

Simulación del oleaje durante huracanes y su impacto costero

Dr. Omar G. Lizano

Centro de Investigaciones Geofísicas (CIGEFI), Centro de Investigación en Ciencias del Mar y Limnología (CIMAR), Departamento de Física Atmosférica, Oceánica y Planetaria (DFAOP), Escuela de Física, Universidad de Costa Rica, San José, Costa Rica. E-mail: omar.lizano@ucr.ac.cr

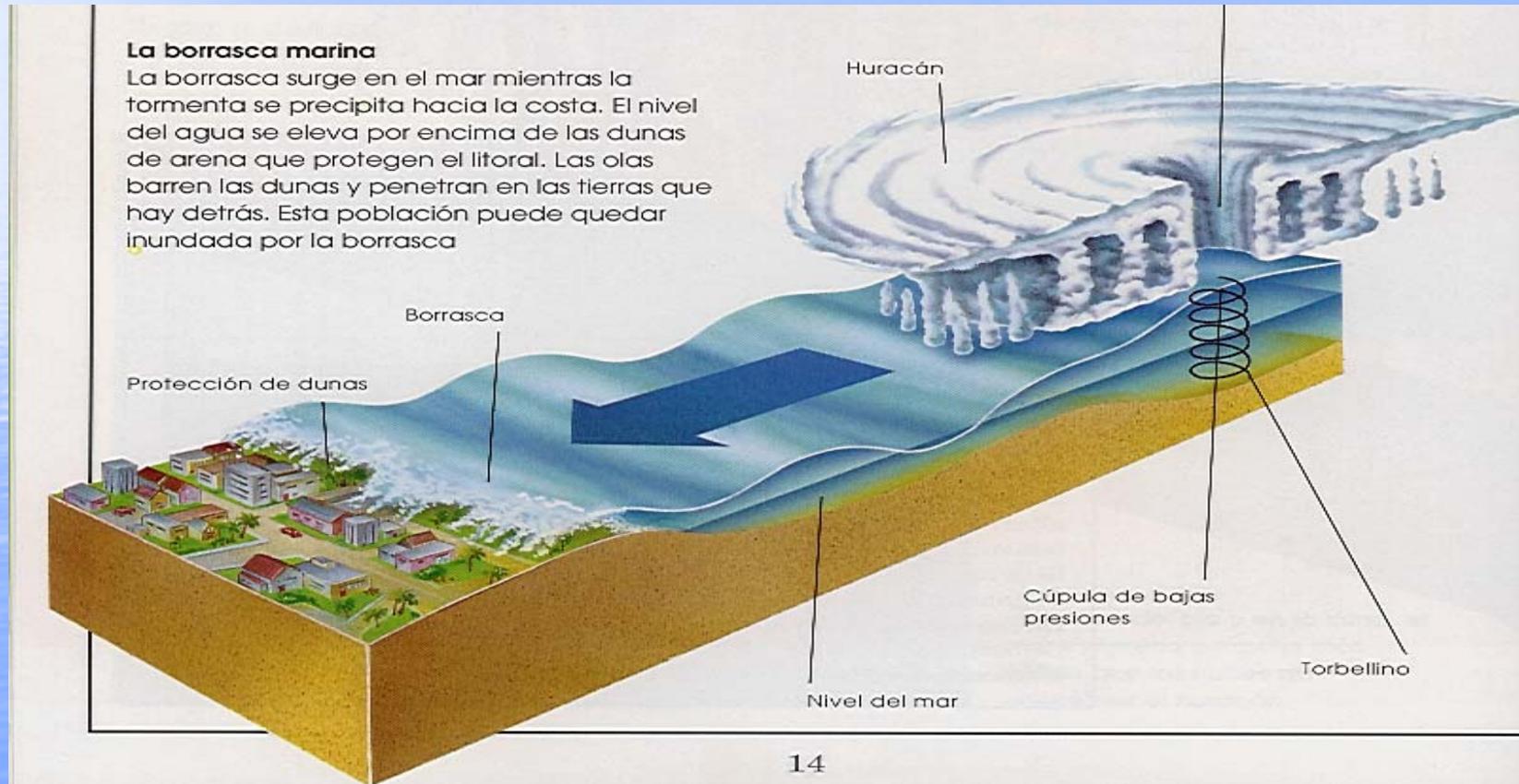
Amenazas durante un huracán

Las principales amenazas durante un huracán son:

- La marejada de tormenta o borrasca marina**
- Vientos de gran intensidad**
- Alta precipitación**
- Oleaje**

Formación de tornados

1- La marejada de tormenta o borrasca marina



2. Viento



Evelyn Shanahan



Max Mayfield

3- Precipitación:

Precipitaciones de 6 a 12 pulgadas son comunes

El riesgo de las inundaciones depende de un número de factores:

- K La velocidad de la tormenta
- K Su interacción con otros sistemas meteorológicos
- K El tipo de terreno en el lugar
- K El grado de saturación.

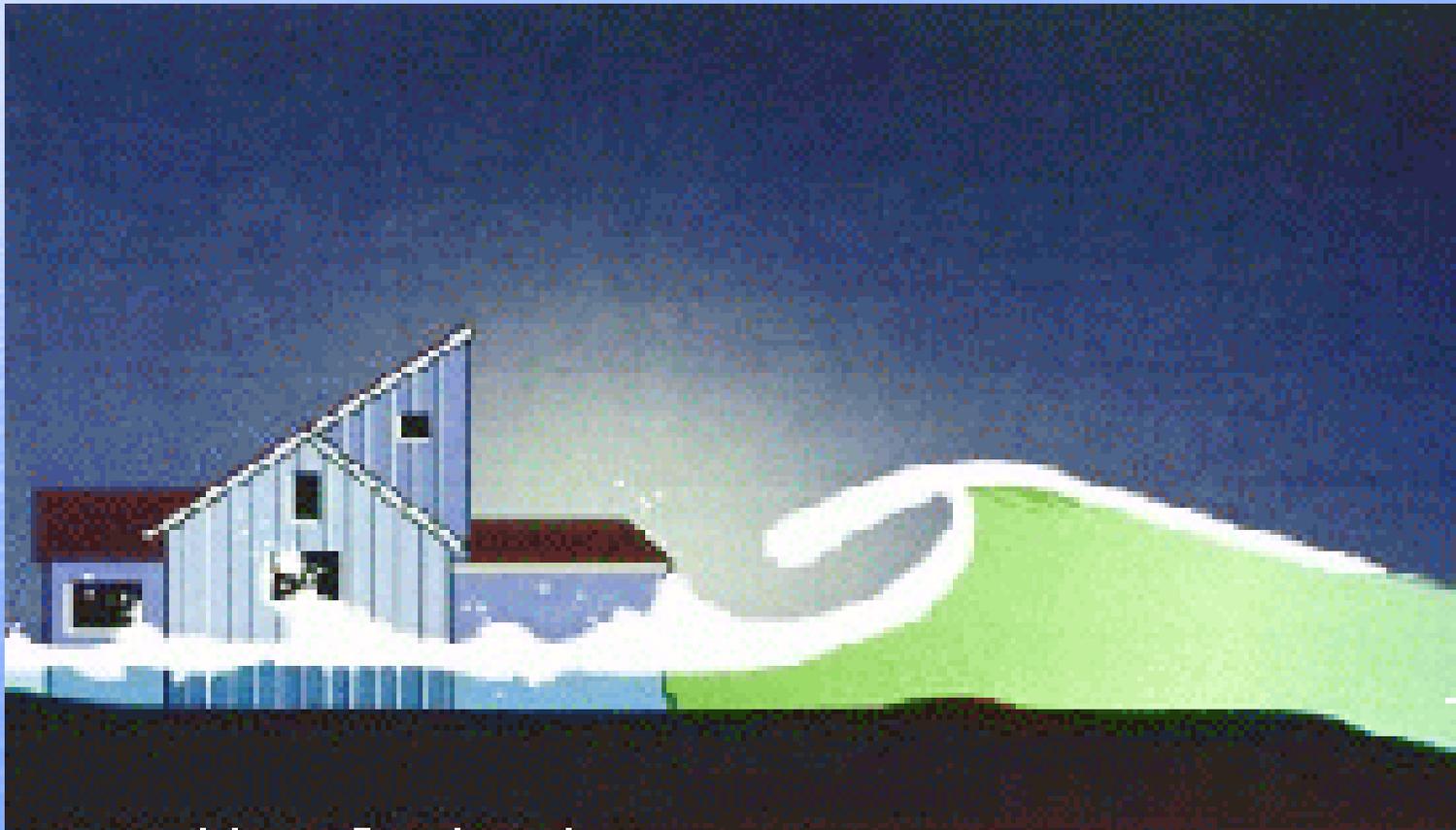
Precipitación tierra adentro —————> inundaciones repentinas.

Ej: Cabeza de agua en el cause de los ríos, que junto con los deslizamientos en regiones montañosas, constituyen una de las mayores amenazas.



4- OLEAJE

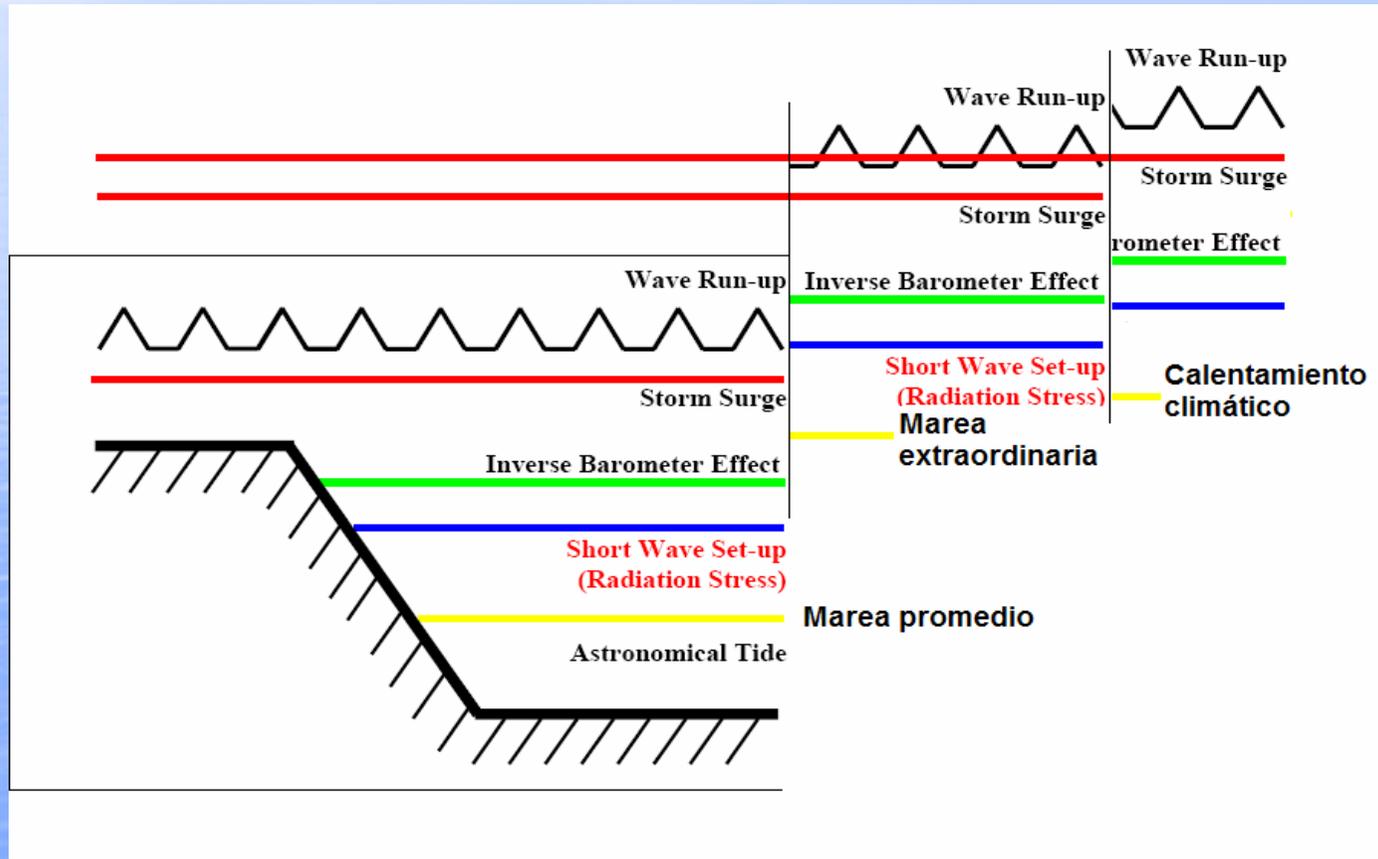
El oleaje montado sobre la borrasca y el agua apilada por el viento es la que produce mayor destrucción tierra adentro.



El nivel de alcance de esta marejada depende de la pendiente de la plataforma frente al lugar donde está impactando el huracán.



Niveles del mar



Modelos numéricos en el océano

- Modelos de circulación
- Modelos de mareas
- Modelos de generación de olas
- Modelos de viento
- Modelos de marejada de huracán

Modelos de generación de olas

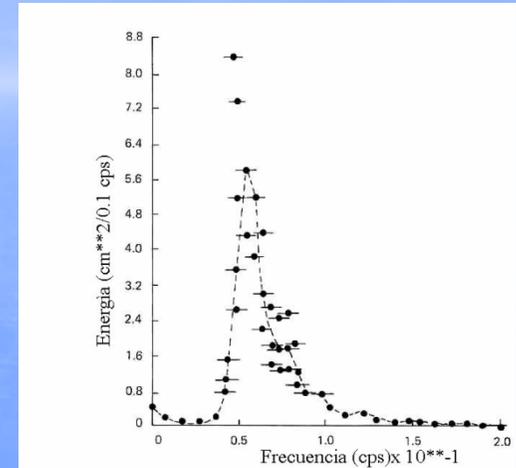
Modelos de generación de olas

Ecuación de balance de energía:

$$\frac{\partial F}{\partial t} + \nabla \cdot (c_g F) + \frac{\partial}{\partial \theta} ((c_g \cdot \nabla \theta) F) = S_{tot}$$

donde:

$F = F(\omega, \theta, x, t)$ es el espectro de energía de ola, $c_g = c_g(\omega, \theta)$; velocidad de propagación del grupo de olas,
 $S_{tot} = S_{tot}(\omega, \theta, x, t)$ la función neta de todos los procesos que agrupan, remueven o distribuyen energía en el espectro de olas,
 $\omega (=2\pi f)$ es la frecuencia angular de ola, θ es la dirección de la ola, x es el vector posición de la ola y t es el tiempo.



Modelos de generación de olas

Términos fuente:

$$S_{tot} = S_{in} + S_{ds} + S_{nl}$$

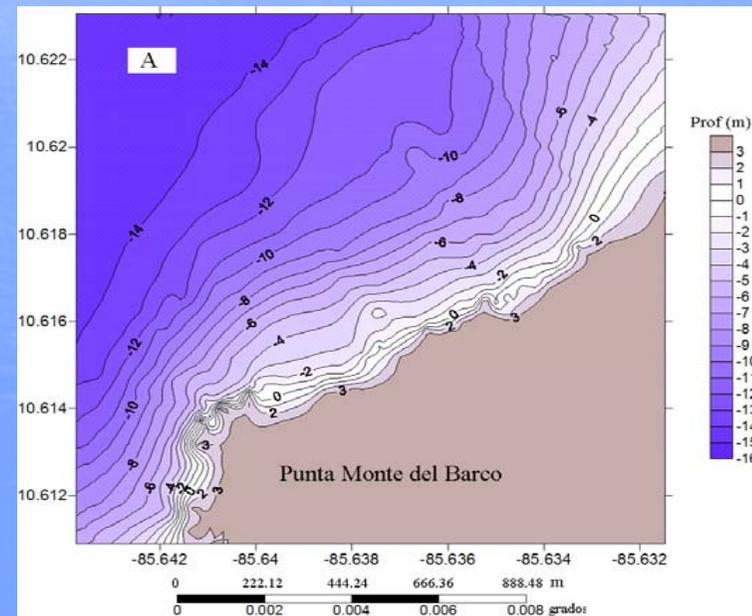
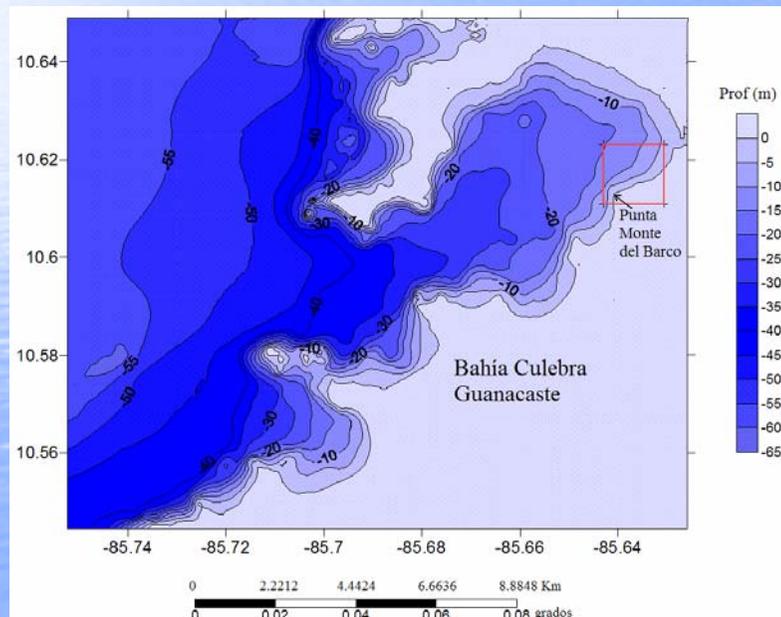
S_{in} : energía de entrada por el viento.

S_{ds} : disipación de energía de ola

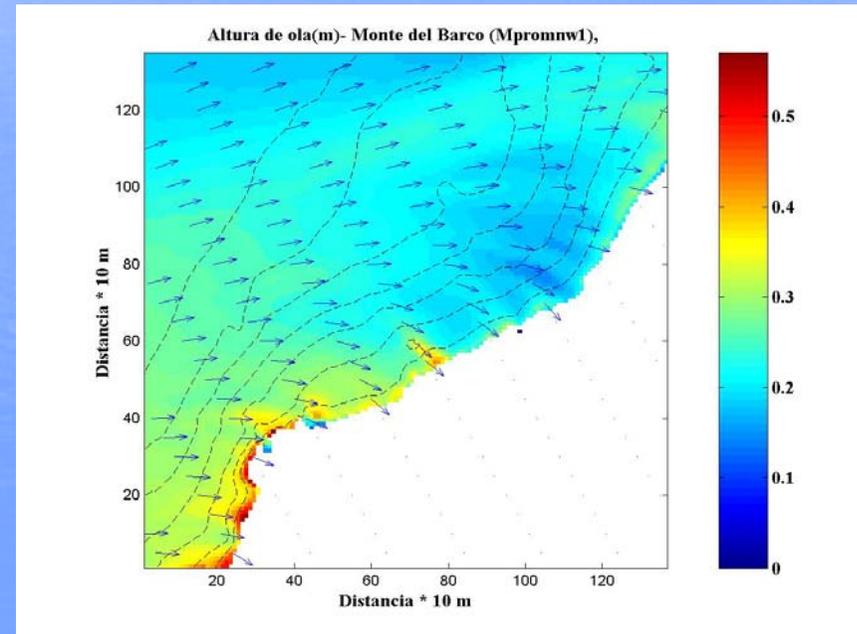
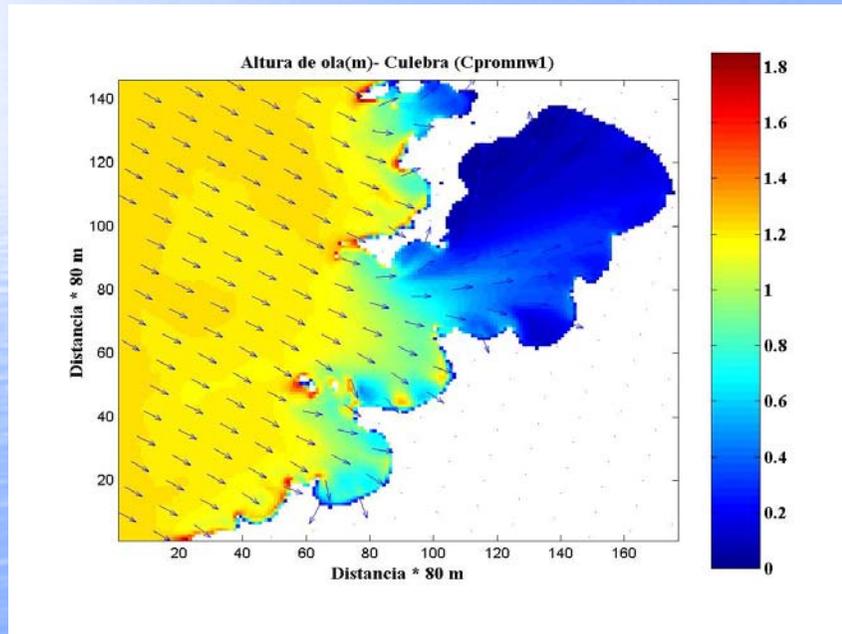
S_{nl} : interacciones no lineal entre ondas

