

MODELOS OCEÁNICOS DE PROPAGACIÓN DE OLEAJE

JOSÉ MARÍA GARCÍA-VALDECASAS BERNAL

MASTER INTERUNIVERSITARIO DE PUERTOS Y COSTAS.

OCTUBRE 2016



TABLA DE CONTENIDOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS

DESCRIPCIÓN DEL OLEAJE: CONCEPTOS BÁSICOS

TEORÍA DE ONDAS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS

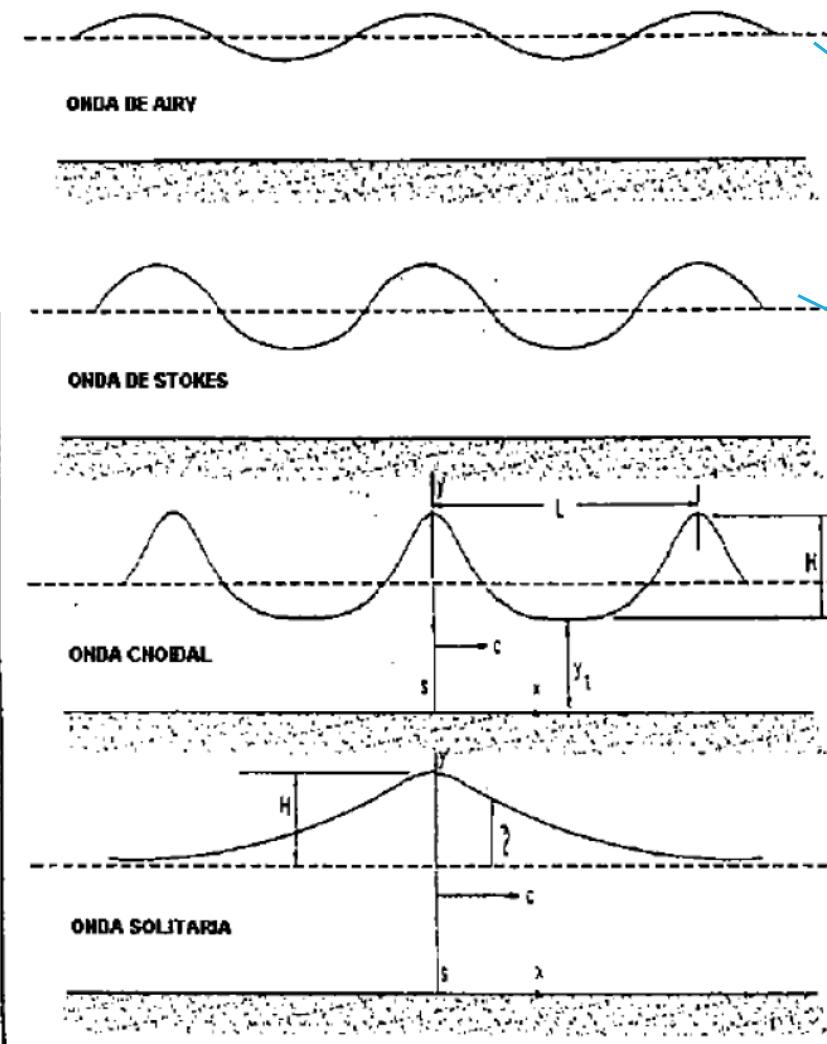
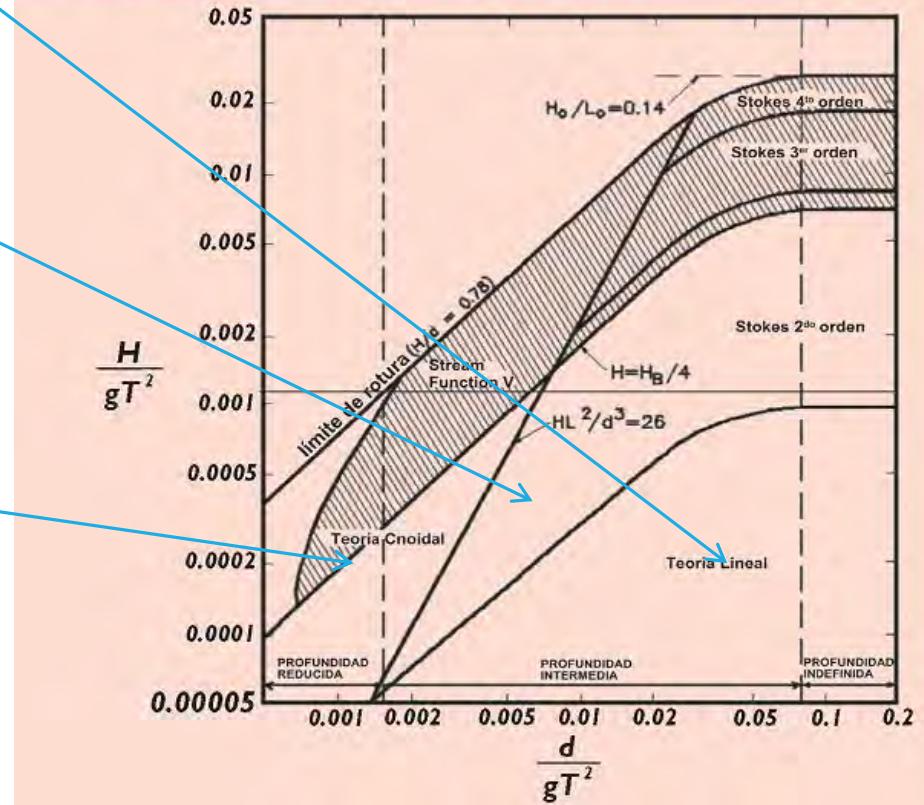
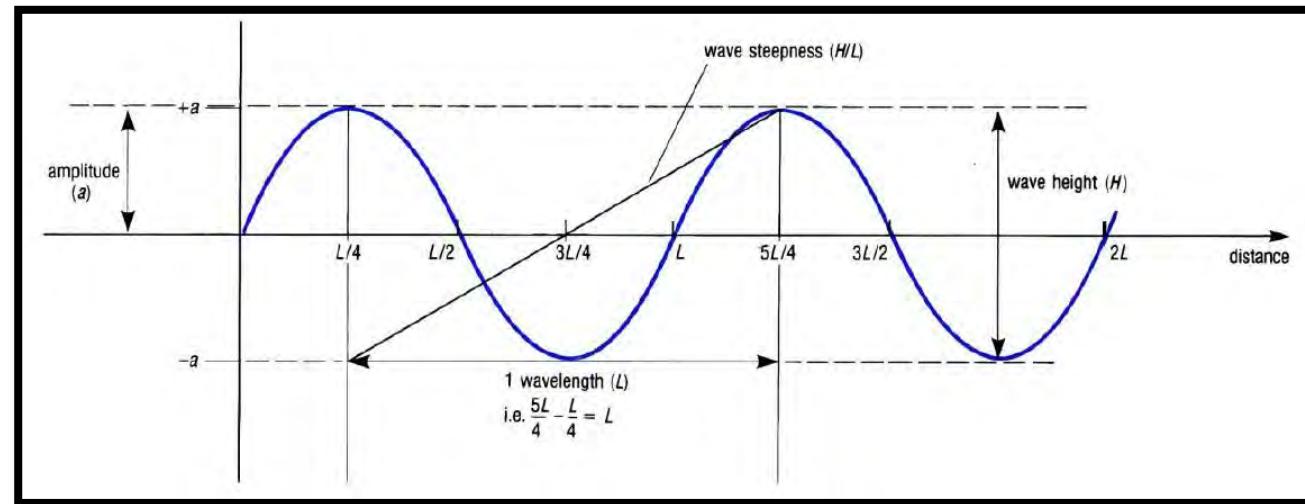


Diagrama de aplicación de las teorías de onda progresiva



TEORÍA DE ONDAS



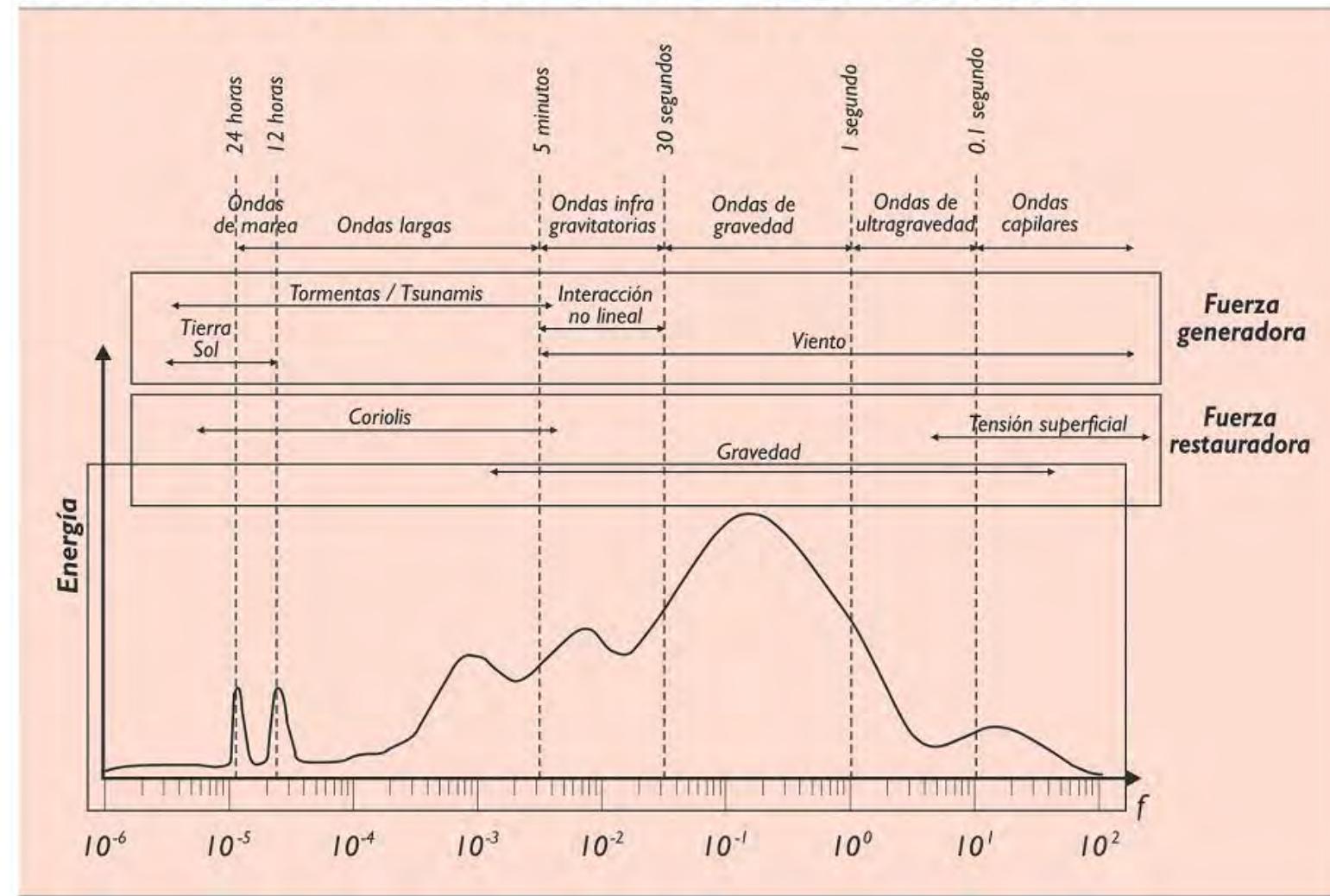
1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Altura de ola	H	Distancia vertical entre un seno y una cresta sucesivos
Amplitud	a	Máxima desviación desde el nivel medio
Longitud de onda	L	Distancia horizontal entre dos crestas sucesivas
Periodo	T	Tiempo que tardan en pasar dos crestas sucesivas por el mismo punto
Frecuencia	f	Número de crestas que pasan cada segundo por un punto fijo ($f = 1/T$)

Frecuencia angular	ω	$\omega = \frac{2\pi}{T}$
Número de onda	k	$k = \frac{2\pi}{L}$
Celeridad	c	$c = \frac{L}{T}$
Peralte	ε	$\varepsilon = \frac{H}{L}$
Profundidad relativa	d	$\frac{d}{L}$
Altura de ola relativa	$\frac{H}{d}$	

CLASIFICACION DE ONDAS POR PERIODO

Figura 3.3.10. Contenido energético de las oscilaciones del mar y distribución frecuencial



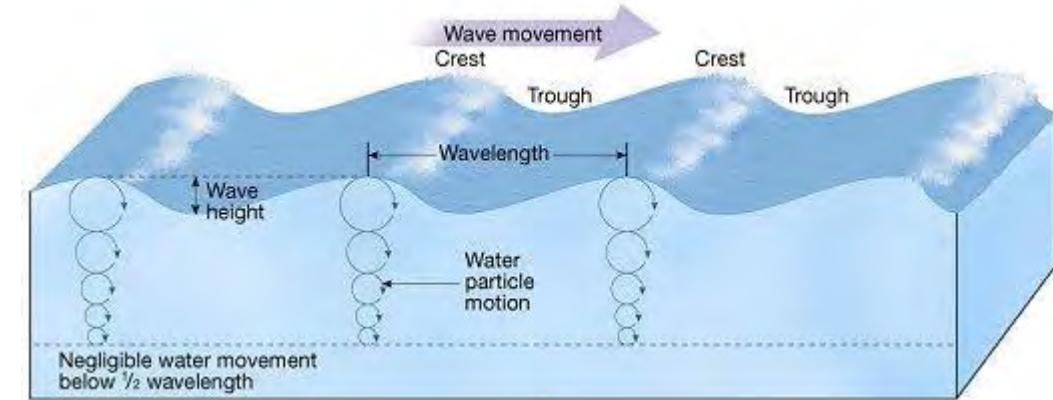
TEORIA DE ONDAS DE AIRY

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Ecuación superficie libre para un oleaje aleatorio

$$\eta = a \cdot \cos(kx \cos\theta + ky \sin\theta - 2\pi f t + \epsilon)$$

- η = superficie libre del agua
- a = amplitud de la ola
- k = numero de ola ($k=2\pi/L$)
- θ = dirección de propagación
- f = frecuencia de la ola
- ϵ = fase
- x, y, t = coordenadas espacio-temporales.



INTRODUCCION AL OLEAJE IRREGULAR

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Teorema de Fourier, expresado de forma sencilla, viene a decir que **cualquier función**, por complicada que sea, **puede expresarse por una combinación más o menos larga, de senos y cosenos.**

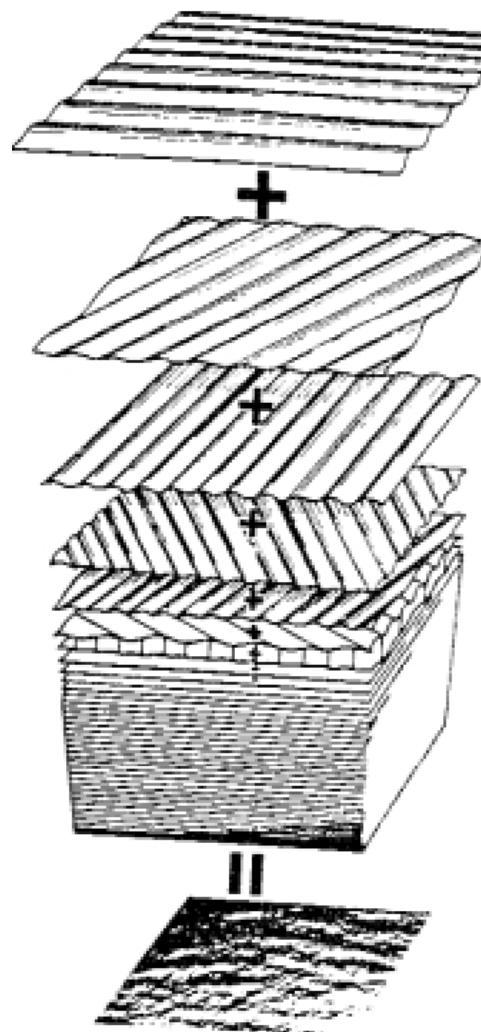
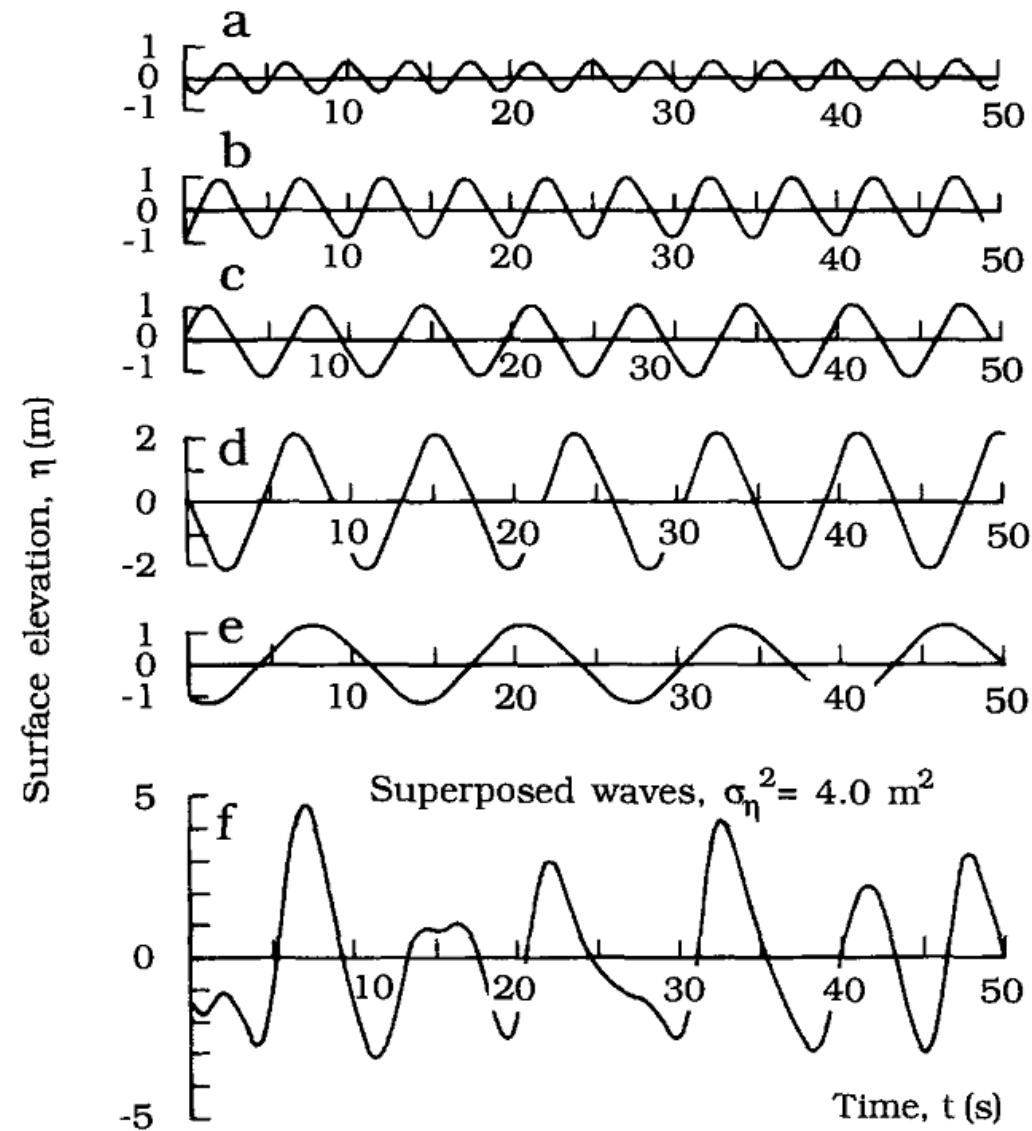
- La superficie irregular del agua se puede descomponer en un número infinito de componentes sinusoidales con diferentes **frecuencias** (f) y **direcciones** de propagación (θ).

$$\eta = \eta(x, y, t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(k_n x \cos\theta_n + k_n y \sin\theta_n - 2\pi f_n t + \epsilon_n)$$

- La varianza de las elevaciones $\eta(x, y, z)$ se puede expresar como el valor esperado del cuadrado de las amplitudes $E(\sum_j a_j^2)$. A esta función se le llama espectro de varianza del oleaje.
- Este espectro se puede expresar en términos de la energía del oleaje, puesto que la energía es $E = \frac{\rho g a^2}{2}$, denominándolo espectro de energía del oleaje.

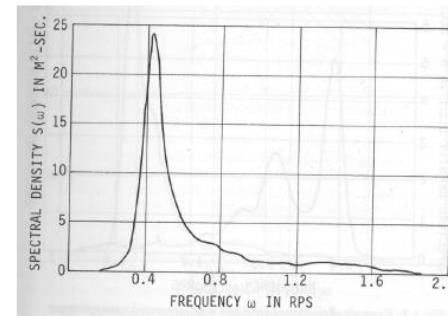
INTRODUCCIÓN AL OLEAJE IRREGULAR

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



CONCEPTOS BÁSICOS DEL OLEAJE ESPECTRAL

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



REGISTRO TEMPORAL EN UN PUNTO FIJO



$$\eta = \eta(t) = \sum_{n=1}^{\infty} a_n \cos(2\pi f_n t + \epsilon_n)$$

$$\sum_k \frac{1}{2} a_n^2 = S(f) df \quad \text{ESPECTRO DENSIDAD DE ENERGÍA}$$

CONCEPTOS BÁSICOS DEL OLEAJE ESPECTRAL

Momentos espectrales y estadísticos

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS

$$H_{m_0} = 3.8\sqrt{m_0}$$

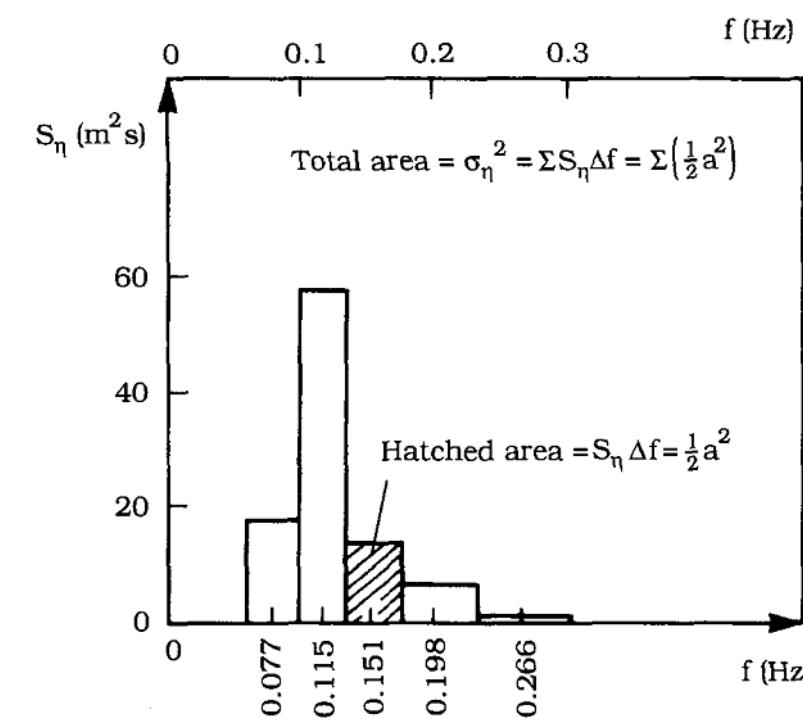
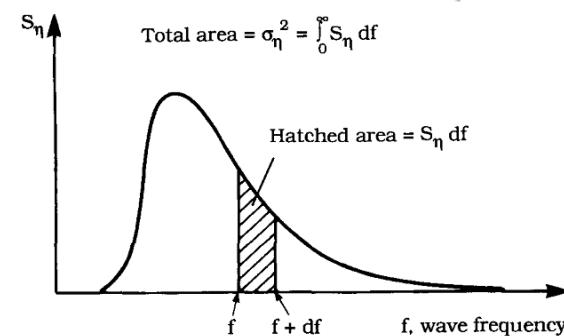
$$m_i = \int_0^{\infty} f^i S(f) df \quad H_s = 4.0\sqrt{m_0} = 1.416 \cdot H_{rms}$$

$$T_z = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$$

$$H_{1/10} = 5.1\sqrt{m_0}$$

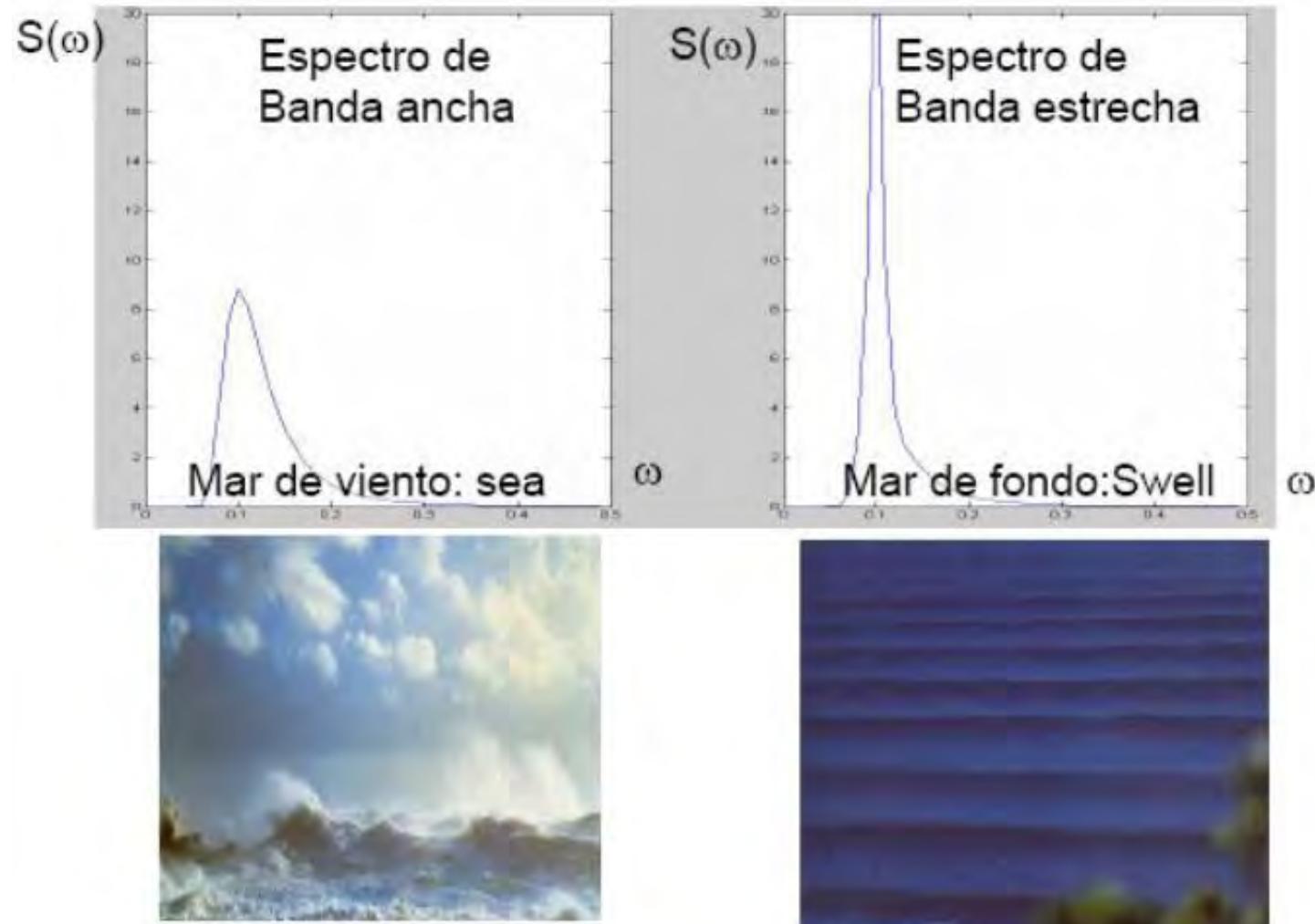
Anchura espectral $\nu = \sqrt{\frac{m_0 m_2}{m_1^2} - 1}$

Ancho de banda espectral $\varepsilon = \sqrt{1 - \frac{m_2^2}{m_0 m_4}}$



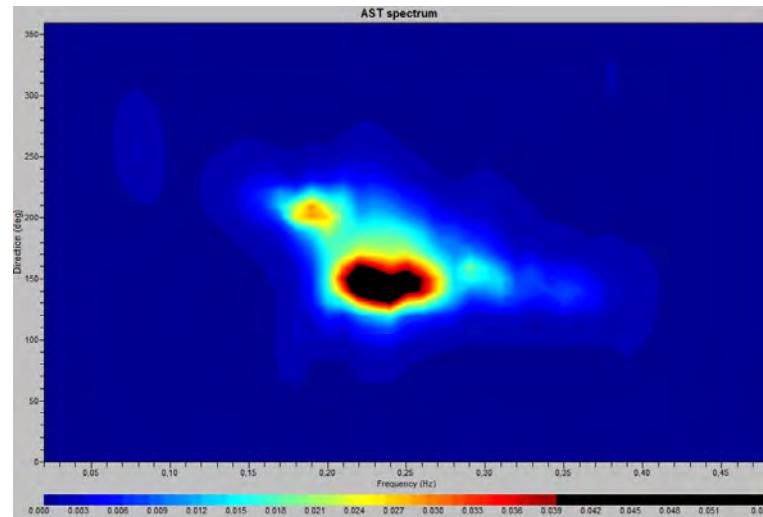
CONCEPTOS BÁSICOS DEL OLEAJE ESPECTRAL

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

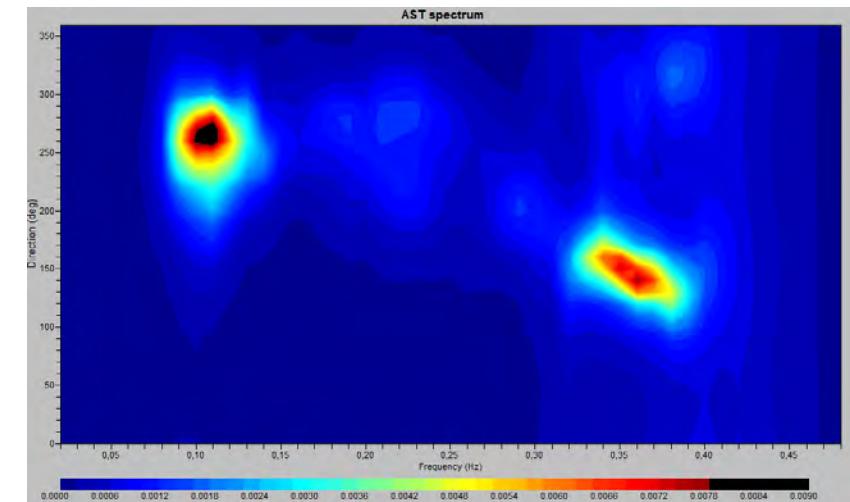


CONCEPTOS BÁSICOS DEL OLEAJE ESPECTRAL

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



Espectro de un solo pico de oleaje tipo SEA



Espectro de dos picos. SEA + SWELL

ESPECTROS MAS COMUNES

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

JONSWAP. Hasselmann_et_al, 1.973*“Joint North Sea Wave Project”*

- Se aplica a áreas que presentan un fetch limitado

$$S(f) = \frac{\alpha g^2}{(2\pi)^4} \cdot \exp \left[-1.25 \left(\frac{f}{f_p} \right)^{-4} \right] \gamma^{\exp \left[-\frac{\left(\frac{f}{f_p} - 1 \right)^2}{2\sigma^2} \right]}$$

$$f_p = 3.5 \left[\frac{g^2 F}{U_{10}^3} \right]^{-0.33}$$

$$\alpha = 0.076 \left[\frac{g F}{U_{10}^2} \right]^{-0.22}$$

$$1 \leq \gamma \leq 7$$

$$\sigma = \begin{cases} 0.07 & f \leq f_p \\ 0.09 & f > f_p \end{cases}$$

α : Parámetro de escala

F : Longitud del fetch

f_p : Frecuencia de pico

γ : Coeficiente de apuntamiento

U_{10} : Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie del mar

ESPECTROS MAS COMUNES

Pierson & Moskowitz, 1.964.

