

VARIACIONES HIPERANUALES DE PARÁMETROS MEDIOS DE OLEAJE EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL EN LOS ÚLTIMOS CINCUENTA AÑOS: EFECTOS SOBRE LA COSTA

María LISTE; Fernando J. MÉNDEZ; Iñigo J. LOSADA;
Raúl MEDINA y Maitane OLABARRIETA

Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas

Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria

RESUMEN

Este artículo presenta el análisis de las tendencias, en el periodo comprendido entre 1958 y 2001, de los parámetros del régimen medio de oleaje en el Litoral Mediterráneo Español. Se ha comprobado que existe una ligera tendencia de variación del ángulo de la dirección del flujo medio de energía a lo largo de todo el litoral, siendo más acusada la variación en la zona de Cataluña y Almería. En los resultados preliminares se puede observar que el régimen medio de alturas de ola no ha variado en los últimos cincuenta años a excepción de la zona del Estrecho de Gibraltar. Estas tendencias deberán ser consideradas en un futuro como indicadores del cambio climático en la costa.

Palabras clave: Cambio climático, análisis de tendencias, flujo medio de energía, régimen medio de oleaje, clima marítimo.

ABSTRACT

In this paper, an analysis of trends (period 1958-2001) of long-term wave climate parameters in the Spanish Mediterranean Coast is presented. A weak variation of the averaged direction of the annual mean energy flux is detected along the littoral, although it is more remarkable in the vicinity of Cataluña and Almería. In this preliminary results, it is observed that the long-term wave height distribution is unmodified in the last 50 year except in the area near the Gibraltar straight. These trends can be considered as key indicators of climate change on the coast.

Key words: *Climate change, tendency analysis, energy flux, long-term wave height distribution, wave climate.*

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras son el punto de encuentro entre el mar y la tierra, y uno de los entornos naturales más dinámicos del Planeta; un gran número de actividades se desarrollan en ellas, atrayendo mucha población e importantes inversiones, por ello, la costa debe tener una adecuada gestión que considere factores de largo plazo tales, como el cambio climático.

Es un hecho constatado, la situación de cambio climático a causa del incremento de temperatura media global en la atmósfera; este cambio climático global, dará como resultado aumentos de la temperatura superficial y subidas del nivel del mar (IPCC, 2001). Se prevé que se produzcan cambios en la dinámica atmosférica y lógicamente, en la interfaz aire-agua, por lo que son esperables cambios en la dinámica marina (STORCH y ZWIERS, 1999). Para evaluar el impacto

del cambio climático sobre la costa, es necesario estimar la subida del nivel medio del mar y conocer si se están produciendo variaciones significativas en la intensidad, frecuencia, duración y trayectoria de los temporales que afectan directamente al litoral, ya que son estos fenómenos oceano meteorológicos, los que inducen cambios en procesos o variables que afectan directamente a la costa y a sus infraestructuras, erosión, oleaje... (ACINAS y BABIO, 2001; Proyecto DINAS-COAST).

En la actualidad, existe una importante carencia de datos medioambientales, indispensables para conocer los efectos del cambio climático en la costa, bien sea por su propia inexistencia o por la dudosa calidad y fiabilidad de éstos.

La gestión y el mantenimiento del litoral, la explotación de recursos marinos, la navegación, la actividad portuaria o el diseño de obras marítimas, requiere el conocimiento de los regímenes medios, es decir, se requiere conocer la información estadística de los parámetros del estado de mar (en un periodo de tiempo determinado, mes, estación, año) como son la altura de ola significativa, H_s , el periodo medio, T_m , la dirección del oleaje, θ y el flujo medio de energía, (MASSEL, 1996). La caracterización estadística en el dominio del tiempo de estos parámetros se denomina, en el ámbito de la oceanografía, clima marítimo (EPPE, 1991). Así, por ejemplo, el régimen medio de altura de ola significativa, H_s , de un mes y lugar determinado, facilita la probabilidad de que un valor concreto de altura de ola significativa, no sea superado en dicho mes y lugar. De la misma manera, el régimen medio de altura de ola significativa anual de un lugar específico, permite calcular la probabilidad de que una altura de ola significativa concreta, no sea superada en el año medio. Por otro lado, la operatividad de un puerto o de un muelle, es función del régimen medio, puesto que será el régimen medio de altura de ola significativa, H_s , el que determine el porcentaje de tiempo en que, como media, se superará un valor determinado de H_s en dicho muelle, y como consecuencia, determinará el periodo de operatividad de éste (R.O.M. 0.0). De la misma forma, la configuración geométrica de una playa, depende de la dirección del flujo medio de energía, del transporte de sedimentos, de la profundidad de cierre, etc. (GONZÁLEZ y MEDINA, 2001), parámetros todos ellos dependientes del régimen medio de altura de ola significativa, H_s . En lo que se refiere a la profundidad de cierre de un perfil de playa, h^* , es un parámetro indispensable a la hora de estudiar la configuración de una playa, ya que marca la profundidad hasta donde el movimiento de los sedimentos, modifican el perfil debido a la acción del oleaje. La profundidad de cierre, depende por tanto del clima marítimo de la zona y está íntimamente ligada a parámetros del régimen medio de oleaje, tales como la H_{s12} , o altura de ola significativa que es superada 12 horas al año, de forma que, $h^* = cte H_{s12}$.