Ejemplo de aplicación costera

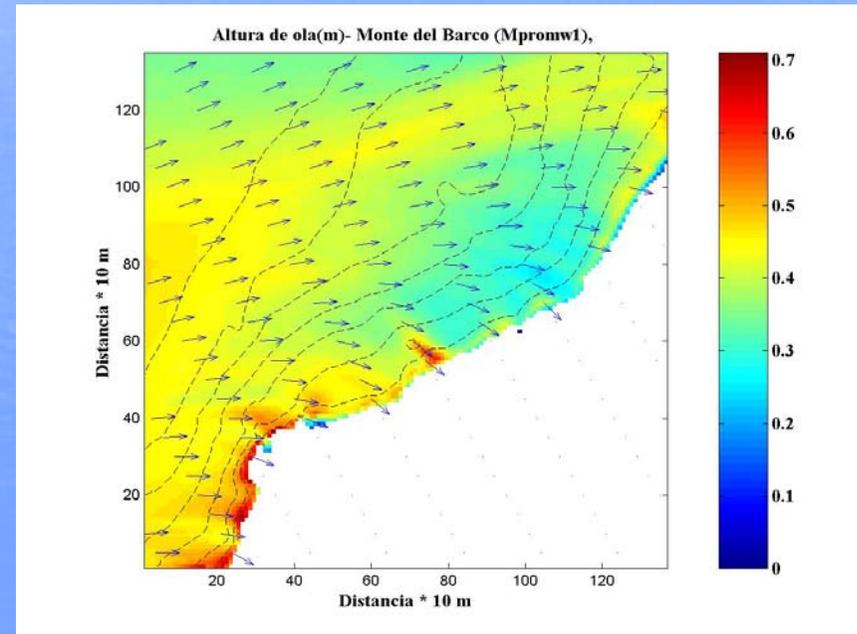
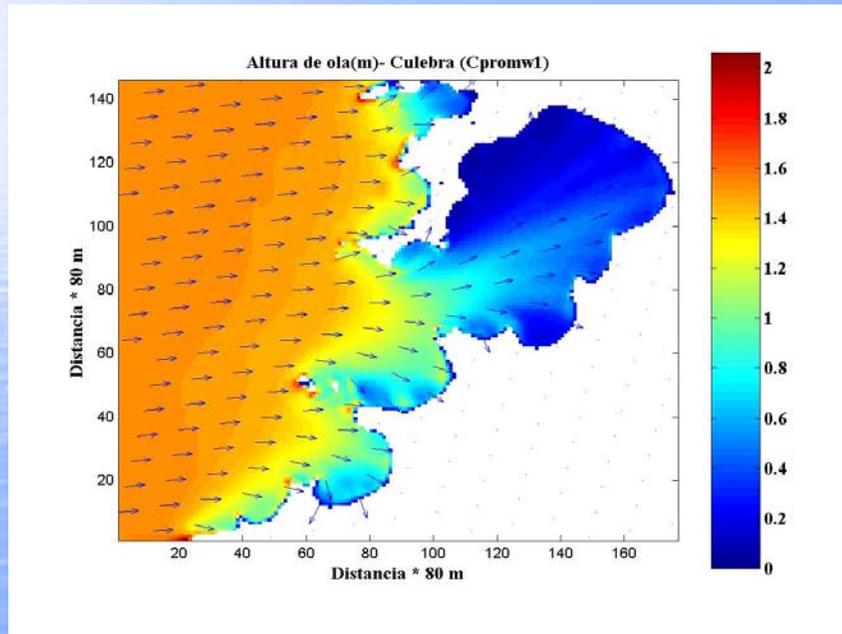
Modelo SWAN 40.01



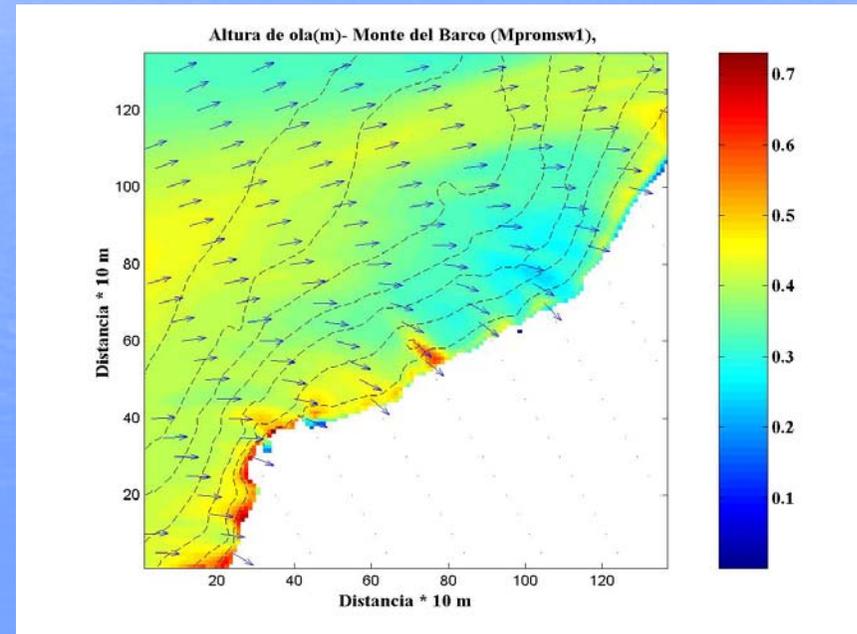
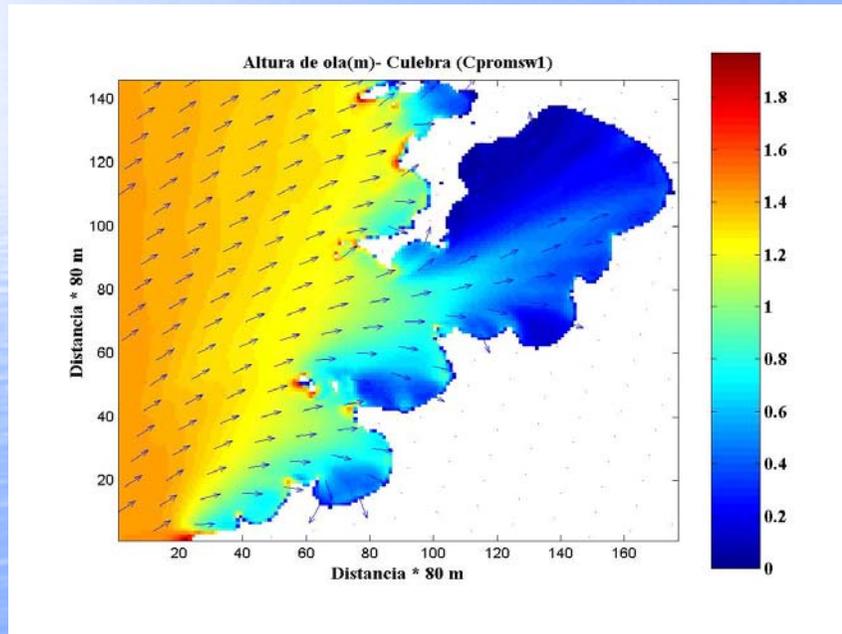
- **Condiciones promedio de oleaje y viento (noroeste):**



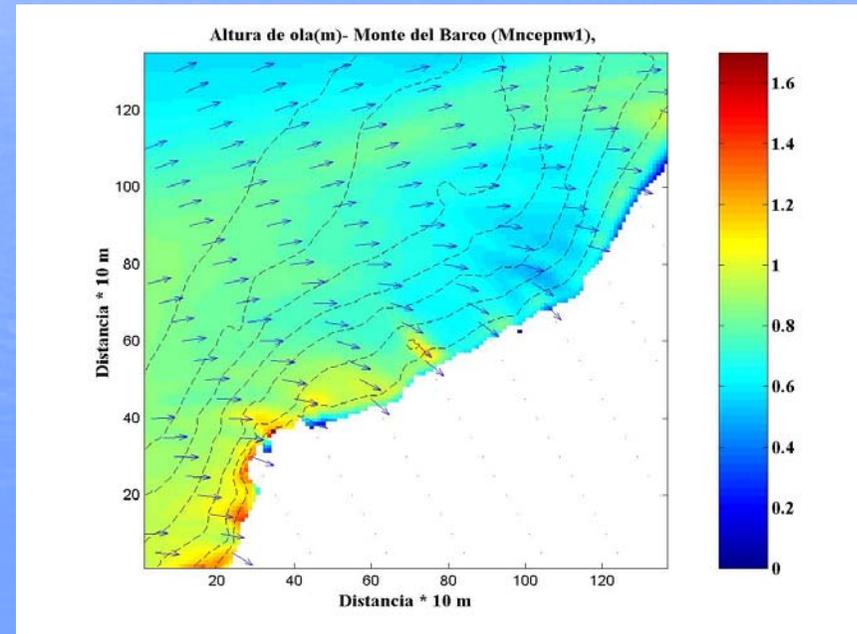
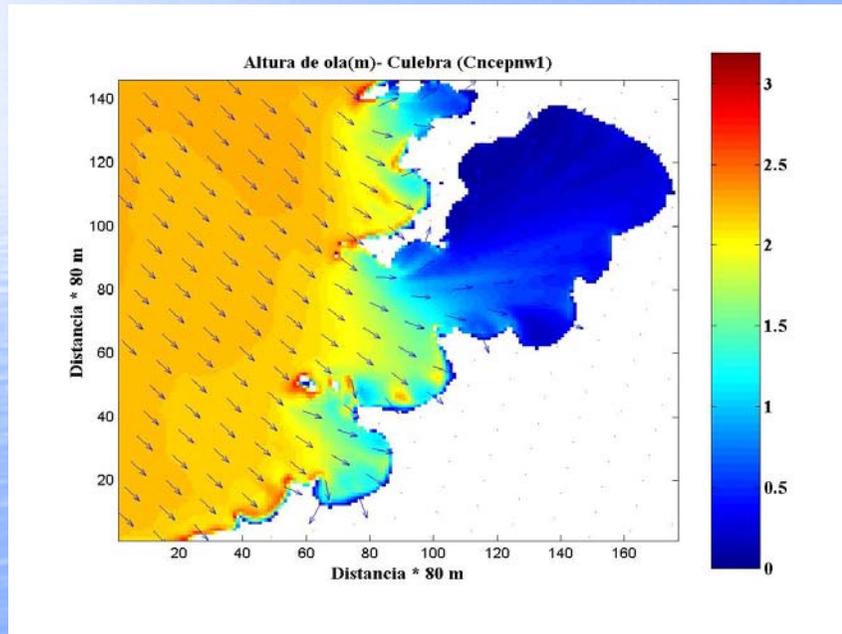
- **Condiciones promedio de oleaje y viento (oeste):**



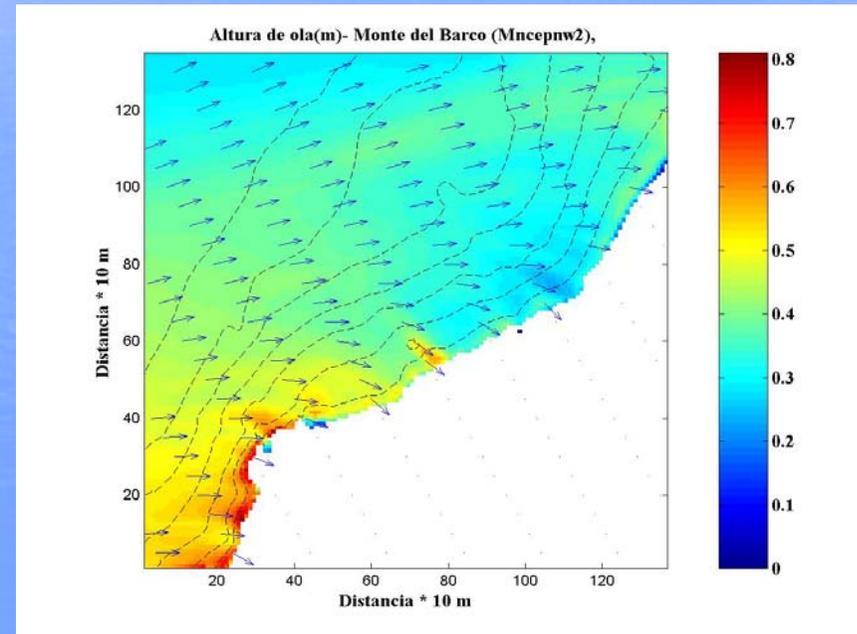
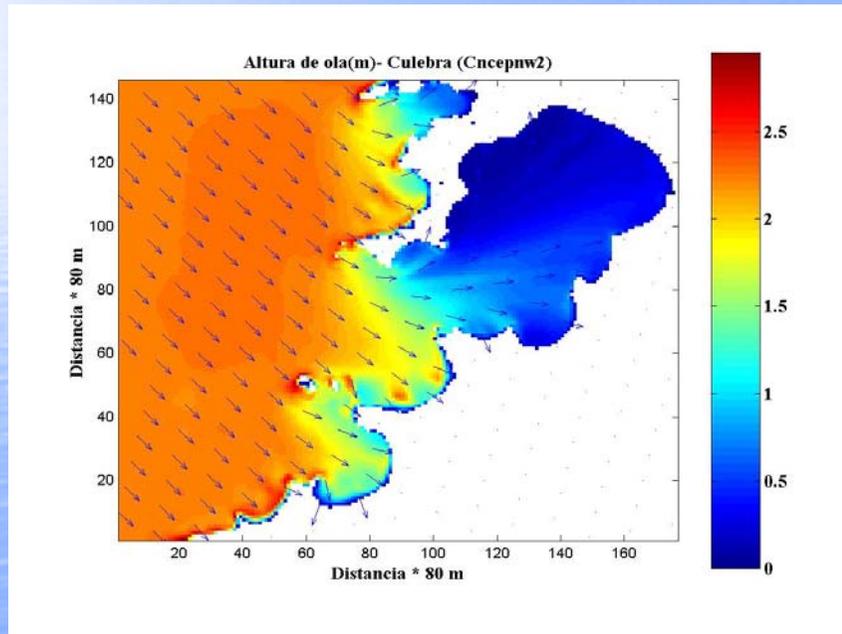
- **Condiciones promedio de oleaje y viento (suroeste):**



- **Condiciones extremas de oleaje y viento (NW1: H1/3 T_pA Viento=0):**



- **Condiciones extremas de oleaje y viento (NW2: H1/3 TpA Viento \neq 0):**



Modelos de generación de olas

Modelos de olas mas usados:

- WAM (WAve Model): aguas profundas
- SWAN (Simulating WAves Nearshore): aguas llanas, someras o poco profundas
- WAVEWATCH III: aguas profundas

Modelos de viento

Según Myer (1954):

$$p = p_0 + (p_n - p_0)e^{\frac{-R_{max}}{r}}$$

Donde “p” es la presión atmosférica, “p₀” la presión central, “p_n” la presión ambiente, “r” es la distancia al centro del huracán, “R” es el radio de viento máximo.

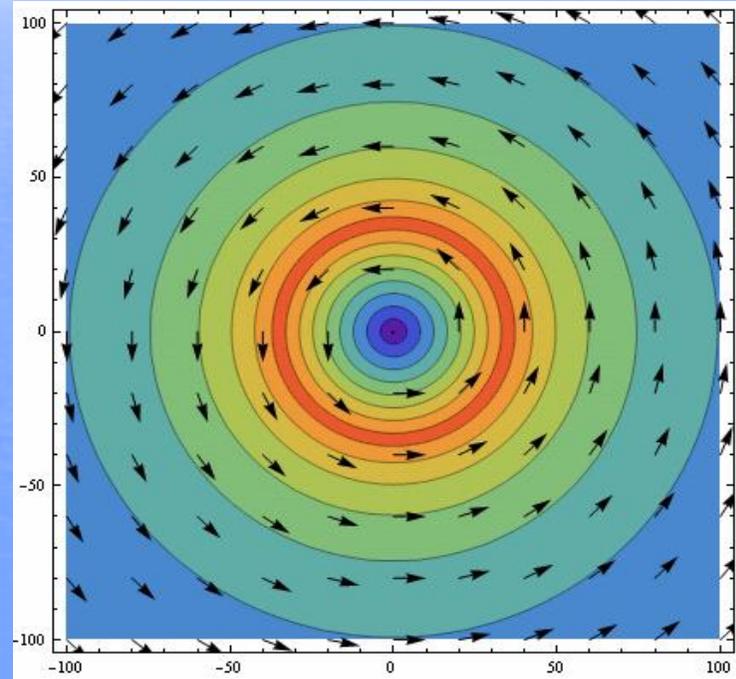
Utilizando la expresión de viento gradiente en $r = R_{max}$:

$$V_{max} = K \left[(P_n - P_o)^{1/2} - 0.5 f R_{max} \right]$$

Vórtice Rankine (1947)

$$V(r) = V_{\max} \left(\frac{r}{R} \right) \quad r < R$$

$$V(r) = V_{\max} \left(\frac{R}{r} \right) \quad r > R$$



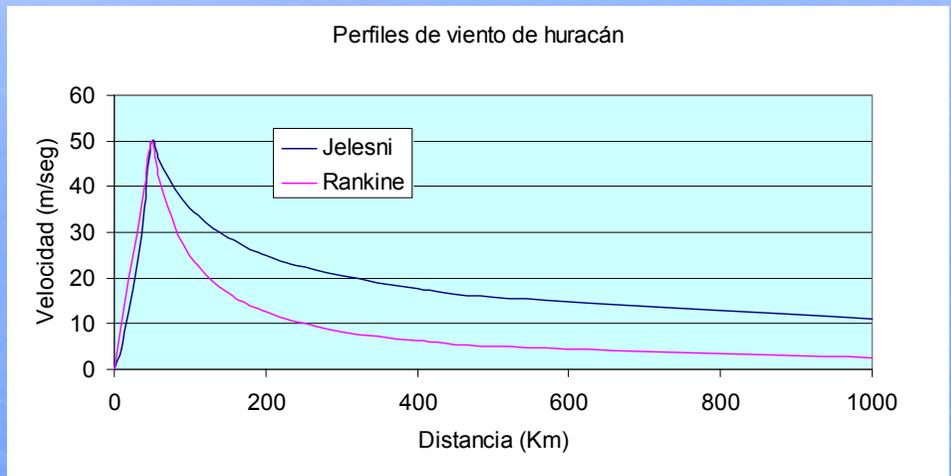
Modelo de Jelesniansky (1974)

$$V(r) = V_{\max} \left(\frac{r}{R}\right)^{3/2}$$

$$r < R$$

$$V(r) = V_{\max} \left(\frac{R}{r}\right)^{1/2}$$

$$r > R$$



Collins y Viehnaman (1971):

$$V(r) = \left(\frac{V_{max}}{C_1 r^k}\right) * \text{Log}\left(\frac{R}{C_2 r^m}\right)$$

$$r > R$$

$$V(r) = 1.5V_{max} \left(\frac{r}{R} - 1/3\right)$$

$$R > r > R/3$$

$$V(r) = 0$$

$$R/3 > r$$

donde $C_1 = 3.354$, $C_2 = 1.265 \times 10^3$ (Collins and Viehnaman, 1971), k y m son constantes ajustados empíricamente con datos de huracanes.

Modelo del National Weather Service (1979):

$$V(r) = V_{max} \sin^A \left(\frac{\pi}{2} \frac{r}{R} \right) \quad r < R$$

$$V(r) = V_{max} \left(1 - 1.3 * e^{-[a((r-R)/R)^b]} \right)^{-1} \quad r > R$$

Donde A, a y b son coeficientes ajustados con datos de huracanes.

El Modelo de Holland (1980):

$$Ug(r) = \left[\frac{AB(p_n - p_o) \exp(-A/r^b)}{\rho r^B} + \frac{r^2 f^2}{4} \right]^{0.5} - \frac{rf}{2}$$

Modelo de Combinado (Lizano , 1990):

$$V(r) = \left(\frac{V_{\max}}{C_1 r^k}\right) * \text{Log}\left(\frac{R}{C_2 r^m}\right) \quad r > R$$

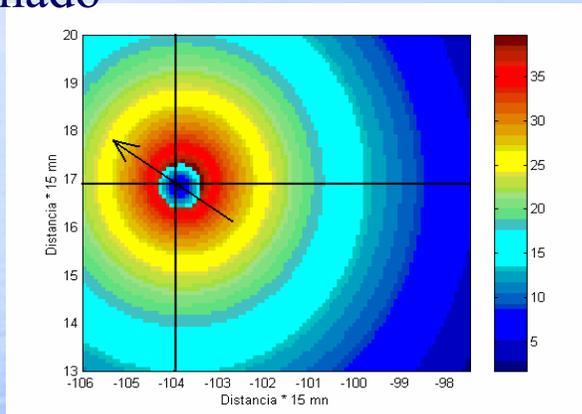
$$V(r) = V_{\max} \left(\frac{2Rr}{R^2 + r^2}\right) \quad r < R$$

Con:

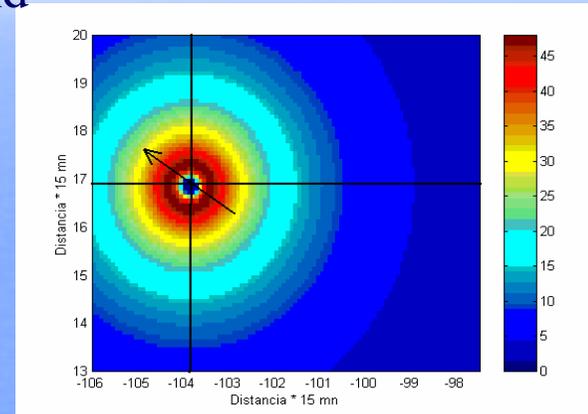
$$V_{\max} = 0.885 \left[63.364 (P_n - P_o)^{1/2} - 0.5 f 2R \right] + 0.5 V_f$$

Distribución espacial del viento en caso de un huracán

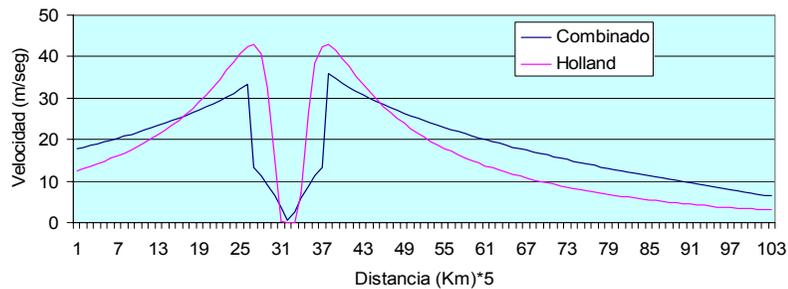
Combinado



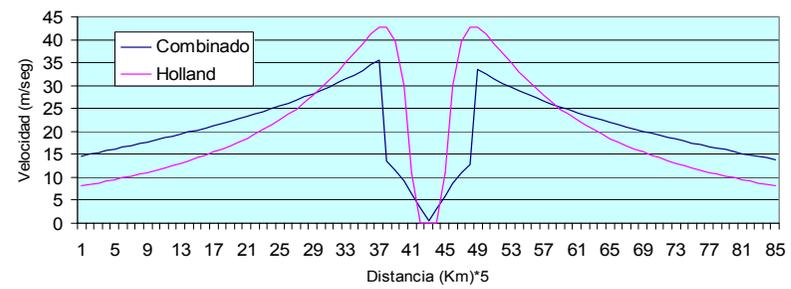
Holland



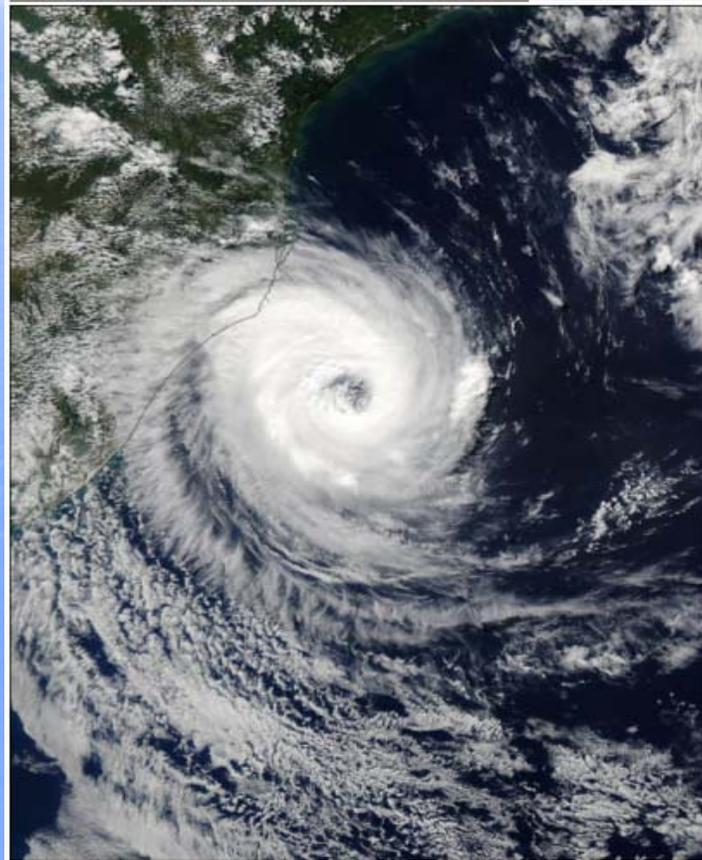
Perfiles de viento horizontales para un huracán