- Espectro sencillo
- Uniparamétrico, sólo depende de la velocidad del viento a 19.5 m sobre el mar
- Creado para oleajes totalmente desarrollados
- Ello se justifica cuando el viento sopla constantemente en la misma dirección durante decenas de horas sobre un área grande.

α : ~~Parámetro de escala~~

F : ~~Longitud del fetch~~

f_p : Frecuencia de pico

γ : ~~Coeficiente de apuntamiento~~

U_{10} : ~~Velocidad del viento a 10 m sobre la superficie del mar~~

$$S(f) = \frac{0.0081g^2}{(2\pi)^4 f^5} \cdot \exp \left[-0.74 \left(\frac{2\pi U_{19.5} f}{g} \right)^{-4} \right]$$

19,5 m

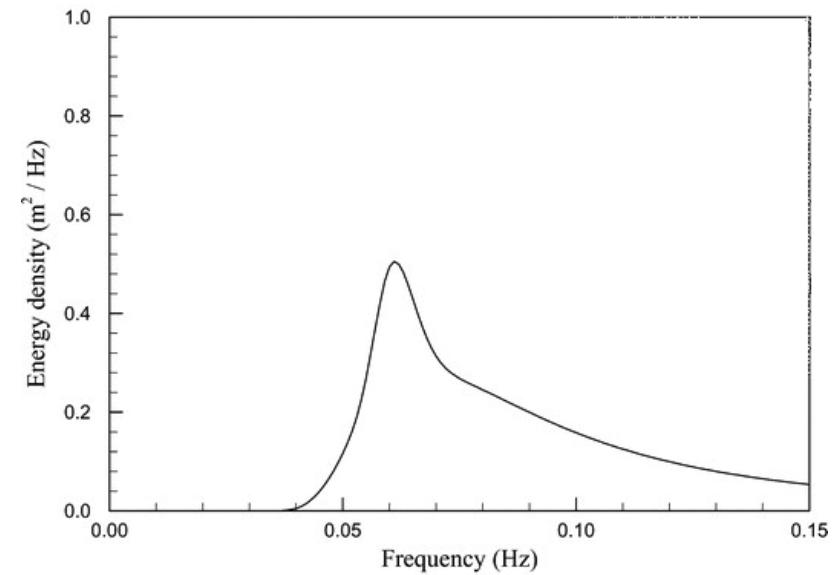
ESPECTROS MAS COMUNES

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

TMA

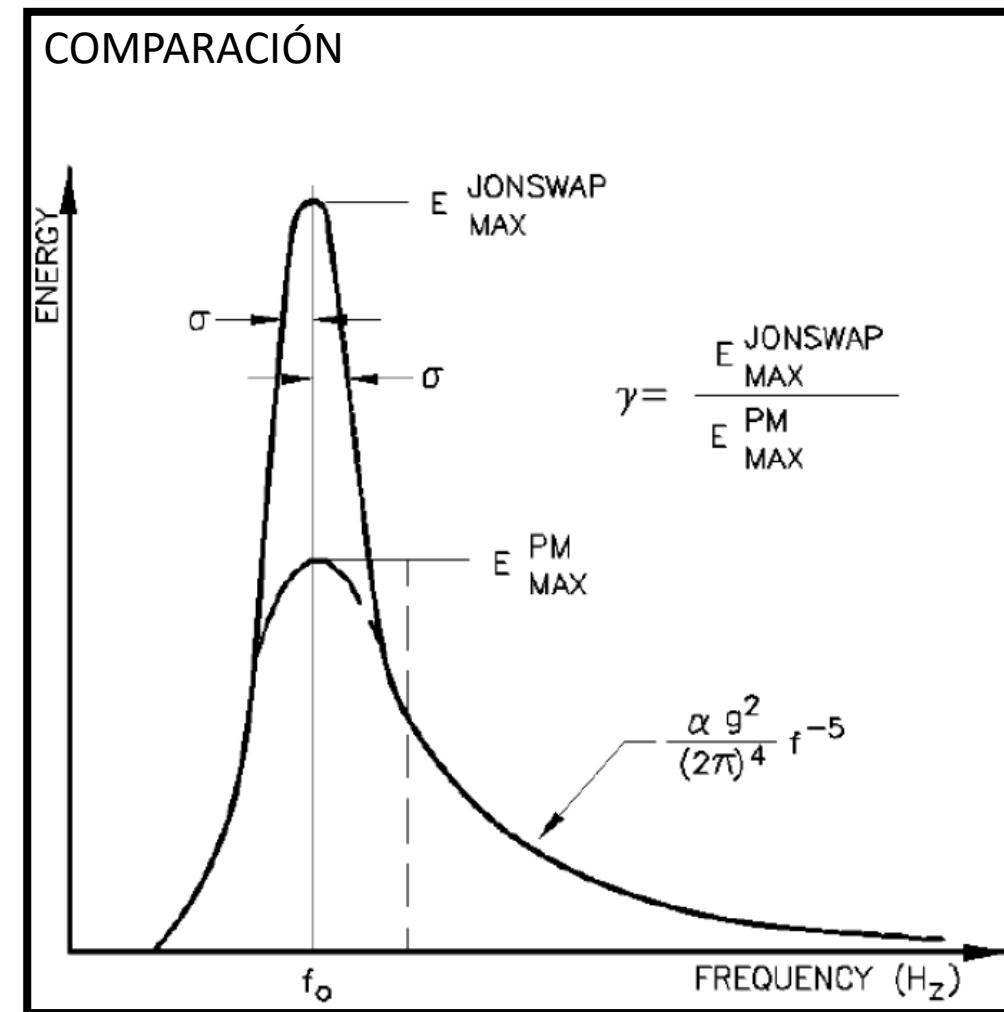
- Oleaje SEA en desarrollo
- Derivado del espectro JONSWAP
- Profundidades indefinidas, intermedias y reducidas

$$S_{TMA}(f, h) = S_J(f) \cdot \Psi(f_h, h)$$



ESPECTROS MAS COMUNES

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



PROCESOS FISICOS DE TRANSFORMACION DEL OLEAJE

PROCESOS DE GENERACIÓN DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

- Sobre una superficie de agua en calma, pequeñas fluctuaciones en la presión atmosférica, asociadas a la turbulencia del aire sobre el agua, provocan pequeñas perturbaciones sobre la superficie del agua.
- Este fenómeno genera ondas capilares
- Estas ondas tienen un crecimiento lineal al moverse en resonancia con las fluctuaciones de presión



PROCESOS DE GENERACIÓN DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

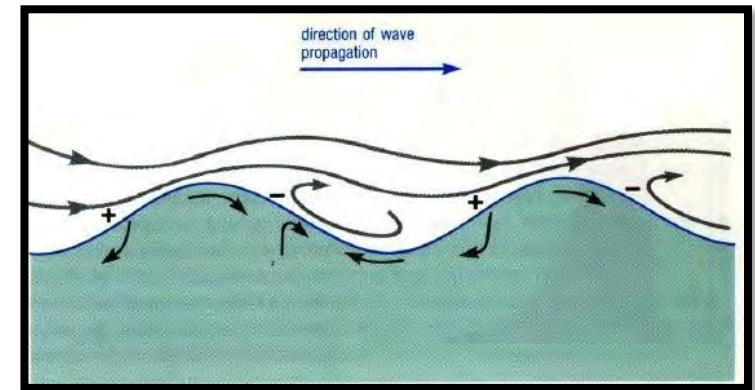
Estas ondas capilares crecen hasta alcanzar un tamaño que interfiere en el flujo de aire que hay sobre la superficie del mar

El viento empuja y arrastra las olas, transfiriendo energía y momento a la superficie del mar y haciendo que el oleaje crezca.

La fuerza con la que el viento afecta al oleaje es mayor cuanto mayor es el oleaje, por lo que el crecimiento, en esta fase, es exponencial

Modelo de Jeffrey, 1925.

- Diferencias de presión entre senos y crestas.
- Válido para $U >$ Celeridad de la onda y $U > 1 \text{ m/s}$

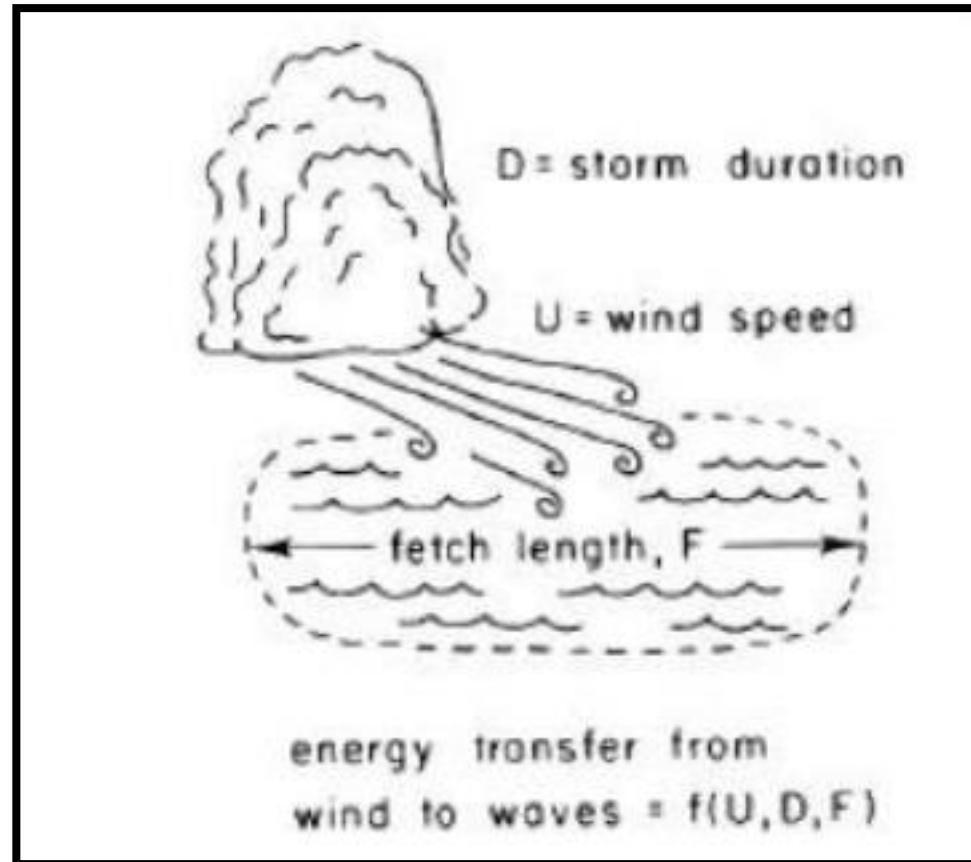


Fte:Brown, Colling, Park, Phillips, Rothery, & Wright, 1.989

PROCESOS DE GENERACIÓN DE OLEAJE

VARIABLES PRINCIPALES DE LAS QUE DEPENDE LA GENERACIÓN DE OLEAJE SEA

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

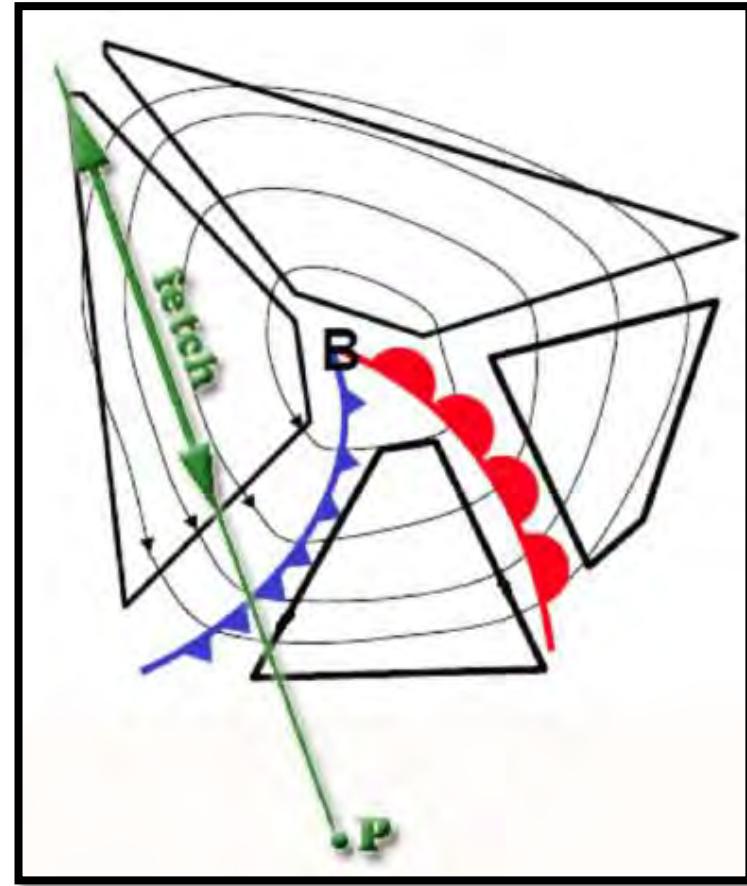


- DURACION DE LA TORMENTA (D)
- INTENSIDAD DEL VIENTO (U)
- DIMENSIONES DEL AREA DE GENERACION: FETCH
 - LIMITACION GEOGRÁFICA
 - DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA BORRasca

(Komar, 1.983)

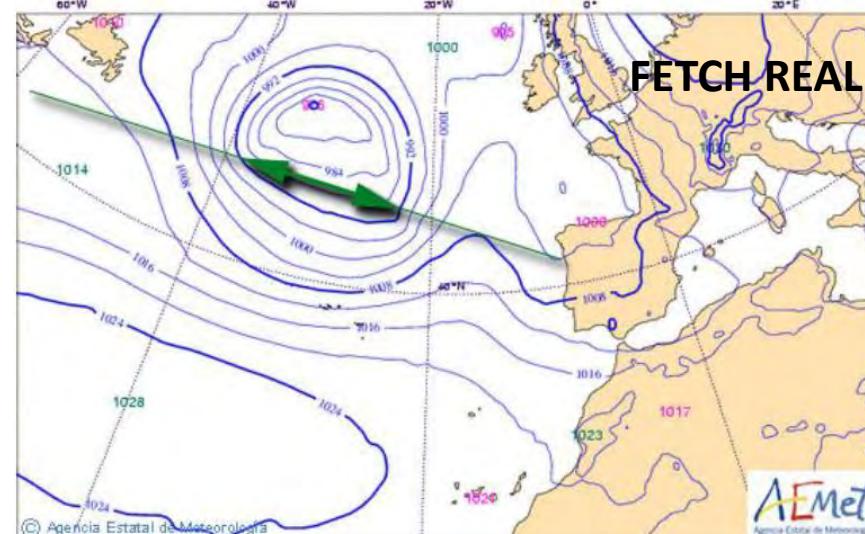
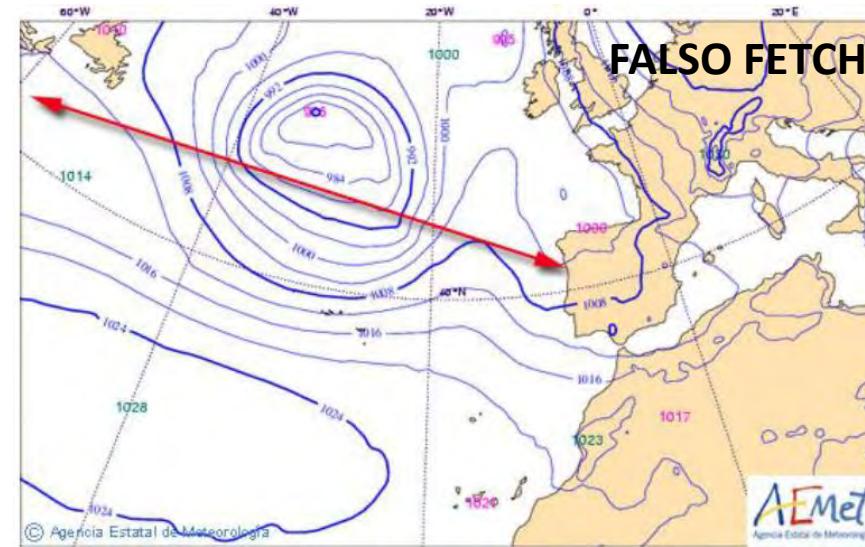
1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

EL CAMPO DE GENERACIÓN DE OLEAJE: BORRASCA Y FETCH



Fte: J.M. Medina. 1996

PROCESOS DE GENERACIÓN DE OLEAJE



PROCESOS DE GENERACIÓN DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

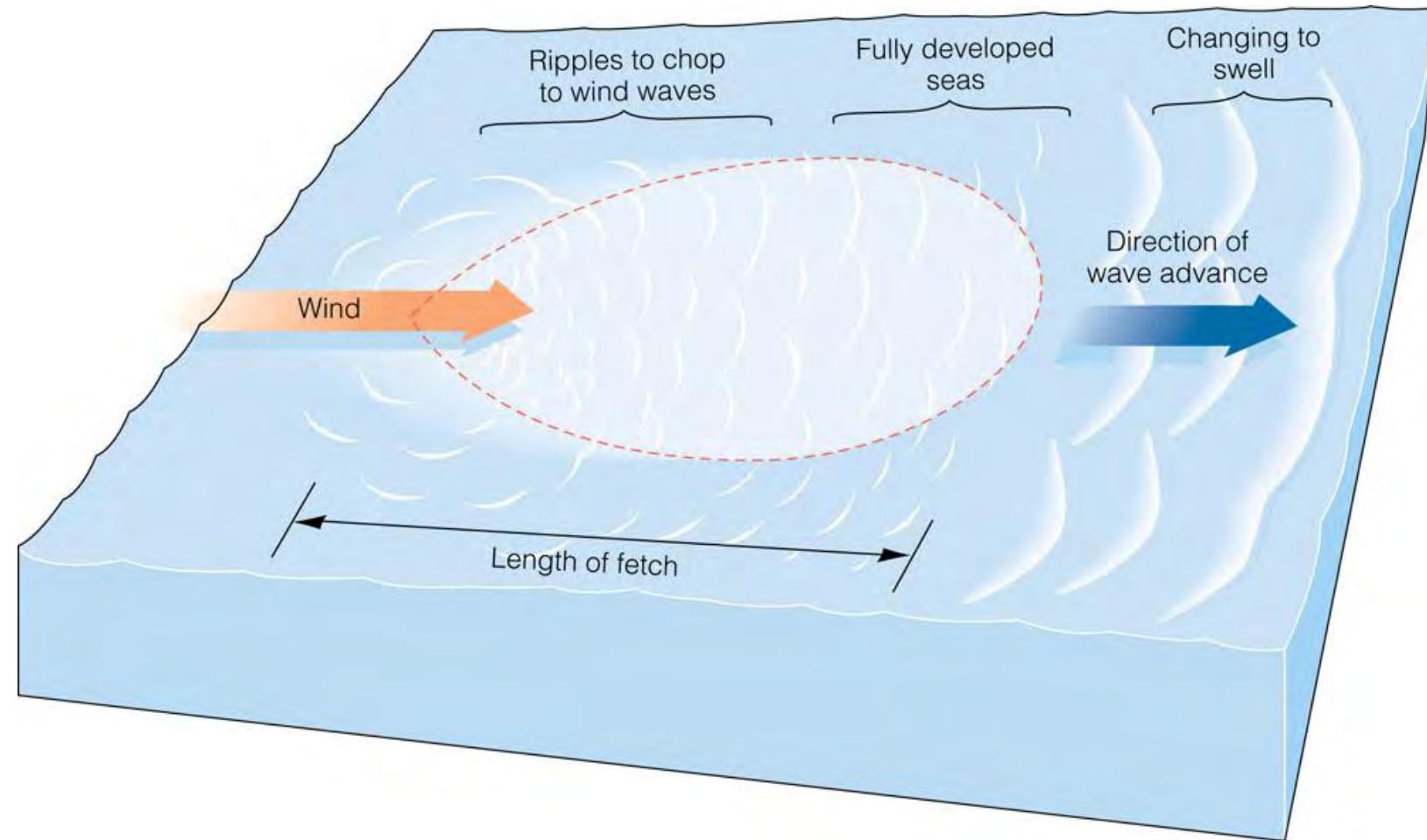
El crecimiento continua hasta que el viento pare o se alcance un equilibrio entre absorción de momento y perdida producida por rotura de ola

Aparece un fenómeno denominado transferencia no lineal de energía: La energía de las ondas de periodo bajo se transfiere a las de periodo mas alto.

En la zona comienzan a aparecer olas mas regulares de periodo mas largo cuya energía proviene de las olas generadas por el viento: Mar de fondo o SWELL.

PROCESOS DE GENERACIÓN DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



© 2005 Brooks/Cole - Thomson

TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Durante la evolución del oleaje se pueden producir los siguientes procesos de transformación del mismo:

- Asomberamiento
- Refracción
- Difracción
- Interacción ola-corriente
- Rotura y otros mecanismos de disipación
- Interacción no-lineal entre componentes espectrales
- Reflexión

TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE

Procesos de propagación



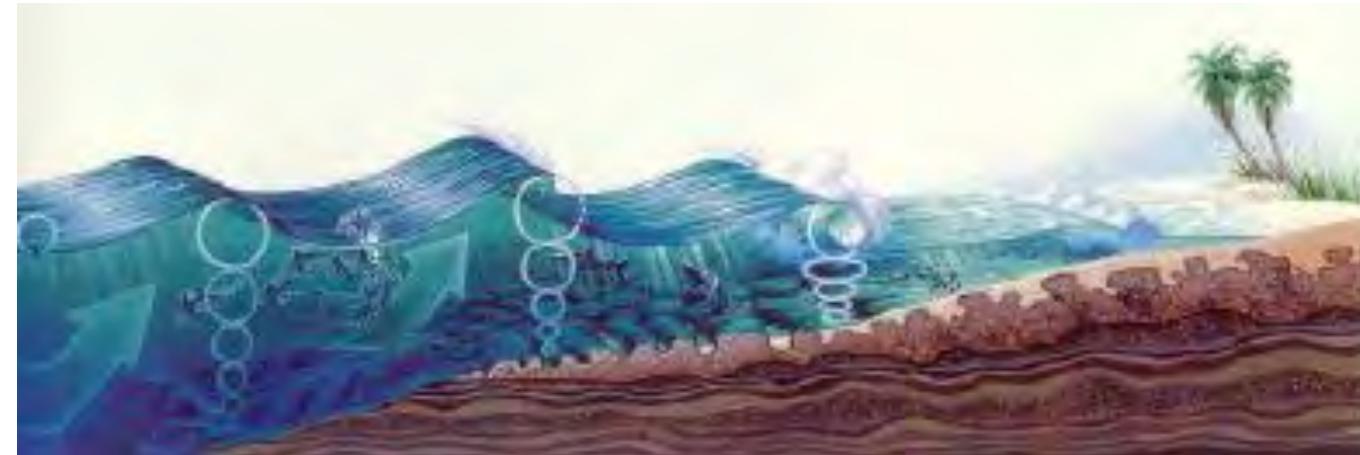
Fuente: R. Molina Sánchez

TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE: ASOMERAMIENTO

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Asomeramiento (shoaling) : Incremento de la altura del oleaje

- Ocurre con variación de la profundidad
- Se produce por el principio de conservación de la energía: Para que el flujo de energía $C_g E$ no cambie, si la velocidad de grupo disminuye, la energía aumenta. Lo que implica un aumento de la altura.

