

## DESARROLLO DE UN MODULO INFORMÁTICO PARA EL MANEJO DE DATOS DE OLEAJE VISUAL PARA LAS AGUAS JURISDICCIONALES COLOMBIANAS

Carlos Enrique Tejada Vélez \*

División de Zona Costera, Centro Control Contaminación del Pacífico – CCCP  
Vía El Morro, Capitanía de Puerto, San Andrés de Tumaco, Nariño, Colombia  
Tél. (57-2) – 727 26 37, Fax: (57-2) – 727 11 80. e-mail: [cccp@cccp.org.co](mailto:cccp@cccp.org.co)  
\*e-mail: [ctejada@cccp.org.co](mailto:ctejada@cccp.org.co)

*Recibido en mayo de 2003; aceptado en julio de 2003*

### RESUMEN

El presente artículo explica la forma en que se desarrollo el módulo informático OLAS, el cual permite conocer las características del oleaje en aguas jurisdiccionales colombianas, especialmente en lo relativo a sus regímenes medios escalares y direccionales; tanto en profundidades indefinidas como en un punto objetivo, que el usuario desee conocer, a lo largo de las costas del mar Caribe y del Pacífico colombiano. Asimismo, calcula, entre otros, el transporte potencial de sedimentos, basado en dos formulaciones comúnmente empleadas y el estado morfodinámico de la playa. Igualmente, explica la base de datos de la que provienen los registros, las limitaciones de los datos de oleaje visual, así como su importancia en los lugares como en Colombia, donde hasta la fecha no existe ningún programa de monitoreo, a largo plazo o incluso a corto, que permita medir instrumentalmente este parámetro dinámico del océano tan importante en la modelación de los litorales. Explica, también, la forma en la que se realizan varios de los cálculos del oleaje y hace un repaso de las principales funciones de transferencia existentes en la literatura para convertir las alturas y períodos visuales en alturas significantes y períodos de pico.

**Palabras claves:** Módulo Informático, Sedimentos, Morfodinámica, Funciones de Transferencia, Oleaje Períodos de Pico.

### ABSTRACT

This article deals with the way the software OLAS was created. OLAS allows you to know the characteristics of the incoming waves to the Colombian coast (along the Caribbean and Pacific coasts) specially matters related with mean regimes, both scalar and directional, it also allows the user to know the waves at deep waters and at a specified depth close to the coast along with other parameters such as potential Sediment transport rate and morfodinamical stage of a beach. It explains from where the data was taken from, the limitations of visual waves data and the importance of it, in cases such us Colombia, where there is no observational wave data system implemented, therefore visual data constitute the only source of information. The article explains how the calculations of some parameters are conducted and review the most popular transference functions in the literature to transform visual wave period and heights into significant heights and peak periods.

**Key Words:** Software, Sediment, Morfodinamical, Transference Functions, Waves, Peak Periods.

### INTRODUCCIÓN

El oleaje es el principal modelador de la costa, por ende su conocimiento es de gran importancia para entender las geoformas presentes en los litorales, así como para

emprender obras tendientes a la estabilización o modificación de estos, tal como lo sería un espolón, un puerto, un dique, etcétera.

En Colombia hasta la fecha este estudio no se ha adelantado debido, principalmente, a la ausencia de un sistema de medición de largo plazo que permita determinar las características del oleaje en sus dos costas; razón por la cual es necesario acudir a la base de datos mundial sobre oleaje visual, programa desarrollado por la Organización Meteorológica Mundial, OMM, con la participación de buques mercantes, la cual ha sido utilizada con éxito en varios países para determinar el régimen de oleaje.

Los datos fueron obtenidos de la base denominada Comprehensive Ocean Atmospheric Data Set, COADS, administrada por el US National Center for Atmospheric Research, NCAR, de la National Ocean and Atmospheric Administration, NOAA.