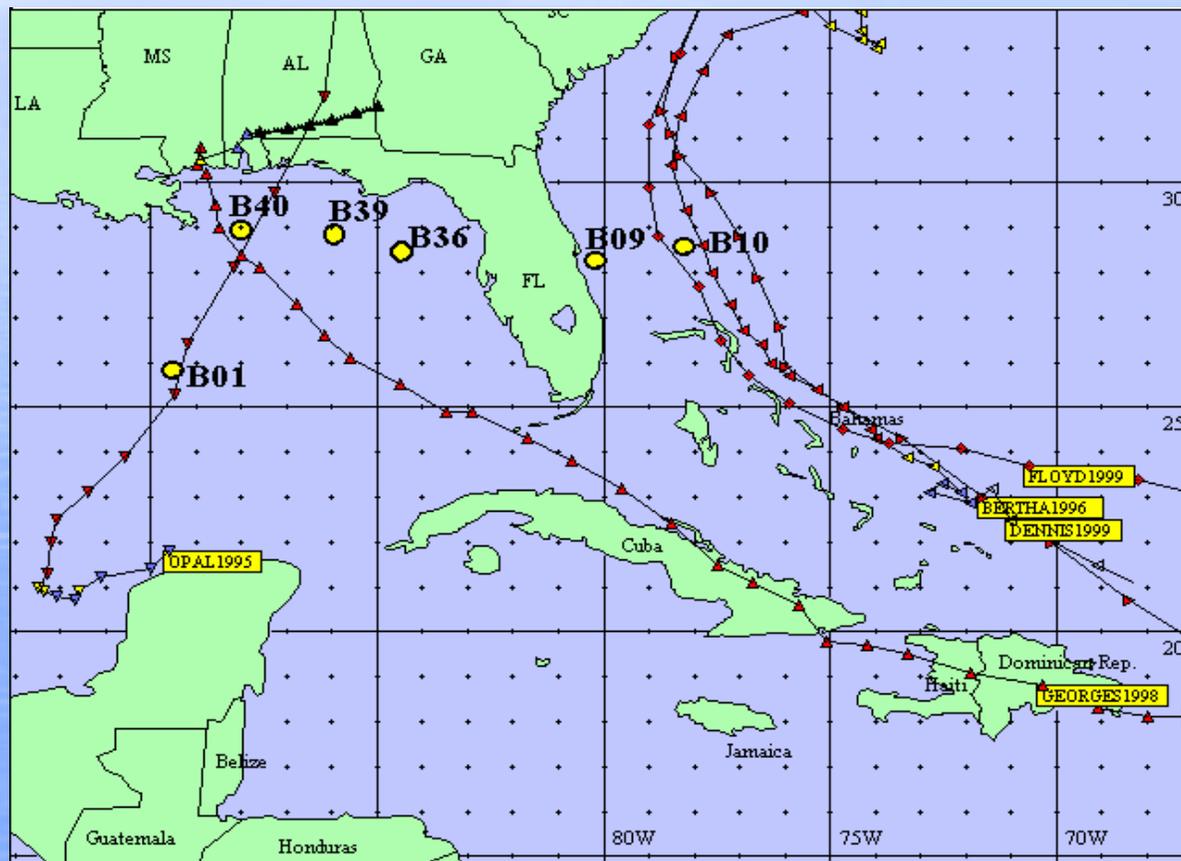


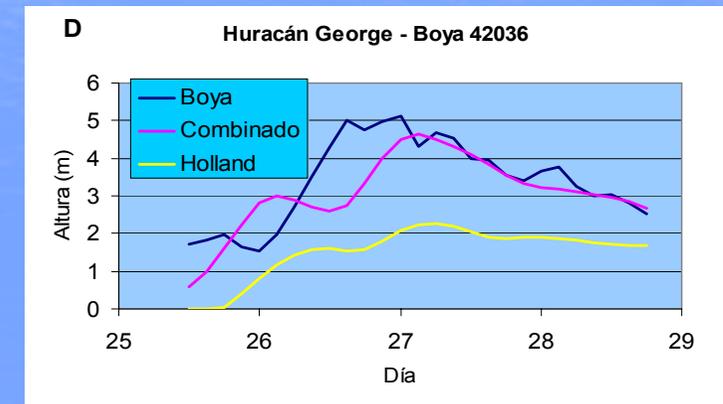
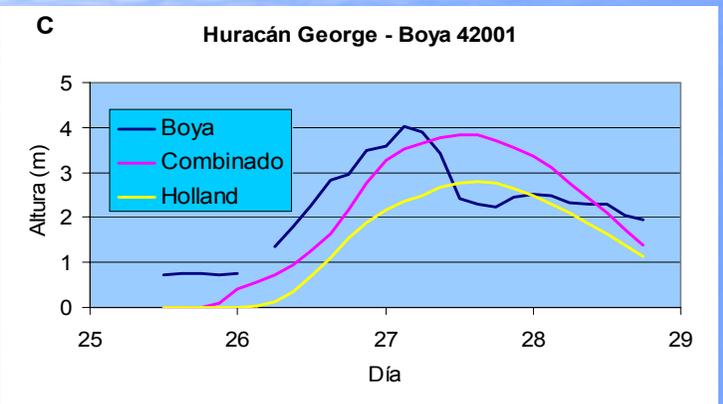
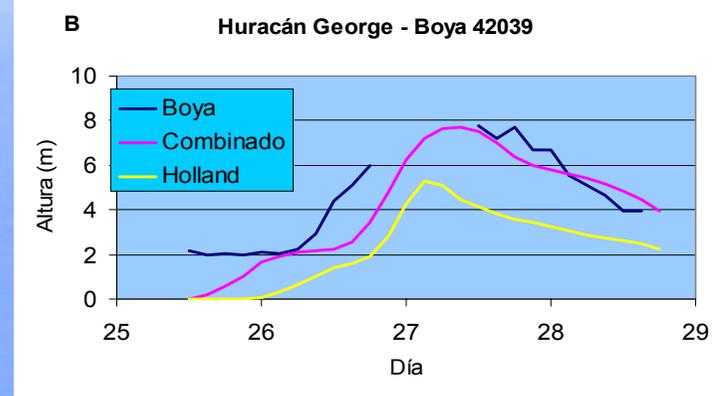
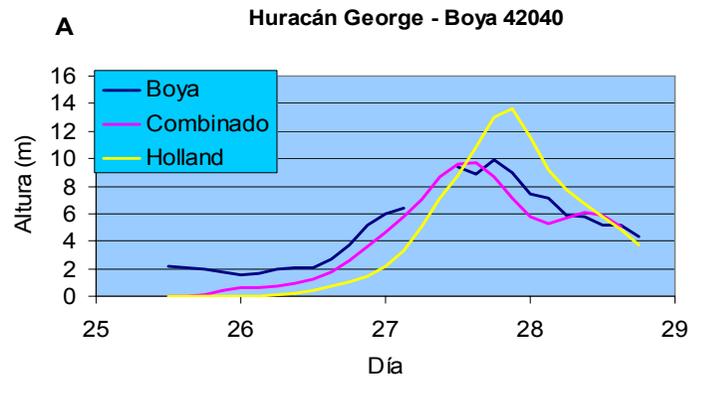
Perfiles de viento verticales en un huracán



