

“Evaluación de la disponibilidad de la energía y la potencia de las olas: determinación de las condiciones medias y extremas de oleaje en la zona costera”.

Informe de avance

José Antonio Salinas Prieto

María Eugenia Maya Magaña

Constantina Hernández Martínez

Institución responsable:

Instituto Mexicano de Tecnología del Agua

30 de noviembre 2018

Contenido	
Introducción	3
Antecedentes	3
Objetivo	3
Metodología	4
Descripción y configuración del modelo WAVEWATCH	5
Resultados preliminares	16
Discusiones finales y conclusiones	25
Referencias	27

Introducción

CEMIE-Océano ha avanzado en la integración de grupos multidisciplinarios por áreas temáticas y transversales. En el caso de oleaje, debido a la información limitada de observaciones, la modelación numérica resalta como viable, útil y necesaria a la luz de la adquisición de información cualitativa de la distribución espacial y temporal de la energía y potencia de oleaje en áreas tan extensas como los mares y costas mexicanas.

La versatilidad de los modelos numéricos de oleaje permite la repetición de experimentos bajo diferentes condiciones, permitiendo así la mejora y el aprendizaje continuo. Estos modelos describen la dinámica de oleaje en el dominio de la frecuencia (modelos espectrales), por lo que ello permite identificar la distribución espectral de energías asociadas, así como su variabilidad estacional, anual e interanual, así como espacial para las costas mexicanas, identificando así las características del oleaje con umbrales energéticos que permitan su utilización como fuente alternativa.

Antecedentes

En el IMTA, desde 1997 se inició la modelación numérica de la atmósfera, en 2006 se implementó la modelación numérica de oleaje con los modelos WAM y SWAN y en 2018 se sustituyeron estos modelos por WAVEWATCH, ya que éste cuenta con soporte permanente y tiene actualizados los módulos de preprocesamiento, postprocesamiento y núcleo dinámico de acuerdo a los avances de la teoría y programación. Este proyecto inició con la utilización de WAM y SWAN, no obstante fue necesario migrar a WAVEWATCH por la actualización y soporte de sus módulos.

La incorporación de Wavewatch implicó la asistencia al Workshop: *WAVES SUMMER SCHOOL 2018*, ofrecido por el Grupo de Olas de NCEP/NOAA, en coordinación con la Universidad de Maryland entre 9 y 13 de julio, los tópicos atendidos fueron: dinámica y modelación de oleaje, funciones de los módulos del modelo Wavewatch, estructuras de mallas, procesos numéricos y aplicaciones costeras. Wavewatch se incorporó a las herramientas de análisis mediante simulaciones de oleaje global que cubrirán los años de 1979 a 2010 para proveer de condiciones de frontera a una malla en el Golfo de México y Mar Caribe. Las simulaciones se realizan por mes, utilizando como condiciones iniciales el último día del mes anterior. Durante 2019 se simularán las condiciones de oleaje para las costas del Pacífico.

Objetivo

Identificar las costas mexicanas con mayor potencial energético, caracterizando su distribución espectral, utilizando tanto simulaciones numéricas como observaciones para diseñar e implementar dispositivos adecuados de generación de energía.

Metodología

Se configuró el modelo Wavewatch para una malla global y una regional anidada para el Golfo de México, con las siguientes selecciones (“SWITCH”):

F90 → Compilador fortran 90
TRKNC → Activa funciones de NetCDF API en el módulo de post-procesamiento
NOGRB → No active librerías para manejo de datos en formato GRIB
NOPA → Compilación como programa único (no como subrutina)
LRB4 → Tamaño de la palabra del byte: 4
NC4 → Activa librerías de NetCDF-4 para el pre y post-procesamiento
DIST → Modelo de memoria distribuido
MPI → Consola de paso de mensajes (procesamiento en paralelo)
PR3 → Esquema numérico de orden mayor
UQ → Esquema de propagación de tercer orden
FLX0 → Cálculos incluidos íntegramente en los términos fuente.
SEED → Sembrado de energía espectral ante un viento débil persistente.
ST4 → Opción de entrada y disipación de términos fuente de Ardhuin et al. (2010).
NL1 → Interacción no lineal entre componentes espectrales DIA (Discrete interaction approximation)
BT4 → Formulación de fricción de fondo SHOWEX (Shoaling Waves Experiment)
DB1 → Rompimiento por profundidad: formulación Battjes-Janssen
MLIM → Límite en aguas profundas tipo MicMiche
TR0 → No interacción entre triadas
BS0 → No dispersión por efecto del fondo
IC0 → No hay efectos de humedad por hielo marino
IS0 → No disipación por hielo marino
REF1 → Si reflexión en costas y por efecto de icebergs.
XX0 → No términos fuente suplementarios
WNT2 → Método de interpolación en tiempo de viento: cuadrática
WNX1 → Método de interpolación en espacio de viento: lineal
RWND → Si corrige campo de viento.
CRT1 → Método de interpolación en tiempo: lineal
CRX1 → Método de interpolación en espacio: lineal
TIDE → Permite análisis de mareas

Forma de almacenado de resultados:

o0 Resultados de “namelist ” en pre-procesamiento de malla
o1 Resultados de puntos en la frontera en pre-procesamiento de malla o2
Resultados de en puntos de malla
o2a Resultados de máscaras de continentes en pre-procesamiento de malla.
o2b Resultados de obstrucciones en malla.
o2c Imprime status de mapa en formato a utilizarse en “ww3 grid”
o3 Resultados adicionales en ciclos.

o4 Resultados en gráficos de espectros normalizados de energía unidireccionales en el programa de condiciones iniciales.

o5 Almacena espectros de energía bidimensionales.

o6 Almacena la distribución especial de altura de ola.

o7 Hace “eco” de los datos de entrada para campos homogéneos en macros genéricos.

Se iniciaron experimentos numéricos de oleaje en un sistema de anidamiento con WAVEWATCH, se abracará el período de 1979 a 2010 en una malla global para proveer las condiciones de frontera a una malla regional sobre el Golfo de México, utilizando los datos de CFSR (viento).

Descripción y configuración del modelo WAVEWATCH

Wavewatch representa el estado del arte en modelación numérica de oleaje, desarrollado en NCEP en la década de los años 90, llegó a ser un modelo comunitario, el grupo de desarrollo es de la comunidad científica internacional, cuenta con cerca de 2,500 usuarios en 101 países.

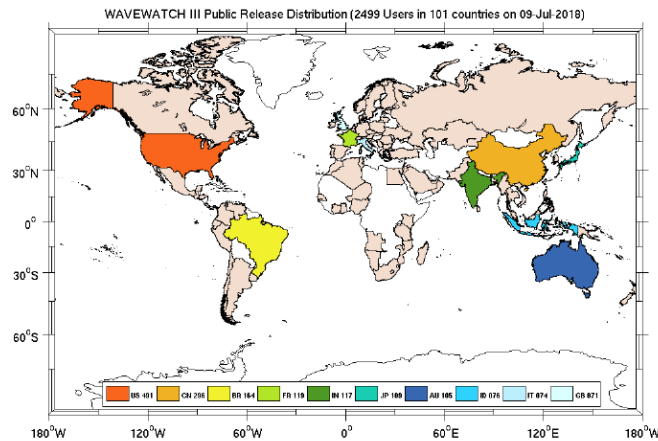


Fig. 1 Países y número de usuarios de Wavewatch.

Integra numéricamente la ecuación de balance de acción:

$$\frac{\partial N(i)}{\partial t} + \nabla x \cdot (Cg + U)N(i) + \nabla i \cdot C_i N(i) = \sum S(i)$$

$$N(i) = \frac{F(i)}{\sigma}$$

donde i es el dominio espectral (frecuencia, dirección)

∇x , ∇i operadores divergencia (espacio geográfico y espectral)

$$\sum S(i) = S_{in}(i) + S_{nl}(i) + S_{ds}(i)$$

Son las fuentes y sumideros: entrada de momento del viento (S_{in}), interacciones no lineales entre bandas de frecuencia (S_{nl}) y disipación (S_{ds}).

Esto es un problema en cinco dimensiones: (x, y, k, θ, t) : dos en el espacio geográfico, dos en el espacio espectral y una en el tiempo.

La versión del modelo Wavewatch utilizada es v5.16, se ejecutó en paralelo, en el caso de la malla global, se utilizaron 2 nodos de 60 procesadores cada uno (120 en total), requiriendo 6 horas por mes simulado, (72 horas por año) en el de la malla del Golfo se utilizaron 60 procesadores, requiriendo 4 horas por mes (48 horas por año). Existen tres aspectos a considerar en la optimización de la implementación: en el código general, en las opciones de compilado, en las configuraciones, en la resolución espectral, en el paso del tiempo, en el procesamiento en paralelo (MPI), sistema operativo Linux seleccionado, implementación en paralelo, mallas adicionales a incluir.

Para cada punto en la malla espacial, se tiene un espectro con el número de bandas seleccionado: en frecuencias y en direcciones (Fig. 2)

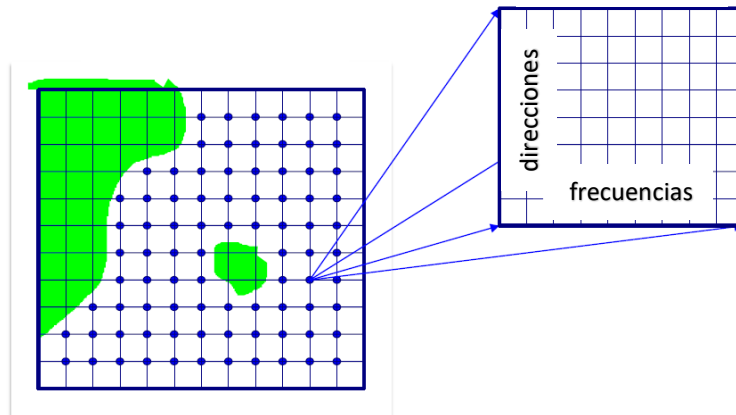


Fig. 2 Dominio espectral para cada punto de la malla espacial.

Los elementos básicos del modelo Wavewatch se muestran de las Figs. 3 a la 15, donde se describen los módulos de preprocesamiento, simulación numérica y postprocesamiento, incluido el núcleo dinámico donde se integra numéricamente la ecuación de balance de acción para cada punto de malla, así como diagramas de flujo y macros para los módulos de preprocesamiento, simulación numérica y postprocesamiento.

