



**IH cantabria**  
INSTITUTO DE HIDRÁULICA AMBIENTAL  
UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



**ASISTENCIA TÉCNICA A LA ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO SOBRE LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA COSTA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS**

**ACTIVIDAD 4: REDACCIÓN DE UNA GUÍA PARA LA EVALUACIÓN DE RIESGOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL ESPAÑOL Y DEL DOCUMENTO DE INICIACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA**

La Actividad 4 “Redacción de una guía para la evaluación de riesgos y adaptación al cambio climático en zonas costeras del litoral español y del documento de iniciación del procedimiento de evaluación ambiental estratégica. Transferencia” recoge las Tareas 4.1, y 4.2 que constan de la elaboración de una guía de evaluación de riesgos ante la inacción y de adaptación al cambio climático en zonas costeras del litoral español que incluye el caso del Principado de Asturias como caso piloto, y la redacción del documento de iniciación del procedimiento de evaluación ambiental estratégica, respectivamente.

Este documento pertenece al proyecto “Asistencia técnica a la elaboración de un estudio sobre la adaptación al Cambio Climático de la Costa del Principado de Asturias”, desarrollado por IHCantabria con el soporte técnico del Gobierno del Principado de Asturias y financiado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

Autores coordinadores del documento:

Iñigo J. Losada Rodríguez, Catedrático de la Universidad de Cantabria, Director de Investigación de IHCantabria.

Alexandra Toimil Silva, Investigadora de IHCantabria.

Pedro Díaz Simal, Profesor Titular de la Universidad de Cantabria, Investigador de IHCantabria.

Otros investigadores del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria “IHCantabria” participantes en el proyecto:

Sheila Abad Herrero, Jose Antonio Álvarez Antolínez, Paula Camus Braña, Sonia Castanedo Bárcena, Camino Fernández de la Hoz, Felipe Fernández Pérez, Cristina Galván Arbeiza, Cristina Izaguirre Lasa, Melisa Menéndez García, Pelayo Menéndez Fernández, Mirian Jiménez Tobio, Fernando J. Méndez Incera, Paula Núñez Pérez, Luis Pedraz Polo, Araceli Puente Trueba, Elvira Ramos Manzanos y Víctor Velarde Gutiérrez.







## ÍNDICE



## INDICE

### TAREA 4.1: GUÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. CASO PILOTO: PRINCIPADO DE ASTURIAS

1. INTRODUCCIÓN .....	1.1
2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO .....	1.2
3. REFERENCIAS .....	1.4
AI. COSTES DE LA INACCIÓN DEBIDOS AL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS	

### TAREA 4.2.: DOCUMENTO DE INICIACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA

1. INTRODUCCIÓN .....	2.1
2. DIAGNÓSTICO ACTUAL Y JUSTIFICACIÓN DE LA ESTRATEGIA .....	2.5
3. OBJETIVOS DE LA PLANIFICACIÓN .....	2.10
2.1. Objetivos generales de la Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático .....	2.9
2.2. Objetivos específicos de la Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático .....	2.9
4. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA PARA LA ADAPTACIÓN DE LA COSTA A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO .....	2.11
4.1. Directrices de la Estrategia .....	2.11
4.2. Alcance de la Estrategia .....	2.12
4.3. Contenidos de la Estrategia .....	2.12
5. EFECTOS AMBIENTALES PREVISIBLES .....	2.15
6. INCIDENCIAS PREVISIBLES SOBRE LOS PLANES SECTORIALES Y TERRITORIALES CONCURRENTES .....	2.17





## **TAREA 4.1:**

### **GUÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO. CASO PILOTO: PRINCIPADO DE ASTURIAS**



## 1. INTRODUCCIÓN

El contenido de la Tarea 4.1 se presenta como "Anexo I. Costes de la Inacción debidos al efecto del Cambio Climático en la costa del Principado de Asturias". De este modo, las bases de datos empleadas, las metodologías desarrolladas y los resultados clave obtenidos en las ACTIVIDADES 1, 2 y 3 se integran en un informe resumen con estructura de guía que servirá de base para la toma de decisiones y para la elaboración de planes y estrategias de adaptación, siendo de aplicación en el resto del litoral español.

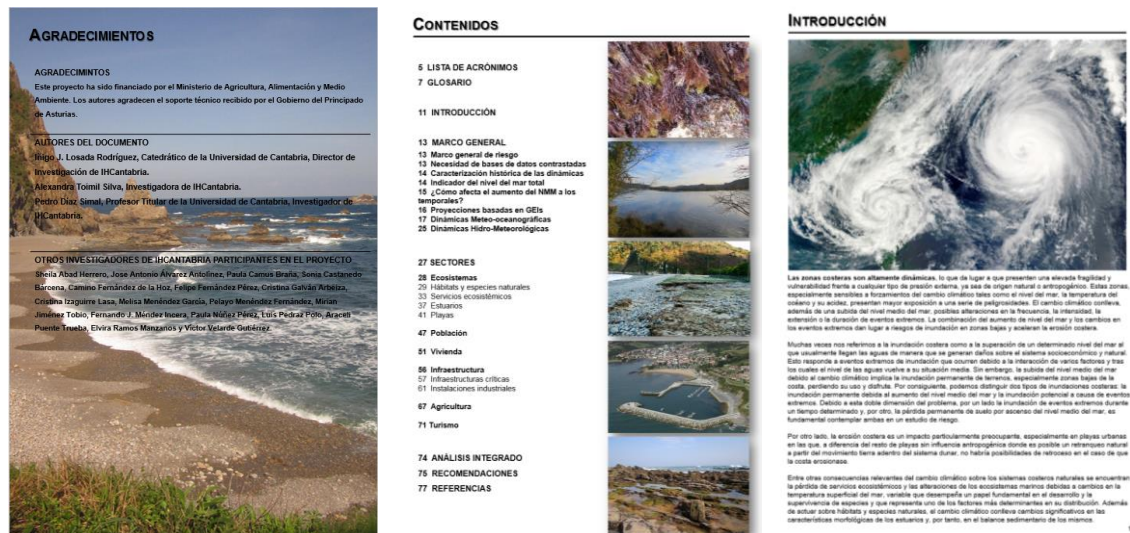




## 2. ESTRUCTURA DEL DOCUMENTO

El Anejo I tiene la siguiente estructura:

- **Contenidos**, donde se presenta un índice general de los contenidos del documento.
- **Agradecimientos**, donde se expresan los agradecimientos y se nombra tanto a los autores del documento como al resto de investigadores que han colaborado en su elaboración.



- **Capítulo 1. Introducción**, donde se plantean los objetivos perseguidos, se hace mención de la existencia de limitaciones y se dan indicaciones para interpretar los resultados de forma adecuada.
- **Capítulo 2. Marco general**, en el que se presenta el marco climático y de riesgo en el que se encuentra el estudio y se describen las principales variables meteorológicas e hidro-meteorológicas que intervienen así como sus proyecciones.
- **Capítulo 3. Sectores**, donde se resume la caracterización de los impactos del cambio climático analizados sobre los sectores entorno natural, población, vivienda, infraestructura, agricultura y turismo. En cada caso se describen los antecedentes, las bases de datos empleadas, la metodología y escenarios de riesgo propuestos y los resultados que conlleva la inacción.

ASISTENCIA TÉCNICA A LA ELABORACIÓN DE UN ESTUDIO SOBRE  
LA ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO DE LA COSTA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS  
GUÍA DE EVALUACIÓN DE RIESGOS Y ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO

TAREA 4.1



**Ecosistemas**

En las últimas décadas, se ha incrementado el interés por aspectos relacionados con el cambio climático y la adaptación, no sólo desde una perspectiva social y económica, sino también ecológica. Las especies responden a un entorno cambiante y a interacción con el mundo físico y los organismos a su alrededor cambian también. Esto desencadena una cascada de impactos a través de todo el sistema. Estos impactos pueden incluir la migración de especies a nuevas áreas e incluso su extinción. El cambio climático está cambiando a escala global, pero los impactos ecológicos suelen ser locales y varían de un lugar a otro. Dentro de este marco, se han analizado los impactos del cambio climático sobre hábitats y especies maritimas de la costa asturiana en concreto aquellos derivados del aumento de la temperatura y del posterior incremento del nivel de mar, con los consiguientes procesos de inundación. Sin embargo, el cambio climático y, fundamentalmente, el



**Población**

El aumento del nivel medio del mar afecta no sólo a espacios litorales sino a otro tipo de ecosistemas costeros entre los que se encuentran los estuarios y las playas. Cambios en el nivel de las aguas conllevan la alteración del primer de maraña en estuarios, modificando sus hidrodinámicas y, en consecuencia, sus características morfológicas. Dos metodologías distintas han sido aplicadas en este trabajo para evaluar la magnitud de estas modificaciones. Por otro lado, los problemas de erosión costera que afectan a las playas del litoral español son orientales. El proceso de erosión, potenciado por la eutrofización desmesurada de la costa en las últimas décadas, depende fundamentalmente de los cambios en el nivel medio del mar, cambios en la dirección del oleaje y cambios en el transporte de sedimentos. Mediante la aplicación de formulaciones semiempíricas se ha evaluado el retorno de la línea de costa en las playas del Principado de Asturias por efecto tanto del oleaje como del aumento de nivel.



**Vivienda**

El aumento del nivel medio del mar afecta no sólo a espacios litorales sino a otro tipo de ecosistemas costeros entre los que se encuentran los estuarios y las playas. Cambios en el nivel de las aguas conllevan la alteración del primer de maraña en estuarios, modificando sus hidrodinámicas y, en consecuencia, sus características morfológicas. Dos metodologías distintas han sido aplicadas en este trabajo para evaluar la magnitud de estas modificaciones. Por otro lado, los problemas de erosión costera que afectan a las playas del litoral español son orientales. El proceso de erosión, potenciado por la eutrofización desmesurada de la costa en las últimas décadas, depende fundamentalmente de los cambios en el nivel medio del mar, cambios en la dirección del oleaje y cambios en el transporte de sedimentos. Mediante la aplicación de formulaciones semiempíricas se ha evaluado el retorno de la línea de costa en las playas del Principado de Asturias por efecto tanto del oleaje como del aumento de nivel.

**SUBSECTORES**

Hábitats y especies litorales Servicios ecosistémicos Estuarios Playas



**¿Cómo afecta el cambio climático a la población?**

En las últimas décadas se ha producido un aumento de la población residente en la franja costera, estimada por el crecimiento demográfico y la consiguiente reconfiguración de la costa del suelo, que ha dado lugar a una mayor rigidez del litoral.

Las complejas interacciones que existen entre el sistema natural y socioeconómico sugieren que las consecuencias derivadas del cambio climático pueden manifestarse de muchas formas. Eventos de calor extremo pueden provocar enfermedades, respiratorios, etc. Cambios en el régimen de precipitaciones pueden afectar a la calidad del agua de consumo humano. Sin embargo, algunos de los impactos más relevantes son aquellos que afectan a la salud de las personas, ya que afectan a otros sectores, y que tienen gran relevancia, siendo las principales amenazas las olas de calor y otros fenómenos meteorológicos extremos.

**¿Cómo afecta el cambio climático al stock de viviendas?**

El aumento demográfico que va produciendo en la franja costera durante los últimos años debido a la elevada demanda turística, residencial y recreativa se ha traducido en un crecimiento desmesurado del número de viviendas en localidades cercanas al mar, en algunos casos conllevando zonas inundables. El actual modelo de desarrollo urbanístico en estas zonas junto con el auge del cambio climático conlleva un aumento del riesgo de inundación costera. Aunque no se puede evitar la totalidad de las inundaciones, existen acciones que pueden ayudar a gestionar algunos riesgos y reducir de forma considerable el impacto sobre las comunidades. La concienciación y los procesos educativos y de recuperación urbana, la adecuada configuración de los usos del suelo y la definición de zonas que no pueden ser habitadas (por ejemplo, zonas muy próximas al DPMT), entre otras, son herramientas de gestión y seguimiento necesarias para un gestión integrada de la costa.

**¿Qué cubre este análisis?**

El objetivo fundamental de este análisis es el de evaluar las consecuencias derivadas del impacto de inundación costera sobre la población residente en el litoral asturiano. El estudio se ha realizado bajo las hipótesis de dos escenarios de riesgo que contrastan entre sí y cambian el sistema socioeconómico, incorporando las proyecciones de población hasta el año 2050 del Principado de Asturias. Mediante el uso de un modelo hidrodinámico tridimensional se ha simulado el nivel de inundación costera máxima para cada caso considerado. Los resultados, representativos de la sostenibilidad actual del sector, se han expresado en porcentaje de población afectada en dos escalas espaciales: desagregado a nivel comarcal y agrupado a nivel de provincia.

**¿Qué cubre este análisis?**

El objetivo de este análisis es el de estimar el alcance de las consecuencias del impacto de inundación por cambio climático sobre la actividad de ocio del Principado de Asturias. Para ello se ha utilizado un indicador de valor económico de los activos fijos inmuebles existentes en el litoral asturiano que es el stock de ocio de vivienda. Cada que para este estimador solo se ha depositado el valor de información agregada a nivel provincial, se ha desagregado

**¿Qué cubre este análisis?**

Este análisis pretende evaluar el riesgo de inundación en la agricultura estimando el alcance de las consecuencias a las que se podría llegar, en términos de daños sobre la producción agrícola, en caso de no emplear medidas de adaptación frente al cambio climático. Para ello, se ha empleado como indicador el Valor Añadido Bruto (VAB)

**¿Cómo afecta el cambio climático a la agricultura?**

La agricultura y la ganadería constituyen dos actividades cruciales dentro de la base económica y social del medio rural asturiano. Además de ser la principal fuente de empleo en algunas zonas del territorio, desempeñan un papel clave en la producción de alimentos y el suministro de numerosas materias primas para la industria transformadora. La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático cuyos efectos son diversos y ya evidentes en muchas regiones del mundo. El aumento de la temperatura reduce la producción de las cultivos de secano. La nieve que provoca la proliferación de malea herbácea y epidemias. Los cambios en los regímenes de precipitación aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y reducción de la producción a largo plazo. No obstante, las principales amenazas para la agricultura litoral proceden de la subida del nivel del mar y de la erosión costera, tanto en rías como en acuíferos.

**¿Cómo afecta el cambio climático al turismo?**

Las playas son sistemas naturales sometidos en la actualidad a una gran presión urbanística y turística, además de responder al principal factor de producción turística del litoral asturiano. De entre sus funciones más relevantes destacan fundamentalmente tres: actuar como depositario de la biodiversidad y productividad socioeconómica, ofrecer protección costera y satisfacer necesidades de ocio y disfrute personal del visitante de los usuarios.



**Infraestructura**

La infraestructura crítica es aquella que garantiza el buen funcionamiento del sistema. La red de servicios públicos, como la electricidad, el agua, el gas, el transporte, etc., son esenciales para el desarrollo socioeconómico. En el caso de las infraestructuras críticas, el riesgo de inundación puede tener graves consecuencias, ya que puede interrumpir el suministro de servicios básicos y esenciales en las zonas de riesgo.



**Agricultura**

La agricultura y la ganadería constituyen dos actividades cruciales dentro de la base económica y social del medio rural asturiano. Además de ser la principal fuente de empleo en algunas zonas del territorio, desempeñan un papel clave en la producción de alimentos y el suministro de numerosas materias primas para la industria transformadora. La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático cuyos efectos son diversos y ya evidentes en muchas regiones del mundo. El aumento de la temperatura reduce la producción de las cultivos de secano. La nieve que provoca la proliferación de malea herbácea y epidemias. Los cambios en los regímenes de precipitación aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y reducción de la producción a largo plazo. No obstante, las principales amenazas para la agricultura litoral proceden de la subida del nivel del mar y de la erosión costera, tanto en rías como en acuíferos.



**Turismo**

Las playas son sistemas naturales sometidos en la actualidad a una gran presión urbanística y turística, además de responder al principal factor de producción turística del litoral asturiano. De entre sus funciones más relevantes destacan fundamentalmente tres: actuar como depositario de la biodiversidad y productividad socioeconómica, ofrecer protección costera y satisfacer necesidades de ocio y disfrute personal del visitante de los usuarios.

**SUBSECTORES**

Infraestructuras Críticas Instalaciones Industriales



**¿Qué cubre este análisis?**

Este análisis pretende evaluar el riesgo de inundación en la agricultura estimando el alcance de las consecuencias a las que se podría llegar, en términos de daños sobre la producción agrícola, en caso de no emplear medidas de adaptación frente al cambio climático. Para ello, se ha empleado como indicador el Valor Añadido Bruto (VAB)

**¿Qué cubre este análisis?**

Este análisis pretende evaluar el riesgo de inundación en la agricultura estimando el alcance de las consecuencias a las que se podría llegar, en términos de daños sobre la producción agrícola, en caso de no emplear medidas de adaptación frente al cambio climático. Para ello, se ha empleado como indicador el Valor Añadido Bruto (VAB)

- **Capítulo 4. Análisis integrado**, en el que se describe la estrategia de riesgo multisectorial empleada en este análisis, la distribución espacial del riesgo obtenida y las localizaciones que, en consecuencia, constituyen una prioridad para la implementación de la adaptación.
- **Capítulo 5. Recomendaciones**, en el que se establecen una serie de recomendaciones para la implementación de estrategias y planes de adaptación.
- **Capítulo 6. Referencias**, que incluye las referencias bibliográficas utilizadas.

### 3. REFERENCIAS

- Agencia Estatal de METeorología (AEMET): [www.aemet.es](http://www.aemet.es) (último acceso: julio de 2015).
- Batista e Silva, F., Gallego, J., Lavallo, C., 2013. A high resolution population grid map for Europe. *Journal of Maps* 9:1, 16-28.
- Bruun, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Waterways and Harbors Division* 88, 117 – 130.
- Camus P., F.J. Méndez, R. Medina, A. Tomas and C. Izaguirre, 2013. High resolution Downscaled Ocean Waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72, 56-68.
- Camus, P. M. Menéndez, F.J. Méndez, C. Izaguirre, A. Espejo, V. Cánovas, J. Pérez, A. Rueda, I.J. Losada y R. Medina, 2014. A weather-type statistical downscaling framework for ocean wave climate. *Journal of Geophysical Research*, doi 10.1002/2014JC010141.
- Cid, A., S. Castanedo, A.J. Abascal, M. Menendez and, R. Medina, 2014. A high resolution hindcast of the meteorological sea level component for Southern Europe: the GOS dataset. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-013-2041-0.
- Church, J.A. and White, R., 2006. A 20<sup>th</sup> century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical research letters*, vol. 33, L01602, doi:10.1029/2005GL024826.
- Doney, S. C., Ruckelshaus, M., Emmett Duffy, J., Barry, J. P., Chan, F., English, C. a., Talley, L. D., 2012. Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 4, 11–37. doi:10.1146/annurev-marine-041911-111611.
- EEA, 2010. The European Environment. State of the Outlook 2010. Marine and coastal environment, European Environment Agency, Copenhagen.
- ETC/ACC, 2010a. European coastal climate change impacts, vulnerability and adaptation; a review of evidence. ETC/ACC Technical paper 2010/7, November 2010. European Topic Centre on Air and Climate Change.
- ETC/ACC, 2010b. Methods for assessing current and future coastal vulnerability to climate change. ETC/ACC Technical paper 2010/8, November 2010. European Topic Centre on Air and Climate Change.
- EurOtop — Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual, 2007. Environment Agency (UK), Expertise Netwerk Waterkeren (NL), Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen (DE), Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H. and van der Meer, J.W.
- Franco, L., de Gerloni, M., van der Meer, J.W., 1994. Wave overtopping on vertical and composite breakwaters. In: *Proc. 24th International Conference on Coastal Engineering*. ASCE, ASCE, New York, pp. 1030–1044, ISBN 0-7844-0089-X.
- Franco, L., Cavani, A., 1999. Overtopping response of core-locs, tetrapods and antifer cubes. *Proc. Coastal Structures '99*, A.A. Balkema, Rotterdam (1999), pp. 383–387 ISBN 90 5809 092 2.

Fundación BBVA: [www.fbba.es](http://www.fbba.es) (último acceso: marzo de 2015).

García, R., Holmer, M., Duarte, C.M., Marbà, N., 2013. Global warming enhances sulphide stress in a key seagrass species (NW Mediterranean). *Global Change Biology* 19, 3629–3639.

Gobierno del Principado de Asturias: [www.asturias.es](http://www.asturias.es) (último acceso: marzo de 2015).

Gopi Goteti, 2014. R Package: Hazus. Damage functions from FEMA'S HAZUS software for use in modeling financial losses from natural disasters. Version 0.1.

Hoegh-Guldberg, O., & J.F. Bruno, 2010. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328, 1523-1528.

HMTO Green Book, 2011. Appraisal and Evaluation in Central Government. HM TREASURY.

Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (IDEPA): [www.idepa.es](http://www.idepa.es) (último acceso: agosto de 2015).

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the IPCC 5th Assessment Report.*

IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. Contribution to the IPCC 5th Assessment Report.*

Lee, K., Park, S.R., Kim, Y.K., 2007. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: a review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350, 144-175.

Lüning, K., 1990. *Seaweeds. Their Environment, Biogeography, and Ecophysiology.* John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.

McHugh, D.J., 1991. Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including *Gelidium*, En: J.A. Juanes, B. Santelices y J. L. McLachlan (eds.). *International Workshop on Gelidium.* Kluwer Acad. Publ., The Netherlands, pp. 19-30.

Meehl G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins et al. 2007. Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 747-846.

Miller, J. K., and R. G. Dean, 2004. A simple new shoreline change model, *Coastal Eng.*, 51, 531–556.

Panigada, S., Zanardelli, M., MacKenzie, M., Donovan, C., Mélin, F., Hammond, P.S., 2008. Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3400–3412.

- Ramos, E., Puente, A., Juanes, J.A., Neto, J.M., Pedersen, A., Bartsch, I., Scanlan, C., Wilkes, R., van den Bergh, E., Gall, E.A., Melo, R., 2014. Biological validation of physical coastal waters classification along the NE Atlantic region based on rocky macroalgae distribution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 147, 103-112.
- ROM 0.0, 2001. General Procedure & Requirements for the Design of Harbor and other Maritime Structures (Part I). Ministerio de Fomento. Gobierno de España.
- Saha, S. et al., 2010. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 91(8), 1015–1057. doi:10.1175/2010BAMS3001.
- Salman, A., Bilecenoglu, M., Güçlüsoy, H., 2001. Stomach contents of two Mediterranean monk seals (*Monachus monachus*) from the Aegean Sea, Turkey. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84(4), 719-720.
- Schneiderbauer, S., and D. Ehrlich, 2004. Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards: A Review of Definitions, Concepts and Data. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities.
- Slangen A.B.A., M. Carson, C.A. Katsman, R.S.W. van de Wal, A. Köhl, L.L.A. Vermeersen and D. Stammer, 2014. Modelling twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-014-1080-9.
- Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (SADEI): [www.sadei.es](http://www.sadei.es) (último acceso: julio de 2015).
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. and Sallenger, A.H., Jr., 2006. Empirical Parameterization of Setup, Swash, and Runup. *Coastal Engineering* 53 573-588, Elsevier Publishing, the Netherlands.
- Tönis, I. E., Stam, J. M. T., & Van de Graaf, J., 2002. Morphological changes of the Haringvliet estuary after closure in 1970. *Coastal Engineering*, 44(3), 191-203.
- Van der Wegen, M., 2013. Numerical modeling of the impact of sea level rise on tidal basin morphodynamics. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(2), 447-460.
- Wernberg, T., Russell, B.D., Moore, P.J., Ling, S.D., Smale, D.A., Campbell, A., Coleman, M.A., Steinberg, P.D., Kendrick, G.A., Connell, S.D., 2011. Impacts of climate change in a global hotspot for temperate marine biodiversity and ocean warming. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400, 7-16, doi:10.1016/j.jembe.2011.02.021.



## ANEJO I

### COSTES DE LA INACCIÓN DEBIDOS AL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS



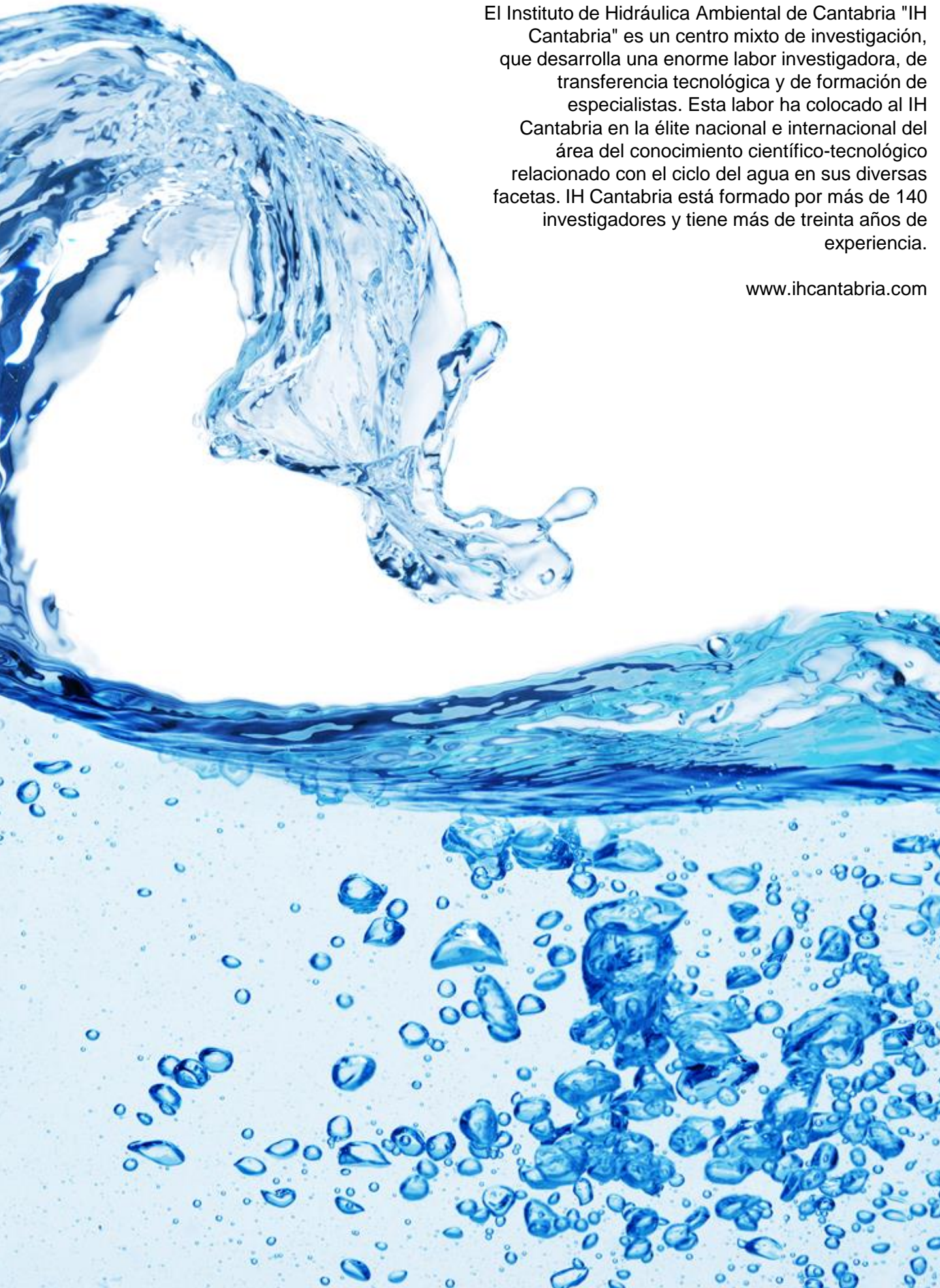


# **COSTES DE LA INACCIÓN DEBIDOS AL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA COSTA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS**

# ¿Qué es IHCantabria?

El Instituto de Hidráulica Ambiental de Cantabria "IH Cantabria" es un centro mixto de investigación, que desarrolla una enorme labor investigadora, de transferencia tecnológica y de formación de especialistas. Esta labor ha colocado al IH Cantabria en la élite nacional e internacional del área del conocimiento científico-tecnológico relacionado con el ciclo del agua en sus diversas facetas. IH Cantabria está formado por más de 140 investigadores y tiene más de treinta años de experiencia.

[www.ihcantabria.com](http://www.ihcantabria.com)





# **AGRADECIMIENTOS**

## **AGRADECIMIENTOS**

Este proyecto ha sido financiado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Los autores agradecen el soporte técnico recibido por el Gobierno del Principado de Asturias.

---

## **AUTORES DEL DOCUMENTO**

**Iñigo J. Losada Rodríguez, Catedrático de la Universidad de Cantabria, Director de Investigación de IHCantabria.**

**Alexandra Toimil Silva, Investigadora de IHCantabria.**

**Pedro Díaz Simal, Profesor Titular de la Universidad de Cantabria, Investigador de IHCantabria.**

---

## **OTROS INVESTIGADORES DE IHCANTABRIA PARTICIPANTES EN EL PROYECTO**

**Sheila Abad Herrero, Jose Antonio Álvarez Antolínez, Paula Camus Braña, Sonia Castanedo Bárcena, Camino Fernández de la Hoz, Felipe Fernández Pérez, Cristina Galván Arbeiza, Cristina Izaguirre Lasa, Melisa Menéndez García, Pelayo Menéndez Fernández, Mirian Jiménez Tobio, Fernando J. Méndez Incera, Paula Núñez Pérez, Luis Pedraz Polo, Araceli Puente Trueba, Elvira Ramos Manzanos y Víctor Velarde Gutiérrez.**

# CONTENIDOS

---

## 5 LISTA DE ACRÓNIMOS

## 7 GLOSARIO

## 11 INTRODUCCIÓN

## 13 MARCO GENERAL

### 13 Marco general de riesgo

### 13 Necesidad de bases de datos contrastadas

### 14 Caracterización histórica de las dinámicas

### 14 Indicador del nivel del mar total

### 15 ¿Cómo afecta el aumento del NMM a los temporales?

### 16 Proyecciones basadas en GEIs

### 17 Dinámicas Meteo-oceanográficas

### 25 Dinámicas Hidro-Meteorológicas

## 27 SECTORES

### 28 Ecosistemas

#### 29 Hábitats y especies naturales

#### 33 Servicios ecosistémicos

#### 37 Estuarios

#### 41 Playas

### 47 Población

### 51 Vivienda

### 56 Infraestructura

#### 57 Infraestructuras críticas

#### 61 Instalaciones industriales

### 67 Agricultura

### 71 Turismo

## 74 ANÁLISIS INTEGRADO

## 75 RECOMENDACIONES

## 77 REFERENCIAS



# LISTA DE ACRÓNIMOS

---

<b>ADP</b>	<b>Perfilador de corriente Acústico Doppler</b>
<b>AEMET</b>	<b>Agencia Estatal de Meteorología</b>
<b>AVHRR</b>	<b>Advanced Very High Resolution Radiometer</b>
<b>BCN25</b>	<b>Base Cartográfica Numérica de 25 metros de resolución horizontal</b>
<b>BTN25</b>	<b>Base Topográfica Nacional de 25 metros de resolución horizontal</b>
<b>CFSR</b>	<b>Climate Forecast System</b>
<b>CMIP5</b>	<b>Coupled Model Intercomparison Project Phase 5</b>
<b>DOW</b>	<b>Downscaled Ocean Waves</b>
<b>EUNIS</b>	<b>European Nature Information System</b>
<b>GBIF</b>	<b>Global Biodiversity Information Facility</b>
<b>GEIs</b>	<b>Gases de Efecto Invernadero</b>
<b>GOW</b>	<b>Global Ocean Waves</b>
<b>IC</b>	<b>Infraestructuras Críticas</b>
<b>ICOADS</b>	<b>International Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set</b>
<b>IDEPA</b>	<b>Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias</b>
<b>IGN</b>	<b>Instituto Geográfico Nacional</b>
<b>IHM</b>	<b>Instituto Hidrográfico de la Marina</b>
<b>IPCC</b>	<b>Panel Intergubernamental sobre el cambio Climático (del inglés Intergovernmental Panel on Climate Change). Grupo de expertos sobre el cambio climático.</b>
<b>JRC</b>	<b>Joint Research Centre</b>
<b>GOS</b>	<b>Global Ocean Surge</b>
<b>GOT</b>	<b>Global Ocean Tides</b>
<b>LIDAR</b>	<b>Sistema láser de detección de imágenes (del inglés Light Detection and Ranging o Laser Imaging Detection and Ranging)</b>
<b>MDT</b>	<b>Modelo Digital del Terreno</b>
<b>MA</b>	<b>Marea Astronómica</b>
<b>MAGRAMA</b>	<b>Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.</b>
<b>MM</b>	<b>Marea Meteorológica</b>

# LISTA DE ACRÓNIMOS

---

<b>NMM</b>	<b>Nivel Medio del Mar</b>
<b>OBIS</b>	<b>Ocean Biogeographic Information</b>
<b>OECC</b>	<b>Oficina Española de Cambio Climático</b>
<b>OSTIA</b>	<b>Operational Sea Surface Temperature and Sea Ice Analysis</b>
<b>PNOT</b>	<b>Plan Nacional de Observación del Territorio</b>
<b>RCP</b>	<b>Rutas Representativas de Concentración de gases de efecto invernadero (del Inglés Representative Concentration)</b>
<b>RDAN</b>	<b>Renta Disponible Ajustada Neta</b>
<b>REDMAR</b>	<b>Red de Mareógrafos de Puertos del Estado</b>
<b>SADEI</b>	<b>Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales</b>
<b>SLR</b>	<b>Aumento del nivel del mar (del inglés Sea Level Rise)</b>
<b>ROMS</b>	<b>Regional Ocean Model System</b>
<b>SIG</b>	<b>Sistemas de Información Geográfica</b>
<b>SIOSE</b>	<b>Sistema de Ocupación del Suelo de España</b>
<b>SST</b>	<b>Temperatura superficial del agua del mar (del inglés Sea Surface Temperature)</b>
<b>TWL</b>	<b>Nivel del mar total (del inglés Total Water Level)</b>
<b>VAB</b>	<b>Valor Añadido Bruto</b>
<b>VANE</b>	<b>Valoración de los Activos Naturales de España</b>
<b>ZEC</b>	<b>Zona Especial de Conservación</b>

# GLOSARIO

---

**Adaptación al cambio climático:** es el ajuste en los sistemas humanos y naturales en respuestas a los estímulos climáticos reales, o proyectados, y sus efectos, de tal manera que se reduzcan el daño o se aprovechen las oportunidades beneficiosas (IPCC, 2014).

**Altura de ola significativa:** es un parámetro estadístico definido a partir de un registro de oleaje como la altura de ola media del tercio de las mayores olas del registro.

**Berma:** zona cuasi-horizontal de la playa seca formada por la deposición de sedimentos debida a la acción del oleaje.

**Cambio climático:** modificación del clima respecto al historial climático.

**Carrera de marea:** diferencia de cota entre la bajamar y la pleamar.

**Cuantil de una variable (ej. de altura de ola):** valor de la variable asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia o a un período de retorno.

**Curva de daño:** función que relaciona la cota de inundación alcanzada en un punto con el porcentaje de daño efectivo sufrido por los activos en ese punto.

**Daño efectivo:** daño real obtenido como resultado de aplicar una curva de daño a unos activos con un valor dado.

**Daño emergente:** daño ocasionado directamente sobre activos físicos, por contraposición al lucro cesante.

**Daño máximo:** daño que ha alcanzado el mayor grado posible, es decir, que considera la pérdida total de activos.

**Modelo de Distribución Potencial:** Extrapolan el área de distribución actual para estimar el área que potencialmente podría ocupar la especie, mediante técnicas estadísticas usando un conjunto de variables que pueden explicar dicha distribución.

**Downscaling:** (del inglés) proceso de obtención de datos a escala reducida a partir de fuentes agregadas.

**Escenario climático:** conjunto de hipótesis de trabajo sobre cómo va a evolucionar la sociedad y qué va a significar esta evolución para el clima.

**Escenario de riesgo:** conjunto de hipótesis de trabajo que combinan cambios en el clima y cambios en el tejido socioeconómico.

**Evento extremo:** se trata de eventos que por su magnitud no se repiten con frecuencia, es decir, que tienen periodos de retorno elevados.

**Exposición:** hace referencia a las características físicas del frente y al conjunto de elementos susceptibles de verse afectados.

**Figura de protección:** instrumento administrativo para definir grados de protección de espacios naturales.

**Formato ráster:** formato de representación espacial que contiene datos numéricos representativos de un fenómeno en una trama regular.

# GLOSARIO

---

**Formato vectorial:** formato de representación espacial que contiene objetos geométricos independientes, con dimensiones distintas.

**Formulación de Bruun:** fue la primera formulación propuesta, y la más conocida para evaluar el retroceso producido en una playa como consecuencia de un aumento local del nivel del mar (Bruun 1962).

**Hábitat:** conjunto de factores físicos y geográficos que influyen en el desarrollo de una especie.

**Lucro cesante:** daño producido en un sistema por su pérdida de producción, por contraposición al daño emergente o deterioro físico sufrido.

**Macromareal:** carrera de marea superior a los 4 metros.

**Marea Astronómica:** es el movimiento de ascenso-descenso del nivel del mar por efecto de la atracción gravitatoria de los astros.

**Marea Meteorológica:** Sobreelevación del nivel del mar producido en la costa debido a la acción del viento y los cambios de presión.

**Masa de agua de transición:** masas de agua superficial próximas a la desembocadura de los ríos que son parcialmente salinas como consecuencia de su proximidad a las aguas costeras, pero que reciben una notable influencia de flujos de agua dulce.

**Modelos Climáticos Globales:** resuelven las ecuaciones de las leyes y principios de la Física que gobiernan los procesos en cada componente del sistema climático, así como los intercambios de energía y masa entre ellos a escala global.

**Morfodinámica:** estudio de los cambios producidos en la línea de costa y/o en el fondo marino por la interacción de aguas continentales y aguas marinas.

**Nivel del mar total (TWL):** es el nivel que alcanza el mar debido a la acción conjunta de la marea astronómica, la marea meteorológica y el set-up generado por las olas.

**Nivel Medio del Mar:** Se conoce como nivel del mar a aquel que se toma como referencia para determinar la altitud de diversas localidades y accidentes geográficos.

**Opciones de adaptación de acomodación:** son aquellas opciones que manteniendo los elementos potencialmente en riesgo en las zonas afectadas, priorizan la reducción de la vulnerabilidad de los mismos mediante la modificación de usos del suelo, la introducción de normativa específica para las infraestructuras y viviendas o la adopción de medidas que aumenten la preparación de los elementos afectados ante los posibles impactos.

**Opciones de adaptación de protección:** aquellas que tienen como fin último proteger las zonas en riesgo, ya sean parte del sistema socioeconómico o natural, tratando de evitar que se produzcan los impactos derivados de la inundación, erosión, intrusión salina, etc., mediante la reducción de la peligrosidad y/o especialmente la exposición.

**Opciones de adaptación de retroceso:** basadas en el abandono planificado de las zonas susceptibles de verse afectadas por impactos del cambio climático o de riesgos extremos.

**Peligrosidad:** fenómeno de origen climático o derivado de la actividad humana que puede causar daños sociales, económicos o medioambientales (adaptado de UNISDR 2009).

# GLOSARIO

---

**Percentil de una variable (ej. de altura de ola):** valor de la variable asociado a una determinada probabilidad de ocurrencia o a un período de retorno. Es un tipo de cuantil en el que la distribución queda dividida en cien partes.

**Periodo de retorno:** intervalo medio de tiempo, generalmente expresado en años, al cabo de los cuales se igualará o superará un suceso de una determinada magnitud.

**Proyecciones de cambio climático:** son los valores de una determinada variable (por ejemplo nivel del mar) estimados para el futuro bajo distintos escenarios de cambio climático. Ver RCP.

**Profundidad de cierre del perfil:** límite del perfil de playa a partir del cual el oleaje deja de influir en la forma del perfil.

**Renta Disponible Ajustada Neta:** agregado macroeconómico obtenido al sumar a la renta regional disponible las transferencias sociales en especie, que incluyen las prestaciones gratuitas de sanidad y educación, entre otras.

**Riesgo:** la combinación de un suceso y sus consecuencias negativas (adaptado de UNISDR 2009).

**Setup del oleaje:** sobreelevación del nivel del mar inducida por la rotura del oleaje.

**Sistema natural costero:** es el sistema formado por distintos rasgos costeros y ecosistemas tales como costas rocosas, playas, dunas y flechas de arena, estuarios y lagunas, deltas, desembocaduras de ríos, humedales y corales. Estos elementos ayudan a definir los límites costeros entre el mar y la tierra, además de proporcionar una amplia variedad de servicios de regulación del clima, de suministro o culturales.

**Sistema socioeconómico costero:** es el sistema que incluye el medio construido (e.g. asentamientos urbanos, infraestructuras de transporte, carreteras, alcantarillado o abastecimiento), actividades humanas (e.g. turismo, acuicultura y pesquerías) así como instituciones formales e informales que organizan las actividades humanas (e.g. políticas, leyes, costumbres, normas y culturas).

**Stock de capital:** comprende el conjunto de activos fijos durables utilizados directamente en la producción de bienes y servicios y resulta de los flujos de inversión pasados, de su composición por tipos de activo y del ritmo de depreciación de cada uno de estos.

**Tasa de descuento:** es una medida económico-financiera que se aplica para determinar el valor actual de un coste futuro. Puede adoptar distintos valores según se trate de un coste privado o público.

**Temperatura Superficial del Mar:** es la temperatura del agua del mar en la superficie.

**Valor Añadido Bruto:** la riqueza generada durante un periodo considerado obtenida como la diferencia entre el valor de la producción y los consumos intermedios utilizados como materias primas, servicios y suministros exteriores, etc.

**Vulnerabilidad:** son las características y circunstancias de una comunidad, sistema o activo que lo hacen susceptible a los efectos dañinos de un peligro (adaptado de UNISDR 2009).

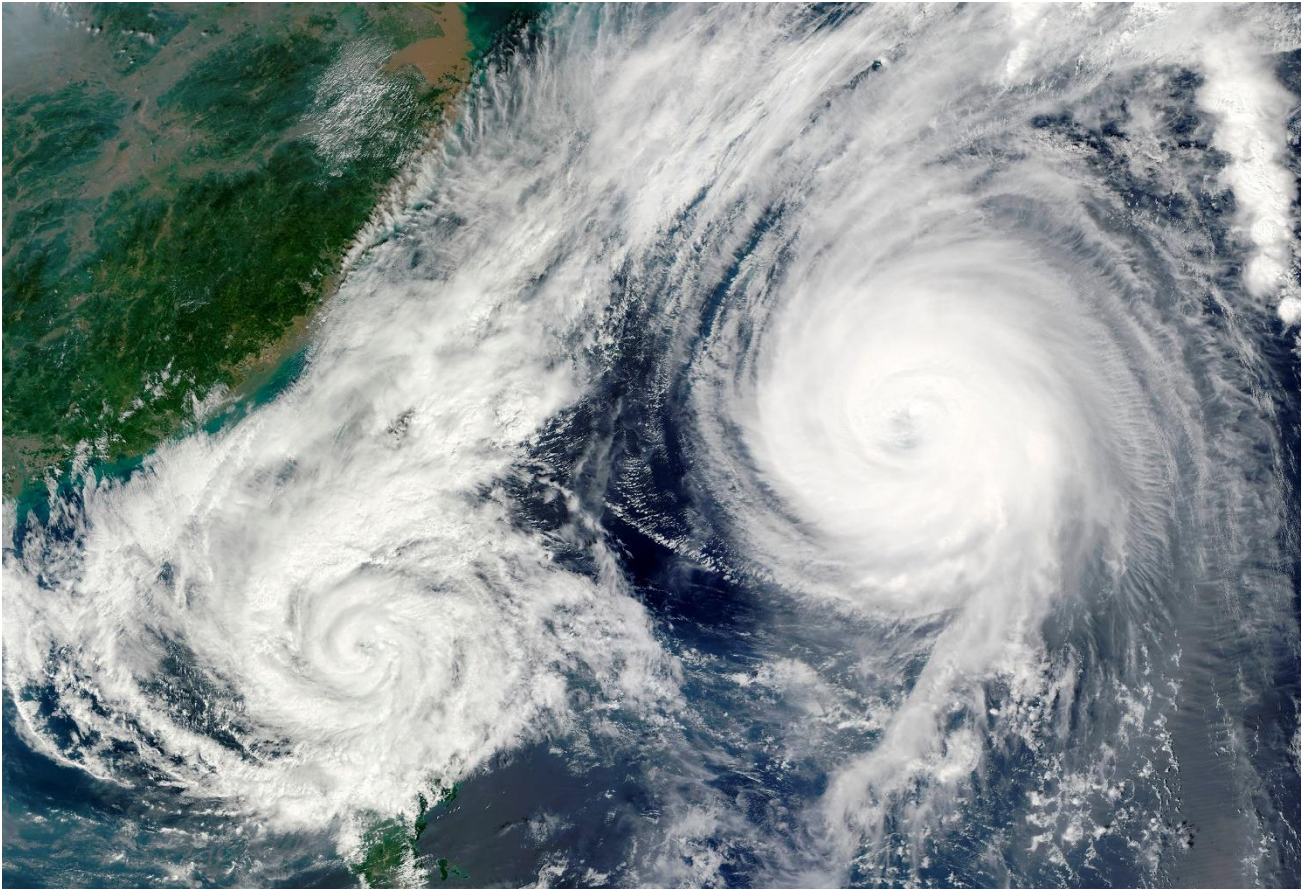
# Estructura del Informe

<b>INTRODUCCIÓN</b>	Proporciona una visión general del marco contextual y de los objetivos del estudio.
<b>MARCO CLIMÁTICO</b>	Presenta el estudio realizado y el marco general del riesgo en el que se engloba, describe las variables climáticas que intervienen, así como sus proyecciones, y expone las limitaciones del análisis.
<b>SECTORES</b> Entorno natural Población Vivienda Infraestructura Puertos Agricultura Turismo	Resume la caracterización de los impactos analizados sobre los sectores listados incluyendo: <ul style="list-style-type: none"><li>• Antecedentes</li><li>• Bases de datos empleadas</li><li>• Metodología y escenarios de cambio climático propuestos</li><li>• Limitaciones del análisis</li><li>• Resultados que muestran los riesgos que conlleva la inacción</li></ul>
<b>ANÁLISIS INTEGRADO</b>	Proporciona una contextualización legislativa del estudio, fija los objetivos de riesgo y proporciona un análisis integrado del riesgo sobre el sistema socioeconómico.
<b>RECOMENDACIONES</b>	Sintetiza los puntos clave de la Estrategia de Adaptación.