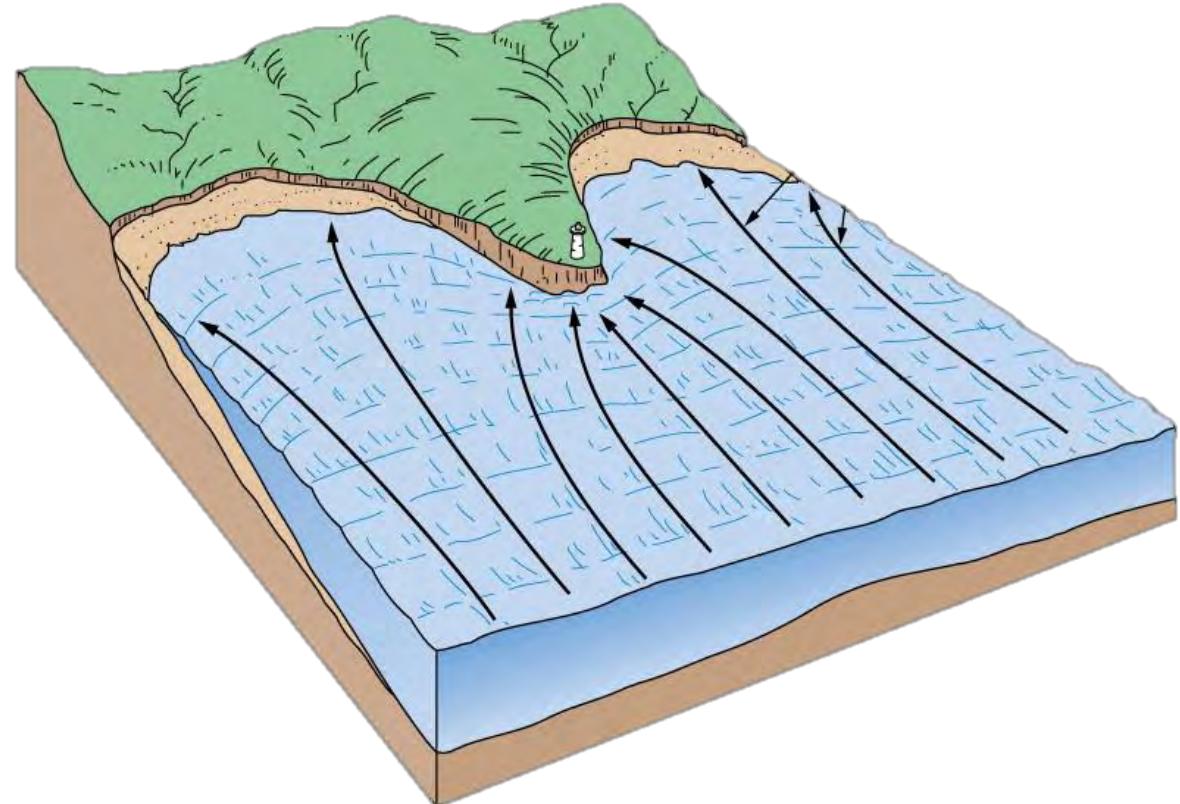


TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE: REFRACCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

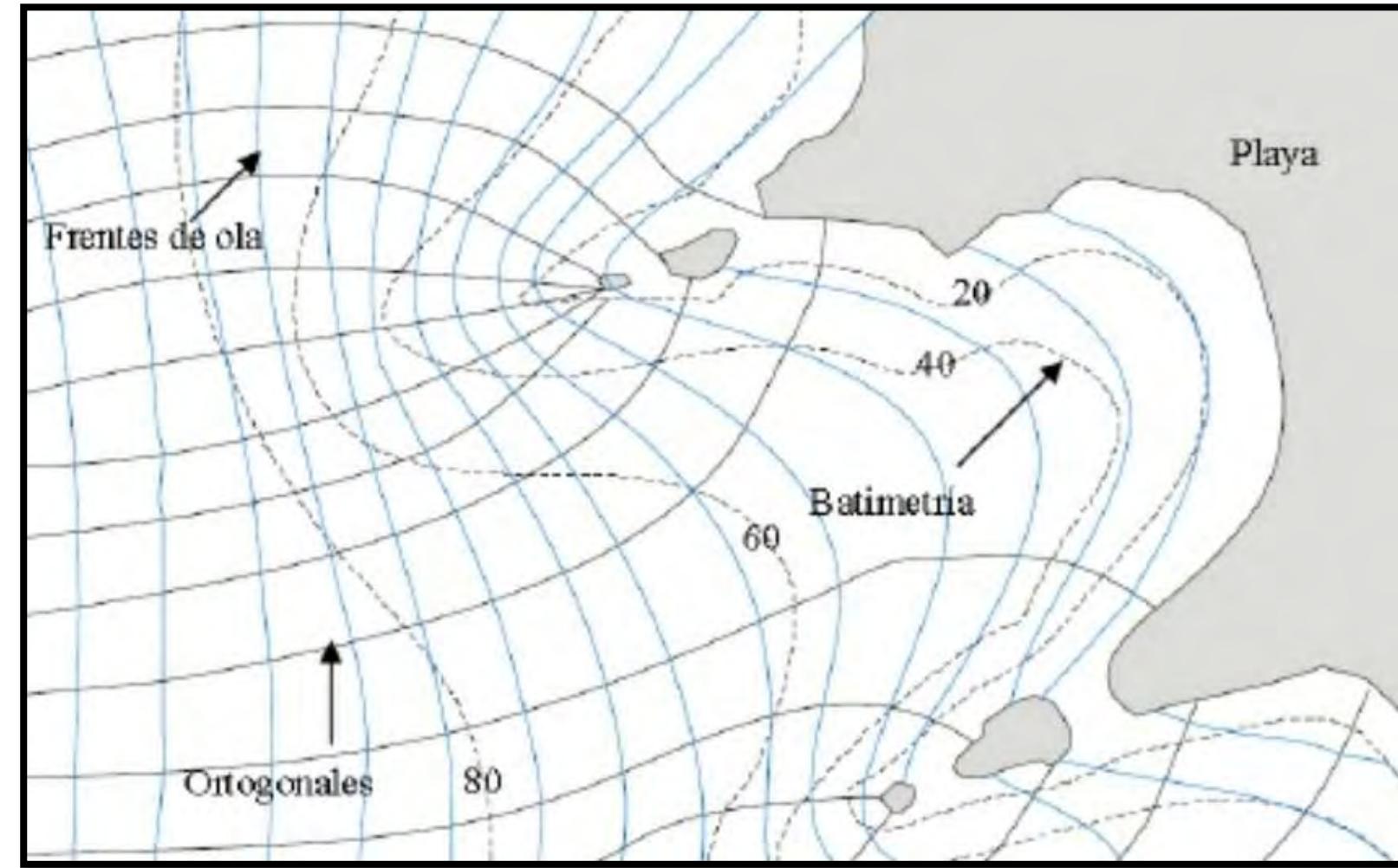
Refracción: Cambio en la dirección de propagación del oleaje

- A medida que el oleaje se acerca a la costa, la sección del frente que está a menor profundidad se propaga a menor velocidad.
- El oleaje se pone paralelo a las líneas batimétricas.
- La energía se conserva entre paralelas o rayos
- La energía se concentra en los cabos y se disipa en las bahías



TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE: REFRACCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

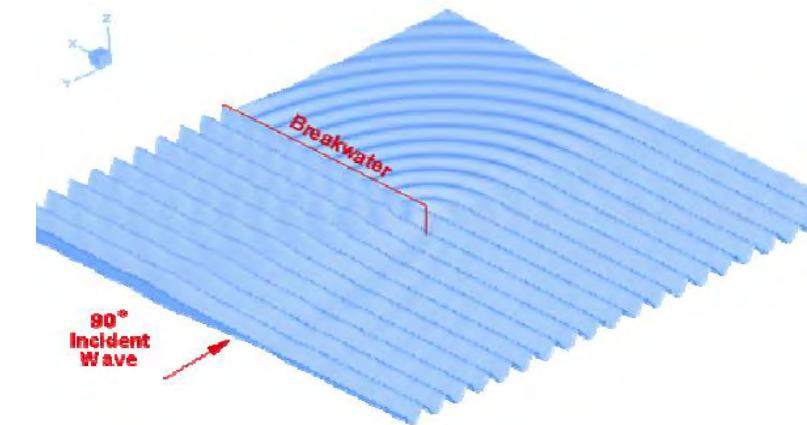
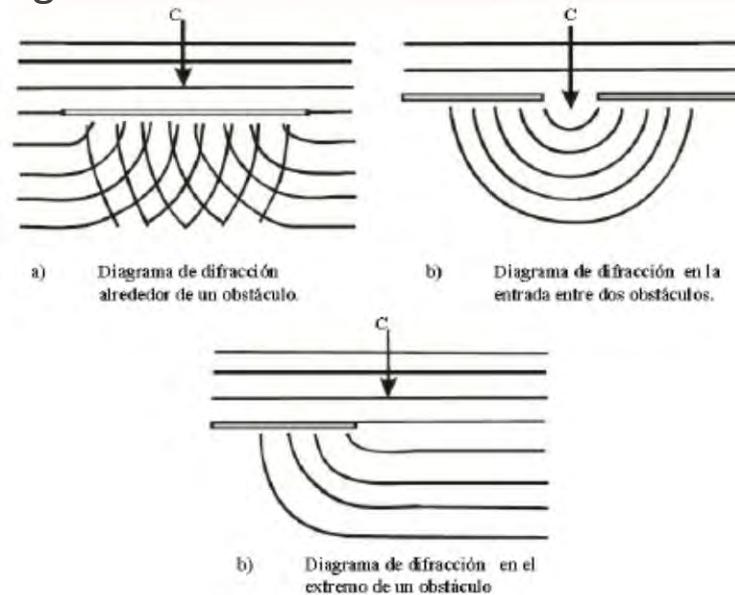


TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE: DIFRACCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS

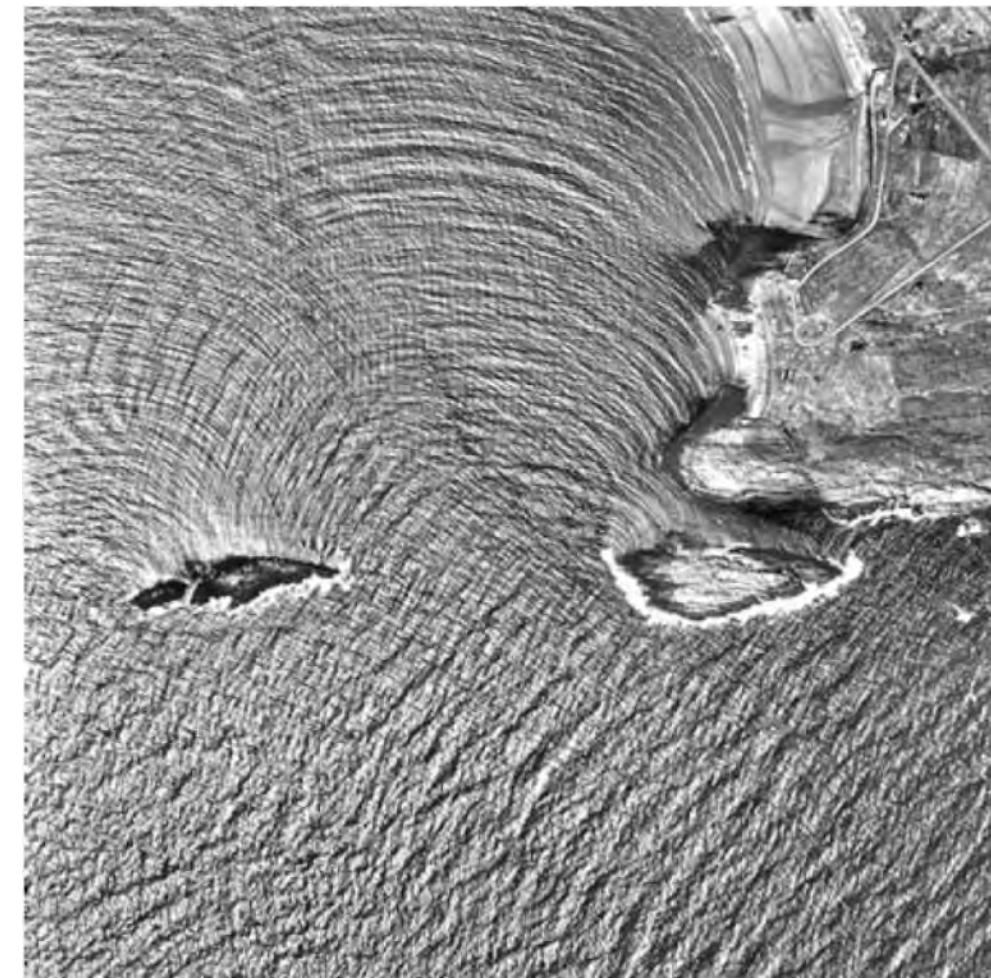
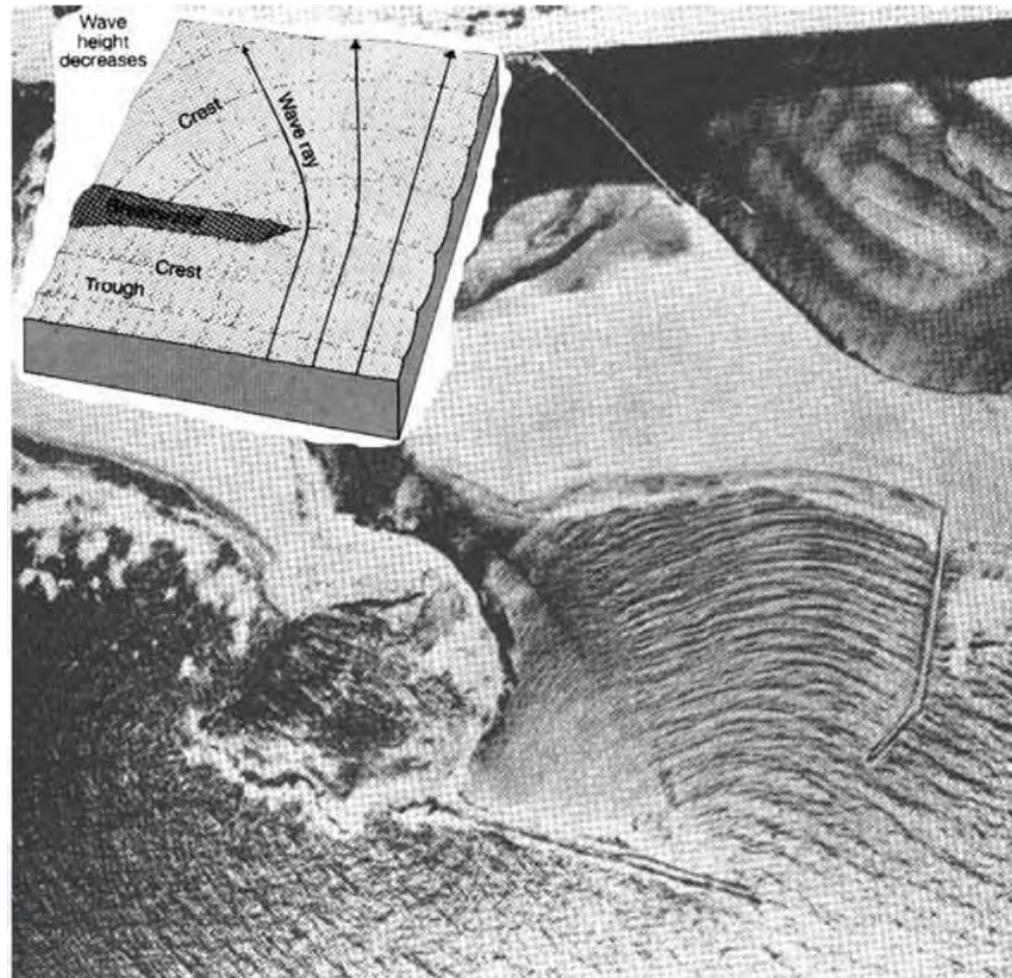
Cuando la propagación del oleaje es interrumpida por un objeto cuyas dimensiones son iguales o menores a la longitud de onda se produce un fenómeno denominado **difracción**.

- Detrás del objeto se genera una zona de sombra ya que el oleaje no se propaga a través del objeto
- Las olas que se propagan a los lados del objeto radian energía hacia la zona en sombra y las crestas giran en esta dirección.



TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE: DIFRACCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



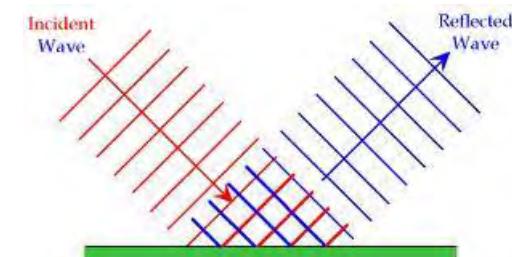
TRANSFORMACIÓN DEL OLEAJE: REFLEXIÓN

Habitualmente se denomina coeficiente de reflexión (K_r), y relaciona las alturas de ola incidente y reflejada de la forma $R = H_r / H_i$.

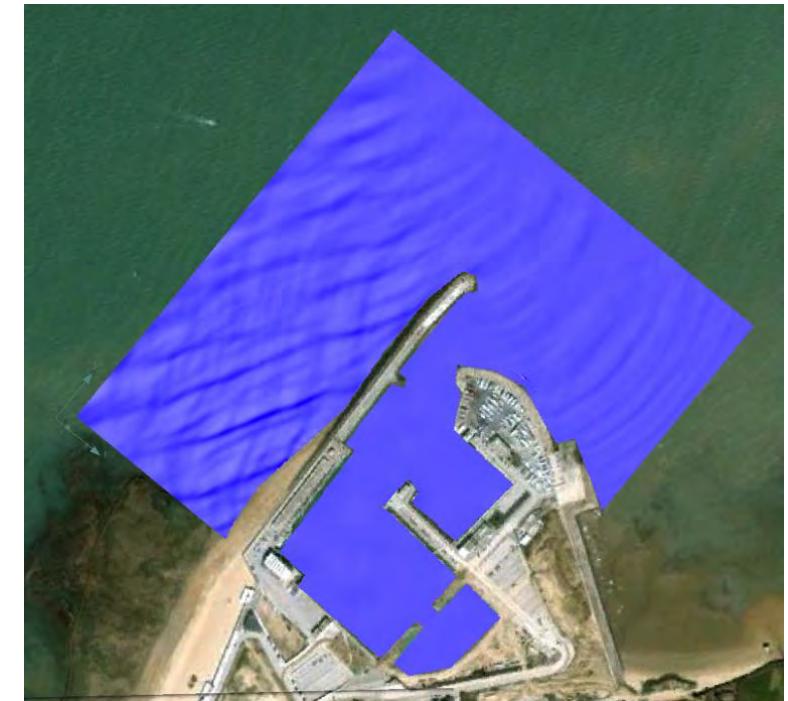
$$|R| = \sqrt{R_R^2 + R_I^2}$$

En el caso de oleaje irregular, el coeficiente de reflexión se calcula a partir de los flujos de energía, que a la vez están relacionados con los espectros de oleaje de la forma:

$$|R| = \sqrt{\frac{E_R}{E_I}} = \sqrt{\frac{\int S_R(f) df}{\int S_I(f) df}}$$



$$\varepsilon = \arctg(R_I / R_R)$$



1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

MÉTODOS NUMÉRICOS: BREVE INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS NUMÉRICOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. **MÉTODOS NUMÉRICOS**
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

El análisis numérico busca aproximaciones para resolver complejos problemas matemáticos.

En el ámbito de la modelización del oleaje, se trata de buscar una aproximación de las ecuaciones diferenciales que gobiernan el comportamiento del oleaje.

Existen tres posibles caminos para realizar esta aproximación:

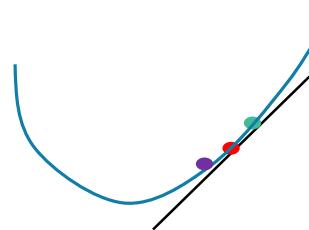
- Diferencias finitas
- Volúmenes finitos
- Elementos finitos

Entrar en profundidad en el estudio de los métodos numéricos que se aplican en la propagación del oleaje está fuera del alcance de esta clase: nos centraremos en **conceptos básicos de las diferencias finitas**

INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS NUMÉRICOS

Las diferencias finitas discretizan las derivadas de una ecuación en derivadas parciales.

Supongamos una curva y queremos obtener la derivada en un punto (rojo), sin saber la ecuación que gobierna esa curva:



Hay tres aproximaciones a una derivada:

- Derivada “hacia delante”: la derivada es la pendiente de la curva, por lo que podemos aproximarla al valor del punto posterior (verde) menos el valor en nuestro punto, dividido entre la distancia que los separa.

$$\frac{dF}{dt} = \frac{F(x_{+1}) - F(x)}{x_{+1} - x}$$

- Derivada “hacia detrás”: la pendiente la obtenemos como el valor de nuestro punto menos el valor del punto anterior (morado), entre la distancia

$$\frac{dF}{dt} = \frac{F(x) - F(x_{-1})}{x - x_{-1}}$$

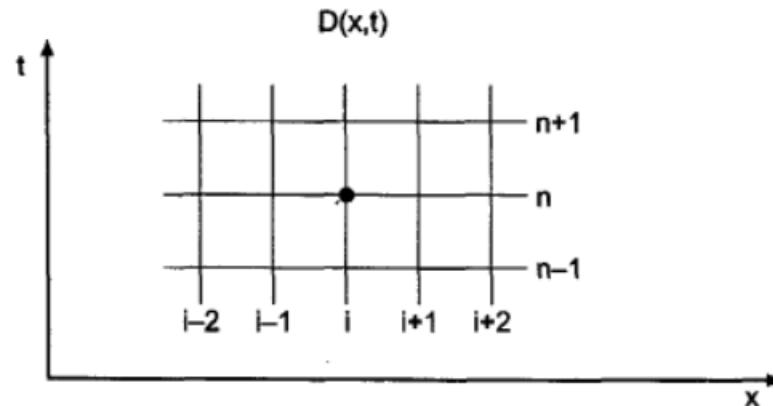
- Derivada “centrada”: usamos el valor del punto posterior (verde) y el punto anterior (rojo) dividido entre la distancia que los separa

$$\frac{dF}{dt} = \frac{F(x_{+1}) - F(x_{-1})}{x_{+1} - x_{-1}}$$

INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS NUMÉRICOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
- TRANSFORMACION Y
- DISIPACION DEL OLEAJE
- 3. MÉTODOS NUMÉRICOS**
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Ahora consideremos una función que depende de dos variables distintas, el tiempo y el espacio. Se puede discretizar el tiempo y el espacio en una malla 2D, de manera que



El elemento situado en la posición i,n de la malla, es el que corresponde al instante temporal n y posición espacial i . Se puede representar como D_i^n

INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS NUMÉRICOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
- 3. MÉTODOS NUMÉRICOS**
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Ahora supongamos una ecuación diferencial real: La ecuación del transporte

$$\frac{\partial C}{\partial t} + u * \frac{\partial C}{\partial x} = \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Esta ecuación se puede aproximar numéricamente utilizando diferencias finitas. Dependiendo del tipo de diferencia finita que se utilice (hacia delante, hacia atrás o centrada) llegaremos a un esquema numérico diferente:

- Usando diferencias centradas:

$$\frac{C_i^{n+1} - C_i^{n-1}}{2\Delta t} + u * \frac{C_{i+1}^n - C_i^n}{2\Delta x} = D * \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{2\Delta x^2}$$

- Usando diferencias hacia delante en el tiempo y centradas en el espacio:

$$\frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} + u * \frac{C_{i+1}^n - C_i^n}{2\Delta x} = D * \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{2\Delta x^2}$$

INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS NUMÉRICOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
- 3. MÉTODOS NUMÉRICOS**
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Supongamos que el estado en el instante inicial ($t=0$) es conocido para toda x .

En el primer caso:

$$\frac{C_i^{n+1} - C_i^{n-1}}{2\Delta t} + u * \frac{C_{i+1}^n - C_i^n}{2\Delta x} = D * \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{2\Delta x^2}$$

Para poder resolver el problema en el instante 1 necesitaríamos el instante -1, que no existe. Así que hay que empezar resolviendo el instante $t=2$, de manera que tenemos 4 incógnitas (los tres puntos del instante $t=1$ más el del $t=2$). Es un **sistema implícito**.

En el segundo caso:

$$\frac{C_i^{n+1} - C_i^n}{\Delta t} + u * \frac{C_{i+1}^n - C_i^n}{2\Delta x} = D * \frac{C_{i+1}^n - 2C_i^n + C_{i-1}^n}{2\Delta x^2}$$

Para resolver el instante 1, el resto de valores de C son conocidos, ya que corresponden al instante inicial. Tenemos una sola incognita. Es un **sistema explícito**

INTRODUCCIÓN A LOS MÉTODOS NUMÉRICOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. **MÉTODOS NUMÉRICOS**
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

En un **sistema explícito**, tenemos que resolver N **ecuaciones independientes**.

En un **sistema implícito** tenemos **ecuaciones acopladas**. Se tiene que realizar un sistema lineal algebraico para resolver el problema.

- Los sistemas explícitos son mas sencillos de programar y resolver que los sistemas implícitos
- Los sistemas explícitos pueden no ser estables y por lo tanto “estallar” en la resolución del problema.
- Los sistemas implícitos no sufren de inestabilidad numérica.

MODELOS NUMÉRICOS DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
- 4. MODELOS DE PROPAGACIÓN**
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Para realizar un modelo numérico de propagación del oleaje hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- La superficie del mar esta compuesta por infinidad de ondas de distinta frecuencia, fase y dirección
- La discretización necesaria para estudiar cada onda puede ser del orden de segundos en el tiempo y centímetros en el espacio
- La escala del área de estudio puede ser del orden de miles de kilómetros y de años

Existen dos posibles aproximaciones al problema:

- Aproximación estadística: Describe la evolución de las características estadísticas de la superficie del mar
- Aproximación determinista: Describe la evolución de la superficie libre del mar.

INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
- 4. MODELOS DE PROPAGACIÓN**
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Las características estadísticas de la superficie del mar varían con escalas temporales de horas y espaciales de kilómetros

Los modelos estadísticos trabajan con promedios de alturas de olas, por lo que no proporcionan información sobre la elevación de la superficie libre en función del tiempo y del espacio y por lo tanto no proporcionan datos sobre la fase del oleaje, necesaria para reproducir algunos fenómenos como la difracción y la reflexión.

Cada aproximación es válida para un tipo de escenario de propagación:

- Para propagaciones **a gran escala**, o donde fenómenos transformación del oleaje no son críticos, se aplican los **modelos estadísticos**. (Escala oceánica, regional o costera)
- Para propagaciones a **escalas locales** y donde se debe analizar en detalle el efecto de estos fenómenos, se utilizan **modelos deterministas** (Escalas costeras y portuarias)

INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
- TRANSFORMACION Y
- DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
- 4. MODELOS DE PROPAGACIÓN**
- FUNCIONAMIENTO DE UN
- MODELO DE OLEAJE
- SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- SISTEMA DE PUERTOS DEL
- ESTADO
- REANALISIS DATOS

Los modelos estadísticos calculan el espectro de densidad de energía de oleaje para cada instante t , en cada punto (x,y) del dominio y para cada frecuencia y dirección: E

Estos modelos obtienen el espectro del oleaje mediante la integración de la ecuación de balance de energía.

En su caso mas sencillo, en aguas profundas, la ecuación de balance energético, sin existencia de términos fuentes o sumidero es:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial z_i} (\dot{z}_i N) = 0$$

Siendo \dot{z} la velocidad de propagación de un grupo de ondas y N el espectro de densidad de transporte de oleaje. $N = \frac{E}{\sigma}$

En el caso de existir términos fuentes o sumidero la ecuación quedaría:

$$\frac{\partial}{\partial t} N + \frac{\partial}{\partial z_i} (\dot{z}_i N) = S_{in} + S_{nl} + S_{dis}$$

INTRODUCCIÓN A LOS MODELOS DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
- 4. MODELOS DE PROPAGACIÓN**
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Si bien estos modelos calculan el espectro de densidad de energía del oleaje para cada instante de tiempo y punto de la malla, la información mostrada normalmente es a partir de los parámetros integrados del oleaje:

- H_{m0}
- T_{m01}
- T_{m02}
- T_p
- θ_m

$$m_n = \int_0^{\infty} f^n E(f) df$$

$$H_{m0} = 4\sqrt{m_0}$$

$$T_{m01} = \frac{m_0}{m_1}$$

$$T_{m02} = \sqrt{\frac{m_0}{m_2}}$$

MODELO ESPECTRAL DE OLEAJE WAM

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
- TRANSFORMACION Y
- DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. **MODELOS DE PROPAGACION**
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Los primeros modelos numéricos de oleaje se desarrollaron en las décadas de los años 60 y 70. Estos modelos no tenían en cuenta la transferencia no lineal de energía entre componentes del oleaje.

La segunda generación de modelos, de la década de los años 70, intentó solucionar esta carencia, pero requerían una parametrización previa del espectro del oleaje tipo SEA para poder parametrizar esta transferencia no lineal.

En 1984, Klaus Hasselman propone crear el grupo de trabajo WAM para desarrollar un modelo de tercera generación de oleaje sin asumir ninguna parametrización previa del espectro.

Dentro de los objetivos del grupo figuraba la instalación del modelo en el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF, Reading, UK). Actualmente es el modelo utilizado

MODELO ESPECTRAL DE OLEAJE WAM

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
- 4. MODELOS DE PROPAGACIÓN**
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

El modelo WAM es un modelo de propagación de oleaje de tercera generación, que integra la ecuación de transporte que describe la evolución de un espectro bidimensional de energía de oleaje en coordenadas esféricas, con respecto a la frecuencia y dirección.

$$\frac{\partial F}{\partial t} + (\cos \phi)^{-1} \frac{\partial}{\partial \phi} (\dot{\varphi} \cos \phi F) + \frac{\partial}{\partial \lambda} (\dot{\lambda} F) + \frac{\partial}{\partial \theta} (\dot{\theta} F) = S$$

Para la modelización numérica se aplica un esquema de primer orden:

$$F_j^{n+1} = F_j^n - \sum_k \frac{\Delta t}{\Delta x_k \cos \theta_j} \left[(u \cos \phi F^n)_j - (u \cos \phi F^n)_{k-} \right]$$

Donde el índice n es el paso temporal y el termino k- es el nodo vecino en el sentido “upwind”.

MODELO ESPECTRAL DE OLEAJE WAM

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
- 4. MODELOS DE PROPAGACIÓN**
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Los términos fuente (o sumidero) para el caso de aguas profundas describen la transmisión de energía por viento (S_{in}), la transferencia no lineal de energía entre componentes del oleaje (S_{nl}) y la disipación de energía (S_{ds})

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

En el modelo numérico se integran por diferencias finitas usando un esquema implícito de segundo orden definido por

$$F_{n+1} = F_n + \frac{\Delta t}{2} (S_{n+1} + S_n)$$

MODELO ESPECTRAL DE OLEAJE WAM

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
- 4. MODELOS DE PROPAGACION**
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Si el modelo se utiliza en aguas someras, es necesario incluir y modificaciones en el cálculo de las interacciones no lineales y disipación de energía, teniendo en cuenta la interacción con el fondo marino.

