y octubre.

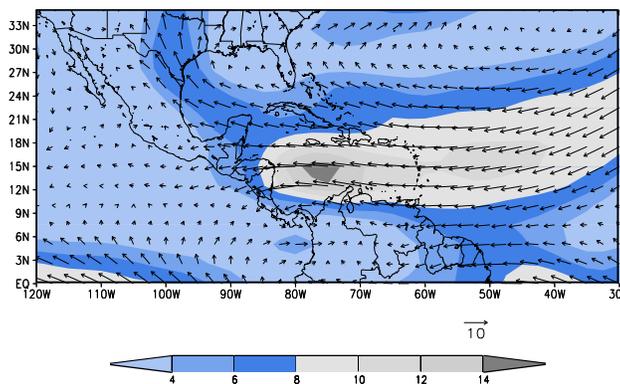
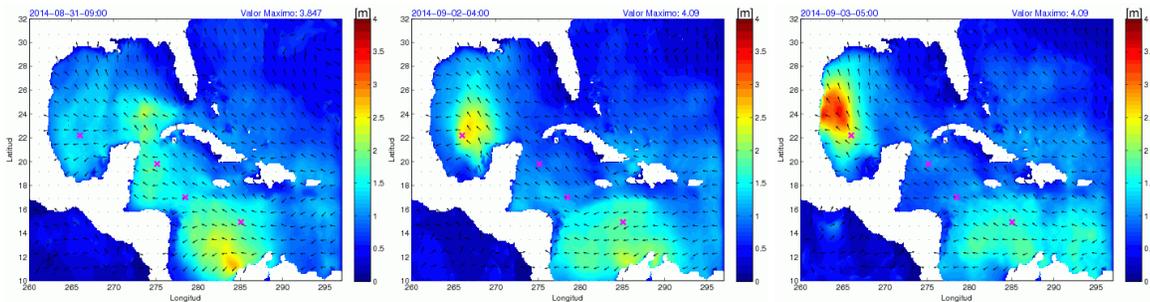


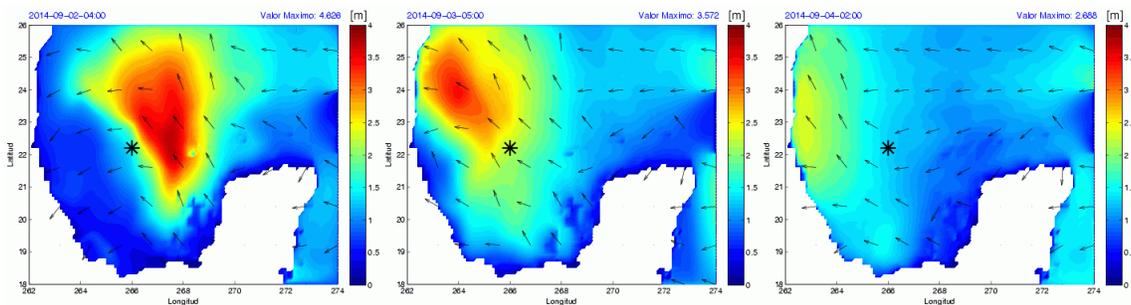
Fig. Climatología de viento superficial a 925hPa. (m/s) (julio-octubre 1968-1996)

Los efectos asociados al viento superficial en el Caribe generaron oleaje para el 31 de agosto, con alturas promedio de 2.5m propagándose hacia costas de Centroamérica, para el 2 de septiembre, los efectos de este forzante se observan ya en el Golfo de México, con alturas de 2.5 en su porción centro, para el 3 de septiembre los impactos ya se observan en costas de Tamaulipas y sur de Veracruz, con

alturas superiores a 3.5m. Para el 4 de septiembre los impactos en el Golfo de México disminuyeron. Entre el 31 de agosto y 4 de septiembre se mantienen los efectos locales de oleaje en el Caribe.



Con el sistema de simulación anterior, la secuencia de las trayectorias de afectación se observa un patrón similar en el Golfo de México: en su porción centro y posteriormente noroeste del Golfo se observarán las mayores alturas de ola.

