

Simulación de oleaje durante huracanes y su impacto en zonas costeras.

Segundo curso de primavera sobre ciclones tropicales.



José Antonio Salinas P.

Acapulco. Marzo 2009.

SEMARNAT



Estructura de la presentación.

1. Panorama actual de los modelos de oleaje
2. Aplicaciones
3. Procesos involucrados
4. Representación espectral
5. Observaciones de boyas
6. Descripción de los términos que manejan los modelos espectrales de oleaje
7. Acoplamiento de modelos atmosféricos y de oleaje
8. Ejemplos de simulación de oleaje asociado a huracanes
9. Análisis del impacto mutuo: huracanes-oleaje
10. Impacto en zonas costeras
11. Discusiones generales

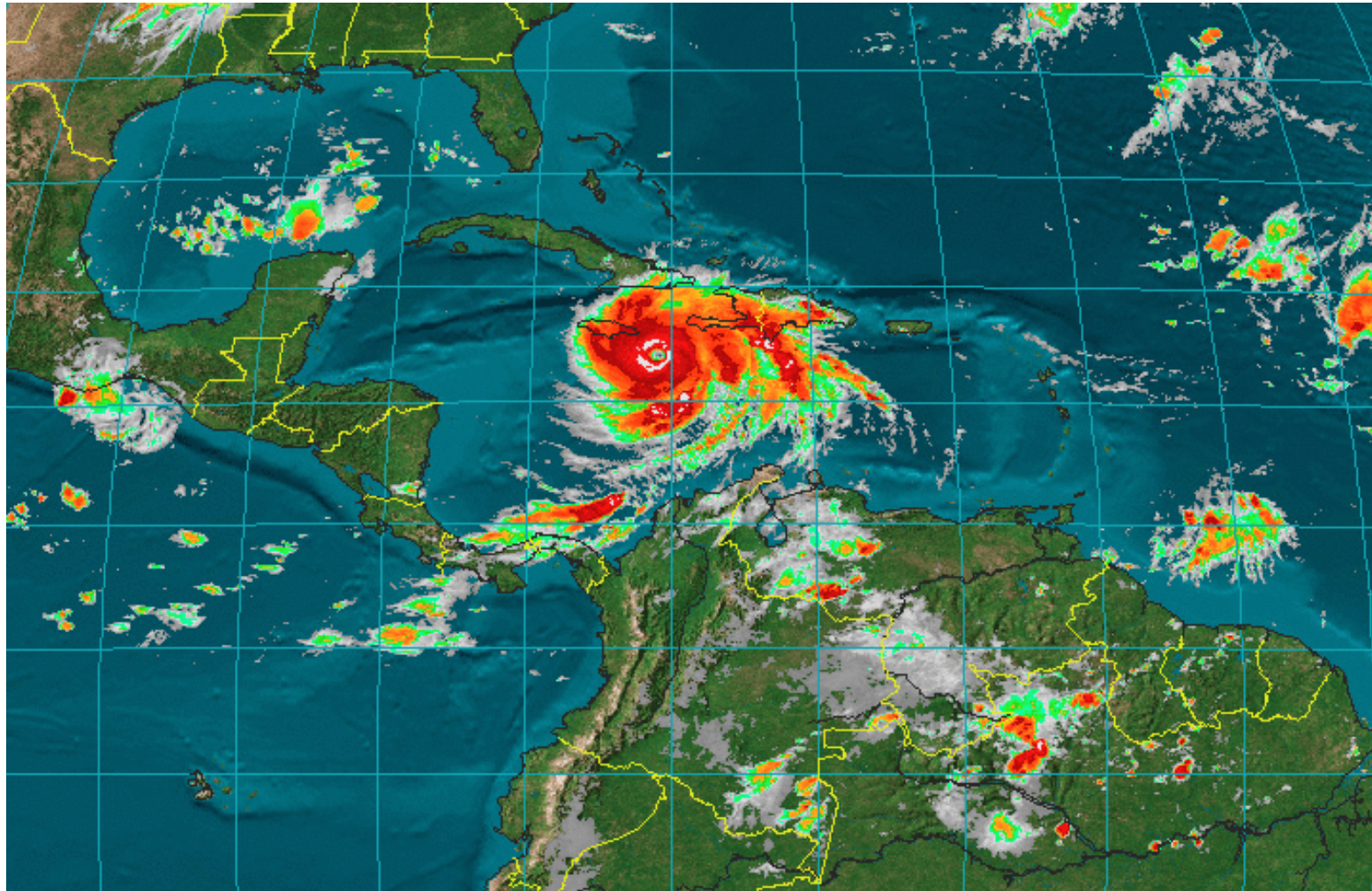


Panorama actual de los modelos de oleaje.

- Los avances en el conocimiento de los procesos físicos del oleaje han permitido la generación de modelos numéricos con alcances y limitaciones conocidos.
- La tecnología de cómputo actual permite contar con equipos de alto rendimiento, con procesamiento en paralelo y costos a la baja.
- La demanda de pronósticos de oleaje es grande y la relación costo-beneficio es favorable.



La simulación numérica es una herramienta complementaria para describir el oleaje asociado a huracanes.



Receptora GOES. IMTA



Aplicaciones...

Es posible diseñar, implementar y evaluar sistemas de simulación numérica de oleaje acoplando modelos numéricos de la atmósfera con los modelos de océano (oleaje, circulación, etc.) funcionando de forma operativa.

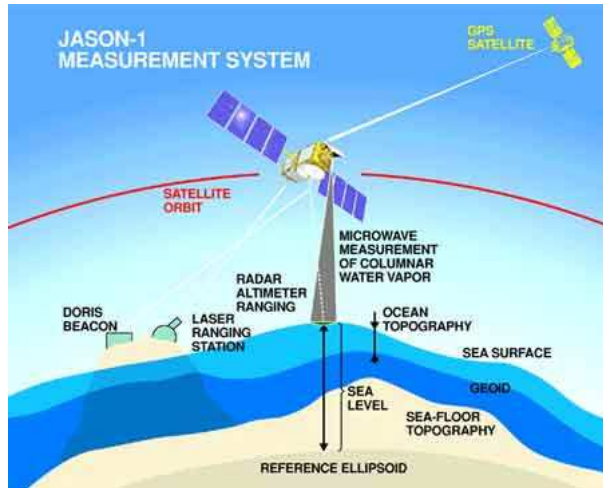


Imagen: JPL-NASA



Foto: CICESE



Foto: CICESE

Existen observaciones para verificar simulaciones:

- Boyas
- Sensores de presión
- Perfilador acústico de corriente por Doppler (ADCP)
- Radars de alta frecuencia (WERA: WavE Radar)
- Altimetros satelitales
- Satélites SAR (Synthetic Aperture Radars)



Foto: Antonio

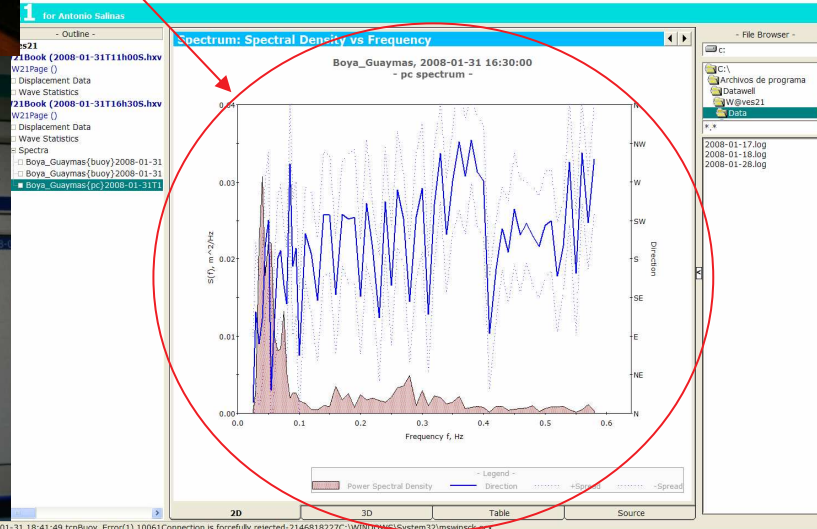
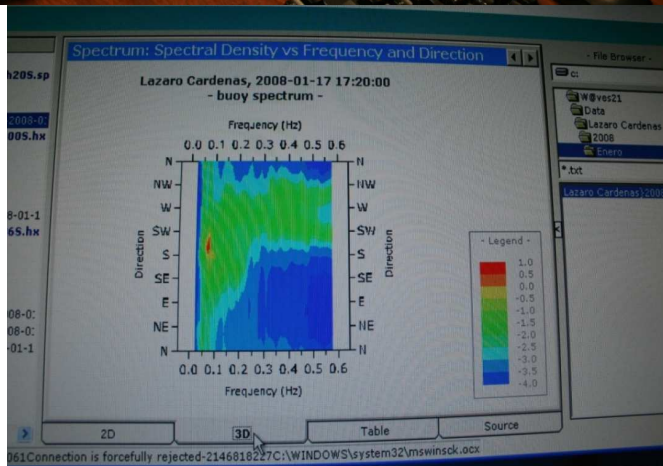
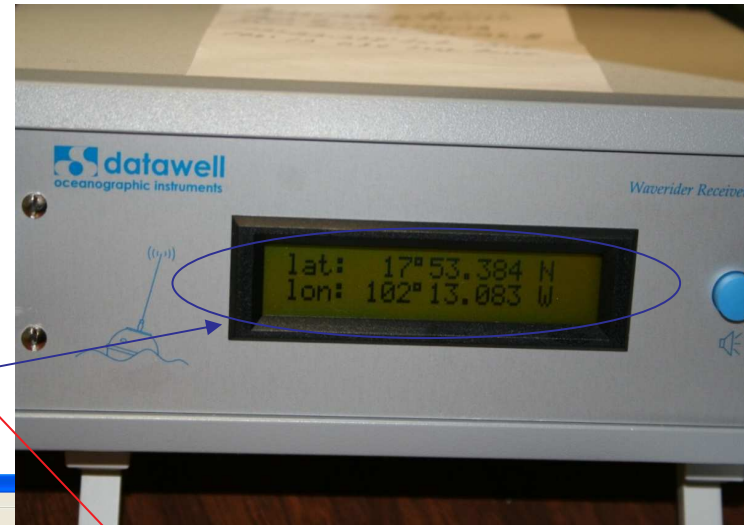
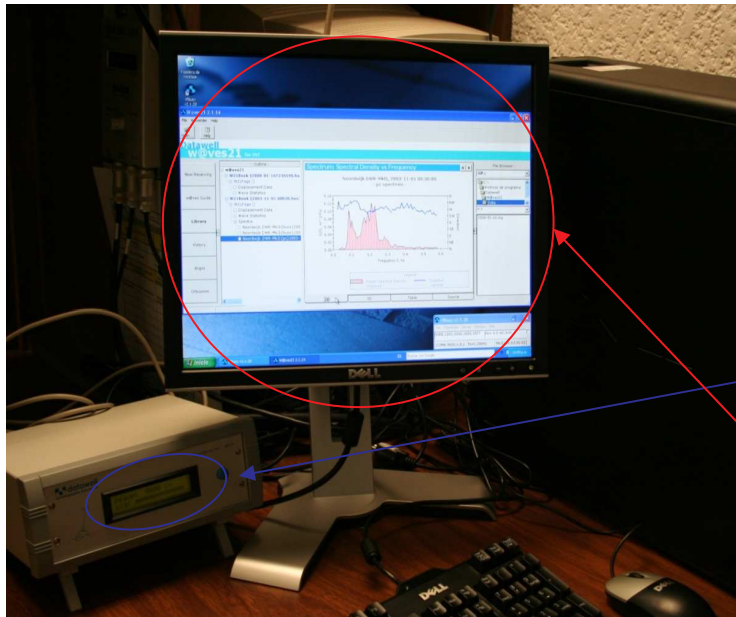


Aplicaciones en:

- Operaciones marítimas
- Diseño de estructuras costeras
- Transporte de sedimento
- Sistemas de alerta

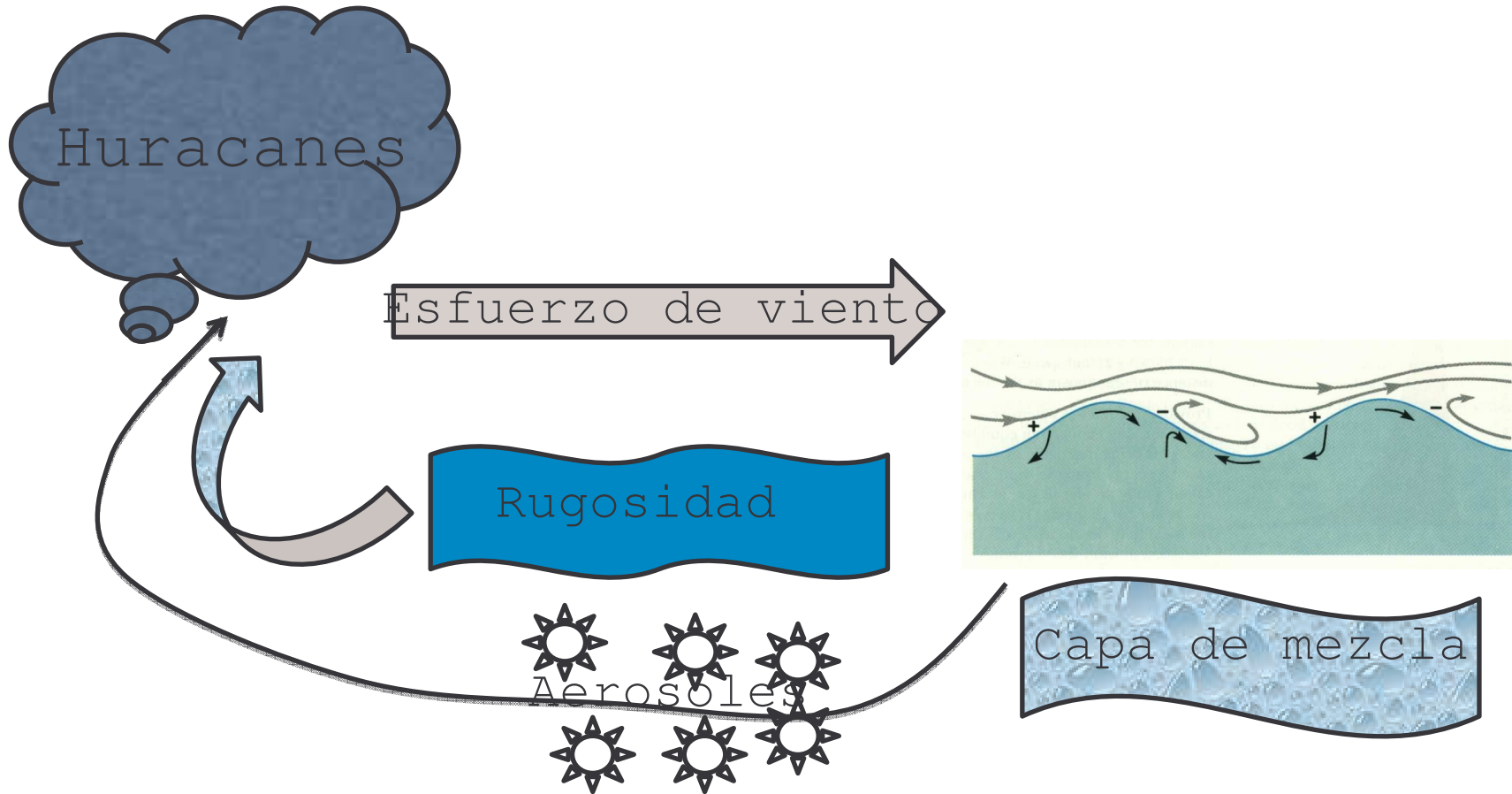


Tecnología de transmisión

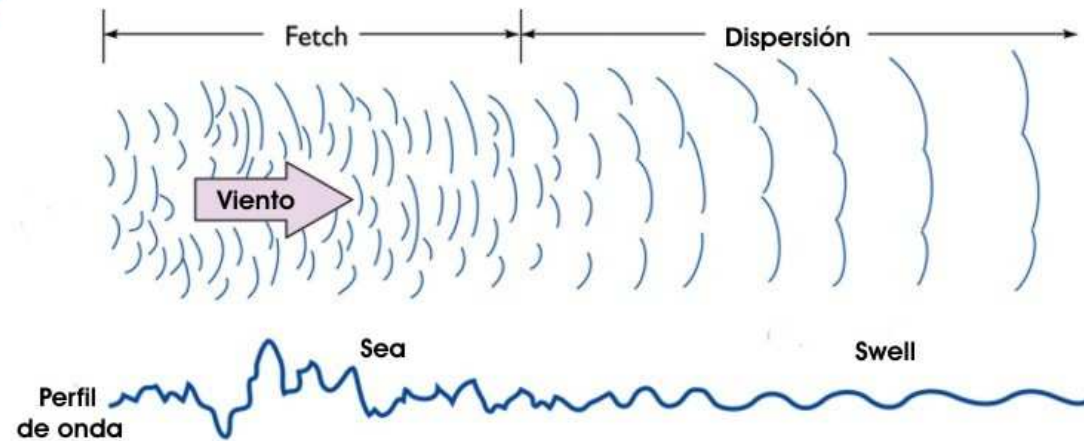
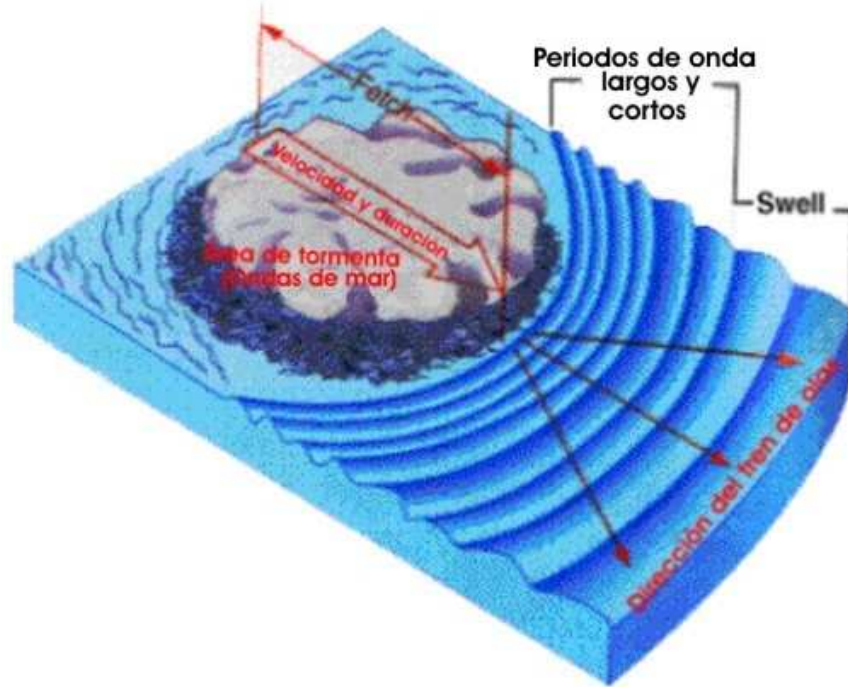


Fotos: Antonio Salinas

Efectos mutuos: Huracanes- oleaje

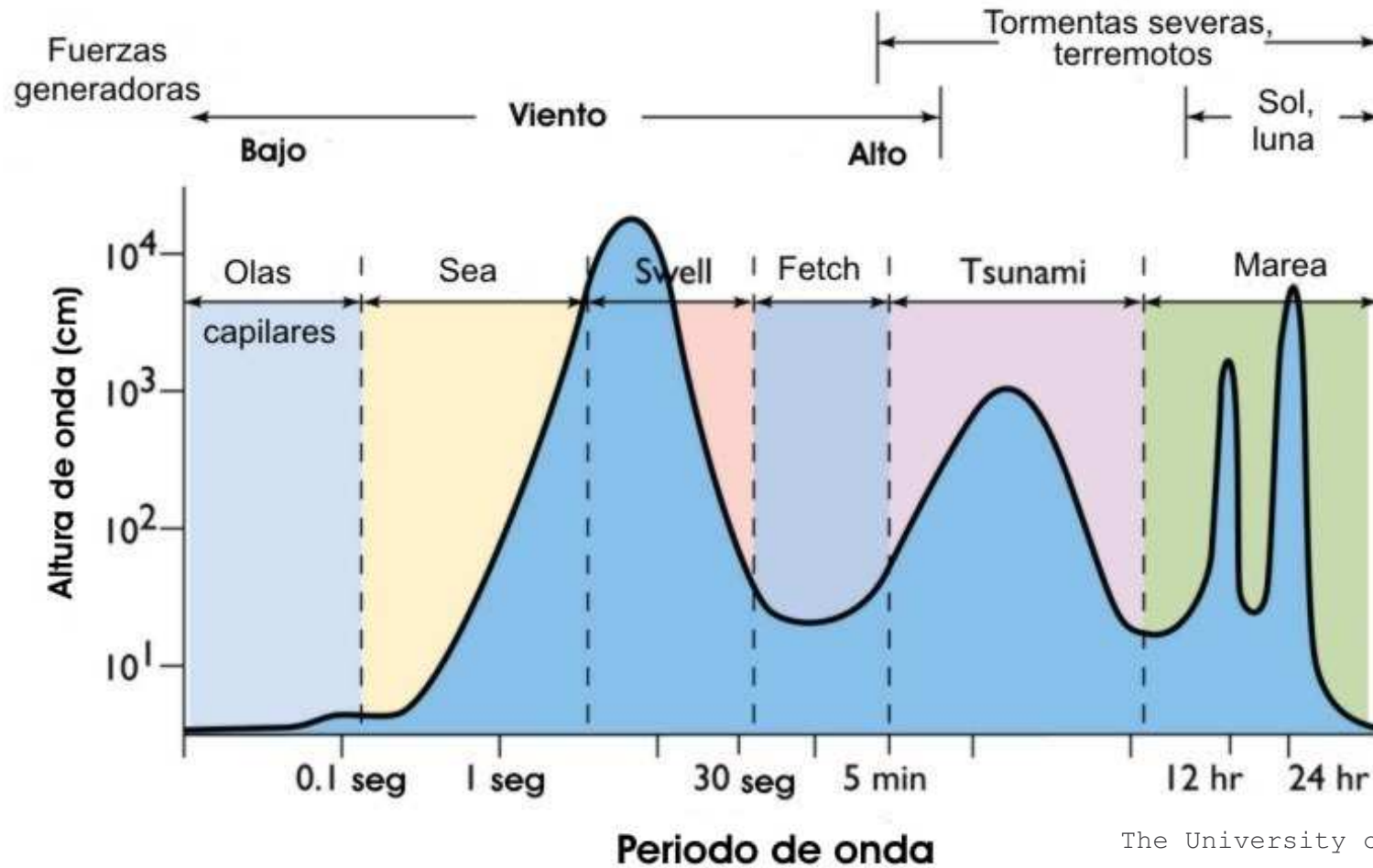


Efectos a distancia





Distribución espectral





Procesos involucrados con oleaje

Físicos:

- Interacciones oleaje-corrientes
- Apilamiento de agua (surge)
- Interacciones océano atmósfera: intercambio de gases, aerosoles liberados a atmósfera, calor, momento, condiciones de frontera (rugosidad).