El objetivo principal de este artículo, es evaluar las tendencias hiperanuales de los parámetros medios de oleaje en el Litoral Español, así como los posibles efectos sobre la costa, principalmente, en la estabilidad de las playas. Para ello, se ha utilizado una base de datos simulados numéricamente, obtenida a partir del Modelo Espectral de Oleaje WAM, a partir de un análisis retrospectivo de oleaje de un periodo de 44 años, desarrollada dentro del proyecto HIPOCAS. Para calibrar los datos simulados, se ha utilizado una base de datos de oleaje en tiempo real, en puntos de aguas poco profundas, proporcionada por la Red Costera de boyas de Puertos del Estado (Red REMRO).

La estructura de este artículo es la siguiente: En la primera parte, se muestran las bases de datos utilizadas y se seleccionan los parámetros de oleaje más adecuados. A continuación, se explica la

metodología seguida para el análisis de tendencias. Posteriormente, se analizan las series temporales de los parámetros que definen las tendencias tanto en un punto de la costa, como a lo largo de ésta. Tras este análisis, se estudian los posibles efectos del giro de la dirección media del flujo de energía del oleaje en la estabilidad de las playas, evaluando las consecuencias en la planta de las playas. Finalmente, se muestran las conclusiones obtenidas del estudio realizado.

Este trabajo está enmarcado en el Estudio sobre los efectos del cambio climático en la costa española, que la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente ha encargado a la Universidad de Cantabria (MENDEZ *et al.*, 2004, en este congreso).

2. BASES DE DATOS

2.1. Datos de oleaje

Las bases de datos de oleaje que se han utilizado en este estudio son, la red REMRO proporcionada por el Ente Público Puertos del Estado (EPPE), y los resultados del proyecto HIPOCAS (EPPE, 2003).

La red costera de Puertos del Estado proporciona datos de oleaje en tiempo real en puntos de aguas poco profundas. Su objetivo es complementar las medidas de la red exterior en lugares de especial interés para las actividades portuarias o la validación de modelos de oleaje.

La base de datos del proyecto HIPOCAS ha sido configurada, con el fin de generar 44 años de datos homogéneos de alta resolución de oleaje y nivel del mar. La resolución horizontal de estos datos es adecuada para representar, al menos, los elementos fundamentales de la línea de costa y de la batimetría con resoluciones de 5 a 10 km, dependiendo del área. Las resoluciones temporales varían entre 1 y 3 horas. Estos datos se obtienen a partir del retroanálisis de 44 años de datos atmosféricos, realizado por el National Centre for Atmospheric Research, Boulder, Colorado, USA (NCAR), haciendo uso de los modelos numéricos WAM para oleaje y HAMSON para nivel del mar. Esta base de datos ha sido calibrada espacial y temporalmente, TOMÁS *et al.* (2004), a partir de una técnica basada en una descomposición en componentes principales y en un método de optimización no lineal, SCE-UA (DUAN *et al.*, 1994). Una vez calibrada, se dispone de una base de datos adecuada para el análisis estadístico de tendencias de los parámetros de oleaje.

2.2. Parámetros de oleaje seleccionados

Puesto que lo que se quiere buscar son las tendencias que han experimentado en el pasado los parámetros que definen el oleaje con el fin de intentar identificar los posibles efectos que el cambio climático ha causado sobre ellos, se ha realizado un estudio preliminar encaminado a seleccionar los parámetros de oleaje con los que se desea trabajar y el tipo de técnica utilizado en el análisis. En este estudio se han tomado como parámetros representativos la altura de ola significativa, H_s , el periodo medio, T_m , el periodo de pico, T_p y la dirección del oleaje, θ .

A partir de estos parámetros se puede definir el vector de flujo medio de energía en profundidades indefinidas, como la tasa media de transferencia de energía por unidad de anchura, a través de un plano $x=cte$, debida al paso de las olas, obteniendo la siguiente expresión:

$$\vec{F}_e = E\vec{C}_g = \alpha H_s^2 T_p (\cos\theta \vec{i} + \sin\theta \vec{j})$$

donde α es una constante.