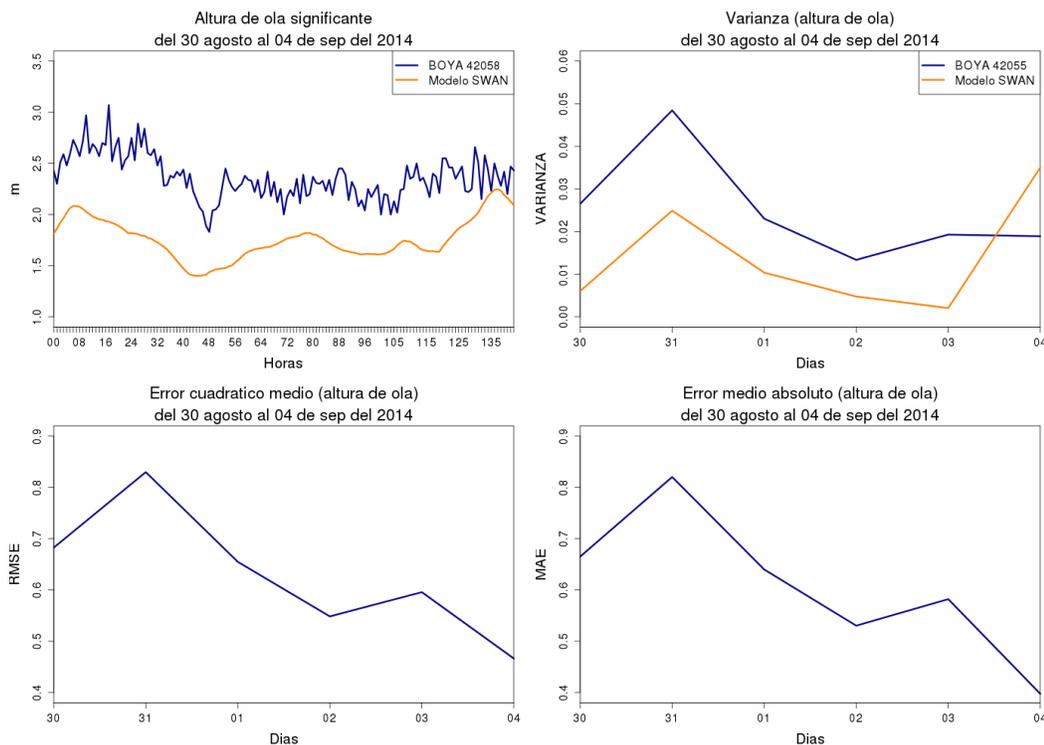


La evaluación del desempeño de los modelos, como en el caso anterior se realizó utilizando datos observados de las boyas 42058 y 42055, instaladas en el Caribe y Golfo de México respectivamente.

