



La afección del cambio climático a las costas españolas



ÍÑIGO J. Losada

**Catedrático de Ingeniería Hidráulica
ETSI de Caminos, Canales y Puertos
Director de Investigación
IHCantabria
Universidad de Cantabria
Coordinador de Cambio Climático
de la CAECC**

RESUMEN

La costa española está sometida a una altísima presión de origen antrópico, que se verá fuertemente agravada por el cambio climático. Este artículo pretende dar una visión general sobre cuál es el estado del conocimiento y de algunas de las acciones que se han emprendido en España para hacer frente al cambio climático en la costa. Además de mostrar los instrumentos de gobernanza más importantes, se presenta una visión general sobre las proyecciones de la dinámica costera y sus efectos sobre algunos sectores críticos, haciendo especial énfasis sobre el papel de la ingeniería civil para afrontar este reto.

PALABRAS CLAVE

Cambio climático, riesgos en la costa, ingeniería de costas, adaptación

ABSTRACT

The Spanish coastline is already subject to considerable anthropic pressure which will only be worsened by climate change. This article aims to provide a general overview of the state of knowledge and some of the actions that have been undertaken in Spain to tackle climate change on the coast. Following an outline of the most important management instruments, the article goes on to provide a summary of the forecasts of coastal dynamics and its effects on certain critical sectors, and places special emphasis on the role of civil engineering to face this challenge.

KEYWORDS

Climate change, risks on the coastline, coastal engineering, adaptation





INTRODUCCIÓN

España es un país que cuenta con un litoral de gran extensión y riqueza, ocupado con numerosos ecosistemas y espectaculares paisajes. Además, la economía española es altamente dependiente de la costa y de sus mares, ya que es donde residen importantes actividades socioeconómicas: transporte marítimo, pesca comercial y deportiva o un turismo masivo de sol y playa. Pero, además, la costa española incluye algunas de las ciudades y núcleos urbanos más importantes del país.

Lamentablemente, el modelo de desarrollo económico implantado en las últimas décadas y la explotación extensiva de sus recursos supone una amenaza para el litoral, que ha incrementado su exposición y vulnerabilidad debido a la alta degradación sufrida. A estas presiones de origen humano hay que añadir la amenaza del cambio climático. El aumento del nivel medio del mar (ANMM) y su efecto sobre los niveles extremos, el aumento de la temperatura superficial del mar, la acidificación o los cambios en los oleajes y mareas meteorológicas están contribuyendo y contribuirán, aún más en el medio y largo plazo, a un considerable aumento de los riesgos en la costa. Esto requiere, paralelamente a las políticas de mitigación, una ambiciosa y bien planificada estrategia de adaptación para hacer frente a los riesgos residuales que, sin duda, no van a poder ser abordados con la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs) o alcanzando la neutralidad a mitad de siglo.

La redacción de esta contribución a nuestra revista se desarrolla durante la fase final de la borrasca Gloria. Un evento extremo que ha tenido un efecto devastador en la costa mediterránea española con un fatal desenlace para la vida de más de una docena de personas, daños incalculables sobre los ecosistemas costeros, daños

materiales sobre las infraestructuras y equipamientos costeros y consecuencias sobre la actividad económica de sectores clave asentados en esta parte del territorio tan expuesta a los eventos meteorológicos extremos y el cambio climático.

Aunque será necesarios abordar estudios específicos para ver si este evento es atribuible o no al cambio climático, Gloria supone un aviso importante sobre las consecuencias que el cambio climático puede tener para la costa española en un futuro cercano. Como se verá más adelante, el aumento del nivel mar en la costa por el efecto de la marea meteorológica asociada a Gloria (entre 60 y 100 cm según las zonas), será el nivel alcanzado por el nivel medio del mar de forma permanente hacia final de siglo, lo que llevaría a sufrir eventos análogos con una frecuencia mucho mayor, haciendo la gestión actual del litoral mediterráneo insostenible.

En este artículo se pretende dar una visión general sobre la situación del conocimiento del cambio climático en la costa española, las iniciativas que se están llevando a cabo para afrontar sus consecuencias y sobre el papel que el ingeniero de caminos juega y debe jugar en este ámbito.