Geológicos:

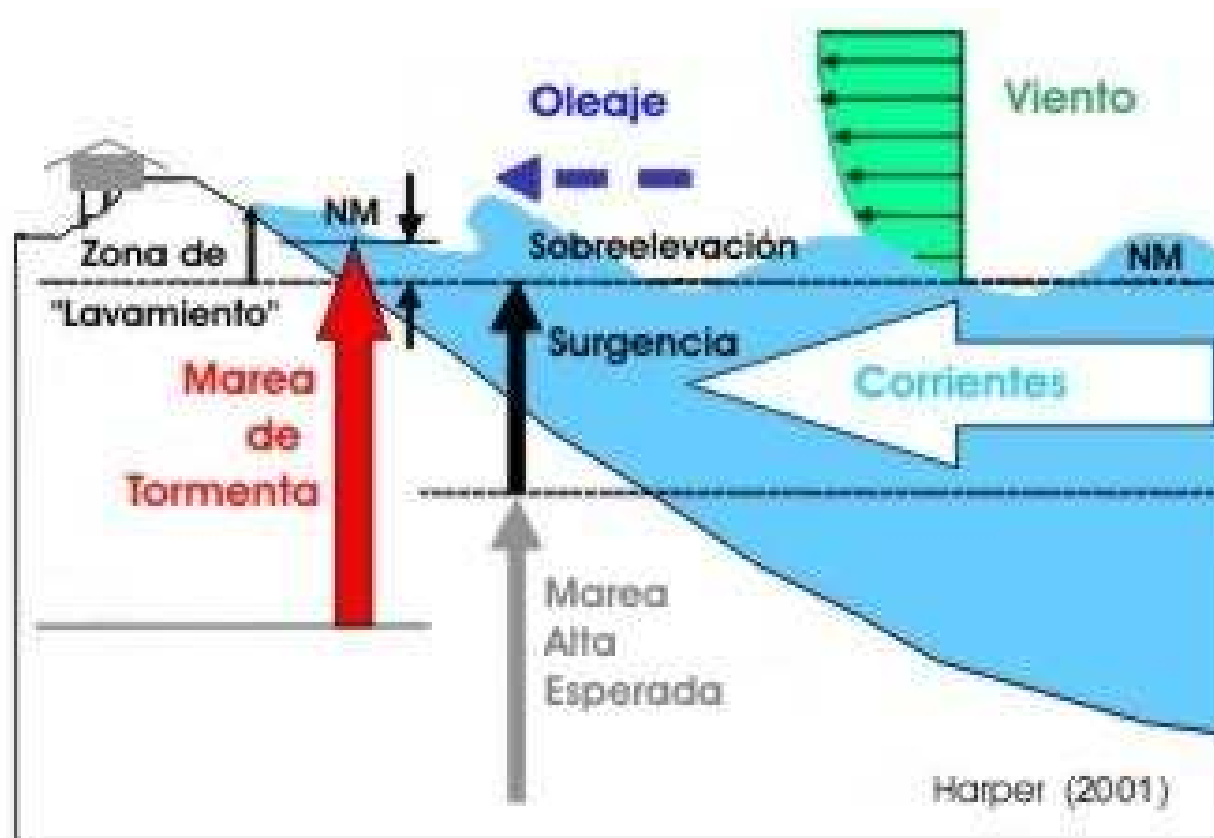
- Transporte de sedimento

Biológicos:

Eclosión de larvas

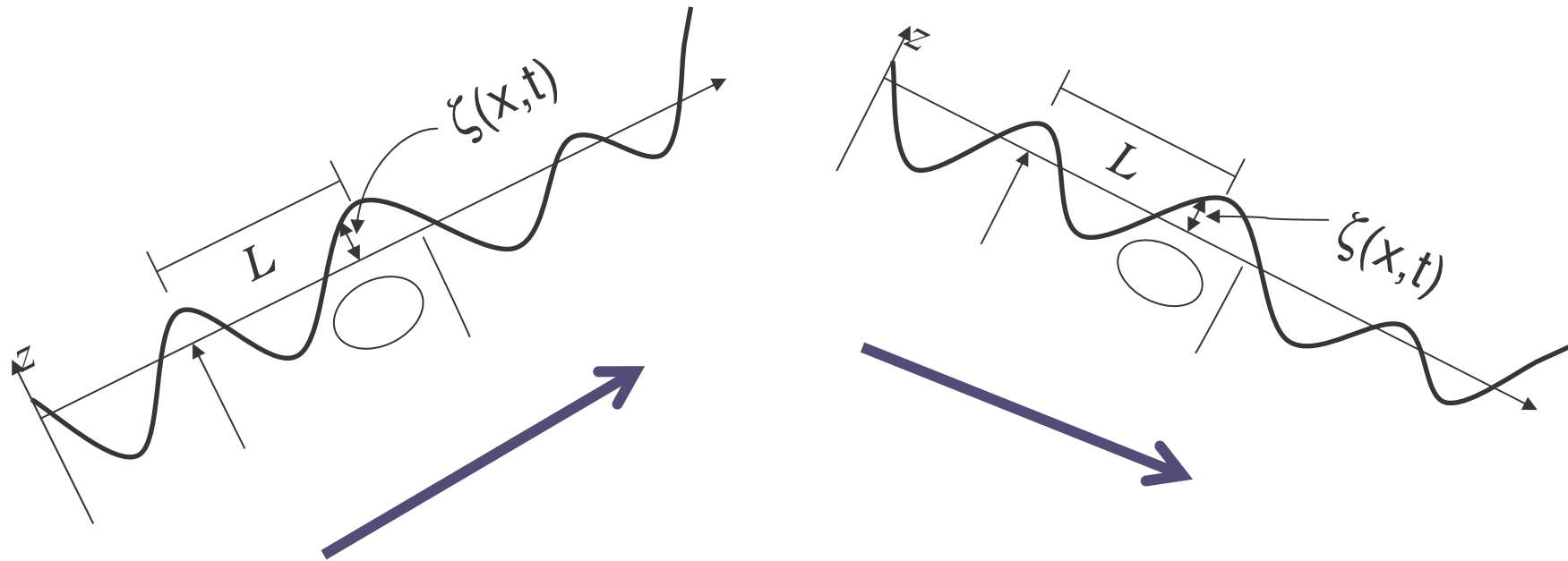


Procesos costeros involucrados en presencia de un huracán

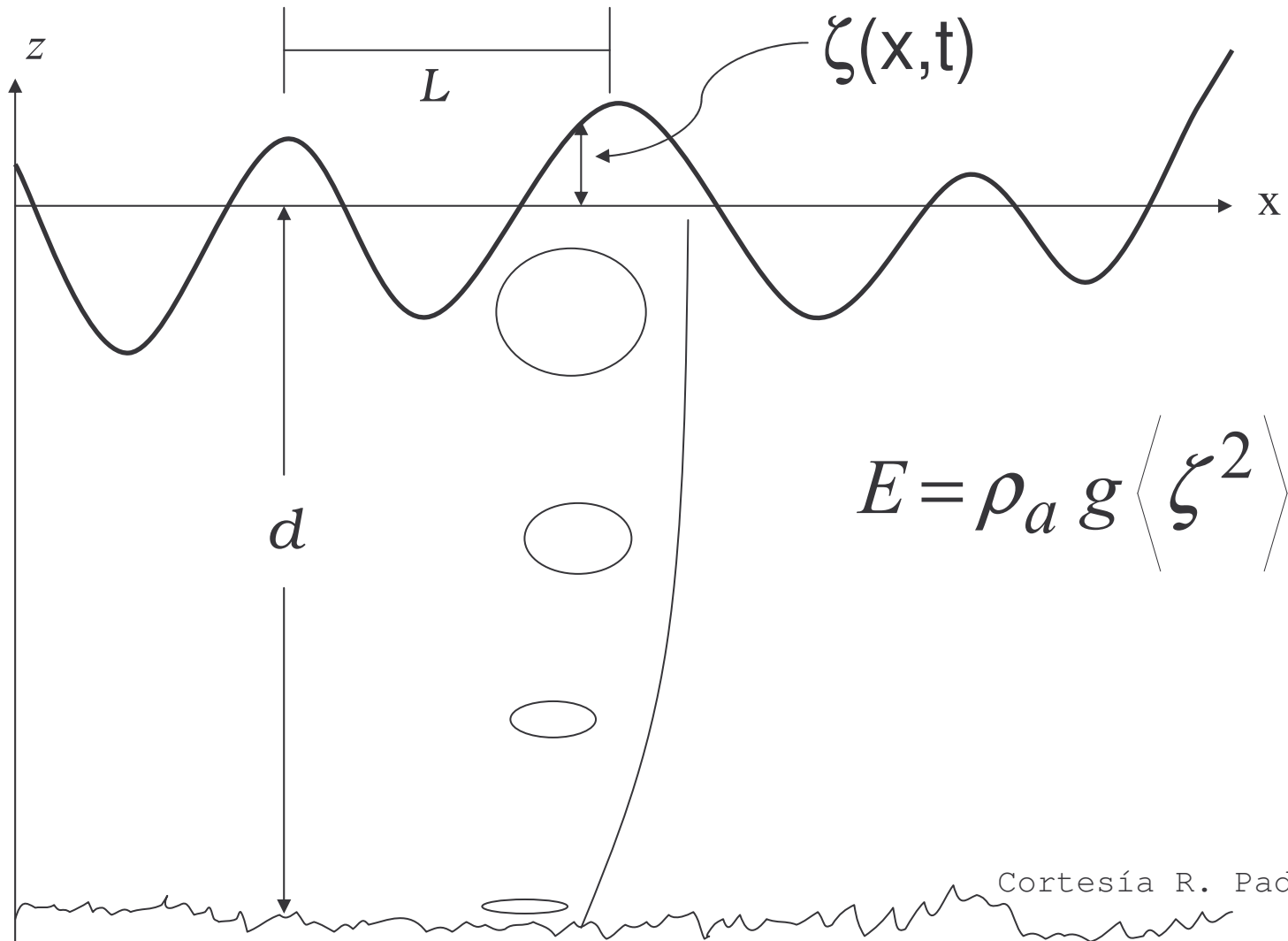




El oleaje sobre procesos de menor frecuencia

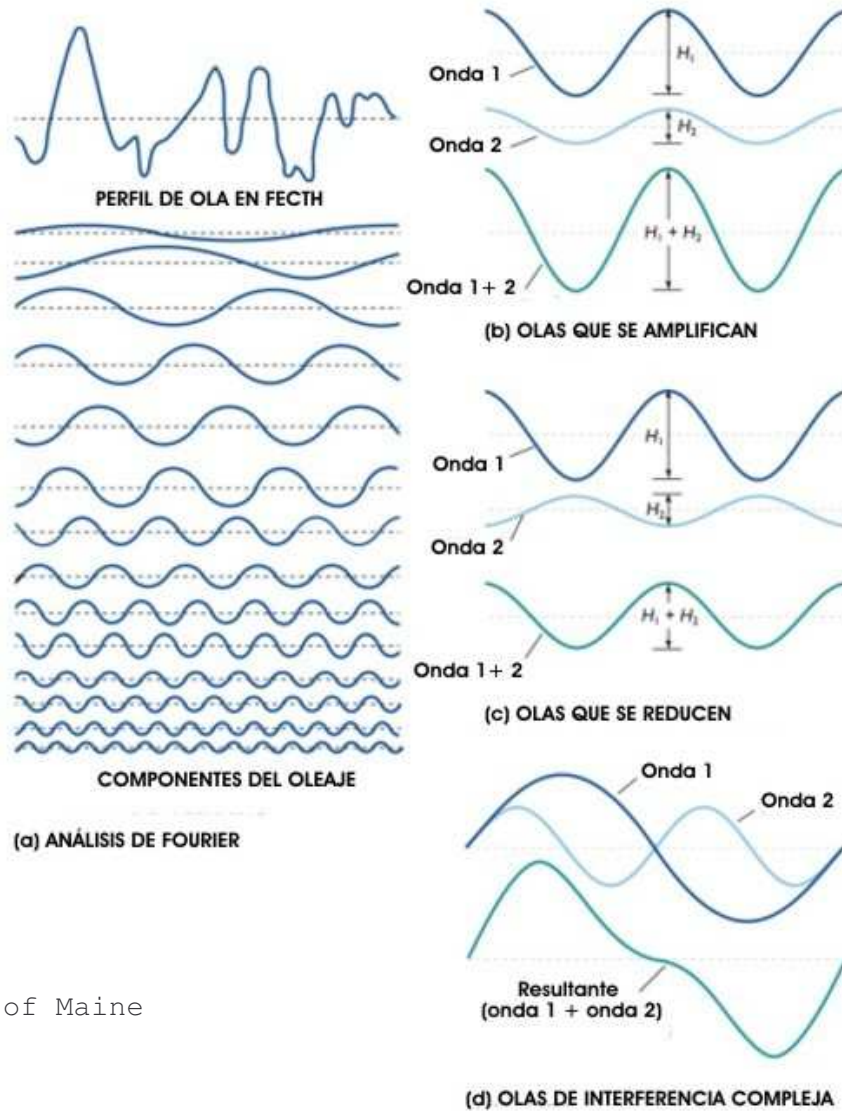


Perfil de oleaje.



Cortesía R. Padilla

Componentes del oleaje





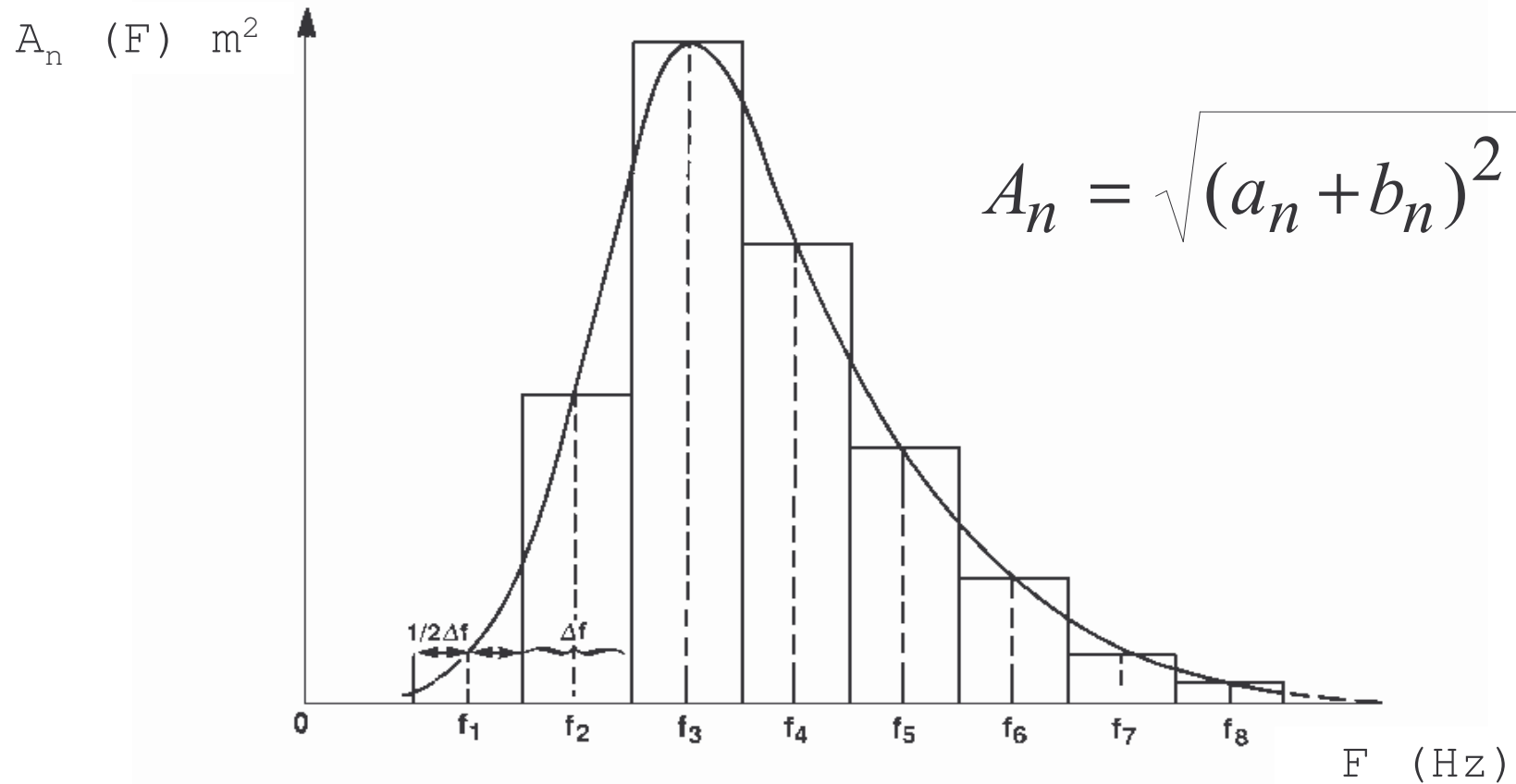
Cálculo de componentes espectrales

$$\zeta(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_n^{\infty} a_n \cos(2\pi n f_0 t) + b_n \text{sen}(2\pi n f_0 t)$$

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} \zeta(t) \cos(2\pi n f t) dt$$

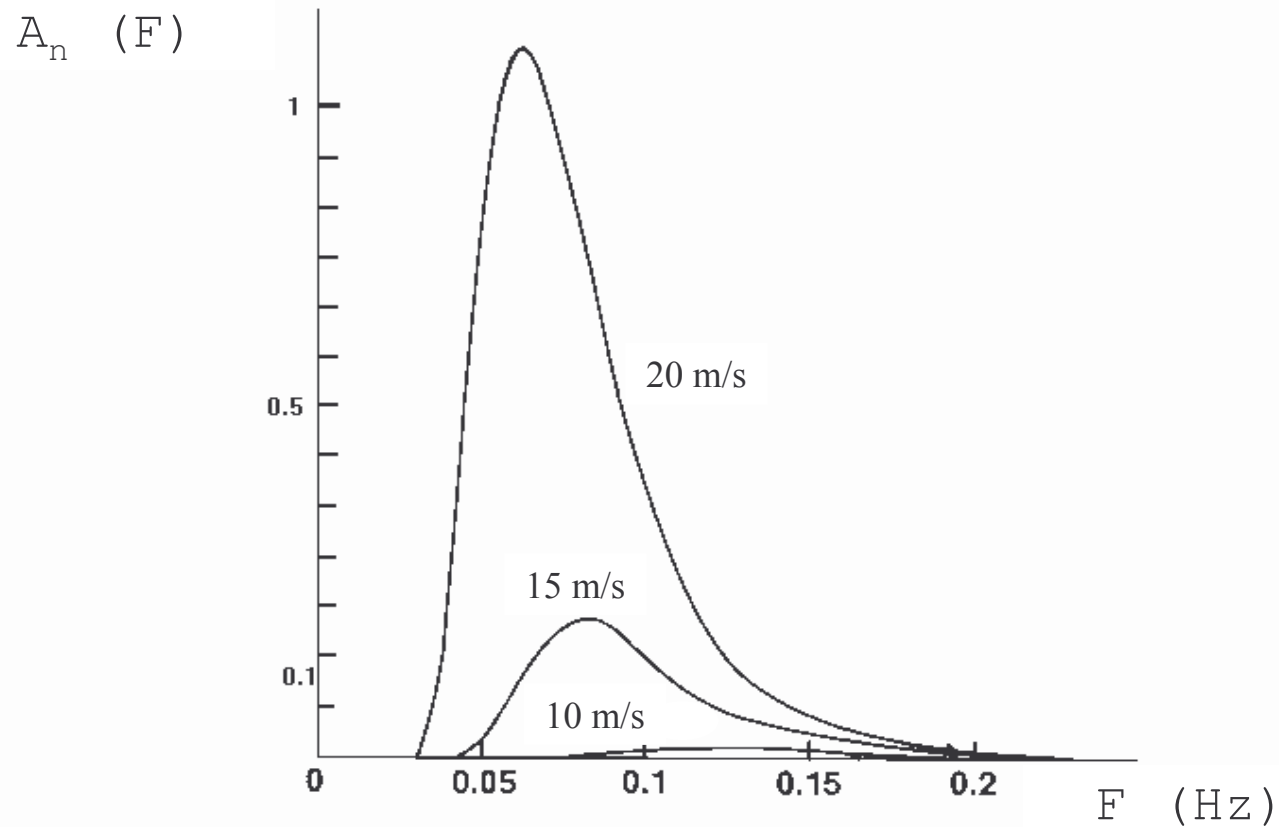
$$b_n = \frac{2}{T} \int_{T/2}^{T/2} \zeta(t) \text{sen}(2\pi n f t) dt$$

