

ESTUDIO DE LOS IMPACTOS EN LA COSTA ESPAÑOLA POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Fernando J. MÉNDEZ; Raúl MEDINA; Iñigo J. LOSADA; Maitane OLABARRIETA;
Antonio TOMÁS; María LISTE; Melisa MENÉNDEZ; Ana J. ABASCAL;
Pablo AGUDELO y Sonia CASTANEDO

Grupo de Ingeniería Oceanográfica y de Costas

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

RESUMEN

En este artículo se presenta el Estudio de investigación sobre impactos en la costa española por efecto del cambio climático, que la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Oficina Española del Cambio Climático, ha encargado a la Universidad de Cantabria. Este trabajo se presenta como resumen de dicho Estudio y es el primero de los cuatro artículos que se presentan en este congreso, cubriendo los restantes aspectos científico-técnicos de diversas partes del Estudio.

Palabras clave: Cambio climático, dinámica costera, clima marítimo, oleaje, ascenso del nivel del mar, gestión del litoral.

ABSTRACT

The effects of climate change on the Spanish coast are analyzed in a Project led by the University of Cantabria and funded by the Spanish Agency of Climate Change (Ministry of Environment). This work is presented as a summary of the Project and is one of the four papers presented in this Conference. The three companion papers cover several scientific aspects of the study.

Key words: *Climate change, coastal dynamics, wave climate, wave, sea level rise, coastal zone management.*

1. INTRODUCCIÓN

El Estado Español, al igual que el resto de Estados Miembros, tiene el requerimiento de la Convención Marco de Naciones Unidas sobre Cambio Climático (CMCC) de implementar medidas concretas para adaptarse al ascenso del nivel y demás efectos del cambio climático en la costa. En concreto el Artículo 4 (b) de la CMCC establece que todas las Partes deberán formular, aplicar, publicar y actualizar regularmente programas nacionales que contengan medidas para facilitar la adaptación adecuada al cambio climático. En este sentido es la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente, a través de la Oficina Española del Cambio Climático, la encargada de arbitrar las medidas necesarias para desarrollar la política del Departamento en materia de cambio climático.

Consciente de la incidencia del cambio climático sobre la costa, la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental solicitó la colaboración de la Universidad de Cantabria para el desarrollo de un Convenio de Colaboración destinado al desarrollo de estudios y herramientas específicas que doten de soporte científico-técnico al establecimiento de políticas y estrategias de actuación en las

costas españolas ante el cambio climático. Esta iniciativa es la que dio origen al Convenio de Colaboración titulado CONVENIO DE COLABORACION ENTRE LA DIRECCIÓN GENERAL DE CALIDAD Y EVALUACIÓN AMBIENTAL Y LA UNIVERSIDAD DE CANTABRIA EN MATERIA DE INVESTIGACIÓN SOBRE IMPACTOS EN LA COSTA ESPAÑOLA POR EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO (con fecha noviembre de 2002).

El objetivo general del Convenio es definir y establecer los mecanismos científicos, técnicos y económicos con el fin de proporcionar al Ministerio de Medio Ambiente la cobertura científica necesaria para atender sus intereses en materia de establecimiento de políticas y estrategias de actuación en las costas españolas ante el cambio climático. Para conseguir este objetivo general y los objetivos específicos asociados el proyecto, se ha estructurado en las siguientes fases:

1. Evaluación de cambios en la dinámica costera española;
2. Evaluación de efectos en la costa del cambio climático y,
3. Establecimiento de políticas y estrategias frente al cambio climático (Fig. 1).

En este trabajo se describe los trabajos realizados hasta la fecha (2T-2004), que incluye tareas relativas a las Fases I y II y los trabajos que se realizarán hasta la finalización del proyecto.

	4T 2002	1T 2003	2T 2003	3T 2003	4T 2003	1T 2004	2T 2004	3T 2004	4T 2004	1T 2005
Fase I: Evaluación de cambios en la dinámica costera española	Recopilación información	Análisis datos históricos de oleaje, nivel y mareas (1950-2000)	Análisis datos históricos de caudal fluvial y sedimento	Zonificación de zonas homogéneas	Análisis datos de predicción para escenarios IPCC: olas, nivel, caudal	Fase I.d. Prognosis de cambio en la dinámica costera para escenarios CC				
Fase II: Evaluación de efectos en la costa española		Efectos teóricos en las obras: Fiabilidad, operatividad	Efectos teóricos en las playas y dunas	Efectos teóricos en estuarios, deltas, humedales, lagunas	Fase II.a. Efectos teóricos del cambio climático en el litoral	Análisis efectos en las zonas homogéneas	Estudios de detalle	Fase II.b. Efectos en las zonas homogéneas de litoral español	Fase II.c. Estudios de detalle	
Fase III: Establecimiento de políticas y estrategias						Propuesta de indicadores e índices	Integración resultados en base de datos del inventario para la GIZC	Integración de indicadores en el SIG de la GIZC	Fase III.a. Documento Técnico	Fase III.b. Documento Gestiones Costa