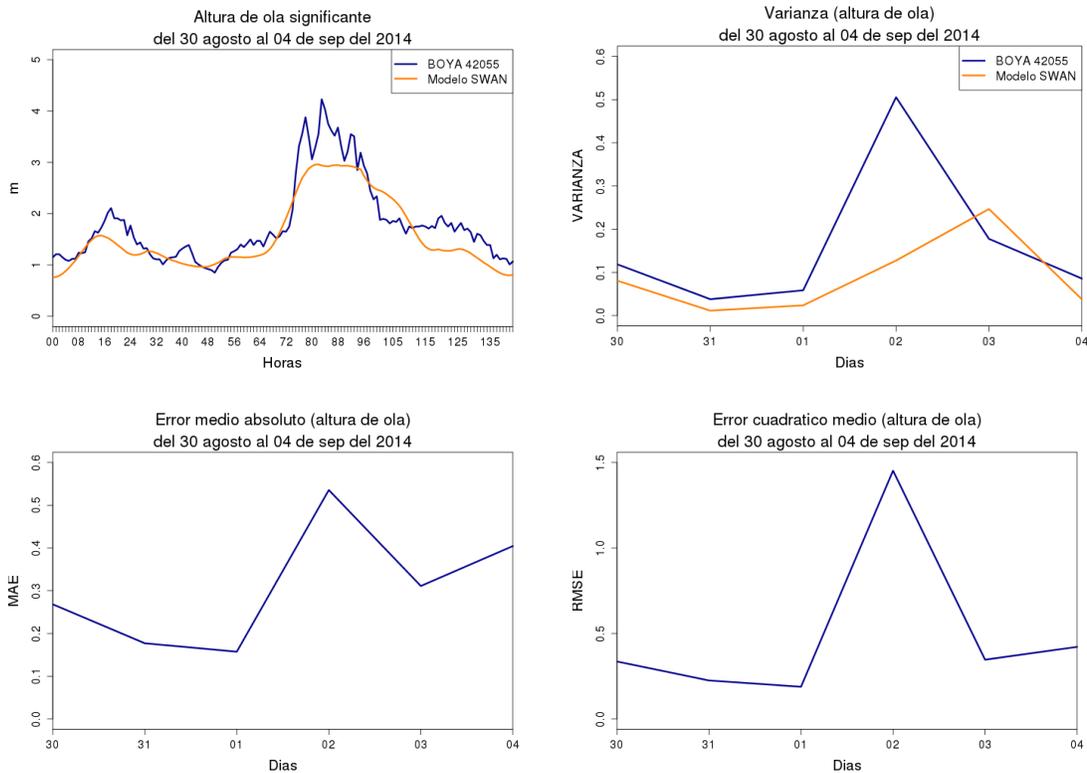


Ubicación de las boyas 42055y 42058.

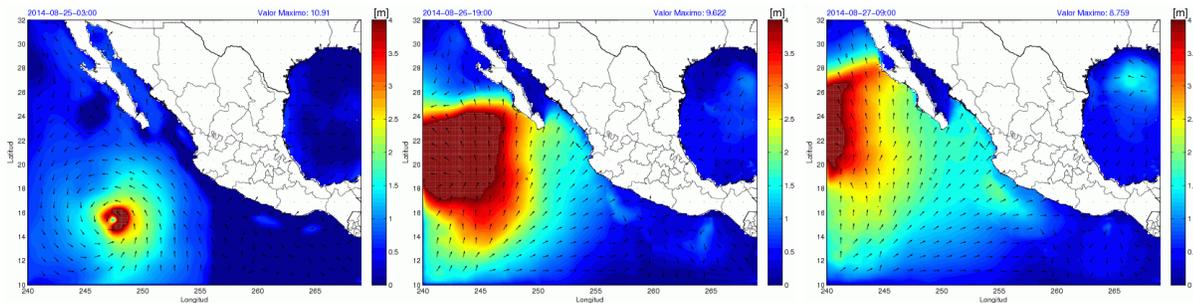
Las alturas de ola simulada en el Caribe son sub-estimadas respecto a las observaciones para todo el período de la simulación, reproduciendo las oscilaciones de baja frecuencia, como el mínimo del 31 de agosto y el máximo del 4 de septiembre, en cuanto a las varianzas, entre los días 1 y 3 de septiembre las observaciones y las simulaciones son más parecidas, no obstante en los eventos máximos y mínimos se aprecian las mayores diferencias. El error cuadrático medio es mayor en los descensos, como el 31 de septiembre y menores entre el 1 y 2 de septiembre. El error medio absoluto mantiene un comportamiento similar al error cuadrático medio.



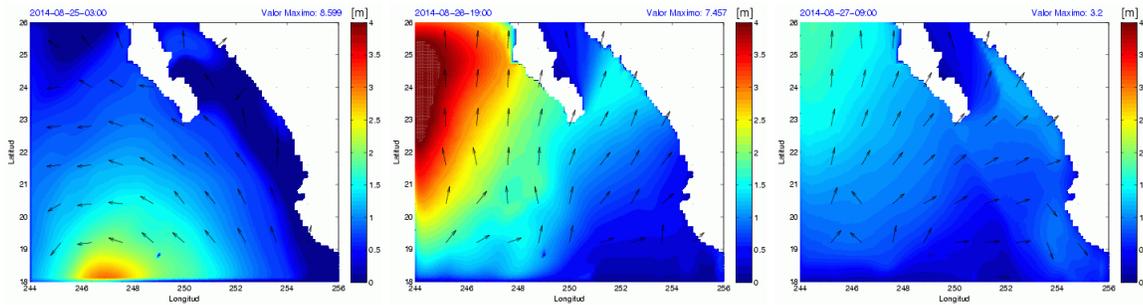
Por otra parte, la evaluación del desempeño en el Golfo de México utilizando la boya 42055 es mejor, ya que los máximos y mínimos de baja frecuencia son reproducidos adecuadamente, como el máximo entre el 2 y 3 de septiembre, cuando la boya registra valores de hasta 4m. y las simulaciones subestiman durante la etapa de este período máximo. Respecto a la varianza, para las observaciones es mayor el 2 de septiembre y para las simulaciones el 3 de septiembre, tanto el error medio absoluto como el cuadrático medio son mayores el 2 de septiembre.