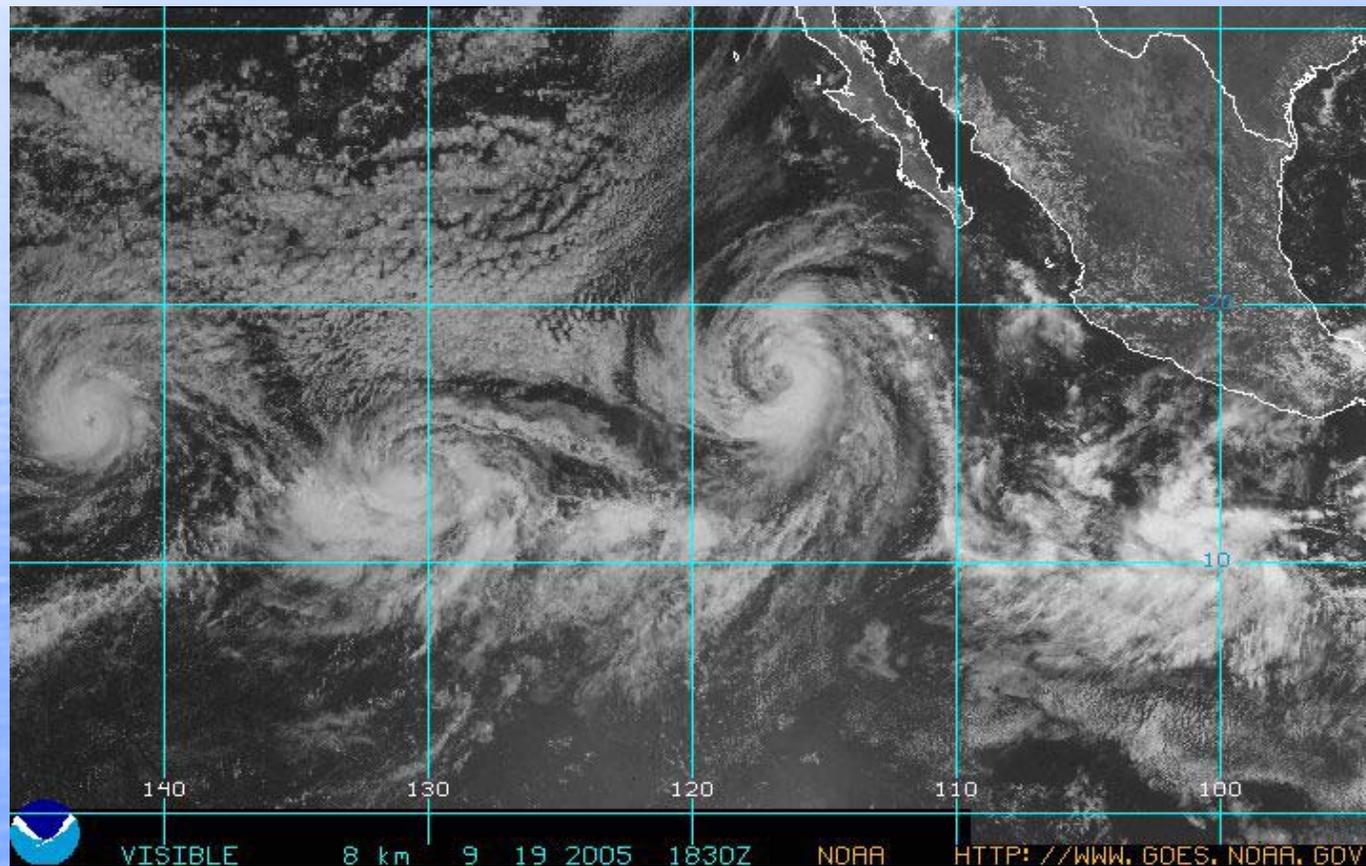
Algunas aplicaciones con huracanes

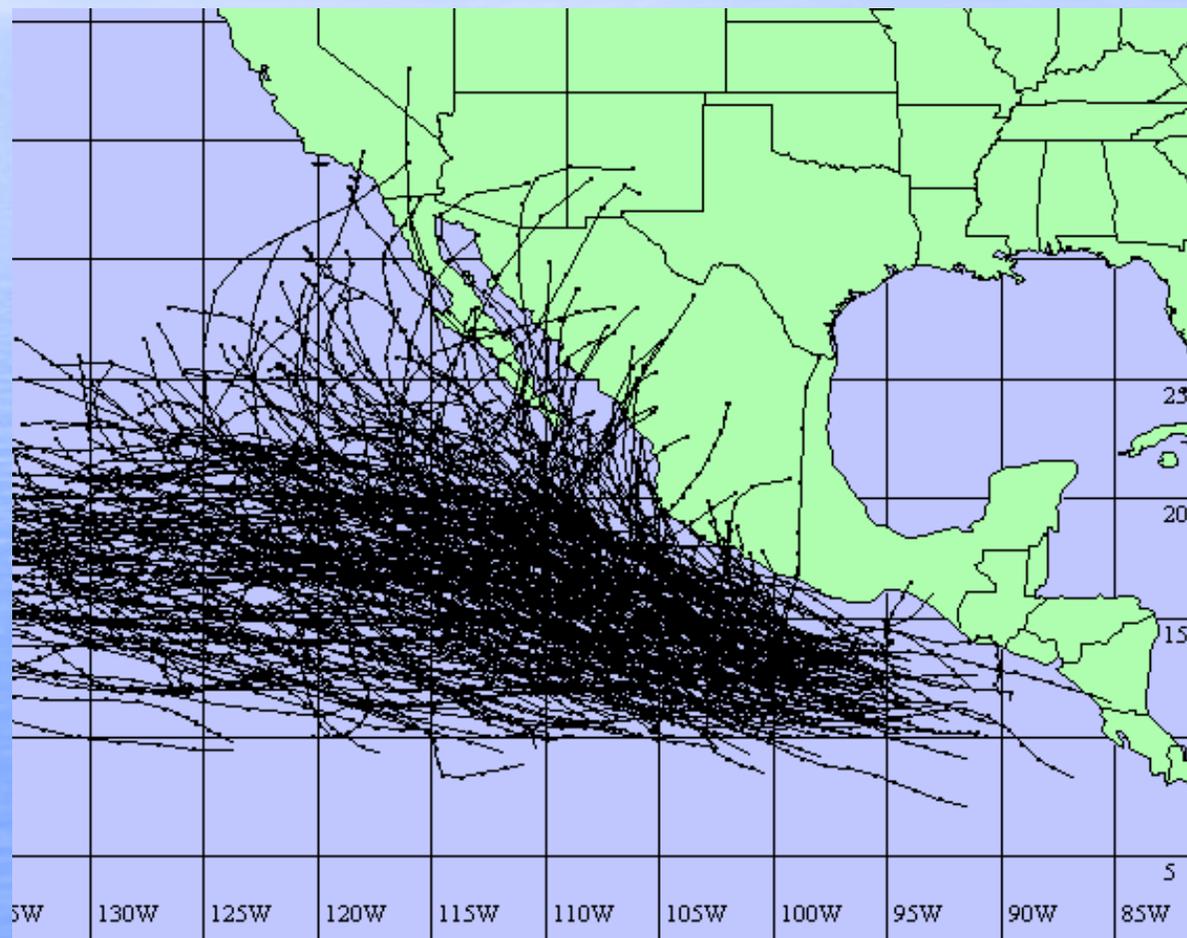




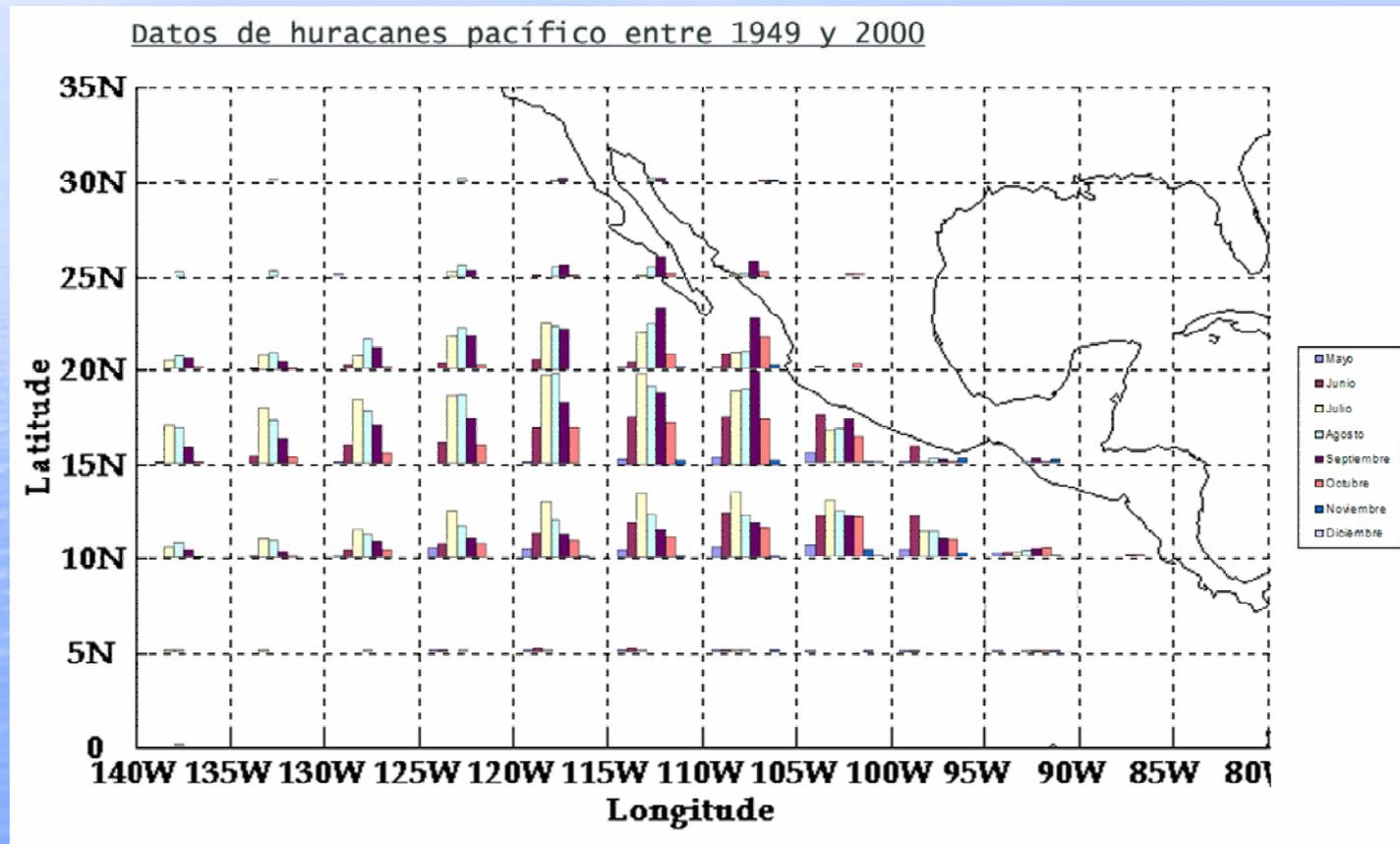


Huracanes en el Pacífico Tropical Este





Frecuencia mensual de huracanes



Dos aplicaciones de interés

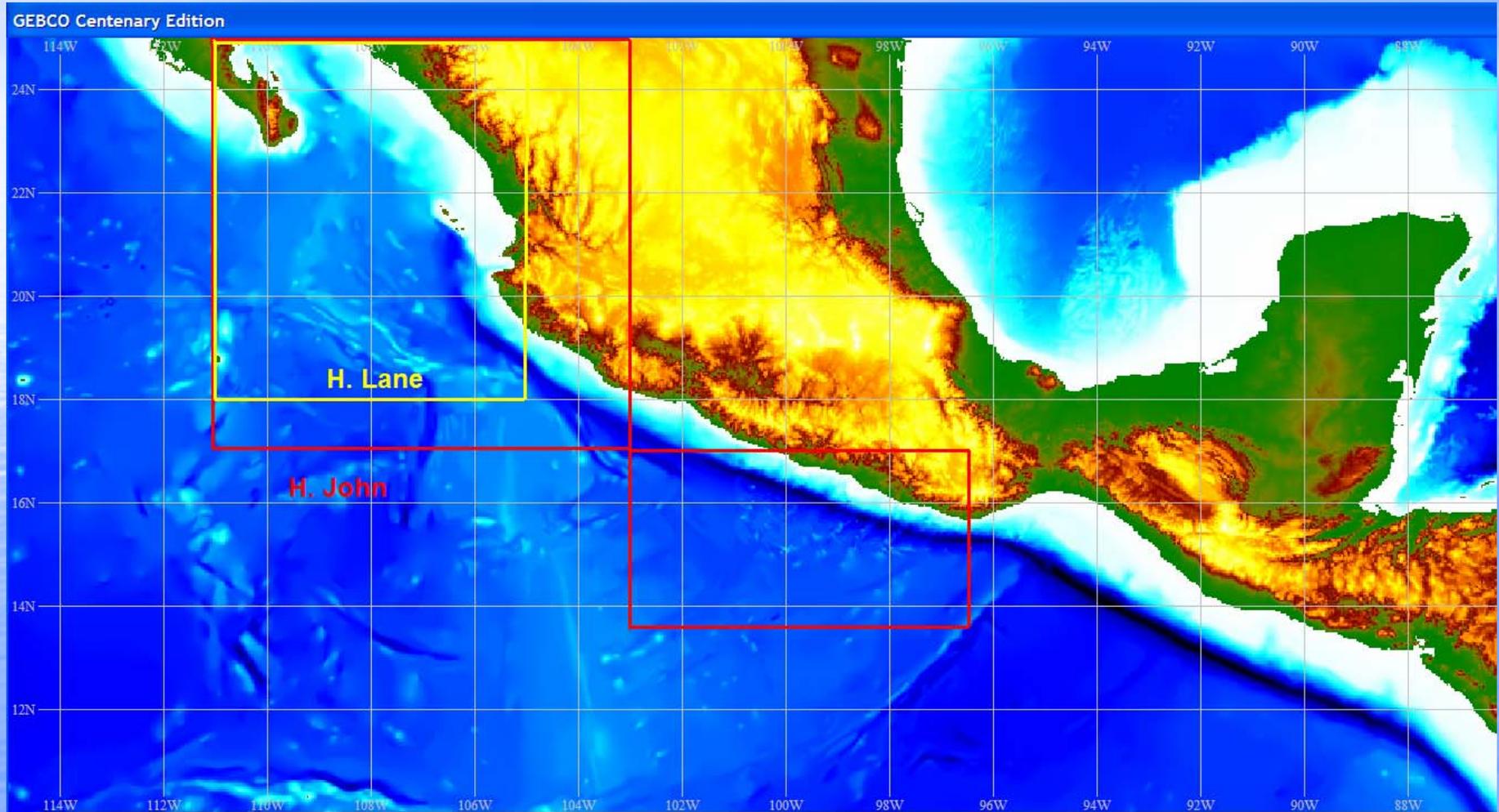
H. Lane set., 2006



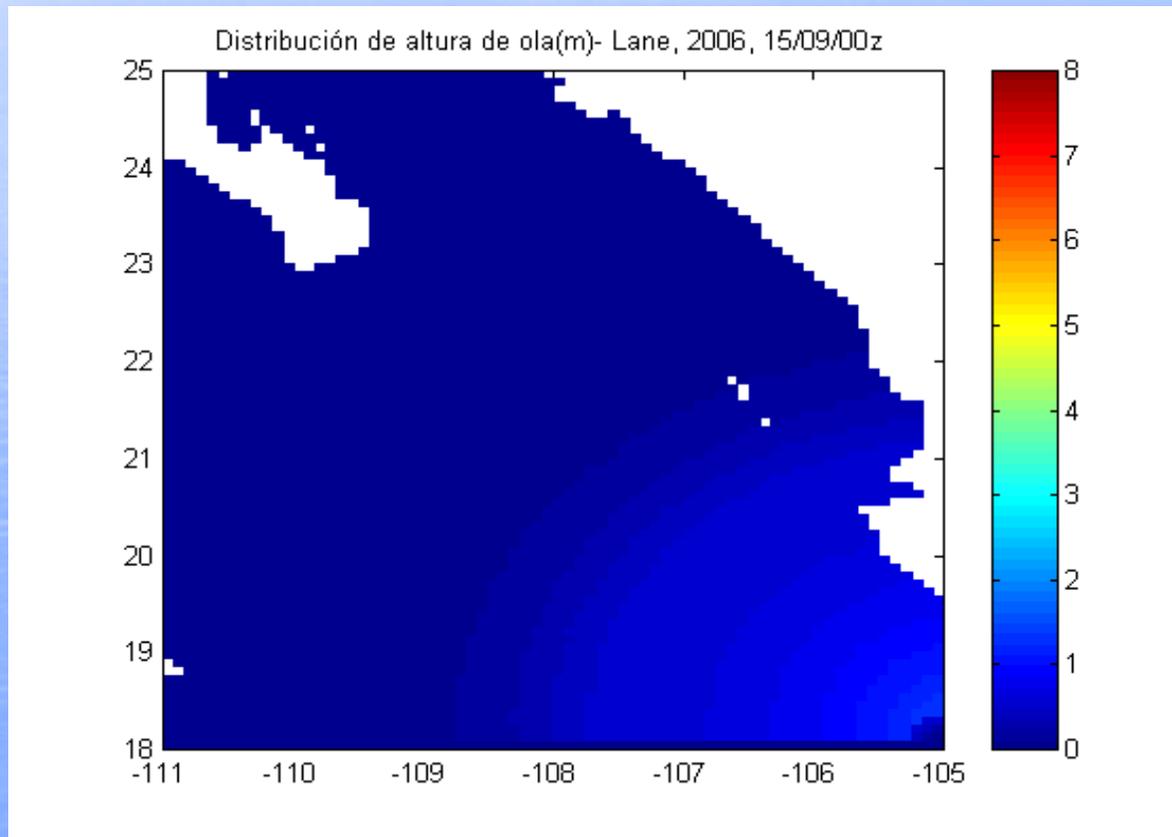
H. John, ago.-set., 2006



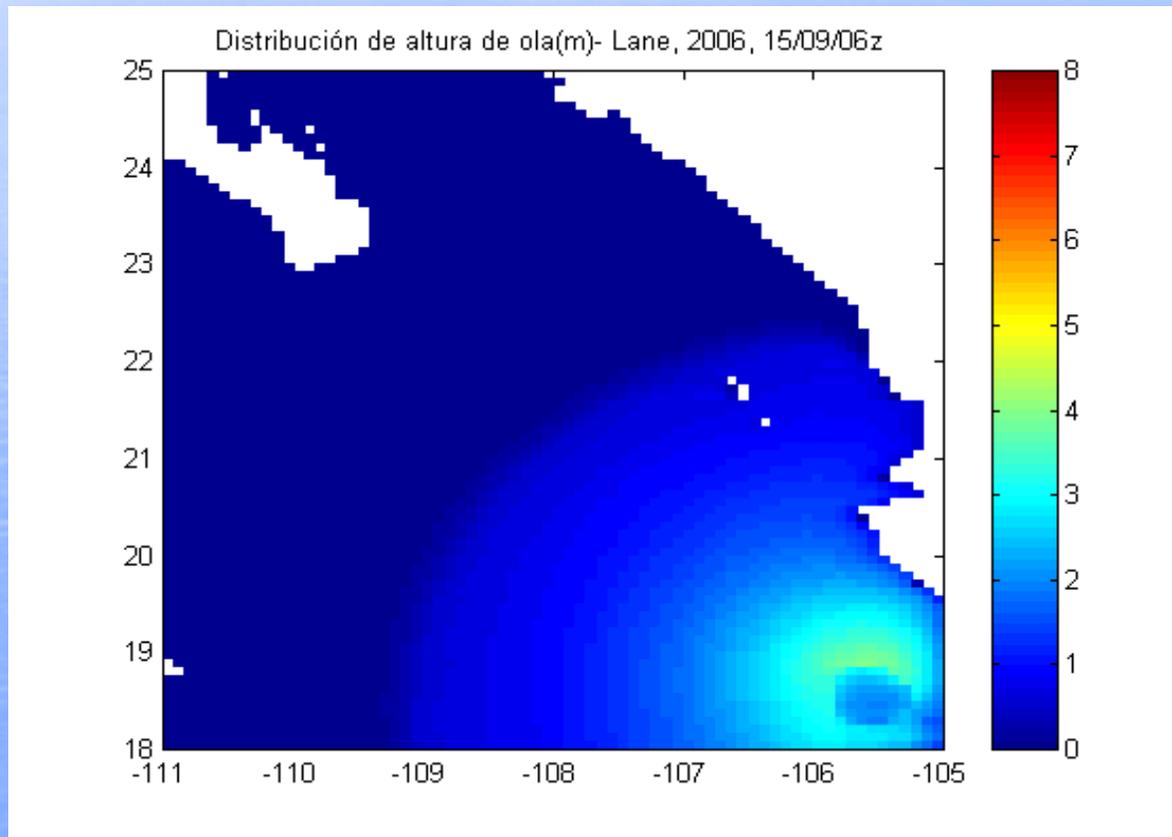
Batimetría



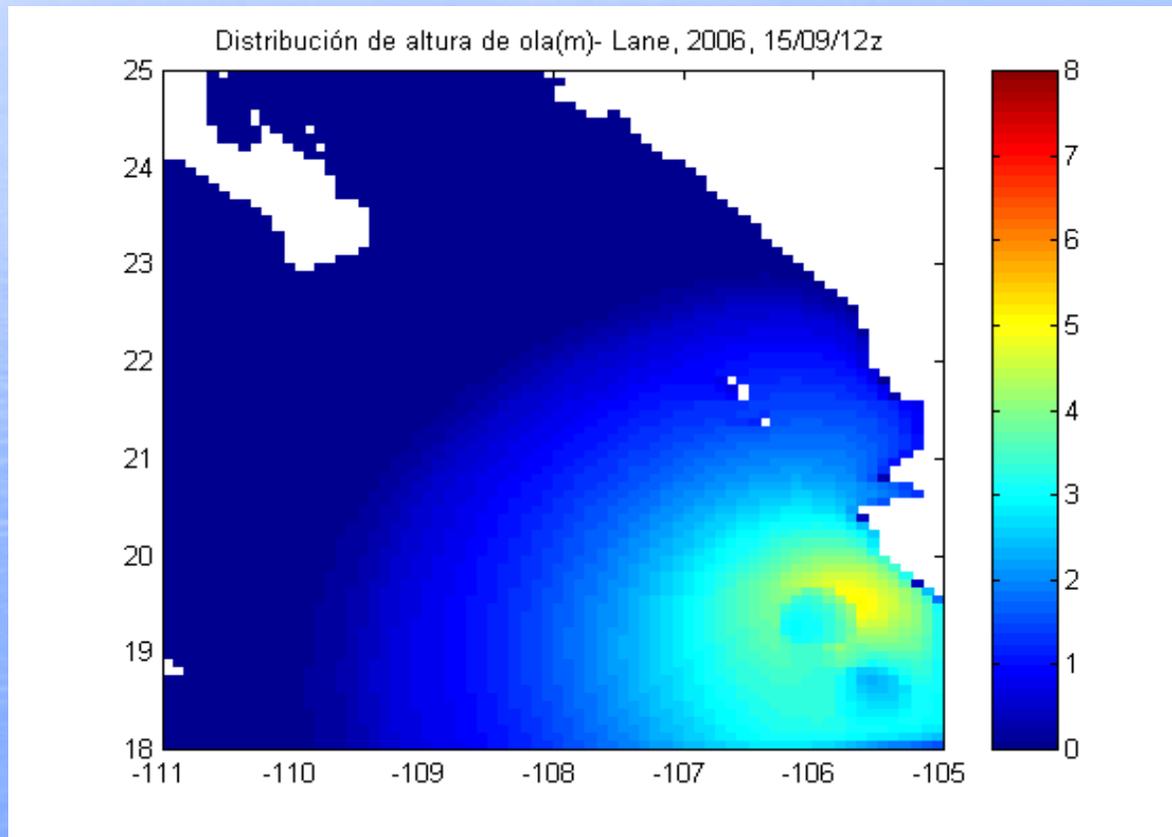
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



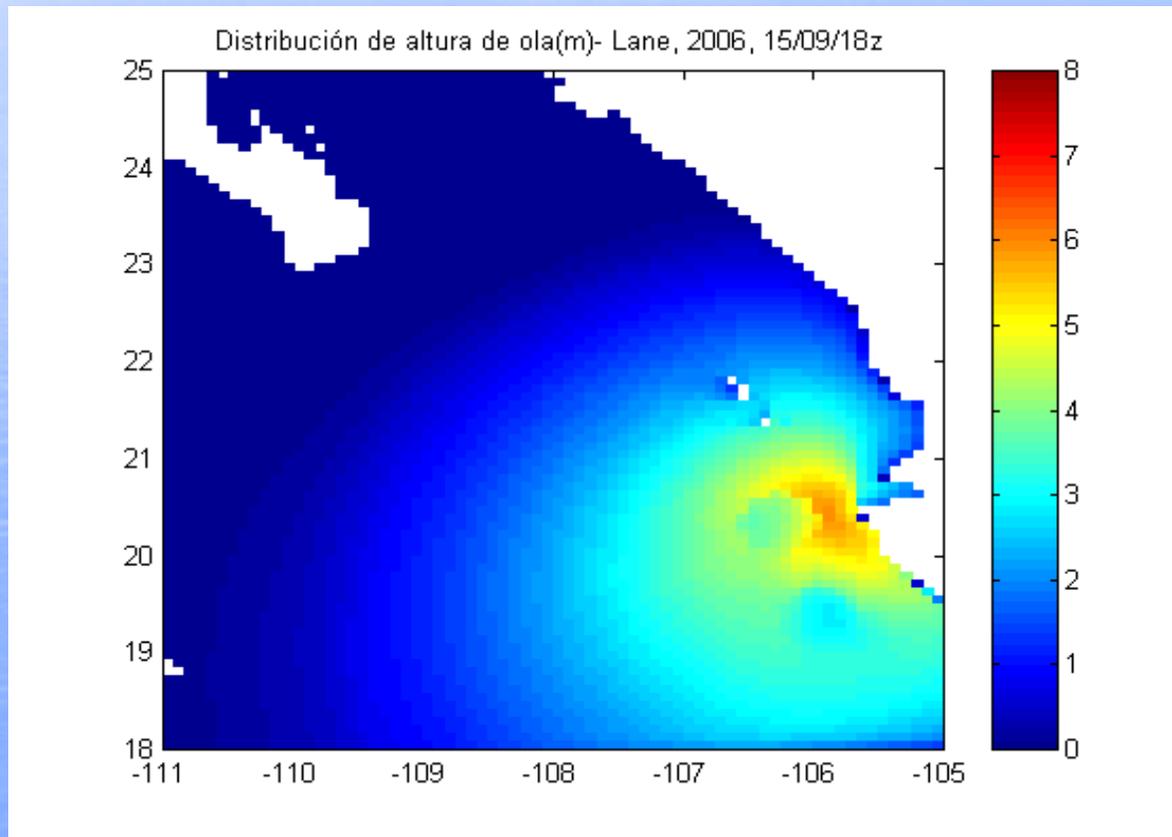
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



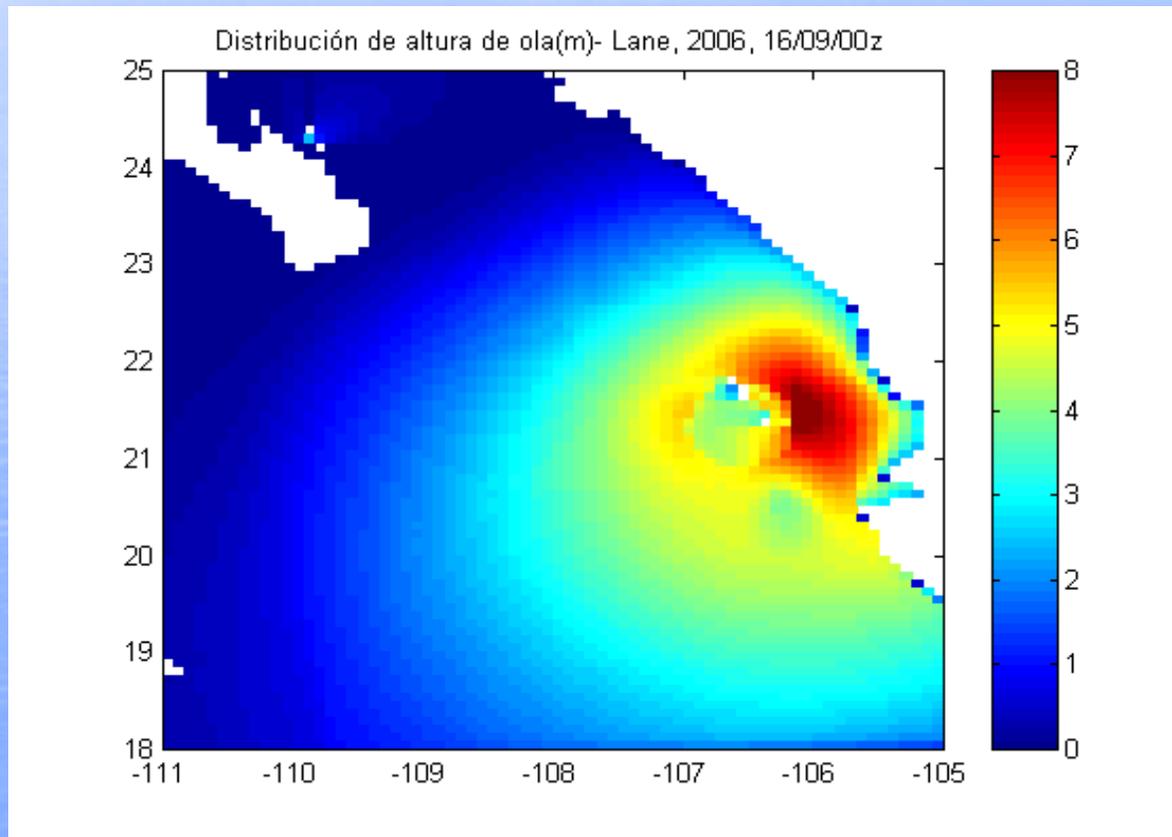
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



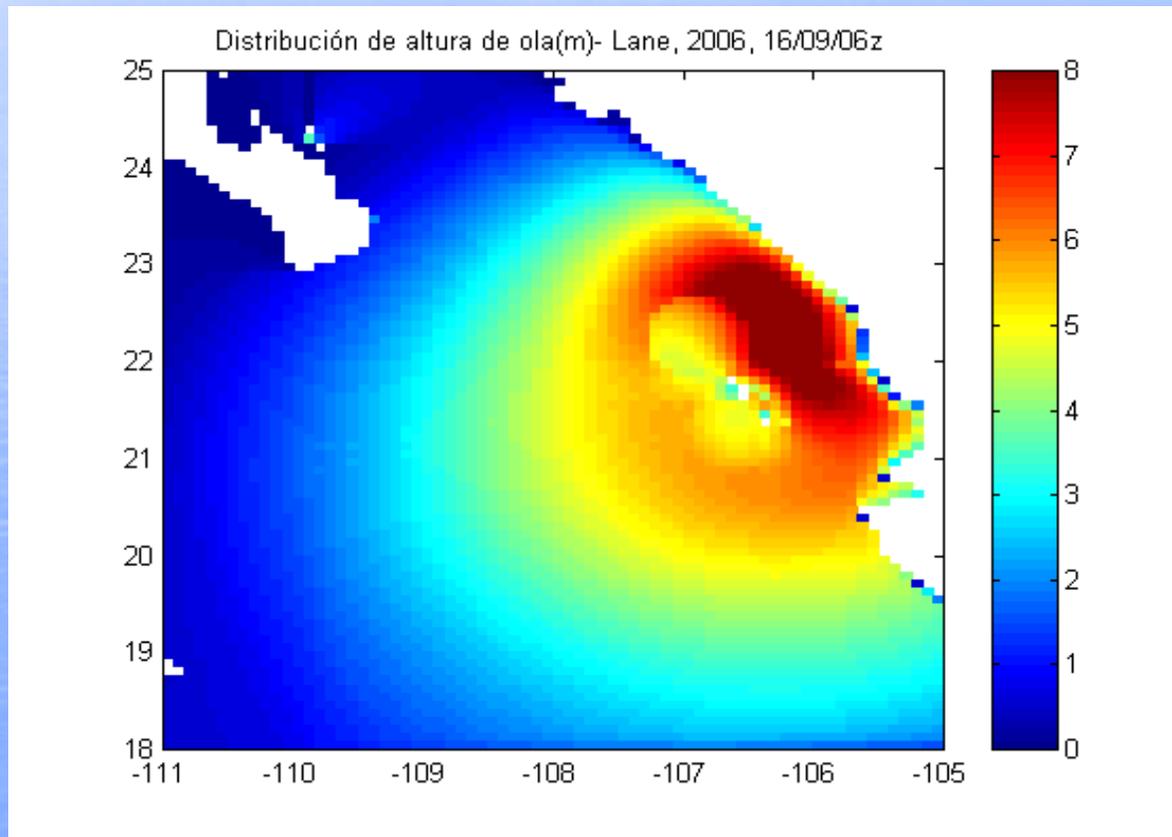
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



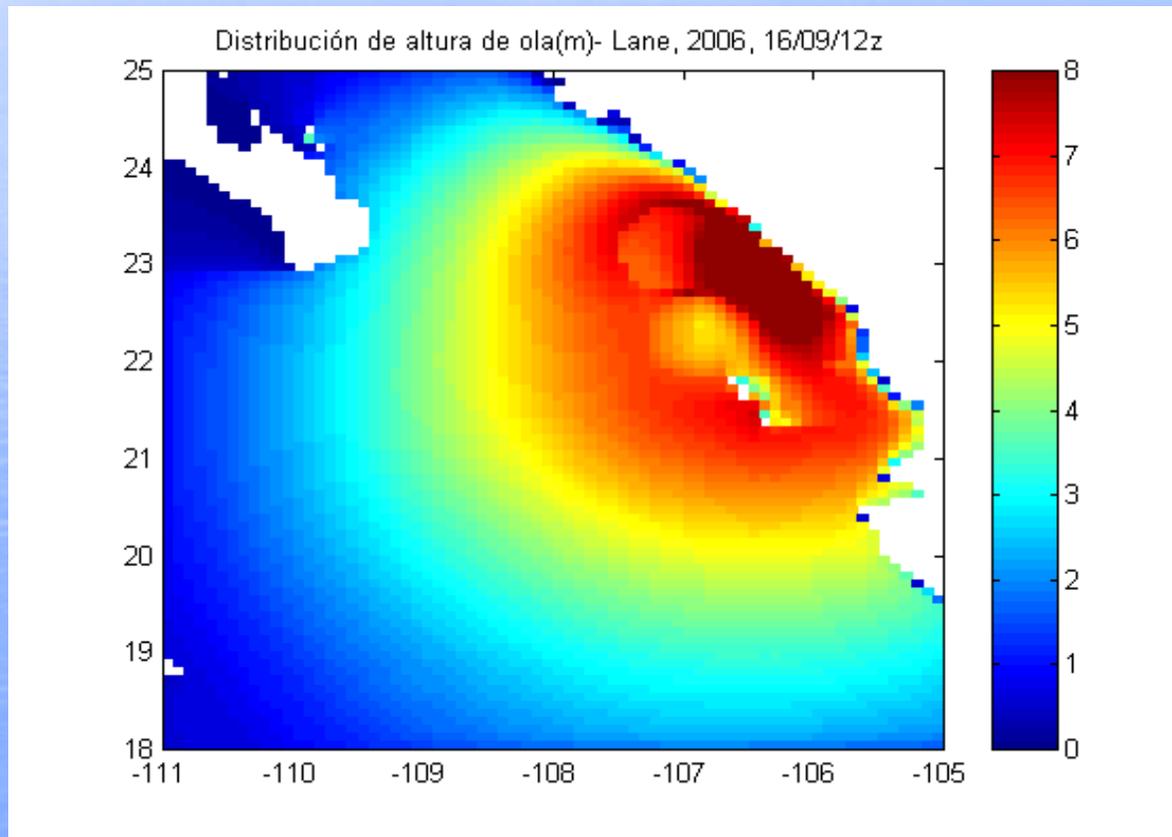
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