Fig. 1. Plan de trabajos

2. FASE I: EVALUACIÓN DE CAMBIOS EN LA DINÁMICA COSTERA ESPAÑOLA

2.1. Planteamiento del problema

Los diferentes elementos del litoral están sometidos a un conjunto de dinámicas, que se pueden representar por determinados parámetros como, por ejemplo, la altura de ola, el período, la

dirección del oleaje, el nivel del mar, el aporte de sedimentos por el río, etc. Todos estos parámetros son variables aleatorias, las cuales se suelen modelar con distribuciones estadísticas. De esta manera, y a modo de ejemplo, la configuración estable de una playa en planta y en perfil es función de ciertos estadísticos (dirección media del oleaje dominante, altura de ola significativa que es superada 12 horas al año, régimen de carrera de marea, etc.). Por otro lado, el diseño de fiabilidad de una obra marítima se realiza atendiendo normalmente a la distribución estadística extremal (régimen de temporales) de la altura de ola significativa. Toda esta caracterización estadística de la dinámica marina se denomina, en el ámbito de la oceanografía, clima marítimo.

Por lo tanto, cualquier cambio de largo plazo producido en el clima marítimo (en el orden de decenas de años) traerá consigo cambios en la dinámica litoral, pudiendo originar modificaciones en la configuración y estabilidad de cada elemento del litoral. De este modo, la Fase I consta de varias tareas y tiene un doble objetivo, por un lado determinar los cambios acontecidos en la dinámica costera en las últimas décadas (LISTE *et al.*, 2004; MENÉNDEZ *et al.*, 2004). Estos cambios, han sido evaluados, entre otros, con base en datos históricos instrumentales mediante simulación numérica a lo largo del litoral español (TOMÁS *et al.*, 2004). Por otro lado, para estimar los previsibles cambios en la citada dinámica costera para el año horizonte 2100 bajo diversos escenarios de cambio climático, es necesario trabajar con datos de predicción.

2.2. Análisis y selección de las variables geofísicas relevantes para el cambio climático en la costa

La Fase I ha comenzado con un análisis exhaustivo de los posibles efectos del cambio climático sobre las zonas costeras. Solo después de esta tarea es posible realizar una adecuada selección de aquellas variables o magnitudes geofísicas que es necesario estudiar con el fin de establecer la existencia o no de dichos efectos. Se ha entendido que, dada la infinidad de variables geofísicas involucradas en la problemática analizada, es necesario partir de un profundo análisis para evaluar adecuadamente las bases de datos históricos susceptibles de ser recopilados; la necesidad o no de generar nuevas bases de datos y el tipo de estudios más adecuado para conseguir alcanzar los objetivos establecidos para cada una de las fases.

Después de este primer análisis se ha considerado necesaria la información histórica relativa a datos atmosféricos, de oleaje, de nivel del mar, de subsidencia, de caudal fluvial y de caudal sólido.

2.3. Bases de datos

En general, existen dos tipos de fuentes de datos a partir de los cuales se puede obtener la información requerida: datos provenientes de observaciones o datos generados numéricamente.

En lo que se refiere a datos atmosféricos y de oleaje, se cuenta con la información histórica de las series temporales registradas por el INM en sus diferentes estaciones y la información instrumental suministrada por Puertos del Estado que incluye su red de boyas de aguas profundas y la red costera. Asimismo, se cuenta con la información del proyecto HIPOCAS (EPPE, 2003) que incluye una base de datos con las series temporales del retroanálisis de 44 años de datos de viento a 10 m y presión superficial tanto en la zona del Atlántico como del Mediterráneo. A día de hoy, HIPOCAS incluye la base de datos con el retroanálisis más largo (44 años) y con mayor resolución

temporal y espacial, incluyendo información de oleaje y nivel del mar. Por tanto, se tomará como base fundamental para el análisis del oleaje en este estudio. En la figura 2 se muestran 3 campos de altura de ola significativa horaria que cubren el área del Mediterráneo de la base de datos del proyecto HIPOCAS. Nótese la elevada resolución espacial y temporal, ya que se disponen de cada parámetro más de 380.000 datos (24 horas x 365 días x 44 años)