3. Huracán en el Pacífico: Marie, (25 al 27 de agosto 2014) Las condiciones extremas de viento durante los huracanes generan oleaje de más de 5m. de altura, el cual al interactuar con la batimetría puede generar impactos considerables en la costa. El 25 de agosto, al suroeste de la Península de Baja California se originó el huracán Marie, el cual generó inicialmente oleaje de 4m. de altura, para el 26 de agosto se incrementó el radio de afectación de alturas máximas iniciando a afectar costas de Baja California Sur, las máximas alturas de oleaje fueron de 9m, sin embargo, estas alturas no afectaron costas mexicanas, las olas de 2.5m fueron las que si impactaron costas de Baja California. Para el 27 de agosto, los efectos del huracán Marie se alejaron hacia el noroeste sin mayores afectaciones costeras.



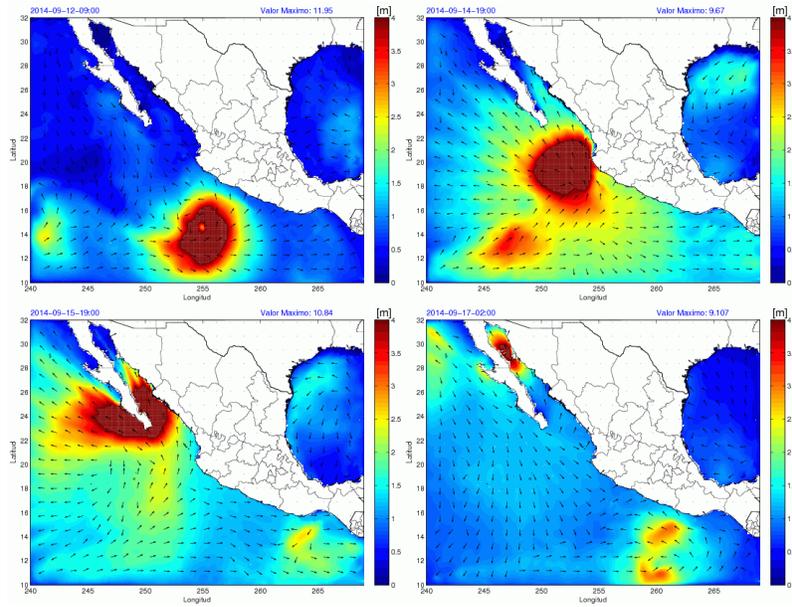
Por otra parte, en las configuraciones de la malla anterior, el huracán Marie se observa parcialmente, ya que en su trayectoria se observa un acercamiento a costas mexicanas. Las alturas máximas en estas mallas son menores a las de la nueva, ya que no excede 7m.



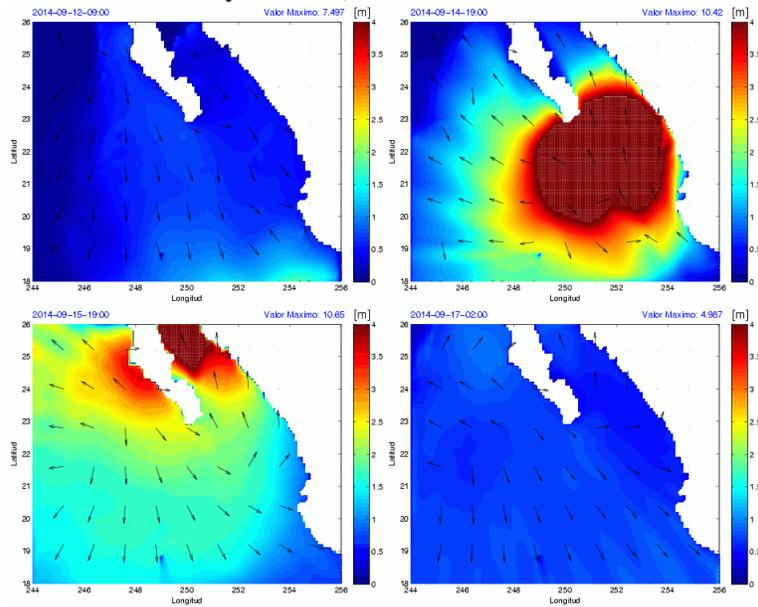
De acuerdo a la trayectoria del huracán Marie