Además, la ecuación tiene que tener en cuenta la refracción del oleaje por la pendiente del fondo marino.

Este modelo, en la versión de Puertos del Estado, tiene dos tipos de limitaciones:

- Numéricas:
 - Esquema numérico de primer orden → Riesgo de inestabilidad numérica si no se define bien la discretización.
- Físicas:
 - Modelo no formulado en términos de densidad de transporte
 - Ausencia de mecanismo de rotura del oleaje por fondo
 - Ausencia del mecanismo de interacción no lineal por “triadas”

OTROS MODELOS ESPECTRALES DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
- 4. MODELOS DE PROPAGACIÓN**
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Existe otro modelo de tercera generación que se desarrolló especialmente para la interacción oleaje – corrientes: WAVEWATCH III

Está formulado en términos de densidad de transporte:

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial C_x N}{\partial x} + \frac{\partial C_y N}{\partial y} + \frac{\partial C_\sigma N}{\partial \sigma} + \frac{\partial C_\theta N}{\partial \theta} = \frac{S}{\sigma}$$

Este esquema numérico trata por separado la propagación y la refracción, por lo que es mucho más estable numéricamente.

Para zonas costeras, el modelo de tercera generación de referencia es el SWAN. Este modelo incluye la interacción no lineal por “triadas” y rotura inducida por el fondo.

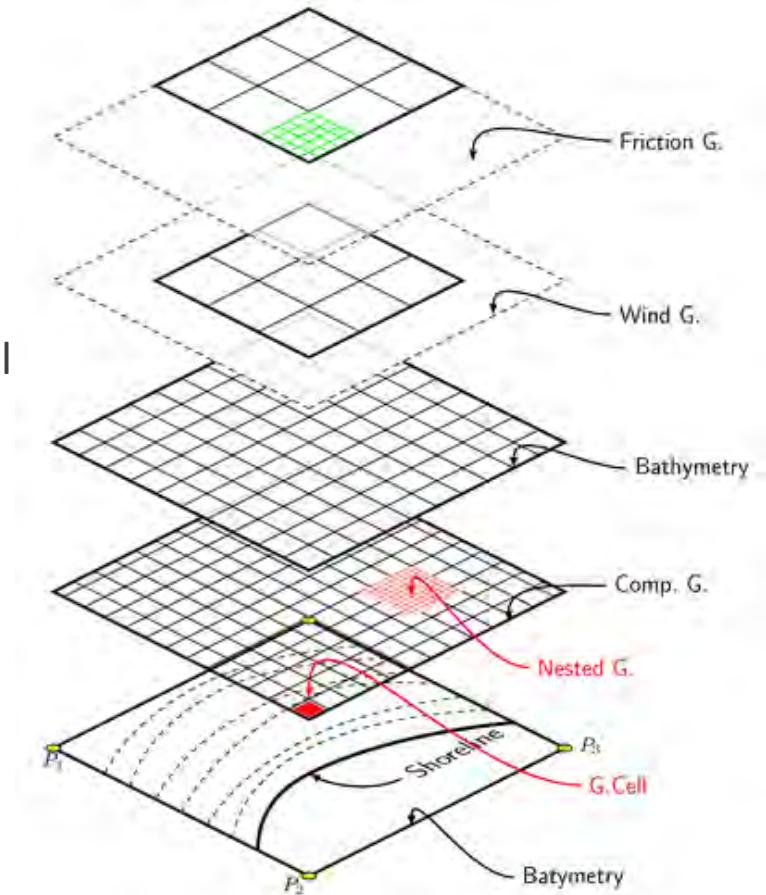
ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE PROPAGACIÓN DEL OLEAJE

DATOS DE ENTRADA DE UN MODELO DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
- 5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

A la hora de configurar un modelo numérico para realizar una propagación de oleaje hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Dimensiones espaciales de la malla
- Dimensiones temporales de la propagación (si la tiene)
- Discretización espacial, temporal, frecuencial y direccional
- Estado inicial del oleaje en la malla
- Fuentes de entrada de energía (viento)
- Condiciones de contorno
- Campos de corrientes
- Batimetría



DATOS DE ENTRADA DE UN MODELO DE OLEAJE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Los parámetros que rigen la definición de la malla computacional están intrínsecamente ligados unos a otros.

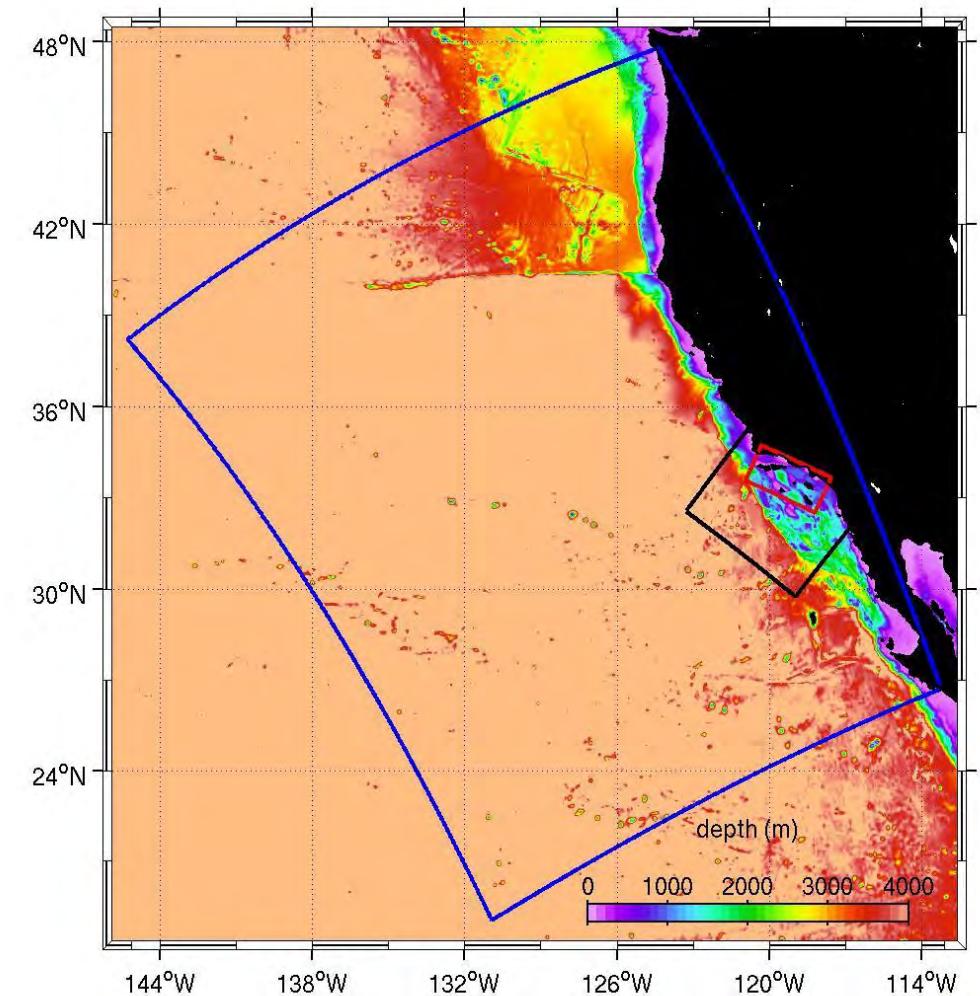
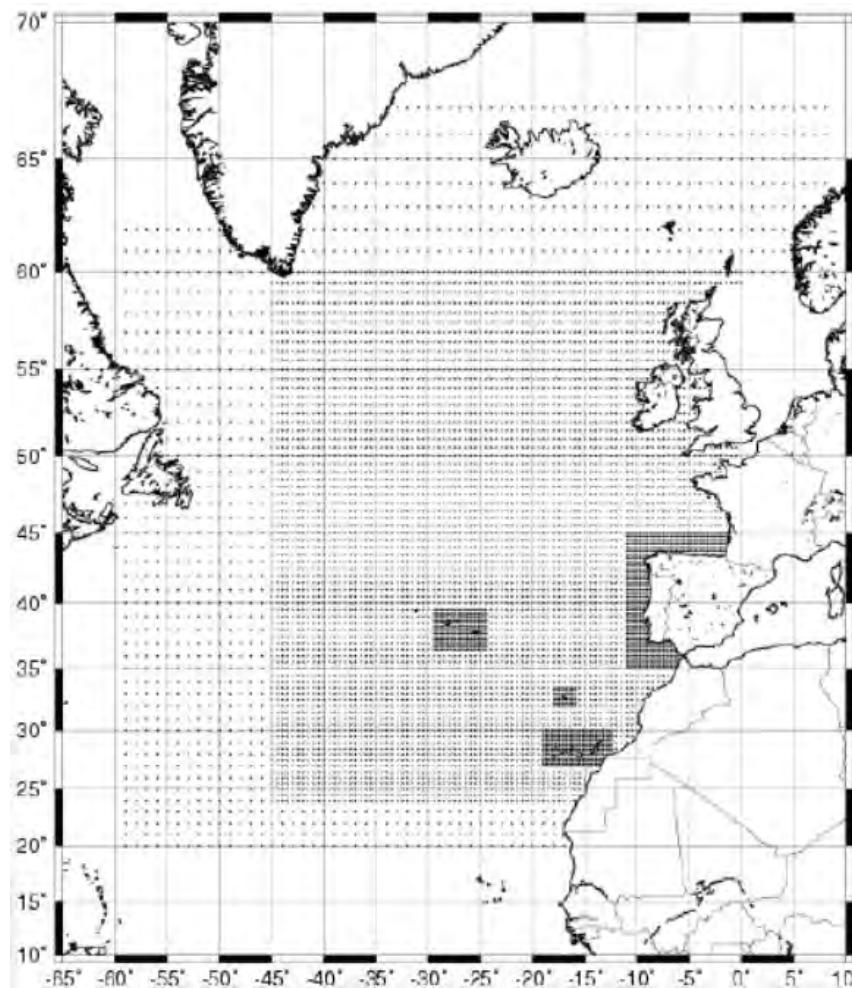
- Una zona de estudio muy amplia requiere una discretización espacial gruesa que no incremente en exceso el coste computacional de la propagación.
- Si el modelo es no-estacionario (hay cambio de instante temporal), es necesario que la discretización temporal permita actualizar la información en los nodos de la malla entre pasos de tiempo.
- La batimetría debe tener una calidad suficiente para la resolución utilizada. Debemos evitar inestabilidades por cambios bruscos en el fondo marino.

Nos encontramos con un dilema: Coste computacional vs Calidad de la propagación

- Generar mallas de discretización variable
- Unir mallas mas finas en zonas donde se requiera.

MALLAS VARIABLES VS MALLAS ANIDADAS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
- 5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS



ESTADO INICIAL DE LA SUPERFICIE DEL MAR

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Si no se introducen unas características iniciales del espectro de oleaje en cada punto de la malla, partiríamos de un mar en calma. En la realidad, siempre existen unas condiciones iniciales distintas de la calma.

Estas condiciones pueden ser simuladas, a partir de un modelado numérico estacionario para el instante inicial, o pueden ser “reales”, obtenidas por otro proceso anterior.

Si el área de estudio no pequeña, en el contorno del dominio es necesario saber el espectro energético que viene propagado desde fuera de la malla.

Los campos de viento a 10m de altura provienen de modelos atmosféricos. Estos pueden ser de predicción o de análisis. Dependiendo del origen, la propagación de oleaje será de predicción o de análisis.

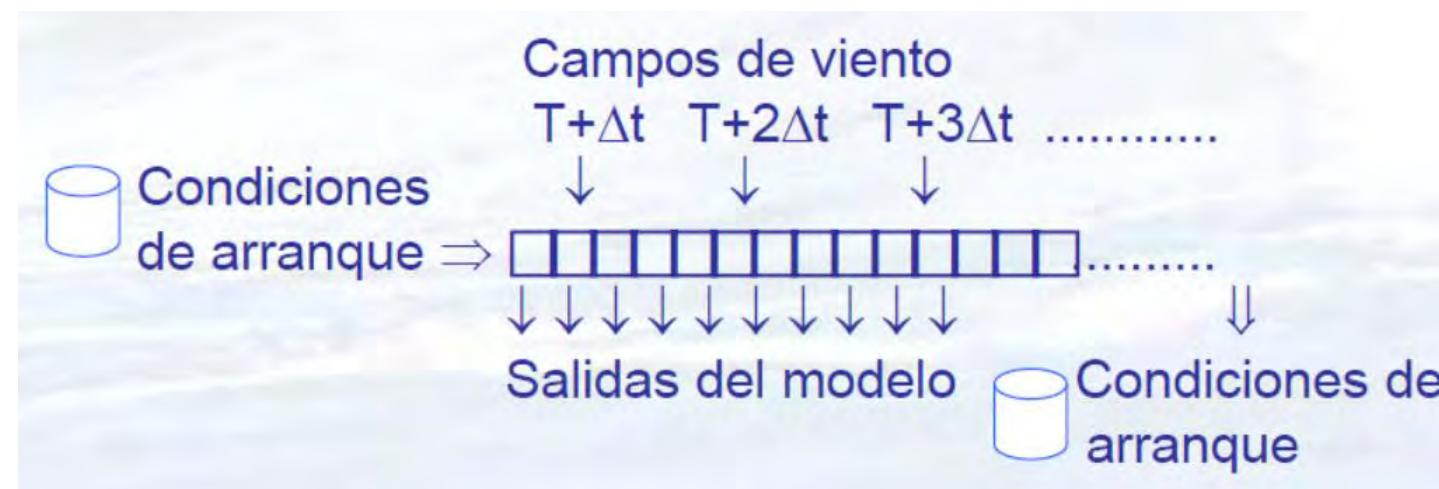
SALIDAS DEL MODELO

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Las salidas que produce un modelo numérico pueden ser:

- Espectro completo del oleaje en un punto de la malla, discretizado en frecuencias y direcciones, para un instante de tiempo dado
- Parámetros integrados del oleaje (H_s , T_p , Dir, etc...) en todos los puntos de la malla para un instante de tiempo dado.

Desde el punto de vista de la escala temporal, el funcionamiento de un modelo de este tipo es el siguiente:



ACOPLAMIENTO DE MODELOS NUMÉRICOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. **FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Acoplamiento de modelos numéricos:

Existen dos tipos de acoplamiento de modelos:

- Acoplamientos de distintos modelos de oleaje
- Acoplamiento de modelos de distintas variables físicas: atmosféricos y de corrientes.

Los acoplamientos pueden ir en un solo sentido o en ambas direcciones.

Los distintos fenómenos físicos están ligados entre si. Existe un flujo de información entre ellos para poder describir correctamente los procesos atmosféricos, de corriente y de oleaje.

- Los modelos de oleaje dan información de la rugosidad de la superficie del mar a los modelos atmosféricos para que estos puedan calcular correctamente el perfil de viento en la capa límite, que a su vez influye en la superficie libre del mar.
- El oleaje se ve afectado por las corrientes, que provocan refracción en la dirección el mismo y modifican el momento del oleaje. A su vez el oleaje altera las velocidades de la corriente y el comportamiento de las mismas.

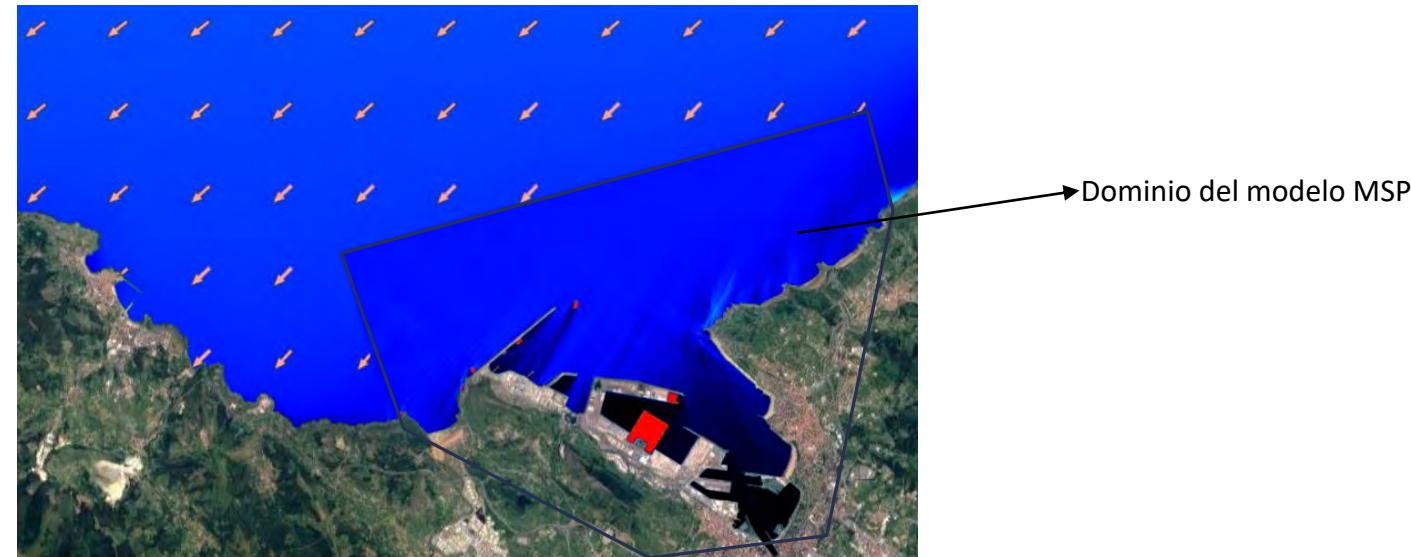
ACOPLAMIENTO DE MODELOS NUMÉRICOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
- TRANSFORMACION Y
- DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. **FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

El acoplamiento de distintos modelos de oleaje se utiliza para solventar las deficiencias y carencias que tienen los modelos estadísticos con respecto a los modelos deterministas en aguas someras.

Los modelos deterministas obtienen de los modelos espectrales las condiciones de contorno necesarias para realizar las propagaciones de oleaje locales.

Un ejemplo práctico es el caso de acoplamiento de un modelo de agitación portuaria (MSP o Boussinesq) con un modelo espectral.



ESQUEMA DE ACOPLAMIENTO DE UN MODELO MSP

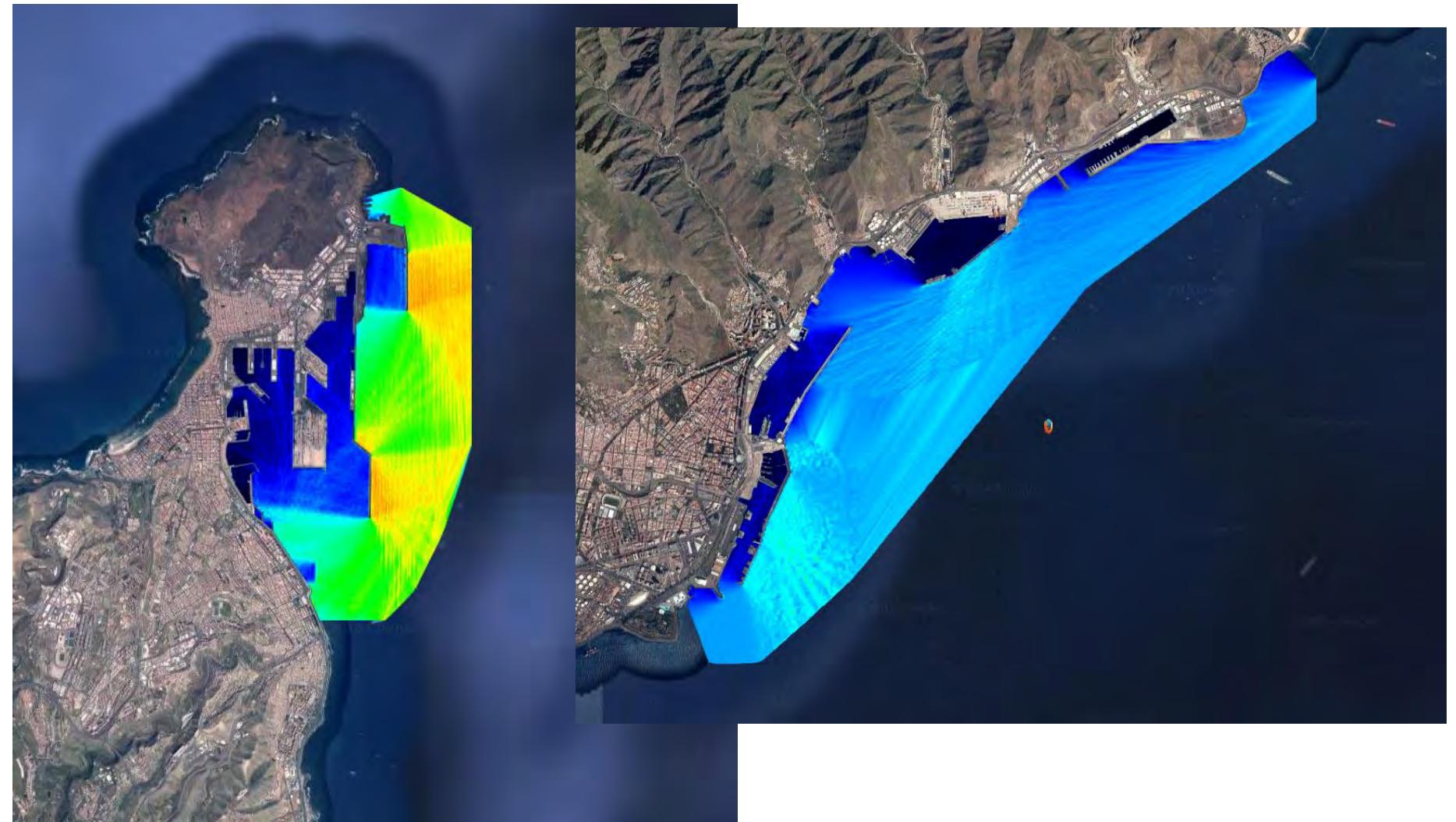
1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. **FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

La aproximación realizada por Puertos del Estado es la siguiente:

- Se genera un catálogo de propagaciones monocromáticas de altura de ola unidad para un conjunto de direcciones y periodos previamente establecido dependiendo del clima marítimo de la zona de estudio.
- Se seleccionan unos puntos de control en el contorno del modelo MSP, y se almacena la información del espectro de oleaje proveniente del modelo costero.
- Cada uno de estos puntos alimenta al modelo con su información espectral. De manera simplificada, supondremos que existe un único punto espectral.
- El espectro de energía del oleaje se puede discretizar en las distintas frecuencias y direcciones existentes en el catalogo, y obtener para cada una de estas divisiones, la altura de ola significante que le correspondería
- Multiplicando las distintas alturas de ola por el resultado del catalogo y superponiendo la totalidad del catálogo, se obtiene la altura de ola significante en cada punto de la malla del modelo MSP. (Agitación portuaria)

RESULTADO DE UN MODELO MSP

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
- 5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS MODELOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. **FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

La forma de comprobar la calidad de los resultados proporcionados por un modelo es compararlos con datos reales.

Para cuantificar los errores recurrimos a estimadores estadísticos: correlación, sesgo, desviación típica...

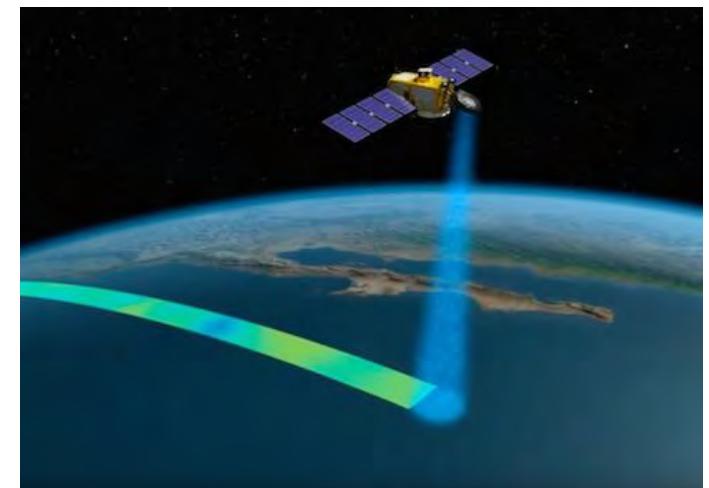
Además, es necesario realizar una inspección visual y subjetiva de las series temporales de los registros para derivar conclusiones que a veces no son evidentes mediante la estadística. Por ejemplo: Subestimación sistemática de los picos que afecta solo a ciertas condiciones.

VERIFICACION DE LOS RESULTADOS DE LOS MODELOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Existen múltiples sistemas para medir el oleaje:

- El sistema mas utilizado consiste en acelerómetros montados en boyas oceanográficas. Nos puede proporcionar espectros no direccionales o direccionales del oleaje dependiendo de las variables registradas. Las boyas se suelen instalar en puntos cercanos a la costa y son escasos
- Otro sistema empleado para medir el oleaje es a través de satélites. Estos permiten medir la altura del oleaje con un margen de error del 10%. Es una fuente fiable para obtener lecturas en mar abierto.
- Hay otros métodos, como usar instrumentación tipo ADCP, mareógrafos (para agitación portuaria), ...



VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS MODELOS



VERIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS MODELOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
- 5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



VERIFICACION DE LOS RESULTADOS DE LOS MODELOS

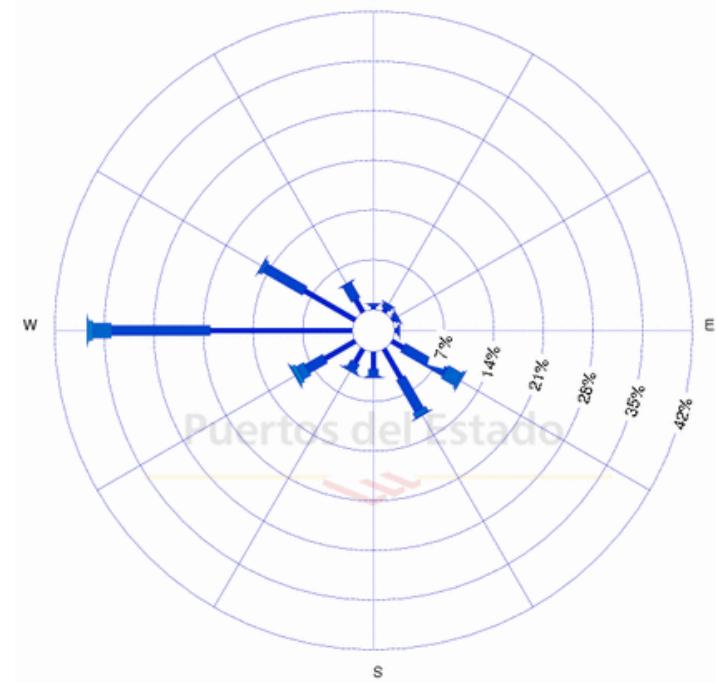
LUGAR/LOCATION: Boya Cadiz
 PERIODO/PERIOD: 2003-2015
 EFICACIA/EFFIC.: 86.61 %

MUESTREO/SAMPLING:
 INTERVALO/INTERVAL:
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 0.06 %

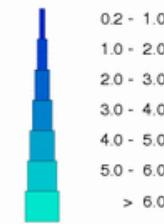
1Hor.

Global

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
- 5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE**
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



Altura significativa/ Significant height ((m))

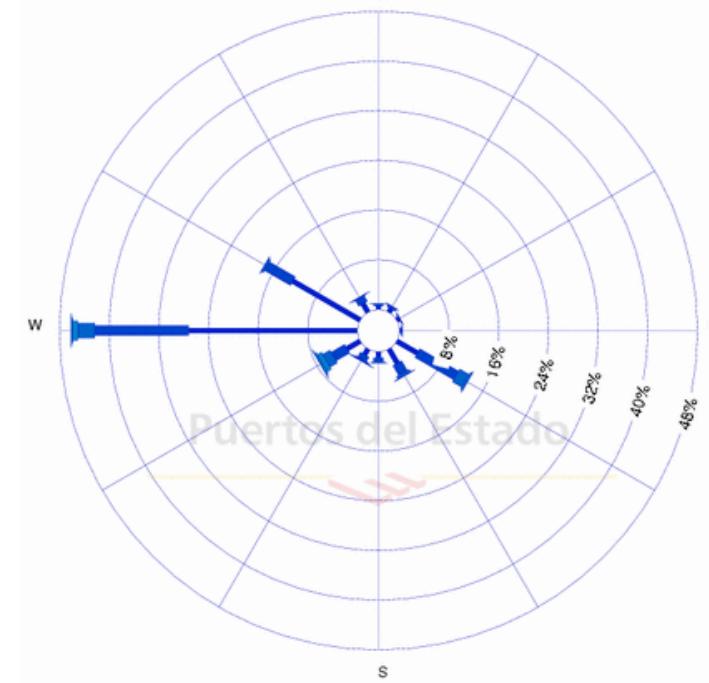


LUGAR/LOCATION: SIMAR 1052046
 PERIODO/PERIOD: 1996-2015
 EFICACIA/EFFIC.: 98.98 %

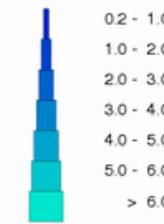
MUESTREO/SAMPLING:
 INTERVALO/INTERVAL:
 CALMAS/CALMS,<0.2 (m) : 1.14 %

1Hor.