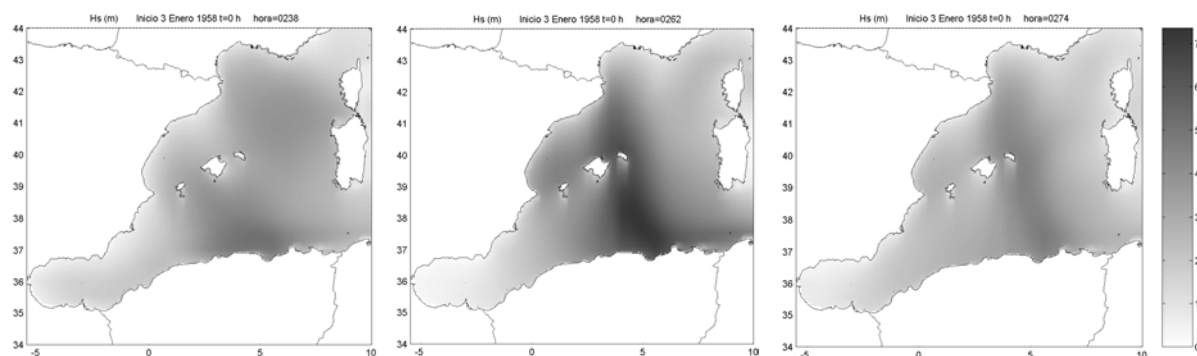


Fig. 2. Ejemplo de campos horarios de altura de ola significativa de HIPOCAS

No obstante, desde un punto de vista cuantitativo, se ha comprobado que la base de datos de HIPOCAS no es del todo correcta, ya que los valores de las variables se desvían ligeramente de lo registrado en las boyas de medida de Puertos del Estado. Por lo tanto, ha sido necesario realizar una calibración específica de los datos de oleaje y nivel del mar con los datos instrumentales con el fin de mejorar aún más la calidad de los datos de partida (TOMÁS *et al.*, 2004).

Por otro lado, se cuenta con las bases de datos de los proyectos STOWASUS 2100 (KAAS, 2000) y PRUDENCE, las cuales aportan información de series temporales de variables atmosféricas hasta el año 2100 considerando diferentes escenarios de CO₂. Dichas bases de datos están siendo analizadas actualmente.

Tres son las fuentes que se consideran fundamentales para el análisis del nivel del mar en nuestras costas: la red de mareógrafos de Puertos del Estado, REDMAR; las series de los mareógrafos del Instituto Español de Oceanografía (IEO) y las series temporales de nivel del mar obtenidas numéricamente en el proyecto HIPOCAS (EPPE, 2003; TOMÁS *et al.*, 2004). Las series del IEO han sido analizadas en el marco de un proyecto entre el IMEDEA y Puertos del Estado (MARCOS *et al.*, 2004).

La información relativa a subsidencia se encuentra muy dispersa entre diferentes investigadores e instituciones que vienen trabajando en este tema desde hace varios años, no existiendo una base de datos homogénea. Aunque el fenómeno de la subsidencia se produce de forma más notable en algunos puntos del litoral español, por ejemplo el delta del Ebro, la magnitud de dicha subsidencia y más aún, la escala temporal de dicho fenómeno, que supera ampliamente la escala temporal considerada en este trabajo, hacen dicho fenómeno despreciable a efectos de este estudio.

Los datos de caudal fluvial utilizados en este estudio provienen del proyecto europeo WRINCLE, el cual ha tenido como objetivo evaluar el impacto que el cambio climático y su variabilidad han

tenido sobre los recursos hídricos en Europa. Para ello, han evaluado los caudales, la disponibilidad de los recursos hídricos y la calidad del suministro de energía hidroeléctrica a partir de modelos atmosféricos de última generación con los que han generado diferentes escenarios de cambio climático. Los datos de caudal sólido han sido generados numéricamente mediante un modelo basado en la ecuación MUSLE (*Modified Universal Soil Loss Equation*).