De esta forma, se obtiene una distribución de parámetros de estados de mar anuales, tal y como muestra la figura 1. Al estar interesados en regímenes de variables del estado de mar (por ejemplo la altura de ola significativa), se va a realizar el análisis de tendencias a los parámetros de la distribución estadística ajustada. Así por ejemplo, se ha asumido válida la distribución LogNormal para H_s , con lo que se analizará μ y σ (Fig. 1).

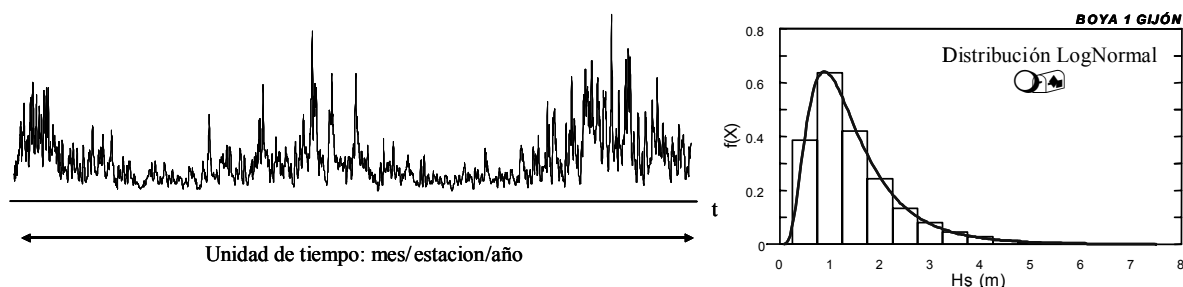


Fig. 1. Ejemplo de agregación de serie temporal de altura de ola significativa

2.3. Calibración

Se han calibrado las series de datos de los modelos numéricos del proyecto HIPOCAS con datos instrumentales (TOMÁS *et al.*, 2004). La calibración se ha realizado tras la descomposición de las bases de datos en funciones empíricas ortogonales (EOF) (BALDACCI *et al.*, 2001). Se ha conseguido una excelente base de datos de todas las costas españolas de más de 40 años de duración.

3. METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS DE TENDENCIAS

Se considera una serie de datos de una determinada variable Y , que puede representar cualquiera de las variables geofísicas consideradas, la cual varía en función de X , que en este caso será el tiempo. Es decir, se dispone de una serie de n datos $[(y_1, x_1), (y_2, x_2), \dots, (y_n, x_n)]$.

En primer lugar se ha realizado una regresión lineal, con mínimos cuadrados, de manera que se ajustan los datos a la recta que minimiza $\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$, siendo y_i el valor dato de la serie en x_i

e \hat{y}_i , el valor estimado de y_i , con la recta de ajuste, para x_i : $\hat{y}_i = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 x_i$, siendo los valores de \hat{a}_0 y \hat{a}_1 los estimadores de a_0 y a_1 , que son los parámetros que definen la recta de ajuste $(y_i = a_0 + a_1 x_i + \varepsilon_i)$.

Posteriormente, para tener la seguridad de que la serie de datos ajustada no tiene algún valor incorrecto se realiza una prueba de localización de outliers (BARNETT y LEWIS, 1994). Si no

existe ningún outlier, se deja el primer ajuste realizado; si por el contrario se detecta la presencia de algún outlier, se elimina de la serie y se realiza de la misma manera que el primer ajuste descrito, verificando que no hay ningún outlier y que se disminuye el error con respecto al primer ajuste.

Una vez que se tiene el resultado del ajuste de las series de datos, se trata de interpretar si es significativa la tendencia que sigue en el tiempo, para ello se obtienen los intervalos de confianza.

Así por ejemplo, el intervalo de confianza para el valor estimado de la pendiente (\hat{a}_1) es

$$\left(\hat{a}_1 - \frac{t_{(1+p)} \hat{\sigma}_E}{\sqrt{S_{xx}}}; \hat{a}_1 + \frac{t_{(1+p)} \hat{\sigma}_E}{\sqrt{S_{xx}}} \right)$$

Donde $t_{\frac{(1+p)}{2}}$ es el valor de la t de Student para $n-2$ grados de libertad y para el cuantil $(1+p)/2$,

$$S_{xx} = \sum_{i=1}^n (x_i - \hat{x})^2 \text{ y } \hat{\sigma}_E^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{a}_0 - \hat{a}_1 x_i)^2}{n-2}.$$

4. RESULTADOS

4.1. Análisis de las series temporales

Se han seleccionado varios puntos del litoral para hacer el análisis de tendencias. Para cada uno de ellos se ha analizado la altura de ola significativa, el periodo medio, la dirección del oleaje y el flujo medio de energía (Fig. 2).