ESTRATEGIAS Y POLÍTICAS EN ESPAÑA

En España, el instrumento jurídico más importante para abordar el problema del cambio climático en las zonas costeras es La Ley 2/2013, de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de Julio, de Costas. Dicha Ley se acompaña del Reglamento General de Costas, aprobado por el Real Decreto 876/2014, de 10 de octubre.

Esta Ley supuso un cambio sustancial para abordar el problema del cambio climático en la costa pues incorpora





regulaciones específicas para afrontar con garantías la lucha contra los efectos del cambio climático en el litoral. Entre otros, exige que los proyectos para la ocupación del dominio público marítimo terrestre (DPMT) vengan acompañados de una evaluación prospectiva sobre los posibles efectos del cambio climático e incorpora como causa de extinción de las concesiones, el supuesto de que las obras o instalaciones estén en riesgo cierto de ser alcanzadas por el mar. Más aún, la Ley impuso al entonces MAGRAMA la obligación de elaborar una estrategia para la adaptación de la costa, con el fin de disponer de un diagnóstico riguroso de los riesgos asociados al cambio climático que afectan a nuestra costa, y de planificar una serie de medidas que permitan reducir sus efectos. Igualmente, la Ley especifica la obligatoriedad de que las Comunidades Autónomas a las que se hayan adscrito terrenos de dominio público marítimo-terrestre, presenten un plan de adaptación específico para dichos terrenos. Esto es especialmente relevante pues hace referencia a todos los puertos de gestión autonómica, base fundamental de la actividad pesquera y recreativa en nuestras costas.

Sobre esta base, con fecha 24 de julio de 2017, la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar resolvió aprobar la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa, que fue sometida a evaluación ambiental estratégica ordinaria (MITECO, 2017; Losada et al. 2019). La Estrategia recoge un diagnóstico de la situación presente en la costa española, fija objetivos específicos y formula un conjunto de directrices generales para abordar metodológicamente el análisis de los riesgos derivados del cambio climático en la costa española, así como la determinación de los umbrales de riesgo y consecuencias aceptables. Mención especial merece la parte de la Estrategia que analiza las diferentes opciones de adaptación, priorizando las soluciones basadas en ecosistemas, o

verdes, para la protección de la costa, así como las recomendaciones para la implementación y seguimiento de proyectos de adaptación. Es importante señalar que la Estrategia recoge también un conjunto de indicadores para evaluar la eficiencia de las actuaciones de adaptación.

Al margen de estas dos grandes herramientas y el Plan Nacional de Adaptación, en la actualidad en fase de revisión, las Comunidades Autónomas costeras tienen también, dentro de sus competencias, instrumentos para una gestión sostenible de la costa y planes de adaptación que incluyen referencias específicas al espacio costero.

ANÁLISIS DE RIESGOS

Como base fundamental para la adaptación de la costa al cambio climático, la Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa, establece la necesidad de identificar los riesgos derivados del cambio climático en la costa española con criterios homogéneos que permitan la priorización de actuaciones. Estos diagnósticos deben repetirse, aproximadamente, quinquenalmente con el fin de reducir posibles incertidumbres gracias a la incorporación de nuevo conocimiento científico y especialmente de bases de datos y proyecciones nuevas o actualizadas que vayan estando disponibles.

El marco del riesgo recomendado es el establecido por el IPCC (Wong et al., 2014) que formula el riesgo asociado a un impacto o conjunto de impactos en la costa como la integración de la peligrosidad inducida por las amenazas de origen climático, la exposición y la vulnerabilidad. El incremento o disminución en cualquiera de ellas o en cualquiera de sus combinaciones posibles, puede conducir a un incremento o disminución del riesgo.