2.4. Análisis de tendencias de las series temporales

El análisis de los datos ha exigido realizar un estudio preliminar encaminado a seleccionar el grupo de variables geofísicas con el que se desea trabajar y el tipo de técnica realizado en el análisis. Una vez considerados los efectos más representativos del cambio climático en la costa, se ha considerado que el análisis debe realizarse teniendo en cuenta las siguientes magnitudes: altura de ola significativa, período de pico, dirección del oleaje, duración de la excedencia de altura de ola, marea meteorológica, velocidad del viento, dirección del viento y flujo medio de energía.

En cualquier caso, es necesario hacer énfasis en el hecho de que lo que se busca son las tendencias que estos parámetros o magnitudes han ido experimentando en el pasado, con el fin de intentar identificar los posibles efectos que el cambio climático ha causado sobre los mismos. De esta manera, se han evaluado las tendencias de los regímenes medios (distribución estadística del conjunto total de datos) y extremales (distribución estadística de, por ejemplo, máximos anuales) de estos parámetros, dado que se considera que estas funciones de distribución son las que realmente pueden ayudar a identificar las tendencias. Este análisis ha sido realizado a 300 puntos cubriendo todo el litoral español (Fig. 3).

La metodología de análisis de tendencias del régimen medio se basa en hacer la regresión lineal de cada una de las variables geofísicas consideradas, que dependen del tiempo, eliminándose, si existen, los *outliers*. Una vez que se tiene el resultado del ajuste de la serie de datos, se trata de interpretar si es significativa la tendencia que sigue en el tiempo, a través de intervalos de confianza y contrastes de hipótesis de los estimadores de los parámetros de la recta de ajuste (LISTE *et al.*, 2004).

La metodología de análisis de tendencias del régimen extremal es la misma que la descrita anteriormente, si bien, en este caso hay que señalar que los datos para el análisis se obtienen siguiendo la metodología de Vikebo (VIKEBO *et al.*, 2003). Para las series de 44 años se ha hecho el análisis de máximos anuales a intervalos de tiempo de 10 años. Se ha adoptado la distribución de Gumbel de máximos como función de distribución para caracterizar el régimen extremal (MENÉNDEZ *et al.*, 2004).

2.5. Zonificación del litoral

Con base en los resultados de las tareas anteriores se ha zonificado el litoral español en “zonas homogéneas”, entendiéndose como tal aquellas zonas que presentan variaciones análogas en las variables geofísicas seleccionadas. Estas “zonas homogéneas” son utilizadas como unidades mínimas de trabajo en las Fases II y III (Fig. 3).

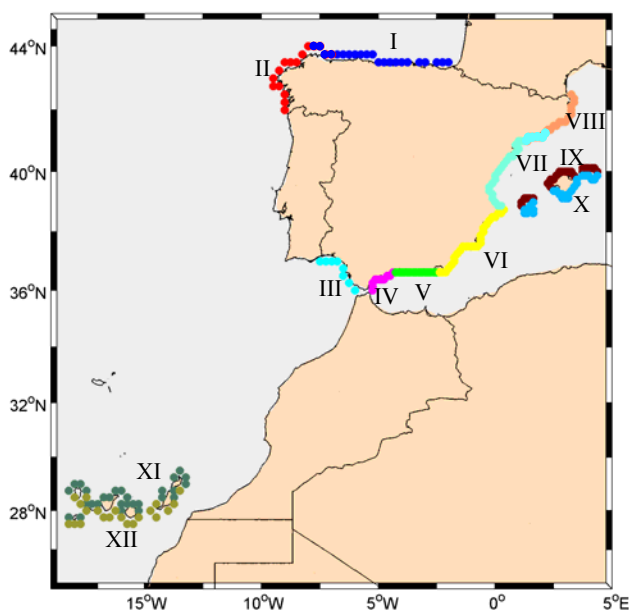


Fig. 3. Zonificación del litoral

2.6. Prognosis de evolución futura

El objetivo de esta tarea es la estimación de la dinámica marina en el año horizonte 2100 bajo diversos escenarios de cambio climático propuestas por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático. El alcance de esta tarea es, por tanto, análogo al ya descrito, si bien las fuentes de datos pasan de ser las de las últimas décadas, a datos estimados por simulación numérica para el año 2100. Las fuentes de datos que se utilizarán serán las propuestas por el 3^{er} informe del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático (IPCC, 2001; OECC, 2002) y las de los proyectos STOWASUS 2100 y PRUDENCE.