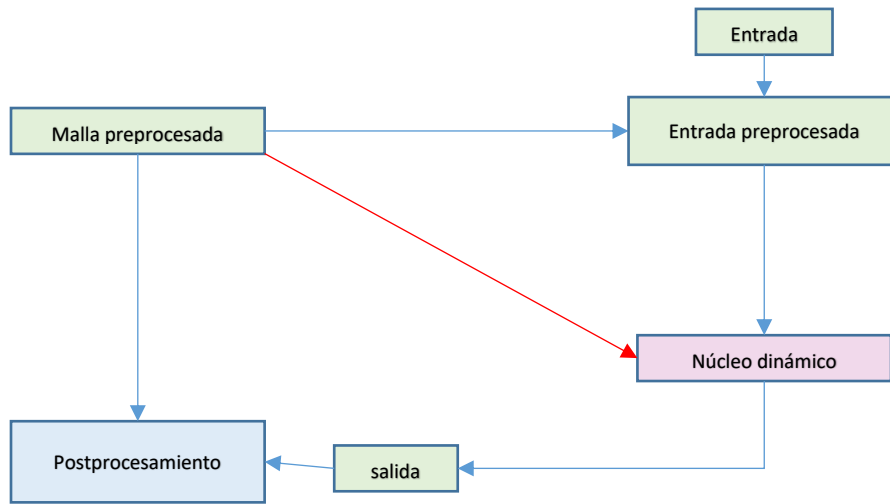


Fig. 3 Diagrama de flujo del modelo Wavewatch

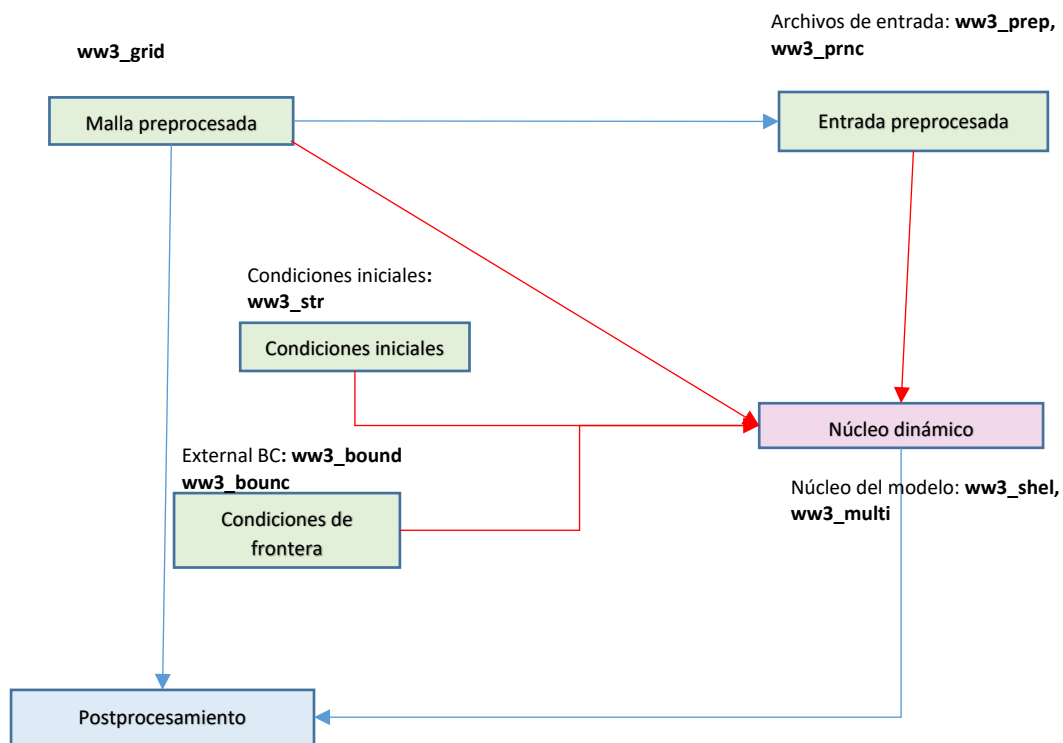


Fig. 4 Procesos numéricos y física a reproducir.

ASCII/Binario (puntos, variables, track): **ww3_outp, ww3_outf, ww3_trck**
 GRIB/GRIB2 (field): **ww3_grib**
 NetCDF (puntos de malla, variables): **ww3_ounp, ww3_ounf**
 GrADS (puntos de malla, variables): **gx_outf, gx_outp**
 Wave system tracking (field): **ww3_systrk**
 Procesamiento del Re-malleo: **ww3_gint**

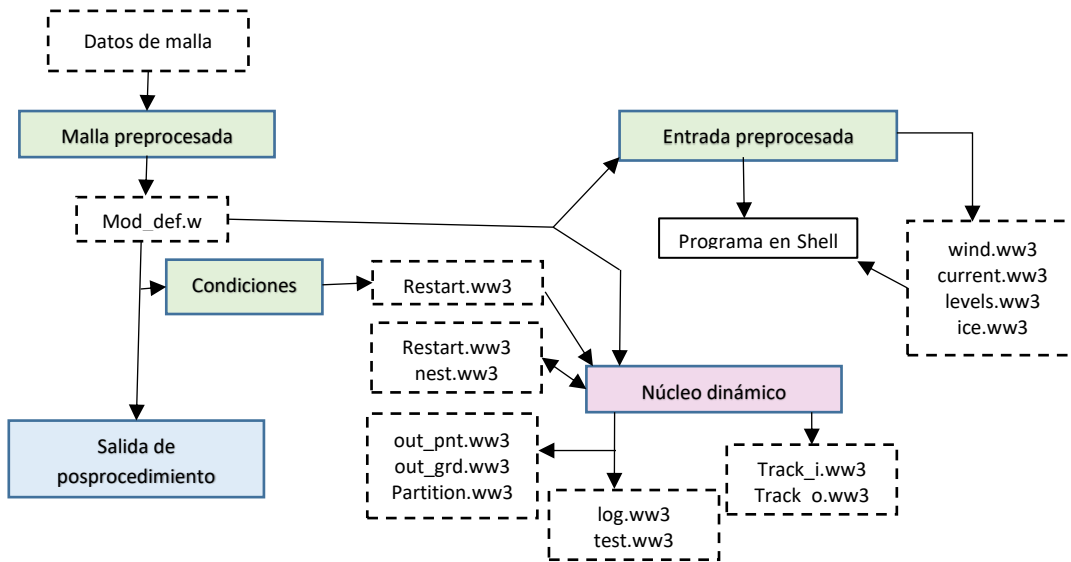


Fig. 5 Flujo de datos de Wavewatch.

Estructura modular de Wavewatch:

- Preprocesadores:
 - Malla, procesos numéricos, física: ww3_grid
 - Condición inicial. Estacionario BC: ww3_strt
 - Datos de límites externos: ww3_bound, ww3_bounc
 - Campos de entrada: ww3_prep, ww3_prnc
- Modelos de onda del núcleo: ww3_shel, ww3_multi
- Post-procesadores:
 - ASCII / Binario (punto, campo, trck): ww3_outp, ww3_outf, ww3_trck
 - GRIB / GRIB2 (campo): ww3_grib
 - NetCDF (punto, campo): ww3_ounp, ww3_ounf
 - GrADS (punto, campo): gx_outp, gx_outf
 - Seguimiento del sistema de ondas (campo): ww3_systrk
- Re-malleo procesadores: ww3_gint

Estructura de datos de Wavewatch:

- Se utiliza estructura de datos modular, FORTRAN 90.
- Estructura de datos estática orientada a objetos.

Incluido con el código

- Crea una pequeña sobrecarga (7% en Linux)
- Los datos se almacenan en módulos de datos

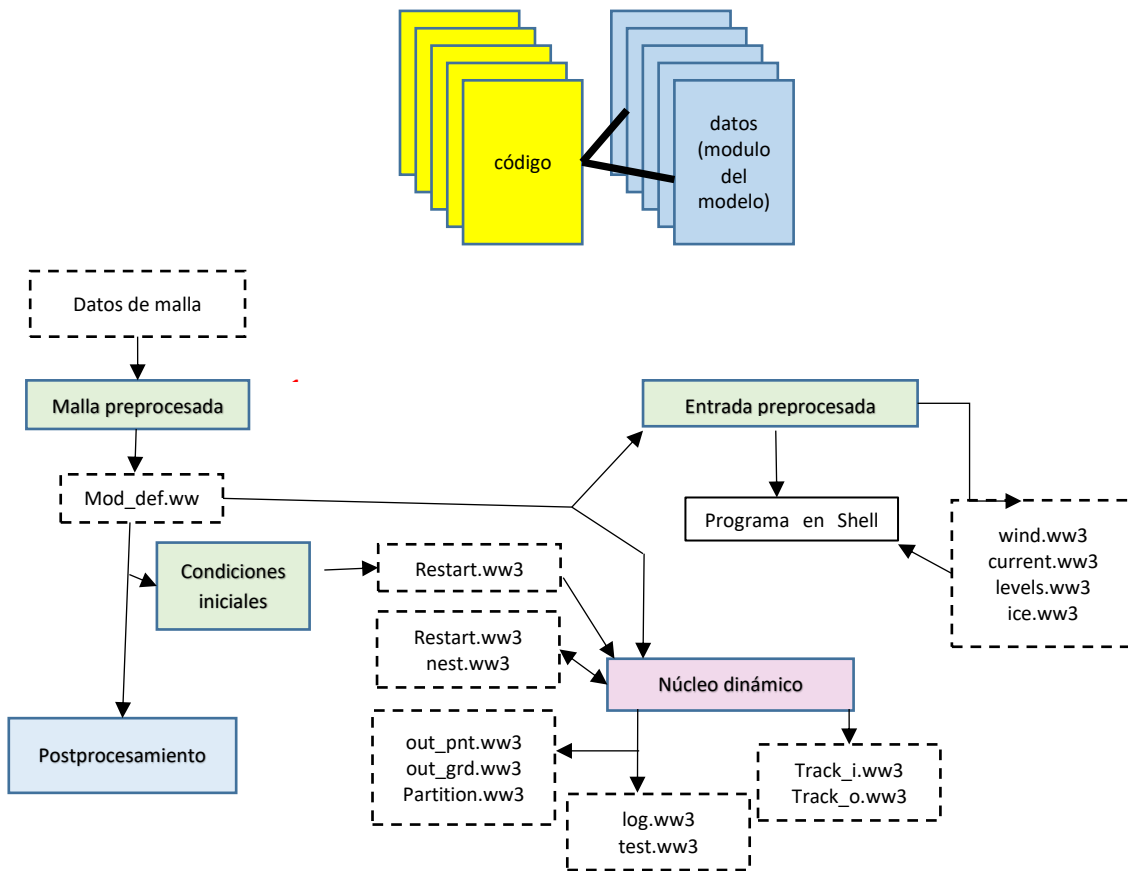


Fig. 6 Procesamiento de datos de Wavewatch

PREP - Definición de malla
 Preprocesador ww3_grid
 La salida se canaliza al archivo de salida ww3_grid.out