COADS es el resultado de un proyecto de cooperación continuado entre la NOAA y el Cooperative Institute for Research in Environmental Sciences, CIRES, conducida conjuntamente con la Universidad de Colorado y la National Science Foundation del Centro Nacional para la Investigación de la Atmósfera. La porción de COADS en NOAA es, actualmente, soportada por el Programa de Clima y Cambio Global, el Servicio de Datos Ambientales y el Programa de Manejo de Datos ESDIM.

Es de anotar que también se consultó la base de datos de similares características que administra el UK Meteorological Service; la cual, sin embargo, no se utilizó al comprobar que sus datos ya estaban incluidos dentro de la base de datos COADS, siendo esta última considerada la más completa a nivel mundial.

## ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio de OLAS comprende todas las aguas jurisdiccionales del país, tanto en el mar Caribe como en el océano Pacífico; sin embargo, incluye datos de áreas vecinas necesarios para determinar los regímenes de nuestras aguas. Concretamente se tienen todos los datos comprendidos entre las latitudes 00 y 16 de latitud Norte y entre los 68 y 86 de longitud Oeste.

En la Fig. 1 se aprecia un esquema que ilustra la distribución espacial, parcial de los datos y como guarda una estrecha relación con las rutas de navegación. Asimismo, se visualiza la importancia de la cercanía del Canal de Panamá, ya que gracias a él existe una importante cantidad de datos de aguas colombianas.

## METODOLOGÍA

Una vez conocida la base de datos a utilizar y el área geográfica conviene revisar con mayor detalle las particularidades del oleaje visual, los datos seleccionados, las funciones de transferencia existentes y resultantes de la comparación de los datos visuales con instrumentales; así como el procesamiento de los datos y su organización para su empleo a través del módulo informático OLAS. Este último desarrollado gracias al Convenio DIMAR – UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, más concretamente al trabajo

del Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, GIOC, y el Centro Control Contaminación del Pacífico, CCCP.

### **Características particulares del oleaje visual**

El uso de datos visuales de oleaje es necesario donde no existe información direccional instrumental o, bien, donde las series instrumentales no son lo suficientemente largas; sin embargo, la información visual requiere ser contrastada con datos instrumentales, siempre que sea posible ([Sánchez Arcilla, 2001](#)).

Estos datos son tomados por observadores a bordo de barcos de tráfico marítimo comercial, cuya información es transmitida por radio a centros internacionales que se encargan de su recopilación, almacenamiento y distribución. Parte de la información recogida proviene de datos instrumentales; sin embargo, los datos de oleaje se obtienen por estima y dependen del entrenamiento del observador. Dichos datos presentan, entre otras, particularidades tales como:

- Se toman desde buques en rutas comerciales, por lo que la información está repartida desigualmente.
- Los datos no están uniformemente repartidos en el tiempo, por lo que es posible que varias informaciones pertenezcan al mismo estado de mar. Por ello, su utilización indiscriminada sólo es aconsejable cuando se emplean para la elaboración de regímenes medios y el número de observaciones independientes es suficientemente elevado.
- Los capitanes de los buques modifican su ruta de navegación en función de las previsiones meteorológicas, evitando los temporales, por ello se debe tener especial cuidado en el uso de esta información para la realización de estadísticas extremas del oleaje.
- En muchas ocasiones la separación visual entre oleaje de viento (SEA) y el SWELL es prácticamente imposible, tal es el caso de un SEA de gran altura combinado con un SWELL de menor altura.
- La altura de ola, período y dirección que señala el observador son parámetros de estados de mar 'visuales'; es decir, corresponden a una apreciación de las características medias de altura de ola, período y dirección del oleaje observado. Esta apreciación es subjetiva y depende del entrenamiento del observador, de la altura del punto de observación, etcétera. Estas apreciaciones pueden fallar en algunos casos debido a la ausencia de referencias físicas .

A pesar de estos inconvenientes, los datos visuales de oleaje suponen una base de datos que, por su larga duración, ubicuidad y por aportar información sobre la dirección del oleaje, se hacen imprescindibles para el ingeniero marítimo. Debido a su importancia, existen multitud de trabajos bibliográficos, [Hogben y Lumb \(1967\)](#), [Jardine \(1977\)](#), [Programa de Clima Marítimo Español \(1991\)](#), dedicados al estudio de la fiabilidad de los datos visuales ([Vidal et al, 2001](#)).