3. FASE II: EVALUACIÓN DE EFECTOS EN LA COSTA DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La Fase II tiene como objetivo la evaluación de los efectos que los cambios en la dinámica costera originados por el cambio climático, determinados en la Fase I, pueden producir en los espacios naturales y usos humanos del litoral español. El análisis de los efectos se realiza de forma genérica, por “elementos del litoral”, y de forma particularizada en algunas zonas características de nuestro litoral.

A efectos del presente proyecto se entiende por “elementos del litoral” a cada uno de los espacios naturales o usos humanos del litoral con características diferenciadas. Los elementos del litoral que se analizan son: playas, dunas, estuarios, humedales y lagunas costeras, deltas, ramblas, acantilados, puertos, saneamientos litorales, edificaciones e infraestructuras terrestres.

Entre las tareas de la Fase II se incluyen:

1. Efectos en los elementos del litoral;
2. Efectos en las zonas homogéneas del litoral español y,
3. Estudios de detalle.

3.1. Efectos en los elementos del litoral

El objetivo de esta tarea es analizar, de forma genérica, los efectos que los cambios en la dinámica marina pueden tener en los diferentes espacios naturales y usos humanos del litoral. Se trata, por tanto, de un análisis teórico en el que bien por medio del uso de modelos numéricos de simulación, bien por medio de formulaciones empíricas o analíticas se evalúan los potenciales cambios que sufrirán los elementos del litoral por efecto del cambio climático (por ejemplo, metros de retroceso de una playa por cada grado de variación en la dirección del flujo medio de energía; variación del peso de las piezas en un dique en talud de escollera por cada centímetro de variación en la altura de ola significativa (LISTE *et al.*, 2004; MENÉNDEZ *et al.*, 2004).

3.2. Efectos en las zonas homogéneas del litoral español

El objetivo de esta tarea es determinar, de acuerdo con los resultados de cambio climático estimados en la Fase I y con la evaluación de efectos obtenida en la tarea 1, los efectos previsibles en los elementos del litoral de las diferentes zonas homogéneas establecidas en la Fase I. Esta tarea pretende, por tanto, particularizar los resultados de la tarea 1 a las diferentes zonas del litoral español para, de este modo, determinar la importancia real de los potenciales efectos del cambio climático en la costa española.

A modo de ejemplo, en la figura 4 se muestra, para el horizonte del año 2050 y para cada una de las zonas, los efectos sobre la costa en cuanto a retroceso de la línea de costa debido a la subida del nivel medio del mar, a la variación de la dirección del flujo medio de energía de oleaje y a la variación del transporte longitudinal en playas.