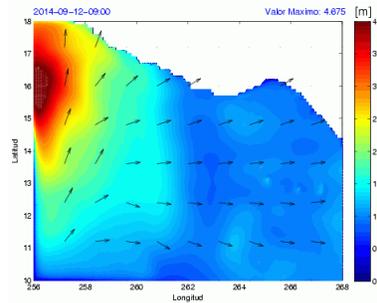


- Huracán en el Pacífico: Odile (del 12 al 17 de septiembre 2014), el centro de este huracán impactó justamente en Los Cabos, BCS, después de convertirse en depresión y tormenta tropical, Odile, el 12 de septiembre se ubicaba al sur de costas de Guerrero, generando oleaje de hasta 4m. de altura y en un diámetro de influencia de aproximadamente 600Kms., para el 14 de septiembre, Odile amplió el área de influencia y se acercó a costas de Jalisco, Nayarit y Sinaloa, con valores máximos de hasta 9.5m, para el 15 de septiembre, las alturas máximas de oleaje impactaron en Baja California Sur tanto en la porción Golfo de California como Pacífico, siendo las alturas máximas hasta de 10m. para el 17 de septiembre, las áreas de máximo oleaje se ubicaban en el norte del Golfo de California.

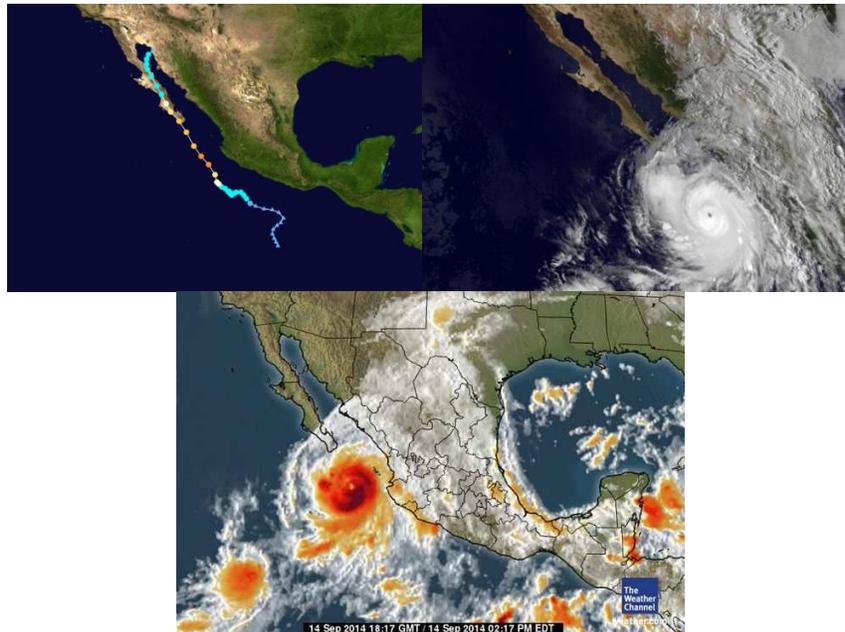


Para la malla anterior, la secuencia de la ubicación de Odile es observada parcialmente, ya que el área de cobertura es menor y se observa por secciones (al sur del estado de Oaxaca, al occidente de los estados de Michoacán, Colima, Jalisco y Sinaloa).