Representación gráfica de componentes espectrales





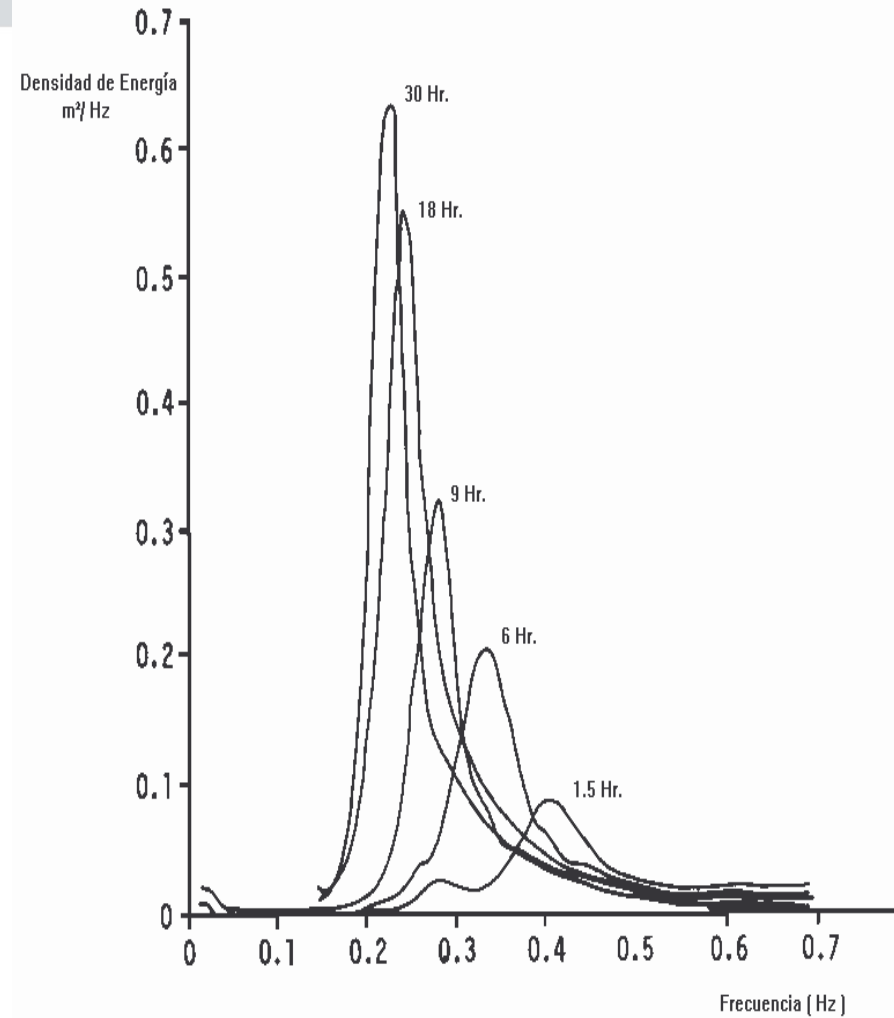
Evolución de oleaje en función de intensidad de viento.



Khandekar 1989

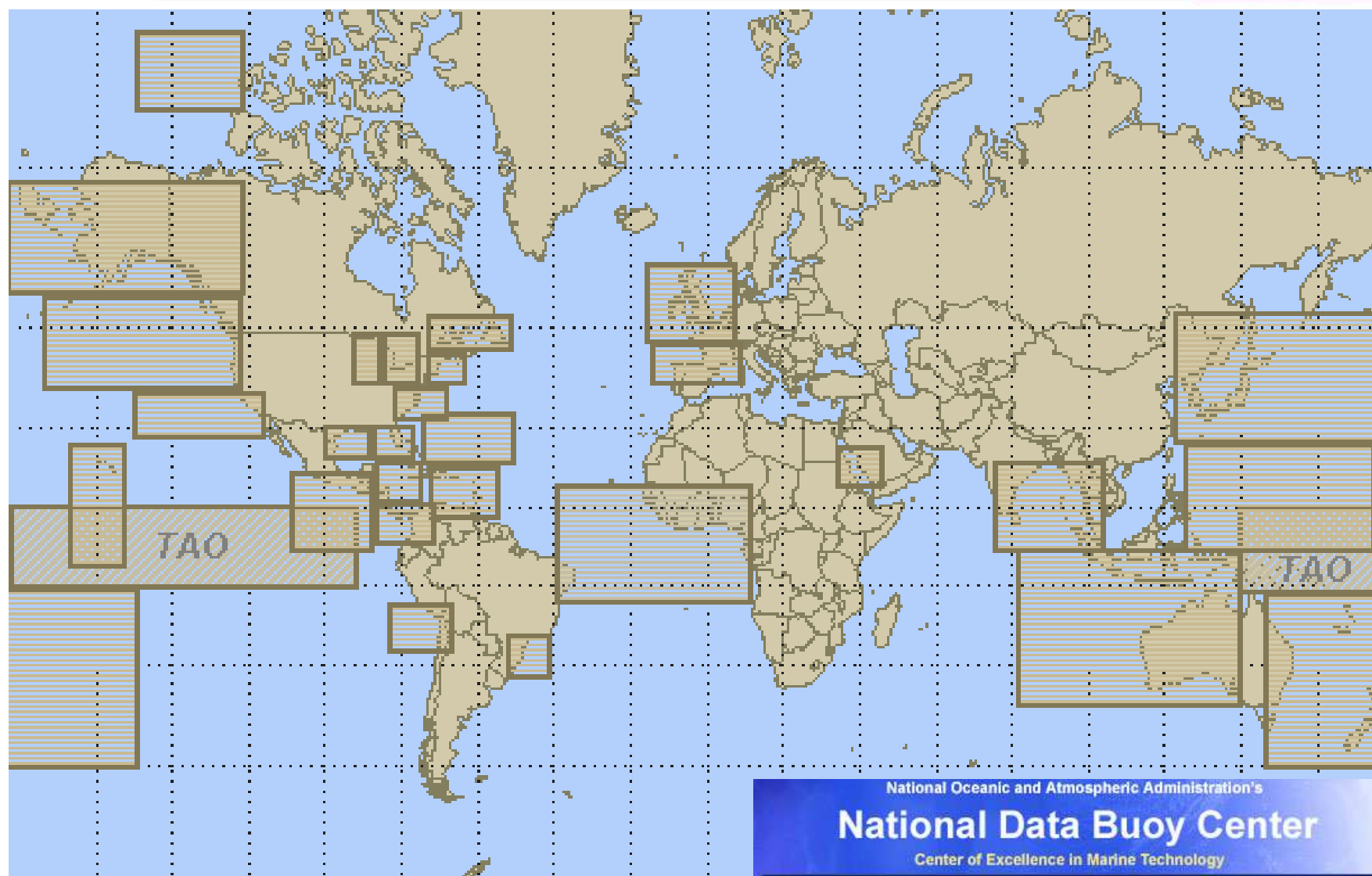


Evolución de oleaje en función del tiempo



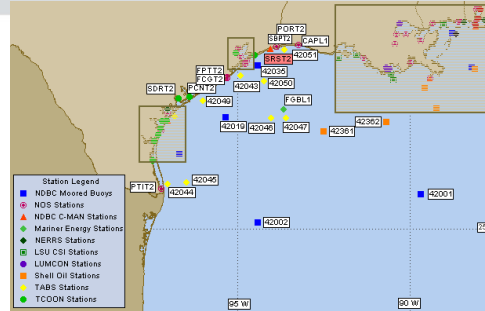


Distribución de boyas que transmiten en tiempo real.

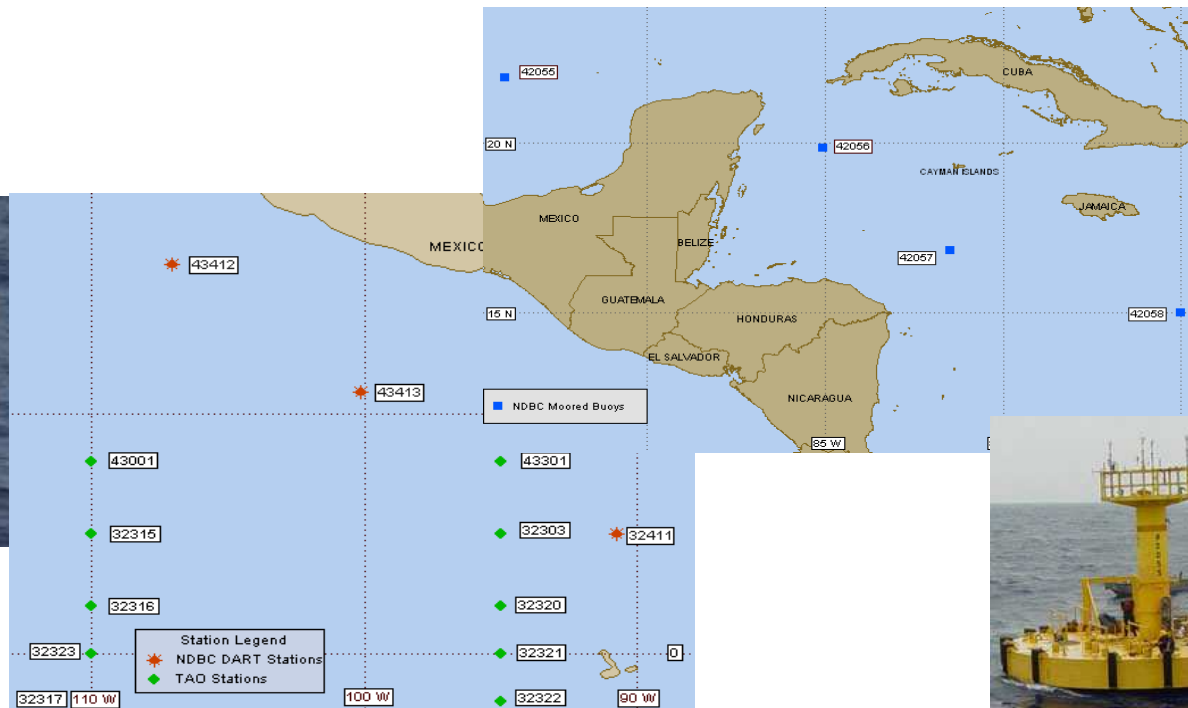




Distribución de boyas que transmiten en tiempo real.



National Data Bouy Center (NDBC)





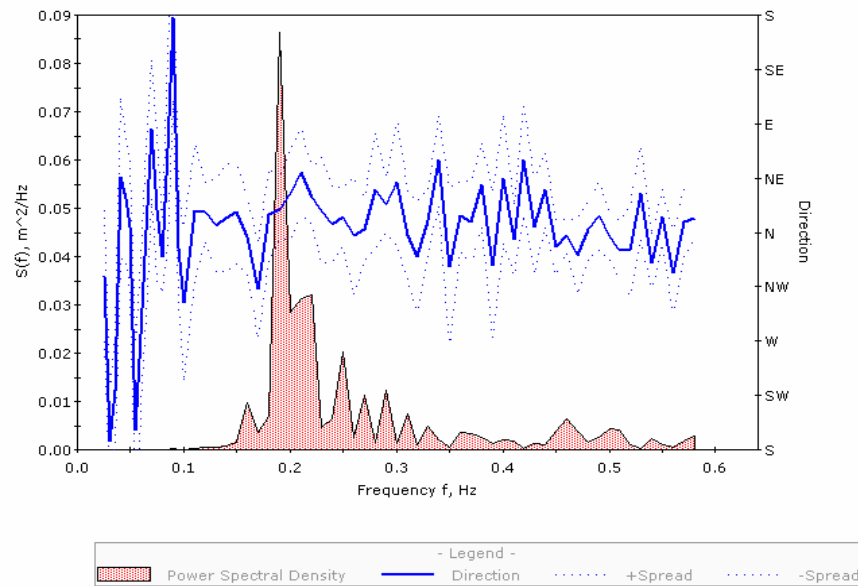
Distribución de boyas que transmiten en tiempo real. IMT



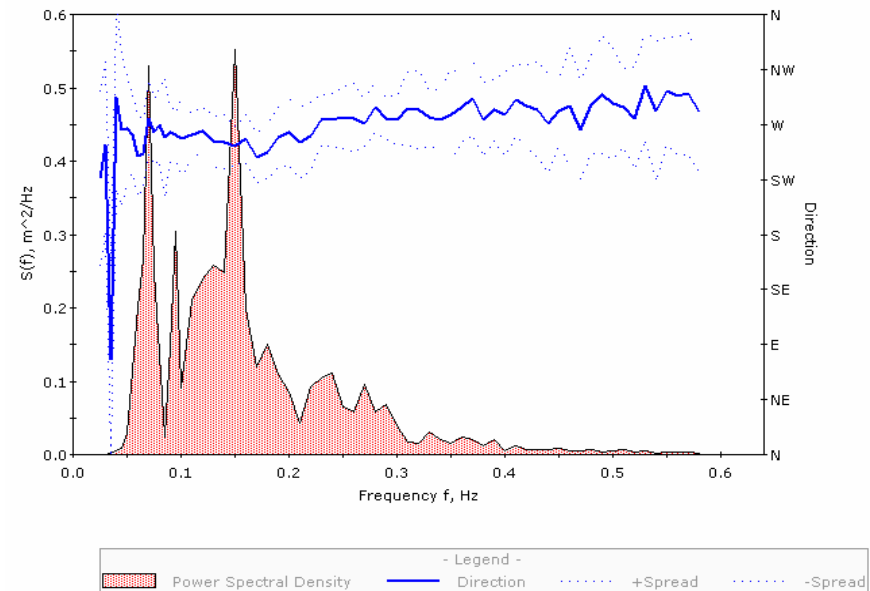


Estructura espectral de oleaje observado

Boya_Dos Bocas, 2008-02-25 17:30:00
- pc spectrum -



Boya_Ensenada, 2008-04-04 09:30:00
- pc spectrum -

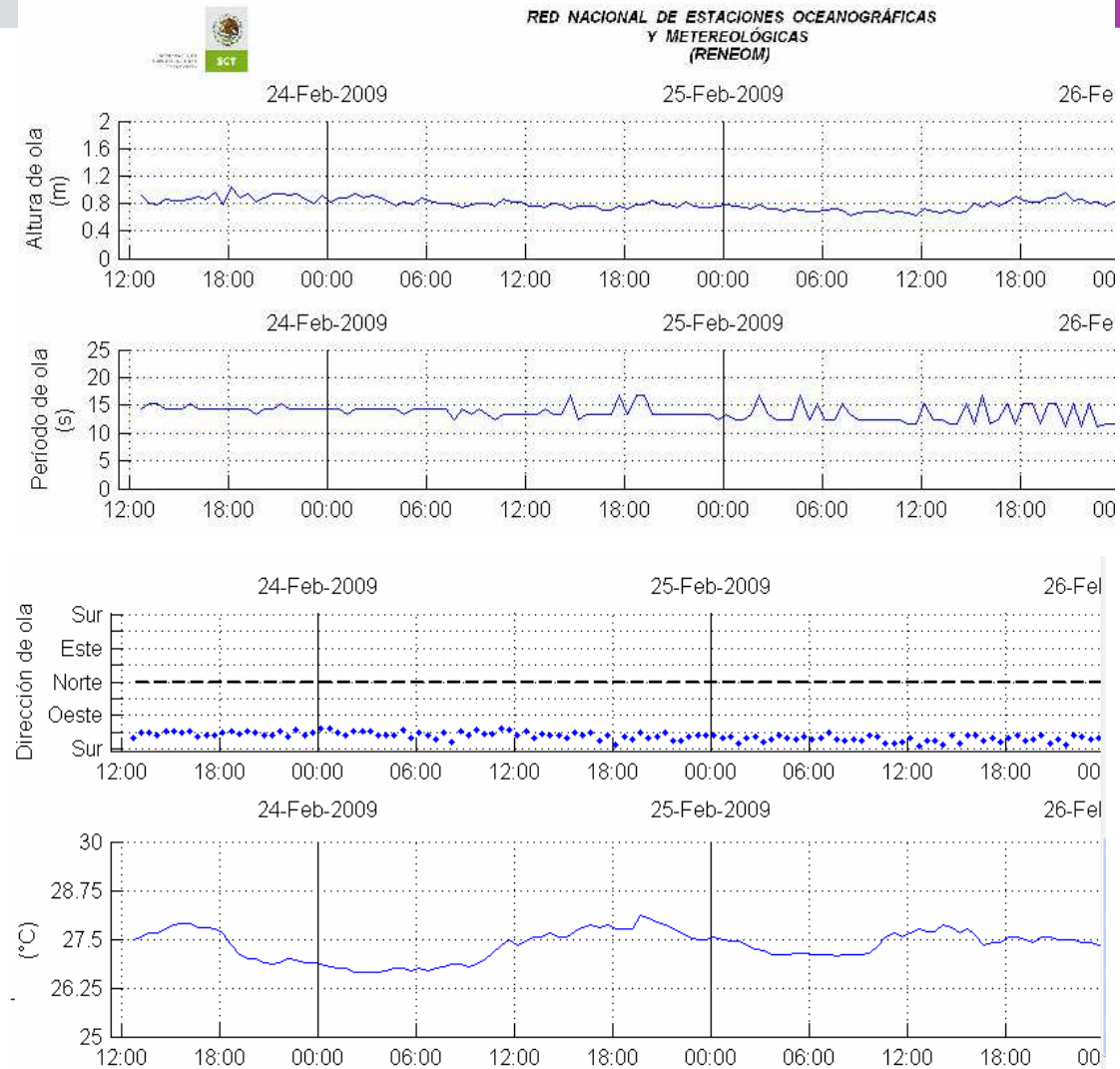


Datos de IMT- México



Serie de oleaje observado

Boya
Acapulco.





