



EVIDENCIAS Y EFECTOS POTENCIALES DEL

# CAMBIO CLIMÁTICO EN ASTURIAS



GOBIERNO DEL  
PRINCIPADO DE ASTURIAS



## Relación de expertos que forman parte del Panel CLIMAS:

### Coordinación:

**Anadón Álvarez, Ricardo (Director)**

Universidad de Oviedo

**Roqueñi Gutiérrez, Nieves**

OSCCP

**Abanades García, Carlos**

INCAR-CSIC

**Alba Alonso, José**

Universidad de Oviedo

**Álvarez García, Miguel Ángel**

Universidad de Oviedo

**Álvarez Uría, Pilar**

Observatorio de Sostenibilidad de España

**Anadón Álvarez, Ricardo**

Universidad de Oviedo

**Braña Vigil, Florentino**

Universidad de Oviedo

**Bueno Sánchez, Álvaro**

Jardín Botánico Atlántico

**Cámara Obregón, Asunción**

Universidad de Oviedo

**Cruz Guerrero, Raquel**

MeteoGalicia

**Dapena de la Fuente Enrique**

SERIDA

**de Castro Muñoz de Lucas, Manuel**

Universidad de Castilla La Mancha

**de Luis Calabuig, Estanislao**

Universidad de León

**Díaz González, Tomás E.**

Universidad de Oviedo

**Fernández González, Consolación**

Universidad de Oviedo

**Fornés Azcoiti, Juan María**

IGME

**García Florez, Lucía**

Centro de Experimentación Pesquera de Asturias

**Gómez Borrego, Ángeles**

INCAR-CSIC

**Gómez Martín, Belén**

Universidad de Barcelona

**González Piedra, Jesús**

Confederación Hidrográfica del Cantábrico

**Heras Celemín, M<sup>a</sup> Rosario**

CIEMAT

**Jiménez Herrero, Luis**

Observatorio de Sostenibilidad de España

**Lain Huerta, Luis**

IGME

**Loredo Pérez, Jorge**

Universidad de Oviedo

**Loredo Fernández, Enrique**

Universidad de Oviedo

**Losada Rodríguez, Íñigo**

Universidad de Cantabria

**Lucientes Curdi, Francisco Javier**

Universidad de Zaragoza

**Majada Guijo, Juan**

SERIDA

**Margolles Martins, Mario Juan**

Consejería de Salud y Servicios Sanitarios de Asturias

**Martínez Martínes, Antonio**

SERIDA

**Menéndez Duarte, Rosana**

Universidad de Oviedo

**Miñarro Prado, Marcos**

SERIDA

**Moreno Sánchez, Álvaro**

Maastrich University

**Obeso Suárez, José Ramón**

Universidad de Oviedo

**Ordóñez Alonso, Almudena**

Universidad de Oviedo

**Orviz Ibáñez, Paz**

OSCCP

**Pendás Fernández, Fernando**

Universidad de Oviedo

**Pérez Muñuzuri, Vicente**

MeteoGalicia

**Piserra de Castro, M<sup>a</sup> Teresa**

MAPRE

**Quiñones Estévez, Dolores**

Hospital Monte Naranco

**Redondo Cornejo, M<sup>a</sup> Luisa**

Consejería de Salud y Servicios Sanitarios de Asturias

**Rubiera González, Fernando**

INCAR-CSIC

**Ruiz Hernández, Valeriano**

Universidad de Sevilla

**Stoll, Heather**

Universidad de Oviedo

**Valdés Santurio, Luis**

Instituto Español de Oceanografía

**Valdés Peláez, Luis**

Universidad de Oviedo

**Vera de la Puente, María Luisa**

Universidad de Oviedo

**Zapatero Rodríguez, Miguel Ángel**

IGME

---

**Edita:** Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras. Viceconsejería de Medio Ambiente, Oficina para la Sostenibilidad, Cambio Climático y la Participación. Gobierno del Principado de Asturias.

**Diseño y maquetación:** helice.es

**Impresión:** Gráficas Rigel

**D.L.:** AS-5411/2009

Impreso en papel reciclado 100%

Octubre 2009



EVIDENCIAS Y EFECTOS POTENCIALES DEL

# CAMBIO CLIMÁTICO

EN ASTURIAS





<b>PRESENTACIÓN</b>	<b>16</b>
<p><b>Vicente Álvarez Areces</b>          Presidente del Principado de Asturias</p>	
<b>PRÓLOGO</b>	<b>20</b>
<p><b>Ricardo Anadón Álvarez</b>          Director del Panle CLIMAS</p>	
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>24</b>
<b>1. CLIMA</b>	<b>30</b>
<p><b>Miguel Ángel Álvarez García.</b> INDUROT, Universidad de Oviedo.  <b>Manuel de Castro Muñoz de Lucas.</b> ICAM, Universidad de Castilla-La Mancha.  <b>Raquel Cruz Guerrero.</b> Dpto. Climatología e Observación, Meteogalicia, Xunta de Galicia.  <b>Ángeles Gómez Borrego.</b> Instituto Nacional del Carbón, CSIC.  <b>Vicente Pérez Muñuzuri.</b> Meteogalicia, Xunta de Galicia.  <b>Heather Stöhl.</b> Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.</p>	
1.1 Introducción	30
1.2 Clima actual de Asturias	31
1.3 Paleoclima	35
1.4 Tendencias recientes	39
1.5 Escenarios de cambio climático regionalizados en Asturias	45
1.6 Referencias	58
1.7 Anexos	60
<b>2. BIODIVERSIDAD</b>	<b>68</b>
<p><b>Florentino Braña Vigil,</b> Departamento B.O.S., Universidad de Oviedo.  <b>Álvaro Bueno Sánchez,</b> Jardín Botánico Atlántico, INDUROT, Universidad de Oviedo.  <b>Estanislao de Luis Calabuig,</b> Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Universidad de León.  <b>Tomás E. Díaz González,</b> Departamento B.O.S. y Jardín Botánico Atlántico, Universidad de Oviedo.  <b>José Ramón Obeso Suárez,</b> Departamento B.O.S., Universidad de Oviedo.  <b>Ángela Taboada Palomares,</b> Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Universidad de León.  <b>María Luisa Vera de la Puente,</b> Departamento B.O.S., Universidad de Oviedo.</p>	

## ÍNDICE

2.1 Introducción	68
2.2 Cambios en las áreas de distribución de las especies:	68
2.3 Cambios fenológicos	71
2.4 Efectos del cambio climático sobre especies modelo	73
2.5 Resumen y propuestas de seguimiento	76
2.6 Bases de datos de partida	77
2.7 Referencias	77

### 3. RECURSOS FORESTALES 84

**Asunción Cámara Obregón**, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo  
**Juan Majada Guijo**, SERIDA. Principado de Asturias.

3.1 Introducción	84
3.2 Zonas más vulnerables	86
3.3 Estrategias frente al cambio climático	86
3.4 Cambios Recientemente Constatados En El Comportamiento De Ecosistemas Forestales Ante Factores De Riesgo Bióticos Y Abióticos	92
3.5 Proyecciones sobre impactos posibles a la vista de la información disponible	97
3.6 Cuestiones que deberían tenerse en cuenta para investigaciones futuras	100
3.7 Implicaciones para las políticas	103
3.8 Referencias	104

### 4. AGRICULTURA 112

**Enrique Dapena de la Fuente**, SERIDA. Principado de Asturias.  
**Alfonso Fernández-Ceballos**, SERIDA. Principado de Asturias.  
**Marcos Miñarro Prado**, SERIDA. Principado de Asturias.  
**Antonio Martínez Martínez**, SERIDA. Principado de Asturias.

4.1 Introducción	112
4.2 Cambios detectados	113
4.3 Respuestas adaptativas al cambio climático	119
4.4 Algunas previsiones sobre impactos potenciales en los cultivos	119
4.5 Cuestiones que deberían tenerse en cuenta para investigaciones futuras	121
4.6 Bases de datos Existentes	121
4.7 Referencias	122

## 5. COSTAS Y OCEÁNOS

126

**Ricardo Anadón Álvarez**, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo.  
**Consolación Fernández**, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo  
**Lucía García Flórez**, Centro de Experimentación Pesquera – Principado de Asturias  
**Iñigo Losada Rodríguez**, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria  
**Luis Valdés Santurio**, Inst. Español de Oceanografía – Laboratorio de Gijón. UNESCO, París.

5.1 Introducción	126
5.2 Cambios detectados	129
5.3 Proyecciones de cambios en el futuro	155
5.4 Cuestiones que deberían tenerse en cuenta para investigaciones futuras	160
5.5 Bases de datos Existentes	161
5.6 Referencias	164

## 6. RECURSOS HÍDRICOS

174

**Jesús González Piedra**<sup>1</sup>, **José Humara García**<sup>1</sup>, **Fernando Pendás Fernández**<sup>2</sup>, **Almudena Ordóñez Alonso**<sup>2</sup> y **Juan María Fornés Azcoiti**<sup>3</sup>, con la colaboración de **Miguel Luis Rodríguez González**<sup>3</sup> y **Mónica Leonor Meléndez Asensio**<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Confederación Hidrográfica del Cantábrico

<sup>2</sup>Universidad de Oviedo

<sup>3</sup>Instituto Geológico y Minero de España

6.1 Introducción	174
6.2 Encuadre regional	174
6.3 Evidencias del cambio climático	180
6.4 Impactos al cambio climático	187
6.5 Recomendaciones	189
6.6 Bases de datos existentes	189
6.7 Referencias bibliográficas	190

## 7. SALUD

194

**Mario Juan Margolles Martins** (coordina). Dirección General de Salud Pública y Participación, Consejería de Salud y Servicios Sanitarios. Principado de Asturias.

**María Dolores Quiñones Estévez**. S. Alergología. Hospital Monte Naranco. Servicio de Salud del Principado de Asturias.

**María Luisa Redondo Cornejo**. Dirección General de Salud Pública y Participación, Consejería de Salud y Servicios Sanitarios. Principado de Asturias.

## ÍNDICE

7.1 Introducción	194
7.2 Cambios detectados	196
7.3 Referencias	219

## 8. ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR MOSQUITOS 228

**Javier Lucientes**, Departamento de Patología Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza.

8.1 Introducción	228
8.2 Especies de potenciales vectores en Asturias	230
8.3 Como puede afectar el cambio climático a las enfermedades transmitidas por mosquitos en Asturias	230
8.4 Referencias	234
8.5 Anexo	235

## 9. RIESGOS NATURALES 240

**Rosana Menéndez Duarte**, INDUROT, Universidad de Oviedo.

**Estanislao de Luis Calabuig**, Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Área de Ecología, Universidad de León.

**M<sup>a</sup> Teresa Piserra de Castro**, MAPFRE RE.

**Luis Laín Huerta**, Instituto Geológico y Minero de España.

Colaboradores:

**José Manuel Álvarez**, Universidad de León.

**Alfonso Nájera**, Consorcio de Compensación de Seguros.

**Belén Soriano**, Consorcio de Compensación de Seguros.

**M<sup>a</sup> Ángeles Horrillo**, Consorcio de Compensación de Seguros.

Reaseguradora Munich Re.

**Juan Satrústegui**, MAPFRE RE.

**Juan Francisco Ortega**, MAPFRE.

9.1 Introducción	240
9.2 Evolución de valores asegurados por riesgos naturales de origen climático	241
9.3 Inundaciones	244
9.4 Inestabilidades de ladera	248
9.5 Aludes	250
9.6 Incendios forestales	251
9.7 Investigaciones futuras	256
9.8 Referencias	258

**10. TURISMO****264**

**Belén Gómez Martín.** Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Barcelona.

**Álvaro Moreno Sánchez.** ICIS – Maastricht University.

**Luis Valdés Peláez (Coordinador).** Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Oviedo.

10.1 Turismo, clima y cambio climático en Asturias	264
10.2 El turismo en el Principado de Asturias. Situación actual y tendencias de futuro	267
10.3 Principales impactos del cambio climático sobre el turismo de Asturias. Propuestas adaptativas y de mitigación	272
10.4 Incertidumbres y necesidades de investigación	283
10.5 Cuestiones que deberían tenerse en cuenta para investigaciones futuras	284
10.6 Referencias	284

**11. ENERGÍA****288**

**M<sup>a</sup> Rosario Heras Celemín.** CIEMAT.

**Enrique Loredó Fernández.** Universidad de Oviedo.

**Paz Orviz Ibáñez.** OS CCP.

**Fernando Rubiera González.** INCAR-CSIC.

**Valeriano Ruiz Hernández.** Universidad de Sevilla.

11.1 Introducción	288
11.2 Situación energética del Principado de Asturias	288
11.3 Contribución de las Energías Renovables	290
11.4 Ahorro energético, eficiencia energética y energía solar en la edificación	296
11.5 Emisiones de Gases de Efecto Invernadero	301
11.6 Estrategia energética del Principado de Asturias	303
11.7 Cuestiones que deberían tenerse en cuenta para investigaciones futuras	304
11.8 Bases de datos existentes	305
11.9 Referencias	305
11.10 Anexo	307

**12. CAPTURA Y ALMACENAMIENTO CO<sub>2</sub>****312**

**Juan Carlos Abanades García.** Instituto Nacional del Carbón (CSIC).

**Miguel Ángel Zapatero Rodríguez.** Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

**Roberto Martínez.** Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

**Jorge Loredó Pérez.** E.T.S. Ingenieros de Minas. Universidad de Oviedo.

## ÍNDICE

12.1 Introducción	312
12.2 Captura de CO <sub>2</sub>	314
12.3 Almacenamiento geológico de CO <sub>2</sub>	318
12.4 Valoración de las posibilidades de almacenamiento geológico en Asturias	319
12.5 Incertidumbres asociadas al proceso	319
12.6 Referencias	320

## 13. ECONOMÍA 324

**José Alba Alonso.** Universidad de Oviedo.  
**Luis Jiménez Herrero.** Observatorio de Sostenibilidad de España.  
**Pilar Álvarez Uría.** Observatorio de Sostenibilidad de España.

13.1 Introducción	324
13.2 Cambios detectados	325
13.3 Proyecciones sobre impactos posibles a la vista de la información disponible	326
13.4 Cuestiones que deberían tenerse en cuenta para investigaciones futuras	328
13.5 Variables	329
13.6 Referencias	330

## ANEXO: CONCLUSIONES PARA GESTORES PÚBLICOS Y COMUNICADORES 334







PRESENTACIÓN 



En el conjunto del planeta se ha detectado en las últimas décadas un incremento de las temperaturas de la atmósfera terrestre y de los océanos, atribuible, en buena medida, a causas humanas. Fundamentalmente, a las emisiones de seis gases que retienen parte de la energía que el suelo emite al ser calentado por la radiación solar; entre ellos, el dióxido de carbono y el gas metano.

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático promovió un acuerdo internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en el periodo 2008-2012, el conocido Protocolo de Kioto. Además de actuar en la reducción de emisiones, afrontar los efectos del cambio climático es uno de los grandes desafíos de las agendas políticas de todos los países. La Comisión Europea está dando pasos de enorme valía al respecto con iniciativas como el Libro Blanco de Adaptación al Cambio Climático, en el que se exponen diversas recomendaciones a los países de la Unión Europea.

En Asturias hemos asumido también la adaptación al cambio climático y la reducción de sus causas como una estrategia de desa-

rollo prioritaria, con el objetivo de reforzar nuestras capacidades de desarrollo industrial en un entorno de sostenibilidad.

Este compromiso nos llevó a crear en la actual legislatura la Oficina para la Sostenibilidad, el Cambio Climático y la Participación, con el objetivo de desarrollar actuaciones relativas a la orientación y progreso de las estrategias en torno al desarrollo sostenible, la lucha y adaptación al cambio climático y la participación ciudadana.

Nuestro objetivo es construir una sólida base de conocimiento sobre el impacto y consecuencias del cambio climático, integrando la adaptación en políticas sectoriales claves mediante la combinación de instrumentos de mercado y de cooperación público-privada, con la ambición de avanzar en la cooperación científica internacional.

Una de las primeras tareas de la Oficina ha sido constituir el Panel de Expertos CLIMAS, en el que un grupo de investigadores, procedentes de una amplia variedad de disciplinas científicas y profesionales y de distintas instituciones, universidades y centros de investigación, asumieron el compromiso de estudiar las evidencias y los efectos potenciales en Asturias del calentamiento del planeta.

El presente libro expone las conclusiones del trabajo realizado por el Panel de Expertos CLIMAS. Recoge los cambios constatados en el clima, el medio natural, costero y marino de Asturias en las últimas décadas, a la vez que apunta los principales efectos detectados en los distintos sistemas naturales, sociales y económicos de nuestra comunidad autónoma.

Además, este estudio determina aquellos ámbitos de investigación y conocimiento que debemos reforzar en Asturias y establece nuevas líneas de investigación y de actuación que

deben ser consideradas en una estrategia de adaptación a unas nuevas condiciones.

Algunas de las decisiones que hemos tomado en Asturias en los últimos años se orientan a reducir la vulnerabilidad de nuestros sistemas naturales frente al cambio climático, como son las políticas de conservación de los recursos naturales y de ordenación del territorio. Instrumentos como el PORNA (Plan de Ordenación de los Recursos Naturales de Asturias), el Plan de Ordenación del Litoral Asturiano (POLA), las medidas adoptadas durante años para la recuperación de especies de flora y fauna en peligro de desaparición, las estrategias de prevención de incendios y de saneamiento de especies frente a plagas y plantas invasoras, la conservación de espacios costeros singulares y el gran esfuerzo inversor, con la colaboración con el Gobierno de España, para recuperar la calidad de nuestras aguas interiores y costeras a través del saneamiento integral de todo nuestro territorio; la promoción de una economía baja en emisión de dióxido de carbono, una Estrategia Energética que diversifica el mix energético, son actuaciones imprescindibles para aminorar unos efectos que ya se están percibiendo en nuestros sistemas físicos, biológicos y socioeconómicos.

La crisis económica y financiera no debe limitar nuestra capacidad para actuar frente al cambio climático; al contrario, debe impulsar una economía sostenible, basada en el conocimiento y en la innovación. Asturias está marcando una clara referencia al respecto. Son varias las empresas que destacan por su importante labor en el desarrollo de las energías renovables, en todo su ciclo, desde la planificación y la producción al aprovechamiento, con especial incidencia en las energías eólica, solar y de biomasa, e impulsando importantes

proyectos en los que tiene una decisiva implicación la Universidad de Oviedo.

Además, el Gobierno del Principado de Asturias está especialmente involucrado en el estudio de nuevas fuentes energéticas sostenibles, al tiempo que en el avance de proyectos para disponer de tecnologías de captura y almacenamiento subterráneo de dióxido de carbono, que nos faciliten mantener el valor estratégico del carbón en nuestro desarrollo industrial.

El Panel de Expertos CLIMAS nos pone de manifiesto los principales ámbitos de investigación y conocimiento que se abren en Asturias, además de expresar las demandas sobre la necesidad de disponer de datos físicos, biológicos, geológicos o atmosféricos de forma continuada en Asturias, para seguir profundizando en el estudio del cambio climático. Demandas que tendrán respuesta en nuestro nuevo Plan de Ciencia y Tecnología, como prioridad a la que nuestro sistema de I+D+i dedicará recursos y esfuerzos, con el objetivo de abrir nuevas oportunidades de progreso para Asturias.

**Vicente Álvarez Areces**

Presidente del Principado de Asturias



PRÓLOGO 

El incremento de la capacidad tecnológica de los humanos, fundamentada en la disponibilidad de fuentes de energía baratas y de fácil explotación, ha permitido un aumento rápido y espectacular de la población humana y de sus actividades entre las que se incluye el cambio de uso del suelo. Esta utilización continuada de fuentes de energía basadas en el carbono (carbón, petróleo y gas) ha mejorado las condiciones de vida de cada vez más personas, aunque otras no logran superar un nivel de desarrollo humano satisfactorio, en el sentido que le da a este término el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo.

El resultado de toda esta actividad antropogénica está modificando la química de la atmósfera y de los océanos, cada vez de forma más acelerada, y con ello las condiciones climáticas de la Tierra. Muchos pensadores y cada vez más organizaciones internacionales lo consideran el riesgo más importante que tiene la humanidad en estos momentos, dada la trascendencia que pueden tener estas modificaciones en todos los órdenes de la vida. No se debe perder de perspectiva que los que sufrirán, y están sufriendo ya en la actualidad, los efectos más perniciosos son los países y las personas menos favorecidas, con menos posibilidades económicas y tecnológicas.

¿Cuál debe ser la respuesta que se puede dar al cambio climático? El Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático (IPCC) del Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente propone dos: mitigar el cambio y adaptarnos al mismo. La primera englobaría todas las acciones para reducir la intensidad y rapidez del cambio. La segunda sería preparar las estructuras sociales y económicas, los recursos productivos y las infraestructuras pensando en las nuevas condiciones a las que nos veremos sometidos.

Existen muchos documentos que nos informan de los cambios que está sufriendo el clima, sus efectos sobre los ecosistemas, sobre los recursos vivos que explotamos, o sobre los daños causados por fenómenos meteorológicos extremos; además, poseemos proyecciones climáticas hasta finales del presente siglo y a más largo plazo. De su recopilación cada vez obtenemos una imagen más precisa de cómo funcionan muchos de los procesos implicados a las escalas necesaria para entenderlos, global, regional o local; aunque en estas dos últimas las lagunas pueden ser importantes para diferentes zonas geográficas.

Dado que las decisiones que podamos dar se deberán tomar a escala de países, regiones, ciudades e individual, necesitamos mejorar nuestros conocimientos sobre los cambios que se han producido a escala regional y local y de cuales han sido causados por condiciones climáticas. Para ello no es suficiente basarse en consideraciones globales si queremos que se de una respuesta adecuada. Si las incertidumbres son muchas, todos entendemos que no es fácil tomar decisiones. Y si las decisiones que se tomen implican costes, aunque también puedan identificarse posibilidades, se pueden generar molestias sociales si no son asumidas. Por todas estas consideraciones, cada vez se hace más evidente la necesidad de disponer de información contrastada sobre lo que está ocurriendo, de entender los mecanismos que regulan el clima y las respuestas a este cambio, y de modelos conceptuales o numéricos que proyecten los cambios al futuro. Toda esta información debe hacerse accesible a la sociedad para que el problema sea

entendido en toda su trascendencia, y las decisiones que se deban tomar sean demandadas y respaldadas por todos.

Parece obvio que el primer paso es conocer el estado de la cuestión a nivel regional. Pero también es obvio que si se reduce la escala de observación se detectarán muchos huecos en nuestros conocimientos, y desde luego en el de las proyecciones al futuro. El grupo de expertos que se han reunido en CLIMAS ha tenido como objetivo, recopilar la información existente, sintetizarla y difundirla de la manera más divulgativa posible. También acompañar los resultados con la recopilación de los documentos existentes, que han sido utilizados como evidencias de las afirmaciones que se vierten en el documento que podrán leer a continuación.

Después de la lectura nadie dudará de que este documento sea sólo un primer paso, que deberá ser seguido por otros muchos. Exigirá un esfuerzo de imaginación y trabajo por la actual generación de científicos, pero también por generaciones futuras de jóvenes. Esperamos que su lectura despierte el interés por el estudio de un aspecto tan excitante y preocupante como el que se analiza en las siguientes páginas.

Todos nosotros deseamos que el resultado del esfuerzo colectivo que se presente en este libro pueda proporcionar una información útil para que los ciudadanos, los responsables políticos, sociales o empresariales. Y, desde luego, que lo que aquí se siembra crezca y permita una toma de decisiones inteligente que atenúe el cambio climático y posibilite estar preparados antes las nuevas condiciones que generará.

En Oviedo a 23 de Abril de 2009

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Ricardo Anadón', written over a horizontal line.

**Ricardo Anadón**

Catedrático de Ecología- Coordinador de CLIMAS





# INTRODUCCIÓN

Los efectos del cambio climático son visibles ya en todo el mundo, pero la distribución de la intensidad de sus impactos es desigual. España, por su situación geográfica y sus características socioeconómicas, es un país muy vulnerable al cambio climático y a sus efectos, pudiendo producirse consecuencias especialmente graves, entre otras, en lo referente a la disminución de los recursos hídricos y la regresión de la costa, pérdidas de biodiversidad biológica y ecosistemas naturales, aumentos en los procesos de erosión del suelo y pérdidas de vidas y bienes derivadas de la intensificación de fenómenos meteorológicos extremos, tales como inundaciones, incendios forestales y olas de calor. Asturias, situada en la zona más septentrional de la Península Ibérica, tampoco es ajena a los cambios del sistema climático, aunque estos puedan ser de menor magnitud que en otras zonas del país.

La afección del clima a los sistemas físicos y biológicos y el aumento de riesgos que se predicen para el futuro, determina la necesidad de gestionar una respuesta planificada para disminuir la vulnerabilidad a los impactos y reducir los costes derivados de la reparación de los mismos. En el marco de actuación regional, el Gobierno del Principado de Asturias ya ha previsto la necesidad de realizar acciones de mitigación y adaptación al cambio climático en la Estrategia de Desarrollo Sostenible, facilitando la integración del cambio climático en las políticas sectoriales.

Para poder poner en marcha, de forma eficaz, estas estrategias de mitigación y adaptación al cambio climático es necesario tener un conocimiento lo más fiable y actualizado posible sobre los potenciales efectos que se puedan producir a escala regional. Por esa razón es tan importante disponer de evalua-

ciones regionalizadas de los posibles escenarios climáticos y de sus repercusiones en los distintos sistemas naturales y en los sectores socioeconómicos.

Con ese objetivo se constituye, por iniciativa del Gobierno del Principado de Asturias, el Panel de Expertos CLIMAS, que ha reunido a más de cuarenta investigadores y personas expertas de distintas instituciones del país para realizar un estudio sobre las evidencias y los efectos potenciales del cambio climático en nuestra región, cuyos resultados se han reunido en el presente libro.

En el estudio se han evaluado las evidencias del cambio climático en la atmósfera y en el océano, así como en los ecosistemas terrestres, marinos y costeros. Se ha realizado igualmente un análisis de los efectos potenciales del cambio climático sobre los recursos forestales, hídricos, agrícolas y pesqueros, y sobre la incidencia en la economía, la salud y los riesgos naturales. Para ello se han recopilado y analizado un importante número de trabajos e investigaciones, en su mayor parte ya publicados, que explican la influencia de las variables climáticas en los sistemas ecológicos y en sus procesos de cambio y degradación.

Sin duda, queda mucho por saber, pero también son muchas las evidencias encontradas, como muestra que se haya comprobado un incremento medio de la temperatura atmosférica de 0,21 °C por década desde los años 60 en Asturias, o que la temperatura media del agua del mar, medida en el Cantábrico frente a la costa asturiana, haya experimentado aumentos superiores a los 0,3 °C por década de forma sostenida, al menos durante los últimos 20 años. El impacto de las variables climáticas sobre los ecosistemas terrestres y marinos resulta igualmente evidente, sobre

todo en aquellos ecosistemas más vulnerables, como muestran numerosos trabajos sobre fauna y flora de la Cordillera Cantábrica o sobre biodiversidad planctónica y de litoral realizados en los últimos años en Asturias.

Los contenidos del libro se han estructurado a lo largo de 12 capítulos y un Anexo final en el que se incluye un resumen ejecutivo orientado a que los encargados de tomar decisiones y los comunicadores vean facilitada la labor de síntesis y de interpretación de las observaciones y predicciones (“qué está pasando” y “qué puede pasar”) sobre los impactos y evidencias del cambio climático en Asturias. Se utiliza para ello una escala de certidumbre con tres niveles: alta, media y baja confianza, que permite identificar las conclusiones que tienen una mayor base científica y aquellas en las que la investigación que se aborde en un futuro podría arrojar mayor conocimiento sobre el tema.

En el Capítulo 1 se hace un análisis del clima actual y pasado en Asturias, revisando la evolución de las tendencias recientes de las principales variables climáticas observadas en relación con el calentamiento global. Este análisis ha sido realizado fundamentalmente por investigadores de la Universidad de Oviedo, que han contado con la colaboración de expertos de Meteogalicia, fruto del acuerdo de colaboración en materia de cambio climático suscrito entre el Gobierno del Principado de Asturias y la Xunta de Galicia y aprobado en la última Cumbre Galaico-Astur celebrada en Santiago de Compostela en 2008. Así mismo, se presentan los escenarios de cambio climático regionalizados para Asturias, obtenidos mediante la aplicación de modelos físicos de simulación basados en los escenarios regionalizados de cambio climático en España. Estos

escenarios elaborados por la Agencia Estatal de Meteorología, han sido adaptados para Asturias por el grupo de investigación del Instituto de Ciencias Ambientales de la Universidad de Castilla La-Mancha.

El cambio climático no es sólo un proceso atmosférico sino que afecta también a los océanos. En el Capítulo 2 se presentan los cambios observados en las principales variables físicas y biológicas de las aguas marinas frente a las costas asturianas. Se han analizado series de datos de temperatura del agua a nivel superficial, subsuperficial y profundo, viento, salinidad, elevación del nivel del mar; junto con variables biológicas como distribución de fitoplancton y zooplancton y evolución de recursos pesqueros. El aumento de la temperatura del agua registrado ha ido acompañado también de una elevación del nivel del mar al ritmo de unos 3 mm anuales. Este trabajo ha sido abordado conjuntamente por investigadores de la Universidad de Oviedo, del Centro Oceanográfico de Gijón perteneciente al Instituto Español de Oceanografía (IEO), y del Centro de Experimentación Pesquera de la Consejería de Medio Rural y Pesca del Gobierno del Principado de Asturias. Además se ha realizado un análisis de escenarios futuros para el nivel medio del mar, el retroceso de la línea de costa y otras variables físicas y su influencia en las obras marinas, mediante la aplicación de los modelos físicos de simulación regionalizados que han realizado, para este estudio, investigadores del Instituto de Hidráulica Ambiental de la Universidad de Cantabria.

El impacto del cambio climático en las especies y comunidades terrestres se analiza en el Capítulo 3. Los investigadores de la Universidad de Oviedo que se han encargado de preparar esta sección llevan mucho tiempo anali-

zando series fenológicas y cambios en la biodiversidad de las especies de fauna y flora del Principado de Asturias, y han detectado mayor presencia de especies de tipo mediterráneo y aumento de las amenazas para especies de tipo boreal. Las previsiones basadas en los modelos climáticos predicen desplazamiento de determinadas especies hacia mayores altitudes y latitudes más al norte, adelanto de la floración en primavera y mayor incidencia de las plagas e invasiones biológicas.

Las temperaturas extremadamente altas y la mayor frecuencia de fenómenos meteorológicos violentos, como lluvias torrenciales, pueden tener una incidencia directa sobre la salud de las personas y aumentar la probabilidad de riesgos naturales. El estudio de la influencia del cambio climático sobre la salud es presentado en el Capítulo 4 y ha sido realizado por expertos de la Consejería de Salud y Servicios Sanitarios del Principado de Asturias. Han corroborado, por ejemplo, el aumento de mortalidad registrada en 2003, debido a la ola de calor que afectó a toda Europa, o el mayor riesgo debido a vectores que tienen una influencia directa de la temperatura.

Por lo que respecta a los riesgos naturales, son analizados en el Capítulo 5, por investigadores de la Universidad de Oviedo, la Universidad de León y del Instituto Geológico y Minero (IGME), así como por expertos del ámbito de las compañías aseguradoras, destacando la tendencia al aumento del número de incendios forestales durante las últimas décadas y prediciéndose, de acuerdo a los escenarios climáticos regionalizados, el aumento de la frecuencia de inundaciones y de otros fenómenos geológicos, como inestabilidad de laderas durante el invierno, por ser ésta la época en

la que más aumentan las precipitaciones de mayor intensidad.

En los Capítulos 6 y 7 se analizan los efectos que el cambio climático introduce en los sistemas productivos, concretamente en la agricultura y en la explotación de recursos forestales. Estos capítulos han sido elaborados por investigadores del Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA) y de la Universidad de Oviedo. Además del impacto sobre la productividad de las especies, se pone de manifiesto un aumento de la vulnerabilidad de determinadas especies a las enfermedades, como consecuencia, fundamentalmente, de la reducción de precipitaciones.

La disminución de precipitaciones y el aumento de temperaturas también puede afectar a los recursos hídricos, tanto superficiales, como subterráneos. Aunque no se dispone actualmente de modelos físicos a nivel regional sobre los que puedan realizarse predicciones en distintos escenarios climáticos, investigadores y expertos de la Universidad de Oviedo, del IGME y de la Confederación Hidrográfica del Cantábrico, aventuran algunos efectos del cambio climático sobre el agua e identifican líneas de investigación que deberán ser abordadas en el futuro. Todo ello se trata en el Capítulo 8.

Hay otros sectores económicos que van a verse directa o indirectamente afectados por los cambios que se proyectan en el sistema climático regional. Investigadores de la Universidad de Oviedo y del Observatorio de Sostenibilidad de España, han recogido algunas conclusiones sobre cambios en los modelos económicos, producidos como consecuencia de la incorporación del coste asociado a las emisiones de dióxido de carbono a los produc-

tos y servicios, con especial incidencia en los sectores productivos básicos, como la siderurgia, el cemento o la generación de electricidad. Todo ello queda puesto de manifiesto en el Capítulo 9.

El libro dedica el Capítulo 10 a presentar un estudio de la influencia del cambio climático sobre el turismo en Asturias. El tratamiento de los modelos climáticos regionalizados permite realizar un análisis de la influencia del cambio climático sobre el turismo, tanto de costa como de montaña. Los escenarios analizados permiten predecir una mejora prácticamente generalizada en todo el territorio de los índices que miden la calidad turística, por lo que Asturias podría salir beneficiada con las nuevas condiciones climáticas respecto a otros destinos del Mediterráneo. Solamente el turismo de nieve puede ser más vulnerable a esos cambios, debido a la previsible reducción de las precipitaciones en forma de nieve. Este novedoso estudio ha sido realizado por un equipo de investigadores de distintas universidades: Universidad de Oviedo, Universidad de Barcelona y Maastrich University.

En último lugar, se presentan una serie de conclusiones sobre la situación energética del Principado de Asturias y su evolución futura a la vista de las medidas de mitigación del cambio climático que es obligado poner en marcha, tanto en la generación como en el uso de la energía. El análisis ha sido realizado por investigadores del Instituto del Carbón (INCAR/CSIC), del Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), de la Universidad de Oviedo y de la Universidad de Sevilla, en el Capítulo 11. Se ha evaluado la incorporación de criterios de ahorro y eficiencia energética a sectores como la vivienda o el transporte y se han estudiado

también las posibilidades del avance de las energías renovables en nuestra región. Capítulo aparte merece el uso limpio del carbón, tema de especial trascendencia para el futuro de los recursos autóctonos de una región con una gran tradición minera. Por ello se ha considerado conveniente, a la luz de los últimos avances tecnológicos en las técnicas de captura y almacenamiento subterráneo de carbono, plantear su viabilidad en el Capítulo 12, cuestión que ha sido abordada por investigadores del INCAR, de la Universidad de Oviedo y del IGME.

Los resultados que se recogen en este libro constituyen un elemento básico para mejorar la comprensión de la vulnerabilidad de nuestra región a los impactos del cambio climático, pero es necesario seguir avanzando en el conocimiento del sistema climático y en su interacción con los distintos sistemas físicos, biológicos y socioeconómicos, con una aproximación rigurosa y científica. Sólo así será posible que las políticas que es necesario poner en marcha, en materia de adaptación y mitigación, sean eficaces y bien entendidas y valoradas por la sociedad.

Son muchas, y de campos científicos muy diversos, las personas que han participado en la preparación de este libro sobre el cambio climático en Asturias. La sociedad asturiana está en deuda con ellas. Una forma de poner en valor el esfuerzo realizado es aumentar nuestro nivel de concienciación sobre el problema y el grado de responsabilidad que cada uno de nosotros tenemos en la solución del mismo.



CLIMA 



**Miguel Ángel Álvarez García.** INDURROT, Universidad de Oviedo.

**Manuel de Castro Muñoz de Lucas.** ICAM, Universidad de Castilla-La Mancha.

**Raquel Cruz Guerrero.** Dpto. Climatología e Observación, Meteogalicia, Xunta de Galicia.

**Ángeles Gómez Borrego.** Instituto Nacional del Carbón, CSIC.

**Vicente Pérez Muñuzuri.** Meteogalicia, Xunta de Galicia.

**Heather Stöhl.** Departamento de Geología, Universidad de Oviedo.

### 1.1 INTRODUCCIÓN

Es una certeza incontrovertible que la superficie terrestre ha experimentado un calentamiento medio global a lo largo del último siglo, cuya tasa se ha intensificado en las últimas tres décadas. Y también es cada vez más firme la evidencia de que ese calentamiento se debe principalmente a la acumulación en la atmósfera de gases de efecto invernadero (GEIs) emitidos por la quema de combustibles fósiles y también, aunque en menor medida, por la deforestación y los cambios de uso del terreno. Es decir, más allá de cualquier duda razonable, puede afirmarse que algunas actividades humanas están provocando un cambio climático a escala global.

Sin embargo, lo más preocupante es que todo apunta a que la tasa actual de las emisiones antropogénicas de GEI se acrecienta, por lo que el ritmo del calentamiento global se va a ir acelerando a lo largo de este siglo. Esto, sin duda, acabará alterando en mayor o menor medida los actuales regímenes climáticos en gran parte de las regiones del planeta, con repercusiones medioambientales, sociales y económicas que pueden llegar a ser de magnitud significativa en muchos casos.

El clima de Asturias sigue una pauta de cambio semejante al del conjunto global, si bien el calentamiento medio a lo largo de las últimas tres décadas (0,8 °C) ha sido ligeramente inferior al experimentado en la zona continental del Hemisferio Norte (0,9 °C). En consecuencia, puede decirse que el clima de la región está experimentando alteraciones que podrían estar repercutiendo en los más sensibles sistemas naturales asturianos. Para evaluar este cambio climático hay que considerar las características actuales del clima de Asturias y analizar las tendencias observadas en las últimas décadas, haciendo uso de los registros instrumentales disponibles.

En este capítulo se describen brevemente los principales rasgos del clima actual, su variación geográfica, el paleoclima, así como las tendencias observadas en Asturias desde mediados del siglo XX, utilizando las series de valores registrados en observatorios meteorológicos de la región. Con esta información se podrían realizar estudios sobre la atribución de las alteraciones ambientales constatadas a los cambios climáticos observados y señalar las zonas potencialmente más afectadas por ellos.

A continuación, se presentan algunos escenarios de cambio climático a escala regional en Asturias a lo largo del presente siglo XXI, que se han deducido de simulaciones con varios modelos climáticos bajo diversos supuestos sobre la futura evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero. Estas proyecciones futuras, acompañadas de una valoración de su incertidumbre, podrían servir de base para realizar análisis objetivos sobre los posibles efectos a que daría lugar el cambio climático previsible a lo largo del presente siglo.

## 1.2. CLIMA ACTUAL DE ASTURIAS

### CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CLIMA ASTURIANO

Para la comprensión de las características del clima asturiano, es necesario detenerse en dos aspectos fundamentales, de los que derivan las condiciones climáticas. Nos referimos, por un lado, a la dinámica atmosférica, y por el otro, a la orografía y la influencia tierra-mar.

Respecto a la dinámica atmosférica y su influencia sobre Asturias, hay que tener en cuenta que esta región puede definirse como de latitudes medias, comprendida entre los paralelos 42 y 44, en el Hemisferio Norte. En estas latitudes existe una línea de contacto entre el aire frío de origen ártico y el cálido de origen subtropical. Esta frontera denominada *frente polar* es muy dinámica, ya que las dos masas de aire con características muy diferentes tienden a interpenetrarse formando grandes vórtices que originan borrascas (Felicísimo 1981, 1982) que se desplazan de oeste a este.

Tanto el aire polar frío como el subtropical cálido húmedo interactúan entre sí, pero mantienen sus características individuales. La consecuencia, no es sólo un desplazamiento horizontal, si no un cabalgamiento o elevación del aire cálido sobre el frío, formando en las zonas de contacto, lo que denominamos frentes y que pueden ser fríos o cálidos en función de la posición de cada masa. Estos movimientos ascensionales producen circunstancias de especial interés como son las *precipitaciones por efecto orográfico o de ladera* y por convección (Felicísimo 1982).

La situación costera y el carácter montañoso de Asturias se manifiestan como factores muy importantes del clima regional, al introducir dos tipos de efectos, distintos pero

interrelacionados: en primer lugar, los derivados de la interferencia del relieve y del litoral con la circulación atmosférica, especialmente en el caso de las situaciones sinópticas borrascosas; y en segundo, los resultantes de los vientos y desplazamientos verticales de aire, que derivan, sobre todo en condiciones anticiclónicas, de las variaciones locales del balance energético y del contraste entre el mar y la tierra firme (Muñoz Jiménez 1982).

#### Precipitaciones

En general, las precipitaciones en Asturias aumentan desde la costa hacia el interior. Las zonas de menor precipitación se encuentran en la costa, entre los ríos Eo y Navia y los alrededores del Cabo Peñas, con una media anual de 1000 mm y siempre superior a 900 mm. Con condiciones similares se encuentran los valles interiores y la planicie de Llanera, rodeada de alturas moderadas (Mateo González 1970, Felicísimo 1992).

La precipitación media anual, exceptuando las zonas citadas anteriormente, se mantiene entre los 1000 y 1500 mm, alcanzados estos últimos en las zonas montañosas con cotas de unos 1000 m. Estas son las condiciones de precipitación media para la mayor parte del territorio asturiano (Figura 1).

En zonas de alta montaña las precipitaciones rebasan los 1500 mm, aunque el límite superior es hipotético al carecer de observaciones para determinarlo. Este aumento es consecuencia del efecto de ladera, si bien el gradiente de precipitaciones en relación con la altitud es variable según las zonas, pudiendo calcularse una media para Asturias de 100 mm por cada 100 m de altitud (con valores que pueden ser de 220 mm por cada 100 en las sierras litorales) (Felicísimo 1992).

Las lluvias ocurren a lo largo de todo el año, con máximos a finales de otoño o a principios de invierno y un mínimo en verano, que suele establecerse en el mes de julio y se mantiene, normalmente, por encima de los 30 mm de media mensual. También existe un máximo secundario en primavera que se presenta en distintos meses en función de la localización, a comienzo de la misma en la zona occidental de Asturias y se retrasa a medida que se penetra en el Golfo de Vizcaya (Mounier 1979). Esto afecta también a las precipitaciones estivales que aumentan gradualmente desde el oeste hacia el este en todo el área cantábrica (Felicísimo 1981, Mounier 1979). El efecto final es que la frecuencia y persistencia de la sequía es diferente a lo largo del litoral cantábrico. El máximo invernal en zonas costeras es inferior, aunque muy próximo, a tres veces el valor del mínimo. En el resto de la región dicho máximo se mantiene tres veces superior al mínimo mensual. Utilizando técnicas de SIG y análisis

multivariante se han obtenido modelos territoriales de precipitación que matizan el efecto del relieve (Marquínez et al. 2003).

Las precipitaciones en forma de nieve se producen durante los meses fríos, siendo más frecuentes a medida que aumenta la altitud. En la costa, los días de nevada son escasos, siendo de entre 1 y 2 días al año, con probabilidad de 2 años sin nieve cada 5 años. Penetrando hacia el interior, es extraño el año en que no se observa alguna nevada. En la costa y valles bajos, el mes de nevada más frecuente es el de febrero, que es el mes más frío. En zonas de alta montaña como el Puerto de Leitiriegos se pueden iniciar en septiembre y, casi seguro, en octubre, pudiendo llegar hasta junio, y sin duda, hasta mayo.

#### Temperaturas

La temperatura media anual reducida al nivel del mar se mantiene entre 13 °C y 14 °C. El gradiente térmico es de 0,5 °C cada 100 m de altitud. La temperatura disminuye progre-

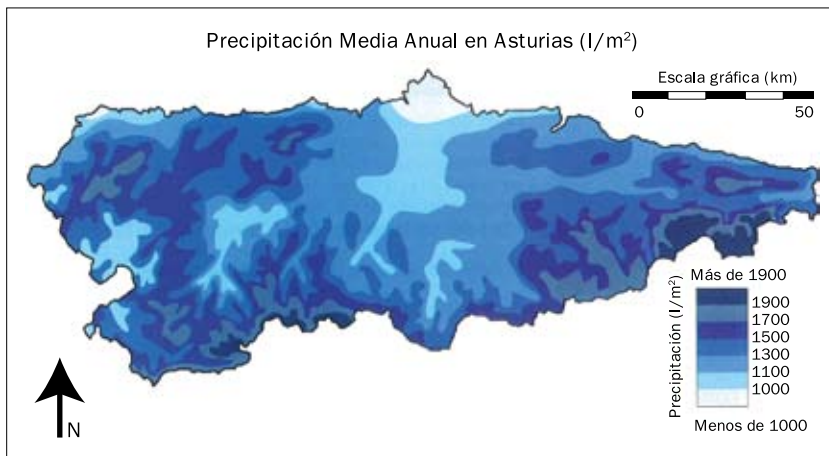
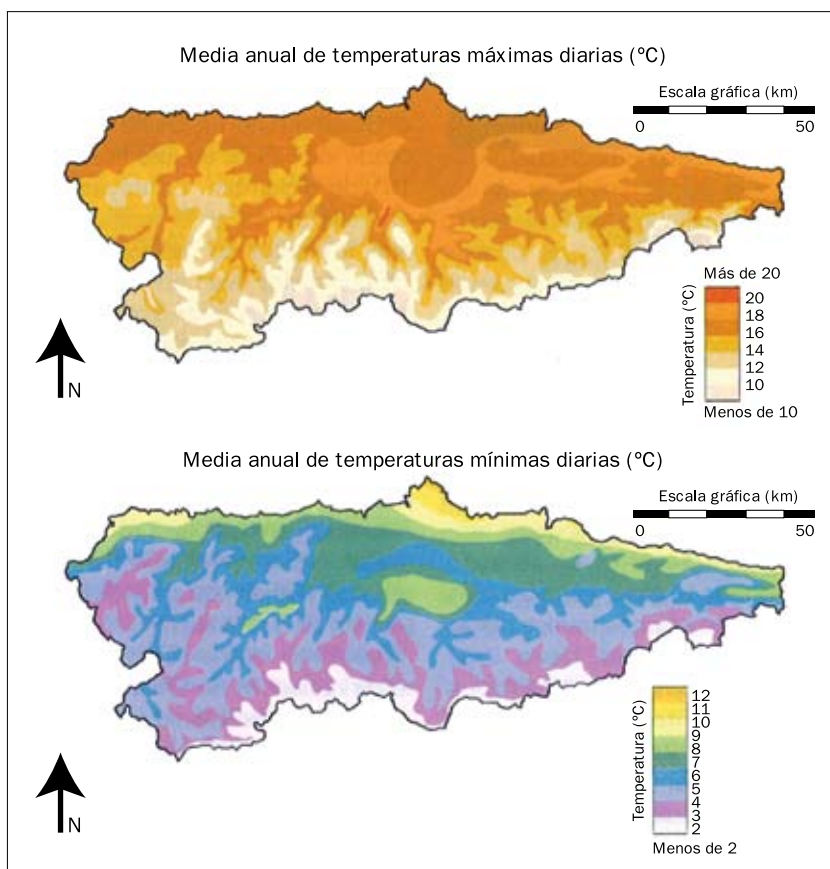


Figura 1. La precipitación media anual en Asturias está estrechamente ligada al relieve y oscila entre los 900 l/m<sup>2</sup> en algunos puntos del litoral y más de 2000 l/m<sup>2</sup> en las zonas más elevadas de la montaña oriental (Felicísimo, 1992).

sivamente hasta las cumbres más elevadas hasta 0 °C. Esta variación es análoga para el mes más frío (febrero), con una temperatura media que va desde los 9 °C hasta -4 °C, y la media de las mínimas desde 7 °C hasta -10 °C; para el mes más cálido (agosto), la media se sitúa desde 20 °C hasta 5 °C, y la media de

las máximas, desde 25 °C hasta 10 °C (Mateo 1970, Felicísimo 1992) (Figura 2).

Es importante tener en cuenta, además del gradiente de temperatura, el efecto moderador del mar, manifestándose en las temperaturas medias mensuales reducidas a su nivel, ya que de junio a septiembre dichas



**Figura 2.** Distribución de la temperatura media de las máximas y mínimas en Asturias. Entre las máximas, los valores más elevados se alcanzan en los valles interiores más continentalizados, donde no llega la influencia suavizadora del mar. Entre las mínimas destacan los enclaves cálidos de las zonas costeras, donde las heladas son poco frecuentes. (Felicísimo, 1992).

temperaturas aumentan desde la costa hacia el interior, mientras que de noviembre a abril el fenómeno se invierte (Mateo 1956, 1980). También cobra importancia el estancamiento de aire frío en los valles bajos, separados de la influencia marina por alturas moderadas, con formación de la inversión típica de madrugada. La zona asturiana más representativa de este efecto, para cotas inferiores a unos 200 m, es la del valle del Nalón incluyendo sus afluentes (Cubia, Nora) (Figura 2). Los límites más frecuentes de esta inversión fría parecen situarse cerca de los 200 m de altitud, siendo su consecuencia más frecuente la formación de nieblas de radiación, que se observan por la noche y suelen disiparse al avanzar el día, con el calentamiento solar, aunque pueden llegar a persistir en condiciones favorables de alta humedad relativa. Otra consecuencia del estancamiento de aire frío se manifiesta en las temperaturas mínimas siendo, a veces, extraordinariamente bajas para las habituales en Asturias, a la altitud que se registran (Mateo 1980).

### ZONAS CLIMÁTICAS DE ASTURIAS

Diversos autores han estudiado el clima de Asturias, realizando una clasificación propia o por medio de la aplicación de métodos ya existentes. Hay que tener en cuenta que estas clasificaciones se realizaron en los años 80 con los datos y medios disponibles en aquel momento.

Mateo (1980) (Figura 3), zonifica Asturias en base a las precipitaciones y temperaturas de la región, diferenciando 4 zonas climáticas, que son las siguientes:

- Costa, propiamente dicha, hasta altitudes de 200 m.
- Valles, hasta altitudes de 800 m.

- Montañas, con altitudes entre 800 m y 1800 m.

- Montañas altas, con cotas superiores a los 1800 m.

**Costa.** Comprende la propiamente dicha, hasta altitudes de 200 m, excluyéndose los valles bajos separados de la influencia marítima por alturas, aun cuando sean moderadas.

Las precipitaciones medias anuales oscilan, generalmente, entre 1000 y 1300 mm, excepto en la parte oriental, en donde, en las proximidades del monte Sueve y Sierra del Cuera, suben hasta 1500 mm.

Durante el mes más frío (febrero), la temperatura media oscila entre 9 °C y 8 °C. Son raras las temperaturas inferiores a 0 °C. Durante el mes más cálido (agosto), la temperatura media oscila entre 20 °C y 18 °C y la media de las máximas oscila entre 21 °C y 25 °C. Son raras las temperaturas superiores a los 30 °C.

Son características de esta zona las nieblas blandas de advección de aire húmedo sobre la faja costera litoral de aguas frías. En condiciones favorables, con viento de componente Norte flojo y aun moderado, estas nieblas penetran tierra adentro, a veces profundamente, siendo posible que, en estos casos, la advección sobre el agua fría se combine con la de la tierra fría y con el efecto de ladera.

**Valles.** Comprende las tierras con altitudes entre 200 y 800 m y, para cotas inferiores, penetra hacia el interior por los valles bajos siguientes: valle del Navia y valles del Cares y Deva.

Las precipitaciones medias anuales son, en general, inferiores a 1500 mm, bajando hasta 1000 en los valles bajos protegidos por alturas circundantes, precisamente en ellos, el mínimo mensual de julio es el menor de los registrados en Asturias, para cuyo mes la media

no suele ser inferior a 30 mm. Durante el mes más frío (febrero), la temperatura media oscila entre 8 °C y 3 °C, y la media de las mínimas entre 3 °C y -4 °C. Durante el mes más cálido (agosto), la temperatura media oscila entre 15 °C y 20 °C, y la media de las máximas, entre 20 °C y 25 °C. Las oscilaciones térmicas son más rigurosas en los valles bajos que en el resto de esta zona.

**Montañas.** Comprende las tierras con altitudes entre 800 y 1800 m. La precipitación media anual es, en general, superior a 1500 mm, pudiendo bajar a 1300 en zonas protegidas, y subir a más de 1900 en las de alta cota abiertas al mar. La temperatura media del mes más frío (febrero) se mantiene entre 5 °C y -1 °C, y la media de las mínimas entre 1 °C y -8 °C. Durante el mes más cálido (agosto) la temperatura media oscila entre 11 °C y 17 °C y la media de las máximas entre 17 °C y 23 °C.

**Montañas altas.** Comprende las tierras con altitudes superiores a los 1800 m. Las

precipitaciones medias anuales son siempre superiores a 1600 mm y aun, en ciertos sitios, a 1900 mm. La temperatura media anual del mes más frío (febrero) oscila entre -1 °C y -4 °C, y la media de las máximas, entre -8 °C y -10 °C. La media del mes más cálido (agosto) oscila entre 5 °C y 11 °C, y la media de las máximas, entre 10 °C y 17 °C. La cota de 1800 m marca el límite superior del bosque, no encontrándose después ninguna especie arbórea en Asturias.

### 1.3. PALEOCLIMA

Los datos de que se dispone en Asturias acerca del clima en el pasado derivan de estudios realizados en cuevas cársticas donde el crecimiento de estalactitas ofrece registros de alta resolución, en turberas, en las que la materia vegetal se ha acumulado de forma continuada y a partir de la información contenida en los anillos de crecimiento de las plantas. Datos



Figura 3. Zonas climáticas de Asturias (Mateo, 1970).

de regiones cercanas incluyen sondeos de zonas deltaicas que conservan polen terrestre.

### EL ÚLTIMO PERIODO GLACIAL, LA DEGLACIACIÓN, Y EL HOLOCENO

Igual que en todo el mundo, Asturias experimentó una época mucho más fría que la presente durante el último periodo glacial (entre 20000 y 40000 años antes del presente). En esa época, los glaciares crecieron en las zonas altas de la Cordillera Cantábrica y en Picos de Europa (Jiménez-Sánchez 1999). Estos glaciares alcanzaron una cota mínima de unos 1500 m. Las glaciaciones ocurren en ciclos debido a la variación de insolación de la Tierra al repetirse periódicamente variaciones en la inclinación del eje de rotación (~41000 a), variaciones en la excentricidad de la órbita (~100000 a) y en la precesión, cambio de dirección del eje de giro de la Tierra (~21000 a). Estos ciclos se conocen como ciclos de Milankovich. Durante el máximo glacial (el periodo con mayor presencia de glaciares), la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera era un 35% menor que la de antes de la Revolución Industrial (Petit et al. 1999). A esta situación contribuía la menor temperatura del agua de los océanos (el agua cuanto más fría admite más CO<sub>2</sub> disuelto en ella) y la diferente configuración de las corrientes oceánicas que permitían una mayor absorción de CO<sub>2</sub>. De este modo una parte del CO<sub>2</sub> de la atmósfera pasaba a los océanos.

Este descenso en el CO<sub>2</sub>, y la expansión de casquetes polares en el Hemisferio Norte, enfriaron Europa considerablemente. Aunque no existen datos cuantitativos acerca de las temperaturas en la zona de Asturias durante el máximo glacial, el mar Cantábrico se enfrió más de 8 °C hasta tener temperaturas mínimas en invierno próximas a 0 °C (Sánchez-Goñi et

al. 2008). El descenso de la temperatura del aire en Asturias probablemente fue comparable o ligeramente mayor al descenso de 8 °C del mar Cantábrico (Jiménez-Sánchez 1999).

El calentamiento postglacial más pronunciado en Asturias ocurrió entre 18000 y 15000 años antes del presente, y coinciden en el tiempo con la deglaciación de los grandes casquetes europeos y el comienzo de la subida del CO<sub>2</sub> atmosférico (Moreno et al. 2008a). Hace unos 11500 años, el clima alcanzó temperaturas cálidas típicas del Holoceno (época actual).

El Holoceno temprano (10000-8000 años antes del presente) fue la época más cálida en el periodo del registro del Lago Enol (de 40000 hasta 2000 años antes presente) (Moreno et al. 2008b) (Figura 4). Este “óptimo” climático del Holoceno está muy extendido en el Hemisferio Norte, coincidiendo además con una época más húmeda en el Norte de África y en el entorno mediterráneo, y se debe al máximo de insolación estival por el ciclo orbital de la precesión. Este óptimo coincide con el desarrollo de turberas en Galicia (Martínez Cortizas et al. 2001) y en algunas zonas de montaña (Parque de Redes) en Asturias (Ruiz Zapata et al. 2006) que podría indicar condiciones de mayor humedad. Al final del óptimo Holoceno, hace unos 6000 años, las precipitaciones empezaron a disminuir de manera gradual coincidiendo con la disminución de la insolación estival.

### CAMBIOS BRUSCOS EN EL CLIMA

Mientras que los ciclos glaciares son causados por variaciones cíclicas en la órbita terrestre, existen otros cambios climáticos bruscos cuyas causas aparentes son inestabilidades presentes dentro del sistema climático



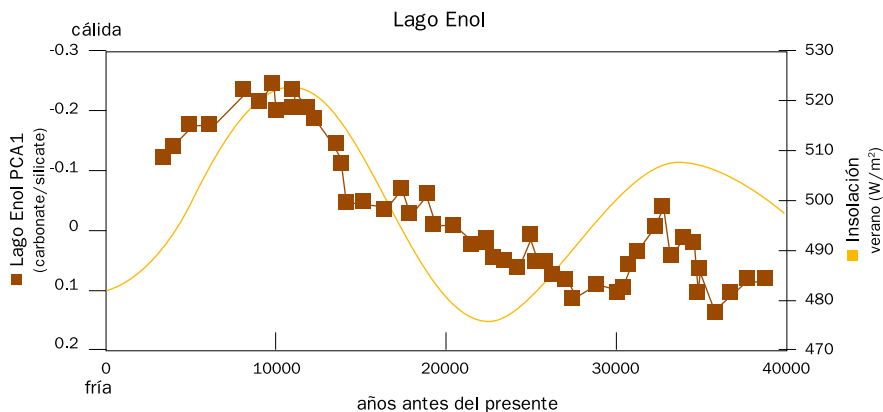


Figura 4. Variación climática de los últimos 40.000 años en Asturias determinada a partir de un sondeo del Lago Enol, Picos de Europa (Moreno *et al.* 2008b).

terrestre y no cambios en la insolación. Estos eventos abruptos y fríos ocurrieron en el Atlántico Norte y en el norte de Europa, afectando a la costa noroeste de España y a Asturias. Más probablemente estos cambios resultan de inestabilidades de la circulación del océano profundo en el Atlántico Norte. Este océano redistribuye calor entre las zonas tropicales y las polares. Periodos con alta fusión de casquetes en Groenlandia o en el extremo norte del Atlántico provocan aguas más dulces en el agua del océano en los bordes de dichos casquetes. Al disminuir la salinidad y la densidad de las aguas, se hace más lenta la circulación de aguas profundas, se enfría el Atlántico Norte y su entorno, y se producen avenidas de icebergs.

Se conoce bien la ocurrencia de varios eventos fríos en el Atlántico Norte cuya influencia se notó en Asturias, entre ellos están los eventos de Heinrich (el H1 hace 22000 años y el H2 hace 15000 años) y el evento Younger Dryas (entre 12500 y 11500 años antes del

presente). Su influencia se puede observar en varios registros, por ejemplo en registros de polen recogidos en sondeos marinos en Galicia; estos periodos fríos se reconocen como periodos de menor cobertura forestal debido a las condiciones frías presentes en aquella época (Desprat *et al.* 2003). En Asturias, la geoquímica de estalagmitas nos indica la presencia de condiciones muy frías y secas durante el evento Younger Dryas, con menor vegetación y menor actividad microbiana en los suelos (Moreno *et al.* 2008b). Lo que más destaca de este evento son las condiciones muy secas que representa. En Asturias, durante la época de deglaciación, hubo muchos periodos de variabilidad abrupta en la temperatura (a escala de siglos).

#### LOS ÚLTIMOS 2000 AÑOS

Registros climáticos obtenidos a partir de la acumulación de polen en la ría de Vigo (Galicia) indican que los últimos 150 años han sido los más cálidos de los últimos 2000 (Ber-



nárdez et al. 2008). Aunque ha habido varios periodos calidos anteriores a estos últimos 150 años, dichos periodos nunca alcanzaron temperaturas tan altas como las observadas recientemente. Antes de 1850 DC, hubo periodos más cálidos como, por ejemplo, el periodo de tiempo coincidente con la colonización romana entre 250 AC al 450 DC. También hubo otro periodo calido durante los años 950 y 1400 DC, a este periodo se le llama el periodo Medieval Calido. Por el contrario, ocurrieron periodos fríos entre los 450 y 950 años (llamado el periodo oscuro) y entre 1400 y 1850 DC

(periodo llamado la Pequeña Edad de Hielo). Estos dos periodos fríos coincidieron con un enfriamiento importante en el norte de Europa y con el avance de glaciares en esta zona.

En Asturias y en el sector Atlántico de Iberia, la Pequeña Edad de Hielo es un evento más húmedo que “el periodo Cálido Medieval”, y también más lluvioso que este último siglo. Estalagmitas recogidas en Asturias indican condiciones mas húmedas entre 1400 DC y 1850 DC, un patrón también observado en los deltas del Tajo y Duero (Abrantes et al. 2005, Abrantes et al. 2008) (Figura 5). La situación

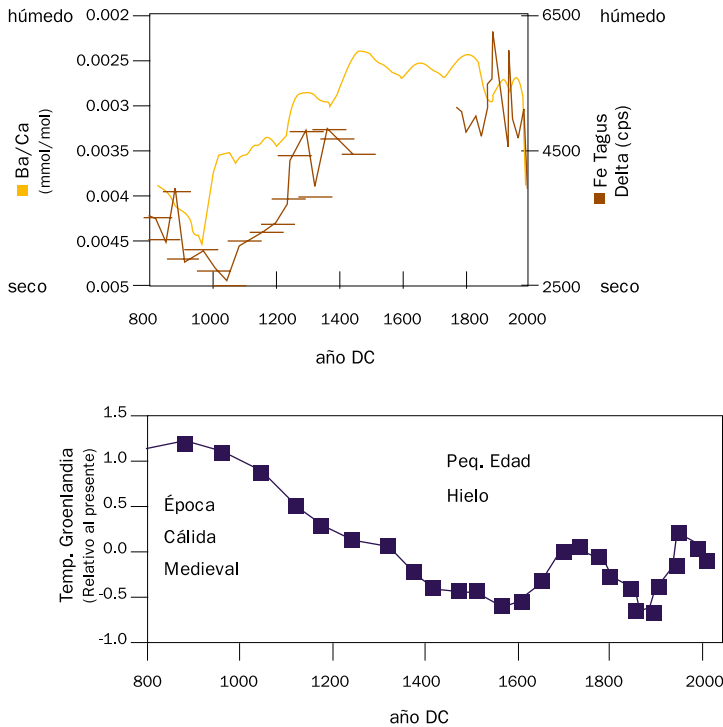


Figura 5. Variación climática del período entre 800 DC y presente en Asturias a partir de análisis de estalagmitas de la Cueva del Pindal, comparada con un registro del delta del Tajo (Abrantes et al. 2005). Como referencia figuran los datos de temperatura de Groenlandia.

de mayores precipitaciones en Asturias durante la Pequeña Edad de Hielo contrasta con la de la zona mediterránea de España que experimentó climas más secos.

#### 1.4. TENDENCIAS RECIENTES

La manifestación más evidente de que se ha producido algún cambio climático relacionado con el calentamiento global por causas antropogénicas se percibe analizando las tendencias de las principales variables climáticas a lo largo de las últimas décadas. Como se señala con claridad en el 4º Informe de Evaluación del IPCC (2007), la aceleración del calentamiento global observado no puede explicarse sin la concurrencia de la creciente concentración de gases de efecto invernadero emitidos por actividades humanas. Por ello, en este apartado se analizan las tendencias de las temperaturas (máximas, mínimas y medias) y de las precipitaciones que se han observado en el Principado de Asturias desde la segunda mitad del siglo XX hasta la actualidad.

##### TENDENCIAS OBSERVADAS EN SERIES DE DATOS DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS

En el estudio de tendencias en temperatura se han utilizado los datos diarios de las series de Grado, Cabo de Peñas y Gijón. Para el estudio de precipitación se incluyeron además de las anteriores, la serie de Amieva y las series mensuales de Genestoso, Arganza, Riosco y Oviedo (Tabla I).

Las series diarias han sido sometidas a un proceso de control de calidad y las series mensuales, estacionales y anuales han sido sometidas al test de homogeneización de Alexandersson (Alexandersson y Moberg 1997). El proceso detallado se muestra en el Anexo

1. Hay que destacar que en la serie de Grado y especialmente en la de Gijón, hubo que corregir varias inhomogeneidades claras en temperatura. Los resultados que se muestran del análisis de tendencias han sido obtenidos trabajando sobre estas series ya homogeneizadas.

Se ha estudiado la existencia de tendencias a nivel anual, estacional y mensual. Las temperaturas han sido expresadas como anomalías respecto a la media de la variable en el último periodo de referencia (1971-2000) y las precipitaciones como anomalías estandarizadas, usando la media y desviación típica de ese mismo periodo.

La existencia de una tendencia significativa a lo largo del tiempo se ha comprobado mediante la correlación no paramétrica de tau-kendall y la estima de la pendiente existente se ha obtenido por regresión lineal.

El periodo analizado en general ha sido 1961-2007, descartando años anteriores a 1961 en alguna serie (por ejemplo en Grado, donde presentaba bastante diferencia en el SNHT) y facilitando también la comparación con resultados de otros estudios (Galicia).

##### Tendencias en temperaturas

La temperatura media anual aumenta en las tres estaciones analizadas (Figura 6, Tabla II) y este aumento está especialmente relacionado con el aumento significativo del promedio de las temperaturas máximas, si bien las temperaturas mínimas también aumentan significativamente en la serie de Grado y Gijón (Tabla II, Figura 1 del Anexo 2).

Estacionalmente destacan las tendencias en primavera y verano. En primavera el aumento en las temperaturas medias está especialmente relacionado con las temperaturas máximas, mientras que en verano hay

**Tabla I.** Localización de las series de datos utilizadas. En cursiva se indican las series de las que se disponía de datos mensuales exclusivamente.

Estación	Longitud	Latitud	Altitud
Amieva	501472	431330	700
Grado	603472	432250	60
Cabo de Peñas	550572	433920	100
Genestoso	623472	430350	1180
Rioseco	527172	431320	390
Gijón	538312	433218	3
Arganza	629472	431550	320
Oviedo	552242	432113	336

una mayor variabilidad; en Gijón, por ejemplo, el aumento de verano es muy homogéneo en máximas y mínimas, mientras que en Grado y especialmente en (la siempre cuestionable) Cabo de Peñas, las mínimas pierden importancia. Estacionalmente también merece la pena destacar el aumento significativo de las máximas en invierno, mientras que en otoño apenas se aprecian tendencias (Tabla II).

Los resultados a nivel mensual (no mostrados) respaldan lo encontrado en las otras escalas. Cabe mencionar por su magnitud y similitud con los resultados encontrados en Galicia, la tendencia de las temperaturas máximas en el mes de marzo, especialmente en el interior: tasa desde 0,41 °C/10 años en Cabo de Peñas, 0,48 en Gijón y 0,69 en Grado.

#### Tendencias en precipitación

La existencia de tendencia en precipitación acumulada ha sido estudiada en el total de las series mostradas en la Tabla I, iniciándose el estudio en 1961 en los casos en los que ha sido posible.

El resultado más generalizado es un descenso en la precipitación total anual, significativo en cuatro de los casos (Genestoso, Amieva, Rioseco y Arganza) y casi significativo en la serie de Cabo de Peñas. En las tres series restantes (Gijón, Grado y Oviedo) la suave

pendiente negativa no llega a ser significativa (ver Figura 2 del Anexo 2), pero hay que señalar que en todos los casos la pendiente se acentúa desde mediados de los años 70. Estacionalmente sólo se encuentra un descenso significativo en primavera en las estaciones de Rioseco y Oviedo (no mostrado), series que comienzan ya en los años 70, indicando nuevamente una acentuación de las tendencias en los últimos 30 años.

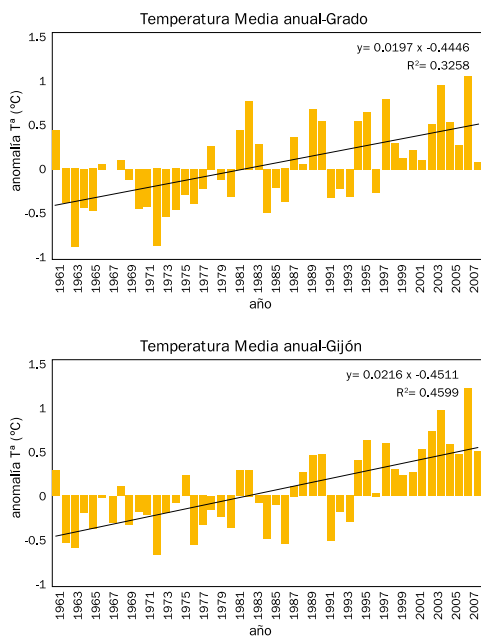
#### Tendencias en frecuencias de precipitación

En precipitación se ha estudiado la existencia de variaciones en la frecuencia de días de lluvia (precipitación > 1mm), frecuencia de días de lluvia superior a distintos umbrales (5, 10 y 30 mm) y frecuencia de días de lluvia superior al percentil 90, 95 y 99 (p90, p95, p99) de la distribución estacional correspondiente.

No se detecta ninguna tendencia significativa generalizada en la frecuencia de días de lluvia, ni en la de días de lluvia superior a un umbral. Hay un descenso significativo en el número de días de lluvia en la serie rellenada de Cabo de Peñas, que se presenta a lo largo de todas las estaciones, salvo en verano. Esta tendencia no parece relevante ya que probablemente es el resultado, o está al menos muy condicionada, por el propio proceso de relleno

**Tabla II.** Tendencias anuales y estacionales. La pendiente se expresa en °C/década. La significación de la tendencia se ha calculado por correlación no paramétrica de tau-kendall.

Estación		anual	invierno	primavera	verano	otoño
Gijón	Tmed	<b>0.22</b> ***	0.20 (p<0,10)	<b>0.27</b> ***	<b>0.22</b> ***	<b>0.17</b> *
	Tmax	<b>0.22</b> ***	<b>0.26</b> *	<b>0.30</b> ***	<b>0.19</b> **	<b>0.15</b> *
	Tmin	<b>0.21</b> **	0.15 <sup>ns</sup>	<b>0.24</b> **	<b>0.24</b> ***	<b>0.20</b> *
Grado	Tmed	<b>0.20</b> ***	0.17 <sup>ns</sup>	<b>0.32</b> ***	<b>0.22</b> ***	0.08 <sup>ns</sup>
	Tmax	<b>0.25</b> ***	<b>0.24</b> *	<b>0.37</b> ***	<b>0.27</b> ***	0.08 <sup>ns</sup>
	Tmin	<b>0.15</b> **	0.11 <sup>ns</sup>	<b>0.27</b> **	0.17 (p<0,10)	0.08 <sup>ns</sup>
Cabo de Peñas	Tmed	<b>0.11</b> ***	0.13 <sup>ns</sup>	<b>0.17</b> **	<b>0.12</b> **	0.04 <sup>ns</sup>
	Tmax	<b>0.24</b> ***	<b>0.33</b> ***	<b>0.29</b> ***	<b>0.19</b> ***	<b>0.15</b> *
	Tmin	-ns	+ns	+ns	+ns	-ns



**Figura 6.** Evolución de la anomalía de temperatura media anual en las series de Grado y Gijón. Se muestra también la pendiente estimada por regresión lineal.

de esta serie. Destaca sin embargo el caso de la serie de Gijón, que muestra una tendencia negativa en otoño para el número de días de lluvia y la frecuencia de días con lluvia superior a 5, 10 y 30 mm (esta última se queda al borde de la significación).

Respecto a la frecuencia de días con precipitaciones extremas (lluvia superior al p90, p95 o p99) destaca de nuevo y únicamente la serie de Gijón, con una pendiente negativa significativa nuevamente en otoño para la frecuencia de días con precipitación superior al p90 y p95.

#### Frecuencias de temperaturas extremas

En las tres series con datos diarios de temperatura disponibles (Cabo de Peñas, Gijón y Grado), se han calculado los percentiles extremos superiores (p90, p95 y p99) e inferiores (p10, p5 y p1) en cada estación del año y se ha analizado la frecuencia de días que superan dichos umbrales para temperatura máxima, mínima y media.

Debido a las inhomogeneidades detectadas y corregidas en las series mensuales de Gijón y Grado y a la imposibilidad de utilizar datos diarios de otras series homogéneas, se ha optado por intentar trasladar a nivel diario los factores de corrección calculados a nivel mensual. Para evitar la existencia de saltos en el paso de un mes a otro se ha suavizado el factor de corrección a lo largo del mes mediante interpolación lineal. En cualquier caso, y dadas las limitaciones de la técnica, conviene valorar los resultados de estos análisis de extremos como meramente orientativos de la pendiente existente, sin resaltar demasiado la magnitud concreta resultante.

Para resumir los resultados obtenidos y facilitar la comparación con otros estudios se han definido cuatro categorías:

**DÍAS CÁLIDOS:** temperatura máxima superior al p95.

**NOCHES CÁLIDAS:** temperatura mínima superior al p95.

**DÍAS FRÍOS:** temperatura máxima inferior al p5.

**NOCHES FRÍAS:** temperatura mínima inferior al p5.

Los resultados de los análisis de tendencias se muestran en la Tabla III. Las conclusiones más generalizadas son:

- Aumenta significativamente el número de días cálidos en primavera y el número de noches cálidas durante el verano.

- Por otra parte, disminuye el número de días fríos en las tres series prácticamente todo el año (salvo en verano en Grado).

- Estacionalmente destaca el descenso de días fríos en invierno y en otoño, el papel de las máximas en primavera (aumento de días cálidos y descenso de fríos) y el aumento de noches cálidas en verano (si bien en esta estación hay más variabilidad entre las series en otras frecuencias).

#### TENDENCIAS EN SERIES DE DATOS DEDUCIDAS

Paralelamente, y de forma complementaria a los análisis en las series de los observatorios anteriormente descritos, se ha analizado la evolución de la temperatura y la precipitación en las series temporales obtenidas a partir de la base de datos de los proyectos ECA (European Climate Assessment and Dataset) y Ensembles, analizando individualmente los 17 puntos de malla correspondientes a Asturias.

#### Tendencias de las temperaturas

En este caso se han obtenido las anomalías medias anuales de temperatura respecto al promedio del periodo 1961-1990 y se ha

**Tabla III.** Tendencias estacionales de la frecuencia de días con temperaturas extremas. La significación de la tendencia se ha calculado por correlación no paramétrica de tau-kendall.

Estación		invierno	primavera	verano	otoño
Días cálidos	Cabo de Peñas	<b>0.15**</b>	<b>0.17**</b>	<b>0.17**</b>	0.09 <sup>(p&lt;0.10)</sup>
	Grado	<b>0.09*</b>	<b>0.15***</b>	<b>0.08*</b>	-0.02 <sup>ns</sup>
	Gijón	0.09 <sup>(p&lt;0.10)</sup>	<b>0.10**</b>	0.05 <sup>ns</sup>	0.01 <sup>ns</sup>
Noches cálidas	Cabo de Peñas	0.07 <sup>ns</sup>	0.04 <sup>(p&lt;0.10)</sup>	<b>0.15*</b>	-0.01 <sup>ns</sup>
	Grado	<b>0.06**</b>	0.07 <sup>ns</sup>	<b>0.10**</b>	0.04 <sup>ns</sup>
	Gijón	0.07 <sup>ns</sup>	<b>0.12**</b>	<b>0.19***</b>	0.06 <sup>ns</sup>
Días fríos	Cabo de Peñas	<b>-0.18*</b>	<b>-0.14*</b>	<b>-0.11*</b>	<b>-0.11*</b>
	Grado	<b>-0.12*</b>	<b>-0.12*</b>	-0.05 <sup>ns</sup>	<b>-0.09*</b>
	Gijón	<b>-0.13*</b>	<b>-0.15***</b>	<b>-0.10**</b>	<b>-0.14**</b>
Noches frías	Cabo de Peñas	-0.11 <sup>(p&lt;0.10)</sup>	0.05 <sup>ns</sup>	0.02 <sup>ns</sup>	0.05 <sup>ns</sup>
	Grado	-0.01 <sup>ns</sup>	-0.06 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>(p&lt;0.10)</sup>	-0.05 <sup>ns</sup>
	Gijón	-0.03 <sup>ns</sup>	-0.07 <sup>(p&lt;0.10)</sup>	<b>-0.11**</b>	<b>-0.08*</b>

analizado un periodo ligeramente superior (1950-2006) fácilmente comparable con otros estudios realizados a nivel peninsular (Brunet et al. 2006) y un subperíodo más reciente (1980-2006), con objeto de cuantificar y comparar las tasas de calentamiento en cada uno.

La Figura 7 muestra la evolución de la anomalía de temperatura media anual en el promedio de los puntos de malla correspondientes a Asturias y su comparación con el estudio realizado a nivel peninsular. En ambos casos se aprecia un periodo claro de anomalías negativas en los años 70 y un periodo reciente de anomalías positivas, especialmente claro en Asturias desde 1994 y coherente con la evolución de la temperatura en la serie de Gijón y Grado anteriormente mostrada (Figura 6).

En la Tabla I del Anexo 2 se muestran las tendencias lineales de los promedios estacionales y anuales de la temperatura media dia-

ria correspondientes a los dos periodos analizados (1950-2006 y 1980-2006).

En resumen, se observa que las tendencias significativas de los promedios anuales en los últimos 27 años (1980-2006) son siempre mayores que las del periodo completo de 57 años (1950-2006), llegando a duplicarse en la zona suroccidental. Al igual que en el apartado anterior, las mayores pendientes se observan en verano y especialmente en primavera, llegando a tasas próximas a 0,7 °C por década en las celdillas de la parte oriental a lo largo de los últimos 27 años. Por su parte, en invierno y otoño las tendencias son mucho más suaves, e incluso no significativas cuando se analizan los últimos 27 años. Un comportamiento similar se aprecia en las tendencias de las temperaturas mínimas y máximas (no mostrado), aunque en general resultan algo más acusadas las de las segundas, como ya se puso de manifiesto en el apartado anterior.

Por lo que respecta a la variabilidad interanual de las temperaturas, aplicando un test F se comprueba que no ha habido cambios significativos ( $\alpha = 0.05$ ) entre los valores de las varianzas de las distribuciones de las temperaturas correspondientes al periodo completo (1950-2006) y los de los últimos 27 años (1980-2006). Es decir, no se aprecia alteración significativa en la intensidad de las anomalías térmicas interanuales en ninguna estación del año.

#### Tendencia de las precipitaciones

Al igual que en el análisis de los datos de las estaciones meteorológicas del apartado anterior, se aprecia una tendencia negativa en la precipitación anual pero que no llega a ser

significativa en la mayoría de las celdillas. Esta escasez de tendencias con una cualificada significación estadística posiblemente se deba a que la correspondiente serie temporal disponible no es suficientemente larga para la elevada variabilidad interanual de la precipitación, es decir para los valores relativamente altos de las varianzas.

Del análisis comparativo de varianzas entre la serie completa (57 años) y la de los últimos 27 años no se deduce que la variabilidad interanual de las precipitaciones haya sufrido un cambio con suficiente significación estadística en ninguna de las celdillas, según resulta de aplicar un test F.

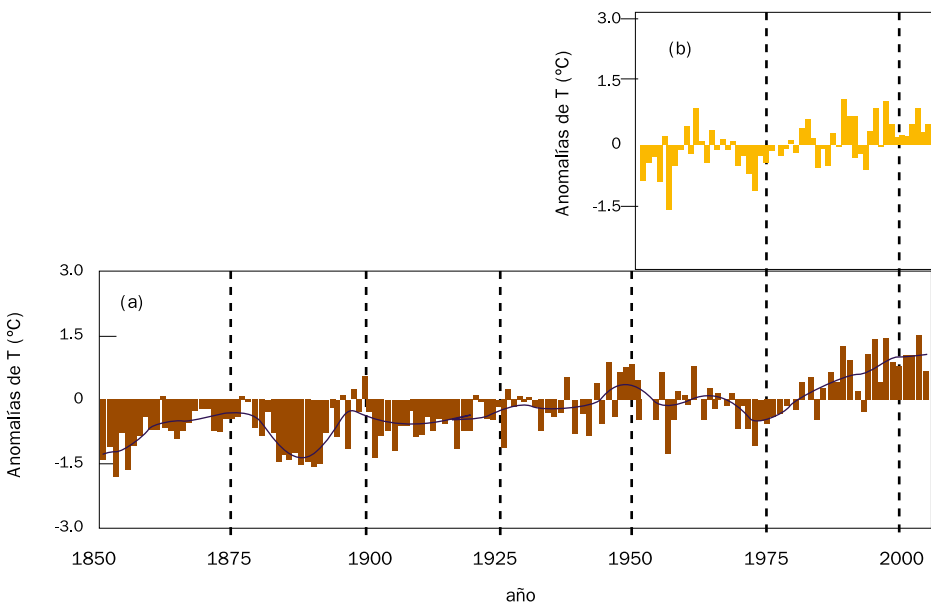


Figura 7. (a) Anomalías de las temperaturas medias anuales en España respecto al promedio de 1961-90 (columnas) suavizadas por un filtro Gausiano de 13 términos (línea morada) (tomada de Brunet *et al.* 2006). (b) Anomalías medias en Asturias entre 1950 y 2006 respecto al promedio de 1961-90 deducidas de la base de datos ECA-Ensembles.

### 1.5. ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALIZADOS EN ASTURIAS

Los escenarios de cambio climático futuro se obtienen aplicando modelos físicos de simulación, que han demostrado su capacidad para reproducir el calentamiento global de las pasadas décadas y que de forma inequívoca lo atribuyen a las emisiones precedentes de gases de efecto invernadero (GEI) a causa de actividades humanas. Para realizar proyecciones climáticas, los modelos necesitan disponer de futuros *escenarios de emisiones* de tales gases que se elaboran bajo supuestos plausibles acerca de cómo podría evolucionar la población mundial, la tecnología y los comportamientos sociales en las próximas décadas. Así, para cada uno de tales supuestos se deducen las posibles alteraciones climáticas a escala global o regional a que darían lugar, es decir los *escenarios o proyecciones de cambio climático*. Ahora bien, esta concurrencia de supuestos sobre futuras emisiones y del uso de modelos físicos aproximados obliga a contemplar también las inherentes *incertidumbres*, que solo pueden evaluarse disponiendo de un conjunto de escenarios simulados por diversos modelos climáticos.

En este apartado se presenta un conjunto de escenarios de cambio climático a lo largo del presente siglo en Asturias. Para ello se han utilizado los resultados de las simulaciones realizadas por un conjunto de modelos climáticos europeos en el marco del Proyecto PRUDENCE financiado por el 5º Programa Marco de I+D de la Comisión Europea entre 2001 y 2004 (Christensen et al. 2007). Concretamente se utilizaron tres modelos climáticos globales y nueve regionales que han demostrado su habilidad para simular los diversos climas

regionales en Europa a lo largo de las pasadas décadas (Jacob et al. 2007).

La base de datos generada en el proyecto PRUDENCE constituye la última y mejor información actualmente disponible sobre proyecciones de cambio climático en Europa con una resolución espacial relativamente alta (50×50 km<sup>2</sup>). Por esta razón, desde febrero de 2007 la Agencia Estatal de Meteorología ha puesto a disposición pública este conjunto de escenarios regionalizados de cambio climático en España.

Para deducir las proyecciones de cambio climático se han considerado los escenarios de emisiones que se describen en el Special Report on Emissions Scenarios (SRES) del IPCC (2001). En la Figura 8a se muestran las evoluciones de las emisiones globales antropogénicas de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a lo largo del presente siglo correspondientes a los cuatro escenarios de emisiones que aquí se consideran, identificados con las siguientes siglas: A1FI (escenario de emisiones altas), A2 (escenario de emisiones medias-altas), B2 (escenario de emisiones medias-bajas) y B1 (escenario de emisiones bajas). En la Figura 8b se muestran las evoluciones de la concentración global media de CO<sub>2</sub> correspondientes a cada escenario de emisiones.

Hay que señalar que los escenarios de emisiones que se van a considerar han sido elaborados con la finalidad de deducir la dependencia entre la señal del cambio climático proyectada por los modelos y la evolución futura de las concentraciones de GEIs y aerosoles, sin que quepa atribuir a ninguno de ellos una mayor o menor probabilidad de ocurrencia, si no que a priori todos deben suponerse igualmente posibles. Asimismo, conviene señalar que su propósito es utilizarlos para obtener



indicaciones objetivas de la sensibilidad del clima a diversas estrategias de control de emisiones humanas a escala planetaria, no para predecir de forma inequívoca la evolución del clima. Por eso se debe hablar de proyecciones de cambio climático, no de predicciones.

Por último, conviene añadir que el clima de cualquier región se determina a partir de promedios de las condiciones meteorológicas diarias a lo largo de periodos de decenas de años, y eso es lo que pueden simular los modelos climáticos. Dicho de forma simplista, su objetivo no es reproducir de forma exacta la secuencia diaria de las condiciones del tiempo meteorológico a lo largo de decenas de años; resulta imposible predecir la evolución real de situaciones meteorológicas en cualquier lugar más allá de un plazo de pocos días. Esto no se debe a imperfecciones de los modelos, sino esencialmente a que la atmósfera es un sistema caótico. Con los modelos climáticos se simula una posible secuencia diaria de condiciones

atmosféricas en cualquier zona del globo terrestre, a lo largo de decenas o centenares de años. Dicha secuencia es muy poco probable que coincida día a día con la real, aunque no haya razones físicas que imposibiliten su ocurrencia. Pero se comprueba que las distribuciones estadísticas (promedios y variabilidad) de dicha secuencia se corresponden ajustadamente con las del clima real observado en el periodo simulado. Después, se continúa la simulación considerando diversas evoluciones de GEIs y aerosoles que cabría esperar en el futuro. Y, finalmente, se comparan las estadísticas de los valores simulados en un periodo de referencia del pasado reciente (“clima actual”) con las de un periodo de igual extensión correspondiente al clima futuro, deduciéndose así los escenarios de cambio climático en dicha época.

Para construir los escenarios de cambio climático regionalizados se han utilizado los valores medios diarios de diversas variables

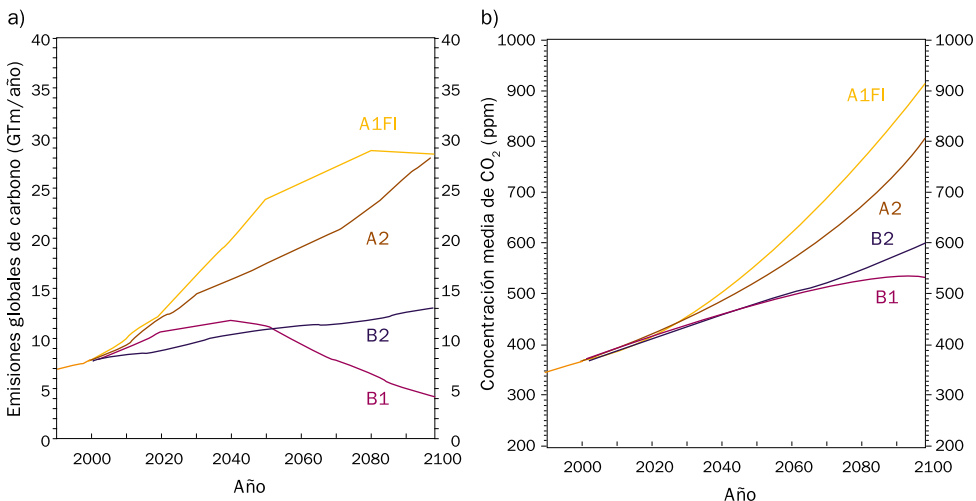


Figura 8. (a) Emisiones globales de carbono (GTm/año) correspondientes a diversos escenarios. (b) Concentraciones globales de CO<sub>2</sub> (ppm). Tomada de SRES-IPCC, 2001.

climáticas, simulados por el conjunto de los modelos regionales (MCR) utilizados en el proyecto PRUDENCE. Los datos diarios corresponden a los periodos 1961-1990 y 2071-2100. Los dominios geográficos donde se aplicaron los MCR abarcan la mayor parte del continente europeo, pero como cada modelo utiliza su propio mallado, para deducir los cambios climáticos medios del conjunto (ensemble) de modelos regionales utilizados, se ha elegido una malla regular común en cuyos nodos se han asignado por interpolación los valores diarios simulados de las variables climáticas. En concreto, la malla está compuesta por celdillas con un tamaño aproximado de 50 km (0.5°x0.5° en latitud y longitud). Una vez definida esta malla común, se interpolaron a ella los valores diarios simulados a partir de todos los modelos, aplicando el método de la interpolación del punto más cercano, ya que la relación entre ventajas e inconvenientes de dicho método es mejor que la de los otros posibles.

Los escenarios de cambio climático se han deducido calculando primero las diferencias entre los valores medios mensuales del periodo 2071-2100 y del 1961-1990 que fueron simulados por cada RCM, después se obtuvieron los cambios medios anuales y estacionales de cada modelo en particular y por último se dedujeron los correspondientes promedios del conjunto de modelos, que son los que finalmente se presentan.

#### ESCENARIOS DE CAMBIO DE TEMPERATURA Y PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL Y ESTACIONAL

En la Figura 9 se muestran las distribuciones geográficas de los cambios anuales y estacionales de la temperatura media del aire cerca de la superficie, correspondientes a tres periodos sucesivos de 30 años a lo largo del

siglo (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100) y a los cuatro escenarios de emisiones considerados: B1 (emisiones bajas), B2 (emisiones medias-bajas), A2 (emisiones medias-altas) y A1FI (emisiones altas). Las simulaciones realizadas por los modelos climáticos regionales utilizados en el proyecto PRUDENCE corresponden exclusivamente a los periodos 1961-1990 y 2071-2100 y a los escenarios de emisiones B2 y A2 del IPCC. Para derivar escenarios de cambio climático correspondientes a periodos intermedios (2011-2040 y 2041-2070) y a los otros escenarios de emisiones se ha aplicado el método de “escalamiento de patrones” (“pattern-scaling”).

En la Figura 9 se aprecia un calentamiento medio progresivo a lo largo del siglo en todas las celdillas de Asturias, tanto en promedio anual como estacional. También se observa que el ritmo de dicho calentamiento va creciendo claramente a medida que transcurre el siglo. En el primer periodo tridecenal (2011-2040) apenas se aprecian diferencias en el cambio medio de temperatura anual o estacional entre los escenarios de emisiones mayores y menores. Sin embargo, en el último tercio de siglo, son muy notables las diferencias de calentamiento medio anual o estacional entre los diversos escenarios de emisiones.

Los incrementos relativos de temperatura media resultan mucho más notables en verano y menos acusados en invierno. Sin embargo, su magnitud depende críticamente del escenario de emisiones que se considere. Así, en el último tercio de siglo, el calentamiento proyectado en el escenario de emisiones altas (A1FI) es de unos 3 °C mayor que en el de emisiones bajas (B1), lo que pone de manifiesto la importancia de las posibles medidas de miti-

Cambio de temperatura media respecto a 1961-90

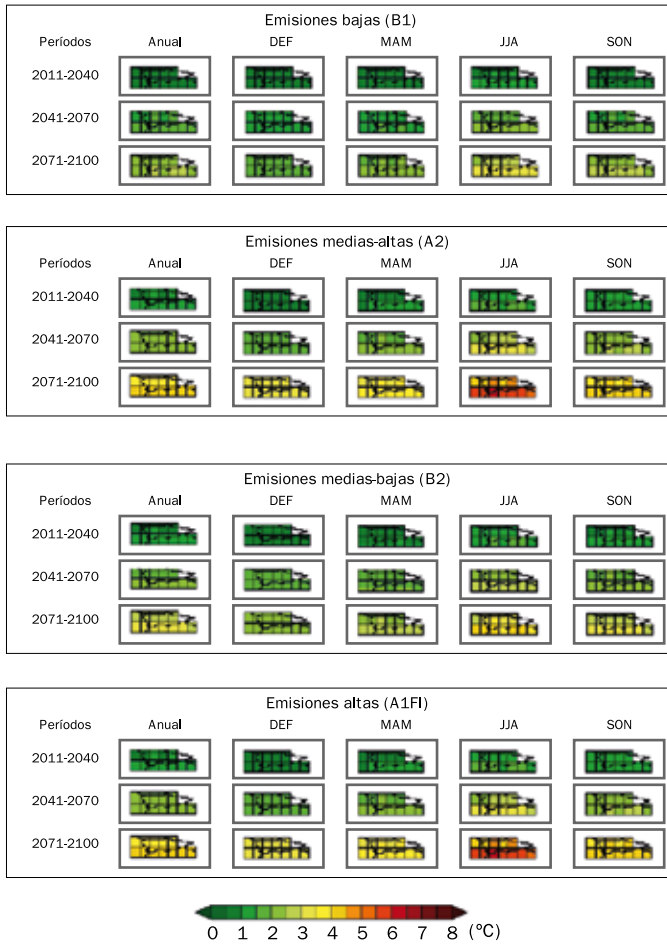


Figura 9. Proyecciones de los cambios del promedio anual y estacional de la temperatura superficial en cada período tridecenal del presente siglo con respecto al “clima actual” (1961-1990), para cuatro posibles escenarios de emisiones (B1, B2, A2, A1FI).

gación que se acuerden a escala global en las próximas décadas.

Las distribuciones de los cambios proyectados en los promedios de temperaturas máxima y mínima diarias se asemejan a las de las temperaturas medias antes comentadas, por lo que no se muestran. No obstante, entre los valores de tales cambios se aprecian algunas diferencias que se hacen más aparentes en el último tercio de siglo. Así, por ejemplo, en tal período y en el escenario A2 (emisiones medias-altas), los incrementos proyectados para las temperaturas máximas diarias son generalmente 0,5 °C superiores a los de las temperaturas medias, mientras que los de las temperaturas mínimas diarias son unos 0,9 °C inferiores. Ambos valores corresponden a promedios anuales. En consecuencia, podría decirse que hay una tendencia a que la oscilación térmica diaria (diferencia entre temperatura máxima y mínima) se acreciente en los diversos escenarios de cambio climático, más en los de emisiones altas. Estas diferencias entre las tendencias de temperaturas máximas y mínimas son menores en invierno, en primavera y otoño se acrecientan en las celdillas del interior y en verano llegan a ser máximas (algo mayores en las celdillas del interior que en las del litoral).

Los escenarios de cambio de precipitación presentan, por lo general, un aspecto algo menos regular que los de temperatura. En la Figura 10 se muestran los cambios porcentuales de los promedios de precipitación anual y estacional en los tres periodos tridecenales del presente siglo con respecto al de referencia (1961-1990) para los cuatro escenarios de emisiones considerados, que también se han deducido aplicando la técnica de escalamiento de patrones ("*pattern-scaling*"). En todas las

regiones se proyecta una tendencia progresiva a la disminución del promedio anual de precipitaciones, que será más acusada a partir de mitad de siglo y aún mayor en los escenarios de emisiones altas. Así, en el promedio de la próxima treintena (2011-2040) no se aprecian diferencias sustanciales entre los diversos escenarios de emisiones, de forma que en todos ellos las reducciones del promedio anual de precipitación podrían mantenerse por debajo del 10%. En cambio en las proyecciones del último tercio del siglo, el contraste entre escenarios de emisiones bajas y altas es mucho mayor. En las comarcas de la mitad sur-occidental podrían producirse reducciones en el promedio de precipitación anual de hasta el 30% en el escenario A1 (emisiones altas), pero se mantendrían por debajo del 15% en el escenario B1 (emisiones bajas). Esto pone de manifiesto, una vez más, la importancia de las medidas de control de emisiones de GEIs a escala global en las próximas tres décadas.

Los cambios relativos de precipitación presentan notables diferencias entre las estaciones del año, proyectándose por lo general las máximas reducciones en primavera y verano. Asimismo, los porcentajes de cambio en todas las celdillas se exacerban en los escenarios de emisiones altas a final de siglo y se moderan en los de emisiones bajas. Otra particularidad son los contrastes del cambio en las precipitaciones medias estacionales. En todas las celdillas se aprecian tendencias de la precipitación con signo positivo en invierno. En primavera las proyecciones apuntan a una significativa disminución de la precipitación media en todas las celdillas, y aún mayor en verano. En otoño, las reducciones relativas de precipitación media son algo menores en la mitad oriental. No obstante, hay que advertir que la

técnica de escalamiento de patrones que aquí se aplica para deducir los cambios climáticos en cada treintena del siglo y cada escenario de emisiones, introduce un grado adicional de incertidumbre en los escenarios de cambio de precipitación. Este importante aspecto se abordará más adelante.

Además de los cambios proyectados en los valores medios, resulta importante examinar si también se alteraría en el futuro la variabilidad interanual de los promedios estacionales de la temperatura y la precipitación, que se suele expresar como el porcentaje de cambio que experimentaría la desviación típica de la población de las medias climáticas estacionales en un escenario de clima futuro respecto al actual. Los resultados de las simulaciones indican que la variabilidad interanual de las temperaturas medias anuales y estacionales tendería a incrementarse en general, llegando a alcanzar una suficiente significación estadística en los escenarios de cambio climático acusado. La interpretación de este resultado sería que, en ese tipo de escenario, las temperaturas estacionales de los años anómalos (cálidos o fríos) se diferenciarían más de las medias climatológicas del periodo 2071-2100 que lo que ocurre en el clima actual.

Un razonamiento semejante se podría aplicar para interpretar los cambios proyectados en la variabilidad interanual de las precipitaciones. Ahora bien, en este caso, la menor consistencia espacial que se observa en todos los mapas puede considerarse como un indicativo de su probable escasa fiabilidad. Posiblemente la principal razón de ello radique en que el sencillo criterio estadístico utilizado para derivar cambios en la variabilidad interanual resulta cuestionable en el caso de las precipitaciones, pues su distribución de frecuencias no se ajusta

tanto a un tipo gaussiano, como ocurre con las temperaturas. Por lo tanto, para un análisis más adecuado de la posible alteración en la variabilidad de las precipitaciones, habría que examinar el posible cambio en la frecuencia de eventos extremos diarios que más adelante se presenta.

Finalmente, con objeto de que los valores del cambio proyectado en la temperatura media y en la precipitación puedan extrapolarse fácilmente a cualquier otro posible escenario de emisiones no considerado aquí, los resultados del conjunto de modelos regionales usados se han escalado en función del cambio de temperatura media global simulado por los modelos globales en que se “anidaron” los respectivos modelos regionales. Por tanto, los valores que se presentan corresponderían a los cambios estacionales de la temperatura y de la precipitación que, en promedio, podrían experimentarse en Asturias por cada 1 °C de calentamiento global adicional respecto al clima presente. Esto permite también realizar una evaluación sencilla de la eficacia de las posibles estrategias globales de mitigación que se adopten. Por ejemplo, si se hicieran efectivas las limitaciones futuras de emisiones de GEIs y aerosoles que propugna la Unión Europea, para que a finales de siglo el calentamiento global no sobrepase el valor de 2 °C con respecto al clima preindustrial, es decir aproximadamente 1.4 °C respecto al clima del periodo 1961-90, los cambios medios de la temperatura y la precipitación proyectados para la región en el último tercio de siglo se podrían deducir sin más que multiplicar por 1.4 los correspondientes valores que se muestran en la Tabla IV.

Se muestran los valores mínimos (Mn), máximos (Mx), medios (50) y de los cuartiles 25% y 75% de los cambios resultantes de to-

## Cambio (%) de precipitación media respecto a 1961-90

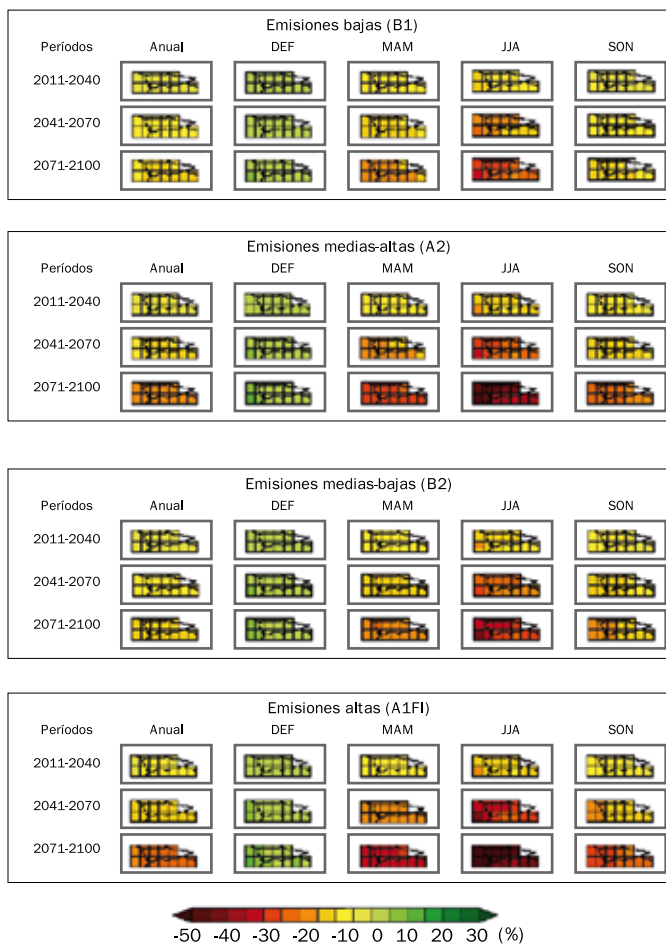


Figura 10. Proyecciones de los cambios relativos (%) del promedio anual y estacional de la precipitación en cada período tridecenal del presente siglo con respecto al "clima actual" (1961-1990), para cuatro posibles escenarios de emisiones (B1, B2, A2, A1FI).

das las simulaciones realizadas con los modelos regionales. El color naranja indica un consenso entre todas las simulaciones en reducción de precipitación, el color amarillo que en la mayoría de ellas se proyecta reducción de precipitación y el color azulado que en su mayoría se proyecta un incremento en la precipitación respecto al “clima actual” (periodo 1961-1990).

Por otra parte, para proporcionar una información objetiva sobre la incertidumbre asociada a las proyecciones de cambio climático en cada comarca, además del valor promedio de las 31 simulaciones realizadas, se ha extraído el de aquella simulación que ha proyectado el valor mínimo, el de la que ha proyectado el máximo y los valores de los cuartiles 25% y 75% de la distribución de los 31 valores obtenidos. Para calcular tales valores se ha tenido en cuenta que no todos los modelos regionales realizaron simulaciones anidados en los dos modelos globales; de otro modo, la distribución estadística resultaría obviamente sesgada. Con estos cinco valores, se puede examinar el grado de consenso entre las proyecciones de cambio de los modelos, que es un indicativo de la magnitud de la incertidumbre asociada a ellas; menor incertidumbre cuanta mayor semejanza haya entre las proyecciones. También sería posible asignar pro-

habilidades a cualquier intervalo de valores de cambio proyectados para la temperatura o la precipitación en cada comarca, por cada 1 °C de calentamiento medio global.

#### ESCENARIOS DE CAMBIO DE OTRAS VARIABLES CLIMÁTICAS

A continuación se muestran las proyecciones de cambio correspondientes a otras tres variables climáticas: humedad relativa, nubosidad y velocidad del viento (Figura 11). Sólo se presentan los escenarios de cambio de tales variables para el último tercio de siglo y los dos escenarios de emisiones intermedias (B2 y A2). Los correspondientes a los periodos tridecenales anteriores del siglo y a los escenarios de emisiones A1 y B1 podrían deducirse fácilmente aplicando la misma técnica de escalamiento que para las temperaturas medias y precipitaciones estacionales.

##### Humedad relativa

Los cambios en la humedad relativa alteran el potencial evaporativo del aire, de forma que una reducción implicaría una mayor capacidad del aire para admitir vapor de agua, es decir un mayor poder desecante. En la Figura 11a se observa que la humedad relativa se reduciría en todas las estaciones del año, aunque con porcentajes mayores en verano que en invierno. No obstante, ha de tenerse en

Tabla IV. Promedios regionales de los cambios anual y estacional (DEF: invierno, MAM: primavera, JJA: verano, SON: otoño) de temperatura (°C) y de precipitación (%) por cada grado de aumento de la temperatura media global respecto al período 1961-1990.

Comunidad	Período	Cambio de temperatura (°C)					Cambio de precipitación (%)				
		Mn	25	50	75	Mx	Mn	25	50	75	Mx
Asturias	DEF	0.5	0.8	<b>1.0</b>	1.1	1.3	-7	0	<b>1</b>	3	6
	MAM	0.5	0.7	<b>1.1</b>	1.3	1.5	-15	-9	<b>-8</b>	-5	0
	JJA	0.8	1.4	<b>1.5</b>	1.6	1.9	-23	-16	<b>-13</b>	-10	-3
	SON	0.8	1.0	<b>1.2</b>	1.4	1.5	-18	-8	<b>-6</b>	-5	1
	Anual	0.7	1.0	<b>1.2</b>	1.4	1.5	-9	-7	<b>-5</b>	-4	-1

cuenta que en verano los valores medios de humedad relativa son menores que en invierno, por lo que una misma reducción absoluta daría lugar a una mayor reducción porcentual en la estación estival. También se aprecia que las magnitudes del cambio porcentual de humedad relativa son bastante similares en los dos escenarios de emisiones considerados, aunque algo mayores en el escenario con emisiones más altas (A2).

#### Nubosidad

Una alteración en la cubierta de nubes implica también un cambio en el flujo de radiación solar que llega a la superficie, de manera que una disminución en la nubosidad daría lugar a un incremento en la insolación. En la Figura 11b se aprecia que la mayor reducción porcentual de nubosidad se proyecta durante el verano (-30% a -20%). En primavera y otoño los porcentajes de reducción de nubosidad son menores (-15% a -5%), mientras que en invierno variarían poco en relación al clima actual (-5% a +5%). La distribución geográfica de los cambios proyectados de la nubosidad es bastante similar en los dos escenarios de emisiones considerados, aunque en general tiene una magnitud algo mayor en el escenario con emisiones más altas (A2).

