



# EL CAMBIO CLIMÁTICO EN CATALUÑA

Resumen ejecutivo  
del Tercer informe  
sobre el cambio climático  
en Cataluña



**Generalitat  
de Catalunya**



**Institut  
d'Estudis  
Catalans**



# **EL CAMBIO CLIMÁTICO EN CATALUÑA**

## **Resumen ejecutivo del Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña**

Barcelona, 2017



Biblioteca de Catalunya. Datos CIP:

[**Canvi** climàtic a Catalunya. Castellà]

El Cambio climático en Cataluña : resumen ejecutivo del Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña. – Primera edición

Títol original: El Canvi climàtic a Catalunya : resum executiu del tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya

ISBN 9788439396208 (Generalitat de Catalunya). – ISBN 9788499653853 (Institut d'Estudis Catalans)

I. Queralt, Arnau, editor literari II. Catalunya. Generalitat III. Institut d'Estudis Catalans

IV. Títol: Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya. Castellà

1. Canvis climàtics – Catalunya 2. Gestió ambiental – Catalunya

551.583(460.23)

502.13(460.23)

Existe una edición completa del *Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña*

(Barcelona, 2016, ISBN 978-84-9965-317-4 [IEC] e ISBN 978-84-393-9448-8

[Generalitat de Catalunya]) publicada por el Institut d'Estudis Catalans y la Generalitat de Catalunya, con la colaboración de la Fundación Bancaria "la Caixa".

© 2017, Institut d'Estudis Catalans y Generalitat de Catalunya

Redacción: Xavier Duran, Maria Josep Picó y Lluís Reales

Edición: Arnau Queralt

Traducción: Gabinete técnico del Departamento de Asuntos y Relaciones Institucionales y Exteriores y Transparencia.

Primera edición: Barcelona, septiembre de 2017

La edición de este resumen ejecutivo ha sido posible gracias a la colaboración de la Fundación Bancaria "la Caixa"

Institut d'Estudis Catalans

ISBN: 978-84-9965-385-3

Generalitat de Catalunya

ISBN: 978-84-393-9620-8

DL: B 25748-2017

Texto revisado lingüísticamente por el Servicio de Corrección Lingüística del Institut d'Estudis Catalans

Diseño gráfico y producción editorial:

Entidad Autónoma del Diario Oficial y de Publicaciones



Esta obra es de uso libre, pero está sometida a las condiciones de la licencia pública de Creative Commons «Reconocimiento-No Comercial»: se puede redistribuir, copiar y reutilizar, siempre que se reconozca la autoría y no haya ánimo de lucro. Se puede encontrar una copia completa de los términos de esta licencia en la dirección: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Esta traducción al español debe ser citada como:

GENERALITAT DE CATALUNYA; INSTITUT D'ESTUDIS CATALANS. *El cambio climático en Cataluña: Resumen ejecutivo del tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña*. Redacción: Xavier Duran, M. Josep Picó y Lluís Reales. Edición: Arnau Queralt. Traducción: Gabinete técnico del Departamento de Asuntos y Relaciones Institucionales y Exteriores y Transparencia. Barcelona: Generalitat de Catalunya, Institut d'Estudis Catalans, 2017. También disponible en línea en: <cads.gencat.cat>.

# Sumario

<b>Introducción</b> .....	5
¿Qué es el TICCC?.....	6
¿Qué pretende?.....	6
¿Quién lo impulsa? .....	6
¿Quién ha participado en él?.....	6
¿Por qué este resumen ejecutivo?.....	6
¿Cómo se estructura el resumen ejecutivo? .....	7

## 1ª PARTE Las bases científicas del cambio climático

1.1. El cambio climático, una realidad patente .....	9
1.2. La evolución reciente de las emisiones de gases de efecto invernadero .....	12
1.3. Bosques, prados y cultivos: sumideros naturales de carbono .....	18
1.4. En Cataluña, el clima ya está cambiando.....	21
1.5. El clima que viene: ¿qué dicen las proyecciones climáticas?.....	29

## 2ª PARTE Sistemas naturales: impactos, vulnerabilidad y adaptación

2.1. Incendios, inundaciones y otros riesgos de origen climático .....	34
2.2. El agua, un recurso más escaso.....	37
2.3. La costa catalana, mucho más vulnerable.....	41
2.4. Los ecosistemas: cambios de estructura, de funcionamiento y en los servicios que nos proporcionan .....	45
2.5. Los suelos: un elemento vivo que regula el clima y sufre sus impactos .....	57

## 3ª PARTE Sistemas humanos: impactos, vulnerabilidad, adaptación y mitigación

3.1. Cambio climático y seguridad alimentaria .....	59
3.2. La energía y la industria: dos sectores clave para reducir las emisiones de GEI.....	64
3.3. La movilidad: una cuestión de hábitos y planificación .....	70
3.4. El turismo: en busca de nuevos modelos.....	72
3.5. Los residuos: de problema a recurso .....	74
3.6. El cambio climático afecta la salud.....	78
3.7. Repensar el territorio .....	80
3.8. El reto de las montañas .....	81

## 4ª PARTE La gobernanza y la gestión del cambio climático

4.1. Compromisos internacionales y políticas propias .....	85
4.2. El comercio de emisiones.....	86
4.3. La investigación sobre cambio climático en Cataluña .....	87
4.4. La percepción pública del cambio climático.....	88
4.5. Soluciones complejas para un fenómeno también complejo .....	90

<b>ANEXO. Personas que han hecho posible el TICCC</b> .....	91
---	----



# Introducción

El cambio climático es un hecho. Lo demuestran los datos disponibles y lo afirma la comunidad científica mundial que trabaja en este ámbito bajo el paraguas del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

Desde que existen registros, de los diecisiete años más cálidos dieciséis han sido posteriores al año 2000, y por primera vez en la historia, en 2015 la temperatura media global del planeta (la temperatura del aire sobre la superficie terrestre y marina) superó en 1 °C la existente en la época preindustrial. Finalmente, por primera vez en ochocientos mil años la concentración de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) en la atmósfera sobrepasó la concentración permanente de 400 partes por millón.