Global



Altura significativa/ Significant height ((m))



1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

En la verificación de los modelos hay que tener en cuenta que existe una incertidumbre asociada a distintos errores:

- Error en la medición por parte del instrumento
- Error estadístico: Los registros de oleaje tienen una variabilidad entre el 5% y el 10% respecto a la altura de ola
- Error de comparación: Las lecturas de la naturaleza y modelos no son coincidentes en el tiempo y el espacio. Hay un error intrínseco debido a esta diferencia espacial y temporal
- Error de forzamiento: Los modelos están forzados por campos de viento modelados numéricamente, por lo que no hay una correlación exacta con los vientos reales

SISTEMAS DE PREDICCIÓN DE OLEAJE

HISTORIA DE LOS SISTEMAS DE PREDICCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

- Tradicionalmente se han efectuado predicciones manuales de oleaje a partir de las cartas de viento previsto en superficie. Este método es muy subjetivo y poco fiable
- Durante la Segunda Guerra Mundial, para asegurar las operaciones de desembarco, creció el interés por desarrollar sistemas fiables de predicción de oleaje
- El desarrollo de los modelos de generación de oleaje permitió el desarrollo de sistemas de predicción de oleaje basados en los mismos
- Actualmente existen multitud de sistemas de predicción, globales y locales, operados por instituciones públicas y privadas
- Los beneficios de la predicción de oleaje son bien conocidos en áreas como la ingeniería de costas, navegación, salvamento marítimo e incluso en el ocio (surf)
- La acumulación de la información producida permite efectuar estudios detallados de clima marítimo en zonas donde no hay registros instrumentales disponibles.

ESQUEMA BÁSICO DE UN SISTEMA DE PREDICCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
- 6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN**
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Una predicción consiste en simular la evolución de un fenómeno físico desde el presente hacia el futuro

Para realizar la simulación se utilizan:

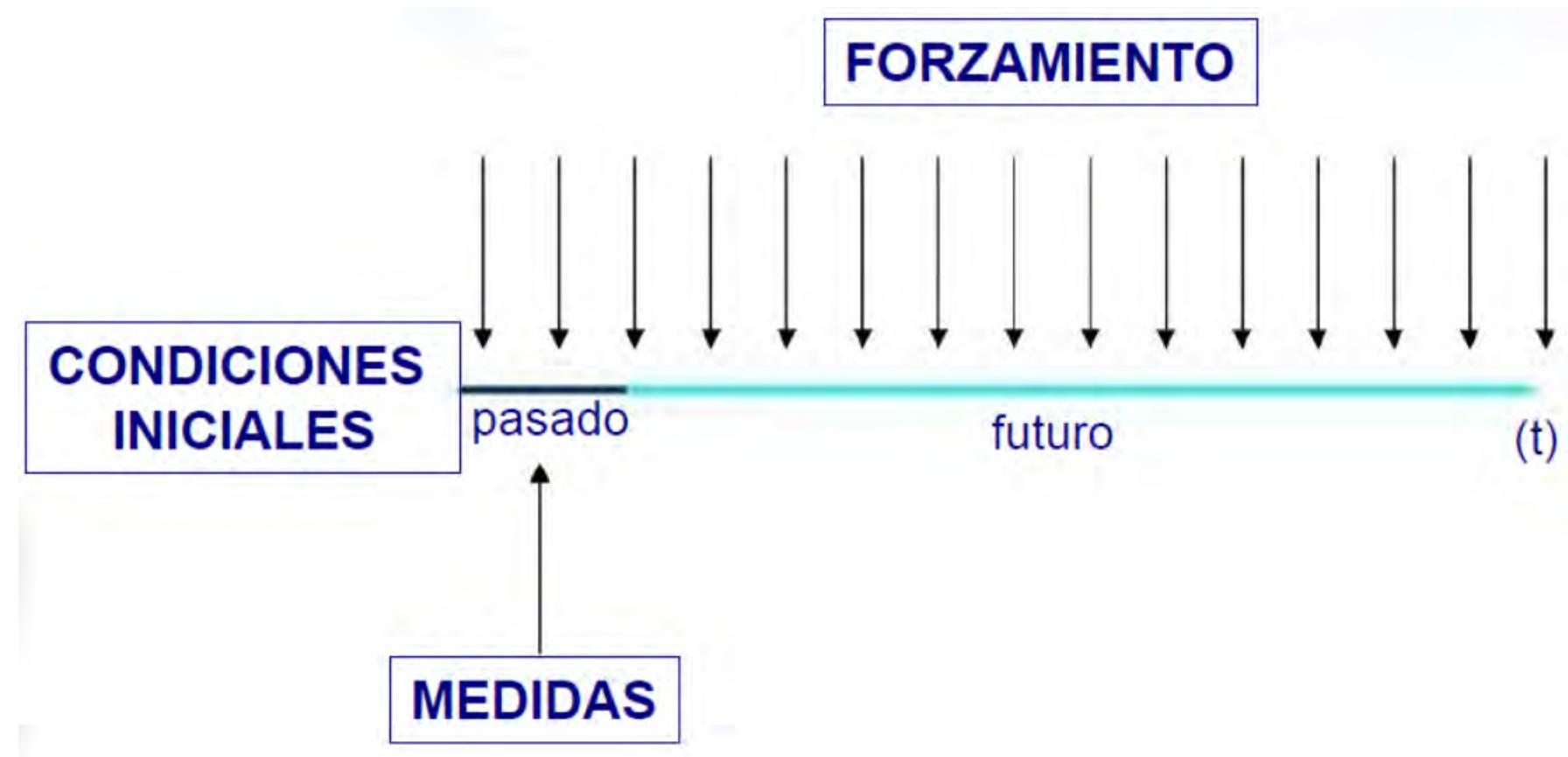
- Modelos numéricos que resuelven las ecuaciones que rigen el fenómeno
- Predicción del forzamiento que genera y modifica el fenómeno.

En cada ciclo de predicción:

- Se parten de unas condiciones iniciales
- Se simula un periodo ya pasado para corregir con medidas reales
- Se simula un periodo futuro. (horizonte de predicción)

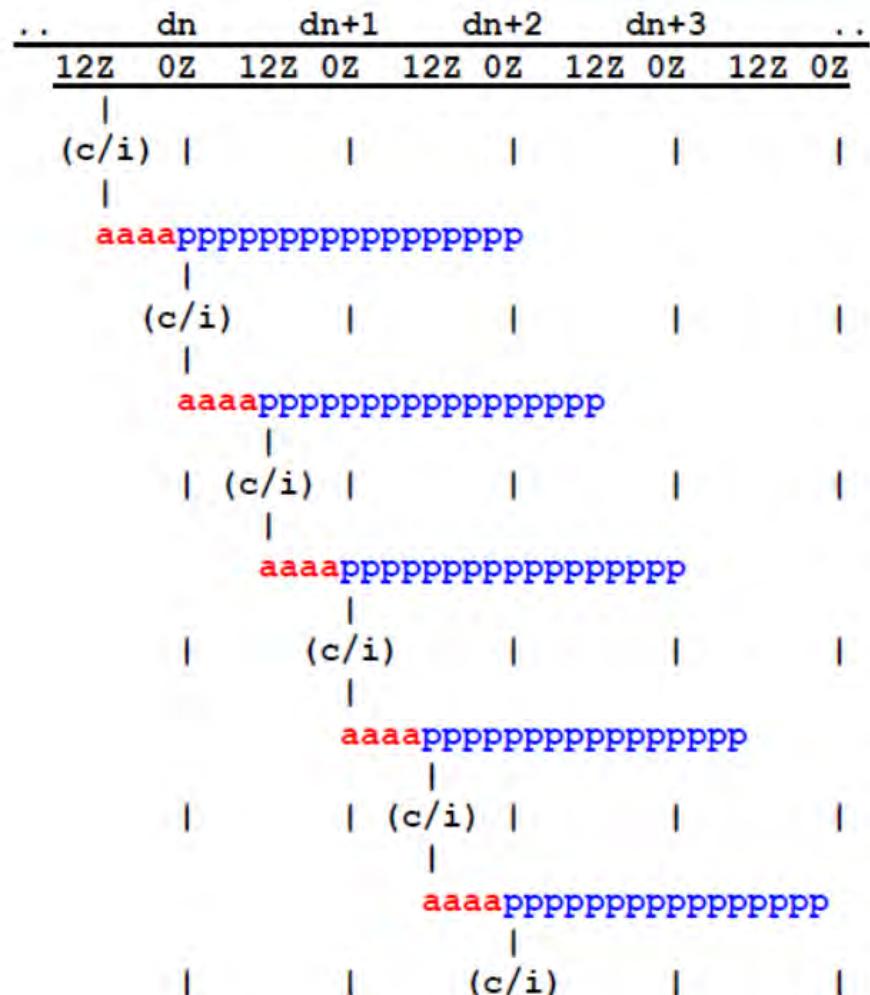
ESQUEMA TEMPORAL DE UN SISTEMA DE PREDICCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

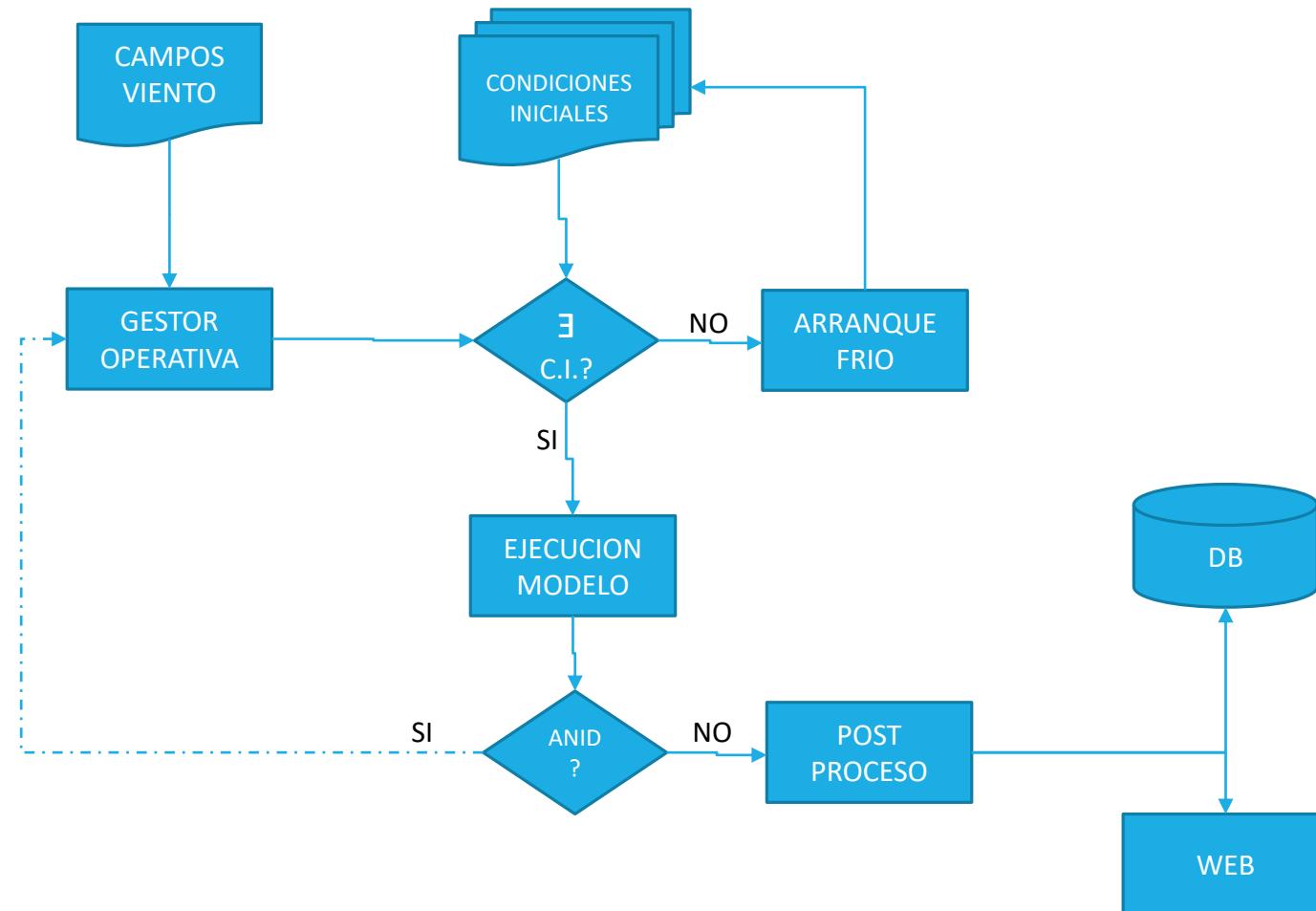


ESQUEMA TEMPORAL DE UN SISTEMA DE PREDICCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
- 6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN**
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS



ESQUEMA GENERALIZADO DE UNA OPERATIVA



REQUISITOS DE UN SISTEMA DE PREDICCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. **SISTEMAS DE PREDICCIÓN**
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Un sistema de predicción de oleaje depende de la existencia de un sistema de predicción meteorológica que proporcione los campos de viento analizados y previstos.

Es un sistema informático complejo, donde tienen que existir herramientas de control del flujo de ejecución, sistemas de alarmas y comunicaciones con otros sistemas y gestión del modelo numérico.

Pueden estar formados por una o múltiples aplicaciones de modelos, que interactúen entre sí o que sean independientes.

Para garantizar la calidad del sistema, es necesario contar con datos en tiempo real o diferido que permitan verificar los resultados y si el sistema lo permite, la asimilación de los mismos.

CARACTERÍSTICAS DE UN SISTEMA DE PREDICCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
- 6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN**
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Los modelos atmosféricos globales pueden integrar hasta un horizonte entre 5 y 10 días, y los modelos de área limitada, de mayor resolución, entre 48 y 72 horas.

El horizonte de predicción de un modelo de oleaje esta únicamente limitado por el horizonte de los campos de viento

Durante un ciclo de predicción, el modelo reanaliza el periodo pasado desde la última ejecución hasta la hora actual de inicio de predicción.

Si el modelo esta preparado para ello, durante este periodo de análisis, se pueden asimilar datos reales de oleaje para corregir los campos generados por el modelo, de manera que el inicio de la predicción sea lo mas parecido a la realidad posible.

SISTEMA DE PREDICCIÓN DE PUERTOS DEL ESTADO

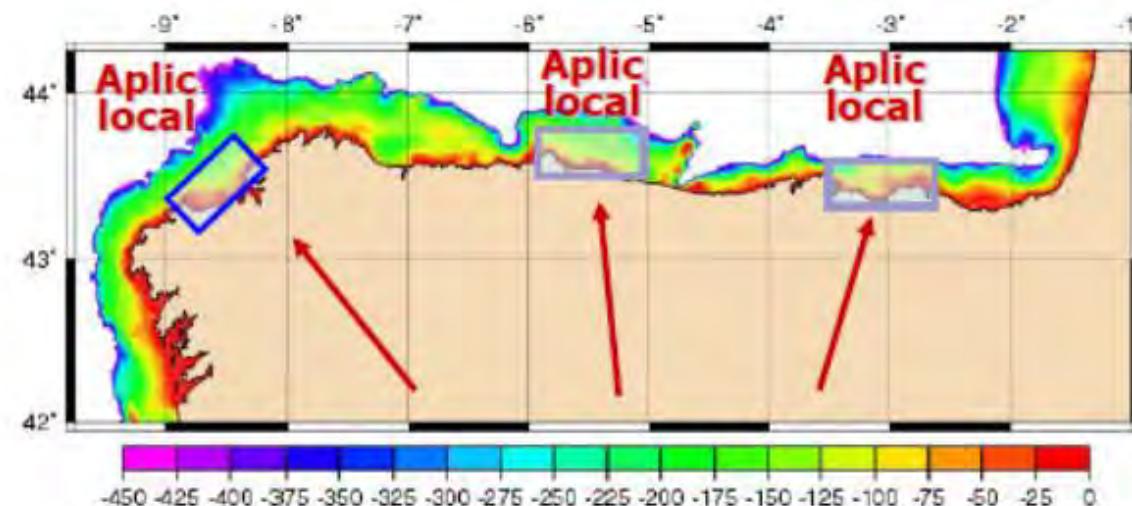
ESTRUCTURA DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
- TRANSFORMACION Y
- DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
- MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

El sistema de predicción de puertos del estado esta dividida en dos grandes bloques:

- Sistema de escala oceánica: Es un sistema de predicción conjunta de Puertos del Estado y AEMET
- Sistema de escala local: Sistemas de predicción de oleaje de escala costera y portuaria orientadas a las Autoridades Portuarias.

Ambos sistemas están anidados, de manera que la información obtenida por el modelo de escala oceánica se utiliza en los contornos de los modelos locales, permitiendo la transferencia de energía de escala oceánica al ámbito portuario.



SISTEMA DE ESCALA OCEANICA

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. **SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

El Sistema de escala oceánica PdE/AEMET:

- Fue desarrollado por Puertos del Estado
- Esta operativo en PdE desde 1995
- Operativo en AEMET desde 2002
- Basado en el modelo WAM de oleaje
- Forzamientos de campos de viento del modelo HIRLAM de AEMET
- Se ejecutan 2 ciclos diarios con horizonte de predicción de 72h
- Salida grafica consistente en mapas, tablas y series temporales
- Verificación en tiempo real
- Base de datos oceanográficos: Puntos WANA
- Accesible a todo el mundo en : www.puertos.es

SISTEMA DE ESCALA COSTERA Y PORTUARIA

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

Sistema de Predicción de Oleaje de escala local de Puertos del Estado:

- Modelo de oleaje SWAN
- Campos de viento procedentes del modelo HIRLAM de AEMET
- Horizonte de predicción de 72 horas
- Dos ciclos diarios
- Áreas de unos 25x25 km centrados en un puerto con una resolución espacial entre 200 y 500m
- Sistemas de alerta basados en umbrales de peligrosidad definidos por la autoridad portuaria
- Algunos puertos incluyen módulos de agitación en el interior del puerto

SISTEMA DE ALERTAS POR E-MAIL

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
- TRANSFORMACION Y
- DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
- MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

De oleaje@puertos.es 

Asunto 2016101200 Alerta de Oleaje en Pantalan Repsol con [Hs>=1.5m] 24h

A mí 

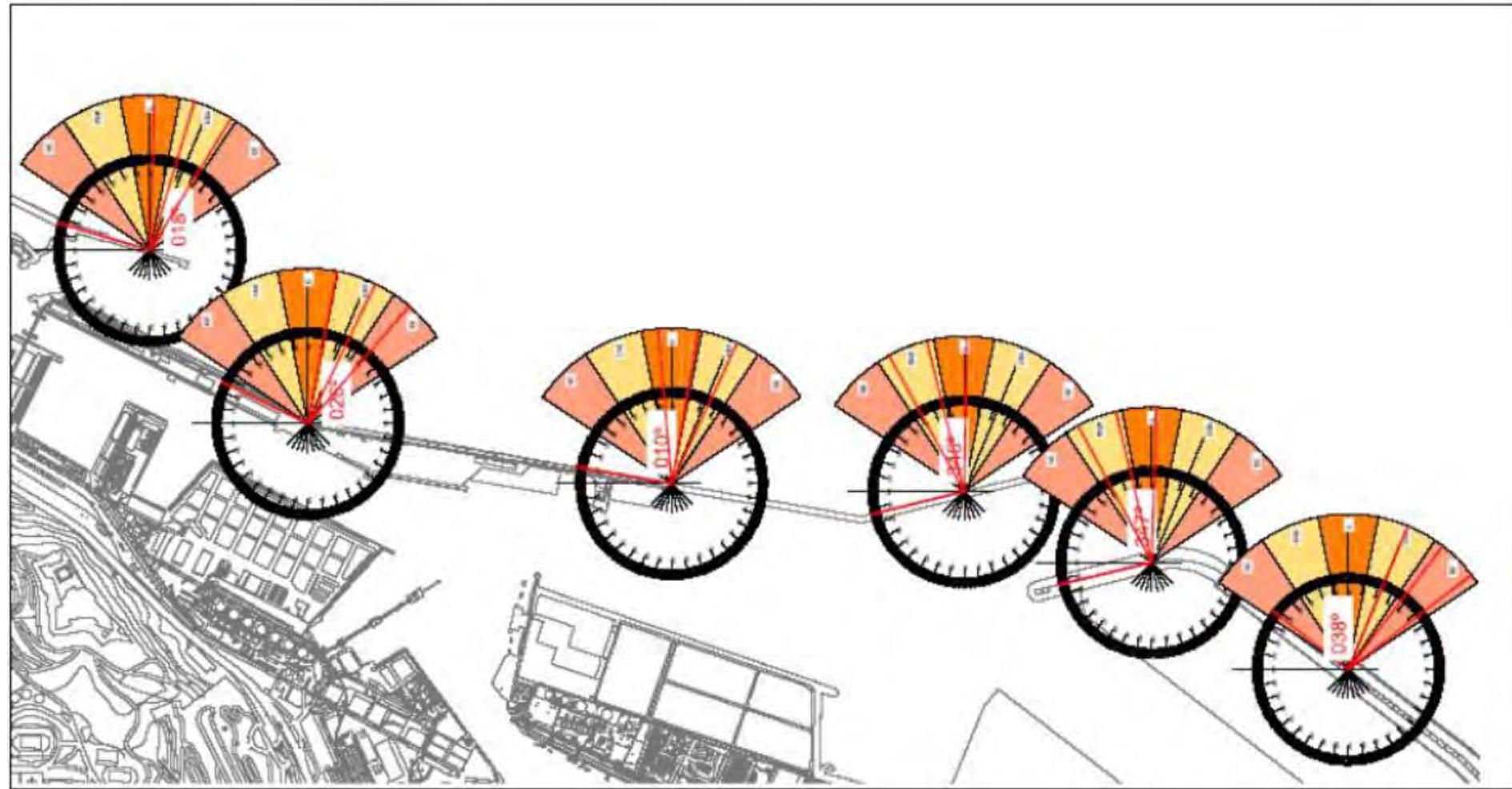
 Responder |  Reenviar |  Archivar |  No deseado | 

- Valores obtenidos del punto de malla situado en 41.078 N 1.208 E

Fecha	Hora UTC																								
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
12/10/2016	0.80	0.79	0.78	0.76	0.73	0.69	0.65	0.62	0.61	0.64	0.68	0.79	0.92	1.08	1.21	1.32	1.46	1.65	1.74	1.62	1.45	1.42	1.40	1.35	
Hs (m)	0.80	0.79	0.78	0.76	0.73	0.69	0.65	0.62	0.61	0.64	0.68	0.79	0.92	1.08	1.21	1.32	1.46	1.65	1.74	1.62	1.45	1.42	1.40	1.35	
Tp (s)	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	4.3	3.9	4.3	4.3	4.7	4.7	5.2	5.2	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	5.7	
DIR (°)	122.40	123.50	124.20	124.80	125.80	127.10	128.50	129.10	129.10	127.00	125.30	124.50	123.80	124.50	124.80	125.40	124.50	123.00	123.50	125.50	130.60	140.40	148.60	153.00	
Vv (m/s)	6.26	6.16	6.26	5.98	5.56	4.87	4.52	4.52	5.13	6.47	6.62	7.87	8.77	9.72	10.09	10.48	11.53	13.04	11.88	9.46	7.39	8.20	6.26	4.55	
Fecha	Hora UTC																								
13/10/2016	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	
Hs (m)	1.29	1.23	1.17	1.14	1.11	1.08	1.05	1.02	0.98	0.94	0.91	0.88	0.87	0.86	0.87	0.91	0.96	1.02	1.08	1.12	1.14	1.15	1.13	1.11	
Tp (s)	5.7	5.7	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.3	6.9	7.6	8.4	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	9.2	
DIR (°)	154.10	153.50	152.50	151.30	150.00	148.80	147.70	147.20	146.90	146.50	145.80	144.60	142.90	140.50	137.50	134.10	130.90	128.30	126.30	124.90	123.90	123.10	122.40	121.80	
Vv (m/s)	1.70	0.74	1.89	2.69	2.95	2.68	2.77	1.80	1.79	2.37	1.67	0.64	1.23	2.14	2.15	2.26	2.44	1.98	2.01	1.44	1.82	1.78	1.71	1.79	

SISTEMA DE DETECCIÓN DE REBASE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



SISTEMA DE DETECCIÓN DE REBASE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



SISTEMA DE DETECCIÓN DE REBASE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
- TRANSFORMACION Y
- DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
- MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

Se han considerado dos formulaciones de rebase:

Franco et al para los tramos de dique vertical:

$$q = \sqrt{gH_{m0}} * 0.082 * \exp\left(-\frac{\frac{3R_c}{H_{m0}}}{g_b g_s}\right)$$

Eurotop 2007 para los tramos en talud

$$q = \sqrt{gH_{m0}} * 0.2 * \exp\left(-\frac{\frac{2.3R_c}{H_{m0}}}{\gamma_f}\right)$$