#### Velocidad del viento

En la Figura 11c se muestran los escenarios de cambio de la intensidad del viento cerca de la superficie (a 10 m sobre el suelo). En invierno y primavera los cambios proyectados a lo largo de todo el territorio son generalmente poco significativos. En verano se proyecta un cierto incremento, algo mayor en las celdillas del oeste y sur de la región, posiblemente por la intensificación de los gradientes térmicos entre la periferia y el interior de la Península que daría lugar a un incremento de las brisas,

mientras que en otoño se observa un cierto debilitamiento general en el escenario con emisiones más altas (A2). En general, la distribución geográfica del signo de los cambios proyectados es bastante similar en los dos escenarios de emisiones considerados, aunque su magnitud tiende a ser algo mayor en el de emisiones más altas.

#### ESCENARIOS DE CAMBIO DE EVENTOS CLIMÁTICOS EXTREMOS

Un aspecto de las proyecciones de clima futuro tan importante como el de los cambios en los valores medios de la temperatura o la precipitación, es la posible alteración en la intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos. El interés que presenta este tipo de análisis radica en que los impactos de las alteraciones del clima futuro debidos a cambios en extremos climáticos serían por lo general más severos que los asociados al cambio del clima promedio. Aunque la frecuencia con que ocurren tales eventos es relativamente pequeña, los daños que producen sobre el medio ambiente, las actividades socio-económicas o la salud humana suelen ser muy notables.

Existen varios criterios o índices para caracterizar los eventos climáticos extremos, aunque los más usuales son los basados en percentiles de las distribuciones estadísticas. Así, para caracterizar la intensidad de condiciones térmicas extremas cálidas o frías podría usarse, respectivamente, el percentil 90 ó 95 de la distribución de temperaturas máximas diarias y el percentil 10 ó 5 de la distribución de temperaturas mínimas diarias. A partir de las simulaciones realizadas por los modelos regionales anidados en uno de los modelos globales (HadAM3), se han calculado los cambios que podrían experimentar algunos de es-



## Cambios relativos en 2071-2100 respecto a 1961-90

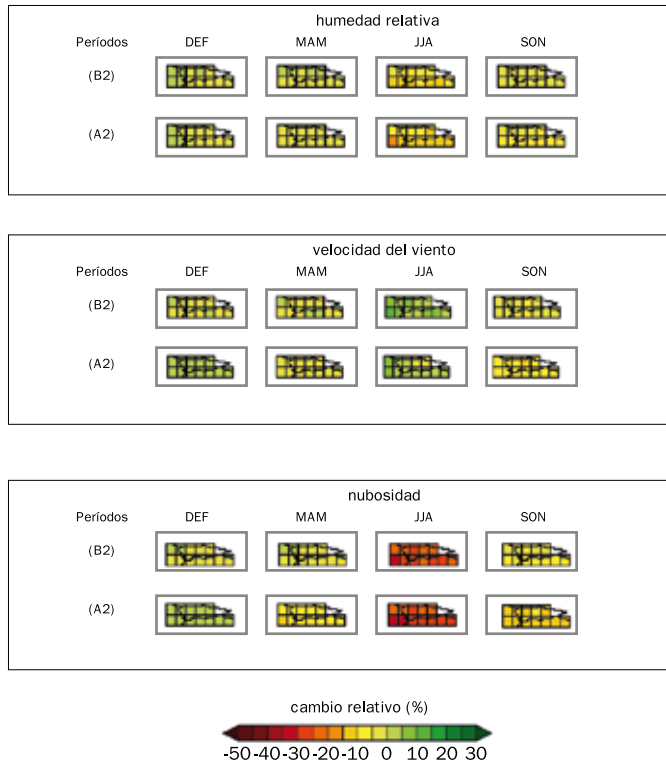


Figura 11. Proyecciones de los cambios relativos (%) del promedio estacional de otras variables climáticas en dos escenarios de emisiones (A2 y B2) y el último tercio del siglo (2071-2100), con respecto al “clima actual” (1961-1990).

tos índices de intensidad de extremos térmicos y pluviométricos diarios en el último tercio de siglo (2071-2100) respecto al periodo de “clima actual” (1961-1990), en los escenarios de emisiones A2 (medias-altas) y B2 (medias-bajas).

Aunque este análisis sería más completo si se contemplaran los resultados del conjunto total de simulaciones climáticas de que se

dispone, el desigual número de MCR anidados en cada uno de los dos modelos climáticos globales (HadAM3 y ECHAM 4) haría mucho más complejos los cálculos y posiblemente no añadiría una certidumbre significativa a las conclusiones. En cualquier caso, el análisis que aquí se presenta puede tomarse como un indicativo razonable de las tendencias de cambio que cabría esperar en los extremos climáticos en el

clima a partir de la segunda mitad del siglo, con respecto al de las tres décadas anteriores al presente, en los escenarios de emisiones contemplados. Extender estas tendencias a periodos futuros más próximos, o a escenarios de emisiones muy diferentes, aplicando el método de “escalamiento de patrones”, como se ha hecho anteriormente en el caso de los cambios de valores climáticos promedio, tendría menos consistencia científica por la notable no-linealidad en la relación entre el número o la intensidad de extremos climáticos regionales y el grado de calentamiento global.

#### Cambios en extremos térmicos

En la Figura 12a se muestran las distribuciones espaciales de los cambios proyectados en los valores del percentil 90 de las temperaturas máximas diarias correspondientes a cada estación del año, expresados en °C. Estos valores indican, por tanto, el incremento que en promedio experimentarían las temperaturas máximas de los días más calurosos en cada estación del año. Así se aprecia que, mientras que en invierno tales incrementos apenas superarían los 3 °C en todas las regiones, en verano serían por lo general mayores de 5 °C, sobre todo en el escenario con mayores emisiones (A2).

Merecen también una especial consideración los cambios que podría experimentar el número de olas de calor en el periodo estival, por incidir más directamente en los aspectos relacionados con la salud humana. Aunque hay diversos criterios para seleccionar los eventos de olas de calor, aquí se han considerado aquellos días entre junio y septiembre en que la temperatura máxima local supera el valor del percentil 95 en el periodo simulado de “clima actual” (1961-1990). En la Figura 12b se presentan los incrementos (en %) del

número de “olas de calor” proyectados para el último tercio de siglo en los dos escenarios de emisiones considerados. Se observa que la frecuencia de estos eventos extremos aumentaría entre 2 (litoral) y 4 (interior) veces en el escenario B2 y entre 4 (litoral) y 6 (interior) veces en el escenario A2. Eso significa que, por ejemplo, si en el periodo de referencia (1961-1990) se suele registrar, en una determinada zona, un promedio de cuatro “olas de calor” en verano, en el último tercio de siglo se esperaría que dicha región experimentase en promedio entre 8 y 16 “olas de calor” por verano en el caso del escenario B2 (emisiones medias-bajas) y entre 16 y 24 en el del escenario A2 (emisiones medias-altas).

#### Cambios en extremos de precipitación

Para caracterizar el cambio proyectado en la intensidad y frecuencia de los eventos extremos de precipitación se ha considerado, respectivamente, el valor del percentil 90 de la precipitación diaria en el total de días de lluvia (aquellos en la que la precipitación acumulada supera 1 mm) y el número de días extremadamente lluviosos (con precipitación mayor que dicho percentil 90). Ambos índices de extremos pluviométricos se han deducido también considerando el conjunto total de valores simulados por todos los modelos regionales en el periodo de referencia (1961-1990) y en el último tercio de siglo (2071-2100), para cada uno de los dos escenarios de emisiones (B2 y A2).

Los cambios proyectados del percentil 90 de precipitaciones diarias en todas las estaciones del año se mantienen por lo general en un intervalo de  $\pm 10\%$ . Por ello, no se muestran los mapas con estos resultados. Sin embargo, son relativamente más acusados los cambios proyectados en el número de días con precipi-

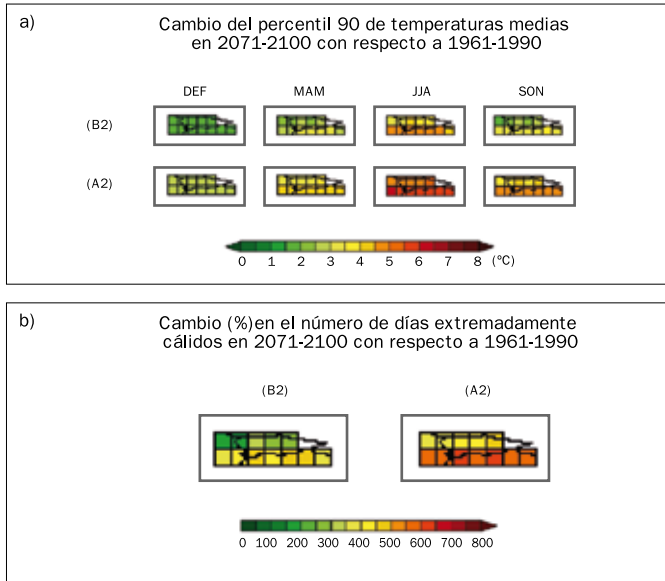


Figura 12. (a) Proyecciones del cambio en el valor percentil 90 de las temperaturas máximas diarias para cada estación del año en el último tercio del siglo (2071-2100) con respecto al “clima actual” (1961-1990) en dos escenarios de emisiones (B2 y A2). (b) Cambio relativo (%) del número de días extremadamente cálidos entre junio y septiembre (olas de calor) en 2071-2100 respecto a 1961-1990 en dos escenarios de emisiones.

taciones extremas, como se aprecia en la Figura 13. En ella se observan reducciones superiores al 30% en verano en ambos escenarios de emisiones en toda la región. Algo similar resulta en primavera y otoño, aunque los porcentajes de reducción son menores que en verano. Sin embargo, en invierno se proyecta un aumento de días con precipitación extrema.

La interpretación general de estos resultados del cambio proyectado en eventos extremos de precipitación es que, mientras no cabría esperar que las intensidades máximas de lluvia diaria varíen significativamente con respecto al “clima actual”, es probable que

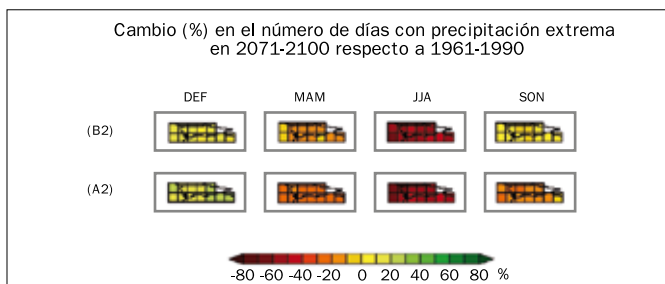
en Asturias se reduzca el número de días con precipitación torrencial en verano, primavera y otoño, y se incremente en invierno. No obstante, la relativa disparidad entre los resultados de los diversos modelos climáticos usados indica la mayor incertidumbre que presentan estas proyecciones de cambio en eventos extremos de lluvia en comparación con las de cambio de temperaturas extremas.

A continuación se presentan los escenarios promedio de cambio de eventos climáticos extremos en el Principado de Asturias, elaborados de forma semejante a como se explicó anteriormente (Tabla V). De nuevo se señala

que no es adecuado aplicar el método de escalamiento de patrones a los cambios de eventos extremos, pues no cabe suponer que su evolución futura se ajuste linealmente a la del calentamiento medio global. Por tanto, en este caso, los valores que se muestran corresponden a proyecciones de cambio climático realizadas con los modelos regionales anidados en el modelo global HadAM3, es decir en la última treintena del presente siglo (2071-2100) y en los escenarios de emisiones A2 y B2.

En la Tabla V se han incluido los valores promedio de los cambios en los tres índices de extremos que antes se mostraron con ma-

pas. Es decir, los cambios estacionales del valor percentil 90 de las temperaturas máximas diarias, los del número medio de días extremadamente calurosos entre junio-septiembre y los del número medio de días con precipitación extrema, todos ellos correspondientes al promedio de las celdillas que abarca la región en la malla común de los modelos. Estos valores medios del cambio van acompañados por los intervalos en que están incluidos los resultados del 90% de las simulaciones consideradas, lo que proporciona una indicación del grado relativo de confianza que ofrecen tales cambios.



**Figura 13.** Cambio relativo (%) con respecto al “clima actual” (1961-1990) del número medio de días en cada estación del año con precipitación extrema (mayor que los correspondientes valores percentil 90 de la simulación de referencia) proyectado en el último tercio del siglo (2071-2100), en dos escenarios de emisiones (A2 y B2).

**Tabla V.** Proyecciones de cambios estacionales en 2071-2100 respecto a 1961-1990 correspondientes a dos escenarios de emisiones (B2: medias-bajas y A2: medias-altas) y a las simulaciones realizadas por los modelos climáticos regionales anidados en el modelo global HadAM3, del percentil 90 de temperaturas máximas diarias, del número medio por año de “olas de calor” (temperatura máxima diaria > percentil 95 del “clima actual”) entre Junio y Septiembre y del número medio de días por año excepcionalmente lluviosos (precipitación diaria > percentil 9 del “clima actual”). Cada valor se acompaña de un intervalo de variación en el que están incluidos los resultados del 90% de las simulaciones consideradas. En el caso de los cambios en el número medio de días por año con precipitación extrema, los colores indican el grado de consenso entre los modelos regionales (naranja cuando todos los modelos proyectan cambios negativos y amarillo cuando la mayoría de ellos proyectan cambios negativos).

Comunidad	Estación del año	Cambio en la temperatura máxima diaria (°C) de los días con calor extremo		Cambio en el número de “olas de calor” estivales <sup>(1)</sup> por año		Cambio relativo (%) estacional del número de días por año con precipitación extrema	
		B2	A2	B2	A2	B2	A2
Asturias	DEF	1.7±0.2	2.8±0.2			12%±16	15%±18
	MAM	2.6±0.6	3.6±0.3			-14%±29	-24%±17
	JJA	3.9±0.8	5.1±0.6	19±6	29±9	-54±16	-54±32
	SON	2.6±0.4	4.2±0.4			-1±19	-19%±23

## 1.6 REFERENCIAS

Abrantes, I., Martins, V., Rocha, F. 2005. Influence of sea-level rise since the last glacial maximum in the composition of relict deposit of the outer continental shelf between Espinho and Aveiro-Portugal. VI Reunión de Cuaternario Ibérico, Libro de Actas, 44-47.

Abrantes, I., Martins, V., Rocha, F. 2008. Bottom environmental indicators of hydrodynamism along the continental shelf and upper slope between Espinho-Aveiro, North Portugal. IV Congreso Internacional de Ciencia y Tecnología Marina, Libro de Actas.

Alexanderson, H., Moberg, A. 1997. A homogenization of Swedish temperature data. Part I: Homogeneity test for linear trends. International Journal of Climat, 17: 25-34.

Bernárdez, P., González-Álvarez, R., Francés, G., Prego, R., Bárcena, M.A., Romero,

O.E. 2008. Late Holocene history of the rainfall in the NW Iberian peninsula-Evidence from a marine record. Journal of Marine Systems, 72, 1-4: 366-382.

Brunet, M., Saladie, O., Jones, P., Sigró, J., Moberg, A., Aguilar, E., Walter, A., Lister, D., López, D. 2006. The development of a new dataset of Spanish Daily Adjusted Temperature Series (1850-2003). International Journal of Climatology, 26: 1777-1802.

Christensen, J.H., Carter T.R., Rummukainen M., Amanatidis G. 2007. Evaluating the performance and utility of regional climate models: the PRUDENCE project. Climatic Change, 81, 1-6.

Desprat, S., Sánchez, M.F., Loutre, M-F. 2003. Revealing climatic variability of the last three millennia in northwestern Iberia using pollen influx data. Earth and Planetary Science Letters, 213:63-78

Felicísimo, A.M. 1981. El clima de Asturias. Enciclopedia temática de Asturias. Fascículos 200, 201 y 202, Tomo 10. Editor Silverio Cañada.

Felicísimo, A.M. 1982. El clima de Asturias. Geografía Física, Tomo III, Parte 1. Geografía de Asturias. Editor Silverio Cañada.

Felicísimo, A.M. 1992. El clima de Asturias. Geografía de Asturias, Tomo I, capítulo 2: 17-32. Editorial Prensa Asturiana.

Haylock, M.R., Hofstra N., Klein, Tank A.M.G., Klok E.J., Jones P.D., New M. 2008. A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation for 1950-2006. *Journal Geophysical Research*, doi: 10.1029/2008JD010201

Jacob, D., Bärring L., Christensen O.B., Christensen J.H., Castro M., Deque M., Giorgi F., Hagemann S., Hirschi M., Jones R., Kjellström E., Lenderink G., Rockel B., Sanchez E., Schär Ch., Seneviratne S.I., Somot S., van Ulden A., van den Hurk B. 2007. An intercomparison of regional climate models for Europe: model performance in present-day climate. *Climatic Change*, 81, 31- 52.

IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the IPCC.* Cambridge University Press.

IPCC 2007. *Climate Change 2007 - The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the IPCC.* Cambridge University Press.

Jiménez-Sánchez, M. 1999. Geomorfología fluvial en la cuenca alta del río Nalón (Cordillera Cantábrica, Noroeste de España). *Trabajos de Geología de la Universidad de Oviedo, volumen especial homenaje a Jaime Truyols*, 21: 189-200.

Marquínez, J., Lastra, J., García, P. 2003. Estimation models for precipitation in mountainous regions: the use of GIS and multivariate analysis. *Journal of hidrology*, 270 (1-4): 1-11.

Martínez, A., García, E. 2001. *Turberas de montaña de Galicia.* Ed. Xunta de Galicia.

Mateo, P. 1956. *Pluviometría de Asturias.* Servicio Meteorológico Nacional. Ministerio del Aire. Publicación Serie A (Memorias) nº 28.

Mateo, P. 1970. *Clima.* Gran Enciclopedia Asturiana. Tomo V. Editor Silverio Cañada.

Mateo, P. 1980. *Termometría de Asturias.* Publicaciones del Servicio Meteorológico Nacional. Ministerio del Aire. Publicación Serie A (Memorias) nº 31.

Moreno, A., Santoro, C.M. y Latorre, C. 2008a. Climate change and human occupation in the northernmost Chilean Altiplano over the last ca. 11500 cal. a BP. *Journal of Quaternary Science*, 23.

Moreno, A., Valero-Garcés, B.L., González-Sampériz, P., Rico, M. 2008b. Flood response to rainfall variability during the last 2000 years inferred from the Taravilla Lake record (Central Iberian Range, Spain). *Journal of Paleolimnology*, 40-3: 943-961.

Mounier, J. 1979. Les climats océaniques des régions atlantiques de l' Espagne et du Portugal. Tesis Univ. Lille.

Muñoz Jiménez, J. 1982. Geografía de Asturias. Volumen I: Geografía física, el relieve, el clima y las aguas. Ayalga ediciones.

Petit, J., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N.I. 1999. Climate and atmospheric history of the past 420000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature*, 399: 429-436.

Ruiz, M.B., Farias, P., Jiménez, M., Gil, M.J., Dorado, M., Valdeolmillos, A. 2006. Secuencia polínica de un depósito de la depresión de Comeya (Picos de Europa, Asturias): Implicaciones paleoclimáticas.

Sánchez-Goñi, M.F., Landais, A., Fletcher, W.J., Naughton, F., Desprat, S., Duprat, J. 2008. Contrasting impacts of Dansgaard-Oeschger events over a western European latitudinal transect modulated by orbital parameters. *Quaternary Science Reviews*, 27: 1136-1151 y 1789.

## 1.7 ANEXOS

### ANEXO 1. CONTROL DE CALIDAD Y HOMOGENEIZACIÓN DE LAS SERIES DE DATOS.

Las series de datos de las estaciones meteorológicas de Gijón, Cabo de Peñas, Grado y Amieva han sido sometidas a un somero control de calidad a nivel diario.

Para cada serie candidata se ha construido una serie de referencia a partir del promedio de los valores predichos por regresión lineal desde cada una de las series vecinas (en este caso las otras series con datos diarios dispo-

nibles) ponderando las estimas en función del cuadrado de la correlación existente entre ambas series en el mes considerado.

Debido a la relativamente baja fiabilidad del proceso de control (para la temperatura, por ejemplo, en la mayor parte del periodo se comparaban únicamente dos estaciones entre sí) se ha optado por utilizar el proceso para rellenar valores perdidos y señalar los datos catalogados como *outliers*, eliminándolos del cálculo de los valores promedio mensuales para evitar introducir errores mayores a los que se pretenden evaluar. En el caso de la precipitación, los datos catalogados como *outliers* sí que han sido sustituidos por el valor predicho, ya que eliminarlos equivaldría a precipitación 0 y por ello el cálculo de los acumulados mensuales se vería aún más infraestimado.

Hay que destacar el hecho de que la serie de Cabo de Peñas tiene un gran salto de 1970 a 1982, un periodo muy importante en cualquier estudio de cambio climático ya que el periodo de mayor incremento de temperatura en el siglo XX ha sido a partir de los años 70. Dicho salto ha sido rellenado a nivel diario para tener una serie completa, debido al interés en comparar el estudio realizado en la costa y en el interior, pero los resultados obtenidos con esta serie hay que tomarlos con especial cautela y considerarlos como algo meramente orientativo. Para intentar compensar las limitaciones encontradas en los datos de esta serie en una segunda fase de este estudio se optó por adquirir y analizar las 3 series existentes de la ciudad de Gijón, empalmadas en una única serie que ha sido sometida igualmente al proceso de control de calidad y posterior homogeneización.

Estas series han sido utilizadas en el estudio de tendencias en precipitaciones y tem-

peraturas extremas, salvo la serie de Amieva para temperatura, al disponer de muy pocos años (empezó en el año 2000).

Las series mensuales fueron calculadas a partir de los datos diarios revisados pero también a partir de los datos originales, para poder comparar los resultados de análisis posteriores.

Además de las series mensuales así calculadas se han utilizado también los datos mensuales de otras 4 series disponibles (Tabla I).

Todas las series mensuales de precipitación y temperatura máxima y mínima que disponían de un mínimo de 30 años, han sido sometidas al test de homogeneización de Alexandersson (Standard normal homogeneity test, SNHT), a nivel anual, estacional y mensual.

Hay que señalar que la serie de referencia que se usa en el SNHT ha sido obtenida a partir de las series mensuales derivadas de los datos diarios y de las otras 4 series mensuales existentes, para aprovechar toda la información disponible.

De acuerdo con las recomendaciones existentes en la bibliografía, sólo se corrigieron aquellos saltos detectados coherentemente a nivel anual y en al menos dos de las estaciones del año. Los factores de corrección fueron calculados y aplicados a nivel mensual.

En el caso de la precipitación ninguna serie mostró una inhomogeneidad clara, por lo que todas las series fueron utilizadas en los análisis de tendencias.

En temperatura, en cambio, varias series mostraron saltos importantes (sobre todo si se tiene en cuenta la falta de información acerca de la calidad de los datos diarios) y bastantes huecos, por lo que fueron descartadas. De este modo para temperatura sólo se utilizaron

las siguientes series derivadas a partir de los datos diarios:

La serie de Grado mostró un pequeño salto en 1988 en temperatura máxima y una inhomogeneidad más clara en la serie de temperatura mínima en 1985. Por su parte, la serie de Gijón presentaba dos claros saltos en las temperaturas mínimas, uno en 1977 (coincidiendo con el empalme de dos series) y otro en 1997. La serie corregida resultante aún presentaba alguna diferencia respecto a la serie de referencia, pero ha sido utilizada para contrastar los resultados obtenidos en la estación cercana de Cabo de Peñas, muy cuestionable debido a su alto porcentaje de valores perdidos.

Las series de temperatura media han sido obtenidas como el promedio de las series de temperatura máxima y mínima, una vez revisadas y corregidas de ser el caso.



## ANEXO 2. FIGURAS Y TABLAS.

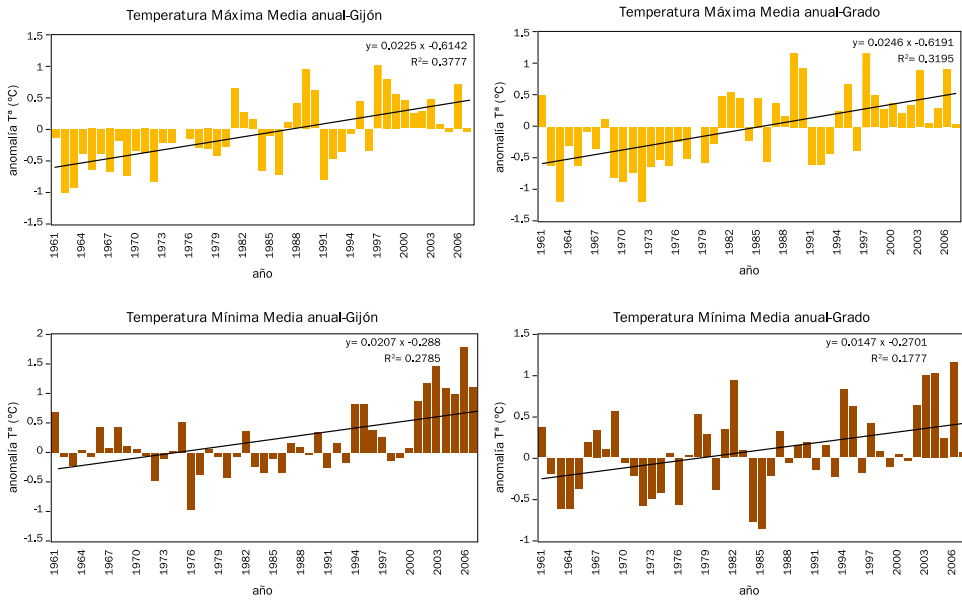


Figura 1. Evolución de la anomalía de temperatura máxima y mínima media anual en las series de Gijón y Grado. Se muestra también la pendiente estimada por regresión lineal.

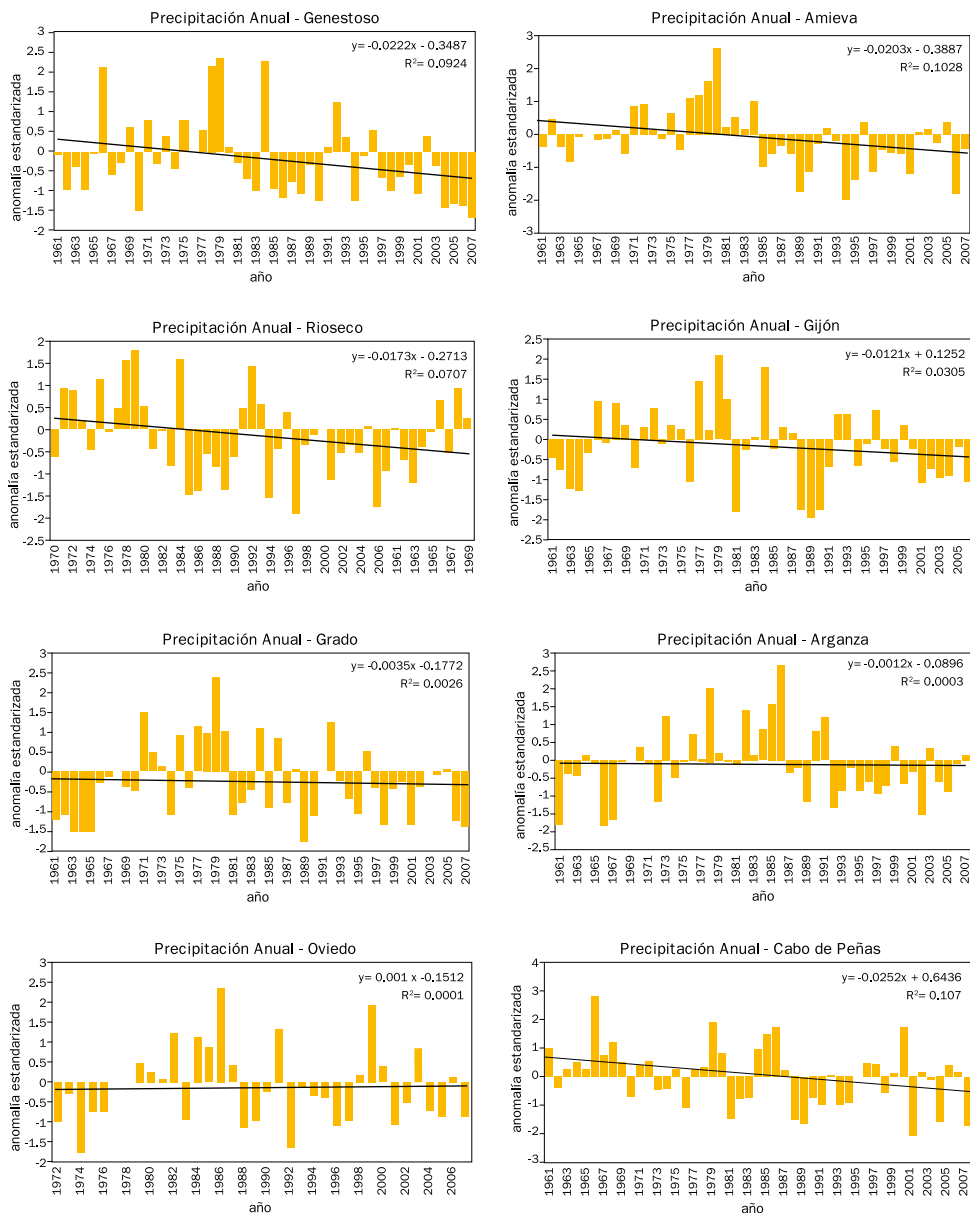


Figura 2. Evolución de la anomalía estandarizada de precipitación anual en cada una de las series analizadas. Se muestra también la pendiente estimada por regresión lineal.

**Tabla I.** Tendencias lineales de los promedios estacionales y anuales de las temperaturas medias diarias de cada año (expresados en °C/década) en cada celdilla, con los correspondientes intervalos de confianza de 5% a 95%. Sólo se muestran los valores de aquellas tendencias con una significación mayor del 5% (en negrita con significación mayor del 1%), según un test T.

Coordenadas del modo de la celda	Tendencias de los promedios estacionales y anuales de las temperaturas medias diarias en cada celda del dominio (°C/década)									
	Dic-Ene-Feb		Mar-Abr-May		Jun-Jul-Ago		Sep-Oct-Nov		Anual	
	1950-2006	1980-2006	1950-2006	1980-2006	1950-2006	1980-2006	1950-2006	1980-2006	1950-2006	1980-2006
43.125°N - 5.375°W	<b>0.20±0.13</b>	-	0.16±0.15	<b>0.71±0.42</b>	<b>0.25±0.13</b>	-	-	-	<b>0.17±0.08</b>	-
43.125°N - 5.625°W	<b>0.19±0.13</b>	-	0.14±0.14	<b>0.65±0.4</b>	<b>0.22±0.13</b>	-	-	-	<b>0.16±0.07</b>	-
43.125°N - 5.875°W	0.16±0.13	-	-	<b>0.64±0.42</b>	<b>0.19±0.14</b>	-	-	-	<b>0.13±0.08</b>	-
43.125°N - 6.125°W	0.15±0.13	-	-	<b>0.65±0.44</b>	0.18±0.15	-	-	-	<b>0.12±0.08</b>	-
43.125°N - 6.375°W	0.14±0.13	-	-	<b>0.64±0.43</b>	0.17±0.15	-	-	-	<b>0.11±0.08</b>	-
43.125°N - 6.625°W	0.13±0.13	-	-	<b>0.60±0.41</b>	0.17±0.14	-	-	-	<b>0.11±0.08</b>	-
43.125°N - 6.875°W	0.14±0.13	-	-	<b>0.59±0.40</b>	<b>0.18±0.13</b>	-	-	-	<b>0.12±0.07</b>	0.27±0.23
43.375°N - 4.625°W	<b>0.24±0.15</b>	-	<b>0.21±0.13</b>	<b>0.68±0.34</b>	<b>0.31±0.12</b>	<b>0.17±0.12</b>	<b>0.64±0.34</b>	-	<b>0.23±0.07</b>	0.29±0.22
43.375°N - 4.875°W	<b>0.23±0.15</b>	-	<b>0.19±0.12</b>	<b>0.64±0.33</b>	<b>0.30±0.11</b>	<b>0.16±0.11</b>	<b>0.58±0.33</b>	-	<b>0.22±0.07</b>	0.27±0.22
43.375°N - 5.125°W	<b>0.22±0.14</b>	-	<b>0.18±0.12</b>	<b>0.63±0.34</b>	<b>0.28±0.11</b>	<b>0.14±0.11</b>	0.49±0.33	-	<b>0.21±0.07</b>	0.27±0.22
43.375°N - 5.375°W	<b>0.21±0.14</b>	-	0.17±0.12	<b>0.60±0.34</b>	<b>0.25±0.11</b>	0.13±0.12	0.39±0.33	-	<b>0.19±0.07</b>	0.25±0.22
43.375°N - 5.625°W	<b>0.20±0.14</b>	-	0.16±0.12	<b>0.58±0.34</b>	<b>0.24±0.11</b>	0.12±0.11	0.34±0.32	-	<b>0.18±0.07</b>	0.26±0.21
43.375°N - 5.875°W	<b>0.19±0.13</b>	-	0.15±0.12	<b>0.56±0.34</b>	<b>0.23±0.11</b>	-	-	-	<b>0.17±0.07</b>	0.27±0.21
43.375°N - 6.125°W	<b>0.18±0.13</b>	-	0.14±0.13	<b>0.56±0.35</b>	<b>0.21±0.11</b>	-	-	-	<b>0.16±0.07</b>	0.27±0.21
43.375°N - 6.375°W	<b>0.16±0.12</b>	-	-	<b>0.58±0.37</b>	<b>0.20±0.12</b>	-	-	-	<b>0.14±0.07</b>	0.27±0.22
43.375°N - 6.625°W	<b>0.16±0.12</b>	-	-	<b>0.58±0.38</b>	<b>0.20±0.12</b>	-	-	-	<b>0.14±0.07</b>	0.28±0.22
43.375°N - 6.875°W	<b>0.16±0.12</b>	-	-	<b>0.59±0.37</b>	<b>0.21±0.11</b>	-	-	-	<b>0.15±0.07</b>	0.30±0.22





BIODIVERSIDAD 

**Florentino Braña Vigil**, Departamento B.O.S., Universidad de Oviedo.

**Álvaro Bueno Sánchez**, Jardín Botánico Atlántico, IN-DUROT, Universidad de Oviedo.

**Estanislao de Luis Calabuig**, Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Universidad de León.

**Tomás E. Díaz González**, Departamento B.O.S. y Jardín Botánico Atlántico, Universidad de Oviedo.

**José Ramón Obeso Suárez**, Departamento B.O.S., Universidad de Oviedo.

**Ángela Taboada Palomares**, Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Universidad de León.

**María Luisa Vera de la Puente**, Departamento B.O.S., Universidad de Oviedo.

## 2.1. INTRODUCCIÓN

El impacto del cambio climático en las especies y comunidades terrestres está bien documentado y entre los efectos más destacables cabría mencionar el desplazamiento de áreas de distribución hacia los polos o bien la subida en altitud en áreas de montaña, los cambios fenológicos (en especial el adelanto de la floración en primavera) y la mayor incidencia de plagas e invasiones biológicas (Walther et al. 2002). No obstante hay especies que no tienen plasticidad en estas respuestas lo cual supone riesgos de extinción (Willis et al. 2008).

La cornisa Cantábrica es un lugar particularmente adecuado para el estudio de estos procesos, por presentar un buen gradiente de altitud, desde el nivel del mar a más de 2500 m, y por establecer una frontera bastante nítida entre el macrobioclima templado y el mediterráneo. Tanto el carácter de frontera como la variación en altitud confieren al territorio una gran diversidad de ambientes y, en consecuencia, una riqueza biológica particularmente alta. A modo de ejemplo puede señalarse que

la flora vascular asturiana supera los 2800 taxones (Díaz 2008) y la fauna de vertebrados continentales supera las 450 especies, lo cual representa en términos numéricos un tercio de la flora vascular y un medio de la fauna vertebrada de la Península Ibérica. Otros grupos, aunque han sido menos estudiados, también dan muestra de la elevada diversidad específica que alberga la Cordillera Cantábrica (Cuesta et al. 2006, Gutiérrez y Menéndez 1998, Menéndez y Gutiérrez 1996, 2004, Taboada et al. 2006, 2008).

Sin embargo, aunque existe cierto conocimiento sobre la diversidad específica de algunos grupos, no hay mucha información cuantitativa sobre cambios temporales en la distribución y abundancia de especies y comunidades. Se resume aquí parte de esa información disponible señalando: 1) cambios en las áreas de distribución de las especies, 2) variaciones en la fenología, 3) efectos sobre especies modelo para las que existe documentación.

## 2.2. CAMBIOS EN LAS ÁREAS DE DISTRIBUCIÓN DE LAS ESPECIES

### CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN TAXONÓMICA DE LA FLORA DE ASTURIAS

Las invasiones biológicas son probablemente la segunda causa de pérdida de biodiversidad a nivel mundial, tras la alteración y destrucción de hábitats (Lodge 1993) y muchas de esas invasiones están propiciadas por el cambio climático. En el caso de nuestro territorio el examen de la flora registrada antes de 1980 en comparación con la actual permite constatar que se ha producido un incremento notable de la representación proporcional de especies alóctonas (del 3,5% al 7,7%) y de las invasoras (del 0,9 % al 3,7%). De estas últimas

cabe destacar, en relación con las predicciones de cambio climático, la creciente importancia de las especies del origen mediterráneo

(Figura 1), mientras que las de otras procedencias mantienen su representación proporcional (Figura 2).



**Figura 1.** Plantas de distribución mediterránea presentes en los últimos tiempos en Asturias: 1. *Scolymus hispanicus* L.; 2. *Allium triquetrum* L.; 3. *Santolina rosmarinifolia* L.; 4. *Lavatera olbia* L.; 5. *Spartina versicolor* Fabre; 6. *Echinochloa colona* (L.) Link.; 7. *Trifolium tomentosum* L.; 8. *Soleirolia soleirolii* (Req.) Dandy; 9. *Solanum luteum* Mill.; 10. *Trifolium cherleri* L.; 11. *Senecio malacitanus* Huter. [Fotografías: T.E. Díaz].



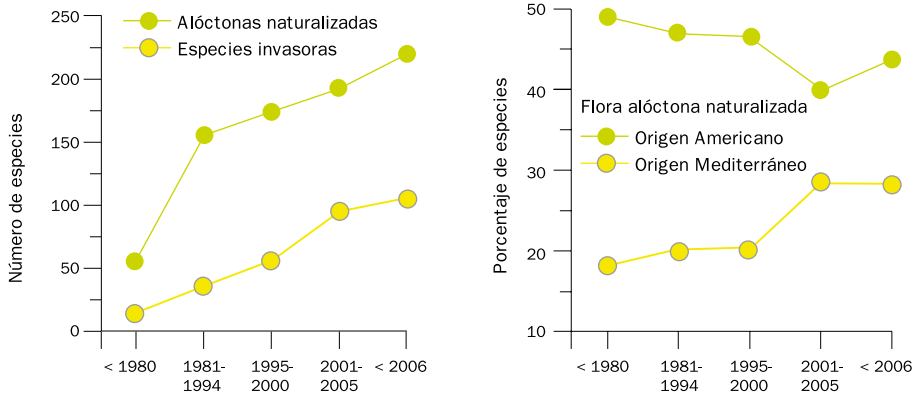


Figura 2. Riqueza específica de flora alóctona naturalizada y de especies invasoras en el Principado de Asturias. El origen de las especies invasoras se representa en la gráfica de la derecha. Base de datos de T.E. Díaz.

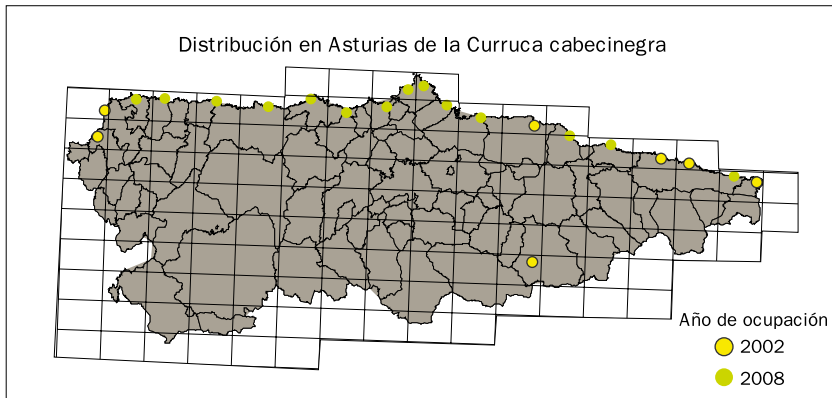
### CAMBIOS EN LA COMPOSICIÓN DE LA AVIFAUNA

Al igual que en el caso de las plantas, se prevé la colonización del territorio asturiano por especies típicamente mediterráneas. La comparación del Atlas de aves de España, período 1975-1995 (Purroy 1997) con la posterior publicación del Atlas de aves reproductoras en España (Martí y del Moral 2003) y con la base de datos de la Coordinadora Ornitológica de Asturias (COA), permite corroborar las predicciones en el caso de algunas especies. Tal sería el caso de *Hirundo daurica* que no está presente en Purroy (1997) y aparece en seis cuadrículas del oriente de Asturias en Martí y del Moral (2003). *Sylvia melanocephala*, la especie más propiamente mediterránea, que no aparece en Asturias en Purroy (1997); está presente en cinco cuadrículas del oriente de Asturias y en dos del occidente en Martí & del Moral (2003) y en 2008 está prácticamente extendida por toda la costa Asturiana (COA, Figura 3). Otras especies en situación similar

son *Milvus milvus*, *Galerida cristata* y *Lulula arborea*. Por el contrario, especies de montaña que tienen en la Cordillera Cantábrica el límite sur de su área de distribución, y de las cuáles se esperaría una retracción del área de distribución, aún continúan existiendo en las mismas localidades que hace 25 años, como el caso de *Montifringilla nivalis*.

### LA BIODIVERSIDAD DE INSECTOS EN LA CORDILLERA CANTÁBRICA

En cuanto a la diversidad de insectos, la Cordillera Cantábrica alberga una elevada riqueza de especies, debido a la variedad de condiciones ambientales y de tipos de ecosistemas que conforman este paisaje en mosaico (Taboada et al. 2006). Así, los brezales de *Calluna vulgaris* de la Cordillera Cantábrica albergan 54 especies de chinches (Hemiptera: Heteroptera), 38 especies de estafilínidos, 34 especies de carábidos y 21 especies de crisomélidos (Coleoptera: Staphylinidae, Carabidae, Chrysomelidae) (Cuesta et al. 2006).



**Figura 3.** Cambios en el área de distribución de la Curruca cabecinegra, *Sylvia melanocephala*, en Asturias durante el período 2002 a 2008. Hasta 1995 no existía presencia de la especie en este territorio. Referencias en el texto.

Esta información de partida puede ser de gran utilidad si se realiza un seguimiento de las mismas localidades a lo largo del tiempo.

Se ha probado la existencia de desplazamientos en altitud en la riqueza de especies de Lepidópteros asociados al cambio climático (Wilson et al. 2007) y se dispone de información del período 1993-95 para la distribución y la fenología de algunos grupos de insectos a lo largo de un gradiente de altitud en el Parque Nacional de Picos de Europa: Lepidópteros (Gutiérrez y Menéndez 1995, 1998) y Escarabeidos (Menéndez y Gutiérrez 1996, 2004). También se dispone de información sobre la distribución (regional y en altitud) y abundancia de las comunidades de abejorros en 1988-89, que son particularmente diversas en climas de montaña (Obeso 1992). Las especies a las que potencialmente podría afectar más el cambio climático serían las de alta montaña (por ejemplo *Bombus monticola*), pero muestreos repetidos en 2007-08 no han detectado

la desaparición de estas especies (base de datos de J.R. Obeso)

### 2.3. CAMBIOS FENOLÓGICOS

El impacto del cambio climático en los organismos se refleja en la fenología de su ciclo vital (Parmesan 2007). Entre los períodos fenológicos que se ven más afectados figuran el adelanto de la floración en primavera y el de llegada de las aves migratorias. Vera (1995) publicó información sobre la fenología de floración de *Erica australis* spp. *aragonensis* en Asturias durante el período 1979-1991 y dispone de información no publicada para el período 1991-2008.

Se examinó mediante un ANCOVA el efecto de la serie temporal (las cuatro series de la Figura 4) utilizando como covariable la altitud. Como es natural hubo un efecto significativo de la altitud ( $F_{(1, 50)} = 215,029$ ;  $p < 0.0001$ ), pero también existió un efecto significativo de

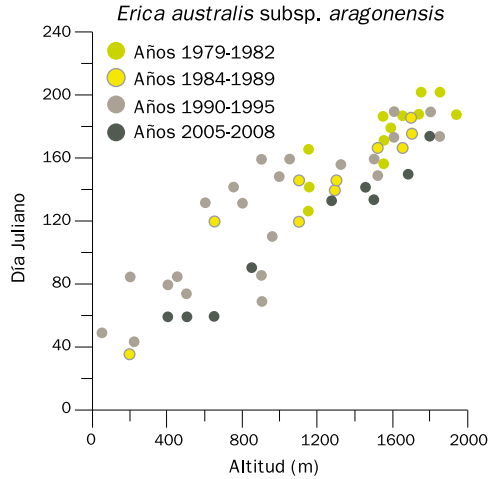


Figura 4. Fechas de floración (más del 90% de flores abiertas) de *Erica australis* spp. *aragonensis* en diferentes localidades asturianas en relación a la altitud y en diferentes tramos temporales (Vera 1995 y base de datos de M.L. Vera).

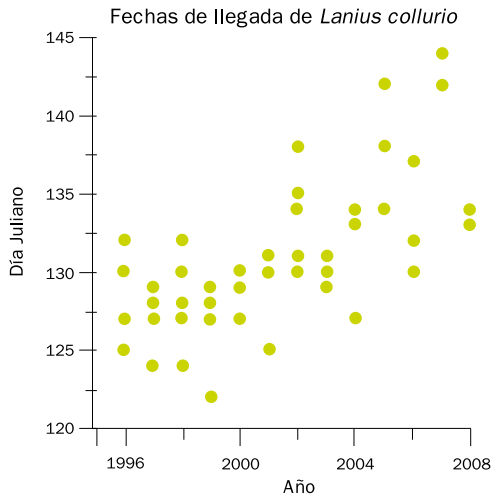


Figura 5. Fechas de Llegada, en días Julianos, del Alcaudón dorsirrojo, *Lanius collurio*. Se incluyen las cinco primeras citas de cada año para el periodo 1996-2008 ( $r = 0,663$ ,  $N = 65$ ;  $p < 0,001$ ).

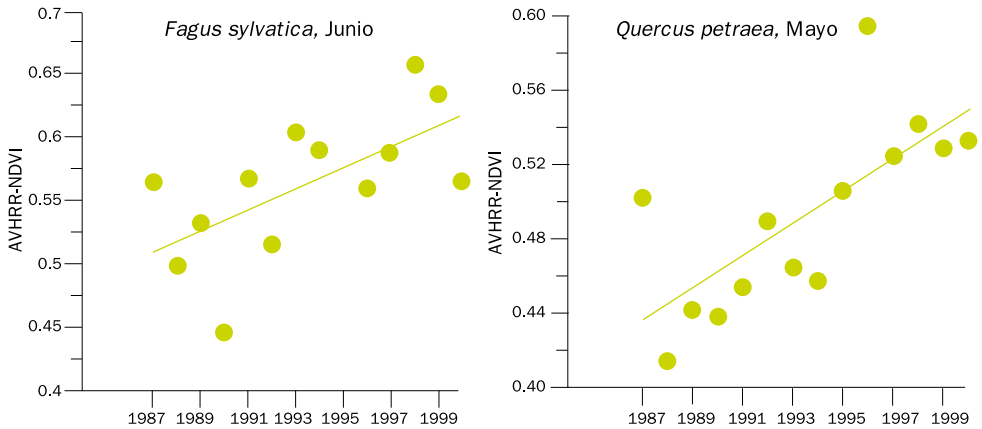


Figura 6. Índice espectral AVHRR-NDVI medio en cuadrículas de 1 km x 1 km en áreas de la montaña suroccidental asturiana dominadas por hayedo (*Fagus sylvatica*) o por robledal (*Quercus petraea*).

la serie temporal ( $F_{(3, 50)} = 5,742$ ;  $p < 0.002$ ), siendo el efecto más notorio en el último tramo (2005-2008).

Las fechas de llegada de las especies migratorias pueden verse modificadas tanto por adelantos en la llegada como por retrasos. Las fechas de llegada de *Lanius collurio* a Asturias se están retrasando significativamente (Figura 5), lo cual puede interpretarse como un retraso en la adquisición de la condición corporal que permita la migración, debido a una disminución de la productividad en el África subsahariana donde realiza la invernada.

Los cambios fenológicos pueden seguirse mediante el uso de imágenes de satélite que permiten obtener información retrospectiva de la vegetación mediante índices espectrales como el AVHRR-NDVI (Advanced very high resolution radiometer - Normalized difference vegetation index) que está linealmente correlacionado con la fracción de radiación fotosintéticamente activa interceptada por la vegetación (Box et al. 1989). El análisis de

series temporales de imágenes LANDSAT de 1 km x 1 km en áreas dominadas por hayedos y robledales sugiere que la actividad fotosintética de estos bosques se ha incrementado a lo largo de este período temporal (Figura 6). Este efecto puede ser una consecuencia tanto del aumento de temperatura, que puede repercutir en cambios fenológicos de la actividad de la vegetación, como del incremento de la biomasa de los bosques que en general están en expansión (IFN 3 1998).

#### 2.4. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE ESPECIES MODELO

##### TENDENCIAS TEMPORALES EN LAS POBLACIONES RECENSADAS PERIÓDICAMENTE

En Asturias se dispone de series temporales que permiten evaluar las tendencias de poblaciones animales en el caso de algunas especies de interés cinegético (ungulados) y piscícola (datos de pesquería de salmón desde los años 50), así como de algunas especies



Figura 7. *Empetrum nigrum* y *Vaccinium myrtillus* con síntomas de marchitez en una ladera seca a 1950 m de altitud en el Pto. San Isidro, Julio 2008.

protegidas. Sin embargo, es difícil valorar la relación entre cambio climático y las tendencias de las poblaciones debido a los efectos de cambios temporales en la propia regulación de las capturas o en la gestión del territorio, entre otros.

Desde 1980 se vienen realizando en Asturias, durante el mes de Enero, censos de aves acuáticas invernantes (primero por el Grupo Ornitológico Aythya y después por la Coordinadora Ornitológica de Asturias). Se considera que desde 1988 estos censos están estandarizados. Con un aumento de la temperatura media invernal sería esperable que aumentara la densidad de aves acuáticas invernantes. De las 118 especies censadas, se han producido

incrementos numéricos significativos en 31 especies y disminuciones en 7. En general, estas tendencias no pueden asociarse a determinadas distribuciones geográficas de las especies, ya que se producen aumentos del número invernante tanto en especies con área de cría mediterránea (*Egretta garzetta*) como en las de distribución estival en áreas boreales (*Tringa* spp.).

El urogallo (*Tetrao urogallus*) es un ave forestal boreal que tiene en la Cordillera Cantábrica su límite sur de distribución y donde está en peligro de extinción. Su dependencia de las condiciones climatológicas ha sido probada en otras poblaciones. La retracción del área de distribución cantábrica, que está bien

documentada, se está produciendo hacia las zonas de mayor altitud dentro del límite del bosque (Obeso y Bañuelos 2003, Quevedo et al. 2006).

Aunque se dispone de menos información cuantitativa hay varias especies de plantas de alta montaña que pueden ser afectadas por aumentos de temperatura en interacción con disminución de las precipitaciones. Tal sería el caso de *Empetrum nigrum* para el que se conoce su distribución cantábrica y los efectos potenciales del cambio climático (Vera 1998, Tybirk et al. 2000, Jiménez-Alfaro et al. 2006). Poblaciones de *Empetrum nigrum* y de otras especies arbustivas viviendo en suelos con escasa retención de agua han sido afectadas por el descenso destacable de la precipitación en zonas de montaña en 2006 y 2007 (Figura 7) (ver capítulo de Clima de este volumen). Se ha hecho un seguimiento reciente en el Parque Nacional Picos de Europa de otras plantas vasculares de alta montaña cuya distribución es bien conocida, y de las cuales que también están arrinconadas ocupando las posiciones con menos insolación y más innivación, y en situación comprometida frente a disminuciones de precipitaciones, nevadas o aumentos de temperaturas, son *Carex capillaris*, *Kobresia myosuroides*, *Soldanella alpina subsp. cantábrica* (Bueno et al. 2008).

#### RESPUESTAS TÉRMICAS DE VERTEBRADOS ECTOTERMOS

Se han realizado diversos estudios sobre termorregulación y respuesta térmica de diferentes funciones en vertebrados ectotermos de Asturias, que permitirían hacer algunas predicciones sobre los efectos esperables del cambio climático. Son especialmente importantes los referidos a la fase de desarrollo

embrionario debido a que en esta etapa: 1) los límites térmicos son mucho más estrictos, y 2) existe poca capacidad de ajuste fisiológico para compensar los efectos de la variación ambiental.

En la trucha común (*Salmo trutta*) la supervivencia durante la fase de desarrollo embrionario es muy alta en el rango de 6 a 12°C, pero decae de forma importante a 14°C (mortalidad en torno al 70%) y no hay embriones supervivientes en las incubaciones a 16 y 18°C, lo que sugiere un límite térmico de viabilidad en torno a los 15°C (Ojanguren y Braña 2003). Una revisión de la dependencia térmica del desarrollo embrionario en otras poblaciones europeas de trucha común revela poca variabilidad inter-poblacional a este respecto, lo cual sugiere escasa capacidad de respuesta adaptativa en ese rasgo.

En el salmón Atlántico (*Salmo salar*: ríos Narcea, Sella y Cares) hay una fuerte dependencia térmica de la supervivencia embrionaria en el intervalo entre 4 y 22°C, con un límite térmico de viabilidad situado en torno a los 16°C (Ojanguren et al. 1999). Esa temperatura no se alcanza habitualmente en el curso medio-alto de los ríos asturianos durante la fase de incubación de los salmones, de modo que aun cabría un margen amplio de aumento de temperatura sin efectos dramáticos. Los análisis de escamas de salmones del río Eo (Braña et al. 1995) han permitido detectar cambios muy importantes en la estructura de edades de los adultos anádromos entre las décadas de 1950 y 1980: en el periodo 1951-1960 la proporción de salmones de tres años de mar y la proporción de iteróparos fue mayor que en el periodo 1981-1991, mientras que la edad media de los esguines fue menor; este último rasgo es muy probablemente un indicador cli-

mático, ya que se vincula directamente con las condiciones de crecimiento, y por ello sería muy interesante analizar las escamas de los salmones pescados en la última década (están disponibles) para determinar posibles variaciones en la edad de esguinado y en el crecimiento durante la fase fluvial. Por otra parte, se ha demostrado variación térmica contragradiente en variables de eficiencia digestiva y crecimiento durante la fase fluvial entre poblaciones de Asturias y de Escocia (Nicieza et al. 1994), evidenciando adaptación térmica local. El hecho de que el límite meridional del salmón en Europa se sitúe precisamente en el área cantabro-galaica sugiere la posibilidad de un efecto importante del cambio climático.

En la lamprea marina (*Petromyzon marinus*) los embriones incubados a 7 y 11°C mueren en estadios tempranos, mientras que en el intervalo entre 15 y 23°C la supervivencia es bastante alta y constante. Sin embargo, una vez superado el periodo embrionario, y durante los tres primeros meses de alimentación exógena, las larvas que habían sido incubadas a 15°C tuvieron una supervivencia mucho más alta que las incubadas a 19 y 23°C, y entre estas últimas no hubo supervivientes. La temperatura media del agua en el periodo de incubación fue de 15,3°C para el periodo de incubación y 16,7°C para el periodo eclosión-enterramiento, muy próximas del óptimo de desarrollo inicial de la especie (Rodríguez-Muñoz et al. 2001).

Hay estudios que revelan efectos del cambio climático sobre crecimiento y demografía en *Lacerta vivipara* en el Macizo Central francés (Chamaillé-Jammes et al., 2006). Sin embargo, los estudios realizados con poblaciones asturianas de *Podarcis muralis* (Van Damme et al. 1992, Braña y Ji 2000, 2007) y *L. vivipara*

(datos no publicados T. Rodríguez y F. Braña) ponen de manifiesto que los efectos nocivos de la temperatura sobre el desarrollo no son importantes hasta alcanzar niveles muy elevados (generalmente >30°C), por lo que no es verosímil un efecto inmediato por el aumento de temperatura en unos pocos grados.

## 2.5. RESUMEN Y PROPUESTAS DE SEGUIMIENTO

En síntesis, existe poca información cuantitativa sobre cambios en área de distribución y abundancia de las poblaciones como consecuencia del cambio climático y la utilizada en este resumen no fue diseñada con ese fin. Hay bases de datos fenológicas que señalan adelantos de la actividad en primavera (floración de brezos e índices espectrales). Del análisis de floras y faunas se desprende que se está produciendo una colonización del territorio por taxones de origen mediterráneo y existen procesos de extinción de taxones de origen boreal. Se dispone de censos de aves acuáticas invernantes, pero todavía debe desentrañarse el efecto del cambio climático independiente de otras variables.

Se señalan algunos grupos de insectos (Lepidópteros, Escarabéidos, Carábidos, Apoideos) para los que hay información previa de distribución y abundancia a lo largo de gradientes de altitud y que deberían volver a examinarse en la actualidad. Del mismo modo deberían mantenerse y ampliarse las bases de datos que se señalan en el apartado siguiente.

La diversidad no sólo es afectada por el cambio climático de origen antropogénico propiamente dicho sino también por otros factores estrechamente relacionados con él. Tal

sería el caso de los cambios en los usos del territorio, que provocan emisiones de efecto invernadero, y las alteraciones de los ciclos biogeoquímicos, derivados de las emisiones de gases de efecto invernadero por el uso de combustibles fósiles. Los cambios en los usos del territorio provocan pérdida y fragmentación del hábitat, con la consiguiente pérdida de diversidad. El uso de combustibles fósiles y de fertilizantes provoca emisiones de óxidos de nitrógeno que producen deposiciones de compuestos nitrogenados sobre los ecosistemas que resultan fertilizados. El resultado es una homogeneización de los ecosistemas y finalmente una pérdida de biodiversidad (Vitousek et al. 1997). Se hace por tanto necesario estudiar los efectos de estos procesos de cambio global asociados al cambio climático sobre la biodiversidad.

## 2.6. BASES DE DATOS DE PARTIDA

Base de datos de T.E. Díaz: Flora de Asturias desde los años 70 hasta la actualidad.

Base de datos de M.L. Vera: Información sobre fenología de matorrales de Ericáceas y Leguminosas, desde 1979.

Base de datos de la Coordinadora Ornitológica de Asturias: Censos de aves acuáticas invernantes, que desde 1987 se han realizado de manera homogénea. Información sobre fenología, donde es de especial interés las fechas de llegada de aves migratorias.

Base de datos de F. Braña: Efectos de la temperatura de incubación sobre el desarrollo embrionario de peces y lacértidos

Base de datos de J.R. Obeso: Distribución y abundancia de abejorros en la cordillera cantábrica 1988-89 y 2007-08.

Base de datos del Jardín Botánico Atlántico: Información fenológica de más de 100 especies vegetales y distribución de especies de alta montaña.

Bases de datos de A. Taboada y E. de Luis: Distribución y abundancia de diversos grupos de insectos.

## 2.7. REFERENCIAS

Box, E.O., Holben, B.N., Kalb, V. 1989. Accuracy of the AVHRR vegetation index as a predictor of biomass, primary productivity and net CO<sub>2</sub> flux. *Vegetatio*, 80:71-89.

Braña, F., Garrido, R., Nicieza, A.G. 1995. Historical changes in age structure and occurrence of repeated spawning of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in the river Eo (Northern Spain). *Fisheries management and Ecology*, 2: 279-287.

Braña, F., Ji, X. 2000. Influence of incubation temperature on morphology, locomotor performance, and early growth of hatchling wall lizards (*Podarcis muralis*). *Journal of Experimental Zoology*, 286: 422-433.

Braña, F., Ji, X. 2007. The selective basis for increased egg retention: early incubation temperature determines hatchling phenotype in wall lizards. *Biological Journal of the Linnean Society*, 92: 441-447.



Bueno, A., Jiménez-Alfaro, B., Alonso, J.I., Fernández J.A. -coord- (2008). Cartografía de Flora Amenazada en el Parque Nacional Picos de Europa. Organismo Autónomo Parques Nacionales - Jardín Botánico Atlántico (Documento técnico).

Chamaillé-Jammes, S., Massot, M., Aragón, P., Clobert, J. 2006. Global warming and positive fitness response in mountain populations of common lizards *Lacerta vivipara*. *Global Change Biology*, 12:392-402.

Cuesta, D., Taboada, A., Calvo, L., Salgado, J.M. 2006. A preliminary investigation of ground beetle (Coleoptera: Carabidae) assemblages and vegetation community structure in *Calluna vulgaris* heathlands in NW Spain. *Entomologica Fennica*, 17: 241-252.

Díaz, T.E. 2008. Catálogo de la Flora Vasculardel Principado de Asturias. Plantas silvestres y cultivadas. Dpto. Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo. (En prensa).

Gutiérrez, D., Menéndez, R. 1995. Distribution and abundance of butterflies in a mountain area in the northern Iberian Peninsula. *Ecography*, 18: 209-216.

Gutiérrez, D., Menéndez, R. 1998. Phenology of butterflies along an altitudinal gradient in northern Spain. *Journal of Zoology*, 244: 249-264.

Huntley, B., Green, R., Collingham, Y., Willis, S.G. 2007. A Climatic Atlas of European Breeding Birds. Lynx Editions

IFN 3. 2003. Tercer inventario forestal nacional 1997-2006, España. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente.

Jiménez-Alfaro, B., Bueno Sánchez, A., Fernández, J.A. 2006. *Empetrum nigrum* subsp. *nigrum*. In: Bañares, Á., Blanca, G., Güemes, J., Moreno, J.C., Ortiz, S.-eds-. Atlas y Libro Rojo de la Flora Vasculard Amenazada de España. Adenda 2006. Dirección General para la Biodiversidad- Sociedad Española de Biología de la Conservación de Plantas. Madrid. 92 pp.

Lodge, D.M. 1993. Species invasions and deletions. In Kaireva, P.M., Kingsolver, J.G. & Honey, R.B. (eds.). Biotic Interactions and Global Change, 367-387. Sunderland, Massachusetts. USA.

Martí, R., del Moral, J.C. 2003. Atlas de las aves reproductoras de España. SEO/BirdLife. Ministerio de Medio Ambiente.

Menéndez, R., Gutiérrez, D. 1996. Altitudinal effects on habitat selection of dung beetles (Scarabaeoidea: Aphodiidae) in the northern Iberian Peninsula. *Ecography*, 19: 313-317.

Menéndez, M., Gutiérrez, D. 2004. Shifts in habitat associations of dung beetles in northern Spain: Climate change implications. *Ecography*, 11: 329-337.

Nicieza, A.G., Reyes-Gavilán, F.G., Braña, F. 1994. Differentiation in juvenile growth and bimodality patterns between northern and southern populations of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Canadian Journal of Zoology*, 72: 1603-1610.

- Obeso, J.R. 1992. Geographic distributions and community structure of Bumblebees in Northern Iberian Peninsula. *Oecologia*, 89: 244-252.
- Obeso, J.R., Bañuelos, M.J. 2003. El urogallo (*Tetrao urogallus cantabricus*) en la Cordillera Cantábrica. Organismo Autónomo de Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. 152 pp. ISBN: 84-8014-499-8.
- Ojanguren, A.F., Reyes-Gavilán, F.G., Rodríguez-Muñoz, R. 1999. Effects of temperature on growth and efficiency of yolk utilisation in eggs and pre-feeding larval stages of Atlantic salmon. *Aquaculture International*, 7: 81-87.
- Ojanguren, A., Braña, F. 2003. Thermal dependence of embryonic growth and development in brown trout. *Journal of Fish Biology*, 62: 580-590.
- Parmesan, C. 2007. Influences of species, latitudes and methodologies on estimates of phenological response to global warming. *Glob Change Biol*, 13: 1860-1872.
- Purroy, F.J. 1997. Atlas de las aves de España (1975-1995). SEO/BirdLife. Lynx Editions.
- Quevedo, M., Bañuelos, M.J., Obeso, J.R. 2006. The decline of Cantabrian capercaillie: how much do habitat and landscape configuration matter? *Biological Conservation*, 127: 190-200.
- Rodríguez-Muñoz, R., Nicieza, A.G., Braña, F. 2001. Effects of temperature on developmental performance, survival and growth of sea lamprey embryos. *Journal of Fish Biology*, 58:475-486.
- Taboada, A., Kotze, D.J., Tárrega, R., Salgado, J.M. 2006. Traditional forest management: Do carabid beetles respond to human-created vegetation structures in an oak mosaic landscape? *Forest Ecology and Management*, 237: 436-449.
- Taboada, A., Kotze, D.J., Tárrega, R., Salgado, J.M. 2008. Carabids of differently aged reforested pinewoods and a natural pine forest in a historically modified landscape. *Basic and Applied Ecology*, 9: 161-171.
- Tybirk, K., Nilsson, M.-Ch., Michelsen, A., Kristense, H.L.N., Shevtsova, A., Strandberg, M.T., Johansson, M., Nielsen, K.E., Riis-Nielsen, T., Strandberg, B., Johnsen, I. 2000. Nordic *Empetrum* dominated ecosystems: Function and susceptibility to environmental changes. *Ambio*, 29: 90-97
- Van Damme, R., Bauwens, D., Braña, F., Verheyen, R.F. 1992. Incubation temperature differentially affects hatching time, egg survival and hatchling performance in the lizard *Podarcis muralis*. *Herpetologica* 48: 220-228.
- Vera, M.L. 1995. Efecto de la altitud en la fenología de la floración en especies arbustivas del norte de España. *Lagascalía*, 18:3-14.
- Vera, M.L. 1998. Heathlands with *Empetrum nigrum* in the Cantabrian Mountains (North Spain): Regeneration and conservation. 6TH European heathland workshop, Noruega. p. 114.

Vitousek, P.M., Aber, J., Howarth, R.W., Likens, G.E., Matson, P.A., Schindler, D.W., Schlesinger, W.H., Tilman, G.D. 1997. Human alteration of the global nitrogen cycle: causes and consequences. *Issues in Ecology*: 1-16.

Walther, G.R., Post, E., Convey, P., Menzel, A., Parmesan, C., Beebee, T.J.C., Fromentin, J.M., Hoegh-Guldberg, O., Bairlein, F. 2002. Ecological responses to recent climate change. *Nature*, 416: 389-395.

Willis, C.G., Ruhfel, B., Primack, R.B., Miller-Rushing, A.J., Davis, C.C. 2008. Phylogenetic patterns of species loss in Thoreau's woods are driven by climate change. *Proceedings of the National Academy USA*, 105: 17029-17033.

Wilson, R.J., Gutiérrez, D., Gutiérrez, J., Monserrat, V.J. 2007. An elevational shift in butterfly species richness and composition accompanying recent climate changes. *Global Change Biology*, 13: 1873-1887.





RECURSOS FORESTALES 

Asunción Cámara Obregón, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas. Universidad de Oviedo

Juan Majada Guijo, SERIDA. Principado de Asturias.

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales constituyen una de las unidades de paisaje natural más complejas en cuanto a función, estructura y dinámica. Desde los albores de su existencia el hombre ha utilizado y se ha beneficiado de los diversos productos y servicios que los territorios forestales le han proporcionado: madera, leñas, frutos, resinas, hongos, cobijo y resguardo, esparcimiento, etc. Esta diversidad de productos es el mejor indicador de su propia complejidad (Gracia et al. 2005).

La Ley de Montes 43/2003 de 21 de noviembre de 2003 define en su artículo primero la superficie forestal o monte como “...todo terreno en el que vegetan especies forestales arbóreas, arbustivas, de matorral o herbáceas,

sea espontáneamente o procedan de siembra o plantación, que cumplan o puedan cumplir funciones ambientales, protectoras, productoras, culturales, paisajísticas o recreativas...”. Teniendo en cuenta esta definición, SADEI (2003) (Fuente: INDUROT, Cartografía Temática Ambiental del Principado de Asturias 1989-2001) estima la superficie forestal regional en 661.021 ha, lo que supone aproximadamente un 60% de la superficie regional (Tabla I), y pone de manifiesto la importancia del Sector Forestal en Asturias. De esta superficie en el tercer inventario nacional (MMA 2003), aparecen 451116,75 ha con alguna formación forestal arbórea; de entre las que cabe destacar por su importancia en superficie nuestras masas puras o mixtas de castaño, eucalipto y haya (Tabla II).

La titularidad de estos territorios forestales corresponde en casi un 70% a montes particulares, ya sean de entidades locales, titularidad privada y estén o no consorciados con la administración forestal regional (IFN3),

Tabla I. Distribución de la superficie forestal del Principado de Asturias (SADEI, 2003).

Tipo de cubierta	Superficie (ha)	Tipo de especie	Superficie (ha)
Forestal arbolado	310.822	Coníferas	36.541
		Eucalipto	54.733
		Castaño	59.822
		Hayedo	51.853
		<i>Quercus</i>	70.032
		Otras frondosas	37.841
Matorral diverso	342.247		
Formaciones herbáceas no prácticas	7.952		
TOTAL	661.021		
Prados, pastos y cultivos herbáceos	272.790 (*)		

(\*) No es posible segregar la superficie con uso agrícola y ganadero de los pastos forestales no arbolados.

correspondiéndoles casi un 90% del volumen de cortas de madera de la región en el periodo 2000-2006 (SADEI 2006).

La representación superficial del territorio forestal en Asturias en manos mayoritariamente de propietarios particulares, deja de manifiesto la importancia social y económica del sector, que puede verse sustancialmente alterado por los efectos de un cambio climático evidente pero plagado de incertidumbres futuras.

Si aceptamos que el futuro será diferente del pasado y del presente estamos forzados a gestionar nuestros bosques con nuevos enfoques (Millar et al. 2007). Aunque existen modelos cuantitativos que pueden predecir el sentido y magnitud de los cambios ambientales así como las respuestas de los sistemas forestales a los distintos escenarios previstos, rara vez pueden predecir el futuro con un nivel de precisión suficiente (Pilkey y Pilkey-Jarvis 2007).

Tabla II. Formaciones forestales del Principado de Asturias (IFN3) (MMA, 2003).

Estrato	Formación forestal dominante	Ocupación (%)	Estado de masa	Fracción de cubierta (%)	Cabida (ha)	Nº de parcelas
1	<i>Castanea sativa</i>	>=70	Fustal	70-100	47.240,19	97
2	<i>Castanea sativa</i>	>=70	Fustal	40-69	18.691,68	51
3	<i>Castanea sativa</i>	>=70	Fustal	20-39	11.292,44	52
	<i>Castanea sativa</i>	>=70	Latizal	20-100		
4	<i>Castanea sativa</i> y otras frondosas	>=70; 30<=Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5-100	20.750,94	172
5	<i>Quercus robur</i> o <i>Betula</i> spp.con <i>Castanea sativa</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	70-100	27.239,84	71
6	<i>Quercus robur</i> o <i>Betula</i> spp.con <i>Castanea sativa</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20-69	19.086,71	77
7	<i>Fagus sylvatica</i>	>=70	Fustal. Latizal	70-100	51.287,31	131
8	<i>Fagus sylvatica</i>	>=70	Fustal. Latizal	20-69	14.257,92	58
9	<i>Fagus sylvatica</i> con <i>Quercus robur</i> o con <i>Castanea sativa</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20-100	23.523,51	99
10	<i>Quercus robur</i>	>=70;30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20-100	25.005,89	96
11	<i>Quercus robur</i> con <i>Betula</i> spp. o con <i>Eucalyptus globulus</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20-100	8.470,99	60
12	<i>Quercus pyrenaica</i> y <i>Quercus ilex</i> , y <i>Q. ilex</i> y <i>Q. pyrenaica</i> con <i>Quercus robur</i>	>=70;30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20-100	14.457,93	66
13	Mezcla de frondosas	>=70;30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20-100	15.052,03	113
14	<i>Eucalyptus globulus</i>	>=70	Fustal. Latizal	70-100	36.268,15	69
15	<i>Eucalyptus globulus</i>	>=70	Fustal. Latizal	20-69	16.026,86	47
16	<i>Eucalyptus globulus</i> con <i>castanea sativa</i> o con <i>Pinus Pinaster</i> o con <i>Pinus radiata</i>	30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20-100	21.545,47	67
17	<i>Eucalyptus globulus</i> , <i>Pinus Pinaster</i> y <i>Pinus radiata</i>	>=70;30<=Esp.<70	Monte bravo. Repoblado	5-100	12.893,75	98
18	<i>Pinus sylvestris</i> y <i>Pinus sylvestris</i> con <i>Pinus pinaster</i>	>=70;30<=Esp.<70	Todos	20-100	19.553,27	72
18	<i>Pinus Pinaster</i>	>=70	Fustal. Latizal	20-100	19.553,27	72
19	<i>Pinus radiata</i> y <i>Pseudotsuga menziesii</i>	>=70;30<=Esp.<70	Fustal. Latizal	20-100	16.411,03	61
20	<i>Alnus glutinosa</i> y árboles ripícolas	>=70;30<=Esp.<70	Todos	5-100	15.847,55	188
21	Matorral con arbolado ralo	>=70;30<=Esp.<70	Todos	10-19	11.034,44	93
22	Matorral con arbolado disperso	>=70;30<=Esp.<70	Todos	5-9	5.178,85	39
Todos					<b>451.116,75</b>	<b>1.877</b>



La gestión forestal actual (estática aún frente al cambio climático) considera los paradigmas de la sostenibilidad ecológica y la variabilidad histórica, entre otros, para establecer sus objetivos. Empeñarse en gestionar el territorio como si “no pasara nada”, manteniendo las condiciones de lo que será “pasado” con el breve paso del tiempo, supone invertir grandes consumos de energía, creando o manteniendo masas forestales con poca capacidad de adaptación y muy susceptibles al cambio climático.

La incertidumbre debe implementarse en la gestión, identificando los efectos y diseñando estrategias de adaptación (resistencia y resiliencia), que permitan a los ecosistemas acomodarse al cambio; y estrategias de mitigación, disminuyendo las causas de estrés (secuestro de CO<sub>2</sub>, reducción del efecto invernadero, etc.).

### 3.2 ZONAS MÁS VULNERABLES

Según Gracia et al. (2005), las zonas o especies forestales más vulnerables frente a los efectos del cambio climático son las siguientes:

- Poblaciones con su límite meridional en las partes altas de los sistemas montañosos
- Especies con procedencias genéticas de área restringida.
- Áreas degradadas, sin cobertura arbórea, pues el cambio climático genera un aumento de la dificultad de colonización por especies arbóreas frugales y heliófilas.
- Zonas con incendios recurrentes.
- Zonas de cumbres: si el área de distribución abarca el último tramo de los sistemas orográficos. En la mayoría de los casos poseen

escasa representación superficial, por lo que son más sensibles al cambio.

- Ambientes xéricos.
- Bosques de ribera: sistemas muy antropizados, fragmentados y de reducida variabilidad genética (regeneración asexual), como consecuencia de la realización de obras hidráulicas de envergadura (embalses, corrección de cursos de ríos, escolleras), o utilización intensiva de las vegas para cultivos agrícolas y/o forestal.

### 3.3 ESTRATEGIAS FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO

Es imposible diseñar pautas de gestión detallada frente a una incertidumbre de las dimensiones del cambio climático y especialmente a escala “monte”. Sin embargo, si que podemos tener en cuenta estrategias de ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN que ayuden a los sistemas forestales a acomodarse al cambio, en el primer caso, o bien a disminuir las causas que lo producen (secuestro de CO<sub>2</sub>, reducción de efecto invernadero), en el segundo. Es deseable que se implementen acciones integradoras (adaptación + mitigación), siendo necesario para ello evaluar previamente los tipos de incertidumbre (Lindner et al. 2000, Allue 1995) y diseñar actuaciones deterministas o indeterministas según sea el caso. Así, es necesario:

- Conocer las condiciones ecológicas y ambientales actuales.
- Disponer de modelos y fuentes de predicción sobre el futuro.
- Disponer de recursos institucionales (personal, tiempo y presupuesto).
- Determinar el horizonte temporal de la planificación (corto plazo vs largo plazo).

- Disponer de apoyo de los distintos agentes sociales.

Las estrategias de adaptación son aquellas que ayudan a los ecosistemas a acomodarse al cambio climático, teniendo en cuenta la *resistencia* y *resiliencia* de los mismos. Hacemos a continuación unas breves consideraciones respecto a ambos conceptos relacionados con la gestión forestal (Millar et al. 2007).

#### **Resistencia:**

La gestión adaptativa puede ser la única opción a corto plazo para mantener plantaciones de alto valor económico (madera) o especies en peligro de extinción.

Es imprescindibles potenciar las técnicas selvícolas de defensa del monte frente a efectos directos e indirectos del cambio (fuego, insectos, enfermedades y plagas).

Se convierte en fundamental la caracterización, gestión y control de las grandes fuentes de combustible (riesgo de incendios), la eliminación intensiva de especies invasoras, los tratamientos de plagas (p.e. feromonas) o exceso de competencia (herbáceas), etc.

#### **Resiliencia:**

Los bosques resilientes no sólo son capaces de acomodarse a los cambios graduales del clima, sino que tienden a regresar a la situación de partida de forma natural o con asistencia de la gestión selvícola.

La resiliencia puede aumentarse con prácticas de gestión adaptativa pero con un alcance más extensivo en cuanto a su nivel de planificación territorial. Por ejemplo, gestión diseñada para favorecer la producción de semilla (bancos de semilla) y tratamientos intensivos sobre la vegetación invasora en áreas repobladas (restauradas), con el fin de evitar la entra-

da de especies no deseadas, especialmente si la estación no es muy óptima.

La capacidad de mantener y mejorar la resistencia y resiliencia de un ecosistema al cambio, puede ser cada vez más difícil y requerir de más intervenciones intensivas si los cambios de clima se van haciendo acumulativos con el tiempo. En este caso es necesario gestionar para acomodar el sistema al cambio.

#### **Adaptación:**

Los tratamientos selvícolas imitarían, asistirían o acompañarían los procesos adaptativos naturales, tales como dispersión de especies y migración, mortalidad y colonización, cambios de dominancia específica y composición vegetal, y cambios en el régimen de perturbaciones. El objetivo es facilitar una adaptación gradual y transición hacia un cambio inevitable e incierto, impidiendo así conversiones de magnitud catastrófica. Por ello, la gestión debe enfocarse no sólo hacia un futuro probable sino también posible (Allue 1995).

Presentamos, a continuación, un resumen de adaptaciones al cambio climático para la gestión forestal, estructuradas en los siguientes tópicos: mejora genética, protección forestal, regeneración natural, selvicultura, operaciones forestales, recursos no maderables y parques y áreas protegidas.

#### **MEJORA GENÉTICA**

Es importante reseñar que una de las principales estrategias en proyectos de restauración y repoblación (nuestros bosques del futuro) es garantizar la adaptabilidad de los materiales forestales de reproducción empleados y si existe la información suficiente, garantizar la utilización de materiales tolerantes a factores bióticos y abióticos.

En muchas ocasiones las herramientas de gestión pueden no ser suficientes para garantizar la viabilidad-sostenibilidad de ciertos ecosistemas forestales. Aunque en nuestra región no se han producido este tipo de problemas (por ejemplo muerte súbita de encinares en el sur de España), la mejor garantía para el futuro es conocer a priori las bases y márgenes de caracteres adaptativos y plasticidad ante el cambio climático en nuestros recursos forestales. Este conocimiento se incorpora en los programas de selección y mejora de materiales forestales de reproducción que conformarán nuestros bosques del futuro.

#### **Adaptación – Plasticidad**

El conocimiento se puede manejar desde el punto de vista de seleccionar materiales genéticos con capacidad de adaptación-plasticidad a fenómenos previstos y puede ser utilizado para su inclusión en programas de mejora que incluyan aspectos como la tolerancia a la sequía o resistencia a enfermedades y plagas.

El significado adaptativo de la plasticidad fenotípica se puede determinar al menos desde tres aproximaciones distintas que además involucran diferentes escalas: 1) individuo, 2) población, y 3) especie.

Plasticidad fenotípica adaptativa a escala individual. Dirigida a evaluar el valor adaptativo de cada uno de los fenotipos producidos en cada ambiente. Esto no necesariamente involucra indagar por la correlación entre el atributo y la adecuación biológica de la planta, ya que al significado funcional de la plasticidad observada puede adscribirse un valor adaptativo. El significado funcional de un cambio particular en la morfología, fisiología o patrones de asignación de biomasa puede estimarse a partir del conocimiento de la eco-

fisiología de la adquisición de recursos de la planta (Givnish 1986, Chapin 1991). En general, la tendencia es a maximizar la explotación del recurso cuya disponibilidad es limitante.

Plasticidad fenotípica adaptativa a escala poblacional. Los avances teóricos en el campo de la evolución de la plasticidad fenotípica descritos en una sección precedente no han tenido un correlato en el ámbito empírico. Por otra parte, resultan particularmente escasos los estudios sistemáticos sobre la plasticidad fenotípica de forestales (Schlichting 1986, Wu y Stettler 1998, Valladares et al. 2000a y 2000c, Niinemets et al. 2003, Gratani et al. 2003).

Pocos trabajos experimentales han intentado evaluar cuantitativamente la selección de normas de reacción en una población (Lacey et al. 1983, Weis y Gorman 1990, Scheiner y Lyman 1991, Pigliucci y Schlichting 1996, Scheiner y Yampolsky 1998). Esto no es casual porque una evaluación rigurosa de la selección de normas de reacción en un contexto de ambientes variables involucra un protocolo exigente y complejo (Schlichting y Pigliucci 1998).

Plasticidad fenotípica adaptativa a escala de especie. Muchos trabajos que vinculan la plasticidad fenotípica y el rango de distribución de una especie han apuntado a caracterizar la dinámica de colonización de nuevos hábitats de especies invasoras y malezas cosmopolitas. Por lo general, se elige comparar especies con rangos de distribución contrastante que sean congénicas, para reducir el efecto de la filogenia en los patrones de plasticidad observados. La hipótesis general es que las especies con un rango de distribución amplia deberían presentar mayor plasticidad fenotípica que las especies de distribución limitada (Futuyma y Moreno 1988, van Tienderen 1997)

### PROTECCIÓN FORESTAL

Si las perturbaciones climáticas se volvieron más frecuentes e intensas en el tiempo, pueden inducir rápidas modificaciones en la distribución de las clases de edad y elementos del paisaje, tales como los incendios (Stocks et al, 1998; Wheaton 2001), viento (Petersen 2000) o plagas (Sieben et al 1997; Volney, Fleming, 2000). También aumenta la probabilidad de que aparezcan interacciones entre la presencia del fuego y la aparición de plagas, provocadas ambas perturbaciones por el aumento de la temperatura y/o la disminución del régimen de precipitaciones (Fleming et al., 2002).

#### Adaptación – Incendios forestales

- Centrar los esfuerzos de protección en zonas con alto valor económico o social (Stocks et al. 1998, Parker et al. 2000). Es probable que cualquier aumento en la ocurrencia de incendios forestales sobrepase la capacidad de extinción de los organismos destinados a esta labor.

- Alterar la estructura forestal (aumentar espaciamiento o disminuir densidad de masas arboladas, disminuir la presencia de pies muertos o reducir los aportes de restos vegetales de operaciones selvícolas, p.e. restos de podas o clareos, que a su vez podrían ser utilizados como biomasa energética contribuyendo así a la mitigación del cambio).

- Intervenir sobre el paisaje con actuaciones selvícolas como cuidados culturales y tratamientos de regeneración que gestionen el combustible para reducir la capacidad de propagación del fuego (Hirsch y Kafka 2001, Climate Change Impacts and Adaptation Directorate 2002). Por ejemplo, romper amplias extensiones de especies de elevada inflama-

bilidad con plantaciones de otras menos inflamables para reducir la vulnerabilidad a grandes fuegos.

- Restaurar la cubierta vegetal tras el paso del fuego (Wheaton 2001).

#### Adaptación – Plagas y enfermedades

- Aplicación de cuidados culturales (clareos y claras) para incrementar el vigor de la masa y disminuir la susceptibilidad a plagas y/o enfermedades (Wargo y Harrington 1991, Gottschalk 1995).

- Extracción de la masa de pies afectados minimizando el riesgo de afección y disminuyendo la vulnerabilidad a otras afecciones fitosanitarias (Smith et al. 1997).

- Disminución de los turnos de corta para reducir el periodo de vulnerabilidad de la masa a la afección por patógenos, favoreciendo así el cambio de especies por otras más resistentes (Gottschalk, 1995, Lindner et al. 2000).

- Utilización de insecticidas y fungicidas en situaciones donde la selvicultura preventiva no es eficaz o es inapropiada (Parker et al. 2000).

- Utilización de genotipos resistentes (Namkoong 1984).

### REGENERACIÓN NATURAL

Las actuales masas forestales son relativamente resistentes a la variabilidad del clima (Noss 2001), siendo la fase de regeneración natural la que es realmente susceptible al cambio climático. Desde este punto de vista, podría considerarse las perturbaciones climáticas como una opción rápida para introducir genotipos o especies más adaptadas al nuevo clima. Sin embargo, las especies arbóreas no comerciales o los sotobosques tendrán que emigrar sin ninguna intervención.

#### **Adaptación – regeneración natural**

- Identificar genotipos resistentes a la sequía (Franum 1992).
- Asistir el efecto de migración de especies arbóreas comerciales de sus ubicaciones actuales a otras viables en el futuro por efecto del cambio, a través de la repoblación forestal (Parker et al. 2000). Los desplazamientos en altitud de algunas especies podrán no ser viables por no encontrar las condiciones adecuadas de suelo, tales como nutrientes, profundidad y micorrización.
- Plantar procedencias que crecen adecuadamente bajo un amplio rango de condiciones climáticas y/o plantar un amplio rango de procedencias (Ledig y Kitzmiller 1992, Allue 1995).
- Controlar con técnicas selvícolas la introducción de especies no deseadas, las cuales se convierten en más competitivas bajo los efectos del cambio climático (Parker et al. 2000).

#### **SELVICULTURA**

El cambio climático puede aumentar la productividad de los bosques atlánticos, al menos a corto-medio plazo (Cohen y Millar 2001). La disponibilidad de nutrientes y la adaptación a las nuevas condiciones son probablemente el límite para el aumento de crecimiento debido a las más elevadas concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico. En los sitios más cálidos se puede ver incrementada la respiración, compensando cualquier ganancia. En las zonas forestales más secas se puede esperar un aumento de las herbáceas (Hebda 1997). Consecuentemente, mantener los ecosistemas forestales requerirá de sistemas selviculturales para evitar el decaimiento y perturbación de las masas.

#### **Adaptación – gestión selvícola**

- Claras precomerciales o selección de brotes, eliminando pies comprimidos, dominados o de poca calidad para aumentar la entrada de luz, agua y disponibilidad de nutrientes (Smith et al. 1997, Papadopol 2000).
- Reducir la vulnerabilidad a perturbaciones futuras actuando sobre la densidad, composición específica, estructura de la masa (p.e. plantación bajo cubierta), y localización y tiempo de las actividades selvícolas (Dale et al. 2001).
- Repoblar bajo cubierta con otras especies o genotipos cuando el actual avance de la regeneración natural es insuficiente para el sostenibilidad futura de la masa.
- Disminuir los turnos y repoblar a continuación, para acelerar el establecimiento de tipos de masas forestales mejor adaptadas (Lindner et al. 2000, Parker et al. 2000).

#### **OPERACIONES FORESTALES**

Los cambios biológicos y climáticos tienen también implicaciones para la actividad forestal. El aumento de lluvias en invierno podría afectar a la gestión del agua de los bosques. Un aumento del riesgo del aporte de sedimentos a los cursos de agua podría degradar la calidad de las mismas, con consecuencias no solo para los sistemas dulce-acuícolas sino también para el suministro humano. Las restricciones en los aprovechamientos podrían imponerse debido al aumento del riesgo de deslizamientos del terreno provocados por un aumento en la intensidad de las lluvias. El decaimiento de la calidad de las masas y el aumento de las perturbaciones pueden afectar la calidad de la madera y su suministro no solo a escala local (Solomon et al. 1995, Pérez García et al. 2002).

**Adaptación – Operaciones forestales**

- Minimizar los impactos en las infraestructuras, ecosistemas fluviales y agua potable en la época de mayor esorrentía y caudal en los cursos de agua, debido al posible aumento de las precipitaciones de invierno o a deshielos tempranos.

- Incluir una planificación de adaptación en la certificación forestal como parte de la estrategia de gestión.

- Fomentar el uso energético de biomasa forestal.

- Desarrollar políticas que faciliten la gestión forestal adaptativa (Duinker 1990, Spittlehouse 1997, Parker et al. 2000, Burton et al. 2002).

**RECURSOS NO MADERABLES**

El cambio climático afectará a la calidad de los hábitats y disponibilidad para la fauna silvestre e influenciará en la sincronía presa/predador (Harding y McCullum 1997, Stenseth et al. 2002). Es esperable que el rango de vida de las especies suba en altitud y latitud en el Hemisferio Norte (Kirschbaum 2000). Modificaciones en la disponibilidad del recurso tendrán un gran impacto en la fauna silvestre al afectar directamente a su alimento y refugio. Para la mayoría de los recursos no maderables, la gestión deberá estar encaminada a minimizar las dificultades para una adaptación autónoma.

**Adaptación – Recursos no maderables**

- Minimizar la fragmentación de los hábitats y mantener la conectividad (Peters 1990, Noss 2001).

- Mantener tipos de bosques representativos de los distintos gradientes ambientales y proteger los bosques primarios (Holling 2001,

Noss 2001, Carey 2003). Las actuales masas forestales son, en su mayoría, capaces de sobrevivir durante extensos periodos de condiciones climáticas desfavorables y esta inercia podría extenderse durante un periodo de tiempo en el cual la adaptación tuviera lugar.

- Mantener la diversidad de los grupos funcionales así como de las especies dentro de los grupos (Holling 2001, Noss 2001).

**PARQUES Y ÁREAS PROTEGIDAS**

Tradicionalmente, la gestión de estas áreas tiende a tener una escasa intervención de la técnica forestal (p.e. “dejar que la naturaleza siga su curso”). Esto puede que no sea ya viable bajo un cambio climático puesto que los valores y atributos que motivaron la protección de estas zonas pueden a medio plazo no existir (Halpin 1997, Suffling y Scout 2002). El riesgo de pérdida de tipos de ecosistemas específicos es posible.

**Adaptación – Parques y áreas protegidas**

- Gestionar para retrasar, mejorar y dirigir el cambio. Es necesario revisar y modificar los actuales enfoques de conservación (Lopoukhine 1990, Henderson et al. 2002, Suffling y Scout 2002).

- Identificar y plantar especies arbóreas alternativas (Suffling y Scout 2002, Henderson et al. 2002).

- Conservar la biodiversidad y mantener la conectividad en un paisaje variado y dinámico para ayudar a la vegetación y a la fauna silvestre en su migración (Noss 2001, Carey 2003).

### 3.4 CAMBIOS RECIENTEMENTE CONSTATADOS EN EL COMPORTAMIENTO DE ECOSISTEMAS FORESTALES ANTE FACTORES DE RIESGO BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

#### INTRODUCCIÓN

No hay apenas trabajos específicos publicados sobre los efectos del cambio climático en los sistemas forestales cantábricos, y es que también es probable que estos efectos aún no sean visibles por las condiciones climáticas privilegiadas de la región.

Algunos procesos evaluados y tipificados como anómalos son difícilmente achacables a efectos de cambio climático, debido a las cortas series temporales disponibles. De entre estos cambios cabe reseñar la tremenda oscilación en inducción de procesos de brotación, tanto en coníferas como en frondosas. El adelanto del inicio del período vegetativo, puede afectar negativamente la biología reproductiva de las especies. Por ejemplo, en 2008 se ha detectado este problema en *Prunus avium*, con una fuerte floración que no cuajó, (con la consiguiente pérdida de la mayoría de los frutos), por recrudescimiento de las temperaturas tras un adelanto de la brotación en 30 días sobre las fechas previstas. Este fenómeno se ha repetido de forma intermitente en los últimos años y se ha constatado su efecto negativo sobre cerezo, castaño y pino pinaster.

Puesto que el tiempo reproduce al espacio, es posible pronosticar algunos de los cambios que la modificación del clima puede provocar, en un corto periodo de tiempo, en los sistemas forestales de nuestra región (Gracia et al. 2005):

- El efecto de la subida progresiva y continuada de las temperaturas está relacionado directamente con la edad del árbol. Así, los

árboles adultos son capaces de soportar niveles de estrés ambiental importante, si bien su sensibilidad es mayor cuando la masa forestal se encuentra en fase de regeneración, pues requiere el éxito continuado en varios procesos ecológicos sucesivos, desde la polinización hasta el establecimiento de las plántulas.

- Dificultad en la recolonización de hábitats pasados. Muchos bosques no podrán ocupar terrenos que ocuparon con anterioridad debido a la degradación sufrida, más intensa en territorios de topografía abrupta (suelos rejuvenecidos), y problemas de erosión por falta de cubierta vegetal.

- Mayor capacidad de adaptación a los cambios ambientales de especies muy longevas y con áreas de distribución extensas (variabilidad intrapoblacional elevada y mucho mayor que entre poblaciones).

- Las especies más frugales, como los pinos, tienen una variabilidad más reducida pues colonizan espacios vacíos y sólo adquieren la condición de permanentes en terrenos rústicos.

- A medio plazo, la sensibilidad de las especies forestales dependerá de su capacidad de dispersión y de la existencia de variabilidad genética en el seno de sus poblaciones. Especies con dispersión anemócora de las semillas, con fructificaciones frecuentes que faciliten su coincidencia con años meteorológicamente benignos y mayor longevidad que permita la aparición de eventos favorables en especies veceras, tendrán mejores garantías de adaptación.

#### PLAGAS Y ENFERMEDADES

El incremento de las enfermedades y plagas principalmente en las especies cultivadas, hecho objetivo en la última década, también

es difícilmente achacable únicamente a efectos del cambio climático. De cualquier forma es un hecho objetivo que el efecto de muchas de estas enfermedades y/o plagas se muestra mucho más virulento cuando las masas se encuentran sometidas a fenómenos episódicos de estrés biótico o abiótico.

El efecto del cambio climático, incrementando temperaturas y disminuyendo la disponibilidad hídrica provocará debilitamiento en las masas forestales, hecho que se ha constatado en el sur de España como factores desencadenantes en el incremento de la población de perforadores de coníferas

Los insectos perforadores causantes de daños en las masas de coníferas del Principado, son mayoritariamente coleópteros del grupo de los escolítidos. Los escolítidos se alimentan del floema, atacan primero a los pies más debilitados salvo que las poblaciones sean muy abundantes. En los últimos años se ha observado un incremento de este tipo de insectos, aunque probablemente relacionado con un abandono de restos en el monte tras el aprovechamiento de masas forestales. Entre los escolítidos más relevantes *Tomicus pini-perda*, *Orthotomicus erosus*, *Tomicus minor* e *Ips sexdentatus*.

Además cabe citar que la propagación y dispersión de algunas especies de insectos pueden convertirse en agentes vectores de plagas letales para nuestros sistemas forestales. Este sería el caso de *Bursaphelenchus xylophilus* (Steiner et Buhner), nemátodo organismo de cuarentena que utiliza el ceram-bícido *Monoctonus alternatus* Hope, como vector. Este nemátodo que en Europa se detectó originariamente en Setubal (Portugal) ha progresado por todo el país, habiéndose detec-

tado recientemente un desplazamiento de los agentes vectores hacia el norte (Galicia).

Otro problema importante para algunas especies forestales es la presencia de enfermedades. Aunque en muchos casos no comprometen la supervivencia de las masas, el incremento de temperatura o el estrés provocado por déficit hídrico puede conllevar un decaimiento general y baja calidad sanitaria de las masas afectadas. En esta situación estarían las enfermedades provocadas por *Phytophthora* sp. (enfermedad de la tinta), *Cryphonectria parasitica* (chancro del castaño), *Sphaeropsis sapinea*, *Mycosphaerella* sp. En muchos de estos casos el decaimiento de las masas es un factor inductor de la aparición de plagas generadas por distintas especies.

### CLASES DE EDAD

Para sistematizar la terminología de los diferentes aspectos, tamaño y función que presenta un individuo o masa arbórea (si sus individuos son de edades similares) en sus etapas de desarrollo, la selvicultura emplea el concepto de generación, ligado a una determinada función y forma, estableciendo una clasificación basada en la definición de unas clases naturales de edad (Figura 1). La denominación y límites de estas clases según González Vázquez (1948), son las siguientes:

Diseminado: Fase que va desde la germinación a plantas ya lignificadas hasta una altura del orden de 25 cm. Es la fase de instalación de la nueva masa, donde el principal esfuerzo se invierte en el desarrollo del sistema radical y a superar la competencia de herbáceas y matorrales de pequeña talla.

- Repoblado: Desde que los pies superan la edad de diseminado hasta que se inicia la tangencia de copas entre ellos, es decir, la com-



potencia dentro del estrato arbóreo. También se fija el límite superior de esta clase cuando se alcanza la altura normal (1,30 m).

- Monte bravo: Comprende desde la tangencia de copas hasta que se inicia el fenómeno de la poda natural, o muerte espontánea de las ramas de la parte inferior del fuste a causa de la reducción de iluminación. En esta fase la competencia entre pies arbóreos coetáneos se intensifica.

- Latizal: Se inicia con la poda natural y termina cuando el diámetro alcanza 20 cm. En esta edad la competición entre los pies arbóreos se acentúa.

- Fustal: Última clase natural de edad que se aplica cuando el diámetro normal medio supera los 20 cm.

La distribución de clases de edad es una manera habitual de describir el paisaje forestal, incluso a escala regional (Böttcher 2007), pues muestra el área cubierta por “grupos” de masas forestales que tienen la misma edad o se mueven en el mismo rango de edades, y hace referencia a rodales con suficiente entidad superficial donde los individuos que lo componen son de la misma edad, y por lo tanto regulares, o rodales con individuos de edades diferentes pero que con el paso del tiempo se han regularizado alcanzando un aspecto similar a un fustal regular. Esta caracteriza-

ción puede ser además un espejo del pasado (gestión y uso del territorio) pues da una idea de la superficie regenerada (o repoblada) en un periodo de años que puede estar directamente vinculado a la longevidad de la especie, es el caso de la mayor parte de las frondosas autóctonas sometidas a usos tradicionales, o al turno en el caso de las especies forestales con aprovechamiento comercial, en su mayoría coníferas a excepción del eucalipto.

Se ha realizado para este trabajo un somero análisis de los datos sobre clases naturales de edad de las especies de mayor aprovechamiento comercial en Asturias (*Pinus radiata*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris*, y *Eucalyptus globulus*) (tabla III). Aparecen reflejados para Asturias en el II Mapa Forestal de España (DGCONA 2003), realizado a escala 1:50000. La clase natural *diseminado* no se recoge en la cartografía mencionada.

Las cuatro especies analizadas suelen estar sometidas a una gestión de masa regular, con objetivo principal de producción de madera y su distribución de edades a escala regional respecto a lo que se considera en silvicultura *Monte Normal* aparece reflejada en la Figura 2. Este es un criterio productivo que se identifica con el máximo de eficacia del conjunto de la masa forestal y que de forma teórica se corresponde con una distribución superficial equipro-

Tabla III. Porcentaje superficial por clase natural de edad y especie para Asturias.

Superficie (%) por clases naturales de edad respecto al total de la especie					
Especie	Repoblado	Monte bravo	Latizal	Fustal	Total (%)
<i>Eucalyptus globulus</i>	1,06	4,61	77,46	16,86	100
<i>Pinus pinaster</i>	1,57	17,27	23,80	57,35	100
<i>Pinus radiata</i>	10,53	16,02	34,52	38,93	100
<i>Pinus sylvestris</i>	25,46	9,03	18,24	47,27	100
TOTAL	1,79	3,78	27,70	66,72	100

Fuente: Mapa Forestal de España (DGCONA, 2003).

ductiva en las distintas clases de edad, que se asocia a representación superficial igual para cada clase de edad si habláramos de idénticas calidades de estación. Teniendo esto en cuenta, la interpretación de los resultados respecto a su comparación con el *monte normal* no puede ser muy restrictiva, pero en cualquier

caso se observa que la superficie que ocupa cada clase de edad está más o menos bien representada, y por lo tanto hay garantías de producción a lo largo de todo el ciclo (turno), lo que supone la absorción de CO<sub>2</sub> durante su ciclo de vida y secuestro del mismo durante el periodo de vida útil de los productos derivados

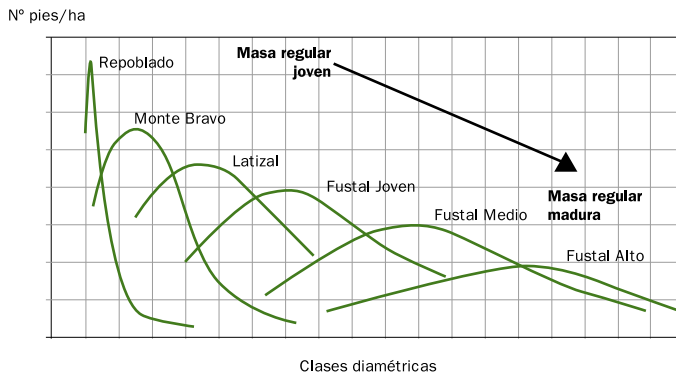


Figura 1. Evolución de la distribución diamétrica en una masa regular (Lanier 1986, Jonson et al. 2002, Husch et al. 2003).

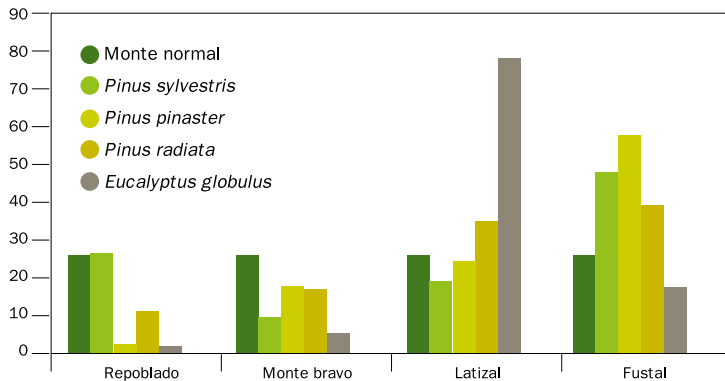


Figura 2. Distribución (%) de clases de edad para especies comerciales y relación respecto al Monte Normal.

en 1ª y 2ª transformación de la madera obtenida., con lo que la producción y utilización de madera supone una contribución importante a la mitigación del cambio climático.

Desde el punto de vista del mantenimiento y renovación de estas plantaciones frente al cambio climático, y teniendo en cuenta que la introducción de las mismas se realiza normalmente por repoblación artificial, la adaptación al cambio pasa por seleccionar planta mejorada genéticamente, más plástica desde el punto de vista climático. Ante los pronósticos climáticos a corto y medio plazo, es esperable un aumento de la producción en estas especies, lo que podría justificar una reducción de los turnos de corta si la demanda tecnológica sigue siendo la misma.

No se ha abordado en este trabajo el análisis de las masas de frondosas autóctonas por ser mucho más complejo y laborioso. No es posible generalizar el uso, aprovechamiento y gestión forestal que estos montes han teni-

do (o no) a lo largo de su historia y, por tanto, cuál es la situación real con la que una amplia superficie forestal de nuestra región afronta el cambio climático y dónde se hace imprescindible la puesta en marcha de una gestión selvícola adaptativa.

Lo cierto es que la adaptación al cambio climático puede convertirse en un proceso realmente complejo para bosques envejecidos, con escasa capacidad de producir semilla (cantidad y calidad) y especialmente cuando su origen es asexual (brotes de cepa y de raíz). Es imprescindible detectar, mediante la realización de inventarios adecuados a escala regional, los bosques con dificultades de regeneración y desarrollar una gestión selvícola cuyo objetivo principal sea el fomento de la regeneración natural y la tendencia a convertir estas masas en irregulares dotándolas de una mayor capacidad de resistencia y resiliencia al futuro climático.

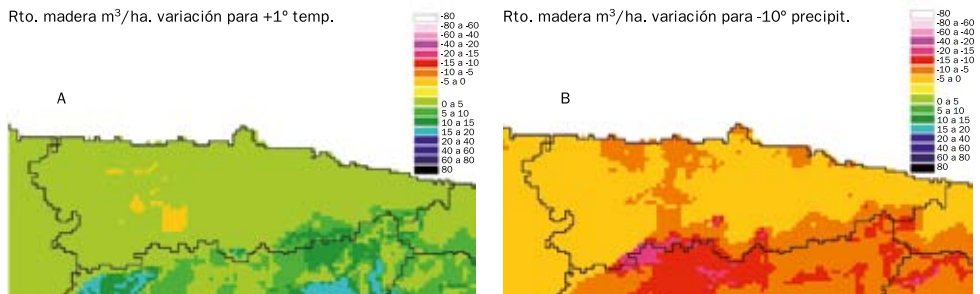


Figura 3. A. Variación (expresada en %) esperable en los valores de la productividad potencial forestal actual, con un incremento anual en 1°C de la temperatura media; B. Variación (expresada en %) esperable en los valores de la productividad potencial forestal actual, con una disminución en un 10% de la pluviometría media anual (Burgaz, 2008).