# INTRODUCCIÓN

---



**Las zonas costeras son altamente dinámicas**, lo que da lugar a que presenten una elevada fragilidad y vulnerabilidad frente a cualquier tipo de presión externa, ya sea de origen natural o antropogénico. Estas zonas, especialmente sensibles a forzamientos del cambio climático tales como el nivel del mar, la temperatura del océano y su acidez, presentan mayor exposición a una serie de peligrosidades. El cambio climático conlleva, además de una subida del nivel medio del mar, posibles alteraciones en la frecuencia, la intensidad, la extensión o la duración de eventos extremos. La combinación del aumento de nivel del mar y los cambios en los eventos extremos dan lugar a riesgos de inundación en zonas bajas y aceleran la erosión costera.

Muchas veces nos referimos a la inundación costera como a la superación de un determinado nivel del mar al que usualmente llegan las aguas de manera que se generan daños sobre el sistema socioeconómico y natural. Esto responde a eventos extremos de inundación que ocurren debido a la interacción de varios factores y tras los cuales el nivel de las aguas vuelve a su situación media. Sin embargo, la subida del nivel medio del mar debido al cambio climático implica la inundación permanente de terrenos, especialmente zonas bajas de la costa, perdiendo su uso y disfrute. Por consiguiente, podemos distinguir dos tipos de inundaciones costeras: la inundación permanente debida al aumento del nivel medio del mar y la inundación potencial a causa de eventos extremos. Debido a esta doble dimensión del problema, por un lado la inundación de eventos extremos durante un tiempo determinado y, por otro, la pérdida permanente de suelo por ascenso del nivel medio del mar, es fundamental contemplar ambas en un estudio de riesgo.

Por otro lado, la erosión costera es un impacto particularmente preocupante, especialmente en playas urbanas en las que, a diferencia del resto de playas sin influencia antropogénica donde es posible un retranqueo natural a partir del movimiento tierra adentro del sistema dunar, no habría posibilidades de retroceso en el caso de que la costa erosionase.

Entre otras consecuencias relevantes del cambio climático sobre los sistemas costeros naturales se encuentran la pérdida de servicios ecosistémicos y las alteraciones de los ecosistemas marinos debidas a cambios en la temperatura superficial del mar, variable que desempeña un papel fundamental en el desarrollo y la supervivencia de especies y que representa uno de los factores más determinantes en su distribución. Además de actuar sobre hábitats y especies naturales, el cambio climático conlleva cambios significativos en las características morfológicas de los estuarios y, por tanto, en el balance sedimentario de los mismos.

# INTRODUCCIÓN



## Sobre el Informe

Los sistemas costeros son particularmente vulnerables al aumento del nivel medio del mar y a los cambios en la intensidad y frecuencia de las inundaciones. Además del riesgo de inundación permanente en zonas bajas debido al aumento del nivel medio del mar, otros impactos de cambio climático incluyen un aumento de la erosión en playas y acantilados, la degradación de ecosistemas costeros y la intrusión salina (EEA, 2010a; ETC/ACC, 2010a; ETC/ACC, 2010b). Los cambios más significativos se producirán en el nivel medio del mar, la temperatura ambiente y la temperatura superficial del mar.

En la costa coexisten interacciones complejas entre el sistema natural y socioeconómico que sugieren que las consecuencias del cambio climático pueden manifestarse de muchas formas. Los análisis de evaluación de riesgos permiten identificar las áreas más expuestas a diferentes impactos, entender el origen de los mismos, identificar su extensión y severidad, y asistir en la elaboración de planes de gestión y toma de decisiones tales como estrategias de adaptación.

El objetivo de este trabajo es dar una estimación de la dimensión del impacto del cambio climático en la costa del Principado de Asturias mediante la determinación del riesgo sobre sus sistemas socioeconómico y natural. Para ello se ha empleado una metodología que mejora el estado del conocimiento en la caracterización de impactos debidos al cambio climático y en el cálculo de consecuencias. En este informe se muestra el análisis de riesgo de inundación, erosión y cambios en la temperatura superficial del mar sobre ecosistemas, población, vivienda, infraestructuras, agricultura y turismo.

## Limitaciones en el Análisis

La estimación del riesgo planteada supone un paso más en el estudio del cambio climático en la costa y sienta bases más sólidas para el planteamiento de estrategias y medidas de adaptación. Sin embargo, hay que tener en cuenta que existen ciertas limitaciones asociadas a los datos disponibles y a los modelos numéricos empleados, que deben tenerse en cuenta para interpretar de forma adecuada los resultados. Estas limitaciones se muestran de forma detallada a lo largo del documento para cada sector y subsector considerados.

Cabe añadir que no se ha dispuesto de información contrastada sobre el régimen de precipitaciones en el Principado de Asturias. Por este motivo, sólo se ha implementado lluvia en los test de sensibilidad del modelo. Los datos de caudal de los que se dispone, por otro lado, no son suficientes para llevar a cabo un tratamiento estadístico al nivel del realizado en el caso de las dinámicas costeras y, por tanto, no ha sido posible plantear escenarios con combinaciones estadísticas de ambos. Por ello, se ha optado por simular en cada uno de los escenarios propuestos un caudal medio en los cauces más representativos.

## Cómo interpretar los Resultados

Es importante señalar que no se está realizando un pronóstico de daños que aspire a ser certero, es decir a prever lo que realmente va a ocurrir, sino más bien un ejercicio de ensayo en el que se presenta lo que podría observarse en un territorio ante escenarios de riesgo. Este ensayo pretende ser representativo de posibles evoluciones de la sociedad afectada, mostrando la variación de las consecuencias que se podrían percibir para así poder mostrar cómo podrían contribuir las estrategias de adaptación con las que cuenta la sociedad y evaluar su posible aportación al bienestar social.

Los resultados que se presentan en este estudio son, por tanto, indicadores de la susceptibilidad actual de la población y de los ecosistemas así como de las consecuencias a las que se podría llegar ante la inacción. No se ha tenido en cuenta la reubicación de asentamientos urbanos en riesgo, la migración de especies ni el aprendizaje y maduración de la sociedad, entre otros aspectos.



# MARCO General

## Marco general de riesgo

El análisis del riesgo que se plantea en este informe está enmarcado dentro de una metodología más general de riesgo adoptada por el IPCC. En este marco más general, el concepto de riesgo se basa en la combinación de peligrosidad, exposición y vulnerabilidad, configurando lo que se conoce como el triángulo del riesgo (Schneiderbauer y Ehrlich, 2004), aplicado principalmente en la investigación de desastres naturales.

El IPCC define el riesgo como la probabilidad de que, durante un período de tiempo, se produzcan alteraciones graves del funcionamiento normal de una comunidad o una sociedad debido a los fenómenos físicos peligrosos que interactúan con condiciones sociales vulnerables, dando lugar a efectos humanos, materiales, económicos o ambientales adversos generalizados que requieren una respuesta inmediata a la emergencia para satisfacer las necesidades humanas esenciales, y que pueden requerir apoyo externo para la recuperación. El nivel de peligrosidad de una inundación se puede expresar en términos de intensidad, asociados a la cota de inundación, o de probabilidad, asociados a periodos de retorno. En este estudio se ha determinado la distribución estadística de la amenaza y se han seleccionado cuantiles asociados a distintos periodos de retorno.



La exposición y la vulnerabilidad, principales factores determinantes del riesgo, son dinámicas, varían en el tiempo y el espacio y dependen de factores económicos, sociales, geográficos, demográficos, culturales, institucionales y ambientales. La primera comprende la presencia de personas, servicios, recursos ambientales, infraestructura y bienes económicos, sociales o culturales en lugares que podrían verse afectados negativamente como consecuencia de un evento. Viene representada por los activos existentes en cada localización, por lo que se ha empleado un Modelo Digital de Terreno (MDT) de alta resolución en el que se han incluido las defensas costeras. Por otro lado, la vulnerabilidad hace referencia al contexto físico, social, económico y ambiental de una región, sector o grupo social susceptible de ser afectado por un fenómeno meteorológico o climático. Ésta se puede obtener en función del valor económico asignado a cada tipo de uso del suelo, utilizando lo que comúnmente se llaman funciones de daño.

La figura 3 muestra un esquema conceptual del desarrollo metodológico que se propone, donde el riesgo (R), entendido como la probabilidad de un evento y sus consecuencias negativas, se expresa como el producto de la peligrosidad (P), definida a través de las dinámicas marinas, la exposición (E), asociada al medio físico, la población y los activos sujetos a inundaciones, y la vulnerabilidad (V), relacionada con la capacidad de la sociedad para afrontar un evento de inundación ( $R=P \times E \times V$ ). De este modo, si alguno de estos factores aumenta, también lo hará el riesgo.

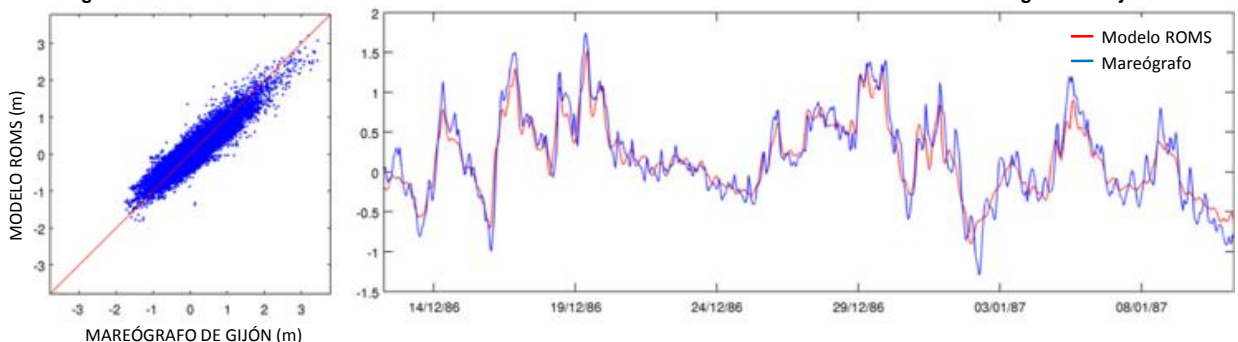
Figura 3. Triángulo del riesgo



## Necesidad de bases de datos contrastadas

La recopilación de bases de datos fiables es una tarea fundamental para llevar a cabo una buena evaluación del riesgo, que sirva como base al plan de adaptación. En la literatura científica se recogen numerosas aproximaciones del análisis del riesgo, siendo una de las más extendidas la que considera el riesgo como la probabilidad de sufrir consecuencias negativas en una zona expuesta debido a la acción de una amenaza. En este estudio **las amenazas climáticas consideradas son el nivel del mar, el oleaje, la temperatura superficial del agua y la precipitación**. Sin embargo, no son sólo las amenazas en sí las que producen impactos y consecuencias, sino los cambios que están experimentando, esto es el aumento del nivel del mar, los cambios en la intensidad y dirección del oleaje, aumento de la temperatura del agua del mar, cambios en la intensidad, frecuencia y dirección de las tormentas, cambios en los regímenes de precipitaciones y cambios en los caudales de ríos. Por ello, es necesario recopilar bases de datos históricas de estas variables que nos permitan analizar los cambios que han experimentado en los últimos años y los impactos que han generado en la costa. **La información debe ser de calidad contrastada y tener una longitud temporal adecuada para permitir el análisis de tendencias de las variables.**

Figura 4. Validación de resultados de nivel del mar obtenidos con el modelo ROMS con los datos del mareógrafo de Gijón

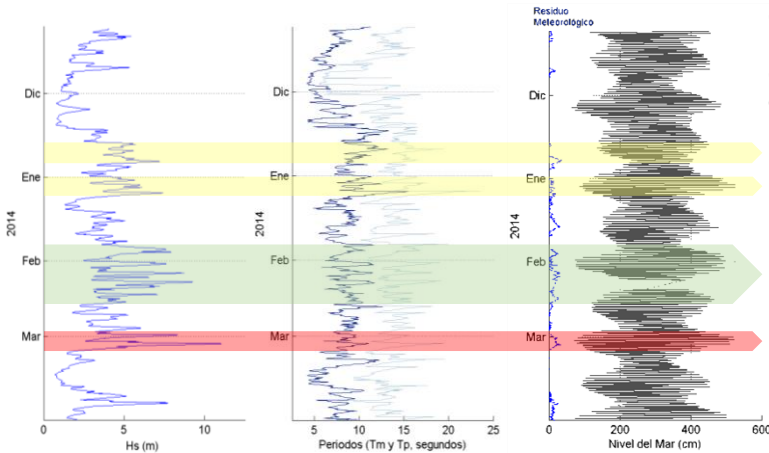


# MARCO General

## Caracterización histórica de las dinámicas

Con el objetivo de caracterizar históricamente las dinámicas marinas que son forzadoras de los principales impactos costeros se han utilizado dos tipos de metodologías: el análisis estadístico de series temporales para el caso de la temperatura superficial del agua del mar y una metodología basada en tipos de tiempo que permite relacionar los estados de la atmósfera con las variables marinas generadoras de los impactos de inundación y erosión. Se ha obtenido una caracterización de las dinámicas mostrando su variabilidad espacial y temporal y obteniendo, a partir de las tendencias de largo plazo, los cambios que han experimentado a lo largo del siglo XX.

Figura 5. Reconstrucción de las series de oleaje y nivel del mar durante el invierno de 2014 en un punto frente a la costa asturiana



La figura 5 muestra la dominancia de las distintas variables en los eventos más intensos ocurridos durante el invierno de 2014, señalados con barras de colores. Se puede observar cómo la coincidencia de oleajes energéticos y mareas vivas dio lugar a elevadas cotas de inundación.

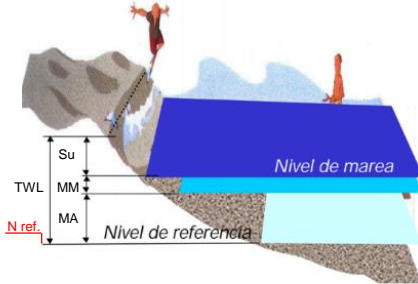
Figura 6. Las olas rebasan el dique exterior del Puerto de Candás



## Indicador del nivel del mar total

El análisis del riesgo requiere, en primer lugar, de la definición de la magnitud y duración de la peligrosidad. **La inundación costera depende principalmente del oleaje, la marea meteorológica (MM), la marea astronómica (MA) y el aumento del Nivel Medio del Mar (NMM).** Estas variables se combinan en un índice de nivel del mar total (denominado TWL de sus siglas en inglés), definido como la suma lineal de la MM, la MA y el Setup del oleaje (Su), éste último término calculado mediante la formulación de Stockdon et al. (2006). Para escenarios de aumento del NMM, el TWL exige además la incorporación del incremento de nivel en la formulación.

Figura 7. Esquema de la composición del TWL



En nivel de referencia cambia con el aumento del NMM.

Figura 8. Puntos a lo largo del litoral asturiano en los que se ha reconstruido el TWL (m)

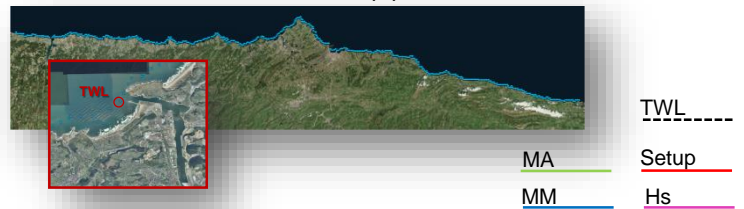
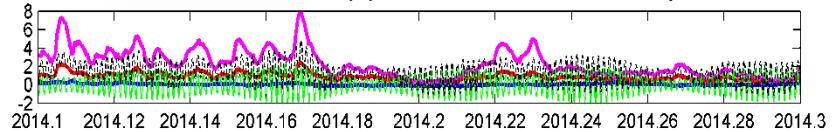


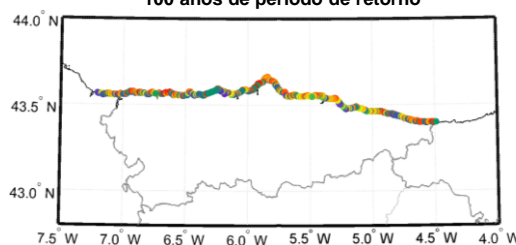
Figura 9. Reconstrucción de la serie de TWL (m) de enero a marzo de 2014 en un punto frente a Avilés



Las bases de datos históricas de oleaje y MM junto con la reconstrucción de la MA han permitido realizar la reconstrucción histórica del TWL a lo largo de la costa del Principado de Asturias, permitiendo analizar su régimen extremal y obtener los cuantiles asociados a periodos de retorno elevados, causantes de los eventos extremos de inundación.

Figura 10. TWL (m) correspondiente a 100 años de periodo de retorno

	TWL100 (m)
LUARCA (OCCIDENTE)	6.76
LUANCO (CENTRO)	6.62
LLANES (ORIENTE)	6.54



La contribución del oleaje al valor del TWL ha sido calibrada con datos de campo obtenidos por IHCantabria tras el temporal del 2 de febrero de 2014.

# MARCO General

## ¿Cómo afecta el Cambio Climático a los temporales?

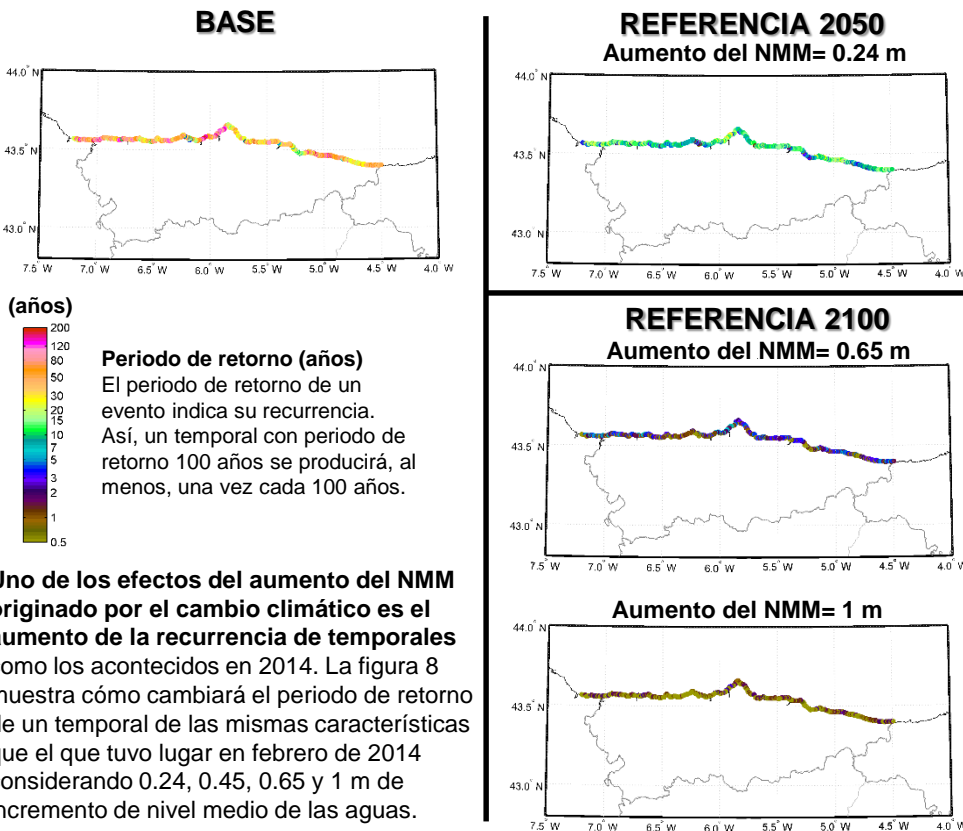
Durante los meses del invierno de 2014, una serie de temporales marítimos alcanzó la costa de la cornisa cantábrica causando estragos. El impacto de estos oleajes tan intensos sobre los distintos elementos del litoral provocó importantes daños estructurales en puertos y en el frente costero, numerosas inundaciones y grandes erosiones en playas.

La reconstrucción histórica del TWL a lo largo de la costa del Principado de Asturias ha permitido, no sólo analizar su régimen extremal, sino caracterizar la excepcionalidad de los temporales ocurridos durante el invierno. La figura 12 muestra la **variabilidad que el periodo de retorno del temporal del 2 de febrero de 2014** presentó en el litoral asturiano, **oscilando entre los 20 y los 200 años**, y alcanzando los máximos valores al oeste de Cabo Peñas y en algún punto frente a la costa de Ribadesella.

Figura 11. Destrozos por el oleaje en Candás



Figura 12. Periodo de retorno (años) correspondiente al TWL del pico del temporal del 2 de febrero de 2014



Uno de los efectos del aumento del NMM originado por el cambio climático es el aumento de la recurrencia de temporales como los acontecidos en 2014. La figura 8 muestra cómo cambiará el periodo de retorno de un temporal de las mismas características que el que tuvo lugar en febrero de 2014 considerando 0.24, 0.45, 0.65 y 1 m de incremento de nivel medio de las aguas.

	PERIODOS DE RETORNO				
	TWL del 02/02/2014	TWL del 02/02/14 + 0.25 m	TWL del 02/02/14 + 0.45 m	TWL del 02/02/14 + 0.65 m	TWL del 02/02/14 + 1 m
LUARCA (OCCIDENTE)	51 años	8 años	2 años	1 años	0.2 años
SALINAS (CENTRO)	218 años	18 años	6 años	2 años	0.5 años
LUANCO (CENTRO)	54 años	17 años	8 años	4 años	2 años
CANDÁS (CENTRO)	41 años	9 años	3 años	1 año	0.3 años
PLAYA DE VEGA (ORIENTE)	145 años	11 años	3 años	1 año	0.2 años
LLANES (ORIENTE)	26 años	9 años	4 años	2 años	1 año

Se puede observar cómo la subida del NMM reducirá la excepcionalidad de fuertes temporales marítimos haciéndolos mucho más frecuentes de lo que lo son actualmente. Por ejemplo, frente a la playa de Vega este evento con el NMM 1 m más alto se producirá con una frecuencia de 2 meses.

## Metodología

*Downscaling* estadístico para tipos de tipo

Esta **metodología basada en tipos de tiempo** trata de establecer una relación estadística entre el predictor (campos de presiones a nivel del mar) y el predictando (oleaje o marea meteorológica). Una vez conocida esa relación, mediante el uso y entrenamiento del modelo en el período histórico, se pueden obtener las proyecciones del predictando a partir de los cambios en las probabilidades del predictor, ya que la relación estadística de cada tipo de tiempo se asume constante. La metodología se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Recolección histórica de datos del predictor y del predictando.
2. Definición del predictor basada en las características de generación del oleaje local utilizando el método ESTELA (Pérez et al. 2014a).
3. Definición del modelo estadístico para el predictando.
4. Análisis de los GCMs (modelos climáticos globales) y las probabilidades futuras de ocurrencia de los tipos de tiempo para distintos escenarios de cambio climático.
5. *Downscaling* estadístico del oleaje y marea meteorológica obteniendo las proyecciones de las dinámicas para los escenarios de cambio climático.

Una descripción más completa se puede encontrar en Camus et al. (2014).

# MARCO General

## Proyecciones basadas en escenarios de Gases de Efecto Invernadero (GEIs)

La adaptación al cambio climático precisa la evaluación del riesgo bajo distintos escenarios con el objetivo de valorar los futuros cambios y proponer medidas o estrategias de adaptación que permitan lograr unos objetivos de riesgo: mantener el riesgo presente, disminuirlo, etc. Para ello **es necesario trabajar con escenarios basados en proyecciones**.

El objetivo principal es el de analizar los cambios en el nivel del mar, el oleaje y la temperatura del mar para distintos escenarios climáticos basados en Rutas Representativas de Concentración (RCP de sus siglas en inglés) de Gases de Efecto Invernadero (GEIs). En la actualidad existen cuatro escenarios RCP establecidos por el IPCC y con los que trabaja la comunidad científica. Cada uno de ellos representa distintas evoluciones de las concentraciones de GEIs a lo largo del siglo XXI, así el RCP2.6

representa un escenario optimista con bajas concentraciones de GEIs, los escenarios RCP4.5 y RCP6.0 representan escenarios moderados con concentraciones de GEIs que se estabilizan antes (RCP4.5) y después (RCP6.0) del año 2100 y por último, el RCP8.5 representa un escenario pesimista con altas concentraciones de GEIs.

Figura 13. Concentraciones de los principales Gases de Efecto Invernadero a través de los RCPs (IPCC)

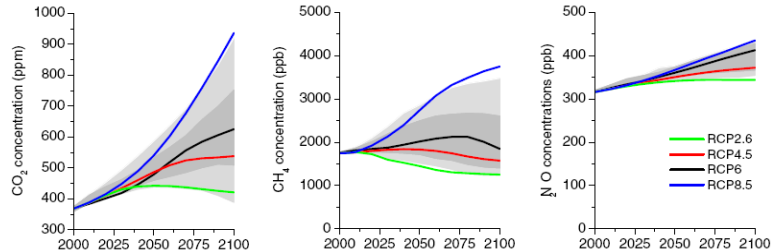
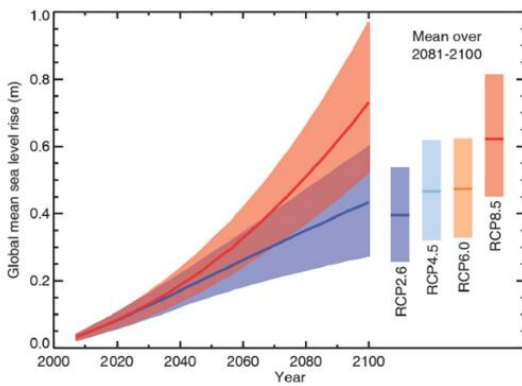


Figura 14. Proyecciones de aumento del Nivel Medio del Mar Global para los distintos RCPs (IPCC, 2014)



En este trabajo se han obtenido las proyecciones de las variables climáticas consideradas para los RCP4.5 y RCP8.5. Para estimar las proyecciones de **oleaje y marea meteorológica** se ha utilizado una metodología basada en tipos de tiempo, también aplicada al análisis de las tendencias históricas. Para ello, se ha hecho uso de las salidas de los modelos globales atmosféricos CMIP5, los cuales han sido analizados y seleccionados previamente comprobando su pericia. En el caso del **Nivel Medio del Mar**, se han empleado proyecciones regionalizadas a la costa asturiana de ambos escenarios. Para realizar las proyecciones de la **Temperatura Superficial del Mar (SST)** se han seleccionado 22 modelos climáticos globales cada uno de los cuales genera unas condiciones futuras del clima para los escenarios propuestos. Tras realizar su ensamblaje, se ha obtenido una proyección de la SST en la zona de estudio para el corto, medio y largo plazo, resultado de la media de los modelos climáticos considerados.

Hay que tener en cuenta que estas proyecciones están condicionadas por las hipótesis que se hacen de los forzamientos climáticos, afectados por las limitaciones de los modelos climáticos e inevitablemente sujetos a la variabilidad interna cuando consideramos un período específico de tiempo. Los patrones de cambio climático pueden diferir de una generación a otra de modelos climáticos debido a las mejoras continuas en los modelos. Ciertas insuficiencias son comunes a todos los modelos pero también se han visto, a lo largo de generaciones de modelos, muchos patrones de cambio comunes, lo cual da confianza en las proyecciones. Teniendo en cuenta todas estas advertencias, las proyecciones proporcionadas deben tomarse como un punto inicial de estudio de los cambios en las variables de estudio.

### PASO 1 | DEFINICIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Proyecciones basadas en escenarios de Gases de Efecto Invernadero (GEIs)

### PASO 2 | PROYECCIONES DEL CLIMA FUTURO

Bases de datos, estudio de tendencias y proyecciones:

- Condiciones atmosféricas
- Temperatura superficial del agua del mar
- Nivel del mar
- Oleaje
- Precipitación

### PASO 3 | ESTUDIO MULTI-SECTORIAL DE IMPACTOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

Metodología, escenarios propuestos, resultados y adaptación:

- Ecosistemas
- Vivienda
- Puertos
- Turismo
- Población
- Infraestructura
- Agricultura

### PASO 4 | ANÁLISIS INTEGRADO

Análisis integrado del riesgo sobre el sistema socioeconómico

Las **dinámicas meteo-oceanográficas** consideradas en este estudio son las variables atmosféricas viento y presión, el nivel del mar, el oleaje y la temperatura superficial del mar. Su análisis permite caracterizar las condiciones climáticas para distintas escalas y para distintos tipos de análisis: históricos, estado actual, sistemas de predicción a corto plazo o proyecciones climáticas a lo largo del siglo XXI.

## 1 | Condiciones Atmosféricas

Las variables atmosféricas viento y presión a nivel del mar son los principales forzadores de las dinámicas marinas e hidrometeorológicas. Durante los últimos años, el número de observaciones medidas de estas variables se ha incrementado notablemente en el Atlántico Norte y Europa. Sin embargo, las medidas provenientes de instrumentos in-situ, pese a ser las más fiables, carecen de la resolución espacial necesaria para acometer estudios a escala global y regional. Desde los años 80, las medidas satelitales proporcionan buena cobertura espacial pero con medidas temporales discontinuas. Ante estos problemas la solución más apropiada son los datos procedentes de modelos globales atmosféricos, que proporcionan un conjunto de variables atmosféricas espacial y temporalmente consistentes para un largo período de tiempo.

### Bases de datos empleadas y análisis histórico

El reanálisis atmosférico global CFSR (Saha et al. 2010) es un producto de tercera generación ejecutado con el modelo acoplado atmósfera-océano Climate Forecast System (CFS), que representa la interacción global entre los océanos, la tierra y la atmósfera. Proporciona las mejores estimaciones del estado de la atmósfera y el océano en el período 1979-2014 con una resolución de espacial de 0.3 grados (en torno a 33 km) y datos horarios.

Figura 15. Registro de altura de ola significativa durante el invierno de 2014 en Asturias

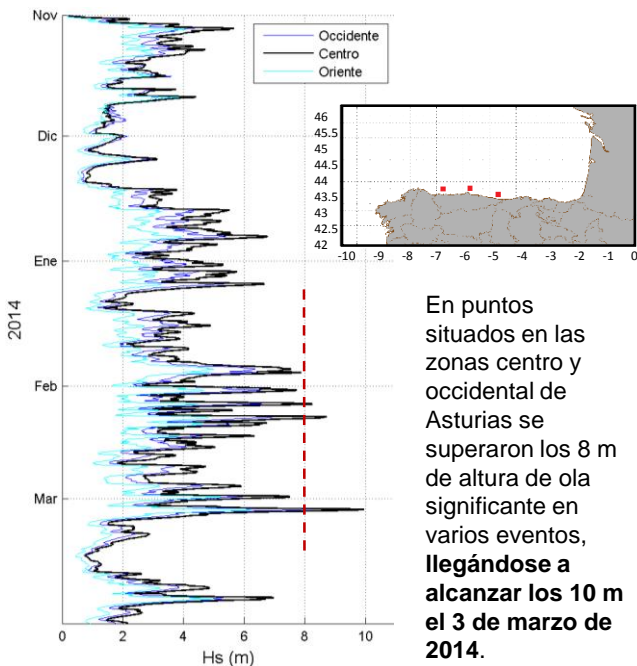


Figura 16. Imagen del temporal del 3 febrero de 2014 en Viavéz



Durante los días 3 y 4 de marzo el viento sobre la superficie del océano se intensificó en la región del Mar Cantábrico, aumentando la energía del oleaje y provocando los máximos de altura de ola durante el invierno. El temporal coincidió con mareas vivas causando graves daños en la cornisa cantábrica.

Figura 17. Presión al Nivel Medio del Mar (03/03/14, 9.00 h)

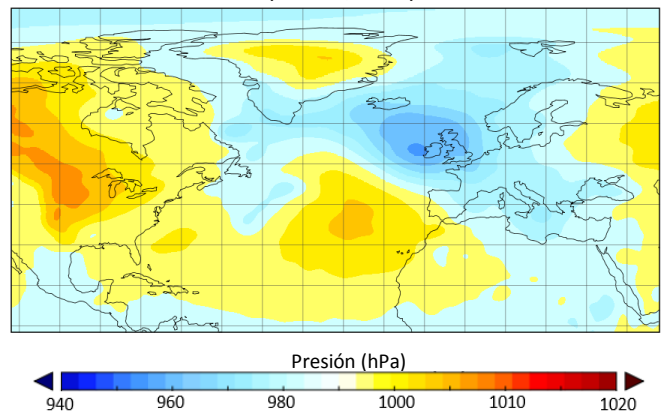
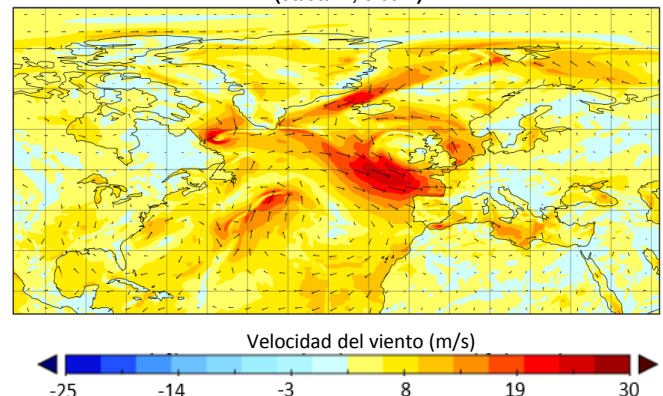


Figura 18. Velocidad del viento a 10 metros de altura (03/03/14, 9.00 h)



## 2 | Nivel del Mar

El nivel del mar es la variable utilizada para medir la altura que alcanza la superficie del mar como consecuencia de tres factores fundamentales: el nivel medio del mar, la marea astronómica y la marea meteorológica.

### NIVEL MEDIO DEL MAR

El calentamiento global observado en el último siglo ha dado lugar al aumento de la temperatura del agua del mar, con su consiguiente expansión térmica, y al deshielo de glaciares y otras reservas de agua continentales, lo que, en conjunto, está produciendo el aumento del Nivel Medio del Mar (NMM) global. Debido a la inercia del sistema climático, este efecto perdurará durante mucho tiempo, aun mitigando totalmente la emisión de gases de efecto invernadero.



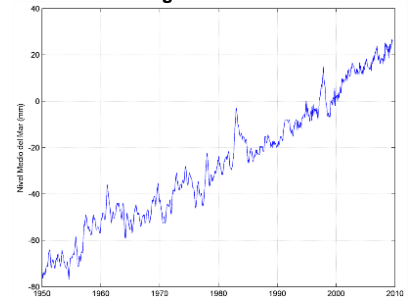
### Bases de datos empleadas y análisis histórico

En este estudio se ha utilizado la base de datos de Church y White (2006) que contiene información del nivel medio del mar global en el período 1870-2001 obtenida mediante la reconstrucción histórica de datos medios mensuales de la base de datos de mareógrafos del *Permanent Service for Mean Sea Level* (Woodworth y Player, 2003) y de las componentes principales de 12 años de datos de altimetría de los satélites TOPEX/Poseidon y Jason 1.

Por otro lado, se han tenido en cuenta los datos procedentes del mareógrafo de Gijón perteneciente a la Red de Mareógrafos (REDMAR) de Puertos del Estado, con datos históricos del nivel medio del mar desde 1992.

A lo largo de la franja cantábrica las tasas de aumento oscilan entre +1.84 mm/año en Santander y +2.64 mm/año en Vigo. **Durante los últimos 65 años el Nivel Medio del Mar en Asturias ha aumentado en torno a 15 cm.**

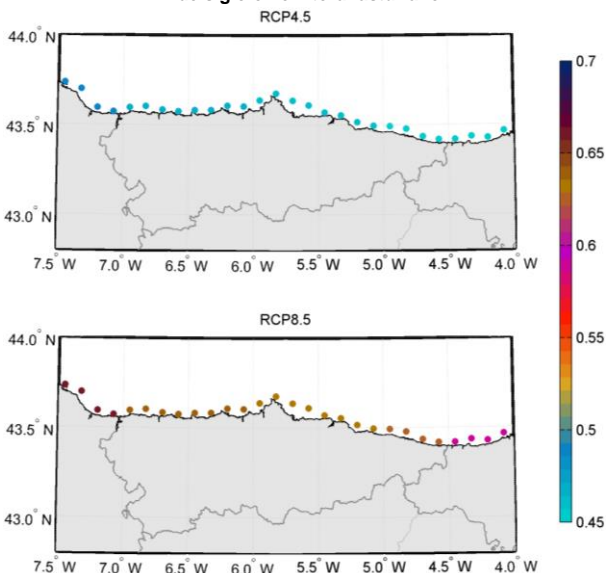
Figura 19. Serie temporal del NMM en la región de Navia



### Proyecciones de aumento del Nivel Medio del Mar

Son dos los factores principales que causan la subida del nivel del mar global: la expansión térmica del agua del mar y el deshielo. A medida que el agua se va calentando se produce un incremento de volumen que da lugar a un aumento en el nivel y, por otro lado, el aumento de la temperatura contribuye al deshielo de glaciares y otras reservas de agua continentales y de las principales placas de hielo de la Antártida y Groenlandia (Meehl et al. 2007). Hoy en día se sabe que la expansión térmica de los océanos es responsable de alrededor de un tercio de la subida del nivel del mar global producida en el siglo XX hasta 1990. Desde entonces, el deshielo procedente de glaciares, y capas de hielo continentales y polares ha sido mucho más importante.

Figura 20. Aumento del Nivel Medio del Mar (m) a fin de siglo en el litoral asturiano



El aumento del NMM no es igual a lo largo de todas las costas del mundo, y en los estudios regionales y locales de riesgo, como es este caso, los valores necesarios de aumento de nivel del mar son los del nivel del mar regional. Las proyecciones de nivel del mar global para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 han sido regionalizadas para las cuencas de todo el mundo por Slangen et al. (2014).

La figura 20 muestra el aumento del nivel medio del mar en las costas asturiana para los dos escenarios considerados, en el período 2081-2100. En ambos casos **se observa poca variabilidad espacial, con valores en torno a 0.47 m para el escenario RCP4.5 y a 0.62 para el escenario RCP8.5.**

	AUMENTO DEL NMM PARA RCP4.5 a 2100 (m)	AUMENTO DEL NMM PARA RCP8.5 a 2100 (m)
LUARCA (OCCIDENTE)	0.49	0.64
LUANCO (CENTRO)	0.48	0.63
LLANES (ORIENTE)	0.45	0.62



### MAREA ASTRONÓMICA

La Marea Astronómica (MA) es una oscilación regular del nivel del mar. Es un proceso que se puede reproducir a partir de las componentes armónicas extraídas de una señal medida.

Se trata de una variable determinista y, pese a que no es susceptible al cambio climático, contribuye en gran medida a la inundación costera.

### Bases de datos empleadas y análisis histórico

En este análisis se han empleado los datos instrumentales REDMAR del mareógrafo de Gijón.

Figura 22. Mareógrafo de Gijón (Puertos del Estado)

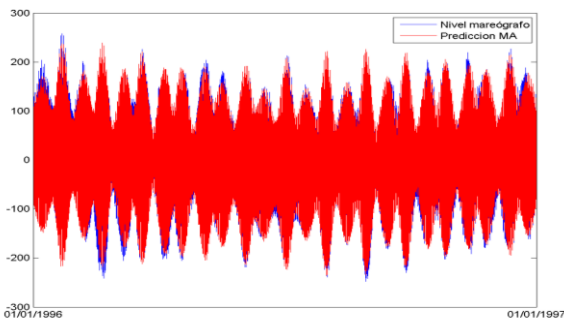


Figura 23. Marea llanante en Peñarronda

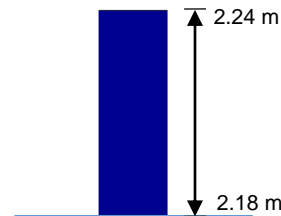


Figura 21. Bajamar y Pleamar en el Sardinero (Santander, Cantabria)



Además, se ha utilizado la base de datos GOT (Global Ocean Tides) de IHCantabria reconstruida a partir de las componentes armónicas del modelo TPXO (modelo de mareas global de resolución espacial 0.25°) y se ha obtenido la variabilidad espacial de la MA a lo largo de la costa asturiana.

Figura 24. Rango de Marea Astronómica GOT (m) en el litoral asturiano



La carrera de marea corresponde a la diferencia de altura entre la bajamar y la pleamar y en el Cantábrico oscila entre 2 y 5 m.

	MAREA ASTRONÓMICA MÁXIMA (m)
LUARCA (OCCIDENTE)	2.19
LUANCO (CENTRO)	2.20
LLANES (ORIENTE)	2.23

### MAREA METEOROLÓGICA

La Marea Meteorológica (MM) es especialmente relevante a la hora de estudiar los niveles extremos del mar. El paso de una tormenta lleva asociada la sobre elevación del nivel del mar, que cuando coincide con mareas astronómicas altas puede dar lugar a niveles extremos que generen inundación y erosión costera.

### Bases de datos empleadas y análisis histórico

En este estudio se han empleado tanto datos instrumentales como numéricos. Los datos instrumentales proceden del mareógrafo de Gijón, perteneciente a la Red de Puertos del Estado, mientras que los datos numéricos provienen de la base de datos GOS 1.1 (Cid et al. 2014).

Figura 25. Evento de inundación ocurrido en invierno de 2014 en el Sardinero (Santander, Cantabria)



La base de datos GOS 1.1 (*Global Ocean Surge*) es un reanálisis de alta resolución de marea meteorológica desarrollado por IHCantabria para el sur de Europa (incluyendo el Mar Mediterráneo y la costa Atlántica) mediante el modelo *Regional Ocean Model System* (ROMS). La resolución espacial es de  $1/8^\circ$  (en torno a 14 km) y los datos proporcionados son series horarias desde 1948 hasta la actualidad.

Figura 26. Percentil del 99% de la Marea Meteorológica GOS 1.1

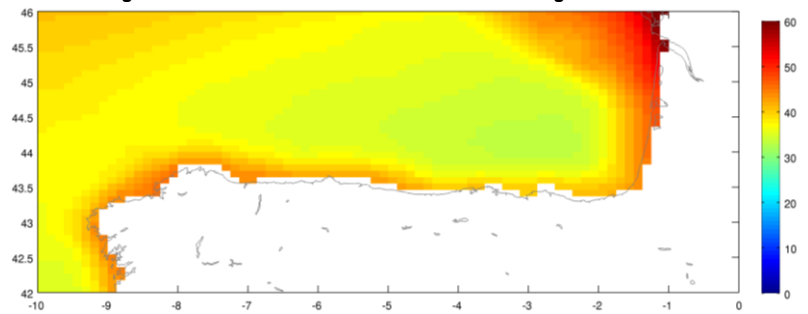
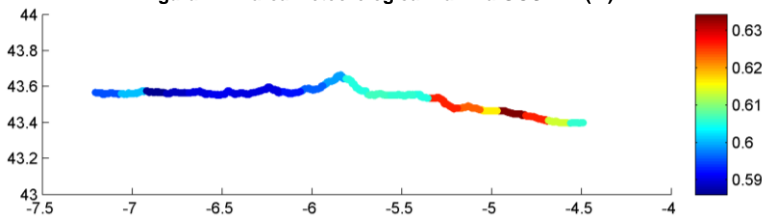


Figura 27. Marea Meteorológica máxima GOS 1.1 (m)



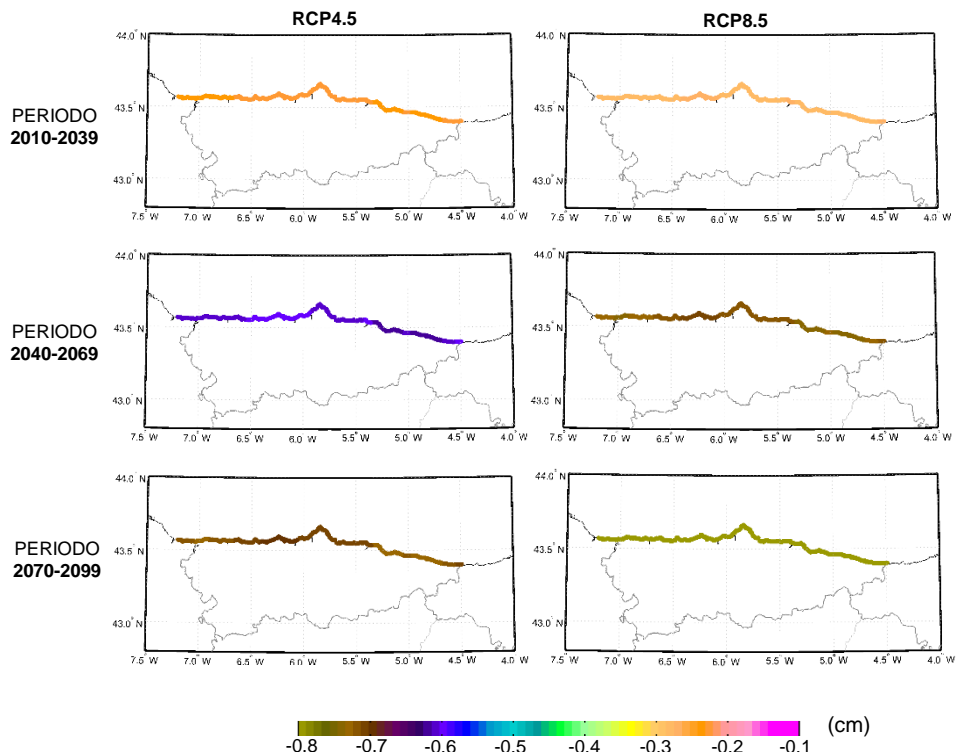
	MAREA METEOROLÓGICA MÁXIMA (m)
LUARCA (OCCIDENTE)	0.59
LUANCO (CENTRO)	0.60
LLANES (ORIENTE)	0.62

Se observa poca variabilidad alcanzándose los 63 cm en el tramo de costa de Villaviciosa a Llanes

## Proyecciones de Marea Meteorológica

Con el fin de obtener los cambios proyectados en el percentil del 95 % de la MM ( $MM_{95\%}$ ), es decir, de un valor representativo de la parte alta de la distribución, se ha aplicado la metodología del *downscaling* estadístico.

Figura 28. Cambios en la  $MM_{95\%}$  (cm) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al periodo de control 1979-2010



La figura 28 muestra los cambios para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

En el caso del escenario **RCP4.5** se puede ver un **patrón general de reducción de la  $MM_{95\%}$** , algo más acentuado en la costa occidental asturiana, y que va aumentando a medida que transcurre el siglo XXI. Sin embargo, la **magnitud del cambio es muy pequeña**, siendo a finales de siglo de apenas 0.7 cm. En el escenario **RCP8.5** se puede ver que el **patrón espacial y la tendencia a lo largo del siglo XXI es similar al caso del RCP4.5**, con una ligera intensificación en los valores, pero **en ningún caso superando los 0.8 cm de disminución** a finales de siglo.

### 3 | Oleaje

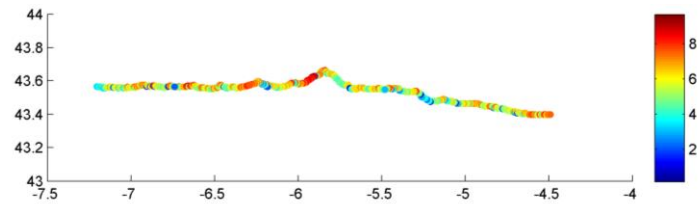
El oleaje es la ondulación de alta frecuencia que genera el viento al soplar sobre la superficie del mar. Una vez generado, se propaga hacia la costa donde disipa la energía que transporta mediante distintos procesos que acaban en la rotura, contribuyendo así a la inundación costera.