Los efectos de este calentamiento son numerosos y condicionarán claramente nuestro futuro colectivo. Cataluña no es ajena a este cambio en las condiciones climáticas y a sus efectos. Entre 1950 y 2014 la temperatura media anual del aire aumentó en +0,23 °C/decenio en el conjunto de Cataluña, un incremento ligeramente superior al observado a nivel global.

Las proyecciones para los próximos decenios apuntan a un aumento de temperatura, una ligera disminución de la precipitación, que sería más acusada hacia mediados de siglo, y un incremento en la probabilidad de lluvias más intensas, así como del número y la duración de las sequías.

La toma de decisiones requiere información relevante y de calidad, así como de diálogo y trabajo conjunto entre científicos y decisores públicos y privados. Por este motivo, en 2005 la Generalitat de Catalunya y el Institut d'Estudis Catalans publicaron el *Primer informe sobre el cambio climático en Cataluña*, donde se analizaban el estado y la evolución del clima en Cataluña desde el punto de vista de sus bases científicas y en relación con los sistemas naturales y humanos.

Este primer ejercicio para regionalizar en Cataluña los análisis y las proyecciones a escala mundial y europea, hechas por instituciones como el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas o la Agencia Europea del Medio Ambiente, fue seguido de una segunda edición publicada en 2010. Finalmente, el día 30 de enero de 2017 se presentó el Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña (TICCC), que actualiza las dos ediciones anteriores.

## **¿Qué es el TICCC?**

El *Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña* es un informe independiente desde el punto de vista científico sobre el estado del clima y cómo evoluciona de acuerdo con los sistemas naturales y humanos, de ámbito catalán (con las necesarias referencias al contexto global y europeo), hecho con la voluntad de máxima cobertura temática y que sea útil a los diferentes actores implicados en la gestión del cambio climático.

## **¿Qué pretende?**

El objetivo del TICCC es analizar el estado y la evolución reciente y futura del clima en Cataluña, los efectos del cambio climático en los sistemas naturales y humanos, la contribución de estos sistemas a las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y la adaptación de estos a un clima cambiante.

## **¿Quién lo impulsa?**

El TICCC está impulsado por:

- 1) El Consejo Asesor para el Desarrollo Sostenible (CADS), órgano asesor del Gobierno de Cataluña en el ámbito de la sostenibilidad, adscrito al Departamento de Asuntos y Relaciones Institucionales y Exteriores y Transparencia.
- 2) La Oficina Catalana del Cambio Climático, adscrita a la Dirección General de Calidad Ambiental y Cambio Climático del Departamento de Territorio y Sostenibilidad.
- 3) El Servicio Meteorológico de Cataluña.
- 4) El Institut d'Estudis Catalans.

## **¿Quién ha participado en él?**

El TICCC ha contado con la participación de más de ciento cuarenta autores y de cuarenta revisores, todos científicos y expertos técnicos relevantes en la materia, procedentes de los principales centros de investigación y universidades de Cataluña, así como de unidades técnicas de diversas administraciones públicas (vid. la lista íntegra de autores y revisores al final del dossier).

El doctor Javier Martín-Vide, catedrático de geografía física de la Universidad de Barcelona, ha ejercido la coordinación científica del TICCC. El informe ha contado con la colaboración del Grupo de Expertos en Cambio Climático de Cataluña (GECCC) y su edición ha tenido el apoyo de la Fundación Bancaria "la Caixa".

## **¿Por qué este resumen ejecutivo?**

La obra que tienen en las manos es el resumen ejecutivo que las instituciones impulsoras del TICCC hemos querido poner al alcance de los lectores interesados en sus resultados. Cabe señalar, sin embargo, que no se trata de una síntesis estricta del

informe, sino de un documento elaborado específicamente con finalidades divulgativas, donde se han seleccionado los mensajes más relevantes que contiene el TICCC.

Por este motivo el resumen ejecutivo no tiene en cuenta la división por capítulos del informe y se estructura a partir de las cuatro partes fundamentales del TICCC.