### 3.5 PROYECCIONES SOBRE IMPACTOS POSIBLES A LA VISTA DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

#### PRODUCTIVIDAD FORESTAL

Si el aumento de las temperaturas va asociado a una disminución de la precipitación es muy probable que se produzca una disminución del potencial productivo del suelo forestal de entre un 0 y 5% en casi todo el territorio asturiano a excepción de las zonas de alta montaña (Picos de Europa) donde el efecto de la elevación de la temperatura puede verse compensado por el factor altitud, produciéndose el efecto contrario y pudiéndose alcanzar aumento de la productividad de hasta un 10% (Figura 3).

El aumento de temperatura sin modificaciones importantes en la precipitación provocaría casi de manera general un aumento leve (0 y 5%) de la productividad potencial de los suelos forestales asturianos, que aún podrían satisfacer la mayor demanda hídrica de la vegetación como consecuencia de una aceleración de su actividad fisiológica.

#### PLAGAS Y ENFERMEDADES

El estudio de los hábitos de diferentes insectos que atacan a nuestros ecosistemas forestales es uno de los principales indicadores que demuestran el efecto del cambio. Uno de los efectos del cambio es “el movimiento de especies” a latitudes diferentes, lo que puede llevar “a la alteración de los sistemas biológicos”. En este sentido, uno de los principales indicadores, válido para zonas frías del sur de España y para zonas de ámbito atlántico, es la oruga procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*, Lepidoptera, Thaumetopoeidae), insecto de origen y distribución claramente mediterrá-

neo. En nuestra región se ha incrementado la presencia de esta plaga, de la misma forma que ha aumentado la altitud de distribución, alcanzando cotas de 2000 metros en Sierra Nevada y se ha desplazado recientemente hacia latitudes del norte de Francia.

#### FENOLOGÍA FOLIAR

- Disminución de la vida media de las hojas en las especies arbóreas de hoja perenne (si aumenta la temperatura se acelera su dinámica foliar). Esta observación es extensible a las raíces finas:

> Mayores requerimientos de carbono móvil de reserva para hacer frente a su renovación

> Aumento de la producción de hojarasca, lo que supondría hasta un 80% de aumento de la materia orgánica que llega al suelo

> Aumento de las tasas de respiración que aumenta la cantidad de CO<sub>2</sub> devuelto a la atmósfera.

- Aumento de la duración de las hojas en las especies arbóreas de hoja caduca, como consecuencia de la ampliación de la duración del periodo vegetativo (aumento de las temperaturas, con previsión de que lo hagan más rápido las mínimas que las máximas (IPCC 2007)) → mayor producción (siempre y cuando no se den periodos de sequía estival más acentuados).

- Precocidad en la inducción de brotes vegetativos y florales en primavera con incremento de posibles daños por heladas.

#### MONTES BAJOS

Las masas resalveadas presentan una preponderancia de la biomasa subterránea (más del 50% de biomasa total) frente a la arbórea.

Actualmente, la mayor parte de estos montes se encuentran en progresivo estado de abandono, por lo que no están ya sometidos a la gestión silvícola que los generó y los mantuvo a lo largo de los tiempos. Es el caso de los castañares, donde además el estancamiento se une a los graves problemas fitosanitarios que presenta la especie.

En estas condiciones se produce una disminución gradual del crecimiento hasta estancarse. El exceso de espesura provoca un consumo de carbohidratos en el proceso de respiración mayor a su producción, por lo que encontramos una producción neta negativa. Necesitan estos sistemas utilizar una fracción del carbono móvil de reserva para superar esta situación de decaimiento.

RÉGIMEN HÍDRICO DEL SUELO

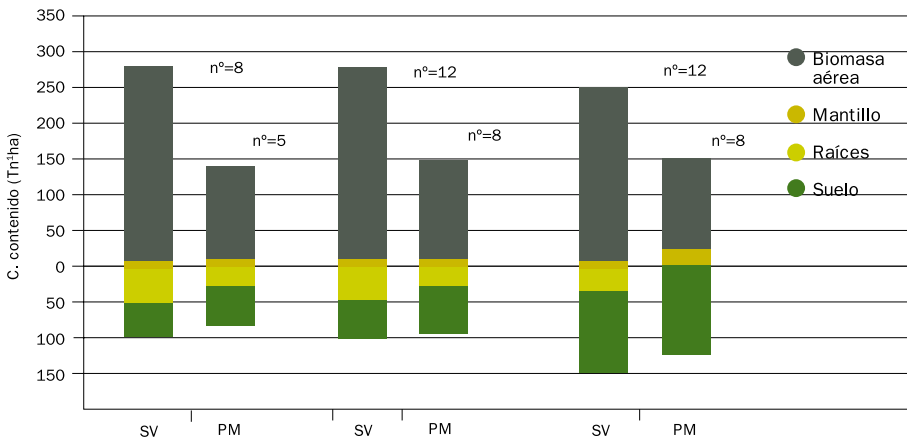
El aumento de temperatura provocará una mayor demanda evaporativa lo que se traduci-

rá en una reducción del valor promedio anual de reserva de agua en el suelo, estimándose una disminución del 25% del contenido actual de agua para 2040.

Como ya se ha citado, en zonas sin déficit hídrico podría preverse un aumento de la producción forestal. En caso contrario, el déficit hídrico revertirá negativamente en la calidad de estación, se producirá una reducción en la densidad de las masas forestales (mediterraneización) y modificación en la distribución de especies (reptado altitudinal, matorralización, degradación)

CICLO DE CARBONO

Los bosques pueden aumentar transitoriamente su efecto sumidero durante unas décadas, pero hacia la segunda mitad del presente siglo invertirán su papel de sumideros para transformarse en emisores netos de carbono a la atmósfera.



SV: Bosques seminaturales, no manejados (con árboles de más de 60 cm. de D.A.H.); PM: Bosques parcialmente manejados. Fuente: Merino et al., 2006.

Figura 4. Contenidos medios de carbono (Mg C ha⁻¹) en biomasa y suelos de bosques de *Fagus sylvatica* en Galicia.

La máxima capacidad de almacenamiento de carbono a escala de paisaje (saturación) se produce cuando todas las masas han alcanzado su estado de senectud. Normalmente los fenómenos naturales o la intervención humana mantienen masas de varias edades. Así, por ejemplo, si se parara de cortar en toda la superficie forestal aumentarían los stocks de carbono, pero disminuiría el volumen de productos maderables y fibra necesarios para cubrir la demanda social. Otros materiales de orígenes no renovables y cuya manufactura requiere mayores demandas energéticas que la madera tendrían que sustituirla (IPCC 2007).

Los bosques donde la tasa de aprovechamiento es similar a la de su crecimiento constituyen una fuente sostenible de provisión de productos madereros duraderos, al mismo tiempo que conservan el carbono capturado. En algunos casos, la difícil accesibilidad y la baja rentabilidad de la madera actualmente ha permitido, junto con la despoblación de zonas de montaña, que muchos de los bosques montanos españoles almacenen cantidades muy importantes de carbono en árboles de gran diámetro. Un ejemplo lo constituye la importante acumulación de carbono en biomasa y suelos de hayedos naturales y seminaturales del Norte peninsular (Figura 4). Conviene recordar que muchos bosques son marginales, es decir, acumulan carbono hasta ahora sólo por el hecho de que ya no son rentables sus antiguas explotaciones, no por alguna intencionalidad de manejo (Bravo et al. 2007).

Muchos bosques han sido aprovechados desde antaño como complemento ganadero y uso de leñas, presentando en su mayoría estructuras de monte bajo. No ha existido en la historia forestal más reciente gestión alguna de los mismos, con total ausencia de planifi-

cación (ordenación del monte). Así es posible que bajo la influencia de un incierto futuro climático pueda llegarse a una situación crítica y de escasa capacidad adaptativa en zonas de elevado valor paisajístico y ecológico.

Los climas templados, con menos condicionantes estacionales que los mediterráneos o boreales, incluso bajo distintos escenarios de cambio climático, son más sensibles a la modificación de los sistemas de gestión, por lo que hay más posibilidades de aplicar una gestión adaptativa con éxito (Kellomäki y Leinonen (eds.) 2005).

#### OPCIONES ADAPTATIVAS

Si el periodo desfavorable es largo la reserva puede agotarse con la degradación del sistema forestal (destrucción de raíces finas, defoliación y muerte), siendo necesaria la aplicación de resalveos que reducen la superficie foliar, mejorando el estado hídrico de los pies remanentes, aumenta la tasa de transpiración de los árboles (por unidad de área foliar) reduciendo la tasa de mortalidad.

Por otro lado, frente al resalveo se genera un consumo extraordinario del carbono de reserva para poder producir la nueva brotación y el crecimiento de los vástagos que deja a la planta en condiciones precarias, al impedirle hacer frente a las perturbaciones que se presenten con una recurrencia demasiado elevada. El tiempo de rotación (periodo que transcurre entre dos resalveos) debe ser el suficiente para dejar que la planta se recupere y, previsiblemente, se deberá incrementar su duración frente a los periodos "habituales" al producirse un mayor consumo de carbohidratos con el aumento de la temperatura y disminución del régimen hídrico. Otra opción puede ser modificar la intensidad de las intervenciones y se-

guir manteniendo las rotaciones clásicas. Las experiencias piloto puestas en marcha en el Proyecto Silivstrat (Kellomäki y Leinonen (eds.) 2005) ponen de manifiesto que esta última alternativa suele ser más efectiva en bosques templados y boreales (respuesta positiva (ETP < P)), aumentando el carbono acumulado en el suelo y la producción anual, por tanto, el carbono acumulado en la biomasa.

El aumento de la capacidad de secuestro de carbono de los bosques puede conseguirse: mejorando su calidad de estación, controlando la capa freática, recuperando la cubierta arbórea cuando haya disminuido por un uso agronómico → Repoblación forestal

Ampliación de turnos, en especial para especies de crecimiento rápido y objetivo principal la producción de madera → Supondrían aumentos importantes del carbono acumulado aunque puede presentar inconvenientes cuando se marquen turnos tecnológicos.

Recuperación de terrenos degradados y desarbolados mediante la repoblación forestal. En estas condiciones sistemas frugales y heliófilos permiten una mayor estratificación horizontal que alcanza mayores acumulaciones de biomasa. Es imprescindible la aplicación posterior de técnicas selvícolas que controlen la densidad del rodal y prevengan situaciones catastróficas (incendios, plagas y enfermedades). Estas actuaciones son extensibles a las masas ya creadas. Es fundamental mantener y aumentar los niveles de C acumulado por hectárea, a través de la mejora de bosques degradados, mediante repoblación forestal, creación de masas irregulares, etc.

Desde un enfoque económico, las alternativas de gestión adaptativa son más rentables desde el punto de vista de producción de madera que por su efecto como sumideros de

carbono. La Figura 1 mostraba el actual equilibrio de clases de edad que existe a escala de paisaje para las especies de crecimiento rápido, lo cual asegura cubrir una parte de la demanda de productos maderables. A corto y medio plazo puede verse incrementada la eficiencia productiva de estas plantaciones, aumentando su rentabilidad y complementando en mayor medida la demanda, aunque esto solo puede ser un espejismo de continuar la tendencia del cambio.

Uso de la madera como material de base de productos manufacturados o para su empleo estructural en construcción civil. Maderas con duramen o enteadas (pinos) tienen ciclos de vida más largos, por su gran durabilidad y calidad estética elevada. Además, la madera en su proceso de transformación, consume menos energía que otros materiales como ladrillos, cristal, acero, aluminio o plástico.

Sea cual sea el sistema de adaptación elegido, el objetivo último de la gestión de estos sistemas debe ser la consecución de montes altos mediante los adecuados tratamientos de conversión, haciendo estas masas más viables y con mayor capacidad de adaptación al cambio climático.

### **3.6 CUESTIONES QUE DEBERÍAN TENERSE EN CUENTA PARA INVESTIGACIONES FUTURAS**

#### **DEFINICIÓN DEL ESTADO DE LA CUESTIÓN**

Es imprescindible la realización de un inventario forestal regional con actualizaciones periódicas, en el que además de variables dasométricas y dendrométricas se cuantifique la producción de biomasa aérea (en las distintas fracciones del árbol) y edáfica, así como parámetros ecológicos que permitan desde

cálculos sencillos como los factores de expansión de biomasa (BEF), hasta la elaboración de modelos de procesos. En bosques naturales además es necesario la caracterización de la regeneración natural.

Inclusión de nuevos puntos de inventario en la Red Europea de Daños en los bosques (Nivel I y Nivel II), incrementando las zonas representadas por frondosas e incluyendo las zonas de cultivos forestales (prácticamente inexistentes).

Establecimiento de Sitios de Estudio Intensivo (*Intensive Study Site, ISS*), que reflejen los ecosistemas forestales más característicos de nuestra comunidad autónoma, y, asociadas a éstos, Parcelas de Estudio Intensivo (*Intensive Study Plot, ISP*).

#### DESARROLLO DE MODELOS DE GESTIÓN

Elaborados a partir de modelos de procesos que incluyan la eficiencia de fijación de carbono en función de los recursos consumidos y condiciones climáticas observadas o previstas. Incluir en la red de ensayos existente las masas de frondosas mixtas, de castaño, haya y roble.

Especial atención requiere el castaño por encontrarse la mayor parte de su superficie con severos problemas fitosanitarios, a lo que se une el origen (monte bajo) y abandono de estos montes. El esfuerzo presupuestario actual en la localización de cepas hipovirulentas debe ser aumentado y además combinado con la puesta en marcha de tratamientos selvícolas experimentales enfocados a la conversión del monte bajo en monte alto.

Completar el catálogo de materiales de base de las especies forestales utilizadas en el Principado y caracterización de su calidad y grado de adaptabilidad (en el caso de ser foráneas).

#### BASES DE DATOS EXISTENTES

Balance de carbono para la Cordillera Cantábrica (Figura 5) (Bravo F. (coord.), 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio Climático. Fundación Gas Natural, 315 pp).

Inventario forestal permanente de *Pinus radiata* y *Pinus pinaster* en Asturias. En la actualidad se está terminando la segunda medición del inventario de pino radiata y se prevé la segunda de pinaster para 2010. En ambos inventarios se ha incluido el muestreo de biomasa arbórea (por fracciones), así como el análisis edáfico y nutricional. La comparación de inventarios permite la elaboración de modelos dinámicos y/o modelos de procesos si se tienen en consideración variables ecológicas.

Se dispone también de ecuaciones de biomasa (t/ha) por fracciones para *Eucalyptus globulus* y *Castanea sativa* en monte bajo. Estos muestreos no tienen un inventario permanente asociado, como en el caso anterior, aunque en los puntos de muestreo se han realizado parcelas en las que se han medido variables de masa.

Material Forestal de Reproducción: el Principado de Asturias está trasponiendo la Norma Nacional, por lo que aún no disponemos en el Catálogo Nacional de especies reguladas. Por otra parte, la obtención de materiales Cualificados y Controlados precisa de un período de tiempo variable para la selección, obtención y en algunos casos validación de la calidad genética de los materiales que se deseen incorporar al Catálogo Nacional. En Asturias, la generación de materiales de calidad genética superior está ligada al inicio del Programa de Investigación Forestal de la Consejería de Medio Rural-SERIDA, el cual funciona operativamente desde 2003.



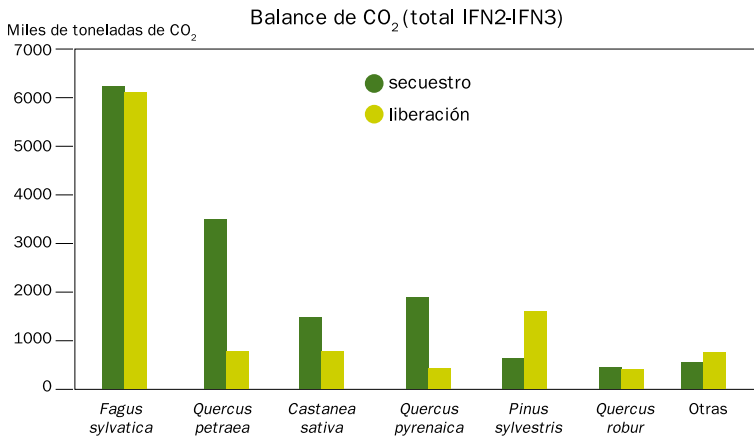
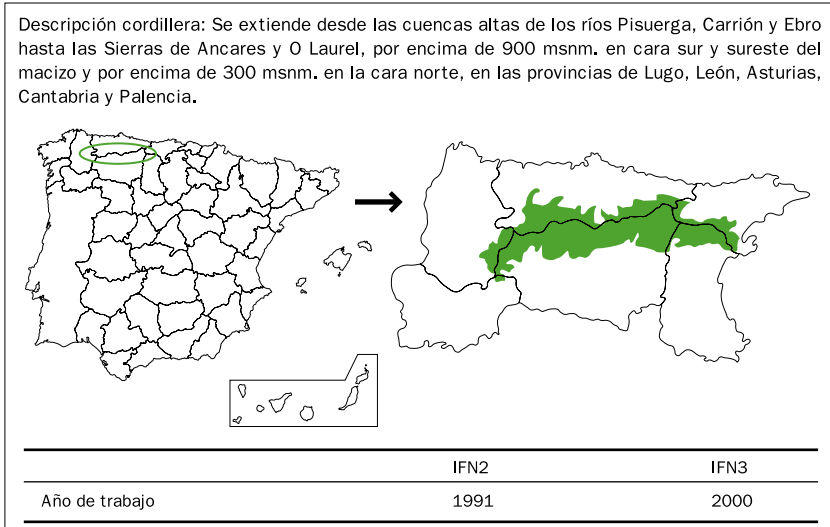


Figura 5. Balance de Co2 entre el segundo y tercer inventario Forestal Nacional para la Cordillera Cantábrica (Bravo (coord.), 2007).

A través de la ejecución de programas de conservación y mejora en el Principado de Asturias, de ámbito regional o nacional, se han instalado redes de parcelas de materiales genéticos de distintas procedencias geográficas, poblaciones, familias, etc.; que tras mediciones repetidas van a generar información acerca del efecto ambiental sobre la fenología de brotación, floración, duración del crecimiento vegetativo, intensidad del crecimiento, etc. Programas en marcha para *Castanea* sp., *Juglans* sp., *Prunus avium* y *Pinus pinaster*.

### 3.7 IMPLICACIONES PARA LAS POLÍTICAS

#### PARA LA ADAPTACIÓN

Concienciar a los gestores y usuarios privados de la importancia de la fuente de materiales forestales, garantizando con formación y manuales de recomendación en uso de materiales catalogados para evitar la importación de materiales con baja capacidad de adaptación.

Revisar los criterios de “conservación” bajo los efectos del cambio climático. Según cita literalmente Gracia et al. (2005) *“...incentivar la sostenibilidad a través de la gestión. No se puede postular el abandono, la no intervención o el no uso. Si por un lado es necesario anteponer los intereses a largo plazo a los más inmediatos y comerciales, también es verdad que la persistente y preconcebida hostilidad hacia la aplicación de la silvicultura como principal actividad de gestión del bosque, preconizando el no uso como forma más eficaz de conservación, no tiene razón de ser, porque además de no sustentarse en argumentos científicamente coherentes y conformes a la realidad de los hechos, puede no ser legítima y comprensible en el plano técnico”*.

Optimizar el punto de encuentro entre técnicas adaptativas y acciones o técnicas de mitigación. Es especialmente importante el aprovechamiento parcial como recurso energético de los restos de corta de las operaciones forestales en plantaciones productivas, tal y como se mencionó anteriormente, previendo la incorporación al suelo de una parte del residuo para evitar la degradación del mismo.

Repoblación forestal (adaptada al cambio) de tierras agrarias abandonadas (MFR, diversidad intra- e interespecífica, homologación climática, etc.). La administración forestal deberá elaborar un catálogo de materiales de base, garantizando la trazabilidad y la adaptabilidad de las nuevas repoblaciones que serán las masas forestales de las próximas décadas.

Definir áreas críticas con posibles dificultades de perpetuación. A efectos de la vegetación se produce un cambio climático significativo cuando las condiciones del clima cambian en cuantía tal que sus efectos producen estrategias de vida de las especies forestales, pudiendo llegar a modificarse la composición, estructura y dinámica del bosque. Es necesario la preservación de especies de especial interés ayudándolas durante un periodo transitorio a acelerar su adaptación (p.e., monte bajo a monte alto; modificando densidad, etc.)

#### PARA LA MITIGACIÓN.

Las alternativas de mitigación del cambio son: reducción de las emisiones procedentes de la deforestación y degradación de terrenos forestales, aumento de la retención de C en los productos maderables, sustitución de productos no renovables por madera y producción de bioenergía como sustituto de fuel fósil. A largo plazo, la GFS (Gestión Forestal Sostenible) apunta a mantener o incrementar los stocks

de carbono es bosques, mientras tienen una producción anual de madera, fibra o energía, lo cual generará el mayor beneficio sostenible (IPCC, 2007).

Existe la tendencia a concentrar las masas productoras en áreas pequeñas. Las demandas sociales de productos maderables a través de una gestión intensiva en pequeñas áreas, ofrece la oportunidad de concentrar esfuerzos en protección y conservación en otras áreas, contribuyendo así a la mitigación del cambio.

Si la velocidad del cambio no permite la readaptación de la vegetación, la selvicultura por sí sola no podrá amortiguar el proceso, si no es con la incorporación de grandes aportes de energía, como riegos, fertilizaciones y otras protecciones (igual que la agricultura). Las técnicas de amortiguación deben tener un horizonte limitado al periodo de tiempo que duren esos efectos, cuyas causas habrá que combatir las con otros procedimientos.

Si el fenómeno del cambio climático persiste (cambio tendente), las técnicas selvícolas deberían ser más complejas incluyendo planificación espacio-temporal adaptándolas a determinadas fases críticas del ciclo vital de las especies que se desea mantener. Y si éste se convierte en trascendente, será necesario definir una nueva selvicultura adaptada a las nuevas condiciones climáticas y a la nueva dinámica evolutiva de las comunidades vegetales instaladas como consecuencia del cambio (Allué, 1995).

### 3.8 REFERENCIAS

Allue, J.L. 1995. El cambio climático y los montes españoles. Cuadernos de la Soc. Esp. Cie. For., 2:25-64.

Böttcher, H. 2007. Forest Management for Climate Change Mitigation. Modeling forestry options, their impact on the regional carbon balance and implications for a future climate protocol. PhD. University of Freiburg. Germany. 161 pp.

Bravo, F. (coord.), 2007. El papel de los bosques españoles en la mitigación del cambio Climático. Fundación Gas Natural, 315 pp.

Burton, I., Huq, S., Lim, B., Pilifosova, O., Schipper, E.L. 2002. From impacts assessment to adaptation priorities: the shaping of adaptation policy. *Climate Policy*, 2:145-159.

Burgaz, F.J. 2008. Producción potencial del sector agrícola y forestal en Asturias. ENESA.

Carey, A.B. 2003. Restoration of landscape function: reserves or active management? *Forestry*, 76:221-230.

Climate Change Impacts and Adaptation Directorate 2002. Climate change impacts and adaptation: a Canadian perspective-Forestry. Climate Change Impacts and Adaptation Directorate, Natural Resources Canada, Ottawa, Ont.

Cohen, S., Millar, K. 2001. North America. En: *Climate change 2001: impacts, adaptation, and vulnerability*. J.J. McCarthy, O.E. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken, and K.S. White (ed.). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, pp. 735-800.

Chapin, F.S. 1991. Integrated responses of plants to stress. *Bioscience*, 41:29-36.

Dale, V.H., Joyce, L.A., McNulty, S., Neilson, R.P., Ayres, M.P., Flannigan, M.D., Hanson, P.J., Irland, L.E., Lugo, A.E., Peterson, E.J., Simberloff, D., Swanson, E.J., Stocks, B.J., Wotton, B.M. 2001. Climate change and forest disturbances. *BioScience*, 51:723-734.

DGCONA 2003. Mapa Forestal de España. MFE50. 1:50.000 Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.

Duinker, P.N. 1990. Climate change and forest management, policy and land use. *Land Use Policy*, 7:124-137.

Fleming, R.A., Candau, J.N., McAlpine, R.S. 2002. Landscape-scale analysis of interactions between insect defoliation and forest fire in central Canada. *Climatic Change*, 55:251-272.

Futuyama, D.J., Moreno, G. 1988. The evolution of ecological specialization. *Annual Review of Ecology & Systematics*, 19: 207-233.

Givinsh, T.J. 1986. On the economy of plant form and function. Cambridge University Press, New York.

González, E. 1948. *Selvicultura*. Libro primero. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias de Valencia. 260 pp.

Gottschalk, K.W. 1995. Using silviculture to improve health in northeastern conifer and eastern hardwood forests. En: *Forest health through silviculture*. L.G. Eskew (compiler). U.S. Department of Agriculture Forest Service, Fort Collins, Colo. General Technical Report RM-267, pp. 219-226.

Gracia, C., Gil, L., Montero, G. 2005. Impactos sobre el sector forestal. En: Moreno J.M. (Ed.). *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. Ministerio de Medio Ambiente, pp: 399-435.

Gratani, L., Meneghini, M., Pesoli, P., Crescente, M.F. 2003. Structural and functional plasticity of *Quercus ilex* seedlings of different provenances in Italy. *Oecologia*, 17: 515-521.

Halpin, P.N. 1997. Global climate change and natural-area protection: management responses and research directions. *Ecological Applications*, 7: 828-843.

Halpin, P.N. 1997. Global climate change and naturalarea protection: management responses and research directions. *Ecological Applications*, 7: 828-843.

Harding, L.E., McCullum, E. 1997. Ecosystem response to climate change in British Columbia and Yukon: threats and opportunities for biodiversity. En: *Responding to global climate change in British Columbia and Yukon*. E. Taylor and B. Taylor (ed.). Environment Canada, Vancouver, B.e. pp. 9-1-9-22.

Hebda, R.J. 1997. Impact of climate change on biogeoclimatic zones of British Columbia and Yukon. En: *Responding to global climate change in British Columbia and Yukon*. E. Taylor and B. Taylor (ed.). Environment Canada, Vancouver, B.e. pp. 13-1-13-15

Henderson, N., Hogg, E., Barrow, E., Dolter, B. 2002. Climate change impacts on the island forests of the Great Plains and the implication

for nature conservation policy. Prairie Adaptation Research Co-operative, Regina, Sask.

Hirsch, K., Kafka, V. 2001. Landscape level adaptation strategies for reducing area burned by wildfires. En: Adapting forest management to future climate, Proc. Workshop. Prairie Adaptation Research Co-operative and the Prince Albert Model Forest Assoc., Regina, Sask. CD-ROM.

Holling, E.S. 2001. Understanding the complexity of economic, ecological, and social systems. *Ecosystems*, 4: 390-405.

Husch, B., Beers, T.W., Kershaw, J.A. Jr. 2003. *Forest Mensuration*. John Wiley & Sons, Inc., 4th Edition, 443 pp. New York.

IPCC 2007. *Climate change 2007: the physical science basis. Summary for Policymakers. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC Secretariat, World Meteorological Organization, Geneva, Suiza.

Johnson, P.S., Shifley, S.R., Rogers, R. 2002. *Ecology and Silviculture of Oaks*. CABI Publishing, 517 pp. United States.

Kellomäki, S., Leinonen, S. 2005. *Management of European forests under changing climatic conditions. Final Report of the Project "Silvicultural Response Strategies to Climatic Change in Management of European Forests" (SilviStrat)* ([http://www.efi.int/portal/completed\\_projects/silvistrat/final\\_report](http://www.efi.int/portal/completed_projects/silvistrat/final_report))

Kirschbaum, M.U.E. 2000. Forest growth and species distribution in a changing climate. *Tree Physiology*, 20:309-322.

Lacey, E.P., Acey E.P., Real, L., Antonovics, J., Heckel, D.G. 1983. Variance models in the study of life histories. *American Naturalist*, 122: 114-131.

Lanier, L. 1986. *Précis de Sylviculture. École Nationale du Génie Rural, des Eaux et des Forêts*. Nancy

Ledig, F. T., Kitzmiller, J. H. 1992. Genetic strategies for reforestation in the face of global climate change. *Forest Ecology and Management*, 50: 153-169.

Lindner, M., Lasch, P., Erhard, M. 2000. Alternative forest management strategies under climate change: prospects for gap model applications in risk analysis. *Silva Fennica*, 34:101-111.

Merino, A., Real, C., Álvarez-González, J.G., Rodríguez-Gutián., M.A., 2007. Forest structure and C stocks in natural *Fagus sylvatica* forest in southern Europe: The effects of past management. *Forest Ecology and Management*, 250: 206-214

Millar, C.I., Stephenson, N.L., Stephens, S.L. 2007. Climate Change and forest of the future: managing in the face of uncertainty. *Ecological Applications*, 17(8): 2145-2151.

MMA 2003. *Tercer Inventario Forestal Nacional, 1997-2006 Asturias*. Subdirección General de Montes, Ministerio de Medio Ambiente. 400 pp.

Namkoong, G. 1984. Strategies for gene conservation. En: Plant gene resources: a conservation imperative. E.W. Yeatman, D. Kafton, and G. Wilkes (ed.). American Association for the Advancement of Science, Selected Symposium 87, Boulder, Col. pp. 79-89.

Niinemets, Ü., Valladares, F., Ceulemans 2003. Leaf-level phenotypic variability and plasticity of invasive *Rhododendron ponticum* and non-invasive *Ilex aquifolium* co-occurring at two contrasting European sites. Plant, Cell and Environment, 26: 941-956.

Noss, R.F. 2001. Beyond Kyoto: forest management in a time of rapid climate change. Conservation Biology, 15: 578-590.

Papadopol, C.S. 2000. Impacts of climate warming on forests in Ontario: options for adaptation and mitigation. Forestry Chronicle, 76: 139-149.

Parker, W.C., Colombo, S.J., Cherry, M.L., Flannigan, M.D., Greifenhagen, S., McAlpine, R.S., Papadopol, C., Scarr, T. 2000. Third millennium forestry: what climate change might mean to forests and forest management in Ontario. Forestry Chronicle, 76: 445-463.

Perez-Garcia, J., Joyce, L.A., McGuire, A.D. 2002. Temporal uncertainties of integrated ecological and economic assessments at the global and regional scales. Forest Ecology and Management, 162: 105-115.

Peters, R.L. 1990. Effects of global warming on forests. Forest Ecology and Management, 35:13-33.

Pilkey, O.H., Pilkey-Jarvis, L. 2007. Useless arithmetic: why environmental scientists can't predict the future. Columbia University Press, New York, USA.

Pigliucci, M., Schlichting, C.D. 1996. Reaction norms of *Arabidopsis*. IV. Relationships between plasticity and fitness. Heredity, 76:427-436.

SADEI 2003. <http://www.sadei.es/datos/cuadros%20tematicos/capitulo%20K/2/K28201A2000a.xls>.

SADEI 2006. Anuario estadístico de Asturias. Gobierno del Principado de Asturias. 657 pp.

Scheiner, S.M., Lyman, R.F. 1989. The genetics of phenotypic plasticity. I. Heritability. Journal of Evolutionary Biology, 2: 95-108.

Scheiner, S.M., Lyman, R.F. 1991. The genetics of phenotypic plasticity. II. Response to selection. Journal of Evolutionary Biology, 4: 23-50.

Scheiner, S.M., Yampolsky, L.Y. 1998. The evolution of *Daphnia pulex* in a temporally varying environment. Genetical Research, 72: 25-37.

Schlichting, C.D. 1986. The evolution of phenotypic plasticity in plants. Annual Review of Ecology & Systematics, 17: 667-693.

Schlichting, C.D., Pigliucci, P. 1998. Phenotypic Evolution: A Reaction Norm Perspective. Sinauer Associates, Sunderland.

- Sieben, B., Spittlehouse, D.L., McLean, J.A., Benton, R.A. 1997. White pine weevil hazard under GISS climate change scenarios in the Mackenzie Basin using radiosonde derived lapse rates. In Mackenzie Basin Impact Study: Final Report. S.J. Cohen (editor). Atmospheric Environment Service, Environment Canada, Downsview, Ont. pp. 166-175.
- Smith, D.M., Larson, B.E., Kelty, M.J., Ashton, P.M.S. 1997. The practice of silviculture: applied forest ecology. 9th edition. John Wiley and Sons, New York.
- Solomon, A.M., Nilsson, S., Ravindranath, N.H., Stewart, R., Weber, M. 1995. Wood production under changing climate and land use. In Climate change 1995: Impacts, adaptations, and mitigation of climate change Scientific-technical analysis. R.T. Watson, M.E. Zinwera, and R.H. Moss (ed.). Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press, New York, pp. 487-510.
- Spittlehouse, D.L., Stewart, R.B. 2003. Adaptation to climate change in forest management. BC Journal of Ecosystems and Management, 4(1): 1-11.
- Spittlehouse, D.L. 1997. Forest management and climate change. En: Responding to global climate change in British Columbia and Yukon. E. Taylor and B. Taylor (ed.). Environment Canada, Vancouver, B.c. pp. 24-1-24-8.
- Stenseth, N.E., Mysterud, A., Ottersen, G., Hurrell, J.W., Chan, K., Lima, M. 2002. Ecological effects of climate fluctuations. Science, 297: 1292-1296.
- Stocks, B.J., Fosberg, M.A., Lynham, T.J., Mearns, L., Wotton, B.M., Yang, Q., Jin, J.-Z., Lawrence, K., Hartley, G.R., Mason, J.A., McKenney, D.W. 1998. Climate change and forest fire potential in Russian and Canadian boreal forests. Climatic Change, 38: 1-13.
- Suffling, R., Scott, D. 2002. Assessment of climate change effects on Canada's national park system. Environmental Monitoring and Assessment, 74: 117-139.
- Valladares, F., Martinez-Ferri, E., Balaguer, L., Perez-Corona, E., Manrique, E. 2000a. Low leaf-level response to light and nutrients in Mediterranean evergreen oaks: a conservative resource-use strategy? New Phytologist, 148: 79-91.
- Valladares, F., Wright, S.J., Lasso, E., Kitajima, K., Pearcy, R.W. 2000b. Plastic phenotypic response to light of 16 congeneric shrubs from a Panamanian rainforest. Ecology, 81: 1925-1936.
- Vand, P.H. 1997. Generalists, specialists, and the evolution of phenotypic plasticity in sympatric populations of distinct species. Evolution, 51: 1372-1380.
- Volney, W.J.A., Fleming, R.A. 2000. Climate change and impacts of boreal forest insects. Agriculture Ecosystems and Environment, 82: 283-294.
- Wargo, P.A., Harrington, T.E. 1991. Host stress and susceptibility. In Armillaria root disease. E.G. Shaw and G.A. Kile (ed.). U.S. Department of Agriculture Forest Service, Washington, D.E. Agriculture Handbook No. 691.

Weis, A.E., Gorman, W.L. 1990. Measuring selection in reaction norms: an exploration of the Eurosta-Solidago system. *Evolution*, 44:820-831.

Wheaton, E. 2001. Changing fire risk in a changing climate: a literature review and assessment. Publication No. 113412E01. Saskatchewan Research Council, Saskatoon, Saskatchewan, Canada.

White, T., Kurz, W. 2003. Carbon credits afforestation. *Canadian Silviculture Winter*, 13-15.

Wu, R. 1998. The detection of plasticity genes in heterogeneous environments. *Evolution*, 52: 967-977.





AGRICULTURA 

**Enrique Dapena de la Fuente.** SERIDA. Principado de Asturias.

**Alfonso Fernández-Ceballos.** SERIDA. Principado de Asturias.

**Marcos Miñarro Prado.** SERIDA. Principado de Asturias.

**Antonio Martínez Martínez.** SERIDA. Principado de Asturias.

## 4.1 INTRODUCCIÓN

La rápida evolución del clima terrestre en las últimas décadas afecta sin duda a los sistemas biológicos y físicos, pero también a los sistemas sociales y económicos (IPCC 2001). La agricultura es uno de los sectores en donde su efecto es más inmediato, dada la sensibilidad de los vegetales a las variaciones en la temperatura, la concentración de CO<sub>2</sub> atmosférico, o las perturbaciones en el régimen pluviométrico.

Sin embargo, la agricultura no es sólo una víctima potencial del cambio climático, sino que es además una de las causas del mismo. Informes recientes (Nigli et al. 2007, Bellarby et al. 2008) ponen de manifiesto la contribución significativa de la agricultura y la ganadería a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEIs): entre un 10 y un 12 % de dicha emisión, fundamentalmente en forma de óxido nítrico y de metano. El óxido nítrico agrícola procede sobre todo de los suelos agrícolas (emisión relacionada estrechamente con la mala gestión de la fertilización nitrogenada) mientras que el metano proviene de emisiones del ganado. Las emisiones agrícolas de estos dos gases se han incrementado un 17% en el periodo 1999-2005, y se estima que pudieran aumentar hasta entre un 35 y un 60% en 2030, debido al uso de fertilizantes y el

incremento de la ganadería. Cuando se considera el total de la cadena de alimentos desde el productor al consumidor, las emisiones de todos las actividades relacionados con la agricultura, como la producción de fertilizantes o el transporte, necesitan ser incluidos y pueden potencialmente sumar hasta 25-30 % del total de las emisiones de GEIs (Nigli et al. 2007).

Muchas de las causas de este incremento de emisiones hay que buscarlas en los cambios sufridos por la agricultura en los últimos cien años: la intensificación reflejada en el incremento del empleo de agroquímicos (abonos, pesticidas), la mala gestión de los residuos agroganaderos o el cambio del uso de la tierra ligado a deforestación y establecimiento de cultivos de alto consumo de combustibles fósiles (Bellarby et al. 2008). Una mejor gestión agrosilvopastoril en base a planteamientos agroecológicos puede contribuir a mitigar el cambio climático y facilitar la adaptación de las estrategias productivas a la nueva situación (SEAE 2006, Nigli et al. 2007, Bellarby et al. 2008).

Los efectos previstos sobre los sistemas agrarios son muy diversos y se consideran muy diferentes según las regiones (e.g. Rodríguez 2007, Altieri y Nicholls 2009). En cualquier caso, el cambio climático supone una amenaza para la provisión mundial de alimentos. Las consecuencias del cambio climático se consideran potencialmente mucho más dañinas en países tropicales o subtropicales y agriculturas de subsistencia de 'países pobres', donde una pequeña disminución en la productividad podría conducir a grandes desequilibrios en la vida rural. De forma general, Rodríguez (2007) considera que "casi con certeza" la mayor frecuencia de días y noches más cálidos tendrá como resultado un incremento del rendimiento agrario en ambientes fríos, mientras que

producirá una reducción de dicho rendimiento en ambientes cálidos, así como un incremento en los brotes de plagas. Altieri y Nicholls (2009) citan además como efectos negativos para la agricultura del calentamiento global: 1) la amenaza de intrusión de agua salada en estuarios y acuíferos en áreas costeras como consecuencia del incremento del nivel del mar; 2) la pérdida de materia orgánica en los suelos como consecuencia de la descomposición más rápida debido al calentamiento; 3) el aumento de la incidencia de insectos dañinos debido a un desarrollo más rápido de generaciones al aumentar la temperatura ambiental.

Las destrezas y los conocimientos tradicionales se consideran claves para la adaptación al cambio climático. Dicho conocimiento ha sido también descrito como una 'reserva de adaptaciones' (Tengo y Belfrages 2004). Resultados de investigaciones recientes sugieren que muchos agricultores se adaptan e incluso se preparan para el cambio climático, minimizando las pérdidas en productividad mediante la mayor utilización de variedades locales tolerantes a la sequía, cosecha de agua, policultivos, agroforestería, desyerbe oportuno y recolección de plantas silvestres entre otras técnicas (Altieri y Nicholls 2009). Agricultores tradicionales o indígenas practican tipos de agricultura que proporcionan a los agroecosistemas una capacidad de resiliencia notable ante los continuos cambios económicos y ambientales, además de contribuir sustancialmente con la seguridad alimentaria a nivel local, regional y nacional. Así, estos resultados hacen necesario reevaluar la tecnología indígena y tradicional como fuente imprescindible de información sobre la capacidad adaptativa que exhiben algunos agricultores para enfrentar el cambio climático (Altieri y Nicholls 2009).

Concretamente para Asturias, se analiza la información disponible, generada en trabajos recientes como los de Dapena y Fernández-Ceballos (2006 y 2007) y Burgaz (2008), así como observaciones personales.

## 4.2 CAMBIOS DETECTADOS

### CAMBIOS TERMOPLUVIOMÉTRICOS Y EFECTOS EN LOS CULTIVOS

En ausencia de riego los cultivos se ven afectados de forma directa por la disponibilidad de agua y por la temperatura. Entre las modificaciones previstas por el cambio climático está el régimen termo-pluviométrico. A partir del análisis de los registros de siete estaciones meteorológicas (Grado y Villaviciosa pertenecientes al Serida y Ranón (Soto del Barco), Oviedo, Gijón, Viobes (Nava), y Barguedo (Piloña) a la red de la Agencia Estatal de Meteorología) desde 1975 hasta 2005, se han detectado tendencias de cambio tanto en temperatura como en pluviosidad (Dapena y Fernández-Ceballos 2006). En dicho trabajo se analizaron tanto las variaciones anuales como los cambios de estacionalidad, dado que estos cambios pueden ser más importantes que los cambios en la magnitud total.

Las tendencias en la temperatura media mensual fueron muy similares entre estaciones; en todas ellas se detectó una tendencia al aumento de la temperatura media anual. En las tres últimas décadas la variación promedio de la temperatura media en las estaciones analizadas fue de +0,43 °C por década (Figura 1). El incremento térmico anual detectado se debe principalmente al incremento en los meses de marzo a agosto, periodo clave para el desarrollo de la mayoría de los cultivos, sean estos forrajeros, de huerta o frutales.

También hubo un buen grado de concordancia entre las distintas estaciones meteorológicas respecto a las precipitaciones, aunque fue menor que en el caso de las temperaturas. La presencia en Asturias de una orografía compleja, incluso en zonas bajas, puede estar detrás de las diferencias detectadas. Sin embargo, los patrones generales son coincidentes entre estaciones.

La precipitación anual de todas las estaciones fue decreciente; al promediar la precipitación de todas las estaciones, se define la tendencia decreciente aunque con fluctuaciones interanuales de cierta importancia (Figura 2).

Al analizar la evolución de las precipitaciones por meses, se registró una disminución de las precipitaciones en los meses de primavera y verano y un aumento de las mismas en los meses de otoño. Concretamente, durante los meses de abril a junio se produjo una disminución de las precipitaciones de 50 mm/década.

Además del cambio estacional reseñado, también se detectó un adelanto en el mes del año con menor precipitación. Mientras que en la década 1975-84 los meses con menor precipitación fueron septiembre (55 mm) y agosto (56 mm), en la década 1985-94 fue julio (38 mm) y en la década de 1995-04 fue junio (44 mm).

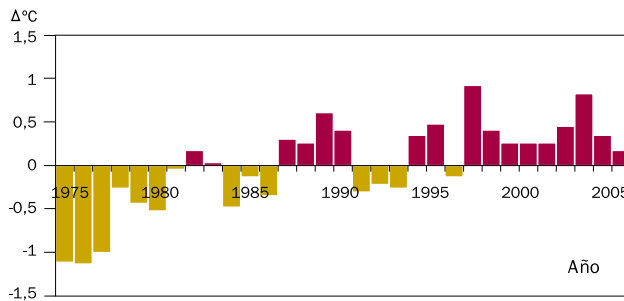


Figura 1. Variación de la temperatura media anual respecto a la temperatura media de todo el período (1975-2005). (Dapena y Fernández-Ceballos, 2006).

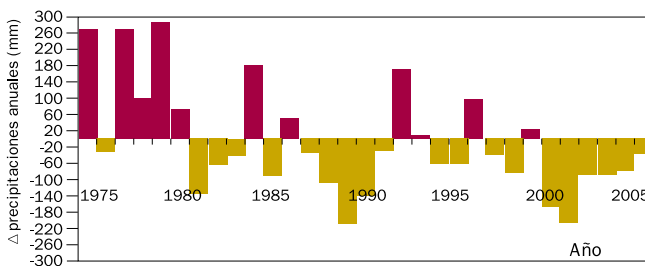


Figura 2. Variación de la precipitación anual respecto a la precipitación media de todo el período (1975-2005). (Dapena y Fernández-Ceballos, 2006).

Así pues, a lo largo de las tres últimas décadas se han producido cambios que pueden tener un efecto sobre muchos cultivos y sobre la ganadería:

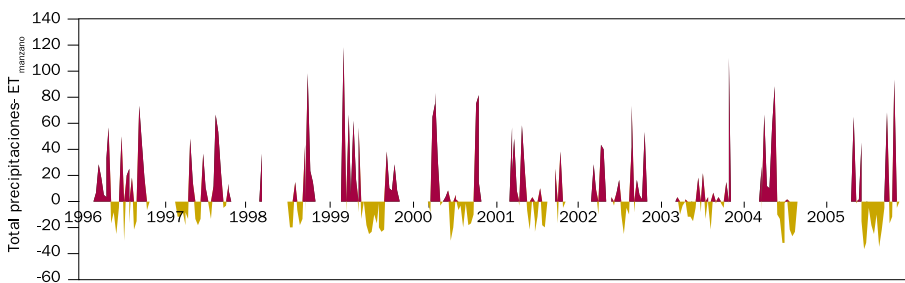
- Un aumento de la temperatura, especialmente de marzo a agosto.
- Una disminución de las precipitaciones, de manera especial en los meses de abril a junio.
- Un adelanto del mes más seco de septiembre a junio.

Debido a las condiciones templado-húmedas habituales de Asturias, con una repartición de la pluviometría a lo largo del año, excepto en un corto periodo estival, la mayor parte de los cultivos forrajeros y los aprovechamientos hortofrutícolas (a excepción de los cultivos hortícolas bajo abrigo, el cultivo de kiwi o parte de la producción de manzana de mesa) se realizan habitualmente sin la utilización de sistemas de riego o con un pequeño riego de apoyo en el caso de algunos cultivos hortícolas. Por tanto, las modificaciones climatológicas que se están produciendo tienen un mayor efecto en nuestros sistemas de producción agrícola

que en los de otras zonas geográficas donde se emplea el riego de manera habitual.

En los meses de marzo a junio se produce el arranque vegetativo de muchos cultivos (la práctica totalidad de los frutales (manzano, kiwi, peral, cerezo, ciruelo, melocotonero, arándano...) y varios cultivos hortícolas y forrajeros (patata, faba, maíz, cebolla,...)), por lo que se puede considerar un periodo crítico, con gran sensibilidad al estrés hídrico. El aumento de las temperaturas en primavera-verano, que supone un aumento de la evapo-transpiración, junto con el descenso de las precipitaciones en ese periodo constituyen un riesgo importante de déficit hídrico para todas las especies que se cultivan habitualmente sin riego.

Se posee información de la variación en el balance hídrico, como evapo-transpiración potencial del manzano ( $ET_{manzano}$ ), para el cultivo del manzano (Dapena y Fernández-Ceballos 2006; Figura 3), uno de los cultivos que se ve afectado por el déficit hídrico, en especial aquellas plantaciones en base a técnicas de cultivo más intensivas (Dapena y Blázquez 1996).



**Figura 3.** Balance hídrico teórico de los manzanos (precipitaciones- $T_{manzano}$ ) en los meses de marzo a octubre durante la década 1996-05. Las zonas en granate indican épocas en el que el balance es positivo, por lo que el cultivo dispone de agua suficiente para su correcto desarrollo fenológico, mientras que las zonas en amarillo indican épocas en las que el balance es negativo y se produce una situación de estrés hídrico, (Dapena y Fernández-Ceballos, 2006).

Durante ese periodo (1996-05) se produjo un déficit hídrico la mitad del tiempo (el promedio anual fue del  $50,3 \pm 10,2$  %). Los periodos de déficit hídrico fueron menos abundantes durante la floración y el periodo inmediatamente posterior (meses de marzo a mayo) que durante el verano. Los momentos en los que los manzanos son más sensibles al déficit hídrico son la primavera y el inicio del verano, ya que durante ellos se producen el desarrollo vegetativo, la floración y el inicio del desarrollo de la fructificación, procesos todos ellos caracterizados por alto número de divisiones celulares, proceso muy sensible a la falta de agua (Lakso 2003). Esta época de mayor sensibilidad de los manzanos coincide con los meses en los que el descenso de las precipitaciones en Asturias resultó más acusado. De hecho, la tendencia del adelantamiento de los meses más secos del año en Asturias afecta al desarrollo vegetativo de los árboles, sobre todo en las plantaciones jóvenes, y a la capacidad productiva de las pomaradas.

Como se ha visto, el incremento de la temperatura puede afectar indirectamente a los manzanos a través del déficit hídrico. Además, la temperatura puede afectar a los cultivos frutales de otras maneras. En primer lugar, el efecto más favorable del incremento de las temperaturas en el cultivo frutal se produce a principios de primavera, durante la floración, ya que se relaciona positivamente con una mayor fertilidad. Además, el incremento de la radiación solar puede tener un efecto positivo en la calidad de la fruta. Por otro lado, descensos bruscos de temperatura a la salida del invierno y el comienzo de la primavera pueden causar heladas tardías que afecten negativamente a la floración. Dapena y Fernández-Ceballos (2006) encontraron una tendencia a la dismi-

nución del número de días con una temperatura mínima inferior a 0 °C en los meses de marzo, abril y mayo. Las heladas tempranas en otoño también pueden causar daños en los frutales: un episodio crítico de tres heladas seguidas de -1,9, -4,8 y -2,5°C los días 16, 17 y 18 de noviembre de 2007, supuso cuantiosas pérdidas en el caso del kiwi al helar los frutos. Estas mismas heladas tempranas podrían matar manzanos jóvenes si la savia está aún circulando.

Otro aspecto a tener en cuenta es el relacionado con las altas temperaturas veraniegas que pudieran afectar a la epidermis de los frutos, produciendo el 'quemado' de las manzanas. Por el momento no se observaron cambios importantes en el número de días con una temperatura máxima superior a 30 °C, aunque sí aumentaron los días en los que se alcanzaron los 25 °C (Dapena y Fernández-Ceballos 2006).

La influencia que los cambios climáticos detectados pueden producir en las praderas parece menor. La existencia de muchas especies en praderas naturales, una alta diversidad, les confiere una mayor plasticidad debido a la diversidad de su composición florística, lo que conlleva una mayor capacidad adaptativa (Tilman y Downing 1994). En términos generales se ha observado una tendencia a una disminución de la producción en primavera-verano, acompañado de un incremento de la presencia de dicotiledóneas, mientras que se observa un incremento de la producción en otoño-invierno (Martínez y Pedrol 2005, Álvarez et al. 2009).

La presencia de especies alóctonas en los cultivos, aunque no únicamente asociadas a los cambios de clima, pueden estar contribuyendo a modificaciones importantes. Así

se ha observado en plantaciones de frutales y céspedes de jardines un incremento de la gramínea *Paspalum dilatatum* Poiret, que es una planta originaria de sudamérica con un sistema radicular bastante profundo por lo que podría presentar ventajas adaptativas en condiciones de sequía. Esta planta emite muy rápido la espiga después del corte por lo que provoca un esfuerzo adicional y sobrecoste para asegurar el correcto mantenimiento (observación E. Dapena).

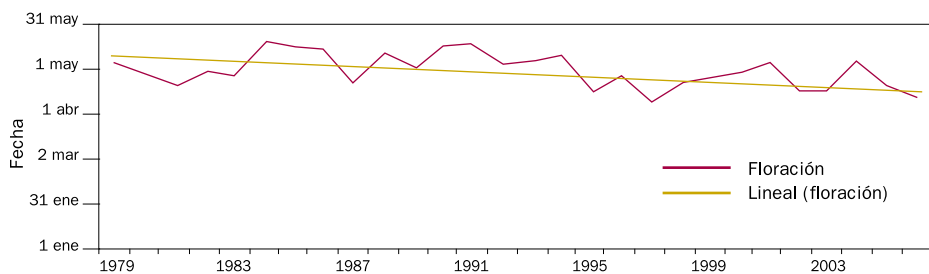
#### ACUMULACIÓN DE UNIDADES DE FRÍO Y DE CALOR Y CAMBIOS FENOLÓGICOS

Diversos estudios han relacionado el aumento de la temperatura en las zonas templadas con el adelanto fenológico (fundamentalmente de la floración) de un gran número de plantas silvestres y cultivadas (véase por ejemplo la revisión de Parmensan, 2003) incluyendo el manzano (Chmielewski et al. 2004, Wolfe et al. 2005, Legave et al. 2008).

El momento de brotación de los manzanos y de muchas otras especies frutales de climas

templados viene determinado por la acumulación de unidades de frío durante el otoño-invierno y de calor durante el invierno-primavera, ya que determinan la finalización del periodo de latencia invernal de los manzanos y el inicio de la floración, respectivamente. Al tener registradas las fechas de floración de las variedades de manzano asturianas durante 14 años del periodo 1987-2006, se pudo comparar la fecha teórica de floración, calculada mediante un modelo matemático establecido por Dapena (1996), con las fechas reales de floración (Dapena y Fernández-Ceballos 2007). Su alto nivel de concordancia confirmó la utilidad del modelo teórico. Los resultados mostraron que existe una ligera tendencia al aumento del número de unidades de frío acumuladas en el otoño-invierno pero también una tendencia, en este caso más clara, al aumento de las unidades de calor en invierno-primavera.

Estos resultados anteriores se relacionan con la tendencia al adelanto en el año de la fecha media de floración de los manzanos en Asturias; el adelanto en tres décadas para las



**Figura 4.** Evolución de las fechas de la época de floración durante el período entre 1978 y 2006. Se incluye una línea que refleja la tendencia de la época de floración (Dapena y Fernández-Ceballos, 2007).



variedades estudiadas se muestra en la Figura 4. Un adelanto de varios días en la floración de los manzanos se ha constatado también en Francia (Legave et al. 2008).

Estos resultados confirman que la fecha de floración de los manzanos en Asturias se está adelantando en paralelo a los cambios registrados en el clima de la región, debido en parte al aumento de las unidades de frío durante los meses invernales, pero principalmente debido al aumento de las unidades de calor durante la primavera. Este adelanto en la floración ha determinado también un adelanto en la época de maduración de los frutos.

Los cambios en el clima podrían afectar indirectamente en los cultivos a través de cambios en la fenología de los organismos que viven a expensas de los mismos. Las plagas y enfermedades están adaptadas para sincronizar su desarrollo con el de su hospedador. Sin embargo los mecanismos que regulan la fenología de unos y otros puede ser muy diferentes y llevar por tanto a una pérdida de sincronización entre ambos (van Asch y Visser 2007). En algunas especies, como la mariposa *Pieris rapae* se ha demostrado que el aumento de temperatura provoca un adelanto de su emergencia primaveral en España, al igual que en insectos polinizadores como la abeja *Apis mellifera* (Gordo y Sanz 2006). Estas variaciones en la temperatura podrían provocar desajustes entre la fenología de las plagas o polinizadores y su hospedador, en este caso el manzano, cuyas consecuencias no son fáciles de prever. Por ejemplo, algunas variedades de manzano asturianas no se ven afectadas por el pulgón ceniciento del manzano *Dysaphis plantaginea* al brotar después de que nazcan los pulgones, que mueren sobre las plantas al no poder alimentarse (Miñarro y Dapena 2007). Si

el adelanto en la fenología del manzano no va acompañado de un adelanto en la fenología de este pulgón, muchas de esas variedades podrán sufrir en un futuro no lejano el ataque del pulgón ceniciento.

#### EFECTO DE LA AGRICULTURA EN LA EMISIÓN DE GEIS Y POSIBLES CONTRIBUCIONES DE LA PRÁCTICA AGRARIA ECOLÓGICA A MITIGAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Recientemente se ha puesto de manifiesto la contribución de la agricultura en la emisión de GEIs (SEAE 2006, Nigli et al. 2007, Bellarby et al. 2008). Además, estos trabajos revelan el mayor potencial de la agricultura ecológica para mitigar el cambio climático en relación a la agricultura convencional. La agricultura ecológica contribuye al ciclo del carbono de varias formas: cerrando los ciclos de nutrientes y reciclando los nutrientes mediante compostaje; disminuyendo el uso de insumos (abonos, productos fitosanitarios); reduciendo el consumo directo de combustibles fósiles (menor uso de maquinaria) e indirecto (menor utilización del transporte al potenciarse los circuitos cortos de comercialización y menor gasto industrial al evitar el uso de insumos de síntesis química); asimismo, es destacable el papel que la agricultura ecológica juega como sumidero de CO<sub>2</sub>, principalmente a través de su acumulación en la materia orgánica del suelo (SEAE 2006, Nigli et al. 2007, Bellarby et al. 2008). La mejor manera de mantener o incrementar el carbono orgánico en el suelo es mediante la adición regular de materiales orgánicos al suelo. En Asturias hemos podido observar una tendencia a un mayor contenido en materia orgánica de suelos fertilizados con abonos orgánicos frente a suelos abonados químicamente.

Los informes de SEAE (2006) y Niggli et al. (2007) también resaltan la importancia de que las políticas medioambientales reconozcan el potencial de la agricultura ecológica para reducir la emisión de gases invernadero.

### 4.3 RESPUESTAS ADAPTATIVAS AL CAMBIO CLIMÁTICO

La forma de conducir los sistemas agroganaderos se puede modificar para adaptarlos a los cambios. De un modo general se pueden señalar de interés:

- La utilización de variedades flexibles al cambio climático: por ejemplo tolerantes a sequía y/o resistentes a plagas y enfermedades.
- Favorecer estrategias de biodiversidad y control biológico para reducir el impacto potencial de la intensificación de agentes fitófagos.
- Potenciar el empleo de aportes orgánicos que incrementarán el nivel de materia orgánica en el suelo, mejorando la capacidad de retención de humedad, además de actuar de sumidero de carbono, con la consiguiente contribución a mitigar el cambio climático.
- Optimizar los sistemas de riego.

Particularmente:

- En el caso del cultivo de frutales leñosos como el manzano de sidra puede resultar de interés replantearse la utilización de portainjertos de mayor vigor con un sistema radicular más profundo y, por tanto, con mayor capacidad de captar agua, en especial en terrenos de ladera. Por otra parte, la irrigación de apoyo puede convertirse en una necesidad para el cultivo del manzano en Asturias, en especial en los primeros años de cultivo, si se mantiene o acrecienta la tendencia de aumento de las temperaturas y disminución de la pluviometría en primavera-verano.

- En cultivos hortofrutícolas es importante considerar el empleo de acolchados, ya que favorecen la retención de humedad en el suelo.

- En cultivos destinados a la alimentación del ganado como el maíz forrajero, el escenario de aumento de temperaturas y sobre todo el adelanto del periodo seco al mes de junio podría hacer necesario adelantar el periodo de siembra de mayo a abril para que las plantas estuviesen lo suficientemente desarrolladas para soportar las nuevas condiciones de sequía, así como cultivar variedades de ciclos de maduración más largos (con más necesidades de calor para su maduración) como los FAO 450 o 500 que tienen más margen para soportar mejor temperaturas altas que los ciclos cortos usados ahora como los FAO 200 y 300. Este cambio supondría paralelamente realizar los aprovechamientos de los cultivos invernales precedentes al mismo en fechas más tempranas, y posiblemente reducir sus cortes para ensilado a sólo uno en lugar de los dos actuales.

### 4.4 ALGUNAS PREVISIONES SOBRE IMPACTOS POTENCIALES EN LOS CULTIVOS

Los cultivos agrícolas son hospedadores de numerosos organismos, algunos de los cuáles, los causantes de plagas y enfermedades, pueden resultar nocivos para los mismos. El cambio de clima puede afectar a los cultivos a través del efecto sobre estos agentes patógenos. Sin embargo, los efectos del cambio climático sobre estos organismos son muy complejos y no fácilmente predecibles mediante modelos de aplicación general (Sparks et al. 2006). Respecto a enfermedades criptogámicas que afecten a cultivos frecuentes en Asturias, cabe señalar que en el periodo 1996-2005 dismi-

nuyó el número de años con condiciones favorables al desarrollo del moteado del manzano o la antracnosis de la faba, mientras que las condiciones fueron más favorables para el desarrollo de oídios. En ese periodo también se observó un incremento en la presencia del ataque de rosquilla en el cultivo de maíz.

El cambio climático también puede tener un efecto sobre la distribución de los cultivos. Así, la evolución climática que paulatinamente se está produciendo en Asturias podría considerarse algo más favorable para el desarrollo en un futuro de cultivos como la vid, los frutales de hueso, los cítricos o algunos cultivos

subtropicales, siempre que no se incrementen los riesgos de heladas.

El aumento global de la temperatura podría afectar también al rango de distribución de las especies perjudiciales y provocar la aparición de nuevas plagas y enfermedades procedentes de climas más cálidos. Por ejemplo, en el sur del Reino Unido cada año está aumentando consistentemente el número de especies de lepidópteros migratorios (Sparks et al. 2006). El número de nuevas especies plaga en España ha aumentado de una nueva especie cada tres años en la década de los setenta a casi dos especies por año en la actua-

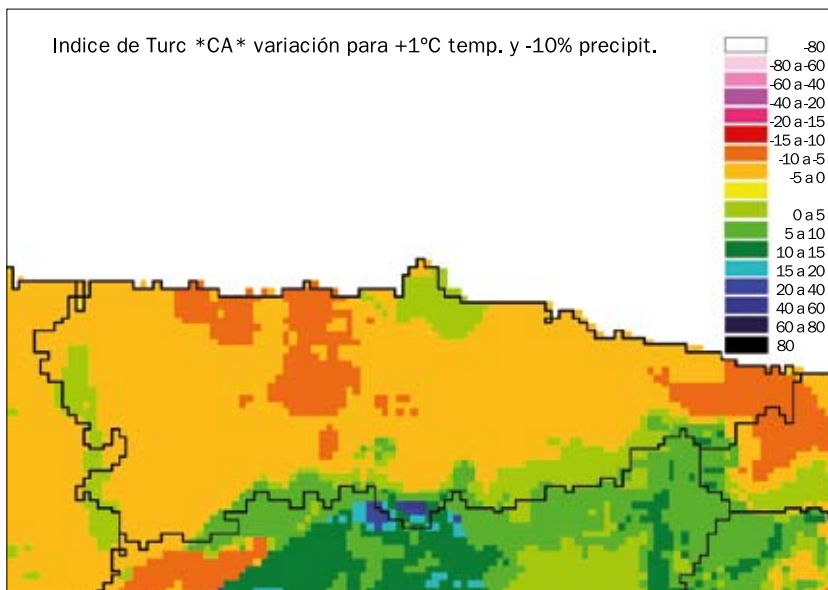


Figura 5. Variación esperable en los valores del índice actual de potencialidad agraria, con el incremento en 1°C de la temperatura anual y la disminución en un 10% de la pluviometría media anual, expresada en % (Burgaz, 2008).

lidad (Jacas et al. 2005). No obstante, factores como un mayor intercambio de mercancías pudieran estar jugando un papel relevante en este aumento.

En un trabajo reciente de Burgaz (2008) se estudia el cambio en la productividad potencial de los sistemas agrarios asturianos en diferentes escenarios de cambio climático. Las alteraciones climáticas que considera son un incremento de la temperatura media anual de 1°C, la disminución en un 10% de la pluviometría media anual y el efecto combinado de ambas alteraciones. El índice empleado para el estudio fue el índice climático de potencialidad agrícola de Turc, que correlaciona los valores de determinadas variables climáticas con la producción de una planta adaptada y cultivada en condiciones técnicamente adecuadas. Los impactos previsibles en estos tres escenarios de cambio fueron de escasa cuantía, con variaciones entre el 5 y el 10 % para la mayor parte de la superficie del territorio asturiano. En la Figura 5 se representa la variación esperable con el incremento de 1°C en la temperatura media y la disminución de las precipitaciones en un 10%. En dicho trabajo se plantea que la respuesta de cada cultivo a estas variaciones será muy diferente y que dependerá en gran medida de la época del año en que se concentren dichas variaciones.

#### 4.5 CUESTIONES QUE DEBERÍAN TENERSE EN CUENTA PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

- El control de la fenología de los principales cultivos agrícolas asturianos.
- Estudios específicos de la respuesta varietal a los cambios climáticos que se están produciendo y la selección de variedades mejor adaptadas a condiciones de sequía.
- El control de la fenología de las principales plagas agrícolas.
- Determinar las implicaciones en los procesos de control biológico de esos agentes nocivos.
- Analizar la contribución de los sistemas de producción ecológicos en la mitigación del cambio climático.
- Puesta en marcha de estrategias de producción agraria de adaptación a los cambios.
- Analizar los requerimientos de riego de los cultivos de la región y desarrollar sistemas inteligentes de riego que permitan un uso eficiente del agua.
- Evaluar el potencial adaptativo de nuevos cultivos.

#### 4.6 BASES DE DATOS EXISTENTES

Tabla I. Bases de datos existentes.

Variable	Localidad	Propietario	Disponibilidad
Datos meteorológicos	Grado	SERIDA	1945-2009
Datos meteorológicos	Villaviciosa	SERIDA	1978-2009
Datos fenológicos de variedades de manzano	Villaviciosa y Grado	SERIDA	1987-2009

### Agradecimientos

Los autores agradecen a Ricardo Anadón las sugerencias y valiosas aportaciones realizadas a una primera versión de este informe.

## 4.7 REFERENCIAS

- Altieri, M.A., Nicholls, C.I. 2009. Cambio climático y agricultura campesina: impactos y respuestas adaptativas. LEISA revista de agroecología, 24 (4): 5-8.
- Álvarez-Iglesias, L., Martínez, A., Pedrol, N., Martínez-Fernández, A. 2009. Incidencia del tipo de manejo sobre las características agronómicas y ecofisiológicas de praderas de Raigrás Inglés / Trébol Blanco. XLVIII Reunión Científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Huesca. Aceptada
- Bellarby, J., Foereid, B., Hastings, A., Smith, P. 2008. Cool farming: climate impacts of agriculture and mitigation potential. Greenpeace International, Amsterdam, 44 pp.
- Burgaz F.J. 2008. Producción potencial del sector agrícola y forestal en Asturias. ENESA.
- Chmielewski, F.M., Müller, A., Bruns, E. 2004. Climate changes and trends in phenology of fruits trees and field crops in Germany, 1961-2000. Agricultural and Forest Meteorology, 121(1-2): 69-78.
- Dapena, E. 1996. Comportamiento agronómico y tecnológico de variedades de manzano asturianas. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo.
- Dapena, E., Blázquez, M.D. 1996 Guía de cultivo de manzano de sidra en eje vertical. Consejería de agricultura y Pesca del Principado de Asturias. Serie divulgación 6/96.
- Dapena, E., Fernández-Ceballos, A. 2006. Consecuencias de la evolución climática en la producción de manzana en Asturias. VII Congreso SEAE Zaragoza, Septiembre 2006, 9 pp.
- Dapena, E., Fernández-Ceballos, A. 2007. Estudio del cambio climático y sus implicaciones en el cultivo del manzano. Tecnología Agroalimentaria. Boletín informativo del SERIDA nº 4, 18-24.
- Gordo, O., Sanz, J.J. 2006. Temporal trends in phenology of the honey bee *Apis mellifera* (L.) and the small white *Pieris rapae* (L.) in the Iberian Peninsula (1952-2004). Ecol. Entomol. 31: 261-268.
- IPCC 2001. Cambio climático 2001: Informe de síntesis. Eds: Watson, R.T. & The Core Writing Team. IPCC, Geneva, Switzerland. 184 pp.
- Jacas, J., Urbaneja, A., Ripollés, J.L. 2006. El futuro del control biológico. En: J. Jacas, P. Caballero, J. Avilla (Eds). El control biológico de plagas y enfermedades. Publicaciones de la Universitat Jaume I, Castelló de la Plana: 193-223.
- Legave, J.M., Farrera, I., Almeras, T., Calleja, M. 2008. Selecting models of apple flowering time and understanding how global warming has had an impact on this trait. J. Hort. Sci. Biotech, 83: 76-84.

Lakso, A.N. 2003. Water Relations of Apples. En: Apples: Botany, Production and Uses. Eds: Ferree, D.C., I.J. Warrington. CAB Internacional. Pp: 167-194.

Martínez, A., Pedrol, N. 2005. Raigrás italiano y maíz implantados con dos sistemas de siembra y abonados con dos tipos de fertilización. En: Roza, B. de la, Martínez, A., Carbalal, A. (eds.). Producciones agroganaderas: Gestión eficiente y conservación del medio natural. Actas de la XLV Reunión científica de la Sociedad Española para el Estudio de los Pastos. Gijón – Asturias, 625-632.

Miñarro, M., Dapena, E. 2007. Resistance of apple cultivars to *Dysaphis plantaginea* (Hemiptera: Aphididae): role of tree phenology in infestation avoidance. *Environ. Entomol.* 36(5): 1206-1211.

Niggli, U., Schmid, H., Fliessbach, A. 2007. Organic farming and climate change. ITC UNCTAD/WTO & FIBL, Geneva, 27 pp.

Rodríguez, A. 2007. Cambio climático, agua y agricultura. *Comunica*, II Etapa, 1: 13-23.

SEAE 2006. Contribución de la agricultura ecológica a la mitigación del cambio climático en comparación con la agricultura convencional. Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Valencia. 48 pp.

Sparks, T.H., Huber, K., Dennis, R.L.H. 2006. Complex phenological responses to climate warming trends? Lessons from history. *Eur. J. Entomol.* 103: 379-386.

Tengo, M., Belfrage, K. 2004. Local management practices for dealing with change and uncertainty: a cross-scale comparison of cases in Sweden and Tanzania. *Ecology and Society*, 9(3). Disponible en [www.ecologyandsociety.org/vol9/iss3/art4](http://www.ecologyandsociety.org/vol9/iss3/art4).

Tilman, D., Downing, J.A. 1994. Biodiversity and stability in grasslands. *Nature*, 367: 363-365

van Asch, M., Visser, M.E. 2007. Phenology of forest caterpillars and their host trees: the importance of synchrony. *Annu. Rev. Entomol.* 52: 37-55

Wolfe, D.W., Schwartz, M.D., Lakso, A.N., Otsuki, Y., Pool, R.M., Shaulis, N.J. 2005. Climate change and shifts in spring phenology of three horticultural woody perennials in north-eastern USA. *Int J Biometeorol.* 49: 303-309.



COSTA Y OCÉANOS 



**Ricardo Anadón Álvarez**, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo.

**Consolación Fernández**, Departamento de Biología de Organismos y Sistemas, Universidad de Oviedo

**Lucía García Flórez**, Centro de Experimentación Pesquera – Principado de Asturias

**Iñigo Losada Rodríguez**, Departamento de Ciencias y Técnicas del Agua y del Medio Ambiente, Universidad de Cantabria

**Luis Valdés Santurio**, Inst. Español de Oceanografía – Laboratorio de Gijón. UNESCO, París.

## 5.1 INTRODUCCIÓN

El Cambio Climático no es sólo un proceso atmosférico, sino que afecta directamente a los océanos. Aunque éstos pueden actuar como moduladores del cambio atmosférico, también sufren sus efectos. Entre ellos, se encontraría en primer lugar la absorción de una parte significativa (cerca al 40 %) del dióxido de carbono emitido a la atmósfera por acción antropogénica (<http://www.globalcarbonproject.org/>). En segundo lugar se situarían el propio calentamiento de los océanos, los cambios en las propiedades térmicas y salinas del agua marina y por tanto en la circulación general y regional, e incluso, los cambios en procesos hidrográficos asociados a fenómenos atmosféricos, como los afloramientos (Broecker 2003, Philippart et al. 2007, Minobe et al. 2008, Toggweiler y Russell 2008, Walsh 2008).

En el Cuarto Informe de Asesoramiento del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, (AR4 (IPCC 2007) a y b) se aportan evidencias de cambios en los océanos asociados al incremento de las concentraciones de CO<sub>2</sub> atmosférico generado por actividad humana y al cambio climático. Estas evidencias se refieren tanto a los cambios en las

propiedades físicas del océano como a los de las especies y los recursos explotados. En el Informe de Síntesis del AR4 se considera que los principales cambios a nivel global serían:

- Aumento de la temperatura del océano, más evidente en las capas superficiales.

- Desplazamiento de las áreas de distribución y modificaciones en la abundancia de algas, zooplancton y peces de aguas templado-frías marinas así como de peces migratorios tempranos en ríos. Estos cambios están asociados a la elevación de la temperatura del agua, así como a los cambios en la cobertura de hielo, salinidad, niveles de oxígeno disuelto y circulación marina.

- Acidificación de los océanos, aunque los impactos en la biosfera marina, especialmente en corales, son todavía inciertos. Hay evidencia de que el pH medio de la superficie del mar ha descendido en 0.1 unidades en los últimos 200 años, lo que supone un 30% de incremento de la concentración de iones de hidrógeno. Sin embargo, sus efectos sobre la biosfera marina no están aún documentados.

- Cambios en los regímenes de vientos, afectando a las trayectorias de tormentas extratropicales y a los regímenes de temperatura en ambos hemisferios, probablemente por causas antropogénicas.

- Elevación del nivel del mar. Es muy probable que esta tendencia, de origen antropogénico, observada desde la segunda mitad del siglo pasado continúe en los próximos siglos de acuerdo a los modelos existentes.

### Peculiaridades de la costa de Asturias

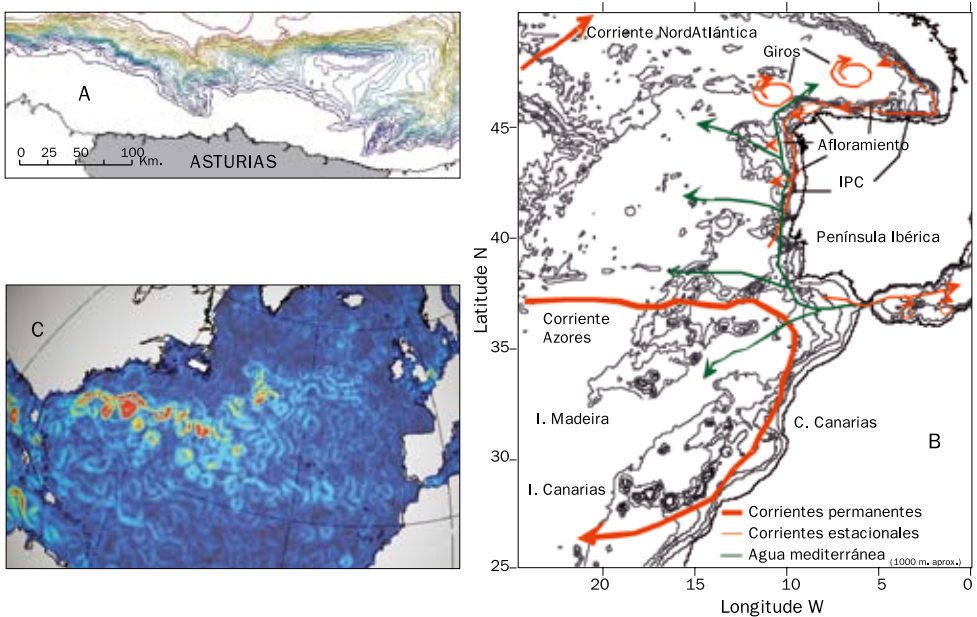
La forma en que los cambios que ocurren a escala global tengan repercusión a nivel regional dependerá, en todo caso, de las características de cada mar y, entre ellas, no deben olvi-

darse las relacionadas con la posición geográfica y la morfología de costas y plataformas.

La costa de Asturias se engloba dentro de uno de los Grandes Ecosistemas Marinos del mundo, el Ecosistema Costero Ibérico (Iberian Coastal Ecosystem). Como todo el norte de la Península Ibérica, presenta una orientación Este-Oeste, que rompe la orientación Norte-Sur de las costas atlánticas europeas, y una plataforma muy estrecha si se la compara con la del norte del Golfo de Vizcaya y el Mar Céltico, cruzada por profundos cañones submarinos (cañón de Avilés, cañón de Lastres). La costa es acantilada, con playas de arena o

cantos relativamente confinadas sin capacidad de regeneración, aunque a lo largo de ella aparecen algunas rías de pequeña extensión (ver Figura 1A).

Como todo el Golfo de Vizcaya, Asturias presenta un patrón de circulación débil entre las dos corrientes principales del Atlántico Noreste (Figura 1B). Los procesos principales son: la Corriente Ibérica hacia el polo (IPC), el afloramiento costero (más intenso al oeste de Cabo Peñas) y la alternancia de periodos de estratificación y mezcla en aguas más oceánicas. Ya en pleno océano, se pueden apreciar giros anticiclónicos que se forman a partir de la IPC



**Figura 1.** A: mapa batimétrico de la costa asturiana en la que se aprecian la estrechez de su plataforma, los profundos cañones de Avilés y Lastres, y las pequeñas pero interesantes Rías de Villaviciosa, Eo y Tinamenor (Batimetría de Tranchero-IEO de la Coruña - modificada de GEBCO). B: Mapa de la Península Ibérica en el que se esquematizan los principales procesos oceanográficos (Philippart *et al.* 2007). C: Foto de energía cinética de giros del océano que recoge el Atlántico Norte, obtenida con el Basic Radar Altimetry Toolbox (BRAT) en <http://earth.esa.int/brat>.

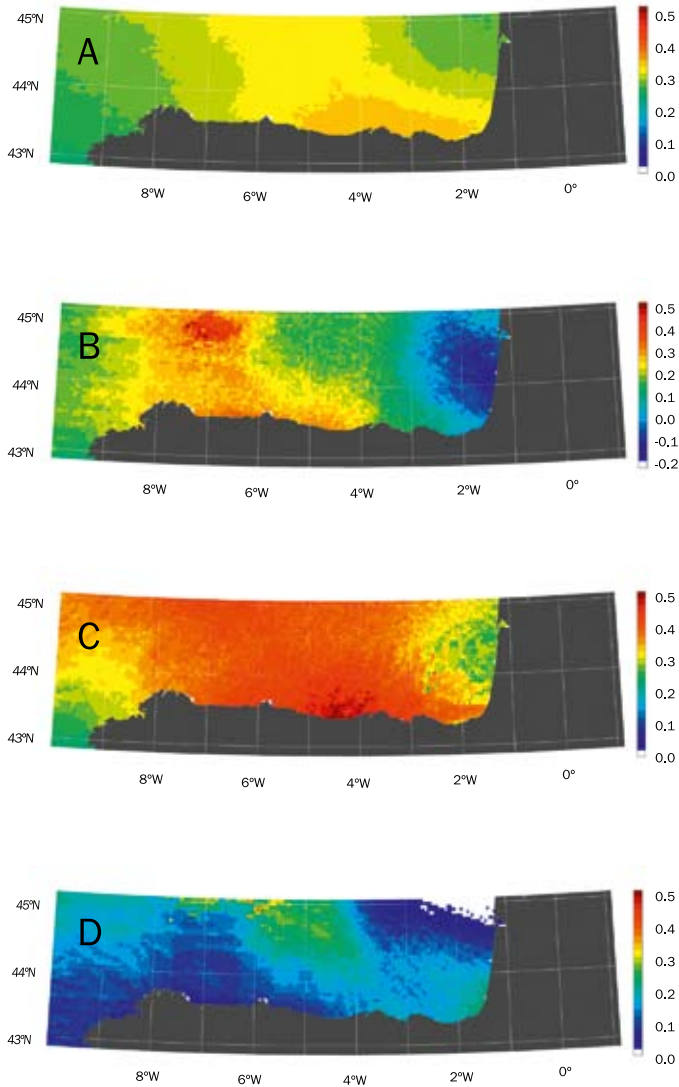


Figura 2. Incremento térmico del agua superficial entre 1985-2006 en °C por década. A: temperatura media; B: rango entre temperatura máxima y mínima; C: temperatura máxima; D: temperatura mínima (González-Taboada y Anadón, 2008).

en el ángulo Noreste de la Península Ibérica o en el interior el Golfo de Vizcaya (Figura 1C).

Como resultado del afloramiento estival se detecta en la costa un gradiente de temperatura que aumenta de oeste a este. Muchas especies de aguas templado-frías (boreoatlánticas) son más comunes en el oeste de Asturias y en la costa gallega, mientras que especies de aguas templado-cálidas son más abundantes hacia el este, y pueden no estar presentes en la parte occidental (Fischer-Piette 1963, André 1970, Saldanha 1974, Anadón 1983, Arrontes y Anadón 1990, Boaventura et al. 2002, Sánchez et al. 2005). Este gradiente biogeográfico tan marcado también se detecta en la producción primaria, las cadenas tróficas marinas, la pesca y la acuicultura.

## 5.2 CAMBIOS DETECTADOS

En este apartado se analizan las evidencias existentes hasta la actualidad de los cambios observados en el Mar Cantábrico y en especial en la costa de Asturias, y los posibles impactos que estos cambios puedan originar.

### HIDROGRAFÍA

Según las reconstrucciones de Planque et al. (2003) a partir de datos del COADS, la temperatura del agua superficial en el Golfo de Vizcaya ha fluctuado desde 1860 hasta la actualidad. Desde 1900 la temperatura aumenta, con una pequeña atenuación del incremento hacia 1970, y a partir de esa fecha el incremento térmico superficial se acelera. El análisis más reciente de datos de satélite muestra un calentamiento importante, entre 0,25 y 0,35 °C por década (Figura 2A) que es más acusado en el caso de las temperaturas máximas, lo que incrementa el rango de

temperaturas (Figuras 2B, C y D). Este efecto se produce en aguas costeras y oceánicas en todo el Cantábrico.

De los cambios en la costa de Asturias existe información experimental mucho más reciente, que se corresponde con el inicio del proyecto RADIALES en la costa situada frente a Cudillero (<http://www.seriestemporales-ieo.net>). Con este proyecto se ha podido poner de manifiesto que los incrementos térmicos superficiales entre 1993 y 2003 son más evidentes e intensos en aguas del talud continental (0,055 °C por año) que en la costa (0,021 °C por año). Este calentamiento puede detectarse hasta 20 m de profundidad en el océano. Si se incluyen datos hasta 2007, el calentamiento en el talud es mayor (0,075 °C por año) (Figura 3) (Llope y Anadón 2007) y los autores lo asocian a la advección de aguas de origen subtropical, siendo un proceso no lineal no bien aclarado.

Esta misma tendencia se ve reflejada en aguas subsuperficiales y profundas en la costa de Cantabria frente a Santander (González-Pola et al. 2005). Aunque como era previsible, el calentamiento es menor que en las aguas superficiales, es indicativo de una transmisión de calor hacia las aguas profundas (Figura 4) y de la potencia del proceso de calentamiento.

Así como las tendencias de cambio de la temperatura son claras no ocurre lo mismo con la salinidad. Los autores antes citados detectan una dilución leve de las aguas subsuperficiales, mientras encuentran una tendencia contraria en aguas de profundidad superior a 600 m (González-Pola et al. 2005).

Recientemente Somavilla et al. (2008) indican un cambio regional importante debido a una mezcla invernal anómala provocada por el seco invierno de 2005. Este hecho ha provo-

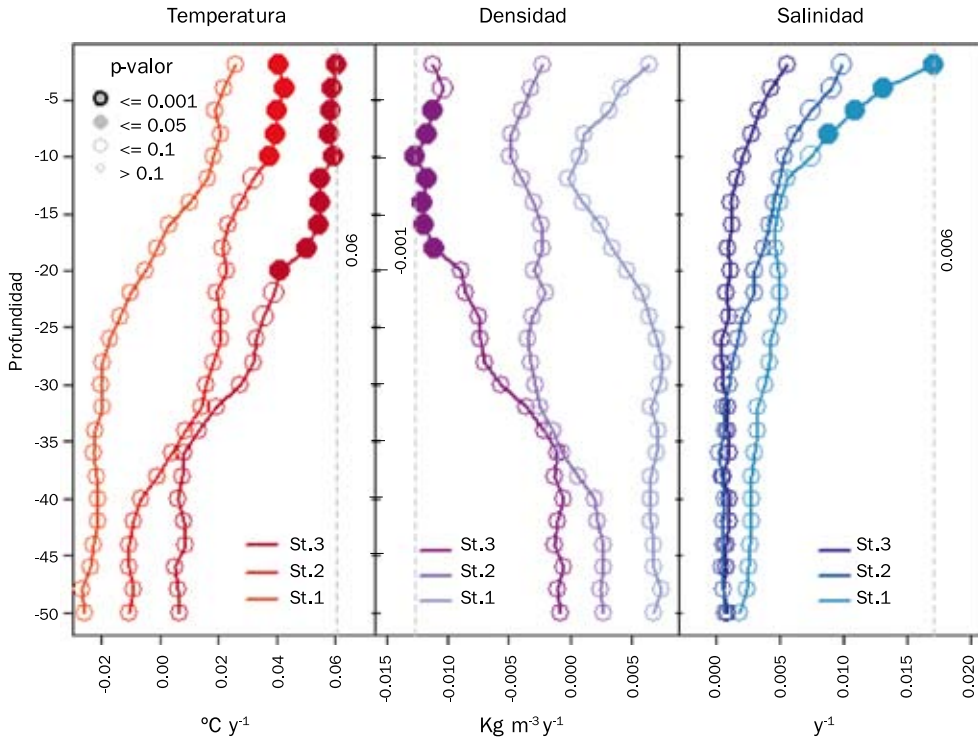


Figura 3. Cambios en la temperatura, densidad y salinidad a distintas profundidades (m.) en las tres estaciones de la RADIAL de Cudillero entre 1993 y 2006 (Llope y Anadón, 2007).

cado cambios de salinidad y temperatura en toda la columna de agua hasta una profundidad no conocida. Estos autores sugieren un efecto regional de la Oscilación del Atlántico Norte (NAO), y señalan que inviernos cálidos pueden provocar la finalización de su influencia en aguas por debajo de la termoclina permanente, tal como ocurrió en el invierno de 2007.

El significado de la NAO en los cambios a largo plazo de ambas variables no está claro y deberá seguirse con atención su evolución.

Todos los incrementos de temperatura detectados afectan a la densidad de las aguas

superficiales, que se reduce, a la vez que aumenta el gradiente de densidad entre aguas superficiales y subsuperficiales (Llope y Anadón 2007). Este incremento debe estar asociado al aumento en la duración del periodo estival de estratificación (Figura 5), hecho que reflejan las estimaciones basadas en datos de satélite (González-Taboada y Anadón 2008). Estos cambios en la estructura de la columna de agua observados en la costa asturiana han generado modificaciones químicas y biológicas.

La primera señal detectable es una tendencia a la reducción en la concentración de

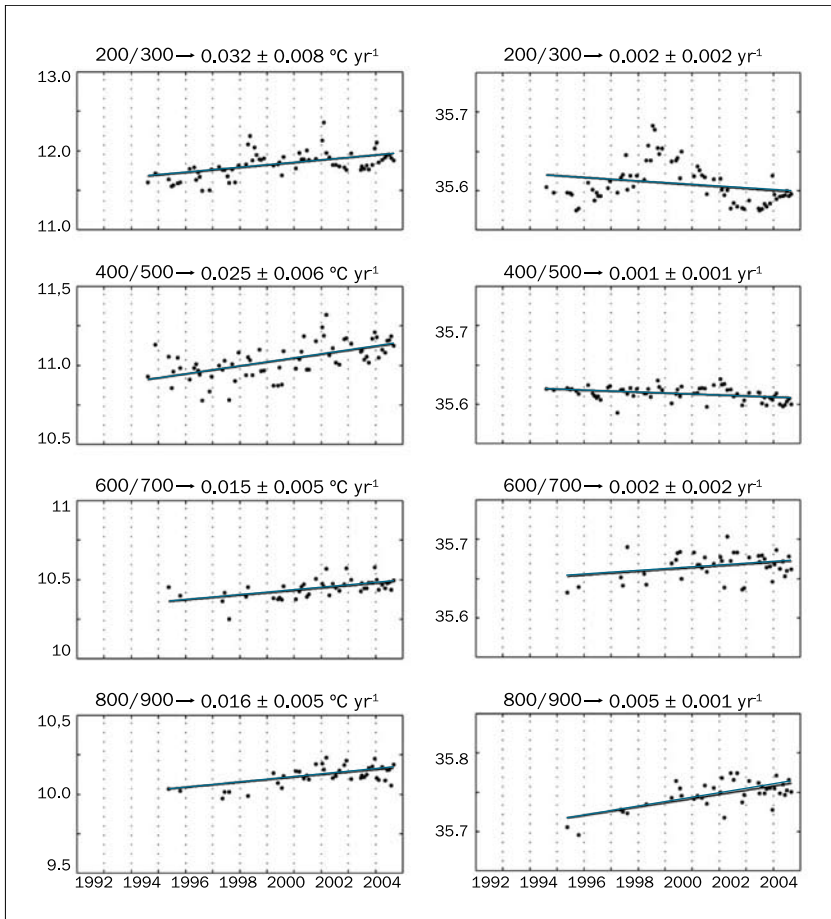


Figura 4. Tendencias de la Temperatura potencial (°C) y la salinidad obtenidas a partir de la serie temporal de la estación 7 de la RADIAL de Santander. En la cabecera de cada gráfica se indica la profundidad en decibares seguida de la ecuación de la recta de ajuste (González-Pola *et al.* 2005).

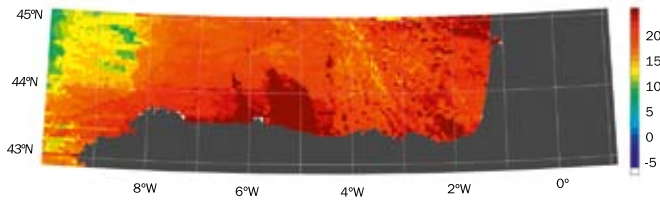


Figura 5. Aumento del período de estratificación en días por década obtenido a partir de datos de satélite (González-Taboada y Anadón, 2008).

algunos nutrientes inorgánicos, nitrato y silicato sobre todo, mientras que en el fosfato no se aprecian modificaciones en los diez años analizados hasta el momento (Tabla I). Los cambios son más evidentes en la estación oceánica, probablemente debido a la mayor variabilidad de las áreas costeras.

Cuando la columna de agua está mezclada, los cambios en la concentración de nutrientes dependen del Agua Central que esté presente en la zona durante esa época. Esa variabilidad interanual no está bien definida pero podría ser oscilatoria (Pérez et al. 1995, Llope y Anadón 2007), lo que impide por el momento un análisis más explícito de su influencia. Se han sugerido efectos sobre la composición del fitoplancton pero su relación con el cambio cli-

mático, por ejemplo el sistema de circulación del Atlántico Norte, es desconocido (Llope et al. 2007).

No se dispone de información sobre la acidificación por captura de  $\text{CO}_2$  antropogénico (CANT) en Asturias, pero dado que es un proceso generalizado no debe diferir de lo encontrado por Ríos et al. (2001) entre 1977 y 1997, y ampliado hasta el 2006 para aguas del Noroeste Ibérico. Estos autores encuentran una variación lineal del pH de  $-0,0164 \Delta\text{pH dec}^{-1}$  en la capa entre 100 y 700 m de profundidad. Este descenso se asemeja al esperado para la capa superficial si alcanzara el equilibrio con la atmósfera. Aunque en profundidad es menos acusado, se detecta por debajo de los 2000 m. Este descenso supone un aumento de la

Tabla I. Tendencias lineales en la concentración de nitrato y silicato a dos profundidades en las tres estaciones de la RADIAL de Cudillero (Llope et al. 2007). Valores en  $\mu\text{mol Kg}^{-1} \text{a}^{-1}$ . n.s.: no significativo.

	Prof. (m)	Estación costera	Estación plataforma	Estación talud
Nitrato	10	-0,033	-0,093	-0,081
	50	n.s.	n.s.	-0,131
Silicato	10	n.s.	-0,066	-0,043
	50	ns.s	n.s.	-0,063



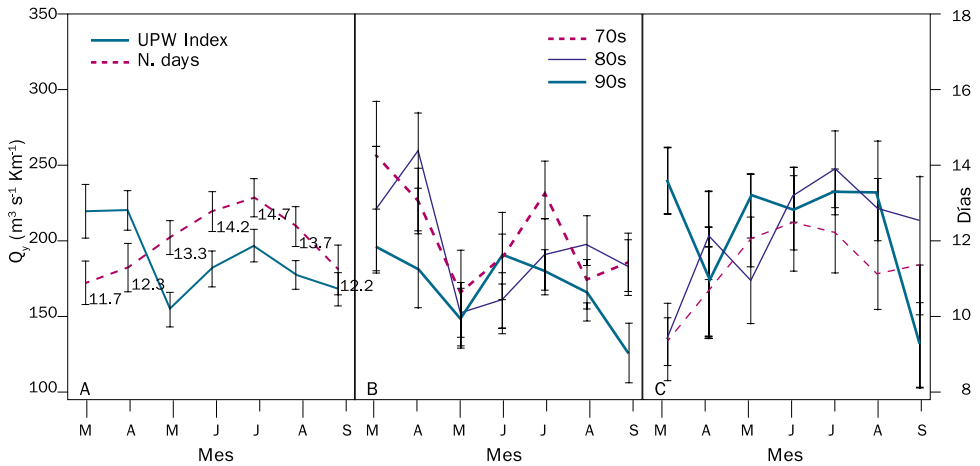


Figura 6. A: Valor medio y desviación estándar del transporte de Ekman positivo (intensidad de afloramiento) y número de días de valores positivos por mes (frecuencia de afloramiento) desde Marzo a Septiembre (1969-2003). B: Intensidad del afloramiento en las tres últimas décadas del siglo XX. C: Número de días con afloramiento por década (Llope *et al.* 2006).

solubilidad del  $\text{CO}_3\text{Ca}$  del 16 % respecto a la época preindustrial, y sería un indicio claro de posibles impactos sobre los organismos como los que sugieren informes recientes (Royal Society 2005). No se dispone de evidencias que indiquen fenómenos de subsaturación de aragonito con pH por debajo de 7,7 en aguas superficiales, como los encontrados de forma reciente con situación de afloramiento por Feely *et al.* (2008) en las costas del Pacífico de Norteamérica.

Sí se han detectado cambios de estacionalidad en el afloramiento estival, y también en su intensidad, como en la costa gallega (Castro *et al.* 2009). Este proceso hidrográfico que reduce la temperatura de las capas superficiales de las zonas costeras y aporta nutrientes inorgánicos ha sufrido una modificación importante en la última década del siglo pasado. Dada su relación con la duración e intensidad

de los vientos del noreste, la respuesta a un cambio de clima es evidente. Las tendencias principales son la reducción de la intensidad y del número de días en los que aparece el fenómeno en los meses centrales del verano (Figura 6). Sin embargo, se incrementa en primavera y aparentemente en otoño, como si existiera una tendencia a la bimodalidad (Llope *et al.* 2006). Parece muy probable que la reducción del afloramiento estival esté también detrás de los incrementos térmicos estivales, pero con menor influencia sobre los mínimos anuales, tal como se ha comentado.

#### ELEVACIÓN DEL NIVEL DEL MAR

La elevación del nivel del mar en el Cantábrico está bien documentada (Marcos *et al.* 2005, Marcos *et al.* 2007). Entre 1947 y 1996 el incremento detectado por mareógrafos en Santander se sitúa en 8 cm mientras



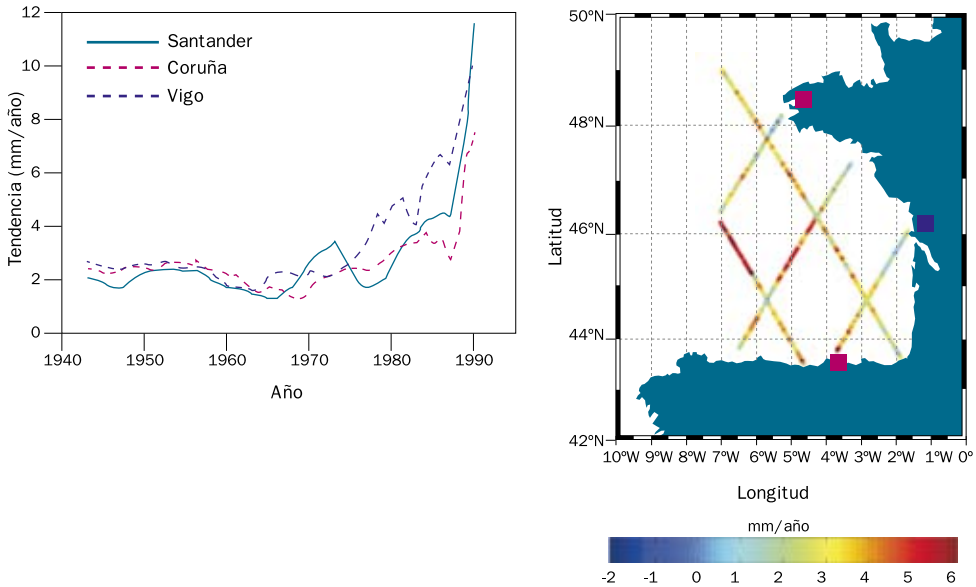


Figura 7. A: Tendencias calculadas de elevación del nivel del mar para el período entre cada año y el año final de los registros (2001). El último valor utiliza 10 años (Marcos *et al.* 2005). B: Tendencias en el nivel del mar computado en cada bin de los recorridos del TOPEX en el Golfo de Vizcaya entre 1993 y 2002 (Marcos *et al.* 2007).

en La Coruña es de 12 cm, pero con oscilaciones. La tendencia por décadas manifiesta un incremento relativamente rápido según nos acercamos hasta la actualidad (Figura 7A). El hecho de considerar como mínimo una media de 10 años confiere seguridad a los resultados obtenidos por estos autores.

Aunque la serie temporal analizada a partir de datos del satélite TOPEX es de una década, el valor medio calculado para el Golfo de Vizcaya es de  $3,09 \pm 0,21$  mm por año (Marcos *et al.* 2007). Esta elevación se reduciría en la costa y sería más elevada en áreas de mayor profundidad. Este último valor se parece mucho a la elevación media del nivel del mar en el mundo, pero conviene tener presentes las diferencias geográficas que se detectan.

Es posible que la elevación media del nivel del mar se encuentre realmente entre lo estimado a partir de mareógrafos y a partir de satélites, y por tanto entre 3 y 6 mm por año.

#### OLEAJE, MAREA METEOROLÓGICA Y VIENTO

Los otros forzamientos considerados como fundamentales para detectar los posibles impactos inducidos por el cambio climático son el oleaje, la marea meteorológica y el viento. El oleaje es el principal agente modelador de la costa. Cualquier variación en su intensidad, dirección o ángulo de abordaje tendrá efectos sobre la morfología de la costa, los procesos de transporte de sedimentos y sustancias, pero también sobre la funcionalidad y estabilidad de las infraestructuras situadas en la

costa. Para su análisis se considera la evolución de diferentes parámetros estadísticos representativos de las condiciones medias y extremas. Análogamente, la marea meteorológica se considera como otra variable con implicaciones muy importantes, especialmente asociadas a procesos de inundación y erosión. La marea meteorológica es la variación del nivel del mar inducida por fenómenos atmosféricos, esencialmente presión y viento, y no debe confundirse con la marea astronómica. Para su estudio se toman también parámetros estadísticos representativos de las condiciones medias y extremas. Finalmente, el viento que evidentemente contribuye a la generación del oleaje y de la marea meteorológica, es también un agente importante. En este caso se incluye de forma independiente al ser un factor primordial en el transporte eólico que controla la morfología de las dunas.

De algunas de las variables más importantes para evaluar los impactos se dispone de registros de observaciones limitados en el espacio y en el tiempo. Estas limitaciones se pueden superar parcialmente mediante la utilización de bases de datos generadas mediante retroanálisis numérico. Por tanto, los resultados que se presentan a continuación son el resultado del análisis de las tendencias calculadas a partir de resultados numéricos obtenidos para el periodo (1958-2001) y con una resolución espacial de unos 10 km, es decir, un dato cada 10 km, es decir, un dato cada 10 km. Esta base de datos, ha sido calibrada y contrastada mediante la utilización de la información procedente de las boyas de Puertos del Estado y datos de satélite, por lo que se trata de la base de datos más completa y contrastada de estas variables oceanográficas disponible en el país hasta el momento.

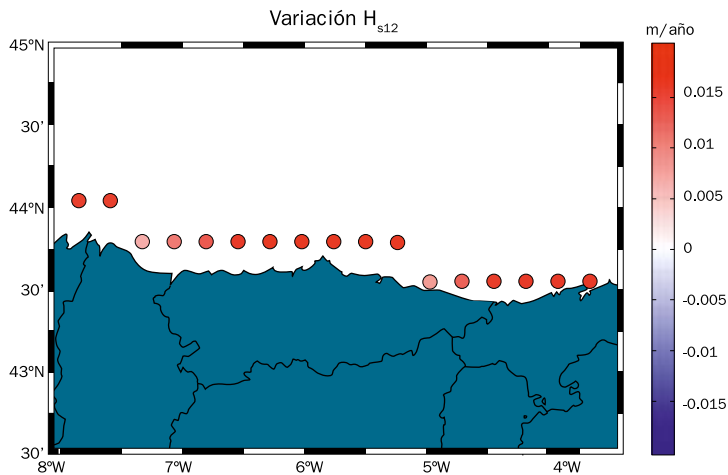


Figura 8. A: Tendencias de cambio obtenidas para la variable  $H_{s12}$ , altura de ola significativa de probabilidad de ocurrencia al menos 12 horas al año. Esta variable es indicadora de la rama media-alta del oleaje y es un valor muy frecuentemente utilizado en el campo de la ingeniería de costas especialmente para estudiar erosión en playas (GIOC 2005).

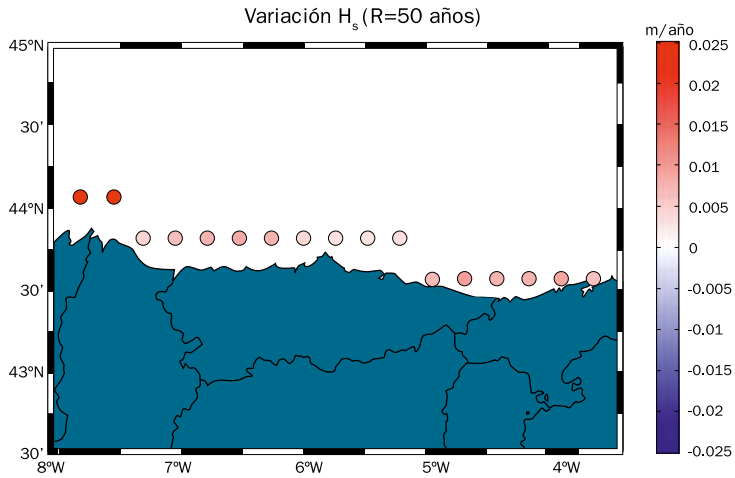


Figura 9. Tendencias de cambio observadas en la altura de ola significativa de período de retorno de 50 años correspondiente a valores extremos del oleaje (GIOC 2005).

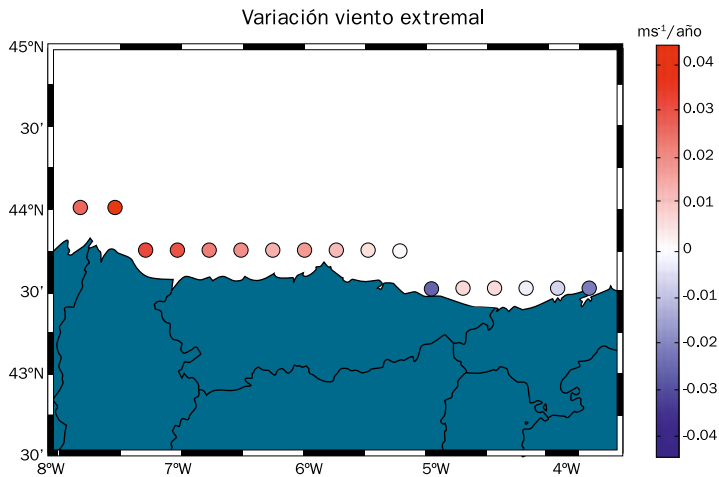


Figura 10. Tendencias de cambio observadas en los valores extremos de la intensidad de viento (GIOC 2005).

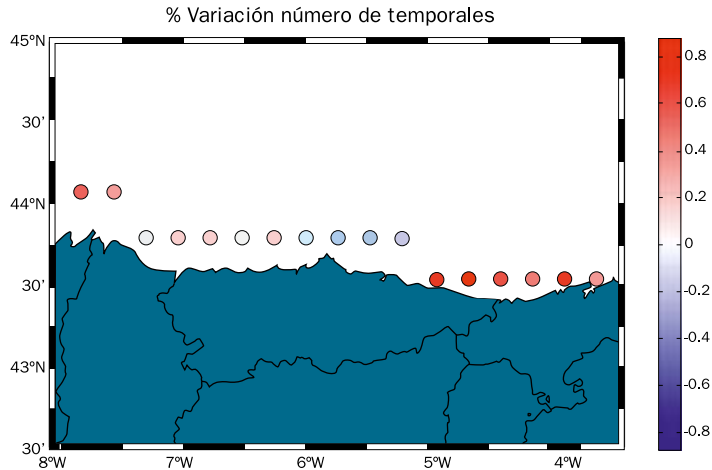


Figura 11. Tendencias en el porcentaje de variación del número de temporales observados en los últimos 45 años (GIOC 2005).

Los resultados obtenidos muestran un aumento de la energía del oleaje que llega a la costa asturiana y que ha sido observado para todo el Cantábrico. Este aumento es mayor para la rama alta del régimen medio (Hs12, altura de ola significante excedida 12 horas al año, Figura 8).

Como puede observarse en la figura 9, durante los últimos 50 años se ha observado un aumento de la altura de la ola de unos 1,5 cm./año en todo el litoral asturiano. Sin embargo, la magnitud del incremento es menor para los sucesos más extremos (HT50, altura de ola con periodo de retorno de 50 años) con valores en el entorno de 5 mm/año. Este comportamiento produce una leve tendencia positiva en las duraciones de excedencia de alturas de ola.

La dirección predominante del oleaje tiende a una orientación más Oeste, y de mayor intensidad en la costa occidental. Las tenden-

cias que se obtienen para las variables de viento y marea meteorológica, tanto de régimen medio como extremo son negativas exceptuando el viento extremo en la costa Oeste de Asturias, donde se produce un incremento (Figura 10). Aún así, estas últimas variaciones son mínimas.