Donde:

g es la gravedad

H_{m0} es la altura de ola significante proyectada

R_c es el francobordo corregido con el nivel del mar y el asiento

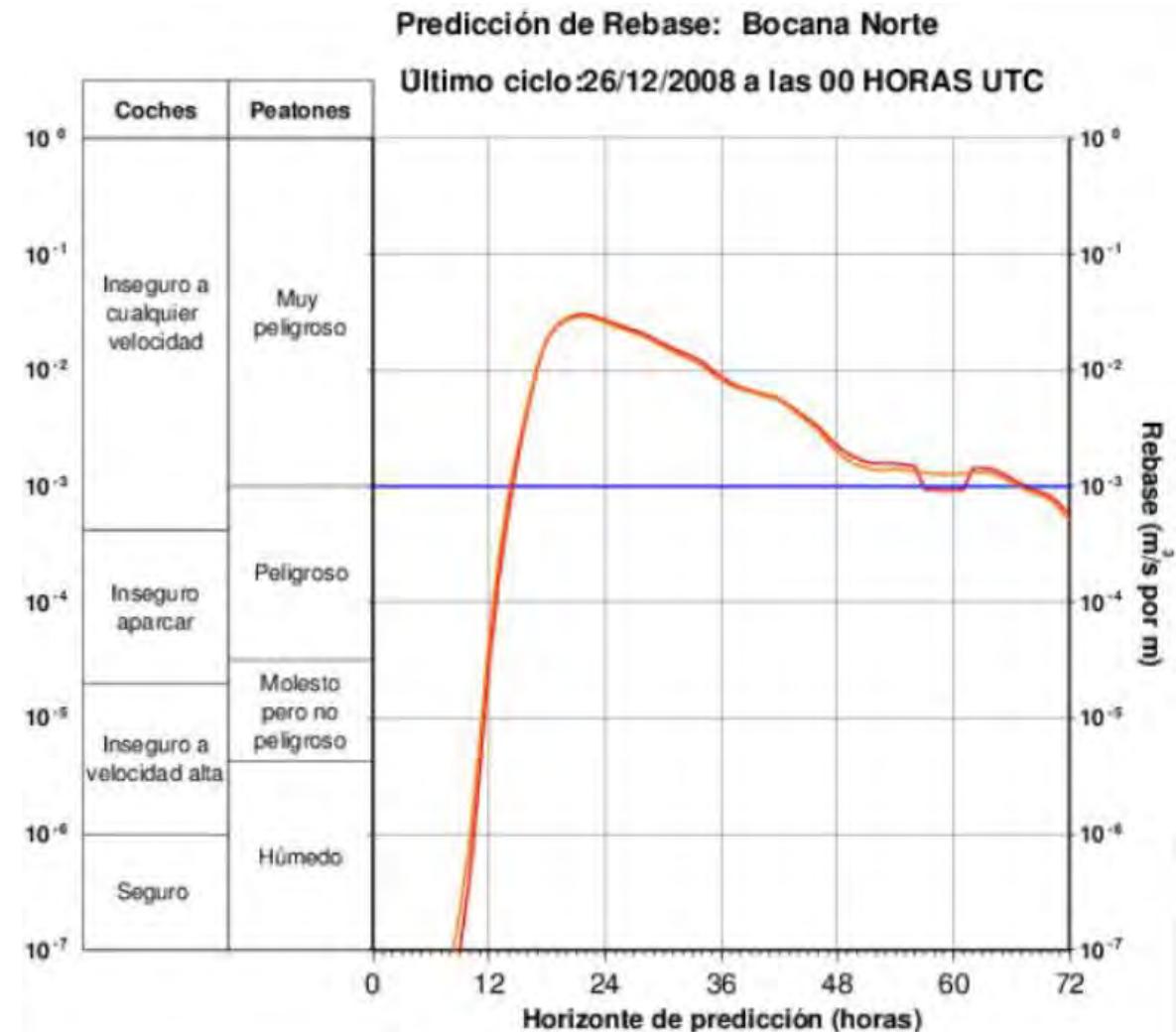
$g_b = 1$

$g_s = 1$

$\gamma_f = 0.6$

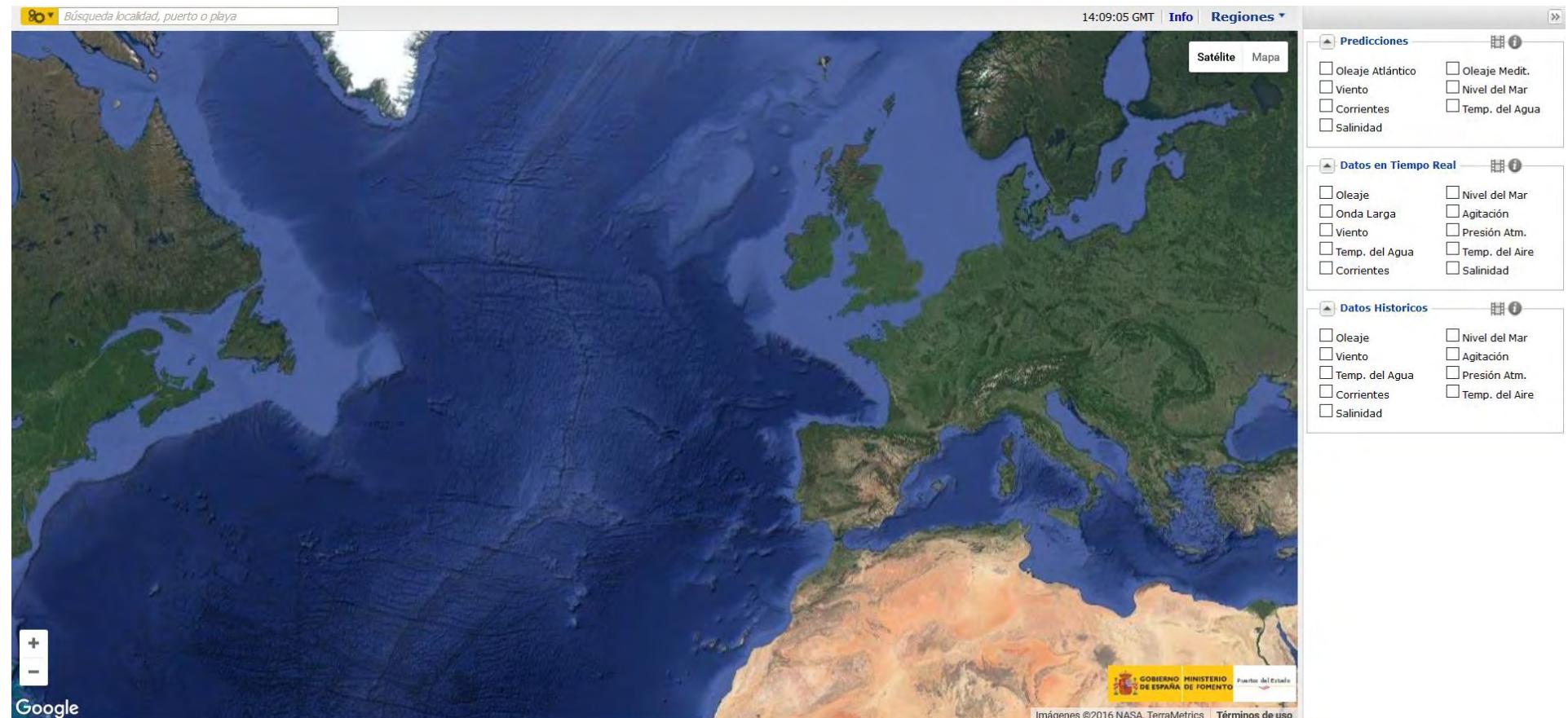
SISTEMA DE DETECCIÓN DE REBASE

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



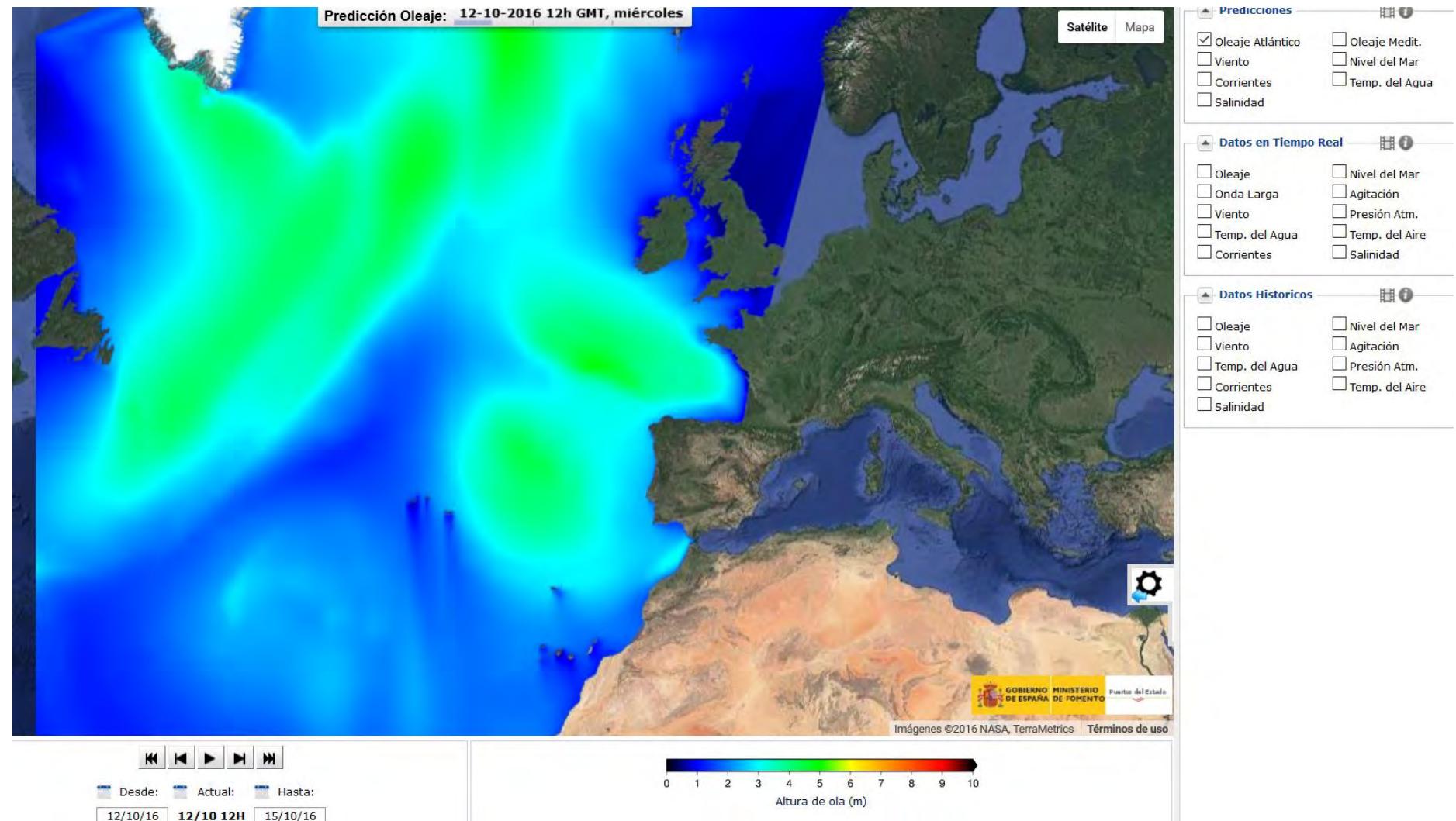
APLICACIÓN PORTUS: ACCESO A LA PREDICCIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



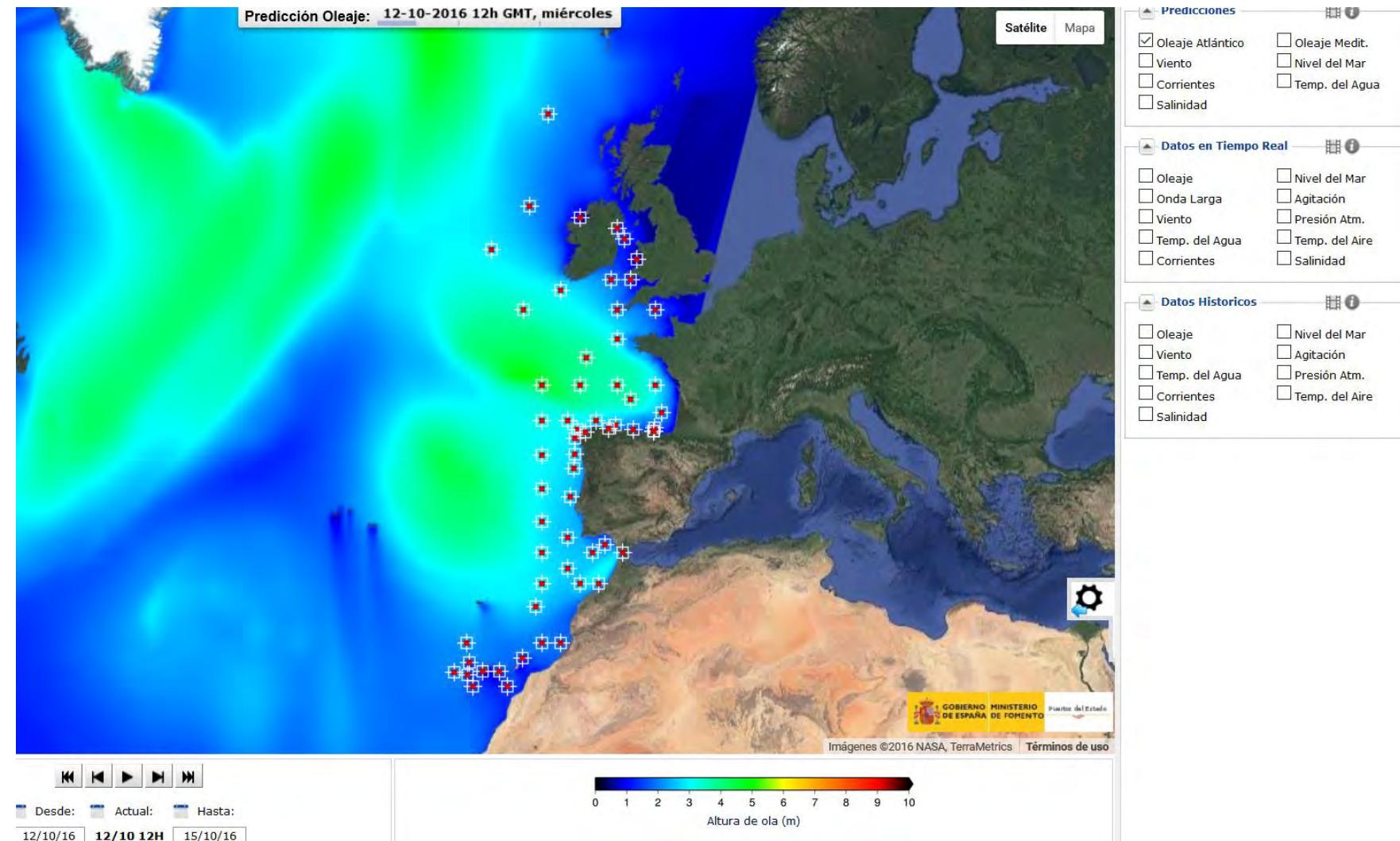
REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA PROPAGACIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



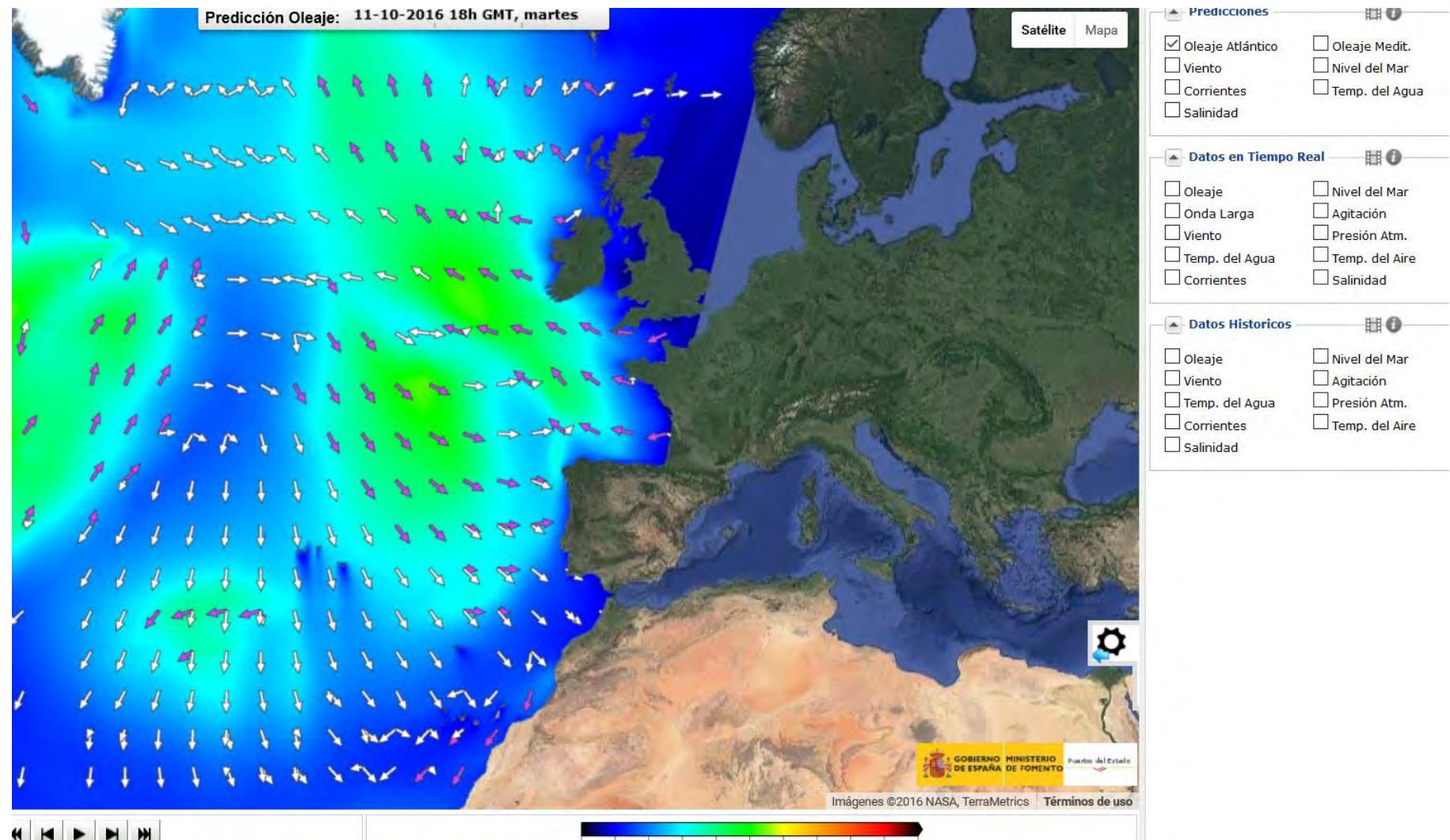
UBICACIÓN DE PUNTOS WANA CON SERIES TEMPORALES

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



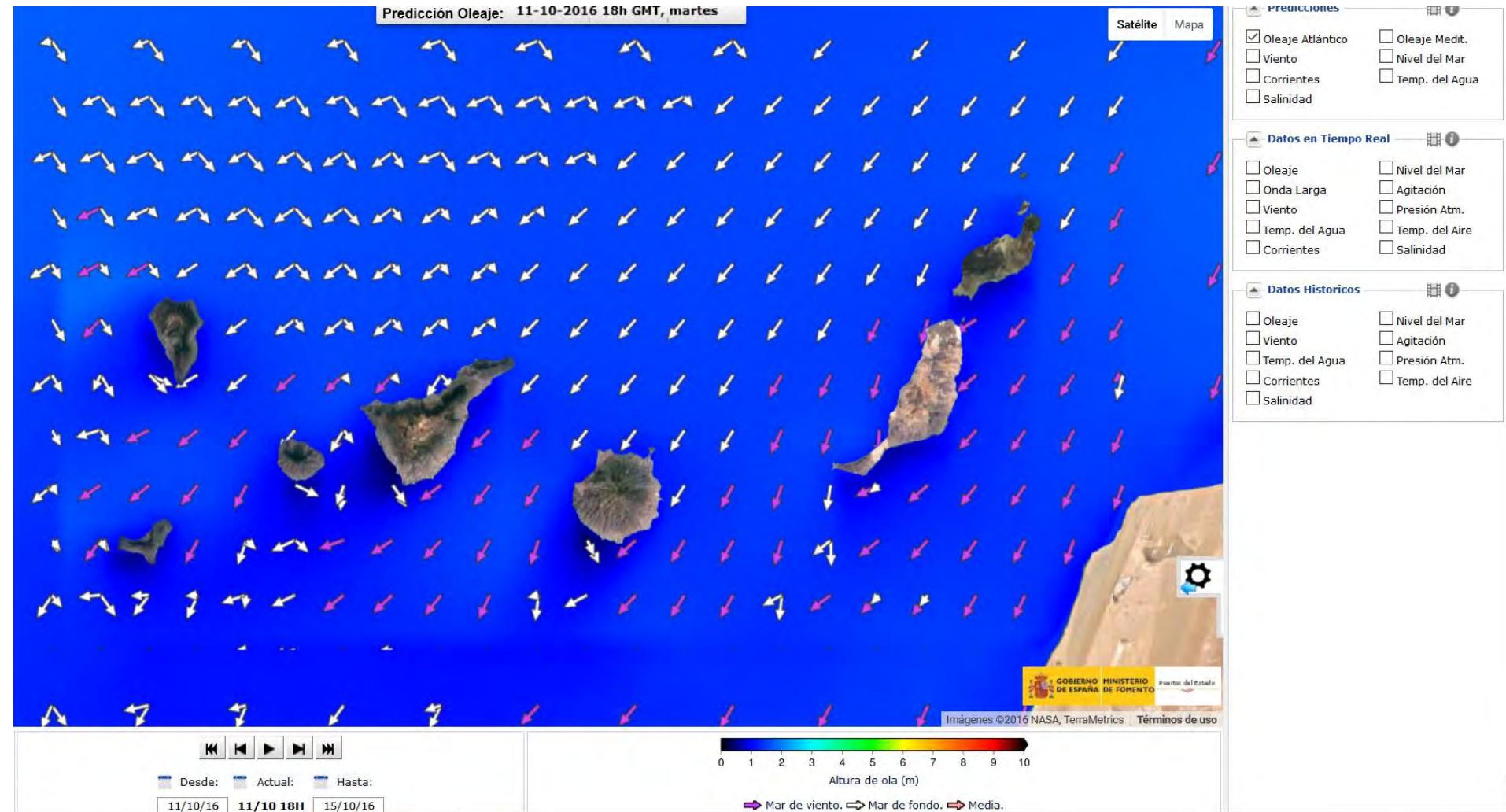
REPRESENTACIÓN DE LAS PARTICIONES ESPECTRALES

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
 2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
 3. METODOS NUMERICOS
 4. MODELOS DE PROPAGACION
 5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
 6. SISTEMAS DE PREDICCION
 - 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
 8. REANALISIS DATOS



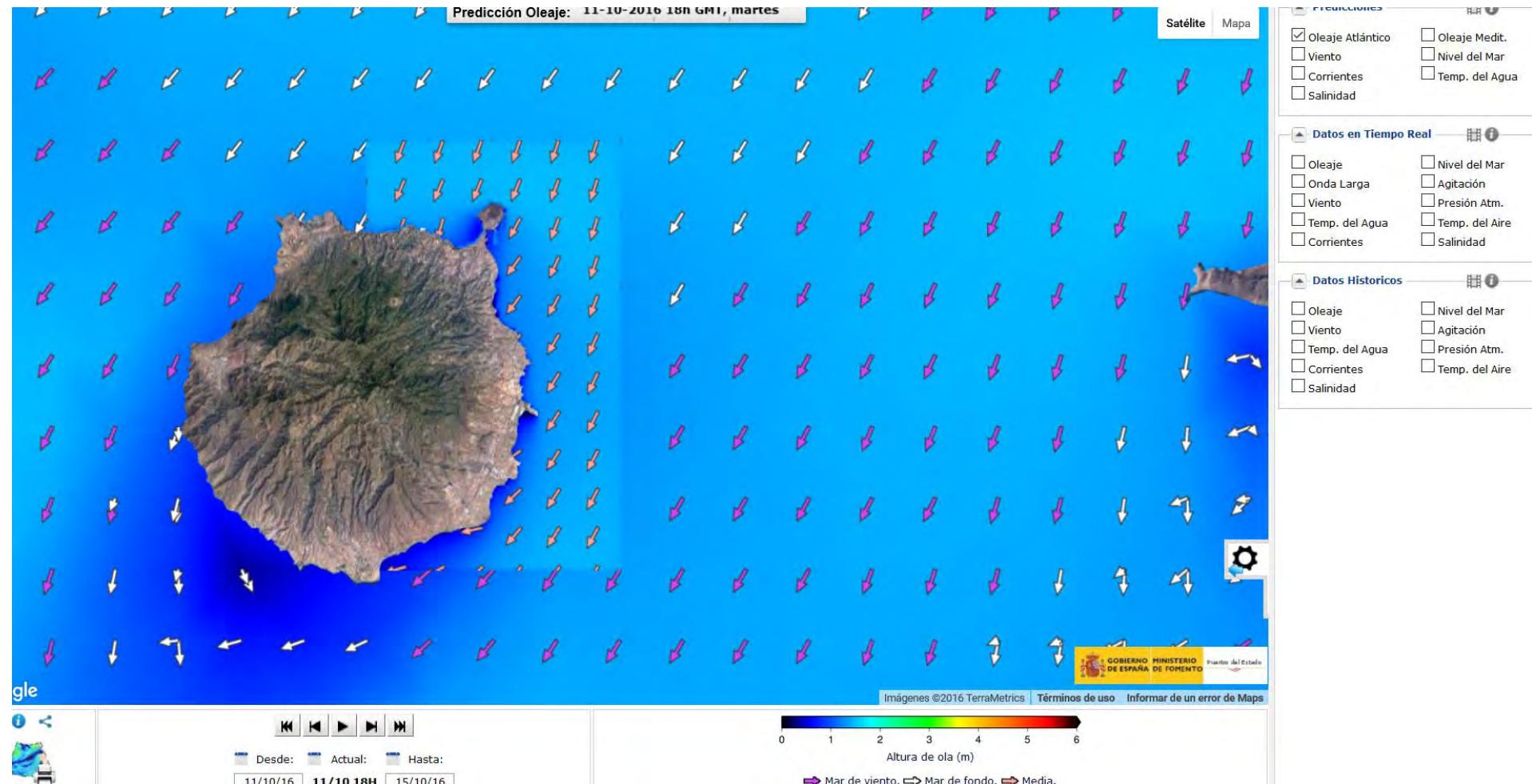
ANIDAMIENTO DE MALLAS DE MODELOS ESPECTRALES

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICION
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



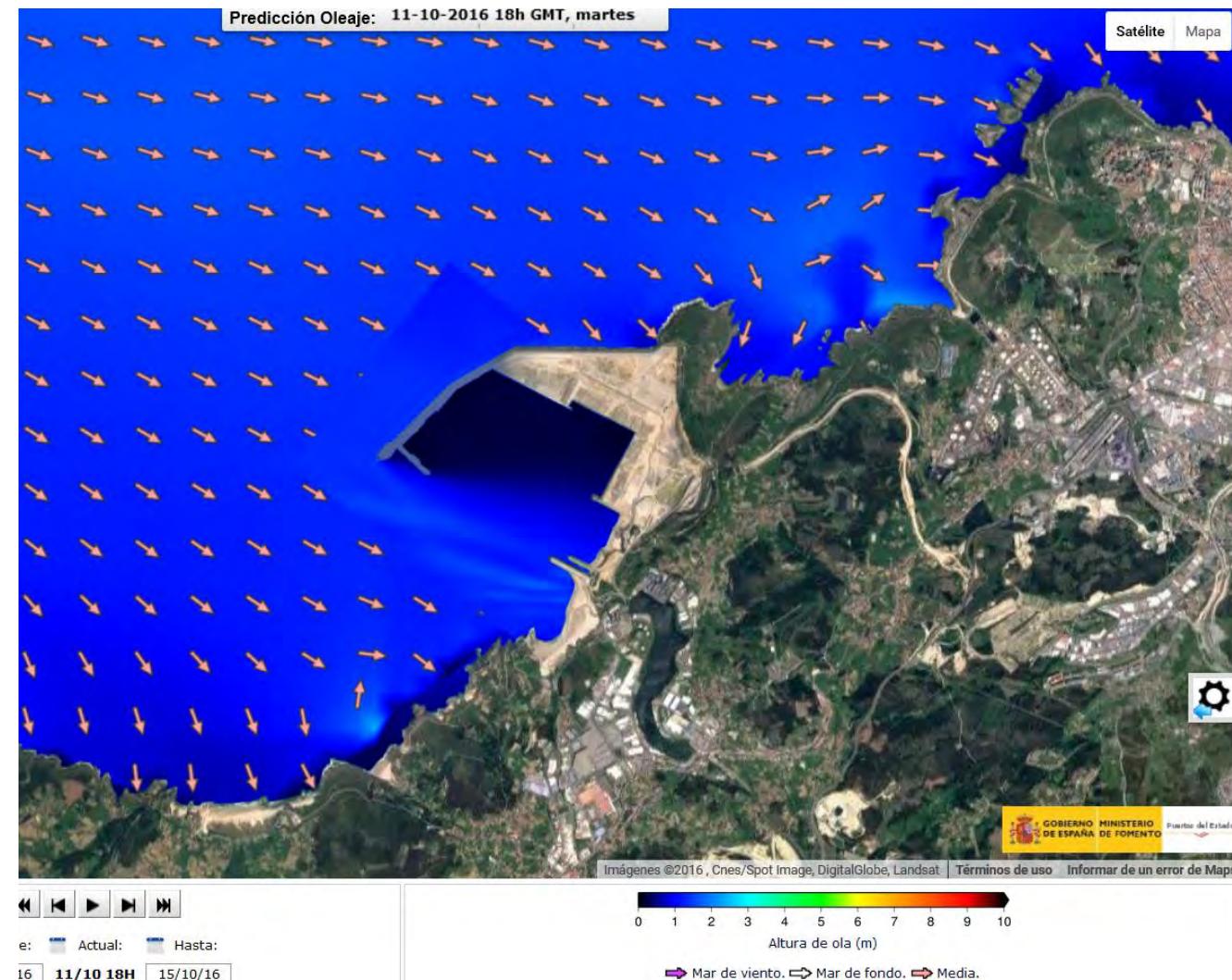
ANIDAMIENTO DE MALLAS DE MODELOS ESPECTRALES