Para poder implantar la evaluación de riesgos el MITECO planteó tres iniciativas que sirvieran como catalizado-

res del proceso: 1) la realización de un estudio piloto en el Principado de Asturias que sentara las bases metodológicas para estudios posteriores; 2) la financiación y supervisión de los estudios de riesgo de cambio climático en la costa a realizar por las diferentes Comunidades Autónomas y 3) la elaboración de proyecciones dinámicas multimodelo de las variables relevantes de la dinámica costera para ponerlas a disposición de las entidades que quieran hacer uso de las mismas en sus análisis de riesgo o planes de adaptación.

A continuación, se describen con más detalle alguna de estas iniciativas.

Proyecciones de la dinámica costera

Como parte del proceso de evaluación del riesgo en la costa y para facilitar un análisis con un cierto nivel de homogeneidad a lo largo de toda la costa española, el Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico ha facilitado proyecciones dinámicas multimodelo de las variables marinas fundamentales, temperatura superficial del mar, marea meteorológica, oleaje y nivel medio del mar, con alta resolución espacial para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 y los periodos 2026-2045 y 2081-2100, utilizando como periodo de referencia 1985-2005 (MITECO, 2019). Los resultados fundamentales son los siguientes.

Todos los modelos de la temperatura superficial del mar (SST) proyectan, para cualquier horizonte y escenario, un incremento de su valor medio con respecto al periodo base (1985-2005) en toda la costa española. Más del 80% de los modelos muestran que los mayores incrementos de la SST se producirán en la costa mediterránea española, en las últimas décadas del siglo XXI y para el RCP8.5. Esto es especialmente importante en las aguas de las islas Baleares en las que se proyectan incrementos de hasta 4oC en los valores medios del periodo





(2081-2100). Estos incrementos llevan asociada una mayor probabilidad de temperaturas extremas y olas de calor marinas con importantes implicaciones para los ecosistemas marinos.

En cuanto al oleaje, los resultados de las proyecciones muestran que su respuesta es altamente dependiente de la localización, el escenario y los horizontes considerados, así como de el parámetro considerado: altura de ola, periodo o dirección. Por ejemplo, para el periodo de fin de siglo y el RCP8.5, la altura de ola significativa extrema muestra importantes disminuciones (~30 cm) en la fachada gallega pero importantes cambios en la dirección del oleaje en la fachada norte de las Islas Baleares. Para estas condiciones, se observan disminuciones de la altura de ola extrema del mismo orden en las fachadas más expuestas al Atlántico en las Canarias. Sin embargo, las alturas de ola extremas son mayores (~20 cm) en las fachadas orientales de las islas. Por tanto, no se pueden extraer conclusiones genéricas sobre las proyecciones de oleaje y será necesario analizar los cambios localmente.

En general, e independientemente de los escenarios y horizontes considerados, los extremos de marea meteorológica

muestran pequeñas variaciones con respecto al periodo (1985-2005).

La figura 1, muestra que existe un gran acuerdo entre los modelos en que se producirá un mayor aumento con respecto al periodo base (1985-2005) a fin de siglo y mayor para un escenario de emisiones alto que medio.

En el corto plazo (2026-2045) los modelos proyectan en su banda superior valores similares para los dos escenarios, entre 17 y 25 cm en función del escenario y la localización. Las mayores diferencias se aprecian para el periodo (2081-2100). En el escenario RCP4.5 los modelos proyectan en su banda superior ANMM entre los 55 cm y 70 cm en la costa española con máximos en Canarias, Baleares y costa cantábrica occidental. Para el RCP8.5, la banda superior proyecta un incremento notable con valores superiores a los 75 cm en toda la costa y especialmente altos en Galicia, Baleares (> 80 cm) y en Canarias donde se proyectan aumentos cercanos a 1 m.

Un aspecto novedoso a considerar es que en el último informe del IPCC (2019), se advierte de que la contribución de la Antártida al ANMM se ha venido infraestimando, por lo las nuevas proyecciones de ANMM global se han

incrementado para 2100 y el RCP8.5 en una decena de centímetros, alcanzando 1.10 m.