El análisis de los datos muestra también un ligero aumento del número de temporales especialmente en la costa oriental mientras que en la costa occidental es ligeramente inferior o imperceptible. En la costa central se ha observado un ligero descenso del número de temporales (Figura 11).

#### FITOPLANCTON Y ZOOPLANCTON

En la costa de Asturias se ha detectado una reducción significativa ( $-0,182 \text{ mg C m}^{-2} \text{ h}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ,  $p < 0.001$ ) en la productividad marina de la estación de plataforma de Cudillero (Llope et al. 2007, Valdés et al. 2007). Esta

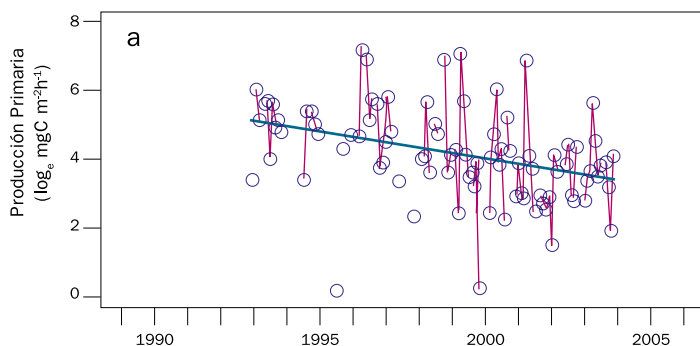


Figura 12. Variación de la producción primaria en la estación de plataforma de la Radial de Cudillero (Valdés et al. 2007).

reducción puede ser debida al descenso en la concentración de nutrientes y al cambio en la estacionalidad del afloramiento y, por tanto, a un efecto indirecto del Cambio Climático.

El descenso de la productividad primaria encontrado parece asociado a un descenso en la concentración de clorofila en superficie, detectado a partir de imágenes del satélite SeaWiFS de la última década (González-Taboada y Anadón 2008) y es más evidente en la costa occidental de Asturias. También se han detectado cambios en la estacionalidad de las floraciones primaverales del fitoplancton.

Ambas respuestas se ven reflejadas en la costa gallega (Castro et al. 2009), lo que podría indicar un proceso regional común para el noroeste de la Península Ibérica, o la superposición de dos procesos: aumento del periodo de estratificación y reducción del afloramiento estival.

No se dispone de información precisa sobre los efectos que los cambios observados en la física y química oceánica han podido causar en la composición específica del fitoplancton, aunque se ha demostrado la existencia de efectos interanuales provocados por cambios

en la concentración invernal de nutrientes y sus relaciones estequiométricas (Llope et al. 2007). En las costas gallegas (Varela et al. 2009) detectan a partir de la serie del Continuous Plankton Recorder (CPR) en el área F4 un descenso en la abundancia de diatomeas, que en la Ría de Coruña parece relacionado con descenso de la clorofila a. Sin embargo, por lo que se deduce de análisis del fitoplancton de la estación de plataforma de la RADIAL de Cudillero, no parece que este cambio esté ocurriendo en las costas de Asturias. En cambio, un aspecto interesante es la reciente presencia en el fitoplancton de la costa cantábrica de organismos de zonas oligotróficas, destacando las cianobacterias *Prochlorococcus* y *Synechococcus*, ambas con una marcada estacionalidad (Calvo-Díaz et al. 2004, Calvo-Díaz et al. 2008).

No existe una respuesta clara en el caso de la biomasa de zooplancton. En la estación de plataforma de la RADIAL de Cudillero se aprecian cambios entre 1993 y 2003 (Figura 14), pero no tendencias significativas; y eso a pesar de lo ya señalado del incremento de la estratificación estival. En la serie más larga de

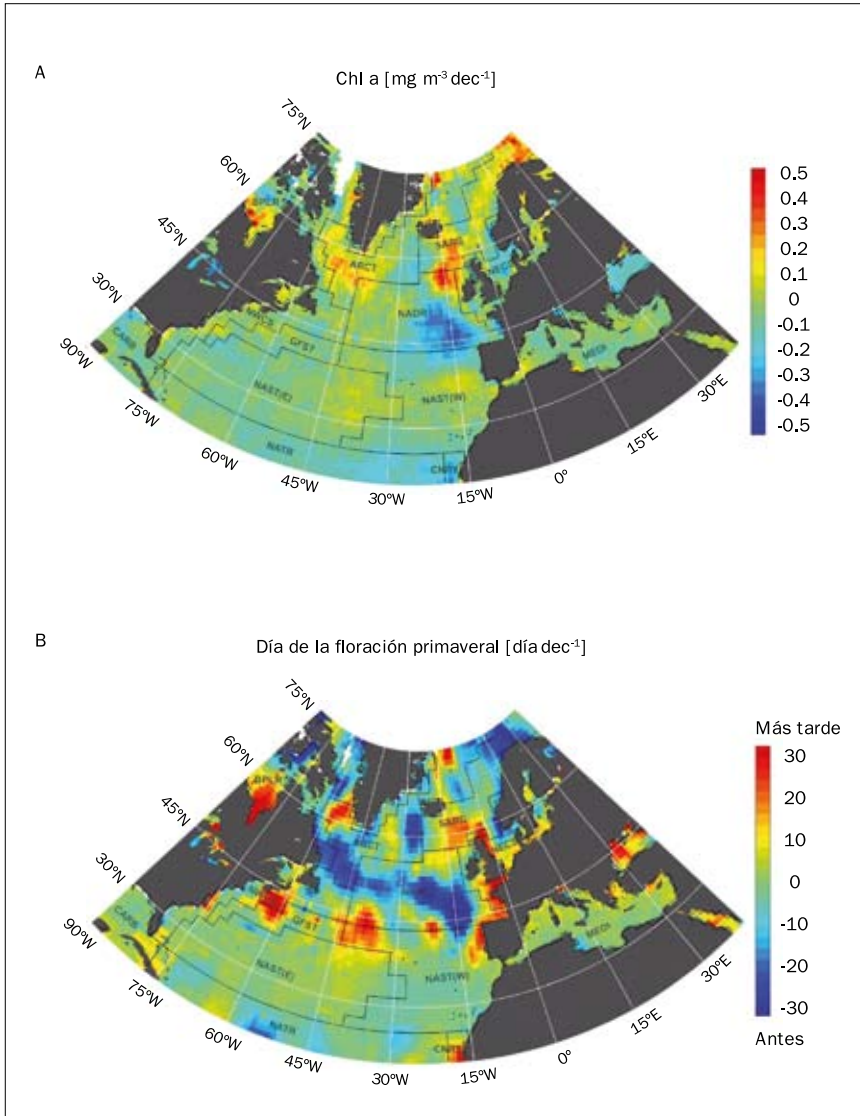


Figura 13. A: Cambio en la concentración de clorofila a superficial y B: cambio en la fecha de producción de la floración primaveral de fitoplancton (González-Taboada y Anadón, 2008).

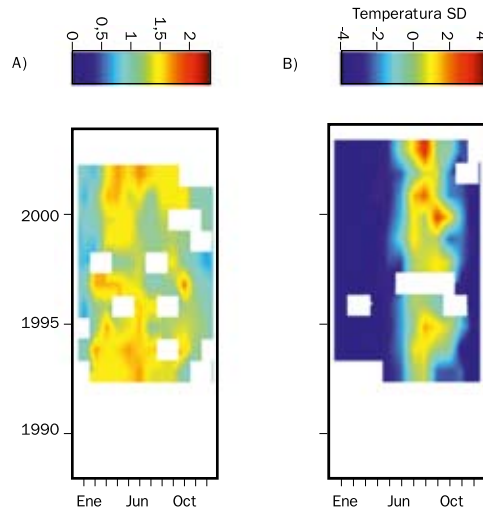


Figura 14. A) Biomasa de mezooplancton ( $\text{g m}^{-2}$ ). B) Índice de estratificación en la estación de talud de la RADIAL de Cudillero (Valdés *et al.* 2007).

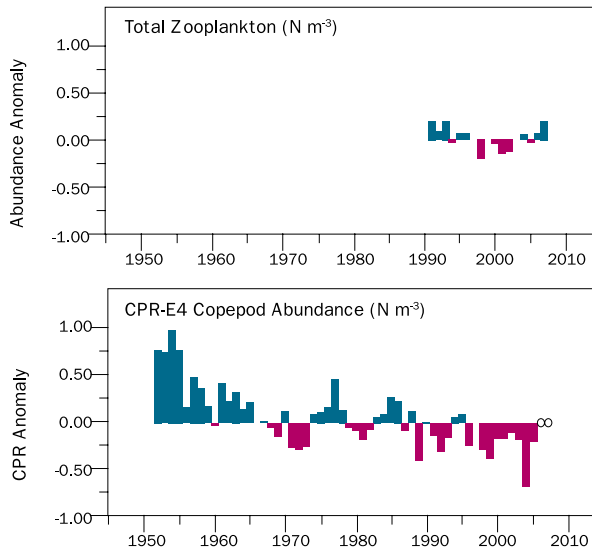


Figura 15. Cambios a largo término en la abundancia del total del zooplancton en Santander y de copépodos en el área estándar E4 del CPR (O'Brien *et al.* 2008).

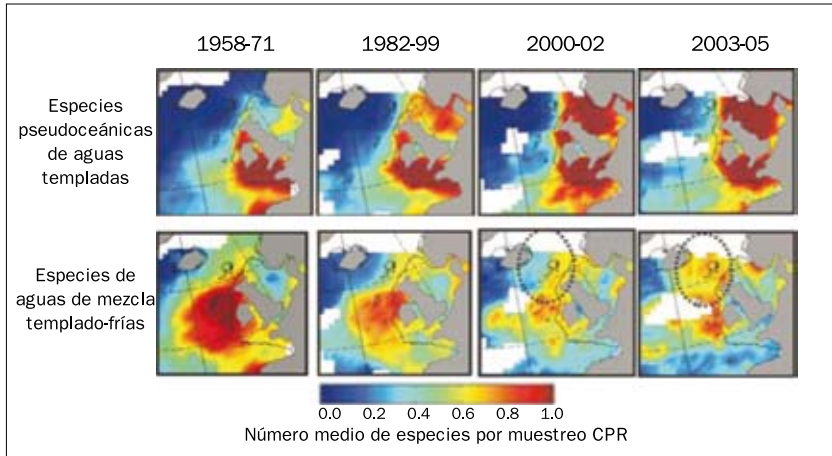


Figura 16. Cambios biogeográficos en las agrupaciones de copépodos del Atlántico norte a lo largo de 5 décadas (Edwards *et al.* 2008). Se aprecia el importante cambio ocurrido en el Cantábrico sobre todo en la última década.

información existente, derivada de los muestreos del CPR si se aprecia una tendencia decreciente de la biomasa del zooplancton en el Golfo de Vizcaya, muy significativa en esa escala temporal (Figura 15). Aunque los muestreos se realicen frente a Santander, posiblemente sean extensibles a la costa asturiana por los cambios antes señalados de estratificación y producción primaria. No sería extraño que cambiara la estacionalidad de los máximos de biomasa, aunque no existen evidencias en la actualidad.

El cambio climático está modificando la distribución de las especies de zooplancton (Southward *et al.* 1995). En el Atlántico Norte (Beaugrand *et al.* 2002) a partir de los muestreos del CPR han detectado un desplazamiento hacia el norte de las áreas de distribución de algunas especies de copépodos. La tendencia al desplazamiento latitudinal se

aprecia en especies con distintas afinidades ambientales, y estos autores estiman desplazamientos de hasta 1000 km. entre 1954 y el 2000. Este desplazamiento parece acelerado desde comienzos del actual siglo (Edwards *et al.* 2008) (Figura 16).

Algunas especies típicas de zonas templado cálidas como *Temora stylifera* (Figura 17), *Oncaea media* y *Ditrichocorycaeus anglicus* incrementan su abundancia según el ambiente se hace más cálido, mientras otras especies características de aguas frías están reduciendo su abundancia en el Cantábrico (Llope *et al.* 2004, Valdés *et al.* 2007).

Aunque no se conocen los factores responsables de los cambios observados, parece fuera de duda que el incremento térmico, o los cambios en la productividad o en la estacionalidad de procesos, están detrás de estas modificaciones.



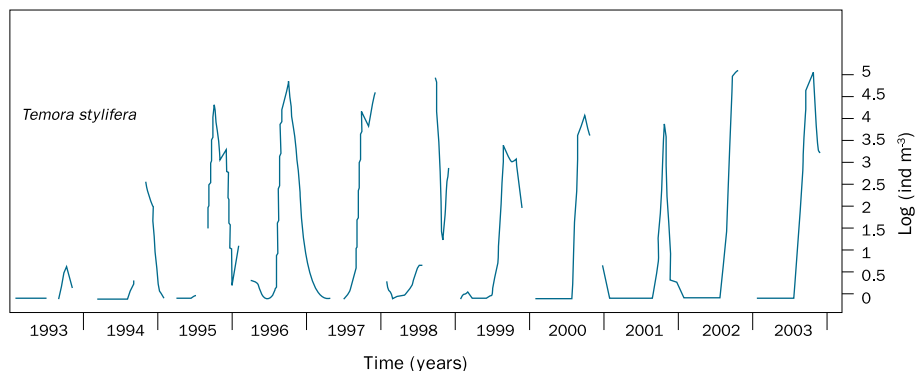


Figura 17. Abundancia de *Temora stylifera* en la Estación 2 de la RADIAL de Cudillero, en la que esta especie era ocasional y de muy baja abundancia (Llope *et al.* 2004).

Los efectos que pueden provocar en la red trófica no han sido analizados en el Cantábrico, pero existen evidencias de efectos profundos sobre el reclutamiento de peces en sistemas pelágicos menos complejos, como es el Mar del Norte (Beaugrand *et al.* 2003).

### RECURSOS PESQUEROS

Al igual que ocurre con el zooplancton, cada vez son más frecuentes las citas de peces subtropicales que aparecen en el Cantábrico y las costas gallegas (Bañón *et al.* 1997, Fernández-Cordeiro y Bañón 1997, Quero *et al.* 1998, Bañón *et al.* 2002, Arronte *et al.* 2004, Bañón 2004, Bañón y Sande 2008) (Figura 18); además, aparecen otros grupos, como decápodos (Cabal *et al.* 2006). También es destacable la menor presencia de especies comunes hace pocas décadas; la mayor parte de los registros corresponde a ejemplares aislados (Quero *et al.* 1998), pero especies como la anchoa, que viven en cardúmenes, comienzan a ser objeto de pesquería en el norte de Europa, como lo fueron en el pasado en condiciones climáticas más cálidas (Enghoff *et al.* 2007).

Los recursos marinos explotados históricamente por el hombre en Asturias incluyen un amplio rango de organismos, desde algas y moluscos hasta ballenas. Concheros en depósitos paleolíticos asturianos (cueva de La Riera, 17000 AC (Ortea 1986)) demuestran que ya en época prehistórica el hombre hacía uso del hábitat intermareal como fuente de recursos alimenticios, a pesar de recientes reconsideraciones sobre los registros arqueológicos (Bailey y Craighead 2003). La caza de ballenas ha sido también una práctica común en nuestras costas desde la Edad Media hasta su prohibición a mediados de los años 80.

Hoy la pesca sigue siendo una actividad importante en Asturias. El alcance socioeconómico va mucho más allá de la mera actividad extractiva, incluyendo astilleros, fábricas de hielo, lonjas, rederos, industria conservera, distribución y venta, etc. Por ello, una merma en las capturas se traslada, en efecto cascada, a los servicios y sectores dependientes.

La extracción de recursos pesqueros está sometida a regulación. Cuando una población decae es difícil identificar con precisión qué

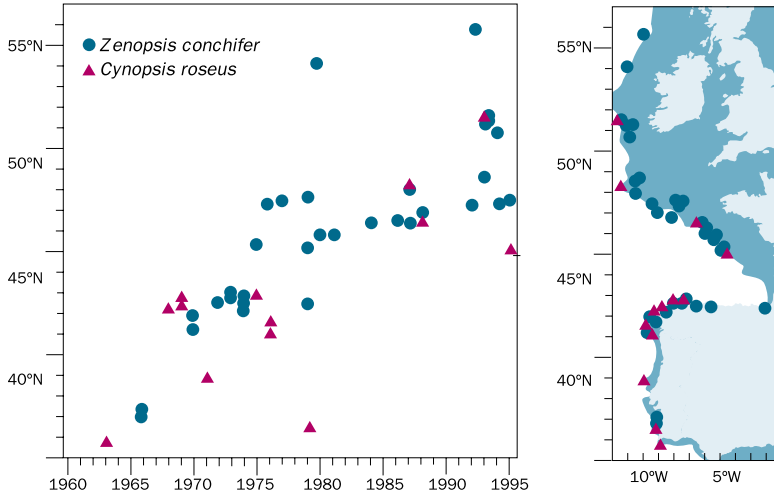


Figura 18. Distribución de capturas de *Zenopsis conchifer* y *Cynoscytus roseus* en la costa ibérica y Golfo de Vizcaya (OSPAR 2000) modificado de (Quero *et al.* 1998).

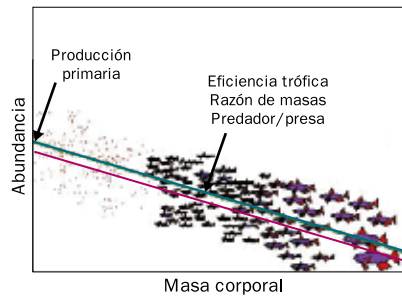


Figura 19. Relación teórica entre la masa de los organismos y su abundancia (línea azul). Si los productos primarios (fitoplancton) disminuyen es esperable un descenso en la abundancia de los demás organismos de la red trófica (línea magenta).

causas han influido en el declive del stock. En general se acepta que la mortalidad por pesca y la sobrepesca tienen más influencia en la dinámica de las poblaciones que los factores climáticos. De hecho, la mayor parte de las especies tienen rangos de distribución térmica suficientemente amplios para que cambios del orden de 1°C no sean determinantes en el declive de la población. No obstante, el rango de tolerancia térmica cambia a lo largo del ciclo vital de cada especie, siendo las etapas larvarias las más sensibles y de ellas depende el reclutamiento de la especie. Algunos ejemplos demuestran una relación entre forzamiento climático y reclutamiento.

Un efecto del descenso de la producción primaria o del aumento en la extensión de las zonas oligotróficas del Océano Atlántico puede

ser causa de la reducción en la biomasa explotable. Esta proyección se fundamenta en la relación entre el tamaño del cuerpo de los organismos y su abundancia en la red trófica marina. Si la producción primaria disminuye también lo hará la masa de organismos de niveles tróficos superiores, donde se encuentran la mayoría de las especies explotadas (Figura 19).

El incremento de temperatura superficial observado en el mar Cantábrico durante las dos últimas décadas ha podido influir, directa e indirectamente en las poblaciones de peces, sobre todo en las pelágicas (sardina, anchoa, bonito, etc.). Estos efectos se pueden observar por cambios en la producción y capturas, y en la distribución de las especies.

Las especies pelágicas de vida corta, como la sardina y la anchoa, son muy dependientes

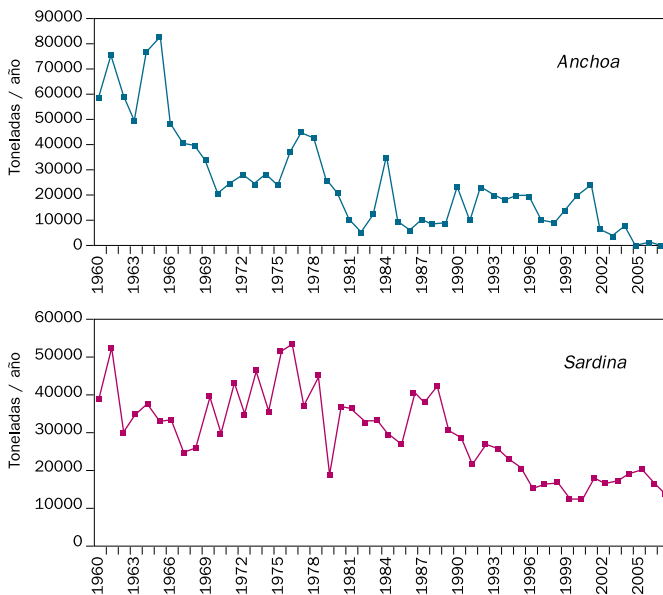


Figura 20. Serie temporal de descargas de sardina y anchoa correspondientes a capturas realizadas en las regiones VIIIbc (anchoa) y VIIIc (sardina) del ICES (datos ICES). Representación de A. Bode.

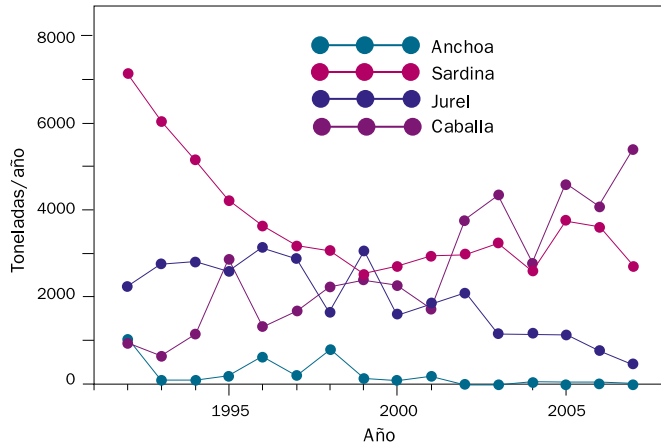


Figura 21. Serie temporal de descargas de peces pelágicos en puertos de Asturias (Estadísticas del CEP).

de la producción primaria por lo que una disminución de ésta puede llevar a una disminución de las capturas. Las capturas de sardina y anchoa han decaído notablemente desde los años 90 del pasado siglo (Figura 20) sin que hasta la fecha se haya encontrado una causa indubitable que explique este cambio, aunque parece que las condiciones medioambientales explican parte de la variabilidad.

A falta de un estudio en profundidad, de los datos de ventas de peces pelágicos en lonjas de Asturias (Estadísticas del Centro de Experimentación Pesquera de Asturias (CEP)) (Figura 21) se manifiesta la misma tendencia en la sardina, el jurel (chicharro) y la anchoa. Esta última está desplazando su área de pesca desde 1960 (ICES 2004, modificado por Villamor, Figura 22). En el sentido contrario se manifiesta la captura de caballa, que se incrementa en los últimos años (Figura 21).

Varias de estas especies han manifestado ciclos de abundancias que se han asociado a

su propia dinámica poblacional y a cambios más o menos cíclicos de los ecosistemas marinos (Anadón 1954, Wyatt y Porteiro 2002). Estas oscilaciones se pueden apreciar en la sardina y el jurel a partir de datos de España y Portugal (Figura 23), que además muestran un cierto grado de alternancia. Sin embargo, desde 1990 ambas especies han reducido su captura en todas las áreas del litoral ibérico y no oscilan. Este cambio de dinámica puede ser una manifestación de un cambio profundo resultado de respuestas a cambios ambientales y no sólo a explotación.

Los peces de fondos marinos (demersales) no manifiestan variaciones temporales importantes en los registros de capturas en puertos asturianos, y en el caso de existir no se podrían justificar sólo por cambios ambientales. No se puede descartar que se esté produciendo alguna influencia, como puede ser el caso de la bacaladilla y el besugo (Figura 24). El efecto de la sobrepesca puede interactuar con las

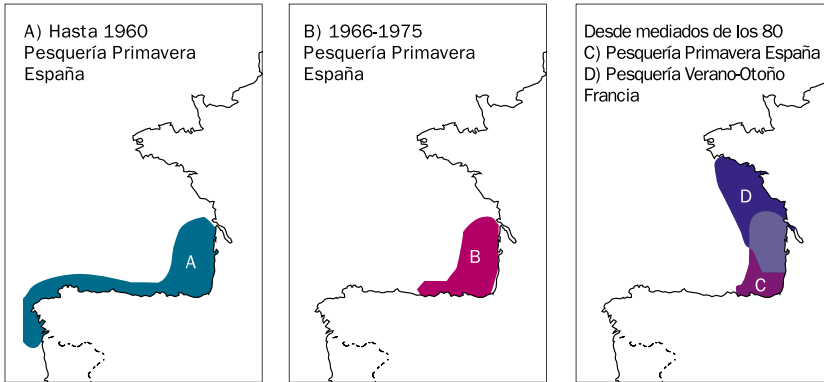


Figura 22. Áreas en las que la pesquería de la anchoa se desarrollaba en diferentes períodos de tiempo (ICES 2004) modificado por Villamor.

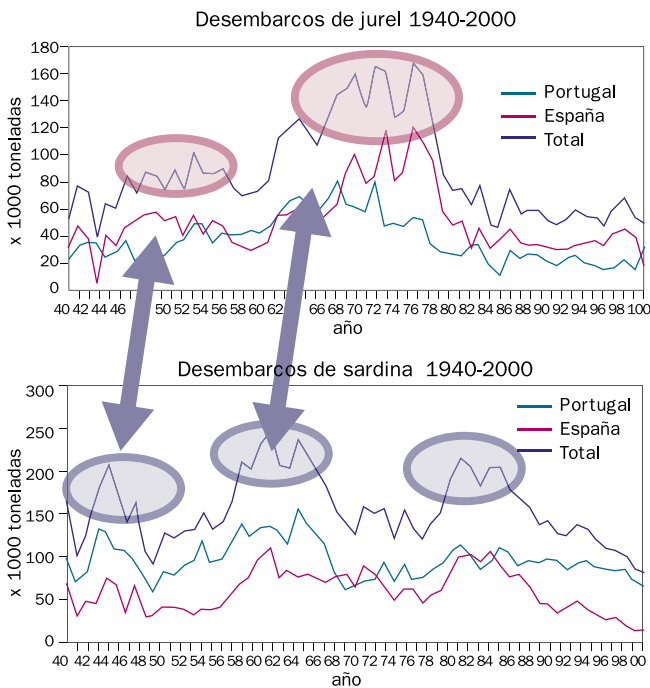


Figura 23. Serie temporal de desembarcos de sardina y jurel en las costas de España y Portugal. Se indican los cambios de abundancia entre ambas especies (datos recopilados por A. Bode de estadísticas de FAO).

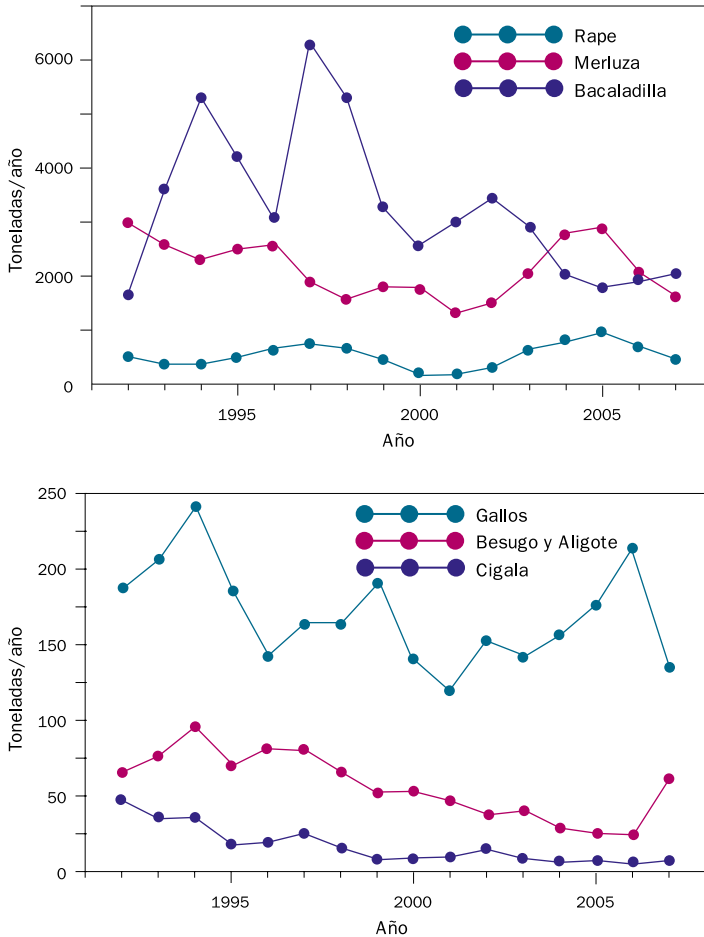


Figura 24. Descargas de peces de fondo en los puertos asturianos (Estadísticas del CEP).

modificaciones ambientales (ver por ejemplo (Beaugrand et al. 2003)), e incluso con cambios en las especies objetivo.

Teniendo en cuenta que en el Golfo de Vizcaya muchas especies de peces se encuentran en el límite sur o norte de su rango de distribución, es probable que se produzcan

cambios de abundancia. Estos cambios se relacionarían con cambios en el ambiente que afectarían a los estados adultos y a las fases larvarias, bastante más sensibles. En un área próxima, en la plataforma francesa del Golfo de Vizcaya, se detecta una tendencia al incremento de abundancia de peces demersales

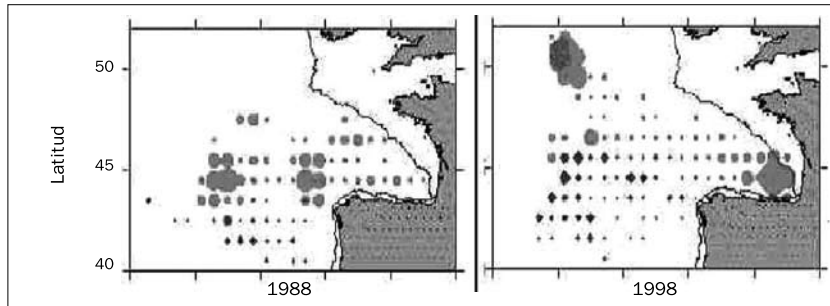


Figura 25. Localización de las capturas de bonito en 1988 y 1998. Se manifiesta un desplazamiento hacia el norte de las zonas de captura, que se asocia al desplazamiento de la isoterma de 18°C (informe AZTI).

con amplio rango de distribución latitudinal (principalmente especies subtropicales), mientras que la abundancia de peces de aguas templadas y de menor rango de distribución ha sufrido un retroceso constante (Poulard y Blanchard 2005).

También se han detectado cambios en las rutas de grandes peces migratorios como los túnidos. El bonito del norte (*Thunnus alalunga*), que constituye una pesquería tradicional en Asturias (la costera del bonito), se ha desplazado hacia el norte (Informe AZTI, Figura 25), lo que implica mayores costes de explotación en términos de tiempo de desplazamiento y combustible para la flota.

Las pesquerías artesanales cercanas a la costa representan un caso particular. Aunque no existen trabajos sobre su evolución temporal en Asturias, si se pueden presentar como información preliminar los cambios de algunos grupos de especies a partir de la estadística pesquera (Estadísticas del Centro de Experimentación Pesquera del Principado de Asturias). Los peces explotados no parecen mostrar una tendencia de cambio si exceptuamos

al salmonete cuyas capturas aumentan y al congrio, que disminuye (Figura 26).

Un cefalópodo de interés para la flota artesanal es el pulpo (*Octopus vulgaris*), del que se disponen de datos de ventas en lonja desde 1992 (fig. 27); sin embargo la estadística está distorsionada al mezclarse hasta el año 2000 con el pulpo blanco o cabezón (*Eledone cirrhosa*). Actualmente se realiza un seguimiento de las capturas diarias de cada embarcación autorizada y un muestreo del tamaño y estado de madurez de los ejemplares capturados a lo largo de la época de pesca (de enero a julio). La captura de pulpos ha decrecido de forma significativa desde el año 2000 hasta la actualidad, aunque el peso de los ejemplares capturados aumentó en los dos últimos años.

Para las pesquerías de Galicia se ha descrito una relación directa entre los afloramientos y el ciclo de vida del pulpo (Rocha et al. 1999, González et al. 2005, Otero et al. 2007). De forma reciente se ha señalado que esta influencia de los afloramientos sobre los primeros estadios de vida del pulpo puede explicar hasta el 85% de la variabilidad interanual de

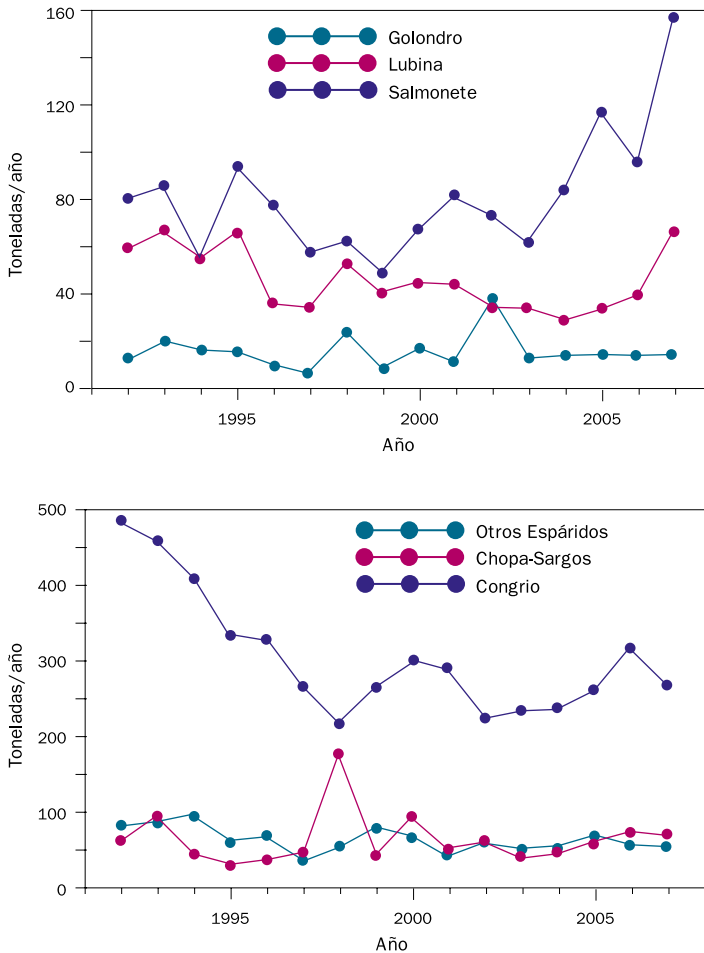


Figura 26. Venta de peces de costa en los puertos asturianos (Estadísticas del CEP).

las capturas de los adultos (Otero et al. 2008). Dado el descenso en la intensidad de los afloramientos en Asturias y sus cambios estacionales podríamos estar observando un fenómeno similar.

Otro cefalópodo que manifiesta un descenso continuado de sus capturas es la pota,

no apreciándose una tendencia definida en el caso del calamar y la sepia.

La angula (*Anguilla anguilla*) se pesca en Asturias desde hace más de 60 años; se dispone del registro de ventas de la lonja de San Juan de la Arena desde el año 1960 (Figura 28). La captura se mantuvo relativamente es-



table en las décadas de los 50 y 60, incrementándose de forma notoria en los años 70. A partir de 1980 se inicia un descenso que continúa hasta la actualidad, con una reducción del 99%.

No se conocen las causas concretas que justifiquen este descenso, aunque se aducen la polución, la pérdida de hábitat, la sobreexplotación y la transferencia de parásitos y enfermedades por la intervención humana. Recientemente se ha señalado que el calentamiento del Mar de los Sargazos, en donde se localiza su área de puesta, habría afectado a la productividad primaria e indirectamente a la tasa de supervivencia de los primeros estadios de vida de la anguila. Se trataría de un proceso que sufren todas las anguilas europeas, por lo que se podría considerar que la disminución de las capturas antes señalada para Asturias pudiera estar influenciada por el Cambio Climático. Actualmente la especie se ha declarado fuera de los límites biológicos de seguridad

(ICES 2004, 2008), y la Unión Europea ha instaurado un plan de recuperación (Reglamento (CE) N° 1100/2007 del Consejo, de 18 de septiembre de 2007).

Existen otros tipos de organismos explotados, aunque no de forma profesional, como es el caso del erizo de mar ("oricio") *Paracentrotus lividus*. Se han realizado campañas de evaluación en los años 1991 y 2006-2007 de las poblaciones explotables de oricios en la costa asturiana (Tecnología-Ambiental 1991a, 1991b, Álvarez-Raboso 2006, 2007). En este lapso temporal se ha encontrado que la biomasa total explotable en 2006 representa el 56,5% de la determinada en 1991 para la zona occidental, mientras que en la zona oriental, la biomasa total explotable en 2007 representa el 97% de la evaluada en el año 1991. No se puede achacar la reducción a efectos del Cambio Climático, pero la disminución de grandes algas pardas como las Fucáceas y Laminariales, tal como se señala en el siguiente apartado,

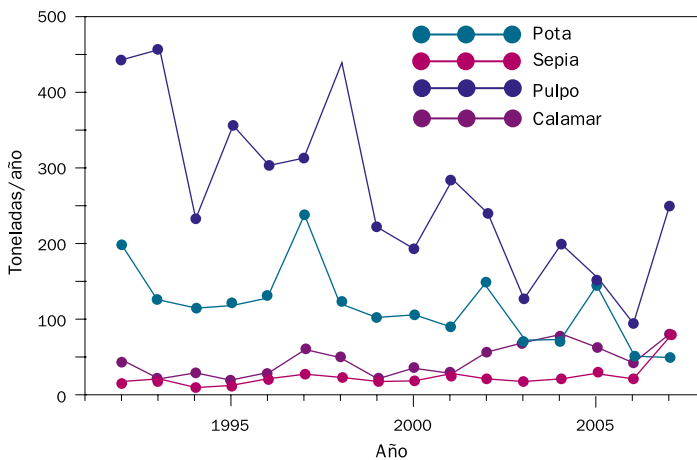


Figura 27. Descargas de pulpo y otros cefalópodos en los puertos asturianos (Estadísticas del CEP).

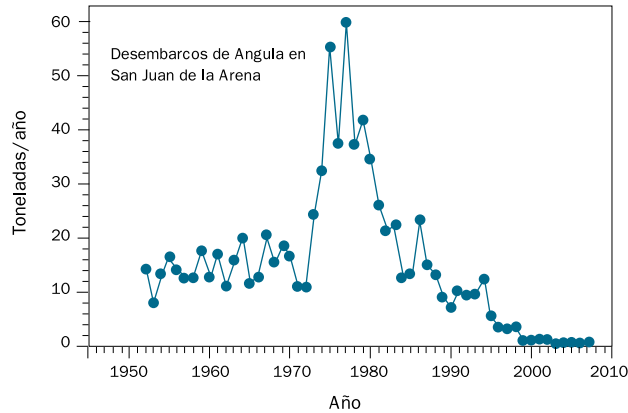


Figura 28. Descargas de angula en el puerto de San Juan de la Arena (Estadísticas del CEP).

podría encontrarse entre las causas. Tampoco hay que descartar un exceso de explotación de los bancos intermareales en esta disminución. En todo caso existe mucha variabilidad en los cambios entre bancos (CEP 2007). No conviene olvidar los efectos indirectos que cambios en la densidad de erizos puede provocar en las comunidades bénticas (p. ej. cambios en las comunidades de algas).

#### ESPECIES Y COMUNIDADES LITORALES

Es bien conocida la existencia de un gradiente este-oeste en la distribución de macroalgas e invertebrados en la costa de Asturias (Anadón 1981, Anadón 1983, Arrontes y Anadón 1990), y en general en el Cantábrico. Este gradiente aparece asociado a la presencia de eventos de afloramiento estival, más importantes e intensos hacia el noroeste de la Península (Figura 29).

Existen evidencias de cambios en la distribución de especies en la costa asturiana desde principios del siglo XX. La flora de macroalgas en la costa de Gijón (Miranda 1931)

era la característica del área boreo-atlántica, que se mantuvo en la costa occidental de Asturias hasta nuestros días. Actualmente en el entorno de Gijón y el Cabo Peñas la flora es la característica del interior del Golfo de Vizcaya (Anadón y Niell 1980, Fernández y Niell 1982, Anadón 1983).

A mediados del siglo pasado se describieron desplazamientos de los límites de distribución de especies, introduciendo la idea de la “mediterrización” del Cantábrico (Fischer-Piette 1957, Arrontes 1993, 2002 y 2005). Esta es la tendencia que se esperaría si se produjeran incrementos térmicos y de estratificación, como los ya comentados. *Fucus serratus* es un ejemplo de estos cambios (Figura 30), con modificaciones de sus límites de distribución a lo largo de la costa de Asturias desde 1931 hasta 2002 (Arrontes, 1993, 2002 y 2005).

A partir de observaciones realizadas en los años 2000 y 2001 se detecta una recesión de especies de aguas templado-frías, como *Fucus spiralis*, *Fucus vesiculosus*, *Fucus serra-*

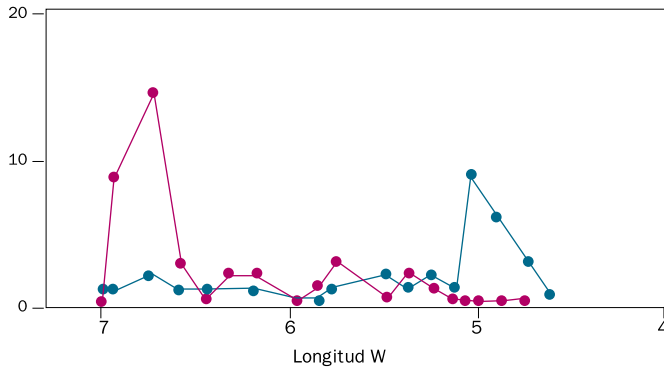


Figura 29. Número de especies de macroalgas que tenían su límite oriental (círculos magenta) o su límite occidental (círculos azules) de distribución en las localidades muestreadas en la costa asturiana en el año 1977 (Anadón, 1981).

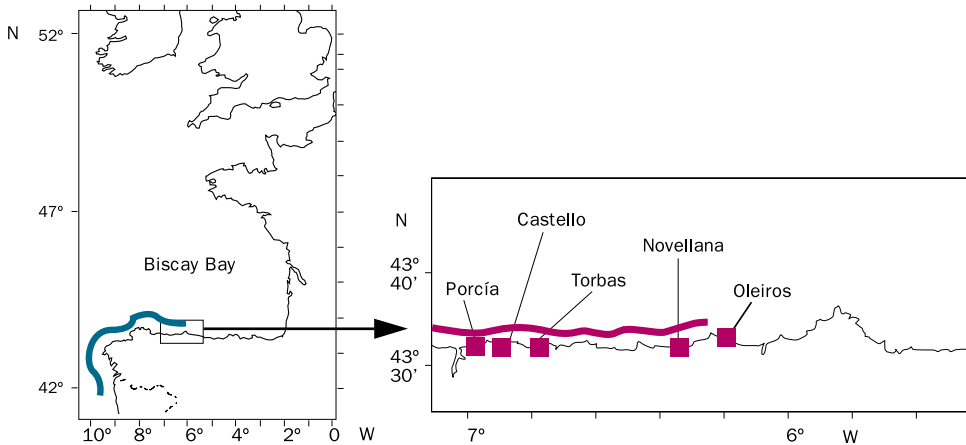


Figura 30. Distribución de *Fucus serratus* en el noroeste Ibérico. Su distribución se ha reducido de forma significativa en los últimos momentos (Arrontes 1993).

*tus*, *Himanthalia elongata* y *Saccorhiza polyschides* si se comparan con datos de épocas anteriores (Sauvageau 1897, Miranda 1931, Fischer-Piette 1955, Anadón 1981, Fernández y Niell 1982, Anadón 1983).

En los primeros años del siglo XXI se ha producido una reducción evidente de la abundancia de las especies de Fucáceas en la costa de Asturias, especialmente de *Fucus serratus*. Se puede pensar en una continuación del proceso antes señalado, que se acompaña con un descenso de la biomasa sostenida, y se reflejaría como una “mediterrización”, en el sentido de Fischer-Piette (Fernández y Anadón 2008).

También es notoria la desaparición de especies de Laminariales como *Laminaria hyperborea*, *Laminaria ochroleuca* y *Saccorhiza polyschides*, principalmente en la costa occidental de Asturias (observaciones personales de C. Fernández, T.E. Díaz, y J.M. Rico).

El cambio en la composición y abundancia de las especies señalado debe traducirse en cambios en las comunidades presentes en el litoral. Se conoce que una comunidad interma-

real dominada hasta 1985 por *Gelidium spinosum*, pasa desde 1996 a ser una comunidad codominada por *Sargassum muticum*, *Bifurcaria bifurcata* y *Gelidium spinosum* (Figura 32). Hay una disminución fuerte de *Gelidium*, que reduce en un tercio su producción anual y pasa de dominar la biomasa con el 90% a representar sólo el 20%. Esta disminución coincide con la llegada y asentamiento de *Sargassum* en 1989. Una de las especies más beneficiadas es *Bifurcaria bifurcata*, que parece ampliar su rango de distribución en el espacio intermareal (Sánchez et al. 2005). También los epifitos aumentan su abundancia. Aunque no hay evidencias directas del efecto negativo de *Sargassum* sobre *Gelidium*, en localidades donde *Sargassum* no se ha instalado *Gelidium* mantiene una biomasa similar a la de 1977.

Será necesario seguir las observaciones para conocer si representa una modificación relacionada con la aparición de una especie invasora o intervienen también cambios ambientales asociables al cambio climático.

Parece interesante constatar el incremento de la biomasa de “ocle” (*Gelidium sesquipe-*



Figura 31. Dos imágenes de la playa de Arnao, Ría del Eo, en la que se aprecian los cambios en los horizontes de Fucáceas y la práctica desaparición de *Fucus serratus*. A: 1983; B: 2007 (Fernández y Anadón, 2008).

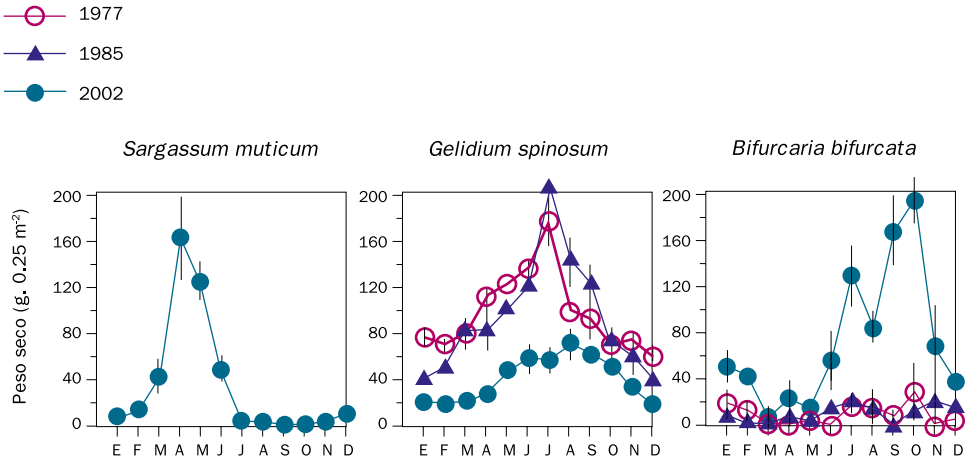


Figura 32. Ciclo estacional de la biomasa de las especies dominantes en la comunidad de *Gelidium spinosum* en Aramar, Luanco en tres años: 1977, 1985 y 2002, que cubren 25 años de diferencia (Sánchez *et al.* 2005). Los datos son valores medios y errores estándar.

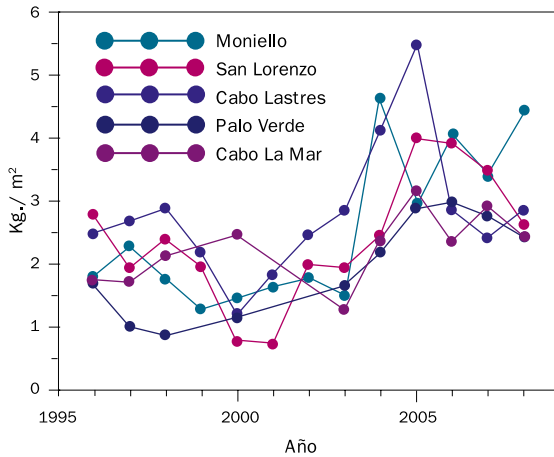


Figura 33. Evolución de la biomasa (g/m<sup>2</sup>) en los campos explotados antes de las campañas de corte (Estadísticas del CEP).

*dale*) (Figura 33), el alga marina más explotada en Asturias (Estadísticas del CEP). A pesar de la recolección “in situ”, el aumento de la biomasa sostenida en los campos explotados sugiere un incremento de la producción de la especie que se podría relacionar con cambios hidrográficos asociados al Cambio Climático, aunque no se pueda descartar un cambio fenológico y del ciclo de producción. Este cambio se podría asociar a los cambios observados en otras especies y comunidades, y merece ser estudiado en detalle.

### 5.3 PROYECCIONES DE CAMBIOS EN EL FUTURO

#### MEDIO FÍSICO

De entre los diferentes agentes considerados anteriormente, hasta el momento solo se dispone de información basada en escenarios futuros para el nivel medio del mar pero ésta no es de ámbito regional.

El IPCC realiza predicciones en dos sentidos: la elevación prevista según distintos escenarios de emisión, y la elevación prevista en función de escenarios de estabilización de gases de efecto invernadero.

En el primer caso (Tabla II) las proyecciones de elevación del mar para el 2090 oscilan entre 18 y 59 cm. Esta nueva proyección acota considerablemente el rango de incertidumbre con respecto a la proyección presentada en el informe anterior y reduce la horquilla de valores. Este acotamiento se realiza con modelos que no consideran algunas incertidumbres, tales como el flujo de las masas glaciares de Groenlandia y la Antártida, por lo que deben considerarse proyecciones mínimas. Como ejemplo de ello baste tener en consideración lo apuntado por otros autores con métodos diferentes de los utilizados por el AR4. Utilizando modelos semiempíricos Rahmstorf (2007) proyecta una elevación bastante superior, entre 0,5 y 1,4 m.

La segunda aproximación se fundamenta en la elevación del nivel del mar en función de la concentración de gases de efecto invernadero, pero sin indicar la fecha en la que se alcanzaría (IPCC 2007). Aunque sólo se calcula la expansión térmica, la elevación que se proyecta es superior a la estimada en el caso anterior (Tabla III).

Los valores recogidos en estas tablas indican variaciones del nivel del mar entre 18 y

Tabla II. Proyección del aumento global del nivel medio del mar a finales del siglo XXI (IPCC 2007).

Escenario	Aumento del nivel del mar (m.) en el período 2090-2099 en relación con el período 1980-1999.
B1	0.18-0.38
A1T	0.20-0.45
B2	0.20-0.43
A1B	0.21-0.48
A2	0.23-0.51
A1FI	0.21-0.59

Tabla III. Proyecciones de subida del nivel del mar por expansión térmica (IPCC 2007).

Concentración de CO <sub>2</sub> eq. a estabilización incluyendo GEI y aerosoles	Incremento de la Temperatura media Global respecto a la época preindustrial en equilibrio usando las mejores estimas de sensibilidad climática	Elevación media del nivel del mar sobre la época preindustrial considerando sólo expansión térmica
Partes por millón	Grados Centígrados	Metros
445-535	2.0 - 2.4	0.4 - 1.4
490-535	2.4 - 2.8	0.5 - 1.7
535-590	2.8 - 3.2	0.5 - 1.9
590-710	3.2 - 4.0	0.6 - 2.4
710-855	4.0 - 4.9	0.8 - 2.9
855-1130	4.9 - 6.1	1.0 - 3.7

59 cm en el 2090. La proyección realizada en el estudio de Impactos en las Costas Españolas (GIOC 2005) [http://www.mma.es/portal/secciones/cambio\\_climatico/areastematicas/impactos\\_cc/imp\\_cost\\_esp\\_efec\\_cc.htm](http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areastematicas/impactos_cc/imp_cost_esp_efec_cc.htm) establece, de acuerdo con la tendencia observada hasta el momento en las costas españolas, un valor aproximado de 15 cm de aumento del nivel medio del mar en 2050; esta subida encaja dentro de las magnitudes de elevación planteado por el Panel para los diferentes escenarios considerados. Este aumento se considera muy probable con una probabilidad entre el 90 y el 95% y se utiliza como base para el análisis de impactos en el litoral asturiano que se presenta en el apartado siguiente.

#### COTA DE INUNDACIÓN

La cota de inundación es una cota vertical que representa el máximo nivel del mar alcanzado por la acción conjunta de la marea astronómica, la marea meteorológica, el ascenso del oleaje en la playa y el posible aumento del nivel medio del mar. Es relevante para indicar la probabilidad de inundación de una zona del litoral y, está asociado, a la determinación del

dominio marítimo-terrestre. Para conocer la inundación asociada es necesario proyectar dicha cota vertical sobre la zona considerada (GIOC 2005).

Los resultados obtenidos (Figura 34) muestran un aumento generalizado de la cota de inundación producto del aumento del nivel del mar y del oleaje observado. Obsérvese que en algunas zonas se alcanzan valores de 4 mm/año. Este aumento del nivel del mar y del oleaje se ha contrarrestado parcialmente por la disminución observada en la marea meteorológica, dando lugar a cotas de inundación algo inferiores a lo inicialmente esperable. Evidentemente, otros escenarios de aumento del nivel del mar más desfavorables darían lugar a mayores cotas de inundación.

#### RETROCESO DE LA LÍNEA DE COSTA POR AUMENTO DEL NIVEL DEL MAR

La susceptibilidad de las playas a ser erosionadas por aumento del nivel del mar para todo el litoral español (Figura 35), es mayor en las situadas en la cornisa atlántica. Las proyecciones que realizan los modelos consideran muy probables retrocesos del orden de

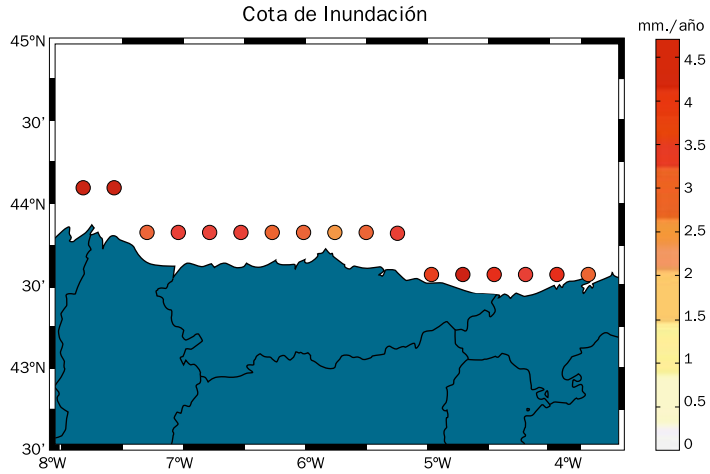


Figura 34. Variación anual esperable de la cota de inundación en la costa asturiana. Año horizonte 2050 (GIOC 2005).

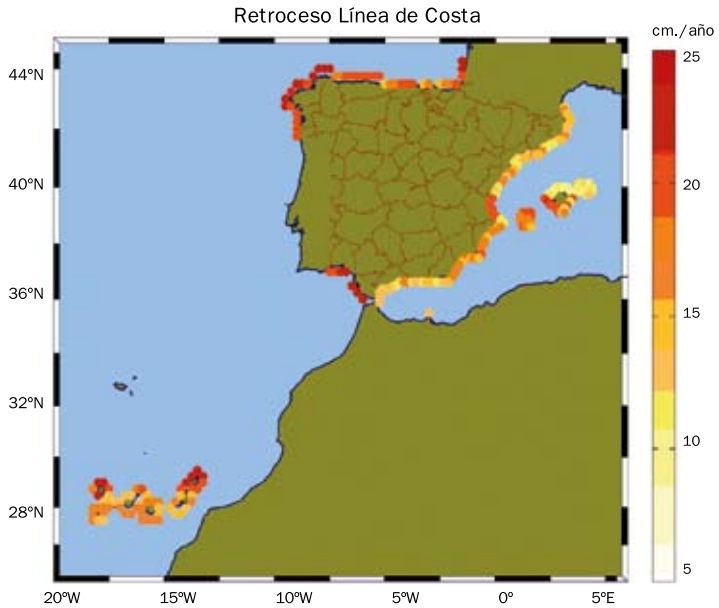


Figura 35. Variación anual del retroceso de la línea de costa por aumento del nivel del mar. Año horizonte 2050.



12 m en el 2050 (GIOC 2005). Este retroceso de la línea de costa redonda en un descenso de la superficie de playa seca útil y, por tanto, en una reducción de la defensa natural de la costa y pérdida de superficie para uso recreativo. En Asturias será relevante tanto para las playas encajadas como para los puntales existentes en las desembocaduras de las rías.

### REBASE EN OBRAS MARÍTIMAS

El rebase (volumen de agua que supera la coronación del dique) de obra marítimas es también muy importante dada la gran cantidad de puertos e infraestructuras localizadas en la costa asturiana. Es un índice que muestra la pérdida de funcionalidad de las mismas por efecto del cambio climático; advierte del incremento de peligrosidad de daños a propiedades y personas, y puede ser utilizado para

evaluar la operatividad del muelle y las zonas de atraque (GIOC 2005).

Se puede observar que debido al aumento del nivel del mar y de la altura de ola, en términos generales se produce un aumento del rebase a lo largo de toda la costa asturiana

### EXPANSIÓN DE LA OLIGOTROFIA

El incremento del periodo de estratificación estival representa una expansión de la oligotrofia en el Cantábrico. Si se considera que está demostrada una expansión de la superficie ocupada por los giros oligotróficos subtropicales (McClain et al. 2004, Polovina et al. 2008) no se puede desechar la posibilidad de un cambio similar en el Cantábrico. Si ocurriera, representaría un cambio total de las condiciones ambientales en el Golfo de Vizcaya, y por tanto de sus ecosistemas. No

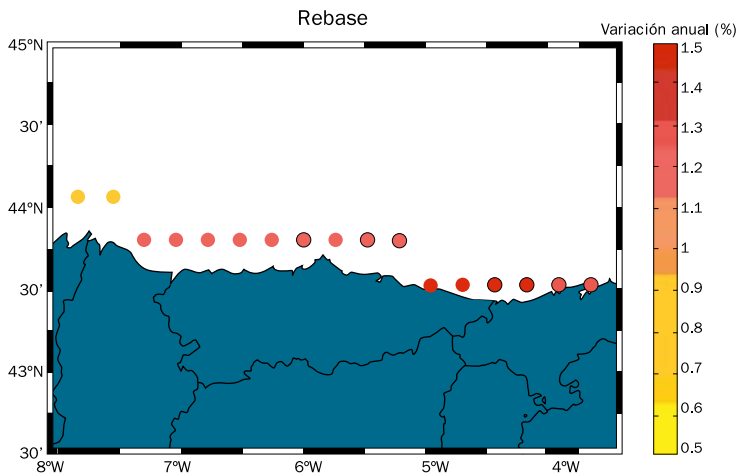


Figura 36. Variación anual esperable del rebase en la costa asturiana. Año horizonte 2050 (GIOC 2005).

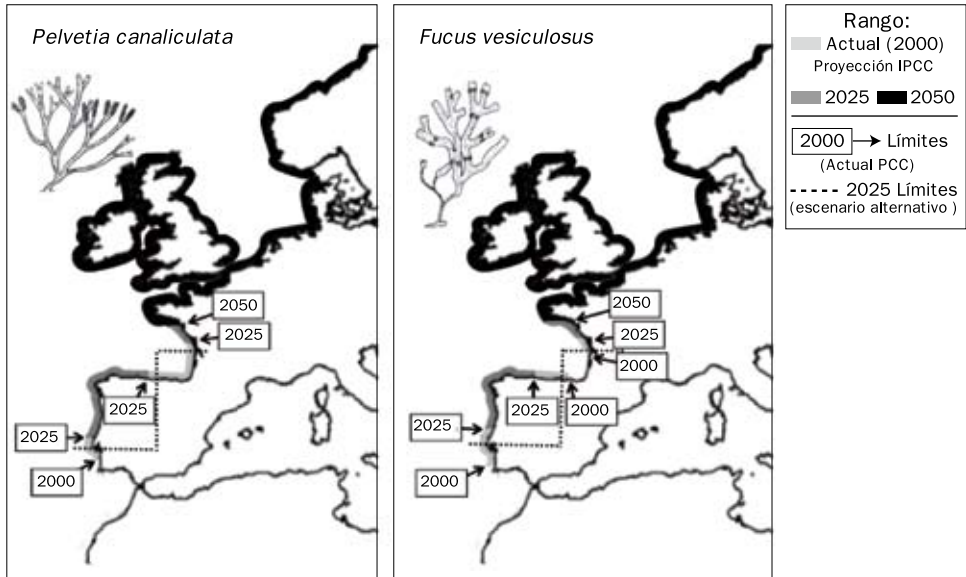


Figura 37. Proyecciones de la distribución de dos especies de Fucáceas de acuerdo a sus límites térmicos actuales y las proyecciones de tres modelos climáticos del TAR (IPCC 2001; Alcock, 2003).

se dispone de modelos globales o regionales que permitan hacer proyecciones, pero debe profundizarse en este proceso y realizar un seguimiento continuado para comprobar la velocidad de los cambios.

#### ESPECIES Y COMUNIDADES

Basándose en los límites de tolerancia térmica de especies de macroalgas e invertebrados, y en las proyecciones de temperatura realizadas para tres diferentes escenarios por modelos climáticos globales (IPCC 2001), Alcock (2003) elabora modelos de cambio en la distribución de 18 especies del litoral rocoso

europeo (Figura 37). Predice la desaparición de las especies de aguas templado-frías y una expansión de las de aguas templado-cálidas, lo que significa la sustitución de las principales comunidades dominadas por algas pardas por comunidades dominadas por herbívoros y filtradores y también por algas rojas.

Las especies más vulnerables son las principales algas pardas configuradoras de comunidades del litoral y el sublitoral como *Pelvetia canaliculata*, *Fucus spiralis*, *Fucus vesiculosus*, *Fucus serratus*, *Himantalia elongata*, *Bifurcaria bifurcata*, *Saccorhiza polyschides*, *Laminaria ochroleuca* y *Laminaria hyperborea*, de las

que existen evidencias de cambio en el sentido proyectado. También se proyectan cambios en gasterópodos como *Nucella lapillus* y *Patella vulgata* y en crustáceos como *Semibalanus balanoides*.

Como ya se ha indicado, algunas de las previsiones de este estudio se han adelantado y son perceptibles en la actualidad. Faltaría conocer si lo observado tiene alguna componente estacional que limita la velocidad de cambio.

#### 5.4 CUESTIONES QUE DEBERÍAN TENERSE EN CUENTA PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

A la vista de lo antes comentado se recomienda que en el campo del estudio del Cambio Climático y sus repercusiones en Asturias se preste atención a los siguientes aspectos:

- Mantenimiento y potenciación de los sistemas de muestreo a largo plazo actualmente existentes. Entre ellos las RADIALES del IEO y el mareógrafo de Puertos del Estado situado en el Puerto de Gijón.

- Sistemas de monitorización de corrientes costeras, que permitan evaluar el efecto del Cambio Climático en este aspecto clave.

- Sistemas de análisis, basados en estudio mediante satélites, de la evolución de la costa, sobre todo playas y zonas de marisma. Sistemas de testigos que permitan detectar los cambios.

- Establecimiento de sistemas de monitorización de comunidades y especies bentónicas, incluidas las del submareal. Se podrían coordinar con los sistemas de control de la calidad de las aguas existentes. Resultaría muy positivo establecer estos sistemas de control en Áreas Marinas Protegidas, ya que permitiría

distinguir los efectos ambientales y climáticos de los efectos de la actividad humana directa.

- Continuación del control de las poblaciones y de la extracción de especies explotadas, tanto costeras como oceánicas. Se puede complementar con controles en Áreas Marinas Protegidas que puedan actuar de marco de referencia para evaluar el papel de la extracción o modificación del medio por los humanos. Estudio y análisis de la información disponible sobre las capturas, las poblaciones, el esfuerzo de explotación y del ambiente

- Desarrollo de Sistemas de Información Ambiental (Sistemas de Información Geográfica y portales de acceso) que permitan acceder, con las debidas precauciones, a ciudadanos, científicos y a la Administración, a la información generada.

- Recopilación en Bases de Datos de la información ambiental del medio marino, para ampliar la capacidad de análisis temporal de los cambios que ocurran.

- Implementación dentro del Plan Regional de un apartado específico de estudios basados en la detección, modelización y predicción de impactos biológicos y socioeconómicos asociables al Cambio Climático. Potenciación de proyectos que tengan como objetivo el aprovechamiento de las bases de información existentes para obtener evidencias de la influencia del Cambio Climático en el medio marino, y en especies y comunidades. Potenciación de la coordinación con otras regiones del Atlántico para reforzar la validez de las conclusiones.

- Implementación dentro del Plan Regional de un apartado específico de estudios basados en desarrollos experimentales que permitan mejorar nuestro conocimiento detallado de los procesos asociados al Cambio Climático y sus repercusiones: temperatura, acidificación,

incremento de estratificación, aparición y desaparición de especies, cambios en la estructura de ecosistemas, etc.

## 5.5 BASES DE DATOS EXISTENTES

### HIDROGRAFÍA Y PLANCTON

Base de datos del proyecto COCACE publicadas en Biodatos Básicos por Botas et al. (1989). Se muestrearon mensualmente 13 estaciones durante un año (octubre 86 – diciembre 87), tres de ellas de manera intensiva. Se incorporó a la base de Datos del proyecto COSTAS, e incorpora como variables: Temperatura, salinidad, densidad, pH, alcalinidad, dióxido de carbono total, oxígeno disuelto, demanda bioquímica de oxígeno, nutrientes, clorofila a, número de partículas, volumen de partículas, peso seco el seston, contenido proteico del seston, producción primaria, número de células de fitoplancton, abundancia de grupos de microzooplancton, mesozooplancton y de larvas de peces

Base de datos SIRENO del Instituto Español de Oceanografía que incorpora los resultados de las RADIALES de Cudillero (desde 1993) y Gijón (desde 2001) (<http://www.seriestemporales-ieo.net>) (Figura 38). También existe una RADIAL frente a Santander que puede proporcionar información de cambios hidrográficos a mayor profundidad. Las radiales incorporan información de tres estaciones muestreadas mensualmente. Las variables analizadas son: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes inorgánicos (Nitrato, nitrito, amonio, silicato, fosfato), radiación incidente, clorofila a y fluorescencia, producción primaria, número de células de fitoplancton, bacterioplancton (Gijón), biomasa del mesozooplancton,

abundancia de grupos del mesozooplancton, y abundancia de larvas de peces y su condición larvaria (Gijón).

La Base SIRENO también incorpora datos del mesozooplancton obtenido durante campañas de plancton de primavera en el Cantábrico realizadas por el IEO, que engloban desde 1985 hasta la actualidad (Figura 39).

Esta base de datos incorpora los datos de las campañas de evaluación de pequeños peces pelágicos y de las de peces demersales.

Campañas oceanográficas ASTURIAS, que cubren periodos trimestrales durante un año en 1986 y 1987. Se realizaron dos transectos en la zona central de Asturias hasta 2000m de profundidad. Las variables analizadas fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, pH, alcalinidad, dióxido de carbono, nutrientes inorgánicos (Nitrato, nitrito, amonio, silicato, fosfato), y carbono, nitrógeno y fósforo orgánicos.

Campañas EMISARIOS. Muestreos realizados en 1993 en aguas de Avilés (tres transectos) y Gijón (cinco transectos) en aguas costeras. Las variables analizadas fueron: temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes inorgánicos (nitrato, nitrito, amonio, silicato, fosfato), nitrógeno y fósforo total, turbidez, sólidos totales y volátiles, aceites y grasas, detergentes, fenoles, clorofila a y fluorescencia, producción primaria, abundancia del microplancton, biomasa del mesozooplancton, abundancia de las especies del mesozooplancton.

Base de datos de Puertos del Estado que incorporan datos de mareógrafos y de boyas de oleaje o ambientales. [http://www.puertos.es/es/oceanografia\\_y\\_meteorologia/index.html](http://www.puertos.es/es/oceanografia_y_meteorologia/index.html)

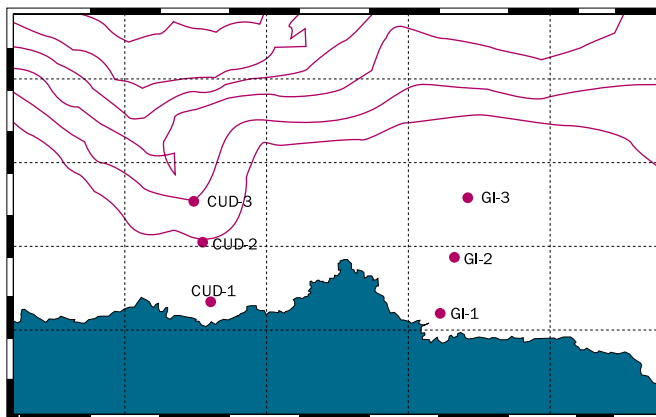


Figura 38. Localización de las estaciones de las Radiales de Cudillero y Gijón.

Campaña ASFLOR. Campaña desarrollada en Agosto de 1989 en la costa oeste de Asturias. Las variables analizadas fueron: irradiancia, temperatura, salinidad, oxígeno disuelto, nutrientes inorgánicos (nitrato, nitrito, amonio, silicato, fosfato), C/N particulado, número de partículas, clorofila a, producción primaria, nitrato celular, proteínas, y glúcidos del microplancton, actividad ETS del microplancton, biomasa del mesozooplancton, abundancia de las especies del mesozooplancton, actividad ETS del mesozooplancton.

Bases de datos de la Comisión Internacional de la Exploración del Mar (ICES) con información sobre capturas por especie, área y año (1973-2007). <http://www.ices.dk/indexfla.asp>. Se pueden encontrar datos anteriores de capturas y datos ambientales desde 1950 a 1972, así como datos de la Convención OSLO-

Paris (OSPAR) en otra página de ICES. [http://www.ices.dk/datacentre/updates/DC\\_update.htm](http://www.ices.dk/datacentre/updates/DC_update.htm)

Base de datos en la que se reúnen los datos del Proudman Research Laboratory que engloba a todos los mareógrafos del mundo que comparten sus datos. [http://www.pol.ac.uk/psmsl/psmsl\\_individual\\_stations.html](http://www.pol.ac.uk/psmsl/psmsl_individual_stations.html)

Base de Datos de la Fundación Sir Alister Hardy For The Oceanic Science, que engloba datos ambientales y de fitoplancton y zooplancton obtenidos a través del muestreo del Continuous Plankton Recorder (CPR). <http://www.sahfos.ac.uk/data.htm>

Base de datos de la Estación L4 del Plymouth Marine Laboratory, con datos am-

bientales. [http://www.bodc.ac.uk/data/where\\_to\\_find\\_data/](http://www.bodc.ac.uk/data/where_to_find_data/)

Base de datos del Observatorio del Western Channel del Plymouth Marine Laboratory de la estación L4, que engloba datos ambientales y de zooplancton: <http://www.western-channelobservatory.org.uk/blog/?p=60>

### ESPECIES Y ECOSISTEMAS BENTÓNICOS

El Sistema de Información del Litoral y Medio Marino de Asturias del Centro de Experimentación Pesquera adscrito al Servicio de Ordenación Pesquera de la Dirección General de Pesca del Principado de Asturias posee información geográfica de la costa asturiana y algunas bases de datos sobre el control y seguimiento de los recursos pesqueros y marisqueros o de estudios encargados por la Dirección General de Pesca. Incluye la distribución de campos de percebe (*Pollicipes pollicipes*), “ocle” (*Gelidium sesquipedale*) y “oricio” (*Pa-*

*racentrotus lividus*) y los seguimientos de zonas de producción de moluscos y equinodermos.

Se está elaborando una base de datos dentro del proyecto “Caracterización y modelización de los patrones de variación espacial y temporal de las comunidades costeras en Asturias (COSTAS, CTM 2006-05588)”, que contiene información ambiental sobre especies y ecosistemas litorales y profundos, y sobre los recursos costeros explotados.

El proyecto plantea un intercambio de datos entre los equipos COSTAS de la Universidad de Oviedo y del Centro de Experimentación Pesquera del Principado de Asturias. Se dispone de diversas capas de batimetría, cartografía, parámetros biológicos, infraestructuras y límites de pesca.

Bases de datos de las Campañas de evaluación de los recursos del intermareal rocoso asturiano. Datos de distribución en la costa as-

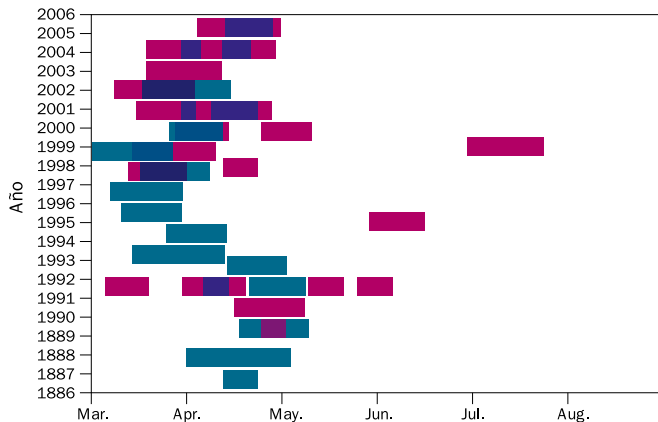


Figura 39. Cronograma de campañas oceanográficas realizadas en el Cantábrico y Galicia en las que se ha analizado el mezooplankton (morado).

turiana de *Gelidium sesquipedale* y *Chondrus crispus* recogidos en 1985.

Campañas emisarios. Muestreos realizados en 1993, entre Avilés y Villaviciosa. 9 transectos de bentos rocoso situados en la misma zona, cada uno de ellos en el supralitoral, intermareal e infralitoral.

Campañas de muestreo intermareal “Prestige”. Muestreo (con replicación) de algas intermareales en una serie de localidades distribuidas por toda la costa asturiana en dos niveles de marea.

Proyecto “Variabilidad espacial en la estructura de las comunidades litorales del norte de España. Análisis de heterogeneidad a diferentes escalas (CC-99-MAR-1162)”. Datos de composición de la comunidad de algas en una serie de localidades distribuidas por la costa asturiana.

Proyecto COSTAS. Datos obtenidos durante las campañas de intermareal rocoso en la costa asturiana, una vez elaborados.

## RECURSOS EXPLOTADOS

Bases de datos del Centro de Experimentación Pesquera de la Dirección General de Pesca del Principado de Asturias (Consejería de Medio Rural y Pesca). Con información de resúmenes anuales de ventas en lonjas de las especies pesqueras y seguimiento de capturas de los planes de explotación de recursos pesqueros y marisqueros de percebe, pulpo, angula, moluscos bivalvos y “ocle”.

Base de datos de estadística pesquera de la Dirección General de Pesca, con el registro diario de las notas de venta por embarcación en las lonjas asturianas desde 2000. Accesible en parte (resúmenes mensuales por lonjas) en la página web del Principado de Asturias. <http://tematico.asturias.es/dgpesca/din/estalonj.php>

Bases de datos de la Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales (SADEI) con información sobre extracción pesquera: <http://www.sadei.es/index.asp>

Bases de datos de ICES ya mencionadas

## 5.6 REFERENCIAS

Alcock, R. 2003. The effects of climate change on rocky shore communities in the Bay of Biscay, 1895-2050. Biodiversity and Ecology Division. University of Southampton, Univ. Southampton: 286.

Álvarez-Raboso, J. 2006. Revisión de la evaluación y el cartografiado de las poblaciones de erizo de mar en el litoral asturiano realizado en el año 1991. Fase I: Zona occidental, de Cabo Torres a Vegadeo. Gijón, Dirección General de Pesca.

Álvarez-Raboso, J. 2007. Revisión de la evaluación y el cartografiado de las poblaciones de erizo de mar en el litoral asturiano realizado en 1991. Fase II: Zona oriental, de Cabo Torres a Tinamayor. Gijón, Dirección General de Pesca.

- Anadón, E. 1954. Estudios sobre la sardina del noroeste español. Publicaciones Instituto de Biología Aplicada, 18: 43-106.
- Anadón, R. 1983. Zonación en la costa asturiana: variación longitudinal de las comunidades de macrófitos en diferentes niveles de marea. Investigación Pesquera, 45: 143-156.
- Anadón, R., Niell, F.X. 1980. Distribución longitudinal de macrófitos en la costa asturiana (N de España). Investigación Pesquera, 45: 143-156.
- Ardré, F. 1970. Contribution à l'étude des algues marines du Portugal: I. La Flore. Portugalia Acta Biologica, 10: 1-423.
- Arronte, J.C., Pis-Millán, J.A., Fernández, P., García, L. 2004. First records of the subtropical fish *Megalops atlanticus* (Osteichthyes: Magalopidae) in the Cantabrian Sea, northern Spain. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 84: 1091-1092.
- Arrontes, J. 1993. Nature of the distributional boundary of *Fucus serratus* on the north shore of Spain. Marine Ecology-Progress Series, 93: 183-193.
- Arrontes, J. 2002. Mechanisms of range expansion in the intertidal brown alga *Fucus serratus* in northern Spain. Marine Biology, 141: 1059-1067.
- Arrontes, J. 2005. A model for range expansion of coastal algal species with different dispersal strategies: the case of *Fucus serratus* in northern Spain. Marine Ecology-Progress Series, 295: 57-68.
- Arrontes, J., Anadón, R. 1990. Distribution of intertidal Isopods in relation to geographical changes in macroalgal cover in the Bay of Biscay. Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom, 70: 283-293.
- Bailey, G.N., Craighead, A.S. 2003. Late Pleistocene and Holocene coastal palaeoeconomies: A reconsideration of the molluscan evidence from northern Spain. Geoarchaeology, 18: 175-204.
- Bañón, R. 2004. New records of two Southern fish in Galician waters (NW Spain). Cybium, 28: 367-368.
- Bañón, R., Casas Sánchez, J.M., Piñeiro, C.G., Covelo, M. 1997. Capturas de peces de afinidades tropicales en aguas atlánticas de Galicia (noroeste la Península Ibérica). Boletín del Instituto Español de Oceanografía, 13: 57-66.
- Bañón, R., del Rio, J.L., Piñeiro, C. G., Casas, J.M. 2002. Ocurrance of tropical affinity fish in Galician waters, north-west Spain. Journal Marine Biological Association UK, 82: 877-880.
- Bañón, R., Sande, C. 2008. First record of the red cornetfish *Fistularia petimba* (Synbranchiformes: Fistularidae) in Galician waters: a northernmost occurrence in the eastern Atlantic. Journal Applied Ichthyology, 24: 106-107.
- Beaugrand, G., Brander, K.M., Lindley, J. A., Souissi, S., Reid, P. C. 2003. Plankton effect on cod recruitment in the North Sea. Nature, 426: 661-664.



- Beaugrand, G., Reid, P.C., Ibañez, F., Lindley, J. A., Edwards, M. 2002. Reorganization of North Atlantic marine copepod biodiversity and climate. *Science*, 296: 1692-1694.
- Boaventura, D., Ré, P., Cancela de Fonseca, L., Hawkins, S.J. 2002. Intertidal rocky shore communities of the continental Portuguese coast: Analysis of distribution pattern. *P.S.Z.N.I: Marine Ecology*, 23: 69-90.
- Botas, A., Fernández, E., Bode, A., Anadón, R., Anadón, E. 1989. Datos básicos de las campañas COCACE: I. Hidrografía, nutrientes, fitoplancton y seston en el Cantábrico Central. *Biodatos Básicos*. Oviedo, Universidad de Oviedo. 1: 1-9 + tablas.
- Broecker, W.S. 2003. Does the trigger for abrupt climate change reside in the ocean or in the atmosphere? *Science*, 300: 1519-1522.
- Cabal, J., Pis-Millán J.A., Arronte, J.C. 2006. A new record of *Callinectes sapidus* Rathbun, 1896 (Crustacea: Decapoda: Brachyura) from the Cantabrian Sea, Bay of Biscay, Spain. *Aquatic Invasions*, 1: 186-187.
- Calvo-Díaz, A., Morán, X.A.G., Nogueira, E., Bode, A., Varela, M. 2004. Picoplankton community structure along the northern Iberian continental margin in late winter-early spring. *Journal of Plankton Research*, 26: 1069-1081.
- Calvo-Díaz, A., Morán, X.A.G., Suárez, L.A. 2008. Seasonality of picophytoplankton chlorophyll a and biomass in the central Cantabrian Sea, Southern Bay of Biscay. *Journal of Marine Systems*, 72: 271-281.
- Castro, C. G., X. A. Alvarez-Salgado, E. Nogueira, J. Gago, F. F. Pérez, A. Bode, A. F. Ríos, G. Rosón and M. Varela (2009). Evidencias bioquímicas do cambio climático. Evidencias e Impactos do Cambio Climático en Galicia. Santiago, Xunta de Galicia: 303-326.
- CEP 2007. Revisión de la evaluación y el cartografiado de las poblaciones de erizo de mar en el litoral asturiano realizado en el año 1991. Fase II: zona oriental. Gijón, Centro de Experimentación Pesquera de Asturias.
- Edwards, M., Johns, D.G., Beaugrand, G., Licandro, P., John, A.W.G., Stevens, D.P. 2008. *Ecological Status Report: results from the CPR survey 2006/2007*. Plymouth, SAHFOS 1-8.
- Enghoff, I.B., MacKenzie, B.R., Nielsen, E.E. 2007. The Danish fish fauna during the warm Atlantic period (ca. 7000–3900 bc): Forerunner of future changes? *Fisheries Research*, 87: 167-180.
- Feely, R.A., Sabine, C.L., Hernandez-Ayon, J.M., Ianson, D., Hales, B. 2008. Evidence for upwelling of corrosive “acidified” water onto the continental shelf. *Science*, 320: 1490-1492.
- Fernández-Cordeiro, A., Bañón, R. 1997. Primera cita de jurel dentón *Pseudocaranx dentex* (Bloch & Schneider, 1801) en aguas de Galicia (noroeste ibérico). *Boletín del Instituto Español de Oceanografía*, 13 87-90.
- Fernández, C., Anadón, R. 2008. La cornisa cantábrica: un escenario de cambios de distribución de comunidades intermareales. *Algas*, 39: 30-31.

Fernández, C., Niell, F.X. 1982. Zonación del fitobentos intermareal de la región de Cabo Peñas (Asturias). *Investigación Pesquera*, 46: 121-141.

Fischer-Piette, E. 1955. Répartition le long des côtes septentrionales de l'Espagne des principales espèces peuplant les rochers intercotidiaux. *Annales Institute Océanographique*, Monaco 31: 38-124.

Fischer-Piette, E. 1957. Sur le déplacement des frontières biogéographiques observées au large des côtes ibériques dans le domaine intercotidial. *Publicaciones Instituto Biología Aplicada, XXVI Simposio Biogeografía Ibérica*: 35-40.

Fischer-Piette, E. 1963. La distribution des principaux organismes intercotidiaux Nord-Ibériques. *Annales Institute Océanographique*, Paris, 40: 165-311.

GIOC 2005. Impactos en la costa española por efectos del cambio climático. Santander, Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente.

González-Pola, C., Lavín, A., Vargas-Yáñez, M. 2005. Intense warming and salinity modification of intermediate water masses in the southern corner of the Bay of Biscay for the period 1992-2003. *Journal of Geophysical Research*, 110: 1-14.

González-Taboada, F., Anadón, R. 2008. Decoupling of sea surface temperature variation during the last two decades and its effect on remotely sensed phytoplankton biomass in

the North Atlantic. *Effects of Climate Change on the World Ocean*, Gijón, Spain.

González, A.F., Otero, J., Guerra, A., Prego, R., Rocha F.J., Dale, A. W. 2005. Distribution of common octopus and squid paralarvae in a wind-driven upwelling area (Ria de Vigo, north-western Spain). *Journal of Plankton Research*, 27 271-277.

ICES 2004. Report of the Study Group on Regional Scale Ecology of Small Pelagics. CM 2004/G: 06. ICES, International Council for the Exploration of the Sea: 56

ICES, W. G. o. e. 2004. Report of the ICES/EIFAC Working Group on Eels (WGEEL). Galway, ICES/EIFAC: 1-186.

ICES, W. G. o. E. 2008. Report of the Joint EIFAC/ICES Working Group on Eels (WGEEL). REPORT, J. E. I. W. Leuwen, ICES: 212.

IPCC 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*. Cambridge. 826

IPCC 2007. *Climate Change 2007: Impacts, adaptation and vulnerability*. Ginebra, UNEP.

IPCC 2007. *Climate Change 2007: The Physical Basis*. Ginebra, UNEP.

Llope, M., Anadón, R. 2007. Sea surface warming in the southern Bay of Biscay modulated by oceanic advection. Annual Conference of the International Council for the Exploration of the Sea. Helsinki

Llope, M., Anadón, R., Sostres, J.A., Viesca, L. 2007. Nutrients dynamics in the southern

- Bay of Biscay (1993-2003): Winter supply, stoichiometry, long-term trends, and their effects on the phytoplankton community. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 112.
- Llope, M., Anadon, R., Viesca, L., Quevedo, M., Gonzalez-Quiros, R., Stenseth, N.C. 2006. Hydrography of the southern Bay of Biscay shelf-break region: Integrating the multiscale physical variability over the period 1993-2003. *Journal of Geophysical Research-Oceans*, 111.
- Llope, M., Viesca, L., Rodríguez, N., Anadón, R. 2004. Is the pelagic ecosystem in coastal waters being affected by the Global Change? Seminar IGBP 2004, Global Change and Sustainability, Evora.
- Marcos, K., Wöpelman, G., Bosch, W., Savcenko, R. 2007. Decadal sea level trends in the Bay of Biscay from tide gauges, GPS and Topex. *Journal of Marine Systems*, 68: 529-536.
- Marcos, M., Gomis, D., Monserrat, S., Álvarez, E., Pérez, B., García-Lafuente, J. 2005. Consistency of long sea-level time series in the Northern coast of Spain. *Journal of Geophysical Research*, 110: 1-13.
- McClain, C.R., Signorini, S.R., Christian, J.R. 2004. Subtropical gyre variability observed by ocean-color satellites. *Deep-Sea Research II*, 51: 281-301.
- Minobe, S., Kuwano-Yoshida, A., Komori, N., Xie, S.-P., Small, R.J. 2008. Influence of the Gulf Stream on the troposphere. *Nature*, 452: 206 - 209.
- Miranda, F. 1931. Sobre las algas y Cianofíceas del Cantábrico, especialmente de Gijón. *Trabajos Museo Nacional Ciencias Naturales, Serie Botánica*, 25: 1-106
- O'Brien, T. D., López-Urrutia, A., Wiebe, P.H. 2008. ICES zooplankton Status report 2006/2007. Copenhagen, International Council for the Exploration of the Sea.
- Ortea, J. 1986. The malacology of La Riera Cave. La Riera Cave. Straus, L., Clark, G., Tempe, Arizona State University. The malacology of La Riera Cave Anthropological Research Papers, 36: 289-298.
- OSPAR 2000. Quality Status report 2000: Region IV - Bay of Biscay and Iberian Coast. London, OSPAR: 134+xiii.
- Otero, J., Alvarez-Salgado, X.A., González, A.F., Miranda, A., Groom, S.B., Cabanas, J.M., Casas, G., Wheatley, B., Guerra, A. 2008. Bottom-up control of common octopus *Octopus vulgaris* in the Galician upwelling system, north-east Atlantic Ocean. *Marine Ecology-Progress Series*, 362: 181-192.
- Otero, J., González, A.F., Sieiro, M.P., Guerra, A. 2007. Reproductive cycle and energy allocation of *Octopus vulgaris* in Galician waters, NE Atlantic. *Fisheries Research*, 85: 122-129.
- Pérez, F.F., Ríos, A.F., King, B.A., Pollard, R.T. 1995. Decadal changes in T-S relationship of the Eastern North Atlantic Central Water ENAW. *Deep-Sea Research I*, 42: 1849-1864.
- Philippart, C.J.M., Anadón, R., Danovaro, R., Dippner, J.W., Drinkwater, K.F., Hawkins, S.J., Oguz, T., Reid, P.C. 2007. Climate change

impacts on the european marine and coastal environment. Brussels, European Science Foundation: 83.

Planque, B., Beillois, P., Jégou, A.M., Lazure, P., Petitgas, P., Puillat, I. 2003. Large scale hydroclimatic variability in the Bay of Biscay. The 1990s in the context of interdecadal changes. ICES Marine Science Symposia.

Polovina, J.J., Howell, E.A., Abecassis, M. 2008. Ocean's least productive waters are expanding. *Geophysical Research Letters*, 35: 1-5.

Poulard, J.C., Blanchard F. 2005. The impact of climate change on the fish community structure of the eastern continental shelf of the Bay of Biscay. *ICES Journal of Marine Science*, 62: 1436-1443.

Quero, J.C., Du Buit, M.H., Vayne, J.J. 1998. Les observations de poissons tropicaux et le réchauffement des eaus dans l'Atlantique européen. *Oceanologica Acta*, 21: 345-351.

Rahmstorf, S. 2007. A semi-empirical approach to projecting future sea level rise. *Science*, 315: 368-370.

Ríos, A.F., Pérez, F.F., Fraga, F. 2001. Long-term (1977-1997) measurements of carbon dioxide in the Eastern North Atlantic evaluation of anthropogenic input. *Deep-Sea Research II*, 48: 2227-2239.

Rocha, F., Guerra, A., Prego, R., Piatkowski, U. 1999. Cephalopod paralarvae and upwelling conditions off Galician waters (NW Spain). *Journal of Plankton Research*, 21 21-33.

Royal, S.T. 2005. Ocean acidification due to increasing atmospheric carbon dioxide. London. The Royal Society.

Saldanha, L. 1974. Estudo do povoamento dos horizontes superiores da rocha litoral da costa Arrábida (Portugal). *Arquivos do Museu Bocage*, 1: 1-382.

Sánchez, I., Fernández, C., Arrontes, J. 2005. Long-term changes in the structure of intertidal assemblages following the invasion by *Sargassum muticum* (Phaeophyta). *Journal of Phycology*, 41: 942-949.

Sauvageau, C. 1897. Note préliminaire sur les algues marines du Golfe de Gascogne. *Journal de Botanie*, 11: 166-307.

Somavilla, R., González-Pola, C., Rodriguez, C., Josey, S.A., Sánchez, R.F., Lavin, A. 2008. Large changes in the hydrographic structure of the Bay of Biscay after the extreme mixing of winter 2008. *Journal Geophysical Research*, 114: 1-14.

Southward, A.J., Hawkins, S.J., Burrows, M.T. 1995. Seventy years observations in distribution and abundance of zooplankton and intertidal organisms in the western English Channel in relation to rising sea temperature. *Journal thermal Biology*, 20: 127-155.

Tecnología-Ambiental, S.L. 1991a. Evaluación y cartografiado de las poblaciones de erizo de mar en el litoral asturiano. Fase I: De Cabo Torres a Vegadeo. Gijón, Dirección General de Pesca.

Tecnología-Ambiental, S.L. 1991b. Evaluación y cartografiado de las poblaciones de

erizo de mar en el litoral asturiano. Fase II: De Cabo Torres a Tinamenor. Gijón, Dirección General de Pesca.

Toggweiler, J.R., Russell, J. 2008. Ocean circulation in a warming climate. *Nature*, 451: 286-288.

Valdés, L., López-Urrutia, A., Cabal, J.A., Álvarez-Osorio, M., Bode, A., Miranda, A., Cabanas, M., Huskin, I., Anadón, R., Álvarez-Marqués, F., Llope, M., Rodríguez, N. 2007. A decade of sampling in the Bay of Biscay: What are the zooplankton time series telling us? *Progress in Oceanography*, 74: 98-114.

Varela, M., Bode, A., Gómez-Figueiras, F., Huete-Ortega, M., Marañón, E. (2009). Variabilidade e tendencias interanuais no fitoplankton mariño das costas de Galicia. Xunta de Galicia, Santiago, 1-16

Walsh, J.E. 2008. Climate of the arctic marine environment. *Ecological Applications*, 18: S3-S22.

Wyatt, T., Porteiro, C. 2002. Iberian sardine fisheries: trends and crises. Large marine ecosystems of the North Atlantic. Changing states and sustainability. Sherman, K. y H. R. Skjoldal. Amsterdam, Elsevier: 321-338.





RECURSOS HÍDRICOS 



Jesús González Piedra<sup>1</sup>, José Humara García<sup>1</sup>, Fernando Pendás Fernández<sup>2</sup>, Almudena Ordóñez Alonso<sup>2</sup> y Juan María Fornés Azcoiti<sup>3</sup>, con la colaboración de Miguel Luis Rodríguez González<sup>3</sup> y Mónica Leonor Meléndez Asensio<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Confederación Hidrográfica del Cantábrico

<sup>2</sup>Universidad de Oviedo

<sup>3</sup>Instituto Geológico y Minero de España

## 6.1 INTRODUCCIÓN

Según se desprende del Cuarto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, 2007), el calentamiento del sistema climático es inequívoco. El IPCC ha establecido un conjunto de escenarios de emisiones, en función de diversos supuestos acerca del crecimiento de la población, de la evaluación de las actividades socio-económicas y del progreso tecnológico a lo largo del siglo XXI. Todos los modelos coinciden en una reducción significativa de las precipitaciones totales anuales.

En España se han realizado múltiples simulaciones, empleando distintas tipologías de modelos hidrológicos acoplados con varios escenarios climáticos, para estimar el impacto del cambio climático en los recursos hídricos a lo largo del siglo XXI. En cuanto a la precipitación, los escenarios climáticos señalan una disminución progresiva en la mitad norte de la Península Ibérica, que será mayor a partir de la mitad del siglo y que puede incrementarse en los escenarios de emisiones más altas. En la zona del Cantábrico se esperan disminuciones del total anual de precipitación con valores en torno al 5% para el período 2011-2040.

En la Figura 1 se presenta la evolución del valor medio (curva continua) y valor medio +/- desviación estándar (sombreado) para la

precipitación en Asturias de los escenarios A2 y B2 del Primer Programa de Trabajo para el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (OECC, 2008).

En cuanto a la temperatura, se proyecta para todas las regiones un incremento progresivo de la temperatura superficial, con incrementos generalizados de la temperatura media anual del orden de 3 a 4 °C para finales de este siglo.

En la Figura 2 se muestra, de acuerdo con el documento anterior (OECC, 2008), la evolución del cambio de temperatura máxima y mínima anual media en Asturias, obtenido con diferentes modelos globales, técnicas de regionalización y escenarios de emisión respecto al valor promedio de referencia en el periodo (1961-1990).

## 6.2 ENCUADRE REGIONAL

### ASPECTOS GENERALES

Asturias está situada al noroeste de la Península Ibérica, en la llamada “España húmeda”. Con una extensión aproximada de 10.600 km<sup>2</sup>, lo que representa algo más del 2% del territorio nacional, cuenta con el 10% del agua del país, aun cuando su población supone solamente el 2,3% del total nacional (1.075.000 habitantes, aproximadamente, con una densidad de 101,37 habitantes/km<sup>2</sup>). Esta población se distribuye espacialmente de forma irregular, concentrándose cada vez más en la zona central (que aglutina actualmente el 88% del total de la población, especialmente en los concejos de Gijón, Oviedo y Avilés), mientras que en las zonas oriental y occidental (con el 5 y el 7% de la población, respectivamente), se reduce progresivamente el número de habitantes.

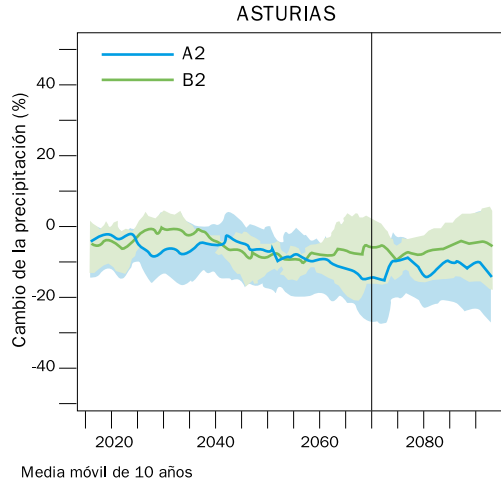


Figura 1. Evolución de la precipitación en Asturias para los escenarios A2 y B2 (la curva representa la media móvil centrada para un período de 10 años).

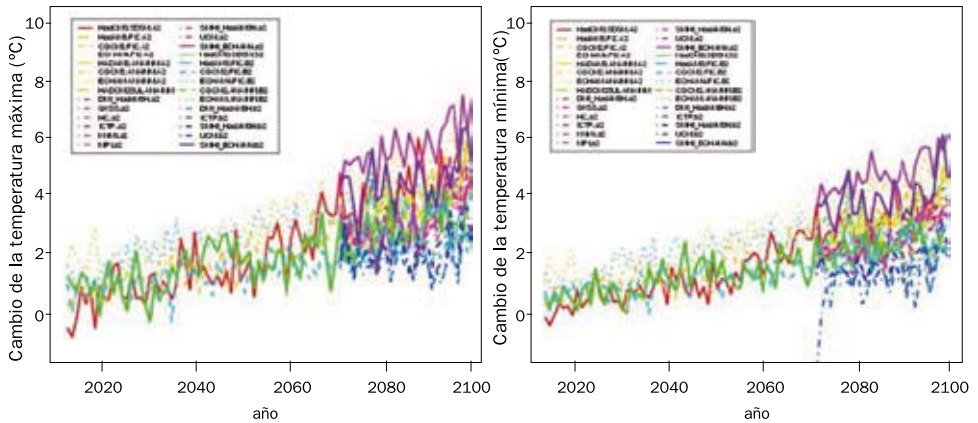


Figura 2. Evolución del cambio de Temperatura máxima (izda.) y mínima (dcha.) anual media en Asturias (OECC, 2008).

## CLIMA

Desde el punto de vista climatológico, Asturias es una región con características muy peculiares, que la diferencian notablemente del resto de España. Se encuentra situada entre el mar y la Cordillera Cantábrica, y queda bajo la influencia de los vientos húmedos de componente Norte y Noroeste, que proceden de latitudes más altas y originan lluvias copiosas y regulares.

La disposición de la costa asturiana, casi perpendicular a los flujos de aire húmedo procedentes del mar y la gran regularidad y frecuencia con que este aire llega, da lugar a gran cantidad de nubes y nieblas. La orientación de las cuencas de los ríos favorece el avance ha-

cia la cordillera de los vientos que traen la lluvia, especialmente los de componente Norte.

Así, las precipitaciones medias anuales oscilan entre 1.000 y 1.500 mm, e incluso llegan a ser superiores en algunas zonas montañosas. La lluvia se reparte bastante uniforme a lo largo del año (aproximadamente unos 150 días lluviosos al año). En general, las precipitaciones máximas tienen lugar en los meses de noviembre a abril, y las mínimas en julio y agosto.

Existen en Asturias más de 250 estaciones meteorológicas con datos de temperatura y precipitación, aunque muchas de ellas con series muy cortas o incompletas, y el análisis pluviométrico está limitado por la existencia

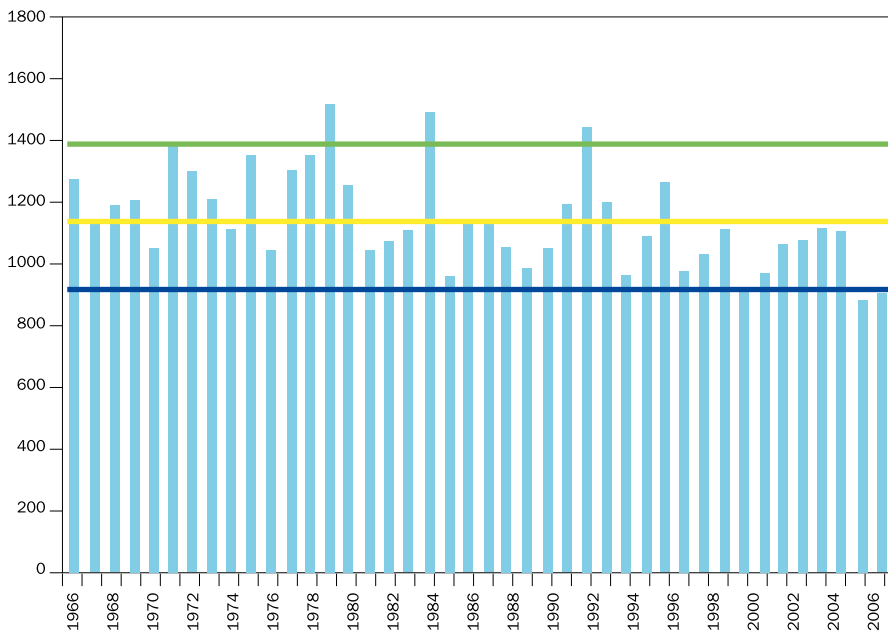


Figura 3. Precipitación media de Asturias (se indican los años de seco, medio y húmedo, en azul, amarillo y verde respectivamente).

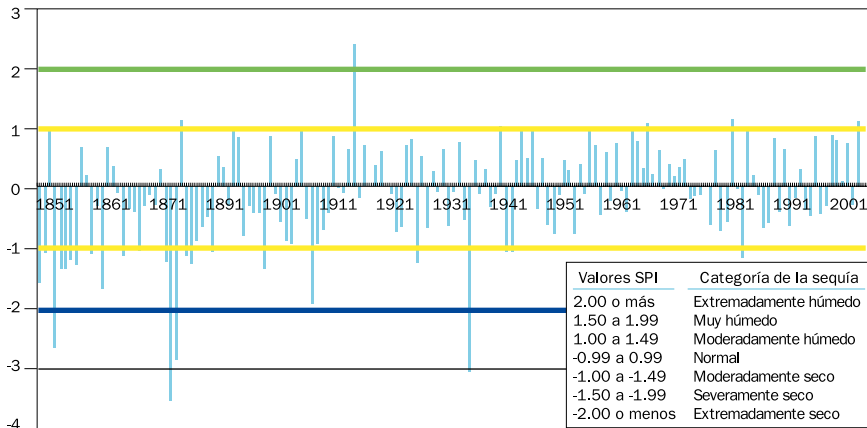


Figura 4. SPI para el período 1851-2007 de la estación de la Universidad de Oviedo; categoría de la sequía en función de los valores del SPI.

de sólo 14 estaciones situadas a cotas por encima de 1000 m. En la Figura 3 se muestra la precipitación media en Asturias calculada a partir de 35 estaciones para el período 1966 – 2007, donde figuran en rojo el año seco (925 mm), en verde el año medio (1161 mm) y en azul el año húmedo (1408 mm). El año más seco del periodo fue 2006, con 890 mm y el más húmedo 1979, con 1535 mm.

Se debe destacar que la estación meteorológica de Oviedo fue la 5ª de España por orden de implantación, con datos desde 1850. El índice estandarizado de pluviometría (SPI), obtenido a partir de los datos pluviométricos registrados en Oviedo durante esta serie larga y recogido en la Figura 4, muestra que los mayores periodos de sequía, y los más severos, se produjeron en el siglo XIX, y que en los 157 años considerados sólo hubo 5 extremadamente secos y sólo 1 en el siglo XX. La inmensa mayoría fueron años normales. Todo parece indicar que el siglo XX fue un periodo de lluvias excepcionalmente elevadas, y si se consideran

los datos de la estación de Oviedo como representativos, debe tenerse en cuenta la posibilidad de que en el presente siglo, retorne un régimen similar al del XIX, lo que supondría un 17% menos de precipitación. Algunos autores (Mateo, 1983), atribuyen el aumento de lluvia a la contaminación provocada por la industrialización a principios del siglo XX.

Respecto a las temperaturas medias, oscilan entre los 13 °C de la costa y los 9 °C de las zonas montañosas. Por tanto, se puede decir que la región asturiana presenta un clima templado y húmedo que, debido a la existencia de valles profundos en los macizos montañosos, incluye una gran variedad de áreas microclimáticas con características propias.

### HIDROGRAFÍA

Los ríos asturianos se caracterizan por su corto recorrido en estrechos valles con fuerte pendiente, cuyo caudal varía fuertemente de aguas medias a bajas (de 10 a 1) y grandes avenidas de corta duración, que pueden supe-

rar hasta 30 veces el caudal medio. El hidrograma anual de los ríos asturianos que nacen en la Cordillera, presenta dos jorobas, una de las cuales corresponde al deshielo primaveral.

En el ámbito de la planificación de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico, las cuencas hidrográficas de Asturias se encuentran agrupadas en 9 sistemas de explotación, como puede observarse en el siguiente mapa.

En una división tradicional de Asturias, corresponden a la zona occidental las cuencas del Eo, Porcía, Navia y Esva; a la zona central el Nalón y la costera de Villaviciosa; y a la zona oriental el Sella, Llanes y Deva.

Destaca la importancia de la cuenca hidrográfica del Nalón por ser la de mayor superficie. Tiene 129 km de longitud y los ríos

Narcea y Nora como principales afluentes de cuenca y aportaciones. Además, es la fuente principal para el abastecimiento del 90% de la población e industria del Principado. Otros cursos superficiales importantes son el Navia con 159 km, el Sella con 56 km, y el Eo con 79 km. Todos ellos desembocan en el Mar Cantábrico formando rías o estuarios.

### RECURSOS HÍDRICOS

Por recurso hídrico se entiende la cantidad de agua susceptible de ser aprovechada de manera racional, social, ecológica y económicamente viable. Generalmente se desglosan en recursos superficiales y subterráneos, aunque están íntimamente relacionados y las salidas de los sistemas hidrogeológicos van a los cursos de agua superficiales.



Figura 5. Sistemas de explotación en Asturias.

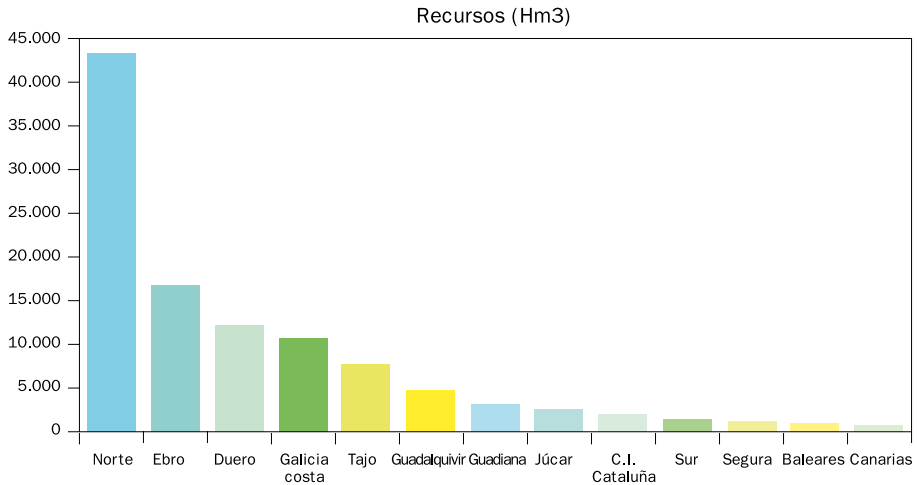


Figura 6. Recursos hídricos de las Confederaciones Hidrográficas de España (PHN 2001).