**Selección de los datos a utilizar**

Una vez identificada la base de datos con la más completa información sobre las aguas colombianas se procedió a extraer la información del área geográfica, colectada entre el

primero de enero de 1963 y el 31 de diciembre del 1997; es decir, 35 años de observaciones. No se utilizó información anterior a la fecha mencionada por presentar problemas de precisión en la posición y por haber sido colectada con criterios diferentes a los utilizados a partir de 1963.

Cada observación contiene 96 columnas de datos que siguen los parámetros determinados en el formato LMR6, donde las primeras 17 columnas corresponden a información de identificación de la observación; las columnas 18 a la 72 contienen las diferentes variables observadas; de la 73 a la 75 contiene datos de control, y de la 76 a la 96 contiene identificadores de control de calidad (COADS, 1999).

De lo anterior sólo se seleccionaron los siguientes campos:

- Longitud y latitud de cada observación en grados y décimas de grado.
- Fecha de la observación (año, mes día).
- Hora de la observación (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18 y 21 horas).
- Dirección del oleaje de viento (la misma del viento).
- Altura visual del oleaje de viento ( $H_{SEA}$ ).
- Período visual del oleaje de viento ( $T_{SEA}$ ).
- Dirección del oleaje de fondo ( $\alpha_{SWELL}$ ).
- Altura visual del oleaje de fondo ( $H_{SWELL}$ ).
- Período visual del oleaje de fondo ( $T_{SWELL}$ ).

Los períodos fueron observados hasta el segundo más cercano y las alturas hasta el medio metro.

**Conversión del oleaje visual**

A pesar de su utilidad, los datos de oleaje visual presentan imprecisiones debidas a diversos factores como: el entrenamiento del observador, su experiencia y la altura del puente, entre otros. Por lo cual es necesario convertir los datos visuales en alturas significantes y períodos, para lo cual debería efectuarse ajustes provenientes de la comparación entre amplias series de datos visuales e instrumentales desarrolladas simultáneamente.

El país adolece por ahora de datos instrumentales, por lo cual el presente aparte no pretende desarrollar o plantear una función de transferencia para ese propósito. Lo que se quiere es hacer una primera aproximación al tema, mostrar varias formulaciones desarrolladas para el efecto y presentar una comparación entre ellas; para a partir de ello dejar en claro las limitaciones dentro de las cuales se puede utilizar el oleaje visual, plantear al lector algunas opciones de transferencia y qué tan confiable es utilizar los datos de oleaje visual, tal cual se encuentran en la base de datos empleada.

Existen varias formulaciones referenciadas en la literatura como las siguientes:

Jardine (1977)	$H_s = 1.02 + 0.77 H_v$
(1979)	$H_s = 0.5 + 0.98 H_v$
Hogben y Lumb (1967)	$H_s = 2.55 + 0.6 H_v$
Guedes Soares (1986)	$H_s = 1.72 + 0.82 H_v$
Nordestrom	$H_s = 1.68 H_v^{0.75}$
PCM (1991)	$H_s = 0.54 + 0.59 H_v$
PIANC	$H_s = H_v$

PCM: Programa de Clima Marítimo Español.

PIANC: International Navigation Association.