El ANMM favorece la inundación permanente de las zonas bajas afectando a humedales, marismas, ecosistemas costeros y estuarios; asimismo incrementa la erosión de largo plazo en playas y especialmente reduce el periodo de retorno de los eventos extremos de inundación y erosión. Para valores por encima de ciertos umbrales y, en función de las características de la infraestructura, puede conducir a averías, daños diversos y pérdidas de operatividad.

De esta información se puede concluir que el mayor factor de riesgo para la costa española lo supone, en primer lugar, el ANMM y sus implicaciones sobre los eventos extremos y, en segundo lugar, el aumento de la SST y su afección sobre los ecosistemas. Asimismo, es importante destacar que los efectos serán mayores para escenarios con más alto nivel de emisiones de GEI y a medida que nos acerquemos a fin de siglo.

Análisis de riesgo

Como se ha dicho anteriormente el MITECO desarrolló en colaboración con

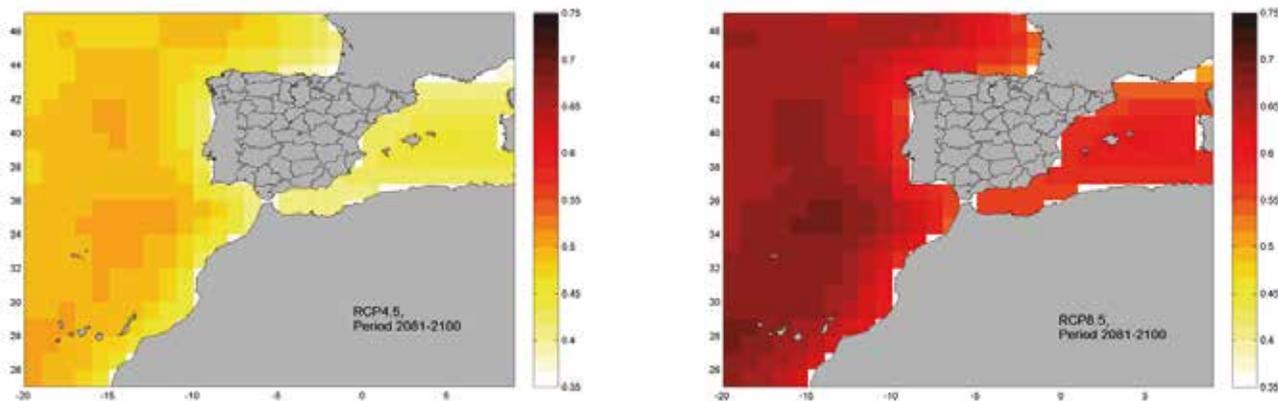


Fig. 1_ Proyecciones del aumento del nivel medio del mar a lo largo de la costa española. Los valores corresponden a las diferencias en el nivel medio del mar local, en el periodo 2081-2100 con respecto al periodo base (1985-2005) y para los escenarios RCP4.5, RCP8.5.





el Principado de Asturias un estudio piloto que sirviera para sentar las bases del análisis de riesgos en toda la costa española. Aunque no exclusivamente, la mayor parte del estudio piloto se centró en el análisis de la inundación y la erosión (MITECO, 2016).

Inundación

En dicho estudio se propuso una metodología para caracterizar la inundación costera bajo distintos escenarios de riesgo (MITECO 2016, Toimil et al. 2016). El riesgo se obtiene de la combinación de la peligrosidad, definida a través de los cambios en las dinámicas marinas, la exposición, asociada a los elementos socioeconómicos susceptibles de verse inundados, y la vulnerabilidad, ligada a la sensibilidad de los elementos que están expuestos a sufrir

daños. Así, peligrosidad, exposición y vulnerabilidad se calculan de forma independiente y posteriormente se integran en un modelo de daños para proporcionar las consecuencias del riesgo en términos socioeconómicos.