En las Tablas 1 y 2 se presentan las aportaciones en régimen natural de los sistemas hidrológicos de Asturias, así como las aportaciones de la cuenca hidrográfica del Nalón, obtenidos del Esquema Provisional de Temas Importantes (Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2008).

En relación con las infraestructuras hidráulicas, cabe decir que los grandes embalses se sitúan en el occidente de la región. Los volúmenes regulados superficiales en el Sistema Nalón para abastecimiento, son de 71 hm<sup>3</sup> (1,9% de la aportación media anual). En Asturias hay una capacidad de embalse de 511 hm<sup>3</sup>, aunque gran parte de ellos son de uso hidroeléctrico.

Los recursos subterráneos se pueden estimar como la cantidad de agua que se renueva anualmente en el embalse y es equivalente al agua que sale por el aliviadero en un embalse superficial. Para que un sistema hidrogeológico cumpla un papel regulador, hay que ex-

plotar el sistema mediante sondeos, que son el equivalente a la compuerta de fondo de un embalse superficial.

El conjunto de sistemas acuíferos ocupa una extensión de 2.772 km<sup>2</sup>, el 26,2% de la superficie del Principado. En las Tablas 4 y 5 se describen las masas de agua subterránea existentes, los acuíferos que las componen y algunas de sus características.

Acuíferos como la Caliza de Montaña (Formaciones Barcaliente y Valdeteja) o las Calizas de Escalada y/o de Peña Redonda, del Carbonífero inferior, han proporcionado hasta los años 80 el abastecimiento a Gijón, Oviedo, Llanera, Langreo, Laviana, Aller y Mieres, con un agua de excelente calidad, prácticamente sin necesidad de tratamiento. En cuanto a los embalses subterráneos, merece especial mención el de Rioseco, situado bajo el embalse superficial homónimo, con unas reservas superiores a 50 hm<sup>3</sup>, con la caliza de montaña como almacén, así como el sistema hidrogeológico Gijón-Villa-

viciosa, con unos recursos de 58 hm<sup>3</sup>/año y unas reservas estimadas de 800 hm<sup>3</sup>.

### 6.3 EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

#### AGUAS SUPERFICIALES

Se han analizado las series de registros de aportaciones anuales en 13 ríos con estación foronómica, para intentar constatar evidencias del cambio climático en los mismos. En este sentido, se han elegido algunas estaciones re-

presentativas de las existentes, con el fin de analizar la tendencia histórica de las series, así como separar la tendencia de los últimos 20 años. No obstante, hay que indicar que los registros de las estaciones de aforos, no poseen series históricas largas y completas con las que poder tener una visión más amplia del comportamiento histórico del régimen de caudales en los ríos.

A modo de ejemplo, se presentan en la Tabla 6, tres ríos con sus estaciones de aforos, y las series de registros disponibles.

Tabla I. Aportaciones en régimen natural de los sistemas de explotación de Asturias (Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2008).

		Superficie de cuenca (km <sup>2</sup> )	Aportación media (hm <sup>3</sup> /año)	Aportación específica (mm/año)
Asturias Occidental	Eo*	979,1	683	698
	Porcia	239,87	137	570
	Navia*	2587,01	2316	895
	Esva	809,97	567	699
Asturias Central	Nalón	5448,56	3765	691
	Villaviciosa	460,12	248	540
Asturias Oriental	Sella	1283,26	1126	878
	Llanes	331,13	243	733
	Deva*	1204,13	1091	898
<b>TOTAL</b>		<b>13343,15</b>	<b>10166</b>	<b>762</b>

\* Eo, Navia y Deva tienen parte de sus cuencas fuera de Asturias

Tabla II. Cuenca hidrográfica del Nalón. Características de las subcuencas (Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2008).

Cuenca	Superficie (Km <sup>2</sup> )	Aportación (hm <sup>3</sup> /año)
Nalón Tanes	264	207
Caudal	934	739
Intersubcuencas*	776	467
Trubia	784	325
Cubia	214	110
Nora	380	213
Narcea	1854	1322
Nalón Desembocadura	4907	3383

\* Corresponden a los tramos de cuenca del Nalón, entre subcuencas.

Tabla III. Infraestructuras hidráulicas (Confederación Hidrográfica del Cantábrico, 2008).

	Embalse	Capacidad(hm <sup>3</sup> )	Uso*
Asturias Occidental	Salime	265,63	HE
	Dorias	114,69	HE
	Arbón	33	HE A
Asturias Central	La Barca	33,50	HE
	La Florida	0,88	HE
	El Furacón	0,52	HE
	Valdemurio	1,55	HE
	Afilorios	9,4	A
	Priañes	1,91	HE
	Trasona	4,10	UI
	La Granda	4,09	UI
	S. Andrés de los Tacones	3,99	UI A
	Tanes	33,30	A HE UI
	Rioseco	4,27	A HE UI

\* HE: Hidroeléctrico; A: Abastecimiento; UI: Uso industrial.

Analizando la información suministrada por las diferentes estaciones de aforos de estos tres ríos, se aprecia una ligera disminución en las aportaciones anuales, al comparar los datos del promedio histórico de la serie completa, con el promedio en los últimos 20 años de la misma serie de datos del Narcea y del Esva. El río Sella sin embargo, experimenta un incremento moderado de las aportaciones a lo largo de la serie histórica.

En la Figura 7, se muestran las aportaciones de los tres ríos, correspondientes a los años hidrológicos de la Tabla 6.

En la Figura 8 se ha representado la recta de regresión, así como la recta de aportación media (hm<sup>3</sup>/año), en los gráficos de aportaciones de los ríos Narcea, Sella y Esva. Además, se ha calculado el porcentaje de desviación anual respecto a la aportación media, que supone en los ríos Narcea y Esva, una ligera tendencia decreciente del 0,4% anual, y en el río Sella, una moderada tendencia creciente del 0,7% anual. Como puede comprobarse, los coeficientes de correlación son muy bajos.

Otro aspecto a valorar de los datos obtenidos por las redes de aforos en los ríos, son los caudales máximos instantáneos. Estos miden bruscos aumentos de caudal, que suelen ser respuesta a fuertes lluvias concentradas en el tiempo.

En varios ríos analizados (Esva, Piloña, Cobia, Negro), se aprecia un ligero aumento de estos episodios de máximas crecidas, las cuales provocaron desbordamientos importantes en algunos casos. Los ríos Aller, Pigüña, Bedón, no presentan una tendencia al aumento de caudales concentrados en un tiempo corto. Una de las características de estos eventos, es que no son homogéneos en todo el territorio, ya que se concentran tanto en el espacio como en el tiempo, por lo que no es de esperar que en todos los ríos se aprecien por igual.

Junto al impacto del cambio climático, los recursos hídricos se ven afectados por otros factores de presión, tales como el aumento de la demanda urbana, industrial e hidroeléctrica, puesto que la red foronómica recoge el régimen circulante alterado por los usos del agua.



Tabla IV. Características geológicas de los diferentes acuíferos de Asturias (Confederación Hidrográfica del Norte, 2007).

Nombre	Poligonal (km <sup>2</sup> )	Superficie permeable (km <sup>2</sup> )	Nombre de acuífero	Litología
Eo-Navia-Narcea	3918,45	-	-	Pizarras, areniscas, cuarcitas paleozoicas y materiales graníticos
Somiedo-Trubia-Pravia	1571,89	643	Cabo Peñas Cornellana-Pravia Tuña Somiedo Tameza-Grado Sobia-Turbia Morcín Sierra del Aramo Caldas-Palomar Sobia-Mustayal Somiedo	Calizas, Dolomías, Areniscas, Margas Calizas, Dolomías, Areniscas, Margas Calizas, Dolomías Calizas, Dolomías, Areniscas, Margas Calizas, Dolomías, Areniscas Calizas, Dolomías, Areniscas, Margas Calizas Calizas Calizas Calizas, Dolomías, Areniscas
Candás	128,03	-	-	Calizas, Dolomías
Llantones-Pinzales-Noreña	172,92	92	Acuífero superior Acuífero inferior	Calizas, Dolomías y Conglomerados Calizas, Dolomías
Villaviciosa	297,64	294	Acuífero superior Acuífero inferior	Areniscas, Conglomerados y Margas Calizas, Dolomías
Oviedo-Cangas de Onís	430,53	-	Oviedo-Pola de Siero Nava-Cangas de Onís	Arenas, Calizas y Arcillas Arenas, Calizas y Arcillas
Llanes-Ribadesella	549,85	318	Sierra del Suevo Costero de Ribadesella Mofrechu Costero de Llanes Sierra del Cuera	Calizas Calizas Calizas Calizas Calizas
Cuenca carbonífera asturiana	859,59	-	-	Luitas, areniscas, calizas, pizarras, conglomerados y carbón del Carbonífero
Región del Ponga	1031,56	120	Región de Ponga I Región de Ponga II	Calizas (Caliza de Montaña) Calizas (Caliza de Escalada)
Picos de Europa-Panes	883,04	654	Picos de Europa Carreña-Parres	Calizas Calizas
Alto Deva-Alto Cares	296,12	-	-	Luitas, areniscas, calizas, pizarras y conglomerados

Tabla V. Características hidrogeológicas de los diferentes acuíferos de Asturias (IGME, 1984).

Nombre	Sistemas de acuíferos	Espesor medio (m)	Recursos (hm <sup>3</sup> /año)	Reservas (hm <sup>3</sup> /año)
Eo-Navia-Narcea	-	-	-	-
Somiedo-Trubia-Pravia	Cabo Peñas	690-810	1.0-2.2	21-65
	Cornellana-Pravia	760-780	6.0-13.8	70-202
	Tuña	130	2.2-4.4	13-65
	Tameza-Grado	485-580	6.3-13.1	64-206
	Sobia-Trubia	200-300	4.1-8.6	43-155
	Morcín	200	1.2-2.8	20-40
	Sierra del Aramo	700	30	34-100
	Caldas-Palomar	800-1000	30	66
	Sobia-Mustayal	700-1000	20	170
	Somiedo (0.3 K)	1000-1600	625	15.8-32.6
	<b>TOTALES</b>		<b>116.6-157.5</b>	<b>605-1483</b>
Llantones-Pinzales-Noreña	Acuífero detrítico	100	24	70
	Acuífero calcáreo	160		
	Pinzales-Noreña	100-160	15.8-32.6	120
	<b>TOTALES</b>		<b>38</b>	<b>190</b>
Villaviciosa	Acuífero detrítico	100	24	800
	Acuífero calcáreo	160-280		
	<b>TOTALES</b>		<b>58</b>	<b>800</b>
Cangas de Onís	Oviedo-Pola de Siero	50-400	53	1650
	Nava-Cangas de Onís	50-400	53	1650
	<b>TOTALES</b>		<b>106</b>	<b>3300</b>
Llanes-Ribadesella	Sierra del Suevo	1000	19	24.5
	Costero de Ribadesella	-	28	40
	Mofrechu	-	10	24
	Costero de Llanes	-	60	70
	Sierra del Cuera	Máx. 1500	67	90
	<b>TOTALES</b>		<b>184</b>	<b>248.5</b>
Cuenca carbonífera asturiana	Reborde Oriental de la cuenca carbonífera asturiana	-	230	120
	<b>TOTALES</b>		<b>230</b>	<b>120</b>
Región de Ponga	Caliza de Montaña	500		
	Caliza de Escalada	250	230	120
	Caliza de Peñarredonda	150		
	<b>TOTALES</b>		<b>230</b>	<b>120</b>
Picos de Europa-Panes	Picos de Europa	1100	250-450	500
	Carreña-Panes	1100	200	200
	<b>TOTALES</b>		<b>450-650</b>	<b>700</b>
Peña Ubiña-Peña Rueda	Peña Ubiña-Peña Rueda	-	50	21
	<b>TOTALES</b>		<b>50</b>	<b>21</b>
Alto Deva- Alto Cares	-	-	-	-

Tabla VI. Estaciones de aforo analizadas.

Río	Estación/Localidad	Años hidrológicos	Total años
Narcea	1359 Requejo	1972-1973 a 2005-2006	31
Sella	1295 Cangas de Onís	1943-1944 a 2005-2006	61
Esva	1395 Trevías	1970-1971 a 2005-2006	35

Se necesitarían, por tanto, series de datos más largas y completas, una mejor red fononómica, una restitución del régimen natural y estudios más detallados, para poder acercarse, desde el punto de vista del comportamiento de la red fluvial, al impacto del cambio climático.

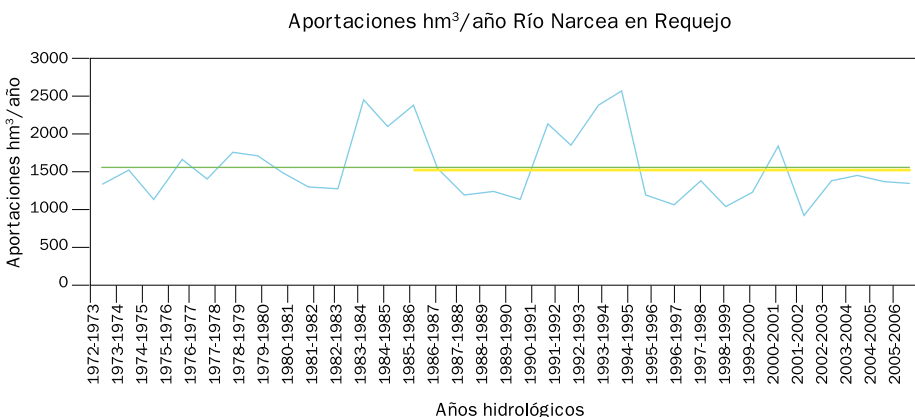
#### AGUAS SUBTERRÁNEAS

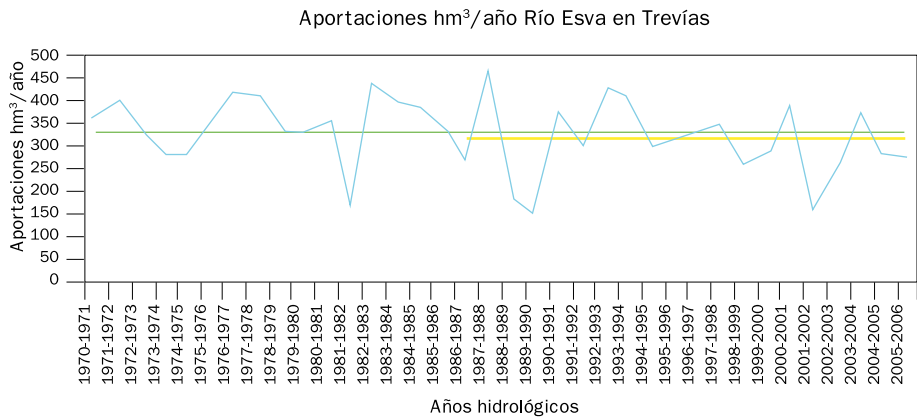
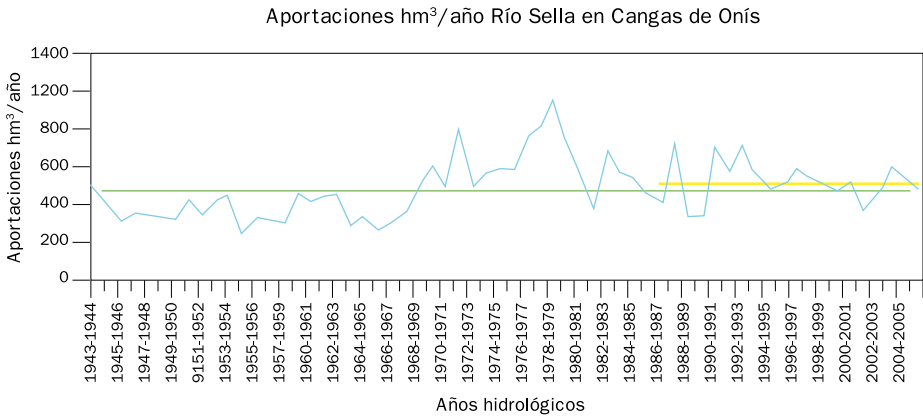
No se conocen datos, informes, publicaciones, etc., que confirmen el impacto del cambio climático sobre los recursos hídricos subterráneos en el Principado de Asturias. Para poder encontrar evidencias, se necesitaría disponer de series suficientemente representativas de datos de precipitación, de niveles piezométricos y de calidad química de los diferentes

puntos de agua subterránea, así como de los caudales suministrados por los manantiales y sondeos de captación.

No existe una red piezométrica suficientemente representativa en Asturias. El IGME tiene una Base de Datos, AGUAS XXI, que contiene una tabla principal sobre piezometría que incluye 476 registros en Asturias, pero sin un seguimiento continuado en el tiempo de los niveles. Los datos piezométricos disponibles, a partir de 2001, se encuentran actualmente en la Confederación Hidrográfica del Cantábrico. En todo caso, el número de puntos de control es muy escaso.

Aunque según varios estudios se prevé un aumento variable del nivel del mar de 10 - 70 cm para finales del siglo XXI (MIMAM, 2005;

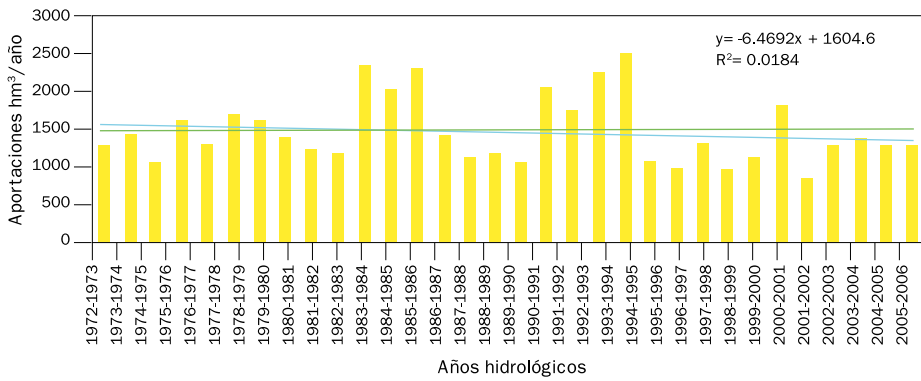




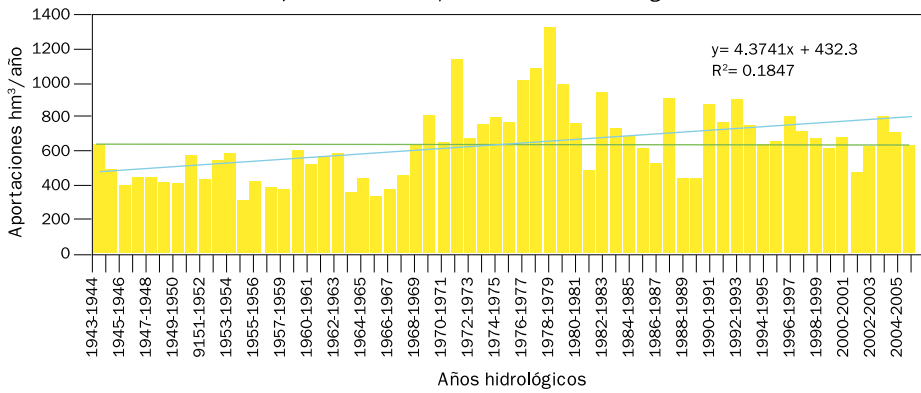
- Aportación (Hm<sup>3</sup>/año)
- Promedio histórico de la serie
- Promedio de los últimos 20 años

Figura 7. Gráficas de evolución de aportaciones en los Ríos Narcea, Sella y Esva.

Aportaciones hm<sup>3</sup>/año Río Narcea en Requejo



Aportaciones hm<sup>3</sup>/año Río Sella en Cangas de Onís



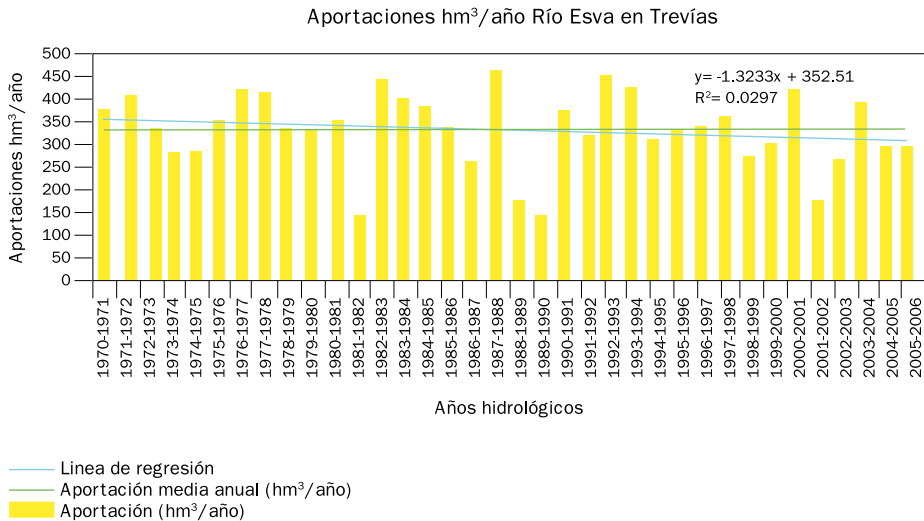


Figura 8. Gráficos de aportaciones representando la recta de regresión en los ríos Narcea, Sella y Esva.

IPCC, 2007), es decir, unos 3 mm/año, no se tiene constancia de la influencia de este fenómeno en las aguas subterráneas de los acuíferos costeros asturianos, que, por otra parte, prácticamente funcionan en régimen natural, tienen un gradiente elevado (sólo puntuales incidencias de intrusión marina), y casi no son explotados.

Los datos de caudales captados en manantiales, o bombeados en manantiales y sondeos, se encuentran fundamentalmente en propiedad de las entidades gestoras de los abastecimientos municipales de numerosos ayuntamientos.

No se conoce la incidencia que las cifras de precipitación y temperatura estimadas para los escenarios A2 y B2 del IPCC, puedan tener en los recursos hídricos subterráneos de la región asturiana. Debe hacerse hincapié en que sería necesario disponer de un mayor co-

nocimiento de los acuíferos de Asturias (redes de control piezométrico continuado, calidad, etc.), con el fin de conocer su comportamiento real, su relación con las aguas superficiales y su viabilidad de explotación de cara a un uso conjunto, así como para poder evaluar el posible impacto que sobre ellos pueda tener el cambio climático.

### 6.4 IMPACTOS AL CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático puede producir efectos sobre los siguientes aspectos:

#### DISPONIBILIDAD DE AGUA

Los recursos hídricos presentan una gran sensibilidad al aumento de las temperaturas y a la disminución de las precipitaciones. Además, los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, no sólo afectan al régi-

men de aportaciones y al equilibrio del ciclo hidrológico, sino también al sistema de recursos hidráulicos disponible, y, por tanto, a la forma de gestionarlo, siendo un factor determinante en la disponibilidad de agua frente a la demanda de la sociedad.

Siguiendo la Instrucción de Planificación (IPH), a falta de datos suficientemente contrastados, para el conjunto de la demarcación del Cantábrico se considera, en el horizonte de la planificación 2027 y por causa del cambio climático, una disminución de las aportaciones del 2%. Esta cifra se basa en los estudios provisionales realizados por el CEDEX para el Plan Hidrológico, actualmente en redacción, contenidos en el Acuerdo de encomienda de gestión entre los Ministerios de Medio Ambiente y de Fomento para el estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua.

#### FRECUENCIA E INTENSIDAD DE EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS (SEQUÍAS E INUNDACIONES)

Todas las proyecciones indican que habrá un importante incremento en la intensidad y frecuencia de eventos extremos en todas las regiones españolas, que será significativamente mayor, en el caso de los escenarios de emisiones más altas.

El aumento de la temperatura media y, por consiguiente, de la evapotranspiración, puede provocar un aumento de las precipitaciones en las épocas lluviosas, y una reducción de las aportaciones hídricas en los meses más secos. Estos fenómenos pueden dar lugar al aumento de riesgo de inundaciones durante las épocas de lluvia, y a que en los periodos de sequía, se produzca una falta de atención a la demanda de los usos socioeconómicos.

#### CALIDAD DEL AGUA

El clima influye también en la calidad del agua, afectando incluso a sus parámetros físico-químicos. Algunos de los cambios más preocupantes previstos son:

- Problemas de calidad al disminuir los recursos hídricos, si se mantienen o aumentan las cargas contaminantes.
- Reducción de caudales hasta límites por debajo del caudal ecológico establecido.
- Alteración geomorfológica de los cauces y los sistemas estuarinos, además de los humedales.
- Alteración de los ecosistemas fluviales y de ribera: extinción y/o desplazamientos de especies animales y vegetales, pérdida de biodiversidad.

De acuerdo con la red de Vigilancia y Control de la Calidad de las Aguas Subterráneas en la cuenca Norte II, gestionada por el IGME entre los años 1981 y 2001 (apartado 6), y otros estudios de calidad química de las aguas subterráneas del Principado de Asturias, llevados a cabo por el mismo Instituto (Ortuño et al., 2004), se desprende que los contenidos iónicos son estables y no fueron detectadas evidencias del cambio climático, si bien en algunos casos se registró un aumento de la concentración de nitratos, provocada por la contaminación difusa asociada a malas prácticas ganaderas y/o agrícolas -uso de abono en exceso-.

#### IMPACTOS SOCIOECONÓMICOS

Todos los posibles cambios señalados anteriormente afectarían a numerosas actividades sociales y/o económicas que dependen, de un modo u otro, del agua. Esta afeción puede ser significativa en el suministro de agua potable a las poblaciones, en los usos agroganaderos,

industriales, e hidroeléctricos, así como en las actividades recreativas en ríos y lagos.

## 6.5 RECOMENDACIONES

- Crear escenarios hidrológicos teniendo en cuenta la interacción de sectores altamente dependientes de los recursos hídricos (energía, agricultura, bosques, turismo, etc.), y el desarrollo de modelos regionales acoplados clima-hidrología, que permitan obtener escenarios fiables de todos los términos y procesos del ciclo hidrológico, incluidos los eventos extremos.

- Se recomienda diseñar y establecer redes de control de aguas superficiales y subterráneas, que permitan disponer de un seguimiento cuantitativo continuo en el tiempo de los caudales circulantes en los principales ríos, de los niveles piezométricos de las masas de aguas subterráneas, así como de la hidrometría de los principales manantiales. Sería importante también, fortalecer la red de calidad de las aguas subterráneas. Sólo una toma de datos con suficiente densidad y continuidad, permitiría contrastar la validez de los modelos de predicción y disminuir los errores en las predicciones para el futuro.

- Las estaciones meteorológicas en Asturias están en su mayoría a cotas bajas, quedando muy mal cubiertas las zonas elevadas, muy importantes en una región tan montañosa. Se deberían de integrar todas las redes meteorológicas existentes (INM, Tráfico, Aucalsa, redes de vigilancia de la contaminación, etc.).

- Como estudio piloto, debería investigarse la recarga natural de algún acuífero carbonatado perteneciente a la unidad geológica Caliza de Montaña Cantabro-Astur (por ejemplo, el acuífero de la Sierra del Suevo), aplicando dis-

tintos métodos (balance de cloruros, método APLIS, etc.).

- Sería recomendable la caracterización de algún acuífero kárstico representativo, en el que se establezca su modelo de funcionamiento, con el objetivo de lograr una gestión óptima de sus recursos subterráneos.

- Sería conveniente analizar la viabilidad de explotación de los recursos hídricos subterráneos, priorizando según el interés de los mismos.

- Se considera conveniente instrumentar los manantiales más importantes, definir los sistemas hidrogeológicos que drenan y su perímetro de protección, y plantear soluciones para que, en el caso de disminuir su caudal o desaparecer en la época estival por causa del cambio climático, no haya restricciones en las dotaciones designadas para los diferentes usos, especialmente el urbano.

- Se debería fomentar una gestión adecuada de la demanda y la explotación racional de los recursos incentivando una gestión conjunta de las aguas superficiales y subterráneas, y la reutilización del recurso, siempre que sea compatible con parámetros de sostenibilidad ambiental, económica y social.- Impulsar la coordinación entre las administraciones (local, autonómica, nacional e internacional), a través de sus políticas sectoriales.

## 6.6 BASES DE DATOS EXISTENTES

Aguas superficiales:

a) Red ROEA (Red Oficial de Estaciones de Aforo).

b) Red Integrada de la Calidad de las Aguas (Red ICA):

- Red COAS (Control Oficial de Abastecimiento). Control de prepotables.



- Red COCA (Control de Calidad de las Aguas)
- Red de Ictiofauna. Vida de peces
- Red de Sustancias Peligrosas
- Red de Nitratos (actividades agrarias)
- Red OSPAR (Control de emisiones al mar y transfronterizas)
- Red de Baño y Uso Recreativo
- c) Red SAICA

Desde el punto de vista de los recursos hídricos subterráneos, cabe destacar las siguientes Bases de Datos:

- a) Red Oficial de Control de Aguas Subterráneas (piezometría y calidad) del MARM.
- b) Base de Datos AGUAS XXI del IGME (Pernía et al., 2006):
  - AGMA (Tabla Maestro)
  - AGLI (Litologías)
  - AGEB (Ensayos de Bombeo)
  - AGPZ (Piezometría)
  - AGHD (Hidrometría)
  - AGEX (Extracciones)
  - AGAQ (Análisis Químicos)
- c) Red de Vigilancia y Control de la Calidad de las Aguas Subterráneas en la cuenca Norte II gestionada por el IGME durante el periodo 1981 y 2001.
- d) El IGME Programa Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas (PIAS) (IGME, 1981).
- e) Las empresas privadas subcontratadas por los Ayuntamientos, AQUALIA y ASTURAGUA disponen de datos de caudales captados en manantiales, o bombeados en manantiales y sondeos, porcentaje de utilización de aguas subterráneas y calidad de las mismas.

## 6.7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Anuarios de aforos del Ministerio de Fomento, y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Anuarios de nieve en las cordilleras españolas (1990-2006).
- Anuarios Piezométricos de las demarcaciones hidrográficas intercomunitarias.
- “El cambio climático en España. Estado de situación. Documento resumen”. Informe para el Presidente del Gobierno elaborado por expertos en cambio climático. Noviembre 2007, 42 pp.
- Confederación Hidrográfica del Cantábrico (2008). “Esquema Provisional de Temas Importantes: Parte Española de la Demarcación Hidrográfica del Cantábrico”. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Confederación Hidrográfica del Norte (2007). “Estudio General sobre la Demarcación Hidrográfica del Norte”. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- IGME (1979). “Estudio hidrogeológico de la cuenca Norte de España (Asturias)”. Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España. Informe Parcial. 3 Volúmenes.
- IGME (1980). “Estudio hidrogeológico de la cuenca Norte de España (Asturias)”. Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España. Informe Parcial. 4 Volúmenes.
- IGME (1981). “Estudio hidrogeológico de la cuenca Norte de España (Asturias)”. Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España. Informe Final. 5 Informes Técnicos y 11 Volúmenes.

- IGME (1981-2001). Red de Vigilancia y Control de la Calidad de las Aguas Subterráneas en la cuenca Norte II (Comunidades Autónomas de Cantabria y del Principado de Asturias). Informes internos cada 6 meses. Instituto Geológico y Minero de España.
- IGME (1984). "Investigación hidrogeológica de la cuenca Norte: Asturias". Ministerio de Industria y Energía. Plan Nacional de Investigación de Aguas Subterráneas. Instituto Geológico y Minero de España. Colección Informe. Madrid, 81 pp.
- [http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1\\_HR/libro79/lib79.htm](http://aguas.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro79/lib79.htm)
- IGME (1999). "Estudio Hidrogeológico de la Unidad 01.16 Llanes-Ribadesella". Programa de Actualización de Infraestructura Hidrogeológica. Informe Final. 8 volúmenes.
- INM (2007). "Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España. Anexo IV – Agregación de las proyecciones de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación por Comunidades Autónomas". Ministerio de Medio Ambiente. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid, 20 pp.
- Instrucción de Planificación Hidrológica, aprobada mediante la Orden ARM/2656/2008, de 10 de septiembre.
- IPCC (2007). "Climate change 2007: The Physical Science Basis". Intergovernmental Panel on Climate Change, 996 pp.
- MARM y Ministerio de Fomento. Anuario de aforos 2005-2006 del Ministerio de Fomento, y Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Mateo, P. (1983). "Series termométricas de la antigua estación meteorológica de Oviedo: (Estudio de las series termométricas de la antigua estación meteorológica de la Universidad de Oviedo): 1851-1980". Instituto Nacional de Meteorología, España.
- MIMAM (2005). "Evaluación preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático". Proyecto Efectos del Cambio Climático en España (ECCE). Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, 840 pp.
- OECC -Oficina Española de Cambio Climático- (2008). "Primer Informe de seguimiento sobre el desarrollo del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático"; marco para la coordinación entre administraciones públicas para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Secretaría de Estado de Cambio Climático, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Ortuño, A., Meléndez, M. y Rodríguez, M.L. (2004). "Relación entre litología y características hidroquímicas de las aguas subterráneas. Red de Control de la Calidad del Principado de Asturias". Boletín Geológico y Minero, 115 (1): 35-46.
- Pernía, J.M., Sánchez, A.J. y Herrero, J.L. (2006). "Manual de Usuario de la Base de Datos AGUAS XXI y la aplicación GESDAGUAS". Instituto Geológico y Minero de España.
- Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (2008). Primer Programa de Trabajo (Primer Informe de Seguimiento).
- Programa ERHIN (1984-2008). Datos sobre la nieve y los glaciares en las cordilleras españolas. Anuarios La Nieve en las cordilleras españolas (1990-2006).



SALUD 

**Mario Juan Margolles Martins** (coordina). Dirección General de Salud Pública y Participación, Consejería de Salud y Servicios Sanitarios. Principado de Asturias.

**María Dolores Quiñones Estévez**. S. Alergología. Hospital Monte Naranco. Servicio de Salud del Principado de Asturias.

**María Luisa Redondo Cornejo**. Dirección General de Salud Pública y Participación, Consejería de Salud y Servicios Sanitarios. Principado de Asturias.

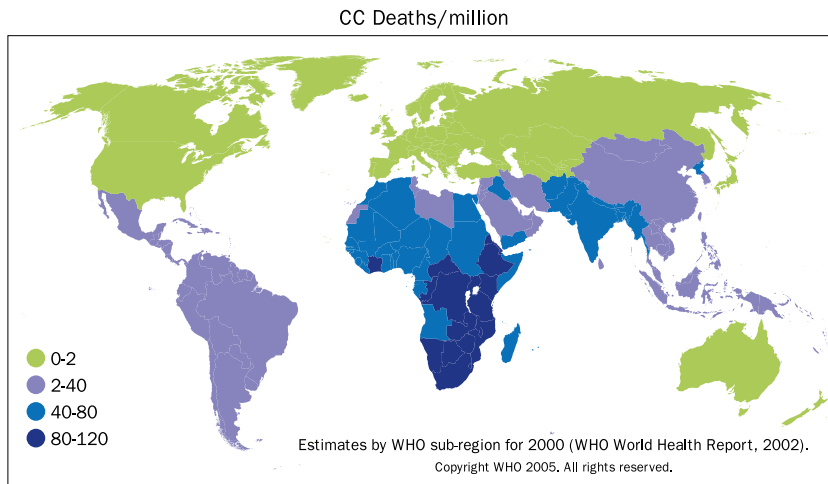
## 7.1 INTRODUCCIÓN

Según el tercer Informe del Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), organismo del World Meteorological Organization (WMO) y del United Nations Environment Programme (UNEP), “...en general el Cambio Climático aumentará los peligros para la salud humana, sobre todo en las poblaciones de me-

nores ingresos de los países tropicales y subtropicales” (IPCC Working Group II 2007, IPCC Synthesis Report 2001) (Figura 1).

El Cambio Climático puede afectar a la salud humana de manera directa (consecuencia de temperaturas demasiado altas o bajas, pérdida de vidas y lesiones en inundaciones y tormentas) e indirecta, alterando el alcance de los vectores de enfermedades, como los mosquitos, y de los patógenos transmitidos por el agua, así como la calidad del agua, del aire y la calidad y disponibilidad de alimentos (Organización Mundial de la Salud, OMS, 2003).

El impacto real en la salud dependerá mucho de las condiciones ambientales locales y las circunstancias socioeconómicas, así como de las adaptaciones sociales, institucionales, tecnológicas y del comportamiento orientadas a reducir el conjunto de amenazas para la salud.



Fuente: CSDH (2008). *Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health. Final Report of the Commission on Social Determinants of Health.* Geneva, World Health Organization.

**Figura 1.** El mundo. Mortalidad estimada por la OMS debida al Cambio Climático, 2000. Organización Mundial de la Salud.

#### Factores fundamentales:

- La influencia del clima sobre el ser humano se ve modulada por interacciones con otros procesos ecológicos, sociales y de adaptación.

- Hay muchas fuentes de incertidumbre científica y contextual.

El IPCC llegó a la conclusión, con alto grado de confianza, de que el Cambio Climático aumentaría la mortalidad y morbilidad asociada al calor y reduciría la mortalidad asociada al frío en los países templados, y aumentaría la frecuencia de epidemias después de inundaciones y tormentas (IPCC Working Group II 2007, IPCC Synthesis Report 2001). En los países templados sometidos al Cambio Climático puede que la disminución de fallecimientos invernales supere al incremento de fallecimientos estivales (OMS 2003). Por otra parte, la vulnerabilidad de una población depende de factores como la densidad demográfica, el grado de desarrollo económico, la disponibilidad de alimento, el nivel y distribución de los ingresos, las condiciones ambientales locales, el estado previo de salud, y la calidad y disponibilidad de la atención sanitaria pública. Las poblaciones que vivan en las actuales zonas endémicas de paludismo y dengue serán las más susceptibles. (OMS 2003, WHO 2008).

#### EFFECTOS SOBRE LA SALUD

- Enfermedades y defunciones relacionadas con la temperatura.

- Efectos sobre la salud relacionados con fenómenos meteorológicos extremos.

- Efectos sobre la salud relacionados con la contaminación atmosférica y cambios en la distribución del polen.

- Enfermedades transmitidas por el agua y los alimentos.

- Enfermedades transmitidas por vectores y roedores.

- Efectos de la falta de alimentos y agua.

- Efectos sobre la salud mental, la nutrición y las infecciones.

- Efectos sobre la salud derivados de un menor frío y olas de frío. (OMS 2002, OMS 2003, WHO 2008, Murray 1994, McMichael et al. 2003, IARC 1992, Department of Health UK 2002).

En concreto:

- Mortalidad y morbilidad asociada a las temperaturas extremas.

- Traumatismos y mortalidad derivados de catástrofes por Cambio Climático: lluvias torrenciales, desprendimientos, sequía, etc.

- Enfermedades transmitidas por alimentos: diarreas, intoxicaciones alimentarias

- Enfermedades transmitidas por vectores: mosquitos, moscas, piojos, garrapatas, etc.

- Impacto del sol y radiación: cutáneos (melanoma, otros cánceres de piel, quemaduras solares, dermatosis solar crónica, fotodermatitis), oculares (queratitis, degeneración esferoidal de córnea, cáncer de córnea y conjuntiva, opacidad del cristalino, melanoma uveal, retinopatía actínica, degeneración macular), otros efectos (raquitismo, osteomalacia, osteoporosis, hipertensión arterial, cardiopatías isquémicas y tuberculosis, esquizofrenia, cáncer de mama y próstata, trastornos afectivos emocionales, ciclos sueño-vigilia, estado de ánimo).

- Los efectos sobre el clima producen cambios de especies botánicas con aumento de la polinosis, cambios en la producción de alimentos (desnutrición) y aumento de la contaminación atmosférica (enfermedades respiratorias, tumores etc.) (OMS 2002, OMS 2003, WHO 2008, Murray 1994, McMichael et al. 2003, IARC 1992, Department of Health UK 2002).

## 7.2 CAMBIOS DETECTADOS

### CARGA DE MORBILIDAD CAUSADA POR EL CAMBIO CLIMÁTICO

Diferentes estudios sobre el impacto se han hecho analizando los años de vida ajustados en función de la discapacidad (AVAD) que resulta de sumar los años de vida perdidos por muertes prematuras (AVP) y los años de vida vividos con discapacidad (AVD). Los cálculos estimados por la OMS de impacto del Cambio Climático en el año 2000 por regiones para países desarrollados es de 8,9 AVAD/millón de habitantes, muy lejos de los 1703 estimados para Asia suroriental y de los 1586 para el Mediterráneo Oriental. (OMS 2002, OMS 2003, WHO 2008, Murray 1994, McMichael et al. 2003, IARC 1992, Department of Health UK 2002).

En estos análisis se han incluido resultados de salud para los que hay indicadores: episodios de diarrea (para las enfermedades transmitidas por alimentos y agua), los casos de malaria (para enfermedades transmitidas por vectores), los traumatismos mortales no intencionales (para las catástrofes naturales) y los niveles de aporte diario recomendado de calorías (para el riesgo de malnutrición).

Sin embargo, al no ser posible cuantificar determinados indicadores, no se han tenido en cuenta el impacto de determinados cambios en la contaminación atmosférica y algunas concentraciones de alérgenos, la modificación de transmisión de otras enfermedades infecciosas, los efectos sobre producción de alimentos, las sequías y hambrunas, los desplazamientos demográficos por catástrofes naturales, la destrucción de las infraestructuras sanitarias en catástrofes naturales, los conflictos por recursos naturales y las reper-

cusiones directas del frío y calor (morbilidad) (OMS 2002, McMichael et al. 2003, IARC 1992, Department of Health UK 2002).

La Organización Mundial de la Salud (OMS) propone hacer vigilancia de los impactos del clima sobre la salud humana en varios ámbitos de información (OMS 2003, WHO 2008) que se resumen en la Tabla I.

### Efectos del ozono y la radiación ultravioleta

Con un incremento esperado para el 2020 del 10% de la radiación ultravioleta en comparación con 1980, habrá varios tipos de repercusiones (OMS 2003, IARC 1992, Department of Health UK 2002):

**Efectos cutáneos:** melanomas, carcinomas basocelulares y escamocelulares, quemaduras solares, dermatosis solar crónica, fotodermatitis.

**Efectos oculares:** queratosis y conjuntivitis actínica aguda, degeneración esferoidal de la córnea, pterigio, cáncer de córnea y conjuntiva, opacidad del cristalino, melanoma uveal, retinopatía actínica aguda, degeneración macular.

**Efectos sobre inmunidad e infecciones:** supresión de inmunidad celular, mayor susceptibilidad a infecciones, menor eficacia de inmunización preventiva, activación de infecciones víricas latentes.

#### Otros efectos:

- Producción cutánea de vitamina D:
- Prevención de raquitismo, osteomalacia y osteoporosis.
- Posible efecto beneficioso en hipertensión arterial, cardiopatías isquémicas y tuberculosis.
- Posible disminución del riesgo de esquizofrenia, cáncer de mama o cáncer de próstata.
- Posible prevención de la diabetes de tipo I.

Tabla I. Propuesta de vigilancia de la OMS sobre los impactos del clima en la salud humana.

	Resultados sanitarios	Poblaciones o lugares de vigilancia	Fuentes y métodos para obtener datos	Datos meteorológicos	Otras variables
Temperaturas extremas	Mortalidad diaria. Ingresos hospitalarios. Asistencia a consulta	Poblaciones urbanas, sobre todo en PVD	Registros	Temperatura (min, max., med.) y humedad diaria	Factores de confusión: gripe e infecciones respiratorias, contaminación
Fenómenos meteorológicos extremos	Defunciones atribuidas, ingresos hospitalarios, datos de vigilancia de enfermedades infecciosas, estado nutricional	Todo	Uso de registros de defunciones, registros de SP	Datos sobre fenómenos meteorológicos: extensión, momento, intensidad	Alteración o contaminación de los suministros de alimentos y agua. Desplazamientos de población
Enfermedades transmitidas por alimentos y agua	Morbimortalidad enfermedades infecciosas	Todo	Registros de defunciones	Temperatura semanal/diaria, pluviosidad para las enfermedades hídricas	Tendencias a largo plazo. Patrones estacionales
Enfermedades transmitidas por vectores	Poblaciones de vectores, declaración de enfermedades, distribuciones	Márgenes de distribución geográfica y temporalidad en zonas endémicas	Encuestas de campo locales, datos de vigilancia sistemática	Temperatura semanal/diaria, humedad y pluviosidad	Uso de la tierra, configuraciones de superficie de las aguas dulces

- Alteración del bienestar general: ciclos de sueño-vigilia, trastorno afectivo estacional, estado de ánimo.

**Efectos indirectos:** efectos sobre el clima, el abastecimiento de alimentos, los vectores de enfermedades infecciosas, la contaminación atmosférica, etc.

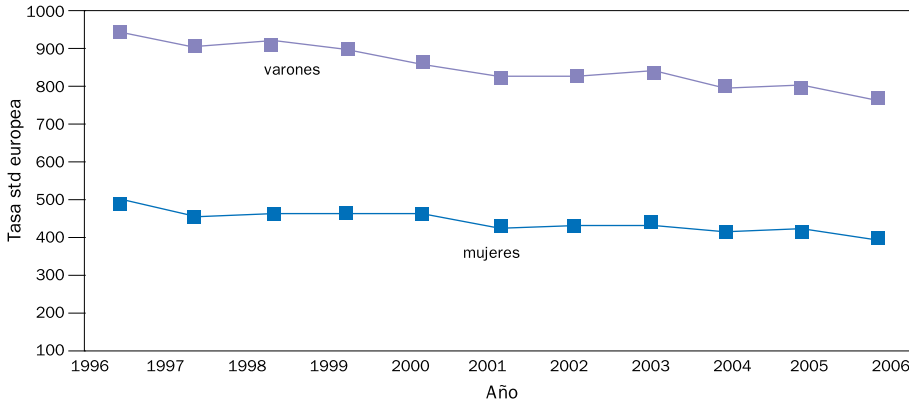
#### APROXIMACIÓN A LOS EFECTOS SOBRE LA SALUD EN VARIABLES RELACIONADAS CON EL CAMBIO CLIMÁTICO EN ASTURIAS

##### Acción directa del frío

El Cambio Climático redundaría en un incremento de los días y noches menos fríos, y una disminución de las olas de frío. Si bien Asturias tiene un clima templado bastante ajustado, la OMS indica que parte del 5-30% de incremento de las muertes en invierno respecto al verano pueden ser evitadas con el Cambio Climático (OMS 2003, WHO 2008).

Actualmente, ya se ha observado ese efecto en Europa, fundamentalmente debido a una mejor calefacción, mejor salud y mejor tratamiento de infecciones respiratorias. La OMS estima en 9000 las muertes anuales que se podrían evitar en la UE en los próximos años por estos efectos (OMS 2003, WHO 2008). En Asturias, se ha notado desde hace varios años una desestructuración de los habituales ciclos estacionales de la gripe y de la mortalidad invernal asociada a ella (Margolles et al. 2004-2008, Redondo et al. 1999-2006) (Figuras 3 y 4). Puede ser efecto de una ausencia de circulación de virus respiratorios, o de una mejor calefacción basada en un aumento de la proporción de viviendas con calefacción central (en 2002 una cuarta parte de la población asturiana entrevistada en la Encuesta de Salud no tenía calefacción centralizada (Margolles et al. 2003, Margolles et al. 2008)), o de un cambio de los combustibles utilizados

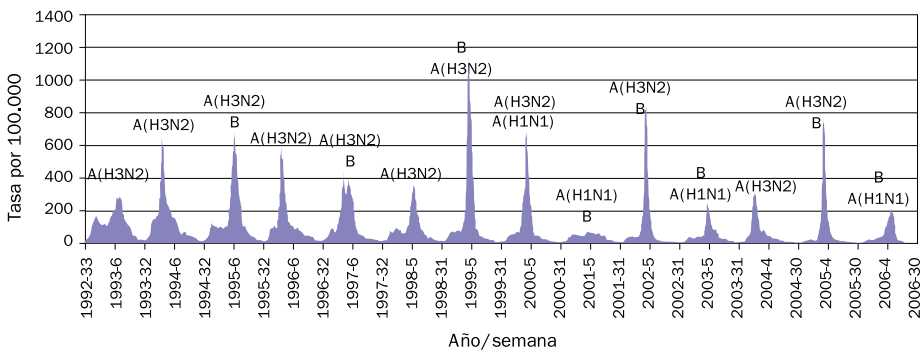




Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

Figura 2. Asturias. Tasas de mortalidad por año y sexo. (Tasa estandarizada europea por 100.000). 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.

Gripe en Asturias, 1992-2006, sistema EDO  
Incidencia semanal y virus predominante



Fuente: Huerta I., et al. 2008: Campaña de vacunación antigripal, 2008-09. Manual de procedimientos.

Figura 3. Asturias. Casos incidentes de gripe. 1992-2006. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.

Incidencia de la gripe (cuatrisesemanal ajustada) y defunciones por todas las causas (mensual) en Asturias, 1995/mayo 2006.

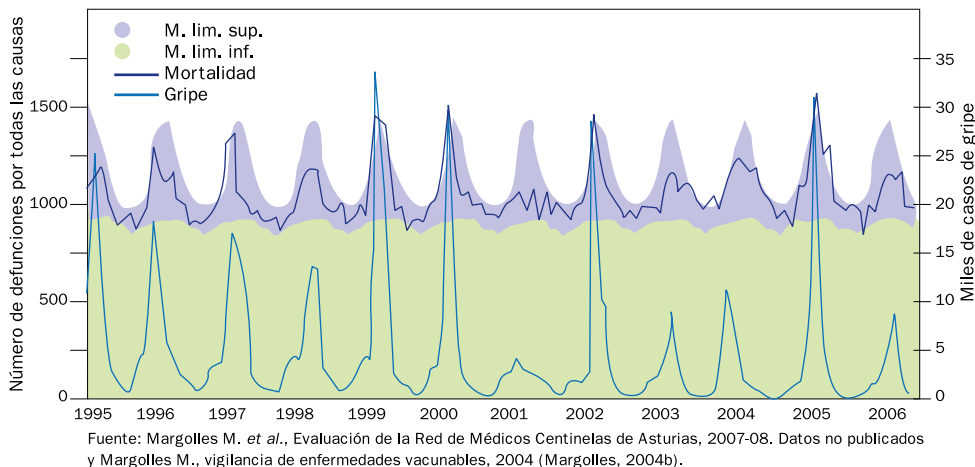


Figura 4. Asturias. Evolución de fallecimientos (todas las causas) y gripe. 1995-2006. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas - Servicio de Salud Poblacional.

(de combustibles fósiles sólidos a gas o combustibles líquidos, con una menor contaminación ambiental), pero parece que la media de fallecimientos en los meses invernales se ha reducido en los últimos años. No obstante, parece haber en la mortalidad un efecto barrido: en los años en que la mortalidad no es alta en invierno, hay un incremento en la mortalidad en los meses de primavera y verano siguientes (Redondo *et al.* 1999-2006) (Figura 5).

#### Acción directa del sol y calor

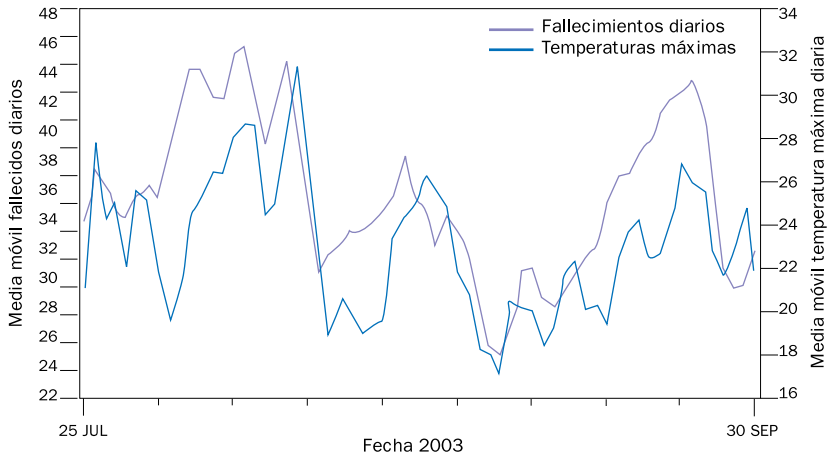
##### Temperaturas extremas y olas de calor:

Con la documentación existente sólo puede hablarse de tres posibles casos de fallecimiento en Asturias debidos a la acción directa del calor en el periodo 1987-2006. De estos tres casos solamente se ha detectado uno de

ellos en nuestra comunidad y es el debido al calor natural excesivo (Redondo *et al.* 1999-2006).

En el verano de 2003 en Asturias se ha constatado un incremento de la mortalidad total registrada respecto de los niveles observados en años anteriores. Este incremento de la mortalidad general se cifró en 168 defunciones más de las esperadas, aunque esta cifra varía según el modelo estadístico utilizado. Este incremento de la mortalidad coincide en el tiempo con temperaturas ambientales más elevadas de lo habitual especialmente en determinados días de los meses de junio, agosto y septiembre (Quirós *et al.* 2004).

Desde el verano de 2004, Asturias cuenta con un Sistema de Vigilancia de las temperaturas extremas integrado en un Plan de



Fuente: Quiros, JR. *et al.* Mortalidad y temperatura ambiental elevada en Asturias durante el verano 2003.

Figura 5. Fallecimientos diarios observados en Asturias y temperaturas máximas medidas en la estación meteorológica del Cristo en Oviedo durante el período 25 de julio-30 de septiembre de 2003. Medidas móviles de 3 días.

actuaciones preventivas de los efectos de los excesos de temperatura sobre la salud. Desde entonces no se ha observado que en ningún momento se haya decretado la alerta sanitaria por exceso de temperatura (se desencadena cuando se prevén 2 ó más días con temperaturas de  $>32^{\circ}\text{C}$  de máxima y  $>21^{\circ}\text{C}$  de mínima), ni por mortalidad asociada a este tipo de sucesos. En 2004 solamente se superó la barrera de los  $30^{\circ}\text{C}$  en una ocasión. En 2005 y 2006 hubo más de 5 ocasiones entre junio y septiembre en que se superó esa cifra (SVAE 2004-2008). En 2007 sólo se superó una vez, mientras que en 2008 la temperatura máxima alcanzada fue de  $29,8^{\circ}\text{C}$  (8 septiembre). Lo que sí se puede apreciar es que el pico de temperatura máxima se alcanza progresivamente en fechas más tardías (SVAE 2007).

Los picos de tasa de mortalidad global en Asturias mostraron paralelismos con los picos de temperaturas máximas, en coincidencia

con una temperatura mínima también elevada, dentro de cada año (Redondo *et al.* 1999-2006, SVAE 2004-2008, SVAE 2007) (Figura 6). No obstante, no debemos confundir el cambio climático aparente del real. Un aumento de fallecimientos relacionados con el calor en un verano especialmente caluroso, o una sucesión de ellos, indica que el Cambio Climático podría incrementar la mortalidad, pero no demuestra que este sea la causa del aumento (OMS 2003).

#### Efectos cutáneos de la acción directa del sol: (ozono y radiación UV)

**Melanoma maligno:** La estimación de la OMS (OMS 2003) es que la incidencia total de cáncer de piel de una población europea que viva aproximadamente a  $45^{\circ}\text{N}$  aumentará un 5% para el año 2050. (Asturias se sitúa geográficamente en latitudes entre  $43-44^{\circ}\text{N}$  y longitudes de  $4-8^{\circ}\text{W}$ ). Durante el período de

2001-2003 ha habido una media de 92 casos incidentes de melanoma maligno, sin ningún incremento (los valores fluctúan cada año) en la morbilidad por esta causa (SIS 2006, Argüelles et al. 2006, Argüelles et al. sin publicar).

Durante el periodo 1996-2006, las tasas de mortalidad ajustadas experimentaron un ligero aumento medio anual de 0,13% en varones y 0,06% en mujeres, aumento no significativo desde el punto de vista estadístico en ambos casos (Figura 7). Llama la atención el alto número de defunciones registradas en el año 2005 (Redondo et al. 1999-2006, SIS 2006).

**Otros tumores malignos de la piel:** Manteniéndose en un bajo número de fallecidos, durante el periodo 1996-2006 las tasas de mortalidad ajustadas aumentaron significativamente un 8,6% en varones (incremento medio anual), y descendieron en el caso de las mujeres un 0,7% (descenso medio anual no significativo) (Redondo et al, 1999-2006) (Figura 8). No se tienen datos de los casos incidentes de carcinomas basocelulares y escamocelulares en piel dado que en Asturias no se registra esta patología (Argüelles et al. 2008).

**Quemaduras solares y fotodermatitis:** No se tienen datos de los casos incidentes dado que en Asturias no se registra esta patología en Atención Primaria. No constan ingresos por esta patología en los ingresos hospitalarios. No hay casos registrados en Asturias de fallecidos por éstas causas durante el periodo 1999-2006 (Redondo et al. 1999-2006).

#### Efectos oculares:

En el periodo 1999-2006 no hay fallecimientos en Asturias debidos a queratitis y conjuntivitis actínica, degeneración esferoidal de la córnea, pterigio, opacidad del cristalino,

retinopatía actínica ni degeneración macular (Redondo et al, 1999-2006).

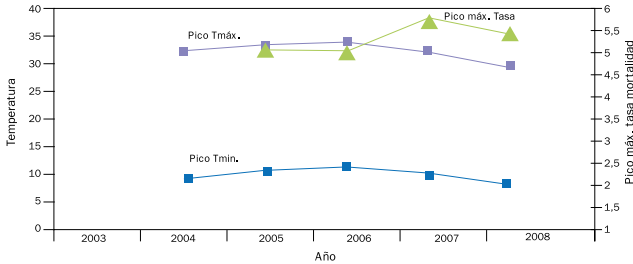
Lo mismo ocurre con el resto de causas mencionadas en éste apartado referentes a tumores. No hay ningún caso registrado debido al cáncer de la conjuntiva, cáncer de córnea ni del tracto uveal. Hay 14 fallecidos que responden a otros códigos: siete casos que tienen como causa de muerte el tumor maligno de coroides, tres casos con tumor maligno de la órbita y cuatro casos de tumor maligno del ojo (Redondo et al. 1999-2006).

#### Otros efectos:

**Producción cutánea de vitamina D:** Los efectos del cambio climático sobre las siguientes patologías podría llegar a ser protectora, es decir, el Cambio Climático facilitaría que los mecanismos fisiológicos del organismo protegieran, en cierto modo, de estas enfermedades:

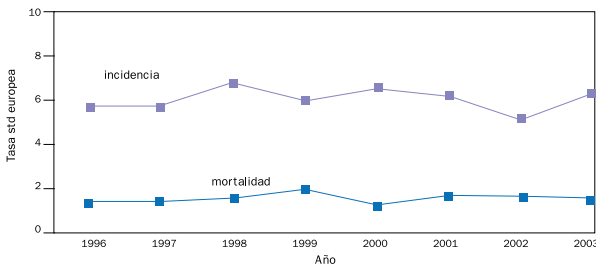
Durante el periodo de tiempo 1999-2006, los fallecidos en los que figuraba como causa básica de defunción raquitismo, osteomalacia y osteoporosis fueron (Redondo et al, 1999-2006):

- Raquitismo: ningún fallecido
- Osteomalacia, solamente hay registrado un fallecido en el año 2004 que corresponde a un varón de 63 años con código de causa de muerte por osteomalacia del adulto no especificada.
- Osteoporosis: 33 fallecidos con fractura patológica y 11 fallecidos sin fractura patológica. Los datos de la Encuesta de Salud para Asturias-2008 muestran que existe en esa fecha una prevalencia del 4,5% (8,2% en mujeres y 0,5% en hombres) (Redondo et al. 1999-2006, Margolles et al. 2008).



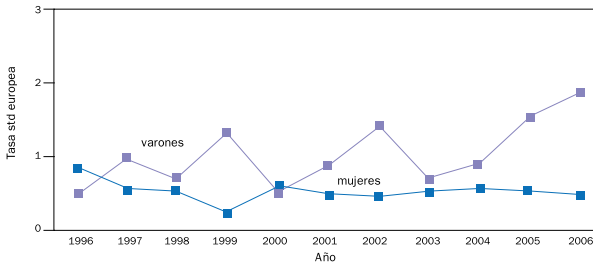
Fuente: Quiñones D., con datos de Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas. Sistema de Vigilancia de los efectos de las temperaturas extremas en Asturias, vigilancia estival. Datos diarios desde 2004.

Figura 6. Asturias. Relación tasa de mortalidad diaria con los picos de temperaturas. 2003-2008. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.



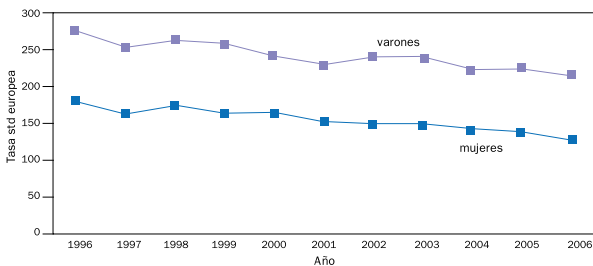
Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad y Morbilidad del melanoma en Asturias.

Figura 7. Asturias. Mortalidad y Morbilidad de melanoma maligno, 1996-2003. Servicio de Salud Poblacional.



Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

Figura 8. Asturias. Tasas de Mortalidad por otros tumores malignos de la piel por sexo y año. 1996-2006. (tasa estandarizada europea). Servicio de Salud Poblacional.



Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

Figura 9. Asturias. Tasa de Mortalidad por enfermedad del sistema circulatorio por año y sexo (tasa estandarizada europea), 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.

**Sistema circulatorio:** este apartado incluye varios epígrafes, entre ellos la hipertensión arterial y la cardiopatía isquémica, observándose un descenso medio anual estadísticamente significativo del 2,2% en hombres y un 3% en mujeres entre 1996 y 2006 (Figura 9).

- Hipertensión: La mortalidad por hipertensión arterial (Redondo et al. 1999-2006) no es un buen indicador del impacto real de la enfermedad en la población ya que está sometida a reglas de codificación que hace que en presencia de otras patologías no sea considerada como causa básica de defunción. Los datos de la Encuesta de Salud para Asturias-2008 muestran que existe en esa fecha una prevalencia del 21% (23% en mujeres y 18% en hombres) (Margolles et al. 2008).

- Cardiopatía isquémica: En la mortalidad por enfermedades isquémicas del corazón, durante el periodo 1996-2006 se observa una disminución significativa en las tasas ajustadas por edad tanto en varones como en mujeres siendo del 1,4% en el caso de los hombres y del 1,7% en las mujeres (descenso medio anual) (Redondo et al. 1999-2006) (Figura 10).

**Tuberculosis:** La incidencia de la tuberculosis ha descendido considerablemente por factores no relacionados con el clima desde 1900 en Asturias (Figuras 11 y 12). En los últimos años ha descendido considerablemente desde 70 casos/100000h en 1992 (Margolles et al. 1994, Margolles et al. 1998) hasta los niveles actuales inferiores a 20 casos/100000 h) (Alonso et al. 2007). La tasa estandarizada de mortalidad en Asturias por ésta causa durante el periodo 1996-2006 ha ido disminuyendo a un ritmo promedio de 7,6% al año en hombres y de un 16,1% en mujeres (ambos descensos estadísticamente significativos) (Redondo et al. 1999-2006).

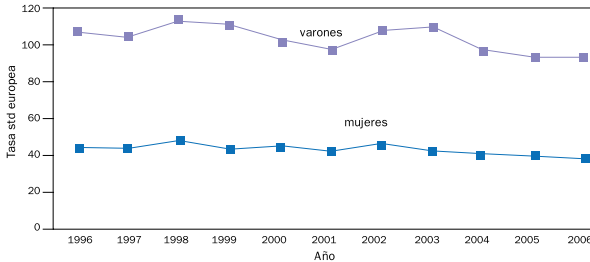
**Esquizofrenia:** Durante el periodo 1996-2006 fallecieron en Asturias 41 personas (Redondo et al. 1996-2006).

**Tumores:** este apartado incluye varios epígrafes, entre ellos el cáncer de mama y cáncer de próstata, observándose para todos los tumores un descenso medio anual estadísticamente significativo del 1,1% en hombres y un 0,8% en mujeres entre 1996 y 2006 (Figura 13).

- Cáncer de mama: La evolución de la incidencia de cáncer de mama en Asturias nos muestra una línea prácticamente estable, con alrededor de unos 610 nuevos casos anuales en mujeres (Argüelles et al. 2006, Argüelles et al., sin publicar). La tendencia de las tasas ajustadas de mortalidad por cáncer de mama en mujeres durante el periodo 1996-2006 muestra un descenso medio anual del 0,9% (no significativo) (Redondo et al. 1999-2006) (Figura 14).

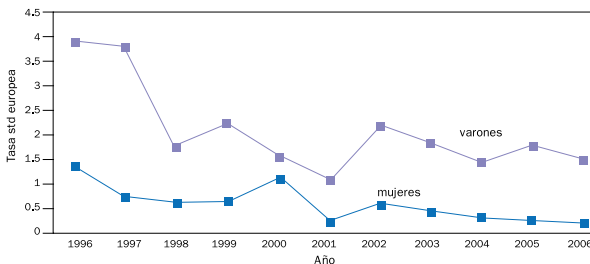
- Cáncer de próstata: Los nuevos casos incidentes de cáncer de próstata se han incrementado sustancialmente en los últimos años (un 15% entre 2001 y 2003) con unos 600 nuevos casos en 2003 (Argüelles et al. 2006, Argüelles et al., sin publicar). Las tasas de mortalidad debidas al cáncer de próstata en Asturias durante el periodo 1996-2006, están descendiendo a un ritmo promedio anual de 3,5% (estadísticamente significativo) (Redondo et al. 1999-2006) (Figura 15).

**Diabetes:** La mortalidad por diabetes no es un buen indicador del impacto real de la enfermedad en la población y sobretodo si nos referimos a la especificada como tipo I o tipo II ya que en un alto porcentaje de boletines estadísticos de defunción simplemente consta diabetes mellitus (en la mortalidad del año 2006: 243 personas fallecidas por diabetes mellitus sin especificar, 18 fallecidos por



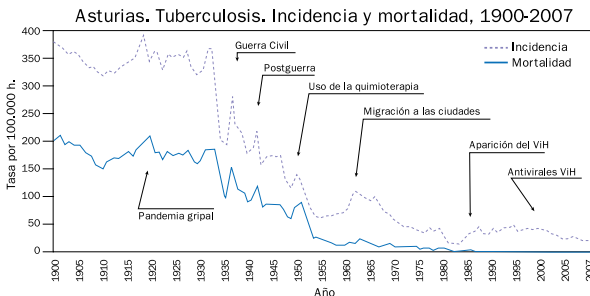
Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

Figura 10. Asturias. Tasa de Mortalidad por enfermedad isquémica del corazón por año y sexo (tasa estandarizada europea), 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.



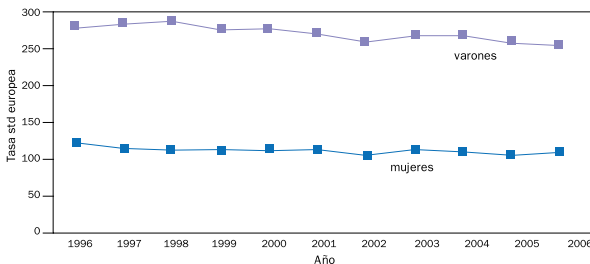
Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

Figura 11. Asturias. Tasa de Mortalidad por tuberculosis por año y sexo (tasa estandarizada europea), 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.



Fuente: Margolles M. et al.: La Tuberculosis en Asturias, no publicado.

Figura 12. Asturias. Tasa de Morbilidad y Mortalidad por Tuberculosis, 1900-2007. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.



Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

Figura 13. Asturias. Tasa de Mortalidad por tumores por año y sexo (tasa estandarizada europea), 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.

diabetes mellitus tipo I y 73 debidos a la tipo II). La tasa estandarizada de la mortalidad en Asturias por ésta causa, durante el periodo 1996-2006, ha ido disminuyendo a un ritmo promedio de 3,7% al año en hombres y de un 5,0% en mujeres (ambos descensos estadísticamente significativos) (Redondo et al. 1999-2006) (Figura 17). Los datos de la Encuesta de Salud para Asturias-2008 muestran que existe en esa fecha una prevalencia del 5,4% (6% en mujeres y 4,7% en hombres) (Figura 16). Esta cifra ha bajado desde la Encuesta de Salud para Asturias-2002, donde las cifras de prevalencia eran más elevadas (6,7% para ambos sexos) (Margolles et al. 2003, Margolles et al. 2008).

**Causas externas:** Se incluye la mortalidad por causas externas debido a que el calor ambiental puede afectar la capacidad de atención y concentración pudiendo tener algún efecto sobre la accidentabilidad que es el mayor componente de las causas externas de muerte. En Asturias durante el periodo 1996-2006, las tasas ajustadas de mortalidad por esta causa experimentaron un descenso significativo medio anual de 3,3% en varones y 0,2% en mujeres (no significativo) (Redondo et al. 1999-2006) (Figura 18).

#### FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

No se han detectado en Asturias, con la documentación existente, efectos sobre la salud relativos a los fenómenos extremos, dado que han existido pocas situaciones que se pudieran caracterizar como tales. Aunque alguna inundación o temporal de viento puede haber ocasionado algún fallecido por causas externas, o bien algún barco puede haber naufragado y dejado víctimas, estos fenómenos no se

registran en las estadísticas como tales y por tanto no se pueden contabilizar. No obstante, si hubiese víctimas serían de escasa entidad a nivel global, posiblemente uno o dos casos al año, cifras muy escasas en relación a las 12000 personas que fallecen cada año en Asturias (Redondo et al. 1999-2006).

La modificación del estado nutricional derivado de grandes calamidades después de fenómenos meteorológicos extremos es posible, pero muy improbable dados los actuales niveles de nutrición en Asturias, donde el problema quizá es el contrario con un 48% de la población con al menos sobrepeso (Encuesta de Salud para Asturias-2008) (Margolles et al. 2008).

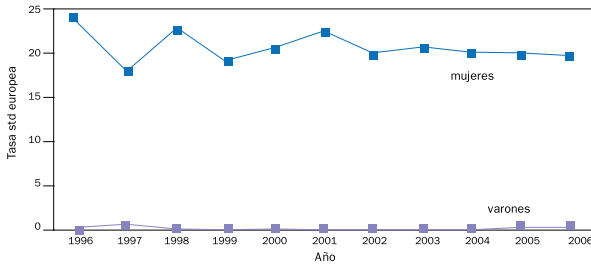
El actual nivel socioeconómico que ha alcanzado Asturias y su entorno hace muy difícil que se puedan generar niveles de alerta masiva por grandes epidemias tras un fenómeno meteorológico extremo, y, en caso de que hubiese riesgo, existen medidas planificadas para una adecuada respuesta, por lo que se estima que su efecto sería nulo o muy pequeño.

#### ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR ALIMENTOS Y AGUA

De todas estas enfermedades es muy raro que se produzcan fallecimientos, salvo en alguna listeriosis más debida a la enfermedad de base de los enfermos de esta patología que a la misma (Redondo et al, 1999-2006). Por ello, nos referimos a continuación únicamente en términos de morbilidad (incidencia de estas enfermedades):

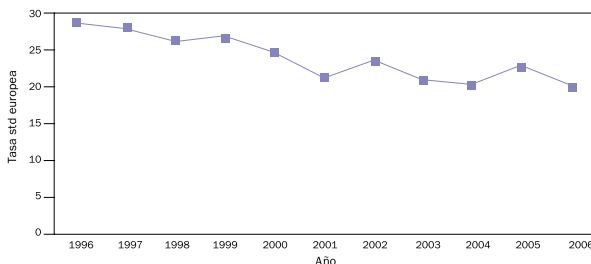
**Procesos diarreicos:** en algunas regiones, la OMS estima que el riesgo de diarrea para el año 2030 es un 10% mayor que en ausencia de Cambio Climático (OMS 2003). En Asturias,





Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

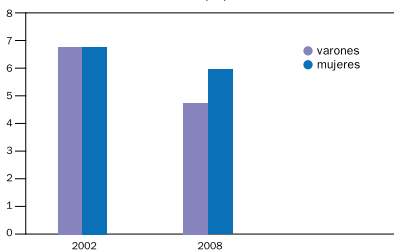
Figura 14. Asturias. Tasa de Mortalidad por cáncer de mama por año y sexo (tasa estandarizada europea), 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.



Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

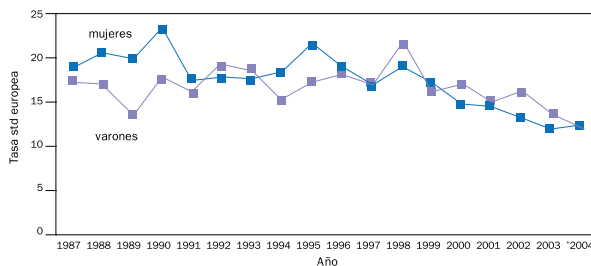
Figura 15. Asturias. Tasa de Mortalidad por cáncer de próstata por año (tasa estandarizada europea), 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.

Asturias. Prevalencia (%) de Diabetes mellitus



Fuente: Margolles M. et al., Encuesta de salud para Asturias, 2002 y Encuesta de Salud para Asturias, 2008.

Figura 16. Asturias. Prevalencia de diabetes mellitus, 2002 y 2008. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.



Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias y Sección de Información Sanitaria: descendiende la mortalidad por diabetes en Asturias. Informes breves, 2005.

Figura 17. Asturias. Tasa de Mortalidad por diabetes mellitus por año y sexo (tasa estandarizada europea), 1987-2004. Servicio de Salud Poblacional.

con la información disponible de los sistemas de vigilancia actuales (Vigilancia de los procesos diarreicos y gastroentéricos) del Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas (SVAE), se observa que han cambiado notablemente los parámetros habituales de las diarreas (Figura 19). Estas ya no son procesos vinculados al calor y al verano como era habitual, sino que la presencia de nuevos agentes patógenos de carácter vírico ha cambiado la epidemiología de las diarreas convirtiéndolas en un proceso de invierno y primavera. Estos virus, además de no estar influenciados por el calor, son altamente resistentes a los sistemas de desinfección del agua y se transmiten por el agua, los alimentos y persona a persona. No tiene trascendencia salvo pequeñas molestias diarreicas durante un par de días (Alonso et al. 2007, Margolles et al. 2007).

**Salmonelosis:** El European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) (ECDC 2008) estima que existe un incremento del 5-10% del riesgo de infección salmonelósica por cada 1°C de incremento en las temperaturas por encima de 5°C, estimando para España que un 35% de sus casos están asociados a cambios en la temperatura ambiente. Sin embargo, estos procesos en Asturias tienen características de las enfermedades transmitidas por alimentos (y por agua) hasta hace muy pocos años, pero actualmente, a pesar de seguir aislándose con frecuencia (319 casos en 2007) ha descendido su incidencia considerablemente (hasta un 65% entre 2005 y 2007) tras haberse detectado más de 900 casos en 2005 (Alonso et al. 2007, Margolles et al. 2007, Fernández-Verdugo et al. 2008) (Figura 20). Las medidas de control veterinario en granjas de producción así como el control de

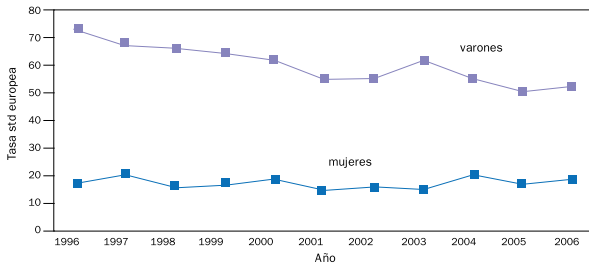
establecimientos alimentarios e industria han hecho que esta enfermedad cada vez cobre menos importancia. No todas las salmonelosis son entéricas, también las hay de afectación sistémica o generalizada como las que ocasionan las fiebres tifoparatificas. La evolución en los últimos años de estas es hacia una presentación esporádica ocurriendo la mayoría de los casos en personas que retornan del extranjero (Figura 21).

**Listeriosis:** enfermedad de transmisión alimentaria, relacionada con el uso de nuevos productos alimentarios que no eran frecuentes en nuestra dieta hasta hace poco. Se aíslan unos 28 casos al año, con tendencia al incremento debido a las nuevas pautas de alimentación (Fernández-Verdugo et al. 2008).

**Shigelosis (disentería):** frecuente hasta hace unas décadas, y que en circunstancias de epidemia puede generar efectos graves, actualmente es anecdótica su presencia (unos 10 aislamientos cada año) (Figura 22), y está en relación con viajes al extranjero o retorno de inmigrantes. Los actuales sistemas higiénicos en Asturias hacen muy difícil que se pueda generar una gran epidemia por la bacteria causante de disentería (Alonso et al. 2007, Fernández-Verdugo et al. 2008).

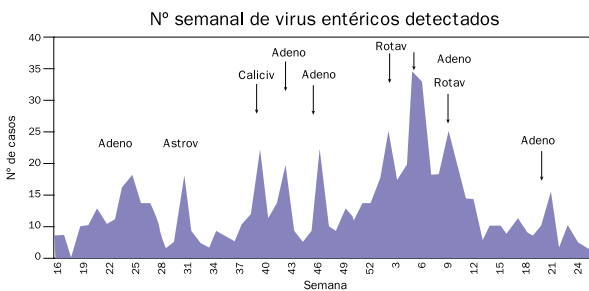
**Yersiniosis:** enfermedad asociada al consumo de alimentos, pero en mayor medida a la presencia de animales domésticos o mascotas. Existen unos 80 aislamientos al año.

**Intoxicaciones alimentarias:** cada vez son más raros los casos de intoxicaciones alimentarias colectivas, al menos en la restauración.



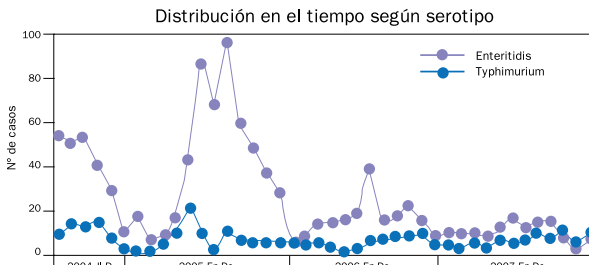
Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

Figura 18. Asturias. Tasa de Mortalidad por causas externas en Asturias por año y sexo (tasa estandarizada europea por 100.000), 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.



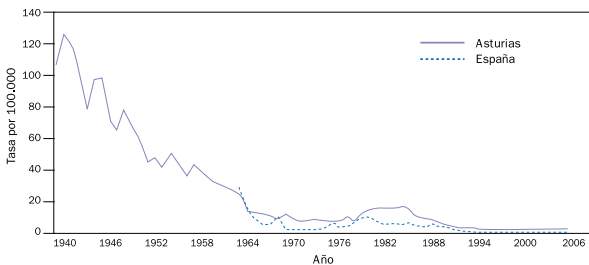
Fuente: Margolles M., et al.: Vigilancia de los procesos diarreicos y gastroentéricos 2006-07. Red de Médicos Centinelas de Asturias.

Figura 19. Asturias. Aislamientos de Enterovirus causantes de las diarreas, 2006-2007. Evolución anual. Laboratorio de virología (HUCA), Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.



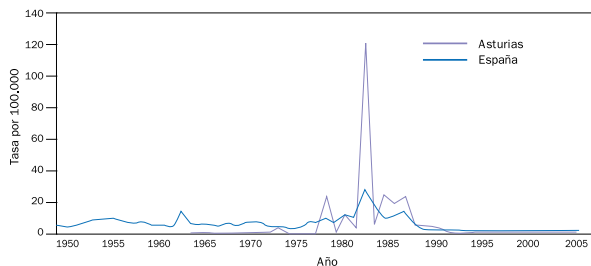
Fuente: Fernández-Verdugo A., et al.: Informe del Sistema de Información Microbiológica. Informe 2007.

Figura 20. Asturias. Aislamientos de Salmonellas en humanos, 2004-2007. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.



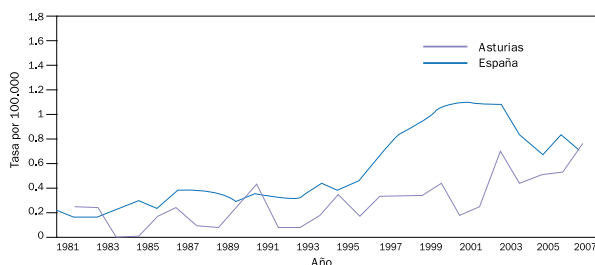
Fuente: Alonso P., et al.: Informe Epidemiológico de Asturias, 2007.

Figura 21. Asturias. Casos incidentes de fiebres tifo-paratíficas 1940-2006. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.



Fuente: Alonso P., et al.: Informe Epidemiológico de Asturias, 2007.

Figura 22. Asturias. Casos incidentes de Disentería bacilar 1950-2005. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.



Fuente: Alonso P., et al.: Informe Epidemiológico de Asturias, 2007.

Figura 23. Asturias. Casos incidentes de Paludismo (malaria) 1981-2007. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.

## ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR VECTORES

De todas estas enfermedades es muy raro que se produzcan fallecimientos Asturias (Redondo et al. 1999-2006). Por ello, nos referimos a continuación únicamente en términos de morbilidad (incidencia de estas enfermedades). La temperatura es un factor crítico del que depende tanto la densidad como la capacidad vectorial y puede aumentar la actividad estacional de muchas especies (Lucientes 2009, López-Vélez et al. 2005, ECDC 2008). No existe la presencia en Asturias de determinadas patologías que en su momento fueron habituales en nuestra Comunidad Autónoma (como el tifus exantemático, la fiebre recurrente, etc.), o que llegan a ser muy frecuentes en otras Comunidades Autónomas (como la fiebre exantemática mediterránea, etc.) (Alonso et al,

2007). El efecto, si sucediera, no tendría alto impacto siendo la zona de mayor riesgo la costa litoral de Asturias (Lucientes 2009).

### Enfermedades transmitidas por mosquitos:

**Plasmodios (Malaria, Paludismo):** a partir de los datos del Sistema de Información Microbiológica del SVAE, observamos que en el período 2006-07 hubo únicamente 15 detecciones de Plasmodios, todos ellos procedentes del exterior, sea de inmigrantes que se van a pasar unos días con su familia de origen y retornan reinfectedos, o bien de españoles que llevan tiempo en zona endémica y cuando retornan portan el plasmodio (Fernández-Verdugo et al. 2008) (Figura 23). De momento no existen en Asturias vectores implicados en su transmisión. En España existen especies anofelinas pero suelen ser refractarios a las

cepas tropicales de *Plasmodium falciparum*. El establecimiento de la enfermedad es muy improbable (Lucientes 2009, López-Vélez et al. 2005).

**Virus transmitidos por mosquitos:** No existen en España vectores asociados a los mismos, y *Aedes aegypti* no está presente por encima de 35°N de latitud. En cambio, si se ha extendido el *A. albopictus*, y aunque no supera los 42°N parece que soporta hasta temperaturas de -5°C, por lo que puede ser un vector a tener en cuenta en el futuro e incluso puede llegar a asentarse en Asturias (Lucientes 2009). Como enfermedades que transmiten estaría el dengue (del que no ha habido casos en Asturias ni en Europa), la fiebre del virus del Nilo Occidental, fiebre amarilla, Chikungunya y otras encefalitis (Lucientes 2009, López-Vélez et al. 2005, ECDC 2008).

**Leishmaniosis:** no existe en Asturias al no poder vivir, hasta ahora, el vector trasmisor (*Phlebotomus*). En la España mediterránea existe actualmente el vector, y es probable que en el continente se amplíe su distribución hacia el norte. (Alonso et al. 2007, Fernández-Verdugo et al. 2008, López-Vélez et al. 2005, ECDC 2008). Las estimaciones de Lucientes (2009) nos indican que en la costa asturiana puede haber en el futuro vectores competentes, y empezar a aparecer casos en humanos. En España hay actualmente zonas con alta endemidad como la Comunidad Valenciana donde se registran 0,4 casos/100.000 h de leishmaniosis humana (C. Valenciana 2007). Si se llegase en Asturias a los mismos niveles de endemidad implicaría la aparición de unos 2-3 casos al año en los momentos más álgidos, si bien en Valencia se observan descenso anuales de un tercio de casos humanos en los últimos años.

**Reacciones agudas a las picaduras:** aunque aún no están presentes en Asturias, los simúlidos pueden llegar a colonizar nuestro territorio por el valle del Ebro (Lucientes 2009), y dados los altos niveles de componentes reatógénos que hay en su saliva, generarían un aumento de la demanda de atención a reacciones tras picaduras de mosquitos.

**Enfermedades transmitidas por garrapatas:**

**Coxiellas (Fiebre Q):** a partir de los datos del Sistema de Información Microbiológica del SVAE, observamos que el período 2006-07 hubo únicamente 14 de tecciones de *Coxiella burnetti* (Fernández-Verdugo et al. 2008).

**Borreliosis (Enfermedad de Lyme):** No tenemos datos recientes de la afectación por esta patología. No obstante, en el año 2004 el SVAE realizó un estudio sobre las picaduras de garrapata y encontró escasa frecuencia de las mismas y un nivel bajo de detección de anticuerpos en los casos analizados (Margolles et al., sin publicar). Por otro lado, en 2006 la Dirección General de Salud Pública en colaboración con la Universidad de Oviedo (Melero et al., sin publicar) hizo un estudio fenológico de presencia de garrapatas y presencia de *Borrelia* en adultos de garrapatas encontrándose cifras entre el 0 y el 32% (Cangas del Narcea) y en las ninfas del 38% (Melero et al., sin publicar).

**Enfermedades transmitidas por roedores:**

**Leptospirosis:** existe una incidencia muy pequeña en Asturias, quizá más relacionada con animales domésticos o silvestres en cercanía con el ser humano. Son uno o dos casos al año (Alonso et al. 2007, Fernández-Verdugo et al. 2008).

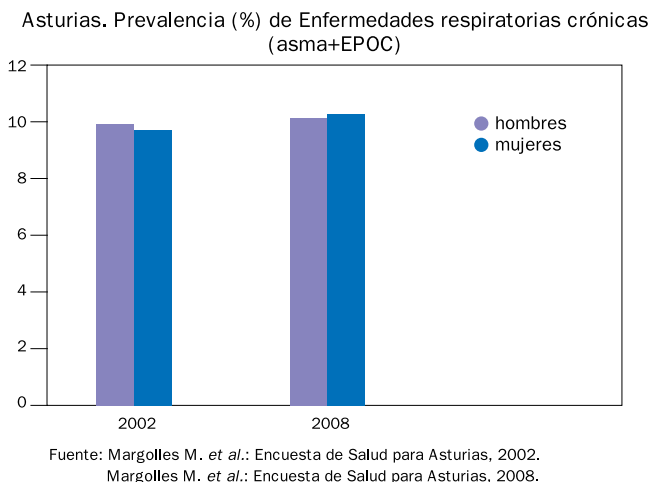


Figura 24. Asturias. Prevalencia de enfermedades respiratorias de vías bajas, 2002 y 2008. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas.

**Hantavirus:** no se ha detectado en Asturias su presencia ni en humanos ni en animales (generalmente se presenta en roedores).

#### ENFERMEDADES RESPIRATORIAS

##### Prevalencia de enfermedades crónicas respiratorias:

En 2002, un 17% de la población asturiana adulta manifiesta que tiene o ha tenido conocimiento (autopercepción o diagnóstico médico) de padecer alergias (de piel, respiratorias, etc.), mientras que un 10% dicen padecer de asma o bronquitis crónica. Existe una mayor prevalencia de asma o bronquitis crónica en las cuencas mineras, y, de manera muy marcada con respecto a otros hábitats, de alergias y procesos depresivos y ansiedad (Margolles et al. 2003). En 2008, si agrupamos las enfermedades de las vías respiratorias bajas (asma y bronquitis crónica), la prevalencia total es del 10,5% (Margolles et al. 2008) (Figura 24).

Por tanto, podemos apreciar un ligero aumento de la prevalencia de enfermedades respiratorias de vías bajas (asma y bronquitis crónica), mientras que las enfermedades alérgicas (vías altas, piel...) han disminuido. Esto contrasta con los datos existentes en Europa, que recogen un aumento global de las enfermedades alérgicas en los últimos años (IPCC 2007, SVAE 2002-2008).

##### Análisis polínico:

Analizando los datos existentes del recuento de pólenes desde finales del 2001 a la semana 35-2008 (SVAE 2002-2008) sólo se observa variación significativa en los pólenes de algunos grupos (Figuras 28 y 29):

En varios grupos los picos máximos de polen se recogieron en 2005 y 2006 (*Cedrus*, *Cupressaceae*, *Ericaceae*, *Platanus*, *Quercus*). Los pólenes de otros géneros, como *Mercurialis*, fueron casi inexistentes en 2006. *Plantago*,

*Pinus* y *Ligustrum* alcanzaron sus máximos en 2007 y 2008, mientras que *Fraxinus* lo disminuyó en ese mismo período, y adelanta progresivamente su pico máximo (hasta 10 días).

El mayor contenido polínico atmosférico del grupo Poaceae se recogió en 2004. Aunque no hay retraso en el inicio de la recogida de polen de este grupo, el alcance de los valores máximos se retrasa hasta 2 semanas. La detección de niveles de polen de *Quercus* se adelanta hasta 10 días, mientras que la de *Rumex* finaliza hasta 14 días más tarde. *Salix* inicia la suelta de polen 1 semana antes y mantiene unos niveles altos durante más tiempo, sin por ello retrasar su finalización. El polen de las Urticaceas, aunque sigue estando presente durante el mismo período, concentra sus niveles más altos en un menor número de semanas (SVAE 2002-2008).

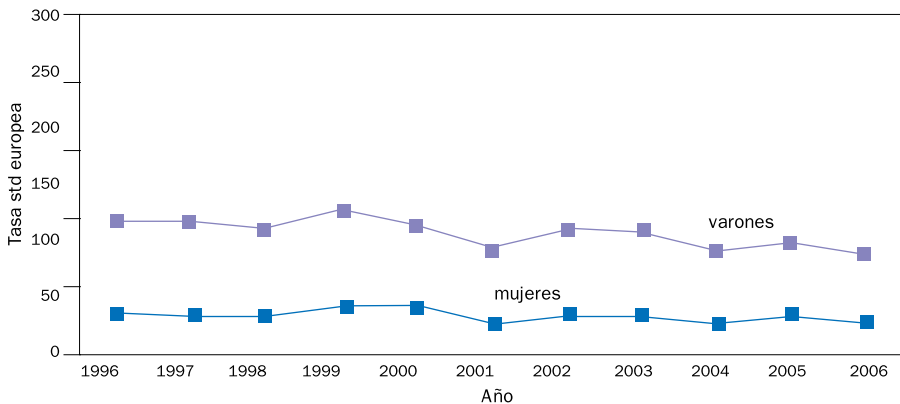
Muchos de los picos polínicos fueron registrados en 2005-2006, coincidiendo con el período en que se alcanzaron unas mayores

temperaturas máximas y mínimas en Asturias (SVAE 2002-2008).

Hay estudios publicados para el norte y centro de Europa y el área mediterránea que recogen variaciones de entre 6 y 14 días en parámetros más específicos: el desplegar de las nuevas hojas, la floración, la caída de las hojas, y la fructificación. Estos estudios se basan en datos de períodos mucho más largos que los disponibles para este estudio. Sin embargo, no encuentran relaciones significativas entre los cambios en las diferentes fases de desarrollo (fenofases) de las especies estudiadas y la fecha promedio para cada fase y especie (Fernández et al. 1998, Obtulowicz et al. 1993).

#### Niveles de contaminación:

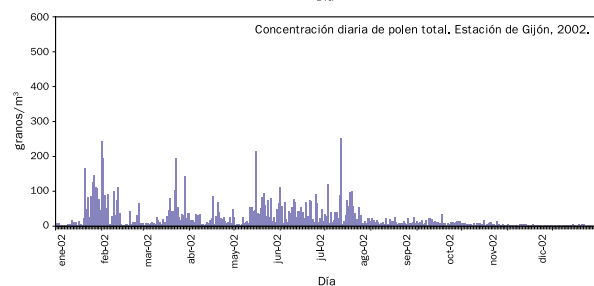
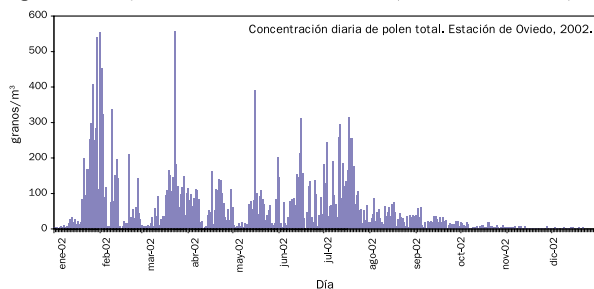
Los contaminantes interaccionan con los pólenes a tres niveles. Por una parte, incrementan su potencia alérgica, convirtiéndolos en más reactivos mediante la síntesis de



Fuente: Redondo M. et al.: Mortalidad en Asturias.

Figura 25. Asturias. Tasas de Mortalidad por enfermedades del sistema respiratorio por año y sexo, 1996-2006. Servicio de Salud Poblacional.

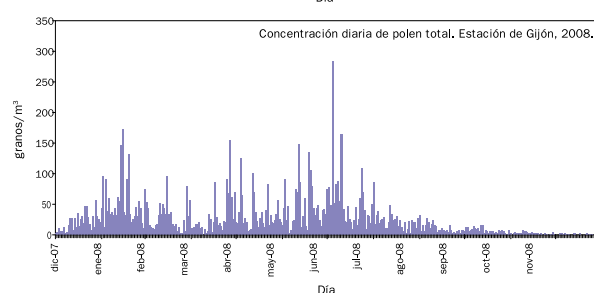
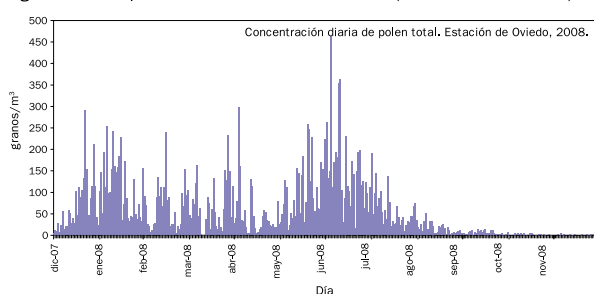
## Vigilancia Aeropolínica en Asturias, Año 2002 (hasta la semana 51).



Fuente: Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas. Sistema de vigilancia Aeropolínica en Asturias, 2002.

Figura 26. Asturias. Concentración total diaria de polen. Año 2002. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas

## Vigilancia Aeropolínica en Asturias, Año 2008 (hasta la semana 53).



Fuente: Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas. Sistema de vigilancia Aeropolínica en Asturias, 2002.

Figura 27. Asturias. Concentración total diaria de polen. Año 2008. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas



nuevas proteínas específicas, y actuando como adyuvantes en la respuesta inmune (Peñuelas et al. 2002, Jäger et al. 1996, Behrendt et al. 1996). Además, pueden transportar las partículas polínicas, procedentes de los granos de polen y otras partes de la planta, favoreciendo así su acceso a las vías aéreas (Velazhahan et al. 1999). Finalmente, los contaminantes pueden inducir estrés oxidativo en el epitelio respiratorio (Hoffmann-Sommergruber et al. 2000), provocando una respuesta inflamatoria que facilita la penetración de los alérgenos, lo que da lugar al inicio de los síntomas en las personas alérgicas.

La mayor fuente contaminante en las ciudades la constituyen sustancias derivadas del tráfico de vehículos: monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, benceno y partículas de escape diesel. El dióxido de nitrógeno (NO<sub>2</sub>) provoca un efecto oxidativo sobre las vías respiratorias, aunque su intensidad resulta menos potente y reactiva que el ozono. Los valores de ozono tienden a ser más altos cuando las temperaturas son más elevadas, y algunos estudios han sugerido que el ozono contribuye al aumento de la mortalidad observada.

Hay estudios que demuestran que las partículas de escape diesel causan síntomas respiratorios. También pueden modificar la respuesta alérgica en sujetos genéticamente predispuestos actuando como adyuvantes en la síntesis de IgE, induciendo la síntesis de nuevos anticuerpos específicos (IgE) e incrementando la sensibilización alérgica (Solomon et al. 2002).

Los niveles de concentración de CO<sub>2</sub> equivalente en Asturias han aumentado de forma progresiva de 27390 a 33633 desde 1990 hasta el 2006 (Tabla II, Figura 30).

Los pacientes con enfermedades respiratorias (bronquitis, enfisema, asma...) son más vulnerables a los contaminantes, pudiendo empeorar su evolución incluso con concentraciones inferiores a las recomendadas por la Agencia de Medio Ambiente (Li et al. 2003, Díaz-Sánchez et al. 1996, Gent et al. 2003). Existen estudios publicados con datos recogidos en otras Comunidades Autónomas de España que reflejan esta relación (Galán et al. 2003, Mur et al. 2007, Feo et al. 2007).

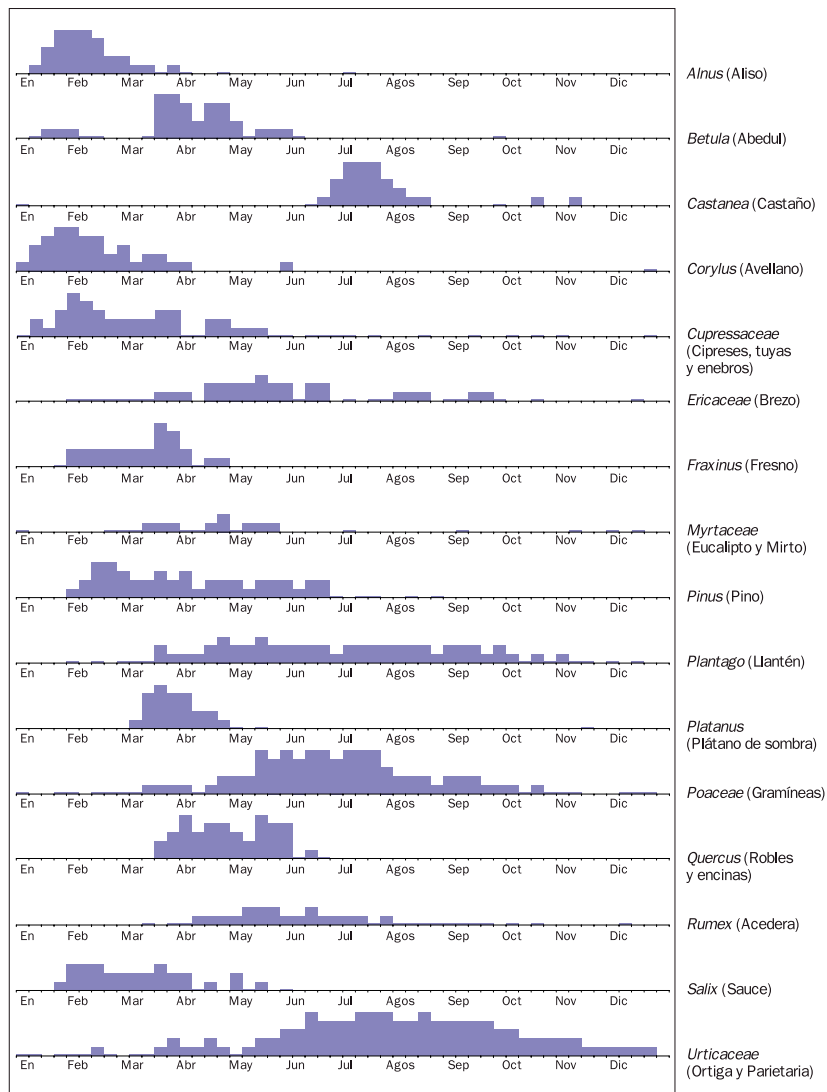
En consonancia con estos datos, la morbilidad por enfermedades respiratorias en Asturias ha aumentado del 9,9% al 12,8% desde el 2002 al 2008. Sin embargo, la tasa de mortalidad por enfermedad respiratoria muestra una lenta pero progresiva tendencia a la baja (Redondo et al. 1999-2006).

#### Propuestas de actuaciones a la vista de la información disponible:

La cuestión de las propuestas afecta a cuatro áreas de la práctica de la salud pública: vigilancia, investigación, protección de la salud y políticas. En primer lugar, es necesario implantar una adecuada valoración del riesgo que identifique indicadores, factores de riesgo y grupos de personas vulnerables. Esto facilitaría el establecimiento de guías clínicas o de salud pública y recomendaciones políticas. También existen carencias en el conocimiento de aspectos medioambientales (contaminación, efectos del ozono, entomología, etc.). Actualmente no existe un sistema de monitorización integral de los efectos del Cambio Climático sobre la salud humana. Muchos de los efectos estimados sobre la salud son meramente teóricos y puede que solo afecten a la emergencia de algunos problemas sin llegar a crear situaciones que necesiten una atención

Estación de Oviedo  
(Captador en el Hospital N° Sª de Covadonga)

Contenido polínico atmosférico  
Año 2002 (hasta la semana 51)



Fuente: Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas. Sistema de Vigilancia Aeropolínica en Asturias, 2002.

Figura 28. Asturias. Contenido polínico atmosférico por semana. Estación medidora de Oviedo. Año 2002. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas - Universidad de Oviedo.

Estación de Oviedo  
(Captador en el Hospital N° S° de Covadonga)

Contenido polínico atmosférico  
Año 2008 (hasta la semana 42)

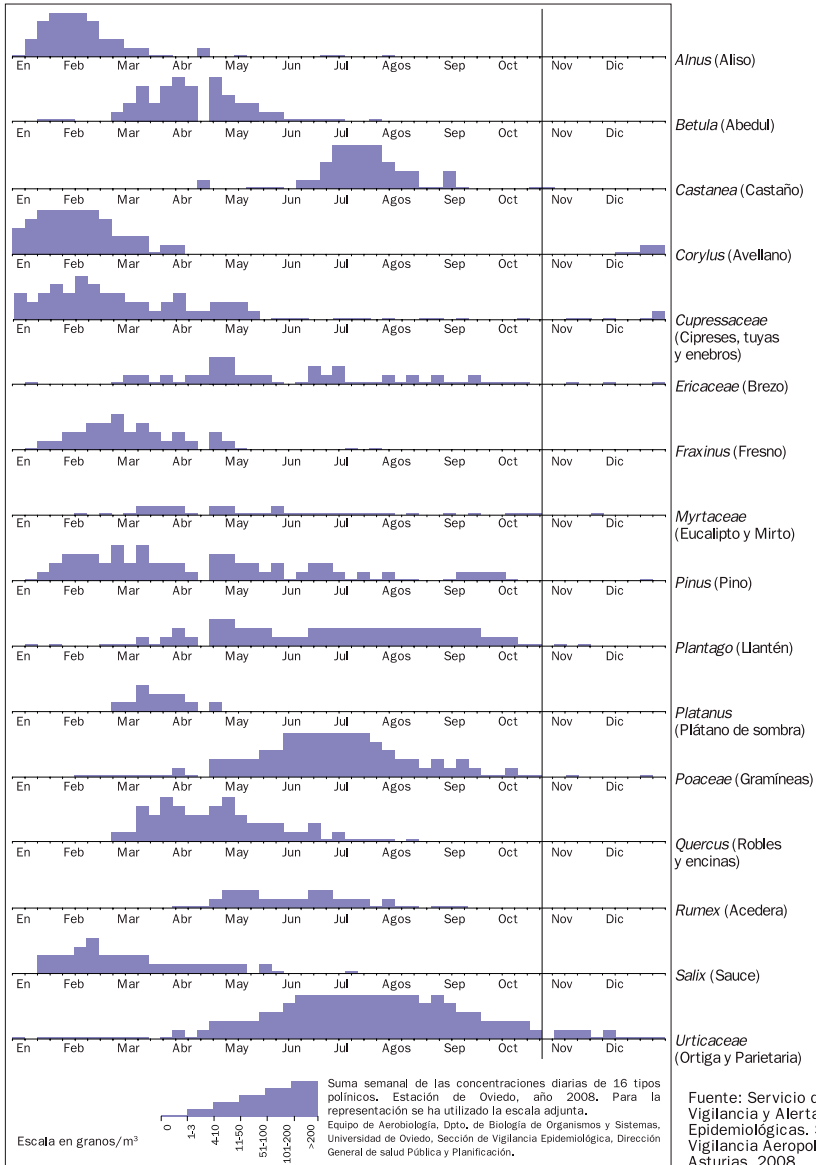


Figura 29. Asturias. Contenido polínico atmosférico por semana. Estación medidora de Oviedo. Año 2008. Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas - Universidad de Oviedo.

inmediata. Parece que en los aspectos operativos la mejor estrategia pudiera ser aquella de plantear respuestas cuando sea necesario, y para ello se necesita ser flexible para responder rápidamente.