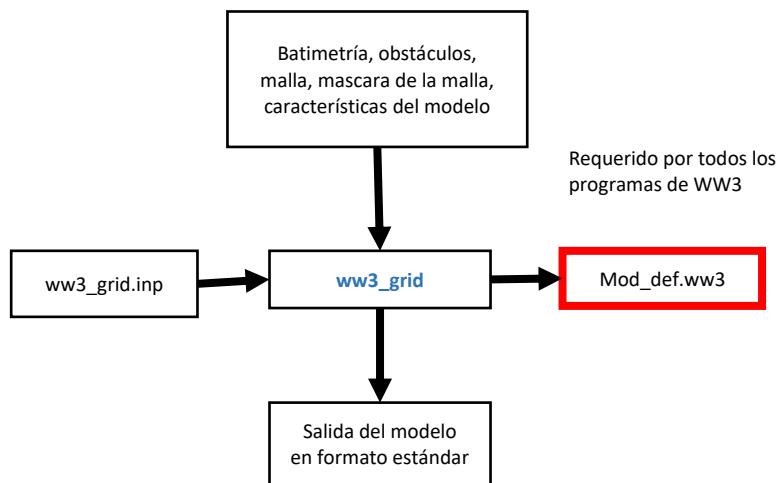


Fig. 7 Información necesaria para simulación con Wavewatch

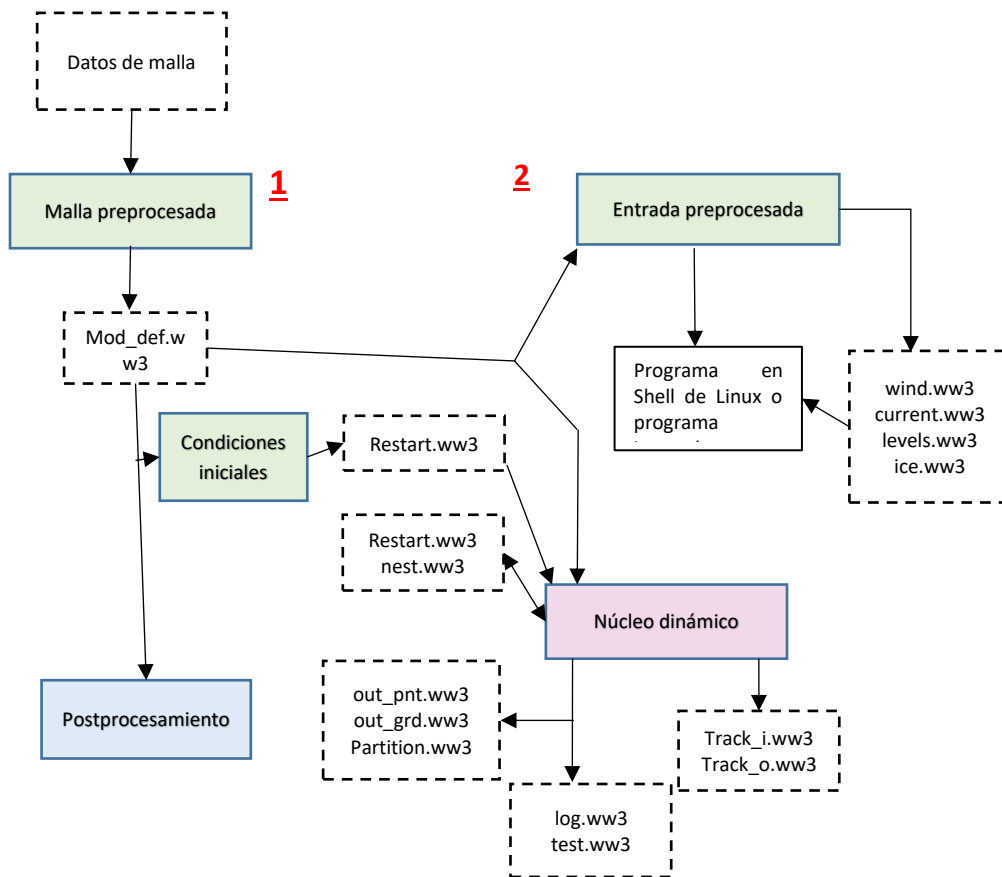


Fig. 8 Flujo de información y módulos de Wavewatch

PREP – Forzamiento del modelo

El preprocesamiento de los campos de entrada se realiza mediante `ww3_prep`. Este programa se utiliza para los cuatro tipos de campos de entrada (uno a la vez) y puede tratar con campos provistos por el usuario en varios formatos.

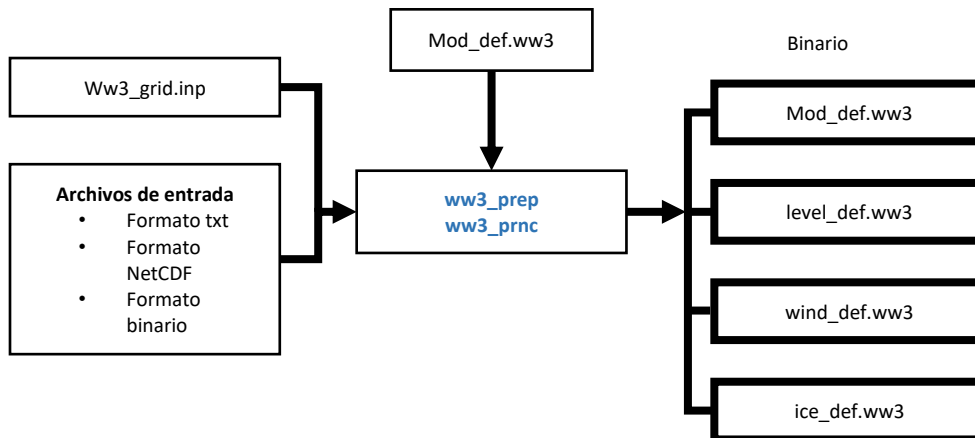


Fig. 9 Archivos de entrada y salida de Wavewatch

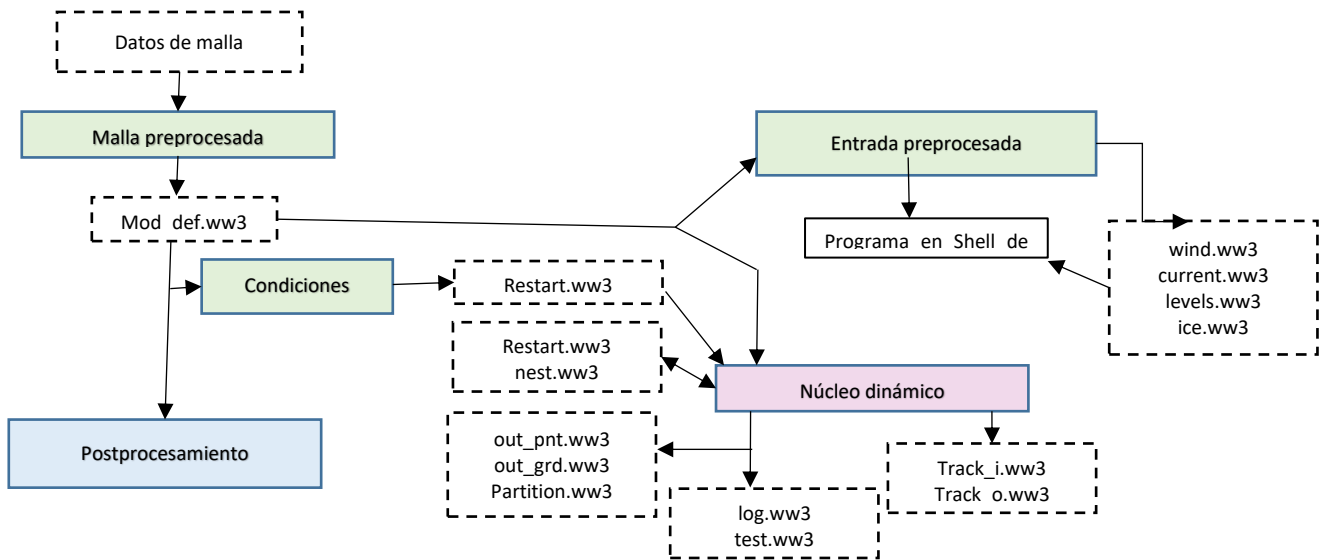


Fig. 10 Archivos de entrada y salida de Wavewatch

PREP - Condiciones iniciales en espectros: Wavewatch tiene diversos espectros teóricos para utilizarse, como: Gaussiano / coseno, experimento JONSWAP, Gaussiano en el espacio, JONSWAP, para viento local, Espectro inicial definido por el usuario, en reposo.

Para la malla global se inició el 1 de enero de 1979 en reposo, y las condiciones iniciales de cada mes fueron las del último día del mes anterior y así sucesivamente. Para el caso de la malla regional (Golfo de México), se utilizaron las condiciones iniciales y de frontera heredadas del modelo global, ello para reproducir en las fronteras los espectros que llegan desde regionales lejanas (Swell).

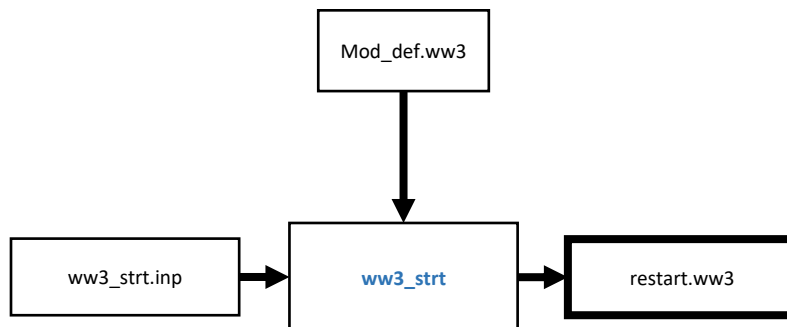


Fig. 11 Macros para incluir condiciones iniciales de simulaciones previas.