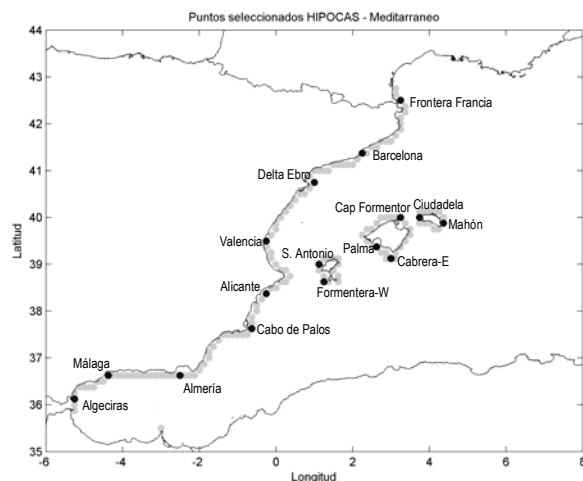


Fig. 2. Localización de algunos de los puntos de estudio

A modo de ejemplo, en la figura 3 se muestra para el nodo situado en las inmediaciones del “Delta del Ebro” la evolución anual de diversos cuantiles del régimen medio anual de altura de ola significativa, H_s , los parámetros de la distribución LogNormal ajustada, (μ y σ) y la dirección del flujo medio de energía anual, θ_{Fe^*} . Nótese, para este caso en particular, la ligera tendencia de

variación del ángulo del flujo medio de energía (Fig. 3, panel derecho), donde se puede apreciar una variación significativa del ángulo de la dirección, en los años comprendidos entre 1974 y 1978. Este hecho puede ser debido a la dominancia alterna anual, de los oleajes de levante o poniente. De la misma forma, se puede apreciar también en este caso en particular, (ver figura 3, panel izquierdo inferior), la estabilidad que muestran H_{s50} y H_{s90} , frente a las fluctuaciones que presenta H_{s99} . No obstante y de manera general, se puede decir que, en este punto, el régimen medio de oleaje presenta una gran estacionariedad a lo largo de los últimos 44 años (Fig. 3).

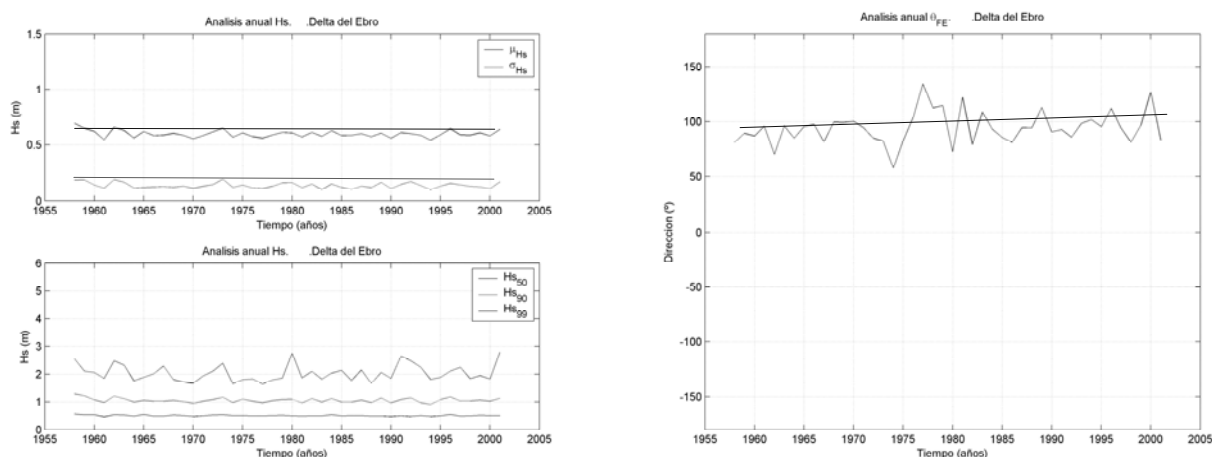


Fig. 3. Variación anual del régimen medio de altura de ola significativa y de la dirección del flujo medio de energía en el Nodo “Delta del Ebro” (Ángulo tomado desde la dirección Norte y en sentido positivo de las agujas del reloj)

4.2. Análisis espacial

El objetivo del análisis espacial de los datos es determinar la tendencia de los parámetros considerados a lo largo del litoral.