## ¿Cómo se estructura el resumen ejecutivo?

El resumen ejecutivo se estructura en las siguientes partes:

- 1) **Las bases científicas del cambio climático**, donde se describen el consenso científico sobre el calentamiento del planeta, la evolución reciente de las emisiones de gases que lo provocan y las medidas para paliar sus efectos. También se explican los sistemas naturales que ayudan a secuestrar más cantidad de carbono, se exponen las variaciones del clima en Cataluña desde 1950 y se analiza la evolución climática durante la primera mitad del siglo XXI.
- 2) **Los sistemas naturales: impactos, vulnerabilidad y adaptación**, donde, centrándose en los sistemas naturales, se profundiza en los riesgos climáticos y los impactos sobre los recursos hídricos, el litoral y los ecosistemas terrestres, acuáticos y marinos, atendiendo, además, a las particularidades de los suelos.
- 3) **Los sistemas humanos: impactos, vulnerabilidad, adaptación y mitigación**, donde se presentan los impactos, la vulnerabilidad y las propuestas de adaptación y mitigación del cambio climático en diversos ámbitos y sistemas humanos de Cataluña (la agricultura, la ganadería y la pesca; los sectores energéticos, industriales y el turismo; la salud; los residuos y los recursos; el transporte, la movilidad y la logística; el territorio y el espacio urbano, y la interacción entre sistemas naturales y los humanos en las zonas de alta montaña).
- 4) **La gobernanza y la gestión del cambio climático**, donde se abordan las políticas y los instrumentos necesarios para mitigar y adaptarse al cambio climático, la importancia de la opinión pública, el estado de la investigación en esta materia y el proceso institucional y legal seguido desde la firma del Protocolo de Kioto hasta la Cumbre de París.

Esperamos que esta publicación sea interesante y útil para integrar el cambio climático en todas las actuaciones y las decisiones que se deban tomar en Cataluña, reforzando el compromiso y la resiliencia del país hacia una de las cuestiones más relevantes a que debe hacer frente la Humanidad en el presente siglo.



# 1ª PARTE

## Las bases científicas del cambio climático

### 1.1. El cambio climático, una realidad patente

No queda ya ninguna duda: el aumento de la temperatura del planeta es inequívoco y la principal causa de ello ha sido, desde la segunda mitad del siglo xx, la actividad humana, como concluye el *Quinto informe de evaluación* del IPCC, completado el año 2014.

Desde entonces, nuevos datos corroboran la tendencia al calentamiento: en 2015, por primera vez desde que existen registros, la temperatura media global del planeta llegó a superar en 1 °C la temperatura de la era preindustrial. En paralelo, por primera vez en ochocientos mil años la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera sobrepasó las 400 partes por millón.

Se puede afirmar, de esta manera, que actualmente el consenso científico es prácticamente absoluto. Hay dudas sobre la velocidad que este cambio tomará en el futuro, sobre las consecuencias a nivel regional y sobre el ritmo al que se producirán algunas transformaciones derivadas de las variaciones climáticas —por ejemplo, los cambios en la superficie del hielo, que refleja la radiación solar, o el efecto de las políticas de disminución de emisiones. No obstante, no hay ninguna duda del calentamiento de la Tierra (figura 1), de la responsabilidad humana sobre este fenómeno y la gravedad de sus efectos.

El aumento de temperaturas no es la única manifestación del cambio climático: se han observado otras alteraciones asociadas a este incremento, entre las cuales hay que destacar la disminución de la cantidad de nieve y hielo, el calentamiento y

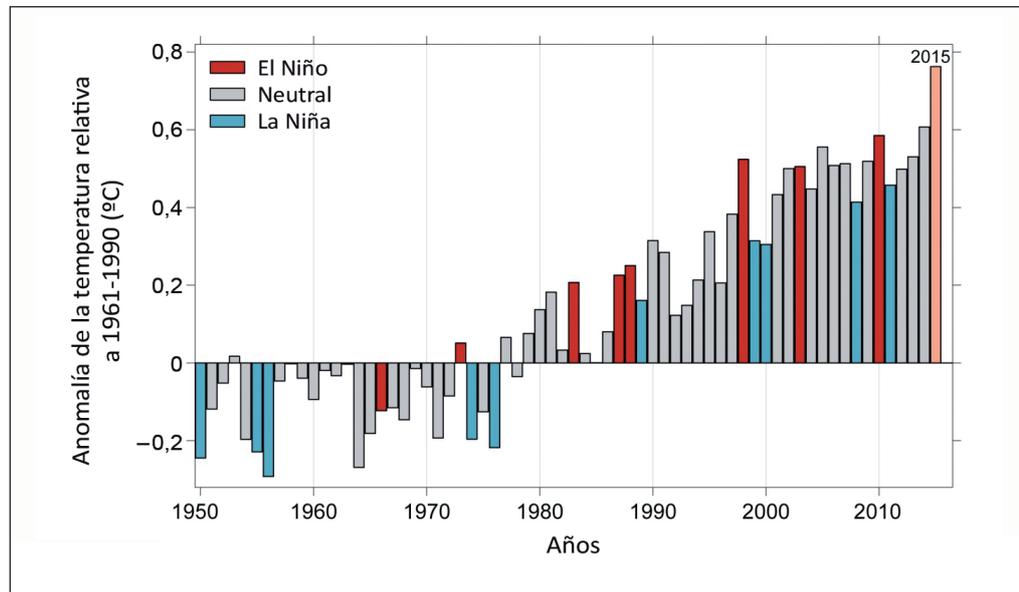


Figura 1. Anomalía de la temperatura global (1961-1990). La media de 2015 se basa en las temperaturas de enero a octubre. Las columnas rojas corresponden a años donde se produce el fenómeno del Niño; las azules, a años en que se produce el fenómeno de La Niña, y las grises, a años neutrales. Los valores tienen una incertidumbre de cerca del 0,1 °C.