Las ecuaciones presentadas corresponden a las rectas de mejor ajuste encontradas por cada uno de los autores en las comparaciones de datos efectuadas por ellos. En el artículo 'Metodología para estimar regímenes de oleaje y temporales', elaborado por Copeiro del Villar, E. en el 2000, se efectúa una revisión crítica de cada una de ellas; de allí se extrae que la relación de Hogben es el resultado de sus investigaciones en 1969, 1982, 1986 y 1990, que incluye la publicación del Atlas de Clima Marítimo (Ocean waves Statistics) en 1967 y Global wave Statistics en 1986; que la de Jardine fue deducida a partir del mayor número de parejas de datos visuales e instrumentales, realizadas simultáneamente en el Atlántico Norte; que la de Nordestrom es la única que presenta una relación exponencial, y que la de Guedes Soares resultó de la comparación de observaciones visuales tomadas a bordo de barcos meteorológicos con otras tomadas a bordo de buques voluntarios, y de estas últimas con medidas instrumentales. El Programa de Clima Marítimo obtuvo su relación a partir de la comparación de datos visuales con los de la boya de Figueira da Foz. Copeiro, después de su extensiva revisión, termina recomendando en su artículo utilizar la relación encontrada por la PIANC, donde la altura del oleaje significativo es igual a la altura del oleaje visual (Fig. 2).

Como se puede observar, existe una gran variabilidad en las relaciones presentadas y no se tiene un claro consenso sobre cual es la mejor. Asimismo, se observa que la relación de Hogben y Lumb es la que da los valores de  $H_s$  más altos y la de PCM los mas bajos, pero, en general, con excepción de la relación propuesta por el PCM, todas proponen una altura significativa mayor que la de oleaje visual, con lo que se advierte una subestimación de la altura del oleaje por parte de los observadores, especialmente en los valores bajos.

La decisión sobre cuál de estas relaciones utilizar, sólo podrá ser solventada una vez se disponga de un set de datos instrumentales, suficientemente largo para comparar con las observaciones visuales. Por ahora se podría recomendar utilizar la relación de Jardine, que no se encuentra en los extremos de la variación o la recomendada por Copeiro y el PIANC de  $H_v = H_s$ .

En relación con el período de pico y el período visual, se presentan menos formulaciones y básicamente existe la de  $T_v = T_s$ , o la de Guedes Soares que aplica la siguiente relación:

$$T_s = 1.3 + 1.17 T_v$$

### Cálculo de los parámetros del oleaje visual

Para la Altura del oleaje visual ( $H_v$ ) se siguió la metodología propuesta por Darbyshire, también empleada por el CEDES, dentro de las Recomendaciones de Obras Marítimas (ROM 91).

$H_v = (H_{SEA}^2 + H_{SWELL}^2)^{1/2}$ , siempre que las direcciones de SEA o del SWELL no difieran más de  $22.5^\circ$ .

$H_v$  = altura de ola del máximo entre el  $H_{SEA}$ ,  $H_{SWELL}$ , cuando las direcciones del SEA y el SWELL difieran más del  $22.5^\circ$ .

Estos criterios se aproximan al que se utilizaría para la obtención de una altura de ola y dirección, a partir de un espectro direccional instrumental de altura de ola (Vidal *et al*, 2001).

Para el período del Oleaje visual ( $T_v$ ) se utilizó el correspondiente al mayor oleaje, fuera éste SEA o SWELL, siguiendo un procedimiento similar para la determinación de la dirección del oleaje de una observación dada.

$$\begin{aligned} T_v &= T_{SEA} \text{ si } H_{SEA} \geq H_{SWELL} \\ T_v &= T_{SWELL} \text{ si } H_{SEA} < H_{SWELL} \\ \alpha_v &= \alpha_{SEA} \text{ si } H_{SEA} \geq H_{SWELL} \\ \alpha_v &= \alpha_{SWELL} \text{ si } H_{SEA} < H_{SWELL} \end{aligned}$$

## RESULTADOS

La información comentada se organizó en 216 celdas de un grado de latitud por un grado de longitud, ordenadas en el tiempo. A esta información se le efectuaron controles de calidad, depurando los datos fuera de rango y con valores no ajustados a la teoría, se reformateó de manera que pudiera ser leída por el módulo OLAS (adaptación del módulo ODIN desarrollado por el GIOC de la Universidad de Cantabria). También se redujeron los vacíos de información de dirección de oleaje de viento con los datos de dirección del viento existente en la base COADS. Con lo anterior se obtuvieron 717624 registros, válidos para aguas colombianas.