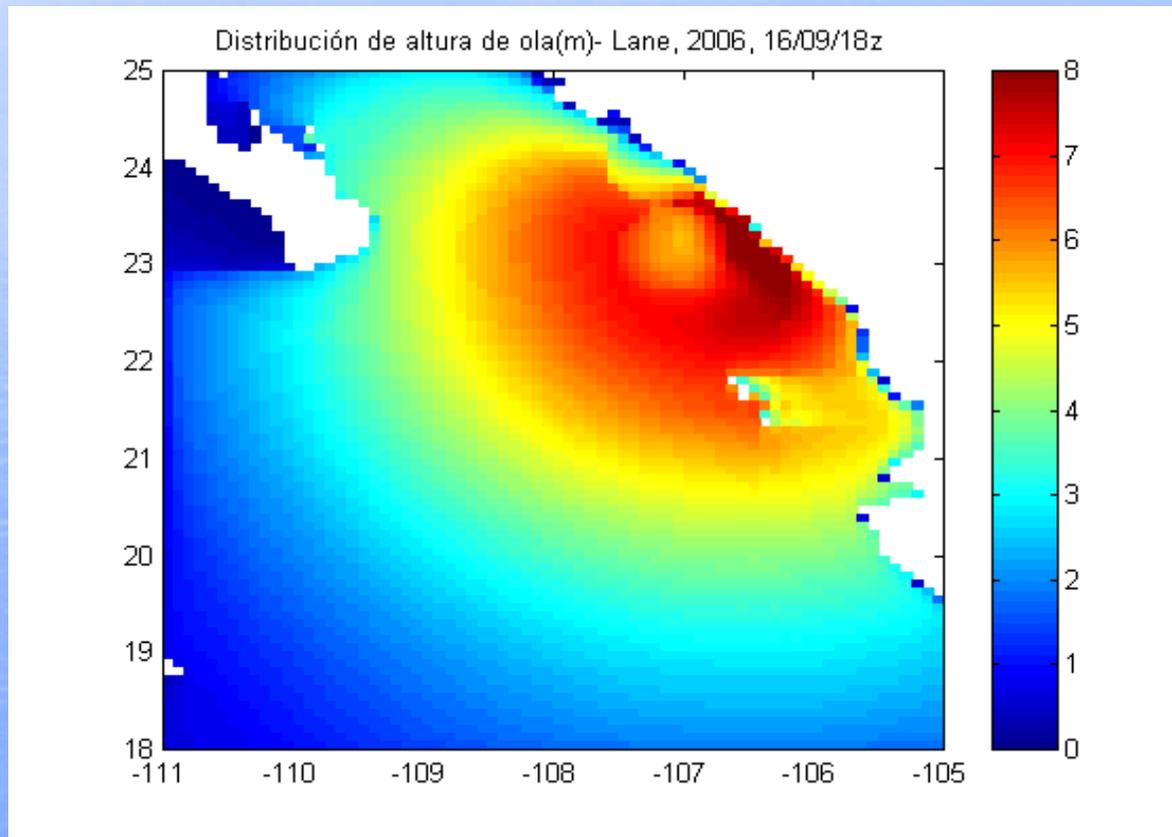
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



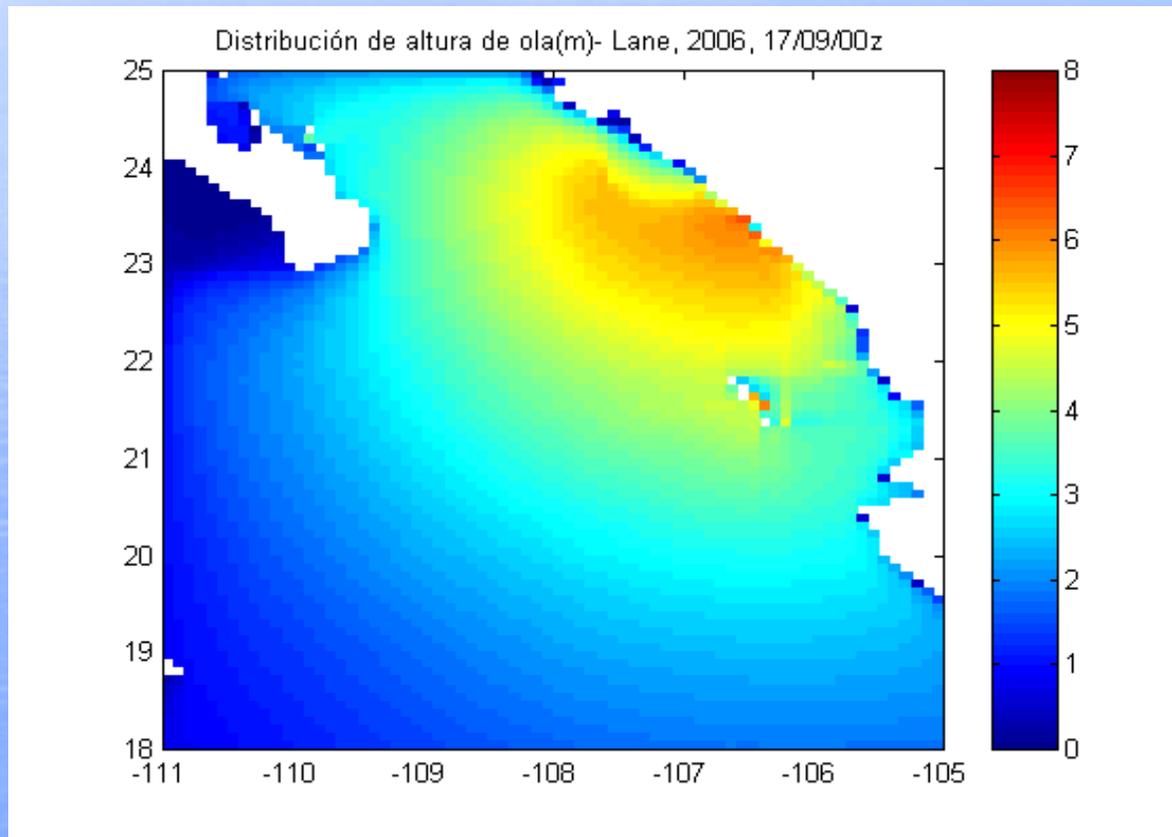
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



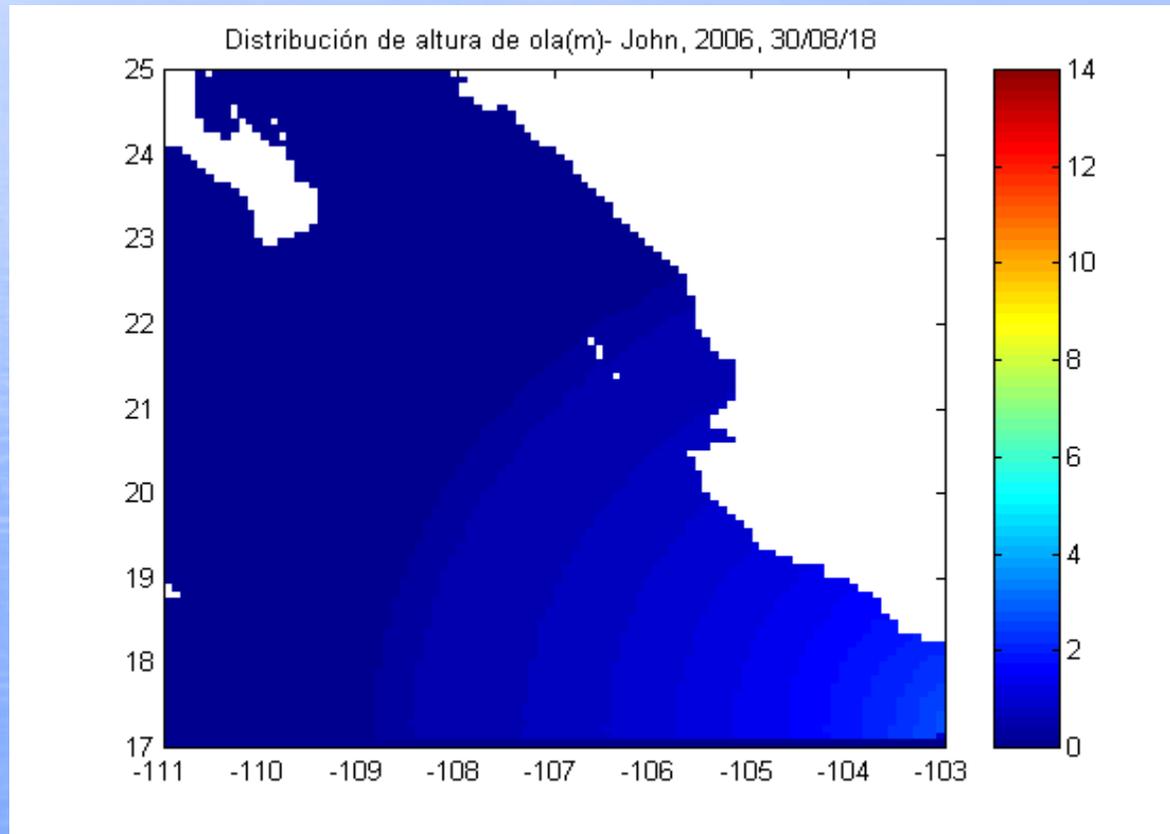
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



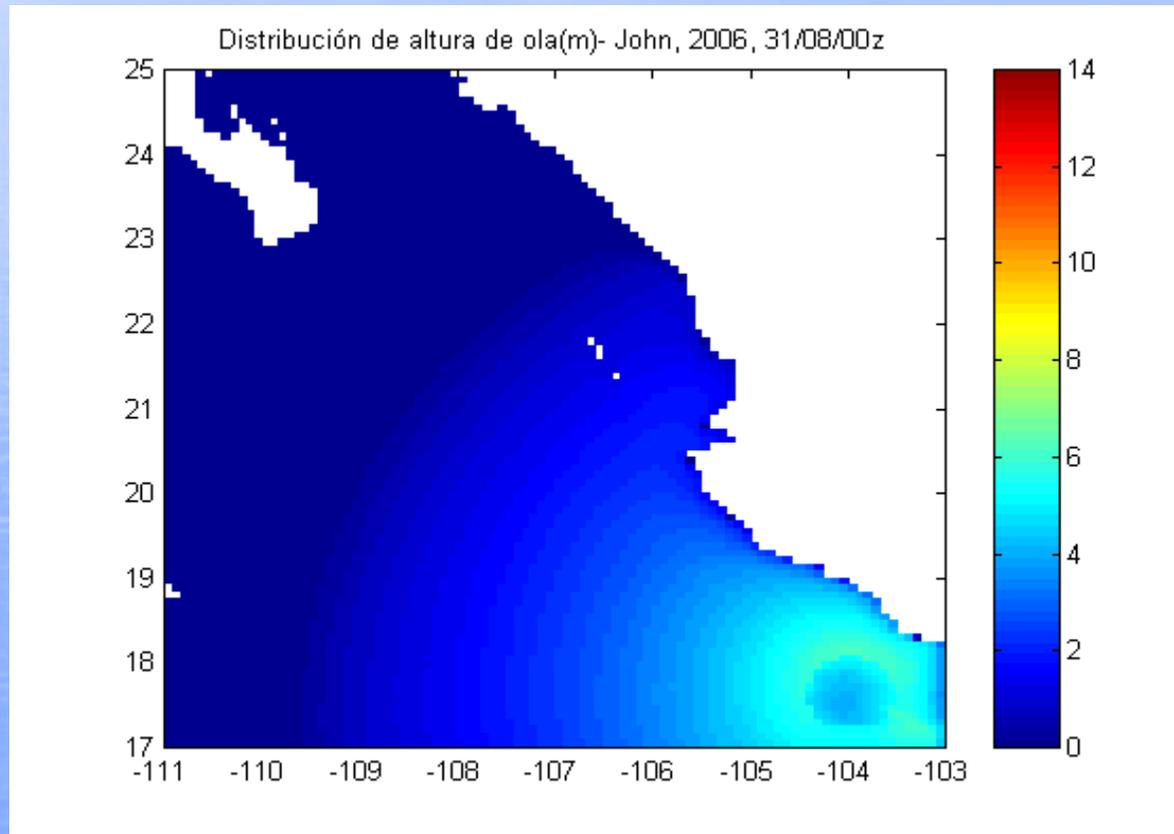
Simulación de oleaje para el Huracán Lane



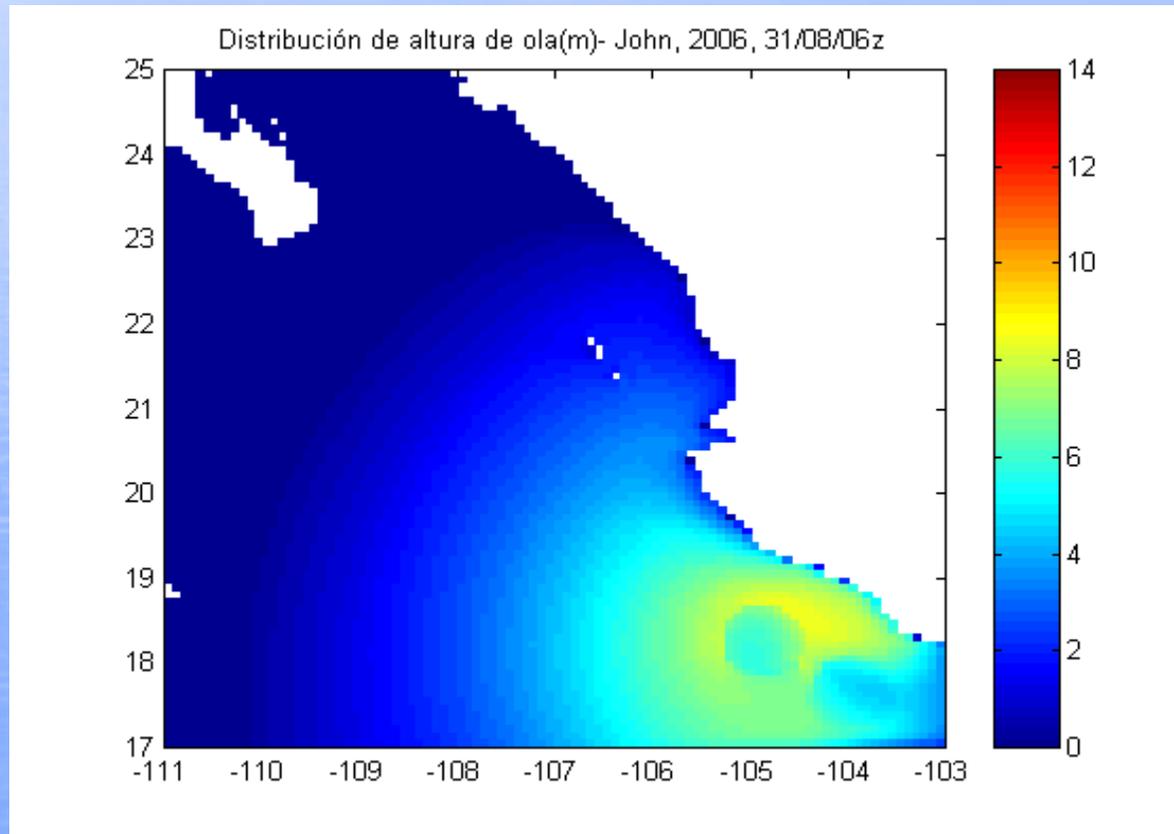
Simulación de oleaje para el Huracán John



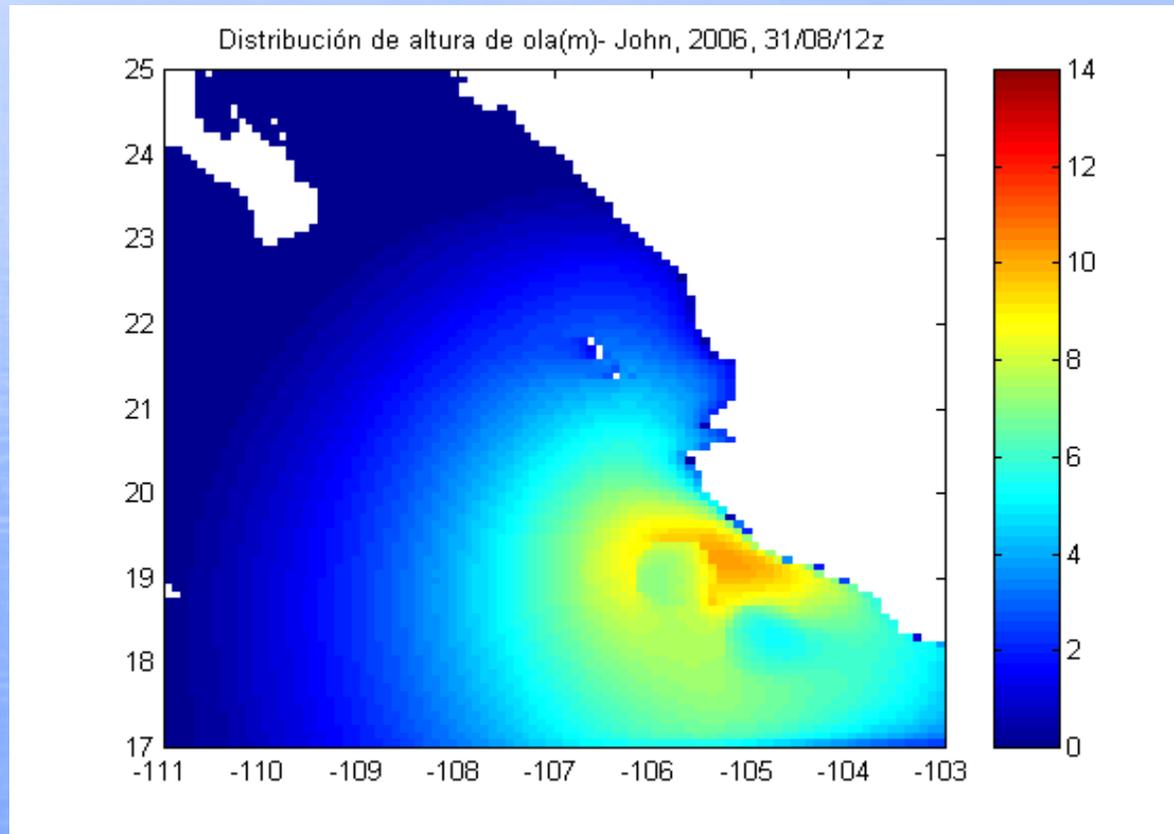
Simulación de oleaje para el Huracán John



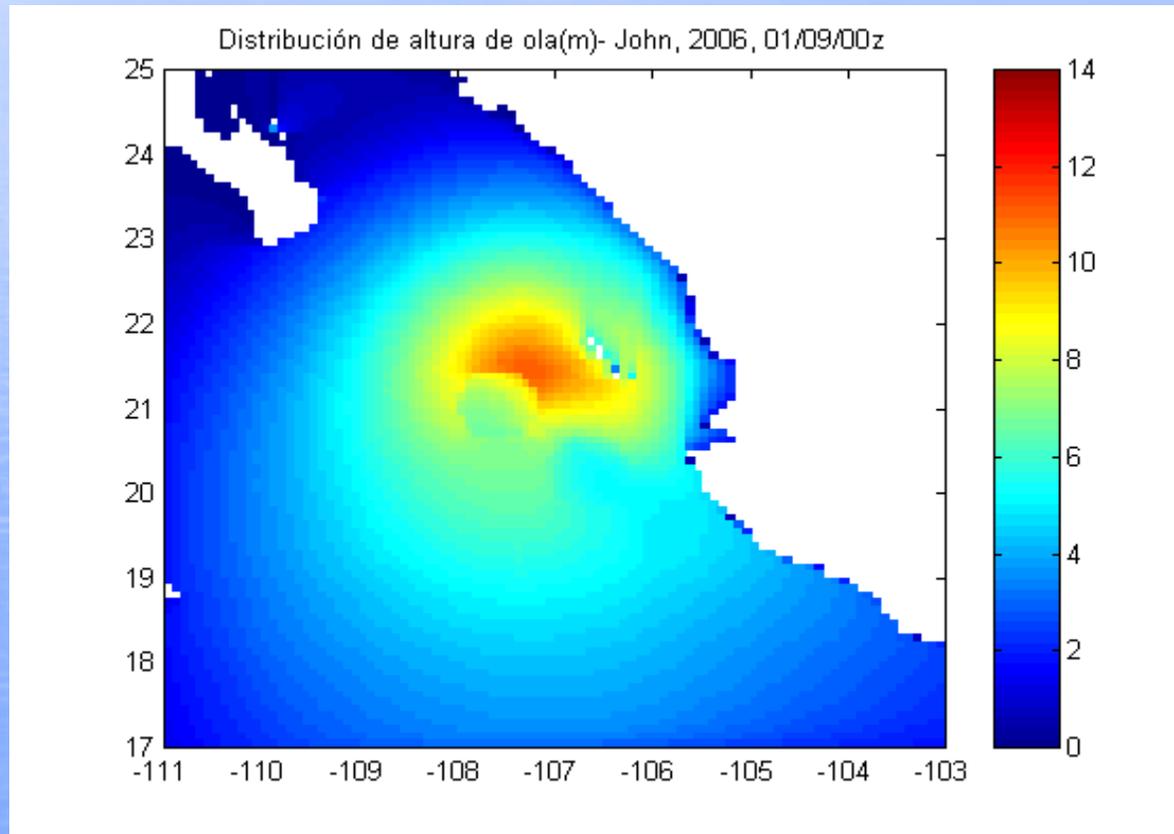
Simulación de oleaje para el Huracán John