Fuente: HadCRUT.4.4.0.0, GISTEMP y NOAA GlobalTemp para el periodo 1950-2014. (Gráfico adaptado de <https://www.wmo.int>.)

la acidificación de los océanos y el aumento del nivel del mar. Desde 1950 también se ha constatado un incremento de los fenómenos meteorológicos y climáticos extremos.

En diciembre de 2015, en París se firmó un acuerdo que, en el contexto del Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático, fijó el objetivo de limitar el incremento de la temperatura media del planeta en 2 °C respecto de la temperatura previa a la revolución industrial (con la aspiración de conseguir que este incremento quedara frenado a 1,5 °C). Desgraciadamente, los científicos apuntan que ya se han emitido más de dos tercios de todo el carbono que se puede enviar a la atmósfera sin que el aumento de la temperatura global supere los 2 °C.

Muchos expertos consideran que superar este límite comportaría consecuencias sociales, económicas y ambientales graves. La única opción para evitarlo es reducir las emisiones de GEI y por este motivo los gobiernos firmantes del Acuerdo de París decidieron que no solamente no debe aumentar la emisión de GEI, sino que las actividades humanas no deben generar más gases de los que se puedan eliminar de la atmósfera, ya sea mediante procesos naturales como la absorción de carbono por parte de los bosques, o métodos artificiales de captación de CO<sub>2</sub>.

Según el Acuerdo de París, todos los países del mundo deben reducir las emisiones de GEI, teniendo en cuenta sus circunstancias socioeconómicas. Por este motivo, el

Acuerdo establece que a partir del año 2020 se creará un fondo voluntario con una dotación de 100.000 millones de dólares anuales. El objetivo de este fondo verde es ayudar a los países menos favorecidos a desarrollarse adoptando un modelo económico de baja intensidad de carbono (con el uso de energías limpias) y resiliente, es decir, adaptado a los impactos del cambio climático.

Reducir las emisiones no será, sin embargo, un proceso rápido y, cuando se consiga, los efectos tampoco se notarán de inmediato dado que el CO<sub>2</sub> es un gas con un tiempo de residencia en la atmósfera muy largo. De hecho, se estima que el 40% de las emisiones producidas hoy permanecerán en la atmósfera durante cien años y que dentro de mil años todavía estarán presentes el 20%.

Por lo tanto, ¿qué perspectivas hay de alcanzar una reducción realmente importante de las emisiones de GEI? El *Quinto informe de evaluación* del IPCC analiza varios escenarios. En un mundo globalizado que abandone muy rápidamente el sistema energético actual, basado sobre todo en los combustibles fósiles, la temperatura media a finales de siglo solo será 1 °C superior a la existente en la época preindustrial.

En cambio, si la mayor parte de las economías se siguen basando en combustibles fósiles y mantienen un consumo energético y de materiales elevados, a finales de siglo la temperatura global media podría llegar a ser 5 °C superior a la de la etapa

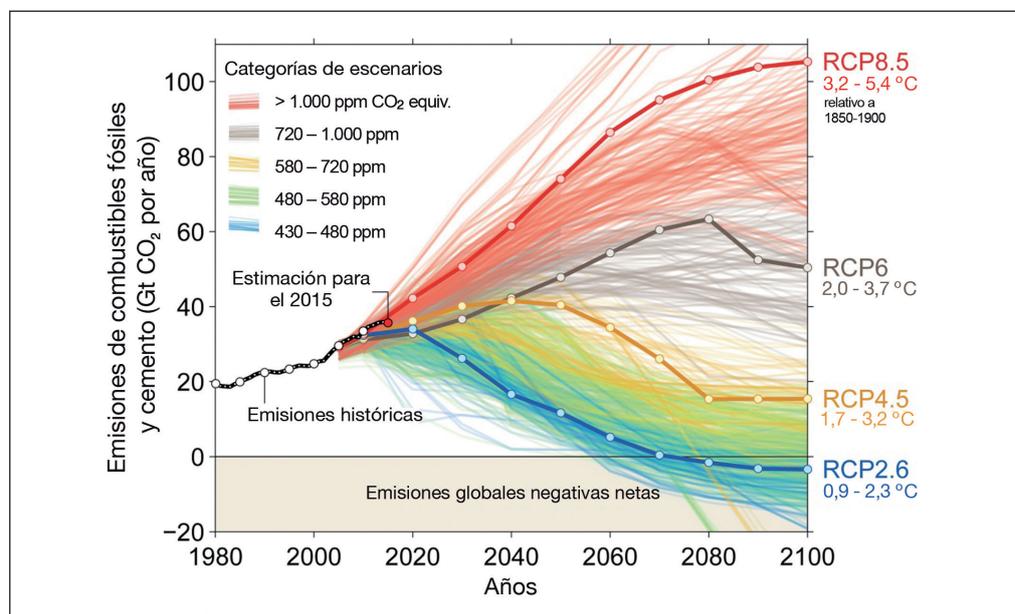


Figura 2. Trayectorias de emisiones de CO<sub>2</sub> utilizadas en el *Quinto informe de evaluación* del IPCC (2013-2014). Las líneas fuertes corresponden a las cuatro trayectorias de concentraciones representativas utilizadas por el Grupo de Trabajo I del IPCC para generar las proyecciones de cambio climático, y las líneas más difuminadas corresponden a las trayectorias utilizadas por el Grupo de Trabajo III del IPCC para evaluar las alternativas de mitigación. La línea negra de las emisiones históricas proviene del Carbon Dioxide Information Analysis Center y el Global Carbon Project.