Valores integrados: Momentos espectrales

$$m_n = \int_{f_0}^{f_N} f^n E_s(f)$$

$$H_s = 4\sqrt{m_0}$$



Principio de los modelos numéricos Conservación de energía

$$\frac{\partial \bar{\epsilon}}{\partial t} + \nabla \cdot (Cg \epsilon) = S = Sen + Snl \quad Sds$$

**Densidad
de acción**

$$N = \frac{\epsilon}{\sigma}$$



Representación del oleaje en modelos espectrales

Ecuación de Balance de Acción

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(c_x N) + \frac{\partial}{\partial y}(c_y N) + \frac{\partial}{\partial \sigma}(c_\sigma N) + \frac{\partial}{\partial \theta}(c_\theta N) = \frac{S_{tot}}{\sigma}$$

Aguas profundas

$$S_{tot} = S_{in} + S_{nl4} + S_{wc}$$

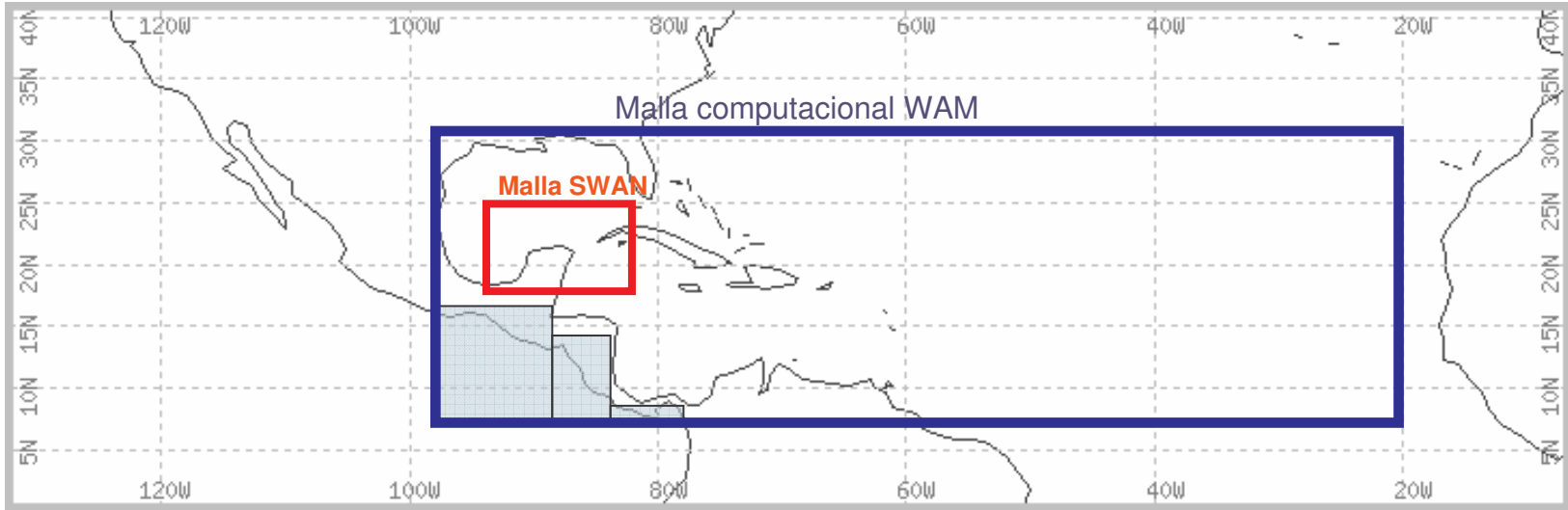
Aguas someras

$$+ S_{bf} + S_{nl3} + S_{bk}$$



Simulación regional de oleaje

40.5393

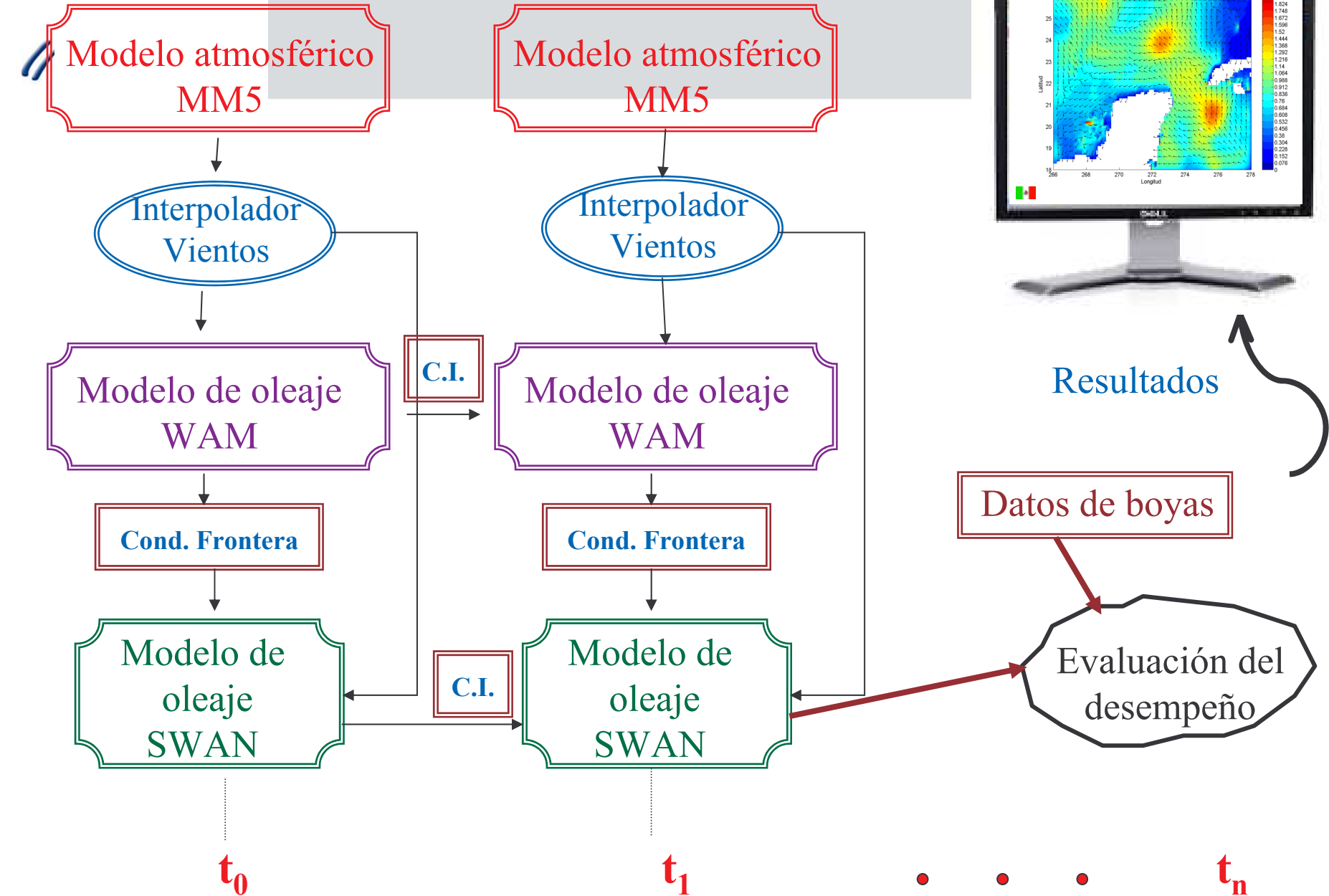


0.70445

-131.92

Malla	Lon Min	Lon Max	Lat Min	Lat Max	$\Delta x = \Delta y$	NPX; NPY	t Comp/dia
WAM	-98.0	-20.0	7.0	31.0	1.0	79; 25	1.5 min
SWAN	-94.0	-82.0	18.0	24.0	0.1	121; 81	18 min

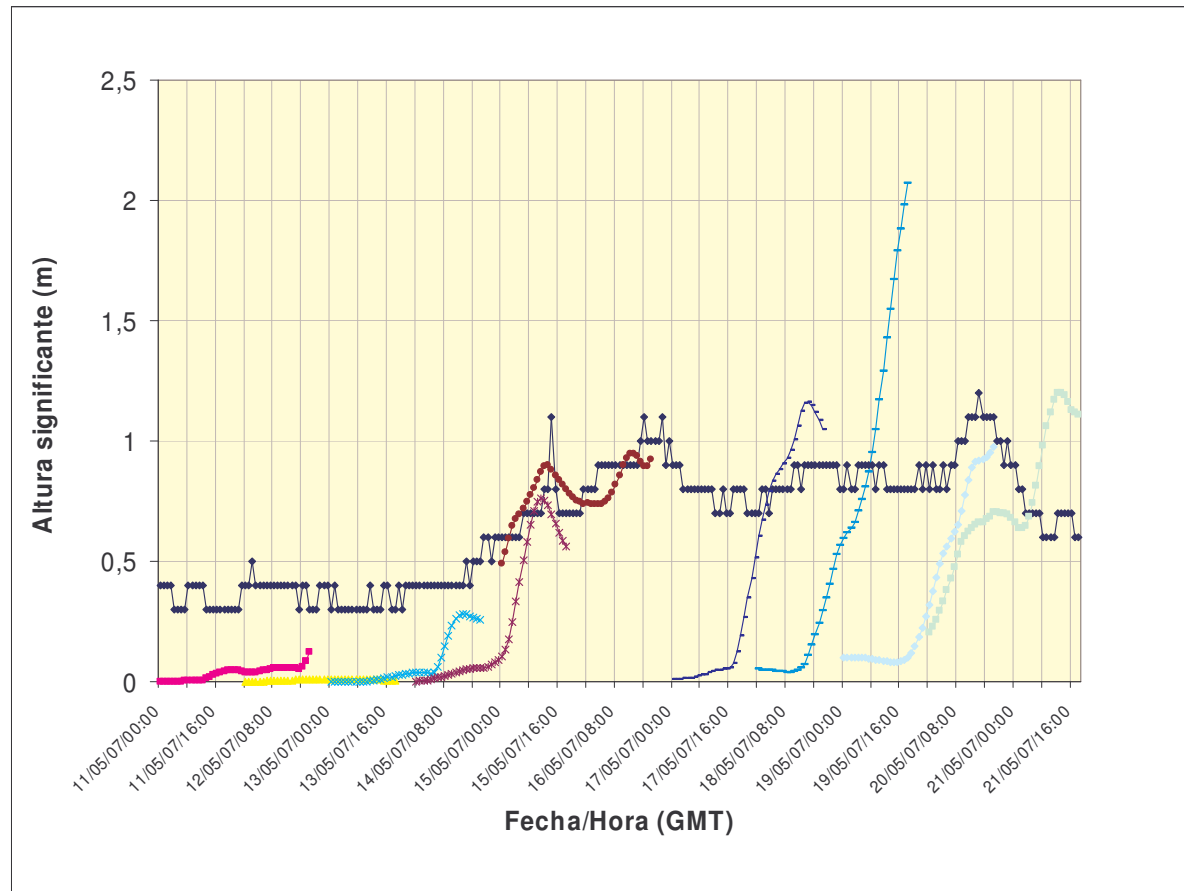
Diagrama del sistema





MM5-SWAN Oleaje local

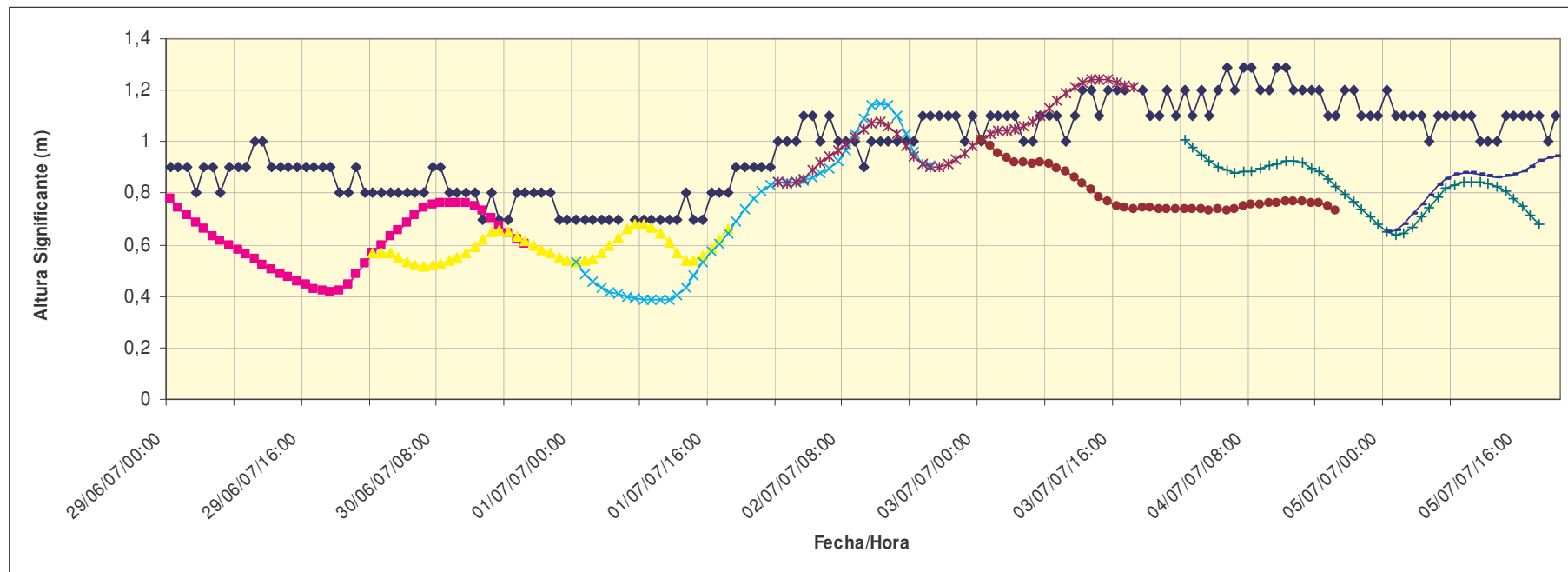
Pronóstico operacional a 43 horas





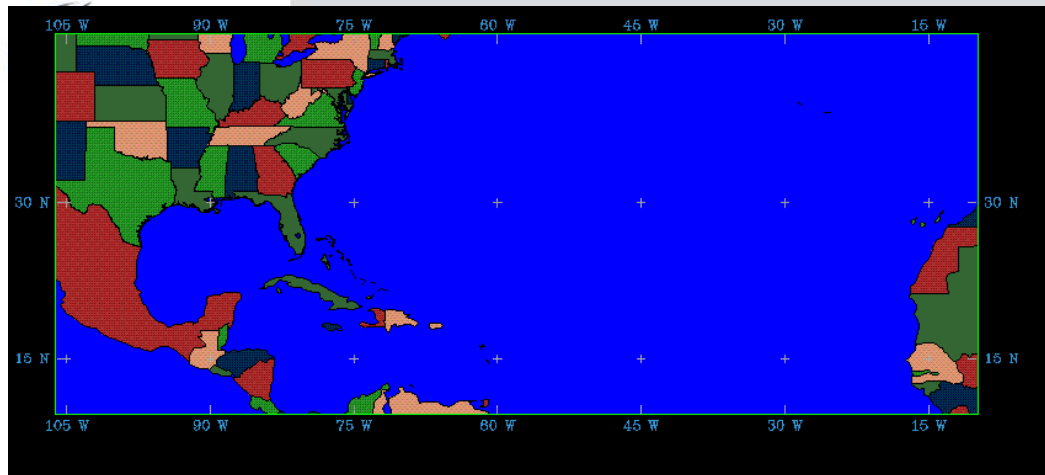
MM5-SWAN Oleaje local

Prónostrico Operacional con Condiciones Iniciales



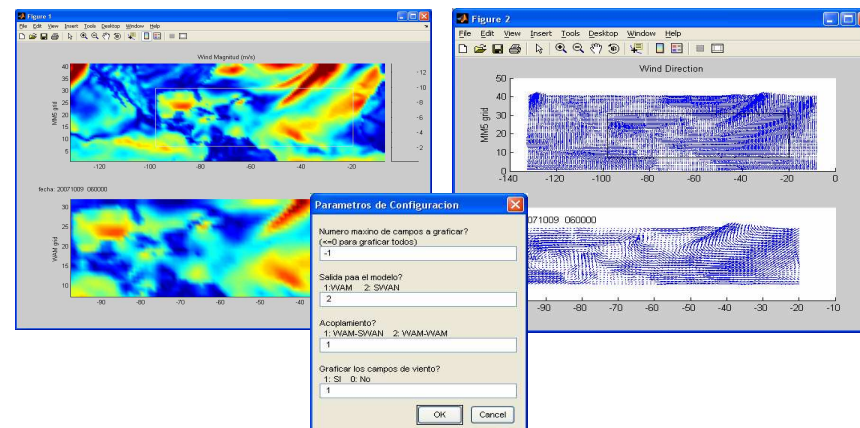


MM5-WAM-SWAN
Oleaje local y distante
Prógnostico Operacional con
Condiciones Iniciales y Condiciones de
Frontera

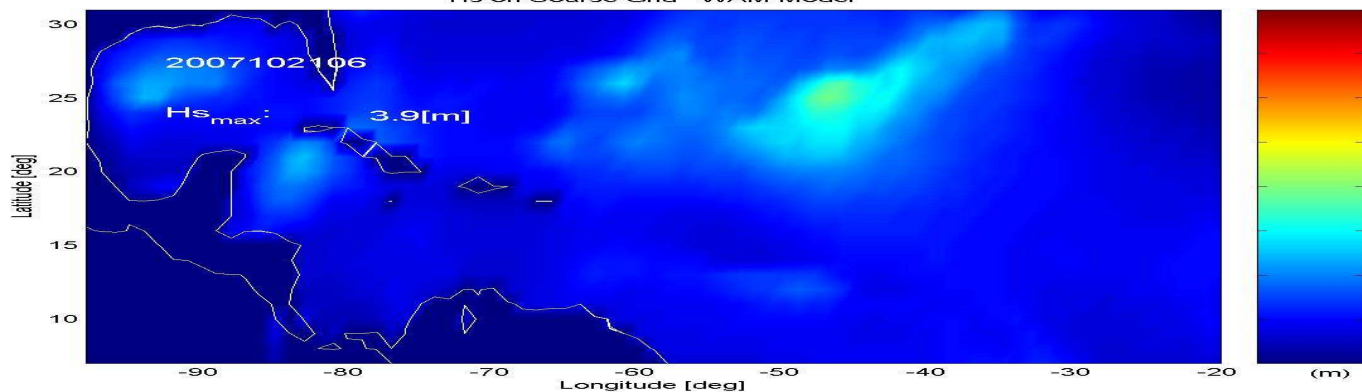


Interpolador de Vientos MM5-WAM

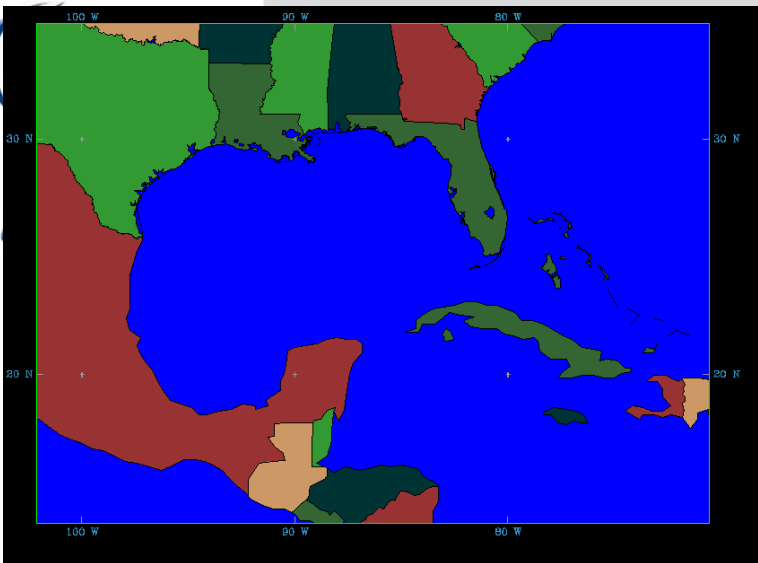
Dominio Grueso MM5
Resolución: 90 Km (120x50 Puntos)



Hs on Coarse Grid - WAM Model



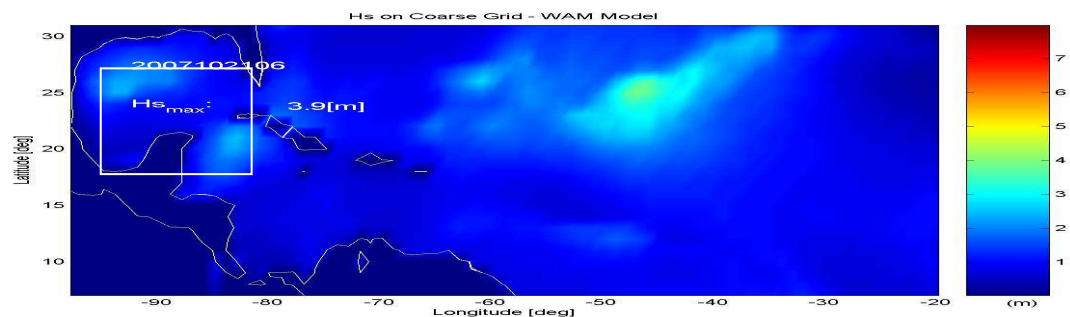
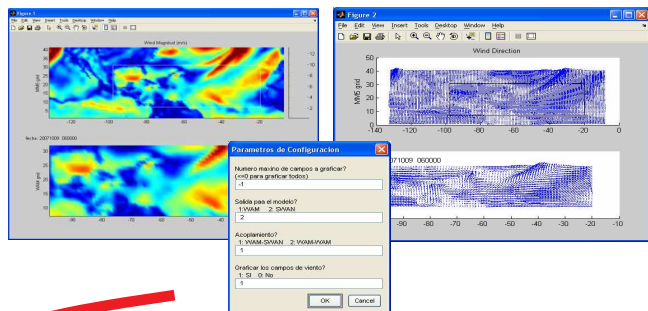
Dominio Grueso WAM
Resolución: 1 grado:
111 Km. (79x25 Puntos)



Dominio Anidado MM5
 Resolución: 30 Km
 (118x88 Puntos)
 Dt= 6 hrs

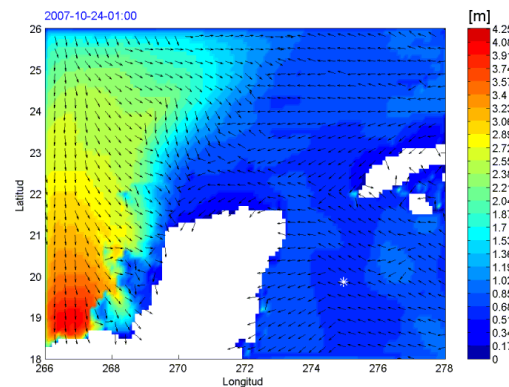
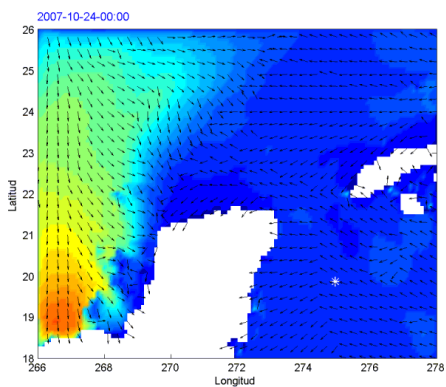