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

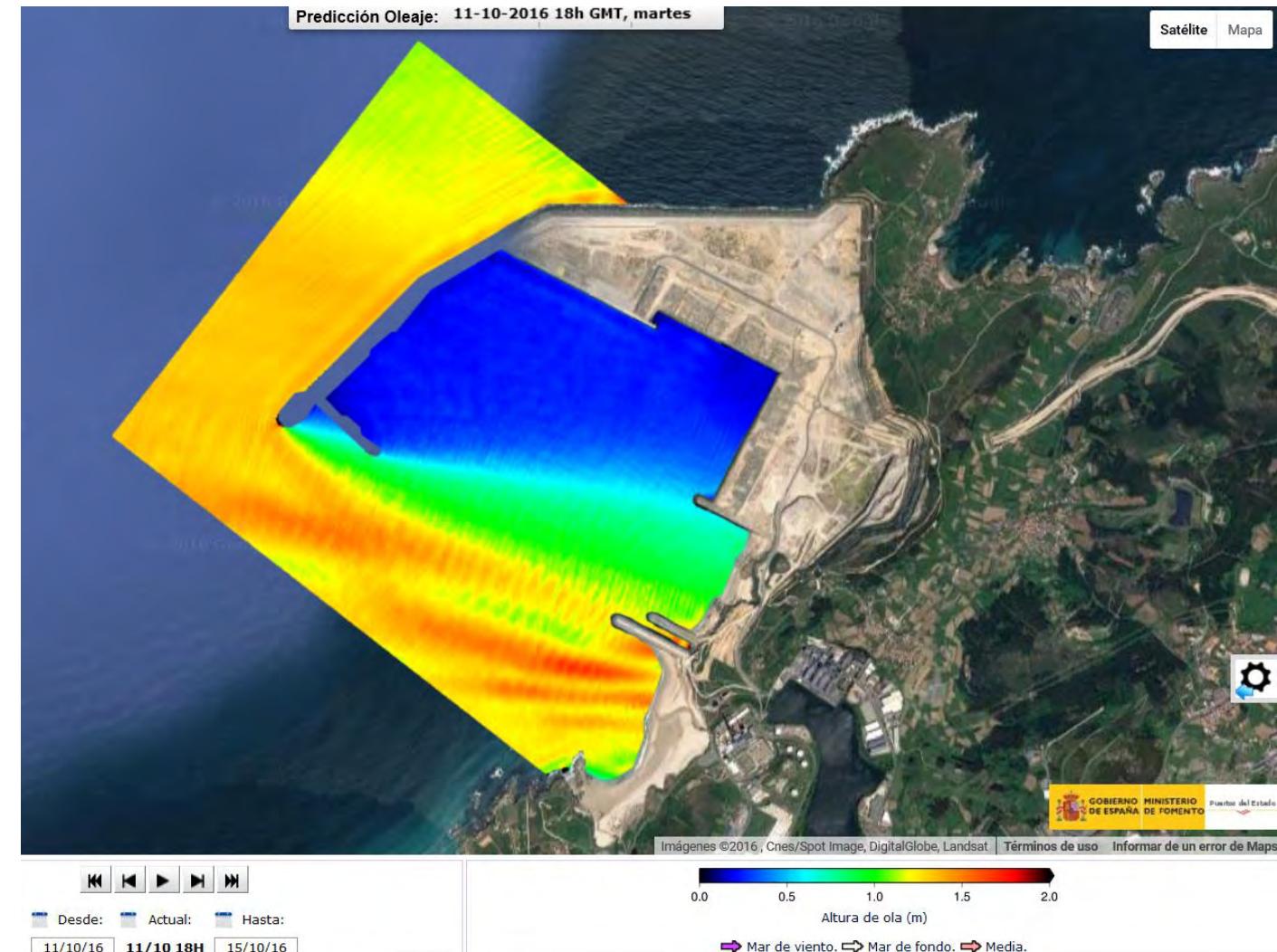


ACOPLAMIENTO SAPO - AGITACIÓN

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

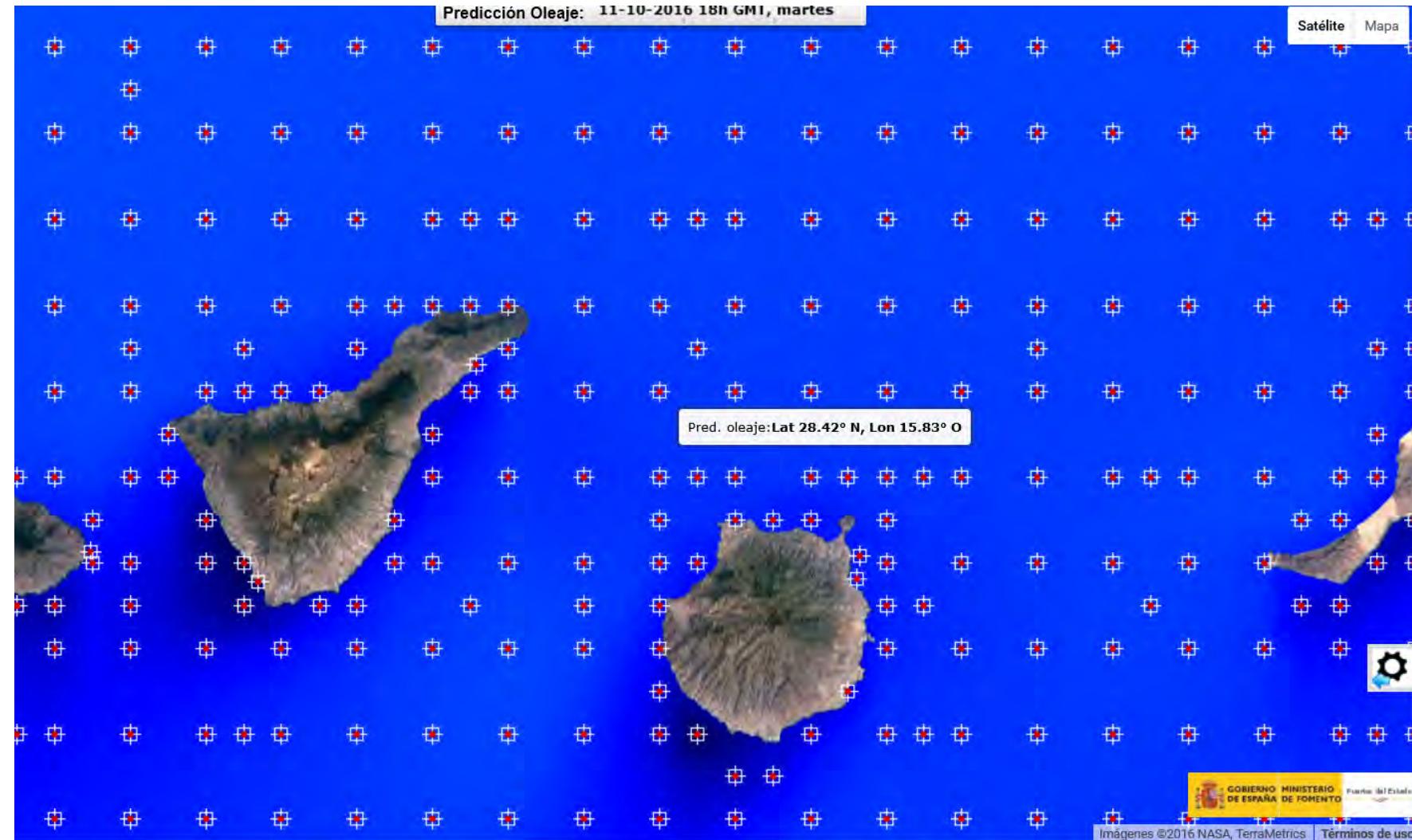


MODELO DE AGITACIÓN PORTUARIA

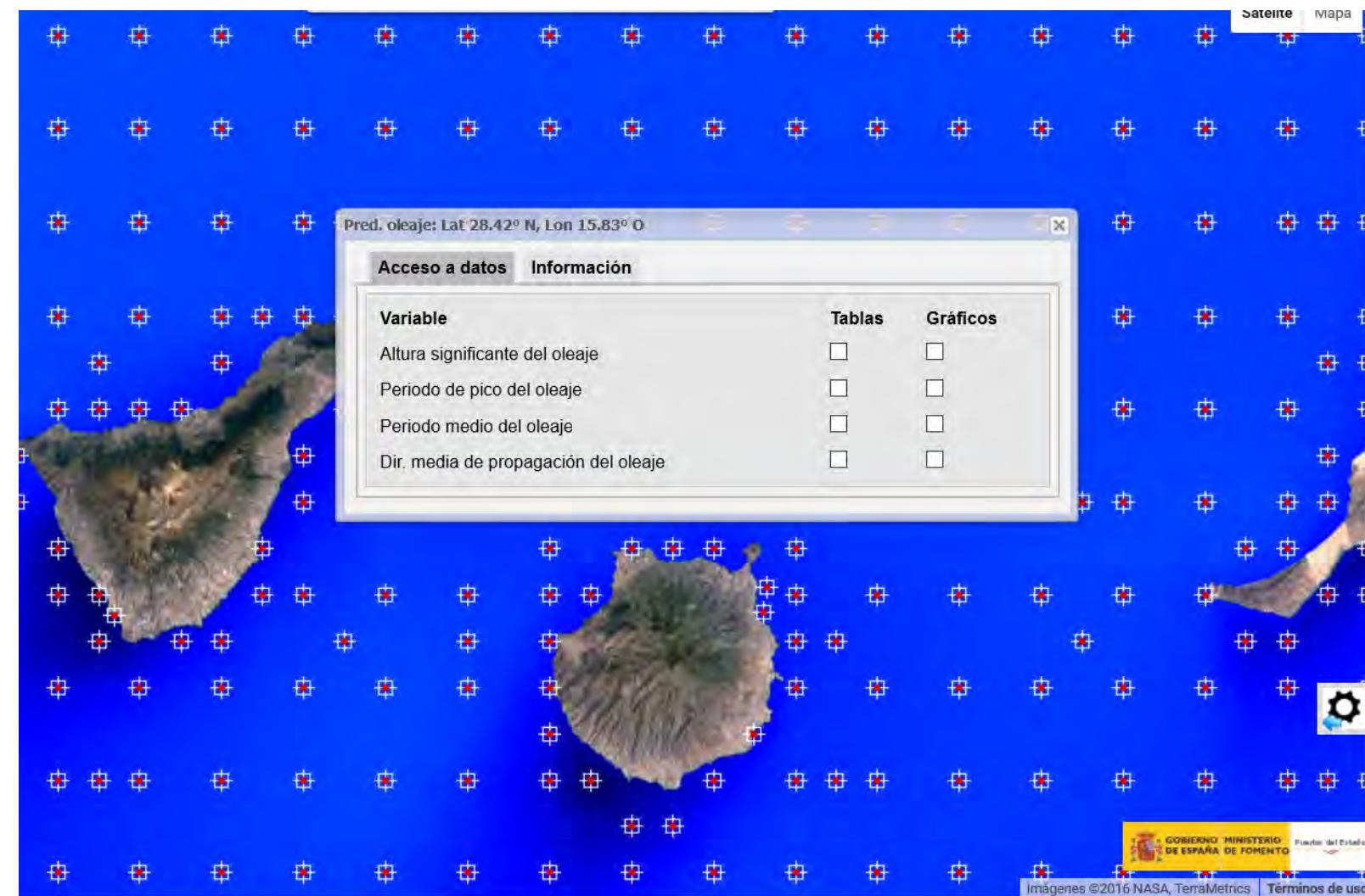


IDENTIFICACIÓN DE LOS PUNTOS WANA

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



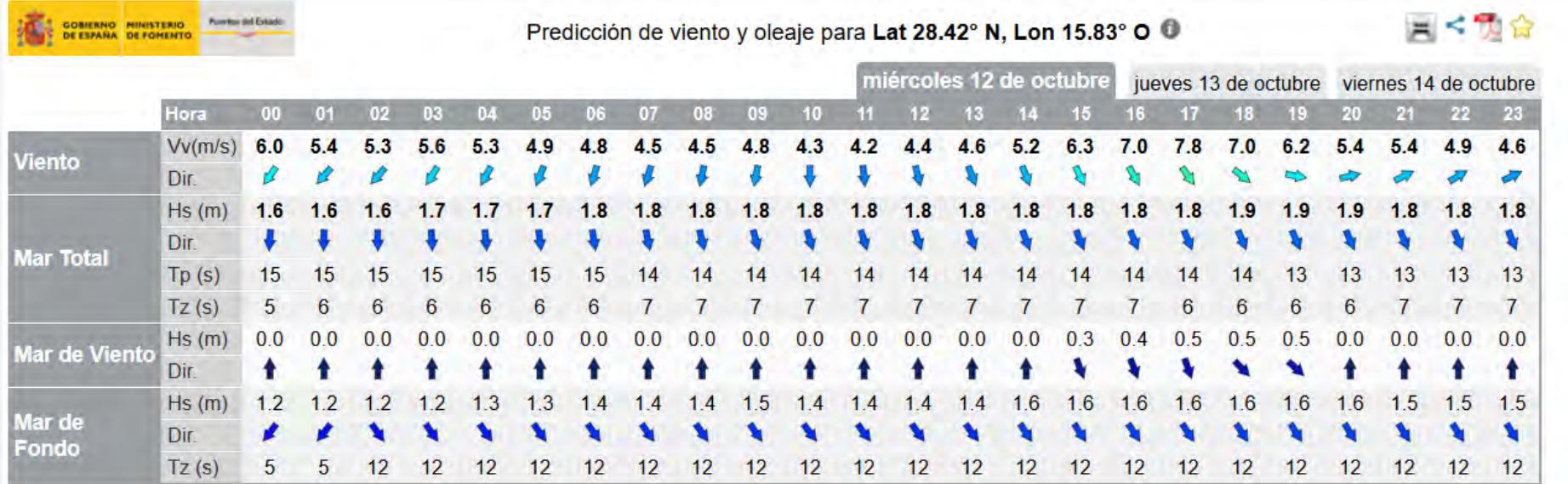
DATOS DISPONIBLES DEL SISTEMA DE PREDICCIÓN



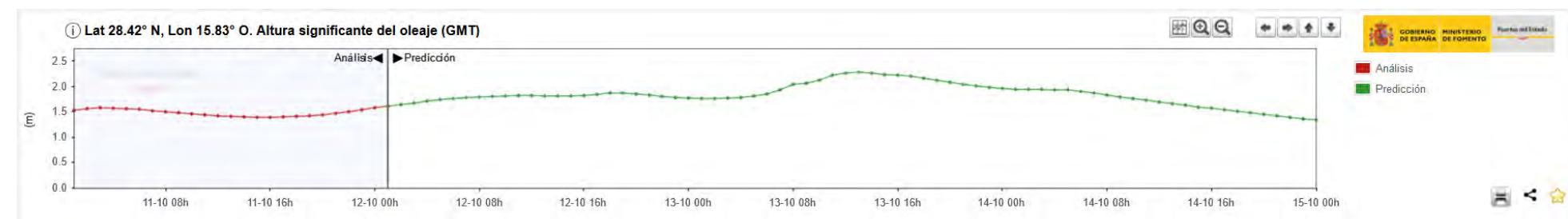
INFORMACIÓN DE LA PREDICCIÓN EN PUNTOS WANA

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

Predicción de viento y oleaje para Lat 28.42° N, Lon 15.83° O 

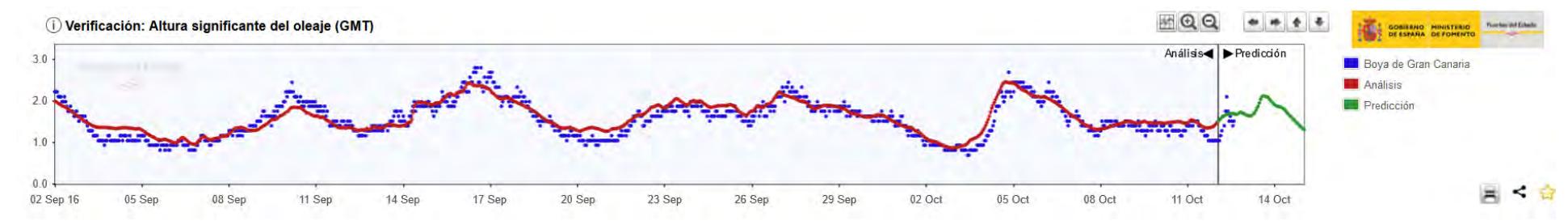
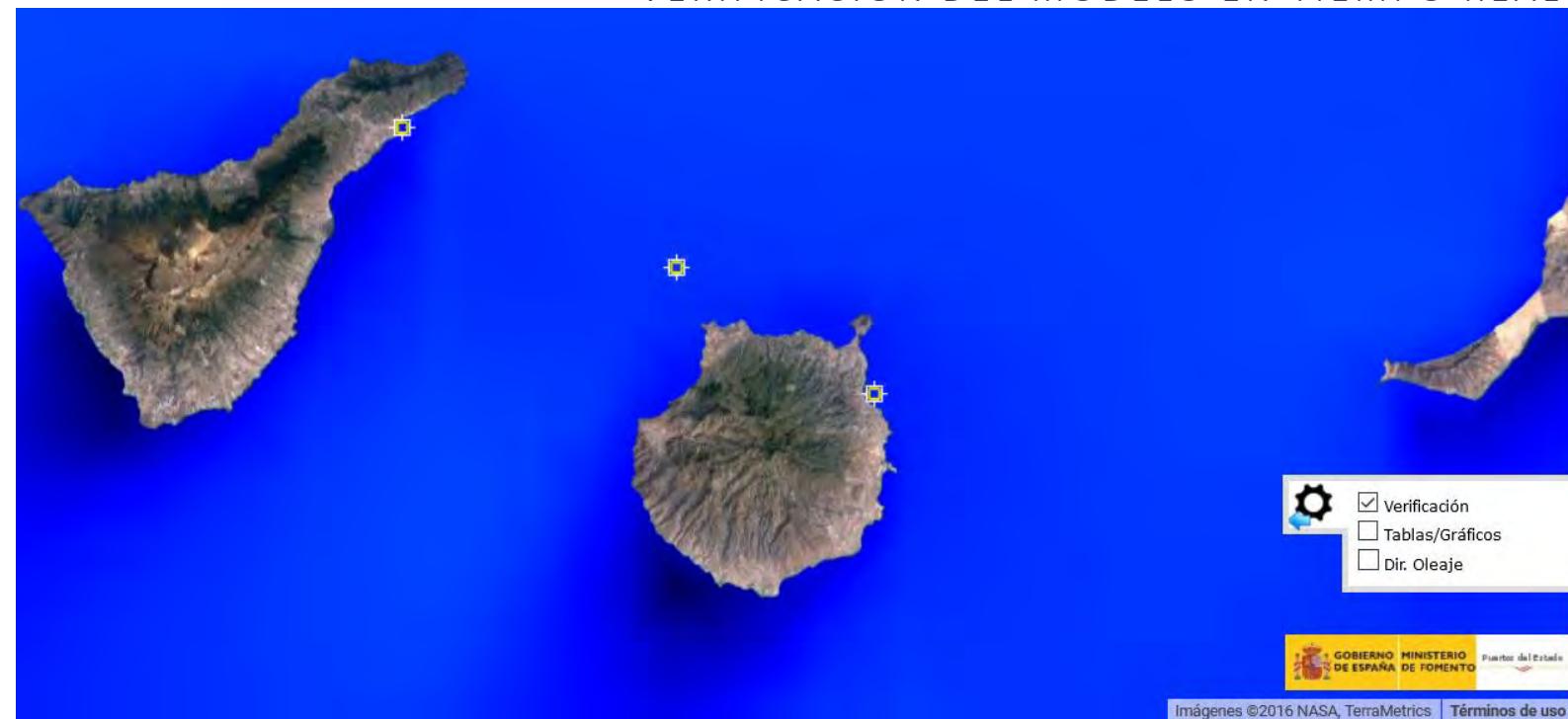


The grid shows wind speed (Vv) and direction (Dir.) in m/s, and significant wave height (Hs), period (Tp), and zero-upcrossing period (Tz) in meters and seconds respectively, for the period from Wednesday 12 to Friday 14 October at 00, 01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, and 23 hours.



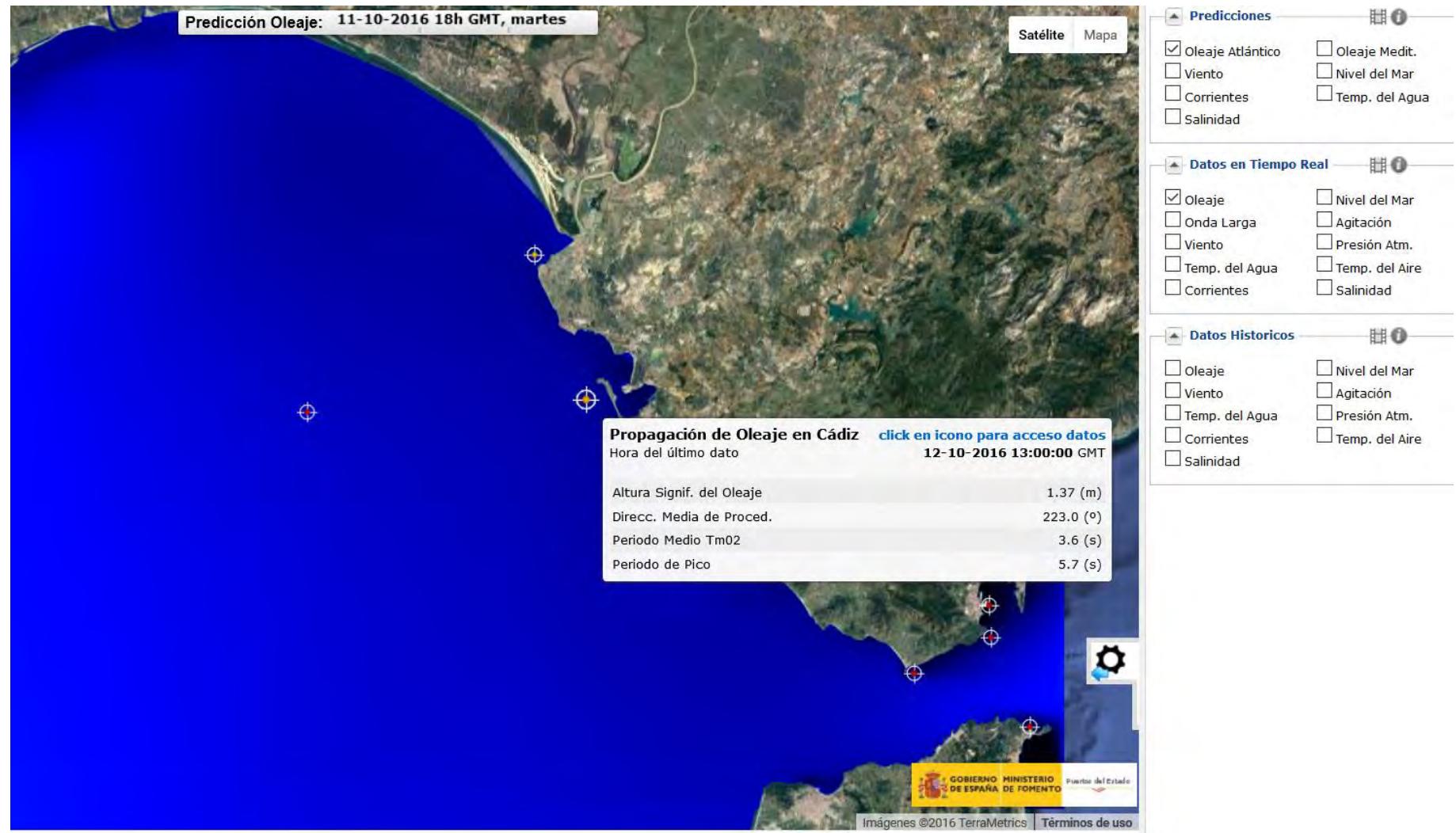
VERIFICACIÓN DEL MODELO EN TIEMPO REAL

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



PROPAGACIÓN EN TIEMPO REAL A BOYAS VIRTUALES

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS



SERVIDOR OPENDAP DE PUERTOS DEL ESTADO

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

opendap.puertos.es/thredds/catalog.html

Catalog http://opendap.puertos.es/thredds/catalog.html

Dataset

- Medidas
- Radares
 - [Delta del Ebro/](#)
 - [Estrecho de Gibraltar/](#)
 - [Galicia/](#)
 - [Golfo de Cádiz/](#)
 - [Vigo/](#)
- Modelos
 - Atmósfera
 - Gran escala
 - [HIRLAM/](#)
 - Escala regional
 - [HIRLAM/](#)
 - [HARMONIE 2.5km/](#)
 - Circulacion
 - Escala Regional
 - [Gibraltar/](#)
 - Escala Costera

TDS Puertos del Estado

THREDDS Data Server

Catalog http://opendap.puertos.es/thredds/catalog/wave_coast_s08a/HOURLY/catalog.html

Dataset: HOURLY/HW-2016101500-B2016101200-FC.nc

- Data size: 96.38 Kbytes
- Data type: GRID
- ID: wave_coast_s08a/HOURLY/HW-2016101500-B2016101200-FC.nc

Access:

1. OPENDAP: /thredds/dodsC/wave_coast_s08a/HOURLY/HW-2016101500-B2016101200-FC.nc
2. HTTPServer: /thredds/fileServer/wave_coast_s08a/HOURLY/HW-2016101500-B2016101200-FC.nc
3. WMS: /thredds/wms/wave_coast_s08a/HOURLY/HW-2016101500-B2016101200-FC.nc
4. NetcdfSubset: /thredds/nccss/wave_coast_s08a/HOURLY/HW-2016101500-B2016101200-FC.nc

Dates:

- 2016-10-12T04:44:52Z (modified)

Viewers:

- Godiva2 (browser-based)
- NetCDF-Java ToolsUI (webstart)
- Integrated Data Viewer (IDV) (webstart)

VISUALIZACION DE DATOS MEDIANTE GODIVA

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
- 7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO**
8. REANALISIS DATOS

Auto-zoom on select

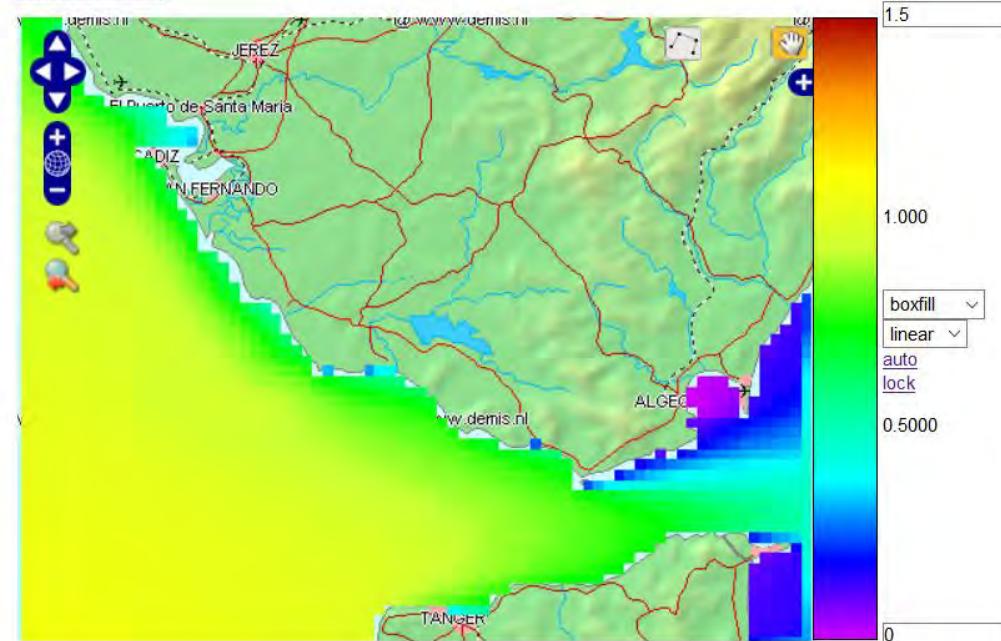
TDS Puertos del Estado

- HW-2016101500-B2016101200-FC.nc
 - sea_surface_wave_mean_period_spectral_seco
 - sea_surface_spectral_significant_wave_height
 - sea_surface_wave_period_at_spectral_densi
 - sea_surface_wave_from_direction_at_spectr
 - sea_surface_wave_from_mean_direction

[User guide](#)

Layer: TDS Puertos del Estado > HW-2016101500-B2016101200-FC.nc >
sea_surface_spectral_significant_wave_height
Units: m

Date/time: 2016 ▾ 10 ▾ 15 ▾ 00:00:00 UTC [first frame](#) [last frame](#)

[Fit layer to window](#)[test image](#) [Open in Google Earth](#)

Overlay opacity: 100% ▾

Powered by [OpenLayers](#) and [OGC](#) standards[Permalink](#) | [email](#)

REANÁLISIS DE DATOS DE OLEAJE

CONCEPTOS BÁSICOS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
8. REANALISIS DATOS

Un reanálisis consiste en la ejecución de un modelo numérico ejecutado durante un largo periodo de tiempo, normalmente décadas.

El forzamiento de este modelo es exclusivamente campos de vientos analizados, normalmente con asimilación de datos atmosféricos.

El resultado del modelo de oleaje, que puede tener la resolución espacial y temporal que se estime oportuno, una vez calibrado y validado, es una fuente muy valiosa de datos por su extensión, su homogeneidad y resolución.

Es muy útil para calcular condiciones de diseño de diversas obras y actuaciones: tanto desde el punto de vista del régimen extremal como del régimen medio.