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

preindustrial. El informe del IPCC apunta escenarios extremos, más pesimistas, como muestra la figura 2.

Lo que parece claro es que las actuaciones deben ser decididas y deben empezar a aplicarse muy pronto. La probabilidad de no llegar al límite de los 2 °C disminuirá rápidamente si estas medidas no se implantan durante los próximos años.

## 1.2. La evolución reciente de las emisiones de gases de efecto invernadero

El CO<sub>2</sub> es el principal gas de efecto invernadero (GEI), aunque hay otros, como el metano (CH<sub>4</sub>), el óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) y otros gases de vida larga que contienen halógenos (los hidrofluorocarburos o HFC, los perfluorocarburos o PFC, y el hexafluoruro de azufre o SF<sub>6</sub>). Para facilitar los cálculos y las comparaciones, a menudo se utilizan las llamadas *emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes*, que resultan de calcular cuántas toneladas de este gas producirían el efecto invernadero conjunto de todos los GEI.

### *Un aumento sostenido durante dos siglos y medio*

La revolución industrial, iniciada a mediados del siglo XVIII, comportó un gran incremento de las emisiones de CO<sub>2</sub>, y desde entonces la producción de GEI a nivel mundial ha aumentado exponencialmente. Si tomamos el planeta en su conjunto, casi dos terceras partes de estas emisiones provienen del sector energético, un porcentaje que en los países desarrollados llega hasta el 75%.

El problema se ha agravado en el último medio siglo: desde 1970 el total de GEI emitidos a la atmósfera por las actividades humanas ha aumentado en un 80%, y en el decenio 2000-2010 ha aumentado más rápidamente que en las tres décadas anteriores. Esto ha comportado que en 2015, por primera vez en ochocientos mil años, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera sobrepasara las 400 partes por millón. Si no se toma ninguna medida y se mantiene este ritmo, en 2100 la temperatura media se podría situar entre 3,7 °C y 4,8 °C por encima de los niveles pre-industriales.

A nivel internacional, y según datos de 2014, los principales emisores de CO<sub>2</sub> fueron, en valores absolutos, China (que emitió el 27% del total mundial), Estados Unidos de América (15%), la Unión Europea (10%) e India (7%). Sin embargo, en términos de emisiones *per capita* destacan los países árabes ricos en petróleo, como Catar, con unas emisiones elevadas y una población no muy numerosa, Estados Unidos de América y Australia, con 16-17 toneladas por persona y año.

Estos últimos valores son más del doble que los de China (6,26 toneladas por persona y año) y los de la media de países europeos, ocho veces superiores a los de la India y más de cincuenta veces superiores a los que presentan muchos de los países menos desarrollados del África subsahariana.

Sin embargo, debe considerarse que el crecimiento industrial de China la ha llevado a igualar las emisiones *per capita* de la Unión Europea (convirtiéndola en un país clave en las políticas globales contra el cambio climático) y que aproximadamente la cuarta parte de sus emisiones corresponden a la producción de bienes que son exportados y consumidos en terceros países. Esto implica, por lo tanto, que las emisiones de los países importadores no reflejan exactamente sus hábitos y niveles de consumo.

Estas cifras indican que en los últimos años las emisiones no se han reducido tanto como era necesario, sino que más bien se ha producido el proceso contrario. Sin embargo, hay algunos datos que ponen de manifiesto la posibilidad de emitir menos GEI sin que el desarrollo económico se resienta: en 2014, por ejemplo, las emisiones de GEI de la Unión Europea e Islandia fueron un 24,4% inferiores a las producidas el año 1990, aunque la población y el producto interior bruto (PIB) *per capita* hubieran aumentado.

Esta tendencia no ha sido uniforme en toda la Unión Europea. En el periodo 1990-2007 hubo un crecimiento continuado de las emisiones en España. Después llegaron tres años —2008, 2009 y 2010— con un descenso acusado atribuible principalmente a la recesión económica y, en buena parte, a los cambios en los combustibles usados en la generación de electricidad. En este sentido, cabe recordar que la Unión Europea ha establecido unas medidas que deberían reducir el 20% de las emisiones de GEI para 2020.

En Cataluña, las emisiones de CO<sub>2</sub> equivalentes han crecido de una forma continuada entre 1990 y 2005. En 2006 y 2007 disminuyeron ligeramente y los valores se estabilizaron. Finalmente, en el periodo 2008-2013 disminuyeron hasta el 19,4% respecto del año base (1990). La figura 3 muestra la evolución de las emisiones de GEI *per capita* en Cataluña y España.