Interpolador de vientos y Condiciones de Frontera



Condiciones Iniciales

Condiciones para las 00 hrs del día 24 tomadas del pronóstico del día 23



Pronóstico a 43 horas a partir de las 00 hrs del día 24 CI y CF



Ejemplos

El sistema se evaluó en varias condiciones, se muestran:

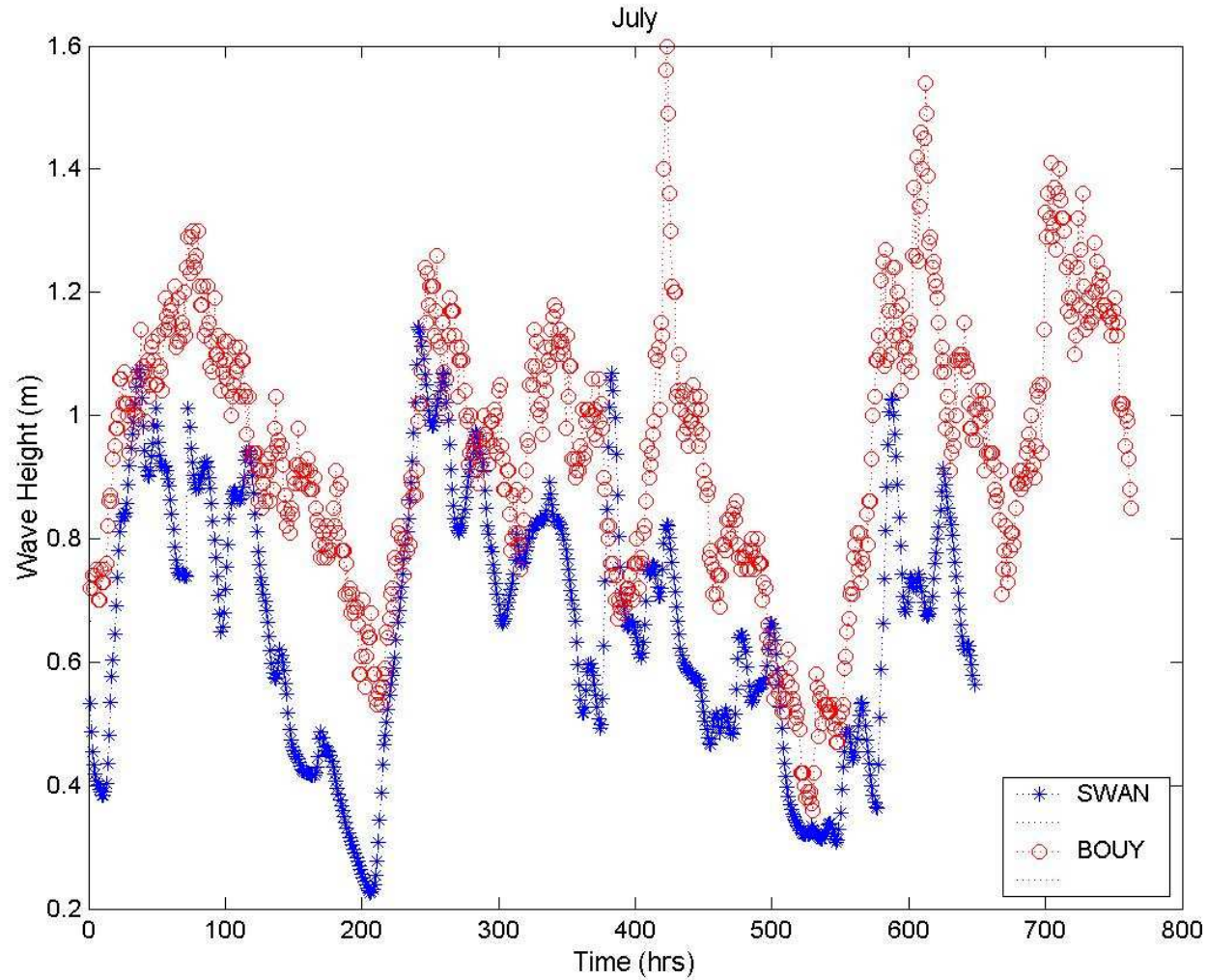
1. Calma

2. Huracán



Simulación en ausencia de vientos intensos

MM5-SWAN

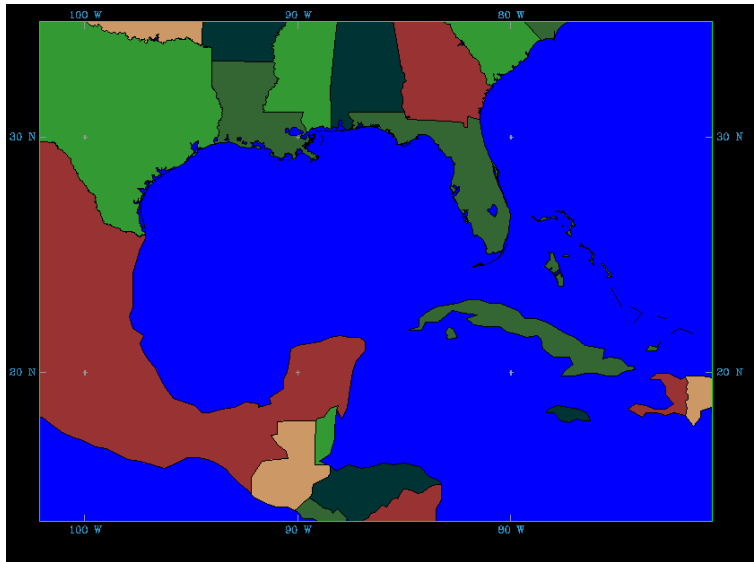


Altura Significante medida y simulada

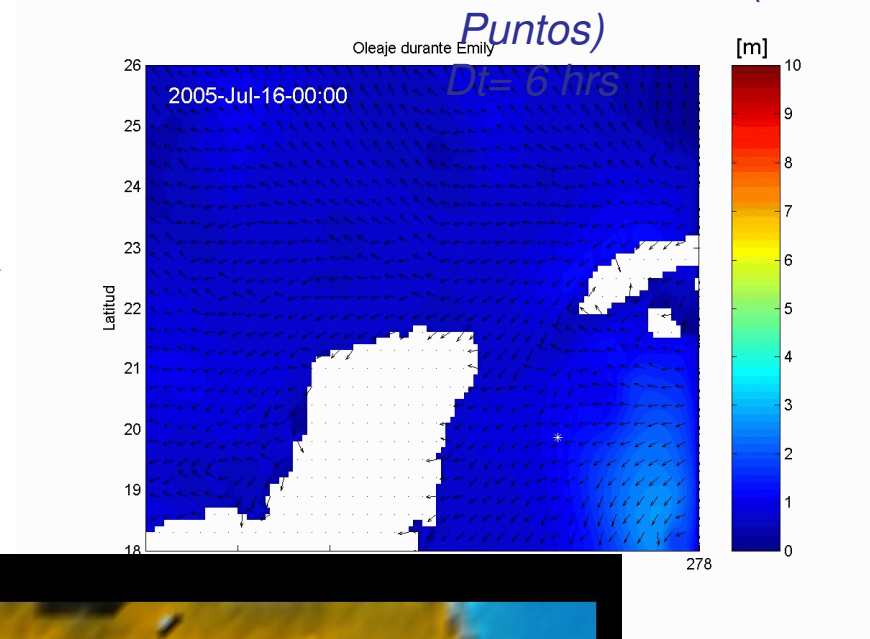


MM5-SWAN Oleaje local

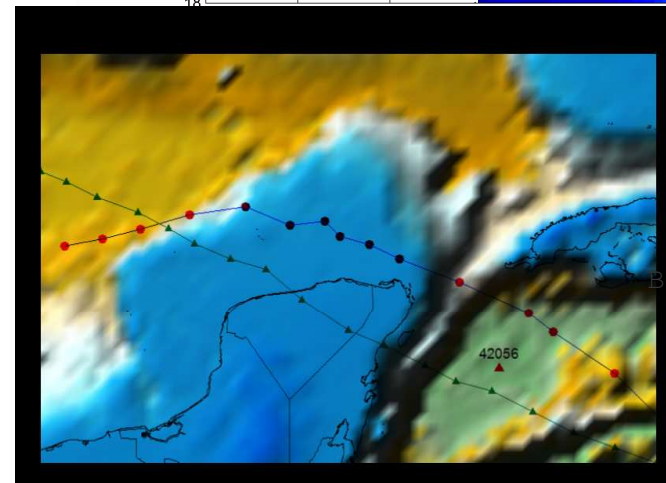
Dominio Anidado MM5
Resolución: 30 Km (118x88 Puntos)
Dt= 6 hrs



Malla Fina SWAN
Resolución: 6 minutos: 10 Km. (120x80 Puntos)



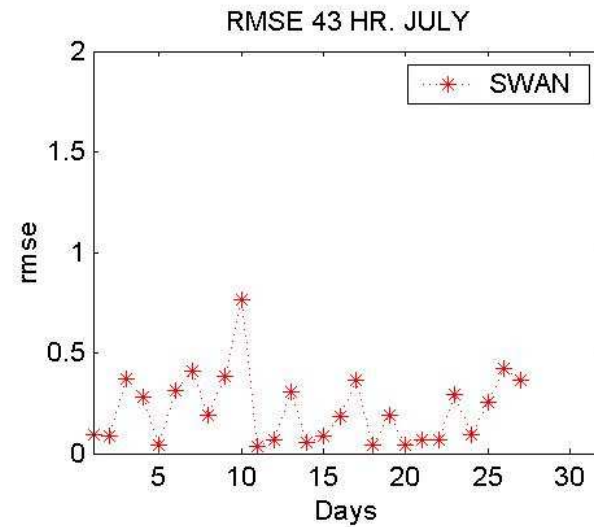
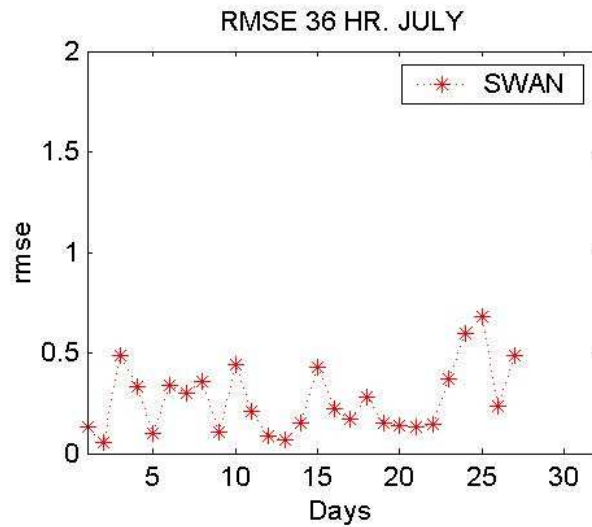
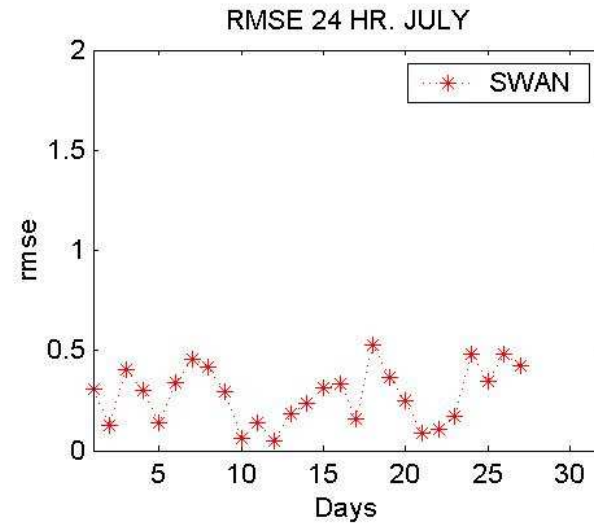
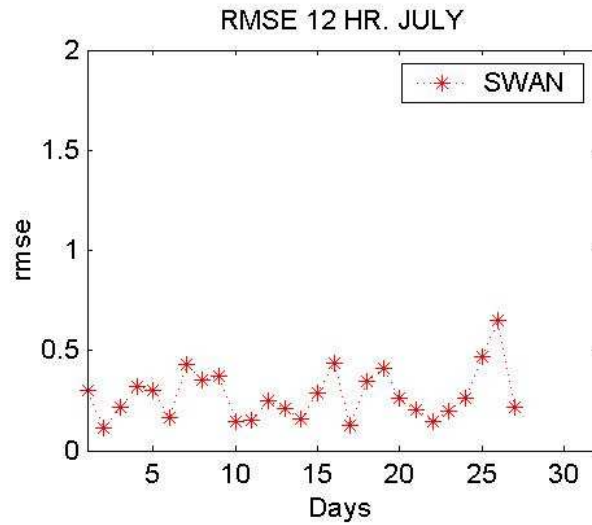
Emily
11 al 21 de julio de 2005
Categoría: 4
Vientos máximos: 250 Km/h
Presión Mínima: 997 mb

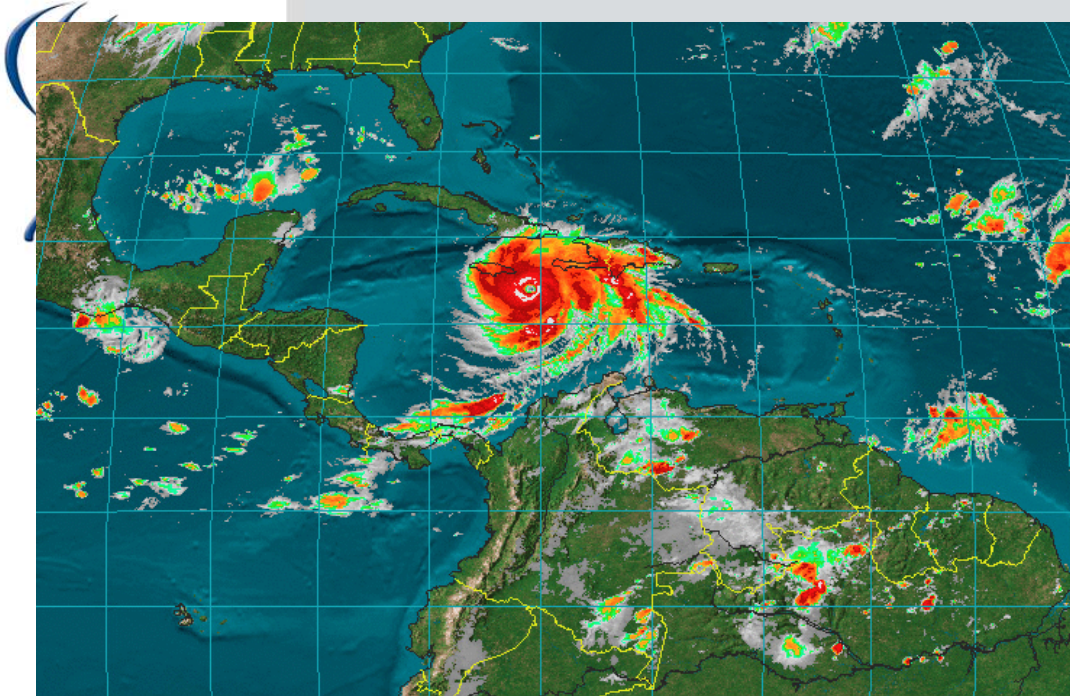


Best Track. NHC



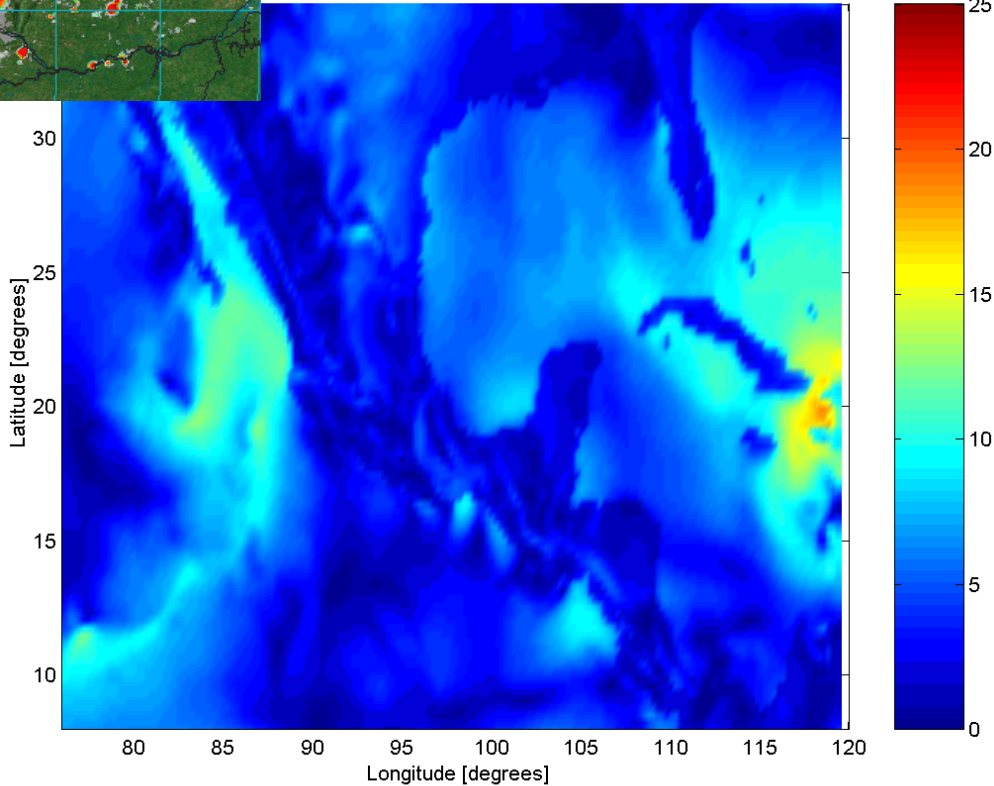
Error Cuadrático Medio





Dean
 20 al 23 de agosto de 2005
 Categoría: 4
 Vientos máximos: 250 Km/h
 Presión Mínima: 997 mb