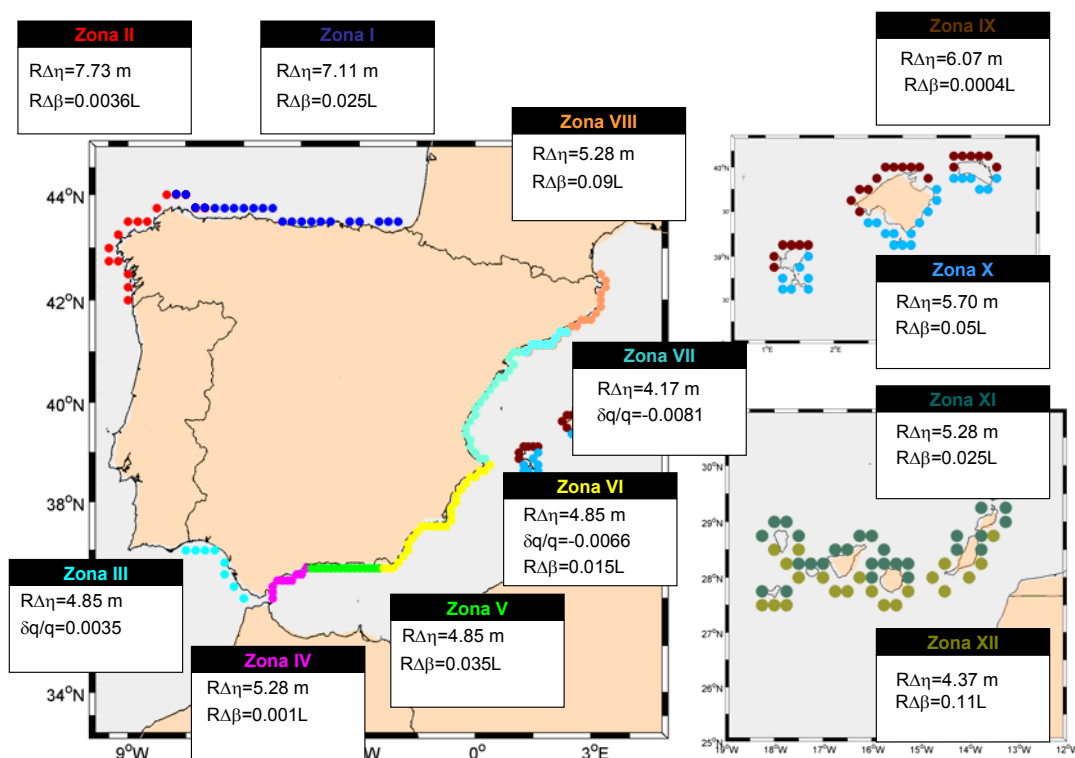


Fig. 4. Efectos sobre las playas

3.3. Estudios de detalle

La escala de trabajo del presente proyecto definido por las zonas homogéneas, es adecuada para el planteamiento de políticas y estrategias de actuación de carácter nacional y/o regional, pero no para actuaciones de carácter local o puntual. El análisis de los efectos “locales” del cambio climático a lo largo de la costa española constituye una tarea que excede del alcance del presente trabajo. No obstante, y al objeto de facilitar al Ministerio de Medio Ambiente una metodología de trabajo para el análisis de dichos efectos locales, e información sobre los medios y necesidades que se requerirán cuando el Ministerio de Medio Ambiente desee abordar dicho análisis local, se ha efectuado un análisis detallado a escala 1/5.000 de los efectos previsibles en un punto concreto del litoral.

En concreto, la metodología necesaria para abordar el estudio de detalle de un elemento del litoral afectado por el cambio climático es la siguiente (Fig. 5):

1. Trasladar las series de datos desde profundidades indefinidas hasta la profundidad objetivo;
2. Estimar la tendencia de las series de datos en la profundidad objetivo;
3. Estimar la dinámica en/hasta el año objetivo (depende del tipo de estudio) y,
4. Determinación de los efectos del cambio climático sobre la zona de estudio.

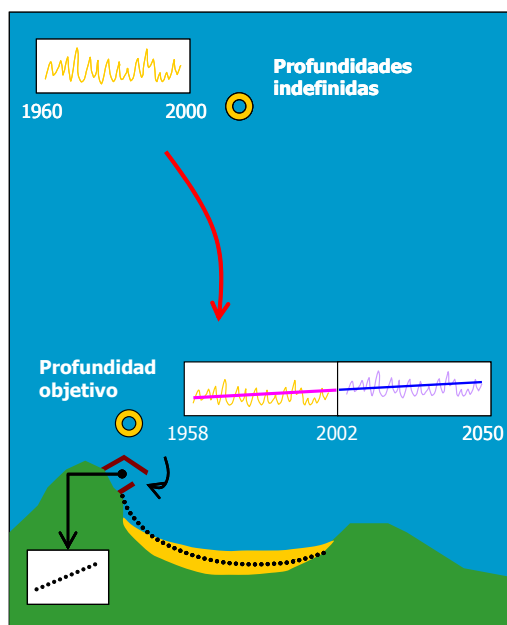


Fig. 5. Esquema del procedimiento del Estudio de detalle

4. FASE III: ESTABLECIMIENTO DE POLÍTICAS Y ESTRATEGIAS

La Fase III tiene como objetivo la propuesta y evaluación de un sistema de indicadores e índices que aporten información objetiva para el establecimiento de políticas y estrategias de actuación para corregir, mitigar y prevenir los efectos del cambio climático en el litoral español. Las tareas a realizar en esta Fase III incluyen:

1. Análisis de la información existente;
2. Propuesta de indicadores e índices y
3. Evaluación del sistema de indicadores.

4.1. Análisis de la información existente

El objetivo de esta tarea es la recopilación y análisis de toda la información existente que pueda ser utilizada en la tarea 3 (Evaluación del sistema de indicadores). En este sentido cabe señalar que el establecimiento de un sistema de indicadores que aporten información para el establecimiento de políticas de actuación debe recoger no solo información sobre los cambios en la dinámica costera si no sobre el territorio donde acontecerán dichos cambios. A tal fin, el presente proyecto pretende utilizar la base de datos del inventario para la Gestión Integral de la Costa que la Dirección General de Costas ha encargado a la Universidad de Cantabria (GIOC-GESHA, 2003). Dicha base de datos será analizada y su información clasificada al objeto de adecuarla a los fines del presente proyecto.