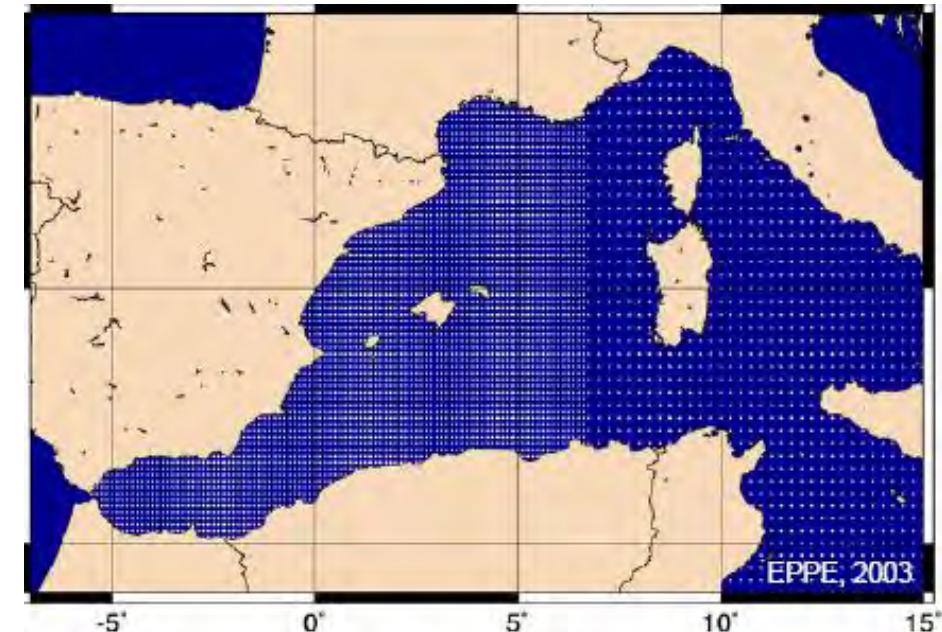
Es una buena herramienta para estudiar tendencias del clima.

REANALISIS DE PUERTOS DEL ESTADO

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
- TRANSFORMACION Y
- DISIPACION DEL OLEAJE
3. METODOS NUMERICOS
4. MODELOS DE PROPAGACION
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
- MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
- ESTADO
8. REANALISIS DATOS

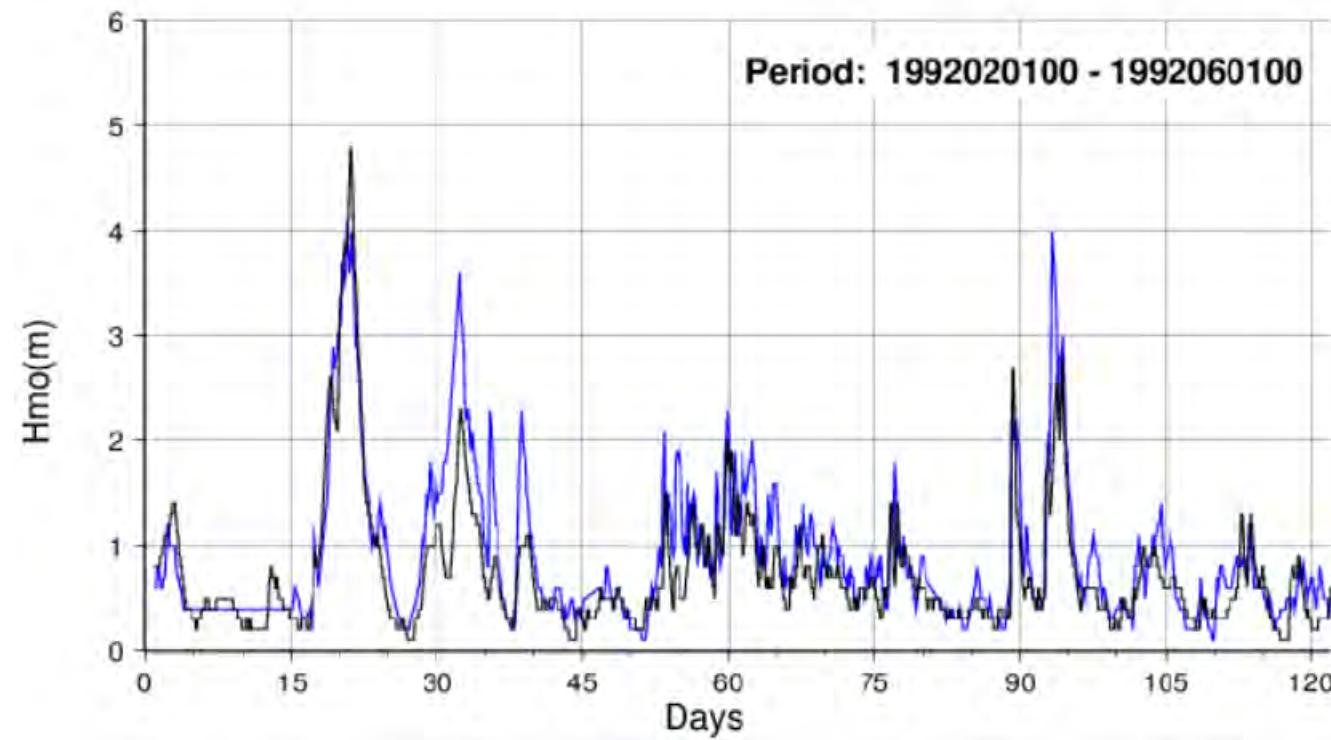
Proyecto HIPOCAS (Hindcast of dynamic Processes of the Ocean and Coastal Areas of Europe)

- 44 años de reanálisis (1958-2001)
- Resolución temporal horaria
- Resolucion espacial de 0.125º
- Forzamiento atmosférico homogéneo
- Calidad de los datos: muy buena cualitativamente pero pequeñas diferencias cuantitativas al comparar con boyas
- Se analiza: viento, oleaje, nivel del mar y corrientes



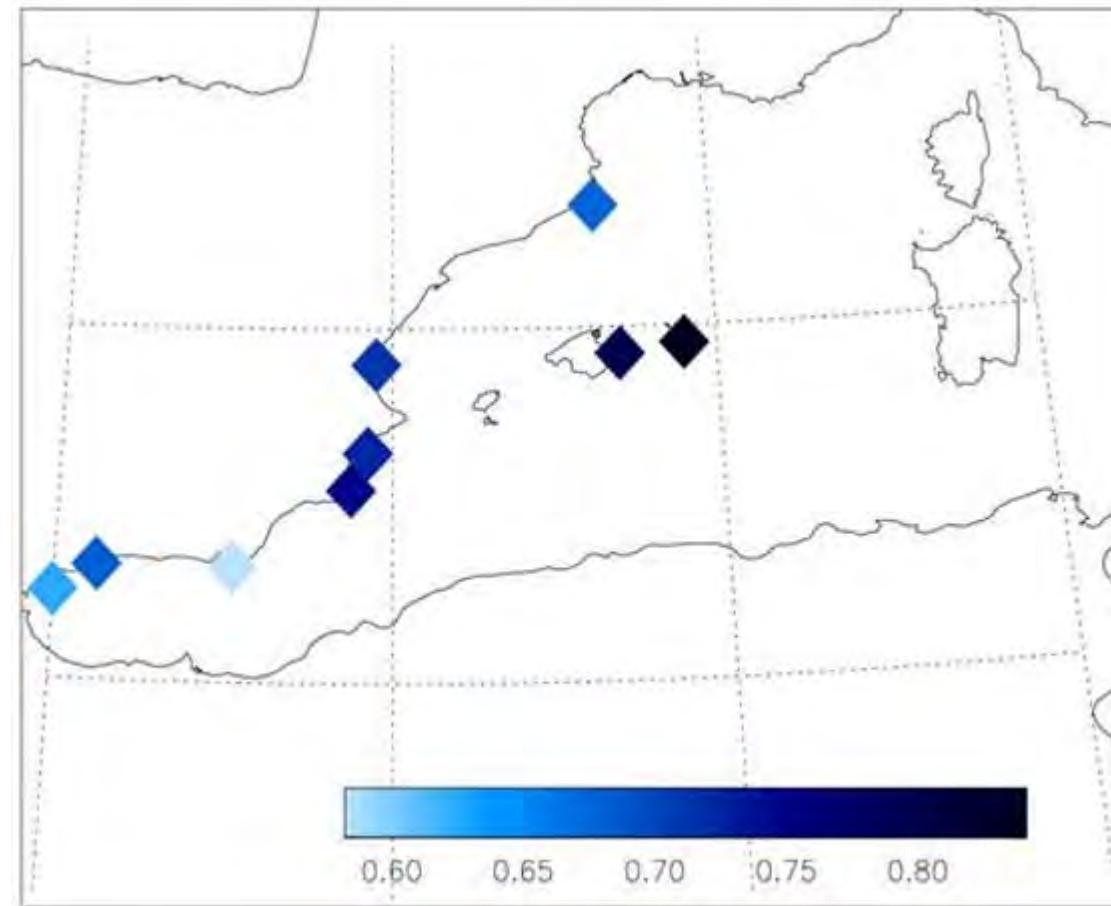
REANÁLISIS HIPOCAS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
- 8. REANALISIS DATOS**



REANÁLISIS HIPOCAS

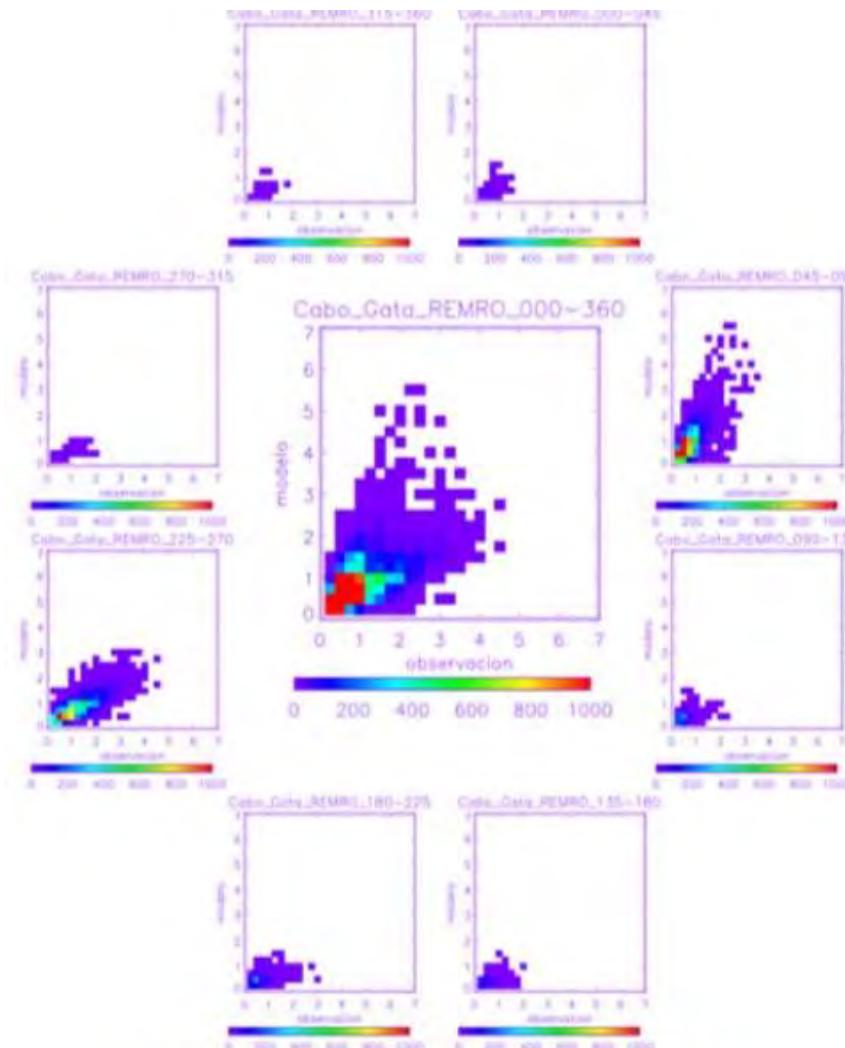
1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
- 8. REANALISIS DATOS**



Correlación de altura de ola significante

REANÁLISIS HIPOCAS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
- 8. REANALISIS DATOS**



Dispersión de datos:
Variación según dirección

REANÁLISIS HIPOCAS

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION, TRANSFORMACION Y DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
8. REANALISIS DATOS

El re-análisis del proyecto HIPOCAS:

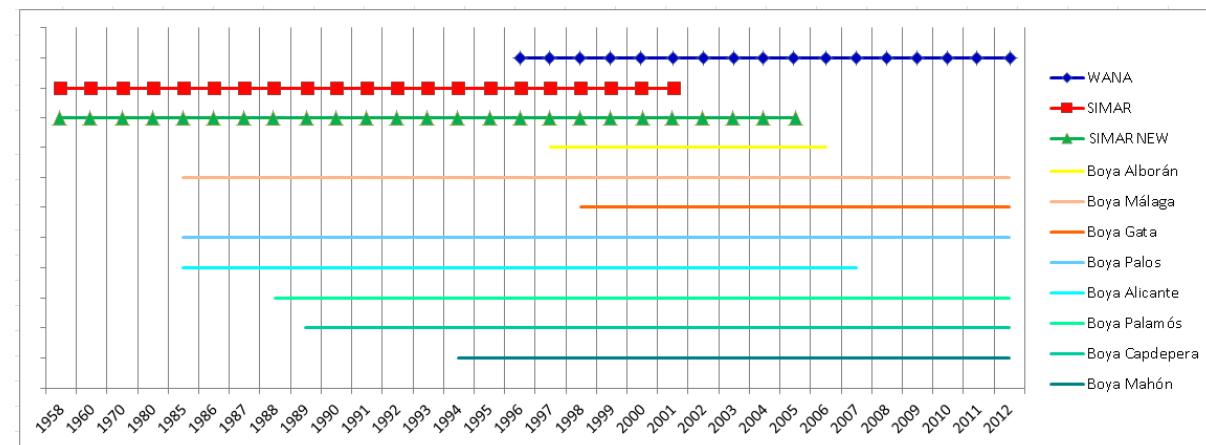
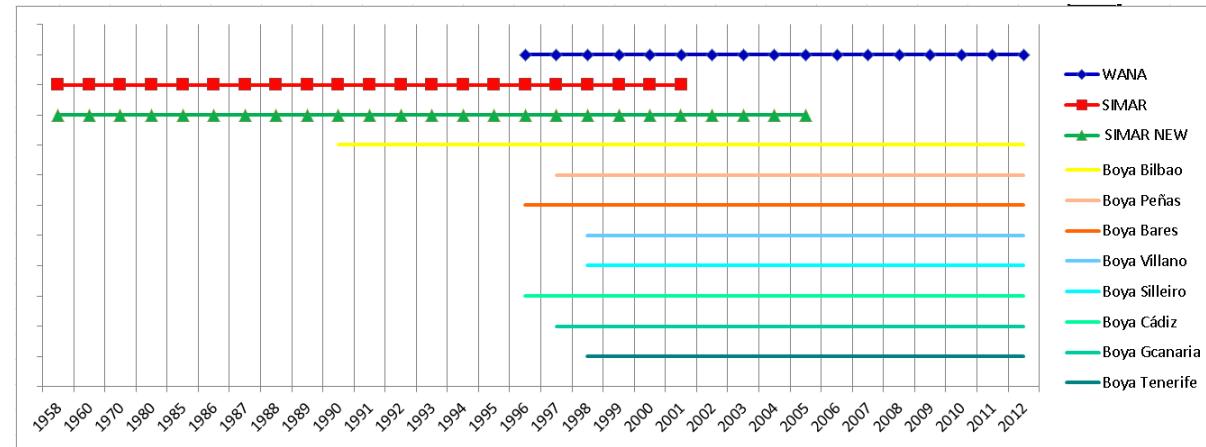
- En general presenta buena correlación entre datos medidos y datos analizados
- Existe una mayor discrepancia en el Mediterráneo
- Tiene una resolución temporal de 3h y una resolución espacial distinta a la del sistema de predicción
- Tiene dos mallas independientes: una en el Atlántico y otra en el Mediterráneo

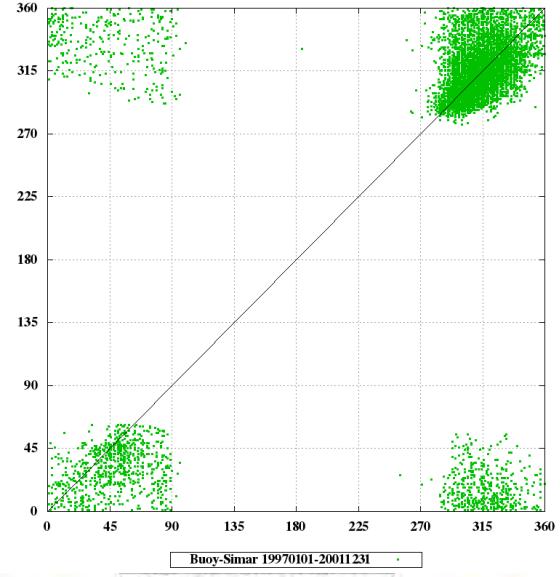
Se ha realizado un nuevo reanálisis:

- Se han utilizado nuevos campos de viento: ERA 40 y ERA INTERIM
- Se ha mejorado la resolución espacial y temporal
- Se ha aumentado el dominio temporal analizado (1958 – 2005)
- Se ha utilizado el esquema de mallas oceánicas y regionales de la operativa
- Se ha modelizado usando WW III para tener un mejor análisis de la zona del estrecho
- El resultado del análisis se ha calibrado para mejorar los resultados obtenidos

REANÁLISIS ERA40+INTERIM

1. DESCRIPCION DEL OLEAJE
2. PROCESOS DE GENERACION,
TRANSFORMACION Y
DISIPACION DEL OLEAJE
3. MÉTODOS NUMÉRICOS
4. MODELOS DE PROPAGACIÓN
5. FUNCIONAMIENTO DE UN
MODELO DE OLEAJE
6. SISTEMAS DE PREDICCIÓN
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL
ESTADO
- 8. REANALISIS DATOS**

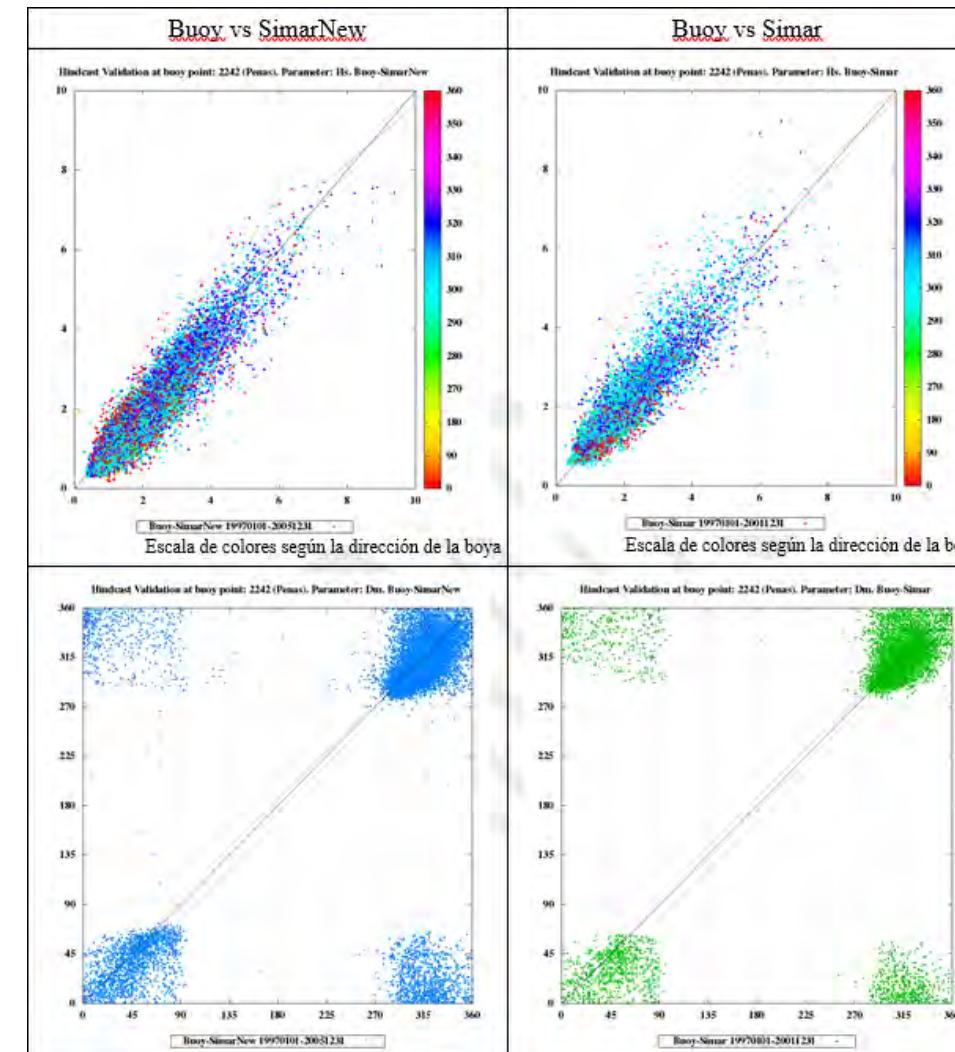


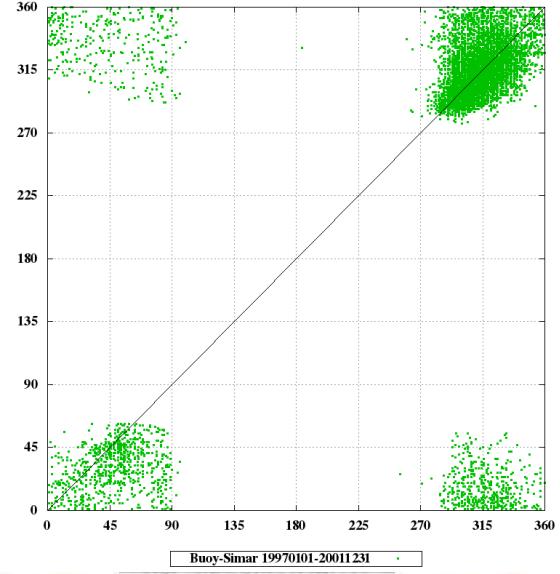


MODELO DE OLEAJE

6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
- 8. REANALISIS DATOS**

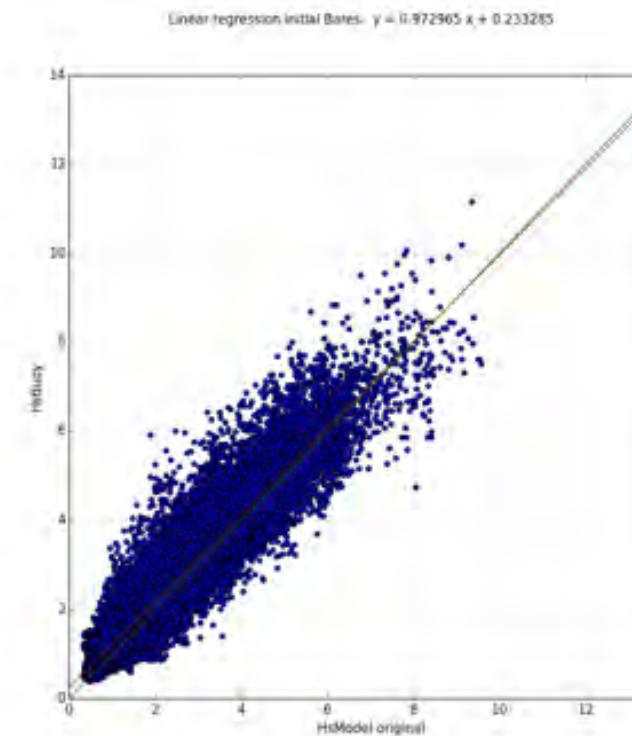
REANÁLISIS ERA40+INTERIM



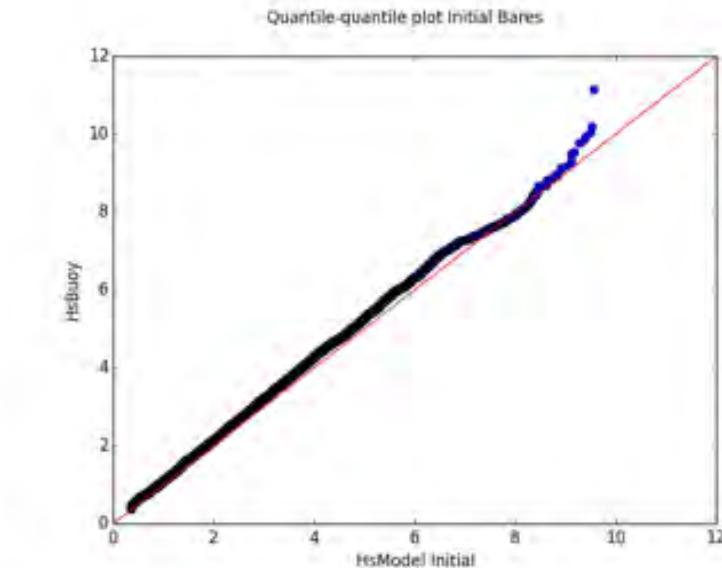


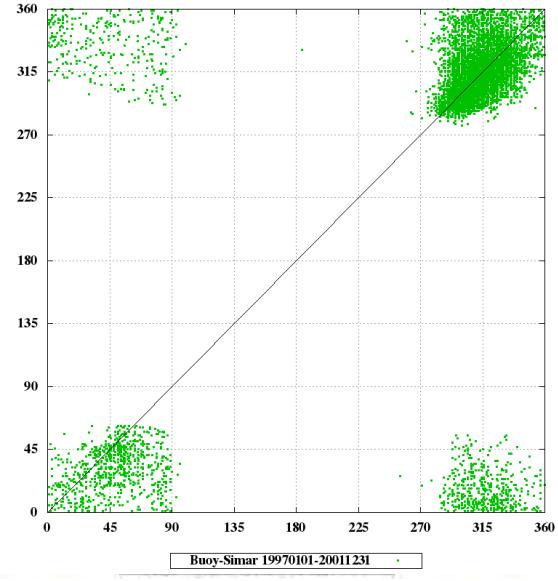
MODELO DE OLEAJE

6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
- 8. REANALISIS DATOS**



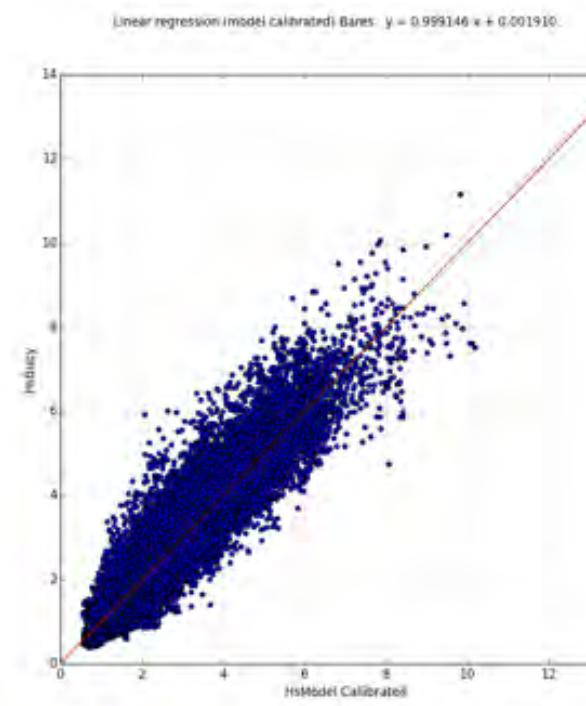
REANÁLISIS ERA40+INTERIM





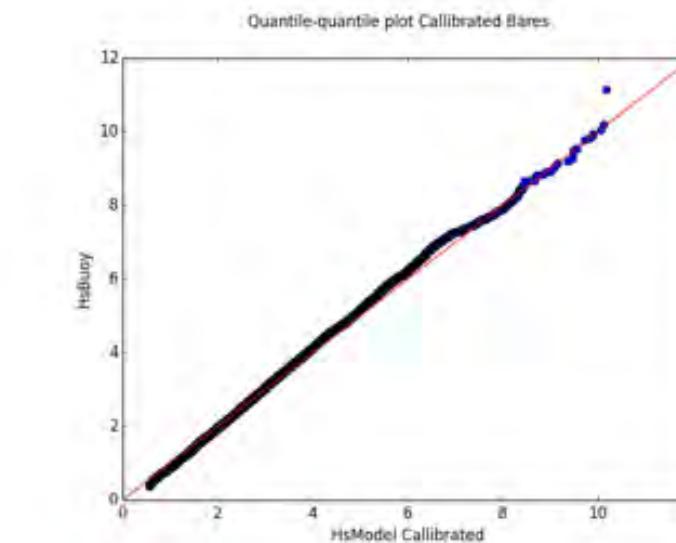
MODELO DE OLEAJE

6. SISTEMAS DE PREDICCION
7. SISTEMA DE PUERTOS DEL ESTADO
- 8. REANALISIS DATOS**



REANÁLISIS ERA40+INTERIM

Puertos del Estado

GOBIERNO
DE ESPAÑAMINISTERIO
DE FOMENTO

GRACIAS POR SU ATENCIÓN