El módulo funciona definiéndole como datos de entrada las opciones de cálculo y los parámetros avanzados; en los primeros se le define la profundidad objetivo, el diámetro medio del sedimento en mm y la pendiente media de la playa o punto de interés. En los parámetros avanzados se le define la celda de búsqueda en kilómetros, recomendándose 250 Km (por defecto usa 150 Km) y la función de transferencia, entre cuyas opciones están la del PCM, Jardine, Hogben y Lumb y una libre en la cual se puede utilizar la relación  $H_v = H_s$ .

Otro aspecto a definir es el punto de interés sobre las costas colombianas, allí se debe tener cuidado de orientar la flecha con la dirección media del tramo de la costa o playa considerada. Igualmente, se tendrá el cuidado de no incluir dentro de la

semicircunferencia de cálculo (zona sombreada) ninguna área de la que pueda provenir oleaje difractado, pues éste no es calculado por el módulo.

En la Figura 3 se aprecian algunas de las salidas del módulo presentado con este artículo que permite obtener datos como:

- Régimen medio escalar y direccional de alturas de oleaje en profundidades indefinidas.
- Régimen medio escalar y direccional de períodos en profundidades indefinidas.
- Régimen medio escalar y direccional de alturas de oleaje en profundidades objetivo.
- Régimen medio escalar y direccional de períodos en profundidades objetivo.
- Probabilidad conjunta altura período direccional y escalar, tanto en profundidades indefinidas como en la profundidad objetivo.
- Transporte potencial de sedimentos.
- Estado morfodinámico de la playa.
- $H_{s12}$ ,  $T_s$  y  $h^*$ .
- Flujo medio de energía en aguas indefinidas y profundidad objetivo.

El cálculo del régimen medio direccional del oleaje en profundidades indefinidas y el flujo de energía lo calcula primero seleccionando la información de la base de datos que cae dentro del cuadrado o celda de cálculo previamente definida, conformando una sub-base. Se filtran luego de allí los datos incompletos o confusos, se efectúa el cálculo de los parámetros de acuerdo con los criterios antes enunciados; se fragmenta por direcciones la subbase (sectores de  $22.5^\circ$ ); se ordenan de mayor a menor todos los datos y se plotean en papel probabilístico de Weibull y se ajusta por la función de mejor ajuste. Finalmente se calcula el flujo medio de energía por composición vectorial.

Para el establecimiento del régimen medio direccional de oleaje en la profundidad objetivo se propagan los datos anteriormente seleccionados, asumiendo que la batimetría es recta y paralela a la alineación del tramo de costa. Previamente se eliminan los datos que por su dirección no quedarían comprendidos dentro del abanico de oleajes posibles en el tramo de costa de interés.

Cada dato se propaga por separado hasta la profundidad objetivo y luego allí se reconstruye el régimen medio. Sólo se tienen en cuenta los procesos de refracción (por [Ley de Snell](#)) y de asomeramiento, para lo cual se aplica la expresión de la función de dispersión propuesta por [Darlymple y Kirby](#) empleada en su modelo REF-DIF. Posteriormente, el módulo verifica que el oleaje compuesto no supera la altura de ola compatible con la profundidad objetivo definida como  $H_b = 0.78d$  ( $d$  = profundidad en metros).

En cuanto al transporte potencial de sedimentos se asume la hipótesis de que los datos visuales se encuentran homogéneamente distribuidos en el tiempo y que cada mes tiene la misma duración. Para el cálculo del transporte se emplean dos formulaciones: la del CERC, que emplea los parámetros de ajuste propuestos por [Shoones y Theron 1994](#) y la de [Kamphuis, 1991](#), empleando el parámetro de ajuste propuesto por

Shoones y Theron en 1996. Estos autores consideran la formulación del CERC como la más empleada a nivel mundial y la de Kamphuis como la más exacta.

## CONCLUSIONES

Ante la ausencia de datos de oleaje instrumental, el uso de bases de datos de oleaje visual de las aguas jurisdiccionales colombianas se constituye en una herramienta fundamental y válida para determinar las características medias del oleaje en Colombia.