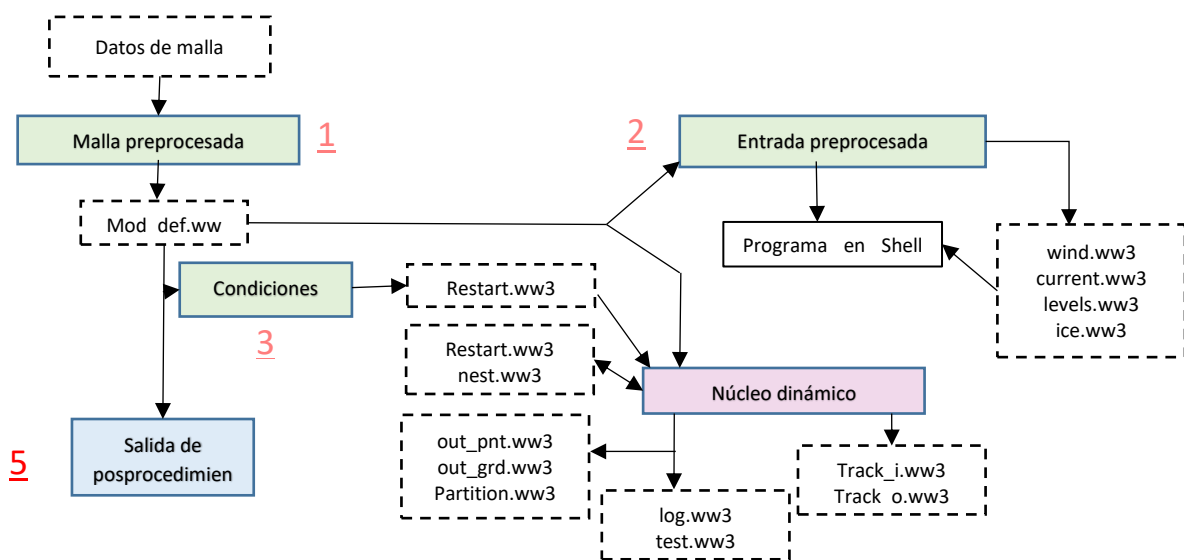


Fig. 12 Postprocesamiento: Salida en malla

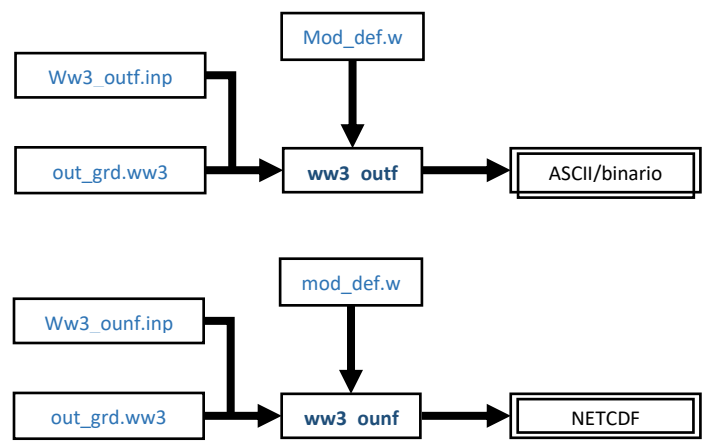


Fig. 13 Postprocesamiento: Salida en puntos de malla

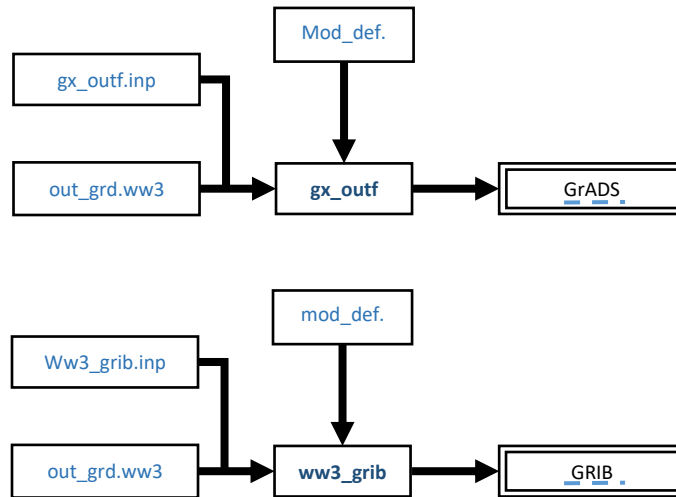


Fig. 14 Postprocesamiento: Salida en puntos de malla

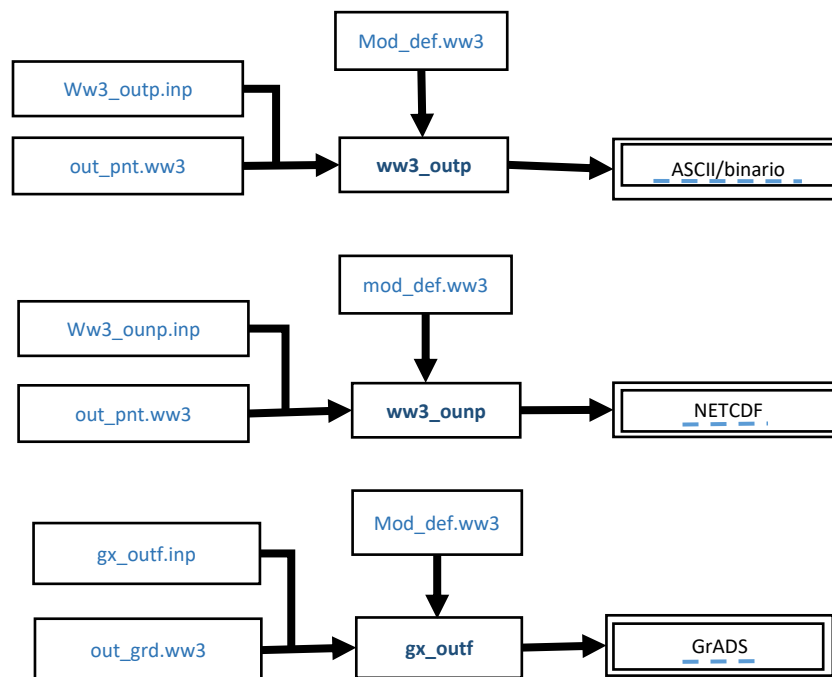
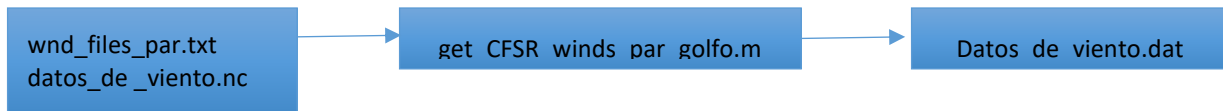


Fig. 15 Postprocesamiento: Salida en puntos de malla

Diagramas de flujo para simulaciones con Wavewatch

1.- Conversión a archivos en ASCII (* .dat)



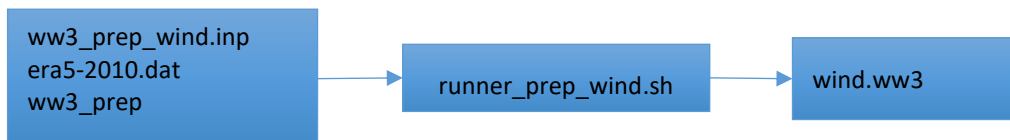
2.- Lectura de batimetría



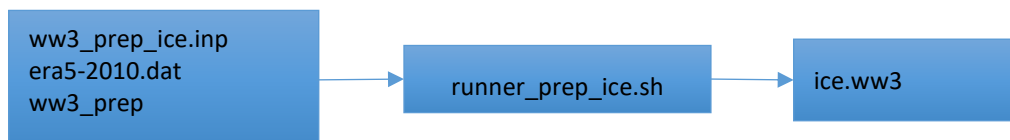
3.- Generación de malla (módulo GRID)



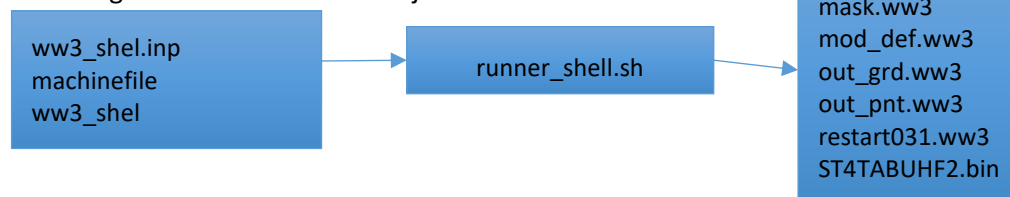
4.- Configuración de períodos de simulación: módulo PREP_WIND



5.- Configuración de hielo (PREP_ICE)



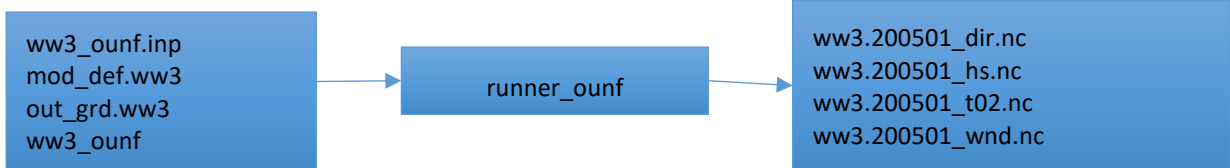
6.- Configuración del módulo de ejecución del modelo



7.- Configuración del módulo de postprocesamiento para puntos de malla seleccionados (ounp)



8.- Configuración del módulo de postprocesamiento para puntos todos los puntos de malla (ounf)



Las soluciones de la integración numérica se calculan en puntos de malla, en este caso, se aplicaron a dos mallas: la malla global a una resolución espacial de 0.5° (50 Km.) (Fig. 16) y la regional sobre el Golfo de México a 0.1° (10 Km.) (Fig. 17). El modelo calcula las variaciones del espectro direccional en cada punto de malla, los cuales dependen del viento, ofreciendo parámetros de oleaje promedio como: altura significativa (H_s), período pico (T_p) y período promedio (T_m), dirección pico (θ_p) y dirección promedio (θ_m) y particiones del espectro (seguimiento en tiempo y espacio los principales picos espectrales y sus frecuencias cercanas).