### Bases de datos empleadas y análisis histórico

Para la elaboración de este estudio se ha utilizado la base de datos DOW (*Downscaled Ocean Waves*, Camus et al. 2013) que es una base de datos numéricos de oleaje en aguas someras a lo largo de toda la costa española. Proporciona información horaria (altura de ola significativa, período y dirección media) a lo largo de todo el litoral, desde 1948 hasta la actualidad, con una resolución espacial de aproximadamente  $0.02^\circ$  (en torno a 200 m).

Figura 29. Altura de ola significativa máxima DOW (m)



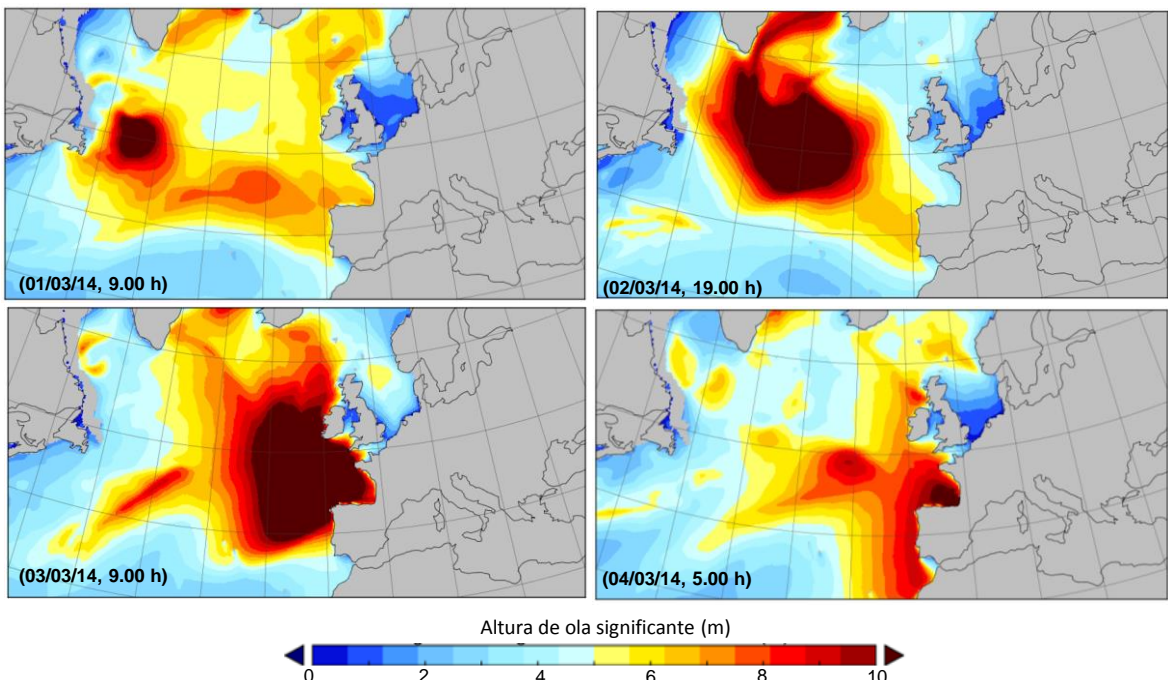
Esta base de datos está generada mediante un *downscaling* híbrido en el que se combinan modelos numéricos (*downscaling* dinámico) con técnicas matemáticas y estadísticas (*downscaling* estadístico). En la propagación numérica se tiene en cuenta conjuntamente la variación espacial del oleaje en los contornos de la malla y los campos de vientos. Las condiciones de contorno de oleaje provienen de los espectros de energía de la base de datos de reanálisis GOW (*Global Ocean Waves*, Reguero et al. 2012), cuya resolución espacial en el Cantábrico es de  $0.1^\circ$ , y los vientos proceden de la base de datos del reanálisis atmosférico global NCEP/NCAR (Kalnay et al. 1996), con resolución espacial de  $1.9^\circ$ .

Los temporales que afectan a la costa cantábrica provienen del noroeste, concentrando las mayores alturas de ola al oeste del Cabo Peñas.

	ALTURA DE OLA SIGNIFICANTE MÁXIMA (m)
LUARCA (OCCIDENTE)	7.02
LUANCO (CENTRO)	5.64
LLANES (ORIENTE)	5.64

La figura 30 muestra la evolución espacio-temporal de la altura de ola significativa en el Atlántico Norte del 1 al 4 de marzo de 2014. Se puede observar cómo, a causa del viento, el oleaje viaja hacia la costa a la vez que intensifica su energía, **alcanzando los 10 metros de altura de ola significativa en algunos puntos de la cornisa cantábrica** y causando graves daños.

Figura 30. Evolución de la altura de ola significativa del 1 al 4 de marzo de 2014 (DOW)



### Proyecciones de oleaje

Aplicando el método de *downscaling* estadístico se han obtenido los cambios en dos parámetros de oleaje del régimen medio: la altura de ola significativa media ( $H_{smedia}$ ) y la altura de ola media correspondiente al percentil del 95 % ( $H_{95\%}$ ), estadístico perteneciente a la parte alta de la distribución. Se han obtenido los cambios para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 y los periodos de tiempo 2010-2039, 2040-2069 y 2070-2099.

En el RCP4.5 se puede ver cómo se produce una reducción en la  $H_{smedia}$  de forma general a lo largo de toda la costa, más acusada en las zonas orientadas al noroeste. Sin embargo, la magnitud de los cambios es muy pequeña en todos los casos, con valores máximos de reducción del oleaje de 5 cm en las zonas de Avilés o Cudillero. En todos los periodos de tiempo el patrón es el mismo, y se puede observar que el cambio en la  $H_{smedia}$  en Gijón es ligeramente positivo en los periodos 2010-2039 y 2040-2069, y prácticamente nulo en el último tercio del siglo.

En el escenario RCP8.5 el patrón de cambios obtenido es muy similar al del escenario RCP4.5, con valores negativos prácticamente en toda la costa salvo en algunos puntos orientados al noreste, entre ellos Gijón, donde el cambio es ligeramente positivo.

Figura 31. Cambios en la  $H_s$ , media (cm) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al periodo de control 1979-2010

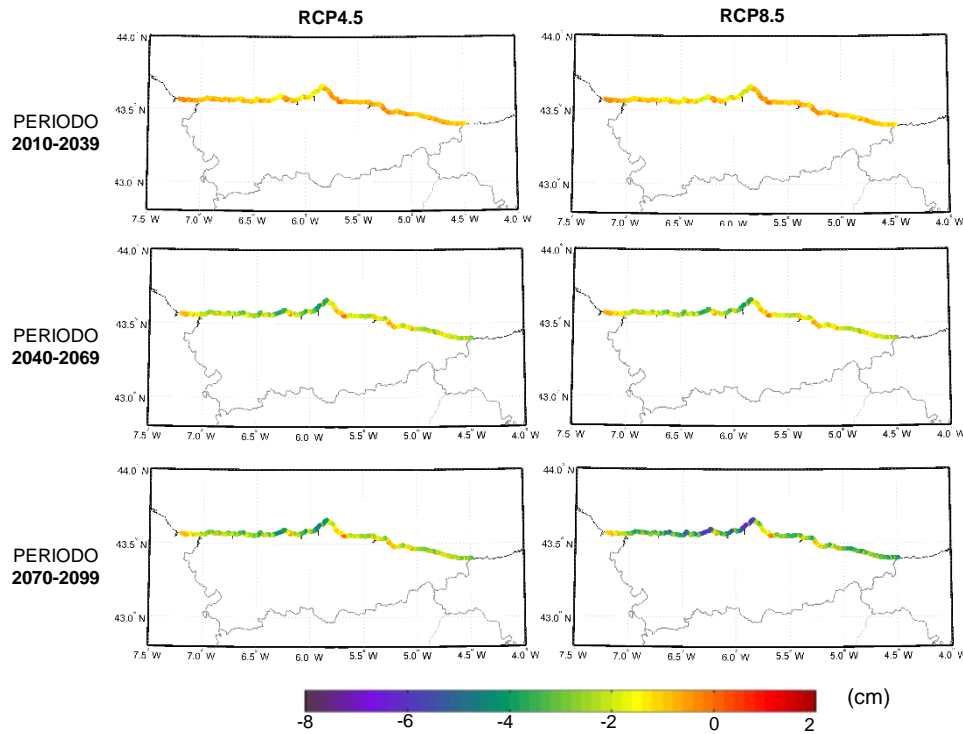
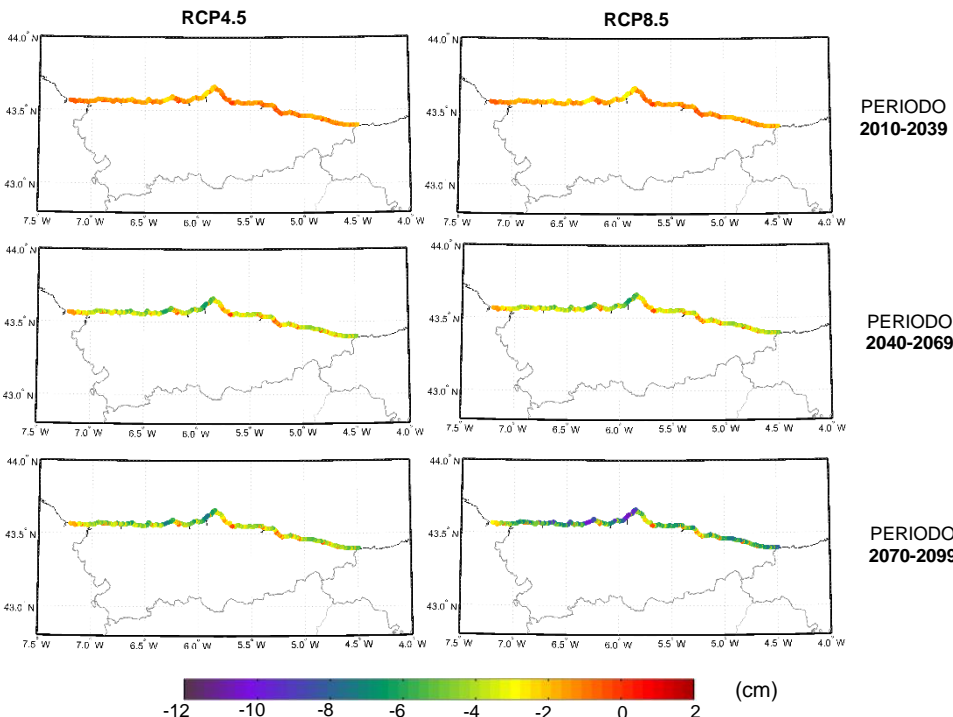


Figura 32. Cambios en la  $H_s$ , 95% (cm) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al periodo de control 1979-2010



Los cambios en la  $H_{95\%}$  muestran un patrón parecido al obtenido para  $H_{smedia}$ , pero son de mayor magnitud.

Para el escenario RCP4.5 la  $H_{95\%}$  disminuye hasta 9 cm en algunos puntos de la costa occidental, como Avilés o San Juan de la Arena. Nuevamente, en la zona de Gijón y en otros puntos de la costa oriental, los cambios son ligeramente positivos.

En el escenario RCP8.5 se puede observar que el patrón es prácticamente el mismo que en el RCP4.5, con valores de cambio ligeramente superiores a finales de siglo, alcanzando los 12 cm de reducción de altura de ola significativa.

### 4 | Temperatura Superficial del Mar

La Temperatura Superficial del Mar (SST) es una variable especialmente relevante en los procesos bioquímicos de los organismos que determina respuestas fisiológicas diferentes, entre las que se incluyen los ratios de crecimiento o los esfuerzos reproductivos (García et al., 2013; Doney et al., 2012). De hecho, se considera que es uno de los principales factores que controlan el crecimiento de los productores primarios como las fanerógamas marinas (Lee et al., 2007) o las macroalgas (Lüning, 1990) y de algunos consumidores (Salman et al., 2001; Panigada et al., 2008). Sin embargo, los modelos numéricos todavía no presentan la suficiente pericia a la hora de obtener las variaciones en la SST. Desde los años 80, las medidas de satélite son una fuente muy valiosa de información acerca de esta variable.



### Bases de datos empleadas y análisis histórico

Uno de los subproductos de datos históricos de SST basados en información satelital es el reanálisis OSTIA, procesado por el UK Met Office bajo el marco del proyecto MyOcean2.

Este sistema operacional de alta resolución de análisis de temperatura del agua y hielo utiliza datos procedentes de la combinación de satélites (infrarrojo, microondas y AVHRR Pathfinder) así como datos de observaciones in situ (barcos en ruta y boyas y datos in situ de ICOADS). El reanálisis OSTIA proporciona una estimación de la variabilidad diaria de la SST a nivel global con una resolución horizontal de 0.05° (en torno a 6 km) en el período 1985-2013.

Figura 33. Serie temporal de temperatura superficial del agua del mar (°C) en Luarca, Avilés, Gijón y Llanes

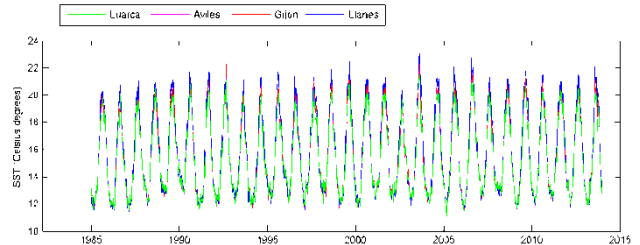


Figura 34. Temperatura Superficial del Mar media (°C) en el periodo 1985-2013

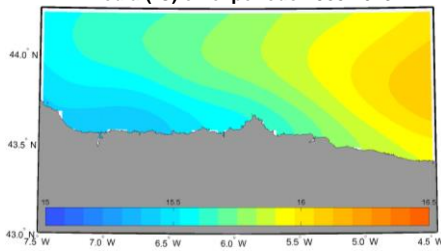
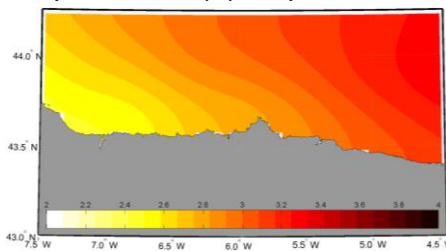


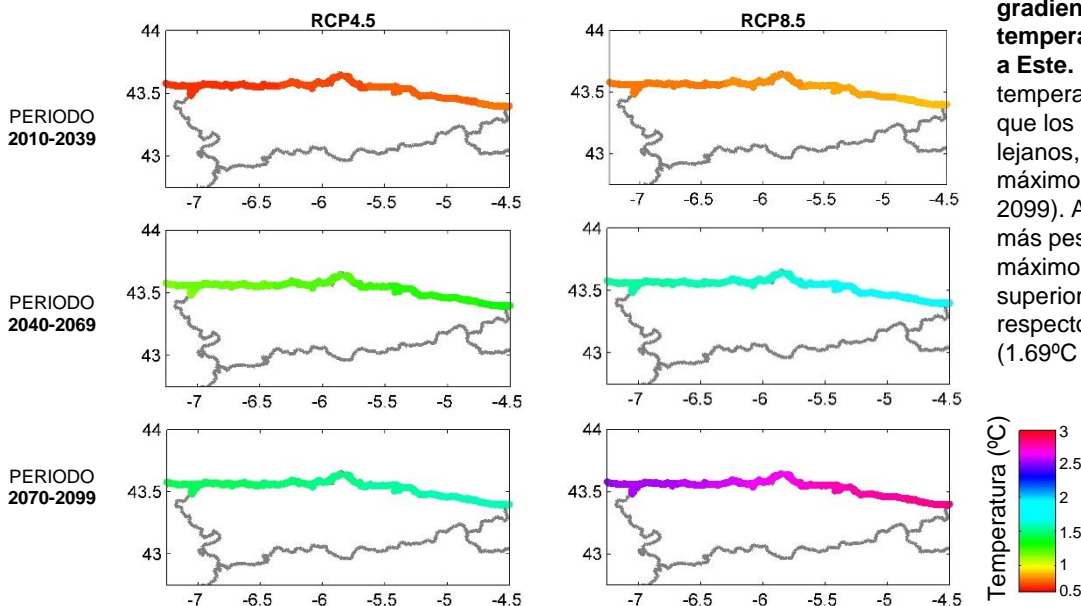
Figura 35. Desviación típica de la Temperatura Superficial del Mar (°C) en el periodo 1985-2013



En los últimos 30 años se ha producido un aumento de temperatura de casi 0.5°C.

### Proyecciones de Temperatura Superficial del Mar

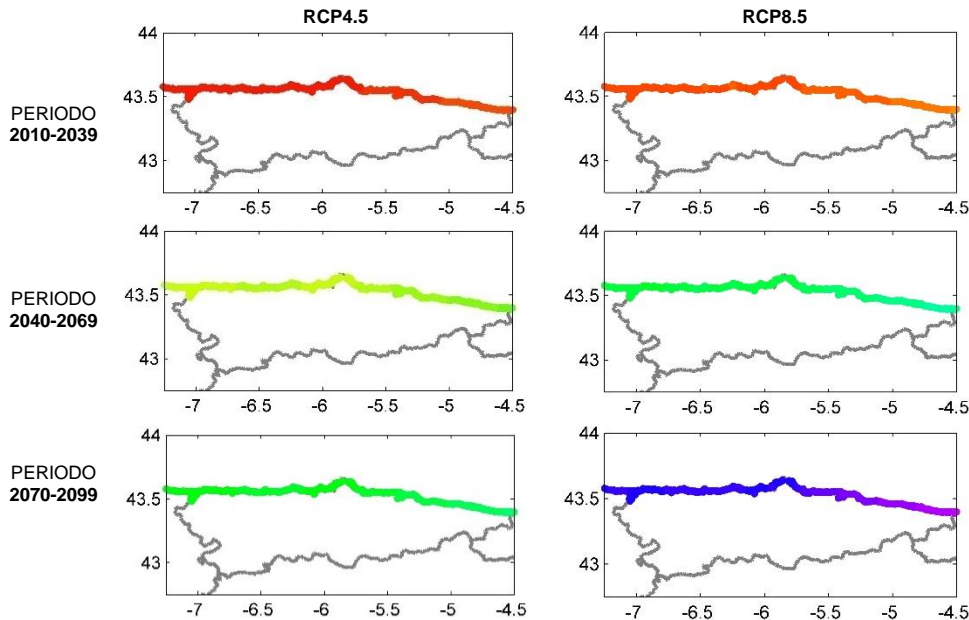
Figura 36. Cambios en la Temperatura Superficial del Mar media para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al periodo de control 1979-2010



Se observa con claridad un gradiente en el incremento de temperaturas medias de Oeste a Este. Este incremento de temperatura es mayor a medida que los periodos son más lejanos, alcanzándose los máximos en el largo plazo (2070-2099). Así, para el escenario más pesimista, los aumentos son superiores a un grado con respecto al escenario RCP 4.5 (1.69°C frente a 2.96°C).

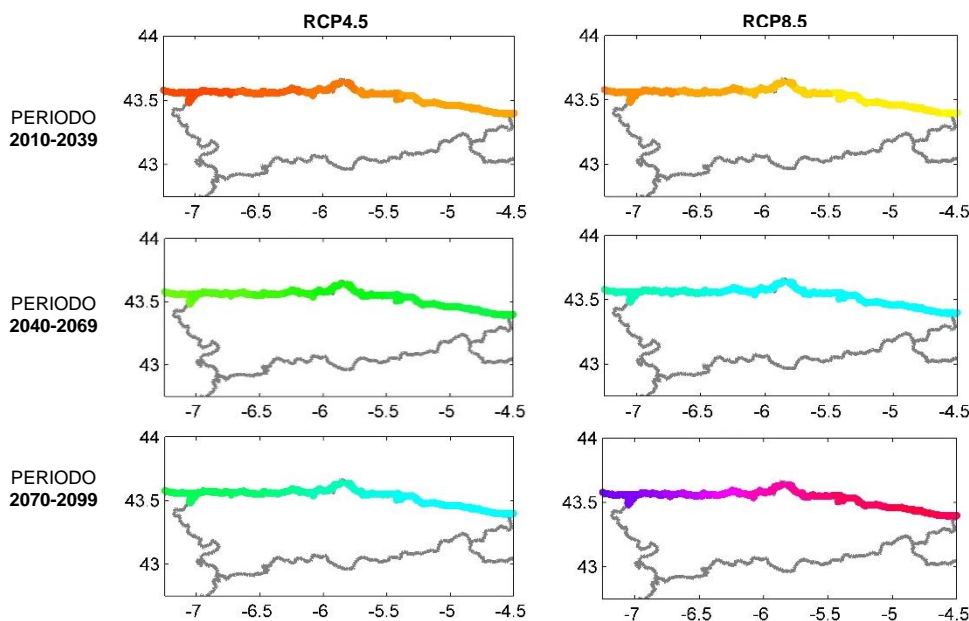
En cuanto a la distribución de las temperaturas mínimas y máximas en la costa del Principado de Asturias, el patrón predominante responde a mayores aumentos en la costa oeste que disminuyen progresivamente hacia el Este.

**Figura 37. Cambios en la Temperatura Superficial del Mar mínima para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al periodo de control 1979-2010**



Los cambios sobre la temperatura mínima obtenidos son superiores a 0.4°C, llegando los máximos a 1.4°C para el RCP 4.5 en el largo plazo (2070-2099) y a 2.4°C para el RCP 8.5 en este mismo periodo.

**Figura 38. Cambios en la Temperatura Superficial del Mar máxima para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al periodo de control 1979-2010**



Cabe destacar que para el periodo 2070-2099 se alcanzan para el RCP 8.5 incrementos de hasta 3.6°C. Los valores más altos se extienden geográficamente más al oeste de Cabo Peñas, es decir, los cambios más relevantes afectan a una parte importante de la franja costera y con ello al biotopo que alberga.

En relación con estos resultados cabe destacar que los cambios estimados, tanto para las temperaturas máximas como mínimas, son de suficiente magnitud como para afectar a la distribución geográfica de determinadas especies, siendo especialmente crítico para aquellas que se encuentren en su límite de distribución (Duarte et al., 2013).



Las **dinámicas hidro-meteorológicas** son aquellas que intervienen en el ciclo hidrológico. En este estudio se han realizado diversos test de sensibilidad en los que se han considerado las variables precipitación y caudal fluvial. En caso del caudal, dado que no se ha podido disponer de la información suficiente, se han implementado valores medios.

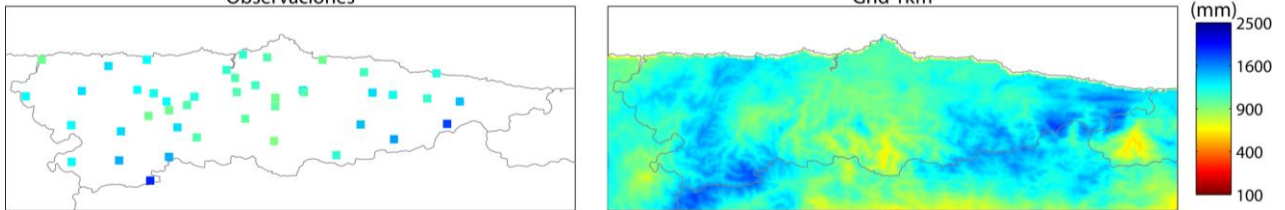
## 1 | Precipitación

Además de ser susceptible a los efectos del cambio climático, la precipitación es una dinámica importante que afecta al Principado de Asturias. En este trabajo se ha estudiado fundamentalmente su contribución al impacto de inundación.

### Bases de datos empleadas y análisis histórico

La base de datos empleada pertenece al Principado de Asturias y fue desarrollada dentro del marco del proyecto *Caracterización agroclimática de Asturias: elaboración de la cartografía agroclimática del Principado de Asturias* elaborado por Predictia Intelligent Data Solutions S.L. con el asesoramiento del Grupo de Meteorología de Santander, CSIC - Universidad de Cantabria. Los datos disponibles son precipitación acumulada diaria en el período 1971-2000 en una rejilla que cubre Asturias con una resolución de 1 km. Los datos se obtuvieron a partir de modelos de interpolación y regresión alimentados con datos de observaciones de AEMET y co-variables orográficas. En la figura 39 se puede ver la climatología anual en el período 1971-2000 obtenida para la precipitación a partir de los datos de observaciones (panel izquierdo) y los datos del modelo de resolución 1 km (derecha).

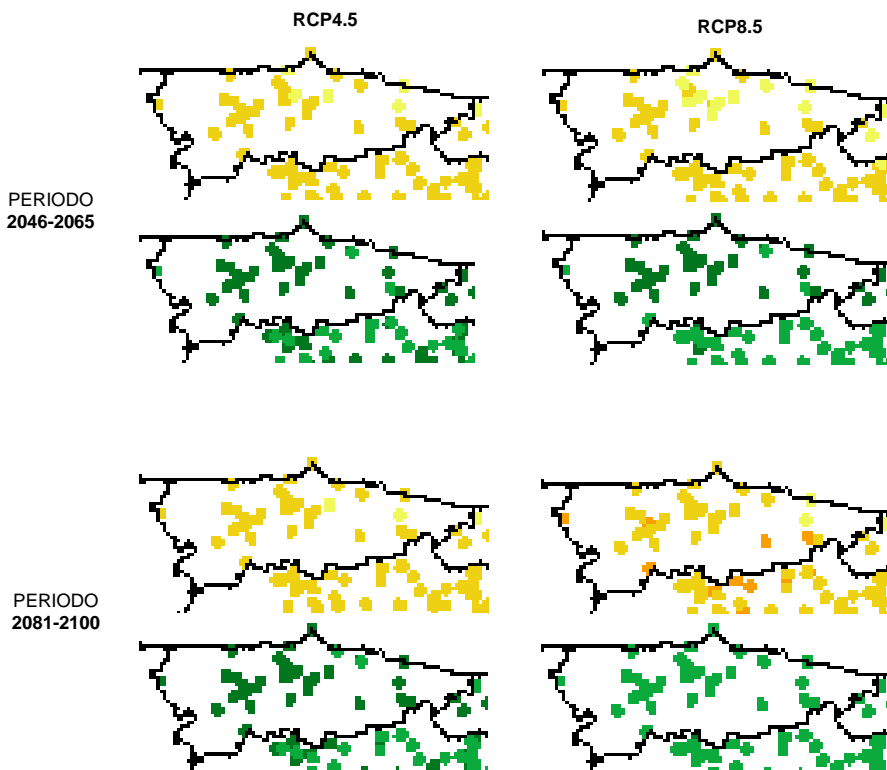
Figura 39. Precipitación acumulada anual (mm) en el período 1971-2000  
Observaciones                      Grid 1km



### Proyecciones de precipitación

Uno de los proyectos actuales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) consiste en la generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España a partir de la información de los modelos globales utilizados por el IPCC. Se han empleado técnicas de regionalización estadística basadas en los métodos de análogos y de regresión.

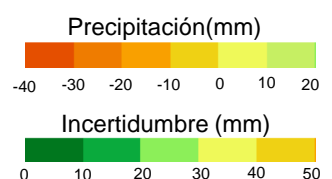
Figura 40. Cambios en la precipitación anual acumulada media (paneles superiores) e incertidumbre asociada (paneles inferiores) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al período de control 1961-2000



La figura 40 muestra las proyecciones de cambio de la precipitación anual acumulada media y su incertidumbre (2 veces la desviación estándar).

**Los cambios observados en el escenario RCP4.5 oscilan en el entorno del 0, siendo en su mayoría ligeramente negativos.** A largo plazo la reducción de precipitación es algo más acusada en algunos puntos del interior.

La tendencia que muestran los resultados para el escenario **RCP8.5** es similar a la observada para el RCP4.5 pero con cambios de mayor magnitud. A final de siglo se aprecian **disminuciones de hasta 20 mm.**



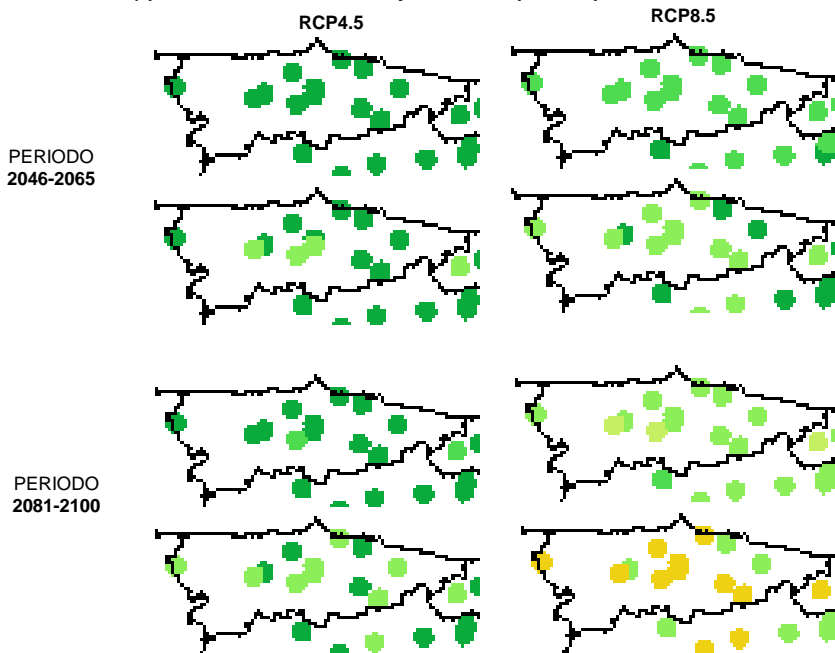
### 2 | Temperatura atmosférica

La temperatura atmosférica es una de las variables geofísicas más estudiadas y un claro indicador del calentamiento global. Según los registros de los que se dispone, en los últimos 130 años el planeta se ha calentado 0.6 grados y sus consecuencias ya han empezado a manifestarse sobre ecosistemas y sobre la producción de alimentos y el desarrollo económico.

#### Proyecciones de temperatura atmosférica

Los escenarios de temperatura atmosférica regionalizados que se muestran a continuación han sido desarrollados por la AEMET mediante técnicas estadísticas de análogos y regresión en el marco del proyecto de generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Se ha empleado la información de los modelos globales utilizados por el IPCC.

Figura 41. Cambios en la temperatura mínima anual media (paneles superiores) e incertidumbre (paneles inferiores) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al periodo de control 1961-2000

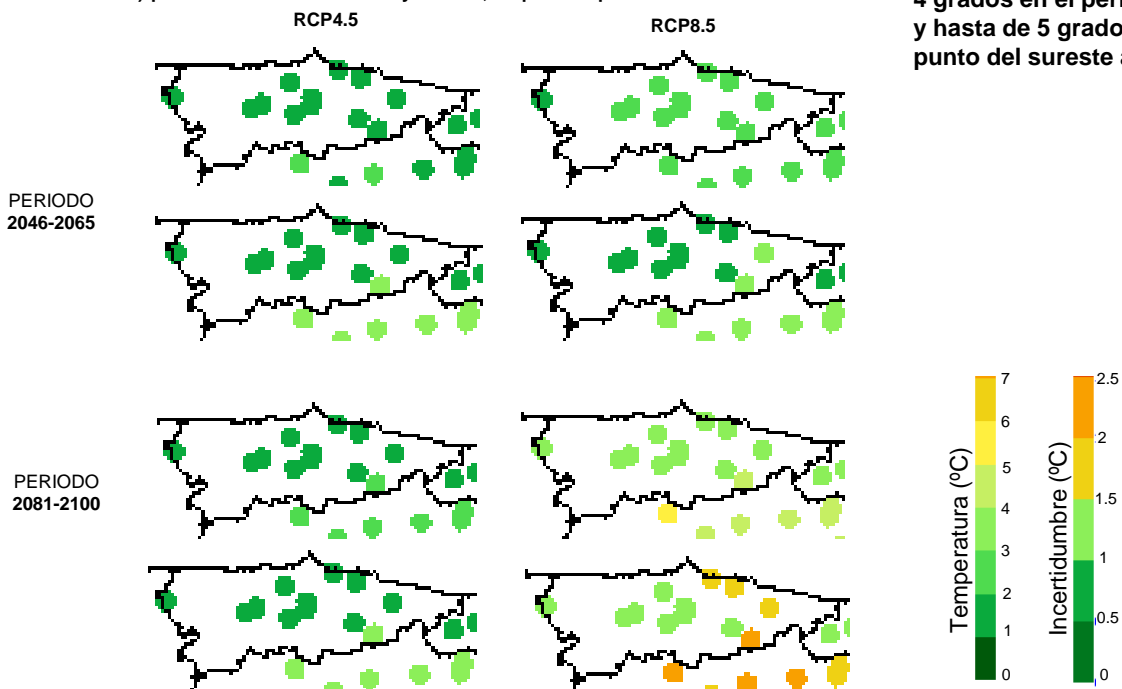


Las figuras 41 y 42 muestran las proyecciones de cambio de las temperaturas mínima y máxima anuales medias y su incertidumbre (2 veces la desviación estándar) a mitad y a final de siglo.

Los resultados obtenidos para el escenario RCP4.5 muestran, a mitad de siglo, un aumento de entre 1 y 2 grados en las temperaturas mínima y máxima. A final de siglo se observa un aumento en torno a 3 grados de la temperatura mínima anual media.

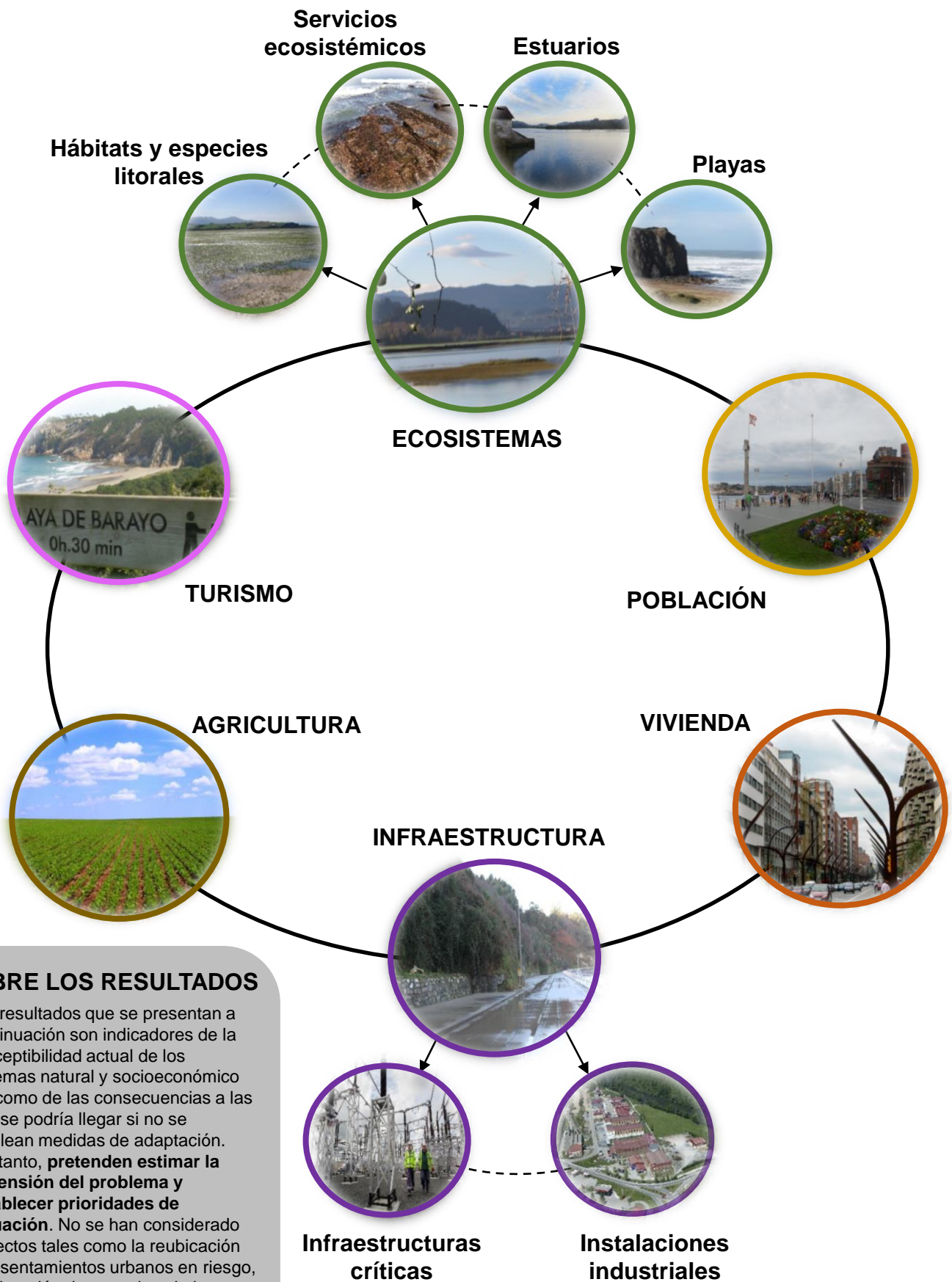
Para el RCP8.5 la tendencia es similar a la observada en los resultados del RCP4.5. La magnitud de aumento de temperatura, sin embargo, es algo mayor, y también lo es la incertidumbre, especialmente notable a finales de siglo. Se aprecian aumentos de entre 3 y 4 grados en el periodo 2046-2065 y hasta de 5 grados en algún punto del sureste asturiano.

Figura 42. Cambios en la temperatura máxima anual media (paneles superiores) e incertidumbre (paneles inferiores) para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, respecto al periodo de control 1961-2000





# SECTORES



## SOBRE LOS RESULTADOS

Los resultados que se presentan a continuación son indicadores de la susceptibilidad actual de los sistemas natural y socioeconómico así como de las consecuencias a las que se podría llegar si no se emplean medidas de adaptación. Por tanto, **pretenden estimar la dimensión del problema y establecer prioridades de actuación**. No se han considerado aspectos tales como la reubicación de asentamientos urbanos en riesgo, la migración de especies ni el aprendizaje y maduración de la sociedad, entre otros que figuran a lo largo del documento.

# Ecosistemas



En las últimas décadas, se ha incrementado el interés por aspectos relacionados con el cambio climático y la adaptación, no sólo desde una perspectiva social y económica, sino también ecológica. Las especies responden a un entorno cambiante y su interacción con el mundo físico y los organismos a su alrededor cambian también. Esto desencadena una cascada de impactos a través de todo el sistema. Estos impactos pueden incluir la migración de especies a nuevas áreas e incluso su extinción. El cambio climático está ocurriendo a escala global, pero los impactos ecológicos suelen ser locales y varían de un lugar a otro. Dentro de este marco, se han analizado los impactos del cambio climático sobre hábitats y especies naturales de la costa asturiana, en concreto aquellos derivados del aumento de la temperatura y del potencial incremento del nivel de mar, con los consecuentes procesos de inundación. Sin embargo, el cambio climático y, fundamentalmente el

aumento del nivel medio del mar, afecta no sólo a especies litorales sino a ecosistemas costeros entre los que se encuentran los estuarios y las playas. Cambios en el nivel de las aguas conllevan la alteración del prisma de marea en estuarios, modificando así su hidrodinámica y, en consecuencia, sus características morfológicas. Dos metodologías distintas han sido aplicadas en este trabajo para evaluar la magnitud de estas modificaciones. Por otro lado, los problemas de erosión costera que afectan a las playas del litoral español son crecientes. El proceso de erosión, potenciado por la artificialización desmesurada de la costa en las últimas décadas, depende fundamentalmente de los cambios en el nivel medio del mar, cambios en la dirección del oleaje y cambios en el transporte de sedimentos. Mediante la aplicación de formulaciones semiempíricas se ha evaluado el retroceso de la línea de costa en las playas del Principado de Asturias por efecto tanto del oleaje como del aumento del nivel del mar.

## SUBSECTORES

**Hábitats y especies litorales**      **Servicios ecosistémicos**

**Estuarios**

**Playas**



## HÁBITATS Y ESPECIES LITORALES



### ¿Cómo afecta el cambio climático a los ecosistemas?

El cambio climático y, concretamente, los cambios en las dinámicas marinas suponen un riesgo para la conservación y gestión de los hábitats naturales costeros. De entre los múltiples impactos que generan sobre el medio natural, destacan esencialmente los cambios en los patrones de distribución de las especies como consecuencia de las variaciones en la profundidad, en el hidropériodo, en la velocidad de la corriente y en la energía del oleaje, siendo el más significativo el impacto de inundación sobre hábitats continentales emergidos, ya sea de forma permanente o por exposición a un hidropériodo característico de zonas intermareales.

La temperatura superficial del mar desempeña un papel clave para el desarrollo y supervivencia de las especies, siendo uno de los factores más determinantes en sus patrones de distribución y funciones ecológicas. Por ello, los cambios en las temperaturas medias y extremas de la superficie del agua pueden alterar de forma significativa los ecosistemas marinos (Hoegh-Guldberg et al., 2010). Según las proyecciones de cambio climático, el calentamiento del océano en las capas superiores será aproximadamente de entre 0.6 °C y 2 °C al final del siglo XXI (IPCC, 2013). Estas modificaciones se asocian a considerables diferencias en

la fisiología y en los patrones de distribución espaciales y temporales de distintas especies marinas, así como en la estructura y dinámica de los hábitats (Wernberg et al., 2011). El aumento progresivo de la temperatura también podrá afectar al reclutamiento, crecimiento y productividad de los organismos estructurantes de los ecosistemas marinos, como las macroalgas o las fanerógamas marinas.

### ¿Qué cubre este análisis?

La temperatura y el nivel medio del mar se definen como dos de los principales forzamientos climáticos que potencialmente afectan a los hábitats y especies costeros, atendiendo a las proyecciones realizadas para diferentes escenarios. Por ello, este trabajo se centra en el análisis de los impactos potenciales asociados a dichos forzamientos, sin obviar el papel que puedan jugar otras variables físicas, químicas y biológicas en la distribución de determinados organismos y en el funcionamiento global del ecosistema.

Se ha evaluado la superficie de ecosistema inundada por efecto del aumento del nivel medio del mar en la franja costera y se han analizado los cambios en la distribución de especies y regiones biogeográficas derivados de los cambios en la temperatura superficial del mar en toda la costa del Principado de Asturias.

## Resultados Clave

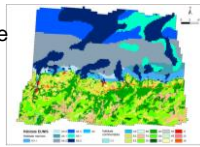
- 1 La magnitud de los impactos sobre los hábitats y especies costeras muestra una relación directamente proporcional con el aumento del nivel medio del mar y la temperatura superficial del agua.
- 2 Las masas de agua de transición son los espacios naturales más impactados. En el ZEC Peñarronda-Barayo se identifican hábitats en zonas estuarinas con casi el 50% de su superficie afectada. En el ZEC Cabo Busto-Luanco se observan hábitats cuya área afectada alcanza el 20% del total.
- 3 El aumento de 1 m del NMM da lugar a un incremento de la superficie inundada de 87 Ha, afectando a un total de 30 hectáreas de hábitats EUNIS, la mayor parte correspondiente a bosques de coníferas.
- 4 De entre las regiones biogeográficas definidas, la correspondiente a la zona central del Principado de Asturias es la que muestra mayor sensibilidad al aumento de la temperatura superficial máxima del agua.
- 5 Los cambios en la distribución de *Gelidium corneum* en la costa de Asturias debido al cambio climático muestran un aumento de probabilidad de ocurrencia en los sucesivos periodos de tiempo y escenarios más pesimistas de hasta el 50% en la zona oeste de Cabo Peñas.

## Caracterización de la exposición y vulnerabilidad

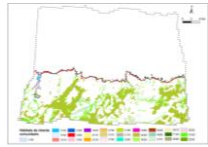
Los ecosistemas costeros se localizan en zonas de poca elevación y, por tanto, se encuentran directamente expuestos a cambios en las dinámicas marinas como consecuencia del cambio climático. En dichos ecosistemas se integra una gran variedad de hábitats y especies que forman un mosaico de gran complejidad tanto física como biológica.

Para evaluar los efectos del aumento del nivel medio del mar, se han identificado los hábitats existentes en la zona de estudio. Para ello se han empleado dos bases de datos distintas:

**Clasificación europea EUNIS** (European Nature Information System). Es jerárquica y abarca diferentes tipos de hábitats: naturales, artificiales, terrestres y marinos.



**Clasificación de los hábitats de interés comunitario** *sensu* Anexo I de la Directiva Hábitat 92/43/CEE. Descripción de los mismos desde un punto de vista físico, químico y/o biológico.



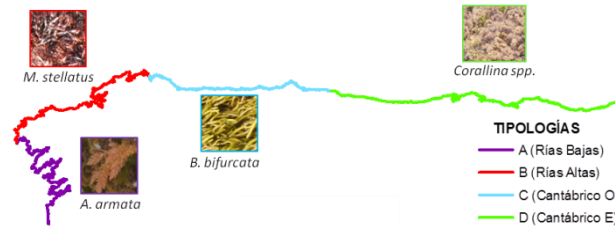
Se ha analizado la vulnerabilidad de los hábitats de acuerdo con la existencia de figuras de protección litorales. La declaración de dichas figuras de protección se debe a características del medio natural singulares en un contexto regional, nacional o comunitario.

Figura de protección	Nombre
ENP <sup>(1)</sup>	ZEC Penarronda-Barayo Cabo Busto-Luanco
	RNP Barayo
	PP Costa Occidental
	MN Playa de Frexulfe
DMA <sup>(2)</sup>	CW Costa Oeste Asturias Navia costa
	TW Estuario de Navia Estuario del Esva
	RW Embalse del Arbón
	Zona de Producción de Moluscos Clase A Zona litoral

<sup>(1)</sup> ENP: Espacio Natural Protegido; ZEC: Zonas Especiales de Conservación; RNP: Reserva Natural Parcial; PP: Paisaje Protegido; MN: Monumento Natural.  
<sup>(2)</sup> DMA: Directiva Marco del Agua (2000/60/CE); CW: Masas de agua costeras; TW: Masas de agua de transición; RW: Masas de agua fluviales.

Con el objetivo de evaluar el efecto del aumento de la temperatura máxima en la distribución de las comunidades de macroalgas, se han considerado las tipologías ecológicas (regiones biogeográficas) establecidas por Ramos et al. (2015) a lo largo de la cornisa Cantábrica.

Figura 43. Distribución espacial de las tipologías ecológicas consideradas

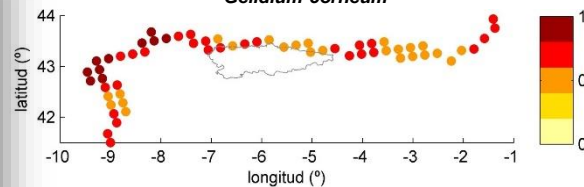


Estas cuatro regiones son representativas de los patrones de distribución de distintas comunidades de macroalgas intermareales.