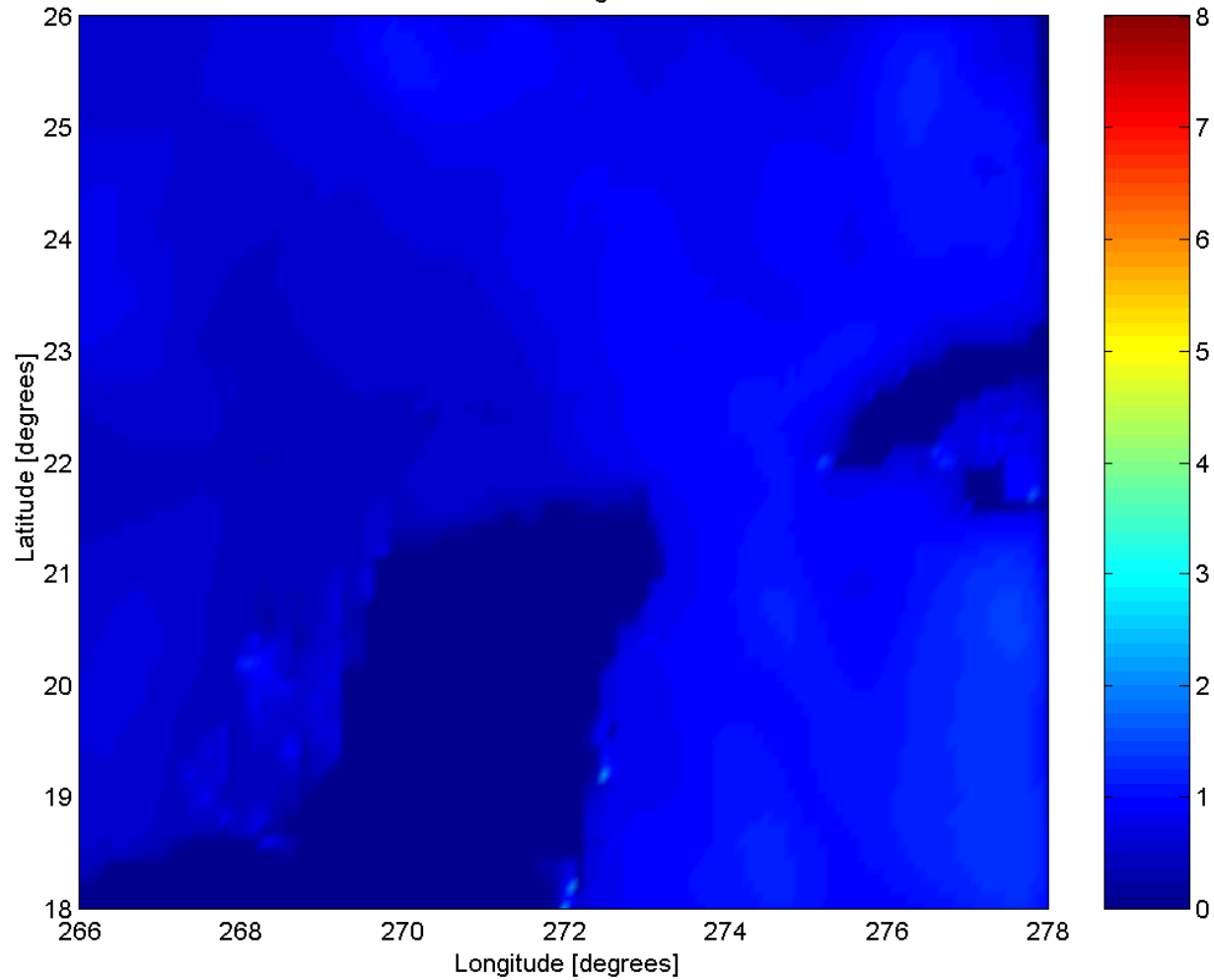
20070819 0600 hrs. Winds fields. MM5





Altura Significante simulada MM5-SWAN. Dean

20070820 00 hrs. Height Wave. SWAN



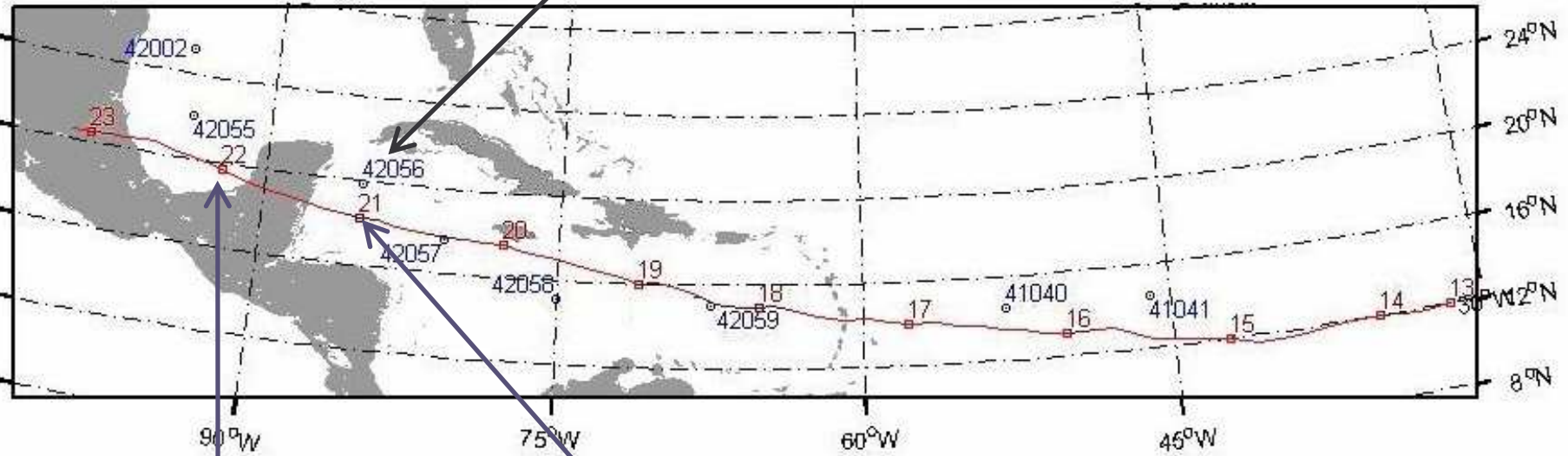


Huracán Dean



**Análisis de Resultados en
Boya 42056**

NDBC Stations within 300 NM of Hurricane Dean's Track 13 - 23 August 2007



Boya: 23.8 m/s 22-10:00
MM5: 23.3 m/s 22-12:00

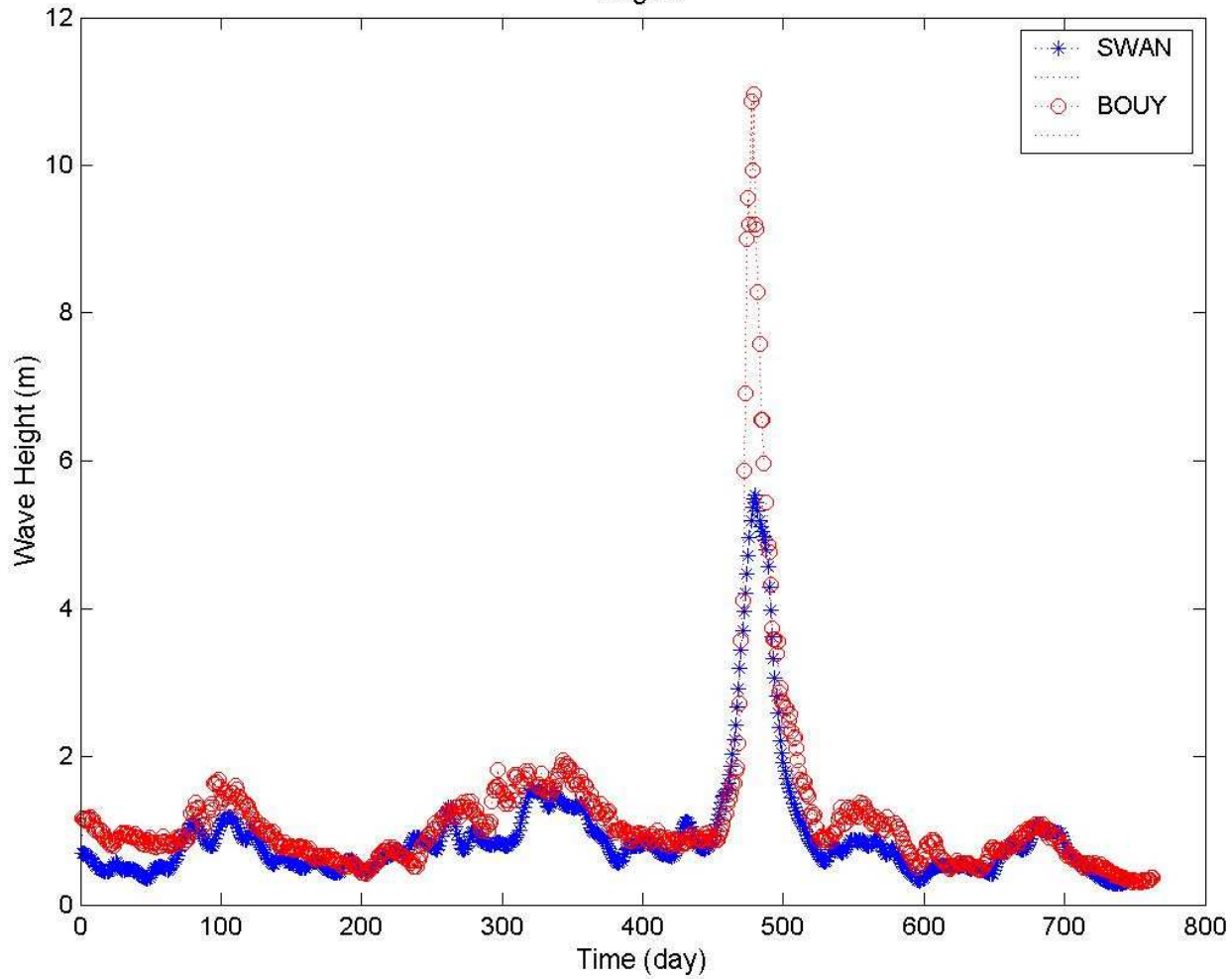
Boya: 22.1 m/s 21-01:00
MM5: 18.8 m/s 21-06:00



Huracán Dean

Altura Significante medida y simulada

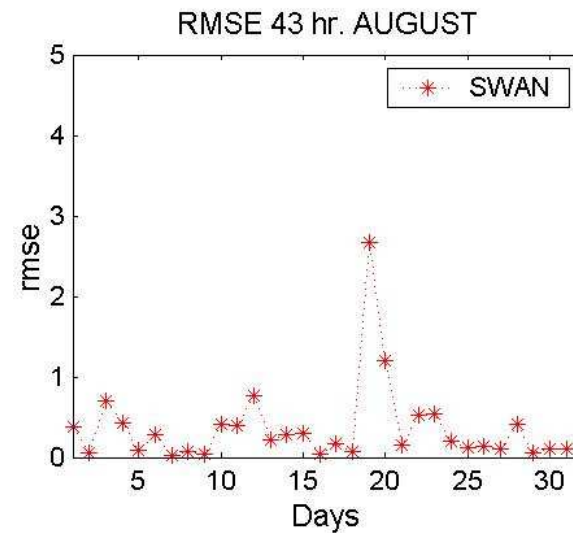
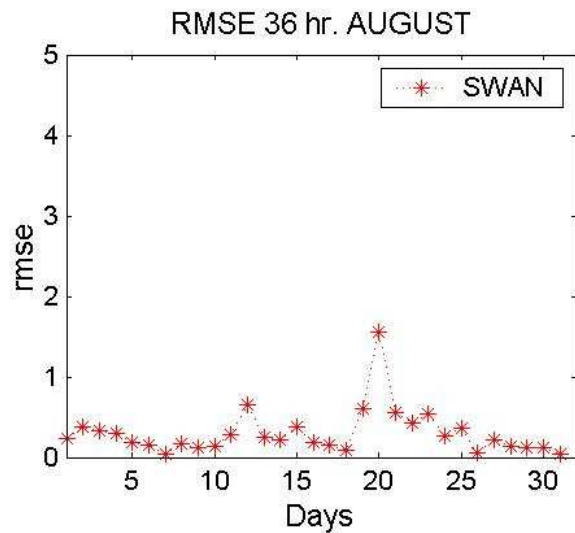
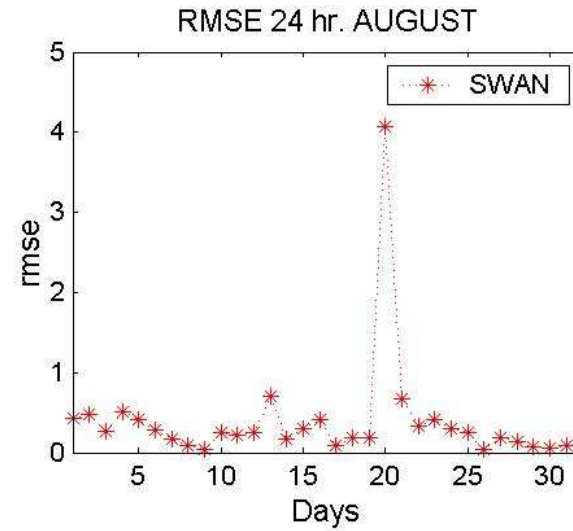
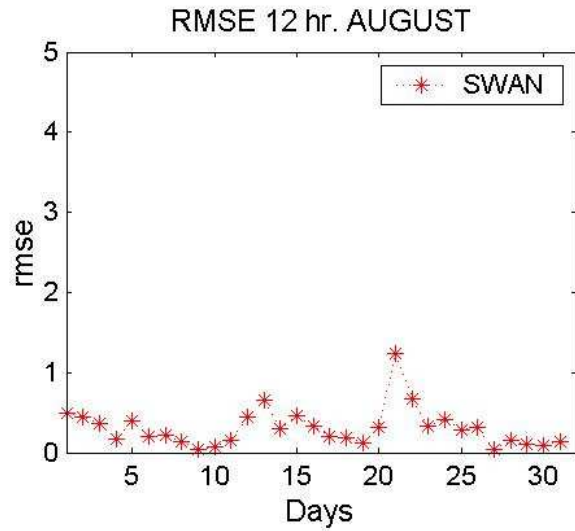
August



MM5-SWAN
CI



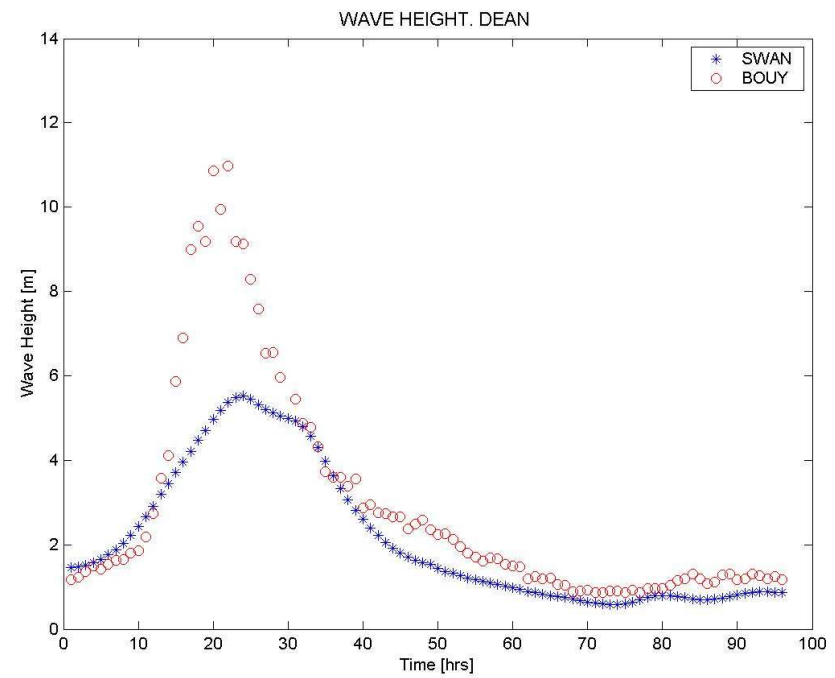
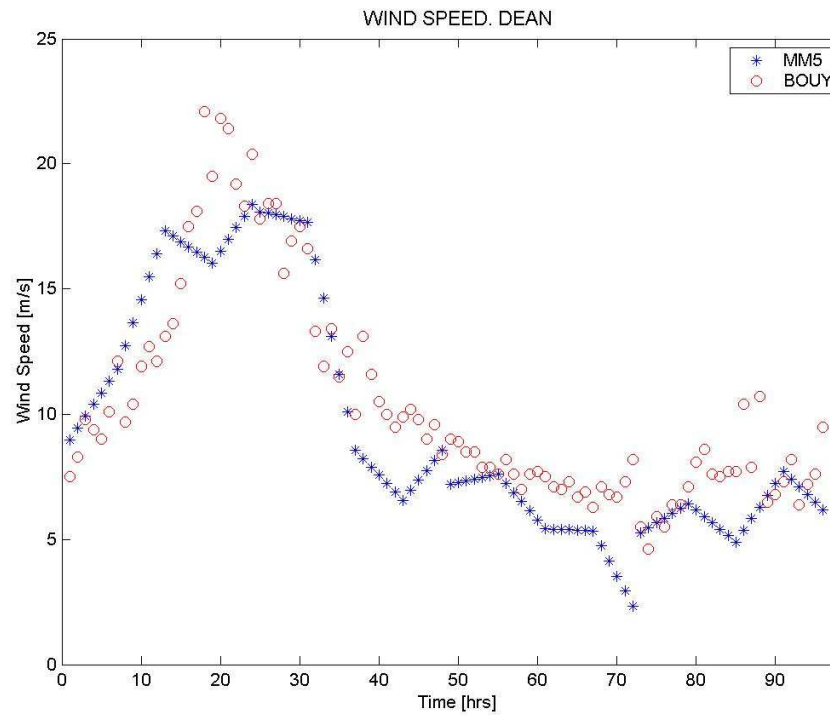
Error cuadrático medio Agosto (Dean)





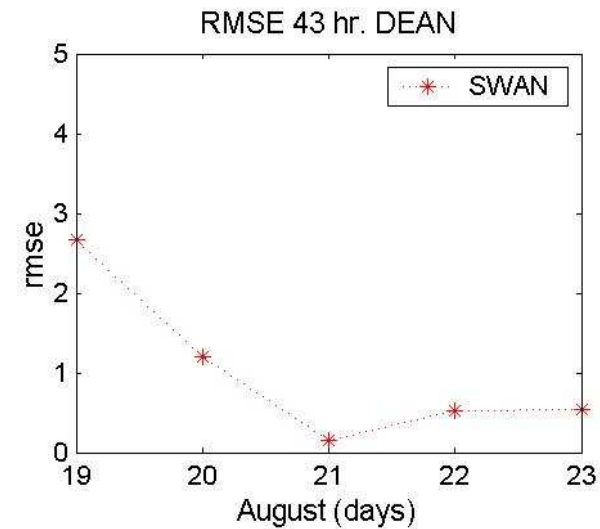
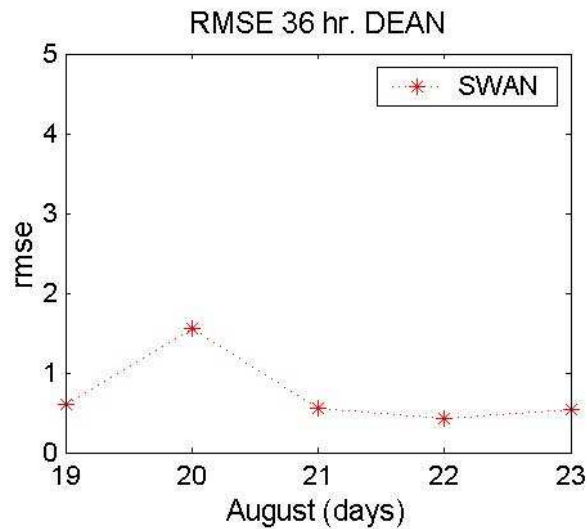
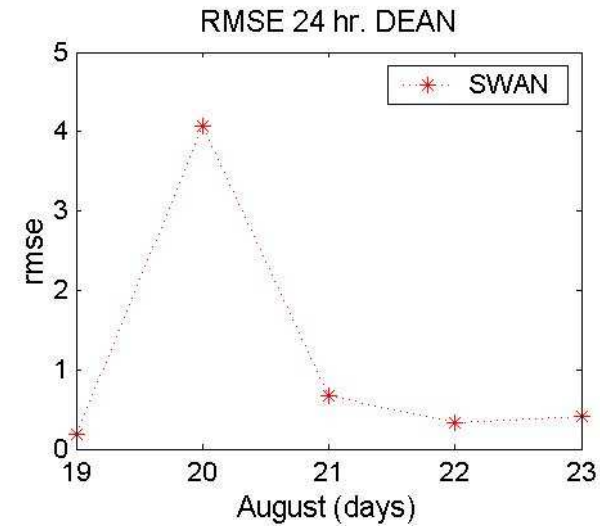
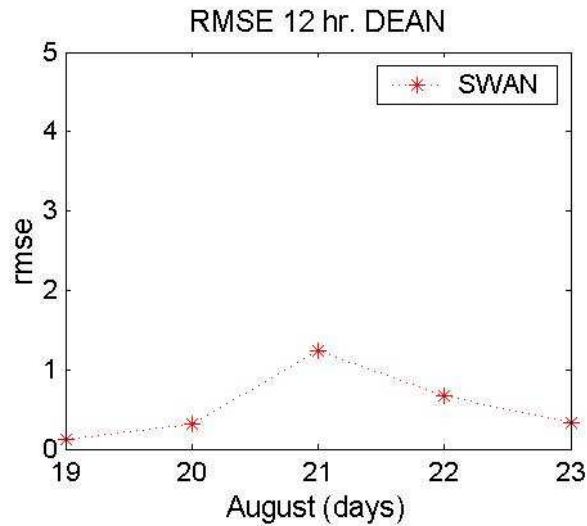
Diagnóstico del desempeño durante Dean

Viento sin modificar





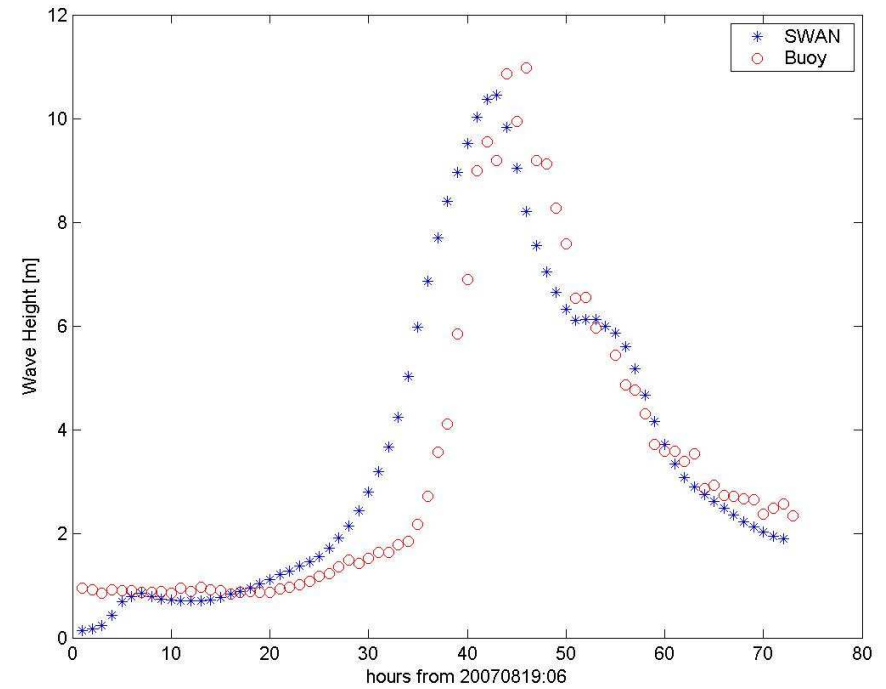
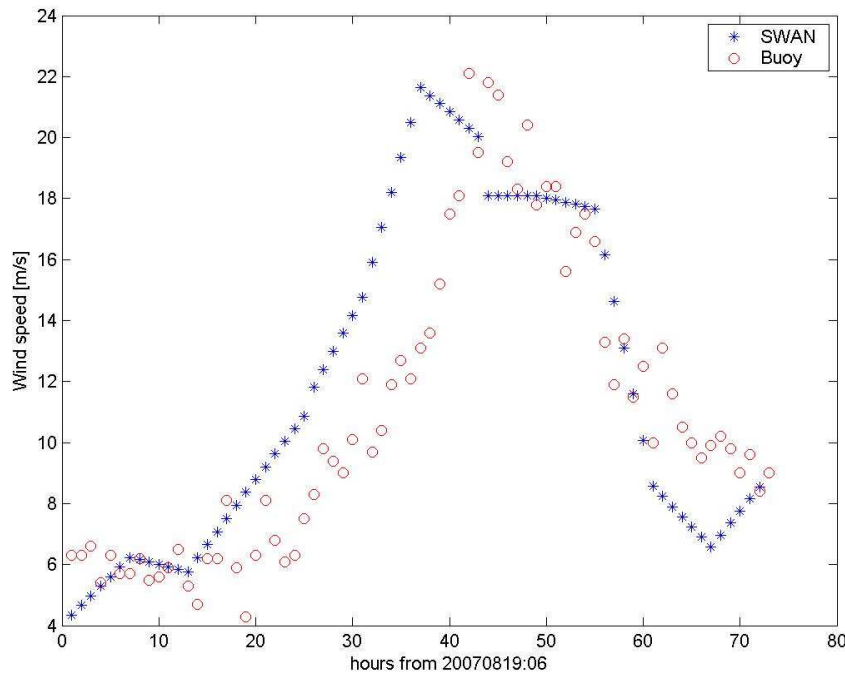
Error Cuadrático Media HURACÁN DEAN