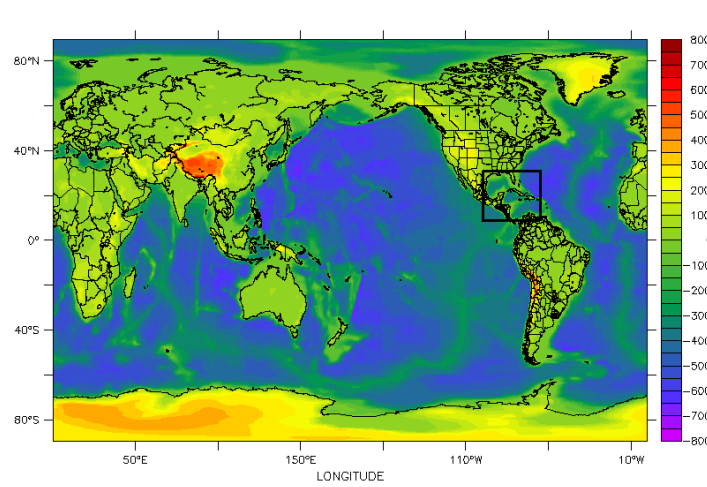


Fig.16 Batimetría y orografía de malla global y malla anidada para el Golfo de México.

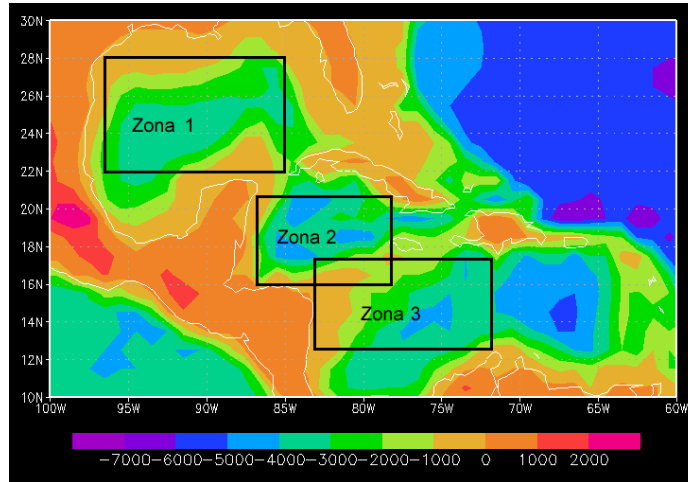


Fig.17 Batimetría y orografía de malla anidada para el Golfo de México y zonificación.

La potencia de oleaje para cada punto de malla se calculó mediante:

$$P = \frac{\rho g^2}{64\pi} H^2 m_0 T \approx \left(0.5 \frac{kW}{m^3 s} \right) H^2 m_0 T \quad \text{Ec.) 1}$$

Donde T es el período asociado al Swell.

Resultados preliminares.

En esta etapa se iniciaron las simulaciones numéricas del período 1979 a 1982, en una malla global, y una regional. Los vientos globales forzantes de oleaje para dos períodos contrastantes: invierno y verano del hemisferio norte. En el caso del invierno, los vientos superficiales en el Atlántico a una resolución de 0.5° (aproximadamente 50 Km.) son máximos al norte de 40°N y 40°S, de más de 13 m/s, en ambos casos hacia el este (Fig. 18). Para la zona tropical que afecta México, para el Atlántico, los vientos tienen un patrón alrededor de la presión alta semipermanente de la Azores, a favor de las manecillas del reloj, cubriendo la totalidad del Atlántico Tropical en el hemisferio norte, cuya porción sur son los vientos alisios (entre el Ecuador y 20°N). En el Caribe estos vientos se intensifican generando la Corriente en Chorro del Caribe de niveles bajos (CCC), la cual es mayor a 13 m/s, (Fig. 18) siendo un modulador muy importante del clima regional. En el Pacífico mexicano se observan vientos más débiles que en Atlántico, afectado por la porción proveniente del noroeste, la cual está asociada a la circulación anticiclónica del Pacífico.

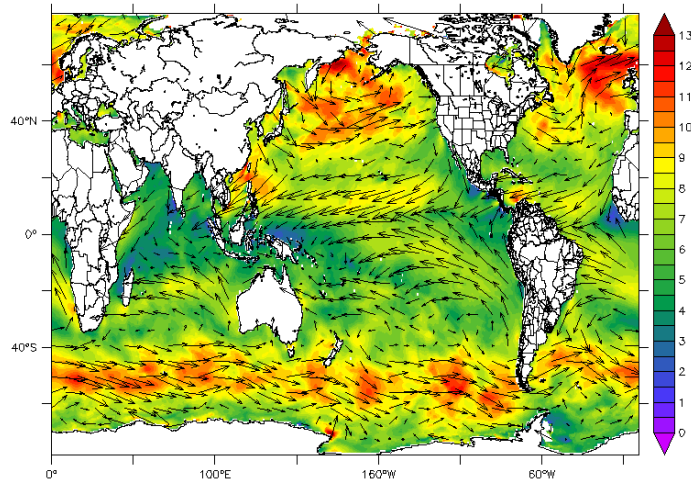


Fig.18 Vientos superficiales promedio de invierno (diciembre-febrero 1979-1982)

Para el verano, los vientos superficiales en el Atlántico presentan una estructura de circulación anticiclónica más clara que en invierno, ya que el alta semipermanente de las Azores es mayor, generando gradientes zonales y meridionales mayores. Los vientos derivados de este gradiente son del oeste en latitudes mayores a 40°N y del este entre el Ecuador y 35°N (Fig. 19), estos últimos son los alisios, los cuales se inestabilizan y generan perturbaciones tropicales que pueden llegar a convertirse en ciclones tropicales, la porción tropical del Atlántico: Caribe y Golfo de México, los vientos del este son mayores a 9 m/s, y en el Caribe, la CCC alcanza valores de hasta 15 m/s, siendo una importante fuente de energía cinética para intensificar las ondas del este que viajan desde África hasta el Caribe, donde pueden alcanzar la categoría de ciclones tropicales o huracanes afectando México y Centroamérica.

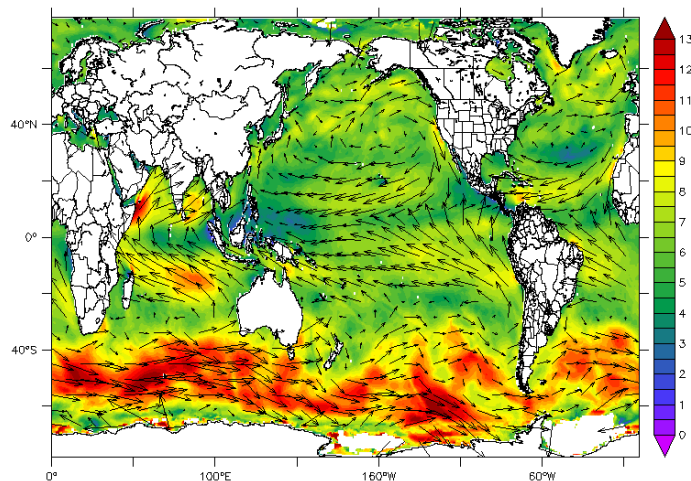


Fig.19 Vientos superficiales promedio de verano (junio-agosto 1979-1982)

La simulación numérica de oleaje en la malla global muestra la estacionalidad asociada a los vientos, por ejemplo, en invierno del hemisferio norte, tanto en el Atlántico Norte y Sur como en el Pacífico Norte y Sur, a una resolución de 0.5° (50 Km. aproximadamente) se observan alturas de oleaje mayores a 4 m. (Fig. 20), las cuales están asociadas a los vientos máximos (ver Fig. 18). Siendo un cuerpo semicerrado, en el Golfo de México se observan

alturas de oleaje promedio menor a 2 m. en invierno y en Caribe de 3 m., donde se ubica la CCC.

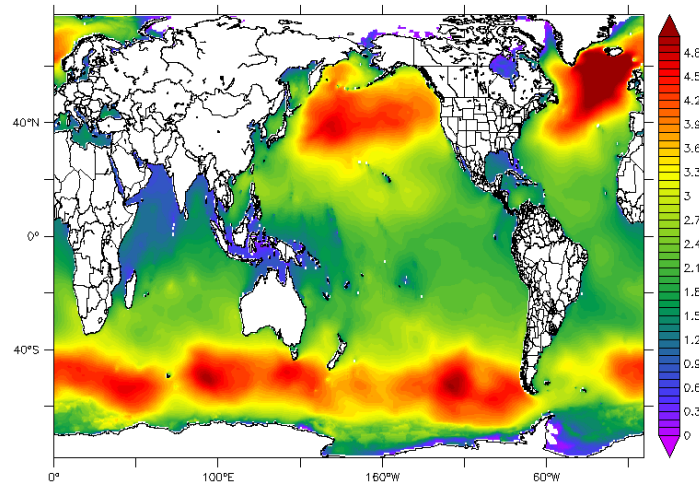


Fig.20 Altura significativa promedio de invierno (diciembre-febrero 1979-1982)

Para el verano del hemisferio norte, las simulaciones de oleaje global (con resolución de 0.5°: 50 Km. aproximadamente) es máximo en latitudes altas del hemisferio sur: al sur de 40°S (cuando es invierno en el hemisferio sur), siendo en todas los mares adyacentes a México alturas promedio son menores de 3 m. y de 2m. en el Golfo de México. (Fig. 21).