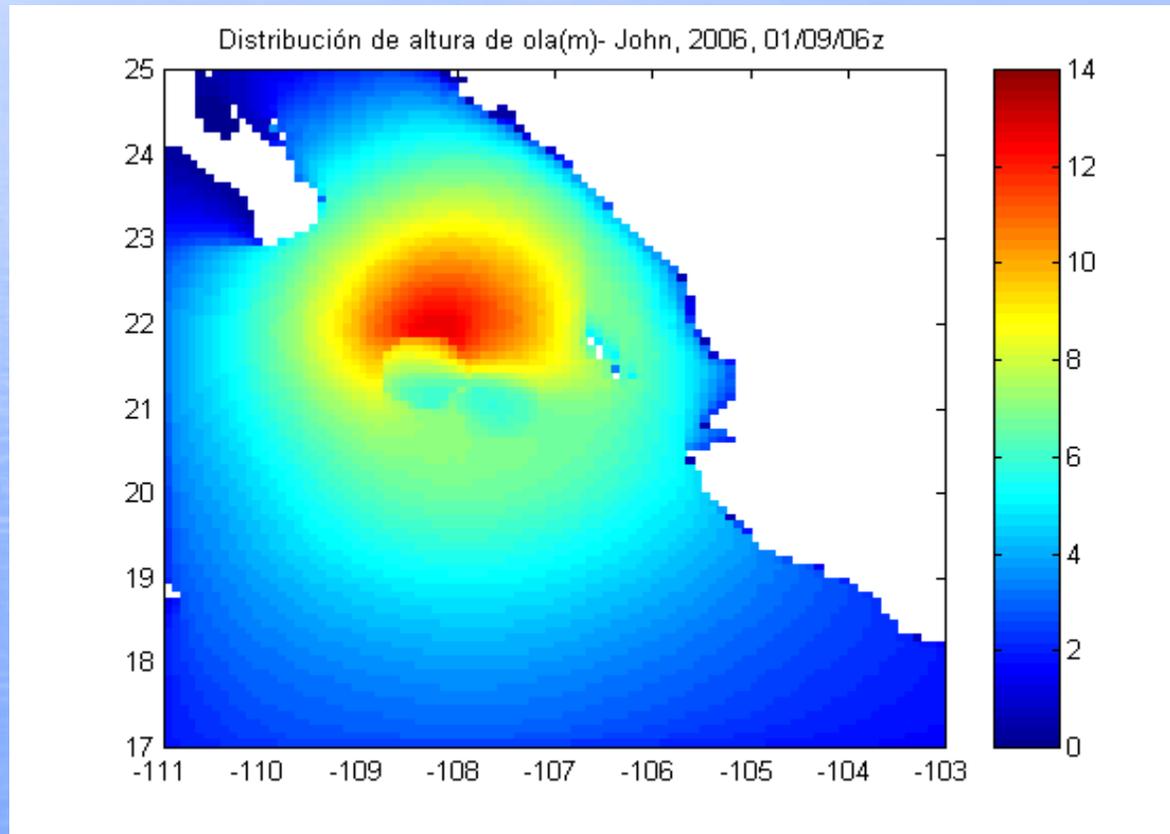
Simulación de oleaje para el Huracán John



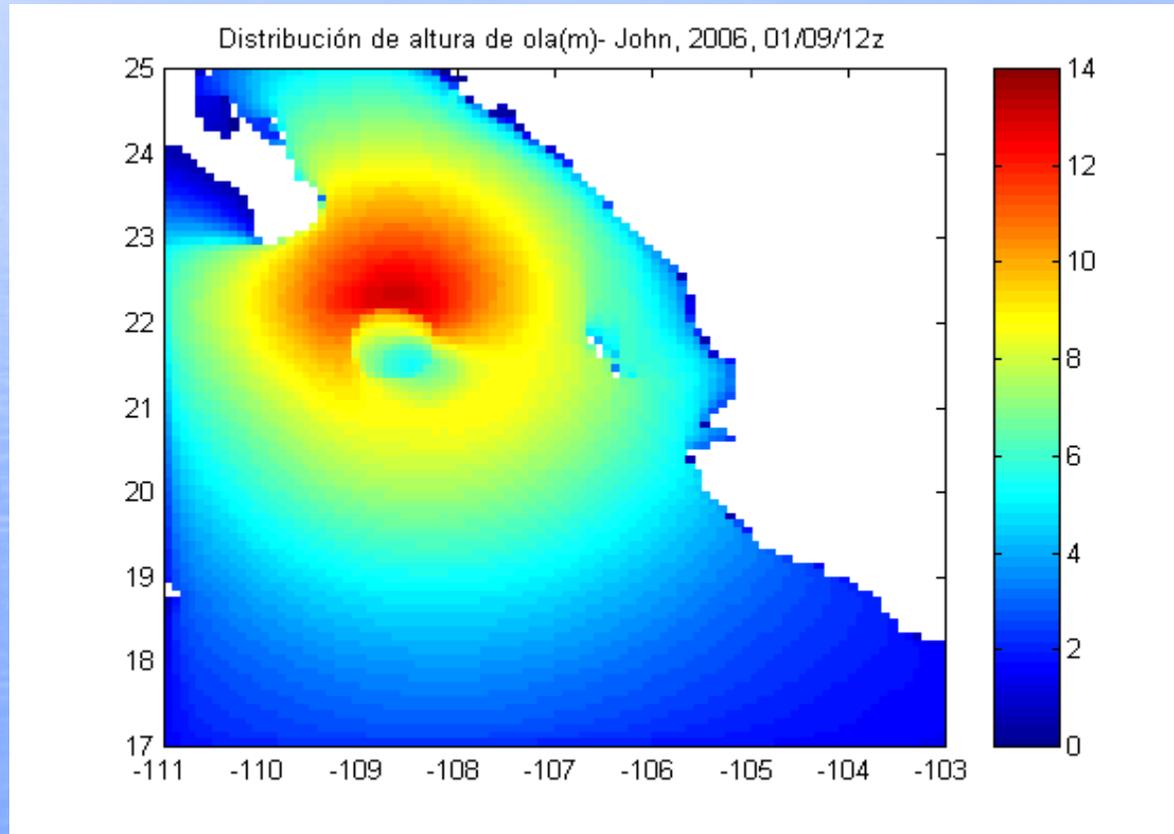
Simulación de oleaje para el Huracán John



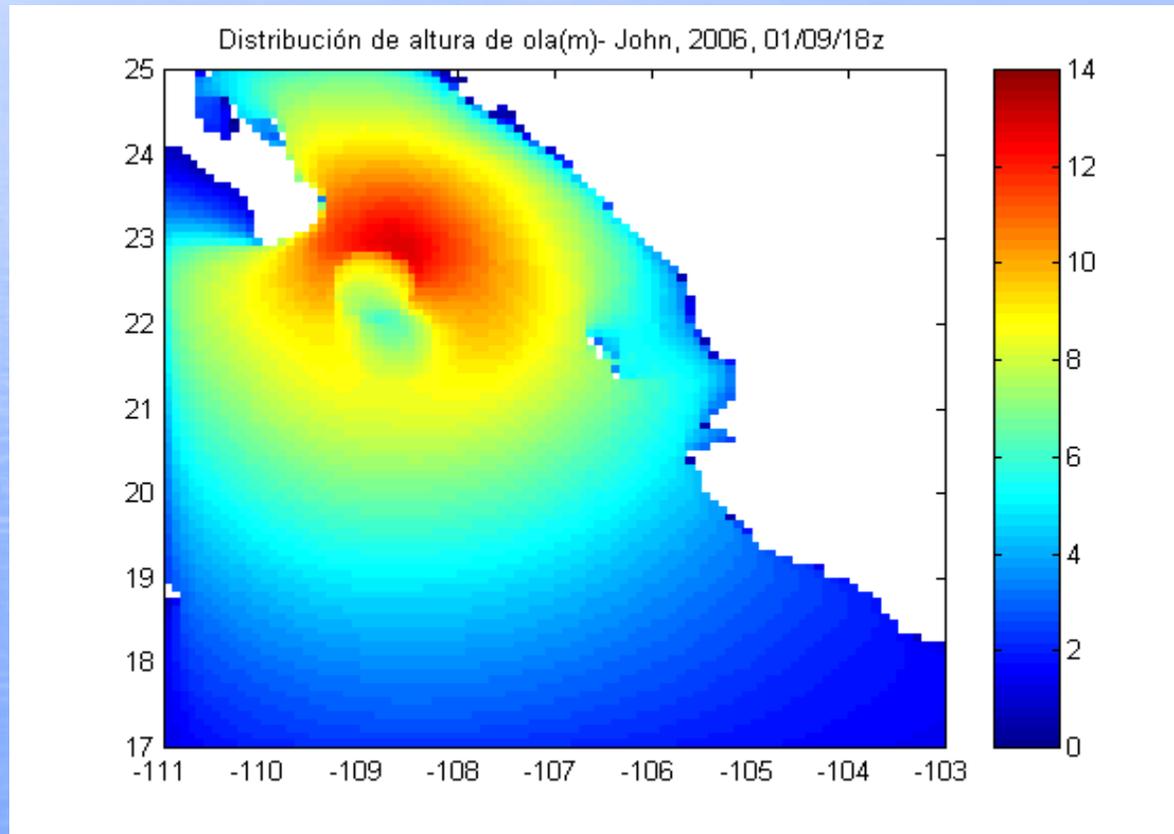
Simulación de oleaje para el Huracán John



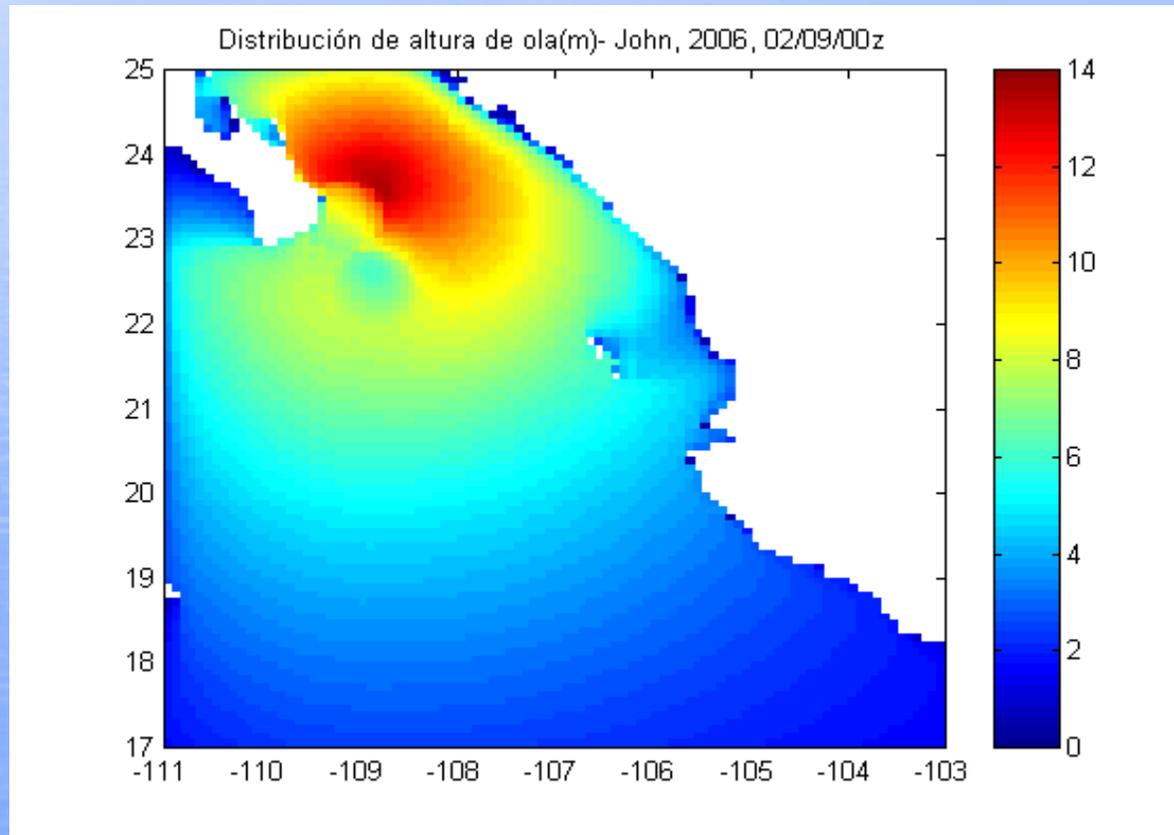
Simulación de oleaje para el Huracán John



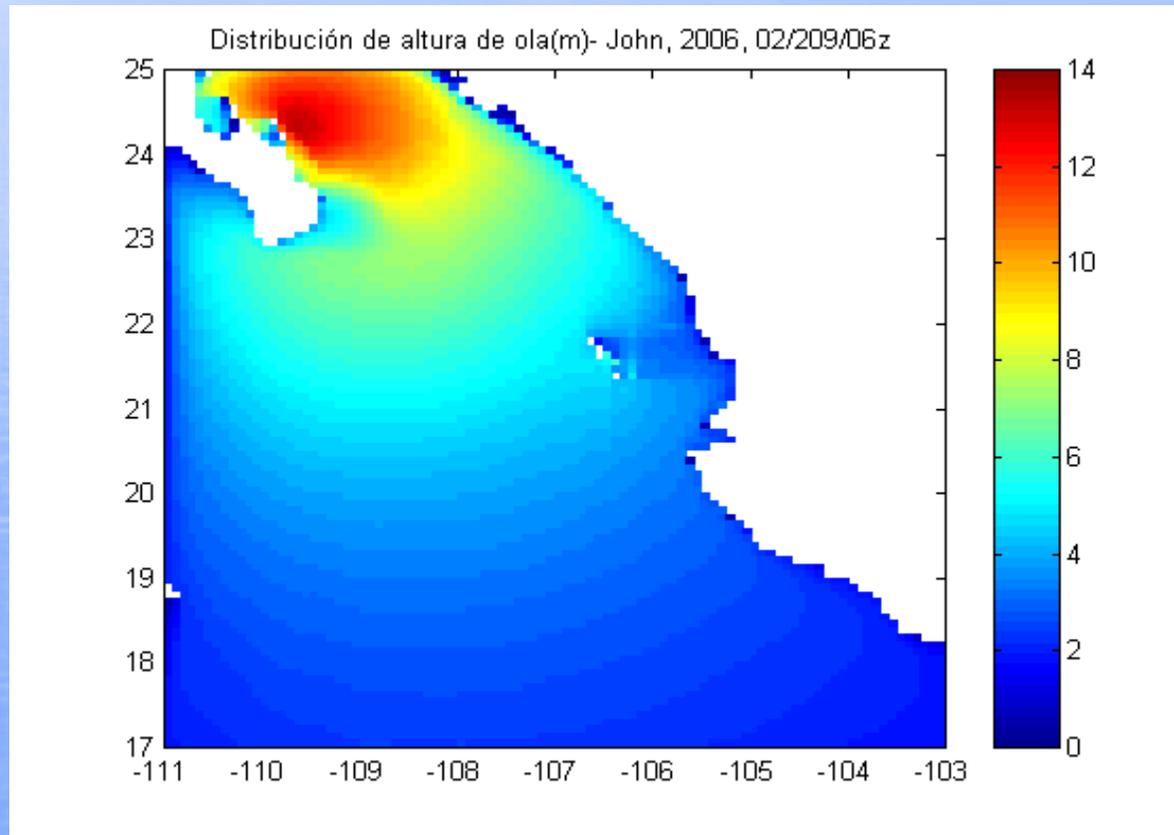
Simulación de oleaje para el Huracán John



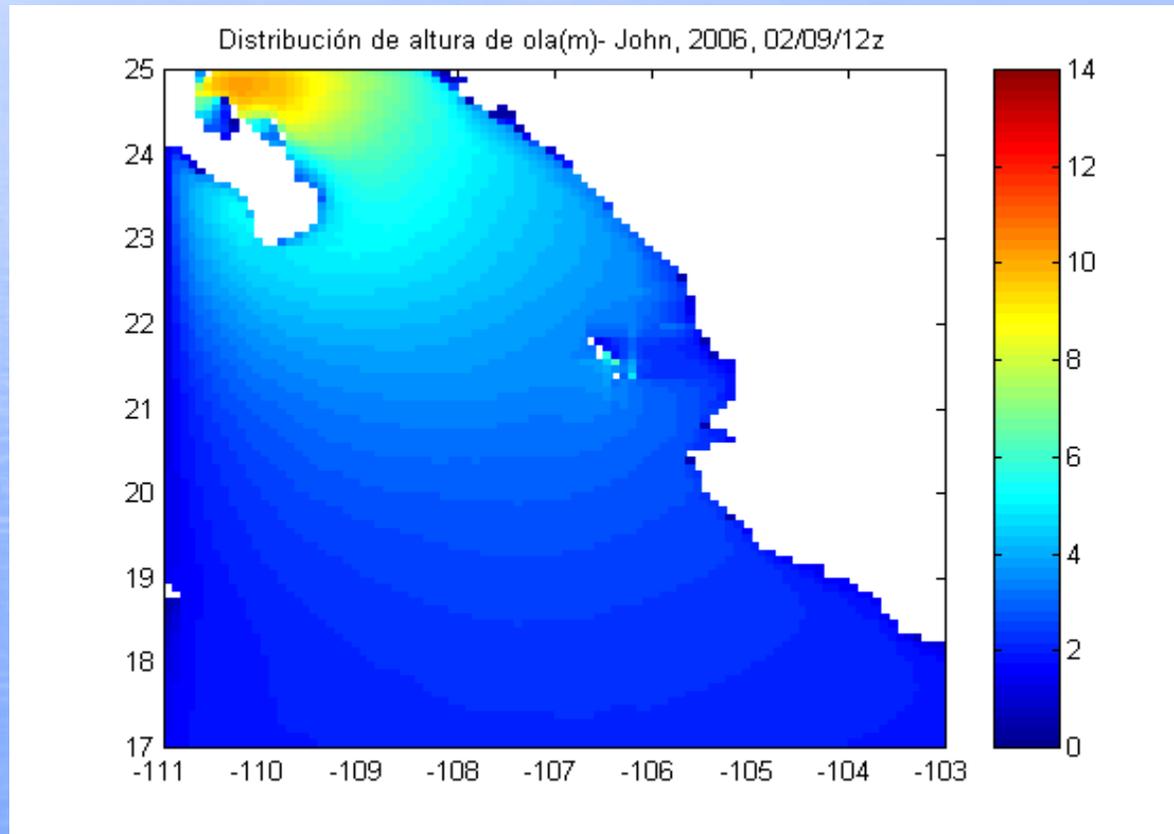
Simulación de oleaje para el Huracán John



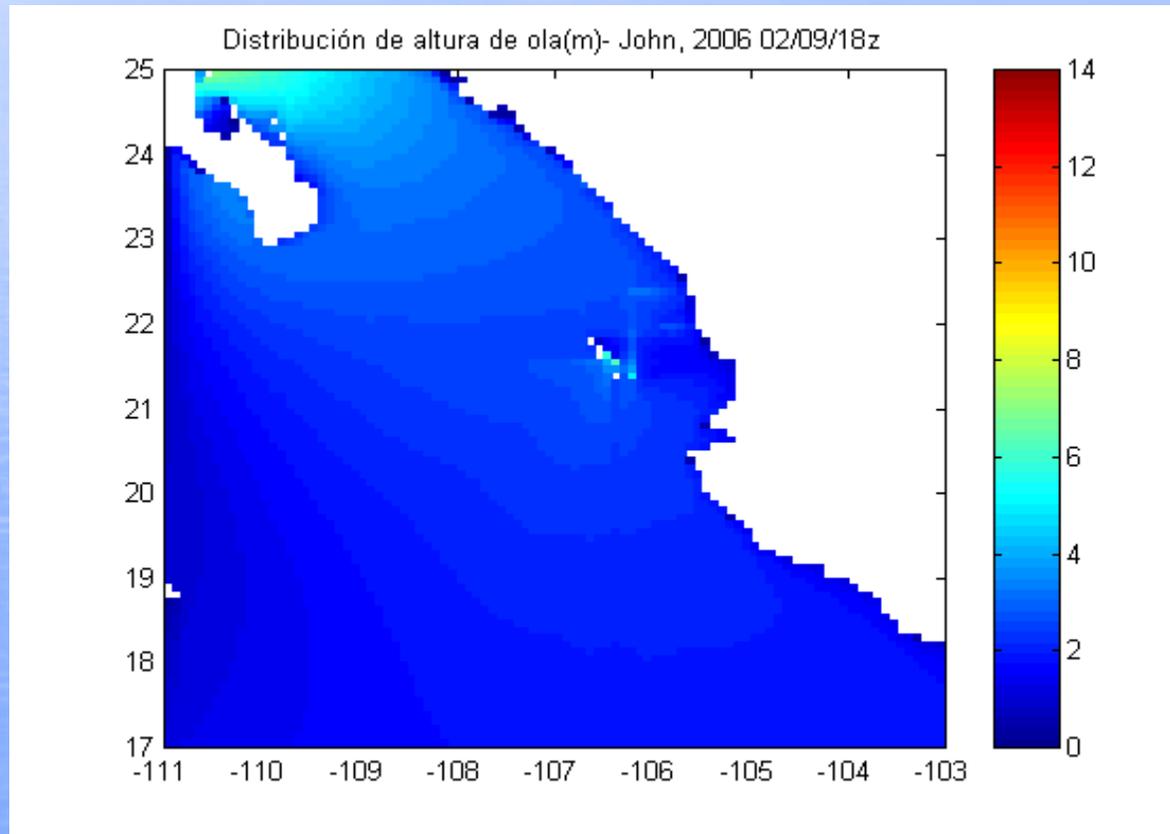
Simulación de oleaje para el Huracán John



Simulación de oleaje para el Huracán John



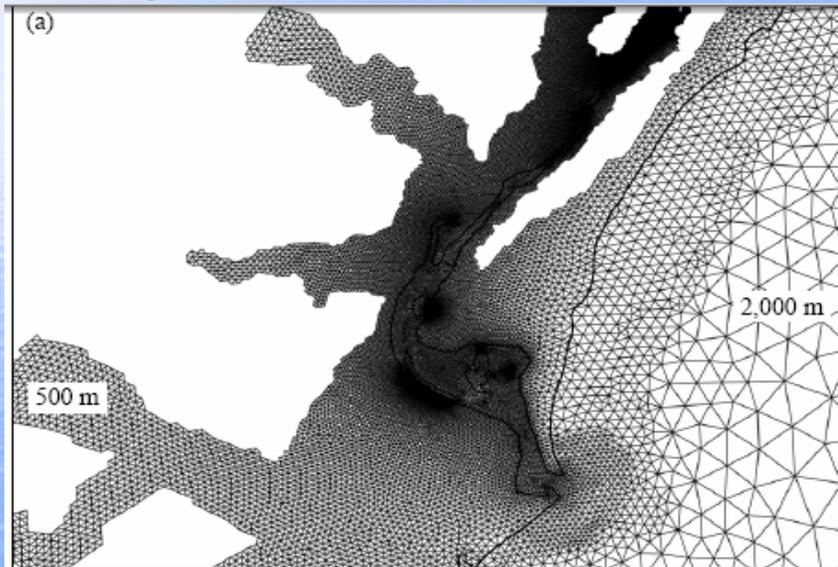
Simulación de oleaje para el Huracán John