En la figura 4 se muestra la evolución del régimen medio de altura de ola significativa y de las variaciones del régimen medio, a lo largo del litoral mediterráneo peninsular. El punto (2) se corresponde con Ceuta y el punto (99), con Port Bou, en la frontera con Francia. Las líneas discontinuas representan las bandas de confianza del 95%. El panel superior es una radiografía del régimen medio de altura de ola significativa en profundidades indefinidas, a lo largo de la costa (a partir de la definición de los parámetros μ y σ y de la distribución Log-Normal, se conoce por completo la distribución de H_s).

En el panel inferior y medio de la figura 4, se observa con más detalle, que en la zona central del mediterráneo, las variaciones de la media son prácticamente despreciables. Sin embargo, en la zona cercana a Algeciras se distingue un ligero aumento de la varianza; es decir, aunque el valor medio de la altura de ola permanece cuasiconstante, se produce un aumento de los valores medio-altos de altura de ola, es por esa razón, por la que las líneas de los intervalos de confianza están más separadas en esa zona. Así, por ejemplo, en el nodo 5 se observa, en el periodo comprendido

entre 1958 y 2001, una variación anual de 0,005 en el coeficiente de variación, cv , lo que en principio parece una variación despreciable, supondría un cambio de hasta un 20% en el parámetro σ de la distribución Log-Normal, transcurridos 44 años; esta variación, entrañaría un cambio substancial en el clima marítimo de la zona, que hay que analizar con cautela. Es importante señalar en este punto, que la condición de contorno del modelo WAM en el Estrecho de Gibraltar (no hay aporte de energía del oleaje del Océano Atlántico), puede estar condicionando los resultados en el Mar de Alborán.

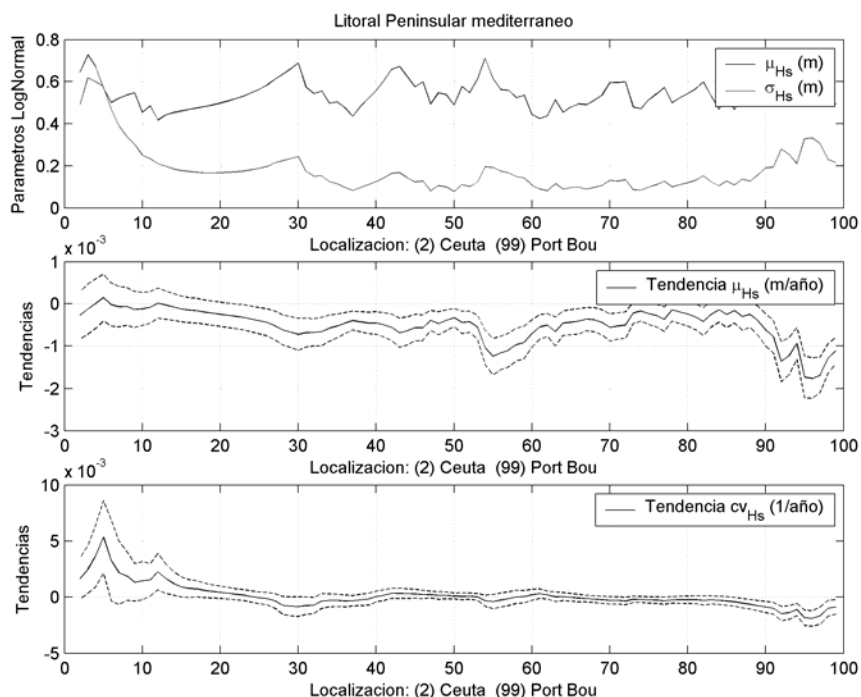


Fig. 4. Evolución del régimen medio de altura de ola significativa a lo largo del litoral mediterráneo peninsular y de las variaciones del régimen medio (tendencias de μ_H y del coeficiente de variación $cv = \sigma/\mu$). En línea discontinua se representa las bandas de confianza del 95%

Como puede observarse en la figura 5, en la zona de Cataluña y de Almería se produce un importante giro en el sentido de las agujas del reloj de la dirección del flujo medio de energía, mientras que en el resto del litoral mediterráneo peninsular, este giro es menos significativo y llega a ser en sentido contrario.