A pesar de las limitaciones del oleaje visual, éste ha demostrado en varios países ser una fuente de información valiosa que brinda datos de calidad suficiente para determinar los regímenes medios del oleaje tanto escalar como direccional.

Dada la ubicación geográfica del país con respecto al Canal de Panamá existe suficiente información de oleaje visual para determinar el régimen medio del oleaje y los demás parámetros calculados por el módulo OLAS.

OLAS permite en forma fácil y amigable acceder a la base de datos de oleaje visual de las aguas colombianas y, a partir de ella, determinar las características medias del oleaje en cualquier punto de los litorales colombianos.

## AGRADECIMIENTOS

Al Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de costas de la Universidad de Cantabria por el apoyo y transferencia tecnológica que permitieron terminar con éxito este trabajo, en especial a Raúl Medina, Mauricio González, Francisco Martín y José María.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**Copeiro, E. 2000.** Metodología para estimar regímenes de oleaje y temporales, ROM 0.2.90 y ROM 0.3.91, PP. 21 – 2.109.

**Comprehensive Ocean. 1999.** Atmosphere Data Set CODAS release 1a/1b/1c Documentation Long Marine Reports/Fixed Length (LMR6/LMRF6) Julio de 1999.

**Kamphuis, J. W. 1991.** Alongshore Sediment transport Rate. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering* Vol. 117, Nro. 6, pp 624 – 640.

**Sánchez-Arcilla Agustín. 2001.** Crítica a la Determinación de los Regímenes Medios Direccionales de Altura de Ola a Partir de Datos Visuales.

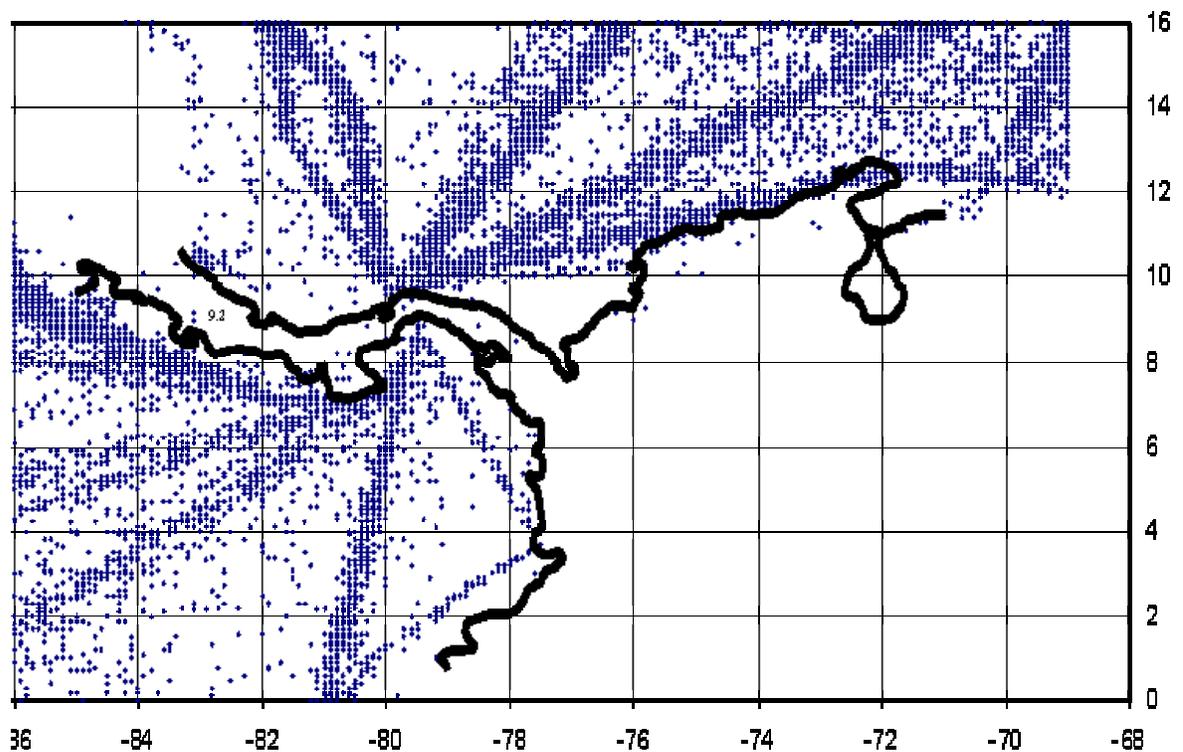
**Shoones y Theron 1994.** Precisión y Aplicabilidad de la Fórmula para el Cálculo del Transporte Longitudinal de Sedimentos del Shore Protection Manual. *Coastal Engineering* 1994. Pp. 2595 – 2607.