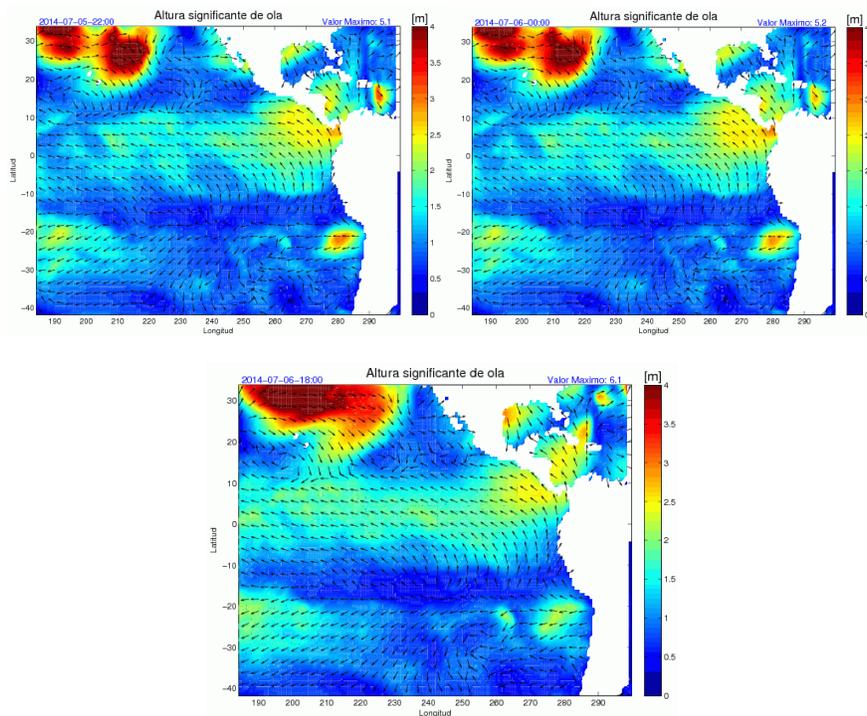




La trayectoria de Odile indica que impactó en Los Cabos y continuó su desplazamiento hasta el Golfo de California.

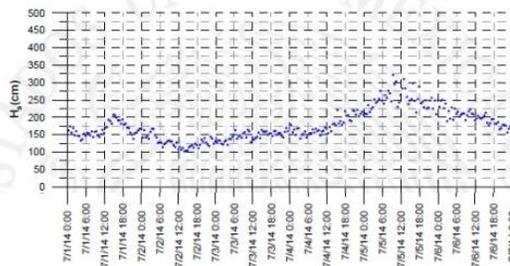


- Oleaje distante (del 01 al 06 de julio). Al ser el oleaje uno de los procesos oscilatorios que pueden transferirse por miles de kilómetros con relativamente poca disipación, por las dimensiones del Océano Pacífico, y condiciones meteorológicas extremas en el hemisferio sur, es posible la generación de oleaje en el sur de Asia o noreste de Australia, cruzando el Pacífico hasta afectar costas mexicanas, como ha ocurrido en costas de Guerrero y Oaxaca, que recibe oleaje distante bajo condiciones de viento en calma local. Para el 5 de julio, un área de altura de ola proveniente del sureste (desde el norte de América del Sur y Centroamérica) se propaga a través de la costa este del pacífico, con alturas de 2.5m., para el 6 de julio las olas de 3m. comienzan a afectar costas de Chiapas, Oaxaca y Guerrero.



Las observaciones obtenidas mediante la boya del IMT en Acapulco, muestra alturas de 2.5m el 7 de julio, similar a las simulaciones

Estación: IMTOL20 (Acapulco, Gro.)
Ubicación: 16° 47' 23" Lat. N, 99° 51' 43.9" Lon. O
Periodo de medición: 1-07-2014 a 6-07-2014
Horario del Meridiano: 90 W. G.



Discusiones y conclusiones

El desempeño del nuevo sistema de modelación numérica de viento y oleaje, se basó en el análisis de 5 casos de estudio en cuya dinámica se contiene condiciones diferentes, las cuales son susceptibles de verificar: Frente frío, corriente en chorro y huracanes.