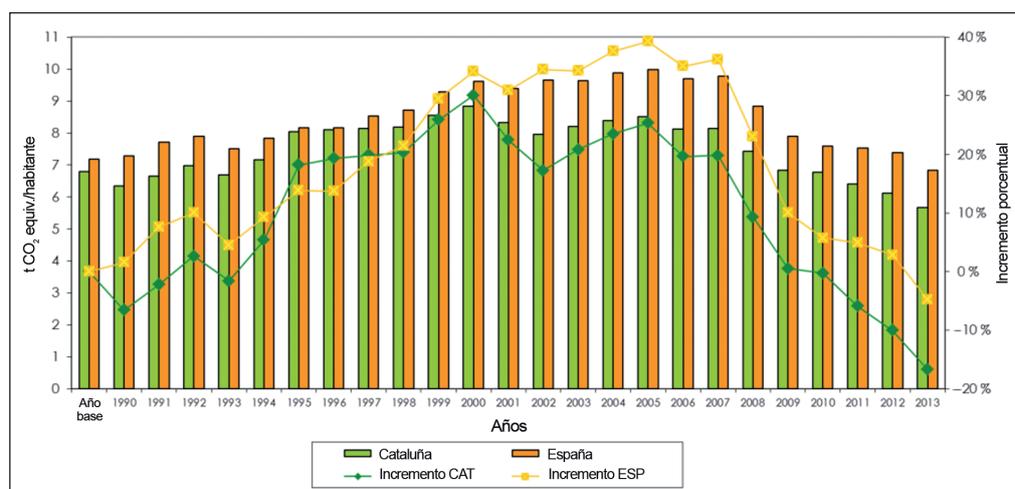


Figura 3. Evolución de las emisiones de GEI *per capita* en Cataluña y España.

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

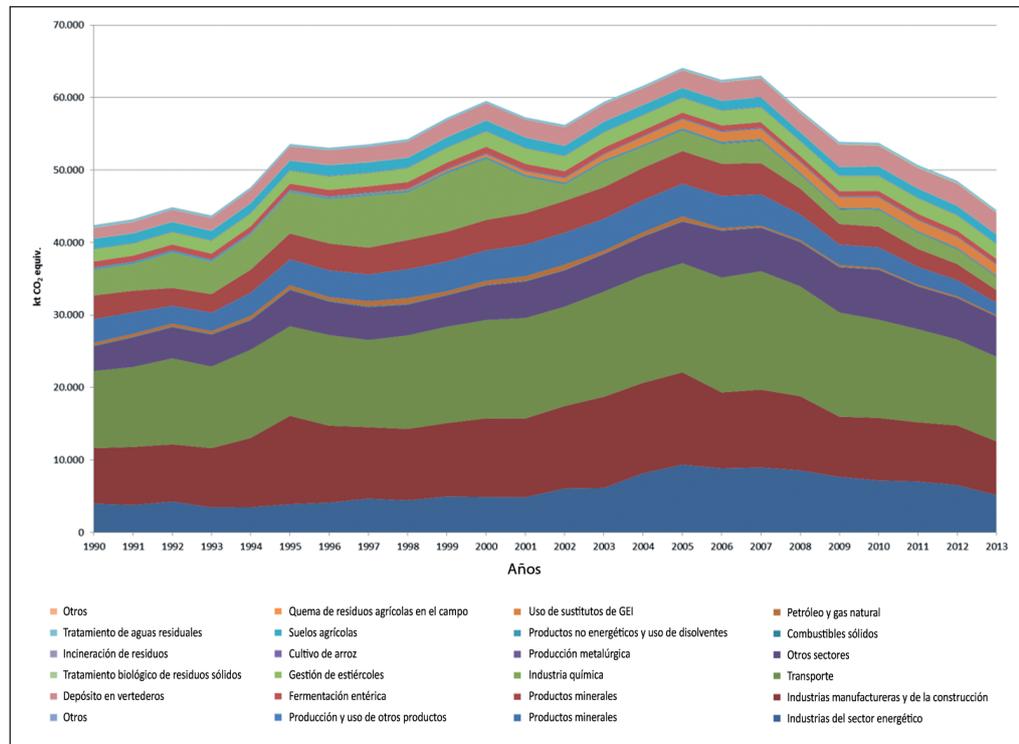


Figura 4. Emisiones de CO<sub>2</sub> equivalente por sectores, en Cataluña, para el periodo 1990-2013. Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

A pesar de estas variaciones, entre 1990 y 2013 las emisiones de GEI se incrementaron un 9,2%. Este último año las emisiones generadas en Cataluña representaron el 13,3% del total de las españolas.

Por lo tanto, considerando que la población de Cataluña representa el 16% de la española y el PIB, el 19%, se puede concluir que las emisiones producidas son inferiores, en porcentaje, a las que corresponderían por población y generación de riqueza. La figura 4 muestra la evolución de las emisiones, distribuidas por sectores, en Cataluña.

### Emisiones de GEI y actividad económica: ¿un tándem indisoluble?

El hecho de que en 2014 la Unión Europea e Islandia produjeran menos emisiones que en 1990 a pesar de haber aumentado en población y en PIB, y que Cataluña tuviera un porcentaje de emisiones menor de lo que le correspondería por población y generación de PIB en el conjunto de España, indica que para aumentar la actividad económica no es necesario emitir más GEI.

Para medir este hecho se utiliza el concepto de *intensidad energética*, que se define como la energía necesaria para cada unidad productiva, calculada mediante el PIB. A partir de las emisiones generadas para producir una determinada energía