En el apartado de vigilancia o monitorización, y directamente relacionado con el de investigación, es imprescindible que se implante un adecuado sistema de monitorización de los impactos que puedan generarse por el Cambio Climático sobre la salud humana (morbilidad, mortalidad, uso de servicios sanitarios, etc.), y de aquellos factores considerados más importantes: temperatura y niveles de contaminación aérea. Existen muchas estrategias para recoger información tan amplia pero quizá por sus propias características un modelo Obser-

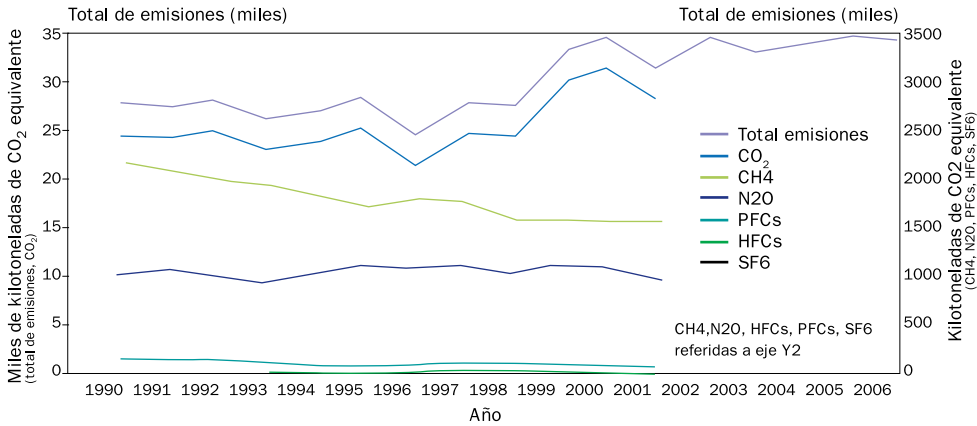
vatorio de los efectos del Cambio Climático sobre la salud humana en Asturias sería el más adecuado, dado que recogería la información de diversas fuentes (registros, sistemas centinelas, declaraciones obligatorias, niveles de control y vigilancia ambiental, etc.) y las integraría en un informe periódico (anual, bienal, etc.). Los indicadores para dichas patologías, riesgos o procesos deberían ser definidos para identificar procesos de alerta temprana en relación con el Cambio Climático. Este informe es un ejemplo de los resultados a obtener de este sistema de monitorización.

Dentro de este ámbito también se podrían establecer sistemas de vigilancia específicos, como sistemas de detección de exacerbaciones de enfermedades respiratorias (ligadas a

Tabla II. Resumen de evolución de las emisiones por tipo de gas en Asturias.

Gases de efecto invernadero	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	
	CO <sub>2</sub> equivalente (kilotoneladas)								
CO <sub>2</sub>	23.798,42	23.671,78	24.562,68	22.825,40	23.364,00	25.202,29	21.309,98	24.127,24	
CH <sub>4</sub>	2.181,45	2.090,50	2.012,42	1.962,39	1.868,88	1.768,81	1.824,68	1.798,52	
N <sub>2</sub> O	1.066,53	1.090,52	1.004,31	963,53	1.037,50	1.130,31	1.112,47	1.130,58	
HFCs				0,01	0,02	0,21	3,23	8,16	
PFCs	123,34	116,18	119,33	106,09	82,94	77,53	82,48	85,80	
SF <sub>6</sub>	2,85	3,06	3,25	3,34	3,31	4,49	4,77	5,65	
<b>Total emisiones</b>	<b>27.173</b>	<b>26.973</b>	<b>27.702</b>	<b>25.861</b>	<b>26.357</b>	<b>28.183</b>	<b>24.338</b>	<b>27.156</b>	
Gases de efecto invernadero	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006
CO <sub>2</sub>	24.308,21	29.462,70	30.812,46	28.143,07					
CH <sub>4</sub>	1.634,17	1.634,48	1.606,74	1.617,46					
N <sub>2</sub> O	1.065,27	1.134,73	1.122,00	1.065,02					
HFCs	18,44	32,69	47,05	59,94					
PFCs	80,35	72,04	73,09	62,30					
SF <sub>6</sub>	6,32	8,25	9,36	8,89					
<b>Total emisiones</b>	<b>27.173</b>	<b>32.345</b>	<b>33.671</b>	<b>30.957</b>	<b>33.603</b>	<b>32.390</b>	<b>32.977</b>	<b>33.872</b>	<b>33.633</b>

Fuente: Tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero por CCAA 1990-2006. Inventario español de GEI. Ministerio de Medio Ambiente.



Fuente: Tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero por CCAA 1990-2006. Inventario español de GEI. Ministerio de Medio Ambiente.

Figura 30. Asturias. Resumen de la evolución de las emisiones por tipo de gas entre 1990 y 2006. CO<sub>2</sub> equivalente (kilotoneladas).

contaminantes bióticos, físicos y/o químicos), de procesos diarreicos, etc. O bien reforzar los sistemas actuales de vigilancia de presencia de polenes buscando nuevos tipos (p.e. olivo) o contaminantes claramente asociados a efectos sobre la salud humana (p.e. partículas PM10).

En el apartado de promoción, prevención y protección de la salud, la óptica sería la de desarrollar actuaciones protocolizadas y dejarlas en espera de acontecimientos, dado que en muchos de los posibles efectos sobre la salud su asunción es meramente teórica o solo afectarían a problemas emergentes. Muchas de estas actuaciones afectarían a niveles de promoción: educación sanitaria, cambio de estilos de vida (p.e. evitación de la exposición lúdica o turística al sol, la incentivación de uso de medidas de protección al sol, etc.), actuación de los medios de comunicación (para el impulso y una más fácil recepción de los mensajes por parte de la población). También afec-

tarían a medidas de prevención: vacunaciones específicas humanas (p.e. contra las encefalitis transmitidas por garrapatas), desarrollo de políticas que minimicen contaminación ambiental (p.e. control estrecho de emisiones e inmisiones de industrias contaminantes, o bien el control de la plantación de especies vegetales ornamentales foráneas y altamente reactivas para el humano, como el olivo, la mimosa, la encina, etc.), o planeamiento urbano (p.e. que impida las elevadas tasas de circulación de vehículos o la concentración de calor en el medio urbano).

En el apartado de las actuaciones políticas, afecta a muchas administraciones y ámbitos: salud pública, medioambiente, urbanismo, transporte, industria, comercio, etc. Muchas de las posibles opciones compiten entre sí, principalmente con criterios económicos, y en otros casos por diferentes competencias y sistemas de trabajo (p.e. la salud pública trabaja sobre la prevención y recomendaciones basa-

das en la evidencia, mientras que las políticas medioambientales lo hacen con precauciones y normas basadas en legislación). Esto puede generar problemas en cuanto a su implantación. Por otra parte, a veces existe contradicción entre las necesidades industriales, laborales y comerciales y las necesidades de prevención en salud pública (p.e. la implantación de nuevas industrias contaminantes en nuestra región genera efectos negativos para la salud, y si bien se plantea la existencia de un informe medioambiental legalmente preceptivo no se plantea actualmente (ni siquiera como medida de prevención) ningún informe de efectos sobre la salud humana). Por tanto, es necesaria la coordinación entre las políticas de salud, medioambientales e industriales, entre otras.

Por último, es necesario que los/las ciudadanos/as tengan un mejor conocimiento del riesgo particularmente aquellos que puedan ser modificados mediante cambios en la conducta o el comportamiento de la propia comunidad. La transparencia sobre la situación actual, los nuevos retos y las opciones para prevenir o mitigar es muy importante. Para ello, se propone la implantación de un canal de comunicación con la población asturiana a través de una página de información web en el que se enfatizaría el trabajo multidisciplinar.

En este apartado es necesario implicar a los medios de comunicación para que lleguen a la población, garantizando que lo que se publique sea relevante y basado en hechos, no en especulaciones.

### 7.3 REFERENCIAS

Alonso, P. et al. 2007. Informe epidemiológico de Asturias. 2006. Dirección General de Salud Pública.

Argüelles, M. et al. 2006. Cáncer en Asturias 1991-2000. Dirección General de Salud Pública.

Argüelles, M. et al. 2008. Datos del Registro de tumores del Principado de Asturias: Cáncer en Asturias 2001-2004. Dirección General de Salud Pública, Sin publicar.

Behrendt, H. et al. 2001. Secretion of proinflammatory eicosanid-like subsances precedes allergen release from pollen grains in the initiation of allergic sensitization. *Int Arch Allergy Immunol*, 124: 121-125.

Comunitat Valenciana 2007. Informe zoonosis en Comunitat Valenciana, 2007.

CSDH 2008. Closing the gap in a generation: health equity through action on the social determinants of health. Final Report of the Commission on Social determinants of Health. Geneva, World Health Organization.

Dept of Health (UK) 2002. Health Effects of Climate Change in the UK. London.

Díaz-Sánchez, D., Taiieu, A., Casillas, A., Dotson, A.R., Saxon, A. 1996. Enhanced nasal cytokine production in human beings after in vivo challenge with diesel exhaust particles. *J Allergy Clin Immunol*, 98: 114-123.

ECDC 2008. Environmental Change and infectiuos disease, Workshop, 2007. Stockolm, 2008.

Feo Brito et al. 2007. Air pollution and seasonal asthma during the pollen season. A

cohort study in Puertollano and Ciudad Real (Spain). *Allergy*, 62: 1152-1157.

Fernández, E. et al. 1998. Influence of pollution in the pollinosis prevalence. *Allergy*, 53 (Suppl. 43): 35(A).

Fernández-Verdugo, A. et al. 2008. Informe del Sistema de Información Microbiológica 2007. Dirección General de Salud Pública.

Galán, I., et al. 2003. Short-term effects of air pollution on daily asthma emergency room admissions. *Eur Respi J*, 22: 1-7.

Gent, J. et al. 2003. Association of low-level ozone and fine particles with respiratory symptoms in children with asthma. *JAMA*, 290: 1859-1867.

Hoffmann-Sommergruber, K. 2000. Plant allergens and pathogenesis-related proteins: What do they have in common? *Int Arch Allergy Immunol.*, 122: 155-166.

Huerta, I. et al. 2008. Campaña de vacunación antigripal, 2008-09. Manual de procedimientos. Dirección General de Salud Pública.

IARC 1992. Solar and UV Radiation. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans. Vol 55. Lyon, France.

IPCC Working Group II 2007. Contribution to the intergovernmental panel on climate change fourth assessment report. *Climate Change*.

IPCC 2001. Synthesis Report, Third Assessment Report, Cambridge University Press.

Jäger, S. et al. 1996. Trends of some airborne tree pollen in the Nordic countries and Austria, 1980-1993. A comparison between Stockholm, Trondheim, Turku and Vienna. *Grana*, 35: 171-178.

Li, N. et al. 2003. Particulate air pollutants and asthma. A paradigm for the role of oxidative stress in PM-induced adverse health effects. *Clinical Immunol*, 109: 250-265.

López-Vélez, R. et al. 2005. Cambio climático en España y riesgo de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por artrópodos y roedores. *Rev Esp Salud Pública*, 79:177-190.

Lucientes, J. 2009 El cambio climático y las enfermedades transmitidas por mosquitos en Asturias. En: Evidencias y efectos del Cambio Climático en Asturias.

Margolles, M. et al. 1994. La tuberculosis en Asturias. Aspectos epidemiológicos, 1989-92. Dirección General de Salud Pública.

Margolles, M. et al. 1998. Programa de control y prevención de la tuberculosis en Asturias. Dirección General de Salud Pública.

Margolles, M. et al. 2003 Encuesta de Salud para Asturias, Año 2002. Consejería de Salud y Servicios Sanitarios del Principado de Asturias.

Margolles, M. et al. 2002-2008. Vigilancia de la Gripe y de las infecciones víricas. Informes años 2003-04, 2004-05, 2005-06, 2006-07 y 2007-08. Red de Médicos Centinelas de Asturias. Dirección General de Salud Pública.

Margolles, M. et al. 2004. Vigilancia de las Picaduras de garrapatas y los procesos diarreicos y gastroentéricos 2004. Red de Médicos Centinelas de Asturias. Dirección General de Salud Pública.

Margolles, M. 2004b Vigilancia de las enfermedades susceptibles de vacunación. Curso de actualización en Atención Primaria.

Margolles, M. et al. 2007. Vigilancia de los Procesos diarreicos y gastroentéricos 2006-07. Red de Médicos Centinelas de Asturias. Dirección General de Salud Pública.

Margolles, M. et al. 2008. Encuesta de Salud para Asturias, Año 2008. Consejería de Salud y Servicios Sanitarios del Principado de Asturias.

McMichael, A.J. et al. 2003. Climate Change. In: Comparative quantification of Health Risk. Geneva: WHO.

Melero, V. et al. 2007. Presencia de *B. burgdorferi* sensu lato, agente causante de la enfermedad de Lyme, en las garrapatas de Asturias. Informe, 2007. Universidad de Oviedo - Dirección General de salud Pública y Planificación. Sin publicar.

Mur Gimeno, P. et al. 2007. Decompensation of pollen-induced asthma in two twons with different pollution levels in La Mancha, Spain. *Clin Exp Allergy*, 37: 558-563.

Murray, C.J.L. 1994. Quantifying the Burden of Disease - the technical basis for disability adjusted life years. *Bulletin of the WHO*, 72(3): 429-445.

Obtulowicz, K. 1993. Air pollution and pollen allergy. *Folia Med Cracov.* 34 (1-4):121-128.

OMS 2003. Cambio climático y salud humana. Riesgos y respuestas, Resumen. OMS, Ginebra.

OMS 2002. Informe sobre la salud en el mundo 2002: reducir los riesgos y promover una vida sana, OMS, Ginebra.

Peñuelas, J. et al. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952 to 2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*. 8: 531-544.

Quirós, J.R. et al. 2004. Mortalidad y temperatura ambiental elevada en Asturias durante el verano de 2003. Dirección General de Salud Pública.

Quirós, J.R. et al. 2005. Desciende la mortalidad por diabetes en Asturias. Dirección General de Salud Pública.

Redondo, M.L. et al. 1999-2006 Mortalidad en Asturias, Informes años 1999, 2000, 2001, 2002, 2003, 2004, 2005 y 2006 y anteriores a estas fechas (1987-1998). Dirección General de Salud Pública.

Sección de Información Sanitaria. 2006. Melanoma Maligno en Asturias, Dirección General de Salud Pública.

Solomon, W.R. 2002. Airborne pollen: A brief life. *J Allergy Clin Immunol*, 109: 895-900.



SVAE, Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas 2004-2008. Sistema de Vigilancia de los efectos de las temperaturas extremas en Asturias, Vigilancia estival. Consejería de Salud y Servicios Sanitarios del Principado de Asturias.

SVAE, Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas. 2007. Plan de prevención de las Altas temperaturas. Verano 2007. Dirección General de Salud Pública.

SVAE, Servicio de Vigilancia y Alertas Epidemiológicas 2002-2008. Sistema de vigilancia aeropolínica en Asturias, 2002-2008. Consejería de Salud y Servicios Sanitarios del Principado de Asturias.

Velazhahan, R. et al. 1999. Induction of thaumatin-like proteins (TLPs) in *Rhizoctonia solana*-infected rice and characterization of two new cDNA clones. *Physiol Plant*. 102: 21-28.

WHO 2008. Protecting health in Europe from climate change. WHO-Europe, Copenhagen.

Muchos de estos informes o referencias pueden ser consultados en la página web Asturias.es, [www.asturias.es](http://www.asturias.es) > cuidar tu salud.

#### Bases de datos Existentes:

##### REGISTROS:

Se hace mención del indicador (variable), unidad de medida, localidad o zona, y tiempo de la serie. Todas estas bases de datos son propiedad de la Consejería de Salud y Servicios Sanitarios y están disponibles en soporte informático en los diferentes sistemas de ges-

ción de bases de datos, hojas de cálculo o programas de análisis estadístico.

Mortalidad general anual en Asturias, tasa por 100.000h, desde 1900

Mortalidad general anual en Asturias por edad (0-15, 16-39, 40-59, 60+ años) y sexo, tasas por 100.000h desde 1905

Mortalidad en Asturias y Área Sanitaria (en Asturias) por edad, sexo y causa desde 1987 a 2006.

Gripe, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1950

Gripe, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1981

Tuberculosis, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1919

Tuberculosis, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1919

Tuberculosis, Incidencia anual por tipo de Tuberculosis, tasa por 100.000h, desde 1989

Tuberculosis, Mortalidad anual por tipo de tuberculosis, tasa por 100.000h, desde 1987

Legionelosis, Incidencia anual y semanal, tasa por 100.000h, desde 1999

Legionelosis, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Enfermedad meningocócica, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1940

Enfermedad meningocócica, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Enfermedad meningocócica, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Sarampión, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1964

Sarampión, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Sarampión, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1984

Rubeola, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Rubeola, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Parotiditis, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Parotiditis, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Tosferina, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Tosferina, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Tétanos, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1974

Tétanos, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1974

Tétanos neonatal, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1974

Tétanos neonatal, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1974

Difteria, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Difteria, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1963

Poliomielitis, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1964

Poliomielitis, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1949

Parálisis flácida aguda <15 años, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Parálisis flácida aguda <15 años, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1998

Varicela, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Varicela, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1963

Hepatitis vírica A, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Hepatitis vírica A, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1989

Hepatitis vírica B, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Hepatitis vírica B, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1989

Hepatitis vírica C, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1993

Hepatitis vírica C, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1993

Hepatitis vírica C, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 2003

Hepatitis vírica C, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 2003

Rabia humana, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1971

Rabia humana, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1971

Tifus exantemático, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1971

Tifus exantemático, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1971

Peste, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1971

Peste, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1971

Brucelosis, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Brucelosis, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1960

Otros procesos diarreicos, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Otros procesos diarreicos, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Fiebres tifoparatíficas, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Fiebres tifoparatíficas, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1964

Fiebres tifoparatíficas, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Shigelosis-disentería, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Shigelosis-disentería, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1964

Shigelosis-disentería, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Triquinosis, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Triquinosis, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1964

Triquinosis, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Botulismo, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Botulismo, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1964

Botulismo, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Cólera, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Cólera, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1964

Sífilis, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Sífilis, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Sífilis congénita, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Sífilis congénita, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Infección gonocócica, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Infección gonocócica, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Síndrome de Inmunodeficiencia adquirida, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1986

Síndrome de Inmunodeficiencia adquirida, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Infección por el Virus de la Inmunodeficiencia humana, Prevalencia e Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1986

Paludismo/malaria, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1982

Paludismo/malaria, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Lepra, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1943

Lepra, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Fiebre amarilla, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1940

Fiebre amarilla, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Tifus exantemático, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1940

Tifus exantemático, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Encefalopatías Espongiformes Transmisibles Humanas, Incidencia semanal, tasa por 100.000h, desde 1995

Encefalopatías Espongiformes Transmisibles Humanas, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Enfermedades raras, Incidencia anual, tasa por 100.000h, desde 1996

Enfermedades raras, Mortalidad anual, tasa por 100.000h, desde 1987

Morbilidad con ingreso hospitalario, Conjunto Mínimo básico de datos (CMBD), Incidencia diaria, tasa por 100.000h, desde 1996

Incapacidad para el Trabajo, Incidencia diaria, tasa por 100.000h, desde 2000

Sistema de Información Microbiológica, determinados patógenos, Aislamientos, Incidencia diaria, tasa por 100.000h, desde 2004

Prescripción farmacéutica en Sistema público de salud, por fármaco, desde 2003

Registro de Tarjeta Sanitaria Individual, personas con derecho a prestación sanitaria, desde 1990.

Tumores malignos (excepto cutáneos, incluyendo melanoma maligno), Incidencia, tasa por 100.000h, desde 1982.

Tumores malignos, Mortalidad, tasa por 100.000h, desde 1987

Enfermos Renales Crónicos en tratamiento sustitutivo, Incidencia, tasa por 100.000h, desde 1995-2006.

Enfermos Renales Crónicos en tratamiento sustitutivo, Mortalidad, tasa por 100.000h, desde 1995-2006.

Defectos congénitos al nacimiento, Prevalencia, tasa por 100.000h, desde 1990.

Defectos congénitos al nacimiento, Mortalidad, tasa por 100.000h, desde 1990.

Interrupciones Voluntarias del Embarazo, Incidencia, tasas por 100.000h, desde 1987.

Encuesta de Salud para Asturias, Año 2002. Datos de prevalencia de morbilidad, presencia de patologías, riesgos y conductas.

Encuesta de Salud para Asturias, Año 2008. Datos de prevalencia de morbilidad, presencia de patologías, riesgos y conductas.

Sistema de Vigilancia aeropolínica en Asturias, evolución anual. Datos semanales desde 1997

Sistema de Vigilancia de los Efectos de las temperaturas extremas en Asturias, vigilancia estival. Datos diarios desde 2004.

#### **Otras fuentes:**

Tendencia de las emisiones de gases de efecto invernadero por CCAA 1990-2006. Inventario español de GEI. Ministerio de Medio Ambiente.



# ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR MOSQUITOS

Javier Lucientes, Departamento de Patología Animal, Facultad de Veterinaria, Universidad de Zaragoza.

## 8.1 INTRODUCCIÓN

Bajo el nombre de enfermedades transmitidas por mosquitos generalmente incluimos todas aquellas que son transmitidas por pequeños dípteros hematófagos. Habitualmente no se hace distinción entre los verdaderos mosquitos (Familia Culicidae), de los flebotominos (Familia Psychodidae), jejenes (Familia Ceratopogonidae) y las moscas negras (Familia Simuliidae). Todos ellos pertenecen al Orden Díptera y suborden Nematocera, y son pequeños insectos de menos de 1 cm de longitud, el tamaño de algunos como los jejenes y los flebotominos apenas llega a los 3 mm.

Estas familias presentan como característica biológica que las hembras de la gran mayoría de las especies necesitan ingerir sangre de animales vertebrados para la maduración y desarrollo de los huevos. Lo que las convierte en grandes productores de molestias a los animales y a las personas, provocando reacciones alérgicas a sus picaduras, en ocasiones exageradas, y sobre todo están implicadas en la transmisión de un gran número de enfermedades víricas y parasitarias. Recientemente se han vinculado a algunas especies de mosquitos que poseen una saliva muy irritante, los denominados “artrópodo promotores”, como un factor de riesgo del Sarcoma de Kaposi que está producido por un herpes virus (HHV-8) (Ascoli et al. 2006).

Los insectos son animales ectotérmicos, es decir que necesitan y dependen de la temperatura exterior para desarrollar sus diferentes mecanismos metabólicos y por lo tanto su actividad.

Son animales con metamorfosis completas u holometábolos lo que implica que en su proceso de desarrollo pasan por fases morfológicas muy diferentes (huevo, larva, pupa, imago) que tienen incluso hábitats distintos. Todos los adultos son aéreos y vuelan en busca de pareja, para alimentarse o para ocultarse en periodos adversos, mientras que las pupas y las larvas tienen menos movilidad y colonizan nichos ecológicos diferentes para no entrar en competencia con los adultos. (Tabla I).

Su dependencia de la temperatura es total. Las temperaturas extremas continuadas los matan pero temperaturas bajas los pueden mantener vivos sin actividad por meses. También hay que diferenciar el efecto sobre las fases de adultos o imagos, de las fases larvarias.

En cuanto a los adultos, cada familia de estos dípteros tiene sus peculiaridades, pero en general, desarrollan su actividad de manera óptima entre 20 y 30 °C. Temperaturas mayores de 35 °C, sobre todo si están en ambientes con humedad relativa muy baja, los mata en pocos días. Las temperaturas por debajo de 0 °C los pueden matar en pocas horas y temperaturas entre 0 y 10 °C los mantiene vivos pero sin actividad, en estado de diapausa; entre 10 y 15 °C comienzan a presentar actividad voladora.

Los huevos, larvas y pupas sin embargo al encontrarse en ambientes acuáticos, o en el interior de barro o en materia vegetal se encuentran más protegidos de las temperaturas extremas. Además las hembras cuando realizan la puesta de huevos seleccionan enclaves que favorecen su supervivencia. A pesar de esto, periodos prolongados de temperaturas del medio por encima de los 40 °C, o por deba-

Tabla I. Características de los hábitats larvarios de las familias de dípteros hematófagos más importantes de Asturias.

Familia	Tipo de larva y pupa	Características de los Hábitats larvarios
Culicidae	Acuática	Aguas permanentes estancadas
Simuliidae	Acuática	Aguas permanentes corrientes
Psychodidae (Phlebotominae)	Terrestre	Abundante materia orgánica vegetal
Ceratopogonidae	Terrestre/acuática	Materia orgánica animal (heces). Vegetación en descomposición. Barros

jo de 0 °C, matan a la gran mayoría en pocos días.

Las temperaturas influyen directamente en los procesos metabólicos de estos insectos, no sólo en los implicados en el desarrollo sino también en otros fisiológicos que tienen gran interés en su papel vectorial como es la ingesta de sangre y su digestión. Al hablar de generalidades de un grupo tan heterogéneo, es muy difícil encontrar un patrón que abarque todas las especies, pero a mayor temperatura su metabolismo aumenta y disminuye el tiempo de digestión con lo cual necesitan ingerir sangre con más frecuencia; es decir, pica más veces y puede transmitir más veces los patógenos. Hay que tener en cuenta que al aumentar el metabolismo se acelera el envejecimiento del insecto y por lo tanto muere antes; como máximo pican 6 ó 7 veces en toda su vida.

Cuando estamos hablando de enfermedades transmitidas por vectores tenemos que contemplar tres organismos muy diferentes. El hospedador, el vector y el agente patógeno. La compleja relación que existe entre los tres hace que cada enfermedad tenga un comportamiento diferente. Los diferentes virus y parásitos necesitan también de temperaturas

específicas para multiplicarse y mientras que en los hospedadores al ser animales de sangre caliente la tasa de multiplicación tiende a ser constante, en los vectores va a depender también de la temperatura del ambiente en el que se encuentren.

Las temperaturas óptimas de multiplicación de estos patógenos están muy relacionadas con las temperaturas en las que el metabolismo de sus vectores son las mejores. Igual que en ellos, las temperaturas por debajo de 10-15 °C, en las que apenas presentan actividad, los virus y parásitos también dejan de reproducirse, pero permanecen acantonados hasta que la temperatura ambiente asciende y comienzan de nuevo a multiplicarse. Este es un mecanismo de persistencia invernal de algunos virus que favorece el endemismo de los mismos.

No todas las especies por el hecho de ser hematófagas y poder ingerir los diversos virus y parásitos pueden ser vectores de los mismos, pues hay una gran especificidad en la relación patógeno - vector. Existen una serie de barreras en el vector a nivel celular, que seleccionan el tipo de patógeno que puede multiplicarse en ellos, y si no encuentran los recep-



Tabla II. Familias de dípteros hematófagos y enfermedades más importantes que pueden transmitir a las personas.

Familia	Enfermedades
Culicidae	Malaria Dirofilariosis West Nile Virus Fiebre del Valle del Rift Chikungunya Dengue Fiebre Amarilla Encefalitis Japonesa
Psychodidae (subfamilia Phlebotominae)	Leishmaniosis Fiebre Toscana Fiebre del Valle del Rift
Simuliidae	Onchocercosis Importancia Veterinaria
Ceratopogonidae	Oropuche Fiebre del Valle del Rift Encefalitis Equina del Este Importancia Veterinaria

tores específicos a los que fijarse no pueden colonizarlos. Por ello, conocer las especies que colonizan una región nos permitirá evaluar el riesgo de la presencia de estas enfermedades vectoriales. (Tabla II)

## 8.2 ESPECIES DE POTENCIALES VECTORES EN ASTURIAS

Apenas hay trabajos que describan la diversidad y riqueza de especies de dípteros hematófagos presentes en el principado de Asturias. Los escasos datos que hay están dispersos en la bibliografía y generalmente son puntuales y poco actuales (Alvar 1997, Puig et al. 1984, Roiz et al. 2008, Romeo 1950) (Tabla III). Por ejemplo, de entre las familias más importantes no hay citas en Asturias de Flebotomos transmisores de la Leishmaniosis.

## 8.3 COMO PUEDE AFECTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO A LAS ENFERMEDADES TRANSMITIDAS POR MOSQUITOS EN ASTURIAS

Las predicciones del efecto del Cambio Climático en Asturias nos indican que va a producirse un incremento moderado de las temperaturas. La tendencia es a un incremento en primavera y verano sobretodo en la zona del litoral. Paralelamente puede haber un descenso no muy marcado de las lluvias también en primavera y verano y un ligero retroceso de la costa por un aumento del nivel del mar (Álvarez et al. 2009, CLIMAS).

Las repercusiones directas de estas previsiones sobre las familias de dípteros hematófagos de interés sanitario en Asturias se van a ir notando de forma paulatina pero no muy marcada. Lo primero que se puede empezar a

notar es un adelanto del periodo de actividad de las diferentes especies sobre todo en la franja costera. Este efecto será más notorio en las especies que pasan el invierno en estado de imago, como sería el caso de *Culex pipiens* o *Anopheles maculipennis*, que adelantarían su periodo de actividad casi dos semanas o incluso podrían volar en invierno si hubiera periodos de varios días seguidos con temperaturas superiores al rango de 12 a 15 °C.

En las especies que pasan el periodo invernal en fase de huevos o de larvas, un incremento medio de la temperatura adelantará su eclosión, sobre todo en las de hábitat acuático, como la familia Culicidae que se desarrollan en aguas estancadas. Tal vez este adelanto no se aprecie tanto en las especies de la Familia Simuliidae que se encuentran en ríos de montaña con aguas corrientes más frías.

Otra de las consecuencias directas del aumento de temperatura es que va a disminuir la mortalidad invernal en todos los estadios, que está causada por las bajas temperaturas y sobre todo si son continuadas. También aquí este efecto se notará más en la costa que en la montaña. El resultado será unas primeras generaciones más numerosas lo que va a favorecer que con cada nueva generación aumente el número de ejemplares. Es decir, que potencialmente a final de verano y principio de otoño las poblaciones de estos insectos serán más abundantes.

El descenso de lluvias en verano puede tener como consecuencia un descenso del nivel de los ríos sobre todo en sus tramos medios y bajos. Esto puede favorecer la aparición de nuevos y abundantes hábitats para los mosquitos verdaderos (Culícidos) que crían en

**Tabla III.** Relación de especies de las principales familias de dípteros nematoceros potenciales vectores de enfermedades citados en Asturias.

Familia	Enfermedades
Familia Culicidae	<i>Anopheles atroparvus</i> <i>Anopheles claviger</i> <i>Anopheles plumbeus</i> <i>Culex pipiens</i> <i>Culex hortensis</i> <i>Culiseta longiareolata</i>
Familia Simuliidae	<i>Simulium nitridifrons</i> <i>Simulium variegatum</i> <i>Simulium monticola</i> <i>Simulium argyreatum</i> <i>Simulium aureum</i> <i>Simulium equinum</i> <i>Simulium pictum</i>
Familia Ceratopogonidae	<i>Culicoides obsoletus</i> <i>Culicoides dewulfi</i> <i>Culicoides maritimus</i> <i>Culicoides circumscriptus</i> <i>Culicoides punctatus</i> <i>Culicoides pulicaris</i> <i>Culicoides festivipennis</i> <i>Culicoides nubeculosus</i> <i>Culicoides univittatus</i>

aguas estancadas coincidiendo además con momentos en los que sus poblaciones pueden ser muy abundantes como hemos comentado anteriormente.

Si las mareas alcanzan niveles más altos pueden aumentar la superficie de inundación y por lo tanto el incremento de hábitats adecuados para ser colonizados por mosquitos, y fundamentalmente de las especies del género *Aedes* que se desarrollan en zonas que se inundan periódicamente.

La ampliación del periodo de actividad anual va a dar lugar a un mayor número de generaciones con el incremento predecible de la cantidad de individuos de las diferentes especies de insectos hematófagos. Esto va a originar un aumento de las molestias por picaduras a las personas y a los animales; posiblemente focalizado en aquellas zonas de la costa próximas a rías y marismas costeras donde se produzca un incremento en los hábitats de estas especies.

Este aumento del periodo de presencia de los vectores, emparejado con el incremento de las temperaturas, va a permitir que a lo largo de su vida puedan chupar sangre más veces; dispondrán de más tiempo y se acelerará el proceso de digestión. También puede adelantarse el comienzo en la multiplicación de los patógenos, con el consiguiente aumento del periodo de riesgo de transmisión de las enfermedades.

La capacidad vectorial (Anexo) de una especie de vector se mide con una compleja fórmula que incluye parámetros como: densidad del vector, tasa diaria de picaduras en las personas, tasa de supervivencia diaria del vector y periodo de incubación extrínseca del patógeno en el vector. Todos ellos están directamente relacionados con la temperatura ambiental. El

aumento de la temperatura va a tener como consecuencia un incremento de la capacidad vectorial que se plasmará en un aumento de la producción de virus y, sobre todo, en la transformación de algunos vectores secundarios en vectores principales, sustituyendo el papel vectorial de estos en zonas donde son muy abundantes, o participando conjuntamente en la transmisión.

Estamos hablando constantemente de la zona litoral porque es la que en ella pueden darse en un futuro los cambios climáticos más significativos. Pero hay que citar otro hecho y es el incremento, aunque parece que menos acusado, de las temperaturas en altitud. Esto va a influir de forma desigual a los insectos más termófilos, como flebotomos (favorecerá a las especies de *Psychodidae*, *Phlebotominae*), y a los que habitan aguas frías de los arroyos de montaña (afectará negativamente a los *Simuliidae*). De tal manera que podremos comprobar un aumento del área de distribución altitudinal en algunas especies debido a la orografía, mientras que otras pueden reducir substancialmente sus áreas de distribución incluso llegar a desaparecer.

Esta dulcificación del clima en Asturias, sobre todo en el litoral, junto con la alta pluviometría, por mucho que este prevista una ligera reducción de la misma, va a favorecer la introducción de especies que no están presentes en este momento y que pueden cambiar el espectro sanitario de la misma.

Se está encontrando en los últimos años una dispersión hacia el norte de los principales vectores de la Leishmaniosis. Esta enfermedad no se encontraba en las provincias de la Cornisa Cantábrica ni estaban citados sus vectores (Alvar 1997). En los últimos años el principal vector en España, *Phlebotomus pern-*

*ciosus*, ha colonizado el País Vasco (Lucientes et al. 2002) y se describen casos de enfermedad en Álava. Más recientemente Sobrino et al. (2008) encuentran en la Cornisa Cantábrica una prevalencia de Leishmaniosis en carnívoros silvestres (18,1 % en lobos y 21 % en zorros). Aún teniendo en cuenta que muchas de las localidades no corresponden a Asturias y la gran movilidad que presentan en zonas de montaña estas especies, es significativa la elevada prevalencia, lo que quiere decir que al menos en ambientes naturales y periurbanos hay presencia de vectores competentes. Es de esperar que en los próximos años las especies de *Phlebotomus perniciosus* y seguramente *Phlebotomus ariasi*, colonicen los ambientes más urbanos y, si se introducen perros (principal reservorios de la enfermedad) u otros animales parasitados, empiecen a aparecer casos en humanos.

Una especie exótica invasora, que está en estos momentos en expansión en la Península Ibérica, es el mosquito tigre (*Aedes albopictus*). Esta especie tiene su origen en el sudeste asiático, pero ha colonizado medio mundo. Llegó a España en 2004, distribuyéndose rápidamente por Cataluña y puntos de la costa mediterránea (Roiz et al. 2007). La dispersión a grandes distancias la está realizando en fase de huevo dentro de neumáticos reciclados que han estado almacenados en el exterior y en estado adulto por un transporte pasivo en todo tipo vehículos. Esta podría ser la forma de la que ha entrado en España (Roiz et al. 2008). Asturias sería una de las Comunidades Autónomas españolas donde podría asentarse este mosquito. El aumento del periodo anual con temperaturas medias máximas superiores a 20°C y una pluviometría como mínimo de

500 mm va a favorecer la colonización de esta especie.

*Aedes albopictus* es un vector competente en muchas enfermedades víricas tropicales (Dengue, Fiebre Amarilla, Encefalitis Japonesa,...) que pueden ser introducidas accidentalmente por personas que visiten zonas endémicas y que enfermen en ellas. No hay que olvidar el reciente brote de Chikungunya en Italia durante el verano del 2007 (Beltrame et al. 2007). La fuente fue una persona que enfermó al realizar una visita a una región de la India cuando estaba ocurriendo un brote de Chikungunya, y a su regreso a la provincia de Ravenna diseminó el proceso debido a que fue picado por los abundantes *Aedes albopictus* que colonizan el norte de Italia, especie que es muy agresiva para las personas y que pica incluso por el día. También es una especie introducida en ese país.

Aunque no está relacionada con la transmisión de enfermedades pero estos últimos años se ha producido una colonización del río Ebro por especies de Simúlidos de origen más euromediterráneo (*Simulium pseudoequinum*, *Simulium erythrocephalum*) que están provocando graves problemas por picaduras en las poblaciones de las áreas de influencia del río Ebro y sus afluentes Cinca y Segre. El alto poder antigénico de los componentes de su saliva provoca reacciones en muchas ocasiones desproporcionadas, que son causa de atención urgente; al ser de actividad diurna interfieren en muchas ocasiones con actividades humanas tanto de trabajo como de ocio (turismo). Estas especies están progresando por el río hacia el norte y ya empiezan a detectarse aguas arriba de la ciudad de Zaragoza, con el riesgo de ir ocupando todo el valle hasta Cantabria.

Se habla mucho de la posibilidad de la re-emergencia del paludismo en España por la entrada de personas parasitadas con cepas susceptibles a los vectores españoles. Es cierto que los modelos predicen que a medio plazo podrían darse casos en la Península, pero esta situación no llegaría a producirse en Asturias. Tanto *Anopheles atroparvus* como *Anopheles claviger* se han citado como vectores de *Plasmodium* en el pasado, pero parece que estaban más relacionados con la transmisión de *Plasmodium vivax* y *Plasmodium malariae*, agentes etiológicos de formas benignas de malaria (tercianas benignas y cuartanas). Las especies europeas actuales han demostrado ser refractarias a las cepas tropicales de *Plasmodium falciparum* procedentes de África subsahariana (Ramsdale y Coluzzi 1995) que es la especie más peligrosa. De tal manera que sería *Plasmodium vivax* la especie con mayor riesgo de asentarse en España. Este parásito necesita temperaturas ambientales por encima de 25 °C para multiplicarse dentro del vector y tarda entre 10 y 12 días en que los esporozoitos se localicen en las glándulas salivares. Durante este periodo las hembras tienen que realizar entre 4 y 6 tomas de sangre (López-Vélez y Molina 2005). Estas condiciones mínimas son difíciles de alcanzar en Asturias donde el vector, *Anopheles atroparvus*, parece estar muy localizado y es poco abundante. De todas modos sería deseable disponer de más información de estos vectores potenciales.

#### 8.4 REFERENCIAS

- Alvar, J. 1997. Las Leishmaniasis: de la biología al control. Consejería de Sanidad y Bienestar Social. Junta de Castilla León. Zamora: 151 pp.
- Ascoli, V., Facchinelli, L., Valerio, L., Azucchetto, A., Dal Maso, L., Coluzzi, M. 2006. Distribution of mosquito species in areas with high and low incidence of classic Kaposi's sarcoma and seroprevalence for HHV-8. *Medical and Veterinary Entomology*. 20: 198-208.
- Beltrame, A., Angheben, A., Bisoffi, Z., Monteiro, G., Marocco, S., Calleri, G., Lipani F., Gobbi, F., Canta F., Castelli, F., Gulletta M., Bigoni S., Del Punta, V., Lacovazzi, T., Romi R., Nicoletti L., Ciufolini M.G., Rorato G., Negro C., Viale, P. (2007). Imported Chikungunya Infection, Italy. *Emerging Infectious Diseases*, 13 (8): 1264-1266.
- Black IV, W.C. Moore, Ch. 1996. Population biology as a tool for studying vector-borne diseases. In: *The Biology of Disease Vector*. University Press of Colorado, USA. 393-416.
- Eritja, R., Escosa, R., Lucientes, J., Marqués, E., Molina, R., Roiz, D., Ruiz, S. 2005. Worldwide invasion of vector mosquitoes: present European distribution and challenges for Spain. *Biological Invasions*, 7: 87-97.
- Garret-Jones, C., Shidrawi, D.G. 1970. Problems of epidemiological entomology as applies to malariology. *Miscellaneous Publications Entomological Society of America*, 7: 168-180.
- López-Vélez, R., Molina, R. 2005. Cambio climático en España y riesgo de enfermedades infecciosas y parasitarias transmitidas por artrópodos y roedores. *Revista Española de Salud Pública*, 79: 177-190.

Lucientes, J., García-Pérez, A.L., Zárata, J.J., Arbea, J.I., Gómez, P., Latorre, E. 2002. Primeras citas para el País Vasco (Euskal-Herria) de insectos de la Familia Psychodidae, Subfamilia Phlebotominae (Diptera). Boletín de la Sociedad Entomológica Aragonesa, 31: 182.

Puig, M.A, González, G., Soriano, O. 1984. Introducción al estudio de las comunidades macrobénticas de los ríos asturianos: Efeméroteros, Plecópteros, Tricópteros, Simúlidos y Quironómidos. Limnética, 1: 187-196.

Ramsdale, C.D., Coluzzi, M. 1975. Studies on the infectivity of tropical African strains of *Plasmodium falciparum* to some southern European vectors of malaria. Parassitología, 17: 39-48.

Roiz, D., Eritja, R., Melero-Alcibar, R., Molina, R., Marqués, E., Ruiz, S., Escosa, R., Aranda, C., Lucientes, J. 2007. Distribución de *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Skuse, 1894) (Diptera, Culicidae) en España. Boletín Sociedad Entomológica Aragonesa 40: 523-526.

Roiz, D., Eritja, R., Molina, R., Melero-Alcibar, R., Lucientes, J. 2008. Initial distribution assessment of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in the Barcelona area (Spain). Journal of Medical Entomology, 45 (3): 347-352.

Roiz, D., Eritja, R., Lucientes, J., Marqués, E., Melero-Alcibar, R., Ruiz, S., Molina, R. 2007. A survey of mosquitoes breeding in used tires in Spain for the detection of imported potential vector species. Journal of Vector Ecology, 32 (1):10- 15.

Romeo, J.M. 1950. Los anophelinos de España y de la zona española del Protectorado de Marruecos. Su relación con la difusión del paludismo. Revista de Sanidad e Higiene Pública, 24: 213-295.

Sobrino, R., Ferroglio, E., Oleaga, A., Romano, A., Millán, J., Revilla, M., Arnal, M.C., Trisciuglio, A., Gortazar, C. 2008. Characterization of widespread canine Leishmaniasis among wild carnivores from Spain. Veterinary Parasitology, 155: 198-203.

## 8.5 ANEXO

### CAPACIDAD VECTORIAL

La Capacidad Vectorial fue inicialmente desarrollada como una herramienta de valor predictivo para explicar la transmisión de malaria. Garret-Jones y Shidrawi (1970) definieron la capacidad vectorial como el número de inoculaciones promedio con un parásito específico, originadas de un caso de malaria por unidad de tiempo, que una población de vectores distribuiría al hombre si todas las hembras estuvieran infectadas. La fórmula que desarrollaron ha sido modificada en repetidas ocasiones para mejorar los resultados en función de nuevos conocimientos. La fórmula actualmente más reconocida es la denominada "Ecuación de Macdonald's" (Black IV y Moore 1996) que consiste en una serie de parámetros más o menos cuantificables.

$$V = [ma] \times [p] \times [a/-\ln(p)] \times [b]$$

Donde

V = capacidad vectorial

$m$  = densidad vectorial en relación al vector

$a$  = probabilidad de que un vector se alimente sobre un hospedador en un día

$b$  = competencia vectorial. Proporción de vectores que habiendo ingerido una toma infectiva se convierte en infectivo.

$p$  = probabilidad de la hembra de mosquito de sobrevivir un día

$p^n$  = probabilidad de la hembra de mosquito de sobrevivir por  $n$  días

$n$  = duración del periodo extrínseco de incubación en días,

$1/(-\log_e p) \times a$  = probabilidad de vida infectiva de la hembra de mosquito o la proporción de las poblaciones con probabilidad de sobrevivir más allá del periodo extrínseco de incubación y picar “ $a$ ” número de veces por día.







# RIESGOS NATURALES

**Rosana Menéndez Duarte.** INDURROT, Universidad de Oviedo.

**Estanislao de Luis Calabuig.** Departamento de Biodiversidad y Gestión Ambiental, Área de Ecología, Universidad de León.

**M<sup>a</sup> Teresa Piserra de Castro.** MAPFRE RE.

**Luis Laín Huerta.** Instituto Geológico y Minero de España.

Colaboradores:

**José Manuel Álvarez,** Universidad de León.

**Alfonso Nájera,** Consorcio de Compensación de Seguros.

**Belén Soriano,** Consorcio de Compensación de Seguros.

**M<sup>a</sup> Ángeles Horrillo,** Consorcio de Compensación de Seguros.

Reaseguradora Munich Re.

**Juan Satrústegui,** MAPFRE RE.

**Juan Francisco Ortega,** MAPFRE.

## 9.1 INTRODUCCIÓN

Cabe esperar que las previsiones de cambio climático incrementen la incidencia de algunos riesgos geológicos, además de los riesgos climáticos. A escala global, en los últimos informes presentados por el IPCC (IPCC 2007a) se hace referencia explícita a algunos de estos cambios:

- ‘Los fenómenos de fuertes precipitaciones, que muy probablemente aumentarán en frecuencia, incrementarán el riesgo de inundación.’

- En Europa ‘los impactos negativos incluirán aumento del riesgo de inundaciones repentinas en el interior, inundaciones costeras más frecuentes y aumento de la erosión (debido a tempestades y al aumento del nivel del mar)’.

- ‘En Europa meridional, se prevé que el cambio climático empeore las condiciones (temperaturas altas y sequía)... Se esperan, además, más riesgos para la salud humana debido a las olas de calor y frecuencia de incendios descontrolados.’

En la región asturiana, los riesgos naturales más importantes se derivan de diferentes procesos de inestabilidad de laderas, inundaciones fluviales y torrenciales, avalanchas de nieve, inundaciones y erosión costera e incendios forestales (Marquínez et al. 2003).

En los escenarios de cambio climático propuestos para Asturias que se manejan en este informe, las variables que más interés tienen para estos procesos generadores de riesgo apuntan a:

- Incremento de las temperaturas medias, especialmente de las máximas diurnas y nocturnas. Estos incrementos serán especialmente fuertes en los meses de verano. También se espera que aumenten las ‘olas de calor’ en los meses estivales.

- Los datos y escenarios disponibles para las precipitaciones presentan una incertidumbre grande. Se predice una tendencia a la disminución de las precipitaciones en todos los meses excepto los invernales, y los eventos de lluvias extremas también serán menos frecuentes en primavera, verano y otoño, si bien pueden aumentar en invierno.

- Disminución de la humedad relativa y de la nubosidad en todos los meses del año excepto los invernales, y especialmente marcada en verano.

La baja frecuencia temporal de los procesos geológicos, incluso los externos como inundaciones, inestabilidades de ladera o recurrencia de aludes, hace que no sea posible con los registros recientes establecer evi-

dencias de cambios en las últimas décadas, si bien, para todos los procesos geológicos externos citados, el agente o agentes desencadenantes más frecuente se relaciona con las precipitaciones y temperaturas. En el caso de los incendios, el factor desencadenante puede ser climático o no, pero, en cualquier caso, el clima influye en la probabilidad de que se propague un incendio de alta intensidad. El sector asegurador a través de la cuantificación del impacto de los riesgos naturales en sus carteras, proporciona un punto de vista más en el análisis de tendencias, aunque debe de interpretarse como un resultado parcial, no suficiente para ratificar tendencias.

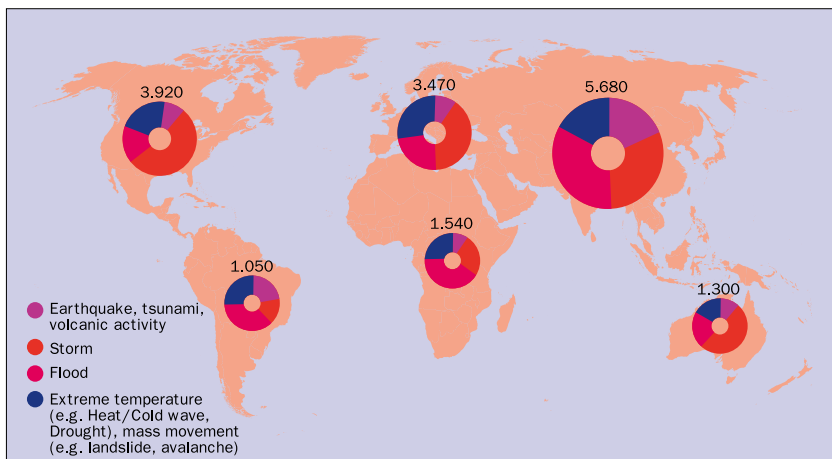
De acuerdo con esto, en el presente capítulo se hará un resumen de los estudios generales de riesgo en Asturias y un análisis de los factores desencadenantes relacionables con el clima, para así proponer las tendencias es-

perables en función de los cambios climáticos previstos.

## 9.2 EVOLUCIÓN DE VALORES ASEGURADOS POR RIESGOS NATURALES DE ORIGEN CLIMÁTICO

Para algunos de los riesgos estudiados existen registros históricos (datos de hemeroteca, registros de la administración, encuestas) de las últimas décadas que serán expuestos en cada uno de los apartados correspondientes. Además, se han recopilado datos elaborados por varias compañías aseguradoras y reaseguradoras que muestran la evolución de daños (número de eventos y cuantías pagadas) para varios riesgos de origen climático y que se exponen en este apartado.

La reaseguradora alemana *Munich Re* mantiene una base de datos de "Grandes Ca-



**Figura 1.** Catástrofes Naturales en el mundo 1980-2007. Número de eventos por continente a mayo de 2008. © 2008 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. Grupo de Investigación GeoRiesgos, NatCatSERVICE.

tástrofes Naturales” en todo el mundo (comunicación personal) (definición de Grandes Catástrofes Naturales basada en criterios de las Naciones Unidas y que implican que la capacidad de autoayuda en las regiones afectadas se ve desbordada). Los daños globales estimados por continentes para el período de 1980 a 2007 (Figura 1) muestran que en Europa se concentran un número intermedio (3470) de Catástrofes Naturales. Es muy probable que el elevado grado de desarrollo y en consecuencia, los impactos en las economías y el sector asegurador, unidos a un entorno adecuado de transferencia de información de sucesos, hayan contribuido a engrosar la estadística para Europa tal y como está definida.

Para el periodo 1950 - 2007, los datos de esta misma reaseguradora muestran una tendencia al aumento en el número de Grandes Catástrofes (Figura 2), así como la cuantía de

los daños globales asegurados (Figura 3) (en estos datos se incluyen también los daños por terremotos aunque obviamente no tienen un origen climático).

La serie de Catástrofes Naturales disponible en Munich Re para España (Figura 4) abarca desde 1980 a 2007 y presenta también tendencia al alza (para España los terremotos tienen una menor influencia que para el conjunto del mundo).

Si se desglosan las estadísticas para España (Figura 5), se observa que toman especial relevancia los eventos relacionados con las temperaturas extremas en cuanto a pérdidas económicas se refiere (Ola de calor de 2003 con pérdidas globales en España de 880 millones de EUR según Munich Re), y las inundaciones respecto a pérdidas aseguradas.

En España, las estadísticas de siniestros asegurados por causas climáticas y meteorológicas

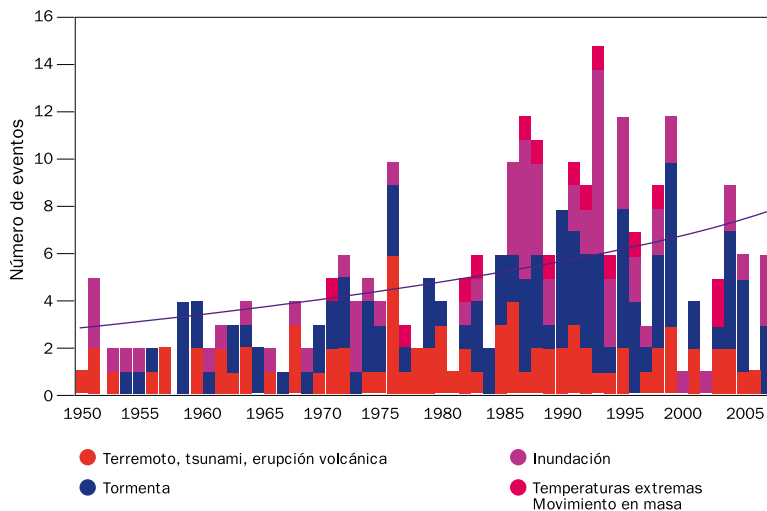


Figura 2. Grandes Catástrofes Naturales en el mundo 1950-2007. Número de eventos a noviembre de 2008. © 2008 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. Grupo de Investigación GeoRiesgos, Nat-CatSERVICE.

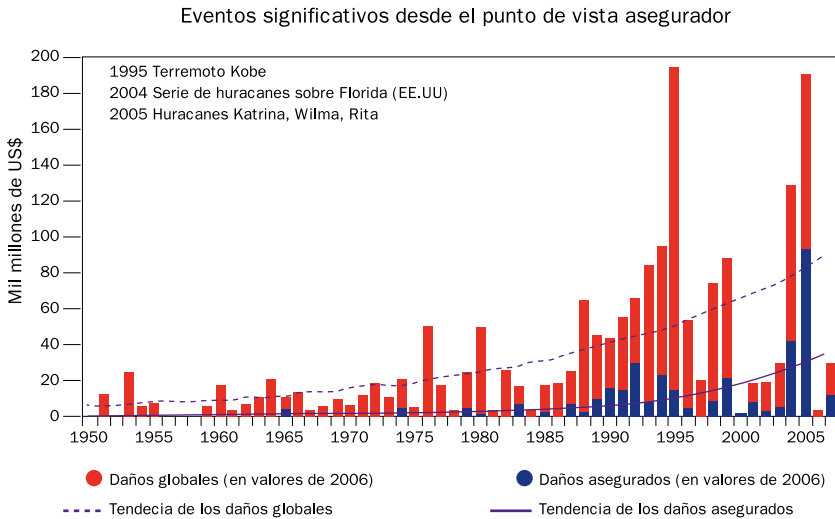


Figura 3. Grandes Catástrofes Naturales en el mundo 1950-2007. Daños globales y asegurados a noviembre de 2008. © 2008 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. Grupo de Investigación GeoRiesgos, Nat-CatSERVICE.

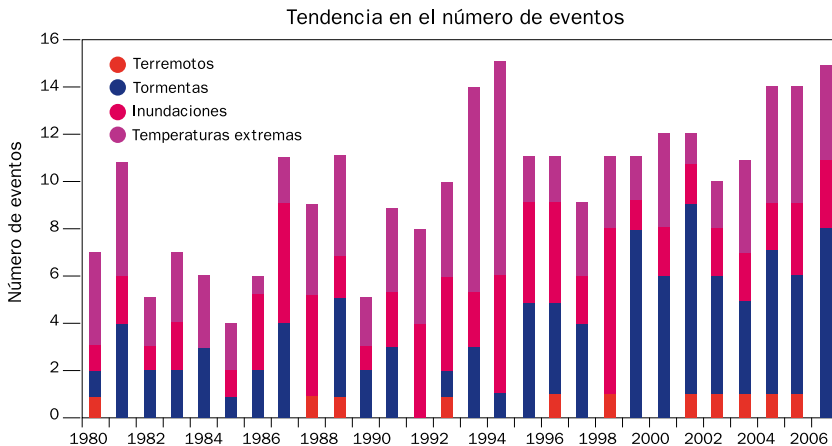


Figura 4. Catástrofes Naturales en España 1980-2007. Número de eventos a junio de 2008. © 2008 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. Grupo de Investigación GeoRiesgos, NatCatSERVICE.

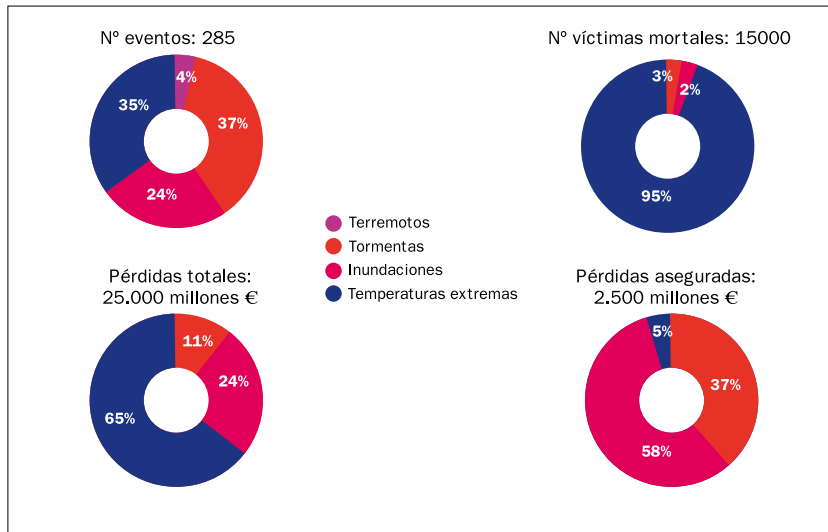


Figura 5. Catástrofes Naturales en España 1980-2007. Datos a enero de 2008 (valores 2007). © 2008 Münchener Rückversicherungs-Gesellschaft. Grupo de Investigación GeoRiesgos, Nat-CatSERVICE.

lógicas agrupan la intervención del Consorcio de Compensación de Seguros (CCS) y del mercado privado de seguros.

La serie estadística 1980-2007 de la figura 6, que refleja la siniestralidad en Asturias por causas climáticas en bienes asegurados, según datos del CCS, no presenta una tendencia generalizada clara y totaliza unos 19 millones de euros de indemnizaciones y 3739 expedientes (reclamaciones con derecho a indemnización). Comparando los datos con el resto de Comunidades Autónomas, el Principado es una de las que se enmarcan en el rango de siniestralidad baja total y anual por eventos consorciados o con derecho a indemnización del CCS (en general, relacionados con inundaciones). De los datos del CCS para una serie más amplia, 1971-2007, se desprende que para eventos climáticos indemnizables, los

promedios por provincia son de 95,5 millones de euros, mientras que para Asturias son de tan sólo 28 millones de euros.

Otra serie de datos de siniestralidad en seguros de daños en Asturias es la mostrada en la Figura 7; en ella, la siniestralidad de la aseguradora MAPFRE para siniestros por tormentas en riesgos habitacionales no presenta una tendencia a incrementarse, estando marcada por la ocurrencia de eventos catastróficos de viento con impacto en gran parte de la península y de especial intensidad en la Cornisa Cantábrica por su exposición directa a los vientos del N y NW.

### 9.3 INUNDACIONES

A escala nacional los estudios del IGME (1987 y 2004) recogen las inundaciones flu-

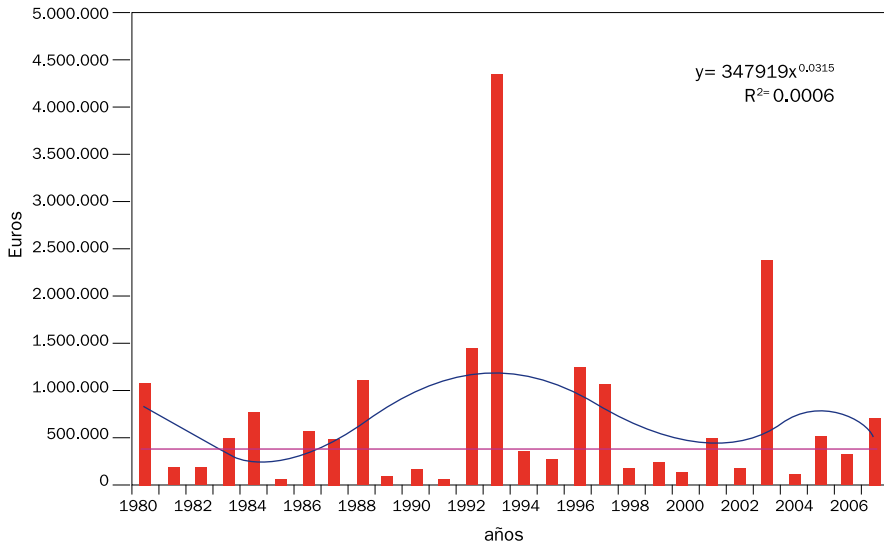


Figura 6. Consorcio de Compensación de Seguros. Cuantías pagadas actualizadas para Asturias. Causas climáticas. Serie 1980-2007.

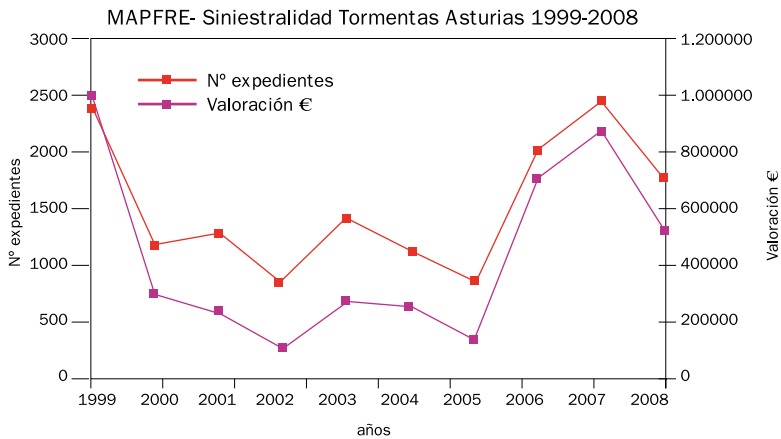


Figura 7. Número de expedientes y siniestralidad por tormentas en cartera de riesgos del hogar, comunidades y comercios en Asturias 1999-2008 (octubre). Fuente: MAPFRE (Área de Siniestros de MAPFRE Familiar).



viales como el proceso geológico ligado a la geodinámica externa con mayor capacidad destructiva y repercusiones económicas. En IGME (2004) se estima que para el periodo 2004 - 2033 la pérdida económica asociada a las inundaciones será de 25722 millones de euros (con estimación económica del año 2002) y en el caso de Asturias se estiman 76,3 millones de euros.

Para la región asturiana, la recopilación de inundaciones históricas arroja un gran número de registros (Marquínez et al. 2003). En la Figura 8 se proporciona una recopilación de registros de inundaciones para Asturias en el periodo 1980-2001.

Como ya se ha comentado, no es posible dar una tendencia de cambio en la frecuencia de inundaciones a partir de observaciones para las últimas décadas, y únicamente se pueden proponer tendencias esperables según las previsiones climáticas. Obviamente,

en el caso de las inundaciones, el agente desencadenante principal es climático y meteorológico, y la severidad de las inundaciones y procesos torrenciales se relaciona especialmente con la presencia de eventos extremos de precipitación.

Los datos proporcionados por el CCS, distribuidos geográficamente por códigos postales para el riesgo de inundación (Figura 9), son coherentes con la distribución mayoritaria de la población en Asturias y la localización de las mayores llanuras aluviales en los tramos medios y bajos de los ríos mayores, de este a oeste: Sella, Nalón, Narcea y afluentes del Navia y Eo.

A escala global y con carácter general, si el cambio climático conlleva 'Incremento de la frecuencia (o proporción total de pluviosidad de intensas lluvias) en la mayoría de las áreas' (Muy probable)' (IPCC 2007b), cabe esperar una mayor frecuencia de inundaciones extre-

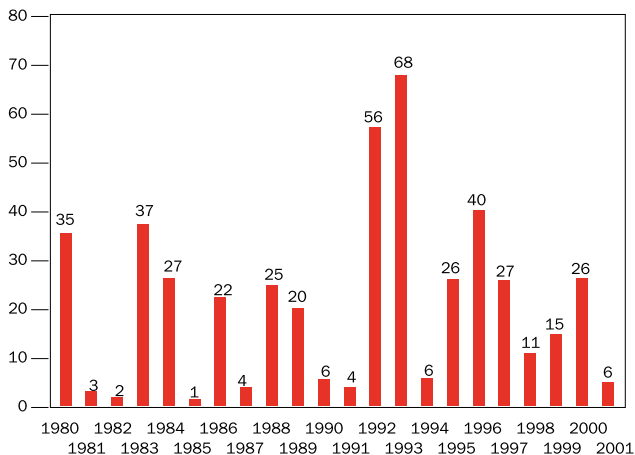


Figura 8. Número de registros de inundaciones por año para el periodo 1980-2001, para Asturias. Datos recopilados a partir de registros del MOPU, hemeroteca y otras fuentes (Marquínez et al. 2003).

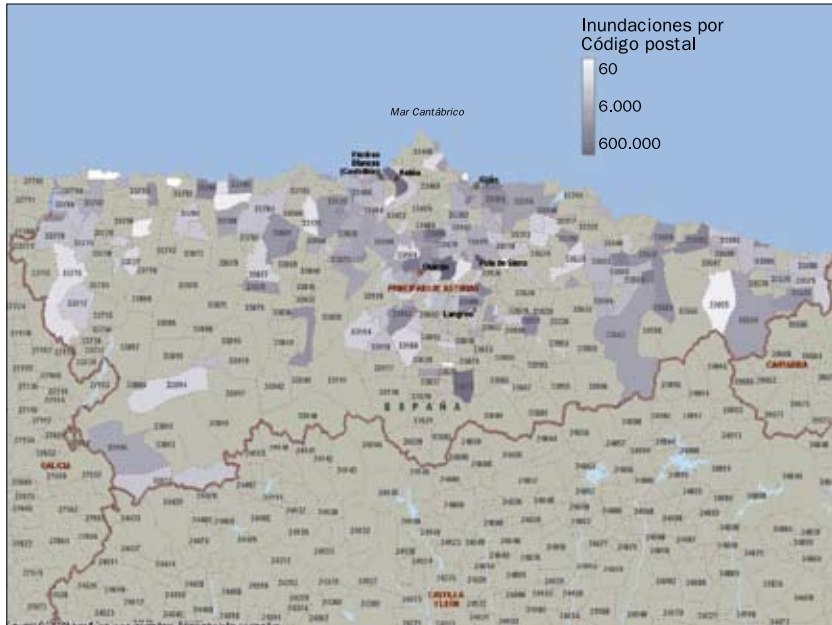


Figura 9. Indemnizaciones por Inundaciones (Elaborado a partir de datos del Consorcio de Compensación de Seguros), total: 6.088,359 € (Cantidades sin actualizar). Período 1995-2008.

mas y actividad torrencial. En los últimos años se han publicado diversos estudios hidrológicos teniendo en cuenta escenarios previstos de cambio climático, aunque en ningún trabajo se da una tendencia clara y definitiva de la respuesta de los sistemas fluviales y torrenciales. En varios casos, para cuencas europeas o norteamericanas, se prevé un incremento de las inundaciones de gran intensidad (Knox 2000, Dankers et al. 2007, Semadeni-Davies et al. 2008), si bien en otros trabajos los modelos hidrológicos prevén incremento de inundaciones en unas cuencas y disminución en otras (Loukas et al. 2002, Kay et al. 2006).

En el trabajo de Benito (2006) se analizan tendencias históricas y perspectivas de las

inundaciones para toda la Península Ibérica; el análisis de tendencias históricas para los ríos atlánticos pone de manifiesto una disminución de la frecuencia de crecidas ordinarias, aunque ha aumentado la magnitud de las crecidas catastróficas.

En los escenarios climáticos propuestos para Asturias las tendencias de cambio en las precipitaciones son muy poco claras, de todos modos, la tendencia es diferente a la descrita a escala global: si se registran menos eventos de precipitación extrema en primavera, verano y otoño cabe esperar que la frecuencia de inundaciones sea menor, especialmente de las inundaciones de mayor magnitud, mientras que en invierno estas inundaciones aumenta-

rán. En cuanto a las inundaciones de menor entidad pueden presentar un ligero descenso pero, como ya se ha comentado, la incertidumbre de las tendencias es muy elevada.

#### 9.4 INESTABILIDADES DE LADERA

El relieve de la región asturiana hace que la incidencia de diferentes procesos de inestabilidad de laderas sea importante en toda la región. Con el término de inestabilidades de ladera se hace referencia a un variado conjunto de procesos que incluyen pequeños deslizamientos y flujos superficiales, caídas y avalanchas de rocas o grandes y profundos movimientos en masa. De ellos los más frecuentes y generalizados en el Principado de Asturias son las inestabilidades superficiales.

En el estudio sobre riesgos naturales en Asturias ya citado (Marquín et al. 2003) se describe la incidencia de diferentes tipos de inestabilidades superficiales en la región y se construyen varios modelos predictivos de susceptibilidad. Los procesos más frecuentes son

inestabilidades superficiales correspondientes a pequeños deslizamientos y flujos, que localmente se conocen como argayos. En la Figura 10 se da un modelo de susceptibilidad para estos procesos.

El inventario de inestabilidades de ladera presentado en el trabajo de Domínguez Cuesta et al. (1999) (Figura 11) no permite establecer una frecuencia de variación temporal de estos eventos en Asturias para el periodo recopilado. Para la región asturiana, el estudio de Domínguez Cuesta et al. (1999), no permite definir ninguna tendencia temporal de variación de número de inestabilidades de ladera (Figura 11); pero si pone de manifiesto que el agente desencadenante principal de este tipo de inestabilidades son las precipitaciones, especialmente las de alta intensidad (Figura 11 y 12).

De acuerdo con el comportamiento descrito, si el cambio climático conlleva 'Incremento de la frecuencia de fenómenos de intensas lluvias (o proporción total de pluviosidad de intensas lluvias) en la mayoría de las áreas' (Muy probable)' (IPCC 2007b), cabe esperar

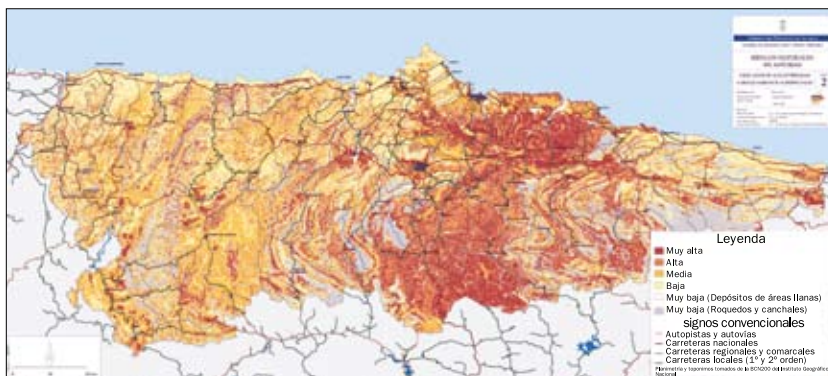


Figura 10. Modelo de susceptibilidad por inestabilidades superficiales para Asturias. (Tomado de Marquín et al. 2003).

una mayor frecuencia de procesos de inestabilidad de ladera, al menos en términos generales. La gran variedad posible de procesos de inestabilidad de ladera dificulta hacer un pronóstico general, pero se puede esperar que una mayor frecuencia de las precipitaciones intensas favorecerá el desarrollo de inestabi-

lidades superficiales, corrientes de derrubios y desprendimientos rocosos (Corominas 2006).

Con referencia explícita al cambio climático se desarrolló en Europa el proyecto TESLEC (The TEMPoral Stability and activity of Landslides in Europe with respect to Climatic Change 1992-1996). Los estudios realizados son muy

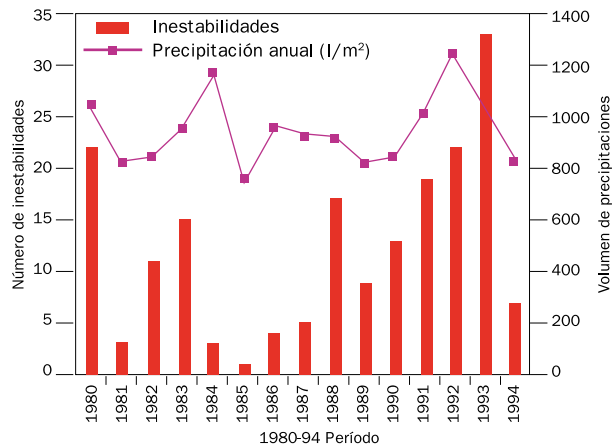


Figura 11. Total de precipitación anual ( $l/m^2$ ) y número de inestabilidades de ladera por año para el período 1980-1994. Tomado de Dominguez Cuesta et al. 1999.

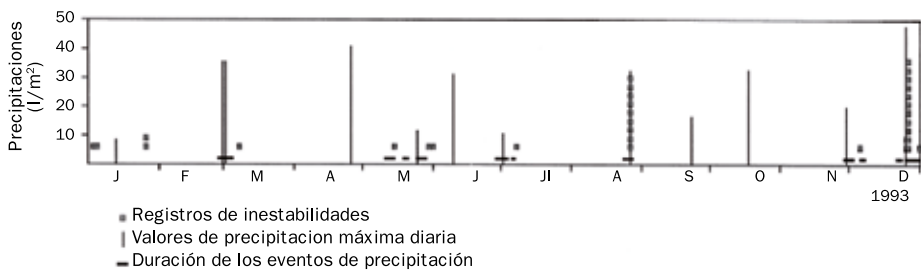


Figura 12. Relaciones entre precipitaciones y registros de inestabilidad de laderas para Asturias en el año 1993 (registros de inestabilidad procedentes de hemeroteca). Tomado de Dominguez Cuesta et al. 1999.

variados y ponen de manifiesto que ‘... en el momento actual, la complejidad de las relaciones entre clima y deslizamientos no hacen posible establecer ‘leyes universales’ para toda Europa’ (Dikau y Schrott 1999). Del mismo modo, trabajos más recientes que intentan modelizar la incidencia de inestabilidades de ladera teniendo en cuenta diferentes escenarios climáticos concluyen que no parece posible dar aún modelos fiables de predicción (Schmidta y Dikau 2004).

Para la región asturiana, como sucede con las inundaciones fluviales y torrenciales, las previsiones aplicables se relacionan con las precipitaciones, especialmente con los eventos de precipitación extrema. La menor frecuencia de periodos de precipitación extrema en primavera, verano y otoño, puede dar lugar a una disminución de la ocurrencia de inestabilidades, y la mayor frecuencia en invierno puede incrementar estos procesos de ladera.

## 9.5 ALUDES

Los aludes son fenómenos recurrentes que se producen en variadas situaciones nivometeorológicas. En el caso de la región asturiana, los aludes más frecuentes se desencadenan por encima de los 1400 m de cota, aunque localmente pueden tener un alcance hasta los 900 m (Figura 13).

Aunque restringidos espacialmente, los aludes han producido pérdidas humanas en la región asturiana (Figura 14) y todos los años causan frecuentes deterioros en vías de comunicación y otras infraestructuras.

Para una situación geográfica dada, los factores que controlan la mayor o menor frecuencia de aludes son climáticos: precipitaciones en forma de nieve, temperatura y transporte de nieve por viento. Uno de los primeros estudios que analiza la posible incidencia del cambio climático en los aludes a escala glo-

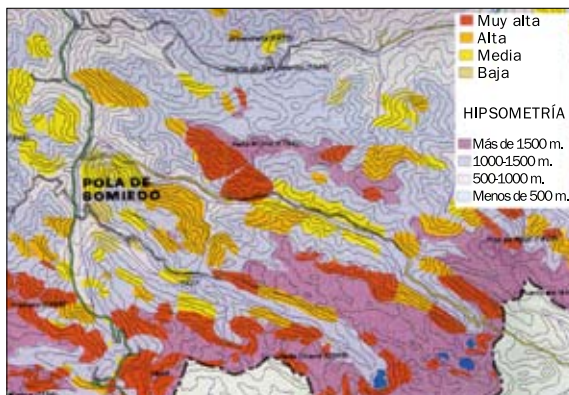
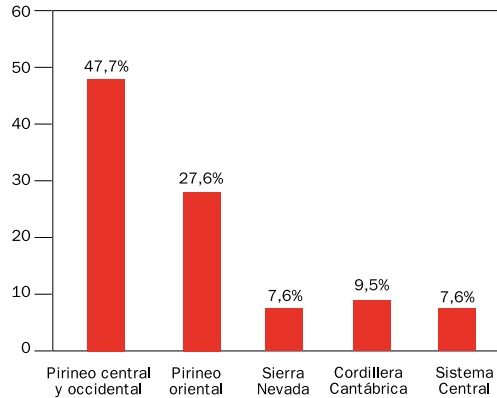


Figura 13. Fragmento del mapa de susceptibilidad de aludes de Asturias. (Tomado de Marquínez *et al.*, 2003).



**Figura 14.** Distribución por cordilleras de los accidentes mortales relacionados con avalanchas de nieve (% en cada cordillera). Datos de 1977 a 1999. El número total de víctimas mortales es de 105. (Tomado de Marquínez et al. 2003).

bal, pero centrado en el hemisferio norte, es el de Glazovskai (1998), aunque no da información aplicable a escala de cordillera o región. Algunos estudios locales se han realizado en los Alpes suizos a partir del análisis de series climáticas (Georg 1998). De estos estudios se desprende que la presencia de manto nival está disminuyendo para cotas bajas pero no para cotas de 1500 m o mayores. Utilizando datos de 50 años, en este mismo trabajo no se registra ninguna tendencia de disminución o incremento en la frecuencia de aludes.

A escala global, de acuerdo con Furdada (2006) se espera un ascenso de la isoterma de 0°C y por tanto una reducción de la extensión de las zonas con manto nival. Respecto a las precipitaciones, si se producen más tormentas extremas se incrementaría el riesgo de aludes extremos.

Para la región asturiana, si se produce un incremento apreciable de la temperatura en los meses invernales (escenarios de emisiones medias y altas) cabe esperar una menor

extensión del manto nival y de los aludes. En cuanto a las precipitaciones, se prevé un incremento de los eventos extremos de precipitación en invierno; si estas precipitaciones son en forma de nieve, podría esperarse una mayor incidencia de aludes asociados a las tormentas de invierno.

## 9.6 INCENDIOS FORESTALES

La Comunidad Autónoma del Principado de Asturias tiene muy buenas referencias sobre la problemática de los incendios forestales en su territorio, que pueden ser la base de estudio para definir la proyección futura por efecto del cambio climático. En Marquínez et al. (2003), se hace un análisis pormenorizado de los incendios forestales como uno de los riesgos naturales en Asturias. En él se presenta un mapa de riesgo de incendios de alta resolución, expresado en cuatro clases (Figura 15). Se basa en el análisis de un índice estructural de carácter estático, obtenido a partir de

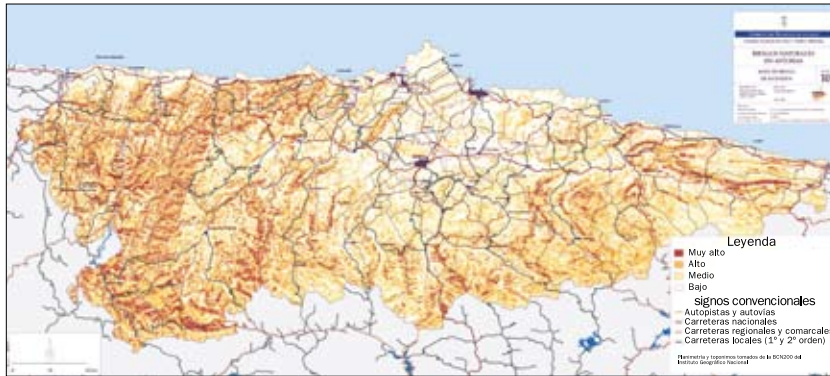


Figura 15. Riesgo de incendios en Asturias. (Tomado de Marquínez *et al.* 2003).

información ambiental en formato digital. Con la incorporación de una escala de proyección temporal puede convertirse en un índice dinámico. Se utilizan para su determinación dos factores básicos: peligrosidad y valoración del territorio. El primero obtenido a partir de índices de vegetación, insolación y pendiente, y el segundo es función de la vulnerabilidad al riesgo de incendios.

Los resultados obtenidos en ese estudio, y que representarían la situación actual del riesgo de incendios en Asturias, se resumen en la Tabla I donde se expresan los valores sintéticos por clases de riesgo para las distintas áreas de la región.

Más del 50% del sector occidental presenta valores de riesgo alto o superior, coincidiendo en su localización con las laderas de solana, ocupadas con vegetación de matorral sobre sustratos silíceos.

Los sectores central y oriental presentan menos áreas de alto riesgo y, en general, son muy similares entre sí. En las zonas de montaña predominan los valores de riesgo medio, alternando los valores altos y muy altos para determinadas situaciones topográficas, geológicas y de vegetación. Para todo el sector centro-norte, de mayor vocación agrícola, los valores de riesgo son menores, al igual que sucede en las áreas planas de la rasa litoral.

Tabla I. Clases de riesgo de incendios y su distribución en Asturias.

Clase de riesgo por incendios forestales	Porcentaje de superficie afectada			Superficie total en Asturias (Km <sup>2</sup> )
	Sector occidental	Sector central	Sector oriental	
Bajo	15,27	32,73	23,75	2518
Medio	19,57	26,17	31,82	3378
Alto	27,21	25,03	24,97	2648
Muy alto	37,95	16,07	19,42	2059

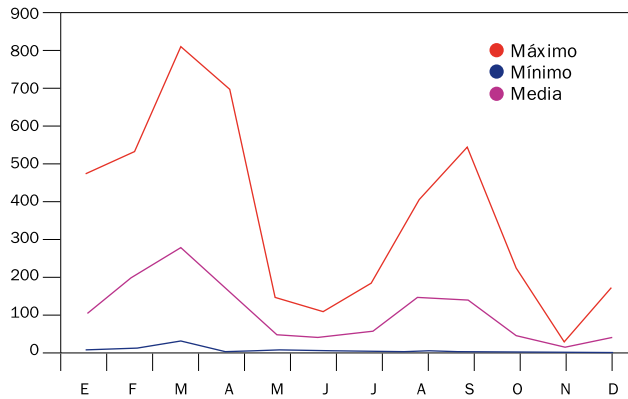


Figura 16. Número de incendios por meses para el período 1988-2004.

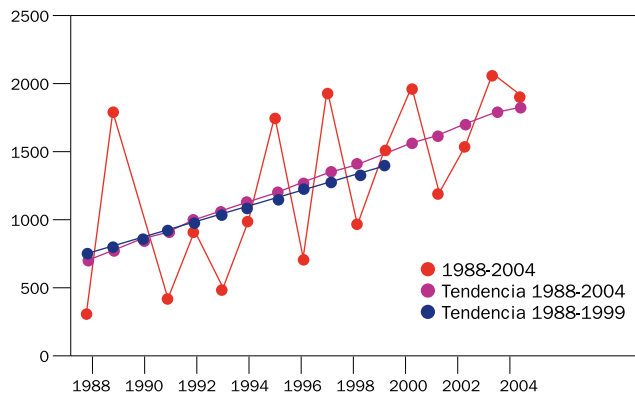


Figura 17. Número de incendios al año en Asturias (1988-2004).

En un estudio posterior (Álvarez García et al. 2007) se hace un análisis más pormenorizado y detallado de la problemática del impacto de los incendios forestales en Asturias durante los últimos 30 años. Resalta que en la distribución media de los incendios por meses, para el periodo estudiado (1988-2004), casi el 58% tienen lugar entre enero y abril, principalmente en febrero y marzo (Figura 16), con un

máximo secundario entre junio y septiembre, fundamentalmente en los dos últimos meses de este periodo vernal, sin embargo hay grandes diferencias entre los distintos años. Por otra parte, en la tendencia de la evolución del número de incendios para ese mismo periodo (Figura 17), se aprecia un crecimiento con una variación de casi 72 incendios por año, lo que supone un incremento del 21%; si bien en los



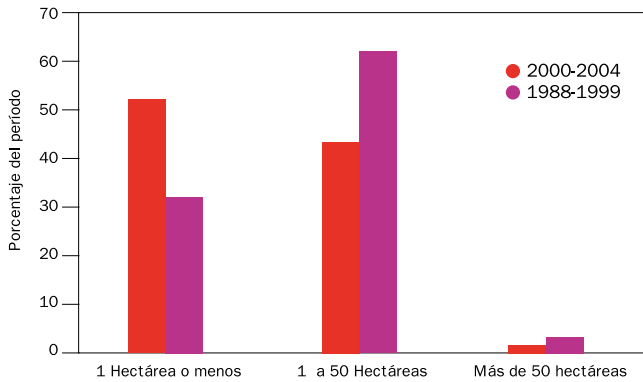


Figura 18. Distribución de incendios según superficie afectada.

últimos años ha disminuido el número de incendios de grandes dimensiones (Figura 18).

El mapa de la incidencia de incendios forestales (Figura 19) durante el periodo 1984-2003 pone de manifiesto la enorme importancia de la presencia y recurrencia de este fenómeno, fundamentalmente en los municipios de las zonas centro y sur del sector occidental asturiano.

En el cálculo de un índice de peligro meteorológico, como el FWI (Fire Weather Index) canadiense (van Wagner 1987), se obtienen para Asturias valores relativamente bajos, como consecuencia del tipo de clima fresco y húmedo. Sin embargo, la manifestación real de los mismos presenta situaciones contrarias (Moreno 2005), por la única razón de la influencia e interferencia humana (Moreno

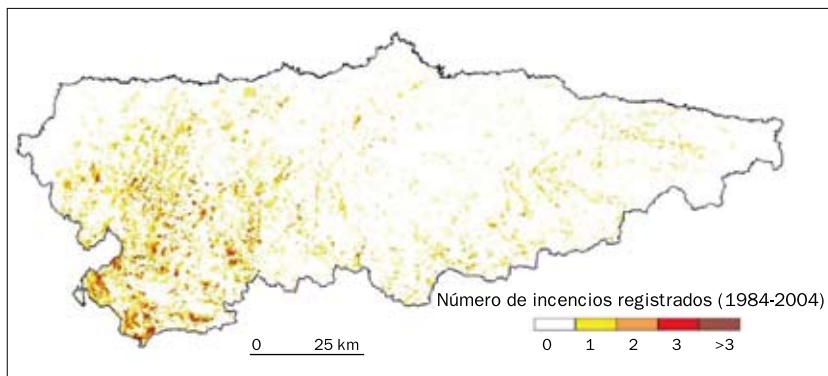
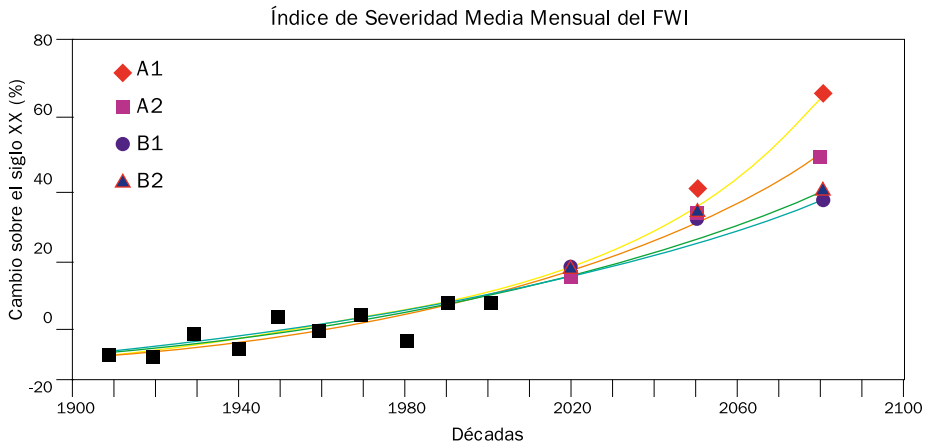


Figura 19. Incendios forestales registrados entre los años 1984 y 2004 en Asturias realizado a partir de imágenes Landsat TM. En él se diferencian las áreas que han quemado 1, 2, 3 ó más de tres veces. (Tomado de Álvarez García *et al.* 2007).



**Figura 20.** Variación del índice medio mensual de peligro de incendios (FWI) para España peninsular, con proyecciones para cuatro escenarios de emisiones. Fuente: Moreno (2005).

2007). Pero sin duda alguna, los factores de origen climático influyen directamente en el riesgo de los incendios forestales, por lo que el análisis de su evolución conjunta en forma de algún índice de riesgo climático de incendios puede aportar información sobre la tendencia como consecuencia del cambio climático. Esta tendencia, de forma global para la España peninsular, se incrementaría entre 35-70 % sobre la situación de referencia del siglo XX y en función del tipo de escenario de emisiones (Figuras 20 y 21).

Como pautas principales se aprecia un calentamiento medio progresivo a lo largo del siglo para todo el territorio de Asturias, tanto en promedio anual como estacional, y que el ritmo de dicho calentamiento va creciendo claramente a medida que transcurre el siglo. Igualmente, en todas las regiones se proyecta una tendencia progresiva a la disminución del promedio anual de precipitaciones, que será más acusada a partir de mitad de siglo

y aún mayor en los escenarios de emisiones altas. Esta variación climática favorecerá que los incendios forestales se propaguen con mayor rapidez y puedan alcanzar mayores áreas afectadas.

Aplicando los resultados de ese estudio sobre la información base de los valores obtenidos para el riesgo de incendios de Asturias, mediante el uso de una función correctora proporcional al efecto del clima, pueden obtenerse las tendencias esperables a lo largo de este siglo. El Factor de Corrección Climático (FCC) utilizado es el valor resultante de dividir el valor del Índice de Lang actual por el Índice de Lang para cada uno de los escenarios, y se aplica mediante una simple multiplicación por el Riesgo de Incendio actual.

En la figura 22 se muestran como ejemplo los resultados para un escenario B2 en la estación estival y para los tres periodos tridecennales del presente siglo, en comparación con

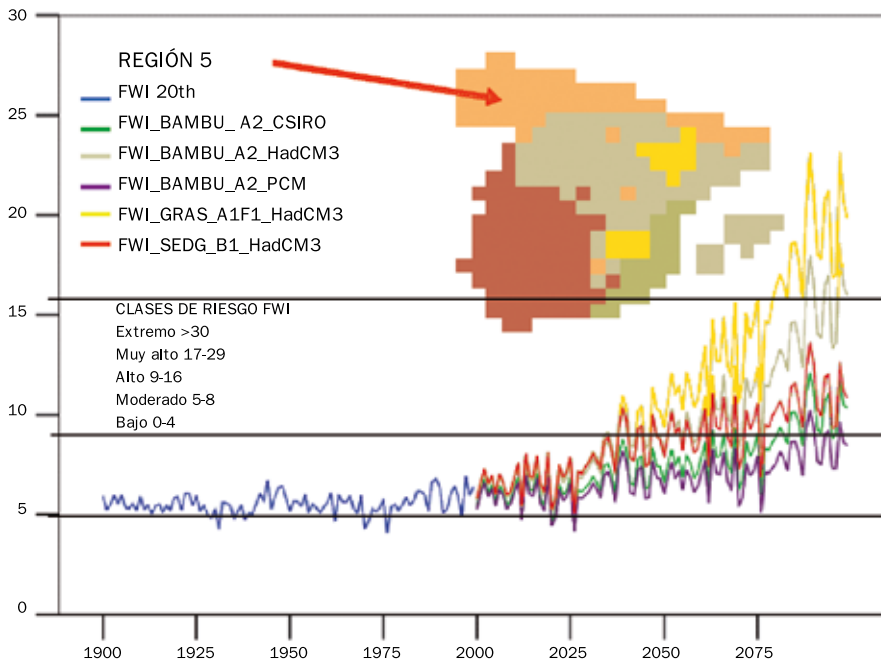


Figura 21. La variación del FWI regionalizada para el norte de la península Ibérica muestra la tendencia ascendente del riesgo climático de incendios, superando en la mayoría de los modelos al nivel de riesgo alto o muy alto para el final del siglo.

el riesgo de incendios de referencia del último tercio del siglo pasado.

### 9.7 INVESTIGACIONES FUTURAS

#### Mejoras de Bases de Datos:

- Recopilación de las bases de datos existentes en diferentes organismos de la administración nacional y autonómica (IGME, Consejerías de Infraestructuras, Seguridad Ciudadana, Servicios de Emergencia, Confederación Hidrográfica del Cantábrico, ...).

- Seguimiento de evolución de ratios de siniestralidad por eventos climáticos y meteorológicos

(siniestros / primas) y pérdidas (siniestros / capitales asegurados) para los seguros de los ramos de daños, autos, personas y producciones agrícolas y ganaderas, actualmente disponibles a través de varias compañías.

- Promover la continuidad y gestión de todas estas bases de datos, siendo un objetivo prioritario la homogeneidad de criterios entre los distintos actores del mercado.

#### Inversiones y políticas que minimicen riesgos:

- Mejorar la calidad y resolución de las cartografías de susceptibilidad – peligrosidad y riesgo para todo el territorio.

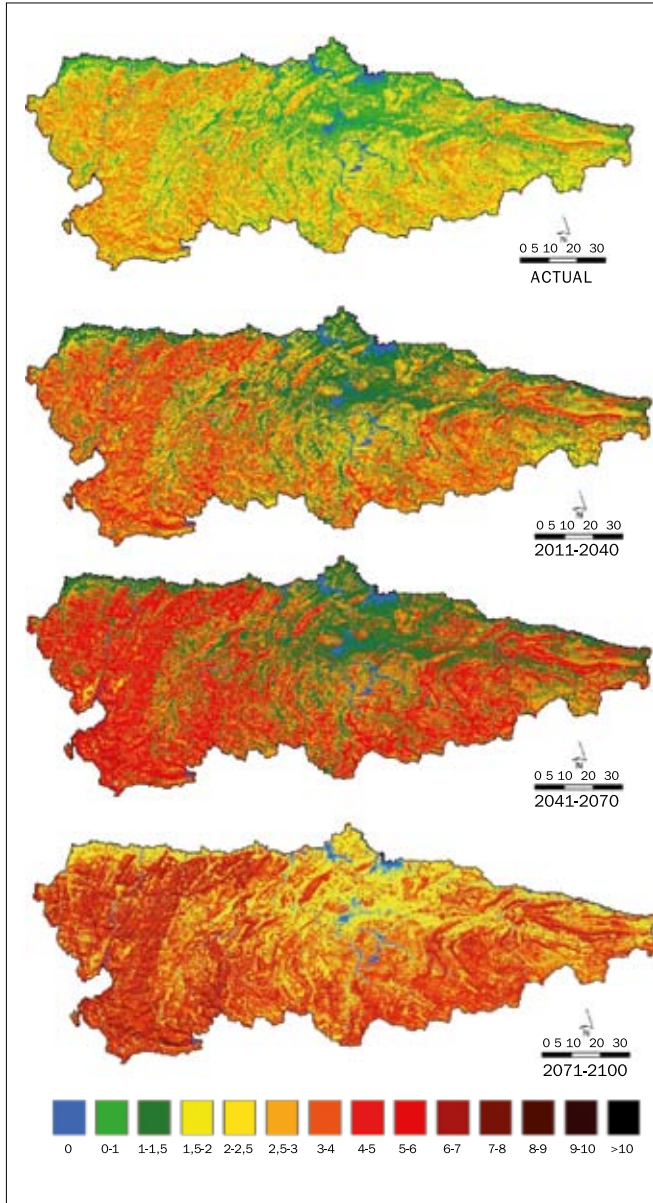


Figura 22. Índice de Riesgo de Incendios. Modelos predictivos del incremento de riesgo de incendios de Asturias. Escenario B2 para período de verano.

- Promover campañas de sensibilización e información ciudadana frente a los riesgos naturales y situaciones de emergencia (agravamiento del riesgo).

- Mejorar equipos y protocolos de asistencia frente a las situaciones de emergencia.

- Fomentar la consideración del riesgo natural en la zonificación de usos y ordenación territorial, principalmente a través de legislación ad hoc y exigencia de su cumplimiento.

**Fomentar líneas de investigación:**

- Promover el desarrollo de metodología para el seguimiento temporal de los Riesgos Naturales en Asturias para su interpretación en el contexto de Cambio Climático.

- Fomentar la colaboración entre organismos de investigación (Universidades, CSIC) y los agentes sociales que gestionan el Riesgo (Administraciones, Institutos Tecnológicos, Compañías Aseguradoras, Consorcio de Compensación de Seguros,...) para facilitar la Investigación Aplicada.

- Depuración de los métodos de peritación de siniestros asegurados y adaptación a nuevas situaciones de riesgo cambiante.

## 9.8 REFERENCIAS

Álvarez García, M.A., Marquínez, J., Recondo, C., Wozniak, E., Fernández Menéndez, S., Menéndez Duarte, R., Suárez Seoane, S., Colubl, A., González Rodríguez, G., Lobo del Corno, T., García Manteca, P., Lastra Fernández, J., Pérez Morandaira, C.S., Zapico Redondo, E. 2007. Impacto de los incendios forestales en Asturias. Análisis de los últimos 30 años. Principado de Asturias. INDURROT, Universidad de Oviedo. KRK Ediciones, Oviedo, 201pp.

Benito, G. 2006. Riesgo de inundaciones: Tendencias históricas y perspectivas de acuerdo con el Cambio Climático. Cuaternario y Geomorfología, 20 (3-4): 29-44.

Castro, M. 2008. Clima y cambio climático en el Principado de Asturias. Proyecto CLIMAS.

Corominas, J. 2006. El clima y sus consecuencias sobre la actividad de los movimientos de ladera en España. Cuaternario y Geomorfología, 20 (3-4): 89-113.

Dankers, R., Christensen, O.L., Feyen, L., Kalas, M., de Roo, A. 2007. Evaluation of very high-resolution climate model data for simulating flood hazards in the Upper Danube Basin. Journal of Hydrology, 347 (3-4): 319-331.

Dikau, R., Schrott, L. 1999. The temporal stability and activity of landslides in Europe with respect to climatic change TESLEC : main objectives and results. Geomorphology, 30: 1-12.

Domínguez Cuesta, M.J., Jiménez Sánchez, M., Rodríguez, A. 1999. Press archives as temporal records of landslides in the North of Spain: relationships between rainfall and instability slope events. Geomorphology, 30: 125-132.

Furdada, G. 2006. Aludes de nieve. Riesgo actual y riesgo futuro Cuaternario y Geomorfología, 20 (3-4): 73-88.

Georg, 1998. PNR 31: Le regard de Janus. Changements climatiques et catastrophes naturelles. Georg. 82 p.

Glazovskaya, T.G. 1998. Global distribution of snow avalanches and changing activity in the northern hemisphere. *Annals of Glaciology*, 26: 337-342.

[http://www.mma.es/secciones/cambio\\_climatico/areas\\_tematicas/impactos\\_cc/pdf/15\\_sector\\_del\\_seguro\\_2.pdf](http://www.mma.es/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pdf/15_sector_del_seguro_2.pdf)

IGME 1987. Impacto económico y social de los riesgos geológicos en España. Madrid.

IGME 2004. Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el período 1987 - 2001 y su estimación para los próximos 30 años (2004 - 2033). Madrid.

IPCC 2007a. Resumen para Responsables de Políticas. En: Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

IPCC 2007b. Summary for Policymakers. En: *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, Zenhen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Kay, A.L., Jones, R.G., Reynard, N.S. 2006. RCM rainfall for UK flood frequency estimation. II. Climate change results. *Journal of Hydrology*, 318 (1-4): 163-172.

Knox, J. 2000. Sensitivity of modern and Holocene floods to climate change. *Quaternary Science Reviews*, 19 (1-5): 439-457.

Loukas, A., Vasilíades, L., Dalezios, N.R. 2002. Potential climate change impacts on flood producing mechanisms in southern British Columbia, Canada using the CGCMA1 simulation results. *Journal of Hydrology*, 259 (1-4): 163-188.

Marquínez, J., Menéndez Duarte, R., Fernández, S., Fernández, L., Jiménez, B., Wozniak, E., Lastra, J., Rocas, J., Adrados, L. 2003. *Riesgos Naturales en Asturias*. KRK Ediciones, 133p.

Moreno, J.M. 2005. Riesgo de incendios forestales. En: *Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático*. J.M. Moreno (Coord.). Proyecto ECCE. Ministerio de Medio Ambiente. págs. 581-615.

Moreno, J.M. 2007. *Cambio Global e Incendios Forestales: Una Visión desde España*. José M. Moreno Proc. *Wildfire2007 IV International Wildland Fire Conference*, Sevilla, Spain. 13-17 May, 2007.

Moreno, J.M. 2008. Impacts on potential wildfire risk due to changes in climate. In: *Living with wildfires: what science can tell us? A contribution to the Science-Policy dialogue*. EFIMED, Regional Office for the Mediterranean of the European Forest Institute.

Piserra, M.T., Nájera, A., Lapieza, R. 2005. Impactos sobre el sector del seguro. En: Moreno J.M. (ed.) *Evaluación Preliminar de los*

Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, ES, 822 pp.

Schmidta, T., Dikau, R. 2004. Modeling historical climate variability and slope stability. *Geomorphology*, 60:433-447.

Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G. y Gustafsson, L. 2008. The impacts of climate change and urbanisation on drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater. *Journal of Hydrology*, 350 (1-2): 114-125.

van Wagner, C.E. 1987. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index system. Canadian Forestry Service, Forestry Technical Report 35, Ottawa.







TURISMO 

**Belén Gómez Martín.** Departamento de Geografía Física y Análisis Geográfico Regional. Universidad de Barcelona.

**Álvaro Moreno Sánchez.** ICIS – Maastricht University.

**Luis Valdés Peláez** (Coordinador). Departamento de Economía Aplicada. Universidad de Oviedo.

## 10.1 TURISMO, CLIMA Y CAMBIO CLIMÁTICO EN ASTURIAS

### INTRODUCCIÓN

En Asturias, el turismo se configura en la actualidad como uno de los sectores económicos de mayor relevancia y dinamismo. El clima y el tiempo meteorológico han sido y son factores importantes para una buena parte de los productos turísticos que se ofertan en el Principado, por lo que cualquier cambio en las condiciones climáticas podría comportar impactos muy significativos en este ámbito. El carácter de esta afectación -positivo o negativo- dependerá, lógicamente, de cada subsector turístico y de las estrategias de adaptación y/o mitigación que se lleven a cabo.

Partiendo de un análisis de evidencias, este capítulo pretende realizar una valoración de los posibles efectos del cambio climático sobre este sector clave de la economía asturiana, así como apuntar estrategias de adaptación y/o mitigación que, desde el ámbito local, permitan aprovechar las oportunidades y minimizar los inconvenientes planteados en el ámbito de estudio. Para ello, en un primer bloque introductorio se abordan las relaciones que se establecen entre las actividades turísticas y los recursos atmosféricos dentro del marco regional analizado y la trascendencia de considerar en las mismas el fenómeno del cambio climático. En el segundo bloque, se realiza un análisis del estado del sector turístico en

Asturias en el que se evidencia la trascendencia y el peso económico de la actividad en el momento presente, las pautas de distribución espacial, así como las optimistas tendencias de futuro en función del ajuste económico. La relevancia de considerar estos aspectos radica en las posibles repercusiones económicas y territoriales que el cambio climático podría tener sobre este sector capital de la economía del Principado. El tercer bloque presenta cuales podrían ser los impactos del cambio climático sobre el sector turístico de Asturias (atendiendo a una división en espacios más o menos homogéneos desde el punto de vista territorial y turístico), así como las posibles medidas de adaptación y mitigación. Por último, el cuarto bloque muestra las principales incertidumbres y desconocimientos en torno a la cuestión en el ámbito considerado y las necesidades de investigación.

### TURISMO, CLIMA Y CAMBIO CLIMÁTICO

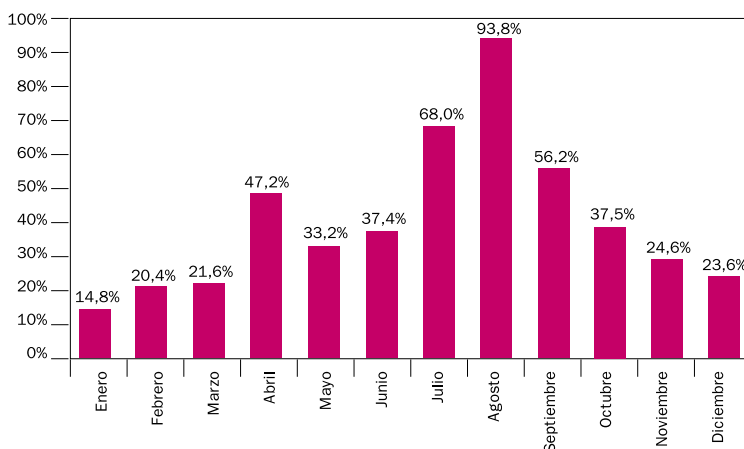
La actividad turística del Principado mantiene vínculos innegables con los aspectos climáticos. A grandes rasgos, se puede afirmar que el clima actúa como factor de localización, recurso y atractivo turístico en los diferentes destinos contemplados. Así, como factor de localización turística, el clima interviene en los procesos de funcionalización de un territorio. Como recurso turístico se configura como materia prima que, de forma básica –en modalidades como el sol y playa o el turismo de nieve- o de forma complementaria –en el turismo cultural o verde, entre otros-, participa en la elaboración del producto turístico. Como atractivo, opera como atributo del destino que juega un papel destacado en el acto de compra que realiza el turista, incorporándose en la imagen de la región y cumpliendo un papel importante

en las tareas de promoción turística (Gómez Martín 2000, 2005).

En Asturias, el clima oceánico húmedo, caracterizado por registrar una precipitación frecuente y elevada (900-1500 mm, con valores superiores en las zonas de montaña), abundante nubosidad, humedad ambiental alta y temperaturas poco extremas -salvo por encima de los 1000 m, donde los inviernos se recrudecen-, ha conformado un marco ambiental caracterizado por paisajes siempre verdes, exuberantes y sin apenas escasez hídrica que se han configurado como espacios atractivos y funcionales para el desarrollo de la actividad turística y han dado contenido al eslogan de marca "Asturias, Paraíso Natural".

Ese mismo clima también ha ejercido, junto a factores de otra índole, una gran influencia en el establecimiento de los calendarios de actividad: la estacionalidad del turismo asturiano (en línea con la mayor parte de Comu-

nidades Autónomas españolas) queda patente en la evolución mensual de las tasas medias de ocupación, siendo agosto y julio los meses que registran porcentajes más elevados (93,8 y 68%, respectivamente) (véase figura 1). En este sentido, cabe señalar que los destinos ligados a modalidades turísticas altamente dependientes de los recursos atmosféricos, como por ejemplo los destinos de sol y playa, muestran valores más extremos en las tasas de ocupación mensual que los destinos especializados en modalidades no dependientes: de este modo, la estacionalidad del turismo en Llanes es mucho más acusada que la registrada en ciudades como Gijón y Oviedo (véase figura 2). Algo parecido sucede con el turismo de esquí: la elevada variabilidad interanual del recurso nieve condiciona el balance y la duración de las temporadas. Sirva de ejemplo la estación de Fuentes de Invierno, con tan sólo 20 días de apertura en la campaña 2007/2008 ante



Incluye todo tipo de alojamientos colectivos excepto campings. Fuente: SITA, 2008.

Figura 1. Tasa de ocupación global en Asturias, 2007.