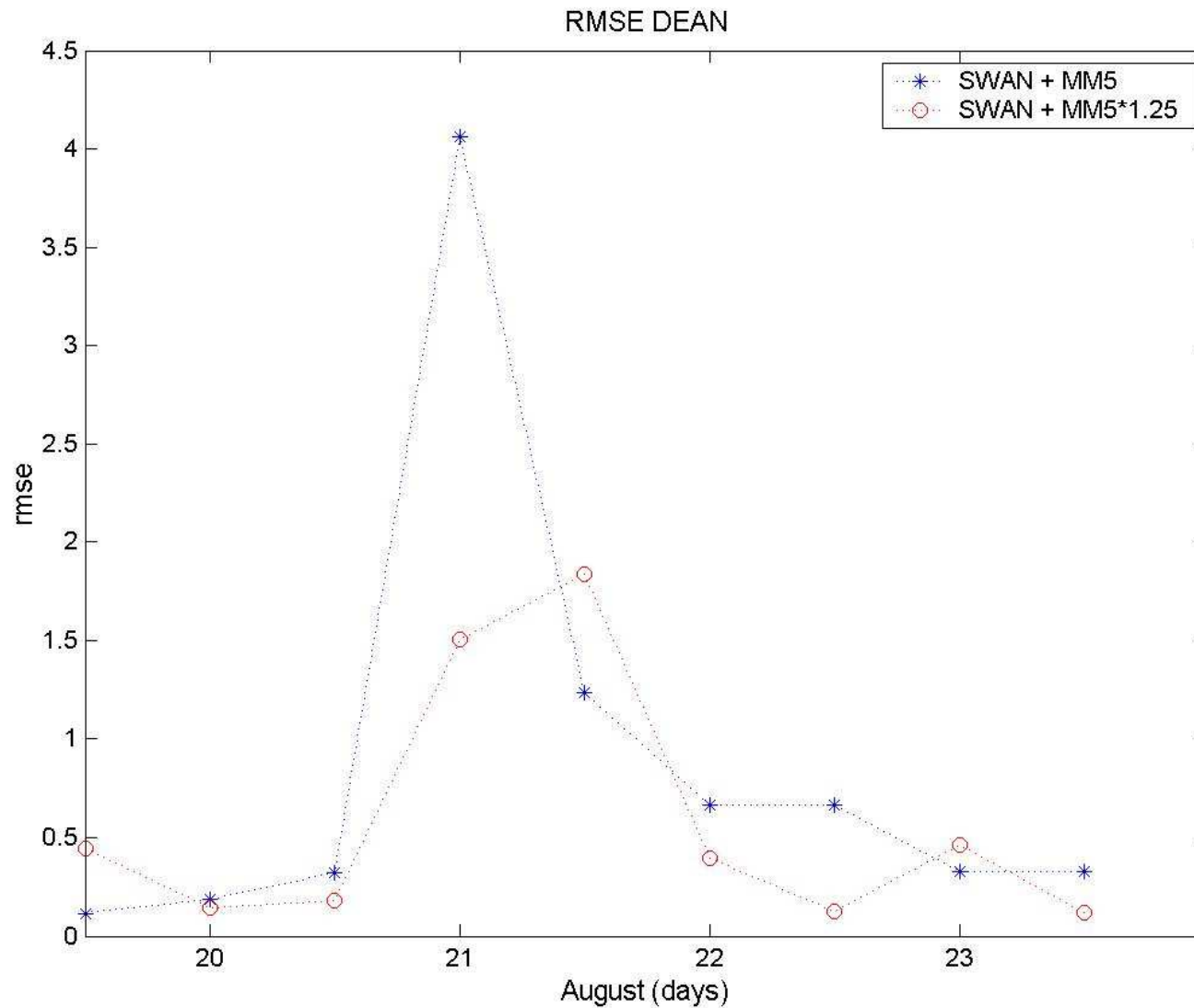
Modificando la magnitud del viento simulado

Incrementando el Viento en un 25% por 24 horas durante el pico de la tormenta





Error cuadrático medio con viento modificado





Análisis del desempeño

- **Es necesario proveer a los modelos de oleaje, de vientos horarios, sobre todo cuando el campo de viento varía muy rápido temporal y espacialmente (huracanes).**
- **La validación de los modelos de oleaje requieren diversas circunstancias: calma, huracanes y nortes, por ejemplo.**

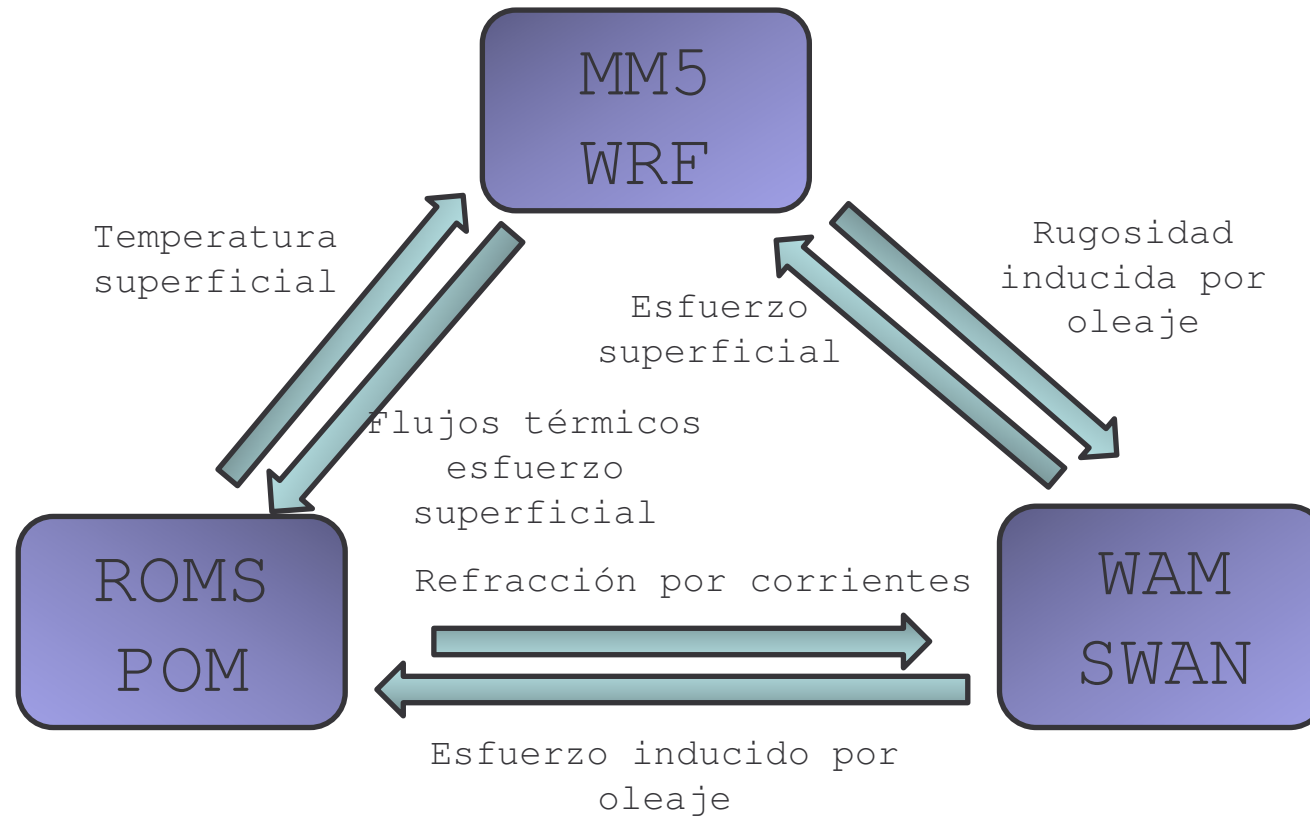


Análisis del impacto mutuo:

Oleaje -huracanes



Sistema acoplado de simulación océano-atmósfera

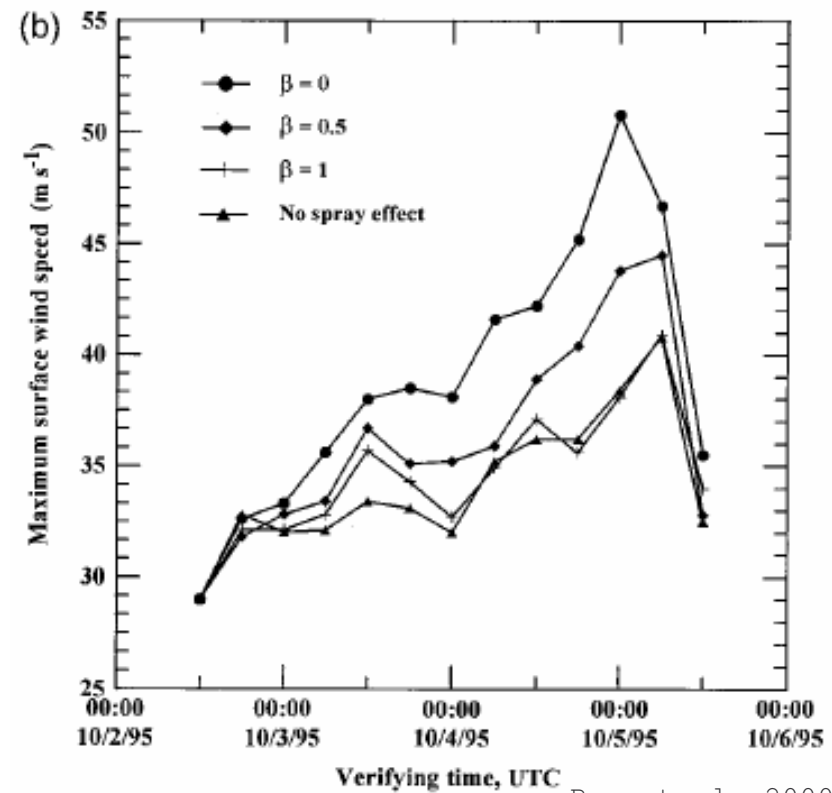
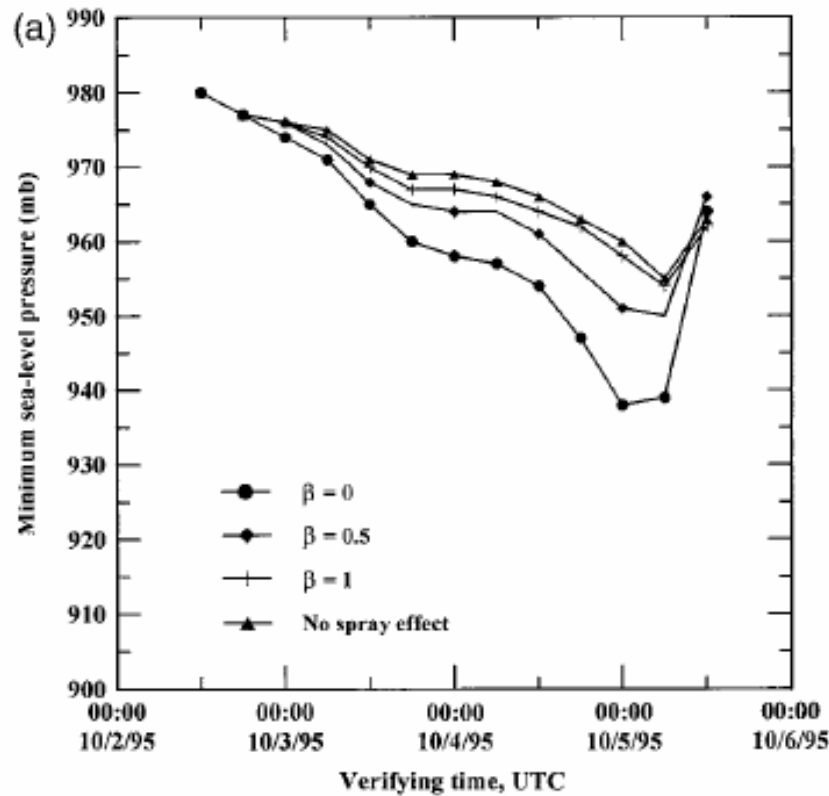


Intercambio de información entre modelos de atmósfera y océano



Efecto del oleaje en la intensificación de huracanes

$$\beta = \frac{Q_1^2}{Q_1 + Q_1^2}$$

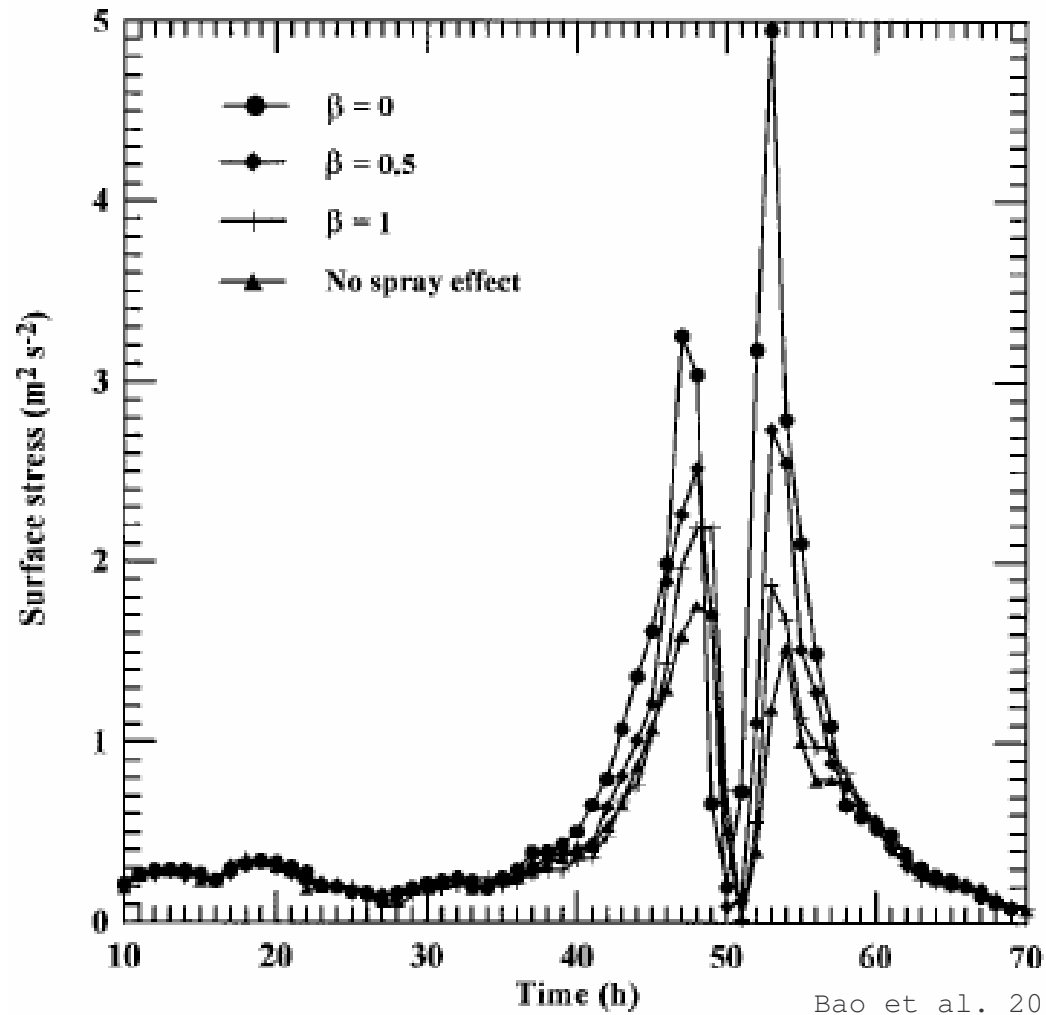


Bao et al. 2000

a) Presión a nivel del mar b) Viento máximo superficial



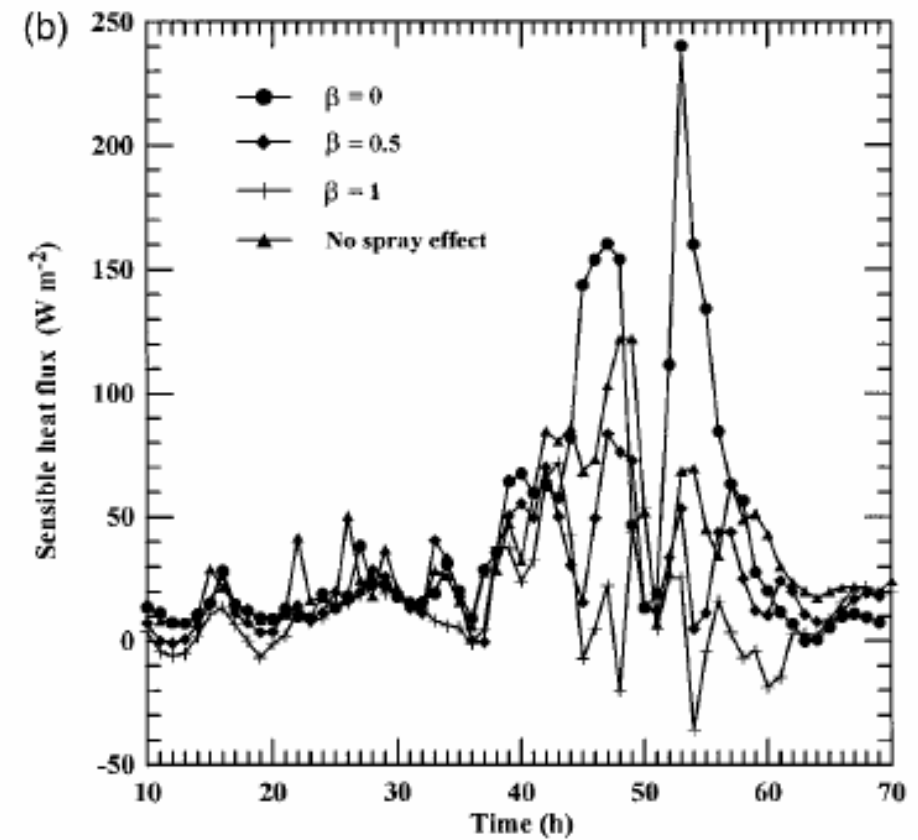
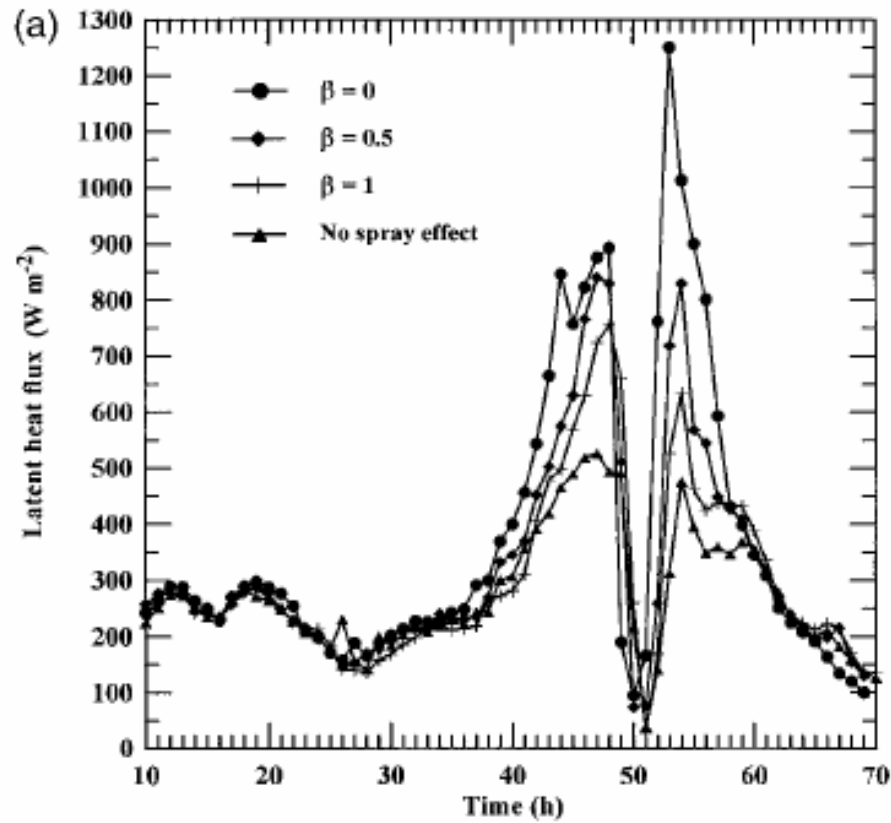
Efecto del oleaje en la intensificación de huracanes



Bao et al. 2000



Efecto del oleaje en la intensificación de huracanes



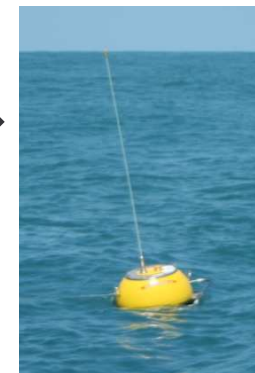
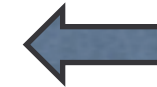
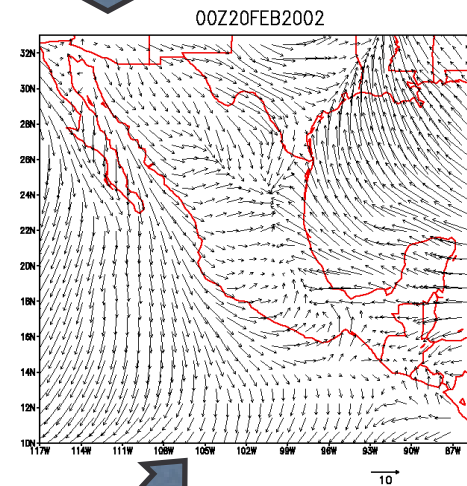
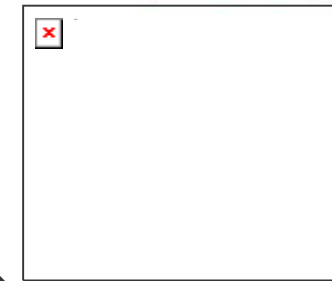
Bao et al. 2000



A futuro...