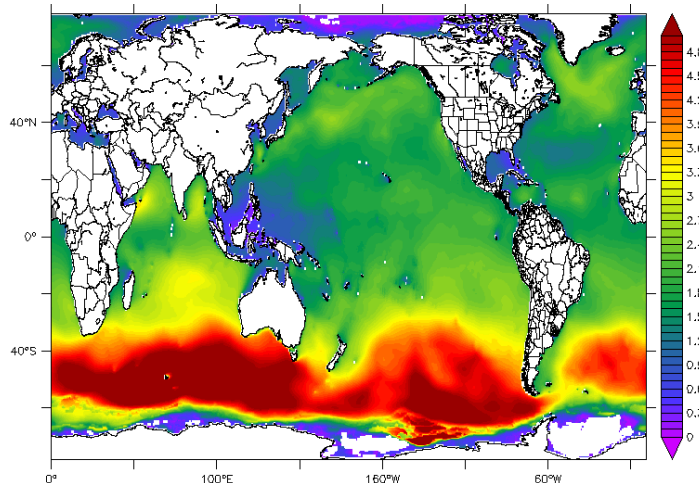


Fig.21 Altura significativa promedio de verano (junio-agosto 1979-1982)

Respecto a los vientos locales a mayor resolución (0.1°: 5 Km. aproximadamente), muestran que la CCC se localiza en el centro del Caribe, con su núcleo entre 10°N y 15°N y 70°W y 80°W, con magnitudes mayores de 13 m/s, siendo predominantemente del este, a excepción del Golfo de Tehuantepec, (Fig. 22) donde los vientos denominados Tehuanos son del norte, con magnitudes de hasta 8 m/s y se generan por la reducción de área del paso del Golfo de México hacia el Pacífico debido a la interrupción orográfica característica del Istmo de Tehuantepec, situación similar ocurre en la frontera de Nicaragua con Costa Rica (Golfo de Papagayo), donde una segunda interrupción orográfica genera viento en el Pacífico del noreste, con magnitudes de hasta 9 m/s.

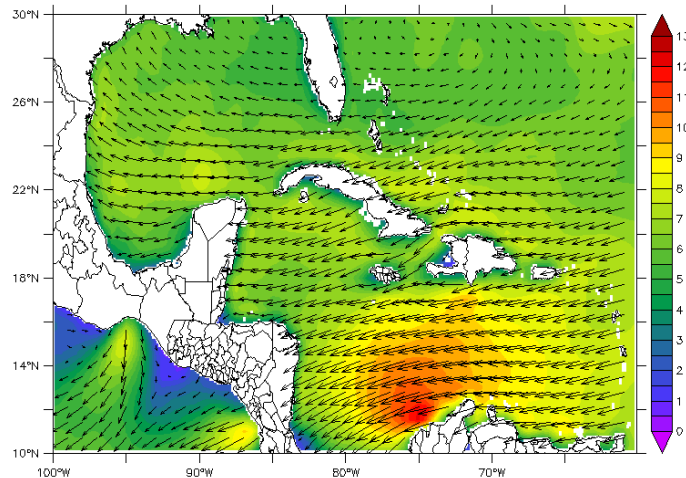


Fig.22 Vientos superficiales promedio de invierno (diciembre-febrero 1979-1982)

Para el verano, los vientos locales a mayor resolución (0.1° : 5 Km. aproximadamente), muestran que la CCC, con magnitudes mayores a 13 m/s, se mantiene sin migrar, aunque disminuyendo el área de su núcleo de vientos máximos (respecto a invierno), (Fig. 23), en el Golfo de Tehuantepec, los vientos Tehuanos disminuyen dramáticamente hasta valores menores a 4 m/s, similarmente en la costa Pacífica de la frontera entre Nicaragua y Costa Rica.

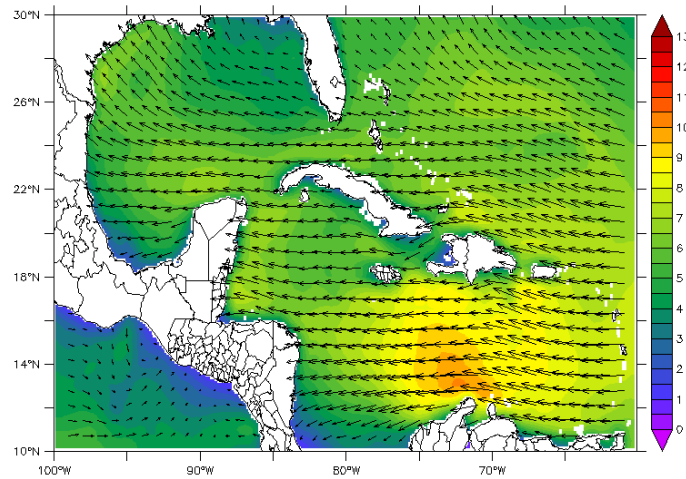


Fig.23 Vientos superficiales promedio de verano (junio-agosto 1979-1982)

Las simulaciones de alta resolución (0.5° : 5 Km. aproximadamente), en el Golfo de México y Caribe, muestran una gran variabilidad espacial, ya que los valores máximos (mayores a 2.5 m.) se localizan en la zona de la CCC, siendo su impacto muy local (Fig. 24), ya que hacia el Canal de Yucatán y Golfo de México disminuye hasta 1.8 m. de altura. Este impacto regional puede asociarse al obstáculo que representan las islas del Caribe en la propagación del oleaje.

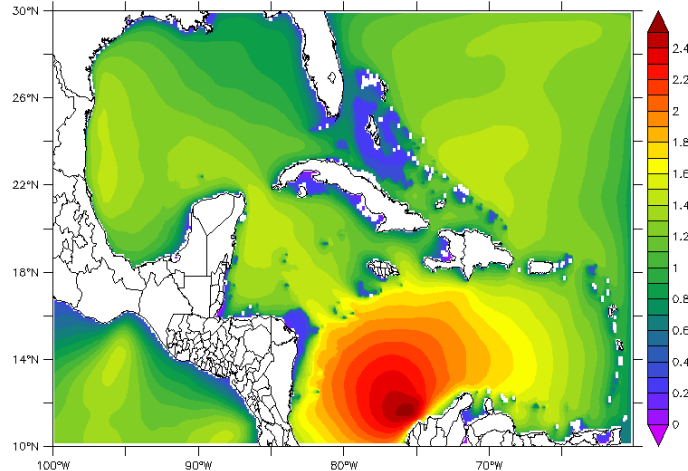


Fig.24 Altura significativa promedio para la malla regional (invierno: diciembre-febrero 1979-1982)

En verano se mantiene la distribución espacial de altura de oleaje simulado, siendo menor el área de alturas máximas en el Caribe (Fig. 25), ya que la CCC disminuye en ese período (de febrero a agosto), en el Golfo de Tehuantepec la altura de ola es menor respecto a invierno, por la ausencia de frentes fríos en verano.

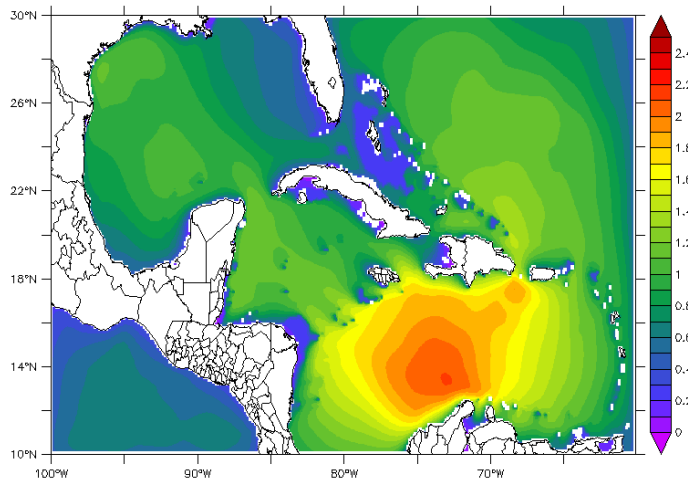


Fig.25 Altura significativa promedio para la malla regional (verano: junio-agosto 1979-1982)

La región del Golfo presenta una gran estacionalidad, es decir, variabilidad temporal asociada a las estaciones del año, estos contrastes se deben a que en verano el Golfo de México y el Caribe son afectados por ciclones tropicales provenientes del este o sureste, mientras que, en invierno por frentes fríos, del norte o noroeste, con características dinámicas diferentes, aunque generando ambos vientos intensos, en el caso de los frentes fríos con persistencia en la dirección del viento, en el de los ciclones tropicales, con variaciones de dirección e intensidad.

El promedio espacial para las tres zonas seleccionadas (ver Fig. 17) muestra que para el Golfo de México (zona 1, línea negra de Fig. 26), las mayores alturas de oleaje se observan

entre finales de otoño, en invierno e inicios de primavera (noviembre a marzo), con valores promedio cercanos a 1.5 m., período de frentes fríos. Entre mayo y octubre disminuye para la misma zona 1 la altura de ola, con valores promedio oscilando en 1.0 m. Para la zona 2 (línea roja de Fig. 26) se tienen dos máximos relativos (entre junio y agosto, cuando la CCC se acelera) y entre diciembre y febrero, asociado a frentes fríos que impactan esa zona tropical. Para el caso de la zona 3, donde el oleaje es mayor en todo el año (línea azul de Fig. 26), éste se debe a la persistencia de la CCC, la cual alcanza dos máximos, uno en febrero y otro en julio, esta corriente no migra su núcleo, generando que en la zona 3 se mantenga oleaje promedio mayor a 2 m. entre junio y agosto, la dirección de esta corriente tampoco varía estacionalmente (siempre es del este).

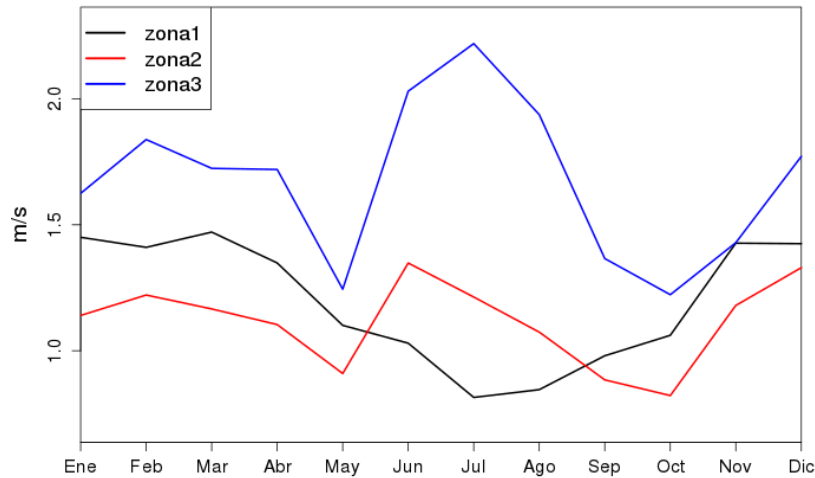


Fig.26 Ciclo anual de altura significativa promedio para las tres zonas (1979-1982)

En el caso de la potencia de oleaje, la cual es proporcional a su altura al cuadrado, (Ecuación 1), se observa que la zona 3 es la única con valores mayores a 15 Kw/m entre junio y septiembre y en febrero (Fig. 27), rango mínimo de funcionamiento probable de los convertidores de energía de oleaje. Para el resto de las zonas el oleaje promedio no alcanza a exceder en ningún momento el umbral de 15 Kw/m.