De entre las especies disponibles se ha seleccionado el alga roja *Gelidium corneum* (ocle), dada su importancia en la estructuración y producción del ecosistema submareal del litoral cantábrico, así como por constituir la mayor fuente de materia prima en su género para la extracción de agar-agar (McHugh, 1991).



Figura 44. Probabilidad de ocurrencia actual de *Gelidium corneum*



Puesto que no se dispone de una cartografía de *G. corneum* a nivel regional, se ha optado por considerar exclusivamente datos de presencia obtenidos de tres fuentes: NE Atlantic magroalgae Database (Ramos et al., 2014), Global Biodiversity Information Facility (GBIF) y Ocean Biogeographic Information (OBIS).

# Ecosistemas - HÁBITATS Y ESPECIES LITORALES

## Escenarios

Para evaluar el impacto de inundación derivado del cambio climático se ha definido un único escenario de inundación permanente de 1 metro de aumento del Nivel Medio del Mar (NMM) a fin de siglo.

Tabla 1. Escenarios climáticos para evaluar las consecuencias sobre los hábitats y especies naturales

AÑO HORIZONTE	INUNDACIÓN PERMANENTE, SLR (m)
	High++
2100	SLR=1

En general, **los hábitats y especies son altamente vulnerables a la inundación permanente pero muestran una baja vulnerabilidad frente a eventos extremos con período de retorno superior a 100 años, ya que su tiempo de recuperación es generalmente inferior.**



Por otro lado, para la proyección de la Temperatura Superficial del agua del Mar (SST) y su efecto en la distribución de especies y regiones biogeográficas se han utilizado dos períodos de tiempo de 30 años cada uno: 2040-2069 y 2070-2099. De esta manera, se ha obtenido para cada uno de los dos escenarios RCP considerados (4.5 y 8.5) los cambios, tanto en la distribución espacial de *Gelidium corneum* como en las regiones biogeográficas consideradas, derivados de los cambios en la temperatura superficial del mar.

## Metodología

El estudio del riesgo sobre los hábitats y especies litorales se ha llevado a cabo por dos vías distintas: a través del **estudio de los efectos del aumento del NMM** y mediante un **análisis de sensibilidad a los cambios de la SST**. A continuación, se muestran de forma resumida los métodos empleados en cada caso.

### Inundación por aumento del NMM

Un indicador cuantitativo del impacto de la inundación sobre los hábitats y especies es el área total afectada. No obstante, se han tenido en cuenta indicadores adicionales que valoren la representatividad y sensibilidad de los hábitats y especies y su variabilidad espacial: por un lado, **el impacto depende de la superficie de hábitat inundado con respecto a su extensión total** dentro de la zona de estudio o figura de protección; por otro lado, **es importante caracterizar también la distribución espacial de los impactos absolutos y relativos**, sobre todo como herramienta para la planificación de las medidas de adaptación y gestión.

### Alteración de la distribución por cambios en la SST

Se ha realizado un análisis de sensibilidad sobre cómo el modelo de clasificación responde a los cambios en la temperatura superficial del mar obtenidos en base a proyecciones. Esto ha **permitido identificar las regiones ecológicas más sensibles al cambio en la temperatura.**

Dada la dificultad de conocer y modelar los factores biológicos y antrópicos, se ha planteado la **determinación de la aptitud del medio para el desarrollo óptimo de *G. corneum*** de acuerdo con las condiciones físicas del mismo. Para ello se ha aplicado el modelo de distribución potencial MaxEnt, que es un modelo que permite establecer la relación existente entre la presencia de la especie y el conjunto de variables ambientales que definen su hábitat.

## Acerca de los resultados

Los resultados obtenidos constituyen una primera aproximación a la determinación del riesgo sobre los ecosistemas debido al aumento del NMM y de la SST del mismo bajo escenarios de cambio climático.



En el análisis realizado sólo se ha tenido en cuenta la inundación de los hábitats considerados en la zona de estudio, con independencia del hidroperíodo y de la altura de la columna de agua alcanzada. Por otro lado, es necesario matizar que el análisis de sensibilidad realizado en las regiones biogeográficas se ha centrado en la temperatura superficial máxima del agua, sin considerar la modificación del resto de variables físicas en un escenario futuro de cambio climático. Del mismo modo, de entre las variables introducidas en el modelo de hábitat potencial sólo la temperatura superficial del agua se ha proyectado bajo escenarios de cambio climático, considerando las demás variables estables. No obstante, aunque existen evidencias de que otras variables también se modificarán como consecuencia del calentamiento global, no se dispone actualmente de información precisa sobre la magnitud de estos cambios.

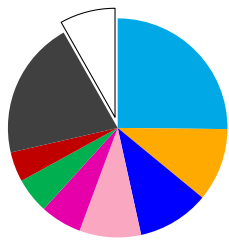
## Riesgo de inacción sobre hábitats y especies litorales

### RIESGO POR AUMENTO DEL NMM

Los impactos sobre el estado de conservación de los hábitats están directamente relacionados con la magnitud del incremento del NMM considerado.

En el caso del ZEC Peñarronda-Barayo se identifican hábitats en zonas estuarinas con casi el 50% de su superficie afectada. Por el contrario, las zonas costeras directamente expuestas a las dinámicas marinas se asocian a hábitats cuyo grado de afección es relativamente bajo, con un área inundada inferior al 5 o 10% de su superficie. En el ZEC Cabo Busto-Luanco se identifican hábitats afectados hasta 20% de su superficie.

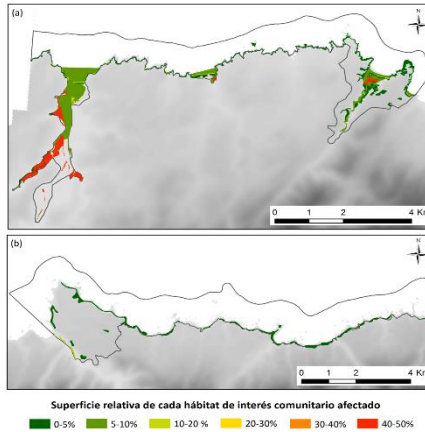
Figura 46. Proporción del área afectada por inundación debida al aumento del NMM



Hábitats EUNIS:

- G3 (Bosques de coníferas)
- E2 (Pastizales mesófilos)
- E6 (Estepas halófilas)
- E3 (Pastizales húmedos)
- C2 (Ríos y arroyos)
- G1 (Bosques caducifolios)
- J4 (Redes de transporte)
- Otros hábitats
- No clasificado

Figura 45. Superficie relativa inundada en cada hábitat de interés comunitario



Superficie relativa de cada hábitat de interés comunitario afectado

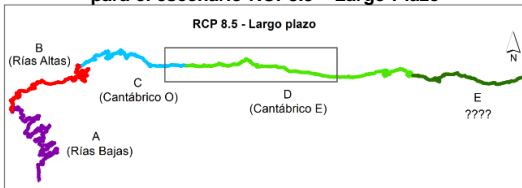
- 0-5%
- 5-10%
- 10-20%
- 20-30%
- 30-40%
- 40-50%

El aumento de 1 m del NMM da lugar a un incremento de la superficie inundada de 87 Ha, afectando a un total de 30 hectáreas de hábitats EUNIS. La mayor superficie de hábitat inundado se corresponde con los bosques de coníferas (G3) y, en menor medida, con los pastizales mesófilos (E2), húmedos (E6) y estepas halófilas continentales (E3).

## RIESGO POR CAMBIOS EN LA TEMPERATURA

La magnitud de los cambios detectados no es igual en todas las tipologías.

Figura 47. Tipologías de regiones biogeográficas obtenidas para el escenario RCP8.5 – Largo Plazo

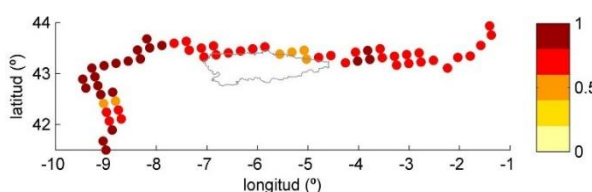


Para el escenario más pesimista, la tipología Cantábrico E se extiende hasta la zona de Navia, por lo que casi toda la costa de Asturias queda englobada en este grupo, con un alto porcentaje de algas rojas, entre las que dominan las algas rojas calcáreas *Corallina officinalis* y *Ellisolandia elongata*. Aparece una nueva tipología con temperaturas más elevadas.

En la zona de la Cornisa Cantábrica, se ha obtenido para el escenario RCP8.5 una probabilidad de presencia de *G. corneum* superior a 0.4 en toda la costa, alcanzando el 0.8 en diversos puntos del litoral asturiano para el escenario más pesimista.

A lo largo del litoral asturiano se observa un aumento de las probabilidades de ocurrencia de esta macroalga en la zona este del Cabo Peñas, así como en el límite con Cantabria, manteniéndose estable en el resto.

Figura 48. Probabilidad de ocurrencia de *Gelidium corneum* para el escenario RCP8.5 – Largo Plazo



## Limitaciones

La caracterización de la inundación a través de una única variable, cota máxima de inundación, resulta insuficiente para predecir su efecto sobre los hábitats y especies costeros no sujetos a dicha dinámica. La incorporación de variables adicionales, obtenidas a partir de modelos numéricos, permitiría caracterizar con mayor detalle el proceso de la inundación y su impacto.

En el caso de *Gelidium corneum*, cabe apuntar que sobre su distribución actúan más variables físicas de las consideradas en el modelado (tipo de sustrato, nutrientes, etc.), cuya falta de datos homogéneos en todo el área de estudio ha imposibilitado su inclusión. Además de las variables físicas, el establecimiento de las especies depende también de interacciones biológicas cuya complejidad no se ha tenido en cuenta en la determinación de probabilidades de ocurrencia. Por otro lado, es necesario tener en consideración que, a pesar de los filtros aplicados, los datos de presencia utilizados en el modelo Maxent constituyen información incompleta sobre la distribución real de la especie.

Es necesario considerar que para una evaluación más precisa del riesgo sobre los ecosistemas de la costa de Asturias es imprescindible disponer de información física y biológica a una escala de mayor detalle.

Los resultados y conclusiones obtenidas están sujetos a la incertidumbre asociada a los modelos de predicción de aumento del nivel medio del mar y la temperatura superficial del mar a lo largo de la costa asturiana.

## SERVICIOS ECOSISTÉMICOS



### ¿Cómo afecta el cambio climático a los servicios ecosistémicos?

Los servicios ecosistémicos comprenden aquellos productos y servicios proporcionados por los ecosistemas tales como alimento, combustible, madera, agua, aire limpio y medicinas. También incluyen beneficios no materiales como la regulación de las condiciones climáticas locales y el valor estético o incluso la identidad cultural.

Los ecosistemas, por tanto, brindan bienes y servicios a la sociedad que en la actualidad se están viendo afectados significativamente por el cambio climático en todo el mundo. Son muchos los estudios en la literatura sobre servicios ecosistémicos, la gran mayoría centrados en un análisis de los mismos desde el punto de vista de los beneficios que aportan y en su vulnerabilidad frente a la sobreexplotación. Sin embargo, todavía es poca la información sobre su vulnerabilidad frente a los impactos del cambio climático tales como la inundación costera. Entender el papel que juegan los servicios ecosistémicos en el marco de la adaptación al cambio climático es fundamental para poder contribuir a su aplicación en la toma de decisiones y generación de políticas de adaptación que aseguren su sostenibilidad.

### ¿Qué cubre este análisis?

Una valoración cuantificable de los servicios ecosistémicos permite inferir las consecuencias económicas del cambio climático sobre el medio natural, es decir, cuantificar los daños económicos debidos a la pérdida de servicios prestados por los ecosistemas (playas, humedales, praderas, pastos,..).

Con el objetivo de estimar la dimensión del problema y establecer prioridades de actuación en cuanto a conservación y protección de los recursos naturales, este trabajo se centra en evaluar las consecuencias derivadas del impacto de inundación por cambio climático sobre los activos ecosistémicos, considerando la pérdida total y permanente de aquellos que queden anegados. Tras definir una serie de escenarios de riesgo que combinan proyecciones climáticas y cambios en la productividad, la inundación asociada a cada uno de ellos se ha caracterizado mediante el empleo de un modelo hidrodinámico bidimensional de gran eficiencia y robustez. Los resultados obtenidos se han expresado en porcentaje respecto al Valor Añadido Bruto (VAB) total desagregado a nivel de concejo.

## Resultados Clave

- 1 La riqueza ecosistémica que se concentra en playas y a orillas de las rías hace que sean las áreas más afectadas pues son zonas bajas y expuestas a inundaciones.
- 2 Muros de Nalón alcanza daños efectivos anuales por valor del 0.3% de su VAB anual para todos los escenarios ensayados, llegando a superar el 1% del VAB anual para los escenarios más pesimistas. Le siguen por orden de afección: Coaña, Cudillero, Castropol, El Franco y Carreño.
- 3 Muros de Nalón y, a continuación, Coaña, son los más afectados por el aumento del NMM incrementando sus consecuencias anuales a 2100, respecto al clima presente, en un 0.8% y casi un 0.4%, respectivamente. Les siguen, por orden de sensibilidad mostrada a los efectos del cambio climático: Cudillero, Castropol, El Franco, Carreño, Ribadesella y Ribadedeva.
- 4 La tasa de descuento, a la que los resultados son especialmente sensibles, representa las preferencias y preocupaciones intergeneracionales de la sociedad con implicaciones de diversa índole.

## Caracterización de la vulnerabilidad

Las funciones y servicios medioambientales que prestan los ecosistemas a la sociedad responden al factor ambiental de la vulnerabilidad. La valoración económica del servicio procurado por especies tales como bosques, matorrales, pastizales, tierras de labor en secano, herbazales, etc. está recogida en la base de datos de la Valoración de los Activos Naturales de España (VANE, 2005) elaborada por el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural Marino. La base de datos del VANE está disponible en formato vectorial y se ha empleado en este estudio con el objetivo de evaluar las consecuencias económicas en términos de pérdida de servicios ecosistémicos ante el impacto de inundación.

Figura 49. Distribución espacial de la Valoración de los Activos Naturales de España (VANE) en el litoral asturiano

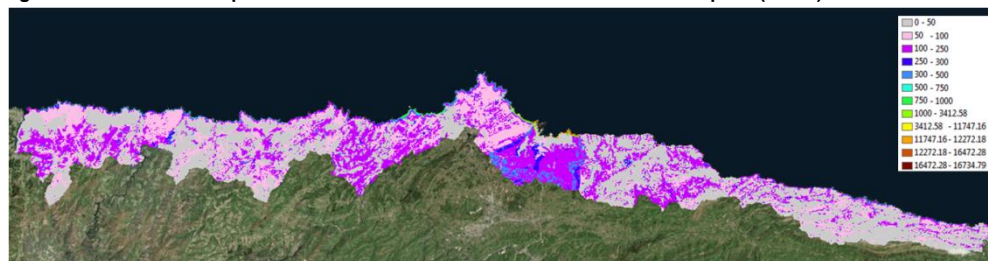
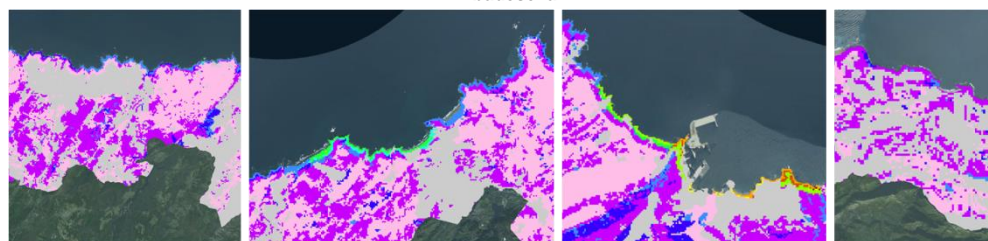


Figura 50. Detalle de las zonas de Coaña y Navia, San Esteban de Pravia, San Juan de la Arena y Avilés, Gijón y Ribadesella



## Escenarios

Los escenarios de riesgo definidos para estimar las consecuencias sobre la producción ecosistémica están basados en la combinación de los distintos escenarios climáticos y proyecciones socioeconómicas en respuesta a los cambios en la producción. Se han considerado tres horizontes temporales: el clima presente (S0), el año 2050 (S1) y el año 2100 (S2).

A falta de datos históricos y por tratarse de un flujo económico se ha asumido que la tasa de crecimiento anual es la misma que la obtenida para el Valor Añadido Bruto (VAB), que oscila entre 0 para concejos como Avilés, Caravia, Gozón y Soto del Barco y 1.8% para Carreño, Coaña, Navia, Castropol y Villaviciosa, entre otros.

Tabla 2. Escenarios de riesgo para evaluar las consecuencias sobre los servicios ecosistémicos

HORIZONTE TEMPORAL	TIPO DE INUNDACIÓN	ESCENARIOS CLIMÁTICOS	ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS	ESCENARIOS DE RIESGO
PRESENTE	Evento Extremo	T=100	S0	Escenario1
		T=500	S0	Escenario2
AÑO 2050	Evento Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.24 m	S1	Escenario3
		T=500, SLR=0.24 m	S1	Escenario4
AÑO 2100	Permanente	SLR=1 m	S2	Escenario5
	Evento Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.45* m	S2	Escenario6
		T=500, SLR=0.45* m	S2	Escenario7
		T=100, SLR=0.65** m	S2	Escenario8
		T=500, SLR=0.65** m	S2	Escenario9

\*: valor medio del RCP4.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)



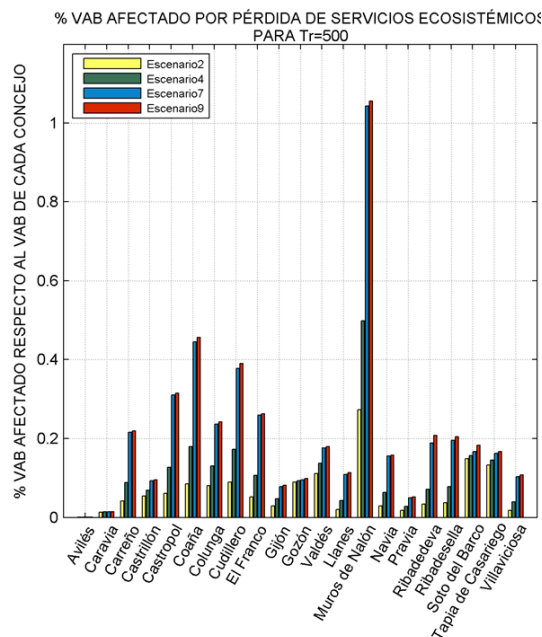
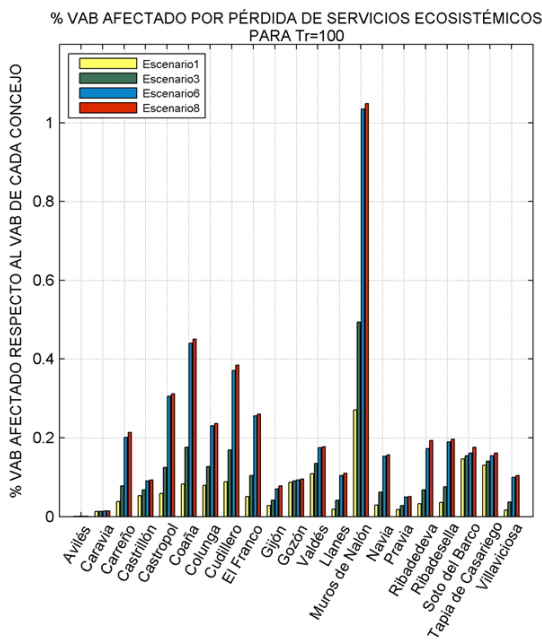
## Acerca de los resultados

Los resultados que se presentan a continuación deben ser interpretados como indicadores de los daños que podría sufrir la producción de los servicios ecosistémicos considerando su pérdida total: no se ha tenido en cuenta ni la migración de especies ni la influencia de la cota de inundación sobre los mismos al no disponer de los datos al respecto, como puede ser su sensibilidad a la luz solar. Los daños se presentan sin descontar y descontados. En el primer caso, se pretende dar un idea de la gravedad que supone cada escenario. Por otro lado, los resultados descontados representan la importancia relativa de las consecuencias en los distintos años horizonte.

## Riesgo de inacción sobre los servicios ecosistémicos

La figuras 51 muestra los resultados obtenidos tras el análisis de riesgo sobre la producción de los servicios que ofrecen los ecosistemas, **sin introducir adaptación**.

**Figura 51. Porcentaje de producción de servicios ecosistémicos afectada por concejo**  
Para los escenarios correspondientes a los eventos de 100 y 500 años de periodo de retorno



Muros de Nalón alcanza daños efectivos anuales por valor del 0.3% de su VAB anual para todos los escenarios ensayados, llegando a superar el 1% del VAB anual para los escenarios más pesimistas. Le siguen Coaña, Cudillero, Castropol, El Franco y Carreño. La mayoría de daños se producen en las playas y en zonas bajas a orillas de las principales rías.

Muros de Nalón y, a continuación, Coaña, son los más afectados por el aumento del NMM llegando a incrementar sus consecuencias anuales a 2100, respecto al clima presente, en un 0.8% y casi un 0.4%, respectivamente.

## Metodología

### Cálculo de consecuencias

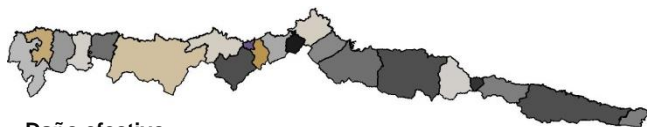
El método de cálculo del riesgo de inundación sobre la producción de servicios ecosistémicos se ha llevado a cabo aplicando el siguiente método:

1. Cálculo de la producción ecosistémica perdida bajo los efectos de la inundación derivada de cada escenario propuesto.
2. Proyección de las consecuencias a los años horizonte 2050 y 2100 según la tendencia observada.
3. Aplicación de una tasa de descuento con el fin de evaluar y comparar fenómenos que ocurren en distintos momentos de modo que se minimice el peso de los daños a medida que se alejan en el tiempo. De este modo, se tiene una idea de cuánto esfuerzo inversor resultaría tolerable en el ahora para resolver problemas futuros. No obstante, eso puede provocar cierta distorsión en lo que respecta a la importancia real de eventos que, pese a conllevar graves consecuencias, están alejados en el tiempo.

# Ecosistemas – SERVICIOS ECOSISTÉMICOS

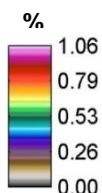
## RESULTADOS PROYECTADOS SIN DESCONTAR

### BASE



Daño efectivo

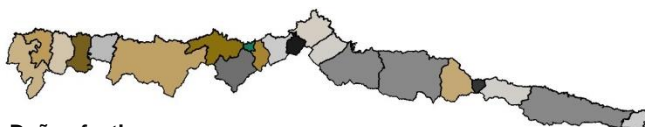
Escenario 1.- CLIMA PRESENTE: Tr1=100, S0



**Daño efectivo anual sobre servicios ecosistémicos expresado como porcentaje de VAB afectado respecto al VAB anual total de cada concejo.** Como orden de magnitud, el VAB anual total agregado a nivel provincial asciende a la cuantía de 19 918 251 000 EUR (año de referencia 2010, Sadei).

Los concejos que sufren mayores daños sobre la producción de servicios ecosistémicos son Muros de Nalón, que para el clima presente ya alcanza daños efectivos anuales por valor del 0.27% de su VAB anual y para el escenario de 0.65 m de aumento del nivel medio del mar combinado con el evento extremo de 100 años de periodo de retorno está en torno al 1% del mismo. En el caso más pesimista, Coaña, Cudillero y Castropol asumen porcentajes de afección efectiva del VAB anual total por concejo de 0.42%, 0.38% y 0.30%, respectivamente. Por otro lado, y para cualquiera de los escenarios de riesgo propuestos, los concejos de Avilés y Caravia sufren consecuencias sobre la producción de servicios ecosistémicos insignificantes.

### REFERENCIA 2050



Daño efectivo

Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1

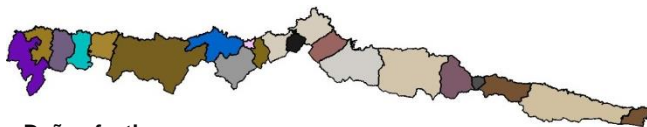
### REFERENCIA 2100



Daño efectivo

**INUNDACIÓN PERMANENTE**

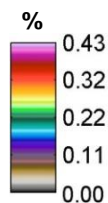
Escenario 5.- HORIZONTE= 2100: SLR4= 1 m, S2



Daño efectivo

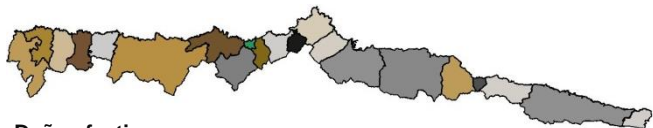
Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2

## RESULTADOS PROYECTADOS DESCONTADOS



**Daño efectivo anual descontado sobre servicios ecosistémicos expresado como porcentaje de VAB afectado respecto al VAB anual total de cada concejo.** Como orden de magnitud, el VAB anual total agregado a nivel provincial asciende a la cuantía de 19 918 251 000 EUR (año de referencia 2010, Sadei).

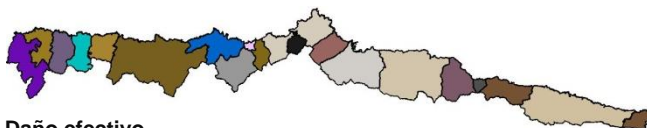
### REFERENCIA 2050



Daño efectivo

Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1  
Tasa anual de descuento aplicada: 2%

### REFERENCIA 2100



Daño efectivo

Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2  
Tasa anual de descuento aplicada: 1%

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

## Limitaciones

La falta de datos acerca de la evolución de los servicios ecosistémicos brindados no ha permitido ni extrapolar tendencias históricas de cambio ni analizar las consecuencias con mayor detalle.

Finalmente, y respecto a la evaluación de consecuencias económicas, cabe apuntar que la tasa de descuento en la actualización de flujos tiene una gran influencia en los resultados. Por este motivo debe entenderse esencialmente como un análisis de sensibilidad. Se han aplicado tasas de descuento bajas por tratarse de evaluaciones a muy largo plazo siguiendo las recomendaciones normativas habituales.

## ESTUARIOS



### ¿Cómo afecta el cambio climático a los estuarios?

Los estuarios son sistemas sedimentarios y dinámicos complejos en los que intervienen agentes dinámicos diversos en combinación con fluctuaciones fluviales. El ambiente estuarino figura entre los más productivos y alberga una abundante y diversa vida natural. Además de ser enclaves críticos para la supervivencia de muchas especies, entre sus beneficios se encuentra la recreación, el conocimiento científico, la educación y el valor estético.

La morfología de un estuario es el resultado de la interacción no lineal entre el movimiento hidrodinámico del agua, el transporte de sedimentos y la batimetría. En las últimas décadas se ha llevado a cabo una laboriosa investigación científica para predecir la evolución morfológica a largo plazo, tanto de las zonas costeras como de los estuarios. Sin embargo, la dificultad existente para simular los procesos no lineales y la intervención de una amplia variedad de escalas espacio-temporales hace que a día de hoy, esta capacidad predictiva aún se encuentre limitada.

La configuración morfológica media de un estuario depende de las condiciones hidrodinámicas del mismo y de los aportes sedimentarios que recibe. Aunque también intervienen los caudales fluviales (líquido y sólido) y el oleaje, el parámetro

fundamental es el prisma de marea, que responde al volumen de agua que entra y sale de un estuario durante los ciclos de mareas vivas. Este parámetro es susceptible de verse afectado tanto por la variación del nivel del mar debida al cambio climático como por el crecimiento de las cotas de los bajos interiores, pudiéndose ver modificada la hidrodinámica con los consiguientes efectos morfológicos asociados.

### ¿Qué cubre este análisis?

El objetivo fundamental de este estudio es el de analizar los efectos del cambio climático asociados al incremento del nivel medio del mar sobre las características morfológicas de los principales estuarios asturianos.

Con este propósito se han planteado dos tipos de metodologías distintas: una de carácter general, que incluye la aplicación de modelos de equilibrio, y otra de más detalle basada en modelos de procesos. Con la primera aproximación se han obtenido las áreas y volúmenes de equilibrio de los distintos elementos morfológicos de los estuarios Eo, Navia, Nalón, Avilés, Villaviciosa y Ribadesella. Por otro lado, se ha realizado un estudio de detalle en la ría de Villaviciosa y se ha empleado la metodología basada en modelos de procesos para estimar los cambios morfológicos que se producirán en este estuario como consecuencia del aumento del nivel del mar en los años horizonte 2050 y 2100.

## Resultados Clave

1 Si el aporte sedimentario es insuficiente para que la cota de los bajos interiores aumente conforme aumenta el NMM se producirá: un déficit de sedimento en los **bajos interiores** que tenderán a demandar hasta alcanzar un nuevo equilibrio. Por orden de afección: Eo, Ribadesella, Villaviciosa, Avilés, Nalón y Navia. En la **desembocadura** se irá produciendo un incremento de área hasta el equilibrio. Por orden de afección: Villaviciosa, Navia, Ribadesella, Nalón, Eo y Avilés. En el **bajo exterior** habrá un déficit sedimentario que tenderá también a compensarse. Por orden de afección: Villaviciosa, Navia, Ribadesella, Nalón, Eo y Avilés. En **los canales mareales** el volumen tenderá a aumentar hasta el equilibrio. Por orden de afección: Villaviciosa, Navia y Ribadesella, Nalón, Eo y Avilés.

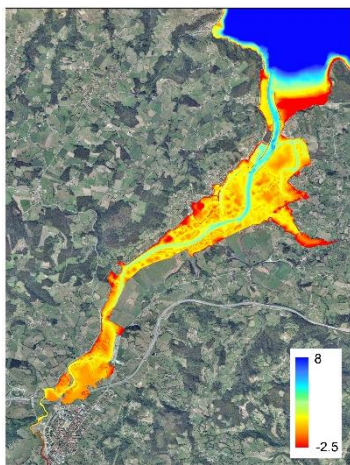
2 Los resultados obtenidos en Villaviciosa muestran, a 2050 y 2100 respectivamente: sedimentación en los bajos interiores con un aumento medio de cota de entre los 6-9 cm y los 18-25 cm, un aumento del área de la desembocadura en torno al 14% y al 34% (lo que se traduce en incrementos medios de calado de 0.5 m y 1.3 m) y un aumento de volumen del bajo exterior del 34% y 75% y de los canales mareales del 3% y 18%.

3 Como la dinámica en la zona exterior de los estuarios es mucho más activa que la zona interior, cabe esperar que el restablecimiento del equilibrio dinámico en la desembocadura y en el bajo exterior se produzca en menor tiempo (temporales/semanas/años) que en los bajos interiores y en los canales mareales (décadas).

## Caracterización morfológica de los estuarios

La información sobre el fondo marino es clave en cualquier estudio que involucre el análisis de las corrientes marinas. Los datos topográficos y batimétricos disponibles en los distintos estuarios objeto de estudio proceden de diversas fuentes.

Figura 52. Batimetría de Villaviciosa  
Profundidad referida al NMM local



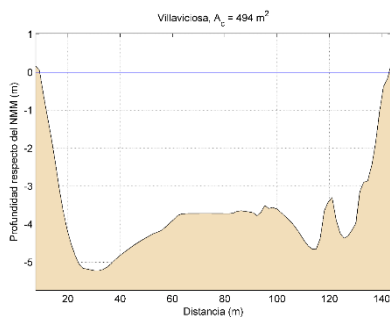
En el caso de Villaviciosa, la batimetría en la zona exterior del estuario ha sido definida con ayuda de la carta náutica 936 del IHM y, para caracterizar el área comprendida entre la Punta de Rodiles y la desembocadura, se ha empleado la batimetría de detalle del año 2010 proporcionada por el Servicio de Puertos e Infraestructuras del Transporte del Gobierno del Principado de Asturias.

La zona más interna de los canales ha sido caracterizada con los datos registrados durante la campaña de campo llevada a cabo por IHCantabria el 28 de noviembre de 2014 en el marco de este proyecto. Las medidas fueron tomadas con el equipo Perfilador de Corriente Acústico Doppler (ADP) "River Surveyor" en una serie de perfiles longitudinales y transversales distribuidos a lo largo del estuario.

La morfodinámica sedimentaria en un estuario es el resultado de un equilibrio dinámico, observándose una morfología media y una cierta variabilidad entorno a ella. Los elementos que definen la morfología media son comunes para todos los estuarios, pudiéndose observar la presencia de una zona angosta y profunda que constituye la desembocadura, uno o varios bajos exteriores, una canal principal, canales secundarios y las denominadas llanuras o bajos interiores.

El primer paso para describir la configuración morfológica de los estuarios objeto de estudio consiste en obtener el prisma de marea característico de cada uno. Para ello se han estimado, a partir de las batimetrías disponibles, los volúmenes contenidos entre las cotas -2 m y 2 m respecto del Nivel Medio del Mar (NMM) local.

Figura 54. Sección de la desembocadura en Villaviciosa.

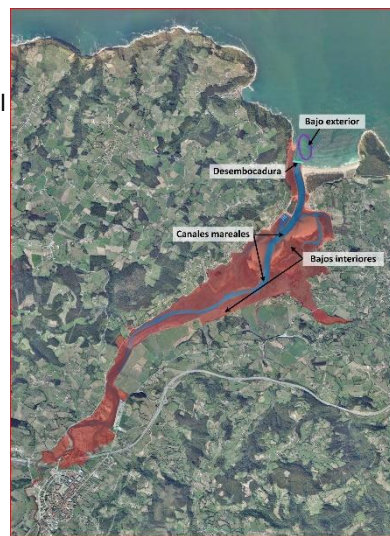


El área de la sección crítica ( $A_c$ ) se ha obtenido considerando el nivel medio del mar y la batimetría existente en la bocana de cada estuario.

Figura 55. Desembocadura de Villaviciosa.



Figura 53. Localización de las unidades morfológicas en el estuario de Villaviciosa.



A falta de datos más precisos, el volumen del bajo exterior se ha estimado como la diferencia entre la batimetría existente y la batimetría que tendría la zona si no existiese la desembocadura.

El volumen de los canales mareales se ha determinado de acuerdo a la batimetría existente respecto del nivel de bajamar de una carrera de marea viva de 4 m.

Finalmente, el área ocupada por los bajos interiores se ha calculado como el área de la bahía que se encuentra por encima del nivel de bajamar de una carrera de marea viva de 4 metros.

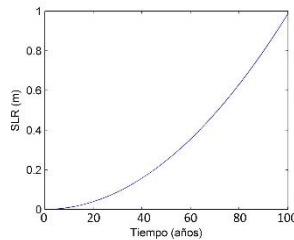
## Escenarios

Para evaluar los efectos del cambio climático sobre las características morfológicas del estuario de Villaviciosa empleando modelado de procesos, se ha definido un único escenario de aumento del NMM de 1 metro a fin de siglo.

Tabla 3. Escenarios climáticos para evaluar los cambios sobre los elementos morfológicos

AÑO HORIZONTE	INUNDACIÓN PERMANENTE, SLR (m)
	High++
2100	SLR=1

Figura 56. Evolución del aumento del NMM asumido en este estudio



El incremento del NMM se ha considerado variable según la expresión propuesta por van der Wegen (2013).

En el procedimiento general basado en modelos de equilibrio no se ha considerado ningún escenario de cambio climático particular sino que se han obtenidos resultados parametrizados en función de una variable *aumento del NMM* que puede ser definida posteriormente.

## Metodología

Para evaluar estos **efectos del cambio climático sobre los elementos morfológicos de los estuarios** se plantean dos tipos de metodologías: por un lado, la aproximación más extendida, basada en modelos de equilibrio y por otro, la técnica de modelado de procesos, más novedosa y actualmente objeto de investigación.

### Basada en modelos de Equilibrio

Los modelos de equilibrio **se basan en relaciones empíricas entre los diferentes elementos morfológicos** de los estuarios (desembocadura, canales, bajos interiores, bajo exterior...) y el prisma de marea. Para su aplicación es necesario seguir una serie de pasos. En primer lugar, y con base en las batimetrías disponibles, se estiman el prisma de marea y las características morfológicas del estado actual de los estuarios objeto de estudio: área de la sección crítica, volumen de sedimento contenido en el bajo exterior, volumen de los canales mareales, área de los bajos interiores y área de la bahía. A continuación, se determinan los coeficientes de proporcionalidad necesarios por medio de curvas de ajuste entre los volúmenes actuales que caracterizan el bajo exterior y los canales mareales y el prisma de marea actual de los estuarios. Una vez obtenidos los coeficientes de proporcionalidad, se evalúan los cambios morfológicos utilizando dichas expresiones.

### Basada en modelos de Procesos

Los modelos de procesos **se basan en la descripción de los procesos físicos subyacentes que derivan de las dinámicas actuantes** en los estuarios. Para que sea viable la simulación numérica de la evolución morfodinámica a largo plazo (decenas/cientas de años) es necesario aplicar técnicas que permitan reducir el coste computacional necesario. Una de estas técnicas, denominada de "reducción de inputs" permite reducir la longitud de las series de las dinámicas que entran al modelo como inputs. Una segunda aproximación, conocida como "aceleración morfológica", se basa en utilizar la distinta escala temporal en la que ocurren los procesos hidrodinámicos (mucho más rápidos) y morfológicos (aún más rápidos), para acelerar las simulaciones mediante la aplicación de un factor. Ambas técnicas han sido agregadas para evaluar, mediante la aplicación del modelo Delft3D, los cambios morfológicos en el sistema debidos al aumento del nivel del mar.

## Acerca de los resultados

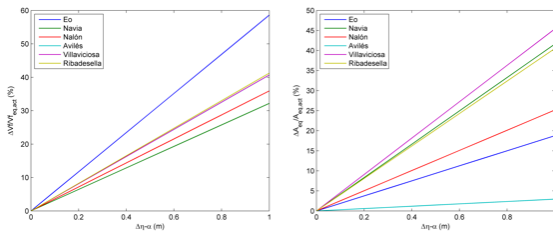
Los resultados que se presentan en este análisis están sujetos a una serie de hipótesis que deben tenerse en consideración para una buena interpretación de los mismos. Se ha asumido que el aumento del NMM es la única perturbación en el sistema por lo que no se ha considerado ninguna otra actuación, por ejemplo, dragados. Por otro lado, y con base en la configuración morfológica de los estuarios, se ha asumido que el área de la bahía permanece constante con el incremento del NMM. Finalmente cabe apuntar que, debido a la intensidad de las dinámicas actuantes en la zona exterior de los estuarios y a la época en la que tuvieron lugar las actuaciones de la zona interior, se ha considerado que los estuarios parten de una situación inicial próxima al equilibrio dinámico. Esto se justifica del siguiente modo: por un lado, se ha comprobado, en actuaciones realizadas en la costa de Cantabria, que las dinámicas de la zona exterior de los estuarios son capaces de movilizar, en la escala de semanas o incluso de temporales, los volúmenes de sedimento necesarios para reestablecer el equilibrio. Por otra parte, a pesar de que los procesos del interior de los estuarios son mucho más lentos, como las actuaciones (rellenos y cierres) en el interior de los mismos tuvieron lugar a finales del siglo XIX y principios del XX, puede asumirse que ha pasado el tiempo suficiente para alcanzar de nuevo el equilibrio (Tönis et al., 2002).

## Cambios morfológicos en los estuarios

Para cada elemento morfodinámico, **los resultados derivados de los modelos de equilibrio están expresados en porcentaje de cambio necesario para alcanzar el equilibrio respecto a su situación actual**, considerada de equilibrio, expresado en función de la diferencia entre el aumento del NMM y el incremento de cota de los bajos interiores.

Si la tasa de aporte de sedimentos es suficiente para que la cota de los bajos interiores aumente conforme aumenta el NMM, no se producirá un incremento del prisma de marea y, en consecuencia, los elementos morfológicos de los estuarios permanecerán inalterados. En caso contrario, se producirá un aumento del prisma de marea y, por lo tanto, un desequilibrio que alterará los diferentes elementos tal y como se muestra en las figuras 58 y 59.

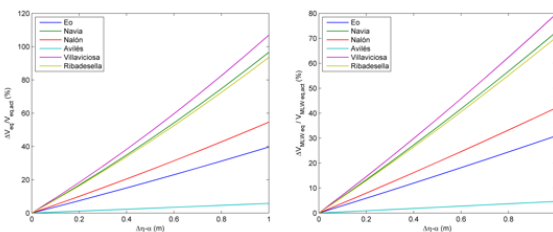
**Figura 57. Efecto del aumento del prisma de marea sobre los bajos interiores (izquierda) y la desembocadura (derecha).**



En los bajos interiores se generará un déficit sedimentario. Tenderán a demandar sedimento para aumentar su cota y reducir así el incremento de prisma generado hasta alcanzar un nuevo equilibrio. El mayor porcentaje de cambio se dará en los de Eo seguidos por los de Ribadesella, Villaviciosa, Avilés, Nalón y Navia.

En la desembocadura se irá produciendo un incremento gradual en el área de la sección crítica hasta que se alcance un nuevo estado de equilibrio. Villaviciosa, Navia y Ribadesella experimentarán un mayor porcentaje de cambio, seguidas por Nalón, Eo y, en último lugar, Avilés.

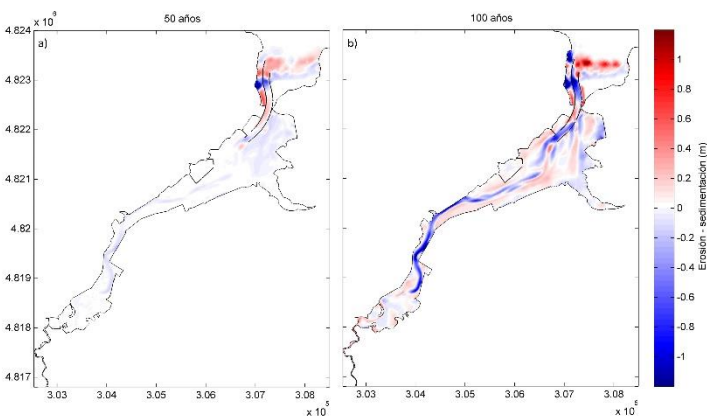
**Figura 58. Efecto del aumento del prisma de marea sobre el bajo exterior (izquierda) y los canales mareales (derecha).**



En el bajo exterior se generará un déficit de volumen que tenderá a compensarse. El mayor porcentaje de cambio se producirá en los bajos exteriores de Villaviciosa, Navia y Ribadesella, seguidas por los de Nalón, Eo y Avilés. En los canales mareales el volumen tenderá a aumentar hasta el equilibrio. Villaviciosa, Navia y Ribadesella sufrirán un mayor porcentaje de cambio, seguidos por los de Nalón, Eo y Avilés.

**Con base en los resultados obtenidos en el estudio de detalle realizado en Villaviciosa con modelos de procesos, la tendencia morfodinámica en la zona interior del estuario debida al aumento del NMM es de erosión en los canales mareales y de sedimentación en los bajos interiores.** En el primer caso, para la hipótesis de aumento de nivel del mar adoptada, la erosión empezará a percibirse a partir de mitad de siglo, habiéndose estimado un incremento de volumen de los canales del 3% a 2050 y del 18% a 2100. Los bajos interiores experimentarán un aumento de su cota cuyos valores medios se han estimado entre los 6-9 cm y 18-25 cm para los años horizonte, 2050 y 2100, respectivamente. El sedimento demandado procederá fundamentalmente del río y de la redistribución de sedimento en el interior del estuario.

**Figura 59. Mapa de erosión/sedimentación debido al aumento del NMM a 2050 y 2100 años en Villaviciosa**



**El área de la desembocadura aumentará** en torno al 14% a 2050 y al 34% a 2100, lo que se traduce en unos incrementos medios de calado de 0.5 m y 1.3 m, respectivamente. Por último, se observa que **el bajo exterior aumentará de volumen** en un 34% a 2050 y un 74% a 2100. El sedimento necesario provendrá, en gran parte de la arena disponible en la playa de Rodiles produciendo su erosión.

## Limitaciones

Falta de batimetrías históricas y datos de actuaciones antrópicas (rellenos, dragados, cierres, aberturas...) que permitan calibrar y validar los modelos empleados.

Insuficiente caracterización batimétrica del estado actual de los estuarios de estudio, lo que introduce incertidumbre en la definición de su configuración morfológica.

Falta de datos de aportes sedimentarios a los estuarios que permitan conocer la tasa de crecimiento de la cota de los bajos interiores.

Los modelos de equilibrio están basados en formulaciones empíricas que dependen exclusivamente del prisma de marea y del área ocupada por cada estuario. Aunque estas formulaciones empíricas suelen funcionar bien en este tipo de estuarios, hay que tener en cuenta que se está despreciando el efecto del oleaje en la zona exterior (bajo exterior y desembocadura) y el fluvial en la zona interior (bajos y canales interiores).

Los modelos de equilibrio, como su propio nombre indica, sólo proporcionan información sobre el estado de equilibrio de los elementos morfológicos de los estuarios y no describen la evolución temporal experimentada por cada elemento ni su distribución espacial.

Las técnicas de "reducción de inputs" y "aceleración morfológica" empleadas para el modelado de procesos son muy novedosas y a día de hoy aún no están suficientemente investigadas.

## PLAYAS



### ¿Cómo afecta el cambio climático a las playas?

El Principado de Asturias cuenta con trescientos cuarenta y cinco kilómetros de costa que albergan más de doscientos arenales con características muy distintas.

Uno de los impactos potenciales del cambio climático en la costa es la aceleración de la erosión en playas que, por su complejidad y dinamismo, experimentan cambios en una variedad de escalas temporales y espaciales, y su forma no es fija a lo largo del tiempo sino que está en continuo cambio. La erosión es un proceso morfodinámico producido por la pérdida de sedimento que depende, fundamentalmente, de cambios en el nivel medio del mar, en la dirección del oleaje y en el transporte de sedimentos. El estudio de la erosión de playas es un problema complicado y específico de cada playa. Entre otros factores, influyen las características físicas del sedimento, las condiciones locales del oleaje y la batimetría, la orientación y la configuración de la costa.

En condiciones de equilibrio, la forma en planta de una playa está gobernada por el balance en el transporte sedimentario originado por el oleaje, y el perfil está, generalmente, relacionado con el oleaje de la zona, la batimetría y el tamaño del grano. La subida del nivel del mar propiciará cambios en la línea de costa, lo que dará lugar a cambios en

el clima marítimo y en el transporte de sedimentos. Como consecuencia, el perfil de playa se verá modificado a través de cambios en el transporte transversal desde el nuevo nivel alcanzado hasta la profundidad de cierre de dicho perfil.