Durante los eventos que mantienen la dirección de oleaje como los frentes fríos, el sistema de modelación sobre-estima las alturas de oleaje durante etapas de intensificación de viento, comparativamente, la altura de oleaje estimada es menor en el nuevo sistema respecto al anterior, mejorando el desempeño para este caso, las variaciones de alta frecuencia no se reproducen en el modelo, aunque sí las tendencias. Ante cambios abruptos de viento, las alturas de oleaje resultante es difícil de reproducir por el modelo de oleaje, las diferencias de altura son mayores ante alturas mayores

Durante eventos de corriente en chorro de niveles bajos (vientos persistentes), las alturas son menores que ante frentes o huracanes, pero significativas, en este caso las alturas de ola simulada en el Caribe son sub-estimadas respecto a las observaciones para todo el período de la simulación, reproduciendo las oscilaciones de baja frecuencia, como los mínimos o máximos, en cuanto a las varianzas, las simulaciones discrepan de las observaciones ante eventos extremos, mientras que el error cuadrático medio es mayor en los descensos de altura de oleaje.

Bajo condiciones de huracanes, estas condiciones extremas de viento generan oleaje de hasta 9m. de altura, el cual al interactuar con la batimetría puede generar impactos considerables en la costa. La asimetría de los valores de altura de oleaje dentro del huracán es reproducida por los modelos. Las trayectorias son reproducidas adecuadamente por el modelo WRF. En las configuraciones de la malla anterior, los huracanes del Pacífico se observan parcialmente, ya que no cubre la totalidad de las posibles trayectorias del Pacífico.

Por último, el oleaje distante, que pudo haberse originado miles de kilómetros de las costas mexicanas del Pacífico, pueden transferirse por miles de kilómetros con relativamente poca disipación, por las dimensiones del Océano Pacífico, y condiciones meteorológicas extremas en el hemisferio sur, es posible la generación de oleaje en el sur de Asia o noreste de Australia, cruzando el Pacífico hasta afectar costas mexicanas, como ha ocurrido en costas de Guerrero y Oaxaca, que recibe oleaje distante bajo condiciones de viento en calma local. Con las observaciones locales disponibles en forma extraordinaria por cortesía del IMT, se observó que las alturas de oleaje distante observado en Guerrero, son reproducidas al ampliar la malla del Pacífico hasta el Hemisferio Sur.

Se concluye que el nuevo sistema de simulación de oleaje mejora al anterior, tanto por la versión del modelo atmosférico (emigrando del modelo MM5 al WRF) como la nueva configuración de las mallas, ya que se ampliaron geográficamente, capturando los efectos del viento forzante que no se hacía tanto en costas del Golfo de México (al ampliar la malla hasta el Caribe), como en costas del Pacífico (al ampliar la malla hasta el hemisferio norte y hasta el Pacífico del oeste).

Bibliografía

- Bretschneider, C. L., 1952b. The generation and decay of wind waves in deep water. Trans. American Geophy. Union, 33, 381-389.
- Khandekar, M.L. 1989. Operational Analysis and Prediction of Ocean Waves. Springer-Verlag.
- Kinsmann, B. 1965. Wind Waves: their generation and propagation on the ocean surface. Prentice Hall, USA., 676 pp.
- The SWAMP Group, 1985. Ocean Wave Modeling: Principal results of a wave model intercomparison study conducted by the Sea Wave Model Project (SWAMP) and first presented at a symposium on Wave Dynamics and Radio Probing of the Ocean Surface, held May 13-20, 1981, in Miami, Florida. Plenum Press, New York.
- WAM-PROMISE extension 1 manual. 2002. Padilla-Hernández, R., Monbaliu J. Laboratorium voor Hidráulica K.U. Leuven.
- SWAN Cycle III version 40.20, 2003. User Manual. Holthuijsen. L, Booij N, Ris R.C., Haagsma I.J. Delft University of Technology.
- Salinas, J, Padilla, R, Oropeza R., Lobato R. 2012. Sistema de Pronóstico Automatizado de Oleaje. Tecnología y Ciencias del Agua. Vol III, núm. 1, enero-marzo 2012, pp 45-67
- Modelo Numérico espectral de Predicción de Oleaje. 1996. Salinas-Prieto., J.A. Tesis de Maestría en Ciencias. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey.
- W.H.F. Smith and D.T. Sandwell, 1997, Global Sea Floor Topography from Satellite Altimetry and Ship Depth Soundings, Science 277 (5334), p.1956-1962.