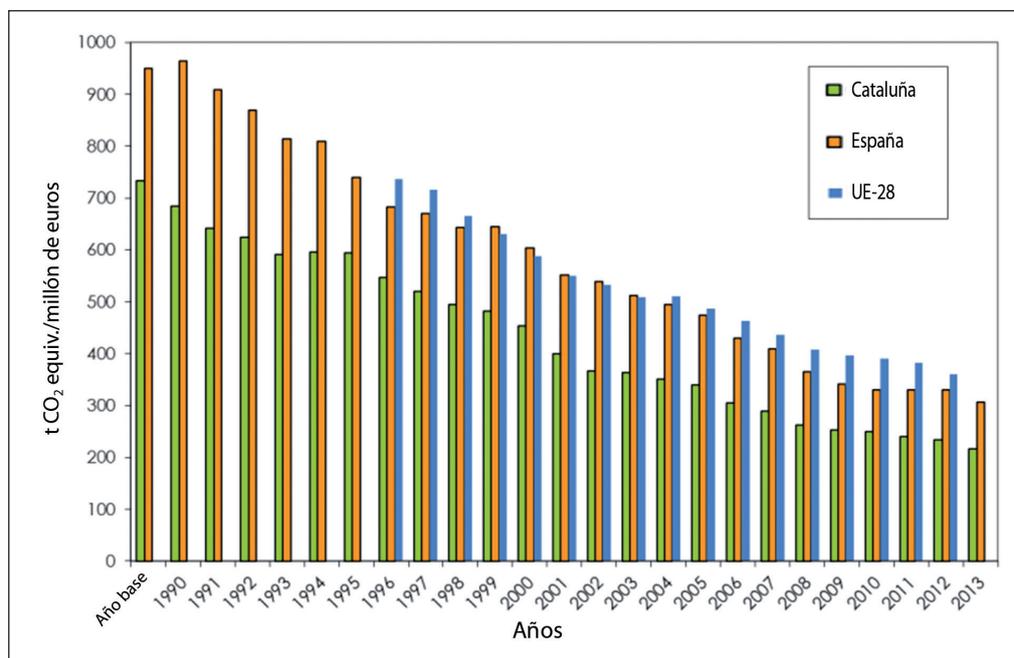


Figura 5. Evolución de la relación entre las emisiones de GEI y el PIB para Cataluña, España y Europa para el periodo 1990-2012.

Fuente: INE, Idescat y Eurostat.

—dependiendo del porcentaje de los diferentes tipos de combustibles fósiles utilizados—, podremos establecer los GEI enviados a la atmósfera por cada unidad productiva.

Por lo tanto, cuantas menos emisiones se produzcan en la generación de riqueza, más ecoeficiente será un país. Así pues, el crecimiento ya no depende de utilizar más combustibles fósiles sino de producir la energía necesaria de manera más eficiente y con fuentes renovables. En resumidas cuentas, se trata de producir más con menos emisiones.

En Cataluña, las emisiones de GEI por unidad de PIB producida se redujeron en un 68,4% entre 1990 y 2013. Esta cifra fue muy similar para el conjunto de España: 68,2%. La causa no fue que las emisiones de GEI no crecieran, sino que el PIB lo hizo mucho más. La figura 5 muestra la evolución para Cataluña, España y Europa.

### Un primer tratado internacional para luchar contra el cambio climático

El Protocolo de Kioto, cuya redacción concluyó a finales de 1997 en la ciudad japonesa de la cual toma el nombre, fue el primer tratado internacional de reducción de emisiones de GEI. Los países firmantes se comprometieron a reducir en un 5,2% las emisiones globales de GEI en el periodo 2008-2012 (con relación a los niveles del año 1990).

El Protocolo, que entró en vigor en febrero de 2005, se elaboró y firmó bajo los auspicios del Convenio marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático. De hecho, en una economía globalizada, la Organización de las Naciones Unidas es el único instrumento de gobernanza global, y ha puesto en marcha las Conferencias de las Partes, el principal instrumento en la lucha contra el cambio climático.

La Unión Europea, entonces formada por quince estados, se comprometió a reducir en un 8% las emisiones de GEI respecto de las emisiones del año base (1990). Este objetivo conjunto se planificó con exigencias diferentes para cada estado, algunos de los cuales incluso podían aumentar las emisiones de GEI.

En conjunto, la Unión Europea cumplió. Durante el periodo 2008-2012, las emisiones totales fueron, por término medio, un 11,8% inferior a las de 1990. En el caso de España, el compromiso era no aumentar las emisiones en más de un 15%, un límite que se superó en 8,7 puntos —se llegó al 23,7%. Los datos todavía eran peores en el 2004, cuando España emitió un 53% más, pero la crisis económica provocó su posterior reducción.

Vista esta situación inicial tan desfavorable, España acordó con la Unión Europea que al objetivo del 15% se añadiría un 2% en concepto de incremento de la capacidad de sumidero de carbono y un 20% más para la compra de créditos de emisión, de manera que al final el compromiso de España fue no aumentar las emisiones en más de un 37% respecto al año base.

Finalmente, España logró el objetivo mediante el incremento de la fijación de carbono de sus sumideros y la compra de créditos de reducción de emisiones a otros países, aunque fue necesario comprar menos de los que inicialmente se había estimado. Sin embargo, entre 2008 y 2012 el Gobierno español gastó más de 800 millones de euros en la compra de derechos de emisión con la finalidad de cumplir el compromiso.

El Gobierno español no distribuyó territorialmente los compromisos adquiridos en el marco del Protocolo de Kioto y de la Unión Europea, ni en función de población, ni del PIB ni de cualquier otro criterio. Por eso, en el periodo 2008-2012 el objetivo acordado para España (el 37% apuntado anteriormente) también se tomó como referencia para Cataluña.

En el primer periodo del Protocolo de Kioto, en Cataluña la media del periodo 2008-2012 respecto al año base significó un aumento total del 16,3% de las emisiones de GEI, solo un 1,3% por encima del 15%, pero por debajo del 17% si se considera el 2% de incremento de la capacidad de sumidero.