### ¿Qué cubre este análisis?

Este estudio se centra en el análisis de la respuesta que pueden presentar las diferentes playas del litoral asturiano frente al aumento del nivel del mar y a las variaciones del mismo debidas a las dinámicas costeras. Para lograr este objetivo, se ha seleccionado una serie de playas de la costa asturiana y, utilizando características propias de cada una de ellas y para cada uno de los escenarios de aumento del nivel del mar propuestos, se ha obtenido el retroceso medio de cada perfil. Por otro lado, y asumiendo que las dinámicas de oleaje y marea meteorológica no cambian, se ha analizado además del régimen histórico de erosión/acreción, y el efecto que tendría la inclusión del aumento del nivel del mar, obteniendo en cada caso el retroceso medio y otros estadísticos relevantes. Se han aplicado modelos de equilibrio basados en el perfil transversal de playa para reproducir la evolución estacional y decadal de la línea de costa, considerando que los procesos transversales son aquellos que gobiernan las variaciones estacionales e interanuales de la mayoría de los sistemas morfodinámicos del litoral asturiano.

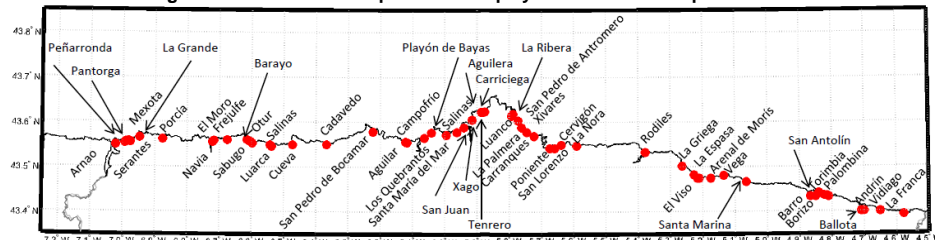
## Resultados Clave

- 1 2014 y 1965 son los años del periodo de estudio (1947-2014) en los que mayores erosiones se han acumulado en invierno en las playas de Salinas y San Lorenzo (20 y 15 m, respectivamente).
- 2 Sólo por efecto del aumento del NMM, el Playón de Bayas y Salinas habrán perdido a mitad de siglo 13400 y 10600 m<sup>2</sup> de arena, respectivamente. También en el año horizonte 2050, las pérdidas permanentes en las playas de Xagó y San Lorenzo superarán los 7000 m<sup>2</sup>. A finales del siglo XXI y considerando 1 m de aumento del NMM, las playas más afectadas serán el Playón de Bayas con una pérdida de 63000 m<sup>2</sup>, Salinas con 40000 m<sup>2</sup>, Xagó con 32000 m<sup>2</sup>, San Lorenzo con 29500 m<sup>2</sup> y Vega con más de 27000 m<sup>2</sup>.
- 3 Con un aumento del NMM de 1 m, la erosión del temporal de 50 años causará un retroceso de la línea de costa mayor a 22 metros en 22 de las 57 playas de estudio, entre las que se encuentra San Lorenzo. El Moro, La Grande, Salinas y Xagó, perderán en ese caso más de 26 m de playa seca y las playas de San Juan y Torimbia retrocederán su línea de costa en torno a los 27 m. En base a los resultados del indicador de erosión, El Moro, Luarca estarán en peligro de perder toda su playa seca y Cervigón la habrá perdido ya por completo.

## Caracterización de la exposición

El estudio de la erosión de playas es un problema complicado y específico de cada playa. Entre otros factores, influyen las características físicas del sedimento, las condiciones locales del oleaje y la batimetría, la orientación y la configuración de la costa. Para llevar a cabo el análisis, se han seleccionado 57 playas del Principado de Asturias. Todas ellas tienen una longitud igual o mayor a 200 metros y su tipología de sedimento es arena.

Figura 60. Distribución espacial de las playas seleccionadas para el análisis



Un elemento clave en la forma del perfil es la profundidad de cierre ( $h^*$ ), límite a partir del cual el oleaje deja de influir en la forma del perfil. El valor medio anual de la profundidad de cierre, relacionada con la zona activa de transporte sedimentario, depende de la altura de ola que es superada 12 horas al año ( $H_{S12}$ ), de la sucesión de los temporales y de la persistencia de los mismos.

Figura 61. Distribución espacial de la  $H_{S12}$  (m)

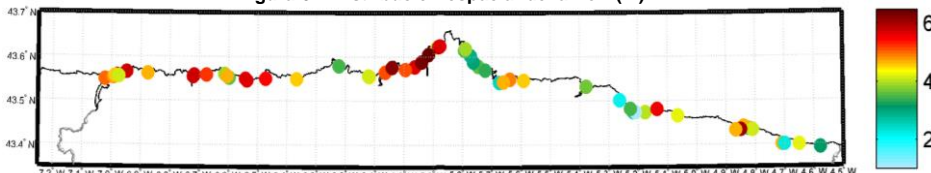


Figura 62. Arena del Cantábrico



Otro parámetro físico relevante es el tamaño representativo del sedimento ( $D_{50}$ ). En base a estudios realizados, para arenas de playas en el Cantábrico, se puede considerar como cota inferior y superior 0.23 y 0.28 mm, respectivamente. A falta de información, se ha asumido un tamaño medio homogéneo de sedimento para todas las playas de 0.26 mm.

También a falta de datos de campo, se ha medido la altura de la berma de cada playa a partir de un Modelo Digital de Terreno de 5 m de resolución horizontal, realizado por el Instituto Geográfico Nacional (IGN) con datos LiDAR, del que se dispone.

## Escenarios

El estudio del impacto de erosión por cambio climático requiere la definición de distintos escenarios asociados a cambios en el nivel del mar. Se han establecido dos horizontes temporales: 2050 y 2100.

Tabla 4. Escenarios climáticos para evaluar la erosión costera

AÑO HORIZONTE	INUNDACIÓN PERMANENTE, SLR (m)		
	RCP4.5	RCP8.5	High++
2050	SLR1=0.24	-	-
2100	SLR2=0.45	SLR3=0.65	SLR4=1

Se ha establecido un aumento de 0.24 m del NMM a mitad de siglo. A final de siglo, se han considerado los incrementos asociados a los RCP4.5 y RCP8.5 regionalizados con Slangen et al., (2014) cuyo valor medio en la costa asturiana es 0.45 m y 0.65 m, respectivamente, y una subida de 1 m del NMM.

## Acerca de los resultados

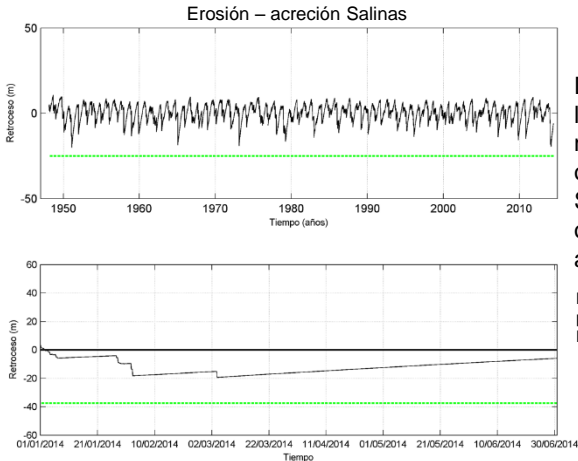
Los resultados que se presentan en este análisis pretenden ilustrar a qué consecuencias se puede llegar, en términos de reducción de playa seca, en caso de no actuar frente al cambio climático. Es importante tener en cuenta todas las hipótesis simplificadoras que se han asumido a lo largo del proceso. Por otro lado, y especialmente tras los últimos temporales marítimos, la anchura media de playa empleada está sobreestimada. Por ello, para analizar cada playa en detalle sería necesario un estudio específico con campañas batimétricas que queda fuera del alcance de este trabajo.



## Efectos de corto plazo: reconstrucción de las series temporales de erosión-acreción

La figura 63 muestra la reconstrucción de las series temporales de erosión-acreción obtenidas con el modelo de Miller y Dean (2004) y la variabilidad interanual de la erosión acumulada en invierno en la playa de Salinas.

Figura 63. Serie temporal de erosión-acreción de la playa de Salinas, ampliación de la serie en el periodo de enero a junio de 2014 y retroceso acumulado de invierno.



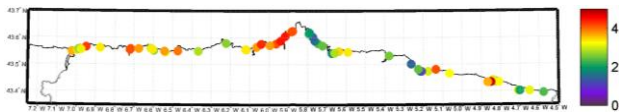
Dado que en el Cantábrico los temporales proceden del noroeste y debido a su orientación, la playa de Salinas sufre mayores que otras playas situadas al abrigo del Cabo Peñas.

La línea verde indica el ancho medio de playa tomado de la "Guía de playas de España" del MAGRAMA.

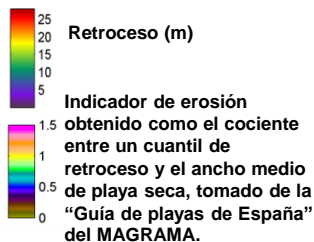
Cabe destacar que 2014 y 1965 son los años del periodo de estudio (1947-2014) en los que mayores erosiones se han acumulado.



Figura 64. Retroceso medio (m) de las playas de Asturias



El indicador de erosión de la playa de Cervigón tiene un valor de 0.55, con un retorno de 5 años. Para 50 años de retorno, las playas de Mexota y La Ribera alcanzarán valores de 0.37 y 0.38, respectivamente, El Moro y Luarca superarán el 0.5 y la de Cervigón llegará al valor de 0.77, asumiendo que a partir de un valor del indicador de 0.8 la anchura de playa seca es crítica y habría que actuar para no perderla del todo.



Se puede observar cómo actualmente son las playas situadas al oeste de Cabo Peñas las que sufren las mayores erosiones medias, superando los 4 metros de retroceso de línea de costa.

Figura 65. Cuantil de retroceso de 5 años de periodo de retorno (panel superior) e indicador de erosión R(5años)/ancho de playa (panel inferior)

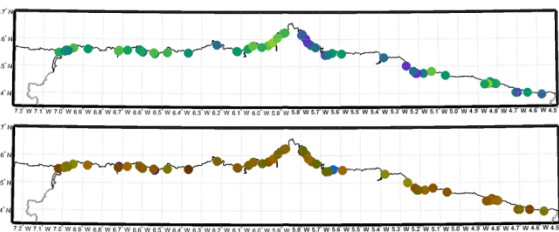
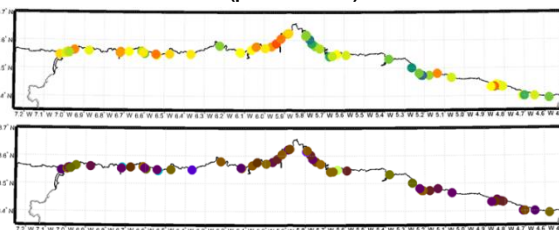


Figura 66. Cuantil de retroceso de 50 años de periodo de retorno (panel superior) e indicador de erosión R(5años)/ancho de playa (panel inferior)



## Metodología

### Cálculo de la erosión

La predicción de la migración de la línea de costa puede simplificarse separando los cambios debidos a procesos longitudinales, mayormente responsables de los cambios a largo plazo, de los ocasionados por procesos transversales, estos últimos tendientes a producir cambios en escalas temporales mucho menores. Sin embargo, y como excepción a la anterior generalización, los cambios en la línea de costa producidos por las variaciones en el nivel medio del mar provocan un reajuste del perfil a las nuevas condiciones de nivel, y por tanto, una respuesta transversal del mismo.

En este estudio, se han aplicado **modelos de equilibrio basados en el perfil transversal de playa** para reproducir la evolución estacional y decadal de la línea de costa, considerando que los procesos transversales son aquellos que gobiernan las variaciones estacionales e interanuales de la mayoría de los sistemas morfodinámicos del litoral asturiano (la mayor parte de ellos son sistemas semicerrados).

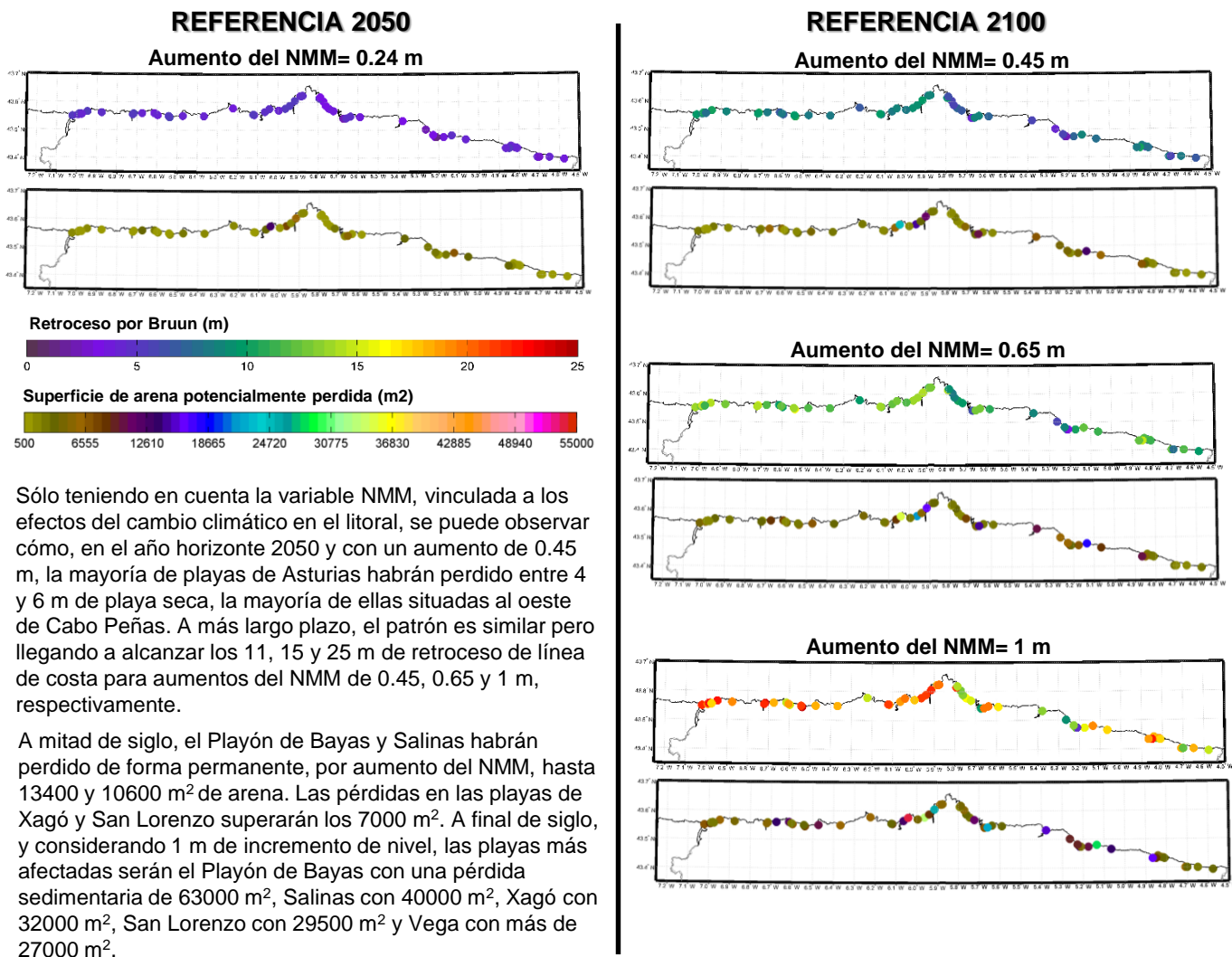
Numerosos modelos fundamentados en la física de dichos procesos transversales han sido desarrollados y validados, la mayor parte centrados en reproducir la respuesta de un determinado perfil de equilibrio tipo ante el efecto del oleaje. En este análisis se ha implementado el modelo propuesto por Miller y Dean (2004), que además de incorporar los procesos relacionados con el clima de oleaje, incluye el efecto de la marea meteorológica y marea astronómica. Además, este modelo ha sido ligeramente modificado para ser utilizado en playas macromareales. De forma paralela, se ha aplicado la 'Regla de Bruun' (Bruun, 1954, 1962, 1983), para explicar el retroceso debido al aumento del nivel del mar para diferentes escenarios.

Finalmente los efectos asociados a procesos de corto plazo (olas, marea meteorológica y astronómica) se han agregado a los efectos del aumento del nivel del mar con lo que se han obtenido resultados de máximos retrocesos en el periodo de estudio.

## Efectos de largo plazo: riesgo de inacción en las playas por efecto del aumento del NMM

La conocida "Regla de Bruun" establece que un ascenso del NMM provocará un retroceso permanente del perfil de playa. La figura 67 muestra la respuesta que pueden presentar las diferentes playas del Principado de Asturias frente a un aumento de 0.24, 0.45, 0.65 y 1 metro, respectivamente. Se muestra también la superficie de playa seca perdida en cada caso.

Figura 67. Distribución espacial del retroceso de las playas de Asturias por efecto del aumento del NMM (paneles superiores) y de la superficie de arena potencialmente perdida (paneles inferiores)



## Limitaciones

El retroceso de la línea de costa depende de numerosos parámetros y para su determinación es necesario asumir ciertas hipótesis simplificadoras, como suponer todas las playas encajadas.

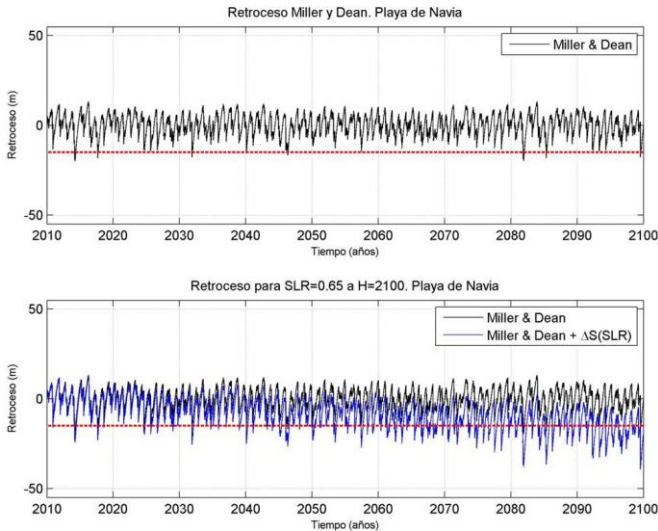
El modelo bidimensional propuesto por Bruun considera que el perfil de playa activo, perpendicular a la línea de costa, tiende a una forma de equilibrio y se extiende hasta la llamada profundidad de cierre, que es aquella profundidad a partir de la cual las olas apenas producen transporte de sedimento. Si el resto de condiciones permanecen invariantes en el tiempo, y el nivel del mar aumenta, el perfil de playa activo alcanzará una nueva posición de equilibrio retrocediendo hacia tierra. Este efecto es la resultante de una erosión en la parte superior del perfil y una acreción sobre la parte inferior. El volumen de sedimento erosionado es igual al volumen de sedimento depositado, por lo que no existe intercambio de sedimento fuera de la profundidad de cierre. El incremento en la elevación del fondo es igual a la sobre elevación del nivel del mar.

El modelo de Miller y Dean (2004) considera dos constantes, una de erosión y otra de acreción, para cuya calibración es necesario disponer de medidas de campo u observaciones con alta resolución. Por otro lado, este modelo asume una serie de simplificaciones, entre ellas: el tamaño de grano del sedimento en la playa es homogéneo, y se caracteriza por su  $D_{50}$ ; el perfil de playa se ajusta bien a un perfil de Dean tipo, caracterizado por su  $D_{50}$ ; existe berma y su altura es constante; no existen pérdidas de sedimento en el tiempo en los procesos de acreción y erosión.

## Riesgo de inacción en las playas por la agregación de efectos de corto y largo plazo

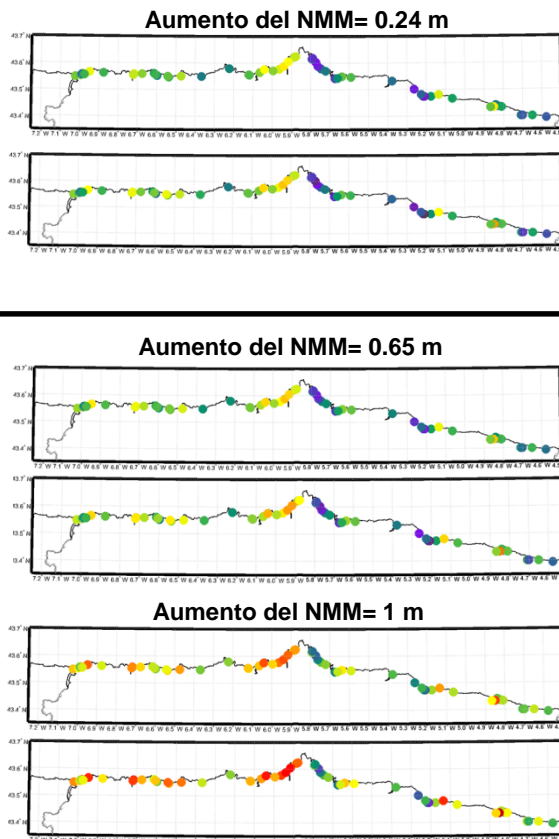
Para evaluar el retroceso de la línea de costa a medio y largo plazo (años horizonte 2050 y 2100, respectivamente) no es suficiente con tener en cuenta el aumento del NMM sino que otras variables, como son la marea meteorológica, la marea astronómica y el oleaje, deben ser tenidas en cuenta. No obstante, en la práctica, no está claro cómo resolver la interacción y acoplamiento entre las distintas escalas. En este estudio se han analizado tres aproximaciones distintas obteniendo resultados similares.

Figura 68. Serie de erosión-acreción de Miller y Dean con un aumento del NMM de 0.65 m en la playa de Navia



Dado que los 67 años de datos de altura de ola, marea meteorológica y marea astronómica de los que se dispone empiezan en 1947 y finalizan en 2014, se asume que, a 2050 y a 2100, las dinámicas no van a cambiar. Si bien esto último no es cierto, los cambios obtenidos tras el estudio de tendencias históricas y proyecciones para escenarios RCP de estas variables no son significativos y, de este modo, se puede tener una idea de los posibles efectos del cambio climático sobre la evolución de la línea de costa.

Figura 69. Retroceso medio de las playas de Asturias (panel superior) y percentil de retroceso del 95% (panel inferior)

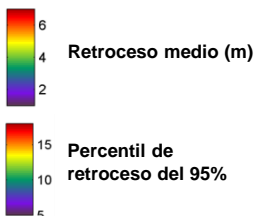


### REFERENCIA 2050

Las playas de San Juan y de Torimbia superarán a mitad de siglo los 5 m de retroceso medio de la línea de costa. Ligeramente por debajo, con una erosión por encima de los 4.5 m, se encuentran las playas de El Moro, Navia, La Grande, Salinas, Carriciega, Tenrero, Xagó y Vega.

### REFERENCIA 2100

Para un aumento del NMM de 0.65 m, el Playón de Bayas y las playas de San Juan, Xagó y Torimbia superarán los 5 m de retroceso medio de línea de costa y, con un incremento de nivel de 1 m, San Juan y Torimbia alcanzarán los 6 metros de pérdida de playa seca.



## Aproximación

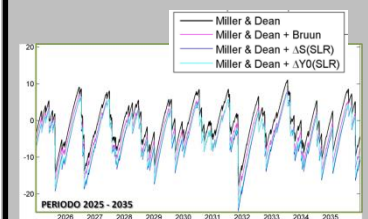
### Agregación de efectos de corto y largo plazo

En este análisis se han propuesto tres aproximaciones distintas para **agregar los efectos del corto plazo al aumento del nivel del mar**.

La primera aproximación propuesta consiste en sumar los retrocesos por aumento del nivel medio del mar obtenidos con el modelo de Bruun (1962),  $R(t)$ , a la serie temporal de acreción-erosión obtenida con el modelo de Miller y Dean (2004). El retroceso se ha imputado en cada instante como una fracción del mismo acumulada horariamente a lo largo de la serie temporal.

La segunda aproximación analizada se basa en incluir el aumento del nivel medio del mar como un nivel más,  $SLR(t)$ , en la ecuación de Miller y Dean. Para imputar el nivel con dependencia temporal, se ha calculado la pendiente del aumento del nivel del mar de forma lineal y se ha determinado la tasa de crecimiento horario, acumulada a lo largo de la serie temporal.

Finalmente, se plantea una tercera aproximación que consiste en incorporar el retroceso debido al aumento del nivel medio del mar en el término  $\Delta Y_0$  de la ecuación de Miller y Dean. Así, y de acuerdo a la teoría de Bruun, el aumento del nivel medio del mar se traduce en un retranqueo de la línea de costa que restringe las posiciones de avance (acrecciones) del perfil.



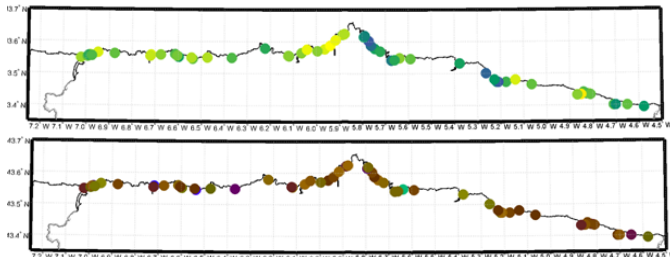
# Ecosistemas - PLAYAS

Además del retroceso medio y el percentil de retroceso del 95%, parámetros obtenidos tras el análisis del régimen medio, se han obtenido otros estadísticos asociados al régimen extremal: el retroceso de la línea de costa de 5, 10, 25 y 50 años de periodo de retorno, eso es, el retranqueo que por efecto conjunto del aumento del NMM y de temporales marítimos se producirá, al menos, una vez cada 5, 10, 25 y 50 años.

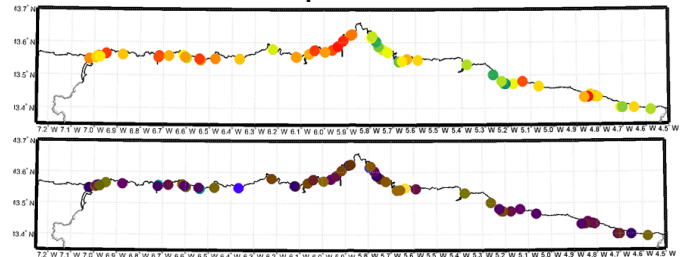
Figura 70. Distribución espacial de los cuantiles de 5, 10, 25 y 50 años de periodo de retorno (paneles superiores) y de los indicadores de erosión asociados a ellos (paneles inferiores) para un aumento del NMM de 1 m

## REFERENCIA 2100 Aumento del NMM= 1 m

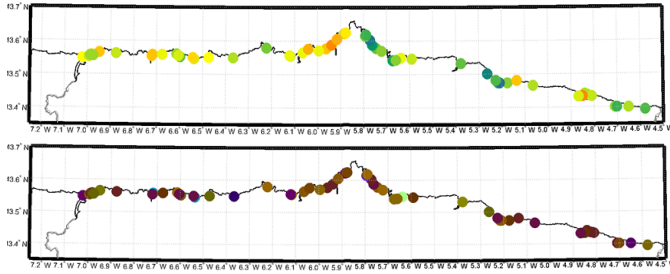
### 5 años de periodo de retorno



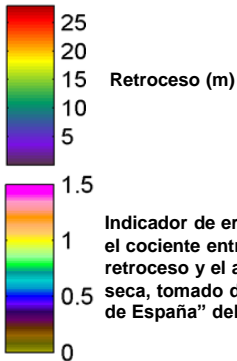
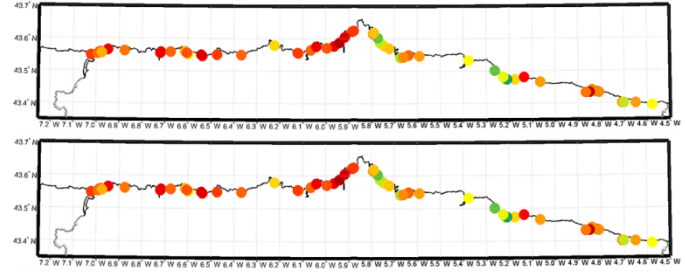
### 25 años de periodo de retorno



### 10 años de periodo de retorno



### 50 años de periodo de retorno



Con un aumento del NMM de 1 m, la erosión de 50 años causará un retroceso de la línea de costa mayor a 22 metros en 22 de las 57 playas de estudio, entre las que se encuentra san Lorenzo, El Moro, La Grande, Salinas y Xagó, perderán en ese caso más de 26 m de playa seca y las playas de San Juan y Torimbia retrocederán su línea de costa en torno a los 27 m.

Con respecto a los indicadores de erosión, para el retroceso de 50 años de periodo de retorno, las playas de Cadavedo y Mexota superarán el valor de 0.5 y La Ribera alcanzará el umbral del 0.6. Sin embargo, las playas más preocupantes son las de El Moro, Luarda y Cervigón pues llegarán a valores del indicador de 0.75, 0.84 y 1.14, respectivamente, por lo que las dos primeras estarán en peligro de perder toda su playa seca y la última la habrá perdido ya por completo.





## ¿Cómo afecta el cambio climático a la población?

En las últimas décadas se ha producido un aumento de la población residente en la franja costera, estimulado por el crecimiento demográfico y la constante reconfiguración de los usos del suelo, que ha dado lugar a una mayor rigidización del litoral.

Las complejas interacciones que coexisten entre el sistema natural y socioeconómico sugieren que las consecuencias derivadas del cambio climático pueden manifestarse de muchas formas. Eventos de calor extremos pueden provocar enfermedades e incluso la muerte, problemas cardiovasculares, respiratorios, etc. Cambios en el régimen de precipitaciones pueden afectar a la calidad del agua de consumo humano. Sin embargo, además de los impactos que actúan directamente sobre la salud de las personas existen otros que atentan contra su seguridad, un asunto transversal, ya que afecta a otros sectores, y que tiene gran relevancia, siendo las principales amenazas las derivadas de temporales y otros fenómenos meteorológicos extremos.

La inundación costera y el riesgo que ésta supone para las personas es un problema especialmente preocupante. La evidente subida del nivel medio del mar pone de manifiesto la necesidad de movilizar a la población y reubicar asentamientos urbanos situados en zonas de alto riesgo. Por otro lado, el cambio climático conlleva posibles alteraciones en la frecuencia, la intensidad, la extensión o la duración de

eventos extremos que, combinados con el aumento de nivel, pueden llegar a ocasionar graves consecuencias no sólo económicas sino también sociales.

Las consecuencias que el cambio climático puede tener sobre la población es información imprescindible para la toma de decisiones y la implementación de medidas de adaptación eficientes.

## ¿Qué cubre este análisis?

El objetivo fundamental de este análisis es el de evaluar las consecuencias derivadas del impacto de inundación costera sobre la población residente en el litoral asturiano. El estudio se ha realizado bajo las hipótesis de distintos escenarios de riesgo que combinan cambios en el clima y cambios en el sistema socioeconómico, incorporando las proyecciones de población realizadas por el Gobierno del Principado de Asturias. Mediante el uso de un modelo hidrodinámico bidimensional se ha obtenido la caracterización de la inundación costera máxima para cada caso considerado. Los resultados, representativos de la susceptibilidad actual del sector, se han expresado en porcentaje de población afectada en dos escalas espaciales: desagregados a nivel de concejo y agregados a nivel de provincia.

## Resultados Clave

- 1 Para los escenarios que combinan eventos extremos con aumentos del NMM de 0.45 y 0.65 m a 2100, y en caso de no incorporar medidas de adaptación, la población afectada superará el 1% de la población total de Asturias.
- 2 Los concejos con mayor proporción de población afectada son los que disponen de núcleos importantes de población a orillas de las grandes rías asturianas: Ribadesella, Muros de Nalón y Soto del Barco.
- 3 Ribadesella y Navia, seguidas de Colunga, Muros de Nalón, Castropol y Soto del Barco serán los concejos que sufrirán un mayor incremento de población afectada por efecto del aumento del NMM.
- 4 Ribadesella, Muros de Nalón, Navia y Soto del Barco podrán alcanzar a final de siglo porcentajes de población afectada del 17.3%, 10%, 9.6% y 9.5%, respectivamente, seguidos de Colunga con prácticamente el 8%.

## Caracterización de la vulnerabilidad

La distribución espacial de la población se ha realizado a través de un ráster de población europea de resolución horizontal 100 x 100 m producido por el Joint Research Centre (JRC) en 2011 (Batista e Silva et al., 2013).

Figura 71. Ráster de población europea de resolución 100x100 en el litoral asturiano

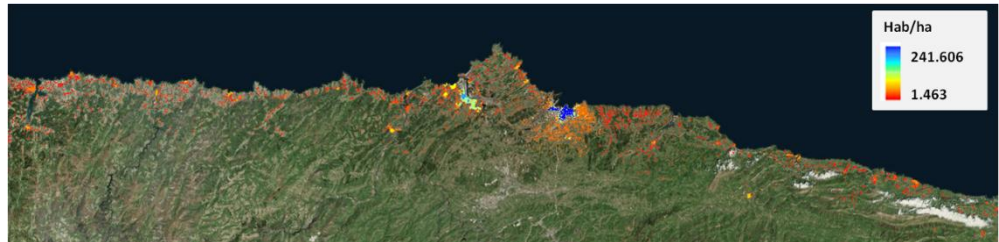
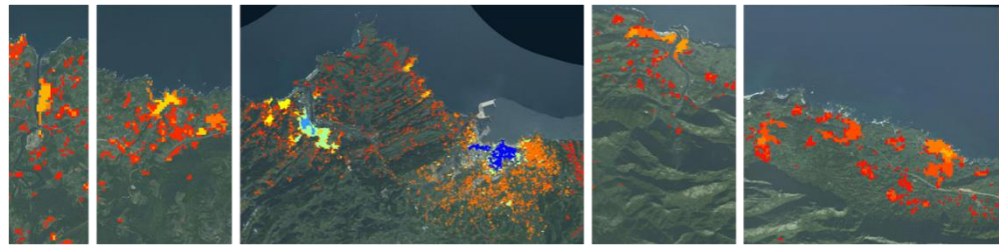


Figura 72. Ampliación del ráster de población europea en las zonas de Navia (panel izquierdo), Lluvia (panel centro-izquierdo), Cabo Peñas (panel central), Ribadesella (panel centro-derecho) y Llanes (panel derecho)



## Escenarios

Los escenarios de riesgo propuestos para estimar las consecuencias sobre la población están basados en la combinación de cambio en el clima y cambios en la población. Extrapoladas a mitad de siglo, **se han asumido las proyecciones del Gobierno del Principado de Asturias, que llegan hasta 2030 y cuya tasa anual de crecimiento negativo es del 0.437%** (S1). Sin embargo, para 2100, dada la tendencia de decrecimiento de la población tan pronunciada que presentan las proyecciones, se ha decidido asumir la hipótesis razonable de mantener la población actual (S0).

Tabla 5. Escenarios de riesgo para evaluar las consecuencias sobre la población

HORIZONTE TEMPORAL	TIPO DE INUNDACIÓN	ESCENARIOS CLIMÁTICOS	ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS	ESCENARIOS DE RIESGO
PRESENTE	Evento Extremo	T=100	S0	Escenario1
		T=500	S0	Escenario2
AÑO 2050	E. Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.24 m	S1	Escenario3
		T=500, SLR=0.24 m	S1	Escenario4
AÑO 2100	Permanente	SLR=1 m	S0	Escenario5
	E. Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.45* m	S0	Escenario6
		T=500, SLR=0.45* m	S0	Escenario7
		T=100, SLR=0.65** m	S0	Escenario8
		T=500, SLR=0.65** m	S0	Escenario9

\*: valor medio del RCP4.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

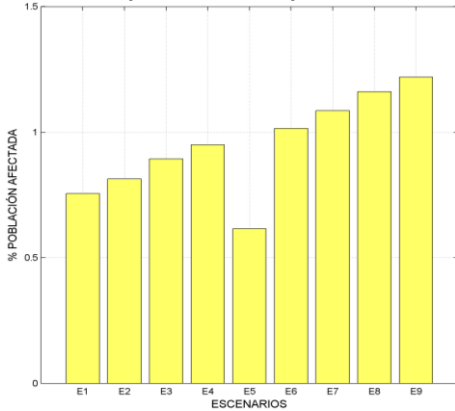
## Acerca de los resultados

Es importante señalar que los resultados que se presentan a continuación son indicadores de la susceptibilidad actual de la población ya que, a partir de un cierto aumento del nivel medio del mar, se produciría una reubicación de asentamientos urbanos en riesgo. El aprendizaje y maduración de la sociedad no han sido tenidos en cuenta.

## Riesgo de inacción sobre la población

Utilizando la base de datos de población y los escenarios climáticos y tendencias demográficas correspondientes a los años horizonte 2050 y 2100, se ha obtenido la **población expuesta** a inundación permanente y a eventos extremos (en términos de porcentaje referido al censo de 2010), **en caso de no incorporar medidas de adaptación**.

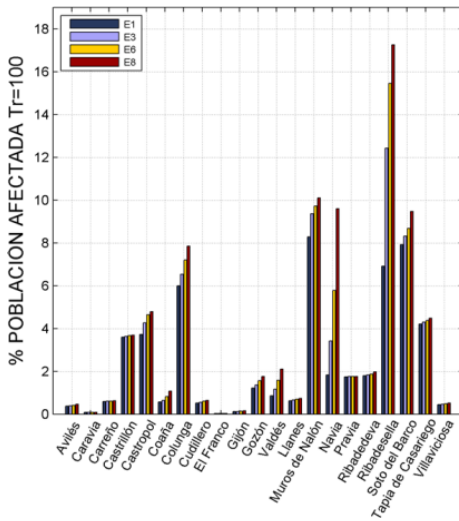
**Figura 73. Porcentaje de población afectada para cada escenario respecto al total de población de la provincia**



Para los escenarios que combinan eventos extremos con aumentos del NMM de 0.45 y 0.65 m a 2100 (E6 a E9), la población afectada supera el 1% de la población total del Principado de Asturias, que en 2100 ascendía a 1,084,000 habitantes. Las consecuencias sociales derivadas del escenario de inundación permanente (E5) conllevarán la reubicación de toda la población envuelta (cerca del 0.65% de la población asturiana) pues los terrenos inundados quedarán totalmente anegados, perdiéndose su uso.

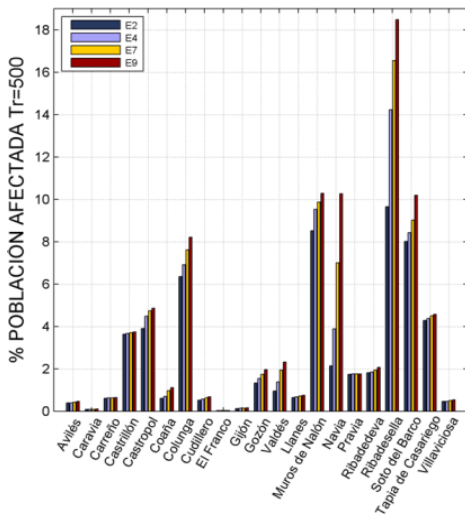
**Figura 74. Porcentaje de población afectada por concejo**

Para los escenarios correspondientes a los eventos de 100 y 500 años de periodo de retorno



El rango de disimilitud entre los eventos de 100 y 500 años de retorno oscila entre prácticamente 0% y 2.8%, observándose las mayores discrepancias en Ribadesella para los escenarios representativos del clima presente y de las consecuencias a medio plazo.

Los concejos con mayor proporción de población afectada son los que disponen de núcleos importantes de población a orillas de grandes rías: Ribadesella, Muros de Nalón y Soto del Barco.



Los mayores incrementos de población afectada por efecto del aumento del NMM se producen en Ribadesella y Navia, seguidas de Colunga, Muros de Nalón, Castropol y Soto del Barco, dependiendo del escenario y del cuantil considerado.

## Metodología

### Cálculo de consecuencias

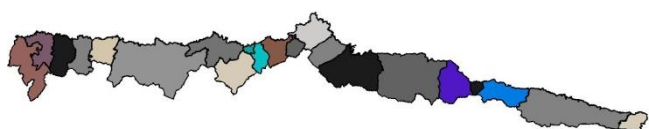
La metodología desarrollada para **evaluar las consecuencias del impacto de inundación sobre la población** asturiana se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Determinación del número de habitantes afectados por concejo para cada uno de los escenarios climáticos propuestos.
2. Procesado de los datos obtenidos para expresar los resultados en porcentajes respecto al total de la población de cada concejo, de acuerdo al contexto socioeconómico considerado en el correspondiente escenario de riesgo.

# Población

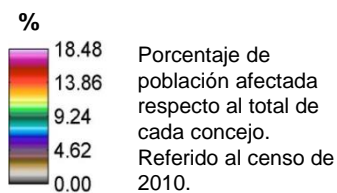
Las siguientes figuras muestran los resultados obtenidos expresados en términos de porcentaje respecto al total de población de cada concejo, referido al censo de 2010.

## BASE

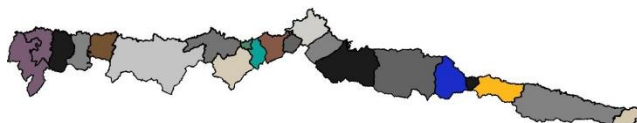


### Escenario 1.- CLIMA PRESENTE: Tr1=100, S0

Para el temporal de 100 años de periodo de retorno con el NMM actual, Muros de Nalón alcanza el 8,3% de la población afectada seguido de Soto del Barco y Ribadesella con 8% y 7%, respectivamente. Los concejos de El Franco, Caravia y Gijón son los menos afectados.



## REFERENCIA 2050



**Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1**  
Se han aplicado las proyecciones oficiales de población elaboradas por el gobierno del Principado de Asturias.

Ribadesella alcanzará el 12.5% de población afectada y los concejos de Muros de Nalón y Soto del Barco se mantendrán cerca del 9% y del 8%, respectivamente. Debido al aumento del NMM, Navia aumentará su población afectada del 2% al 3.5%.

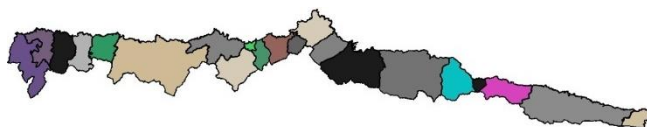
## REFERENCIA 2100



**Escenario 5.- HORIZONTE= 2100: SLR4= 1 m, S0**

### INUNDACIÓN PERMANENTE

Los concejos con mayor proporción de población afectada serán Soto del Barco y Muros de Nalón con el 7.4% y el 7.2%, respectivamente, seguidos de Ribadesella con un 5.5% y Colunga con un 4.5%.



**Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S0**

Ribadesella, Muros de Nalón, Navia y Soto del Barco podrán alcanzar a final de siglo porcentajes de afección del 17.3%, 10%, 9.6% y 9.5%, respectivamente, seguidos de Colunga con prácticamente el 8%.

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

## Limitaciones

Para la estimación de las consecuencias sobre la población hay que tener en cuenta la diferencia de resolución existente entre la base de datos de población empleada (100 m) y el Modelo Digital de Terreno (5 m), lo que podría dar lugar a una sobrestimación de los resultados. Esta limitación se ha intentado solventar llevando las celdas del ráster de población a la misma resolución que el MDT, llevando a cabo un reparto homogéneo de la población en cada una de ellas. Esta aproximación ha permitido reducir la sobrestimación de la población afectada, pero asume un reparto espacial que no tiene por qué corresponderse con la realidad.





## ¿Cómo afecta el cambio climático al stock de viviendas?

El aumento demográfico que se ha producido en la franja costera durante los últimos años debido a la elevada demanda turística, residencial y recreativa se ha traducido en un crecimiento desmesurado del número de viviendas en localidades cercanas al mar, en algunos casos construidas en zonas inundables. El actual modelo de desarrollo urbanístico en áreas de riesgo junto con la acción del cambio climático conllevan un aumento del riesgo de inundación costera. Aunque no es posible evitar la totalidad de las inundaciones, existen acciones que pueden ayudar a gestionar estos riesgos y reducir de forma considerable el impacto sobre las comunidades. La concienciación y los procesos de planificación y reordenamiento urbano, la adecuada zonificación de los usos del suelo y la definición de zonas que no pueden ser habitadas (por ejemplo, aquellas muy próximas al DPMT), entre otros, son herramientas de control y seguimiento necesarias para una gestión integrada de la costa.

## ¿Qué cubre este análisis?

El objetivo de este análisis es el de estimar el alcance de las consecuencias del impacto de inundación por cambio climático sobre las viviendas de la costa del Principado de Asturias. Para ello ha sido necesario emplear un indicador del valor económico de los activos fijos inmuebles existentes en el litoral asturiano que es el stock de capital de vivienda. Dado que para este estimador sólo se ha dispuesto de información agregada a nivel provincial, se ha desagregado

en las áreas urbanas residenciales de cada concejo empleando un factor corrector en función del nivel de renta. De este modo se ha conseguido mejorar la caracterización del tejido urbano pues el valor de la vivienda no responde a una distribución homogénea en todo el territorio. Por otro lado, la evaluación de daños por efecto de inundaciones es distinta en función de la naturaleza de las mismas. Por ejemplo, si la inundación producida se debe al aumento del nivel medio del mar las consecuencias experimentadas son irreversibles y se asume que el daño es total ya que los terrenos afectados quedan totalmente anegados perdiéndose así su uso y disfrute de forma permanente. Sin embargo, si se trata de una inundación eventual ocasionada por un evento extremo, el daño efectivo dependerá esencialmente de la cota de inundación alcanzada. Para este segundo caso hemos calculado por un lado la cota máxima del daño posible (máximo daño potencial) y el daño efectivo provocado por evento descrito. Los escenarios de riesgo, además de cambios en el clima, responden a cambios en el sistema económico. Con el fin de estimar estos cambios se han realizado proyecciones basadas en el crecimiento tendencial mínimo extrapolado a 2050 y 2100, los dos años horizonte considerados. Para poder tratar de manera homogénea las consecuencias derivadas de los distintos horizontes temporales considerados y hacerlos así comparables entre ellos y con el contexto económico actual, es necesaria la aplicación de una tasa de descuento, un parámetro difícil de determinar y que condiciona significativamente los resultados. Los daños obtenidos se han expresado por concejo y como porcentaje respecto al valor del stock de capital de vivienda total de todo el principado de Asturias.

## Resultados Clave

- 1 Ante la inacción, Ribadesella y Gozón son los dos concejos más afectados, seguidos de Navia, Avilés y Castropol. El primero supera en **daños efectivos** el 0.3% del valor del stock de capital de vivienda para un aumento del NMM de 0.65 m y eventos de periodo de retorno elevados.
- 2 Debido exclusivamente al aumento del NMM, los daños se acentúan especialmente en Ribadesella para los escenarios representativos de final de siglo por desbordamientos de la ría.
- 3 Los resultados son muy sensibles a la tasa de descuento empleada siendo ésta un parámetro que representa las preferencias y preocupaciones intergeneracionales de la sociedad, con implicaciones sociales psicológicas y éticas.