✓ *Incorporar a los pronósticos sistemas de asimilación de observaciones regionales.*

- *Boyas.*
- *Sensores remotos*

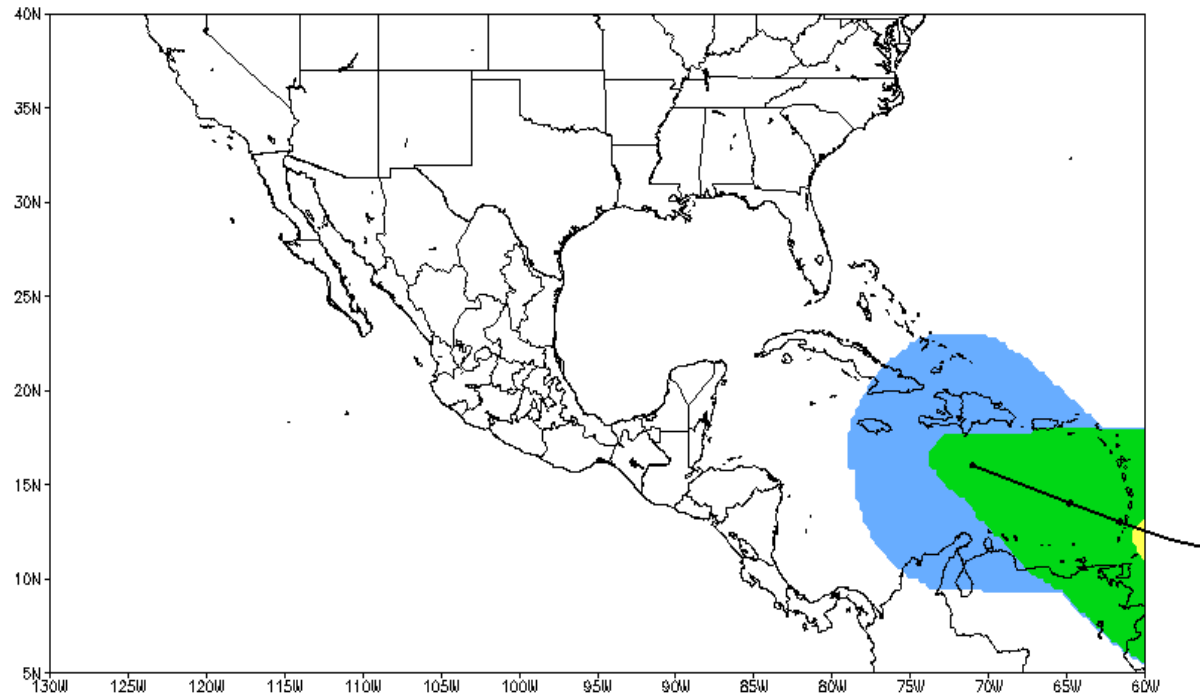




Generación de información de utilidad

✓ *El reto: pronosticar oleaje asociado a huracanes conociendo sus alcances y limitaciones.*

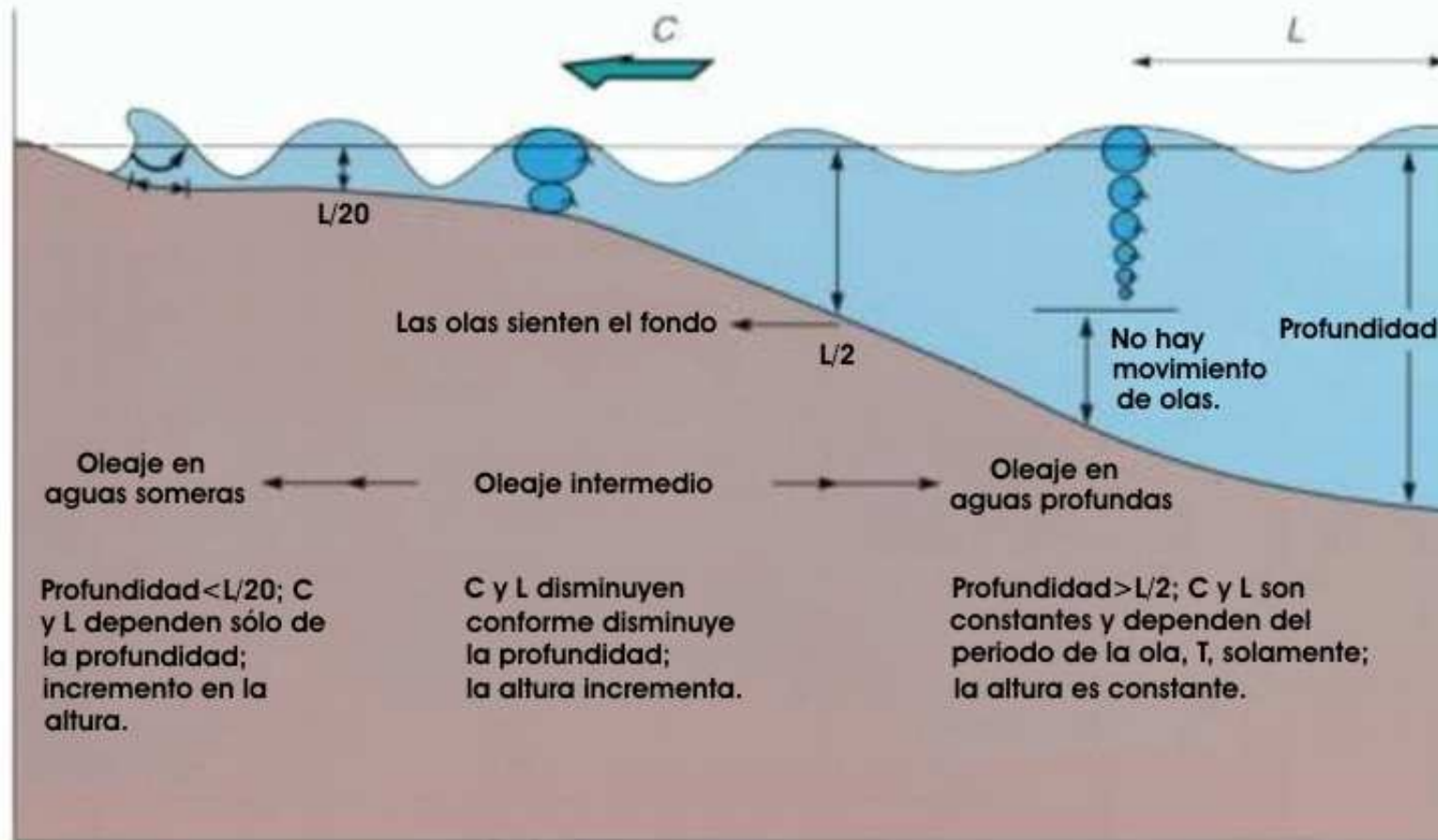
Aviso del SIAT para la Tormenta Tropical EMILY del 12-JUL-2005 a las 21:00 Z



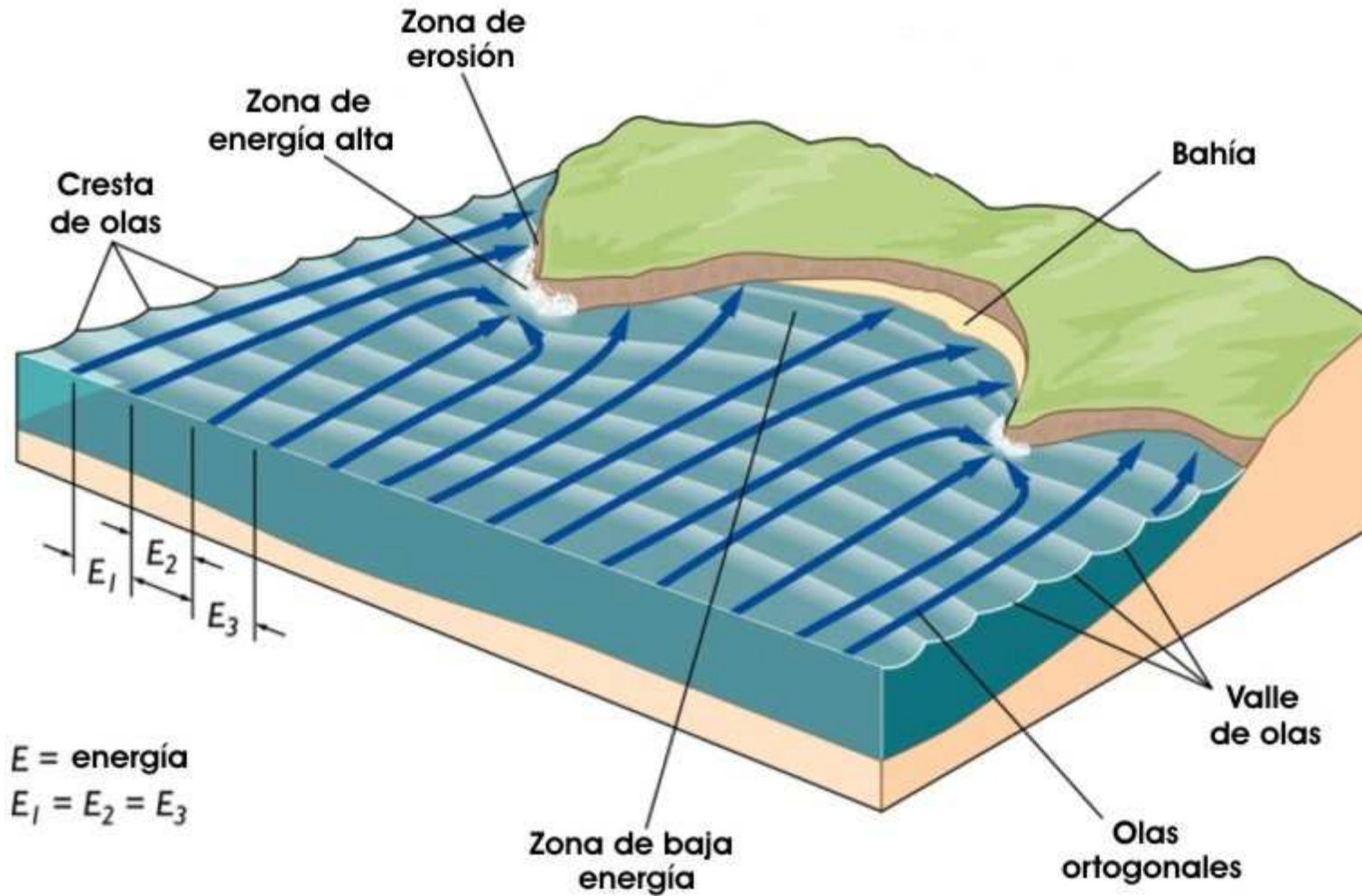
Cortesía. R Prieto



Impactos en la zona costera



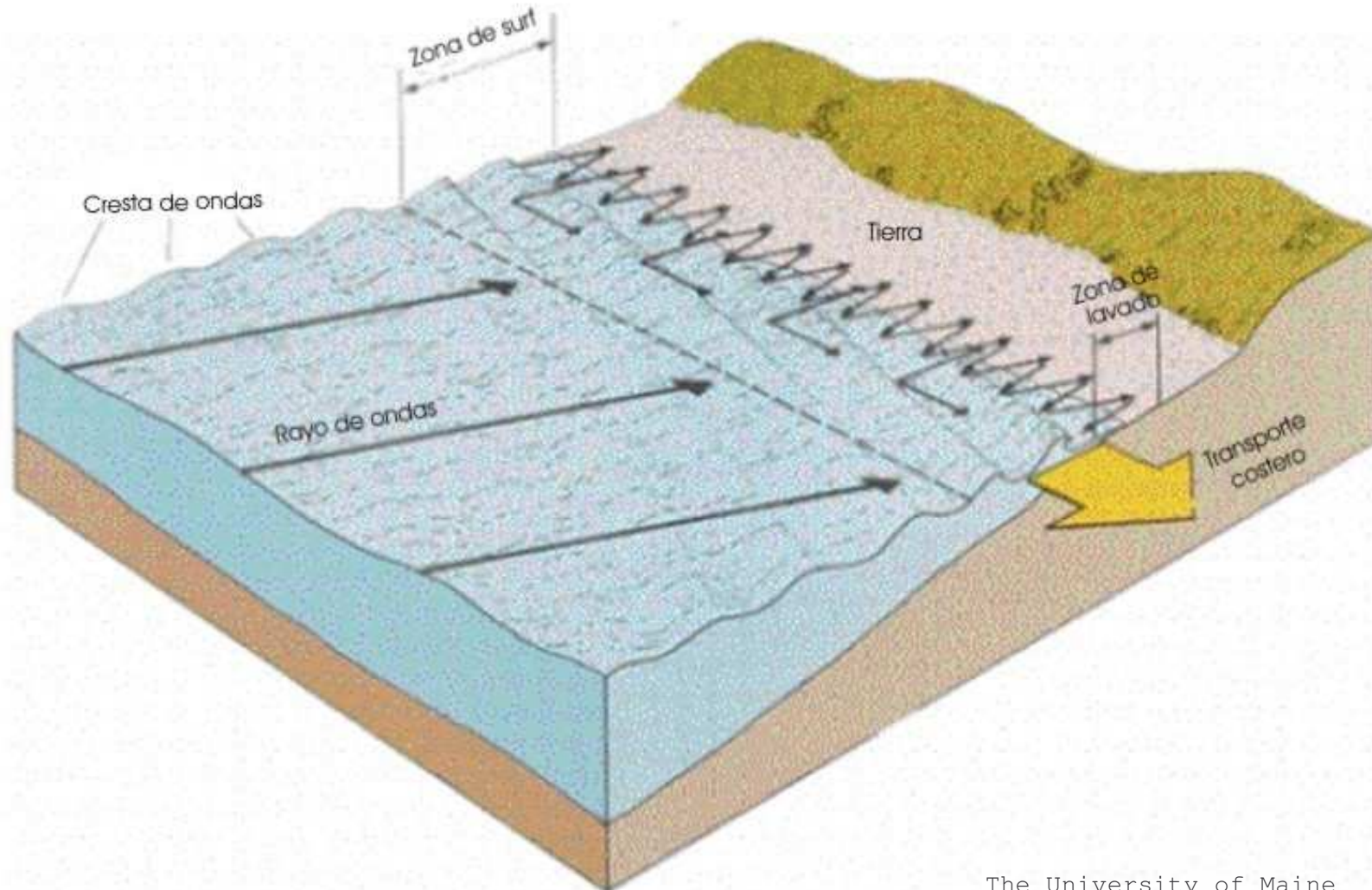
Impactos en la zona costera



(a) REFRACCION DE OLEAJE



Impactos en la zona costera





Impactos en zonas costeras. Huracán Kena. 21-26 oct 2002)





Impactos en zonas costeras. Huracán Wilma. 15-25 oct 2005



Cancun



Municipio solidaridad



Fotos Ricardo
Prieto



Impactos en zonas costeras. Huracán Wilma. 15-25 oct 2005



Fotos Ricardo Prieto





Efectos del huracán Iván en Playa Miramar 2-24 septiembre 2004

Fotos: Sergio Jiménez





Síntesis

1. El oleaje es la manifestación más evidente de la relación atmósfera-océano.
2. La atmósfera y el océano están acoplados termodinámicamente mediante intercambios de momento, calor y humedad.
3. En la modelación numérica, anteriormente sólo se consideraba la rugosidad, ahora se estudia el intercambio de masa y energía.
4. Una vez que se transfiere energía al oleaje, se redistribuye en el espectro.
5. Otra manifestación de la relación océano atmósfera son las variaciones de SST asociadas a la mezcla superficial por el viento, reflejándose en transporte de calor, humedad y flujos radiativos.
6. Es fundamental incluir la capa oceánica de mezcla, esto mediante modelos de circulación del océano.



Síntesis.

7. Es importante incluir el aerosol lanzado por oleaje rompiente en las parametrizaciones del flujo en la interfase, especialmente para condiciones de viento intenso, ya que las gotas producidas modifican el estado termodinámico medio y el aire circundante.
8. No se ha evaluado colectivamente los efectos debido a la intensa mezcla en la capa superficial del océano, a los aerosoles (calor sensible) y al oleaje (rugosidad).
9. La modelación numérica no debe reemplazar a las observaciones, las complementa, sobre todo en casos de difícil observación como en eventos extremos.
10. Una línea de investigación de la llamada intensificación explosiva de huracanes puede encauzarse al efecto del oleaje.
11. Oleaje → rugosidad. Oleaje → Aerosoles
12. Huracanes → Esfuerzo de viento

Agradecimientos

A Roberto Padilla, por sus comentarios y apoyo en procesos de simulación numérica con WAM y SWAN.

A Fernando Oropeza, por su participación en el desarrollo de simulaciones numéricas.

A José Guadalupe Rosario de La Cruz, por su apoyo en la automatización de procesos de cómputo.

A Diana Afrodita Ramírez, por el post-procesamiento de simulaciones de oleaje.

Al IMTA, por el financiamiento en el proyecto de simulación de oleaje.



Referencias

ARTICULOS

1. Andreas, E.L and Emanuel, K.A., 2001: Effects of sea spray on tropical cyclone intensity. *J. Atmos. Sci.* 58, No. 24, 3741-3751.
2. Bao, J.W., Wilczak, J.W., Choi, J.K. and Kantha, L.H., 2000: Numerical simulations of air-sea interaction under high wind conditions using a coupled model: a study of hurricane development. *Mon. Wea. Rev.*, 128, 2190-2210.
3. Booij, N., R. C. Ris, and L. H. Holthuijsen, A third-generation wave model for coastal regions, 1, Model description and validation. 1999, *J. Geophys. Res.*, 104 (C4), 7649-7666.
4. R. C. Ris, L. H. Holthuijsen, and Booij, N. A third-generation wave model for coastal regions, 2, Verification. 1999, *J. Geophys. Res.*, 104 (C4), 7667-7682.
5. WAMDI Group: S. and K. Hasselman, P.A.E.M. Janssen, G.J. Komen, L. Bertotti, P. Lionello, A. Guillaume, V.C. Cardone, J.A. Greenwood, M. Reistad, L. Zambresky, J.A. Ewing, 1988, "The WAM model - A third generation ocean wave prediction model" *J. Phys. Oceanogr.*, 18, 1775-1810.

LIBROS

6. Ocean Wave Modeling. 1985. The Swamp Group Editors Plenum Press.
7. Kinsman, B. Wind Waves, 1965. 676 pp. Prentice-Hall Inc. New Jersey.
8. Young I.R. 1999. Wind Generated Ocean Waves. 288 pp. Elsevier Science. The Netherlands.
9. Kkandekar, M.L. 1989. Operational Analysis and Prediction of Ocean Waves. Springer Verlag