Para ello, se construye un conjunto de escenarios climáticos combinando eventos extremos y cambios futuros a medio y largo plazo, que alimentan un modelo de impacto que tiene en cuenta la topografía subyacente y los elementos defensa costera existentes, para generar los mapas de inundación. La exposición se define, para la situación actual y para el futuro, a través de los sectores población, vivienda, industria, infraestructuras críticas, agricultura y ecosistemas, y sus correspondientes indicadores socioeconómicos. En cuanto a la vulnerabilidad, se aplican

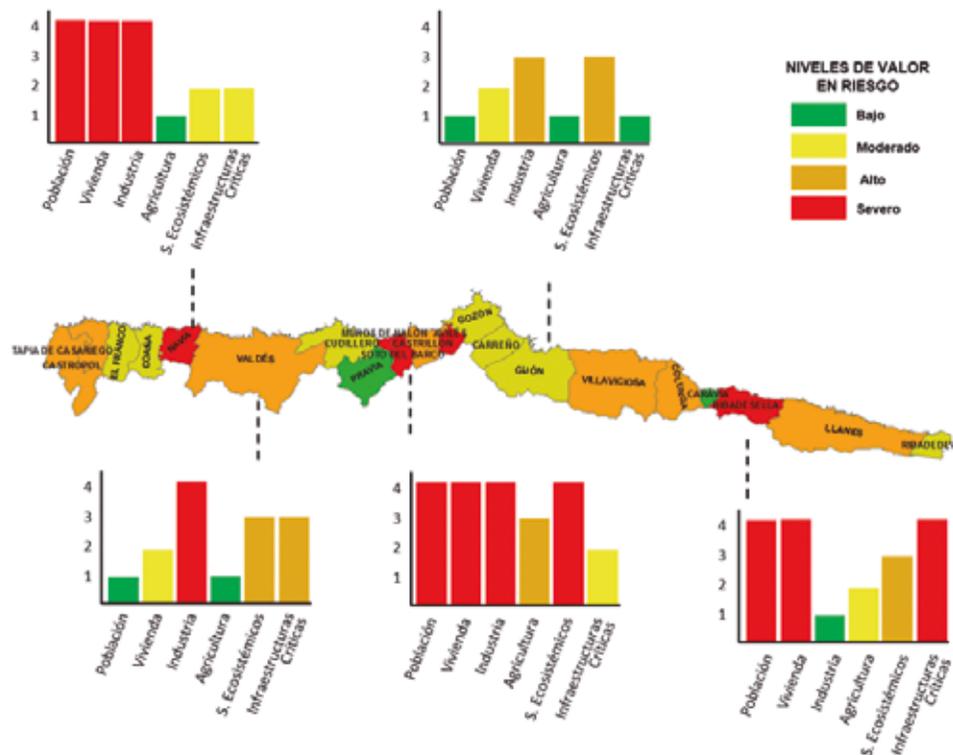


Fig. 2 Ejemplo de valor en riesgo sectorial agregado para la combinación del evento de 100 años de periodo de retorno y el ANMM correspondiente al escenario RCP8.5 en la costa del Principado de Asturias. Código de colores: verde (valor 1= valor en riesgo bajo), amarillo (valor 2= valor en riesgo moderado), naranja (valor 3= valor en riesgo alto) y rojo (valor 4= valor en riesgo severo).





funciones de daño específicas para aquellos activos expuestos y funciones de interrupción de la actividad para los flujos económicos. Por último, los mapas de inundación, los datos de exposición y las curvas de vulnerabilidad se integran en el modelo de daños. Como resultado, se obtienen las consecuencias del cambio climático para un conjunto de escenarios de riesgo que combinan cambios en el clima y en la coyuntura socioeconómica para un conjunto de sectores. La Figura 2 muestra un ejemplo del valor en riesgo sectorial agregado en cada uno de los municipios de la costa del Principado de Asturias.

Erosión

En el estudio piloto se propuso una metodología para caracterizar la erosión

costera y el riesgo de pérdida de valor recreativo asociado a escala regional en 57 playas encajadas (Toimil et al. 2017). El riesgo se obtiene combinando: la peligrosidad, definida a través de los cambios en las dinámicas marinas, la exposición, descrita a partir del valor recreativo de las playas, y la vulnerabilidad, asociada a la susceptibilidad de las playas a perder valor recreativo. Se utiliza un modelo de erosión que permite cuantificar de forma robusta la incertidumbre en la evolución futura de la línea de costa con un análisis probabilístico. Esto permite obtener miles de evoluciones potenciales futuras de la línea de costa, así como los estadísticos de retroceso asociados. La Fig. 3 muestra el retroceso estructural de la línea de costa con su incertidumbre en las playas de estudio a fin de siglo para el RCP8.5.