## Caracterización de la vulnerabilidad

Con el fin de obtener una distribución espacial de las viviendas asturianas se ha empleado la Base Cartográfica Numérica (BCN25) complementada con la Base Topográfica Nacional (BTN25). Estas bases de datos, ambas del Instituto Geográfico Nacional (IGN) y con cobertura nacional a escala 1:25000, proporcionan infraestructuras básicas de datos vectoriales capturados directamente sobre el terreno o mediante técnicas indirectas de adquisición como la restitución fotogramétrica, digitalización sobre ortofotografías, etc.

**Figura 75. Distribución espacial de viviendas de la base de datos BCN25/BTN25 en el litoral del Principado de Asturias**



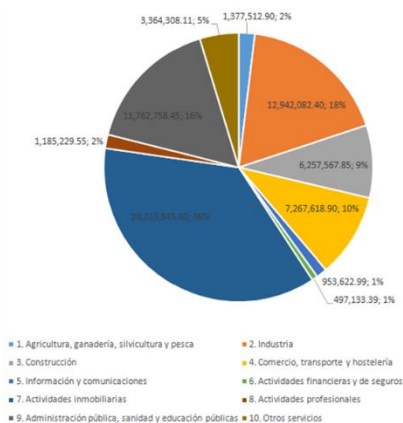
**Figura 76. Ampliación de las zonas de Luarca, Luanco y Gijón**



El factor económico de la vulnerabilidad se ha caracterizado a través de indicadores tales como el stock de capital, que comprende el conjunto de activos fijos durables utilizados directamente en la producción de bienes y servicios, resultado de los flujos de inversión pasados, de su composición por tipos de activo y del ritmo de depreciación de cada uno de estos.

La Fundación BBVA dispone de bases de datos sobre stock de capital de España que periódicamente son actualizadas. La figura 79 muestra los datos correspondientes al Principado de Asturias por rama de actividad. Estos datos tienen un nivel de agregación provincial.

**Figura 77. Stock de capital neto de 2011 del Principado de Asturias por ramas de actividad**  
En miles de euros de 2006 (Fundación BBVA)



Por otro lado, y empleada en este estudio únicamente como instrumento de reparto para obtener datos a escala reducida a partir de fuentes agregadas, la Renta Disponible Ajustada Neta (RDAN) responde al resultado de sumar a la renta regional disponible las transferencias sociales en especie, que incluyen las prestaciones gratuitas de sanidad y educación, entre otras. La RDAN desagregada a nivel de concejo se ha obtenido de la Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (SADEI), encargada de elaborar estadísticas sobre magnitudes económicas, renta y gasto de los hogares asturianos.

**Figura 78. Renta Disponible Ajustada Neta**  
Año de referencia 2010 (SADEI)

	Saldo de rentas primarias neto	Renta disponible neta	Renta disponible ajustada neta
<b>ASTURIAS</b>	<b>13,926</b>	<b>14,189</b>	<b>16,814</b>
1 Allande	11,428	12,525	14,744
2 Aller	10,380	14,553	16,854
3 Arnieva	9,932	12,174	14,377
4 Avilés	14,481	14,120	16,910
5 Belmonte de Miranda	12,342	14,582	16,329
6 Bimenes	10,485	14,334	16,622
7 Boal	11,734	13,253	15,295
8 Cabrales	11,745	12,930	15,273
9 Cabranes	9,147	11,383	13,773
10 Candamo	11,110	12,871	15,174

## Escenarios

Para estimar las consecuencias del impacto de inundación sobre las viviendas asturianas se han propuesto escenarios de riesgo que contemplan cambios en el clima y cambios socioeconómicos. Estos últimos responden a cambios en el stock de capital de vivienda y en la renta per cápita, habiendo considerado como horizontes temporales el clima presente (S0), el año 2050 (S1) y el año 2100 (S2).

Tabla 6. Escenarios de riesgo para evaluar las consecuencias sobre la vivienda

HORIZONTE TEMPORAL	TIPO DE INUNDACIÓN	ESCENARIOS CLIMÁTICOS	ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS	ESCENARIOS DE RIESGO
PRESENTE	Evento Extremo	T=100	S0	Escenario1
		T=500	S0	Escenario2
AÑO 2050	E. Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.24 m	S1	Escenario3
		T=500, SLR=0.24 m	S1	Escenario4
AÑO 2100	Permanente	SLR=1 m	S2	Escenario5
	E. Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.45 m	S2	Escenario6
		T=500, SLR=0.45 m	S2	Escenario7
		T=100, SLR=0.65 m	S2	Escenario8
		T=500, SLR=0.65 m	S2	Escenario9

Las tasas de cambio anual empleadas en este estudio corresponden a las tasas medias de cambio del crecimiento menor experimentado en los últimos 5, 10, 15, 20, 25, 30,... años. En el caso del stock de capital inmobiliario se ha extrapolado a 2050 y 2100 con una tasa de crecimiento anual positiva del 1.946%, aplicada a todos los concejos. Las proyecciones de renta per cápita, sin embargo, están desagregadas a nivel de concejo y se encuentran en los rangos 1.4%-2.26% y 1.23%-3.02%, para el medio y el largo plazo respectivamente.

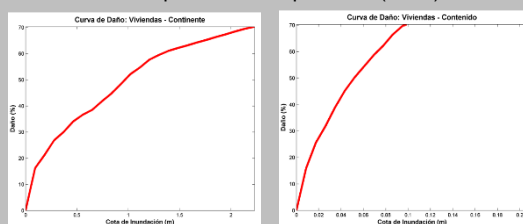
Cabe puntualizar que tanto la renta per cápita como sus proyecciones, entendidas como instrumentos de reparto, se han empleado con el fin de medir el impacto económico redistributivo asociado al stock de capital de vivienda, del que sólo se disponen datos agregados a nivel provincial.

## Metodología *Cálculo de consecuencias*

Las **consecuencias sobre el continente y contenido de las viviendas** de Asturias se han calculado mediante el siguiente procedimiento:

- Para cada concejo y escenario propuesto, se ha calculado el área afectada de stock de capital de vivienda. Estas áreas se han valorado en unidades monetarias constantes considerando que las capas vectoriales de viviendas de las que se dispone representan el total del stock de capital de vivienda e industrial agregado de la provincia. **Se ha asumido que el valor del contenido de las viviendas es equivalente a una tercera parte del valor del stock de capital de fijo residencial.**
- Dado que la información relativa al stock de capital está agregada a nivel provincial, se ha tratado de mejorar la caracterización del tejido urbano mediante la aplicación de un factor corrector en función de la renta que se obtiene dividiendo la renta per cápita media de cada concejo entre la renta per cápita media del Principado de Asturias. Esto ofrece una imagen más equilibrada pues los concejos cuya población tenga mayor poder adquisitivo dispondrán de mejores y más costosas residencias.
- Se han aplicado curvas de daño en los casos de inundación por evento extremo. De este modo, se ha obtenido el **daño efectivo**, que es función de la cota de inundación alcanzada. Para el escenario de inundación permanente, sin embargo, se ha asumido el **daño máximo**, que es siempre total dado que los terrenos inundados quedan anegados y se pierden definitivamente.

Figura 79. Curvas de daño de viviendas Adaptadas de Gopi Goteti (2014)



- Se han proyectado las consecuencias a 2050 y 2100 según su evolución tendencial.
- Para poder tratar de manera homogénea las consecuencias derivadas de los escenarios planteados a medio y a largo plazo y hacerlos así comparables entre ellos y con el contexto socioeconómico actual, se ha aplicado una tasa de descuento de manera que no sólo estén expresados en unidades monetarias constantes del presente sino que, además, se haya tenido en cuenta el impacto diferenciado entre distintos años horizonte.

Para ello, se han seguido las pautas establecidas en el HMTO Green Book (2011) donde se recomiendan tasas de descuento reducidas para largo plazo respecto de las fijadas a corto plazo y medio plazo. Por otro lado, se recomienda calcular el tipo de actualización de flujos a partir del tipo de crecimiento. Por ello, se han empleado unas tasas de descuento del 2% a 2050 y del 1% a 2100.

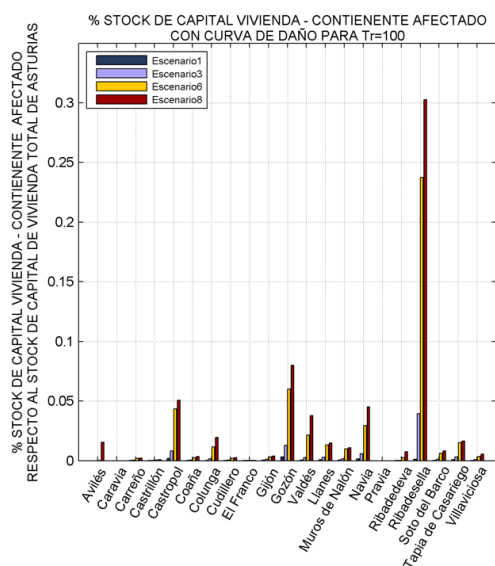
## Acerca de los resultados

El problema de evaluar y comparar fenómenos que ocurren en distintos momentos del tiempo se resuelve introduciendo una tasa de descuento que minimiza el peso de los daños a medida que se alejan en el tiempo. Como resultado de aplicar este método, se tiene una idea de la cuantía del esfuerzo inversor que resultaría tolerable en el presente para resolver problemas de daños futuros. Sin embargo, eso hace que se vea de forma distorsionada la importancia de eventos que pese a ser graves están alejados en el tiempo. En este estudio se han obtenido los resultados de las dos formas, sin descontar para caracterizar la gravedad de un escenario, y descontado para evaluar la importancia relativa de los escenarios en distintos años horizontes. De esta manera se puede separar la gravedad del escenario y la urgencia que representa según el momento en que se espera su ocurrencia. Las cifras descontadas indican el esfuerzo que la sociedad presente asumiría como máximo para evitar el daño esperado en el año horizonte, como evento único, asumiendo la tasa de descuento empleada como representativa de sus decisiones inversoras.

## Riesgo de inacción sobre el stock de capital de vivienda

Los resultados obtenidos recogen el **riesgo sobre el continente y el contenido del stock de capital** bajo distintas hipótesis que combinan inundación permanente y eventos extremos, **en caso de no incorporar medidas de adaptación.**

### CONTINENTE

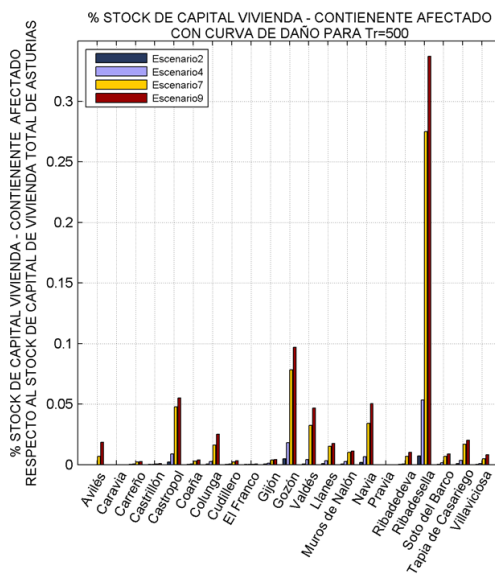


**Figura 80. Porcentaje de daño efectivo sobre el stock de capital de vivienda – continente por concejo**

Para los escenarios con eventos de 100 y 500 años de periodo de retorno

Ribadesella y Gozón son los dos concejos más afectados, seguidos de Navia, Avilés y Castropol.

La contribución del aumento del NMM a la inundación será especialmente acusada en Ribadesella para los escenarios representativos de final de siglo a causa de desbordamientos de la ría.



## Limitaciones

Los datos de renta per cápita de la SADEI están desagregados a nivel de concejo por lo que no ha sido necesario llevar a cabo ninguna reducción de escala. Sin embargo, los datos relativos al stock de capital obtenidos de la Fundación BBVA responden a una agregación provincial por lo que se han extraído los resultados en cada concejo asumiendo un ratio €/ha homogéneo en todo el Principado de Asturias, lo cual no es del todo correcto. Para minimizar este error se ha aplicado un coeficiente reductor en función de la renta per cápita.

Por otro lado, la construcción de escenarios socioeconómicos plausibles tomando la media de crecimiento menor y extrapolando a los distintos horizontes temporales considerados es adecuada para estimar hasta dónde se podría llegar en caso de no actuar frente al cambio climático, pero en ningún caso para pronosticar daños.

Finalmente, y respecto a la evaluación de consecuencias económicas, cabe apuntar que la tasa de descuento empleada es una de las variables que más influyen en el resultado de la evaluación del mismo.

## CONTINENTE

### RESULTADOS PROYECTADOS SIN DESCONTAR

#### BASE

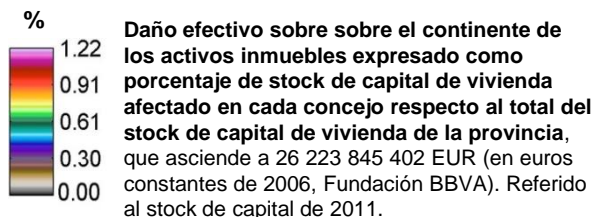


Daño máximo



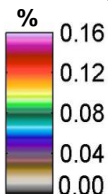
Daño efectivo

Escenario 1.- CLIMA PRESENTE: Tr1=100, S0



Ribadesella es el concejo que sufre los mayores daños, pudiendo superar el 1% de activos potencialmente afectados y el 0.3% de daños efectivos, a final de siglo. Para eventos meteorológicos extremos y considerando el NMM actual, se aprecian daños efectivos sobre los inmuebles del concejo de Gozón por valor del 0.003% de su stock de capital de vivienda total (0.012% de daño máximo). Los concejos que sufren menores consecuencias, sin embargo, son El Franco, Coaña, Castrillón y Carreño. Por otro lado, y en lo que respecta al escenario de inundación permanente (E5) sólo se observan daños significativos en Navia, debido a la gran extensión de zonas bajas próximas a las márgenes de la ría.

### RESULTADOS PROYECTADOS DESCONTADOS



#### REFERENCIA 2050



Daño máximo



Daño efectivo

Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1  
Tasa anual de descuento aplicada: 2%

#### REFERENCIA 2050



Daño máximo



Daño efectivo

Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1

#### REFERENCIA 2100



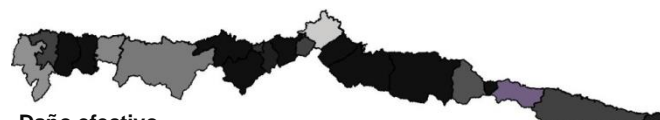
Daño efectivo

#### INUNDACIÓN PERMANENTE

Escenario 5.- HORIZONTE= 2100: SLR4= 1 m, S2



Daño máximo



Daño efectivo

Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2

Daño efectivo descontado sobre el continente de los activos inmuebles expresado como porcentaje de stock de capital de vivienda afectado en cada concejo respecto al total del stock de capital de vivienda de la provincia, que asciende a 26 223 845 402 EUR (en euros constantes de 2006, Fundación BBVA). Referido al stock de capital de 2011.

#### REFERENCIA 2100



Daño máximo



Daño efectivo

Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2  
Tasa anual de descuento aplicada: 1%

# Infraestructura



Durante el último medio siglo se ha producido un abuso en la utilización de las zonas costeras. La revalorización de las mismas y el potencial económico que poseen han propiciado su ocupación de forma masiva y descontrolada obviando los riesgos asociados a los fenómenos naturales que se desarrollan en ellas. Esto ha incentivado la construcción de viviendas, instalaciones industriales o la ocupación de suelo con fines agrícolas en zonas potencialmente peligrosas amenazadas por inundaciones.

El riesgo de inundación sobre las infraestructuras críticas es un aspecto particularmente preocupante. El alto nivel de desarrollo de las sociedades descansa en su mayor parte en una serie de servicios básicos y esenciales sin los cuales la

vida diaria de los ciudadanos se vería totalmente alterada. Garantizar la seguridad de los suministros de estos servicios básicos ante amenazas climáticas requiere catalogarlas y disponer de la información necesaria para plantear políticas, estrategias y medidas de adaptación. Pero no son sólo las infraestructuras críticas las que garantizan el buen funcionamiento del sistema, la industria juega un papel fundamental en el desarrollo económico asturiano. Industrias químicas, alimenticias, metalúrgicas, entre otras, se ubican, en gran parte, en las ciudades costeras de Gijón y Avilés. Ante la inacción, inundaciones debidas al cambio climático causarán graves daños tanto a infraestructuras como a la producción que se desarrolla en ellas.

## SUBSECTORES

### Infraestructuras Críticas



### Instalaciones Industriales





### ¿Cómo afecta el cambio climático a las infraestructuras críticas?

Las importancias de las infraestructuras críticas radica en su extrema necesidad para el funcionamiento normal de los servicios básicos y los sistemas de producción de cualquier sociedad. Una interrupción no deseada, ya sea debida a causas naturales o técnicas, tendría graves consecuencias en los flujos de suministros vitales o en el funcionamiento de los servicios esenciales, aparte de ser una fuente de perturbaciones graves en materia de seguridad. El riesgo de inundación por la subida del nivel del mar y los fenómenos meteorológicos extremos sobre redes de abastecimiento, saneamiento, depuradoras, sistemas de bombeo, carreteras, centrales eléctricas y transformadores, entre otras infraestructuras, puede llegar a alterar de forma significativa la vida de la población. Aunque quede fuera del alcance de este trabajo, deberían tenerse en cuenta, además, los problemas de intrusión salina en ríos y acuíferos así como la subida del nivel freático que podría afectar al funcionamiento de redes y servicios subterráneos así como a la calidad de los terrenos y a las condiciones sanitarias del entorno.

### ¿Qué cubre este análisis?

El objetivo de este estudio es en primer lugar, identificar las infraestructuras críticas existentes en el litoral asturiano pues para poder gestionar el riesgo al que están expuestas el primer paso es su catalogación. Para ello se ha empleado la clasificación establecida en el Plan Nacional de Infraestructuras Críticas, regida por la Ley 8/2011 de 28 de abril, por la que se establecen medidas para su protección.

Una vez localizadas y en función de las bases de datos disponibles, principal limitante del alcance del análisis realizado, se ha evaluado el riesgo de inundación derivado de cada uno de los escenarios de cambio climático propuestos en este trabajo. Los mapas de inundación se han obtenido mediante el uso de un modelo hidrodinámico bidimensional que cuenta con la topografía subyacente como elemento de la malla de cálculo. Las infraestructuras críticas puntuales tales como industrias de alimentación, transformadores, estaciones eléctricas, infraestructuras de carreteras y estaciones de ferrocarril, se han contabilizado por unidades afectadas y, las infraestructuras críticas lineales, por km lineal afectado. Cabe señalar que el estudio se ha centrado en identificar las infraestructuras críticas en riesgo, no en definir el nivel de riesgo en el que se encontrará cada una, por lo que no se ha tenido en cuenta la cota de inundación alcanzada en cada caso.

## Resultados Clave

1 En todos los casos, y sin considerar medidas de adaptación, el agua llega a carreteras convencionales y, a excepción del escenario de inundación permanente, también a líneas de ferrocarril e infraestructuras de carreteras, como es el caso de aparcamientos o estaciones de autobús.

2 Sin tomar medidas de adaptación frente al cambio climático, en el escenario de inundación permanente 1.86 km de carretera convencional se completamente anegados perdiendo su funcionalidad.

3 Los escenarios en los que se producen mayores daños ante la inacción son los que responden a la combinación de un evento extremo con una subida de nivel de 0.65 m, donde se verán afectados hasta 85 km de carretera convencional, más de 45 km de vía ferroviaria, una central lechera cerca de Cueva, un transformador eléctrico en Ribadesella y una subestación eléctrica y una estación de ferrocarril en a orillas de la ría de Avilés.

## Caracterización de la vulnerabilidad

Las Infraestructuras Críticas (IC) según se definen en la Ley 8/2011, de 28 de abril, por la que establecen medidas para su protección, engloban el conjunto de recursos, servicios, tecnologías de la información y redes que, en el caso de sufrir daños, causarían gran impacto en la seguridad, tanto física como económica, de los ciudadanos o del buen funcionamiento del sistema.

De acuerdo a la clasificación establecida en el Plan Nacional de Infraestructuras Críticas, y teniendo en cuenta que este estudio pretende evaluar el riesgo de inundación, se ha llevado a cabo una selección de capas vectoriales de las bases de datos BNC25/BTN25 del IGN que incluyen los siguientes elementos: torres de alta tensión, depósitos, antenas, depuradoras y sistemas de bombeo, infraestructuras de carreteras, infraestructuras aeroportuarias, centrales eléctricas, transformadores eléctricos, industria alimenticia, autopistas y autovías, líneas de ferrocarril, carreteras convencionales.

Figura 81. Distribución espacial de infraestructuras críticas de la base de datos BNC25/BTN25 en el litoral del Principado de Asturias



Figura 82. Ampliación de las zonas de Cueva, San Juan de la Arena, Avilés y Gijón



## Escenarios

Con el objetivo de analizar las consecuencias del impacto de inundación sobre las infraestructuras críticas asturianas se han configurado escenarios climáticos que responden a la combinación de eventos extremos y aumentos del nivel medio del mar.

Tabla 7. Escenarios de riesgo para infraestructuras críticas afectadas

HORIZONTE TEMPORAL	TIPO DE INUNDACIÓN	ESCENARIOS CLIMÁTICOS	ESCENARIOS DE RIESGO
PRESENTE	Evento Extremo	T=100	Escenario1
		T=500	Escenario2
AÑO 2050	E. Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.24 m	Escenario3
		T=500, SLR=0.24 m	Escenario4
AÑO 2100	Permanente	SLR=1 m	Escenario5
	E. Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.45* m	Escenario6
		T=500, SLR=0.45* m	Escenario7
		T=100, SLR=0.65** m	Escenario8
		T=500, SLR=0.65** m	Escenario9

\*: valor medio del RCP4.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

## Acerca de los resultados

Los resultados obtenidos muestran las infraestructuras críticas en riesgo de inundación sin llegar a evaluar el nivel de riesgo del que se trata en cada caso, por lo que no se ha tenido en cuenta la cota de inundación alcanzada.



## Riesgo de inacción sobre infraestructuras críticas

Tras realizar la selección de los subsistemas críticos en la zona de estudio, se han identificado las infraestructuras bajo el área de afección de los escenarios propuestos. Las figuras 83-88 muestran los resultados obtenidos en cada caso.

**BASE**

Figura 83. Escenario 1: distribución espacial de las infraestructuras críticas afectadas



Figura 84. Escenario 1: detalle de las infraestructuras críticas afectadas en San Pedro, San Antolín, Ribadesella y Toró



El agua alcanza, principalmente, carreteras convencionales en varios puntos de la costa asturiana y aparcamientos en San Pedro, San Esteban de Pravia, Bañugues, Ribadesella y San Antolín.

**REFERENCIA 2050**

Figura 85. Escenario 3: distribución espacial de las infraestructuras críticas afectadas



Figura 86. Escenario 3: detalle de las infraestructuras críticas afectadas en San Pedro, Colunga, Ribadesella y Nalón



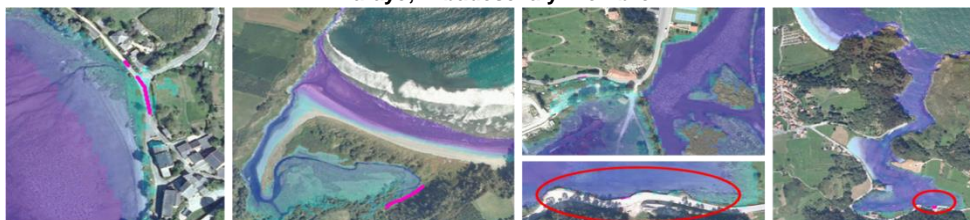
Numerosas infraestructuras de carreteras y recorridos de carretera convencional quedarán bajo el área inundada. Más de 3 km de línea ferroviaria se verán también afectados a orillas de la ría de Ribadesella.

**REFERENCIA 2100**

Figura 87. Escenario 5: distribución espacial de las infraestructuras críticas afectadas



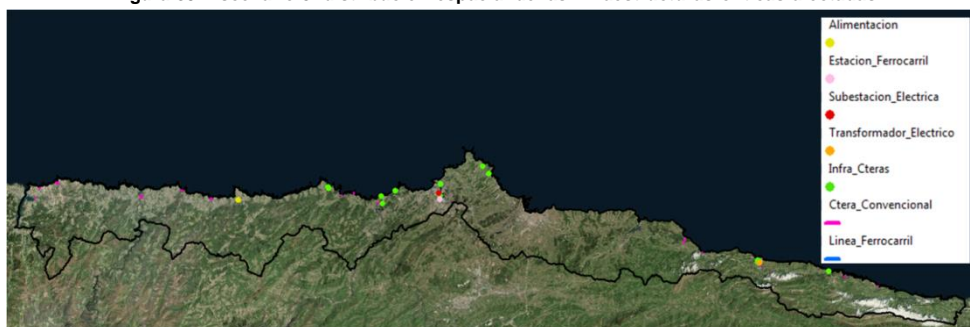
Figura 88. Escenario 5: detalle de las infraestructuras críticas afectadas en Ribadeo, Barayo, Ribadesella y Niembro



Se observan daños en tramos de carreteras convencionales en las áreas de Ribaseo, Barayo, Ribadesella y Niembro. Cabe recordar que se trata del escenario de inundación permanente por lo que todas las zonas inundadas se perderían definitivamente.

# Infraestructura – INFRAESTRUCTURAS CRÍTICAS

Figura 89. Escenario 8: distribución espacial de las infraestructuras críticas afectadas



Además de aparcamientos y de tramos de carretera convencional y línea de ferrocarril en diversas localizaciones, se podrán ver afectadas a final de siglo una central lechera cerca de Cueva, un transformador eléctrico en Ribadesella y una subestación eléctrica y una estación de ferrocarril a orillas de la ría de Avilés.

Figura 90. Escenario 8: detalle de las infraestructuras críticas afectadas en Cueva, Avilés, Ribadesella y Luanco



Tabla 8. Relación de los subsistemas afectados para cada uno de los escenarios propuestos

Las infraestructuras críticas puntuales se han contabilizado por unidades afectadas y, las infraestructuras críticas lineales, por km lineal afectado.

ESCENARIOS CLIMÁTICOS	INDUSTRIA ALIMENTARIA	TRANSFORMADORES ELÉCTRICOS	ESTACIONES ELÉCTRICAS	INFRAESTRUCTURAS DE CARRETERAS	ESTACIONES DE FFCC	KM DE CARRETERA CONVENCIONAL	KM DE LÍNEA DE FFCC
E1	-	-	-	6	-	29.83	2.76
E2	-	-	-	6	-	35.29	3.00
E3	-	-	-	9	-	41.10	3.27
E4	-	-	-	10	-	45.08	3.27
E5	-	-	-	-	-	1.86	-
E6	-	1	-	11	-	48.46	3.48
E7	-	1	-	14	-	58.24	22.31
E8	1	1	1	16	1	80.90	40.06
E9	1	1	1	17	1	85.31	46.59

Figura 91. Daños sobre infraestructuras ocasionados por los temporales de 2014 en Tazones, Cuervas de Mar y Aguilar



## Limitaciones

Para realizar una buena caracterización de las infraestructuras críticas en la zona de estudio, sería necesario incluir las redes de saneamiento y abastecimiento, algo que no se ha hecho en este estudio por no disponer de la información necesaria.



### ¿Cómo afecta el cambio climático a las instalaciones industriales?

Asturias cuenta con una potente base industrial, como pone de manifiesto el peso que este sector representa sobre el Valor Añadido Bruto (VAB) regional, de modo que en el año 2014 representó el 21,48% de la economía regional (manufactureras un 14,74% y energía un 6,74%) frente al 17,52% de España (IDEPA, 2015).

Los cambios en el clima que ya están ocurriendo a nivel global están afectando y afectarán al desarrollo de diversas industrias. Las instalaciones industriales y de generación de energía ubicadas en la franja litoral, de manera general, deberán hacer frente a impactos derivados de la subida del nivel del mar, fenómenos meteorológicos extremos, acidificación, intrusión salina y al aumento de la temperatura del mar. El aumento del nivel medio del mar provocará la inexorable pérdida de terrenos y obligará a instalaciones en riesgo a cambiar de ubicación.

### ¿Qué cubre este análisis?

El análisis sobre el sector industrial que se presenta en este trabajo recoge el riesgo de inundación sobre las principales

instalaciones industriales que se encuentran en la franja costera del Principado de Asturias, concentradas especialmente en las ciudades de Avilés y Gijón. Lejos de tratarse de una doble contabilización del daño, el estudio se ha llevado a cabo abordando dos vías distintas pero complementarias. Por un lado, se han evaluado daños máximos y efectivos sobre los activos físicos (daño emergente a reparar). No obstante, hay que tener en cuenta que la relocalización de los activos industriales amortizados puede tener un coste mucho menor. La diferencia entre el daño obtenido y este valor minorado representa la ventaja que se obtiene gracias a una planificación adecuada de las inversiones. Por otro lado, se ha calculado la pérdida de producción (lucro cesante) debida al tiempo de parada que sigue al evento de inundación, en función de la cota de la lámina de agua alcanzada en cada caso. Dado que se ha trabajado con escenarios de riesgo que contemplan variaciones en los indicadores socioeconómicos, se han realizado proyecciones basadas en el crecimiento tendencial mínimo extrapolado a 2050 y 2100, los dos años horizonte considerados. El tratamiento homogéneo de las consecuencias ha hecho necesaria la aplicación de una tasa de descuento. Los daños obtenidos se han expresado por concejo y como porcentaje respecto al valor del stock de capital industrial total de la provincia y respecto al Valor Añadido Bruto industrial total de cada concejo.

## Resultados Clave

1 En caso de considerar eventos meteorológicos extremos y aumento del NMM, los mayores daños sobre los activos fijos industriales se producen en Avilés, donde se alcanzarán daños efectivos que ascienden al 3% del valor del stock de capital industrial asturiano. Estas condiciones climáticas producen desbordamientos de la ría afectando a gran parte de los activos industriales concentrados en la zona. Le siguen Navia con un 0.17% y Castrillón y Valdés que superan el 0.1%.

2 En términos de VAB industrial relativo afectado, y considerando sólo los escenarios que contemplan eventos extremos de inundación, Muros de Nalón alcanzará daños por valor del 0.35% de su VAB anual en el caso más pesimista. A continuación se encuentran, Navia y Soto del Barco.

3 Los mayores daños sobre la producción industrial anual se producen para el escenario de inundación permanente de 1 m de aumento del NMM, donde Valdés sufre daños por valor del 1.47% de su producción industrial anual, seguido de Castropol, Navia y Villaviciosa con porcentajes de 0.43%, 0.41% y 0.40%, respectivamente. Las consecuencias derivadas de este escenario no son función de la cota de inundación alcanzada en cada punto sino que se considera la pérdida total de los terrenos inundados.

## Caracterización de la vulnerabilidad

La base de datos empleada para caracterizar espacialmente las instalaciones industriales en la costa del Principado de Asturias ha sido la Base Cartográfica Numérica (BCN25) complementada con la Base Topográfica Nacional (BTN25), ambas pertenecientes al Instituto Geográfico Nacional (IGN), con información de tipo vectorial y con cobertura nacional a escala 1:25000.

Figura 92. Distribución de instalaciones industriales de la base de datos BCN25/BTN25 en el litoral asturiano



Figura 93. Ampliación de las zonas de Avilés, Cueva y Navia



Además del stock de capital, otro indicador que caracteriza el factor económico de la vulnerabilidad es el Valor Añadido Bruto (VAB), que responde a la riqueza generada durante un periodo anual obtenida como la diferencia entre el valor de la producción y los consumos intermedios utilizados como materias primas, servicios y suministros exteriores, etc.

Para este análisis se ha empleado el valor del stock de capital industrial de 2011 agregado a nivel provincial de la base de datos de la Fundación BBVA y los datos de VAB a precios básicos desagregados por

concejo de la Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (SADEI). El año de referencia es 2010.

Figura 94. Valor Añadido Bruto a p.b. En miles de euros. Año de referencia 2010 (SADEI)

	Valor añadido bruto a p.b.	Agricultura y pesca	Industria	Construcción	Servicios
<b>ASTURIAS</b>	<b>19,918,251</b>	<b>320,270</b>	<b>4,573,668</b>	<b>1,609,748</b>	<b>13,414,565</b>
1 Allande	21,475	6,990	725	2,271	11,489
2 Aller	120,062	3,199	32,390	12,471	72,002
3 Amesva	11,114	950	4,027	713	5,424
4 Avilés	1,507,048	9,522	465,307	110,331	921,888
5 Belmonte de Miranda	29,445	2,385	12,486	1,203	13,371
6 Bimenes	12,115	471	1,647	2,182	7,815
7 Boal	23,390	1,807	5,540	1,469	14,574
8 Cabrales	33,097	4,433	5,670	3,341	19,653
9 Cabranes	8,537	910	1,066	936	5,625
10 Candamo	16,124	2,045	289	3,876	9,914
11 Cangas del Narcea	212,877	11,356	47,547	28,195	125,799
12 Cangas de Onís	102,214	4,113	6,032	9,398	82,671
13 Caravia	7,643	258	399	757	6,229
14 Carreño	454,350	4,138	282,495	42,226	125,491
15 Caso	11,171	1,780	562	1,648	7,181

## Escenarios

Los escenarios de riesgo propuestos para evaluar las consecuencias del impacto de inundación contemplan la combinación de eventos extremos de inundación y aumentos del NMM con proyecciones de los indicadores socioeconómicos.

Tabla 9. Escenarios de riesgo para evaluar las consecuencias sobre la industria

HORIZONTE TEMPORAL	TIPO DE INUNDACIÓN	ESCENARIOS CLIMÁTICOS	ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS	ESCENARIOS DE RIESGO
PRESENTE	Evento Extremo	T=100	S0	Escenario1
		T=500	S0	Escenario2
AÑO 2050	E. Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.24 m	S1	Escenario3
		T=500, SLR=0.24 m	S1	Escenario4
AÑO 2100	E. Extremo + Permanente	SLR=1 m	S2	Escenario5
		T=100, SLR=0.45* m	S2	Escenario6
		T=500, SLR=0.45* m	S2	Escenario7
		T=100, SLR=0.65** m	S2	Escenario8
		T=500, SLR=0.65** m	S2	Escenario9

\*: valor medio del RCP4.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

# Infraestructura - INSTALACIONES INDUSTRIALES

Para proyectar los indicadores económicos de stock de capital industrial y VAB industrial, análogamente al caso del stock de capital de vivienda, se ha realizado la media de los últimos 5, 10, 15, 20, 25, 30,... años y se ha tomado como tasa de cambio la media del crecimiento menor, dato a partir del cual se ha extrapolado a 2050 (S1) y a 2100 (S2) para cada caso. La tasa de crecimiento anual obtenida es positiva para el stock de capital industrial y nula para el VAB del sector industrial.

Por lo tanto, en este caso, **sólo se han proyectado los datos de stock de capital industrial** que, por disponer de ellos de forma agregada a nivel provincial, la tasa de crecimiento obtenida del 2.52% anual se ha empleado de forma homogénea en todos los concejos que conforman el litoral asturiano.

## Acerca de los resultados

Las cifras que recogen los resultados no responden a un pronóstico de daños sino que pretenden mostrar a qué consecuencias se podría llegar en el sector industrial en caso de no actuar. No se contemplan, por tanto, procesos ni de adaptación ni de aprendizaje por parte de la sociedad.

De igual modo que para el estudio del riesgo sobre la vivienda, y por los mismos motivos, los resultados se presentan sin descontar y descontados de forma independiente.

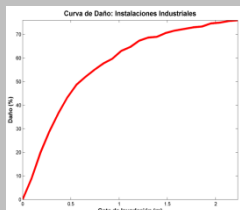
## Metodología *Cálculo de consecuencias*

El estudio del riesgo sobre el sector industrial se ha llevado a cabo por dos vías distintas pero complementarias: a través la evaluación de los daños sobre los activos fijos (stock de capital) y mediante el cálculo de la producción (VAB) anual perdida a causa de inundaciones por aumento del NMM y por eventos meteorológicos extremos. A continuación, se muestra de forma resumida el método empleado para analizar las consecuencias para cada escenario. No se trata de una doble contabilización sino de calcular el daño emergente a reparar y el lucro cesante por la parada subsiguiente al evento.

### Stock de capital industrial

El procedimiento seguido es análogo al expuesto para determinar las consecuencias sobre la vivienda y se puede sintetizar del siguiente modo:

1. Cálculo del stock de capital industrial asumiendo que las capas vectoriales de instalaciones industriales de las que se dispone representan el total del stock de capital industrial agregado de la provincia.
2. Aplicación de curvas de daño sólo en los casos de inundación por evento extremo.



**Figura 95. Curva de daño instalaciones industriales**  
Adaptada de Gopi Goteti (2014)

3. Proyección de las consecuencias a 2050 y 2100 según su evolución tendencial.
4. Aplicación de una tasa de descuento.

### VAB industrial

La determinación del VAB industrial afectado se ha llevado a cabo de manera análoga al stock de capital industrial, con la misma capa vectorial y asumiendo el mismo criterio de reparto, pero en este caso desagregado a nivel de concejo.

1. Cálculo de la producción industrial perdida asumiendo que las capas vectoriales de áreas industriales de las que se dispone en cada concejo representan el VAB industrial del concejo.
2. Aplicación del criterio de corrección de la pérdida de producción. En el caso de ensayar las consecuencias derivadas de un escenario de inundación permanente se debe asumir que, en las zonas inundadas, las pérdidas de productividad son totales. Sin embargo, cuando se analizan los posibles daños causados por inundaciones asociadas a eventos extremos, la producción se pierde durante un tiempo tras el cual se vuelve a recuperar. En este estudio se ha establecido una relación entre la cota de inundación alcanzada en las distintas zonas afectadas y los días de pérdida de productividad (véase la tabla 2).
3. Proyección de las consecuencias a 2050 y 2100 según tendencia.
4. Aplicación de una tasa de descuento.

**Tabla 10. Criterios de corrección de la pérdida de productividad del sector industrial** En función de la cota de inundación alcanzada y del tipo de inundación

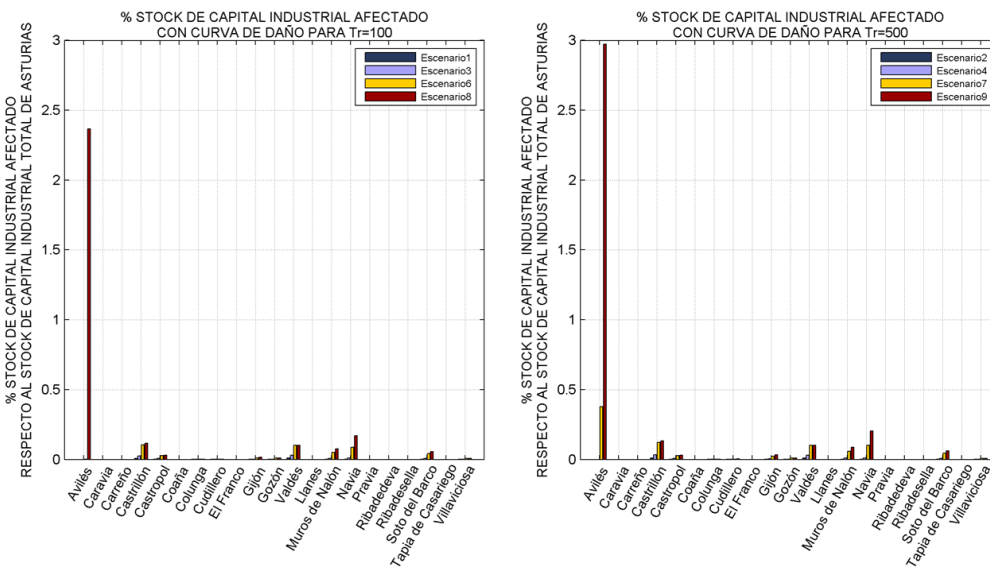
COTA DE INUNDACIÓN	DÍAS DE PÉRDIDA DE PRODUCCIÓN	TIPO DE INUNDACIÓN
CI ≤ 0.5 m	2	E. Extremo
0.5 m ≤ CI < 1 m	5	E. Extremo
1 m < CI ≤ 1.5 m	10	E. Extremo
CI > 1.5 m	15	E. Extremo
CI > 0	365	Permanente

## Riesgo de inacción sobre la industria

Se ha evaluado el riesgo sobre el sector industrial analizando de forma distinta el stock de capital y la producción. Los resultados obtenidos responden a distintos escenarios que combinan cambios en el clima y proyecciones socioeconómicas, en caso de no incorporar medidas de adaptación.

### STOCK DE CAPITAL

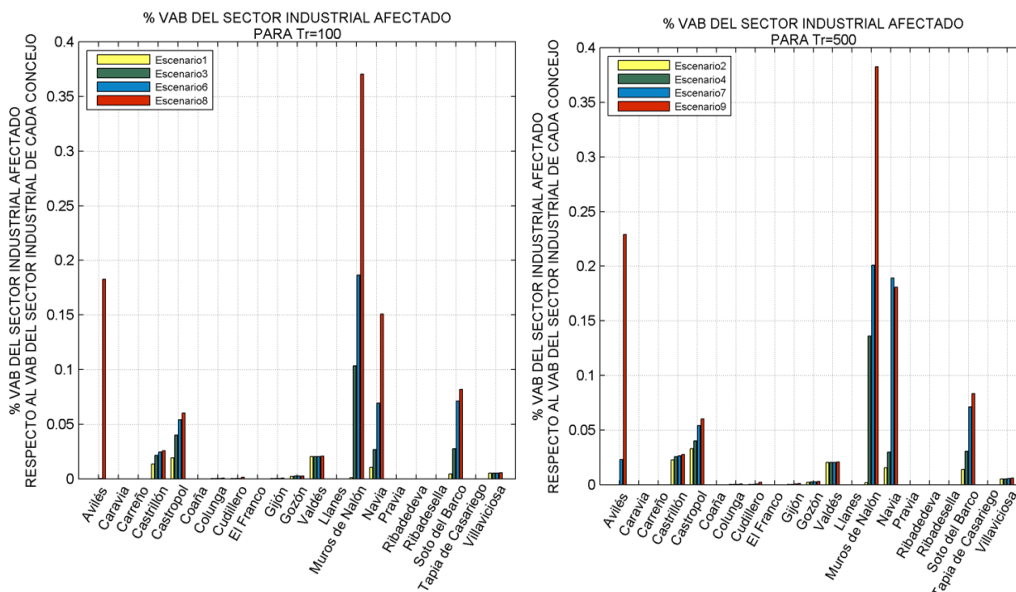
Tal y como muestran las figuras 99 y 100, los mayores daños por inundación se producen en Avilés para los escenarios de aumento del NMM de 0.65 m combinado con eventos extremos, alcanzando daños efectivos por valor del 2.3% y al 3% del stock de capital industrial de la provincia para 100 y 500 años de periodo de retorno, respectivamente. Estas condiciones climáticas producen desbordamientos de la ría afectando a gran parte de los activos industriales concentrados en la zona. Es por tanto el concejo al que más va a afectar el aumento de nivel a afectos de riesgo sobre el stock industrial. A Avilés le siguen Navia, Castrillón y Valdés con porcentajes mucho menores.



**Figura 96. Porcentaje de daño efectivo sobre el stock de capital industrial por concejo**  
Para los escenarios con eventos de 100 y 500 años de periodo de retorno

### VALOR AÑADIDO BRUTO

Los resultados que muestran las figuras 101 y 102 responden a los escenarios que combinan eventos extremos y subidas del NMM. Bajo estas hipótesis, Muros de Nalón es el concejo que ve afectado un mayor porcentaje de su producción anual debido al impacto de inundación, mostrando sensibilidad en sus consecuencias para todos los aumentos del NMM considerados y alcanzando daños sobre la producción por valor del 0.35% del VAB industrial anual en el caso pésimo. A continuación se encuentran, Navia y Soto del Barco con una tendencia similar pero con porcentajes de VAB afectado más bajos y Avilés, que llega a perder una parte considerable de su producción para 0.65 m de aumento del NMM.



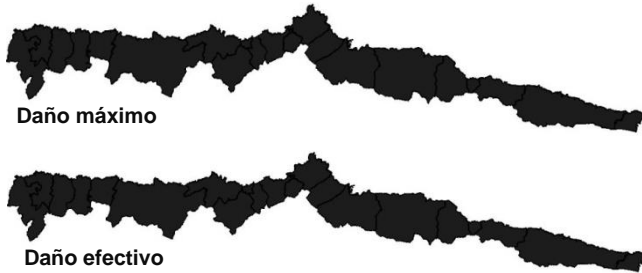
**Figura 97. Porcentaje de VAB industrial afectado por concejo**  
Para los escenarios con eventos de 100 y 500 años de periodo de retorno

# Infraestructura

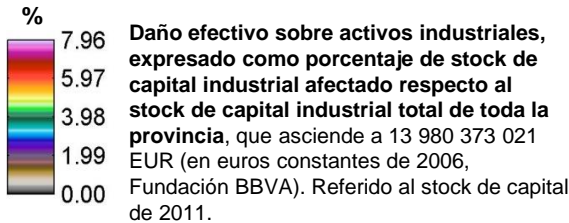
## Riesgo de inacción sobre el stock de capital industrial

### RESULTADOS PROYECTADOS SIN DESCONTAR

#### BASE

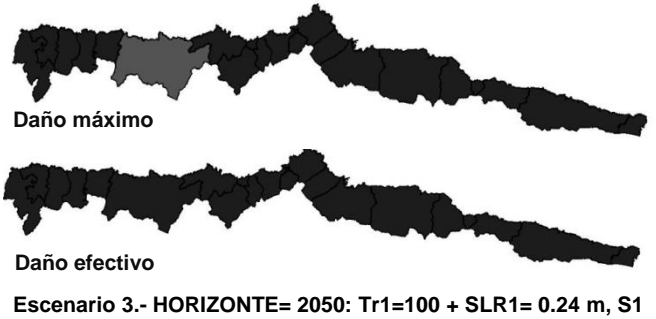


Escenario 1.- CLIMA PRESENTE: Tr1=100, S0



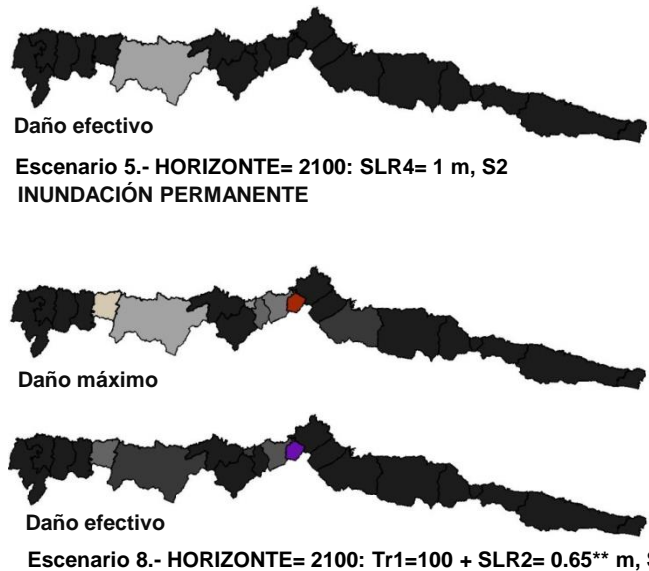
Los concejos más afectados son Avilés, que sufre consecuencias significativas a partir de 0.45 m de aumento del NMM, llegando a alcanzar daños efectivos por valor del 2.37% del stock de capital industrial de la provincia (daños máximos del 7.1%) y Navia, cuyo daño efectivo asciende al 0.17% (daños máximos del 0.23%). A estos dos concejos les siguen Castrillón y Valdés, con daños efectivos equivalentes al 0.1% del valor del stock de capital industrial del Principado de Asturias.