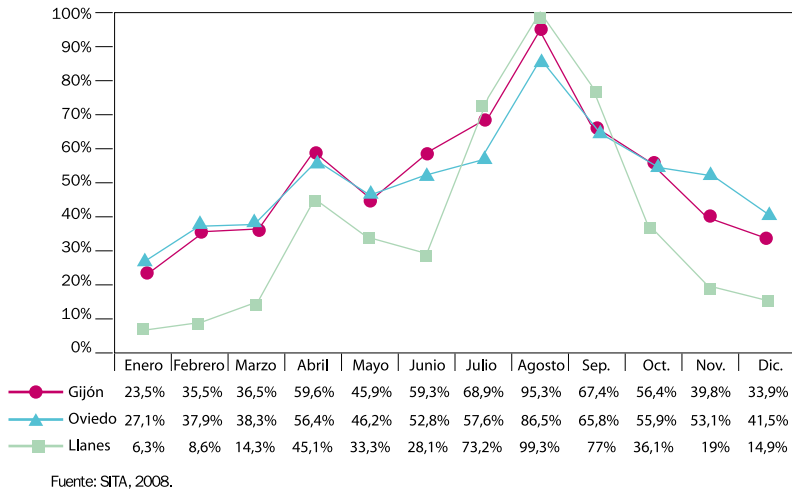


Figura 2. Tasa de ocupación global en Gijón, Oviedo y Llanes, 2007.

la falta del recurso blanco y la estación de Valgrande Pajares con apenas 54000 usuarios, 38000 menos que la temporada anterior (a pesar del apoyo proporcionado en este último caso por los sistemas de innivación artificial).

El medio atmosférico ejerce un gran influjo en el diseño de las edificaciones e infraestructuras turísticas y también en el buen funcionamiento de los transportes y comunicaciones, facilitando o condicionando el desplazamiento turístico. Este último aspecto adquiere gran importancia si se tiene en cuenta que el 77% de los turistas eligen el vehículo particular como medio de transporte para llegar a Asturias (SITA 2008), y que, una vez allí, la elevada movilidad de éstos hace que sigan optando por el coche en sus desplazamientos por la región.

También las condiciones climáticas y meteorológicas influyen en la sensación de disfrute y en el nivel de satisfacción de los turistas, como lo atestiguan las respuestas sobre aspectos a mejorar en el turismo de la región

(un elevado porcentaje de los encuestados -14,4%- responden que desearían una mejor climatología) (SITA 2008). De la misma manera, las condiciones atmosféricas influyen también en el nivel de gasto turístico, en la sensación de seguridad, en la percepción de confort y en la salud de los turistas.

Por último, señalar la importancia que adquiere el clima en la imagen de la región: la promoción del Principado se debate entre la exaltación de la benignidad climática (en ocasiones algo alejada de la realidad atmosférica de la región) y el enaltecimiento del "orbayu". El análisis de la información icónica y verbal del material promocional da buena muestra de ello: las fotografías recogen siempre cielos azules y serenos, el logotipo incluye un sol radiante, pero el texto advierte de los días grises y lluviosos.

Todos estos aspectos reflejan algunos de los vínculos existentes entre los elementos atmosféricos y las actividades turísticas en

Asturias, poniéndonos sobre aviso de la importancia de considerar los efectos que se podrían derivar de un cambio en las condiciones climáticas actuales. Es por ello que, ante los escenarios de futuro proyectados, se hace necesario analizar como se podrían ver modificados los términos de dicha relación. El incremento progresivo de la temperatura superficial a lo largo del siglo -más acusado durante la estación estival-, el descenso de las precipitaciones -con reducciones máximas en primavera y verano- y de la humedad relativa, así como el incremento de la insolación, pueden crear inconvenientes para ciertas modalidades de turismo y oportunidades para otras. En este último sentido, cabe considerar que las posibles ventajas que se podrían derivar de la mejora climática se podrían ver contrarrestadas por el empeoramiento de ciertos aspectos ambientales, como la disminución de los recursos hídricos, la pérdida de playas, de biodiversidad o el incremento en el riesgo de incendios, entre otros. Ante esto, se hace necesario proponer medidas de adaptación que permitan aprovechar las oportunidades y minimizar los inconvenientes para el sector turístico asturiano.

Pero en este punto, no debemos olvidar que el turismo ha actuado y actúa también como vector inductor del cambio climático: el desarrollo turístico actual responde al modelo de consumo energético general de la revolución industrial, intensivo en emisiones de grandes cantidades de carbono. Es por ello que el sector turístico del Principado debe incorporar también en sus políticas de desarrollo las adecuadas medidas de mitigación para contribuir a la reducción en las emisiones de gases de efecto invernadero.

En los próximos años, el fenómeno del cambio climático debe ser uno de los aspectos

de obligatoria presencia en las políticas de desarrollo y gestión turística en Asturias. Si bien el fenómeno debe ser contemplado desde un punto de vista global, las acciones que garanticen la consecución de los objetivos de adaptación y mitigación deben partir fundamentalmente del ámbito local.

## 10.2 EL TURISMO EN EL PRINCIPADO DE ASTURIAS. SITUACIÓN ACTUAL Y TENDENCIAS DE FUTURO

### PRINCIPALES MAGNITUDES DEL TURISMO EN ASTURIAS

La economía asturiana, según los datos aportados por SADEI, ha sufrido importantes cambios en los últimos años en su estructura productiva. Si en 1990 los Servicios representaban el 51,93 % del Valor Añadido Bruto (VAB), en el año 2007 ya representaban el 61,07 %, mientras la Agricultura continuaba perdiendo peso y había descendido hasta el 2,17 %. Esta evolución se traslada al empleo ya que desde 1990 se constata una pérdida de relevancia de las actividades tradicionales como la Agricultura, pesca y ganadería que han pasado del 16,77% en 1990 a representar el 4,76% del empleo en 2007. El sector Servicios continúa siendo trascendental para la economía asturiana teniendo en cuenta que engloba al 68,09% del total de empleados.

Dentro de los Servicios cabe destacar el crecimiento que ha tenido el Turismo que en 2007 ya representaba el 10,86% del VAB regional incluidos los efectos directos, indirectos e inducidos. Por otra parte, la actividad turística tiene también una incidencia positiva sobre el empleo en la región cifrándose el efecto total en 53237 puestos de trabajo, un 12,5%

de la cifra de empleo estimada para Asturias (SITA 2008).

Esta participación del Turismo en la economía asturiana es el resultado de 6277332 visitantes en 2007 de los que 1933417 son turistas de alojamiento colectivo, 2460715 turistas de alojamiento privado y 1883200 excursionistas o visitantes de día.

Por lo que respecta a la oferta turística de alojamiento se mantiene una tendencia de crecimiento continuo alcanzando en 2007 un total de 72495 plazas ofertadas en establecimientos de alojamiento colectivo frente a las 36675 de 1990. Por modalidades de alojamiento colectivo, destaca la hotelería que oferta un total de 27949 plazas, el 38,6% del total de Asturias; aunque el dinamismo e importancia del turismo rural en la región se refleja en el importante incremento en los últimos años hasta una oferta de 12162 plazas, el 16,8% del total regional, mientras que en términos de número de establecimientos representa un 49,3% del total, si bien estamos hablando de negocios de reducidas dimensiones. Aunque la oferta de camping en los últimos años se ha visto reducida, continúan ocupando un lugar relevante en la oferta turística asturiana, con el 33,9% del total de plazas. Además existen 291 agencias de viaje y 83 empresas de turismo activo.

Por lo que respecta a algunas características de la demanda podemos decir que el turismo asturiano depende del mercado nacional, que en 2007 representó el 78,6%, mientras que el turismo interno alcanza un 11,1% y el turismo extranjero un 10,2%. Por mercados emisores destaca Madrid con un 20,7% seguido de Castilla y León y el País Vasco, con un 11,3% y un 9,8% respectivamente.

Se trata de un destino cuyos turistas acuden mayoritariamente por motivos vacacionales, el 77,7 %, y cuya principal razón para elegirlo es la "belleza de su entorno natural", señalada por un 24,7% de los turistas y otra de las razones que suele ser señalada es la gastronomía, pero lo especialmente positivo es que en 2007 un 14,4% regresan a la región tras una experiencia anterior satisfactoria.

Los viajes que se realizan a Asturias se caracterizan por ser autoorganizados, 81,1%, mientras que los viajes a través de intermediarios (agencias de viajes...) se sitúan en un 18,9% y el vehículo particular es el principal medio de transporte para viajar a la región, con un 77% por un 11,2% de los turistas que utilizan el avión, seguido por el autobús con un 8,2%, y predominando el viaje en pareja con un 44,5%. Por otro lado, el nivel de satisfacción de los turistas con su estancia en Asturias es elevado pues se valora la relación calidad-precio del establecimiento con una media de 7,5 puntos sobre diez.

Los turistas en Asturias realizan una gran variedad de actividades: un 81,1% señalan que durante su estancia optan por recorrer la región para conocer pueblos y lugares, un 60,3% indica también que visita monumentos, un 39,1% va a la playa, visitan museos un 26,4%, además de un 23,7% que aprovechan para realizar rutas cortas de senderismo.

Pese a disponer de un amplio abanico de actividades de turismo activo, la demanda de este tipo de alternativas de ocio es aún limitada 9,6 %, concentrándose además en una reducida variedad de actividades, mayoritariamente el alquiler de piraguas/canoas de río, turismo de aventuras y la contratación de excursiones a caballo y/o guiadas.

### CONFIGURACIÓN ACTUAL DEL TURISMO

En cuanto a la distribución territorial, el turismo tiende a situarse en la franja costera, especialmente en el Centro y Oriente de Asturias. También tiene importancia un turismo en el interior de la región, bien en las principales ciudades o en valles de montaña tanto del Centro (Somiedo...) como del Oriente (Cova-

donga, Picos de Europa) o del Occidente (Oscos...) (véase figura 3).

En cuanto al alojamiento privado (segundas residencias, familiares y amigos,...) la mayor concentración de viviendas también se registra en los municipios costeros (véase figura 4).

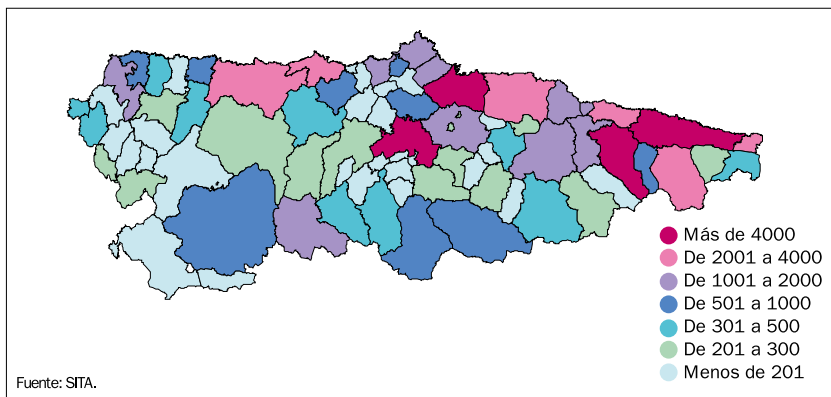


Figura 3. Número de plazas de alojamiento por municipio.

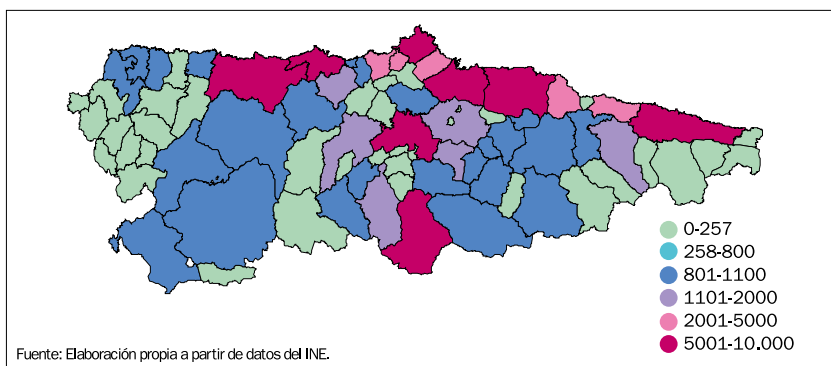


Figura 4. Número de viviendas secundarias. Censo Vivienda INE 2001.



Por otro lado, por lo que se refiere a los productos turísticos, tal y como señalábamos en los primeros apartados, el turismo que nos visita se mueve por el territorio y trata de conocer diversos pueblos y villas a través de su vehículo particular. Los datos del 2007 reflejaban que los puntos más visitados por los turistas de alojamiento colectivo han sido la Basílica de Covadonga, con un 18,7%, el Casco Antiguo de Gijón, con un 14,2%, y la Catedral de Oviedo, con un 13,9%, además de Llanes con los Cubos de la Memoria, museos, monumentos, etc.

Desde el punto de vista de los recursos existentes y los diferentes tipos de turismo vamos a tratar de sintetizar la situación actual y evidenciar algunas tendencias de futuro:

**1) Turismo de Sol y Playa.** Vinculado a los municipios costeros, en temporada alta, principalmente julio, agosto y primera mitad de septiembre. Destacan los municipios de Llanes, Ribadesella, Ribadedeva y Villaviciosa. También en el Occidente nos encontramos con Tapia de Casariego, Luarca y Castropol, mientras que en el centro de Asturias señalar la ciudad de Gijón, además de los arenales de Gozón así como los de Avilés y Castrillón y Soto del Barco. El peso del alojamiento privado también es bastante elevado en este tipo de turismo.

**2) Turismo Rural.** Ha crecido notablemente en los últimos años en todas las figuras de alojamiento que lo representan (Hoteles rurales, Casas de Aldea, Apartamentos rurales) y prácticamente por toda la región, aunque nuevamente es en el Oriente donde tiene un mayor peso. El esfuerzo en aumentar su calidad ha llevado a la puesta en marcha de dos marcas regionales: Casonas Asturianas y Aldeas calidad rural, que se unen a las certificaciones habituales: Q, normas ISO...

**3) Turismo Náutico.** Aunque ya hay alguna estación náutica y puertos deportivos muy asentados (Gijón, Llanes), hay planes futuros de mejora en las infraestructuras y dotaciones de los muelles tradicionales de otras villas marineras para que puedan albergar futuros puertos deportivos con amarres y pantalanes que permitan el aprovechamiento turístico de las infraestructuras portuarias existentes.

**4) Turismo Cultural.** Asturias cuenta con un rico y abundante patrimonio cultural que incluye los yacimientos prehistóricos, yacimientos arqueológicos de la época romana, arte único en el mundo y propio sólo de Asturias como es el Prerrománico Asturiano, además del patrimonio religioso vinculado a monasterios benedictinos de la época de las grandes peregrinaciones a Santiago y lugares santos como Covadonga u Oviedo. Existe además el patrimonio civil de las casas de indianos, palacios, los hórreos y paneras, algunos de ellos en peligro de desaparición, los molinos.... También los equipamientos museísticos, entre los que citaremos: el Museo del Jurásico, el de Bellas Artes, el Centro de Arte Laboral en la antigua Universidad Laboral de Gijón, además de los museos vinculados al patrimonio industrial como el de la Minería, Ferrocarril, Siderurgia... así como otras instalaciones de ocio y culturales: el Acuario de Gijón o el Parque de la Prehistoria en Teverga. Vinculado a ese patrimonio cultural tenemos el turismo etnográfico, con todas las fiestas populares, romerías, muy relacionadas con las épocas estivales, o los pequeños museos etnográficos.

**5) Turismo de Ciudad.** Quizá no sea una clasificación muy correcta pero las principales ciudades de la región (Oviedo, Gijón, Avilés) han realizado un esfuerzo muy importante en los últimos años por ofrecer una oferta com-

plementaria de ocio atractiva y atrayente que ha dado lugar a un aumento considerable de los visitantes y, consecuentemente, del crecimiento de la oferta de alojamientos.

**6) Turismo de Naturaleza.** Asturias tiene en el medio natural su principal activo y es donde destaca especialmente por el paisaje y sus contrastes, pero además es adecuado para las excursiones de senderismo de corta duración y dificultad media, aunque también hay otro grupo de demanda más vinculado a la práctica deportiva del montañismo en sus diferentes modalidades: travesías, escaladas, o incluso espeleología. Las figuras de protección, como el Parque Nacional, o los Parques Naturales y otras zona protegidas (33 % del territorio protegido), contribuyen en gran medida a que el paisaje y la naturaleza de Asturias sea uno de los principales referentes para los turistas.

**7) Turismo de Nieve.** Asturias cuenta con varias instalaciones dedicadas al turismo de nieve que han recibido desde el gobierno regional importantes inversiones en sus instalaciones e infraestructuras, aunque la dependencia climatológica determina en buena medida los resultados obtenidos en términos de usuarios de las estaciones de esquí: Valgrande-Pajares (5,2 km esquiabiles con una altitud entre 1500 y 1800 m), Fuentes de Invierno ( 8,7 km y en una altitud de 1500 - 1950m), junto a la estación de San Isidro que pertenece a León al igual que Leitiriegos, ésta con menos afluencia.

**8) Turismo de Negocios** (congresos y convenciones). En gran medida dependiente de la actividad profesional y muy ligada a las principales ciudades de Gijón, Oviedo y ya en menor medida Avilés. Por otra parte está la actividad ferial que mueve mucho excursionismo y que

prácticamente está presente en todas las comarcas asturianas.

**9) Turismo de Salud.** Hay que señalar que Asturias no tiene una oferta tan amplia y estructurada como comunidades vecinas de Cantabria y Galicia en términos de turismo de salud vinculado a Balnearios. En Asturias sólo hay actualmente operativos dos balnearios. No obstante, la oferta actual de turismo de salud, al igual que en el resto de España, ha crecido en la diversificación por parte de los hoteleros buscando la dotación de nuevos servicios con los centros de spa y fitness. Actualmente son 15 los establecimientos que disponen de centros de spa.

**10) Turismo Gastronómico.** Asturias cuenta en la gastronomía con uno de sus recursos más importantes, partiendo de sus productos agroalimentarios más destacables: la sidra y la fabada, verdaderos sellos de identidad, y los quesos, especialmente el Cabrales, el Afuega el pitu o el Gamonedo.

**11) Turismo de Golf.** Asturias cuenta con 13 campos de golf, de diferente tamaño y titularidad. Prevalcen los campos municipales en el caso de los campos de mayor tamaño cuyo usuario mayoritario es la propia población local, quedando una oferta de greenfees disponibles para el turista muy limitada. No hay una oferta estructurada ni paquetes que vendan estancias de golf. Por otra parte, existe cierta presión en determinados municipios costeros para la obtención de licencias de construcción de campos de golf, pero que básicamente están vinculadas a promociones urbanísticas más que a atraer un turismo de golf propiamente dicho.

Para finalizar este apartado, y tal como señalábamos anteriormente, las principales magnitudes del turismo asturiano en los

últimos años han mostrado una tendencia al crecimiento. Ante la situación actual de la economía mundial y española, donde cabe esperar un ligero descenso en las cifras de visitantes, hay que señalar la capacidad que tiene el turismo en recuperarse, y en este sentido consideramos que Asturias tiene todavía un recorrido futuro al alza en cuanto a esta actividad. Existen diversos factores que, en gran medida, pueden ayudar al turismo asturiano a esa recuperación, como son: la finalización de la Autovía del Cantábrico, tanto hacia el Este como hacia el Oeste, y la apertura de la alta velocidad en Pajares, que contribuirán a reducir notablemente la distancia entre los mercados emisores y por consiguiente mejorar la afluencia de visitantes a la región.

Además, la política seguida por la administración regional de preservar los espacios naturales y el paisaje, y las actuaciones tendentes a mejorar la calidad de la oferta turística, son elementos importantes de cara a recuperar y mantener un crecimiento equilibrado de la actividad turística en los próximos años.

### 10.3 PRINCIPALES IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE EL TURISMO DE ASTURIAS. PROPUESTAS ADAPTATIVAS Y DE MITIGACIÓN

#### IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LOS PRODUCTOS Y DESTINOS TURÍSTICOS ASTURIANOS

Como se ha explicado en el epígrafe anterior, los numerosos recursos turísticos existentes en el Principado han favorecido el desarrollo de diferentes tipos de turismo en la región. El carácter de síntesis del presente informe impide un tratamiento detallado y pormenorizado de los mismos, por lo que se hace necesari-

rio proceder a una identificación de espacios geográficos de características más o menos homogéneas desde el punto de vista territorial y turístico. En este sentido, los espacios identificados como más convenientes para nuestro análisis de impactos y propuestas de medidas de adaptación y mitigación han sido: los espacios litorales, los espacios de montaña y los espacios urbanos. Dentro de estos se consideran los productos y destinos turísticos más sobresalientes.

#### Productos y destinos turísticos de litoral.

El turismo litoral, concebido como aquél que se desarrolla en un espacio geográfico determinado por su litoralidad, se configura como una de las formas más comunes del desarrollo turístico en Asturias, si bien ha experimentado en los últimos tiempos una progresiva complejidad y diversificación tipológica. Las zonas costeras asturianas no solo son escenario del turismo de sol y playa, sino también de otras modalidades que se han desarrollado al amparo de los numerosos recursos y atractivos turísticos existentes en este marco (humedales costeros con gran biodiversidad, asentamientos urbanos de interés, etc.).

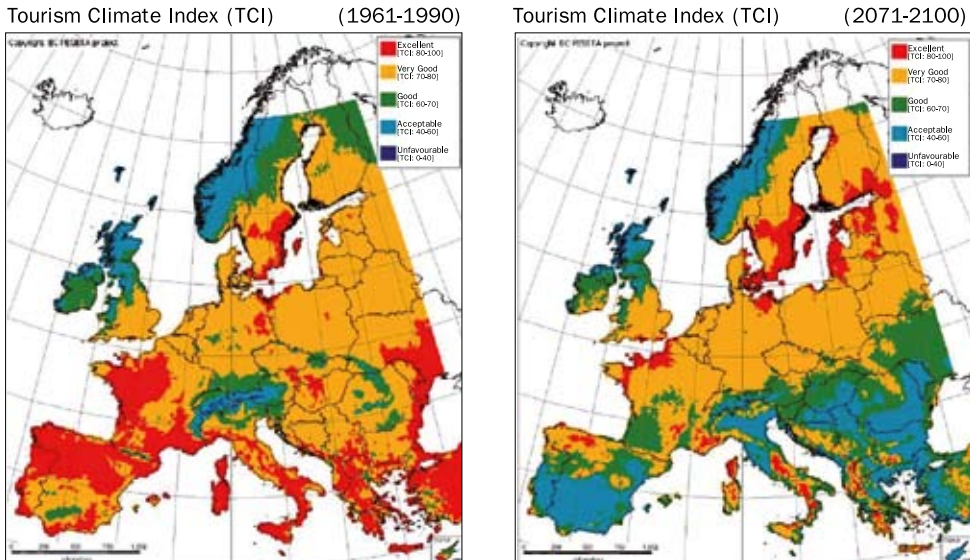
La condición geográfica del litoral (dinámica marítima y morfología costera), el modelo de organización territorial y, en particular, el modelo de desarrollo turístico, son los principales factores que pueden determinar el grado de impacto del cambio climático sobre este espacio costero. En Asturias, la vulnerabilidad natural del litoral al cambio climático se acentúa por su grado de artificialización: un porcentaje importante de la población se concentra en la zona costera del área central de la región y los actuales núcleos en crecimiento (con diversificación de actividades y creciente peso

del sector terciario -en muchos casos vinculado al turismo-) se sitúan en la costa oriental y central. Esta concentración demográfica, que se incrementa durante el período estival como consecuencia de la elevada estacionalidad que afecta a la actividad turística del Principado, hace de esta franja un espacio altamente vulnerable.

En este contexto, los productos y destinos turísticos de litoral podrían verse afectados por la alteración que experimentarían las condiciones atmosféricas, pero también por efectos indirectos como el aumento en el nivel del mar, el incremento de los temporales marítimos y otros episodios extremos, la disminución de los recursos hídricos o la pérdida de biodiversidad por citar algunos ejemplos. De este modo, el previsible aumento de las temperaturas y la disminución de las precipitaciones durante el período estival y primaveral modificarán las actuales aptitudes turísticas de los climas asturianos, aunque los resultados en este sentido varían según los índices, modelos y escenarios utilizados. Así, según los datos derivados del informe PESETA, la potencialidad turística según el Tourism Climate Index (TCI) de Mieczkowski (1985) para los meses de verano del período 2071-2100 (IPCC escenario A2) experimentará un ligero empeoramiento en relación al período de referencia 1961-1990, aunque comparativamente Asturias será uno de los ámbitos regionales beneficiados al mantener unas condiciones altamente favorables dentro del contexto europeo (véase figura 5). Los resultados del Tourism Climate Index adaptado al turismo de sol y playa (TCI-C), actividad que depende en un mayor grado de las condiciones atmosféricas y por tanto es más sensible a los cambios producidos en y por el clima, señalan para el verano de mitad de siglo (según

modelo HadCM3, escenarios A1fi y B1) mejoras notables para la práctica de la modalidad en el litoral asturiano (véase figuras 6, 7, 8 y 9): el incremento en el número de días sin precipitación y con temperaturas agradables para la práctica del baño podrían estimular el uso y disfrute de la costa del Principado (Moreno et al., en evaluación). Sin embargo, las proyecciones derivadas de la aplicación de otros modelos no apuntan a resultados tan optimistas, aunque nunca llegan a ser tan nefastos como los que se prevén en el Mediterráneo (véase figuras 6, 7, 8 y 9).

Pero las posibles ventajas que se podrían derivar de la mejora climática en Asturias se podrían ver contrarrestadas por el empeoramiento de ciertos aspectos ambientales como el ascenso del nivel del mar y el aumento de la cota de inundación. Estos eventos producirían un incremento importante de los fenómenos erosivos, el retroceso de la línea de costa -que alcanzará los 7,11 m como media en los próximos 40 años (Méndez et al. 2004) y, en algunos casos, la posible desaparición de la playa por inundación, siendo las playas confinadas las más vulnerables. Asimismo, estos procesos erosivos podrían afectar negativamente a todas las infraestructuras turísticas que están en primera línea de costa, como paseos marítimos, mobiliario urbano, establecimientos turísticos, etc. y, en casos extremos, podrían producir la socavación y desprendimiento de terrenos en acantilados (ej. playa y acantilado costero de Rebolleres, en Candas (González-Villarias 2001)). A todo esto se podrían sumar también los efectos derivados de la posible alteración de las cualidades ecológicas, estéticas y de fragilidad de numerosos ecosistemas, como marismas y estuarios, que actualmente se configuran como destacados atractivos tu-



Fuente: PESETA Project.

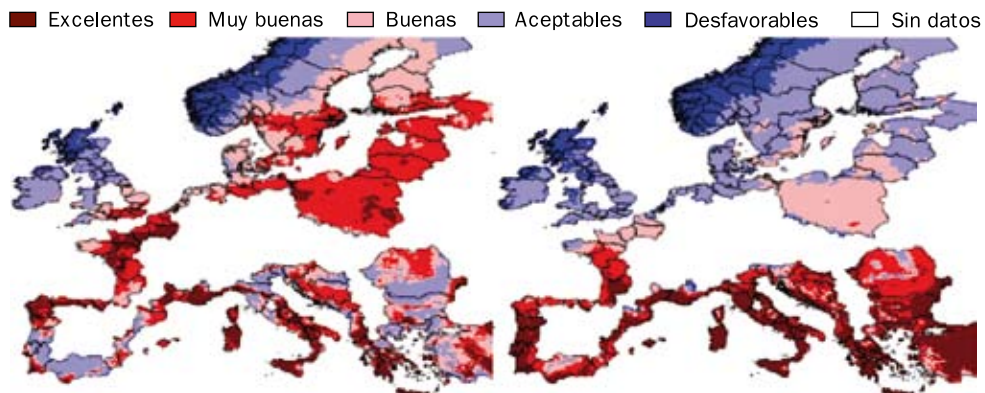
Figura 5. TCI período 1961-1990 (izquierda) y proyección 2071-2100 (derecha). Verano.

rísticos. Asturias posee 13 zonas ZEPA (Zonas de Especial Protección para las Aves), y 5 de ellas se encuentran en zonas costeras: mientras que la disminución de las precipitaciones podría estimular el número de visitantes a estas zonas, son el ascenso en el nivel del mar y los cambios en la fenología (ej. época de migración), composición y número de especies los que podrían limitar el uso turístico. Un ejemplo de este tipo de espacios es el Monumento Natural Charca de Zeluán y Ensenada de Lloredo (Concejo de Gozón), de gran interés por su alta biodiversidad y muy sensible a fenómenos como la subida del nivel del mar por encontrarse altamente influenciado por la mareas.

#### Productos y destinos turísticos de montaña.

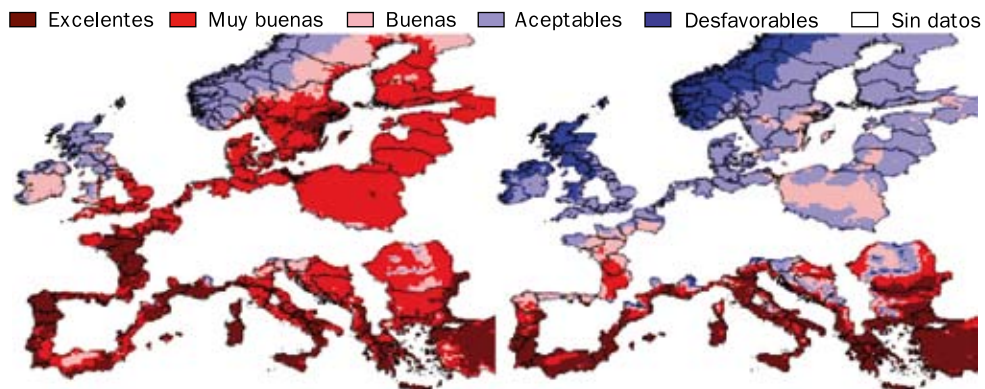
Los impactos del cambio climático en las montañas asturianas dependerán en gran me-

da de las actividades que se estén considerando. La reducción de la precipitación en forma de nieve y el incremento de temperaturas se ha documentado ampliamente en diversas investigaciones, tanto a nivel nacional como internacional, y es claramente observable en el retroceso de los glaciares en toda la península (Ministerio de Medio Ambiente 2005). Chueca et al. (2007) han documentado reducciones de hasta el 35,7% en los glaciares pirenaicos de la Maladeta en los últimos 25 años. En los Picos de Europa todos los glaciares desaparecieron en los primeros años del siglo XX, y los escasos parches de hielo que aún permanecen en este sistema montañoso pierden volumen cada año (González-Trueba et al. 2008). Estos factores supondrán un importante factor limitante para la sostenibilidad ecológica, económica y social de las estaciones de esquí



Fuente: Moreno, Amelung, Gómez Martín y Scott.

**Figura 6.** TCI (izquierda) y TCI-C adaptado al turismo de sol y playa (derecha) período 1961-1990. Verano.



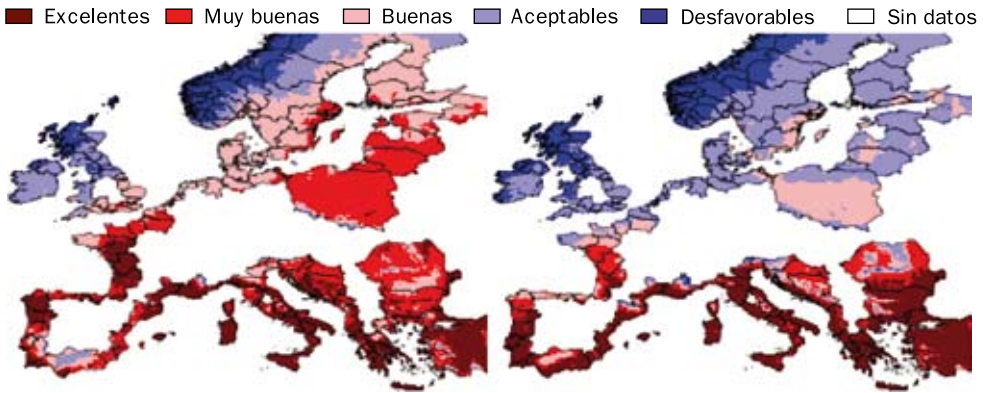
Fuente: Moreno, Amelung, Gómez Martín y Scott.

**Figura 7.** TCI-C para el período 2051-2080: HadCM3 escenario A1FI (izquierda) y PCM escenario A1FI (derecha). Verano



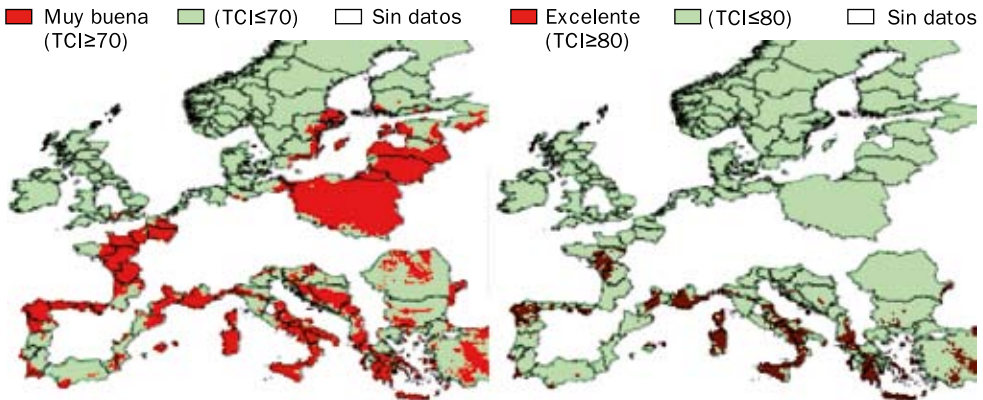
(ver adaptación), especialmente aquellas que se localicen a menor altitud. Un ejemplo claro de las limitaciones que el cambio climático supone para el deporte blanco es la anulación por parte del Tribunal Superior de Justicia de Castilla y León de la creación de la estación de

San Glorio. Aunque las razones de esta anulación son diversas (parte de la estación estaba planificada en un territorio declarado Parque Natural), uno de los elementos incluidos en tal decisión es la dudosa viabilidad económica por los efectos del cambio climático. En el caso de



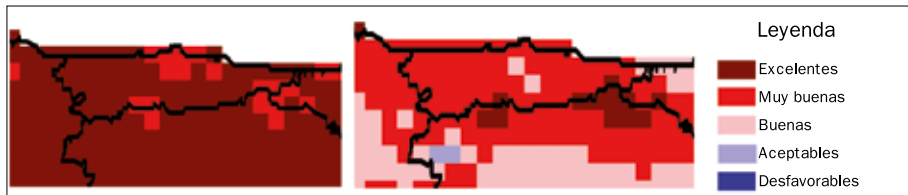
Fuente: Moreno, Amelung, Gómez Martín y Scott.

Figura 8. TCI-C para el período 2051-2080: HadCM3 escenario B1 (izquierda) y PCM escenario B1 (derecha). Verano



Fuente: Moreno, Amelung, Gómez Martín y Scott.

Figura 9. Escenarios A1FI y B1 (HadCM3, 2051-2080): TCI-C ≥ 70 (aptitud muy buena) (izquierda) y TCI-C ≥ 80 (aptitud excelente) (derecha). Verano.



Fuente: Moreno 2005.

Figura 10. Tourism Climate Index (TCI) en Asturias durante los meses de verano (Junio-Julio-Agosto).

estaciones que por su localización, orientación u otros factores puedan asegurar una capa de nieve adecuada para la práctica del esquí, es posible que se produzca un aumento en el número de usuarios debido a la desaparición de estaciones a menor altitud o en otras zonas geográficas.

Por otro lado, esta reducción en la capa de nieve y el aumento de las temperaturas pueden favorecer una mayor demanda y uso de las zonas de montaña para actividades como el senderismo, cicloturismo, turismo rural, turismo de naturaleza, deportes de aventura, etc. Este aumento en el uso de la montaña durante la época invernal puede a su vez verse afectado por un mayor peligro de aludes debido a una mayor inestabilidad en las laderas, mientras que, durante el verano, una mayor incidencia de periodos secos puede incrementar el riesgo de incendios forestales, y por tanto suponer un importante impedimento y factor de riesgo para las actividades al aire libre.

Los impactos del cambio climático en el turismo y las actividades de recreo al aire libre van más allá de las condiciones de confort y seguridad para los visitantes; las condiciones y características del entorno en el que dichas actividades se realizan también serán afectadas y, por tanto, el atractivo de las mismas. Si el cambio climático genera la aparición de nue-

vas especies animales y vegetales, o el desplazamiento de las existentes hacia mayores altitudes y/o latitudes, esto también puede afectar el interés turístico por determinadas zonas y actividades. Por ejemplo, se ha comprobado que las poblaciones de trucha (*Salmo trutta*) en Asturias están íntimamente ligadas a los caudales de los ríos y que por tanto un aumento en la proporción de años secos o muy lluviosos tendrán un impacto en el número y distribución de la especie (Ministerio de Medio Ambiente 2005). Estos cambios poblacionales pueden tener un impacto negativo en actividades recreativas como la pesca fluvial.

Por último, es importante considerar el incremento potencial en los casos de picaduras de insecto y las enfermedades que transmiten. Si bien es cierto que los modelos proyectan una disminución o incluso desaparición de las enfermedades transmitidas por determinadas garrapatas (*Ixodes ricinus*) en prácticamente todo el territorio asturiano, excepto en las zonas más frías, es también posible esperar la aparición de nuevas especies de regiones más cálidas, como por ejemplo provenientes de África (ej. *Hyalomma marginatum*, *Hyalomma anatolicum*) (Ministerio de Medio Ambiente 2005).

**Productos y destinos turísticos urbanos.**  
Dentro de todos los espacios turísticos exis-



tentes, son posiblemente las zonas urbanas las que de alguna manera se verán afectadas en menor medida por el cambio climático. El turismo cultural es probablemente uno de los menos dependientes de las condiciones atmosféricas, puesto que en cierta medida el visitante puede ajustar su comportamiento según el tiempo que encuentre (por ejemplo, entrar a un museo o establecimiento en días de lluvia). Una vez más es posible que la disminución en la precipitación estimule ciertas actividades como el turismo cultural y la visita a monumentos. Un incremento de temperaturas puede también servir como estímulo para estas actividades en determinadas épocas del año, si bien también pueden ser un impedimento si ciertos valores de confort térmico se sobrepasan (por ejemplo olas de calor).

En la figura 10 se representa el grado de idoneidad climática para actividades turísticas como visitar lugares de interés o ir de compras. La imagen de la izquierda está basada en el clima actual y la de la derecha en las condiciones para mediados de siglo (2051-2080) usando el modelo de mayor impacto (HadCM3 A1).

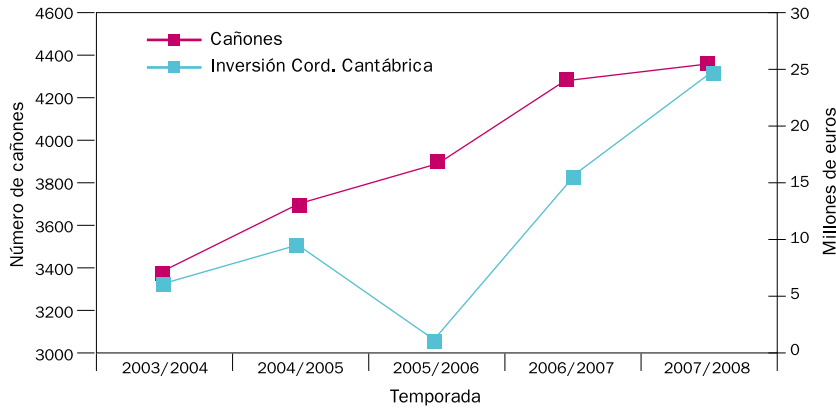
### ESTRATEGIAS ADAPTATIVAS EN EL TURISMO ASTURIANO FRENTE A LOS POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Adaptación es el proceso mediante el cual los sistemas naturales o humanos desarrollan estrategias para atenuar los efectos perjudiciales y beneficiarse de las posibles oportunidades en respuesta a estímulos climáticos reales o esperados (IPCC 2007). El turismo es un sector de gran dinamismo, lo que hace que en general posea una elevada capacidad para adaptarse a los cambios en los distintos agentes modeladores, como son: precios, tendencias y en este caso, el clima. Sin embar-

go existen importantes diferencias en cuanto a las posibilidades de adaptación según los diferentes actores. Por un lado, los turistas son los que presentan una mayor flexibilidad, adaptándose con rapidez a cualquier cambio, por ejemplo, ajustando los horarios en los que realizan las actividades para amoldarse a las condiciones climáticas, o simplemente cambiando el destino o la época de visita. Tour operadores, proveedores de transporte y otros agentes turísticos poseen una capacidad de adaptación media, pudiendo promocionar unos destinos u otros o desarrollar nuevas rutas a destinos más adecuados desde un punto de vista climático. Finalmente, son los operadores locales, las comunidades y los establecimientos turísticos en los destinos (ej. hoteles) los que poseen, en principio, una capacidad de adaptación más limitada (UNWTO 2008).

### Estrategias adaptativas en los productos y destinos turísticos de litoral.

En el caso del turismo de sol y playa, donde el mayor riesgo se encuentra en la disminución sustancial de la superficie de playa y el retroceso de la línea de costa asociados ambos al ascenso del nivel del mar, el tipo de actuación dependerá en gran medida de la zona y del tipo de playa. En general se distinguen tres opciones para infraestructuras o destinos existentes (Nicholls y Klein 2005): retroceder, esto es, reubicar las infraestructuras actuales que estén en riesgo de verse afectadas en zonas más distantes de la línea de costa; acomodarse, o adecuar las infraestructuras existentes para que no sean dañadas por los cambios esperados; o protegerse, con actuaciones de tipo 'blando' (ej. aportando arena a las playas) o de tipo 'duro' (ej. diques). En relación a este último punto es necesario considerar que determina-



<sup>1</sup> Incluye las estaciones de Manzaneda, Leitariegos, Valgrande-Pajares, San Isidro, Fuentes de Invierno y Alto Campoo.  
Fuente: ATUDEM (www.atudem.com).

**Figura 11.** Evolución del número de cañones de producción de nieve artificial en España e inversión en las estaciones de esquí de la Cordillera Cantábrica<sup>1</sup> en los últimos 5 años.

das actuaciones en el litoral pueden resolver problemas puntuales de erosión en una zona, pero magnificar o crear nuevos problemas en áreas cercanas al afectar la dinámica marina de corrientes y mareas. En relación a futuras políticas de desarrollo, es importante elaborar planes de gestión del territorio que eviten la creación de infraestructuras demasiado cercanas a la orilla para permitir el retroceso y evolución de la línea de costa. Desde el punto de vista del confort y la seguridad de los turistas, las medidas de adaptación pueden incluir la creación de sistemas de alerta y comunicación ante la llegada de fenómenos extremos como por ejemplo olas de calor o temporales.

#### Estrategias adaptativas en los productos y destinos turísticos de montaña.

El turismo de esquí es uno de los más sensibles a las condiciones climáticas y, más concretamente, a la disponibilidad de nieve. Esta vulnerabilidad y la gran importancia eco-

nómica del turismo de invierno han hecho que el sector lleve años tomando medidas para asegurar una capa de nieve adecuada, principalmente realizando importantes inversiones en la producción de nieve artificial. Según datos de ATUDEM (Asociación Turística de Estaciones de Esquí y de Montaña) en los últimos 5 años el número de cañones de producción de nieve artificial en España ha ascendido de 3372 a 4350, cubriendo un total de 333 km de pistas. En cuanto a la Cordillera Cantábrica (con seis estaciones, dos de ellas en Asturias), en los últimos 5 años se han invertido un total de 57,6 millones de euros en sistemas de innivación y otras mejoras (accesos, instalaciones, etc.) (Figura 11).

De todos modos, aunque la adaptación tecnológica a la actual variabilidad ha sido positiva en líneas generales y aunque ésta se conciba como una medida estratégica de cara al futuro (de hecho, el gobierno del Principado y la Diputación de León están realizando las

inversiones pertinentes para que las estaciones de Fuentes de Invierno y San Isidro -esta última sita en León- puedan disponer de línea eléctrica para poder utilizar cañones de nieve), el esfuerzo monetario que las estaciones realizan y tendrán que realizar, los costos ambientales derivados (consumo de agua y energía, emisión de CO<sub>2</sub> y alteración del régimen hidrológico, entre otros) y las múltiples limitaciones técnicas (por ejemplo la temperatura mínima para producción de nieve) pondrán en entredicho su sostenibilidad a corto y largo plazo.

Así, otra posible medida, en este caso muy determinada por las características orográficas del entorno, es la relacionada con el traslado de las pistas de esquí a cotas más elevadas y/o mejor orientadas y, por tanto, menos vulnerables al incremento de las temperaturas. El margen de maniobra de los complejos existentes en la actualidad es bastante reducido por las limitaciones que impone el medio natural asturiano (ya se ha llegado al techo altitudinal), pero debe ser un aspecto básico a tener en cuenta en la apertura futura de nuevas estaciones (difícilmente serán viables complejos situados por debajo de los existentes en la actualidad).

Otras medidas que los complejos asturianos pueden llevar a cabo (de hecho, algunos aspectos empiezan a ponerse en práctica en la actualidad) son las relacionadas con la diversificación y complementariedad de actividades. En el primer caso, la estrategia implica un aumento destacado y en paralelo de las inversiones en el sector de la restauración, alojamiento y ocio, con el objetivo de que los ingresos de las estaciones durante el invierno no dependan tanto del precio del forfait (a modo de ejemplo, el plan director para el desarrollo de la estación invernal de Valgrande-

Pajares prevé en este sentido una inversión de 20 millones en cinco años). En el segundo, la estrategia consiste en la expansión y consolidación de otras actividades fuera de la temporada tradicional para minimizar el posible riesgo económico derivado de una "climatología adversa". De este modo, al turismo de nieve desarrollado durante el invierno se suma el turismo verde y deportivo desarrollado durante la estación estival, cumpliéndose el objetivo de la desestacionalización del negocio turístico en las zonas de montaña.

La concentración empresarial y la diversificación territorial también son opciones que pueden posibilitar la adaptación al cambio climático. La agrupación de estaciones bajo un mismo paraguas puede permitir afrontar con mayores garantías de éxito los riesgos derivados de coyunturas atmosféricas desfavorables. Los abonos conjuntos (como los existentes en la actualidad entre Fuentes de Invierno y Pajares) o las conexiones físicas entre estaciones (como las proyectadas entre Fuentes de Invierno y San Isidro) son estrategias encaminadas a esta opción.

También los aspectos más cotidianos de la gestión del negocio de la nieve deben cambiar, y están cambiando para adaptarse a las nuevas circunstancias: la mejora en la cantidad y calidad (más resolución espacial y temporal) de la información meteorológica proporcionada en las estaciones (web-cams, links a webs especializadas, teléfonos y puntos de información...), las políticas de fidelización de la clientela o la posibilidad de contratar seguros climáticos son reflejos evidentes.

Para otras actividades en zonas de montaña, y especialmente durante periodos de sequía, será necesario implementar programas de vigilancia e información para evitar los in-

**Tabla I.** Áreas de intervención a nivel de adaptación.

Técnicas	Nieve artificial, nuevos métodos de construcción, domótica para mejorar la eficiencia energética
Gestión	Diversificación de actividades, planes de gestión de impactos
Políticas	Establecimiento de standards para construcción de nuevas infraestructuras, ej. energía solar en edificios nuevos
Investigación	Localización de infraestructuras, programas de seguimiento y control (ej. erosión)
Educación	Concienciación sobre uso de recursos (ej. ahorro de agua)
Comportamiento	Iniciativas para el ahorro de agua, cambio de destino

Fuente: Adaptado de UNWTO, 2008.

incendios forestales debidos a un mayor uso del monte o, en caso de ocurrir un incendio, para reducir al máximo los daños. Dichos sistemas de información deberán estar coordinados con las instituciones adecuadas para asegurar la seguridad no solo de la población local sino también de los turistas y visitantes

#### Estrategias adaptativas en los productos y destinos turísticos urbanos.

Las medidas de adaptación en destinos urbanos pueden incluir: creación de sistemas de vigilancia y aviso en caso de eventos extremos como olas de calor (servicio ya creado tras el suceso del verano de 2003), inundaciones, etc; ajuste de los standards de construcción de nuevos edificios para mejorar por ejemplo el aislamiento y minimizar las pérdidas energéticas (ej. paneles solares e instalaciones de domótica); diversificación del sector con actividades adaptadas al clima de distintas épocas del año; elaboración de campañas de educación enfocadas a preparar tanto a visitantes como a empresas o la protección del patrimonio (iglesias, monumentos, etc.). Es importante considerar que los edificios y otros monumentos antiguos fueron construidos en base a las condiciones climáticas pasadas y, por tanto, pueden verse afectados por los im-

pactos del cambio climático, como por ejemplo por la aparición de plagas que dañen construcciones en madera. Como se describe mas adelante, la adaptación en todo tipo de destinos, y especialmente en los destinos urbanos debido a la mayor presión que sufren por su mayor población, debe ser un proceso integrado en los planes de desarrollo de la región e incluir interacciones con otros sectores como el de la ordenación del territorio, salud o la energía. Determinadas ciudades, como por ejemplo Gijón, deben prestar especial atención a las medidas de adaptación y a la protección de su patrimonio por encontrarse en zonas costeras y por tanto vulnerables a impactos como el ascenso del nivel del mar y fenómenos erosivos.

La creciente necesidad de establecer mecanismos de adaptación al cambio climático se ha visto reflejada en los últimos años en un aumento considerable en las metodologías y marcos de actuación disponibles. El Programa para el Desarrollo de las Naciones Unidas (UNDP) propone cuatro principios básicos para la adaptación que son de gran relevancia para el turismo (Simpson et al. 2008):

Situar la adaptación al cambio climático en el contexto del desarrollo de la región. Dados los múltiples impactos del cambio climático en aspectos como la biodiversidad, energía o

Tabla II. Algunos ejemplos de medidas de mitigación para los distintos actores turísticos.

Turistas	Tour operadores y agencias	Alojamiento	Proveedores de transporte	Gobiernos y comunidades
Elección de medios de transporte menos contaminantes; demanda de productos y actividades con emisiones 0; compensar las emisiones en caso de desplazamientos en avión.	Promoción de productos con períodos de estancia más largos y destinos próximos; desarrollo y promoción de productos con emisiones 0.	Instalación de sistemas de domótica para el ahorro y la eficiencia energética (control de temperatura, luz, etc.).	Inversión en medios más eficientes desde un punto de vista energético; incremento de los factores de carga (pasajeros por cada viaje).	Desarrollo de un marco normativo y económico que estimule el ahorro energético; programas de educación y concienciación social.

Fuente: Adaptado de Simpson *et al.* 2008.

salud, cualquier medida de adaptación en el sector turístico debe ser integrada en el contexto más amplio de políticas de desarrollo sostenible, y considerar tanto impactos como adaptación en otros sectores.

Usar la experiencia y conocimiento presente en materias de adaptación para enfrentarse a la variabilidad climática futura (ver por ejemplo el caso del esquí).

Reconocer que la adaptación tiene lugar a distintos niveles. El desarrollo de estrategias de adaptación del sector turístico a nivel nacional debe contemplar que la implementación ocurre normalmente a nivel del destino, empresas o proyectos, y que la participación de la industria turística es fundamental.

Reconocer que la adaptación es un proceso iterativo que debe incluir tareas de implementación, monitoreo, evaluación y ajuste continuo a lo largo de los años.

### ESTRATEGIAS DE MITIGACIÓN EN EL TURISMO ASTURIANO FRENTE A LOS POSIBLES EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

El turismo posee un papel importante como agente emisor de gases de efecto invernadero, principalmente en relación al transporte, pero también asociado con elementos como

el alojamiento y las actividades. Estas emisiones son de especial relevancia en el caso del transporte aéreo, aunque dado que la mayor parte de los visitantes a Asturias proceden de Comunidades Autónomas españolas o de la propia región y que, como hemos visto, utilizan el vehículo propio para desplazarse a Asturias y moverse por ella, es de suponer que es el transporte por carretera el que constituye la mayor fuente de gases de efecto invernadero.

Desde el punto de vista de la mitigación (reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, en este caso asociadas a la actividad turística) todos los actores pueden y deben asumir su responsabilidad y contribuir al descenso de las emisiones. Para conseguir este objetivo es necesario que se empleen distintas estrategias, como instrumentos normativos, económicos y voluntarios orientados a los distintos actores del sector, desde los turistas hasta los tour operadores. Existen cuatro estrategias básicas de mitigación de las emisiones generadas por el turismo (UNWTO, 2008):

- Reducir el uso de energía, promoviendo por ejemplo un mayor uso del tren y el autobús en lugar del coche y el avión, o simplemente eliminando aquellas actividades con gran consumo energético

- La mejora de la eficiencia energética, aplicable por ejemplo a medios de transporte con menos consumo por kilómetro o instalando nuevas tecnologías (domótica) en establecimiento hoteleros.

- Favorecer la implantación y uso de energías renovables como la energía eólica o solar.

- Participar en programas de secuestro de carbono o compensación de las emisiones derivadas del turismo. En el caso del secuestro de carbono, la plantación de bosques no solo contribuye a reducir los niveles de CO<sub>2</sub> en la atmosfera, sino que además constituye un atractivo turístico en si mismo, en especial dada la imagen turística de Asturias

#### 10.4 INCERTIDUMBRES Y NECESIDADES DE INVESTIGACIÓN

Aunque es posible realizar proyecciones sobre las variaciones en la potencialidad turística de los climas asturianos como consecuencia del cambio climático, es difícil prever los efectos que se derivarán sobre tres elementos clave del sistema turístico: la demanda, la oferta y los agentes-operadores del mercado. En este sentido, se apuntan varias incertidumbres y necesidades de investigación.

Así, en relación a la demanda turística, aunque se insinúan algunas tendencias, se desconocen verdaderamente las posibles variaciones en el comportamiento de la misma. Éste dependerá de aspectos relacionados con la percepción que los turistas tengan del fenómeno a escala global y local, la tolerancia a los cambios experimentados o el nivel de permeabilidad frente a variables compensatorias (precios, calidad del entorno, nivel de la oferta, moda, imagen, etc.). En este sentido, se hacen necesarios: estudios que valoren cómo los di-

ferentes grados de aprehensión del fenómeno pueden modificar los hábitos de los turistas, estudios que traten de cuantificar cuáles son los umbrales atmosféricos que propiciarían los citados cambios en el comportamiento de la demanda, y estudios que traten de determinar cuáles serían las variables correctoras capaces de neutralizarlos o minimizarlos.

En relación a la oferta, se desconocen las capacidades de adaptación de las actuales infraestructuras y empresas a los cambios que se puedan experimentar en el comportamiento de los turistas, y también a los cambios que se puedan registrar en el espacio geográfico. En este sentido, son necesarios estudios que, a partir de la simulación de varios escenarios de impacto, puedan proponer estrategias encaminadas a la adaptación.

Por último, se desconocen los cambios que pueden acaecer en los intereses de los agentes locales y regionales en relación a otros sectores de la economía, o en el caso de los operadores del mercado, en relación a otros destinos turísticos.

Hasta el momento, la consideración del cambio climático en la planificación y ordenación turística ha sido escasa debido a la confianza depositada en la buena capacidad de respuesta del sector a las diferentes coyunturas y adversidades, así como al desconocimiento existente sobre el suceso y sus impactos. Las dimensiones del fenómeno aconsejan, sin embargo, incorporarlo en la gestión para evitar consecuencias fatales que puedan arruinar todas aquellas economías locales centradas en esta actividad.

### 10.5 CUESTIONES QUE DEBERÍAN TENERSE EN CUENTA PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

- Estudios que valoren cómo los diferentes grados de aprehensión del fenómeno pueden modificar los hábitos de los turistas.

- Estudios que traten de cuantificar los diferentes umbrales atmosféricos que propiciarían los cambios en el comportamiento de la demanda y estudios que traten de determinar cuales serían las variables correctoras capaces de neutralizarlos o minimizarlos.

- Estudios que a partir de la simulación de varios escenarios de impacto, puedan proponer estrategias de adaptación.

- Elaboración de sistemas de indicadores que permitan observar la evolución del sector turístico como consecuencia del cambio climático y/o como consecuencia de la implementación de medidas de adaptación y mitigación.

### 10.6 REFERENCIAS

ATUDEM (Asociación Turística de Estaciones de Esquí y de Montaña). Disponible en [www.atudem.com](http://www.atudem.com)

Chueca, J., Julian, A., Lopez-Moreno, J.I. 2007. Recent evolution (1981-2005) of the madaleta glaciers, Pyrenees, Spain: extent and volume losses and their relation with climatic and topographic factors. *Journal of glaciology*, 53(183): 547-557.

Gómez, M.B. 2000. Clima y turismo en Cataluña: Evaluación del potencial climático-turístico de la estación estival. Tesis Doctoral. Universidad de Barcelona.

Gómez, M.B. 2005. Weather, climate and tourism. A geographical perspective. *Annals of Tourism Research*, 32 (3):571-591.

Gonzalez-Trueba, J.J., Martin-Moreno, R., Martinez de Pison, E., Serrano, E. 2008. 'Little ice age' glaciation and current glaciers in the iberian peninsula. *The Holocene*, 18(4):551-568.

González-Villarías, F.J. 2001. Estudio de estabilidad del acantilado de Rebolleres y Sequiro (Candas-Asturias). IV Simposio Taludes y laderas inestables.

IPCC 2007. Cambio climático 2007. Impacto, adaptación y vulnerabilidad.

Méndez, F.J., Medina, R., Losada, I.J., Olabarrieta, M., Tomas, A., Liste, M., Menéndez, M., Abascal, A.J., Agudelo, P., Castanedo, S. 2004. Estudio de los impactos en la costa española por efecto del cambio climático. IV Congreso de la Asociación Española de Climatología. Santander, 2-5 de noviembre. Disponible en <http://www.aeclim.org/resumenes4.html>

Mieczkowski, Z. 1985. The Tourism Climatic Index: A method of evaluating world climates for tourism. *The Canadian Geographer*, 29 (3): 220-233.

Ministerio de Medio Ambiente. 2005. Evaluación preliminar de los impactos en España por efecto del cambio climático. Ministerio de Medio Ambiente: Madrid, Spain.

Moreno, A. 2005. Scenario analysis of climate change and tourism in Spain and other European regions. Tesis de Master. Wagenin-

gen University: Wageningen, The Netherlands.

Moreno, A., Amelung, B., Gómez, M.B., Scott, D. (en evaluación). Climate suitability for beach tourism in Europe: A reassessment of the impacts of climate change". Global Environmental Change. Pergamon, Elsevier Science LTD, United Kingdom.

Nicholls, R.J., Klein, R.J.T. 2005. Climate change and coastal management on Europe's coast, in: Vermaat, J.E. et al. (Ed.) (2005). Managing European coasts: past, present and future. pp. 199-226.

PESETA Project: Impact of climate change in Europe. Disponible en <http://peseta.jrc.ec.europa.eu>

Scott, D., McBoyle, G. 2007. Climate change adaptation in the ski industry. Mitigation and adaptation strategies for Global Change. 12 (8):1411-1431.

Simpson, M.C., Gössling, S., Scott, D., Hall, C.M., Gladin, E. 2008. Climate change adaptation and mitigation in the tourism sector: frameworks, tools and practices. UNEP, University of Oxford, UNWTO, WMO: Paris, France.

Sistema de Información Turística de Asturias (SITA). 2008. El Turismo en Asturias en 2007. Consejería de Cultura, Comunicación Social y Turismo. Universidad de Oviedo. Gijón. España.

Sociedad Regional de Turismo. 2007: Boletín de información mensual "Infoasturias". Oviedo.

UNWTO. 2008. Climate change and tourism. Responding to global challenges. United Nations World Tourism Organization: Madrid, Spain.

Valdés, L. 2003.: El turismo en Asturias. Papeles de Economía Española, 20:163-170. Madrid. España.

#### **Páginas Web de referencia:**

- Portal oficial del Gobierno del Principado de Asturias [www.asturias.es](http://www.asturias.es)

- Portal oficial turístico del Principado de Asturias [www.infoasturias.com](http://www.infoasturias.com)

- Sistema de Información Turística de Asturias (SITA) [www.sita.org](http://www.sita.org)

- Sociedad Asturiana de Estudios Económicos e Industriales [www.sadei.es](http://www.sadei.es)





ENERGÍA 

M<sup>a</sup> Rosario Heras Celemín. CIEMAT.

Enrique Loredo Fernández. Universidad de Oviedo.

Paz Orviz Ibáñez. OSCCP.

Fernando Rubiera González. INCAR-CSIC.

Valeriano Ruiz Hernández. Universidad de Sevilla.

### 11.1. INTRODUCCIÓN

Como se afirma en el Cuarto Informe de Evaluación (IE4) del IPCC: “el calentamiento del sistema climático es inequívoco, y se debe muy probablemente, es decir, con una certidumbre superior al noventa por ciento, al aumento observado de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) de origen antropogénico”. Las emisiones mundiales de GEI causadas por actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004. El gas de efecto invernadero más importante es el dióxido de carbono y su concentración ha aumentado un 80% en el período anterior (IPCC 2007). Los aumentos de la concentración mundial de CO<sub>2</sub> se deben principalmente a la utilización energética de combustibles de origen fósil. A escala mundial, las emisiones de CO<sub>2</sub> causadas por la utilización de combustibles fósiles en el año 2006 ascendieron a un total aproximado de 28 gigatoneladas (Gt) de CO<sub>2</sub> (7,6 Gt de carbono) (IEA Statistics 2008).

En el caso de España, en el año 2006 las emisiones totales de GEI alcanzaron los 433 Mt CO<sub>2</sub> equivalente, representando el CO<sub>2</sub> el 82,9% del total de las emisiones. A estos valores absolutos corresponden unas variaciones relativas del año 2006 con relación al año base de 1990, del 49,5% (Ministerio de Medio Ambiente 2008). Los últimos datos disponibles para el año 2007 indican un aumento de las emisiones de GEI en España de un 52,3%,

con un total de 441,4 Mt CO<sub>2</sub> eq. (Nieto y Santamarta 2008).

Por lo que se refiere a Asturias hay que hacer una clara y rotunda afirmación inicial: Asturias es una Comunidad Autónoma Española cuya situación energética y de emisiones está íntimamente relacionada con muchos factores exógenos. En particular, es necesario destacar que desde el lado de los ciudadanos-consumidores tiene un comportamiento similar a los de otras comunidades españolas, y dentro de los parámetros europeos. Sin embargo, por lo que respecta a otros sectores (industria, sector energético) tiene un comportamiento muy diferente a otras Comunidades Autónomas, condicionada sobre todo por la existencia de carbón y una industria transformadora potente que influye en sus datos energéticos y de emisiones y condiciona poderosamente sus perspectivas de futuro.

### 11.2. SITUACIÓN ENERGÉTICA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

La estructura de consumo energético en el Principado de Asturias, está lógicamente dominada por los combustibles fósiles, pero es bastante diferente a la del resto de España. La vinculación de la región asturiana con la minería del carbón otorga a este mineral un papel prominente y destacado en el balance energético. Así, considerando los datos correspondientes al año 2007, a nivel nacional el 48,0% de la energía primaria consumida proviene del petróleo, y el 13,7% del carbón. Sin embargo, en Asturias el carbón constituye la energía preponderante con un 70,7%, seguido muy de lejos por el petróleo con un 17,7% (Figura 1). El porcentaje de energía primaria consumida

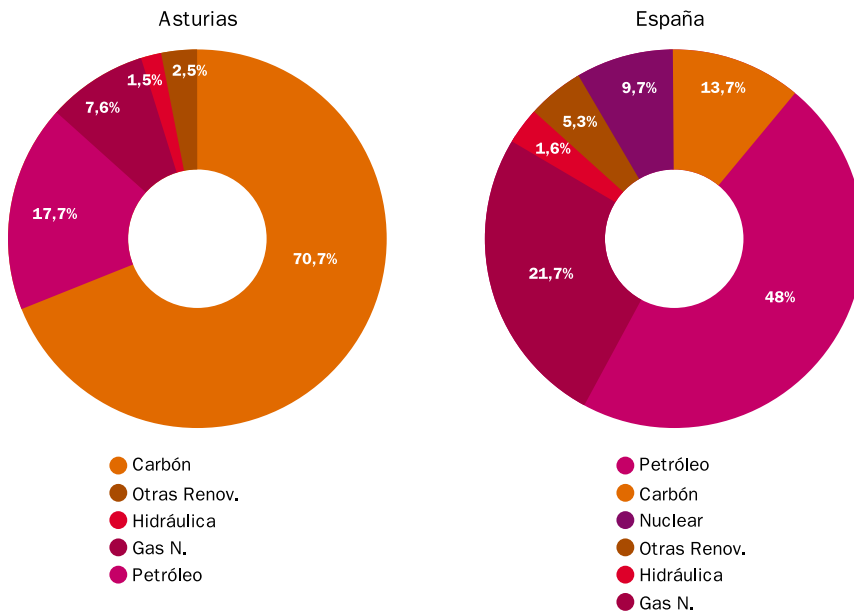


Figura 1. Comparación de los consumos de energía primaria en Asturias y en España (2007) (Fundación Asturiana de la Energía 2007, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio)

en Asturias supuso el 5,6% del total nacional en el año 2007.

En lo que respecta a la generación de energía eléctrica en Asturias, se sigue la misma tendencia, con una gran concentración de la producción en las centrales térmicas de carbón. Asturias cuenta con cinco centrales eléctricas (>50 MWe de potencia), cuyo combustible principal es el carbón, con una potencia instalada de 2,756 GWe, siendo la potencia total instalada en Asturias en el año 2007 de 3,941 GWe. La producción eléctrica durante ese año fue de 20276 GWh que representaron el 6,5% de la generación eléctrica en la España peninsular. La aportación de los grupos de carbón al total de generación de energía eléc-

trica en Asturias constituyó el 86,5% con un total de 17540 GWh.

Así, mientras la producción eléctrica nacional se encuentra bien diversificada, con un 24% debida a centrales de carbón, en el caso de Asturias se concentra en su mayoría en las térmicas de carbón, como se puede observar en la Figura 2, con una menor participación de la hidráulica (7,5%), resto de régimen especial (4,2%) y eólica (2,2%).

En lo que se refiere al reparto de los consumos de energía final por sectores de actividad, la existencia en Asturias de un tejido industrial constituido principalmente por industria básica, gran demandante de energía, y de transformación, cuyos procesos de fabricación re-

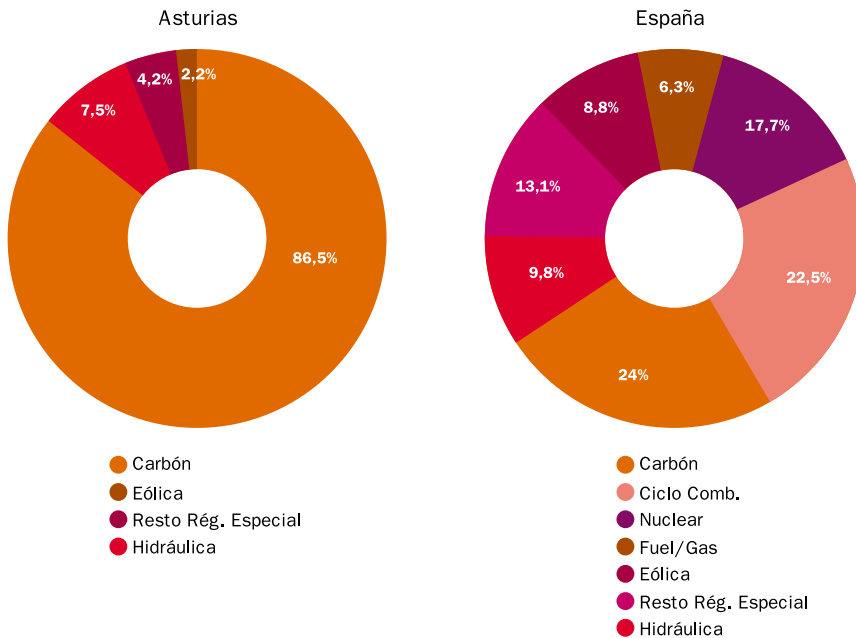


Figura 2. Producción de energía eléctrica en Asturias y en España por tipo de central (2007) (Fundación Asturiana de la Energía 2007, Ministerio de Industria, Turismo y Comercio)

quieren el consumo de distintos combustibles fósiles (metalúrgica, cementera, papelera, refractarias, etc.), así como industrias del cemento, plantas de fabricación de coque, industria del aluminio, etc., explica que este sector represente el 65,7% del consumo, seguido a gran distancia por el sector transporte con un 21,7%, y de los sectores residencial, servicios y primario con un 12,6%. En contraste, en España el sector que más consume es el transporte, 38%, seguido de la industria con un 34%. Esta estructura energética da lugar a que los indicadores energéticos regionales se sitúen en valores muy diferentes a los de la media del país. Así, en el año 2007 los consumos energéticos finales por habitante en Asturias y España fueron 4,267 y 2,411 tep

respectivamente, mientras que la intensidad energética primaria alcanzó los 0,484 ktep/M€, frente a 0,179 ktep/M€ a nivel nacional. Igualmente, mientras que la contribución de Asturias en población y el PIB fueron, respectivamente, el 2,4% y el 2,1% de los de España, las emisiones de GEI alcanzaron un 7,5% del total nacional en el año 2007.

### 11.3 CONTRIBUCIÓN DE LAS ENERGÍAS RENOVABLES

La relación entre energía y Cambio Climático no es unidireccional. A pesar de que el mayor esfuerzo investigador ha ido dirigido a analizar el vínculo entre el uso de la energía (especialmente los combustibles fósiles) y el

Cambio Climático, es claro que el Cambio Climático también afectará a la demanda y a la producción de energía futuras. En particular, las energías renovables mantienen esa doble relación con el Cambio Climático de forma intensa (Stern 1998). Por un lado, en todos los análisis y declaraciones de acción política las energías renovables son consideradas como un instrumento esencial de mitigación. Pero, por otro lado, al depender fuertemente del clima están mucho más expuestas que otras energías a los posibles cambios.

### LAS ENERGÍAS RENOVABLES EN ASTURIAS

Según el balance energético regional (Fundación Asturiana de la Energía 2007), la producción de energía primaria de Asturias ascendió en 2007 a 1.491 ktep. De esa cifra, 1174 ktep procedían de carbón asturiano y 317 ktep de origen renovable (hidráulica y eólica, principalmente)<sup>1</sup>, por lo que el peso de estas energías fue del 21,3% del total de la energía primaria producida (haciendo las cuentas correctamente, el porcentaje es aproximadamente del 45%). La energía hidráulica (118 ktep) y los residuos industriales (122 ktep) realizaron las principales aportaciones, seguidas ya muy de lejos por la energía eólica (38 ktep), el biogás (19 ktep), la biomasa forestal (19 ktep) y la energía solar (0,019 ktep). Aunque la mencionada proporción del 21,3% puede parecer elevada, hay que tener presente que:

Asturias tiene un bajo grado de autoabastecimiento energético (14,4% en 2007), y depende mayormente de las importaciones. Por este motivo, las energías renovables supusieron únicamente el 7% del consumo energético final (4518 ktep) y el 4,6% del consumo interior bruto (6881 ktep).

La producción de energías renovables está dominada por dos recursos (gran hidráulica y residuos industriales) cuyo aprovechamiento es muy cuestionado por la posibilidad de que afecte severamente al medio ambiente.

En definitiva, Asturias presenta un bajo nivel global de penetración de las energías renovables en su dieta energética y una estructura poco diversificada por tecnologías de producción de energía renovable.

Tal como se ha señalado, las **centrales hidráulicas** realizan la principal aportación energética renovable. Los ríos asturianos tienen un importante nivel de aprovechamiento hidroeléctrico, con 784 MWe de potencia instalada en 2007. De ellos, 697 MWe corresponden a la gran hidráulica y 87 a la minihidráulica (centrales de menos de 10 MWe). Se trata de una tecnología madura y que ha mostrado tasas muy bajas de crecimiento en la última década por restricciones medioambientales y administrativas.

La energía **eólica** comenzó a explotarse en Asturias en 2001, con la conexión a la red del primer parque eólico de la región. La potencia instalada en 2007 asciende a 276 MWe. A pesar de los rápidos avances tecnológicos, los problemas de evacuación de la energía generada y la moratoria decretada por el Gobierno del Principado han constreñido la expansión de esta energía en los últimos años. La situación ha comenzado a cambiar tras la aprobación de las directrices que vienen a ordenar el desarrollo eólico futuro, el levantamiento de la moratoria y el comienzo de las infraestructuras de evacuación (Consejería de Infraestructuras, Política Territorial y Vivienda 2008).

La energía **solar fotovoltaica** ha alcanzado en 2007 443 kWp instalados en Asturias, con unos incrementos sostenidos desde el año

<sup>1</sup> Esas cifras no se deben sumar porque su valor energético es muy diferente. Una unidad de electricidad vale aproximadamente 3 veces una unidad de carbón.

2000. La región ha permanecido al margen de los crecimientos desaforados vividos por el sector fotovoltaico en otras comunidades autónomas. Hay que destacar que aunque en Asturias hay mucha menor radiación solar que en otras regiones españolas, sí que hay mucha más que en Alemania, por ejemplo, que tiene 10 veces más instalaciones de energía solar fotovoltaica que España. Por su parte, las instalaciones acumuladas hasta 2007 para el aprovechamiento de la energía solar térmica suponen más de 20700 m<sup>2</sup> de captadores. En este caso, Asturias tiene una posición destacada en relación a otras comunidades autónomas del norte peninsular.

Los aprovechamientos energéticos de la **biomasa** existentes en Asturias se pueden clasificar en tres tipos de aplicaciones: térmicas, eléctricas y biocarburantes. Las aplicaciones térmicas se concentran en el ámbito industrial (con un consumo de 126 ktep en 2007), aunque en los últimos años se observa un incipiente segmento de aplicaciones domésticas (1 ktep en 2007). Los usos eléctricos de la biomasa se concretan en 34 MW de potencia, correspondientes a sendas centrales que utilizan residuos de la madera y biogás (40 ktep en 2007). Finalmente, los biocarburantes se producen en dos plantas con una capacidad total de 8000 toneladas anuales (3 ktep en 2007).

Por lo que respecta a otros recursos energéticos renovables (energía geotérmica, de las olas, de las mareas, eólica marina, etc.), no existen por el momento en Asturias instalaciones comerciales en funcionamiento. No se debe descartar la generación eléctrica y de calor con instalaciones solares de media y alta temperatura en hibridación con biomasa e incluso con gas natural y/o con carbón.

### LAS ENERGÍAS RENOVABLES COMO INSTRUMENTO DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Para mitigar el Cambio Climático es imprescindible disminuir la emisión de gases de efecto invernadero. Con la situación actual, de bajísimo rendimiento global del sistema energético, lo más importante es mejorar este rendimiento para que no se siga aumentando la cantidad de energía primaria para satisfacer las necesidades energéticas básicas. Por eso, el instrumento más importante de mitigación del Cambio Climático es el ahorro y la eficiencia energética y, en paralelo, la sustitución de fuentes energéticas con carbono en su composición por otras –como las renovables– que no producen gases de efecto invernadero.

Siguiendo esa pauta, un aspecto fundamental en la tarea de mitigación es conseguir la complicidad de los consumidores –incluidos las industrias y los servicios– en medidas de ahorro y eficiencia. En el sector doméstico se harán los comentarios oportunos en el apartado correspondiente y aquí hacemos votos porque el sector transporte modifique sustancialmente su comportamiento energético, con cambios importantes en vehículos, tratamiento urbanístico y, sobre todo, de hábitos de los ciudadanos.

En el sector industrial es fundamental –sobre todo en Asturias– un cambio de mentalidad hacia pautas de ahorro y de eficiencia, principalmente en base a criterios de autogeneración y cogeneración apoyándose en energías renovables o en hibridación con ellas.

El aprovechamiento de los recursos energéticos renovables es uno de los instrumentos clave para tratar de mitigar el Cambio Climático. La sustitución de combustibles fósiles por energías renovables medioambientalmente

bien diseñadas permitiría reducir drásticamente las emisiones de CO<sub>2</sub>. Por ejemplo, Fundación Asturiana de la Energía (FAEN) ha estimado que las energías renovables producidas en Asturias en 2007 evitaron la emisión a la atmósfera de 2240979 toneladas de CO<sub>2</sub> (1844751 toneladas por generación de electricidad, 387939 toneladas por usos térmicos y 8289 toneladas en el transporte).

De ahí que las políticas públicas traten de estimular el aprovechamiento de estos recursos autóctonos y sostenibles. Actualmente se está discutiendo un ejercicio de prospectiva en el ámbito energético regional (Consejería de Industria y Empleo 2007, Parlamento Asturiano 2008). Partiendo de una previsión de la demanda en el año 2012, se establecen unos escenarios de cobertura de la misma. En lo que se refiere a las energías renovables, se prevé una diversificación tanto de sus fuentes como de sus consumos (Tabla I). Los dos recursos llamados a desarrollarse más intensamente a medio plazo son el eólico y la biomasa, aunque como se ha comentado anteriormente, no debería olvidarse el potencial de la energía solar. Por otro lado, la ampliación de sectores consumidores se concretaría en una intensificación de la generación de electricidad a par-

tir de biomasa y la consolidación de sectores emergentes como los biocarburantes para el transporte, y la energía solar y los pélets en la edificación.

De cumplirse las estimaciones del escenario básico, las energías renovables multiplicarían por tres su aportación en términos de energía primaria (Tabla II), pasando a representar un 5,8% del total de Asturias en 2012 y multiplicando por más de dos su peso relativo respecto a 2005 (2,4%). En todo caso, este incremento a medio plazo de las energías renovables no será capaz de mitigar sustancialmente las emisiones de CO<sub>2</sub>, dado que la política energética regional sigue realizando una apuesta decidida por la generación termoeléctrica basada en combustibles fósiles.

No se dispone de perspectivas detalladas sobre el sector energético asturiano a plazos más dilatados, por lo que no es posible predecir el potencial de mitigación de las energías renovables más allá del año 2012. En este sentido, resultaría conveniente contar con análisis a largo plazo para Asturias en línea con los realizados por el Instituto de Investigación Tecnológica para el conjunto de España (García 2005, 2007). En estos trabajos se cuantifica globalmente la capacidad de generación

**Tabla I.** Objetivos según escenarios para el año 2012 (Consejería de Industria y Empleo 2007)

	Unidad	2005	2012	
			Escenario básico	Escenario intensivo
Eólica	MWe	162	985	1150
Minihidráulica	MWe	87	97	102
Solar térmica	m <sup>2</sup>	15065	50832	60000
Solar fotovoltaica	MWe	0,369	4,2	9,27
Biomasa	MWe	34	70	70
Biocarburantes	tep/año	3600	243000	351000
Co-combustión	MWe	0	0	35



Tabla II. Consumos de energía primaria (ktep) (Consejería de Industria y Empleo 2007)

	2000	2005	2012	Variación 2005-2012
Carbón	6206	6278	5586	-11,02%
Peróleo	1335	1246	1285	3,13%
Gas natural	410	584	2724	366,44%
Hidráulica	132	132	143	8,33%
Renovables	99	199	603	203,02%
Total	8182	8439	10332	22,43%

de electricidad con fuentes renovables para el año 2050 y se evalúa la factibilidad económica de un sistema eléctrico peninsular basado en energías renovables.

En el caso de Asturias, existen algunos trabajos recientes (realizados por FAEN) de alcance más limitado que evalúan en detalle el potencial de ciertos recursos renovables: (i) mapa solar de la región elaborado para la Fundación Estudios Calidad Edificación Asturias (FECEA); (ii) estudio de caracterización de la biomasa forestal; (iii) investigación sobre el aprovechamiento energético de las olas en la costa asturiana, por encargo de la Dirección General de Minería y Energía; y (iv) evaluación de la valorización energética de los purines, por encargo de la Consejería de Medio Ambiente. Igualmente, se han realizado con fines de investigación o por iniciativa de promotores particulares y entidades locales multitud de estudios puntuales de evaluación de recursos eólicos, solares, minihidráulicos, geotérmicos y de biomasa. En conjunto, estos estudios apuntan a que hay un gran potencial de recursos sin explotar, a pesar de que las tecnologías actuales y las condiciones legales (*feed in tariff*) para la electricidad renovable y la cogeneración permiten un aprovechamiento económicamente rentable en el mercado energético español. Generalmente, los trabajos que evalúan recursos parten de la premisa

de estabilidad climática y asumen que los datos medios obtenidos serán estables en el horizonte temporal de referencia. Una visión en sentido contrario es discutible y no se dispone de información veraz toda vez que hasta ahora no se han producido variaciones medibles.

#### IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS ENERGÍAS RENOVABLES

La disponibilidad de los recursos energéticos renovables depende directamente del clima, aunque todavía no son claros y definidos los cambios. Por lo tanto, resulta muy importante anticipar (aunque sea difícil su evaluación) cuáles pueden ser los efectos del Cambio Climático en los recursos renovables. No en vano, los modelos climáticos sugieren que las alteraciones en las temperaturas se verán acompañadas de cambios en otras variables tales como radiación solar, humedad, nubosidad, precipitaciones y vientos. Estas variables son relativamente críticas (pero ni tanto ni tan rápido como se está dando a entender) en la formación de todos los recursos energéticos renovables que, en el momento presente, disponen de tecnologías que permiten su aprovechamiento en condiciones relativamente eficientes.

Seguidamente se discutirán los posibles impactos del Cambio Climático en cada uno de los segmentos del sector de las energías

renovables en Asturias. No obstante, conviene señalar que no hay evidencias directas disponibles, y que el análisis se basa en la comparación y trasposición de resultados de trabajos publicados sobre otras zonas (también basados en elucubraciones sin base experimental).

Existe un cierto consenso en que la producción de las grandes centrales hidráulicas se verá muy afectada en áreas geográficas como el África Subsahariana (Harrison et al. 2006) o la Meseta peninsular (Cieto et al. 2008). No parece que vaya a ser éste el caso de Asturias por dos motivos. Por una parte, los escenarios de precipitaciones muestran únicamente una ligera tendencia a la disminución del promedio anual. Por la otra, los grandes aprovechamientos hidroeléctricos de la región cuentan con una notable capacidad de regulación, por lo que los impactos de la variabilidad intra e interanual se verían atenuados. Si a ello se añade que se trata de instalaciones mayormente amortizadas y que no precisan de grandes inversiones, puede concluirse que la posible disminución de los flujos de agua no afectará a su viabilidad. Además, no es probable que se desarrollen nuevos aprovechamientos en Asturias con una finalidad primordialmente hidroeléctrica.

Los efectos sobre centrales minihidráulicas han sido muy poco estudiados, siendo el trabajo de Harrison (Harrison 2006) sobre dos instalaciones en Escocia la excepción más notable. En Asturias las minicentrales tienen poca o ninguna capacidad de almacenamiento, por lo que serán más vulnerables ante cualquier cambio en la cantidad y, sobre todo, distribución de los flujos que las grandes hidráulicas. En ciertos casos podría tener sentido algún tipo de adaptación (por ejemplo, la

repotenciación) y los nuevos proyectos (si los hubiere) deberían ser más robustos desde el punto de vista climático (Harrison 2006). Sobre todo habría que pensar en instalaciones minihidráulicas ligadas a parques eólicos (bombeos localizados) para aumentar la capacidad de regulación y control del sistema eléctrico asturiano y español.

Diversos estudios han asociado el Cambio Climático con cambios a largo plazo en los recursos eólicos de áreas como el Norte de Europa (Prior et al. 2005), el Este de la Cuenca Mediterránea (Bloom et al. 2008), el Reino Unido (Harrison et al. 2008), o los Estados Unidos continentales (Breslow y Sailor 2002). Las proyecciones sobre el recurso eólico medio de Asturias apuntan a que habrá cambios poco significativos en toda la región, con un cierto incremento en verano que será mayor en las zonas Oeste y Sur. Este cambio supondría una mejora en los meses valle y es especialmente importante por cuanto la potencia eólica instalada está y estará concentrada en el Occidente de Asturias. De todas formas, es necesaria una gran cautela al respecto, puesto que lo relevante es el régimen de vientos del emplazamiento concreto y no conviene olvidar que los proyectos eólicos se han desarrollado con series de datos históricos extremadamente cortas. Por otro lado, vincular la electricidad eólica a la minihidráulica debería dar estabilidad al sistema completo.

El aprovechamiento fotovoltaico y térmico de la energía solar en Asturias se ha enfrentado al hándicap de la mentalización de los responsables administrativos, y en general de la población, sobre la baja insolación de la región. Esta circunstancia no es cierta, aunque está justificada cuando se ven los mapas del tiempo de España y se observa que hay más

sol en el sur que en el norte; pero si se comparara, por ejemplo, con Alemania, la visión sería diferente y más acorde con la realidad. Las proyecciones apuntan a una disminución de la nubosidad, que sería más acusada en el verano y por tanto sería mayor la radiación solar disponible. Asimismo, se observa un calentamiento creciente, tanto de la media anual como de las distintas estaciones. Como en el caso de la nubosidad, los aumentos de temperatura serán más fuertes en el verano. Estos cambios supondrán una mejora en las condiciones del recurso solar, que redundaría en un aumento de la rentabilidad de los proyectos futuros.

El Cambio Climático incidirá de forma mucho más compleja en la producción de biomasa que en los restantes recursos renovables. En el caso de Asturias, el tipo de biomasa con aplicaciones energéticas más importante es la de origen forestal. Tal como se pone de manifiesto en el capítulo sobre el sector forestal de este proyecto (Cámara y Majada 2008), apenas existen evidencias directas documentadas sobre los efectos del Cambio Climático en los sistemas forestales cantábricos. Ahora bien, no es menos cierto que se observan ciertos cambios y se pueden prever múltiples impactos que se acelerarían con el paso del tiempo. En todo caso, se hará necesaria una gestión forestal más adaptada al Cambio Climático y que permita conciliar los distintos usos de los ecosistemas forestales (uno de ellos, pero no el único, sería la generación de biomasa para aplicaciones eléctricas y térmicas).

Finalmente, y aunque no sean objeto de discusión, el Cambio Climático también provocará impactos en otros recursos energéticos renovables que por el momento no han sido desarrollados en Asturias (energía eólica mari-

na, de las olas, de las mareas) pero que habría que desarrollar.

#### 11.4 AHORRO ENERGÉTICO, EFICIENCIA ENERGÉTICA Y ENERGÍA SOLAR EN LA EDIFICACIÓN

Al ser la energía un elemento clave dentro del desarrollo sostenible, la causa de algunos de los problemas ambientales más graves del Planeta y el motor que mueve el desarrollo, no se puede hablar de desarrollo sostenible sin cambiar el modelo energético actual. Estas consideraciones están dando lugar a que en todos los ámbitos se hable de eficiencia energética como la adecuada administración del uso de la energía y, en consecuencia, de su ahorro en la industria, transporte y edificación.

Por otro lado, si se considera la situación energética en España respecto al ahorro energético, se debe potenciar el uso de fuentes renovables y aprender a usar eficientemente la energía, para lo que es necesario la concienciación del usuario. Una tercera parte del consumo de energía final se realiza por el consumidor doméstico, representando un 16,8% el consumo total de energía en los hogares españoles y un 12% el consumo de los automóviles.

El consumo doméstico en España sitúa a nuestro país como el menos intensivo energéticamente con 1,11 tep/hogar, es decir, un 35% inferior al consumo energético medio de un hogar europeo, debido fundamentalmente a las mejores condiciones climáticas de nuestro país (Figura 3). Durante los últimos años, el consumo energético por hogar en España muestra una tendencia ligeramente creciente, debido a las mejoras del confort y equipamien-

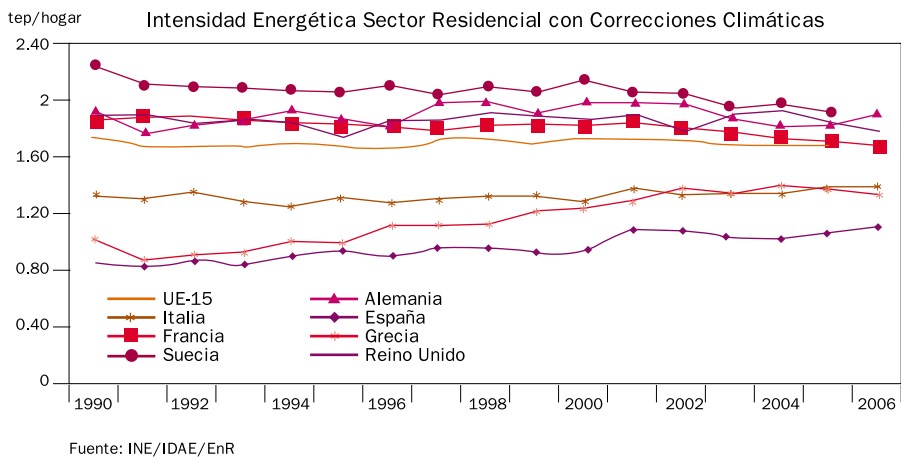
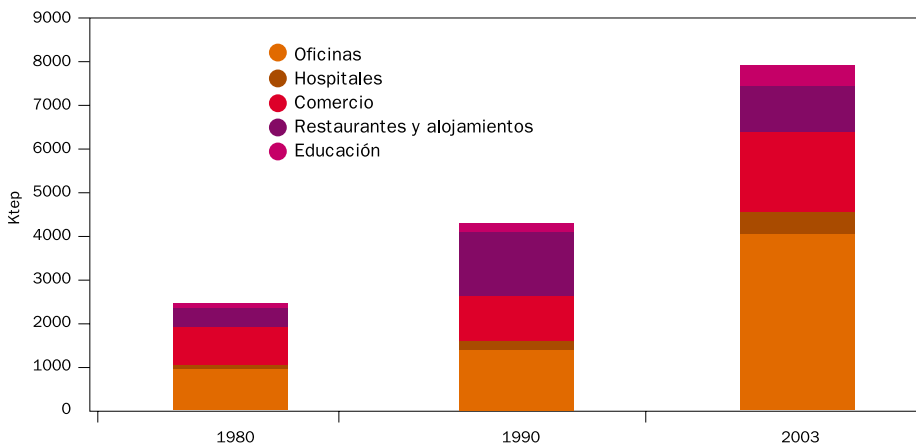


Figura 3. Intensidad energética en el sector residencial (consumo de energía por hogar).



Nota: Las estadísticas sobre consumo de energía final proceden del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio; excluidos consumos no energéticos.

Figura 4. Consumo del sector servicios por sectores, 1980-2003.

to y, en particular, a la mayor electrificación de las viviendas. La calefacción es el uso mayoritario de la energía en los hogares: las mejoras en el equipamiento en calefacción (más de tres millones de familias disponen de sistemas de calefacción individual centralizada) han incrementado los consumos para este uso.

Como se observa en la Figura 4, en los edificios de servicios, o no residenciales, el mayor consumo de energía se da en los edificios de oficina seguidos de los de comercio y alojamientos. Existen múltiples posibilidades de ahorrar energía en los edificios utilizando las energías renovables, y sobre todo la energía solar, como fuente energética. Esto se obtiene utilizando la energía solar de forma pasiva a través de una arquitectura coherente energéticamente o Arquitectura Bioclimática. Con esta arquitectura, teniendo en cuenta las técnicas naturales de acondicionamiento y los componentes de la envolvente, se pueden obtener edificios eficientes energéticamente. Además se puede utilizar la energía solar para aplicaciones térmicas de calentamiento de fluidos y de producción de electricidad usando sistemas solares térmicos y fotovoltaicos integrados en la edificación. Para conseguir estos objetivos, se deben desarrollar componentes y técnicas de ahorro energético en la edificación, utilizando la energía solar en sus diferentes aspectos en un sector con consumo de energía convencional alto (31% en España y 40% en los países de la UE), y que presentan un gran potencial de ahorro. Se ha comprobado que el consumo energético en los edificios podría reducirse más de un 50% en la UE para el año 2010 mediante la integración de sistemas solares pasivos y activos desde las primeras fases del diseño del edificio.

### CONSIDERACIONES SOBRE EL AHORRO DE ENERGÍA EN LOS EDIFICIOS

Para el acondicionamiento térmico del edificio (calefacción/refrigeración), considerando un edificio convencional (entendiendo por tal un edificio construido según las costumbres constructivas de cada lugar), las demandas energéticas globales varían ostensiblemente dependiendo de varios factores que básicamente podemos clasificar en los siguientes:

- El clima. Es evidente que los gastos en calefacción, para dos edificios idénticos, aumentan en climas fríos, por el contrario los gastos de refrigeración serán superiores en climas cálidos.

- La función. Un edificio de oficinas tendrá necesidades muy diferentes en calidad y cantidad de energía que una vivienda, un hotel o un hospital. La demanda variará asimismo de forma diferente a lo largo del día.

- La calidad de la construcción. Dos edificios en un mismo clima presentan consumos diferentes debido a la calidad tanto de los materiales como del acabado. Un edificio con una carpintería muy mala presentará infiltraciones muy elevadas frente a otro de buena carpintería.

- El diseño del edificio. Las ganancias solares, que dependen de la orientación de los huecos, la posibilidad de generar ventilaciones, etc., son conceptos de diseño que nada tienen que ver con la calidad de la construcción y que, en cambio, tienen una posibilidad de ahorro energético superior al 50 %.

- El uso o manipulación que los ocupantes hacen del mismo (desde la manipulación manual hasta un sofisticado diseño de control automático). La optimización de la operación del edificio es un factor crítico para la consecución de ahorros de energía.

Ahora bien, para obtener edificios eficientes energéticamente habrá que empezar por planear y diseñar la ciudad para que permita aprovechar las condiciones climáticas, desde el punto de vista energético, luego se deben considerar los aspectos energéticos en los planeamientos urbanísticos. Una primera regla del urbanismo consciente energéticamente sería orientar las calles de forma lineal de tal modo que los edificios tuvieran una fachada sur para tener posibilidades de optimizar la ganancia solar. Además la relación entre el ancho de la calle y la altura de los edificios debe mantener una determinada proporción para que se obtengan insolaciones adecuadas para el acondicionamiento térmico de los espacios habitados.

#### CONSIDERACIONES RELATIVAS A LA NORMATIVA EN LA EDIFICACIÓN

En España actualmente existe bastante normativa, como se ve en la Bibliografía, y desde el año 2006 es de obligado cumplimiento el Código Técnico de la Edificación (CTE) donde se exige la reducción de la demanda de energía desde el diseño de los edificios. Además existe la certificación de la eficiencia en los edificios que es una exigencia derivada de la Directiva 2002/91/CE que se traspone al ordenamiento jurídico español a través del Real Decreto 47/2007 en el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de los edificios de nueva construcción (Certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción).

El Real Decreto 47/2007 define la calificación energética como la expresión del consumo que se estima necesario para satisfacer la demanda energética del edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y

ocupación. Se conseguirá una reducción del consumo mediante un aumento del aislamiento, disminución de las infiltraciones, aumento o disminución de la ganancia solar, protección frente a la radiación solar en verano, disminución de las pérdidas de las ventanas, disminución de las pérdidas por transferencia, etc.

Es importante dejar claro que tal como está redactado el RD 47/2007, a fecha de hoy no se exigen las pruebas finales una vez terminado el edificio. Se deja la posibilidad de que las Comunidades Autónomas obliguen a realizarlas, pero hoy por hoy no son obligatorias aunque se deberían fijar estas condiciones para el Principado de Asturias.

Considerando estas circunstancias en la Estrategia de Desarrollo Sostenible del Principado de Asturias (Oficina para la sostenibilidad, el Cambio Climático y la participación 2008), en las Claves para avanzar hacia la sostenibilidad se dan una serie de Objetivos Específicos y se marcan unas Actuaciones. Entre estas actuaciones se enmarca la AE6 que dice: Incorporar la eficiencia energética, junto con los criterios de urbanismo y arquitectura bioclimática y cuantos otros en base a las mejores tecnologías disponibles colaboren a alcanzar el objetivo de máxima reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera, entre los principios que deberán ser tenidos en cuenta en la ubicación, diseño y construcción de nuevos edificios públicos, centros y servicios educativos y viviendas de promoción pública, en los proyectos y planes que se realicen a partir del momento de la aprobación de la Estrategia. Pero no se fijan unos límites y objetivos a conseguir, cosa que se debería planear haciendo obligatorio el considerar los aspectos energéticos en todos los proyectos arquitectónicos: tanto nueva construcción como rehabilitación, a partir de

cálculos teóricos o simulación, que se deberían comparar con los resultados medidos en condiciones reales de uso.

#### RECOMENDACIONES PARA EL AHORRO Y LA EFICIENCIA ENERGÉTICA EN LA EDIFICACIÓN

La vivienda y el sector terciario abarcan el mayor número de consumidores finales de energía y existe un gran potencial en el aumento de la eficiencia energética. En el Principado de Asturias se pueden también obtener estos resultados si se exigen en todos los diseños, tanto de nueva construcción como de rehabilitación, las consideraciones de clima y orientación en los proyectos arquitectónicos, pues los verdaderos ahorros energéticos se consiguen partiendo del diseño.

Es mucho más eficiente disminuir la demanda energética del edificio que aumentar el rendimiento de los equipos, si bien la optimización se consigue realizando ambas acciones simultáneamente.

La regulación debería ser más exigente, imponiendo requerimientos mínimos de eficiencia energética, exigiendo que los productos menos eficientes deberían sacarse del mercado, como en su día se abandonó la gasolina con plomo. Otra opción sería la penalización fiscal, como la reciente propuesta de modificar el régimen fiscal de los vehículos en función de sus emisiones de CO<sub>2</sub> en lugar de su cilindrada, lo mismo se debería hacer en los edificios. A este respecto existen iniciativas a nivel internacional como la sustitución y no comercialización, por ley de las bombillas incandescentes en Nueva Zelanda.

Aunque en investigación se han hecho muchas cosas en la UE y en España dentro del Área de conocimiento “Energía solar en edificios”, todavía queda mucho por hacer respecto

a aspectos de refrigeración tanto natural como solar, conocido como “frío solar”. En España se ha hecho bastante en este aspecto y muchos de estos resultados están incluidos en los trabajos desarrollados para la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) donde se establece los requisitos técnicos que deben cumplir las edificaciones, para ello se ha elaborado el Código Técnico de la Edificación (CTE), que es el marco normativo que establece las *exigencias básicas de calidad de los edificios y de sus instalaciones*.

Además la investigación debe continuar para dar cumplimiento a todo lo marcado en la Directiva sobre “Eficiencia energética en los edificios” aprobada en Diciembre de 2002 para fomento de la eficiencia energética de los edificios de la UE, haciendo énfasis en el “Ahorro potencial a través del diseño y la orientación de los edificios: la dimensión bioclimática”.

En suma, aunque no son demasiadas las realizaciones en España, el tema de Arquitectura Bioclimática en nuestro país es un área que está en desarrollo. Un ejemplo son las actividades que se están llevando a cabo en los Proyectos Singulares Estratégicos como es el PSE-ARFRISOL sobre Arquitectura Bioclimática y Frío Solar, cuyo objetivo principal es el demostrar que la arquitectura bioclimática y la energía solar de baja temperatura son los elementos básicos adecuados para la edificación del futuro; para ello se están analizando y monitorizando (evaluando en condiciones reales de uso) varios edificios públicos de oficinas simbólicos, tanto de nueva planta como a rehabilitar, construidos en cinco emplazamientos con condiciones climatológicas distintas (Almería: Universidad y PSA, Madrid, Soria y Asturias) considerados como prototipos experi-

mentales. Para llegar a demostrar que en ellos se puede conseguir un ahorro energético del 80 al 90 % junto con la disminución de emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.

### 11.5 EMISIONES DE GASES DE EFECTO INVERNADERO

Las emisiones de CO<sub>2</sub> per capita en Asturias en 2007, fueron de 30,9 tCO<sub>2</sub> eq/hab, cuando la media nacional fue de 9,8 t CO<sub>2</sub> eq/hab. En Asturias más de la mitad de la energía generada se exporta, y un porcentaje del 70% de la energía eléctrica consumida tiene como destino el sector industrial. Las emisiones globales de GEI en Asturias han pasado de 27,390 Mt CO<sub>2</sub> eq., en 1990 a 33,268 Mt CO<sub>2</sub> eq. en 2007, lo que equivale a un incremento del 21,5% respecto del año base. Este incremento ha experimentado notables variaciones desde el año 1990, con un aumento sustancial a partir del año 1998, fiel reflejo del despegue de la economía asturiana en el último quinquenio de la década de los 90 del siglo

pasado. No obstante, aunque Asturias es una de las regiones más intensivas en emisiones, tanto por la presencia de centrales térmicas de carbón como por la composición del sector de industrias básicas, es la Comunidad Autónoma con menor incremento de emisiones respecto del año base. El aumento de las emisiones de GEI en Asturias es notablemente inferior al crecimiento medio a nivel de España (49,5% y 52,3%, en 2006 y 2007, respectivamente), como también se observa en la Figura 5.

Asimismo, si en el balance de emisiones de CO<sub>2</sub> se excluyen las ocasionadas por los sectores incluidos en el Plan Nacional de Asignación, tales como las centrales de carbón, las refinerías de petróleo, cementeras, papeleras, siderurgias, etc., se obtiene una foto menos distorsionada y que refleja una visión más ponderada y más ajustada a la población y al desarrollo económico e industrial de cada región. De este modo se obtienen los datos representados en la Figura 6, donde se puede observar el acusado descenso de la región asturiana en el contexto nacional de emisiones de CO<sub>2</sub>. En

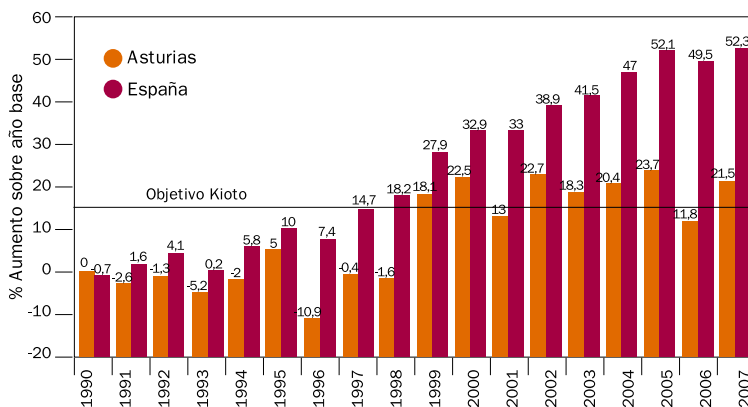


Figura 5. Evolución de las emisiones de GEI respecto a 1990 en porcentaje (Ministerio de Medio Ambiente 2008, Rodrigo y Santamarta 2007)



este caso el Principado ya no sólo deja de ser el principal emisor de CO<sub>2</sub> per cápita, sino que se encuentra en unas cifras muy similares a la media española.

La distribución de las emisiones de GEI en la región se caracteriza por la elevada aportación de los gases procedentes de las actividades energéticas (65,6%), correspondiendo el resto a la industria (20,1%), al transporte (11,3%) y a otros sectores (3,0%). Este hecho tiene su explicación en que el tejido industrial de Asturias es intensivo en carbono, ya que además de las emisiones de CO<sub>2</sub> generadas por la combustión en industrias del sector energético, la industria no energética contribuye en segundo lugar en importancia a la emisión de GEI. Se trata de una potente industria básica y de transformación, cuyos procesos de fabricación requieren el consumo de distintos combustibles fósiles. También hay una presencia importante en Asturias de industrias que

tienen procesos sin combustión con elevada emisión de CO<sub>2</sub> y otros gases de efecto invernadero.

Del total de emisiones de CO<sub>2</sub> eq. en Asturias en el año 2007, las centrales de carbón contribuyeron con un 52,3%, la siderurgia con un 17,8%, y las cementeras con un 5,6%. Sin embargo, hay que tener en cuenta tanto el escenario particular del sector de generación de energía eléctrica como la actividad productiva que da lugar a las particularidades de la región asturiana con respecto a las emisiones de GEI. El Plan Nacional de Asignación 2005-2007 supuso un esfuerzo de reducción en Asturias del 11% de emisiones de GEI correspondientes a los sectores regulados (industrias con mayor proporción de emisiones). Este primer paso se intensificará en el Plan Nacional de Asignación de Derechos de Emisión 2008-2012, que supondrá reducciones de las emisiones de los sectores regulados en Asturias en algo

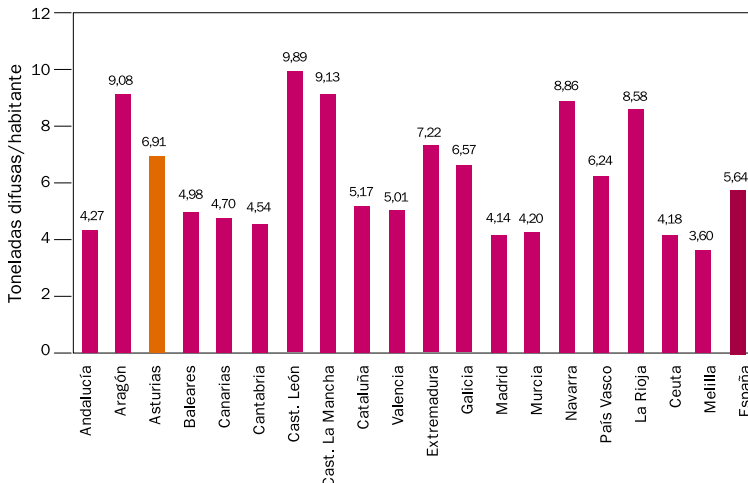


Figura 6. Emisiones de GEI *per cápita* considerando solamente la contribución de los sectores difusos.