**Shoones y Theron, 1996.** Mejoras a la Fórmula de Transporte Longitudinal de Sedimentos más Precisa, *Research Engineers*, CSIR. Pp. 3652 – 3665.

**Tejada, C. 2002.** Clima marítimo de la bahía de Tumaco, un caso de aplicación del sistema de modelado integral de zonas costeras para Colombia. Cantabria, 44 pp. Tesis de maestría (MSc en Ciencias Tecnológicas para la Gestión de la Costa). Universidad de Cantabria. Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas, España.

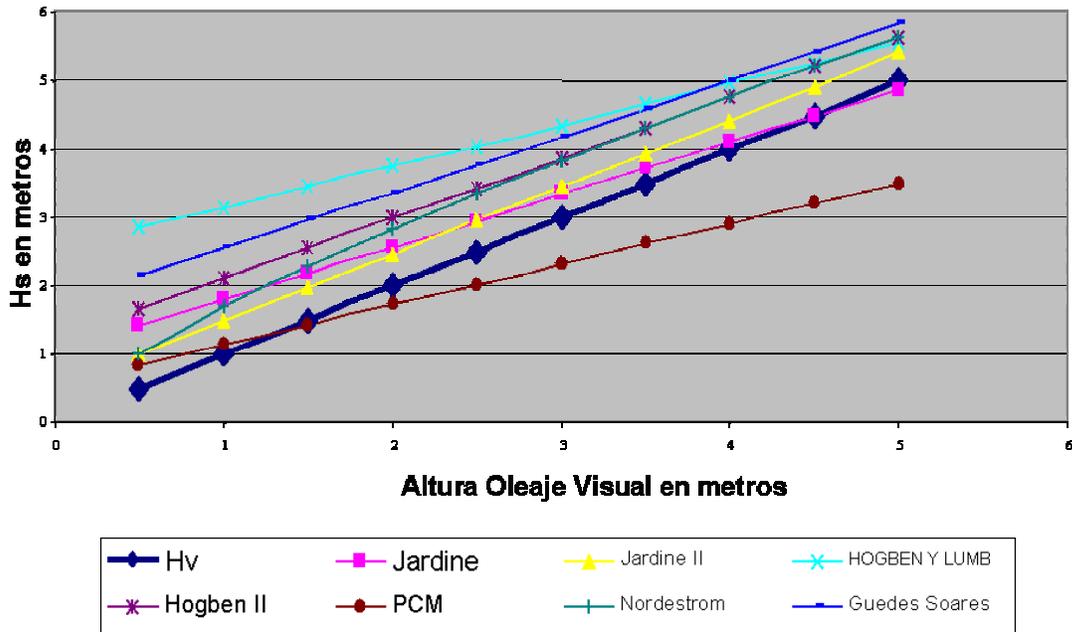
**Vidal, C. et al. 2001.** Determinación de los Regímenes medios direccionales de altura de ola a partir de datos visuales, GIOC.

## FIGURAS



**Figura 1.** Ploteo parcial de los datos disponibles que muestra la distribución espacial de los mismos, directamente relacionada con las principales rutas de navegación.