Retroceso de la línea de costa a fin de siglo para el escenario RCP8.5 (m)

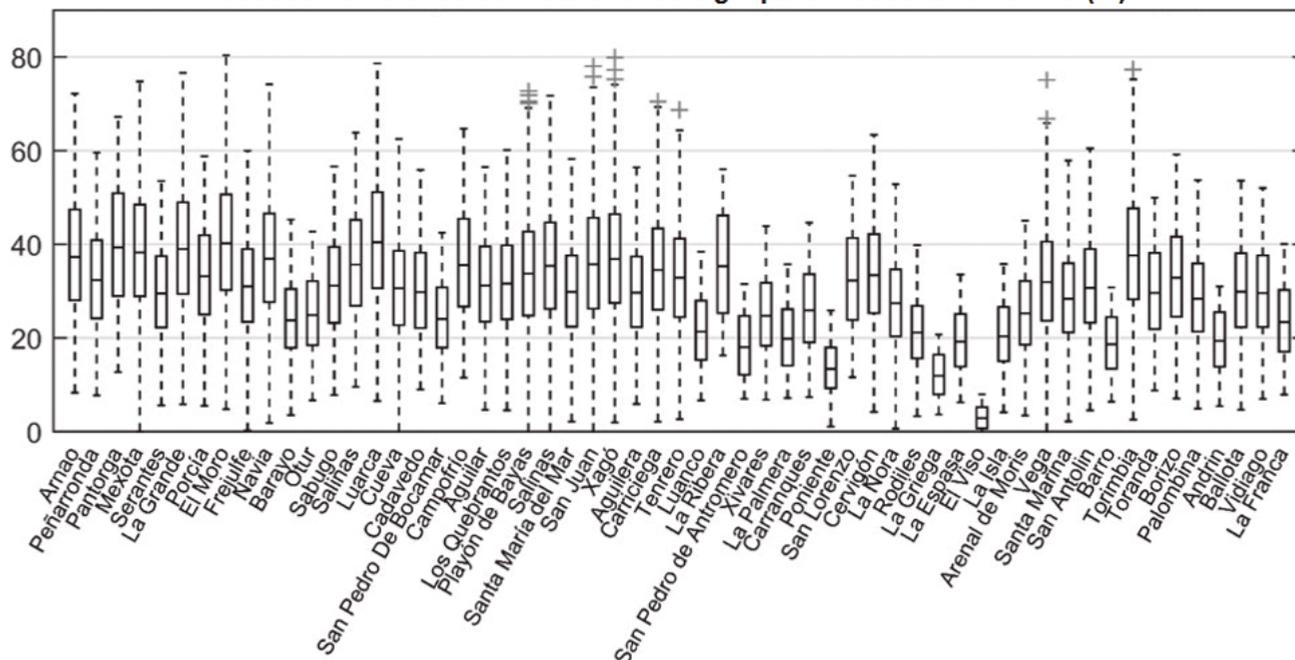


Fig. 3 Ejemplo de distribución espacial del percentil del 75% (marca superior de la caja), mediana (marca central de la caja) y percentil del 25% (marca inferior de la caja) de todo el rango de R2100 para cada playa (de O a E), a fin de siglo, y para el RCP8.5.