4.2. Propuesta de indicadores e índices

El objetivo de esta tarea es el establecimiento de un conjunto de indicadores que permitan reducir la gran cantidad de información relativa a los cambios en la dinámica costera y sus efectos en el litoral a un número manejable de parámetros apropiados para el proceso de toma de decisiones relativas a la prevención y mitigación de los efectos del cambio climático en el litoral español. La definición y estructura del sistema de indicadores a proponer seguirá el esquema propuesto por la OCDE (indicadores de presión, estado y repuesta) y posteriormente desarrollado por la Dirección General de Calidad y Evolución Ambiental del Ministerio de Medio Ambiente.

4.3. Evolución del sistema de indicadores

El objetivo de esta tarea es el de cuantificar con base en la información recogida en la tarea 1 y el uso de los indicadores propuestos en la tarea 2, el sistema de indicadores de efecto del cambio climático en el litoral español. Con base en los resultados de esta tarea se elaborarán mapas temáticos con los diferentes indicadores e índices en los que se muestran de manera gráfica la importancia relativa de los efectos del cambio climático en el litoral español, en lo que a necesidad de establecimiento de políticas y estrategias de actuación se refiere.

5. CONCLUSIONES

Con las tendencias de las variables geofísicas (como por ejemplo nivel medio del mar) de las últimas décadas, se pueden predecir los valores de éstas en los próximos años. Con estas predicciones y las prognosis futuras del 2100 se tendrá una evolución de todas y cada una de las variables geofísicas.

Estos resultados constituirán unas valiosas herramientas para los gestores del litoral, de manera que se puedan establecer políticas y estrategias de actuación en las costas españolas ante el cambio climático, dentro del esquema retroceder-adaptarse-protger, propuesto por el Panel Intergubernamental para el Cambio Climático.

6. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a la Oficina Española de Cambio Climático del Ministerio de Medio Ambiente la financiación por el proyecto “Investigación sobre impactos en la Costa Española por efecto del Cambio Climático”. Se agradece al Ente Público Puertos del Estado (Ministerio de Fomento) la información facilitada, tanto de la base de datos de proyecto HIPOCAS, como de las redes instrumentales de medida. F.J.M. agradece al Ministerio de Ciencia y Tecnología la financiación dentro del Programa Ramón y Cajal.

7. REFERENCIAS

- 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.
- GIOC-GESHA (2003). *Desarrollo del inventario nacional de información temática aplicable a la gestión integrada de las zonas costeras (GIZC) en España*. Dirección General de Costas, Ministerio de Medio Ambiente.
- IPCC (2001). *Climate Change 2001: Synthesis Report*. Summary for Policymakers, 145 pp.
- KAAS, E. *et al.* (2000). *Synthesis of the STOWASUS-2100 project*. 27 pp.
- OECC (2002). *Principales conclusiones del Tercer Informe de Evaluación*. Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC). Cambio Climático: Ciencia, Impactos, Adaptación y Mitigación. Ministerio de Medio Ambiente, 35 pp.
- LISTE, M. *et al.* (2004). Variaciones hiperanuales de parámetros medios de oleaje en el litoral mediterráneo español en los últimos cincuenta años: efectos sobre la costa. En: *IV Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC)*.
- MARCOS, M., *et al.* (2004). “Consistency of long sea-level time series in the Northern coast of Spain”.
- MENÉNDEZ, M. *et al.* (2004). Variaciones del régimen extremal del clima marítimo en el litoral español en el periodo 1958-2001. En: *IV Congreso de la Asociación Española de Climatología (AEC)*.
- PRUDENCE. Project (<http://prudence.dmi.dk/>)
- SOARES, C.G. *et al.* (2002). A 40 years hindcast of wind, sea level and waves in European waters. En: *Proceedings of OMAE 2002: 21° International Conference on Offshore Mechanics and Arctic Engineering*. OMAE2002-28604.
- STOWASUS-2100. Project (<http://web.dmi.dk/pub/STOWASUS-2100/>)
- 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)*
- VIKEBO, F. *et al.* (2003). “Wave height variations in the North Sea and on the Norwegian Continental Shelf, 1881-1992”. *Continental Shelf Research*, 23, pp. 251-263.