**Comparacion formulaciones de conversion**



**Figura 2.** Comparación de funciones de transferencia de oleaje visual a significante.

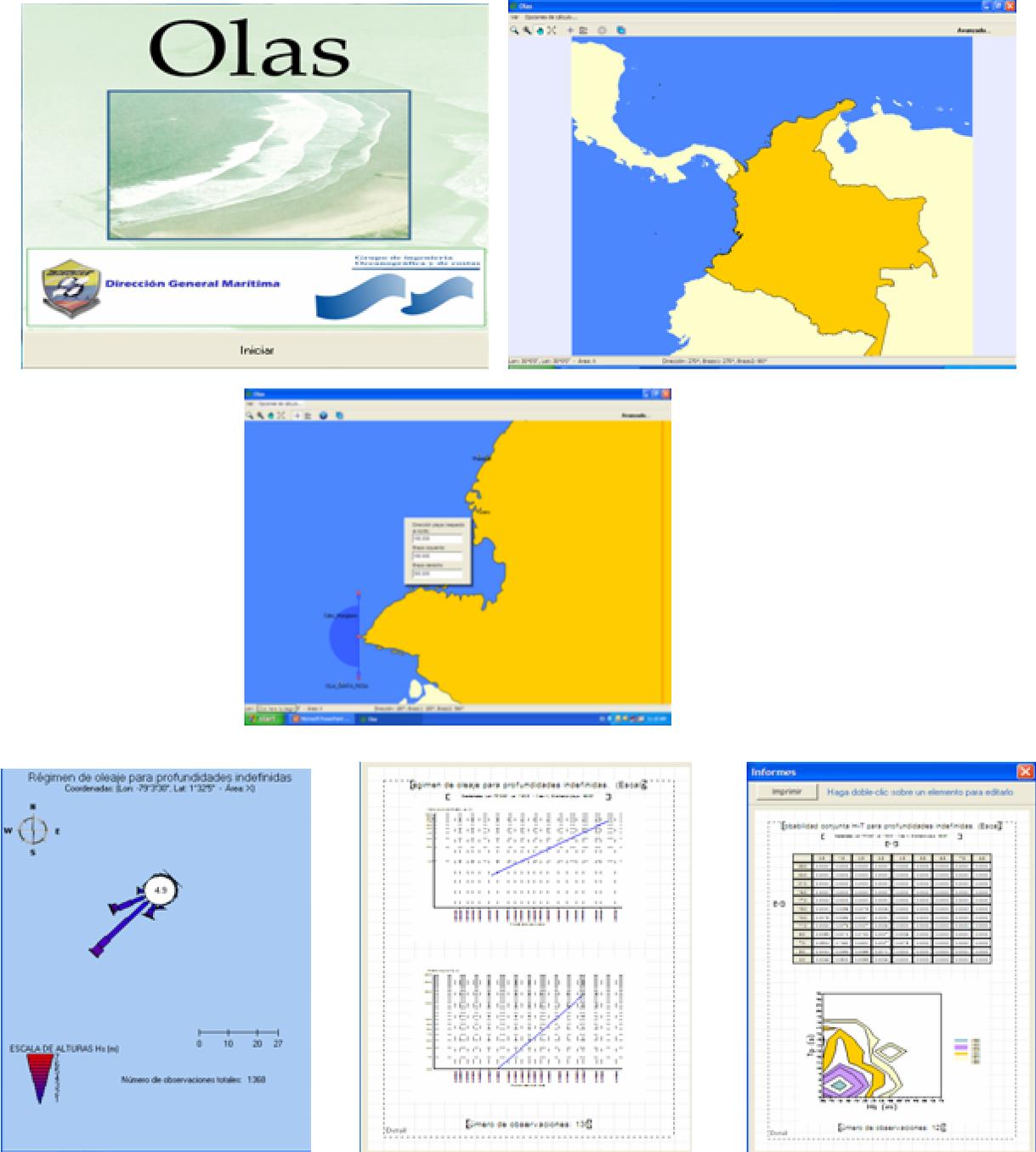


Figura 3. Algunos de los pantallazos del módulo Olas, mostrando un ejemplo típico.