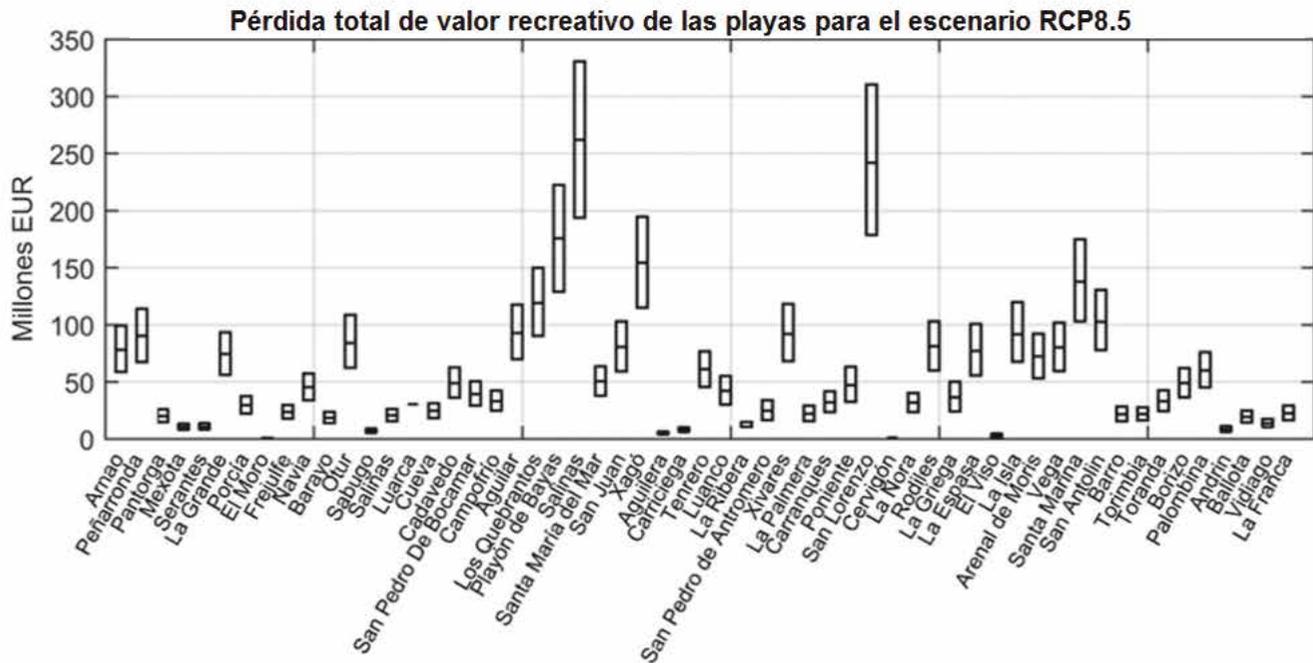


Fig. 4 Distribución espacial de la pérdida acumulada o total de valor recreativo correspondiente al percentil del 75% (marca superior de la caja), mediana (marca central de la caja) y percentil del 25% (marca inferior de la caja) de todo el rango de R2100 para cada una de las 57 playas (de O a E), a fin de siglo, y para el RCP8.5.

Los resultados de erosión obtenidos se combinan con criterios ambientales y sociales (exposición) y, finalmente, se les aplica una serie de factores correctores que tienen en cuenta las características, la calidad y los servicios específicos de cada playa (vulnerabilidad), dando lugar al riesgo de pérdida de valor recreativo de las playas de estudio. La Fig. 4 muestra la distribución espacial de la pérdida acumulada de valor recreativo y su incertidumbre en las playas asturianas a fin de siglo para el RCP8.5 (Toimil et al. 2018).

En la actualidad las diferentes Comunidades Autónomas están elaborando sus análisis de riesgo para la costa y los planes de adaptación para los terrenos concesionados bajo el marco del Plan PIMA Adapta Costas. El MITECO está dotando este Plan de recursos económicos, fuentes de datos y bases metodológicas que permitirán realizar un

análisis homogéneo de las prioridades de adaptación en nuestras costas.

Adaptación

Una vez analizados los riesgos, será necesario afrontar la adaptación dado que, primero, la pérdida de resiliencia de nuestras costas frente al clima por la acción antrópica requiere la implementación de medidas inmediatas para paliar los efectos de los eventos extremos sobre ecosistemas, población y medio construido y, segundo, la mitigación no será capaz de abordar los riesgos residuales de los cambios que se van a producir en la costa. Volviendo a Gloria, es evidente que una gestión de la costa que hubiera facilitado una exposición y vulnerabilidad más reducida, por ejemplo, mediante una adecuada gestión del sedimento en la costa mediterránea, hubiera reducido considerablemente los daños experimentados.