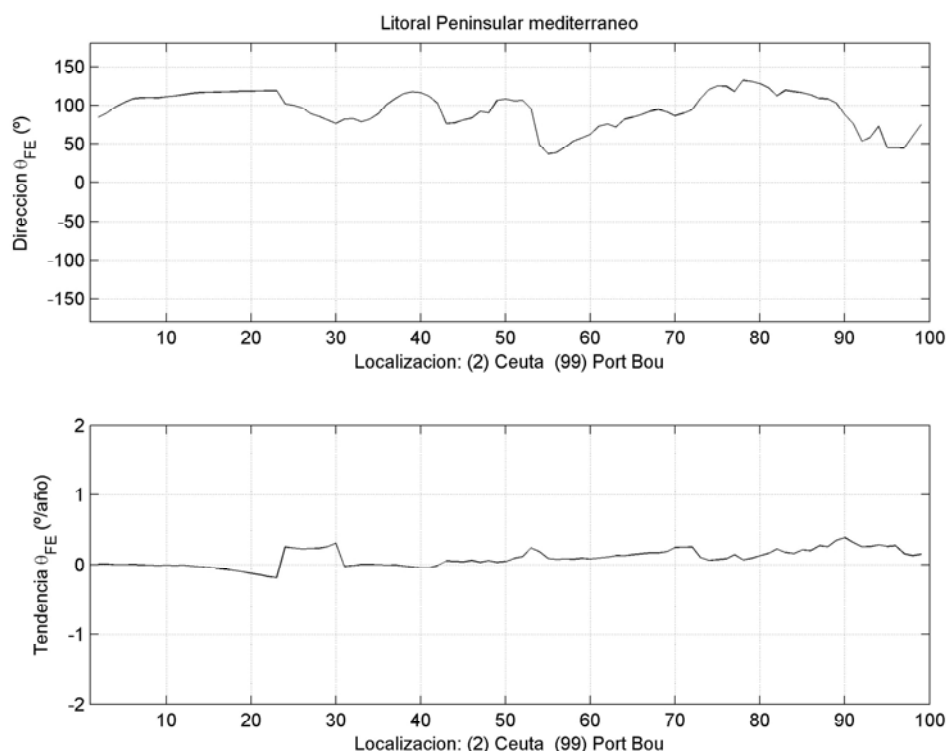


Fig. 5. Evolución de la tendencia de la dirección del flujo medio de energía a lo largo del litoral mediterráneo peninsular (Ángulo positivo, sentido de las agujas del reloj)

5. CONSECUENCIA EN LA ESTABILIDAD DE LAS PLAYAS

Asumiendo que se han producido variaciones inducidas por el cambio climático en algunas de las variables y parámetros analizados, se ha considerado de forma teórica, las consecuencias que dichos cambios pueden tener sobre algunos aspectos asociados a la estabilidad de las playas. En general, la forma estable de una playa se suele descomponer ortogonalmente en planta y perfil, pudiendo de esta forma estudiar de manera independiente, el perfil de la planta de la playa. Admitiendo la ortogonalidad entre el perfil y la planta de una playa y a partir de formulaciones analíticas o semiempíricas sencillas, se presenta el caso del estudio de las variaciones de la forma en planta de la playa como efecto de cambios en la dirección del flujo medio de energía como consecuencia del cambio climático.

De acuerdo con la teoría de HSU. *et al.* (1989), la forma en planta de equilibrio de una playa en el largo plazo viene dada por una parábola con la siguiente ecuación:

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \frac{\beta}{\theta} + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2$$

donde R es el radio, R_0 es el radio vector tomado desde el punto de difracción, hasta el punto final de la playa, C_0 , C_1 y C_2 son los coeficientes dependientes del ángulo β , β es el ángulo entre el frente del oleaje y el radio vector R_0 y θ es el ángulo entre el frente de oleaje y el vector R .

Una variación en el flujo medio de energía supone un cambio en la forma en planta (Fig. 6):

$$\frac{R}{R_0} = C_0 + C_1 \frac{\beta}{\theta} + C_2 \left(\frac{\beta}{\theta} \right)^2$$

$$\frac{R_2}{R_0} = (C_0 + \Delta C_0) + (C_1 + \Delta C_1) \frac{\beta + \Delta\beta}{\theta} + (C_2 + \Delta C_2) \left(\frac{\beta + \Delta\beta}{\theta} \right)^2$$