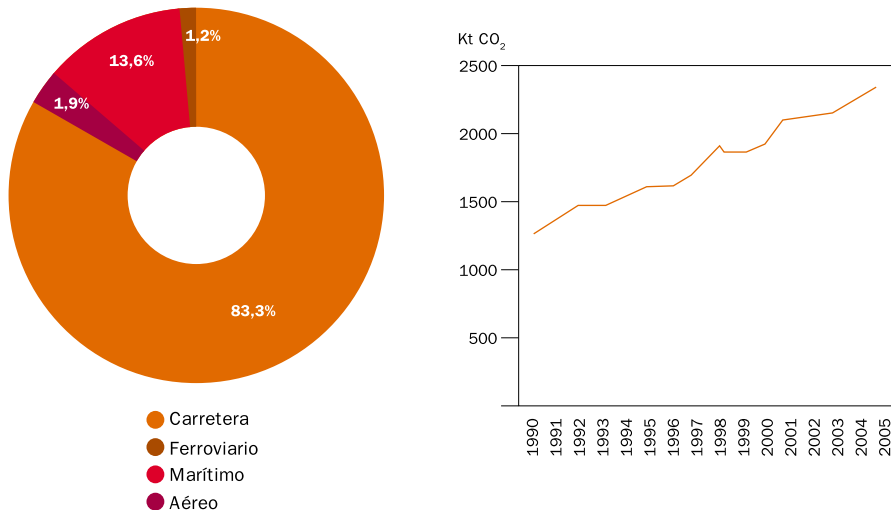


Figura 7. Consumo energético por sectores en el transporte y emisiones de CO<sub>2</sub> debidas al transporte en Asturias (Ministerio de Medio Ambiente 2008, Fundación Asturiana de la Energía 2007)

más del 18%, pasando de las 22 Mt CO<sub>2</sub> eq. asignadas en 2007, a las 18 Mt CO<sub>2</sub> eq. en 2012 (RD 1370/2006, de 25 de noviembre de 2006. Plan Nacional de asignación de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, 2008-2012).

Por otro lado, los sectores difusos son aquellos sectores no incluidos en la Ley 1/2005, por la que se regula el régimen del comercio de derechos de emisión de gases de efecto invernadero, y comprenden los sectores transporte, industrial, residencial, comercial e institucional, agrario, residuos, y gases fluorados. De todos ellos el más intensivo en emisiones de gases de efecto invernadero es el del transporte. En Asturias, este sector evidencia un crecimiento notable y sostenido de las emisiones desde 1990. Este aumento se corresponde con el crecimiento del parque móvil de vehículos privados y el importante desarrollo

del transporte de mercancías por carretera (Rodrigo y Santamarta 2008). Las características de región periférica peninsular, unidas a las condiciones orográficas regionales, determinan las particularidades del sector. Así, los medios de transporte más significativos en Asturias son el transporte por carretera y el marítimo (Figura 7).

### 11.6 ESTRATEGIA ENERGÉTICA DEL PRINCIPADO DE ASTURIAS

En Asturias existen cinco centrales eléctricas con una potencia mayor o igual que 50 MWe, cuyo combustible principal es el carbón. Como ya se ha indicado, Asturias está fuertemente ligada a este mineral y, aunque la producción ha ido disminuyendo paulatinamente en los últimos años, en la estrategia energética que se está diseñando para el Principado

de Asturias con horizonte al año 2012, se plantea que las centrales térmicas de carbón mantengan su producción, así como que el carbón continúe siendo la fuente de energía primaria más consumida. Este hecho dificultará en gran medida las acciones encaminadas a lograr un desarrollo sostenible en la región asturiana.

No obstante, los vaivenes en los precios de los combustibles, tradicionalmente asociados al petróleo y al gas natural, ya han empezado a afectar al carbón, con un fuerte incremento de precio en el mercado internacional. La combinación de las penalizaciones asociadas al Protocolo de Kioto por las emisiones de CO<sub>2</sub> han aumentado en gran medida el coste por kWh producido. Para los próximos años se espera que el carbón continúe siendo la fuente más consumida en Asturias, aunque se prevé que, con el mayor peso del gas natural (7,6% en 2007 a 26,3% en 2012), y en menor medida de las energías renovables (4% en 2006 a 7,2% en 2012), la dieta energética asturiana esté más diversificada, a pesar de que los combustibles fósiles seguirían contribuyendo con un 92,8% al consumo de energía primaria (96% en 2007).

La estrategia energética de Asturias, que está siendo objeto de debate en el Parlamento Regional (Parlamento Asturiano 2008), se fundamenta en cinco líneas estratégicas:

- Mantenimiento del carbón como la principal energía de la región.
- Mejora de la eficiencia energética de la economía asturiana.
- Impulso al desarrollo de las energías renovables.
- Mejora de infraestructuras energéticas de transporte.
- Equilibrio de la estructura energética primaria.

Entre las actuaciones que se han diseñado para contribuir al desarrollo sostenible de Asturias, se encuentran:

- La elaboración y aplicación de una Estrategia Asturiana de Cambio Climático, de forma congruente con la Estrategia elaborada a nivel estatal.
- El diseño de acciones para la reducción de emisiones en los sectores difusos, promoviendo en todo tipo de políticas sectoriales medidas de ahorro y eficacia energética
- Profundizar en la mejora de la eficiencia energética de la industria regional
- Impulsar la I+D+i en el sector energético, en campos tales como la captura de CO<sub>2</sub>.
- Mantener e incrementar los programas de ayudas y subvenciones encaminadas al fomento del ahorro y la eficiencia energética, así como al aprovechamiento de las energías renovables
- Impulsar la ejecución de las previsiones de la planificación energética en el Principado en lo que se refiere a energías renovables de forma que, al menos, se alcancen los 1150 MWe de energía eólica instalada, los 9,27 MWe de fotovoltaica y los 60000 m<sup>2</sup> de solar térmica en 2012, en un escenario intensivo.
- Promocionar la producción de biodiésel en la región e impulsar el empleo del mismo y de otros combustibles más limpios que los actuales en el transporte público.

### 11.7 CUESTIONES QUE DEBERÍAN TENERSE EN CUENTA PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

- Realización de estudios de prospectiva energética regional a largo plazo.

- Evaluación de la sensibilidad de los recursos energéticos renovables de Asturias y de sus opciones de aprovechamiento ante diferentes escenarios de Cambio Climático.

- Valoración correcta de todas las formas energéticas que intervienen en los análisis, y ligada a las emisiones de gases de efecto invernadero. Aplicación adicional de la metodología de sustitución en la valoración de energía primaria.

- Construir instalaciones ejemplarizantes de sistemas energéticos optimizados en el sentido termodinámico y medioambiental. Por ejemplo, una instalación híbrida con solar de alta temperatura, biomasa y carbón con cogeneración y, si tiene sentido en la aplicación, trigeneración.

### 11.8 BASES DE DATOS EXISTENTES

Existen diversas estadísticas públicas sobre producciones, capacidades y consumos energéticos. Seguidamente se detallan las principales.

Comisión Nacional de Energía (CNE). *Información básica de los sectores de la energía*. 1996-2008.

Federación Nacional de Empresarios de carbón (CARBUNION). *Memoria Anual*.

Fundación Asturiana de la Energía (FAEN). *Balance de energía*. 2000-2007.

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (MITYC). *Estadística de la industria de energía eléctrica*. 1958-2006.

Red Eléctrica de España (REE). *Informe del sistema eléctrico*. 1995-2007.

UNESA. Asociación Española de la Industria Eléctrica. *Memoria estadística eléctrica*.

### 11.9 REFERENCIAS

Bloom, A., Kotroni, V., Lagouvardos, K. 2008. Climate change impact of wind energy availability in Eastern Mediterranean using the regional climate model PRECIS. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 8:1249-1257.

Breslow, P.B., Sailor, D.J. 2002. Vulnerability of wind power resources to climate change in the continental United States. *Renewable Energy*, 27(4):585.

Cámara, A., Majada, J. 2008. Impactos sobre el sector forestal en Asturias. Proyecto Climas. Documento de trabajo en curso.

Cleto, J., Simoes, S., Fortes, P., Seixas, J. 2008. Renewable energy sources availability under climate change scenarios. Impacts on the Portuguese energy system. *European Electricity Market International Conference*. 28-30 Mayo 2008.

Consejería de Industria y Empleo 2007. *Estrategia Energética del Principado de Asturias con horizonte al año 2012*. Gobierno del Principado de Asturias.

Consejería de Infraestructuras, Política Territorial y Vivienda 2008. *Directrices sectoriales de ordenación del territorio para el aprovechamiento de la energía eólica*. Real Decreto

42/2008, de 15 de mayo, BOPA 3 de junio de 2008.

García, X. 2005. Renovables 2050: Un informe sobre el potencial de las energías renovables en la España peninsular. Instituto de Investigación Tecnológica y Greenpeace.

García, X. 2007. Renovables 100%: Un sistema eléctrico renovable para la España peninsular y su viabilidad económica. Instituto de Investigación Tecnológica y Greenpeace.

Harrison, G.P. 2006. Climate change in Scotland: impact on mini-hydro. SHP News. 23(3):15-20.

Harrison, G.P., Cradden, L.C., Chick, J.P. 2008. Preliminary assessment of climate change impacts on the UK onshore wind energy resource. Energy Sources, 30(14):1286-1299.

Harrison, G.P., Whittington, H.W., Wallace, A.R. 2006. Sensitivity of hydropower performance to climate change. International Journal of Power and Energy Systems, 26(1).

IEA Statistics 2008. CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion. Inventario de emisiones de gases de efecto invernadero de España años 1990-2006. Ministerio de Medio Ambiente, Madrid, 2008.

IPCC 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (direc-

tores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 pp.

Fundación Asturiana de la Energía 2007. Energía en Asturias. Balance Energético del Principado de Asturias (BEPA).

Ministerio de Industria, Turismo y Comercio 2007. La Energía en España. Secretaría General de Energía.

Nieto, J., Santamarta, J. 2008. Evolución de las Emisiones de Gases de Efecto Invernadero en España (1990-2007). CCOO, Madrid.

Oficina para la sostenibilidad, el cambio climático y la participación 2008. Estrategia de desarrollo sostenible del Principado de Asturias.

Parlamento Asturiano 2008. Comparecencias informativas sobre la Estrategia Energética del Principado de Asturias con horizonte al 2012. Comisión de Industria y Empleo (4-11-2008).

Pryor, S.C., Berthelme, R.J., Kjellstrom, E., Mann, J. 2005. Potential climate change impact on wind energy resources in northern Europe. Geophysical Research Abstracts, 7:1544.

Rodrigo, F., Santamarta, J. 2008. Las emisiones de gases de invernadero por comunidades autónomas en España en 2007. CCOO.

Stern, F. 1998. Energy. En: Feenstra, J.F., Burton, I., Smith, J.B., Tol, R.S.J. (eds.). Handbook on methods for climate change impact assessment and adaptation strategies. UNEP-Institute for Environmental Studies.

## 11.10 ANEXO

### DIRECTIVAS RELACIONADAS CON LA EFICIENCIA ENERGÉTICA:

Directiva 2002/91/CE del 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética sobre los edificios.

Directiva 1993/76/CEE del 13 de septiembre de 1993 relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficiencia energética.

Directiva 92/42/CEE del 21 de mayo del 1992 relativa a los requisitos de rendimiento para las calderas nuevas de agua caliente alimentadas de combustibles líquidos o gaseosos.

Directiva del consejo del 21 de diciembre de 1988 relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros sobre los productos de construcción.

Directiva 25/32/CE del 6 de julio del 2005 por la que se instauro el marco para el establecimiento de requisitos de diseño ecológico aplicables a los productos que utilizan energía.

Directiva 2003/66/CE del 3 de julio del 2003 por la que se establecen las disposiciones de aplicación de la directiva 92/75/ CEE del consejo en lo que respecta al etiquetado energético de frigoríficos, congeladores y aparatos combinados.

Directiva 2002/40/CE del 8 de mayo del 2002 por la que se establecen disposiciones de aplicación de la directiva 92/75/CEE del consejo en lo que respecta al etiquetado ener-

gético de los hornos eléctricos de uso doméstico.

Directiva 2002/31/CE del 22 de marzo del 2002 por la que se establece disposiciones de aplicación de la directiva 92/75/CEE del consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los acondicionadores de aire de uso doméstico.

Directiva 1999/9/CE del 26 de febrero de 1999 por la que se establecen disposiciones de aplicación de la directiva 92/75/CEE del consejo en lo que respecta al etiquetado energético de los lavavajillas domésticos.

Directiva 98/11/CE del 27 de enero de 1998 por la que se establecen disposiciones de aplicación de la directiva 92/75/CEE del consejo en lo que respecta al etiquetado energético de las lámparas de uso doméstico.

Directiva 96/89/CE del 17 de diciembre de 1996 por la que se establecen las disposiciones de aplicación de la directiva 92/75/ CEE del consejo en lo que respecta al etiquetado energético de las lavadoras domésticas.

Directiva 96/60/CE del 19 de septiembre de 1996 por la que se establecen disposiciones de aplicación de la directiva 92/75/CEE del consejo en lo que respecta al etiquetado energético de las lavadoras-secadoras combinadas domésticas.

Directiva 95/13/CE del 23 de mayo de 1995 por la que se establecen disposiciones de aplicación de la directiva 92/75/CEE del consejo en lo que respecta al etiquetado ener-

gético de las secadoras de ropa electrodomésticas de tambor.

Directiva 92/75/CEE del 22 de septiembre de 1992 relativa a la indicación del consumo de energía y de otros recursos de los aparatos domésticos, por medio del etiquetado y de una información uniforme sobre los productos.

Directiva 2004/8/CE del 11 de febrero del 2004 relativa al fomento de la cogeneración sobre la base de la demanda de calor útil en el mercado interior de la energía y por la que se modifica la Directiva 92/42/CEE.







# CAPTURA Y ALMACENAMIENTO CO<sub>2</sub>

**Juan Carlos Abanades García.** Instituto Nacional del Carbón (CSIC).

**Miguel Ángel Zapatero Rodríguez.** Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

**Roberto Martínez.** Instituto Geológico y Minero de España (IGME).

**Jorge Loredo Pérez.** E.T.S. Ingenieros de Minas. Universidad de Oviedo.

### 12.1 INTRODUCCIÓN

El IV Informe de Evaluación del IPCC (2007) y el reciente Informe de la Agencia Internacional de la Energía (WEO 2008) indican que es muy probable que se produzca un aumento del 50% en el consumo de combustibles fósiles en el mundo de aquí al 2030. Los recursos fósiles son todavía relativamente abundantes y al ritmo de consumo actual pueden durar varias décadas en el caso del petróleo y del gas y varios siglos en el caso del carbón. En el caso del carbón, las reservas en el mundo están muy distribuidas geográficamente, lo que ofrece una indudable garantía en cuanto a seguridad de suministro frente al petróleo o el gas, que se concentran en zonas políticamente más inestables. En España, el principal combustible fósil autóctono es el carbón, con reservas estimadas de 530 Mt (el 0.1% de las reservas mundiales). Por tanto, consideraciones geopolíticas de mucho peso relacionadas con la seguridad de suministro están produciendo un repunte del carbón como fuente de energía primaria a pesar de ser el combustible con mayores emisiones específicas de CO<sub>2</sub>. Por otra parte, el IPCC en su IV Informe de Evaluación ha fijado los objetivos de reducción de emisiones en las próximas décadas (en el horizonte del 2050) si se quiere estabilizar la concentración de gases de efecto invernadero en

la atmósfera y limitar el calentamiento global a 2°C a finales de siglo. Para España, estos objetivos supondrían la práctica descarbonización del sistema energético, con reducciones del 80-90% en sus emisiones en el 2050, frente a las del año de referencia 1990. Evidentemente, este objetivo de reducción de emisiones es incompatible con el uso del carbón sin captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

La captura y almacenamiento geológico permanente de CO<sub>2</sub> (CAC) es una poderosa herramienta de mitigación de cambio climático, que está ya en las agendas políticas al más alto nivel en todo el mundo. El IPCC evaluó entre los años 2003 y 2005 las tecnologías existentes y emergentes de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> y concluyó que, en la mayor parte de los escenarios de estabilización entre 450 y 750 ppmv, las tecnologías CAC contribuirían entre el 15 y el 55 % del esfuerzo mundial de mitigación acumulativo hasta 2100 (IPCC 2005).

En Europa, los primeros grandes proyectos de demostración (a escala de varios centenares de MWe) se han anunciado ya en varios países. La CAC es prioritaria en el 7 Programa Marco de Investigación de la UE, y la Comisión Europea elevó a comienzos del 2007 al Consejo Europeo y al Parlamento Europeo un documento (Comisión Europea 2007) que reconoce un papel para la CAC en Europa, tan importante como el del desarrollo de las renovables o el de la eficiencia energética en la lucha para reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>. De hecho, los escenarios manejados por la UE predicen una implantación casi total de la CAC en el sector eléctrico europeo para el 2030, iniciada con la construcción de una docena de plantas de demostración (de más de 300 MW eléctricos) de diferentes tecnologías y localizaciones entre el 2015 y el 2020.

En España, se ha creado recientemente la Plataforma Española del CO<sub>2</sub> (PTECO2), que aglutina a más de 150 representantes del sector productivo emisor de CO<sub>2</sub> (sector eléctrico, refino, minero, acero, etc.) a los Centros de Investigación y Universidades, y a representantes de la Administración y de la sociedad en general. La principal misión de la Plataforma es contribuir al desarrollo y despliegue en España de las tecnologías CAC. La Plataforma ha realizado un itinerario de desarrollo de estas tecnologías (PTECO2, 2007) que, en consonancia con ejercicios similares a nivel europeo (Plataforma Europea de Emisiones Cero ETP-ZEP), pretende iniciar hacia 2015 proyectos completos de demostración utilizando tecnologías de generación de referencia del máximo rendimiento energético, junto con las tecnologías de captura que hayan alcanzado la madurez en ese momento. La información detallada sobre almacenes concretos de CO<sub>2</sub> también

debe converger en esas fechas, determinando en gran medida la elección de emplazamientos de demostración, ya que el transporte de CO<sub>2</sub> a grandes distancias no tendría sentido económico en estos primeros proyectos. Si este itinerario se cumple, y el marco regulador es el adecuado, las tecnologías de captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub> comenzarían a penetrar en el sector de generación eléctrica y en el de otros grandes emisores a partir del 2015.

Las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por capita en Asturias son extraordinariamente altas (en 2007 fueron de 30,9 tCO<sub>2</sub> eq/hab, frente a 9,8 t CO<sub>2</sub> eq/hab) debido a la fortaleza en la región de sectores económicos muy intensivos en el consumo de energía fósil (producción de electricidad, acero, cemento etc), que se consumen en su mayor parte fuera de Asturias. Dada la concentración de grandes fuentes estacionarias en la región, Asturias cumple una primera condición para el posible

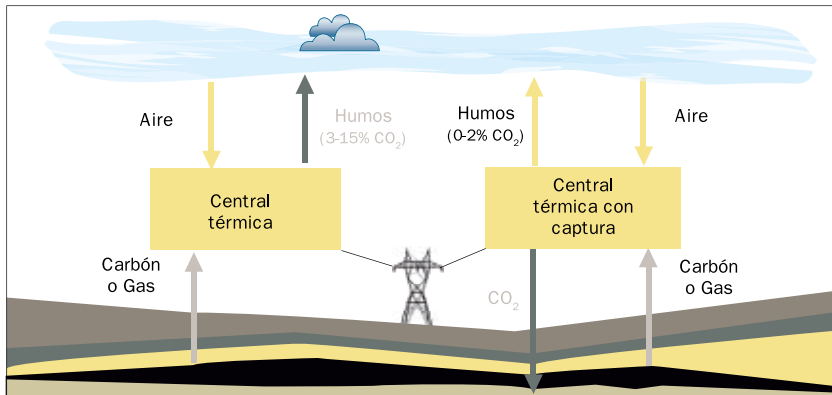


Figura 1. Esquema de la captura y almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> aplicado a una central térmica. El CO<sub>2</sub> casi puro separado en la central, y comprimido en forma muy densa, se inyecta a formaciones sedimentarias profundas (a más de 800 m.) que contienen fluidos aislados desde hace millones de años (gas natural, petróleo o agua salada) o capas de carbón no explotable.

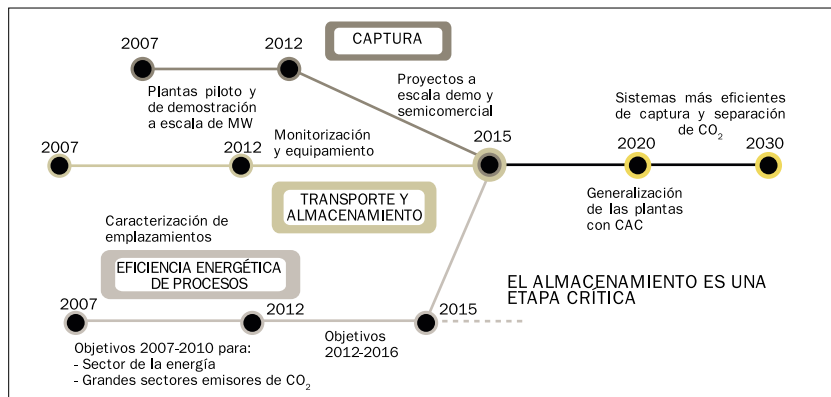


Figura 2. Itinerario tecnológico propuesto por la Plataforma Española de CO<sub>2</sub> para la implantación de las tecnologías CAC (PTE CO<sub>2</sub>, 2008).

despliegue de tecnologías de captura de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, las tecnologías CAC solo tienen sentido como opción de mitigación de cambio climático consideradas en su conjunto. Es decir, no tiene sentido capturar CO<sub>2</sub> si no se dispone cerca de un adecuado almacenamiento geológico permanente. Aunque el transporte a largas distancias y a gran escala sea posible en el largo plazo, cuando exista una gran infraestructura CAC en el mundo, los primeros proyectos de demostración se llevarán a cabo “encima” de buenos almacenes de CO<sub>2</sub>. El objetivo de esta sección es presentar el estado del arte de las tecnologías de captura y almacenamiento. Para ello, se repasan los principales sistemas de captura de CO<sub>2</sub>, las principales opciones de almacenamiento geológico y el papel que España y Asturias pueden jugar en su desarrollo.

Las emisiones equivalentes de CO<sub>2</sub> en el Principado de Asturias alcanzaron en 2006 un total de 18 Mt, un 4,25% del total nacional,

frente a menos de un 2% de la población. Este desequilibrio se debe, fundamentalmente, a una tasa importante de generación eléctrica a través del carbón, alimentada en alto grado por carbones autóctonos. La extracción de estos carbones autóctonos durante más de dos siglos ha generado un tupido tejido socioeconómico en las cuencas mineras, que sigue dependiendo en gran medida de la continuidad de las explotaciones y, por tanto, de la pervivencia de los usos del carbón.

## 12.2 CAPTURA DE CO<sub>2</sub>

Las grandes centrales térmicas, cementeras, refinerías, acerías etc. son procesos diseñados hasta hoy para obtener uno o varios productos energéticos (electricidad, calor) o químicos a gran escala (acero, cemento etc), emitiendo CO<sub>2</sub> a la atmósfera como subproducto. En Asturias se emiten 17,4 M tCO<sub>2</sub>/año de CO<sub>2</sub> de centrales térmicas, 5,9 del sector si-

derúrgico y 1.9 del sector cemento. El desafío para cualquier tecnología de captura es transformar estos procesos existentes (o “sistemas de referencia”) en sistemas que generen el mismo producto pero con una corriente de CO<sub>2</sub> separada y comprimida para su confinamiento (“sistema con captura”). Por tanto, un sistema con captura de CO<sub>2</sub> es el proceso completo necesario para producir el mismo producto que los sistemas actuales, pero generando una corriente concentrada de CO<sub>2</sub> susceptible de compresión, transporte y almacenamiento geológico permanente. Los principales destinatarios de las tecnologías de captura son el sector eléctrico e industrial, pero hay que destacar que las tecnologías CAC permitirían también transformar combustibles fósiles de alto contenido en carbono (como el carbón) en combustibles para automoción limpios (de bajo o nulo contenido en carbono, como el metanol o el hidrógeno). También podrían ser aplicadas en el futuro a grandes centrales de

biomasa, haciendo de estas centrales sumideros netos de CO<sub>2</sub> de la atmósfera.

Por definición, todos los sistemas de captura de CO<sub>2</sub> incluyen siempre un proceso de separación de gases a gran escala, que suele suponer 3/4 partes del coste total de mitigación. Esta separación de gases no es necesariamente una separación de CO<sub>2</sub>. De hecho, los sistemas de captura de CO<sub>2</sub> se suelen clasificar en función del lugar donde se sitúa la gran etapa de separación de gases en el sistema y del tipo de gas que se separa en los mismos. La Figura3 esquematiza los sistemas de captura según este criterio para el caso de grandes centrales térmicas. Otros sistemas de captura para otros procesos distintos a los de generación de energía eléctrica suelen poder adaptarse a esta clasificación (postcombustión, precombustión, oxicomustión), pero se han incluido por simplicidad en el cajón de “procesos industriales” en la Figura 3.

**Post-combustión.** El objetivo es separar el CO<sub>2</sub> que se encuentra diluido en el resto de

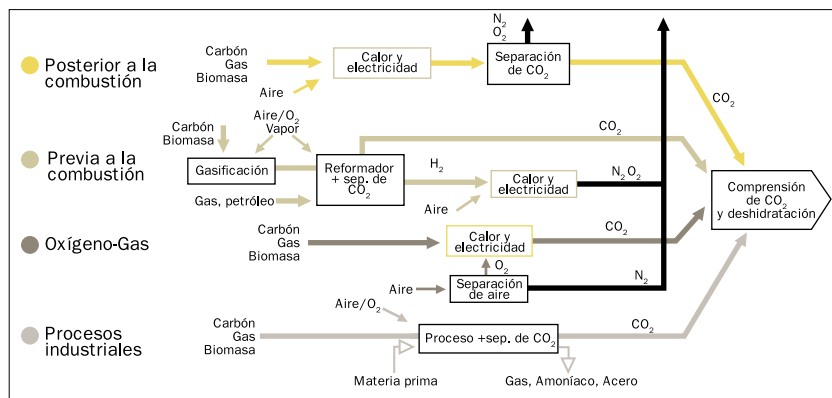


Figura 3. Los sistemas de captura de CO<sub>2</sub> (IPCC, 2005).

componentes de un gas de combustión, obtenido al quemar con aire un combustible fósil o biomasa. La infraestructura energética actual en España y en el mundo se basa en procesos mayoritariamente de combustión con aire (por ejemplo, un 84.5% de la electricidad generada en Asturias en el 2006 tuvo su origen en centrales de combustión).

**Precombustión.** En estos sistemas, el combustible debe transformarse antes de su combustión en un combustible de bajo o nulo contenido en carbono (hidrógeno). Esto se consigue mediante reacciones en etapas con vapor de agua y oxígeno, que generan finalmente un gas rico en H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>. Puesto que estas reacciones se llevan a cabo a altas presiones, se facilita cualquier proceso de separación de estos gases (etapa de captura).

**Oxy-combustión.** Consiste en la combustión del combustible en presencia de oxígeno puro en lugar de aire, lo que incrementa la concentración de CO<sub>2</sub> en el gas y facilita su purificación final antes del almacenamiento. Por tanto, en este sistema de captura de CO<sub>2</sub> la etapa crítica de separación de gases es la obtención de O<sub>2</sub> de elevada pureza a partir del aire.

Los costes de captura de CO<sub>2</sub> con tecnologías conocidas se sitúan entre 30-50€/t CO<sub>2</sub> evitada, según el IPCC. Para el sector eléctrico, esto supondría un aumento de costes de generación de unos 0.02 €/kWh. Estudios con una visión más optimista en las variables de la ecuación de costes (bajos tipos de interés, bajos costes carbón y altos factores de capacidad) indican que el coste de la captura de CO<sub>2</sub> podrían acercarse a los 20 €/t CO<sub>2</sub> evitada, en localizaciones favorables (ETP-ZEP 2006), aunque los últimos aumentos de costes de equipos y combustibles apuntan de nuevo a valores entre 30-45 €/t CO<sub>2</sub> (Mackin-

sey 2008). Todos estos estudios se refieren al uso de tecnologías existentes pero ya muy desarrolladas y desplegadas, usando nuevas centrales térmicas de referencia de muy alto rendimiento, donde se pueden absorber mejor las importantes pérdidas de rendimiento asociadas a la etapa de captura de CO<sub>2</sub> con las tecnologías existentes. Las primeras plantas CAC, por su naturaleza única y de demostración, van a ser sustancialmente más costosas (entorno a 70-90 €/t CO<sub>2</sub> evitada según un reciente estudio finalizado por encargo de la Plataforma Europea ETP-ZEP, Mackinsey 2008). La pérdida de rendimiento en la generación eléctrica con CAC es uno de los talones de Aquiles de estas tecnologías aplicadas a sistemas de combustión: la captura por métodos probados incurre en 12-15 puntos de pérdida de rendimiento neto. Esto hace inviable (o indeseable económicamente) la aplicación de las tecnologías CAC a la mayoría de las centrales ya existentes. Incluso para centrales de combustión nuevas de última generación, las tecnologías actuales de captura (absorción de CO<sub>2</sub> con aminas, oxicomustión con O<sub>2</sub> obtenido por separación criogénica del aire) obligan a aumentos del 20-35% del consumo de combustible para generar una misma potencia eléctrica. La situación es más favorable para tecnologías de precombustión, aunque las plantas de referencia en este caso (gasificadores integrales de carbón, como el de Elcogás, en Puertollano) son más costosos y sus problemas de fiabilidad no les han permitido penetrar todavía en el sector eléctrico. Por todo ello, se investiga en todo el mundo para reducir costes (incluso por debajo de 15€/t CO<sub>2</sub>) y penalizaciones de rendimientos (hacia el 10% incluyendo la etapa de compresión) en todas las rutas de captura y tanto para carbón como

para gas natural. Es pronto para decidir cuál va a ser la tecnología ganadora, que dependerá del contexto (tipo de combustible, marco regulador de la pureza para el CO<sub>2</sub> etc.) y del coste final de muchos componentes clave en el sistema de captura, en intenso desarrollo tecnológico en todo el mundo.

España parte con un importante retraso para el desarrollo científico-tecnológico de la captura de CO<sub>2</sub> respecto a Europa y al resto del mundo. La presencia testimonial en grandes proyectos de captura de unos pocos y muy pequeños grupos de investigación contrasta con la muy intensa actividad desde los años 90 en los países más desarrollados de nuestro entorno. Existe un programa especial de la Agencia Internacional de la Energía sobre el tema desde el año 1991, hay grandes iniciativas y proyectos internacionales (CCP, CSLF) y europeos del V, VI y VII Programas Marco. Estos proyectos han sido y están siendo liderados por grandes empresas energéticas y de bienes de equipo, y participados por prestigiosos centros de investigación y universidades europeas.

En este contexto de retraso inicial y alta competitividad exterior, España y Asturias deberían centrarse en una fase de aprendizaje y adaptación de sus equipos humanos de investigación en áreas afines (combustión, materiales, catálisis, modelado de procesos etc.), que podrían redirigir su actividad hacia este campo. El objetivo sería prepararse para participar en el desarrollo de componentes concretos de una segunda generación de los procesos "casi comerciales" de captura de CO<sub>2</sub> descritos antes, o en el desarrollo de la siguiente generación de procesos de captura ("procesos emergentes"). Existen ya ejemplos de este tipo de pequeños proyectos de investigación en el Departamento de Ingeniería Química de la

Universidad de Oviedo (en el campo de membranas de separación de gases y desarrollo de adsorbentes) y en grupos consolidados del INCAR (adsorción en carbones activos, estudios fundamentales de oxcombustión de carbón etc). Además, el INCAR-CSIC desarrolla proyectos de captura de CO<sub>2</sub> mediante ciclos de carbonatación calcinación en los que se hace uso de óxido de calcio como agente de separación de gases a alta temperatura por carbonatación (Abanades et al. 2004), liberando por calcinación en una cámara de combustión con oxígeno el CO<sub>2</sub> capturado en el carbonatador. El proceso se ha demostrado recientemente viable en un pequeño prototipo de laboratorio de 30 kW y en otras instalaciones similares en Canadá, Alemania y Estados Unidos. Estos procesos ofrecen grandes ventajas competitivas por sus altos rendimientos térmicos (gran parte del calor empleado en la calcinación se puede recuperar un ciclo de vapor para generar más electricidad, ver Abanades y cols, 2008) y por su similitud mecánica y térmica con centrales ya existentes de lecho fluidizado circulante (como la de Hunosa, en Mieres), lo que puede facilitar su rápido escalado. Un acuerdo estratégico firmado en Julio de 2008 entre Endesa, Hunosa y CSIC pretende desarrollar en la Pereda un prototipo a escala semi-industrial de entorno a 1 Mw. Pero hay que entender que esta tecnología se encuentra en una fase muy embrionaria y la planta piloto prevista en la Pereda será todavía unas 1000 veces más pequeña que la que debería plantearse para optar a ser una de las 12 plantas de demostración promovidas por la Unión Europea a partir del 2015. Hay además una falta de masa crítica de personal especializado en la región para acometer grandes proyectos de captura de CO<sub>2</sub> (por ejemplo, en el grupo del



INCAR de carbonatación calcinación trabaja un único investigador del CSIC, un doctor y dos becarios y ayudantes). La situación en el resto de España es similar, y hay una muy débil base tecnológica y de personal especializado en el campo de la captura de CO<sub>2</sub>, que debe corregirse con rapidez en los próximos años si España no quiere perder este nuevo tren de desarrollo tecnológico. Se han iniciado varios proyectos en España que, al menos sobre el papel, pretenden corregir esta situación (PSE, CENITCO2, el INCAR participa en ambos). Por su tamaño, presupuesto y grado de apoyo directo del Gobierno Español hay que destacar la creación de la fundación CIUDEN en Ponferrada (León), donde se van a comprar, construir y operar sendas calderas de Foster Wheeler de combustión de carbón con oxígeno de tamaño industrial (20 Mw térmicos). Este es un tamaño adecuado para probar la fiabilidad de estas tecnologías, pero todavía alejado del tamaño necesario para optar a ser una de las 12 plantas de demostración en la UE (que serán de casi 1000 Mw térmicos).

### 12.3 ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO DE CO<sub>2</sub>

Se espera que la investigación tecnológica permita que en los próximos años las tecnologías de captura de dióxido de carbono de las fuentes estacionarias estén disponibles en el mercado. Para entonces se debe haber realizado una investigación suficiente del subsuelo como para haber delimitado almacenes geológicos con capacidad suficiente para almacenar las enormes cantidades de este gas que se emiten a la atmósfera.

Cabe destacar que en las condiciones de presión y temperatura del subsuelo a ciertas profundidades (> 800 metros) el CO<sub>2</sub> entra en estado supercrítico, en el cual adquiere una densidad similar a un líquido; es decir, hasta 0,9 g/cm<sup>3</sup>, manteniendo una viscosidad propia de un gas. En esas condiciones, 1 tonelada de CO<sub>2</sub> ocupa un volumen 400 veces menor que en superficie, por lo que su almacenamiento resulta viable.

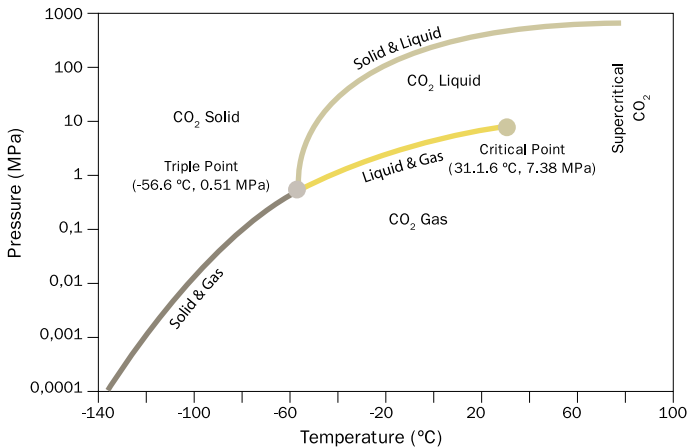


Figura 4. Diagrama de fases del dióxido de carbono (Bachu *et al.*, 2007).

Además de los estudios de viabilidad técnica y económica, ya que sin duda esta tecnología sólo será aplicable si resulta económicamente más viable que la compra de derechos de emisión o el pago de multas, es necesaria una evaluación muy profunda de la seguridad y estanqueidad del almacenamiento, no sólo con el objetivo de asegurar el buen funcionamiento de los almacenamientos, sino también con el fin de comunicar adecuadamente a la sociedad las nuevas tecnologías, con claridad, sencillez y transparencia, de forma que se compruebe la viabilidad y necesidad de aplicar esta tecnología.

En esta línea, la aplicación de la normativa europea sobre captura y almacenamiento, de próxima publicación por parte de la Comisión Europea, y su transposición al ordenamiento jurídico español, debe ser objeto prioritario de las autoridades, con el fin de acelerar la puesta en marcha de los proyectos de demostración de las tecnologías.

#### 12.4 VALORACIÓN DE LAS POSIBILIDADES DE ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO EN ASTURIAS

Entre los tipos de almacén que se barajan a escala mundial, se debe destacar que el Principado de Asturias no dispone de yacimientos de petróleo o gas que puedan ser reutilizados para el almacenamiento de dióxido de carbono. En el resto de potenciales almacenes cabe señalar lo siguiente:

**Capas de carbón.** Como es sabido, la Cuenca Central Asturiana y las adyacentes representan la mayor reserva de carbón de España y, por tanto, suponen la mejor oportunidad potencial de almacenamiento de CO<sub>2</sub>. La capacidad de almacenamiento en las cuencas

asturianas ha sido acotada en un máximo de 130 Mt (Martínez et al. 2008), por lo que se podría estimar tal capacidad como relevante. Además cuenta con la ventaja de que este almacenamiento puede ser complementado con la recuperación del metano alojado en sus capas, por lo que se trata de una opción tecnológica viable (Loredo et al. 2004, 2006).

#### **Formaciones permeables profundas.**

Como se ha comentado previamente, no se disponen de estudios de caracterización suficientes como para acotar emplazamientos concretos en los que se pueda llevar a cabo el almacenamiento. En cualquier caso, sí se dispone de suficiente información como para realizar una evaluación de carácter regional que, con un intervalo de confianza suficiente, ha establecido una capacidad en la plataforma continental y marina y en otras formaciones profundas en torno a 6500 Mt (Zapatero et al. 2008). En cualquier caso, la puesta en marcha de almacenes de carácter industrial implica la adquisición de nuevos datos de carácter geológico y geofísico, que derivaría en un elevado volumen de inversión.

El Departamento de Explotación y Prospección de Minas de la Universidad de Oviedo junto con la empresa HUNOSA y el Instituto Geológico y Minero de España vienen estudiando las posibilidades de almacenamiento geológico en Asturias.

#### 12.5 INCERTIDUMBRES ASOCIADAS AL PROCESO

La principal incertidumbre asociada a este proceso es la forma de hacer efectiva las capacidades globales identificadas; es decir, acotar la geometría de los emplazamientos reales de almacenamiento, localizando las estructuras

seguras y determinando los procedimientos necesarios de ingeniería para su utilización.

Por otra parte, la evolución a largo plazo del CO<sub>2</sub> inyectado es una incógnita en volúmenes de Gigatoneladas, ya que la interrelación entre los diferentes mecanismos de entrapamiento en la gran escala debe ser más profundamente estudiada.

Para comprobar que se han puesto todos los medios adecuados en la determinación de este comportamiento, con sus análisis de riesgos y de seguridad correspondientes, es necesario clarificar qué ente, nacional o autonómico, se encargará de hacer cumplir la regulación y quién asumirá los costes de funcionamiento de dicho organismo. En este sentido, el rápido desarrollo de la legislación europea a escala nacional y su encaje en el estado autonómico es fundamental para un pronto desarrollo de esta tecnología.

Una última incertidumbre, aunque no por ello menos importante, es el devenir futuro del Mercado Europeo de Emisiones (ETS), que marcará la viabilidad económica de las tecnologías de captura y almacenamiento en el futuro. La tendencia prevista permite, desde luego, pensar en que no tardará mucho en coincidir el coste de la captura y almacenamiento con el precio de la emisión en el mercado.

Como consideraciones finales hay que señalar que la captura de CO<sub>2</sub> está siendo investigada con grandes inversiones y es probable que en un tiempo relativamente próximo estas inversiones den lugar a procesos comerciales. El problema es el almacenamiento que utilizará tecnologías conocidas en la exploración de hidrocarburos y el almacenamiento de gas en el subsuelo a profundidades del orden de 1.000 m. Las inversiones mínimas en el reconocimiento de la zona de Asturias serían de un

total de 60 M€ (10 sondeos (a 1000 m) x 3 M€ = 30 M€ y 1000 km sísmica 2D x 30000 €/km = 30 M€). La ventaja económica de disponer en Asturias de una central de carbón de última generación sería importante porque evitaría el coste de transporte de carbón de importación desde los puertos hasta el interior, y en este caso el puerto de Gijón sería un buen puerto estratégico en una zona donde la emisión anual de CO<sub>2</sub> de origen industrial es de unos 25 Mt (el 16 % de España y el 67% de Asturias). En el caso de que la exploración de almacenamientos de CO<sub>2</sub> en el subsuelo no fuera competitiva frente al EOR y EGR, en el Mar del Norte habría la opción de enviar por barco el CO<sub>2</sub> a dichos yacimientos. Según estudios realizados por Shell, un retraso de 7 años en los proyectos CAC actualmente conocidos, supondría unas emisiones de 90.000 a 100.000 Mt CO<sub>2</sub> evitable, o bien, un incremento de 10 ppm en los niveles de estabilización del CO<sub>2</sub> a largo plazo. La compañía sueca Vattenfall lidera varios de los proyectos de CAC europeos y realizó en menos de 2 años (2006-2008) el diseño y construcción de una planta demo de captura de CO<sub>2</sub> de 30MW.

## 12.6 REFERENCIAS

Abanades, J.C., Anthony, E.J., Lu, D.Y., Salvador, C., Alvarez, D. 2004. Capture of CO<sub>2</sub> from combustion gases in a fluidized bed of CaO. *AIChE Journal*, 50: 1614-1622.

Abanades, J.C., Grasa, G., Alonso, M., Rodríguez, N., Anthony, E.J., Romeo, L.M. 2007. Cost structure of a postcombustion CO<sub>2</sub> capture system using CaO.

Bachu, S., Bonijoly, D., Bradhaw, J., Burrus, R., Holloway, S., Christensen, N.P., Mathiassen, O.H. 2007. CO<sub>2</sub> storage capacity estimation: methodology and gaps. *International Journal of Greenhouse Gas Control*, 1(4): 430-443.

European Commission 2007. An Energy Policy for Europe. Communication from the Commission to the European Council and the European Parliament .

*Environmental Science & Technology*, 41: 5523-5527.

IPCC 2005. Special Report on Carbon Dioxide Capture and Storage, Intergovernmental Panel on Climate Change; Cambridge Univ. Press, 2005.

IPCC 2007. Working Group III Report "Mitigation of Climate Change" IV Assessment Report. Cambridge University Press, 2007.

Loredo, J., Pendás, F., Cienfuegos, P., Fernández, J.J. 2004. Possibilities for coalbed methane exploration and CO<sub>2</sub> sequestration in the Asturias Central Coal Basin (Northern Spain). 2004 International Coalbed Methane Symposium. Tuscaloosa (Alabama), USA.

Loredo, J., Cienfuegos, P., Pendás, F. 2006. Opportunities for CO<sub>2</sub> geological storage in Central Coal Basin (Northern Spain). Lawrence Berkeley National Laboratory, 84-85, USA.

Martínez, R., Suárez, I., Arenillas, A. 2008. The Geocapacity Project. Calculation of amount of CO<sub>2</sub> that could be stored in coal beds. European Commission.

McKinsey & Company 2008. Carbon Capture and Storage: Assessing the Economics. Estudio encargado por la Plataforma Europea ETP-ZEP: <http://www.zero-emissionplatform.eu/website/>

PTECO2 2007. Documento de Visión de la Plataforma Española del CO<sub>2</sub>: [www.pteco2.es](http://www.pteco2.es)

The European Technology platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants (ZEP) 2006. Power Plant and Carbon Dioxide Capture. Final report from Working Group 1.

Zapatero, M.A., Martínez, R., Suárez, I., Saftic, B., Kolenkovic, I., Car, M., Donda, F., Persoglia, S. 2008. Geocapacity Project – Saline aquifers storage capacity in Group South Countries. GHGT9, Energy Procedia.

World Energy Outlook 2008, International Energy Agency 2008: <http://www.worldenergy-outlook.org/>



ECONOMÍA 

**José Alba Alonso.** Universidad de Oviedo.

**Luis Jiménez Herrero.** Observatorio de Sostenibilidad de España.

**Pilar Álvarez Uría.** Observatorio de Sostenibilidad de España.

### 13.1 INTRODUCCIÓN

Asturias mantiene, pese a las sucesivas reconversiones, una estructura productiva en la que las ramas más directamente reconocidas como emisoras de GEI tienen un peso de inusitada importancia, tanto relativa como en términos absolutos. Al respecto destacan las actividades relacionadas con la siderurgia, el subsector energético y la producción cementera. Incluso más allá de las mismas persiste la tendencia, así ocurre que más de dos terceras partes de la producción industrial asturiana es generada por ramas que tienen relación con la emisión de GEI, conforme puede constarse en las estadísticas elaboradas por SADEI.

Investigaciones realizadas en el marco del Plan I+D+i (Argüelles y Benavides 2006) constatan que para el caso asturiano “el 34 % de las emisiones de este gas (CO<sub>2</sub>) corresponden a la rama coquería y refino de petróleo<sup>1</sup> y... el 41 % es generado por la producción de energía eléctrica”; apuntan cómo el uso siderúrgico del coque confiere mayor rango a las emisiones de CO<sub>2</sub> en la metalurgia, cuyas emisiones directas no alcanzan el 5 %, mientras que la contabilización de las debidas a las coquerías las multiplica por seis.

<sup>1</sup> Utilizan las autoras la denominación específica empleada por SADEI para referirse a las diferentes ramas económicas incluidas en las estadísticas relativas a Asturias, si bien es la coquería la actividad concernida.

Por otra parte, se observa que en las ramas con mayor incidencia productiva, como son siderurgia y energía -más de la mitad de la producción industrial asturiana- el destino de la producción es exterior, como también lo es en renglones de peso significativo aunque no tan destacable; se constatan, en concreto, salidas al exterior en vehículos a motor, productos químicos, maquinaria y equipos tanto mecánicos como eléctricos, productos metálicos, industria del papel, cementos y electricidad. Todo ello apunta a que se localizan en Asturias emisiones de GEI en proporción muy superior a la que correspondería al consumo de quienes residen en territorio asturiano.

Se produce cierta distorsión al comparar, como en algunos casos se plantea, el total de las emisiones con la población residente. Debido al hecho de ser una comunidad autónoma uniprovincial, con poco peso demográfico, la distorsión resulta aún mayor, si bien es destacable la especialización, tanto pasada como en proyecto, en ramas con enorme potencial de emisiones de GEI y algunas de ellas, como la cementera, carentes de alternativas técnicas productivas que palien apreciablemente su contaminación. Los efectos derivados de la aplicación de instrumentos de política ambiental variarían en el caso de que se confirmase un nuevo escenario para el período posterior a 2012, si de la internalización quedasen excluidas las actividades no energéticas.

La consideración de la cuestión a escala regional entraña ciertos problemas, que enlazan con los existentes al cambiar el ámbito espacial original, sea para elaborar balanzas comerciales o distribuir cuotas de producción láctea. Ni existen asignaciones para regiones, ni el uso de derechos en un territorio implica una mayor disposición del recurso por aquel.

### 13.2 CAMBIOS DETECTADOS

Es discutible hasta qué punto los cambios detectados pueden estar o no relacionados con las cuestiones que se plantean en este análisis. Las estadísticas al uso están presididas por la lógica de ofrecer datos sobre las distintas magnitudes económicas, organizándolas de forma que se confunden actividades relacionadas y repercutidas por el cambio climático o por medidas tomadas en función de aquél. Por otra parte, la comparabilidad con otras regiones exigiría determinar criterios para elegir aquellas, dadas las peculiaridades resaltadas en el caso asturiano. Pero tampoco se sustrae Asturias de la falta de referencias constatada para el caso español (Pérez 2007).

Uno de los efectos más perceptibles ha sido el inicio del proceso de cierre de los denominados “grupos uno”, existentes en Asturias en Soto de Ribera, Lada y Calabazos, si bien las consecuencias económicas directas son limitadas, dado que se mantenía ficticiamente cierta potencia instalada, sin que el uso directo productivo de las plantas llegase a generar réditos. Serían computables, sin embargo, el desmontaje de la instalación, la liberación de suelo y la desaparición de transferencias contradictorias con el interés general, como las realizadas tradicionalmente por el Ministerio de Industria para mantener en funcionamiento grupos térmicos plenamente amortizados, absolutamente obsoletos y altamente contaminantes.

En otro sentido, aunque no ha llegado a materializarse, se puede constatar la irrupción de proyectos de nuevas centrales de transformación energética de características técnicas más acordes con las preferencias sociales

vigentes. Algunos de dichos proyectos están muy avanzados en su planeamiento, particularmente el de Soto de Ribera, también los de Lada, Aboño y La Pereda entre otros, siendo común la deriva hacia instalaciones de ciclo combinado, cuyo input lo constituye el gas en detrimento del carbón. Está sin aprobar la Estrategia Energética que habría de regir en este momento en el Principado de Asturias, todavía en trámite parlamentario sometido a prórroga.

En el nuevo marco, cuando se hayan construido las nuevas instalaciones, es previsible una disminución de la demanda de carbón, ya sea extraído en Asturias o transportado hasta el Musel en buques cape size, por la mera desviación de la transformación energética a centrales con mejores condiciones y menores costes unitarios. El efecto multiplicador de las obras complejas a ejecutar determinará temporalmente incrementos significativos de la renta y el empleo durante los próximos años, habida cuenta de la capacidad de la estructura productiva asturiana para desarrollar proyectos de tal índole, conforme se constata en el marco input-output elaborado por SADEI.

Como aspecto de especial interés aflora el aprovechamiento de las oportunidades surgidas al aplicar un marco restrictivo para las emisiones de GEI. En concreto, por lo que respecta a Asturias, se ha generado gran actividad en torno a la energía eólica. Comprende dos apartados:

- la instalación de varios parques dentro de los límites de la comunidad autónoma y
- la producción de aerogeneradores en empresas radicadas en el área central asturiana pero con creciente expansión en los ámbitos nacional (con alianzas, compras de empresas, construcción de plantas e instalación de



complejos) e internacional, tanto por sus exportaciones como por las alianzas (Portugal, Sudamérica) y la implantación en países americanos (México), con la vocación de atender el mercado americano en su conjunto, incluido el estadounidense.

En el primero de los casos, la iniciativa resulta favorecida por:

- el uso de mecanismos de flexibilidad,
- la ayuda al desarrollo,
- la activación de las exportaciones por parte del ICEX.

En el caso norteamericano la ventaja comparativa de la industria asturiana parece estar en su capacidad de innovación y resolución de problemas para la implementación de sistemas de aprovechamiento de la energía eólica.

También en relación con la energía se detectan inversiones para la producción y distribución de biocombustibles, en concreto de biodiesel, con vinculaciones importantes respecto a actividades de transporte de mercancías por carretera. Pero cabe apuntar un renglón importante en cuanto al progreso en la configuración de una oferta específicamente asociada a la energía solar. En efecto, han aflorado a lo largo de los últimos años varias iniciativas empresariales en el valle del Nalón y en el valle del Lena-Caudal. El aprovechamiento de fondos mineros, la participación decidida de actores con tanta capacidad como IDEPA y HUNOSA, y la presencia de empresas como RIOGLASS, especializadas en ramas de actividad con las que pueden producirse sinergias, ha favorecido el asentamiento de varias plantas productivas en la zona citada, constituyendo un conjunto capaz de atender la demanda generada por grandes y pequeñas instalaciones solares.

### 13.3 PROYECCIONES SOBRE IMPACTOS POSIBLES A LA VISTA DE LA INFORMACIÓN DISPONIBLE

Si aplicamos el razonamiento económico, los ajustes iniciales -habida cuenta de las condiciones de Asturias- habrían de producirse en las direcciones siguientes:

- Un ajuste productivo tendente levemente a la baja si, de alguna forma, llegasen a repercutir en los costes las medidas aplicadas en el ámbito energético. La baja elasticidad renta de consumos energéticos pospondría las consecuencias más importantes en este sentido.

- La posibilidad (atenuada por el nuevo escenario que se plantea para después de 2012) de disminución de producciones en otros ámbitos, muy en particular de coquería/siderurgia, al darse mayor posibilidad de sustitución en la oferta de productos por parte del grupo Arcelor Mittal.

- La realización de inversiones que minoren el coste social generado por las emisiones de los viejos complejos industriales existentes, con repercusión significativa en la renta generada por distintas ramas productivas asturianas.

- El aprovechamiento de conocimientos tecnológicos y empresariales para generar renta en el ámbito de energías renovables, captura de CO<sub>2</sub> y actividades forestales.

- La contribución de nuevas actividades productivas a la renta regional y al empleo, particularmente en torno al subsector energético, modificando la tendencia de años pasados.

En efecto, tal y como ya se apunta en el diseño provisional de la Estrategia Energética del Principado de Asturias, y particularmente en las propuestas que defienden las compañías eléctricas, el primer impacto económico

previsible sería la construcción de nuevas instalaciones de ciclo combinado, incluso en plantas con participación societaria de la empresa carbonera HUNOSA, como es el caso de La Pereda (Mieres).

A renglón seguido de la construcción y puesta en marcha de las citadas centrales, es previsible que la actividad productiva bascule mayoritariamente hacia las mismas, en detrimento del uso del carbón. En ellas sería posible un coste interno medio (y CVaMe) por kilowatio más bajo que en las térmicas convencionales construidas hace años, así como un menor uso de derechos de emisiones. En tal escenario, las compañías eléctricas optarían preferentemente por utilizar instalaciones con costes variables más bajos, que les permitiesen pujar competitivamente dentro del sistema generando el mayor excedente posible. Esto no supone la desaparición del uso del carbón, sino un paulatino mayor empleo del gas, mientras no varíen condiciones tan importantes como los precios relativos de ambos elementos, así como de los derechos de emisiones. Este planteamiento concuerda con el análisis del impacto sectorial realizado por el gobierno norteamericano; ante un eventual encarecimiento de la energía el mismo prevé una caída en la demanda, que afectaría particularmente al carbón: “the consequences are reductions in output from the mining sector and from all services connected to the production and distribution of coal” (EIA).

Un efecto no económico, pero propiciado a través de medidas e instrumentos relacionados con lo económico, sería la reducción de las emisiones relativas de GEI como consecuencia de la existencia de nuevas centrales. Existiría, no obstante, un tramo de fuerte crecimiento contaminante si la demanda energética fuese

en aumento. Cuando, para una demanda alta de electricidad, hayan de entrar en funcionamiento las térmicas de carbón, el mayor consumo supondrá un incremento previsiblemente más que proporcional de emisiones GEI.

Aparte del sector energético, una actividad que resulta fuertemente condicionada por las restricciones es la fabricación de cementos. Las escasas posibilidades técnicas de mejora hacen previsible que pudiera encarecerse el producto, como consecuencia del recurso al mercado de emisiones o, de forma complementaria, cabría que, si el margen lo permite, ciertas técnicas constructivas pudieran propiciar cierta disminución de la producción, si bien en consumos determinados.

En otro renglón cabe referirse a la producción siderúrgica, que ha de enfrentarse a competidores localizados fuera del ámbito de aplicación del protocolo. En tal sentido, los acuerdos de Kioto pueden influir negativamente sobre la competitividad de dicha industria, como ha señalado la propia empresa Arcelor-Mittal repetidamente. En referencia a las emisiones de CO<sub>2</sub> Arcelor-Mittal plantea abiertamente la opción por perfeccionar los procesos, destaca explícitamente el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y resalta la consideración del grupo empresarial en clasificaciones mundiales relevantes sobre empresas sostenibles.

La incidencia de las emisiones asociadas a otras actividades queda relativizada, es el caso de la industria papelera. La circunstancia de que puedan computar la fijación de dióxido de carbono en sus plantaciones propias constituye un elemento diferenciador respecto a otras actividades. En tal sentido, plantas como la de ENCE, en Navia, defienden razonablemente su escasa responsabilidad relativa. A la

par, se apunta el mayor interés económico de especies arbóreas de crecimiento rápido, precisamente por su capacidad de fijación de CO<sub>2</sub>, que se suma a otros elementos comercializables tradicionalmente considerados.

Durante los primeros años de aplicación de medidas, el efecto dinamizador sobre parte de la industria, precisamente la dedicada a la construcción de aerogeneradores, ha sido importante, aunque su cuantificación no pueda ser confirmada expresamente a través de los datos agregados. La pequeña escala de la comunidad autónoma asturiana, el establecimiento de alianzas empresariales y la expansión internacional conducen, no obstante, a que pudiera derivarse parte significativa del proceso productivo a otras latitudes, siendo México, como parte del NAFTA y por su proximidad a clientes potenciales iberoamericanos, uno de los pasos importantes que se dan en tal sentido. Pese a ello, el valor añadido en Asturias puede ser importante si, como parece, parte de los procesos están muy vinculados a la calidad y saber hacer generados en torno a la producción siderúrgica básica asturiana.

Las variaciones que podrían producirse en algún momento sobre afecciones al suelo litoral, particularmente en poblaciones encajadas sobre lo que fueron antiguos puertos pesqueros o en la proximidad de rías, es otra de las cuestiones a considerar, si bien no existen, por ahora, referencias significativas en el campo de la economía. La incidencia de eventuales variaciones climáticas, asociadas a mejoras de comunicaciones, sobre usos residenciales del suelo asturiano es uno de los elementos que cabe considerar, aunque resultaría aventurado establecer cualquier proyección. No se han detectado alteraciones significativas en producciones agropecuarias, que a futuro pu-

diesen llegar a experimentar alguna variación, al combinarse tendencias como la despoblación rural con posibilidad de usos asociados a la demanda alimenticia de la conurbación central asturiana (de ochocientos cincuenta mil habitantes), aunque, en alguna medida, ya se ha apuntado alguna iniciativa en el área de Carreño.

Otros aspectos de interés, particularmente relacionados con el uso turístico y recreativo, son considerados por el grupo de trabajo específico.

En el apartado del empleo es donde se han podido constatar cuestiones de importancia, merced a la investigación de Moreno y López, que avanza el escenario previsible hasta 2010. Ambas investigadoras plantean que de los resultados obtenidos se deduce que el desarrollo del sector energético tendrá un efecto importante sobre el empleo en la construcción. En cuanto a los puestos de trabajo directamente relacionados con el sector energético apuntan los de más alta capacitación técnica, así como los asociados a la instalación y mantenimiento de los complejos (Moreno y López 2008).

#### 13.4 CUESTIONES QUE DEBERÍAN TENERSE EN CUENTA PARA INVESTIGACIONES FUTURAS

Las bases de datos económicos configuradas actualmente en Asturias son excelentes, pero tienen una perspectiva que no permite un buen aprovechamiento para estudiar aspectos económicos relacionados con la contaminación e instrumentos de política ambiental. La valoración económica de alteraciones medioambientales resulta sumamente compleja. Un campo de especial interés sería el de estudiar

métodos que permitiesen sistematizar valoraciones aproximativas de determinados aspectos con repercusión económica, adaptados a las condiciones existentes en el ámbito de referencia.

Como sistema imprescindible para soportar ulteriores desarrollos cabe destacar la necesidad de establecer especificaciones que permitan volcar las distintas investigaciones que se realicen en diferentes capas de un Sistema de Información Geográfica.

Sería también muy oportuno insistir en la línea que han marcado algunos trabajos citados (Moreno y López 2008) sobre el empleo que pudiera generarse en torno a planteamientos de desarrollo acordes con la sostenibilidad.

### 13.5 VARIABLES

Las variables controladas actualmente que pudieran albergar mayor interés serían las siguientes, que forman parte de las series elaboradas por SADEI ([www.sadei.es](http://www.sadei.es)):

- Número de personas empleadas en la industria SADEI. Serie histórica por ramas.
- Cifra de negocio por ramas.
- Valor añadido bruto por ramas (tendencia reciente + en 8, 24, 26 y - en 1).
- Balance de energía eléctrica (7.2.4 Anuario Estadístico 2006).
- Potencia eléctrica instalada según tipo de régimen de las de ramas productivas relacionadas con:
  - > Transporte y almacenamiento de recursos energéticos.
  - > Transformaciones energéticas.
  - > Producción de cementos.
  - > Desarrollo de sistemas alternativos a los emisores de GEI.

- tecnologías para la transformación (lecho fluido, aerogeneradores),
- investigación para la captura y almacenamiento de CO<sub>2</sub>.

En la clasificación de SADEI cabe destacar las siguientes ramas de especial relevancia. En ellas habríamos de hacer seguimiento de variables especificadas y de relaciones entre las mismas y con el exterior:

- 1 Extracción de carbones minerales.
- 2 Extracción de petróleo y gas natural (nula a la fecha, pero afectable a futuro).
- 8 Extracción de minerales no metálicos.
- 18 Industria del papel.
- 20 Coquerías y refino de petróleo.
- 21 Industria química.
- 24 Metalurgia.
- 25 Fabricación de productos metálicos.
- 26 Construcción de maquinaria y equipo mecánico.
- 28 Fabricación de maquinaria y material eléctrico.
- 31 Fabricación de vehículos a motor y remolques.
- 35 Energía eléctrica, gas, vapor y agua caliente.

La información por ramas está disponible directamente en hoja EXCEL de lectura en la web de SADEI y podría solicitarse su utilización, dado el caso. Se recogen en la publicación anual Cuentas de la Industria Asturiana.

Igualmente interesantes resultan las relaciones detectables en las tablas INPUT OUTPUT de la economía asturiana, donde los coeficientes pueden permitirnos estimar el impacto que pudieran tener actividades conocidas, como pudiera ser la instalación de centrales eléctricas.

Tales variables pueden ser parcialmente accesibles con la configuración actual del acceso a las bases de datos, si bien sería conveniente establecer algún sistema de explotación más directo.

Pueden resultar útiles ciertas memorias de sociedades cuya actividad productiva tiene implantación en Asturias y está vinculada a las ramas productivas citadas, particularmente la extracción de carbón, la transformación de energía en centrales alimentadas por carbón y gas, la siderurgia de cabecera, la reducción de minerales para fabricación de cementos, la industria del papel, el transporte, la producción de elementos asociados a las energías renovables y la investigación aplicada.

En concreto, interesa la información de las empresas e instituciones que se describen:

Empresas que operan en Asturias y son titulares de derechos de emisión de CO<sub>2</sub>, particularmente ARCELOR y HC ENERGIA. Igualmente pueden servir al seguimiento documentos corporativos de otras empresas que están relacionadas con los mecanismos de flexibilidad de Kioto y, en particular, con la producción de aerogeneradores (GRUPO DANIEL ALONSO), aprovechamientos de la energía solar (RIOGLASS solar, ASTERSA, ERPASA, METAL SOLAR...), plantaciones arbóreas (entorno de ENCE y DIRECCION GENERAL DE MONTES DEL P. ASTURIAS) e investigación aplicada (FICYT, CSIC).

### 13.6 REFERENCIAS

Abaco 2007. Monográfico de la revista sobre Cambio climático y energía. nº 52

ARCELOR 2006. Arcelor Annual Report.

Argüelles, M., Benavides, C., Junquera, B. 2006. The impact of economic activity in Asturias on greenhouse gas emissions: Consequences for environmental policy within the Kyoto Protocol framework. *Journal of Environmental Management*, 81: 249-264.

Argüelles, M., Benavides, C. 2006. Determinación del impacto de la actividad económica regional sobre las emisiones de gases de efecto invernadero en Asturias. *Revista Asturiana de Economía*, 36: 121-139.

Durán, G. 2008. Cambio climático y seguridad alimentaria. En: Cascante, K. y Sánchez, A. (eds.) *La crisis mundial de alimentos: alternativas para la toma de decisiones*. Ed. Exlibris, Madrid, 53-66.

EIA Energy Information Administration of the U.S. Assessment of Economic Impacts. <http://www.eia.doe.gov>.

Gijón, R. 2005. Efectos del protocolo de Kioto y de la directiva de comercio de emisiones sobre el sector productivo español. *Revista ICE*, 822: 79-89.

Kooten, C. van 2008. Biological carbon sinks: Transaction costs and governance. REPA WP 12, 14 pp.

Moreno, B., López, A.M. 2008. The effect of renewable energy on employment. The case of Asturias (Spain). *Renewable and sustainable energy reviews*, 12(3): 732-751.

Pérez, J.I. 2007. Cambio climático y energía: implicaciones recíprocas en el caso es-

pañol. Revista de Economía Industrial, 365: 137-148.

Roca, J., Padilla, E. 2003. Emisiones atmosféricas y crecimiento económico en España: La curva de Kuznets ambiental y el protocolo de Kyoto. Revista de Economía Industrial, 351: 73-86.



## CONCLUSIONES PARA GESTORES PÚBLICOS Y COMUNICADORES

Este informe presenta un resumen del trabajo realizado por el Panel de Expertos CLIMAS, creado por iniciativa del Gobierno del Principado de Asturias para la evaluación de los impactos del cambio climático en Asturias, destacando los principales efectos detectados en los distintos sistemas naturales, sociales y económicos de la región. El estudio proyecta el conocimiento científico interdisciplinar de un numeroso grupo de investigadores de distintas instituciones sobre las modificaciones que se vienen produciendo a nivel regional como consecuencia del cambio climático.

*“El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos y el aumento del nivel del mar”*

*IPCC. Cambio Climático 2007. Informe de síntesis.*



## CLIMA



- ALTA CONFIANZA ●
- MEDIA CONFIANZA ●
- BAJA CONFIANZA ●

### CLIMA TERRESTRE

El clima se define como el conjunto de las condiciones atmosféricas medias de una región. Hay variables principales: temperatura, pluviosidad, y secundarias: diferencias de presión, intensidad y dirección de los vientos, horas de sol y probabilidad de heladas entre otros. El clima ha variado por causas naturales desde el origen de la Tierra. El cambio climático que se está produciendo se debe a la acumulación de Gases de Efecto Invernadero (GEI) por emisiones antrópicas (quema de combustibles fósiles y cambios de uso del suelo). En distintas partes de la Tierra se notan de manera diferente sus efectos: intensidad y estacionalidad de los cambios. Las proyecciones de clima futuro se fundamentan en modelos climáticos, que pueden ser globales o regionales.

#### TEMPERATURA

##### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se ha detectado en Asturias un incremento medio de la temperatura atmosférica de 0,21 °C/década a lo largo del periodo 1961-2007.
- El aumento de las temperaturas ha sido homogéneo en el periodo analizado.
- El aumento de temperatura durante el periodo analizado ha sido más pronunciado en primavera y verano.

##### QUÉ PUEDE PASAR

- Las proyecciones de los modelos climáticos para Asturias prevén un incremento térmico medio anual de 5°C a finales del siglo XXI, para escenarios de emisiones de GEI medias-altas.
- El calentamiento será más notable en verano, pudiendo llegar a 6,5°C. Este incremento será un poco menor en las zonas costeras

- El incremento térmico está relacionado especialmente con incrementos en las temperaturas máximas.
- El calentamiento reciente detectado se distingue también de forma clara en los paleo-registros de los ciclos climáticos naturales debidos a cambios de insolación, tales como la última desglaciación que tuvo lugar hace 15.000 años.
- El calentamiento atmosférico promedio anual. sería de 2 °C si las emisiones de GEI fueran controladas.

## PRECIPITACIÓN

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Los registros paleoclimáticos de los últimos 2.000 años en Asturias indican que han sido más secos los periodos cálidos -como el Periodo Cálido Medieval- y han sido más lluviosos los periodos más fríos -como la Pequeña Edad del Hielo.
- En algunas localidades de Asturias se aprecia un descenso significativo de la precipitación anual en el intervalo 1961-2007.

### QUÉ PUEDE PASAR

- No se puede descartar que en Asturias se produzca un cambio rápido de las precipitaciones asociado al calentamiento climático actual, si el clima responde como en los paleoregistros.
- Se proyecta una tendencia a la disminución de la precipitación media anual. Esta tendencia será más acusada a partir de la mitad del presente siglo.
- La disminución de las precipitaciones estará limitada al 15% anual - respecto a la precipitación media del intervalo 1960-1990-, en el caso de escenarios de emisiones de GEI bajas.
- Las proyecciones indican una reducción de hasta el 30% en precipitación para las comarcas de la mitad suroccidental, si se consideran escenarios de emisiones de GEI altas.
- Las reducciones de precipitaciones serán mayores en primavera y en verano.

### FENÓMENOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Durante el periodo 1961-2007 se ha producido un descenso en el número de días fríos en otoño e invierno.
- Durante el periodo 1961-2007 se ha producido un aumento del número de días cálidos y descenso de días fríos en primavera y un aumento de noches cálidas en verano.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Se prevé un aumento de los fenómenos extremos, en especial un incremento en el promedio de las temperaturas máximas de los días más calurosos de todas las estaciones, sobre todo en verano.
- Es probable que haya una reducción de las precipitaciones torrenciales en todas las estaciones del año, excepto en invierno.

## CLIMA MARINO

El clima marino está definido por su temperatura, salinidad, la circulación oceánica y por el intercambio de calor, agua y gases (incluido el CO<sub>2</sub>) con la atmósfera. Los cambios en el clima marino por acidificación del mar, o incremento de los periodos de estratificación afectarán a los ecosistemas marinos, mientras la subida del nivel del mar, la frecuencia de tormentas y oleaje, y la erosión costera plantearán retos a la vida humana, las estructuras costeras y la navegación.

### TEMPERATURA

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- La temperatura del agua superficial se está incrementando de manera sostenida en toda la costa desde hace 20 años al menos. Este incremento se sitúa entre 0,3 y 0,7 °C por década.
- Las aguas sub-superficiales (por debajo de 50 m) también se está calentando pero a una tasa menor.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Los modelos de predicción climática prevén un incremento continuado de la temperatura en el presente siglo.

### ESTRATIFICACIÓN

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se detecta una tendencia al aumento del periodo de estratificación, fundamentalmente de origen térmico, en los últimos 20 años, aumentando unos 20 días por década.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Se debe esperar la expansión del periodo de estratificación en el futuro.
- Algunos estudios muestran un incremento de las zonas de oligotrofia subtropicales, que dependiendo de la intensidad del calentamiento, podría llegar a afectar a Asturias a largo plazo.

### AFLORAMIENTOS

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se han detectado cambios en la estacionalidad de los periodos de afloramiento, con reducción de la frecuencia e intensidad en el periodo estival.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones sobre cambios en los afloramientos.

### VIENTOS Y TEMPORALES

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se han detectado cambios en la estacionalidad de la dirección de los vientos, con influencia en la circulación oceánica.
- Se ha detectado, mediante retrocálculo, incrementos en la intensidad del viento y en la altura de la ola significativa (Hs12 o retorno de 50 años).
- No se detecta una tendencia clara en el incremento del número de temporales en la costa occidental asturiana, aunque sí en la oriental.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Se proyecta un incremento significativo de los rebases de obras públicas en la costa oriental de Asturias, que puede llegar al 1,5 % anual.

## NIVEL DEL MAR

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- El nivel del mar se está elevando unos 3 mm anuales, y se ha acelerado en las últimas 2 décadas.

### QUÉ PUEDE PASAR

- Los modelos disponibles predicen una elevación acelerada del nivel del mar, que será más intensa en función del calentamiento atmosférico (ablación de glaciares) y de la dilatación térmica.
- Las proyecciones de los modelos predicen un incremento significativo de la cota de inundación y un retroceso de la línea de costa, más apreciable en las costas de perfil más plano.
- El retroceso de la línea de costa será acusado en playas encajadas y en los puntales de la desembocadura de los ríos.

## ACIDIFICACIÓN

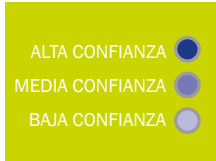
### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se ha detectado acidificación del agua de mar en zonas próximas del noroeste Ibérico.

### QUÉ PUEDE PASAR

- Los modelos predicen un incremento de la acidificación en el presente siglo asociado al aporte de CO<sub>2</sub> a la atmósfera.
- Se desconocen los cambios que la acidificación provocará en especies y ecosistemas de la costa asturiana en los próximos decenios.

## NATURALEZA Y BIODIVERSIDAD



### BIODIVERSIDAD TERRESTRE

La distribución de los organismos terrestres está altamente influenciada por factores climáticos, y sobre todo, temperatura y pluviosidad. También intervienen factores edáficos. El cambio climático está produciendo un cambio de condiciones regional y local que afecta a la distribución de especies y a la abundancia de poblaciones. También está provocando cambios fenológicos y afectando al crecimiento y producción de especies vegetales. Los cambios producidos como respuesta al cambio climático se pueden ver exacerbados por cambios en el uso del territorio o aportes de nutrientes por vía atmosférica. Estos cambios pueden modificar las interacciones entre las especies actualmente presentes en los ecosistemas y generar nuevas combinaciones de especies difícilmente previsibles.

#### ESPECIES INVASORAS



##### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se han detectado la presencia de especies (plantas y aves) de tipo mediterráneo en Asturias, lo que concuerda con el cambio climático regional.



##### QUÉ PUEDE PASAR

- Los modelos respuesta al cambio de clima predicen que continuará esta colonización por elementos mediterráneos.

## RESPUESTAS DE ESPECIES

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- EL urogallo, especie boreal, está reduciendo su área de distribución hacia las zonas de mayor altitud.
- Se ha detectado una disminución de los salmones de más de tres años de edad entre 1951 y 1980 en el río Eo.
- Se ha detectado un descenso en la edad de migración al mar de los esguines de salmón atlántico entre 1951 y 1980.
- No se ha descrito hasta la actualidad la desaparición de especies de flora y fauna de características boreales en Asturias debido, probablemente, a la capacidad de persistencia de ejemplares adultos de muchas especies, aunque disminuya el reclutamiento de juveniles.

### QUÉ PUEDE PASAR

- Se prevén riesgos para el camarina negra (*Empetrum*) y otras plantas vasculares de alta montaña ante el incremento térmico y el descenso de la pluviosidad.
  - Las plantas vasculares de alta montaña limitarán su presencia a las posiciones de menor insolación y mayor innivación.
  - Incrementos térmicos de 2 ó 3 grados en la temperatura de los ríos podría afectar de forma severa a la fase larvaria de las lampreas.
- Los modelos existentes de respuesta al cambio climático predicen la desaparición de especies de flora y fauna de carácter boreal.

## CAMBIOS FENOLÓGICOS

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se ha constatado un adelanto de las fechas de floración de los brezos, que pueden ser indicadores de una tendencia general en otras muchas especies.
- Se detecta un adelanto en la llegada de aves migradoras.
- Algunas especies de aves migradoras han retrasado la fecha de llegada por problemas de alimentación en su área de internada.
- La actividad fotosintética, detectada desde satélite, en áreas dominadas por hayedos y robledales parece haberse incrementado entre 1987 y 1999.

### QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones sobre cambios fenológicos aunque los cambios climáticos proyectados permitan suponer adelanto en la producción de flores y salida de hojas.



## BIODIVERSIDAD MARINA

Al ser los ecosistemas marinos sistemas muy interconectados a través de relaciones depredador-presa, los efectos del cambio climático podrán transmitirse por la red trófica marina. Los efectos del cambio del clima marino podrán afectar a través de cambios de producción primaria, en la distribución geográfica de las especies, o en cambios de estacionalidad o intensidad de fenómenos hidrográficos generando desajustes en las relaciones tróficas, como disponibilidad de presas. Se podrán ver afectadas tanto los individuos adultos como las fases larvianas planctónicas.

### PRODUCCIÓN MARINA

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se ha detectado una disminución significativa de la producción primaria marina.
- Se ha detectado una disminución en el número de individuos del zooplancton en una zona próxima del Cantábrico Central, aunque no se detectase cambio en su biomasa.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Se debe esperar una disminución futura en relación con el incremento de estratificación y de la intensidad y estacionalidad de los afloramientos.





### ESPECIES INVASORAS

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se viene detectando la aparición o incremento de la abundancia de especies típicas de aguas templado-cálidas y subtropicales, antes muy poco frecuentes. Se han citado especies de peces, crustáceos, moluscos.
- Se ha demostrado en estudios en todo el Atlántico Norte una aceleración de los cambios desde comienzos de este siglo.
- Se ha detectado un desplazamiento estimado en 1.000 km hacia el norte de especies de zooplancton de aguas templado cálidas, y un retroceso similar de las de aguas frías.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Se prevé la aparición futura de especies de aguas templado cálidas, aunque no se dispone de modelos de respuesta de las comunidades marinas o su efecto sobre los recursos.

## COMUNIDADES


 QUÉ ESTÁ PASANDO
 

---

- Se han detectado cambios importantes en las comunidades de macroalgas en la costa de Asturias en los últimos 25 años.
- Se ha detectado una reducción importante de la biomasa de especies de algas de aguas templado-frías como Fucales y Laminariales en la última década que afecta a la organización de los ecosistemas costeros.


 QUÉ PUEDE PASAR
 

---

- Dados los cambios climáticos proyectados se debe esperar que la temperatura superficial del mar continúe su calentamiento en las próximas décadas.
- Las proyecciones sobre los futuros límites en la distribución de las especies de algas (basados en sus límites térmicos) indican que la recesión de las especies de aguas templado frías continúe en el futuro, llegando a desaparecer en el año 2050 muchas de las especies características definidoras de comunidades.

## SALUD Y RIESGOS

ALTA CONFIANZA ●  
 MEDIA CONFIANZA ●  
 BAJA CONFIANZA ●

### RIESGOS NATURALES

Los fenómenos atmosféricos son los responsables de muchas situaciones de riesgo para las personas o sus bienes: inundaciones, aludes, deslizamientos de laderas, incendios. El cambio climático puede alterar la frecuencia e intensidad de distintos fenómenos meteorológicos extremos, alterando los patrones actuales de los riesgos antes mencionados, y por tanto las probabilidades de daño. Prevenir el impacto de estos riesgos hace necesario el desarrollo de estrategias que mitiguen sus efectos.

#### INUNDACIONES FLUVIALES Y TORRENCIALES

##### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Información derivada de eventos y daños asegurados y de otras fuentes no indican la existencia de tendencias en los daños relacionados con inundaciones, lluvia, viento y nieve.

##### QUÉ PUEDE PASAR

- La frecuencia de grandes inundaciones será menor, dado que se proyectan menos eventos de precipitación extrema en primavera, verano y otoño.
- La frecuencia de grandes inundaciones puede incrementarse en invierno, mientras las inundaciones de menor entidad pueden presentar un ligero descenso.

### INESTABILIDADES DE LADERA

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Los datos históricos no ponen de manifiesto ninguna tendencia para los procesos de inestabilidad de laderas.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- La menor frecuencia de periodos de precipitación extrema en primavera, verano y otoño, puede dar lugar a una disminución de la ocurrencia de inestabilidades de ladera.
- La mayor frecuencia de lluvias fuertes proyectada para invierno puede incrementar los deslizamientos en esta época.

### INCENDIOS FORESTALES

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se registra, con los partes de incendios de los servicios de emergencia, una tendencia al aumento del número de incendios en las últimas décadas, aunque la superficie de los incendios disminuye.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Dadas las proyecciones climáticas se debe esperar un incremento del riesgo por incendios forestales, especialmente una más rápida propagación de los que se inicien e incendios de mayor intensidad.

### ALUDES

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Los datos disponibles de frecuencia de aludes no permiten marcar una tendencia de cambio para las últimas décadas.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- No se deben esperar cambios relevantes en la incidencia de los aludes, o en su caso, un ligero aumento asociado a las tormentas invernales.

## SALUD HUMANA

El cambio climático aumentará los peligros para la salud humana, sobre todo en las poblaciones de menores ingresos y en los países tropicales y subtropicales. Puede afectar a la salud humana de manera directa: temperaturas demasiado altas o bajas, pérdida de vidas y lesiones en inundaciones y tormentas, e indirecta: alterando el alcance de los vectores de enfermedades, como los mosquitos y de los patógenos transmitidos por el agua, así como la calidad del agua, del aire y la calidad y disponibilidad de alimentos. Sobre la salud humana, aparte del cambio climático, intervienen otros factores: la densidad de la población, el desarrollo económico, alimentos, ingresos, el ambiente local, el estado previo de salud y el acceso y calidad de la atención sanitaria.

### ESTADO DE SALUD



#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- De los datos disponibles a la fecha actual no se observan efectos del cambio climático sobre la salud humana en Asturias.



#### QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones.

### EFEECTO DE TEMPERATURAS EXTREMAS



#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se detectó un incremento en la mortalidad en Asturias durante la ola de calor que sucedió en toda Europa en 2003.



#### QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones.

### EFFECTOS SOBRE PATOLOGÍAS



#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se han detectado incrementos en la prevalencia de enfermedades respiratorias de vías bajas, y en morbilidad por enfermedades respiratorias. Pueden haber influido factores diferentes al cambio climático.
- Se ha detectado una disminución en Asturias de patologías que deberían aumentar con el cambio climático: morbilidad de enfermedades alérgicas de vías altas, mortalidad por enfermedades respiratorias, detección y aislamiento de salmonella o tuberculosis, entre otras.



#### QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones.

### POLEN ALERGÉNICO



#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se han detectado cambios estacionales en la abundancia de pólenes potencialmente alergénicos, aunque no se han detectado cambios en las patologías asociadas.
- Muchos máximos polínicos coinciden con períodos en los que se alcanzaron temperaturas máximas o mínimas en Asturias, con posibles consecuencias sobre prevalencia de enfermedades respiratorias.



#### QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones.

## VECTORES DE SALUD

Los distribución geográfica de vectores animales de enfermedades de humanos y ganado están asociados a las condiciones climáticas locales. Pero las enfermedades vectoriales constituyen un sistema complejo en el que intervienen tres compartimentos diferentes, reservorio-patógeno-vector; cada uno de ellos tiene sus necesidades, y pueden estar influenciados por variables ajenas al cambio climático. El desconocimiento de la biología y distribución regional de insectos hematófagos y de garrapatas genera muchas incertidumbres en las predicciones de los efectos que podría generar.

### DISTRIBUCIÓN DE VECTORES



#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se dispone de estudios sobre la distribución de vectores de enfermedades en las últimas décadas.



#### QUÉ PUEDE PASAR

- El incremento térmico proyectado por los modelos climáticos provocará un aumento del periodo de actividad de los insectos vectores, con un mayor número de generaciones y de individuos. Pueden adelantar el inicio de su actividad.
- La zona litoral parece la de mayor riesgo de aparición y diseminación de enfermedades transmitidas por dípteros vectores, riesgo que se incrementará ligeramente con el cambio climático proyectado.
- Los valles fluviales pueden actuar como corredores favoreciendo la diseminación de vectores desde la zona de costa hacia el interior.

## MOSQUITOS



## QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se dispone de estudios sobre la distribución y presencia de mosquitos vectores de enfermedades en las últimas décadas.



## QUÉ PUEDE PASAR

- Se prevé un aumento de las poblaciones de algunas especies de mosquitos, sobre todo en zonas del litoral, con incremento del riesgo de picaduras.
- Asturias presenta condiciones climáticas adecuadas para ser colonizada por el mosquito tigre (*Aedes albopictus*), vector para un gran número de enfermedades víricas exóticas. Las proyecciones climáticas indican cambios favorables a la especie en un futuro inmediato.

Si continúa la tendencia de aumento de temperaturas registrada estos últimos años algunas moscas hematófagas del género *Phlebotomus* podrán colonizar Asturias; algunas son vectores de la Leishmaniosis.





## RECURSOS



ALTA CONFIANZA

MEDIA CONFIANZA

BAJA CONFIANZA

### RECURSOS FORESTALES

Los sistemas forestales son ecosistemas que producen muy diversos recursos para los humanos, a veces contrapuestos: obtención de fibra, madera, combustible, recreo, mantenimiento de la biodiversidad, preservación del paisaje o secuestro de carbono. Si se parara de cortar en toda la superficie forestal aumentarían los stocks de carbono, pero disminuiría el volumen de productos maderables y fibra necesarios para cubrir la demanda social. El cambio climático puede afectar a la capacidad productiva forestal y a la presencia local de especies arbóreas, aunque sus ciclos de vida largos pueden actuar como mitigador de los cambios. La modificación climática puede afectar a especies plaga, o a los polinizadores.

#### RESPUESTA DE BOSQUES



##### QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se dispone de estimaciones sobre la respuesta de los bosques al cambio climático.



##### QUÉ PUEDE PASAR

- Las nuevas condiciones climáticas que se proyectan pueden llevar a una situación crítica y de escasa capacidad adaptativa en zonas forestales de elevado valor ecológico y paisajístico.
- Se predice descenso de la producción forestal por el incremento de la sequía estival y la reducción del contenido de agua del suelo.

### FENOLOGÍA DE HOJAS

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se ha detectado una disminución de la vida media de las hojas de árboles perennifolios, lo que puede suponer un incremento en la producción de hojarasca y del CO<sub>2</sub> devuelto a la atmósfera.
- Se ha indicado un incremento de la duración de las hojas en las especies arbóreas de hoja caduca, como consecuencia de la ampliación de la duración del periodo vegetativo, lo que incrementará la producción.
- Se ha incrementado la frecuencia de fallos en la fructificación al adelantarse la floración, seguida de un periodo frío.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones sobre cambios en la fenología foliar.

### HUMEDAD DEL SUELO

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se dispone de estimaciones sobre cambios en la humedad del suelo forestal en las últimas décadas.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Debido al aumento de la tasa de transpiración provocada por el incremento térmico, se pueden utilizar, como estrategia adaptativa, la aplicación de resalveos que reducen la superficie foliar.

## PLAGAS

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se ha incrementado las afecciones de la oruga procesionaria (*Thaumetopoea pityocampa*), insecto de origen y distribución mediterráneo. Este aumento se asocia al incremento térmico y se observa en otras áreas de Europa.
- Se han detectado incrementos de daños por coleópteros perforadores (escolítidos), aunque el cambio climático no sea la causa exclusiva.

### QUÉ PUEDE PASAR

- El incremento de temperaturas y la disminución de la disponibilidad hídrica provocará debilitamiento de las especies forestales, lo que desencadenará el incremento de la población de perforadores de coníferas.
- La propagación y dispersión de algunas especies de insectos pueden convertirlas en agentes vectores de plagas para los sistemas forestales.
- El incremento de temperatura o el estrés provocado por déficit hídrico puede conllevar un decaimiento general y baja calidad sanitaria de las masas afectadas (caso de la tinta o el chancro).

## SECUESTRO DE CARBONO ATMOSFÉRICO

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se dispone de estimaciones sobre el carbono acumulado en bosques y suelos de forestales, ni de su variación en las últimas décadas.

### QUÉ PUEDE PASAR

- El incremento de la superficie forestal o el envejecimiento de las masas existentes pueden suponer un aumento de su capacidad como sumidero de carbono. Este efecto será temporal.
- El alargamiento de turnos de corta en plantaciones forestales de crecimiento rápido y la gestión del proceso pueden generar aumentos importantes del carbono acumulado.

## RECURSOS AGRÍCOLAS

La producción agrícola y ganadera se asocia a condiciones climáticas, define los tipos de cultivo o ganado y sus variedades y razas. Convenientes para una región, y las épocas de plantación y cosecha. Estas pueden ser modificadas, hasta cierto punto, mediante la acción humana: gestión agrícola, cultivo en invernaderos, riego, o estabulación en el ganado. Los cambios del clima, la pluviosidad y la temperatura alteran las condiciones de cultivo habituales, y pueden incrementar sus riesgos. La prolongación de los periodos de sequía, la disminución estival de lluvia, o el incremento de temperatura puede generar déficit hídrico, incremento de algunas plagas, o según los cultivos descenso o incremento de la producción. Si afecta a la producción forrajera afectará a la ganadería.

### CLIMA Y CULTIVO

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- En los últimos 30 años se ha detectado en el área costera de Asturias un aumento de la temperatura, especialmente de marzo a agosto, acompañada de una disminución de las precipitaciones en los meses de abril a junio. El mes más seco se ha adelantado de septiembre a junio.
- Se ha producido un aumento en la duración del periodo de estrés hídrico para las plantaciones de manzano en primavera-verano.
- Las condiciones de sequía también han afectado a otros cultivos tradicionales como el maíz o la faba.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Los modelos de potencialidad agrícola prevén descensos de los cultivos asociados a incrementos de temperatura y descensos de la precipitación inferiores a los proyectados con los modelos climáticos.
- La fertilización orgánica puede ser una respuesta adaptativa y de mitigación del cambio dado que contribuye a la retención carbono orgánico en el suelo y favorece la retención de humedad del mismo.
- La diversificación productiva y los métodos agroecológicos pueden contribuir a la adaptación al cambio climático.

### FENOLOGÍA DE CULTIVO

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se ha producido un adelanto en la época de floración de los manzanos.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- El incremento de la temperatura en primavera favorecerá un adelanto de la floración en los cultivos frutales.

## PLAGAS

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- La reducción de precipitaciones en primavera-principios de verano ha determinado una disminución de la incidencia de algunas enfermedades criptogámicas como el moteado del manzano y la antracnosis de la faba.
- Se ha detectado un incremento de la incidencia en otras enfermedades como los oídios.

### QUÉ PUEDE PASAR

- Las condiciones climáticas que se proyectan favorecerán la colonización de los cultivos por especies plaga de distribución mediterránea y a un incremento del número de generaciones.

## RECURSOS MARINOS

Los cambios de clima marino pueden afectar a las especies explotadas en el mismo sentido que al resto de los ecosistemas marinos. Pero la presión de pesca a la que se somete a los recursos explotados desde hace décadas puede causar que las poblaciones de peces tengan menor capacidad de respuesta frente a reclutas anuales bajas o a los impactos de la variabilidad del clima. Cambios en la productividad planctónica, o en la recurrencia de procesos hidrográficos costeros pueden modificar las condiciones de vida de las fases larvarias de las poblaciones explotadas y afectar a la vulnerabilidad de algunos recursos (stocks). Cambios en la distribución geográfica o del comportamiento de peces y cefalópodos podrían afectar a las flotas pesqueras. Muchos de los cambios observados se deben asociar a la influencia conjunta entre la explotación humana y el cambio climático.

## PESCA

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se han detectado una disminución en los desembarcos de: sardina, anchoa, jurel, pulpo, pota, congrio, angula.
- En algunas especies se han detectado incrementos en las capturas: caballa, salmonete.

### QUÉ PUEDE PASAR

- Se prevé el incremento de capturas de especies de aguas templado cálidas que incrementen su abundancia, de acuerdo a las tendencias observadas hasta la actualidad.

## ALGAS

## QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se han detectado incrementos en la abundancia del alga de más importancia económica, el ocle, con afinidad templado cálida.

## QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones sobre las posibilidades extractivas de algas.



## RECURSOS HÍDRICOS

Los recursos hídricos presentan una gran sensibilidad al aumento de las temperaturas y a la variación de las precipitaciones. Estos fenómenos pueden dar lugar a un aumento del riesgo de inundaciones durante las épocas de lluvia, y a periodos más intensos de sequía que podrían comprometer la demanda de los usos socioeconómicos. Además, los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, no sólo afectan al régimen de aportaciones y al equilibrio del ciclo hidrológico, sino también a la forma de gestionarlos, siendo un factor determinante en la disponibilidad de agua frente a la demanda de la sociedad. La adaptación a estas nuevas condiciones se puede producir por disminución de la demanda o reuso de aguas depuradas.

## DISPONIBILIDAD DE AGUA

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se dispone de estudios del efecto del cambio climático sobre la disponibilidad de recursos superficiales y subterráneos en Asturias.

### QUÉ PUEDE PASAR

- Para el horizonte de 2027 han estimado una disminución de los recursos superficiales del 2% para el conjunto del Cantábrico.
- El aumento de la temperatura media y, por consiguiente, de la evapotranspiración, puede provocar una reducción de la disponibilidad hídrica en los meses más secos.
- No es previsible que la disminución de los recursos hídricos debido al cambio climático afecten en general a las necesidades de la población, industria, ganadería y agricultura.
- La distribución temporal de los recursos puede verse alterada de forma significativa con consecuencias importantes en la garantía de atención de las demandas, sobre todo en aguas bajas.

## CAUDALES FLUVIALES

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- La tendencia decreciente en los caudales anuales de los ríos asturianos es poco significativa y difícilmente atribuible a los efectos del cambio climático.

### QUÉ PUEDE PASAR

- La disminución de la pluviosidad (lluvia y nieve) y el cambio en el régimen de la misma, proyectadas por los modelos climáticos regionales afectarán a los caudales superficiales y subterráneos.

### CALIDAD DEL AGUA

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se detectan cambios en el contenido iónico de las aguas subterráneas entre los años 1981 y 2001.
- Se registró un aumento de la concentración de nitratos no achacable al cambio climático sino a actividades ganaderas y/o agrícolas.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Si se produce una modificación de la cantidad total de precipitación registrada, podría verse alterada la calidad química de las aguas subterráneas, al disminuir la recarga, así como de las superficiales con ellas conectadas.

### SALINIZACIÓN DE ACUÍFEROS

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Los casos que se conocen de problemas de intrusión marina en acuíferos costeros del Principado de Asturias, son puntuales y sin relevancia.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- El proyectado aumento del nivel del mar no afectará de manera importante al uso de los acuíferos costeros ya que apenas tienen explotación.



## ACTIVIDADES ECONÓMICAS



ALTA CONFIANZA ●  
 MEDIA CONFIANZA ●  
 BAJA CONFIANZA ●

### ECONOMÍA

Las repercusiones del cambio climático sobre la economía se derivarán de las respuestas adaptativas de las empresas y de la sociedad, y de los costes derivados de la mitigación del propio cambio climático. La necesidad de desarrollar nuevas tecnologías más limpias para los procesos de fabricación, o para el diseño de los edificios y viviendas, y el propio diseño de ciudades y del territorio necesita del desarrollo de profesionales y empresas con nuevos conocimientos. Pero la adaptación de los sistemas de producción y conducción energética, la renovación de los medios de producción, o la rehabilitación energética de edificios tendrá repercusión y costes asociados, que debería ser compensados a medio y corto plazo por la sostenibilidad económica y ecológica del sistema social.

#### PRODUCCIÓN



##### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Las respuestas al cambio climático se están incorporando a las estrategias de las empresas.



##### QUÉ PUEDE PASAR

- Se espera un ajuste productivo levemente a la baja si se repercuten costes ambientales al ámbito energético y a otros sectores muy dependientes de la energía.

## I+D+i

## QUÉ ESTÁ PASANDO

- Se están acometiendo proyectos con tecnologías innovadoras en campos como el aprovechamiento de la biomasa o la captura de carbono.
- La aplicación de medidas para controlar el cambio climático ha generado un efecto dinamizador sobre la industria de construcción de aerogeneradores. Los datos agregados no permiten una cuantificación precisa.

## QUÉ PUEDE PASAR

- El aprovechamiento de conocimientos tecnológicos puede generar renta y empleo en el ámbito de las energías renovables, captura de CO<sub>2</sub> y actividades forestales entre otros a las empresas.
- Los puestos de trabajo directamente relacionados con el sector energético apuntan a los de más alta capacitación técnica y a los asociados a la instalación y mantenimiento de los complejos.

## NUEVAS RENTAS Y EMPLEOS

## QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se dispone de estudios que analicen los efectos del cambio climático pasado sobre rentas y empleos.

## QUÉ PUEDE PASAR

- Se prevé una contribución a la renta regional y al empleo de nuevas actividades productivas derivadas de la adaptación y mitigación del cambio climático.
- Las emisiones de GEI de la industria papelera podrán compensarse por la fijación de dióxido de carbono en sus plantaciones por lo que no deberán elevarse sus costes por efecto climático.

## SECTOR TURÍSTICO

En los próximos años, el fenómeno del cambio climático debe ser uno de los aspectos de obligatoria consideración en la gestión turística. Las acciones de adaptación y mitigación que permitan minimizar los impactos y maximizar las oportunidades deberán llevarse a cabo teniendo en cuenta que, aunque el fenómeno deba ser contemplado a escala global, dichas actuaciones deben partir del ámbito local. La complejidad del sector turístico impide proyectar el comportamiento de algunos de los elementos que participan en el sistema: demanda, oferta, agentes y operadores del mercado. Los modelos e índices actuales tan solo permiten realizar proyecciones en cuanto a las posibles variaciones que se puedan experimentar en la potencialidad climático-turística en ámbitos territoriales concretos.

### DEMANDA TURÍSTICA

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- El clima y el tiempo meteorológico han sido y son factores importantes para una buena parte de los productos turísticos que se ofertan en el Principado, por lo que cualquier cambio en las condiciones climáticas comportará impactos en este ámbito de actividad.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Desde la perspectiva de las condiciones climático-turísticas, en un contexto regional más amplio, Asturias podría salir beneficiada al mantener unas condiciones muy favorables en relación a otros destinos competidores del Mediterráneo.

### TURISMO DE COSTA

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- La actividad turística en la zona costera de Asturias manifiesta una elevada estacionalidad. La concentración demográfica que se produce durante el período estival la convierte en un espacio altamente vulnerable.
- En Asturias, la vulnerabilidad natural del litoral al cambio climático se acentúa debido a que un porcentaje importante de la población se concentra en la zona costera del área central de la región y los actuales núcleos en

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Según los modelos de aptitud turística de los climas, existe una probabilidad elevada de que las condiciones climáticas para el turismo litoral asturiano mejoren, en especial en relación a la modalidad de sol y playa, debido al incremento en el número de días sin precipitación y con temperaturas agradables para la práctica del baño proyectadas.
- Las proyecciones en relación al ascenso del nivel del mar y aumento de la cota de

crecimiento (con diversificación de actividades y creciente peso del sector terciario -en muchos casos vinculado al turismo-) se sitúan en la costa oriental y central.

inundación podrían limitar las ventajas derivadas de la mejora de las condiciones climáticas, al producirse fenómenos erosivos o retroceso de la línea de costa y efectos en las playas.

- El incremento de la cota de inundación podría afectar a las infraestructuras turísticas que están en primera línea de costa: paseos marítimos, mobiliario urbano, establecimientos turísticos,...
- La subida del nivel del mar y la acción del oleaje pueden alterar las cualidades ecológicas y estéticas de marismas, estuarios y acantilados, que son actualmente atractivos turísticos.

### TURISMO DE MONTAÑA

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Las zonas de montaña por presentar ecosistemas emplazados en sus límites ecológicos y/o geográficos presentan una elevada vulnerabilidad al cambio climático.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- La viabilidad futura de las actividades turísticas que se desarrollan en zonas de montaña podrá variar como consecuencia del cambio climático.
- La previsible reducción del manto de nieve y el aumento de las temperaturas pondrán en riesgo la viabilidad de los actuales complejos de invierno.
- La ampliación de la temporada estival podría favorecer el crecimiento y desarrollo de otros productos turísticos relacionados con la naturaleza y las actividades deportivas, aunque el mayor peligro de incendios puede suponer un factor de riesgo para las actividades al aire libre.
- Los posibles cambios en los ecosistemas modificarán sus cualidades estéticas y funcionales, como puede ocurrir con la pesca fluvial.



### TURISMO URBANO

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- La baja dependencia de los productos y destinos turísticos urbanos en relación a los aspectos meteorológicos hacen que esta modalidad sea poco sensible a los efectos derivados del cambio climático.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- La disminución de la precipitación y un aumento de las temperaturas pueden estimular el turismo cultural en determinadas épocas del año.

## ENERGÍA

El desarrollo tecnológico y económico se ha basado en el uso extensivo de combustibles fósiles, ligado a explotación de carbón del subsuelo de Asturias desde hace más de un siglo. La necesidad de reducción de las emisiones de GEI asociado al uso de estas fuentes energéticas implica la apuesta por el desarrollo de fuentes renovables y sostenibles de energía, y el fomento de una reducción en la demanda. La ordenación territorial, el urbanismo y la construcción de edificios, el transporte, el desarrollo tecnológico y el comportamiento ciudadano responsable son ámbitos en los que se debe actuar.

### CONSUMO DE ENERGÍA

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- El consumo energético del Principado de Asturias en lo que respecta a los consumidores – ciudadanos es similar al del resto de las Comunidades Autónomas Españolas y dentro de los parámetros europeos.
- A pesar de la relativamente elevada contribución de Asturias a la generación de energía eléctrica en España, el Principado tiene un bajo grado de autoabastecimiento energético, y depende mayormente de las importaciones.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- No se dispone de proyecciones sobre consumo de energía en relación al cambio climático.

### RECURSOS NO RENOVABLES

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- En los sectores industrial y energético la situación del Principado de Asturias es claramente diferente al de otras Comunidades Autónomas, y está condicionada por el consumo masivo de carbón, lo que influye sobremanera en sus datos energéticos y de emisiones.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- El desarrollo de tecnologías de uso limpio del carbón, como la Captura y el Almacenamiento Subterráneo de CO<sub>2</sub>, puede suponer en el futuro una forma de producción sostenible de energía en Asturias.

### RECURSOS RENOVABLES

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Asturias presenta un bajo nivel global de penetración de las energías renovables en su dieta energética y una estructura poco di-

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Se prevé un aumento en la generación de energía proveniente de fuentes autóctonas y renovables: solar, eólica, geotérmica, bioma-

versificada por tecnologías de producción de energía renovable.

- Se dispone actualmente de tecnologías que permiten el aprovechamiento de las energías renovables (hidráulica, eólica y solar, entre otras) en condiciones relativamente eficientes.
- La disminución de las precipitaciones medias y la variabilidad del recurso hidráulico se verán amortiguadas por la capacidad de regulación de los aprovechamientos hidroeléctricos existentes.
- Las proyecciones climáticas apuntan a una disminución de la nubosidad, más acusada en verano, lo que favorecería el aprovechamiento fotovoltaico y térmico de este tipo de energía, mejorando la rentabilidad futura de este tipo de proyectos.

### AHORRO ENERGÉTICO

#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Existe potencial en el aumento de la eficiencia energética en la vivienda y en el sector terciario, siendo más eficiente disminuir la demanda energética del edificio a través del diseño y de su orientación que aumentar el rendimiento de los equipos.

#### QUÉ PUEDE PASAR

- Se producirá un incremento de medidas encaminadas a conseguir un elevado incremento de la eficiencia energética. La Arquitectura bioclimática y el frío solar puede tener un papel destacado en Asturias y llegar a conseguir disminuciones de emisiones de CO2 relativamente elevadas.





## CAPTURA Y ALMACENAMIENTO DE CO<sub>2</sub>

La captura y almacenamiento geológico de CO<sub>2</sub> se plantea como una herramienta clave de mitigación del cambio climático. La gran dependencia del sistema energético actual de los combustibles fósiles hace necesario y urgente retirar una parte significativa de las emisiones potenciales en las próximas décadas. La captación del CO<sub>2</sub> y su almacenamiento de forma permanente son los dos procesos implicados.

### CAPTURA DE CO<sub>2</sub>



#### QUÉ ESTÁ PASANDO

- Existen tecnologías de separación de gases a gran escala que son aplicables a sistemas de captura de CO<sub>2</sub>, por estar ya muy desarrolladas en la industria química y de transformación de gas natural y petróleo.
- En Asturias se ha desarrollado un sistema de captura de CO<sub>2</sub> basado en procesos de carbonatación-calcinación.
- La pérdida de rendimiento neto en la generación eléctrica con tecnologías de captura aplicadas a sistemas de combustión hace inviable la aplicación de éstas a la mayoría de las centrales existentes.



#### QUÉ PUEDE PASAR

- Existe un abanico de procesos emergentes de captura de CO<sub>2</sub>, que buscan una reducción mayor de costes y de penalizaciones energéticas.
- En Asturias se seguirán desarrollando tecnologías de captura basadas en técnicas de carbonatación-calcinación en La Pereda.
- La UE favorece la demostración comercial (1000s de MWt) en varias centrales en Europa, incluyendo una primera en España (Compostilla), donde se ensayará primero un planta piloto industrial (20 MWt).



## ALMACENAMIENTO GEOLÓGICO

### QUÉ ESTÁ PASANDO

- No se dispone de datos concretos sobre posibilidades de almacenamiento subterráneo de CO<sub>2</sub> en Asturias, aunque las formaciones permeables profundas de la plataforma continental y marina serían adecuadas; ya ha sido declarada una Reserva Nacional Estratégica para tal fin.

### QUÉ PUEDE PASAR

- Se desarrollarán estudios de evaluación de la capacidad real de almacenamiento masivo de CO<sub>2</sub> en Asturias, en condiciones de seguridad y estanqueidad.

## CLIMAS on line y otra información...

Los informes sectoriales completos, que incluyen el detalle de las evidencias que sostienen las conclusiones aquí presentadas, el margen de incertidumbre de las evaluaciones, las lagunas de información y las necesidades de esfuerzos futuros, serán publicados de forma íntegra pudiendo también ser descargados del portal de medio ambiente del Principado de Asturias [www.asturias.es](http://www.asturias.es)

## Qué es el panel de expertos CLIMAS

**CLIMAS** es una iniciativa promovida por la **Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras del Principado de Asturias, coordinada por la Oficina para la Sostenibilidad, el Cambio Climático y la Participación**, que ha reunido a más de cuarenta investigadores y expertos de distintas instituciones del país para realizar un análisis multidisciplinar que permita mejorar la comprensión y la comunicación de las repercusiones que el cambio climático tiene y tendrá en nuestra región. La contribución de especialistas de muchas disciplinas, con conocimientos diversos, puede generar una imagen del cambio climático y de sus efectos en el Principado de Asturias. Es éste un problema fundamental al que nos debemos enfrentar, y que necesita de estudio y análisis, pero también de imaginación y coraje por parte de los ciudadanos y de los responsables políticos. La información aportada puede permitir que las políticas necesarias de adaptación y mitigación sean entendidas y valoradas.



[www.asturias.es](http://www.asturias.es)

### **Metodología de trabajo**

El Panel inició su andadura a partir de una reunión que tuvo lugar en junio del 2008 y ha realizado un trabajo en grupos que se presentó de forma conjunta en diciembre de 2008. Posteriormente la contribución de los grupos ha sido sometida a un proceso de revisión por partes. La información que se ha incorporado en los distintos informes sectoriales ha sido obtenida mayoritariamente de materiales ya publicados en revistas de reconocido prestigio.







Gobierno del Principado de Asturias

Consejería de Medio Ambiente,  
Ordenación del Territorio e Infraestructuras

---