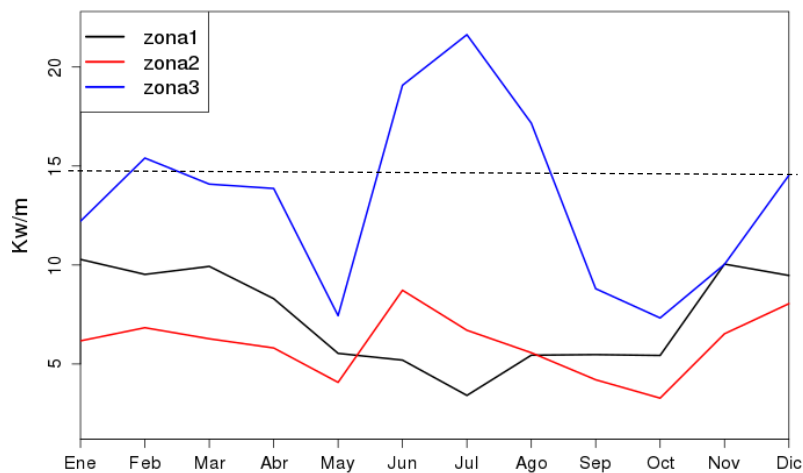


Fig.27 Ciclo anual de potencia de oleaje promedio para las tres zonas (1979-1982)

La identificación de extremos de altura significativa se realiza estimando los percentiles 10 y 90 para todas las estaciones del año, estos extremos permiten identificar la viabilidad de ambos extremos como fuente de energía que excede los umbrales requeridos para el funcionamiento óptimo de los convertidores de energía. La estacionalidad del percentil 10 muestra que, en invierno, período de frentes fríos y en el que la CCC tiene uno de sus intensidades máximas, imprime patrones espaciales tanto en el Golfo de México como en el Caribe (Fig. 28), en invierno este extremo menor en el Caribe es de 1.8 m y en el Golfo es de 1m. máximo, en Primavera se mantiene en el Caribe, pero en el Golfo disminuye, para el verano son aún menores los valores en el Golfo y Caribe para en otoño mostrar los valores anuales mínimos en toda la región.

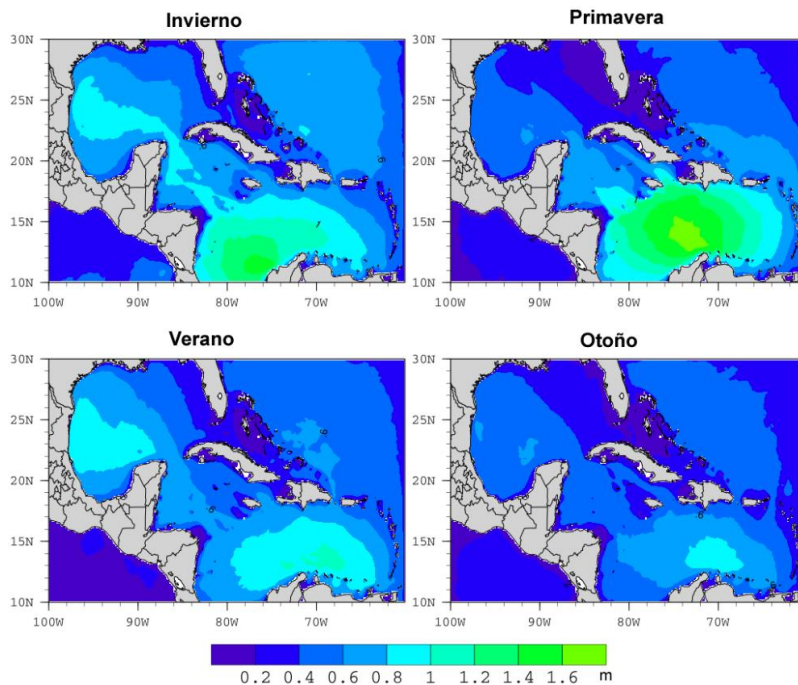


Fig.28 Percentil 10 de altura significativa para la malla regional.1979-1982

En el percentil 90, se alcanzan en invierno alturas de oleaje mayores a 3 m. tanto en el Caribe como en el Golfo de Tehuantepec (Fig. 29), en el primer caso están asociadas a la CCC y en el segundo a los vientos Tehuanos, en el Golfo de México se observan valores mayores de 2.5 m. En primavera se mantiene el máximo de 3 m. en el Caribe por la corriente atmosférica mencionada, mientras que los Tehuanos ya no generan oleaje alto en la región, mientras que en el Golfo de México se reduce el área de alturas mayores a 2.5 m por la disminución de frentes fríos. Para el verano, la altura de 3 m. se mantiene en el Caribe, no obstante, se reduce el área de afectación, incrementándose nuevamente en el Golfo de México, ello debido a los ciclones tropicales, para el otoño, se mantienen las alturas en el Golfo de México, mientras que en el Caribe disminuyen debido al debilitamiento de la CCC, incrementándose nuevamente en Tehuantepec, con valores mayores a 2.5 m. debido a que en este período inician los frentes fríos y con ello se intensifican los vientos Tehuanos.

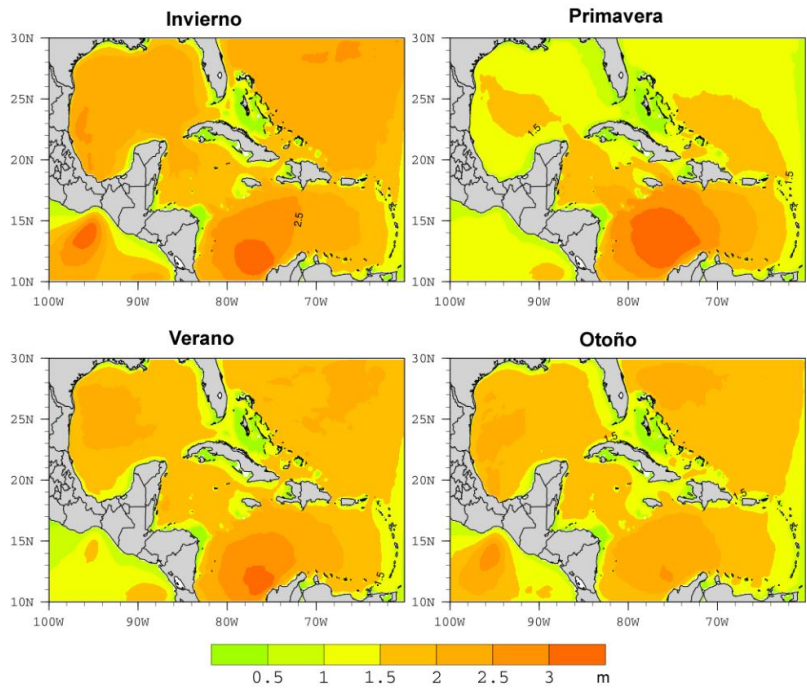


Fig.29 Percentil 90 de altura significativa para la malla regional.1979-1982

La potencia de oleaje se calcula a partir de la altura significativa mediante la ecuación 1) para cada punto de malla, estimado el percentil 10 estacionalmente, la distribución espacial es proporcional a la altura de oleaje ya discutida y a su período, ya que es el flujo de la energía. En invierno, el máximo de potencia del percentil 10 es el Caribe, con valores cercanos a 14 Kw/m, no obstante, bajo este percentil mínimo, no alcanza en ninguna región el valor de 15Kw/m, umbral mínimo para un desempeño óptimo de desempeño de convertidores de energía establecido por World Energy Council, en 2010.

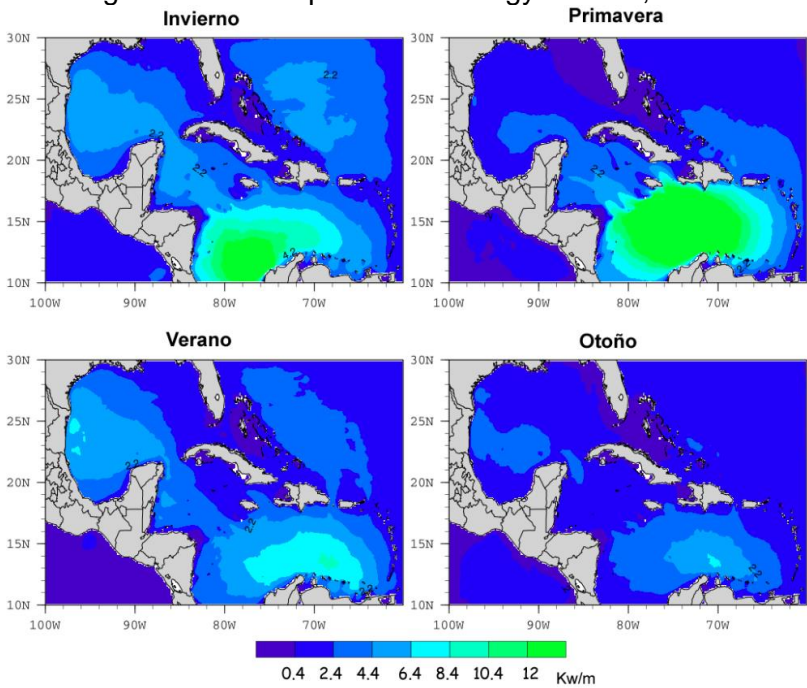


Fig.30 Percentil 10 de potencia de oleaje para la malla regional (1979-1982)

En el percentil 90, durante todo el año, para casi la totalidad de la región Golfo de México y Caribe, la potencia excede el umbral de 15 Kw/m, a excepción de costas de Campeche, Chiapas, Oaxaca y Guerrero (Fig. 31). En invierno los valores mayores se observan en el Caribe, generado por la CCC y Tehuantepec por los vientos Tehuanos, en el Golfo de México también se excede el umbral citado, en primavera en Tehuantepec disminuye la potencia, sin embargo, sigue siendo mayor al umbral de 15 Kw/m, en verano se incrementan nuevamente los valores en el Golfo de México debido a ciclones tropicales, manteniéndose alto en el Caribe y en otoño en todas las regiones disminuye, aunque es mayor que el umbral referido.