#### REFERENCIA 2050



Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1

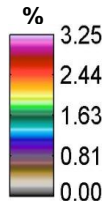
#### REFERENCIA 2100



Escenario 5.- HORIZONTE= 2100: SLR4= 1 m, S2 INUNDACIÓN PERMANENTE

Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2

### RESULTADOS PROYECTADOS DESCONTADOS

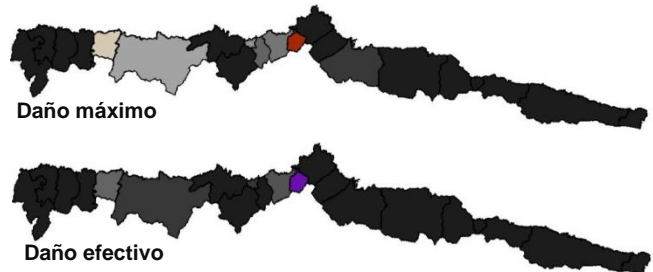


#### REFERENCIA 2050



Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1  
Tasa anual de descuento aplicada: 2%

#### REFERENCIA 2100



Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2  
Tasa anual de descuento aplicada: 1%

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

## Riesgo de inacción sobre el Valor Añadido Bruto industrial

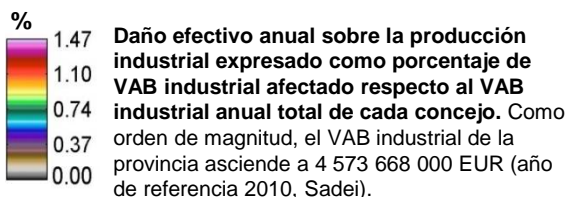
### RESULTADOS PROYECTADOS SIN DESCONTAR

#### BASE



Daño efectivo

Escenario 1.- CLIMA PRESENTE: Tr1=100, S0



Los mayores daños se producen para el escenario de inundación permanente de 1 m de aumento del NMM donde Valdés, el concejo que sufre las mayores consecuencias, sufre daños por valor del 1.47% de su producción industrial anual, seguido de Castropol, Navia y Villaviciosa con porcentajes de 0.43%, 0.41% y 0.40%, respectivamente. Esto debe a que las consecuencias derivadas de este escenario no son función de la cota de inundación alcanzada en cada punto sino que se considera la pérdida total de los terrenos inundados.

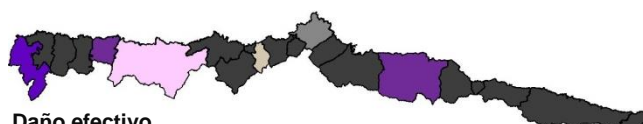
#### REFERENCIA 2050



Daño efectivo

Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1

#### REFERENCIA 2100



Daño efectivo

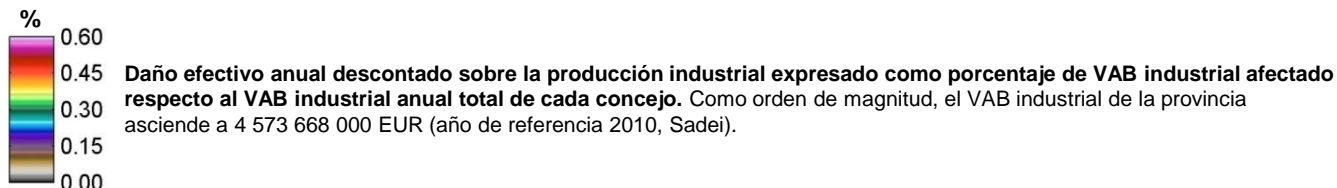
Escenario 5.- HORIZONTE= 2100: SLR4= 1 m, S2  
INUNDACIÓN PERMANENTE



Daño efectivo

Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2

### RESULTADOS PROYECTADOS DESCONTADOS



#### REFERENCIA 2050



Daño efectivo

Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1  
Tasa anual de descuento aplicada: 2%

#### REFERENCIA 2100



Daño efectivo

Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2  
Tasa anual de descuento aplicada: 1%

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

## Limitaciones

Las limitaciones derivadas del procedimiento de cálculo de las consecuencias del impacto de inundación sobre la industria asturiana son las mismas que en el caso del análisis del riesgo sobre la vivienda.





## ¿Cómo afecta el cambio climático a la agricultura?

La agricultura y la ganadería constituyen dos actividades cruciales dentro de la base económica y social del medio rural asturiano. Además de ser la principal fuente de empleo en algunas zonas del territorio, desempeñan un papel clave en la producción de alimentos y en el suministro de numerosas materias primas para la industria transformadora.

La agricultura es extremadamente vulnerable al cambio climático cuyos efectos son diversos y ya evidentes en muchas regiones del mundo. El aumento de las temperaturas reduce la producción de los cultivos deseados, a la vez que provoca la proliferación de malas hierbas y epidemias. Los cambios en los regímenes de precipitación aumentan las probabilidades de fracaso de las cosechas a corto plazo y de reducción de la producción a largo plazo. No obstante, las principales amenazas para la agricultura litoral proceden de la subida del nivel del mar y de la intrusión salina, tanto en ríos como en acuíferos.

## ¿Qué cubre este análisis?

Este análisis pretende evaluar el riesgo de inundación en la agricultura estimando el alcance de las consecuencias a las que se podría llegar, en términos de daño sobre la producción agrícola, en caso de no emplear medidas de adaptación frente al cambio climático. Para ello, se ha empleado como indicador el Valor Añadido Bruto (VAB)

relativo a la agricultura desagregado por concejo. El cálculo de consecuencias sobre este sector recibe el mismo tratamiento independientemente del tipo de inundación que se esté considerando. No obstante, en realidad, si la inundación se produce por aumento del nivel medio del mar, es decir, si es de tipo permanente, la pérdida de la cosecha es total pues los terrenos quedan completamente anegados perdiéndose su uso. Si la inundación se debe a un evento extremo, en cambio, la magnitud de los daños dependerá fundamentalmente del momento en el que se produzca tal evento, es decir, si la inundación tiene lugar antes de la cosecha, se perderá todo, y si tiene lugar tras la misma, no habrá prácticamente daños. Como este dato no puede conocerse se ha asumido la situación más pesimista, que es la de considerar, en cualquiera de los dos casos, la pérdida total de la producción. Dado que los escenarios de riesgo contemplan, además de cambios en el clima, cambios en la producción a los distintos horizontes temporales establecidos, se ha realizado una proyección de las consecuencias según la tendencia de crecimiento mínima observada. Una vez los daños han sido proyectados, ha sido necesario su descuento para poder tratarlos de manera homogénea y hacer comparaciones. Los resultados muestran una elevada sensibilidad a la tasa de descuento, un parámetro difícil de determinar por la cantidad de variables que intervienen. Los daños obtenidos se han expresado en porcentaje respecto al VAB agrícola total de cada concejo.

## Resultados Clave

1 Muros de Nalón alcanza daños anuales por valor del 0.8% de su VAB agrícola en cada escenario ensayado. Los siguientes en el ranking son Soto del Barco y Ribadesella con porcentajes superiores al 0.6% y 0.3%, respectivamente, para distintos aumentos del NMM. Con un riesgo considerablemente menor que los anteriores se encuentran Villaviciosa, Pravia, Gozón y Castropol.

2 Soto del Barco y Ribadesella son los concejos que sufren un mayor incremento de daños sobre su producción agrícola por efecto del aumento del NMM. Para el evento de 100 años de periodo de retorno, el daño sobre la producción anual aumentaría un 0.5% a final de siglo en el caso de Soto del Barco y cerca del 0.3%, a mitad de siglo, en Ribadesella.

3 La producción agrícola del concejo de Avilés no se encuentra en riesgo bajo ninguna de las hipótesis ensayadas en este estudio.

## Caracterización de la vulnerabilidad

En este estudio, se ha considerado la cuantificación del daño relativo a los usos del suelo, entre ellos, el suelo agrícola. Por ello, y como parte de la caracterización de la vulnerabilidad, se ha empleado la base de datos del Sistema de Información sobre Ocupación del Suelo de España (SIOSE) a escala 1:25000, integrado dentro del Plan Nacional de Observación del Territorio (PNOT). La principal característica de la base de datos SIOSE es que sigue un modelo de datos orientado a objetos por lo que no clasifica el terreno sino que lo describe mediante coberturas o combinaciones de ellas con sus diferentes porcentajes de ocupación y atributos.

Figura 98. Capa vectorial de usos del suelo de SIOSE en la costa del Principado de Asturias



Figura 99. Ampliación de la capa de SIOSE en algunos concejos del litoral asturiano



En este análisis se ha empleado, como indicador económico de la producción del sector, el VAB agrícola a precios básicos desagregados por concejo facilitado por la Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (SADEI). El año de referencia es 2010.

## Escenarios

Los escenarios de riesgo propuestos para estimar las consecuencias sobre el sector agrícola están basados en la combinación de escenarios climáticos y socioeconómicos.

Las proyecciones del VAB agrícola se han realizado tomando la media de crecimiento menor y extrapolando a 2050 (S1) y 2100 (S2). La tasa de crecimiento anual obtenida ha sido nula.

Tabla 13. Escenarios de riesgo para evaluar las consecuencias sobre la agricultura

HORIZONTE TEMPORAL	TIPO DE INUNDACIÓN	ESCENARIOS CLIMÁTICOS	ESCENARIOS SOCIOECONÓMICOS	ESCENARIOS DE RIESGO
PRESENTE	Evento Extremo	T=100	S0	Escenario1
		T=500	S0	Escenario2
AÑO 2050	E. Extremo + Permanente	T=100, SLR=0.24 m	S1	Escenario3
		T=500, SLR=0.24 m	S1	Escenario4
AÑO 2100	Permanente	SLR=1 m	S2	Escenario5
		T=100, SLR=0.45* m	S2	Escenario6
	E. Extremo + Permanente	T=500, SLR=0.45* m	S2	Escenario7
		T=100, SLR=0.65** m	S2	Escenario8
T=500, SLR=0.65** m	S2	Escenario9		

\*: valor medio del RCP4.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)

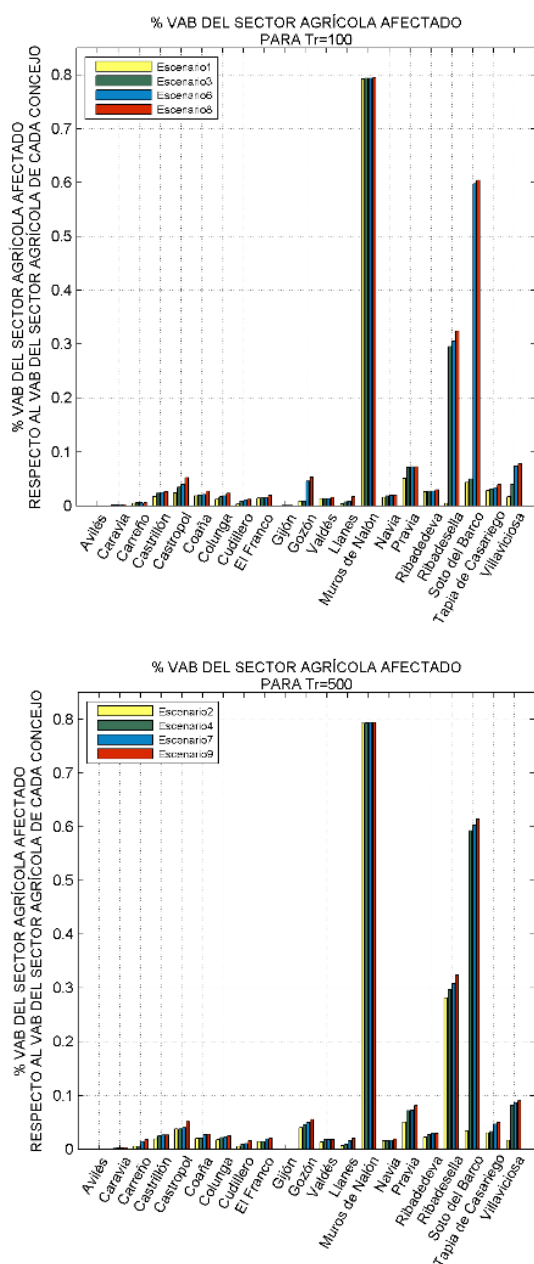
## Acerca de los resultados

Los resultados que se muestran a continuación pretenden ser indicadores de la susceptibilidad de la producción agrícola que se desarrolla en la franja costera asturiana frente al cambio climático.

## Riesgo de inacción sobre el Valor Añadido Bruto agrícola

La figura 100 muestra los resultados obtenidos tras el análisis de riesgo sobre el sector agrícola, **sin introducir medidas de adaptación**. Los escenarios considerados combinan inundación permanente y eventos extremos. Asumiendo la situación más desfavorable, se ha considerado que el evento de inundación se produce siempre antes de la cosecha perdiéndose así la totalidad de la producción.

**Figura 100. Porcentaje de VAB agrícola afectado por concejo**  
Para los escenarios con eventos de 100 y 500 años de periodo de retorno



Muchos campos de cultivo se encuentran próximos a rías y eso se ve reflejado en los resultados. Muros de Nalón alcanza el 0.8% de su producción agrícola anual afectada para todos los escenarios ensayados. Los siguientes en el ranking son Soto del Barco y Ribadesella con porcentajes anuales superiores al 0.6 y 0.3, respectivamente, para distintos aumentos del NMM. Con un riesgo considerablemente menor que los anteriores se encuentran Villaviciosa, Pravia, Gozón y Castropol.

Soto del Barco y Ribadesella son los concejos que sufrirán un mayor incremento de daños sobre su producción agrícola debido al aumento del NMM. Para el evento de 100 años de periodo de retorno, y en caso de no actual al respecto, el daño sobre el VAB agrícola anual aumentará un 0.5% a final de siglo en el caso de Soto del Barco y cerca del 0.3%, a mitad de siglo, en Ribadesella.

## Metodología

### Cálculo de consecuencias

El método de cálculo del riesgo de inundación sobre el sector agrícola se ha llevado a cabo con el siguiente método:

1. Cálculo de la producción agrícola perdida asumiendo que la suma de áreas de suelo agrícola de los polígonos de SIOSE en cada concejo representa el VAB agrícola total del concejo.
2. Proyección de las consecuencias a 2050 y 2100 según la tendencia observada.
3. Aplicación de una tasa de descuento.

## Limitaciones

La mayor limitación que presenta este análisis es la derivada de los datos de SIOSE: distintas categorías de terreno están agregadas en cada uno de los polígonos que conforman la base de datos. De este modo sólo es posible conocer en qué porcentaje se encuentra cada uso del suelo en cada polígono, pero no su distribución espacial celda a celda. En el caso de polígonos totalmente inundados, no hay mayor limitación que la propia de utilizar datos a escala 1:25000, sin embargo, si el polígono se inunda parcialmente, el grado de incertidumbre aumenta pues se pueden tomar como afectados usos que en realidad no lo están. Para los usos del suelo residencial e industrial, se ha sustituido la base de datos del SIOSE por capas vectoriales de las bases de datos BCN25/BTN25 del IGN. No obstante, para los usos del suelo del sector agrícola no ha sido posible encontrar una alternativa que pudiese mejorar la fiabilidad de los resultados.

Cabe tener en cuenta, a la hora de interpretar los resultados de este estudio, el método empleado para obtener las proyecciones de los indicadores económicos y la sensibilidad de los resultados al valor de la tasa de descuento.

# Agricultura

A continuación, se muestra la variabilidad espacial de los resultados obtenidos para el sector agrícola. Las cifras están expresadas en porcentaje respecto al VAB agrícola total de cada concejo. El año de referencia es 2010.

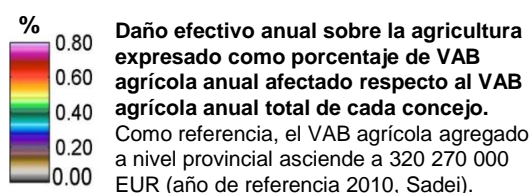
## RESULTADOS PROYECTADOS SIN DESCONTAR

### BASE



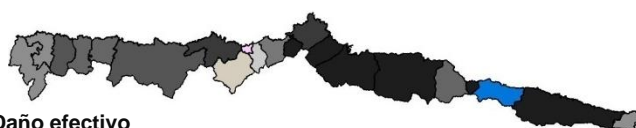
Daño efectivo

Escenario 1.- CLIMA PRESENTE: Tr1=100, S0



Muros de Nalón es el concejo con el mayor riesgo de daños por inundación sobre la producción agrícola, alcanzando para todos y cada uno de los escenarios propuestos un porcentaje anual de afección cercano al 0.8% del VAB agrícola. Soto del Barco y Ribadesella alcanzarán porcentajes de daño de 0.61% y 0.3%, respectivamente, bajo el efecto combinado de un evento meteorológico extremo y una subida del NMM de 0.65 m. Por otro lado, el concejo de Avilés está exento de daño sobre su producción agrícola en cualquiera de los escenarios propuestos.

### REFERENCIA 2050



Daño efectivo

Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1

### REFERENCIA 2100



Daño efectivo

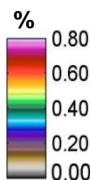
Escenario 5.- HORIZONTE= 2100: SLR4= 1 m, S2  
INUNDACIÓN PERMANENTE



Daño efectivo

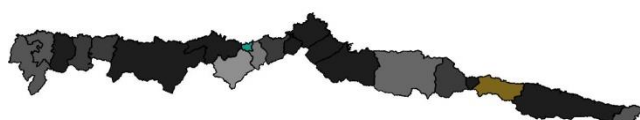
Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2

## RESULTADOS PROYECTADOS DESCONTADOS



**Daño efectivo anual descontado sobre la agricultura expresado como porcentaje de VAB agrícola anual afectado respecto al VAB agrícola anual total de cada concejo.** Como referencia, el VAB agrícola agregado a nivel provincial asciende a 320 270 000 EUR (año de referencia 2010, Sadei).

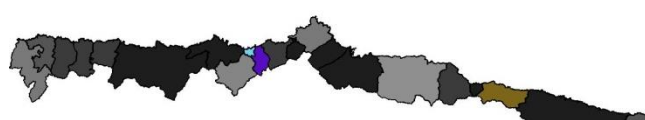
### REFERENCIA 2050



Daño efectivo

Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1  
Tasa anual de descuento aplicada: 2%

### REFERENCIA 2100



Daño efectivo

Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65\*\* m, S2  
Tasa anual de descuento aplicada: 1%

\*\* : valor medio del RCP8.5 en la costa asturiana modificado localmente con Slangen et al. (2014)



## ¿Cómo afecta el cambio climático al turismo?

Las playas son sistemas naturales sometidos en la actualidad a una gran presión urbanística y climática, además de responder al principal factor de producción turística del litoral asturiano. De entre sus funciones más relevantes destacan fundamentalmente tres: actuar como depositario de biodiversidad y productividad ecosistémica, ofrecer protección costera y satisfacer necesidades de ocio y disfrute generando el bienestar de los usuarios.

El Principado Asturias cuenta con más de trescientos cuarenta y cinco kilómetros de playa a lo largo de todo su litoral, lo que ha hecho que gran parte de su desarrollo socioeconómico haya estado siempre ligado al mar. Por otro lado, las poblaciones costeras han protagonizado durante la segunda mitad del siglo pasado los mayores flujos migratorios estacionales de la historia. Esta continua movilización ha generado una intensificación de los usos residenciales y las actividades relativas al sector industrial y de servicios alrededor de las playas, lo que se ha visto potenciado por el turismo, ya sea estacional o de larga temporada. Sin embargo, ya en la actualidad estas áreas se encuentran bajo un proceso generalizado de erosión, provocado en ocasiones por la acción humana mediante la alteración de la dinámica sedimentaria y gravemente potenciado por el cambio climático, especialmente por el aumento del nivel medio del mar. Los riesgos asociados al

sector turístico son similares a los comentados anteriormente en relación al planeamiento urbano pero con la peculiaridad de la marcada estacionalidad que suele acompañar a los hábitos del turismo de sol y playa. Muchas de las playas retrocederán, ya que no siempre será posible protegerlas o recuperarlas.

## ¿Qué cubre este análisis?

La erosión costera, por tanto, está poniendo en riesgo uno de los principales recursos de la región, el turismo del llamado sol y playa. Dada la importancia del uso de esparcimiento y ocio que ofrecen las playas, se ha procedido a evaluar cuál es el valor recreativo del metro cuadrado de playa. Para ello, se han asumido una serie de hipótesis en las que se define el espacio requerido por un usuario y las horas de utilización de playa. Además, se han empleado una serie de parámetros complementarios que caracterizan la tipología de playa (si es urbana, está ubicada en un área de veraneo o se encuentra aislada), la forma de la playa y su calidad en cuanto a accesos, seguridad, limpieza, peligrosidad, calidad ambiental y orientación. Tras estimar una valoración contable y económica del metro cuadrado de playa, se ha obtenido, a efectos de pérdida de turismo, el valor recreativo perdido en cada una de las 57 playas seleccionadas bajo una serie de escenarios de aumento del nivel medio del mar propuestos. En esta aproximación se han empleado los metros de retroceso de línea de costa calculados mediante la "Regla de Bruun", de modo que se han tenido en cuenta las características físicas de las playas de estudio.

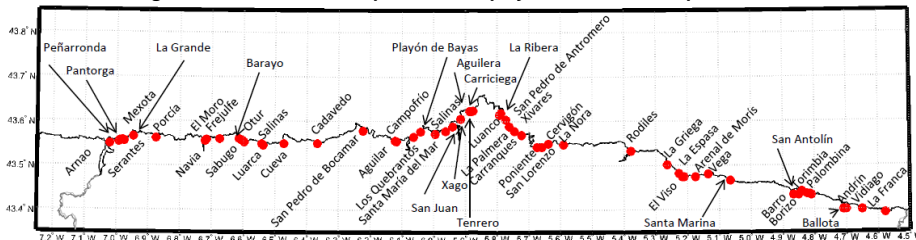
## Resultados Clave

- 1 Para 1 m de aumento del NMM, la playa de Cervigón desaparecerá y Luarca, El Moro y la Ribera perderán el 99%, 81%, 67% y 62% de su anchura media actual. Mexota y Cadavedo verán reducido su ancho medio de playa seca a aproximadamente la mitad.
- 2 Las playas de Salinas y San Lorenzo serán las más perjudicadas alcanzando, para 1 m de subida del NMM, pérdidas totales por valor de 175 y 150 millones de euros a final de siglo. Les siguen el Playón de Bayas, Santa Marina y Xagó con 120, 93 y 80 millones de euros en el año 2100.
- 3 Castrillón, que alberga las playas de Salinas, San Juan y el Playón de Bayas, entre otras, habrá perdido, bajo la hipótesis de 1 m de incremento de nivel, más de 350 millones de euros totales a finales del siglo XXI. Gijón, Llanes, Valdés y Gozón sufrirán consecuencias en torno a los 200 millones de euros totales.

## Caracterización de la vulnerabilidad

Con el fin de cuantificar el valor económico y contable de la pérdida superficie de playa seca derivada del impacto de erosión, se han seleccionado 57 playas de arena del Principado de Asturias con una longitud igual o mayor a 200 metros.

Figura 101. Distribución espacial de las playas seleccionadas para el análisis



## Escenarios

Los escenarios climáticos propuestos para analizar el valor de los metros cuadrados de playa erosionada responden a aumentos del NMM de 0.24 m a mitad de siglo y 0.45, 0.65 y 1 m a final de siglo.

Tabla 14. Escenarios climáticos para evaluar la erosión costera

AÑO HORIZONTE	INUNDACIÓN PERMANENTE, SLR (m)		
	RCP4.5	RCP8.5	High++
2050	SLR1=0.24		
2100	SLR2=0.45	SLR3=0.65	SLR4=1



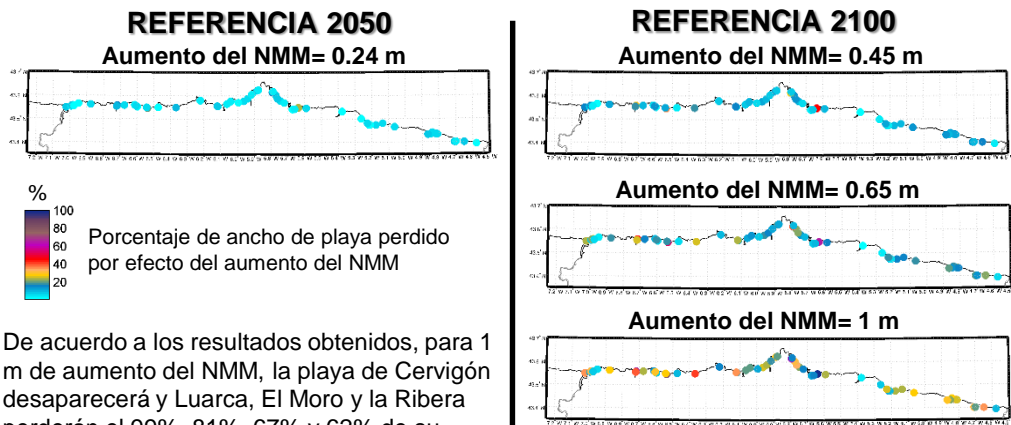
## Acerca de los resultados

Los resultados que se muestran en este análisis no constituyen en sí un pronóstico de daños sobre el sector turístico sino que son indicadores de la magnitud de la pérdida de valor recreativo de las playas debido a la subida del NMM y en caso de no incorporar medidas de adaptación. Dado que las playas son uno de los principales reclamos turísticos del litoral asturiano y siendo una de sus funciones la de satisfacer las necesidades de ocio y disfrute de los usuarios, se ha empleado la pérdida de playa seca como un indicador indirecto de daños sobre el turismo.

## Superficie de playa perdida por efecto del NMM

Uno de los parámetros que mejor evidencia los efectos de los distintos aumentos del NMM considerados es el porcentaje de ancho de playa seca perdido.

Figura 102. Distribución espacial del porcentaje de ancho de playa potencialmente perdido por efecto del aumento del NMM

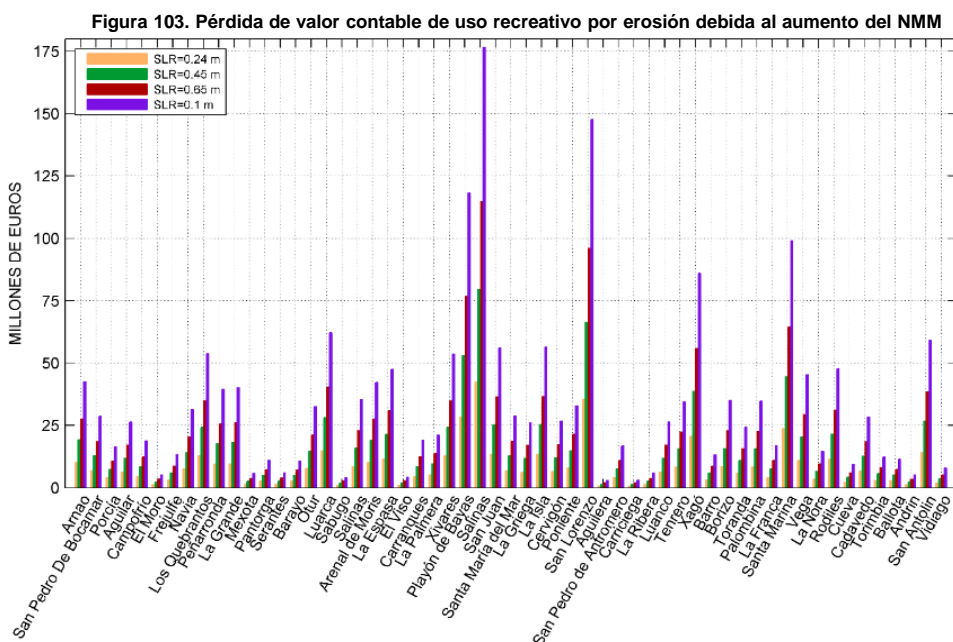


De acuerdo a los resultados obtenidos, para 1 m de aumento del NMM, la playa de Cervigón desaparecerá y Luarca, El Moro y la Ribera perderán el 99%, 81%, 67% y 62% de su anchura media actual. Mexota y Cadavedo verán reducido su ancho medio de playa seca a aproximadamente la mitad.

## Riesgo sobre el valor recreativo de las playas

Cuando se pierden metros cuadrado de playa no sólo se pierde el servicio ecosistémico y de protección costera que ofrecen sino que también se pierde su servicio recreativo y, consecuentemente, el atractivo turístico de la zona disminuye.

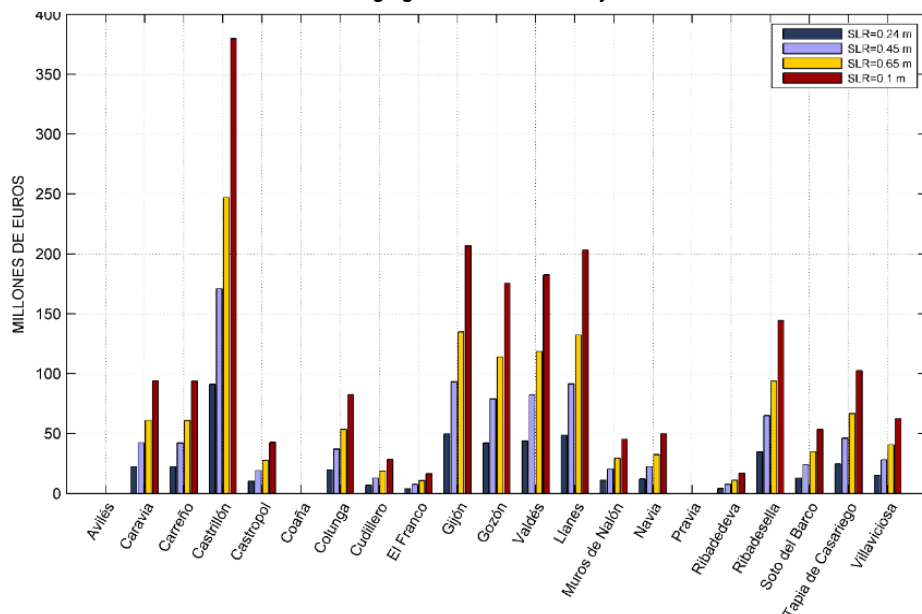
La estimación contable del tiempo recreativo depende del tipo de playa (urbana, situada en un área de veraneo, aislada), de la calidad de sus servicios y entorno, de su orientación y accesos, entre otros parámetros. La figura 103 muestra, para cada playa y para cada uno de los escenarios de aumento del NMM propuestos, los millones de euros totales de uso recreativo que se habrán perdido a mitad y a final de siglo.



Por sus características y en función del área potencialmente perdida con el aumento del NMM, las playas de Salinas y San Lorenzo serán las más perjudicadas alcanzando, para 1 m de subida del NMM, pérdidas totales por valor de 175 y 150 millones de euros a final de siglo. Les siguen el Playón de Bayas, Santa Marina y Xagó.

La figura 104 muestra los resultados agregado a nivel de concejo. Castrillón, que alberga las playas de Salinas, San Juan y el Playón de Bayas, entre otras, habrá perdido, bajo la hipótesis de 1 m de incremento de nivel, más de 350 millones de euros totales a fin de siglo. Gijón, Llanes, Valdés y Gozón sufrirán consecuencias en torno a los 200 millones de euros.

**Figura 104. Pérdida de valor contable de uso recreativo por erosión debida al aumento del NMM agregada a nivel de concejo**



## Metodología

### Cálculo del valor del uso recreativo de la playa

La aproximación empleada para **calcular el uso recreativo de las playas** se puede resumir en los siguientes puntos:

1. Estimación del espacio utilizado por un usuario de playa.
2. Evaluación del número de horas al año de servicio recreativo, considerando tanto la duración de la temporada como la jornada diaria, así como una estimación de la tasa efectiva de utilización.
3. Cuantificación del valor de uso recreativo por metro cuadrado de playa.
4. Valoración económica y contable del metro cuadrado de playa asumiendo para el segundo caso:
  - Renta perpetua constante
  - Tasa de descuento del 4%
5. Cálculo del valor recreativo perdido en cada playa para cada escenario propuesto, habiendo sido calculado el retroceso de la línea de costa mediante la "Regla de Bruun". De este modo, se han tenido en cuenta las características físicas de cada una de las playas seleccionadas.

## Limitaciones

Las limitaciones fundamentales de esta metodología radican en los numerosos parámetros que intervienen y en la necesidad de realizar campañas de campo exhaustivas.

# Análisis Integrado

## Gestión del riesgo

La Directiva 2007/60 del Consejo Europeo cuya trasposición al ordenamiento jurídico español es del objeto del Real Decreto 903/2010 (artículos del 11 al 17) tiene como objetivo la elaboración, aprobación e implantación de planes de gestión de riesgo de inundación.

**La gestión del riesgo de inundación asociado al cambio climático requiere de una estrategia multisectorial y sostenida a distintos horizontes temporales.** En este estudio se propone como objetivo mantener el nivel de riesgo actual. Para ello, es necesario disponer de la distribución espacial del riesgo y conocer así las localizaciones que constituyen una prioridad para la implementación de medidas de adaptación.

Los resultados obtenidos sitúan a Muros de Nalón como el único concejo con nivel de riesgo moderado-alto en el clima presente (E1), presentando riesgos de inundación considerables para la población, la producción agrícola y la relacionada con los servicios ecosistémicos prestados.

## Metodología

### Cálculo del riesgo agregado

La metodología empleada se basa en reescalar el rango de valores que asume cada variable socioeconómica considerada en 4 categorías: riesgo bajo (valor 1), riesgo moderado (valor 2), riesgo moderado-alto (valor 3) y riesgo alto (valor 4). Los umbrales que limitan cada categoría se han establecido a partir de los máximos alcanzados en el escenario 1, correspondiente al clima presente y asumido como el nivel de riesgo actual. Una vez llevado a cabo el redimensionamiento de las escalas de valores iniciales para cada escenario, se ha otorgado, en base a criterio experto, un peso a cada indicador socioeconómico. De este modo la población afectada representa un 35% del nivel de riesgo, la suma del stock de capital afectado otro 35% (15% correspondiente al stock de capital industrial, 15% al contenido del stock de capital de vivienda y 5% al contenido del stock de capital de vivienda) y la suma del VAB afectado un 30%, éste último repartido equitativamente entre los flujos industrial, agrícola y de producción de servicios ecosistémicos.

### BASE



Escenario 1.- CLIMA PRESENTE: Tr1=100, S0



A mitad de siglo (E3), se puede observar cómo los efectos del aumento del NMM incrementarán el nivel de riesgo, respecto al riesgo actual, de bajo a moderado en El Franco, Coaña, Cudillero, Gijón y Llanes, de moderado a moderado-alto en Tapia de Casariego, Castropol, Navia, Valdés, Soto del Barco, Castrillón y Ribadesella, y de moderado-alto a alto en Muros de Nalón.

A finales de siglo y considerando el escenario más pesimista (E8), sólo los concejos de Pravia y Caravia mantendrán un nivel de riesgo bajo, alcanzando Navia, Muros de Nalón y Soto del Barco niveles de riesgo muy preocupantes. En este último caso, los desbordamientos de las rías de Navia y Nalón conllevarán graves consecuencias sobre la población, los activos y la producción de estos concejos.

### REFERENCIA 2050



Escenario 3.- HORIZONTE= 2050: Tr1=100 + SLR1= 0.24 m, S1

### REFERENCIA 2100



#### INUNDACIÓN PERMANENTE

Escenario 5.- HORIZONTE= 2100: SLR4= 1 m, S2



Escenario 8.- HORIZONTE= 2100: Tr1=100 + SLR2= 0.65 m, S2



# Recomendaciones

En España, la Oficina Española de Cambio Climático (OECC) ha promovido, a través de un Convenio de Colaboración con la Universidad de Cantabria, el desarrollo de estudios y herramientas científico-técnicas específicas de apoyo al establecimiento de políticas y estrategias de actuación en las costas españolas ante el cambio climático.

## Objetivos de la Estrategia de Adaptación

Elaborar **diagnósticos** periódicos de la vulnerabilidad y los riesgos en las costas españolas frente al cambio climático, reduciendo así la incertidumbre. Para ello es necesario establecer previamente una metodología de evaluación de impactos identificando las zonas costeras más vulnerables.

Promover y facilitar la movilización y **participación** de los actores en todas las fases de la adaptación.

**Concienciar** a los actores de las implicaciones de los efectos del cambio climático y **capacitar** a sectores públicos y privados con competencia e intereses en costa para gestionar riesgos derivados del cambio climático.

Promover **medidas de adaptación** en los sistemas naturales y socioeconómicos que contribuyan a favorecer su resiliencia frente a los eventos extremos y el cambio climático y/o que actúen sobre la peligrosidad, exposición y vulnerabilidad para reducir el riesgo y sus consecuencias, priorizando, cuando sea posible, aquellas basadas en sistemas naturales frente a las artificiales. Identificar, planificar, proyectar e implementar opciones de adaptación propias del dominio público marítimo terrestre con eficiencia y sostenibilidad, proponer metodologías para la evaluación de los costes y beneficios de la adaptación que permitan comparar y priorizar, garantizar la planificación de las actuaciones, promover marcos regulatorios y normativos para incrementar la capacidad adaptativa de los sectores con intereses en la costa, fomentar la solidaridad interterritorial y la gestión integrada de las zonas costeras europeas y posicionar de forma óptima al país en una línea coherente con las prioridades para abordar la financiación.

Incorporar un sistema de **seguimiento y evaluación** de los impactos del cambio climático en la costa así como indicadores de seguimiento de las medidas de adaptación implementadas. Si se produjesen problemas, establecer planes de actuación para hacer frente a los mismos, respetando los principios de resiliencia y sostenibilidad.

Promover y favorecer iniciativas que fomenten la **investigación** en materia de cambio climático en materia de impactos y adaptación en las costas.



## Directrices generales

La evaluación de los impactos del cambio climático en la costa tiene múltiples facetas. Cubrir todas ellas es prácticamente inabordable por lo que se requiere acotar el alcance de manera adecuada a los objetivos de esta Estrategia. Por otro lado, la determinación de alternativas y las actuaciones vinculadas, exige la necesidad de proceder a una priorización que debe estar basada en factores con el mayor grado de cuantificación posible, y obtenidos con criterios homogéneos para toda la costa española. Además, es necesario gestionar la incertidumbre asociada al cambio climático. Para ello, es necesario **fixar los sistemas sobre los que se consideran los efectos del cambio climático**, definir los **factores de cambio** a considerar en los diagnósticos, determinar los **escenarios y proyecciones**, identificar los **impactos** incluidos y establecer **niveles de riesgo y consecuencias**.

Tanto en términos de riesgo, como de consecuencias, su evaluación se realizará preferentemente agregando ponderadamente los diferentes impactos y sistemas o sectores.



# Recomendaciones

En el marco de incertidumbre, falta de conocimiento y capacidades, limitaciones económicas, falta de concienciación social y barreras administrativas asociadas al estado del arte del cambio climático en la costa, aquellas medidas que se implementen de manera flexible para mantener los umbrales de riesgo del periodo base, son las que mejor pueden satisfacer los principios de sostenibilidad y objetivos marcados por la Estrategia. La adaptación flexible, se configura a base de intervenciones múltiples, distribuidas en el espacio y en el tiempo y combinadas con la monitorización del riesgo y consecuencias. Esto permite, además, realizar un seguimiento de las medidas de adaptación que se vayan implementando, posibilitando analizar su nivel de funcionalidad, su eficiencia, aceptación social o efectos ambientales. La eficiencia será aún mayor, si las medidas de adaptación implementadas son funcionales para un amplio rango de escenarios mediante pequeñas intervenciones adicionales a lo largo del tiempo.



## Medidas propuestas

La selección de las medidas más adecuadas es un procedimiento sumamente complejo debido a la incertidumbre en la evolución y la acumulación de impactos asociados al cambio climático.

En general, la estrategia priorizará la integración de conjuntos de opciones que se caractericen por su robustez y flexibilidad para hacer frente a un amplio rango de escenarios futuros, además de por llevar aparejados beneficios adicionales, más allá de meramente la adaptación al cambio climático. Para una primera clasificación se utiliza la última propuesta en el AR5 del IPCC que ordena las mismas en las categorías de **protección, acomodación y retroceso**. Dentro de cada una de ellas existen diferentes alternativas que pueden aplicarse de forma individual o combinada.

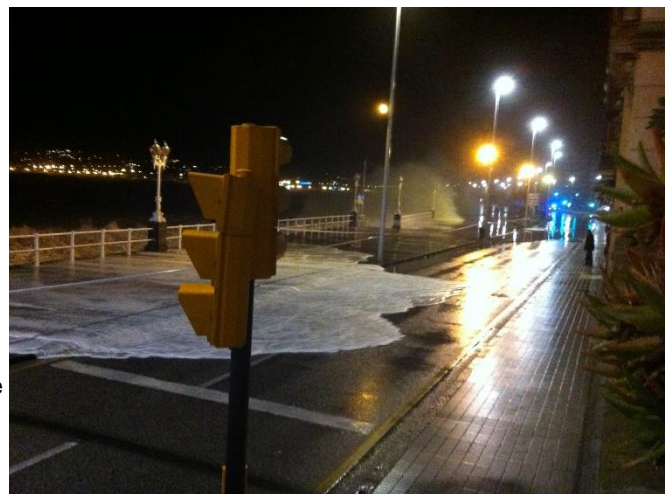
## Análisis coste-eficacia de las medidas

La selección y priorización de las opciones a implementar es importante dado que no todas las medidas son posibles debido a limitaciones técnicas, económicas, ambientales o administrativas. Es más, alguna de ellas, implementadas sin una visión integradora pueden conducir a una mala práctica de adaptación con consecuencias negativas. Asimismo, la viabilidad de unas u otras medidas de adaptación dependen del horizonte temporal en que se desea que sean efectivas y del escenario para el que se diseñan. Por todo ello, **el análisis coste-eficacia de las medidas es un instrumento a tener en cuenta** a la hora de seleccionar las medidas, así como de establecer una priorización en la ejecución de las mismas.

## Seguimiento de la Estrategia

El objetivo del programa de seguimiento de la Estrategia es **obtener información acerca del grado de cumplimiento de los objetivos propuestos** y, por tanto, de la eficacia de la implementación de las medidas propuestas. Dentro del programa de seguimiento se consideran dos aspectos: el seguimiento general de la implementación y el seguimiento ambiental.

Los indicadores de seguimiento contribuyen a analizar el grado de consecución de la implementación, garantizar su funcionalidad e impedir la implementación de medidas de adaptación que acaben generando efectos indeseados.

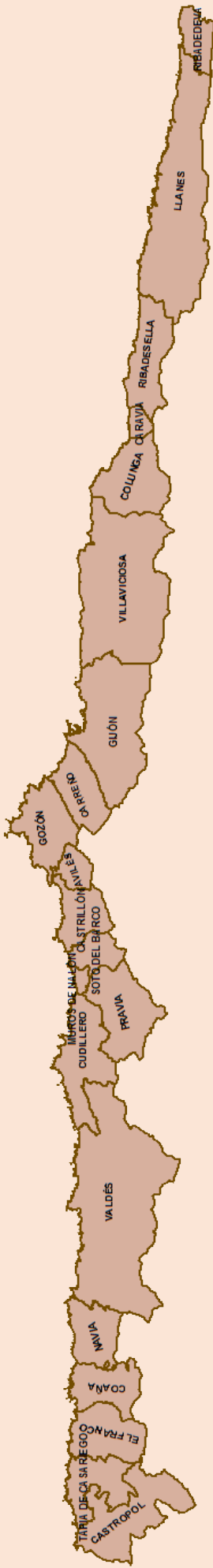


## Herramientas e instrumentos

La adaptación de la costa a los efectos del cambio climático es una cuestión compleja que requiere la implicación, coordinación y cooperación de todas las administraciones para que implementen, en el ámbito de su competencia, medidas de adaptación en consonancia con los objetivos planteados por el MAGRAMA para el Dominio Público Marítimo Terrestre. La Estrategia favorecerá y promocionará iniciativas específicas para la generación, mantenimiento y explotación de herramientas e instrumentos que sirvan para favorecer la consecución de sus objetivos, ya sea desde el MAGRAMA o mediante la colaboración con entidades nacionales e internacionales, públicas o privadas que hayan facilitado el desarrollo de las mismas.