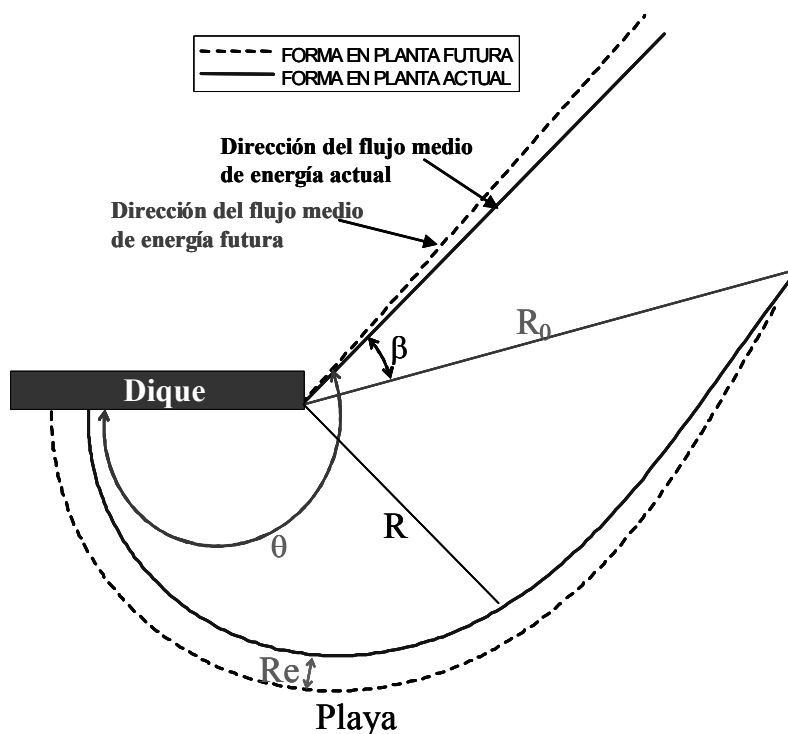


Fig. 6. Variación de la forma en planta por variación de la dirección de la dirección del flujo medio de energía

El retroceso de la línea de costa se puede calcular en función del ángulo β y de $\Delta\beta$. A modo de ejemplo, en la figura 7 se muestra dos ábacos (para $\beta = 30^\circ$ y 55°) del retroceso de la línea de costa en función de $\Delta\beta$ y de la posición θ .

Para tener una idea, una variación de tan solo dos grados en la dirección del flujo medio de energía en 44 años, cantidad en principio despreciable puesto que la variación anual sería de $0,04^\circ$, en una playa caracterizada por un $R_0 = 1000\text{m}$, y un $\beta = 30^\circ$, generaría un retroceso de aproximadamente 20m en la línea de costa, retroceso que supondría un cambio radical en la configuración geométrica de la playa.

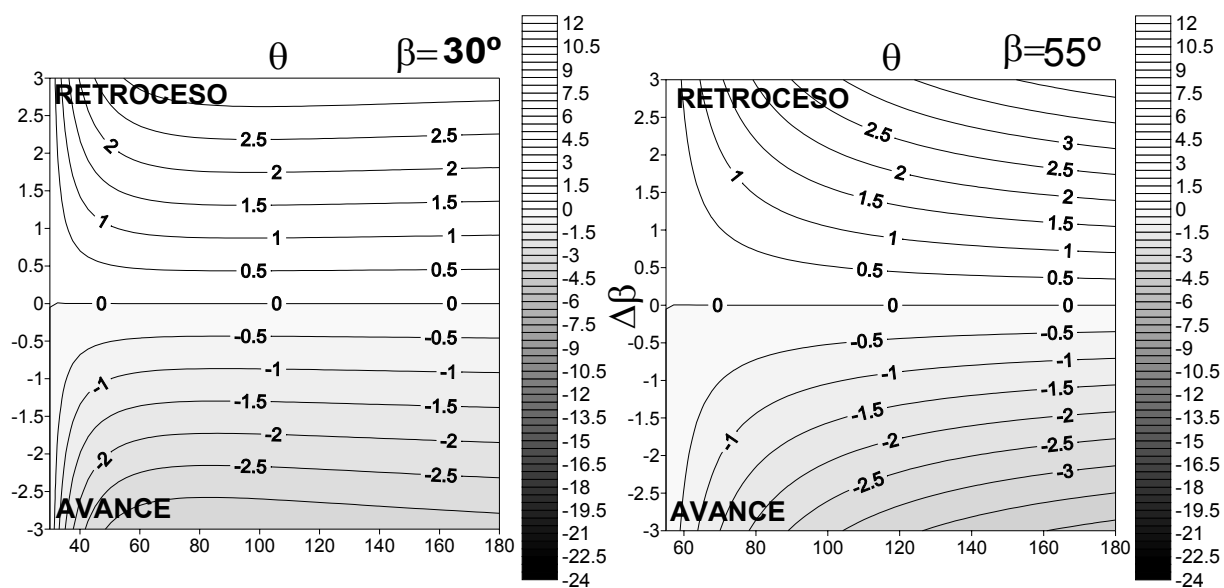


Fig. 7. Ábaco de retroceso de la línea de costa en función de la variación de la dirección del flujo medio de energía (para $\beta = 30^\circ$ y 55°). Resultados en % de variación

Es importante señalar que, la variación hiperanual de la dirección del flujo medio de energía, no se ha tenido en cuenta hasta el momento como un factor entre los elementos del cambio climático en playas. En general, sólo se ha considerado el retroceso de la línea de costa por la variación del nivel medio (BRUUN, 1962). Lógicamente, éste nuevo factor tiene una gran importancia a la hora de planificar las políticas y estrategias a seguir para una correcta actuación en la costa ante el cambio climático.