La adaptación de la costa se puede resumir en tres grandes alternativas: retroceder, acomodarse a las nuevas condiciones o mantener la línea de costa en una posición determinada. Independientemente, de cuál sea la fórmula para implementar cada una de ellas, es necesario tener en cuenta que su diseño deberá hacerse en un marco de incertidumbre y de recursos limitados y además, con unas consecuencias sociales y ambientales de gran alcance. Es decir, España debe realizar una transición en la gestión de la costa equivalente a la que se está planteando en otros sectores para hacer frente al cambio climático. Esto solo puede hacerse con un debate riguroso sobre nuestro modelo de gestión de la costa; con base en el conocimiento científico y en la implementación de estrategias y técnicas de observación permanente que nos permitan plantear trayectorias de adaptación, minimizando la incertidumbre y optimizando su eficiencia y, por supuesto, atendiendo a las importantes repercusiones sociales, económicas y ambientales que puede suponer un cambio de estas características.

EL PAPEL DE LA INGENIERÍA DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

La ingeniería de caminos, canales y puertos ha jugado un papel fundamental a lo largo de la historia en el diseño, proyecto, construcción y explotación de infraestructuras en la costa, pero también en la defensa y mantenimiento de la misma. Su formación específica para trabajar en la costa, su capacidad para interactuar con otras disciplinas y tomar decisiones en un marco de incertidumbre, convierten a este profesional en un elemento crítico para afrontar la adaptación al cambio climático. Más aún, su actividad en sectores relevantes como el ciclo integral del agua o en otros esenciales para la mitigación de GEIs, hacen que la ingeniería de caminos sea quizás una de las profesiones con mayor responsabilidad y oportunidades para realizar una gran transición hacia una gestión de la costa y, por ende, de un planeta más sostenible. 🌱

REFERENCIAS

- IPCC (2019). Technical Summary. Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/3/2019/11/04_SROCC_TS_FINAL.pdf
- Ley 2/2013 de 29 de mayo, de protección y uso sostenible del litoral y de modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas. <https://www.boe.es/eli/es/l/2013/05/29/2/con>.
- Losada, I.J., Toimil, A., Muñoz, A., Garcia-Fletcher, A.P., Diaz-Simal, P. (2019). A planning strategy for the adaptation of coastal areas to climate change: the Spanish Case. *Ocean & Coastal Management*, 182, 104983.
- MITECO (2016) Costes de la inacción debidos al cambio climático en la costa de Asturias. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/informe_final_act_4_asturias_tcm30-163202.pdf
- MITECO (2017). Estrategia de Adaptación al Cambio Climático de la Costa Española. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/estrategiaadaptacionccaprobada_tcm30-420088.pdf
- MITECO (2019). Elaboración de la metodología y bases de datos para la proyección

de impactos del cambio climático a lo largo de la costa española. https://www.miteco.gob.es/es/costas/temas/proteccion-costa/tarea_2_informe_pima_adapta_mapama_tcm30-498855.pdf

- Toimil, A., Losada, I.J., Diaz-Simal, Iza-guirre, C., Camus, P. (2017). Multi-sectoral high-resolution assessment of climate change consequences of coastal flooding. *Climatic Change* 145, (3-4), 431-444.
- Toimil, A., Losada, I.J., Camus, P., Diaz-Simal, P. (2017). Managing coastal erosion under climate change at the regional scale. *Coastal Engineering*, 128, 106-122.
- Toimil, A., Diaz-Simal, P., Losada, I.J., Camus, P. (2018). Estimating the loss of beach recreational value under climate change. *Journal of Tourism Management*, 68, 387-400.
- Wong, P.P., I.J. Losada, J.-P. Gattuso, J. Hinkel, A. Khattabi, K.L. McInnes, Y. Saito, and A. Sallenger (2014): Coastal systems and low-lying areas. En: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., et al. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 361-409.