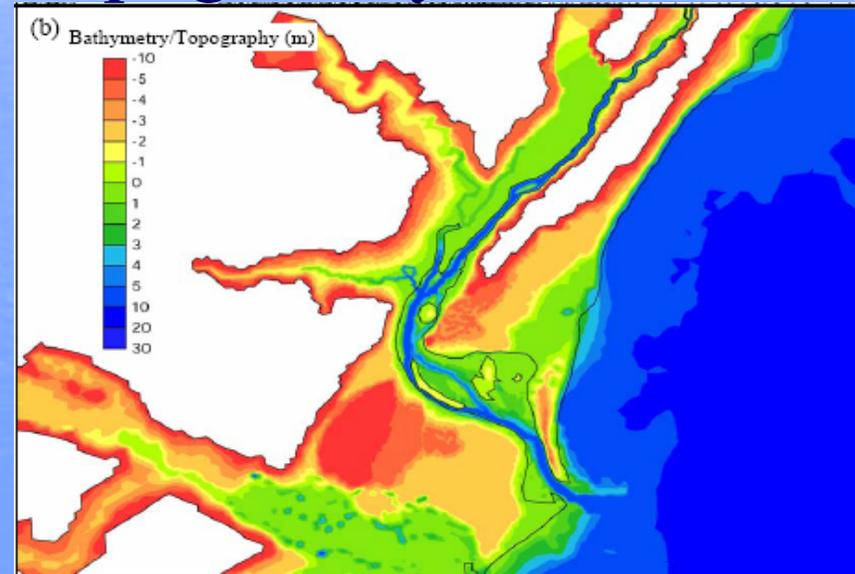
Procesos costeros

Datos de entrada

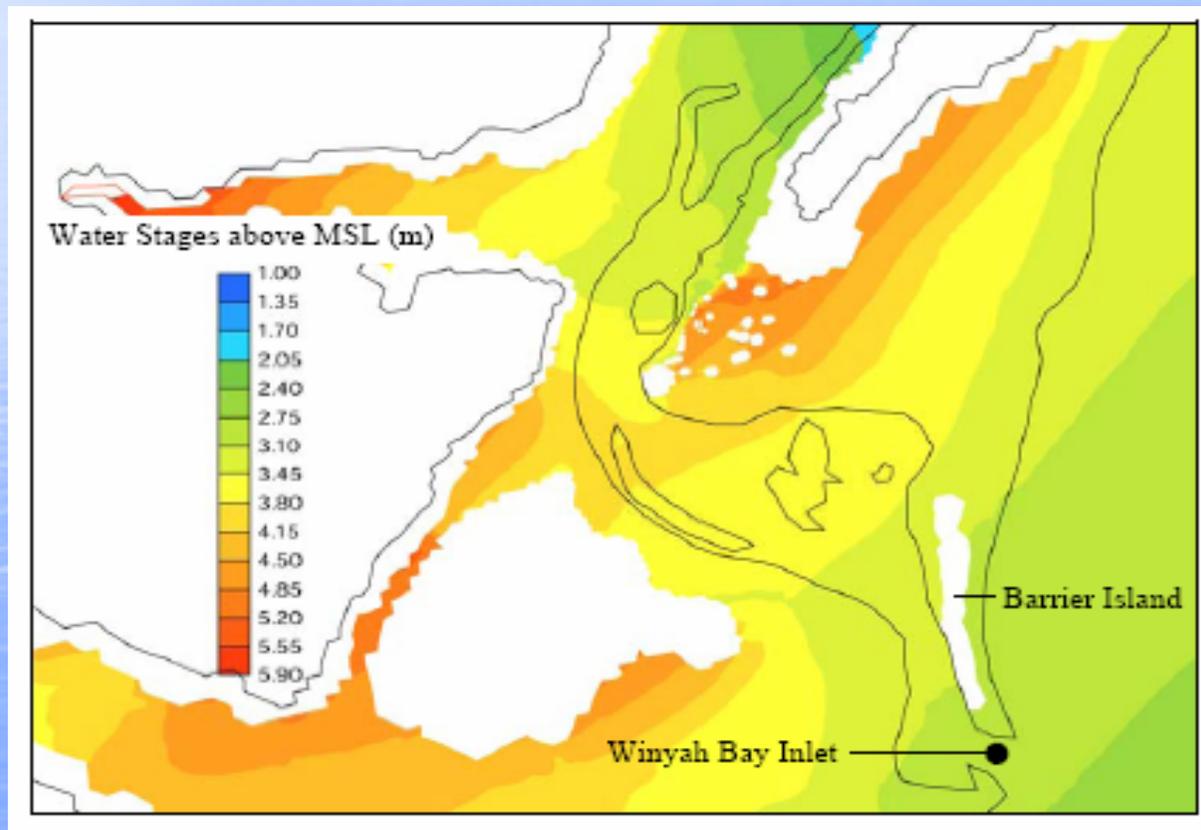
Rejilla



Topografía y batimetría



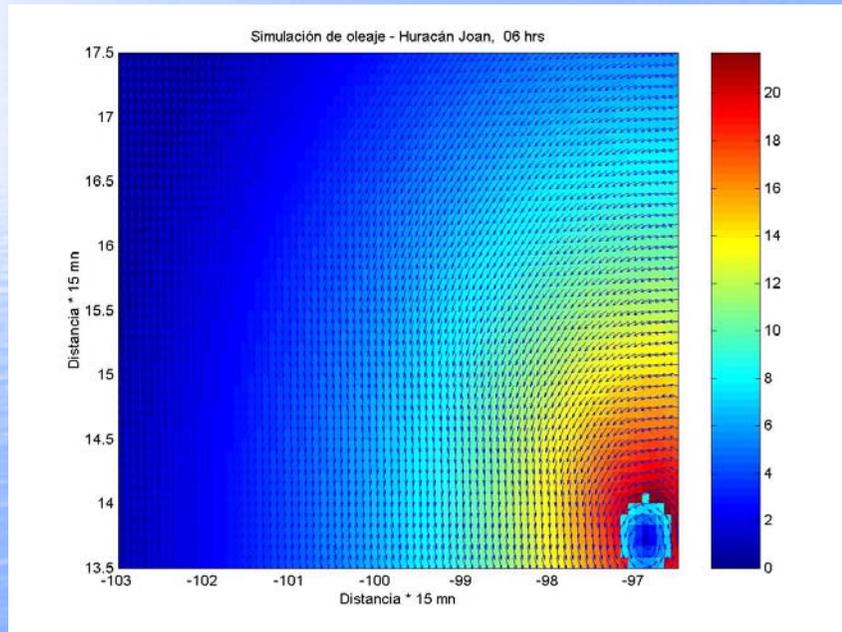
Implementación de modelo numérico



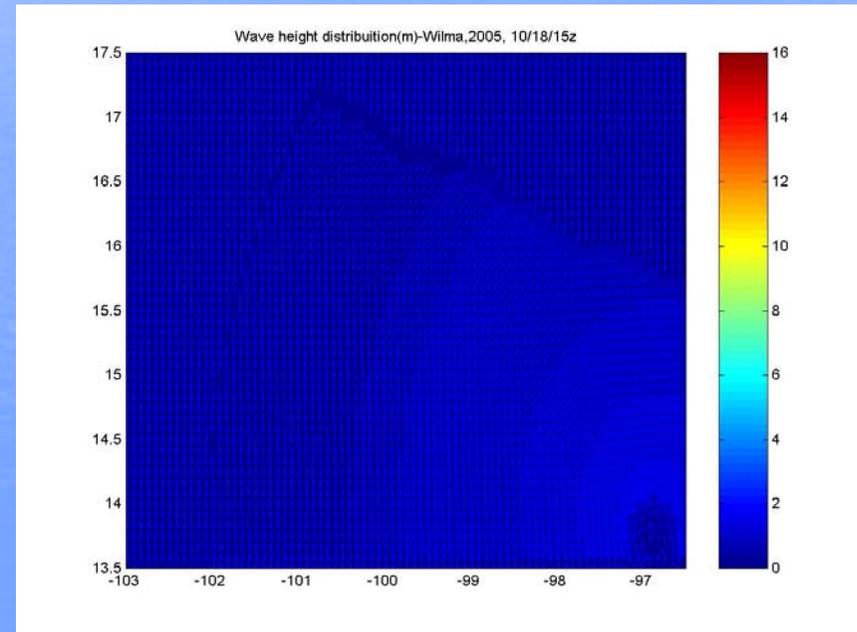
Un ejercicio para Acapulco

Simulación de viento y oleaje

Viento

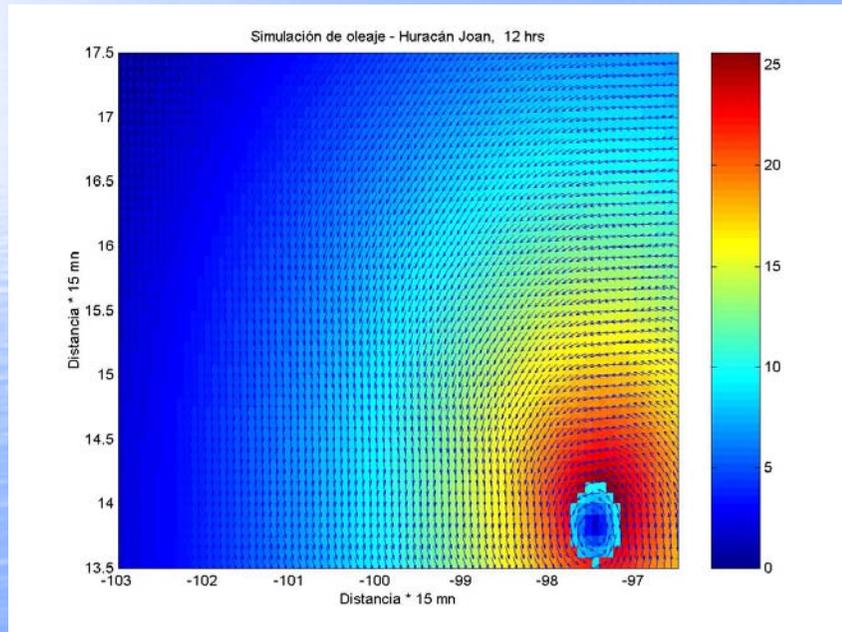


Oleaje

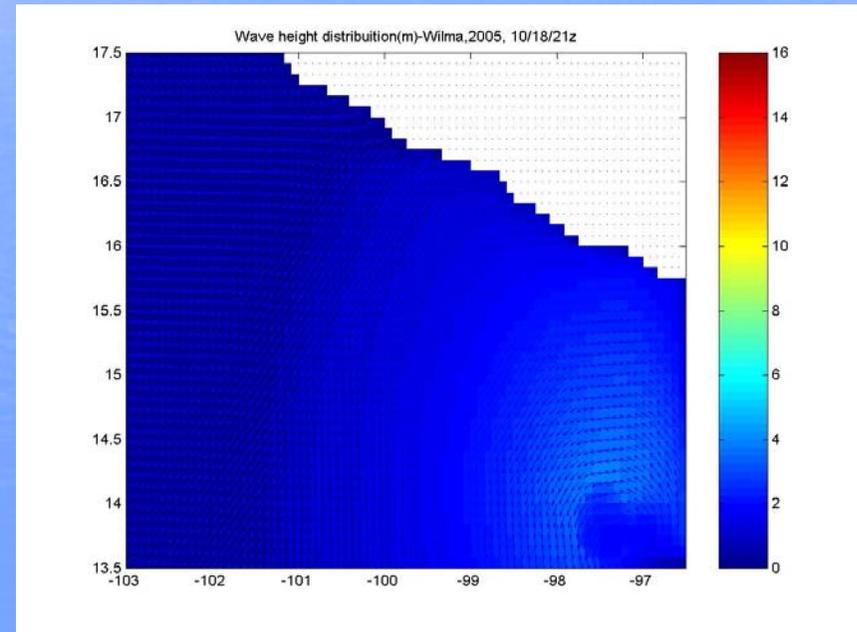


Simulación de viento y oleaje

Viento

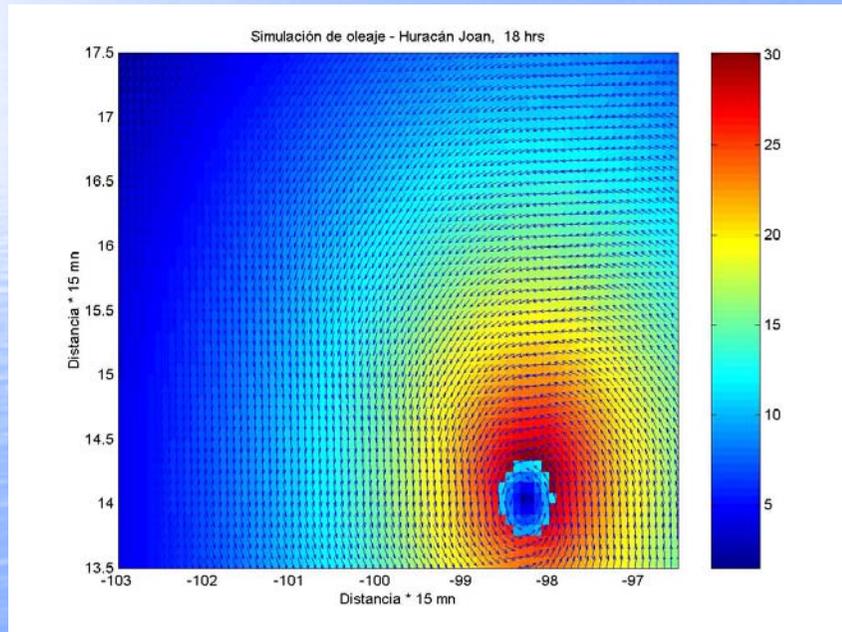


Oleaje

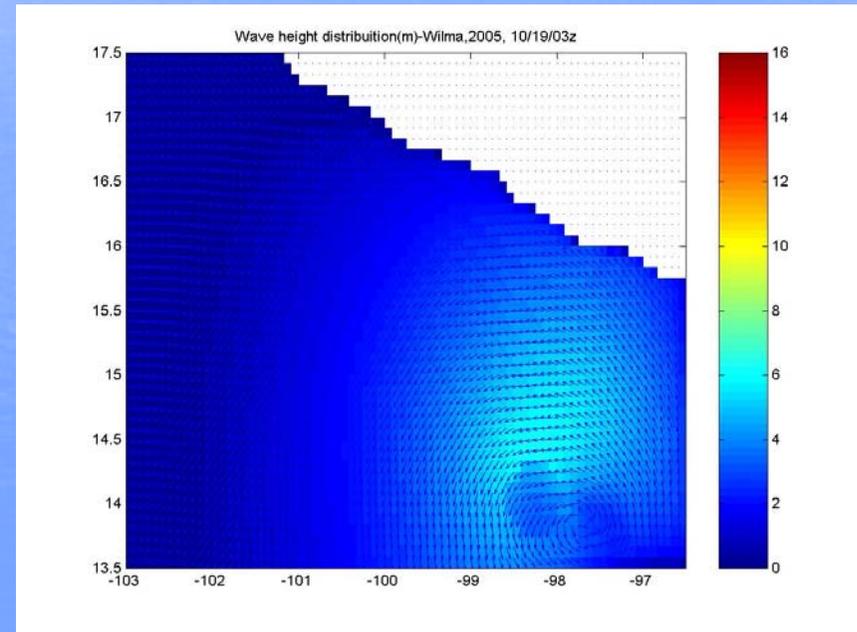


Simulación de viento y oleaje

Viento

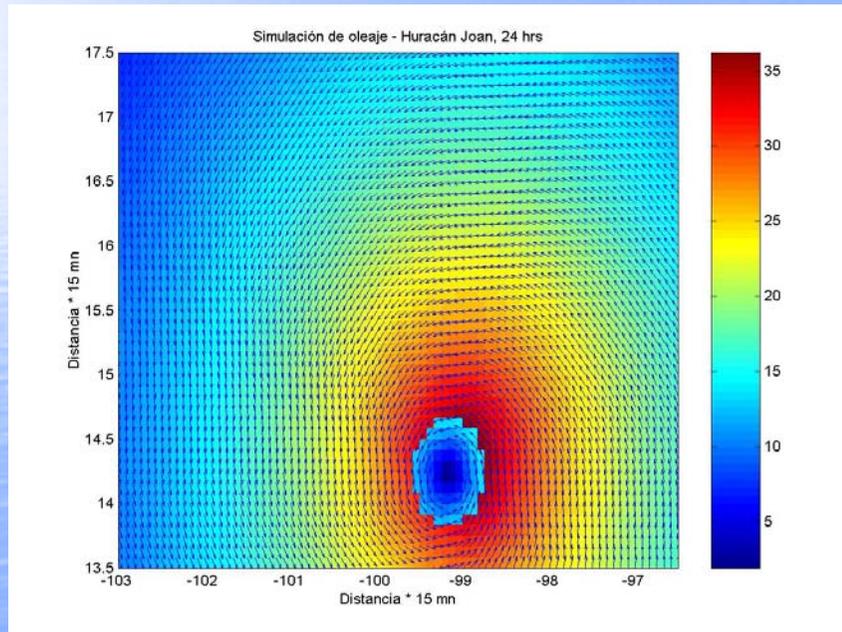


Oleaje

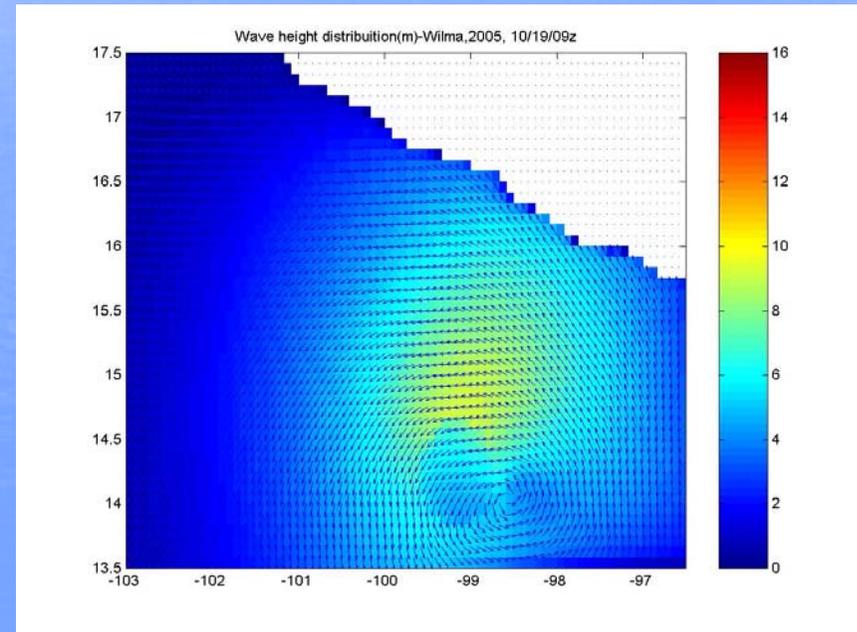


Simulación de viento y oleaje

Viento

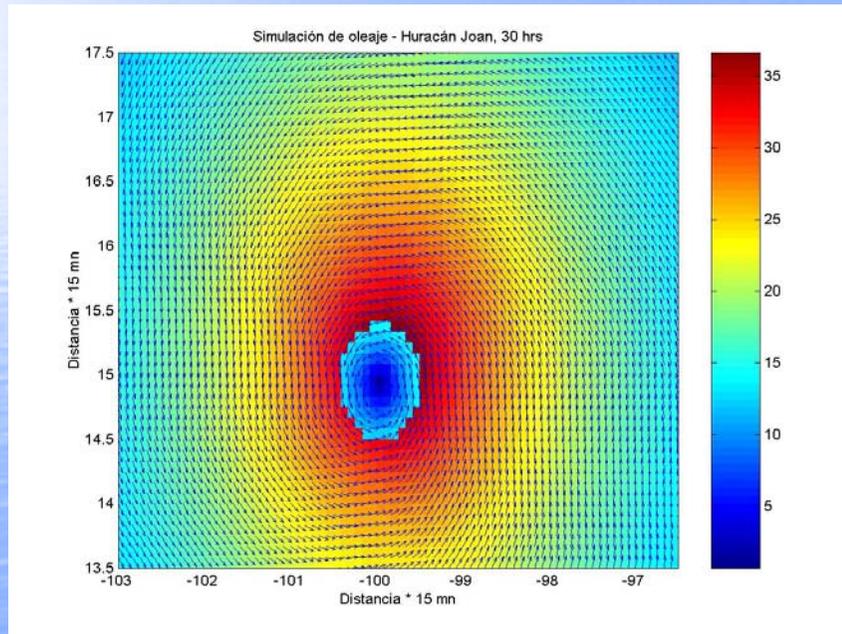


Oleaje

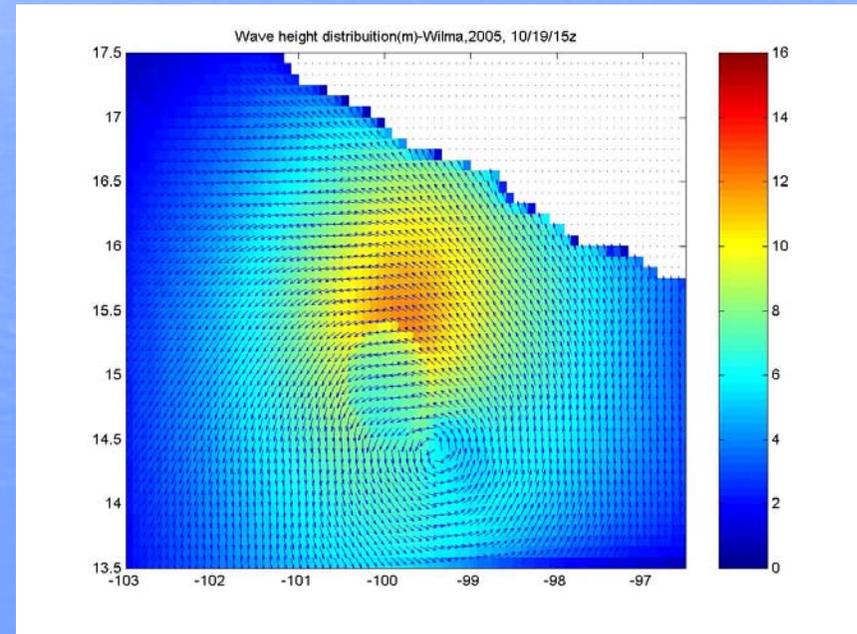


Simulación de viento y oleaje

Viento

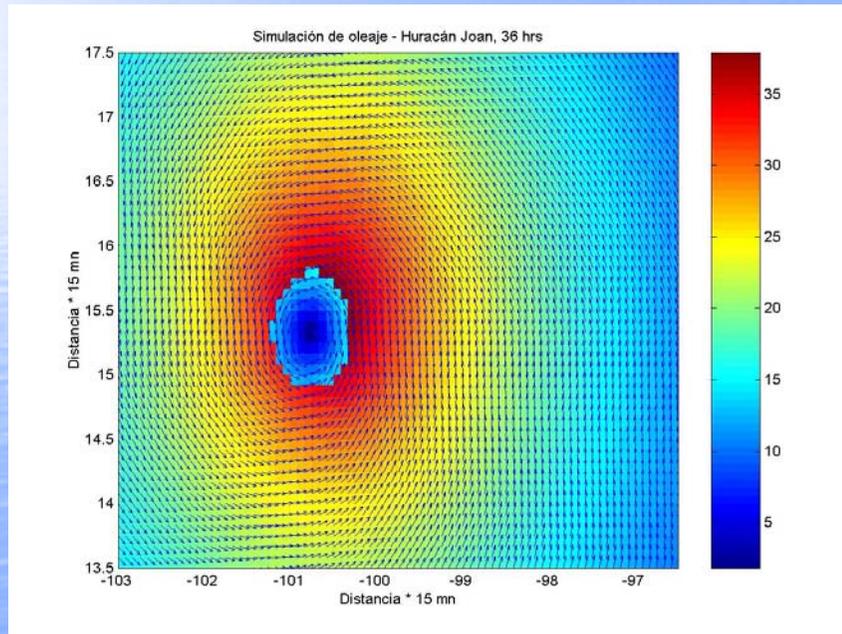


Oleaje

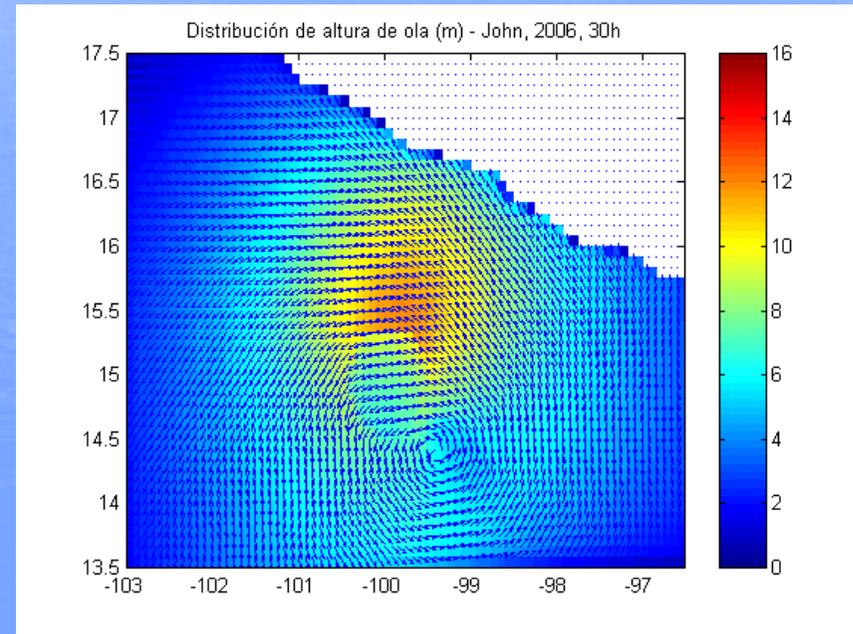


Simulación de viento y oleaje

Viento

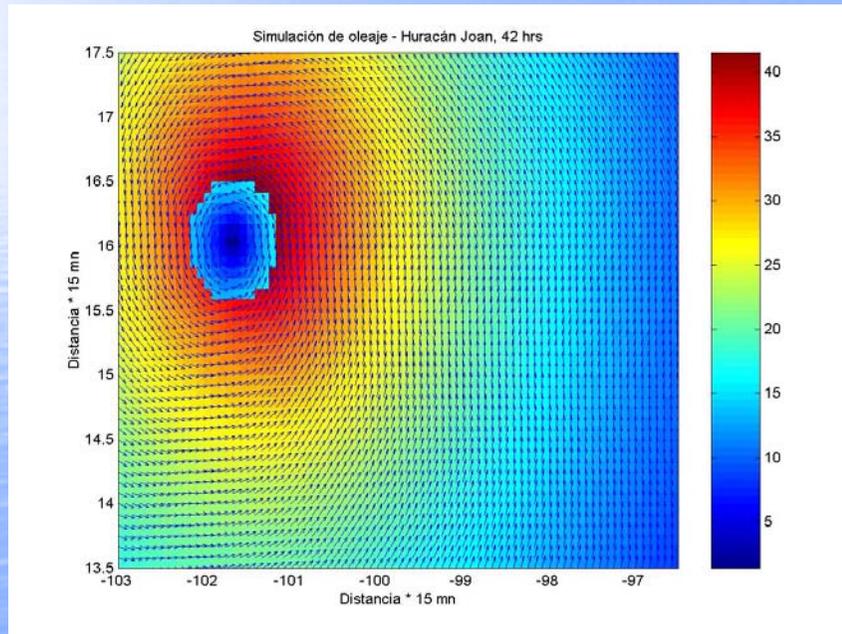


Oleaje

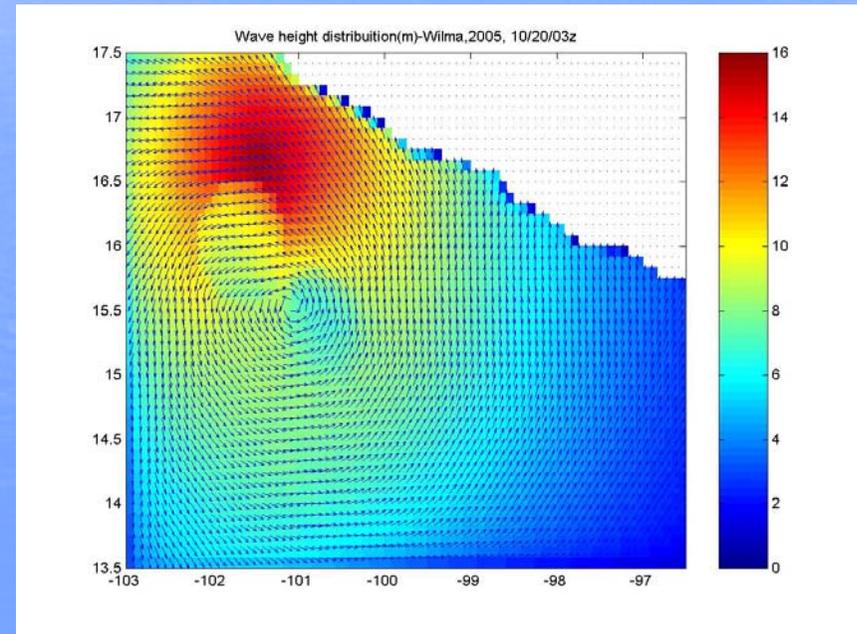


Simulación de viento y oleaje

Viento

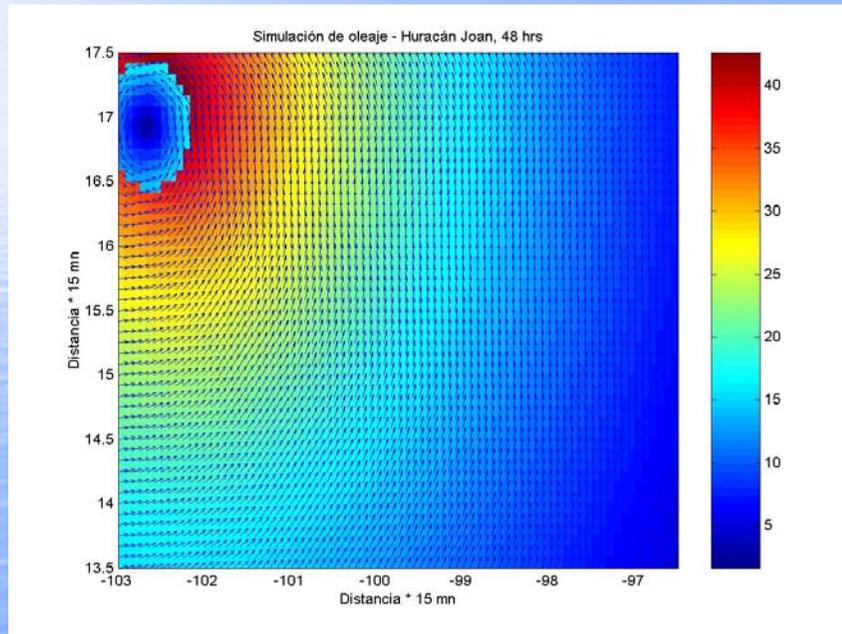