6. CONCLUSIONES

Se ha realizado un estudio del análisis de tendencias, del periodo comprendido entre 1958 y 2001, de los parámetros medios de oleaje en el litoral mediterráneo español, a partir de la base de datos HIPOCAS. Dicha base de datos, calibrada previamente (TOMÁS *et al.*, 2004), proporciona una extensa información espacial cubriendo todo el Litoral Español.

Después de un exhaustivo estudio de las variables y parámetros más significativos para el estudio de los efectos del cambio climático, se han extraído resultados preliminares sobre las tendencias, temporales y espaciales del régimen medio, así como la dirección del flujo medio de energía en los últimos 44 años, en diversos puntos del litoral español, donde se ha podido ver que, desde un punto de vista temporal, existe una ligera tendencia de variación del ángulo de la dirección del flujo medio de energía y el régimen medio del oleaje presenta una marcada estacionariedad. Desde un punto de vista espacial, se puede destacar el ligero aumento de los valores medios-altos de la altura de ola, en la zona Sur del litoral mediterráneo español.

A partir de éstas tendencias, se han cuantificado teóricamente los efectos que el cambio climático tendría sobre la geometría de las playas, donde se puede apreciar una variación de la forma en planta, dependiendo de la variación del ángulo en la dirección del flujo medio de energía, siendo

este hecho de gran relevancia, puesto que se tendrá que tener en cuenta como un factor más, dentro de los elementos que variarán en la costa ante el cambio climático.

7. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Oficina Española de Cambio Climático (Ministerio de Medio Ambiente), la financiación por el Proyecto “Investigación sobre Impactos en la Costa Española por el efecto del Cambio Climático”. Así mismo, se agradece al Ente Público Puertos del Estado (Ministerio de Fomento), por el uso de la base de datos HIPOCAS y de todas sus redes de medida instrumental de boyas de oleaje. F.J.M. agradece al Ministerio de Ciencia y Tecnología la financiación dentro del Programa Ramón y Cajal.

8. REFERENCIAS

- ACINAS, J.R y BABIO, R. (2001). *Impacto del Cambio Climático en los Proyectos de Ingeniería de Costas*. IV Jornadas Españolas de Ingeniería de Costas y Puertos. Palma de Mallorca.
- BALDACCI, A. *et al.* (2001). “A study of the Alboran sea mesoscale system by means of empirical orthogonal function decomposition of satellite data”. *Journal of Marine Systems*, 29, pp. 293-311.
- BARNETT, V. and LEWIS, T. (1994). *Outliers in Statistical Data*. Hardcover
- BRUUN, P. (1962). “Sea Level Rise as a Cause of Shore Erosion”. *Journal of Waterways and Harbors Division* (ASCE), 1, pp. 116-130.
- DINAS-COAST Project. (<http://www.dinas-coast.net>)
- DUAN, Q. *et al.* (1994). “Optimal use of the SCE-UA global optimization method for calibrating watershed models”. *Journal of Hydrology*, 158, pp. 265-284.
- EPPE (2003). *Reanálisis de 44 años (1958-2001) del clima oceánico y atmosférico en el Mar Mediterráneo: Informe Técnico de la contribución de Puertos del Estado al proyecto europeo HIPOCAS*. 305 pp.
- EPPE (2001). *R.O.M 0.0. Recomendaciones para obras marítimas. Procedimiento general y bases de cálculo en el proyecto de obras marítimas y portuarias*. Ministerio de Fomento. Puertos del Estado.
- EPPE (1991). *ROM 0.3-91. Oleaje. Anejo I. Clima Marítimo en el Litoral Español*. Ministerio de Fomento.
- GONZÁLEZ, M. and MEDINA, R. (2001). “On the application of static equilibrium bay formulations to natural and man-made beaches”. *Coastal Engineering*, vol. 43, pp. 209-225.
- HSU. *et al.* (1989). “Parabolic Bay Shapes and Applications”. *Proc. Institution of Civil Engineers*, London, England, (Part 2), vol. 87, pp. 556-570
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report. Summary for Policymakers*, 145 pp.
- MASSEL, S.R. (1996). *Ocean Surface Waves: Their Physics and Prediction*. Advanced Series on Ocean Engineering, vol. 11.
- MÉNDEZ, F. *et al.* (2004). Estudio de los impactos en la costa española por el efecto del cambio climático. En: *IV Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC)*.
- STORCH, H. y ZWIERS, F. (1999). *Statistical Analysis in Climate Research*. University Press, Cambridge
- TOMÁS, A. *et al.* (2004). Bases de datos de oleaje y nivel del mar, calibración y análisis: El cambio climático en la dinámica marina en España. En: *IV Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC)*.