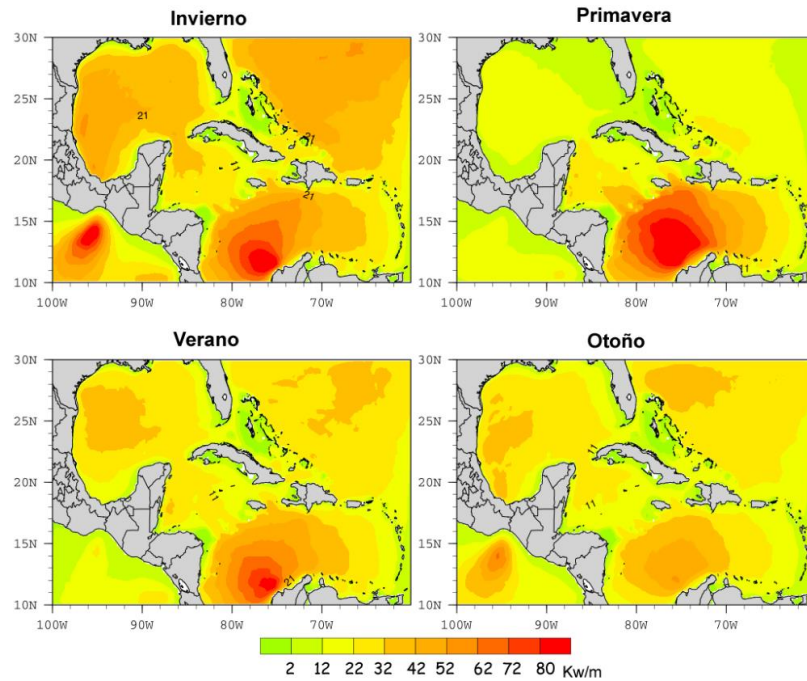


Fig.31 Percentil 90 de potencia de oleaje para la malla regional (1979-1982)

En el ciclo anual de potencia promediada de oleaje para las tres zonas referidas en la Fig. 17 se observa que en el percentil 10 la zona 3, oscila entre 2 y 9 Kw/m, siendo julio el mes de valor mayor, ello asociado a la CCC, la zona 2 también tiene un máximo en julio, pero menor (2 Kw/h), mientras que en la zona 1 (Golfo de México) los valores máximos son en invierno (Fig. 32).

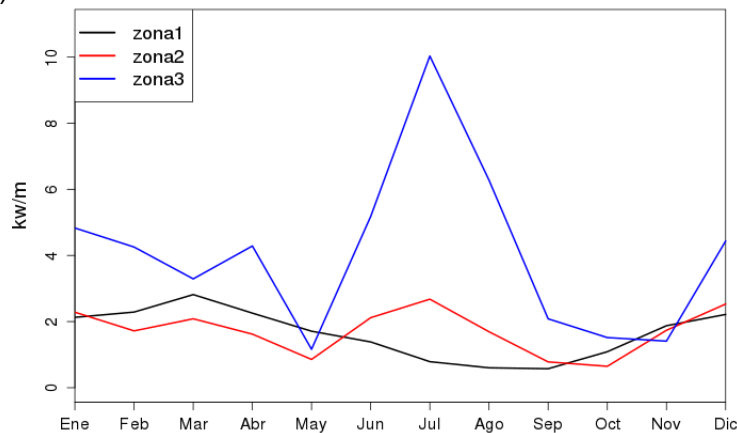


Fig.32 Ciclo anual de potencia de oleaje del percentil 10 para la malla regional (1979-1982)

Finalmente, el percentil 90 de potencia de oleaje para las tres zonas, muestra que la zona 3 excede el umbral de mínimo requerimiento mencionado para la eficiencia de convertidores de energía durante todo el año (Fig. 33), entre junio y agosto alcanza sus mayores valores, siendo junio el mes que triplica este umbral. En la zona 2, el mes de junio es el único que excede el umbral, mientras que la correspondiente al Golfo de México (zona 1), es entre octubre y abril (época de frentes fríos) la temporada que excede este umbral.

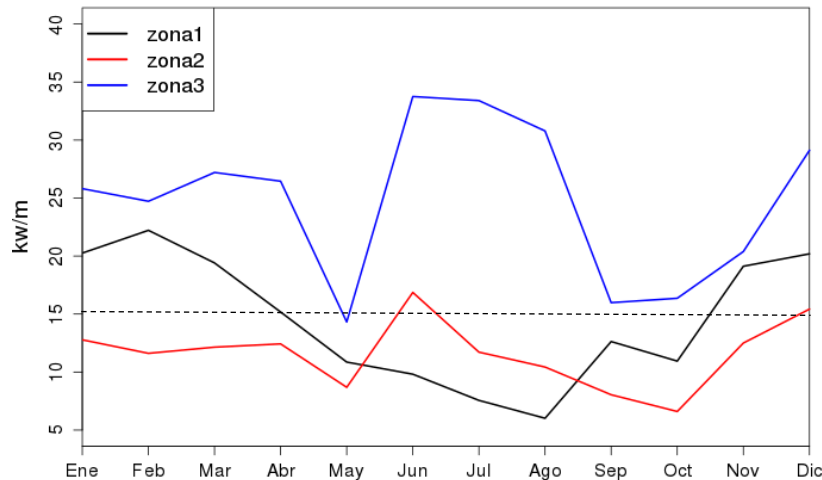


Fig.33 Ciclo anual de potencia de oleaje del percentil 90 para la malla regional (1979-1982)

Discusiones finales y conclusiones

Se realizó un análisis preliminar de simulaciones numéricas de oleaje estimado su potencia por zonas y analizando su variabilidad espacial y temporal. La malla global ofreció las condiciones de frontera a una regional sobre el Golfo de México y Caribe del período 1979 a 1982.

El diagnóstico se aplicó a la luz de los vientos forzantes globales y regionales, observándose que el oleaje del Golfo de México y Caribe se asocia a vientos regionales como los asociados a la CCC, frentes fríos (nortes) y ciclones tropicales. El viento distante del Atlántico no afecta estos cuerpos de agua debido a que las Antillas Mayores y Menores son un obstáculo que disipa oleaje distante del Atlántico.

La simulación numérica de oleaje en la malla global muestra la estacionalidad asociada a los vientos, por ejemplo, en invierno del hemisferio norte, tanto en el Atlántico Norte y Sur como en el Pacífico Norte y Sur, se observan alturas de oleaje mayores a 4 m, las cuales están asociadas a los vientos máximos analizados. Siendo un cuerpo semicerrado, en el Golfo de México se observan alturas de oleaje promedio menor a 2 m. en invierno y en Caribe de 3 m., donde se ubica la CCC. Para el verano del hemisferio norte, las simulaciones de oleaje global tienen alturas máximas en latitudes altas del hemisferio sur: al sur de 40°S (cuando es invierno en el hemisferio sur), siendo en todas los mares adyacentes a México alturas promedio son menores de 3 m. y de 2m. en el Golfo de México.

En el análisis de vientos locales a mayor resolución, se observa la estructura de la CCC en el centro del Caribe, con magnitudes mayores de 13 m/s. Un segundo máximo se localiza en el Golfo de Tehuantepec, el cual es mayor en invierno, donde los vientos denominados Tehuanos son del norte, con magnitudes de hasta 8 m/s, ambos eventos aparecen con gran persistencia en todo el año.

Las simulaciones de oleaje alta resolución (malla anidada), en el Golfo de México y Caribe, muestran una gran variabilidad espacial, identificándose tres zonas contrastantes denominadas zonas 1, 2 y 3 en el Golfo, noroeste del Caribe y centro-sur-suroeste del Caribe respectivamente. Se analizó estacionalmente, las condiciones de altura y potencia de oleaje simulado, asociándose a la intensificación (febrero y julio) y debilitamiento (agosto a enero y abril a julio) de la CCC.

La región del Golfo presenta una gran estacionalidad, estos contrastes se deben a que en verano el Golfo de México y el Caribe son afectados por ciclones tropicales provenientes del este o sureste, mientras que, en invierno por frentes fríos, del norte o noroeste, con características dinámicas diferentes.

En el análisis de la potencia de oleaje promedio, la zona 3 es la única con valores mayores a 15 Kw/m entre junio y septiembre y en febrero, rango mínimo de funcionamiento probable de los convertidores de energía de oleaje. Para el resto de las zonas el oleaje promedio no alcanza a exceder en ningún momento el umbral de 15 Kw/m, establecido para un desempeño óptimo de convertidores por el World Energy Council.

En el percentil 90, durante todo el año, para casi la totalidad de la región Golfo de México y Caribe, la potencia excede el umbral de 15 Kw/m, a excepción de costas de Campeche, Chiapas, Oaxaca y Guerrero. En invierno los valores mayores se observan en el Caribe, generado por la CCC y Tehuantepec por los vientos Tehuanos, en el Golfo de México también se excede el umbral citado, en primavera en Tehuantepec disminuye la potencia, sin embargo, sigue siendo mayor al umbral de 15 Kw/m, en verano se incrementan nuevamente los valores en el Golfo de México debido a ciclones tropicales, manteniéndose alto en el Caribe y en otoño en todas las regiones disminuye, aunque es mayor que el umbral referido.

En el ciclo anual de potencia promediada de oleaje para las tres zonas referidas muestra que en el percentil 10 la zona 3, oscila entre 2 y 9 Kw/m, siendo julio el mes de valor mayor, ello asociado a la CCC, la zona 2 también tiene un máximo en julio, pero menor (2 Kw/h), mientras que en la zona 1 (Golfo de México) los valores máximos son en invierno.

El percentil 90 de potencia de oleaje, muestra que la zona 3 es la única en exceder el umbral de mínimo requerimiento mencionado para la eficiencia de convertidores de energía durante todo el año.

Referencias

Alves, J. H. G. M., Y. Y. Chao and H. L. Tolman, 2005: The Operational North Atlantic Hurricane Wind-Wave Forecasting System at NOAA/NCEP. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note Nr. 244, 59 pp

Tolman, H. L., 2002f: User manual and system documentation of WAVEWATCH-III version 2.22. NOAA / NWS / NCEP / OMB technical note 222, 133 pp.

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

Tolman, H. L., 2003b: Optimum Discrete Interaction Approximations for wind waves. Part I: mapping using inverse modeling. NOAA / NWS / NCEP / OMB technical note 227, 57 pp.

Tolman, H. L., 2003c: Running WAVEWATCH III on a Linux cluster. NOAA / NWS / NCEP / MMAB Technical Note 228, 27 pp.

Performance of Generating Plant: New Metrics for Industry in Transition. 2010. World Energy Council.