Oleaje

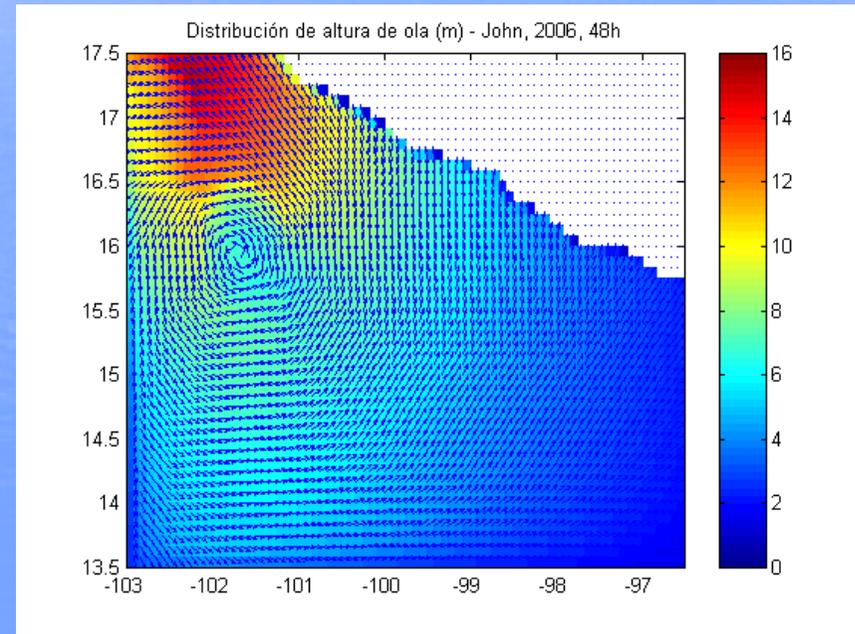


Simulación de viento y oleaje

Viento

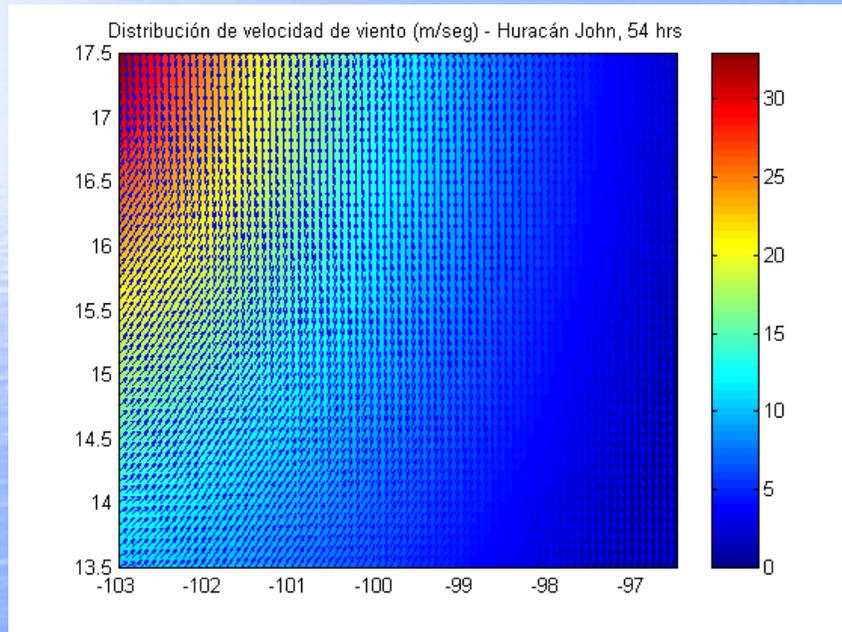


Oleaje

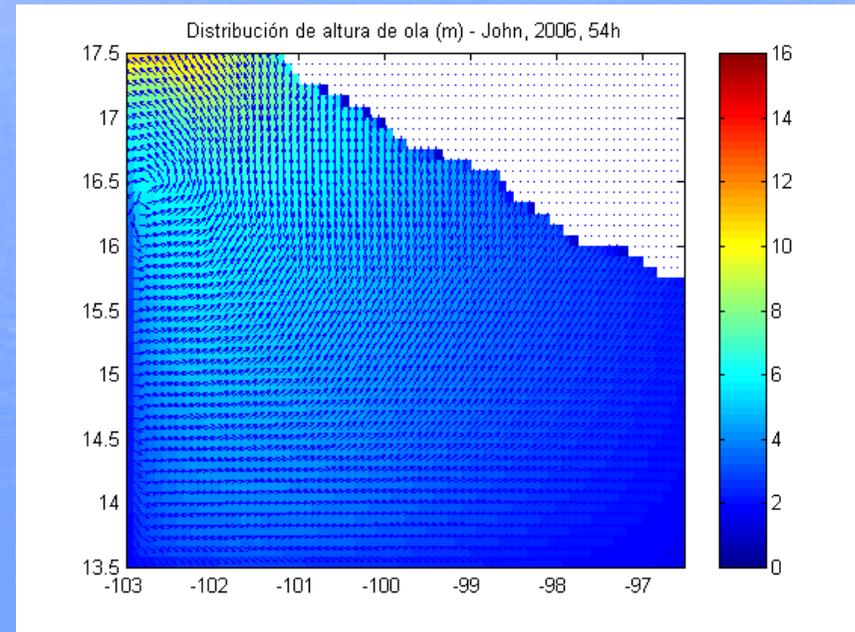


Simulación de viento y oleaje

Viento

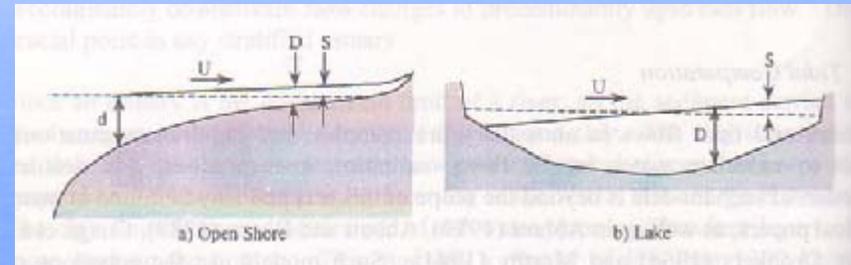


Oleaje



Modelo de marejada de huracanes

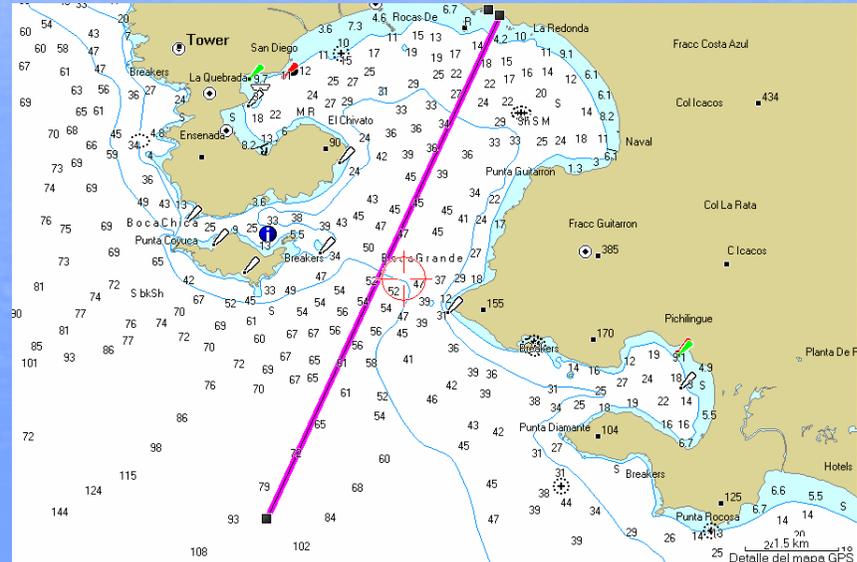
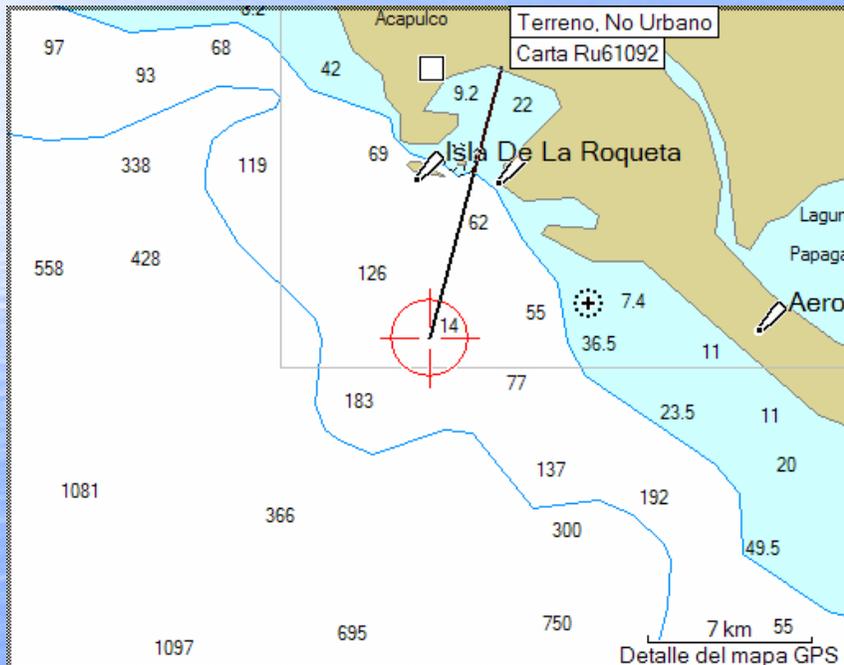
$$\frac{dS}{dx} = \zeta \frac{(U \cos \phi)^2}{gD}$$



donde:

- S es la altura de la marejada,
- x es la distancia,
- ζ es una constante,
- U la velocidad del viento,
- D la nueva profundidad $d + S$
- ϕ es el ángulo entre el viento y la dirección x .

Perfiles batimétricos



Modelo de marejada de huracanes

Solución de Euler de primer orden:

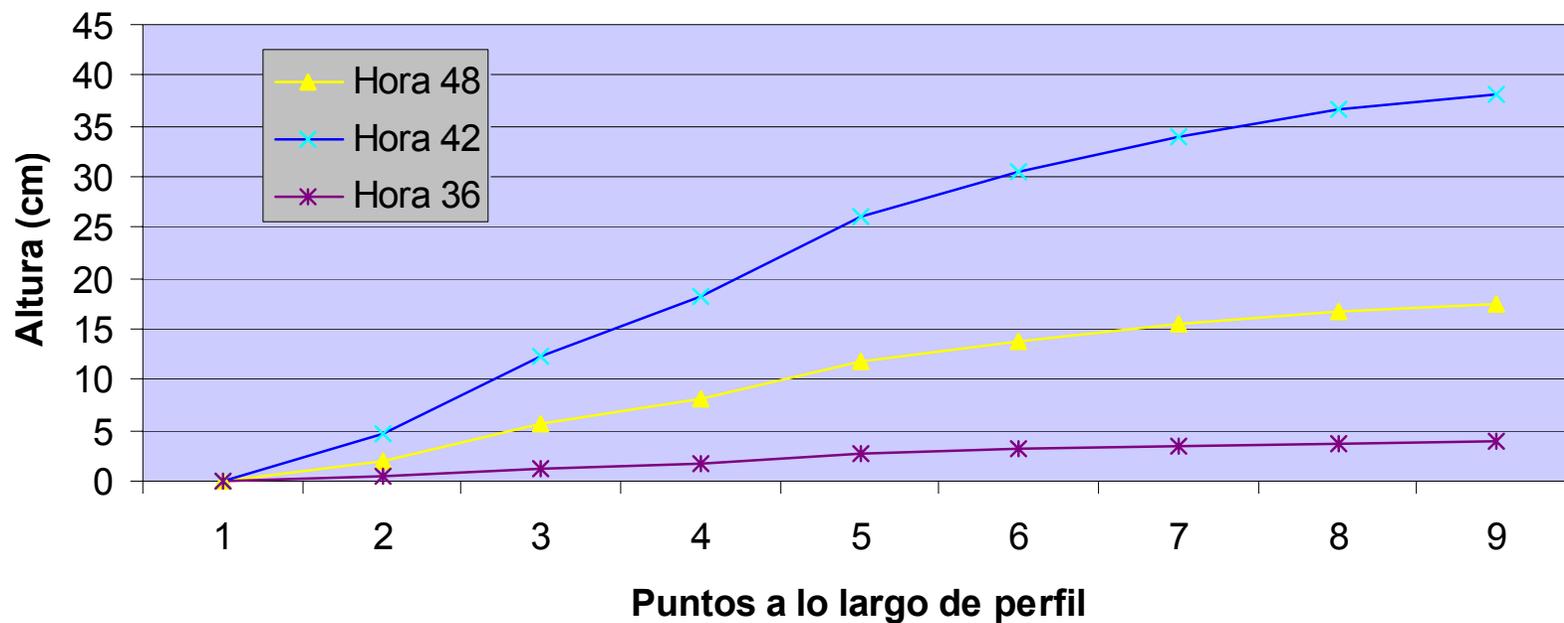
$$S_{n+1} = S_n + \Delta x \frac{(U \cos \phi)^2}{g(d + S_n)}$$

donde:

- S es la altura de la marejada,
- x es la distancia,
- ζ es una constante,
- U la velocidad del viento,
- d la profundidad
- ϕ es el ángulo entre el viento y la dirección x.

Altura de marejada sobre Acapulco

Marejada de tormenta para Huracán John sobre Acapulco



Marea en Acapulco el 30 ago, 06