# Referencias

- Agencia Estatal de METeorología (AEMET): [www.aemet.es](http://www.aemet.es) (último acceso: julio de 2015).
- Batista e Silva, F., Gallego, J., Lavallo, C., 2013. A high resolution population grid map for Europe. *Journal of Maps* 9:1, 16-28.
- Bruun, P., 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers. Journal of the Waterways and Harbors Division* 88, 117 – 130.
- Camus P., F.J. Méndez, R. Medina, A. Tomas and C. Izaguirre (2013). High resolution Downscaled Ocean Waves (DOW) reanalysis in coastal areas. *Coastal Engineering*, 72, 56-68.
- Camus, P. M. Menéndez, F.J. Méndez, C. Izaguirre, A. Espejo, V. Cánovas, J. Pérez, A. Rueda, I.J. Losada y R. Medina, 2014. A weather-type statistical downscaling framework for ocean wave climate. *Journal of Geophysical Research*, doi 10.1002/2014JC010141.
- Cid, A., S. Castanedo, A.J. Abascal, M. Menendez and, R. Medina, 2014. A high resolution hindcast of the meteorological sea level component for Southern Europe: the GOS dataset. *Climate Dynamics*, doi: 10.1007/s00382-013-2041-0.
- Church, J.A. and White, R., 2006. A 20<sup>th</sup> century acceleration in global sea-level rise. *Geophysical research letters*, vol. 33, L01602, doi:10.1029/2005GL024826.
- Doney, S. C., Ruckelshaus, M., Emmett Duffy, J., Barry, J. P., Chan, F., English, C. a., Talley, L. D. (2012). Climate Change Impacts on Marine Ecosystems. *Annual Review of Marine Science*, 4, 11–37. doi:10.1146/annurev-marine-041911-111611.
- EEA, 2010. The European Environment. State of the Outlook 2010. Marine and coastal environment, European Environment Agency, Copenhagen.
- ETC/ACC, 2010a. European coastal climate change impacts, vulnerability and adaptation; a review of evidence. ETC/ACC Technical paper 2010/7, November 2010. European Topic Centre on Air and Climate Change.
- ETC/ACC, 2010b. Methods for assessing current and future coastal vulnerability to climate change. ETC/ACC Technical paper 2010/8, November 2010. European Topic Centre on Air and Climate Change.
- EurOtop — Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual (2007). Environment Agency (UK), Expertise Netwerk Waterkeren (NL), Kuratorium für Forschung im Ksteningenieurwesen (DE), Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schüttrumpf, H. and van der Meer, J.W.
- Franco, L., de Gerloni, M., van der Meer, J.W. (1994). Wave overtopping on vertical and composite breakwaters. In: *Proc. 24th International Conference on Coastal Engineering*. ASCE, ASCE, New York, pp. 1030–1044, ISBN 0-7844-0089-X.
- Franco, L., Cavani, A. (1999). Overtopping response of core-locs, tetrapods and antifer cubes. *Proc. Coastal Structures '99*, A.A. Balkema, Rotterdam (1999), pp. 383–387 ISBN 90 5809 092 2.
- Fundación BBVA: [www.fbba.es](http://www.fbba.es) (último acceso: marzo de 2015).
- García, R., Holmer, M., Duarte, C.M., Marbà, N., 2013. Global warming enhances sulphide stress in a key seagrass species (NW Mediterranean). *Global Change Biology* 19, 3629–3639.
- Gobierno del Principado de Asturias: [www.asturias.es](http://www.asturias.es) (último acceso: marzo de 2015).
- Gopi Goteti, 2014. R Package: Hazus. Damage functions from FEMA'S HAZUS software for use in modeling financial losses from natural disasters. Version 0.1.
- Hoegh-Guldberg, O., & J.F. Bruno, 2010. The impact of climate change on the world's marine ecosystems. *Science*, 328, 1523-1528.
- HMTO Green Book, 2011. Appraisal and Evaluation in Central Government. HM TREASURY.
- Instituto de Desarrollo Económico del Principado de Asturias (IDEPA): [www.idepa.es](http://www.idepa.es) (último acceso: agosto de 2015).
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2013. Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Working Group I. Contribution to the IPCC 5th Assessment Report.
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), 2014. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Working Group II. Contribution to the IPCC 5th Assessment Report.
- Lee, K., Park, S.R., Kim, Y.K., 2007. Effects of irradiance, temperature, and nutrients on growth dynamics of seagrasses: a review. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 350, 144-175.
- Lüning, K., 1990. Seaweeds. Their Environment, Biogeography, and Ecophysiology. John Wiley & Sons, Inc., New York, USA.
- McHugh, D.J. (1991): Worldwide distribution of commercial resources of seaweeds including Gelidium, En: J.A. Juanes, B. Santelices y J. L. McLachlan (eds.). *International Workshop on Gelidium*. Kluwer Acad. Publ., The Netherlands, pp. 19-30.
- Meehl G.A., T.F. Stocker, W.D. Collins et al. 2007. Global Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (Solomon S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor y H. L. Miller (eds.)). Cambridge University Press, Cambridge, UK, pp. 747-846.
- Miller, J. K., and R. G. Dean (2004), A simple new shoreline change model, *Coastal Eng.*, 51, 531–556.
- Panigada, S., Zanardelli, M., MacKenzie, M., Donovan, C., Mélin, F., Hammond, P.S., 2008. Modelling habitat preferences for fin whales and striped dolphins in the Pelagos Sanctuary (Western Mediterranean Sea) with physiographic and remote sensing variables. *Remote Sensing of Environment*, 112, 3400–3412.
- Ramos, E., Puente, A., Juanes, J.A., Neto, J.M., Pedersen, A., Bartsch, I., Scanlan, C., Wilkes, R., van den Bergh, E., Gall, E.A., Melo, R., 2014. Biological validation of physical coastal waters classification along the NE Atlantic region based on rocky macroalgae distribution. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 147, 103-112.
- Ramos, E., Puente, A., Juanes, J., 2015. An ecological classification of rocky shores at a regional scale: a predictive tool for management of conservation values. *Marine Ecology*. In press.
- ROM 0.0 (2001). General Procedure & Requirements for the Design of Harbor and other Maritime Structures (Part I). Ministerio de Fomento. Gobierno de España.
- Saha, S. et al. (2010). The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 91(8), 1015–1057. doi:10.1175/2010BAMS3001.
- Salman, A., Bilecenoglu, M., Güçlüsoy, H., 2001. Stomach contents of two Mediterranean monk seals (*Monachus monachus*) from the Aegean Sea, Turkey. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 84(4), 719-720.
- Schneiderbauer, S., and D. Ehrlich, 2004. Risk, Hazard and People's Vulnerability to Natural Hazards: A Review of Definitions, Concepts and Data. Luxembourg: Office for Official Publication of the European Communities.
- Slangen A.B.A., M. Carson, C.A. Katsman, R.S.W. van de Wal, A. Köhl, L.L.A. Vermeersen and D. Stammer, 2014. Modelling twenty-first century regional sea-level changes. *Climatic Change*, doi:10.1007/s10584-014-1080-9.
- Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (SADEI): [www.sadei.es](http://www.sadei.es) (último acceso: julio de 2015).
- Stockdon, H.F., Holman, R.A., Howd, P.A. and Sallenger, A.H., Jr., (2006). Empirical Parameterization of Setup, Swash, and Runup. *Coastal Engineering* 53 573-588, Elsevier Publishing, the Netherlands.
- Tönis, I. E., Stam, J. M. T., & Van de Graaf, J. (2002). Morphological changes of the Haringvliet estuary after closure in 1970. *Coastal Engineering*, 44(3), 191-203.
- Van der Wegen, M. (2013). Numerical modeling of the impact of sea level rise on tidal basin morphodynamics. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, 118(2), 447-460.
- Wernberg, T., Russell, B.D., Moore, P.J., Ling, S.D., Smale, D.A., Campbell, A., Coleman, M.A., Steinberg, P.D., Kendrick, G.A., Connell, S.D., 2011. Impacts of climate change in a global hotspot for temperate marine biodiversity and ocean warming. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 400, 7-16, doi:10.1016/j.jembe.2011.02.021.









## TAREA 4.2:

# DOCUMENTO DE INICIACIÓN DEL PROCEDIMIENTO DE EVALUACIÓN AMBIENTAL ESTRATÉGICA



## 1. INTRODUCCIÓN

España es un país eminentemente costero, que goza de un litoral de gran extensión y riqueza, con numerosos ecosistemas y espectaculares paisajes. Además, la economía española depende en gran medida de la costa y sus mares, ya que en ellos se llevan a cabo numerosas actividades, desde muy tradicionales como la pesca, hasta otras como el turismo masivo de sol y playa o el transporte marítimo. El modelo de desarrollo económico implantado en las últimas décadas y la explotación extensiva de los recursos supone una amenaza para el litoral, que ha incrementado su exposición y vulnerabilidad en muchas zonas debido a la presión urbanística y la degradación sufrida. A estas presiones de tipo humano hay que añadir la amenaza del cambio climático, directamente asociada con la subida del nivel del mar, pero también, con otros factores como el aumento de la temperatura, la acidificación o cambios en los oleajes y mareas meteorológicas.

El pasado nos ha enseñado que la franja costera y la línea de costa son altamente dinámicas y que presentan una variabilidad natural. Entender esa variabilidad nos puede ayudar a interpretar y hacer un pronóstico de cómo podría cambiar la costa en el futuro. Sin embargo, la urbanización desmesurada de las últimas décadas ha modificado la línea de costa, construyendo edificios y carreteras sobre dunas y cordones litorales, desecando marismas y lagunas costeras y rigidizando el litoral mediante diques y espigones. Todas estas actuaciones se hicieron suponiendo que la línea de costa permanecería estable, que los eventos extremos de inundación estarían dentro de un rango predecible con base en la información histórica disponible y que el nivel del mar no cambiaría. Sin embargo, las observaciones históricas y las proyecciones indican que esta situación no se mantendrá en el futuro.

El calentamiento global y la presión ejercida por el hombre están alterando y creando cambios y desequilibrios en la costa que conocemos. Entender estos cambios y planificarse para afrontarlos son cuestiones de gran importancia y urgencia para España, su sociedad y sus valores naturales costeros.

Desde 2004, la adaptación al cambio climático ha sido un objetivo prioritario para España. Nuestro país tiene una elevada vulnerabilidad al cambio climático y ha sido uno de los países europeos pioneros en desarrollar una política de adaptación.

En el año 2006 se aprobó el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), tras un amplio proceso que implicó a los principales órganos de coordinación en materia de cambio climático en España: la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático (CCPCC) y el Consejo Nacional del Clima (CNC), culminando con la toma de conocimiento del PNACC por el Consejo de Ministros el 6 de octubre de ese mismo año.

El PNACC se ejecuta mediante programas de trabajo, que definen de forma concreta las actividades a llevar a cabo. El Primer Programa de Trabajo del PNACC, adoptado en el mismo momento de la aprobación del propio Plan, identificó ya entre sus 4 líneas prioritarias la evaluación del impacto del cambio climático en las zonas costeras.

En los años 2008 y 2009 se planteó la necesidad de emprender un Segundo Programa de Trabajo del PNACC, que asumió e incorporó todos los trabajos que comenzaron a desarrollarse con el Primer Programa de Trabajo. El Segundo Programa de Trabajo se



planteó con un marco temporal de 4 años, habiendo concluido en 2013, año clave en los ámbitos europeo e internacional.

Desde la aprobación del PNACC y su Primer Programa de Trabajo en el año 2006, la adaptación al cambio climático ha adquirido mayor relevancia mundial, ya que se ha evidenciado que la adaptación al cambio climático será necesaria y complementaria a las acciones de mitigación. Los resultados del Cuarto Informe de Evaluación (AR4) del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) aprobado en 2007, pusieron en evidencia que los efectos y los riesgos del cambio climático se estaban ya observando y que muy probablemente irían en aumento, concluyendo que la adaptación al cambio climático era una necesidad urgente para todos los países. Estas conclusiones se refuerzan aún de manera más drástica en el Quinto Informe de Evaluación (AR5) publicado en 2014 y en el que se muestran más de 100 evidencias de los impactos producidos por el cambio climático. Más aún, el AR5, refuerza todavía más la idea de que la adaptación ha de jugar un papel fundamental para hacer frente al cambio climático dados los escasos avances conseguidos en materia de mitigación.

Otros informes regionales (Agencia Europea de Medio Ambiente) o sectoriales (OMT, OMS, FAO, etc.), insisten en esta realidad y han puesto en alerta a muchos expertos sectoriales.

También es muy relevante señalar la puesta en marcha de una política de adaptación al cambio climático en el seno de la Unión Europea, proceso iniciado en 2007 y que, con la publicación en abril de 2009 de un Libro Blanco "Adaptación al cambio climático: Hacia un marco europeo de actuación", ha sentado las bases y los principios sobre la política comunitaria en materia de adaptación. En Abril de 2013 la Unión Europea adoptó la Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático cuyo objetivo general es contribuir a una Europa más resistente al clima, lo que supone mejorar la preparación y la capacidad de respuesta a los efectos del cambio climático a nivel local, regional, nacional y de la UE, creando un planteamiento coherente y mejorando la coordinación.

Ya en sus secciones introductorias, la Estrategia recoge a las zonas costeras entre aquellas zonas de la UE con mayor riesgo de sufrir los impactos del cambio climático. De hecho entre las actuaciones recogidas por dicha Estrategia se incluye promover la adaptación especialmente en el ámbito de la gestión costera transfronteriza, haciendo hincapié en los deltas y las ciudades costeras densamente pobladas. Más aún, el documento de la Estrategia se acompaña de tres documentos complementarios uno de los cuales "Climate change adaptation, coastal and marine issues" se destina a particularizar las problemáticas que los efectos del cambio climático puede producir en el medio ambiente y en los sistemas económicos y sociales ubicados en zonas costeras. Asimismo, establece la vinculación de la Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático con otras políticas con fuertes implicaciones para las costas tales como: Directiva Marco del Agua, Directiva Marco para la Estrategia Marina, la Directiva de Inundaciones o la propuesta de Directiva Marco de Planificación Marítima Espacial y Gestión Integrada de Zonas Costeras.

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, que incluye en su Preámbulo, Sección III, entre otros, los textos extractados siguientes:

“Finalmente, debe subrayarse que esta reforma incorpora a la Ley de Costas regulaciones específicas para afrontar con garantías la lucha contra los efectos del cambio climático en el litoral.”

“También se exige que a los proyectos para la ocupación del dominio público se acompañe una evaluación prospectiva sobre los posibles efectos del cambio climático.”

“Además, se 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.”

“Junto a estas medidas de carácter jurídico, la Ley impone al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente la obligación de elaborar una estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático. Con ello, se conseguirá disponer de un diagnóstico riguroso de los riesgos asociados al cambio climático que afectan a nuestra costa, y de una serie de medidas que permitan mitigarlos.”

Estos elementos, se integran en la ley mediante la Disposición adicional octava “Informe sobre las posibles incidencias del cambio climático en el dominio público marítimo-terrestre”. De acuerdo con la misma:

1. El Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente procederá, en el plazo de dos años desde la entrada en vigor de la presente Ley, a elaborar una estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático, que se someterá a Evaluación Ambiental Estratégica, en la que se indicarán los distintos grados de vulnerabilidad y riesgo del litoral y se propondrán medidas para hacer frente a sus posibles efectos.
2. Igualmente las Comunidades Autónomas a las que se hayan adscrito terrenos de dominio público marítimo-terrestre, de acuerdo con el artículo 49 de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas, presentarán en el mismo plazo señalado en el apartado anterior, al Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, para su aprobación, un Plan de adaptación de dichos terrenos y de las estructuras construidas sobre ellos para hacer frente a los posibles efectos del cambio climático.

Así, como a través, entre otras, de las siguientes modificaciones a la Ley 22/1998 de julio, de Costas extractadas de la nueva ley:

Artículo primero. Modificación de la Ley 22/1988, de 28 de julio, de Costas.

“Uno. Se modifica el artículo 2, letra a), que queda redactado en los siguientes términos:

«a) Determinar el dominio público marítimo-terrestre y asegurar su integridad y adecuada conservación, adoptando, en su caso, las medidas de protección, y restauración necesarias y, cuando proceda, de adaptación, teniendo en cuenta los efectos del cambio climático.»”

“Catorce. Se introduce un párrafo segundo en el apartado 2 del artículo 44, que queda redactado del siguiente modo:

«2. Deberán prever la adaptación de las obras al entorno en que se encuentren situadas y, en su caso, la influencia de la obra sobre la costa y los posibles efectos de regresión de ésta.

Asimismo, los proyectos deberán contener una evaluación de los posibles efectos del cambio climático sobre los terrenos donde se vaya a situar la obra, en la forma que se determine reglamentariamente.»”

“Veintiuno. Se modifican los apartados 2 y 3 del artículo 66 que quedan redactados del siguiente modo:

«2. El plazo será el que se determine en el título correspondiente, que en ningún caso podrá exceder de setenta y cinco años. Reglamentariamente, se establecerán los plazos máximos de duración de las concesiones en función de los usos a que las mismas se destinen. Los plazos máximos fijados para cada uso podrán ampliarse, en los términos que reglamentariamente se establezcan, respetando en todo caso el plazo máximo de setenta y cinco años, cuando el concesionario presente proyectos de regeneración de playas y de lucha contra la erosión y los efectos del cambio climático, aprobados por la Administración.”

“Veinticuatro. Se añade una nueva letra m) en el artículo 76, que queda redactada del siguiente modo:

«m) Obligación del adjudicatario de adoptar las medidas requeridas por la administración de adaptación a la subida del nivel del mar, los cambios en la dirección del oleaje u otros efectos del cambio climático.»”

Además, de otras muchas implicaciones, la nueva Ley exige, por tanto, que el MAGRAMA ponga en marcha un proceso para la redacción de una “Estrategia para la adaptación de la costa a los efectos del cambio climático, que se someterá a Evaluación Ambiental Estratégica”.

Por tanto, dicha Estrategia es objeto de un proceso de evaluación ambiental estratégica (EAE) de acuerdo con lo dispuesto en la Disposición adicional octava de 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 y de acuerdo con lo dispuesto en la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental.

En el contexto de la evaluación ambiental estratégica de la Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático, la Dirección General de Sostenibilidad de la Costa y el Mar y la Oficina Española de Cambio Climático, son los órganos promotores, mientras que el órgano ambiental es la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. El presente documento se elabora en cumplimiento de lo dispuesto en el Artículo 18 de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental con objeto de iniciar la Evaluación Estratégica Ambiental de la Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático. Este documento incluye, por lo tanto, información relativa a los siguientes aspectos:

- a) Los objetivos de la planificación
- b) El alcance y contenido el plan o programa propuesto y de sus alternativas razonables, técnica y ambientalmente viables
- c) El desarrollo previsible del plan o programa
- d) Los potenciales impactos ambientales tomando en consideración el cambio climático
- e) Las incidencias previsibles sobre los planes sectoriales y territoriales concurrentes

## 2. DIAGNÓSTICO ACTUAL Y JUSTIFICACIÓN DE LA ESTRATEGIA

Los sistemas costeros en España son especialmente sensibles a los efectos de la subida del nivel del mar, así como a otros factores climáticos de cambio tales como el aumento de la temperatura superficial del agua, la acidificación, los cambios en las tormentas o los cambios en el oleaje.

- El aumento del nivel del mar no es igual a lo largo de todas las costas del mundo. En España se han llevado a cabo varios estudios sobre el aumento en el nivel del mar en la costa española, obteniéndose tasas de aumento entre 2 a 3 mm/año durante el último siglo con importantes variaciones en la cuenca Mediterránea por efectos regionales.
- El aumento del nivel medio del mar en la zona Atlántico-Cantábrica sigue la tendencia media global observada entre 1,5 y 1,9 mm/año entre 1900 y 2010 y de entre 2,8 mm/año y 3,6 mm/año entre 1993 y 2010. Sin embargo, existe una mayor incertidumbre en cuanto al nivel medio del mar en el Mediterráneo por efectos regionales.
- El oleaje es una de las principales dinámicas susceptibles de cambio que afectan a nuestra costa. En las últimas 6 décadas se han observado importantes cambios tanto en intensidad como en dirección. En el Cantábrico se ha observado un aumento significativo de hasta 0,8 cm/año en el oleaje más intenso (percentil 95 de altura de ola significativa) y disminución en el Mediterráneo y Canarias. Asimismo, se han producido cambios significativos en la dirección del flujo medio de energía medio anual en la Costa Brava y sur del Delta del Ebro.
- Al igual que pasa en el resto del mundo, en España los impactos observados atribuibles al cambio climático son aquellos que corresponden a cambios en la temperatura del océano o a la acidificación. Con la información existente, los impactos relativos a inundación o erosión en zonas costeras no son atribuibles a cambio climático pues están altamente afectados por la acción del hombre.

El desarrollo socioeconómico, junto con otros factores de origen no climático como la hipoxia, desvío o variación de caudales en ríos, retención de sedimentos o pérdida de hábitat, potencian los impactos de cambio climático en la costa.

- En los últimos años se ha producido un aumento demográfico muy elevado en la franja costera. El ritmo de crecimiento anual de la población residente en municipios costeros fue de un 1,9 %, siendo superior en la fachada mediterránea, especialmente en Tarragona, Girona, Alicante y Castellón.
- En los últimos años se han producido notables cambios en los usos del suelo, produciéndose un crecimiento urbanístico en la costa que ha dado lugar a la rigidización de gran parte del litoral.
- Estos procesos han producido un aumento de la exposición y vulnerabilidad de la zona costera con un consiguiente aumento del riesgo.

Los sistemas costeros y, en especial, las zonas bajas como el Delta del Ebro, desembocaduras de los ríos y estuarios y marismas, experimentarán impactos adversos como la inundación costera y la erosión debido a la subida del nivel del mar y cambios en la dirección e intensidad del oleaje.

- Las playas, dunas y acantilados, actualmente en erosión, continuarán erosionándose debido al ascenso del nivel del mar y, en menor medida, por aumento en la intensidad del oleaje o cambios de dirección del mismo.
- Para cualquier escenario de aumento del nivel medio del mar, los mayores aumentos en porcentaje en la cota de inundación de las playas se producirán en la cuenca Mediterránea siendo, en términos absolutos, mayor la cota de inundación en la costas cantábrico-atlántica y canaria.
- Aunque las proyecciones de marea meteorológica tienen un elevado grado de incertidumbre, la subida del nivel del mar potenciará los eventos extremos de inundación aumentando su intensidad y especialmente su frecuencia.
- Considerando un escenario tendencial de aumento de nivel del mar a 2040 (aproximadamente 6 cm), las playas de la cornisa cantábrico-atlántica y norte de las Canarias experimentarán retrocesos medios cercanos a los 3 m, 2 m en el Golfo de Cádiz y valores medios entre 1 y 2 m en el resto de las fachadas.
- En cuanto a la intrusión salina, lo mayores impactos se esperan en el Ebro por la combinación del aumento del nivel del mar con una posible reducción de caudales del río.
- Entre las consecuencias más relevantes del cambio climático sobre los sistemas costeros naturales se encuentra la pérdida de praderas de Posidonia oceánica, ecosistema emblemático del Mar Mediterráneo, así como el desplazamiento de algunas especies, la pérdida de humedales y la pérdida de servicios ecosistémicos.
- Si el Mediterráneo occidental sufriera un aumento medio de  $3,4 \pm 1,3^{\circ}$  C a finales de siglo (escenario A1B) la densidad de las praderas de Posidonia disminuiría hasta alcanzar el 10% de la densidad actual a mediados de este siglo (2049 $\pm$ 10 años).
- Bajo los escenarios de cambio climático estudiados la pérdida principal de humedales se producirá en aquellos situados en el entorno de las ciudades o asentamientos urbanos o industriales, cuyos contornos han sido rigidizados impidiendo su adaptación. Este es el caso de la desembocadura del Nervión en Bilbao, la ría de Avilés o la ría de Ferrol.
- En el Cantábrico, con el escenario tendencial y horizonte 2040, las pérdidas económicas por inundación asociadas a los servicios ambientales prestados por los ecosistemas costeros en ausencia de medidas de adaptación, varían entre el 0,005 y el 0,12 % del PIB provincial del 2008 dependiendo de la provincia. Cantabria, Coruña y Guipúzcoa son, en este orden, las más afectadas tanto ante inundación permanente como ante eventos extremos.

Si la tendencia en el aumento de la población, actividades y localización de bienes en la costa española continúa, se incrementará la exposición y vulnerabilidad costera. Los riesgos y consecuencias sobre el sistema socioeconómico debidas a eventos extremos de inundación ya experimentadas en la actualidad continuarán, y se verán agravadas, por los efectos del cambio climático y en especial por la subida del nivel del mar.

- Los puertos sufrirán alteraciones en sus condiciones de operatividad. El aumento del nivel del mar producirá una reducción general en el número de horas disponibles para realizar las operaciones en todos los puertos de España. Asimismo, la proyección de los cambios en el oleaje observados hasta el momento, hacen previsible que en 2040 se haya producido una reducción de la operatividad en los puertos del Cantábrico, sureste de las Islas Canarias y norte de Mallorca y un aumento de la misma en los puertos del Mediterráneo, si no se toman medidas de adaptación. En cuanto a la fiabilidad de las estructuras, el aumento del nivel del mar reducirá la fiabilidad de la mayor parte de las obras marítimas de los puertos de España, siendo este efecto contrarrestado en algunos casos (Mediterráneo principalmente) por los cambios del oleaje.
- Los citados impactos negativos por aumento del nivel medio del mar, se verán potenciados en el horizonte 2100 para cualquier proyección de aumento del nivel del mar considerada en todos los puertos españoles o infraestructuras localizadas en la costa (energía, transporte, abastecimiento, saneamiento, etc.) requiriendo la introducción de medidas de adaptación durante las próximas décadas.
- Ante un escenario de aumento del nivel medio del mar de 50 cm en el periodo 2081-2100, el incremento de la cota de las obras de protección frente a la inundación costera necesario para mantener la misma frecuencia de excedencias por eventos de inundación que la observada en el periodo 1986-2005, se sitúa entre 40 y 60 cm en el Cantábrico.
- Considerando escenarios tendenciales para el aumento del nivel del mar y la vulnerabilidad en la costa noratlántica, en el año 2040 la población afectada por inundación permanente estará en torno al 2-3% de la población total de las provincias de Coruña, Cantabria y Guipúzcoa en 2008. Para un incremento de nivel del mar medio de 50 cm en el horizonte 2100, el número de personas por provincia afectadas a lo largo de la costa entre Pontevedra y Guipúzcoa varía entre el 1% y el 4% de la población en 2008, siendo su distribución irregular por provincias. Tanto para 2040 como para 2100 las proyecciones se han realizado sin considerar adaptación.
- En la fachada costera, entre las provincias de Pontevedra y Guipúzcoa, a 2040 la proyección tendencial de la inundación permanente sin adaptación implicaría unos costes entre el 0,5 y 3 % del PIB anual provincial a 2008, considerando una tasa de descuento del 3 %.
- Si se considera el evento extremo de inundación de periodo de retorno de 50 años a día de hoy y sin adaptación, las consecuencias económicas se distribuirían irregularmente entre las provincias de Pontevedra y Guipúzcoa alcanzando valores de entre el 0,4% y el 2,5 % del PIB provincial ante un evento extremo equivalente en 2040.

- Las infraestructuras son el principal activo expuesto en todas las provincias estudiadas. Del suelo afectado en la fachada noratlántica, en el año 2100 para un escenario de subida de nivel del mar global de 85 cm, más del 10 % corresponde a infraestructuras en las provincias gallegas, llegando al 23 % en Coruña.

Los impactos y consecuencias producidas por el cambio climático ante cualquiera de los escenarios considerados pueden reducirse mediante la introducción de medidas de adaptación.

- Los costes de la adaptación a las condiciones climáticas proyectadas para finales del siglo 21 dependerán enormemente de la fachada costera en la que se localicen, las opciones de adaptación consideradas, del momento de su implementación y del daño residual que se asuma aceptable.
- Asimismo, la eficiencia de las opciones de adaptación al cambio climático implementadas dependerá enormemente de su interacción con las presiones que el hombre ejerza sobre la costa y sus consiguientes impactos.

Por tanto, la necesidad de reducir las consecuencias de los efectos del cambio climático en las zonas costeras proyectados de cara al futuro y de contribuir a una costa española más resistente al clima supone mejorar la preparación y la capacidad de respuesta a los efectos del cambio climático creando un planteamiento coherente y mejorando la coordinación a nivel local, regional y nacional.

La Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático 2014 pretende dar continuidad y potenciar el esfuerzo realizado por el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) definiendo un conjunto de actuaciones encaminadas a mejorar las condiciones de las zonas costeras españolas para hacer frente al cambio climático.

### **3. OBJETIVOS DE LA PLANIFICACIÓN**

#### **3.1. Objetivos generales de la Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático**

- Incrementar la resistencia (resiliencia) de la costa española para afrontar los riesgos y aprovechar las oportunidades derivados del cambio climático
- Integrar la adaptación al cambio climático en la planificación y gestión de la costa española.

#### **3.2. Objetivos específicos de la Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático**

- Establecer un metodología común de análisis y evaluación de los impactos y la vulnerabilidad frente al cambio climático y los eventos extremos en la costa española para identificar los riesgos asociados
- Elaborar un diagnóstico general de la vulnerabilidad y los riesgos en las costas españolas frente al cambio climático aplicando la metodología anterior de una manera coordinada, homogénea e integrada.
- Identificar las zonas más vulnerables de la costa española distinguiendo las distintas unidades de gestión (playas y dunas, acantilados, aguas y ambientes de transición, masas de agua costeras, unidades especiales)
- Contribuir a que los diferentes agentes implicados en la costa tomen conciencia de las implicaciones a medio y largo plazo de los efectos del cambio climático en la costa.
- Contribuir a que los diferentes sectores públicos y privados con competencia e intereses estratégicos en la costa, cuenten con el conocimiento, herramientas, formación y capacidades necesarias para gestionar los riesgos derivados del cambio climático de manera informada.
- Contribuir a incrementar la resiliencia de los ecosistemas costeros y marinos ante los efectos del cambio climático tomando las medidas necesarias para permitir su adaptación.
- Identificar, planificar, proyectar e implementar aquellas opciones de adaptación propias del dominio público marítimo terrestre con criterios de eficiencia y sostenibilidad y de su posible integración con medidas a tomar por otras administraciones.
- Garantizar que las actuaciones planificadas en la costa cuenten con la información y la metodología necesaria para que su diseño, construcción/implementación y operación/explotación sean acordes con los objetivos temporales de reducción de riesgo establecidos.
- Contribuir a introducir un marco de planificación territorial en zonas costeras que redunde en la minimización de la exposición y la vulnerabilidad frente a los



impactos del cambio climático y la reducción de las consecuencias asociadas a eventos extremos.

- Proponer metodologías para la evaluación de los costes y beneficios de la adaptación que permitan comparar y priorizar de manera homogénea las inversiones necesarias.
- Promover marcos regulatorios y normativos que contribuyen a incrementar la capacidad adaptativa de los sectores con intereses en la costa.
- Promover la integración de la adaptación al cambio climático en todos los planes y programas de los sectores más directamente implicados en las zonas costeras
- Diseñar un sistema de seguimiento y monitoreo de los impactos del cambio climático en la costa español, acoplado al sistema de indicadores del PNACC
- Promover medidas de adaptación en los sectores implicados en la costa que contribuyan a beneficiar la adaptabilidad o resiliencia de los ecosistemas costeros y marinos.
- Sentar las bases metodológicas para la ayuda a la planificación y toma de decisiones en un marco de incertidumbre.

## **4. DESARROLLO DE LA ESTRATEGIA PARA LA ADAPTACIÓN DE LA COSTA A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO**

### **4.1. Directrices de la Estrategia**

La Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático establece una serie de directrices generales sobre las que se sustentarán todas sus actuaciones:

- La Estrategia cubrirá tanto los impactos por eventos extremos como aquellos vinculados al cambio climático de largo plazo.
- La Estrategia proveerá de diagnósticos de riesgos a medio y largo plazo (fin de siglo) que incluirán todo el territorio del litoral español, considerando para ello el dominio público marítimo-terrestre incrementado con aquella parte del territorio en la que los procesos naturales y socioeconómicos sean característicos de la costa.
- La Estrategia fijará un periodo de base temporal para su planificación que servirá como base para todos los diagnósticos que se elaboren, haciendo los mismos comparables y facilitando un análisis de la evolución del estado de la costa frente a los riesgos del cambio climático.
- Los diagnósticos y actuaciones enmarcados dentro de la Estrategia se formularán con los datos, metodologías y herramientas técnica y científicamente más avanzadas que sea posible y con criterios de coherencia y homogeneidad en todo el litoral español.
- Los ejercicios de diagnóstico de riesgos en la costa española se repetirán con una periodicidad que garantice la integración del avance del conocimiento así como el correcto análisis de la evolución de los riesgos en la costa.
- Ante las proyecciones de riesgo futuras, la Estrategia tomará como criterio de actuación mantener, al menos, los niveles de riesgo experimentados en el periodo base.
- La Estrategia recogerá en sus Planes aquellas actuaciones encaminadas a la adaptación y protección de la costa frente a los eventos extremos y el cambio climático que deban ser implementadas en el dominio público-marítimo terrestre con criterios de eficiencia y sostenibilidad.
- La Estrategia contribuirá a que la preparación y la capacidad de respuesta a los efectos del cambio climático en la costa española se haga con un planteamiento coherente y mejorando la coordinación a nivel local, regional y nacional y facilitando un análisis transfronterizo en las fronteras del Estado.
- La Estrategia contribuirá a que la toma de decisiones en la materia de aplicación de la misma se haga con mayor conocimiento de causa favoreciendo la investigación y la monitorización de procesos fundamentales.
- La Estrategia perseguirá preferentemente medidas de adaptación flexibles que combinen actuaciones en el tiempo con un seguimiento de indicadores de

evolución del riesgo en las zonas vulnerables permitiendo así la optimización de las soluciones y evitando una mala adaptación.

- La Estrategia se formulará en consonancia con las recomendaciones y obligaciones impuestas por las políticas de la Unión Europea en este ámbito así como con los acuerdos internacionales adoptados por España en materia de cambio climático.

## 4.2. Alcance de la Estrategia

La Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático comprenderá un conjunto de actuaciones y proyectos que se planificarán y que se desarrollarán, siempre, de acuerdo con las directrices fijadas por la Estrategia.

- La Estrategia definirá los siguientes horizontes temporales:
  - Periodo temporal que se fija como línea base para el diagnóstico de la costa y con respecto al que se referirá la evolución futura del riesgo.
  - Plazo para los diagnósticos a medio y largo plazo.
  - Periodo temporal mínimo en el que se repetirán los diagnósticos sobre la evolución del riesgo en la costa española.
  - Plazo para la implementación de las medidas de adaptación mediante los correspondientes proyectos.
- La Estrategia deberá determinar las actuaciones a desarrollar por la Administración General del Estado en el dominio público marítimo-terrestre.
- La Estrategia debe constituir un elemento eficaz para la cooperación y coordinación en materia de adaptación al cambio climático y reducción de riesgos en zonas costeras entre la Administración General del Estado, las Comunidades Autónomas y las administraciones locales así como entidades privadas con actividad en las zonas costeras.

## 4.3. Contenidos de la estrategia

La Estrategia comprenderá fundamentalmente tres grandes ámbitos de actuación:

1. El diagnóstico actual y evolución temporal del riesgo debido a efectos climáticos en las costas españolas. Este diagnóstico comprenderá tanto los eventos extremos como la evolución de largo plazo o cambio climático.
2. El plan de adaptación en el que se recogerán todas aquellas opciones estructurales o no estructurales que garanticen una reducción del riesgo proyectado y que cuya implementación en el dominio público marítimo terrestre sea competencia de la Administración General del Estado.
3. Un plan de monitorización de la costa española que permita hacer un seguimiento de los diagnósticos proyectados así como contrastar la eficiencia de las medidas de adaptación y mitigación del riesgo implementadas.

La realización del diagnóstico actual y la evolución temporal de riesgo debido a los efectos del cambio climático y de los eventos extremos en las costas españolas se dirige principalmente a evaluar los principales impactos que éstos pueden producir, tanto en los sistemas naturales costero como en los sistemas socioeconómicos, muy especialmente en aquellos sectores estratégicos para la sociedad española y en las infraestructuras. El diagnóstico incluirá, entre otros, los impactos de inundación y erosión en los sistemas costeros.

El diagnóstico se formulará mediante una metodología en términos de riesgo considerando, por tanto, la peligrosidad de los factores climáticos inductores de cambios, así como la exposición y vulnerabilidad de los receptores de los impactos. El diagnóstico se formulará en términos de indicadores que se fijarán en la estrategia para evaluar las consecuencias del cambio climático y de los eventos extremos. Además de los riesgos y consecuencias para el periodo temporal que se fije como línea de base, el diagnóstico deberá establecer los riesgos y consecuencias proyectadas para medio y largo plazo sobre la base de las proyecciones de la peligrosidad, vulnerabilidad y exposición que se puedan obtener con base en la información científico-técnica disponible, acotando las incertidumbres y formulando el diagnóstico en términos útiles para la toma de decisiones incluida su valoración económica.

Para aquellas zonas del litoral español en las que los riesgos de cambio climático obtenidos en el diagnóstico general sean altos, se harán diagnósticos específicos de alta resolución con modelos de impacto más complejos y bases de datos de alta resolución que contribuyan a reducir aún más las posibles incertidumbres en el establecimiento de las consecuencias y permitan un mejor análisis del plan de adaptación.

Los diagnósticos realizados cubrirán todo el dominio público marítimo-terrestre del litoral español al que se añadirá una franja adicional del territorio donde los procesos costeros sean dominantes con el fin caracterizar adecuadamente los riesgos en la costa española.

El Plan de Adaptación se formulará a partir del diagnóstico a medio plazo, con actuaciones concretas que se implementarán por la Administración General del Estado en el dominio público marítimo-terrestre.

Se determina como objetivo del Plan de Adaptación mantener, al menos, el nivel de riesgo existente en el periodo que marca la línea de base de la Estrategia. Las opciones de adaptación consideradas incluirán, tanto medidas estructurales como no estructurales, siempre y cuando la Administración General del Estado tenga competencias para su implementación. Con base en el diagnóstico realizado, el Plan de Adaptación incluirá asimismo recomendaciones sobre posibles medidas de adaptación que contribuyan a reducir los niveles de riesgo para su consideración por parte de las Comunidades Autónomas. El Plan de Adaptación incluirá asimismo un análisis de coste-beneficio o equivalente para determinar qué medidas de adaptación son las más eficientes para los objetivos y horizontes temporales fijados.

Dadas las incertidumbres asociadas a las proyecciones y posible evolución de los riesgos climáticos en la zona costera, la Estrategia incluirá un plan de monitorización de la costa española en la que se determinarán los parámetros e indicadores, las técnicas, la frecuencia y el tipo de análisis de los datos que es necesario realizar para seguir la evolución de las proyecciones realizadas y mejorar los nuevos diagnósticos que se vayan realizando con el paso del tiempo y adecuando, de una manera flexible, las medidas de adaptación a las necesidades reales.

Asimismo, se incluirá un plan de monitorización para cada una de las medidas de adaptación implementadas con el fin de hacer un seguimiento de su eficiencia y de su evolución en un entorno cambiante. Esto permitirá garantizar la eficiencia de las medidas implementadas e impedir la implementación de medidas de adaptación que acaben generando efectos indeseados.

## 5. EFECTOS AMBIENTALES PREVISIBLES

De acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 18 de la Ley 21/2013, de 9 de diciembre, de evaluación ambiental el documento de inicio debe incluir los potenciales impactos ambientales tomando en consideración el cambio climático. A continuación, se presenta en forma de tabla un análisis previo del efecto previsible de la Estrategia para la Adaptación de la Costa a los Efectos del Cambio Climático en elementos ambientales esenciales. Entre estos elementos se deben contemplar al menos: la biodiversidad, la población, la salud humana, la fauna, la flora, la tierra, el agua, el aire, los factores climáticos, los bienes materiales, el patrimonio cultural e histórico, el paisaje y la interrelación entre estos factores.

ELEMENTO AMBIENTAL	EFEECTO PREVISIBLE
Biodiversidad	La reducción de los impactos del cambio climático sobre los ecosistemas costeros es uno de los objetivos primordiales de la EAEC. Los planes recogerán medidas tendentes a mantener los servicios aportados por los ecosistemas ante los cambios que se están produciendo en el clima así como a mantener la biodiversidad en algunos ecosistemas costeros. La ejecución de los planes asociados a la estrategia tendrán un efecto previsible significativo de signo positivo sobre la biodiversidad
Población y salud humana	La ejecución de los planes asociados a la estrategia tendrá un efecto previsible muy significativo sobre las condiciones de vida de la población española dado que los planes estarán orientados a reducir los riesgos que el cambio climático genera sobre la población y actividades socioeconómicas asentadas en la costa. Las opciones de adaptación y mitigación para afrontar eventos extremos reducirán el riesgo sobre vidas humanas y otros factores sobre la salud humana derivados de posibles efectos psicológicos derivados de eventos extremos. Los planes también contribuirán a reducir las consecuencias económicas en sectores específicos.
Fauna y flora	La fauna y la flora forman parte de los ecosistemas costeros y como tales forman parte de los sistemas sobre los que la Estrategia pretende reducir los riesgos derivados del cambio climático y de los eventos extremos. En consecuencia, la ejecución de los planes de adaptación asociados a la Estrategia tendrá un efecto previsiblemente positivo sobre la flora y la fauna.
Tierra, agua y aire	Preservar el territorio en la costa y los usos del suelo asociados frente a los riesgos del cambio climático es uno de los objetivos fundamentales del plan de adaptación. Asimismo, la conservación de los ecosistemas costeros ayuda a preservar las condiciones del terreno gracias a las funciones y servicios que prestan. La Estrategia contribuirá a preservar el agua para riego y consumo humano mediante la aplicación de medidas que reduzcan o busquen alternativas de adaptación a la salinización de acuíferos costeros o a la penetración de la cuña salina especialmente en la zona mediterránea. No es previsible que las actuaciones enmarcadas dentro de la Estrategia vayan a tener efectos negativos sobre la calidad del aire. En definitiva, la ejecución de los planes asociados a la Estrategia tendrá un efecto previsible significativo positivo sobre recursos esenciales tales como tierra y agua.
Factores climáticos	La Estrategia y sus planes de adaptación son per se un elemento que pretende actuar sobre los factores climáticos. Si bien no están directamente relacionados con la mitigación, que podría tener importantes efectos sobre los factores climáticos en el largo plazo,

ELEMENTO AMBIENTAL	EFECTO PREVISIBLE
	<p>las actuaciones previstas si están dirigidas a afrontar los efectos de los factores climáticos en el corto medio plazo. Más aún, la conservación de los ecosistemas vegetados como medida de adaptación directa para reducir los riesgos derivados de factores climáticos extremos y de largo plazo tienen un efecto directo sobre los factores climático al cumplir también una importante labor como sumideros de carbono. En consecuencia, la Estrategia y sus planes asociados tendrán un efecto significativamente positivo a la hora de considerar los factores climáticos.</p>
Patrimonio cultural e histórico	<p>Es objetivo de la Estrategia la conservación del territorio costero y la reducción de riesgos ante eventos extremos. En tanto en cuanto gran parte del patrimonio cultural e histórico español se encuentra asentado en la costa, la ejecución de los planes de adaptación asociados a la Estrategia tendrá un efecto previsible significativo de signo positivo sobre el patrimonio cultural e histórico.</p>
Paisaje	<p>Dado que entre los objetivos de la Estrategia se encuentra la conservación de los ecosistemas costeros o el mantenimiento de la línea de costa frente a los efectos del cambio climático frente a los efectos del cambio climático de forma indirecta se marca como objetivo la preservación del paisaje. Este objetivo se verá favorecido por opciones de adaptación basadas fundamentalmente en medidas no estructurales y aquellas estructurales que se sustancien para garantizar la conservación o migración interior de ecosistemas, la retirada de zonas inundables o el mantenimiento de la línea de costa mediante soluciones blandas. Ciertamente, en algunas circunstancias los niveles de riesgo alcanzados requerirán la introducción de medidas estructurales que puedan modificar el paisaje si se quiere garantizar la integridad del territorio, de las personas o del patrimonio. Sin embargo, dado que las actuaciones de adaptación son de tipo local, no se espera que los impactos sobre el paisaje sean sustanciales. Al margen de todo ello, y por estar dichas actuaciones sometidas a EIA, estas actuaciones llevarán asociadas las medidas correctoras necesarias para considerar los efectos sobre el paisaje. En suma, la Estrategia tendrá un efecto previsible significativo de signo positivo sobre el paisaje.</p>
Interrelaciones entre los elementos ambientales	<p>Los diferentes elementos ambientales considerado interactúan en la costa de forma altamente compleja dado el carácter de interfaz entre el sistema oceánico y terrestre que tiene la costa. Para satisfacer los compromisos adquiridos en la Estrategia, se hará uso de las metodologías, herramientas y bases de datos disponibles más avanzadas. Dicha metodología tiene en cuenta muchas de las interrelaciones entre los diferentes elementos ambientales aunque evidentemente es imposible considerar todos ellos dada su extrema complejidad. No obstante, la metodología que se propone ayudará a identificar y minimizar interrelaciones no deseadas. Se puede concluir que el enfoque adaptado para la Estrategia y los planes de adaptación asociados cuenta con la información y herramientas más avanzadas para minimizar interrelaciones no deseadas y potenciar aquellas interrelaciones positivas para hacer frente a los riesgos derivados del cambio climático.</p>

## 6. INCIDENCIAS PREVISIBLES SOBRE LOS PLANES SECTORIALES Y TERRITORIALES CONCURRENTES

El proceso de evaluación ambiental deberá determinar la coherencia entre los objetivos de la Estrategia y los objetivos de los distintos planes interrelacionados, poniendo de manifiesto posibles conflictos. Deberá incluirse la repercusión de las medidas propuestas en cada territorio en relación con las estrategias, planes y programas que lo afecten, tanto de iniciativa estatal como autonómica.

SECTOR DE PLANIFICACIÓN	EFEECTO PREVISIBLE
Ambiental/Cambio Climático: 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 Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) Estrategia Europea de Adaptación al Cambio Climático .....	La Estrategia está guiada por objetivos derivados de estos marcos de planificación y contribuirá a su cumplimiento
Ambiental/otros Directiva Marco del Agua Directiva Marco para la Estrategia Marina Directiva Marco de Planificación Marítima Espacial y Gestión Integrada de zonas costeras Directiva de Inundaciones .....	El enfoque de la Estrategia permite anticipar efectos positivos en el cumplimiento de otros elementos ambientales incluyendo aquellos fijados en los ámbitos de planificación considerados bajo este epígrafe
Política Territorial	Se prevé la necesidad de disponer de mecanismos de coordinación con las CCAA para asegurar la coherencia entre los objetivos, metodologías y diagnósticos de la Estrategia y los propios desarrollados en la normativa autonómica. Asimismo, se prevé la necesidad de un mecanismo de coordinación específico para la implementación de los objetivos de la Estrategia aplicables en los terrenos de dominio público marítimo-terrestre adscritos de acuerdo con el artículo 49 de la Ley 22/1988 de 28 de Julio.
Defensa	Se prevé la necesidad de coordinación de los objetivos de la Estrategia con la gestión de las propiedades, infraestructura y patrimonio del Ministerio de Defensa en la Costa. Asimismo, se prevé actuaciones de capacitación y coordinación con la Unidad Militar de Emergencias (UME) para optimizar las capacidades de la misma ante eventos extremos en la costa.
Fomento	Se prevé la necesidad de un Plan Sectorial para desarrollar la Estrategia en el sector del transporte, especialmente en los Puertos de Interés General del Estado y aeropuertos situados en la costa.
Educación	Se prevé la necesidad de coordinación con este departamento para fomentar y dar difusión al conocimiento sobre los efectos del cambio climático y los eventos extremos en la costa promoviendo acciones educativas y de capacitación



SECTOR DE PLANIFICACIÓN	EFECTO PREVISIBLE
Industria, turismo y comercio	Se prevé la necesidad de Planes sectoriales para gestionar los objetivos de la Estrategia especialmente en los ámbitos de turismo, industria, energía y comercio en zonas costeras
Cultura	Se prevé necesidad de coordinación con cultura especialmente para identificar y evaluar la vulnerabilidad de los bienes de interés cultural situados en zonas expuestas con el fin de hacer un correcto diagnóstico de los riesgos.
Sanidad y política social	Se prevé coordinación para administrar los objetivos de la Estrategia y la importancia de la componente social en la vulnerabilidad social frente a riesgos derivados de cambio climático y eventos extremos así como en la mortalidad y salud.
Ciencia e innovación	Se prevé la necesidad de coordinación con organismos de investigación nacionales e internacionales que puedan proveer a la Estrategia de datos actualizados para mejorar los diagnósticos necesarios