Es decir, Cataluña cumple el objetivo de referencia que establece el Protocolo de Kioto, así como lo que se previó en el Plan marco de mitigación del cambio climático en Cataluña 2008-2012, y los cumple usando su capacidad de sumidero pero sin comprar créditos a otros países.

La falta de acuerdo para elaborar un protocolo que supliera el de Kioto a partir de 2012 motivó que aquel año se firmara, en Doha (Catar), un segundo periodo de vigencia para dicho protocolo que abarca hasta 2020, año en que debe entrar en vigor el Acuerdo de París.

Cataluña ha establecido su propio compromiso: reducir en un 40% sus emisiones de GEI para 2030 respecto a las de 2005. El cálculo se ha hecho aplicando los criterios que la Unión Europea utiliza para los estados: las reducciones se reparten en función del PIB *per capita*.

Esto situaría el esfuerzo de Cataluña por encima del esfuerzo medio de España aunque, por el hecho de no ser un estado, no tiene ningún compromiso legal de reducción, pero sí un compromiso moral y la voluntad de llevar a cabo esta reducción. Sin embargo, para alcanzarlo debería hacer una transición a una economía con bajas emisiones de carbono, un objetivo que se debe asumir como eje político prioritario.

Entre otras medidas, debe transformarse el modelo de movilidad y priorizar el transporte público en relación al privado. Al mismo tiempo, sería necesario alcanzar un elevado grado de electrificación del sistema de movilidad, priorizar la red de trenes de cercanías y fomentar la aplicación de medidas de eficiencia energética, especialmente en los edificios.

Con respecto a la energía, debería avanzarse por dos caminos complementarios: la reducción de emisiones en la producción y la reducción del consumo. Todo esto significa, en resumen, caminar hacia posiciones de liderazgo de forma decidida y activa.

### **Cuando los gases se comercializan**

El Protocolo de Kioto prevé, entre los instrumentos potenciales a ser aplicados, lo que se denomina *mecanismos flexibles*. Es decir, para cumplir los objetivos de reducción de emisiones de GEI un país puede “comprar” los créditos de otro país que tenga sobrantes con la finalidad de desarrollar proyectos de reducción de emisiones. Este procedimiento, sin embargo, está sujeto a límites y controles y, por lo tanto, no es un mecanismo que se pueda utilizar indiscriminadamente.

La Unión Europea, por otra parte, estableció un conjunto de medidas para avanzar en la consecución de los objetivos del Protocolo de Kioto, entre las cuales destaca la puesta en marcha de un régimen de comercio de derechos de emisiones.

En este caso los destinatarios son las instalaciones industriales (generación eléctrica, refinería de petróleo, combustión, acero, productos cerámicos, cemento, vidrio, cal, papel y cartón, aviación, otros sectores industriales como el petroquímico, la industria química, el aluminio y los metales no férricos, etc.), que han de asumir el coste económico de superar los límites de emisiones que se les han asignado.

De esta manera, las empresas que no consigan reducir las emisiones en los términos que tienen asignados pueden comprar derechos de emisión de gases a instalaciones que han reducido las emisiones por debajo de lo que tienen establecido. De esta manera el conjunto de instalaciones que forman parte del mercado regulado por la Unión Europea no emitirían por encima del límite que se ha fijado globalmente para toda la Unión Europea.

Anualmente, el límite de emisiones que el total de las instalaciones europeas pueden emitir va disminuyendo y el coste asociado para las instalaciones que emiten por encima de lo previsto se va incrementando.

### **Las emisiones difusas por el territorio**

Las emisiones del conjunto de actividades e instalaciones que no forman parte del régimen de comercio de emisiones de la Unión Europea reciben el nombre de *emisiones difusas* e incluyen los sectores industriales no afectados por las directivas de la Unión Europea, el consumo de combustibles fósiles en los sectores residencial, institucional y de servicios, las emisiones fugitivas, el uso de disolventes, el transporte, los residuos y el sector agrario (agricultura y ganadería).

En los últimos años, las emisiones difusas presentan una tendencia a la disminución en Cataluña, principalmente en el sector del transporte y en los sectores industriales no regulados. Desgraciadamente, esto se ha producido esencialmente por razones circunstanciales asociadas a la crisis económica y no por reformas estructurales. Por eso, mantener y acentuar esta tendencia a la baja requiere de las políticas decididas que se han descrito antes.

## **1.3. Bosques, prados y cultivos: sumideros naturales de carbono**

Una parte del CO<sub>2</sub> que se envía a la atmósfera vuelve a ser absorbido. De no ser así la concentración de este gas iría aumentando de forma exponencial y, muy seguramente, irreversible. Una parte de esta absorción corresponde a los sistemas naturales, con una capacidad limitada que también puede variar como consecuencia del cambio climático o de los usos que hacemos de los diferentes ecosistemas —por ejemplo, convirtiendo bosques en tierras de labranza o, a la inversa, perdiendo terreno agrícola. En definitiva, la recirculación del carbono —el ciclo del carbono— no es un proceso fijo sino que se modifica según las condiciones ambientales, fisiológicas y humanas.

La mayor parte de los sistemas naturales tienen carbono almacenado. La cantidad que tienen almacenada en un determinado momento se llama *reservorio* o *stock de carbono*. Si en un sistema natural concreto la cantidad de carbono almacenado aumenta con el paso del tiempo, entonces se dice que tenemos un *sumidero* que ayuda a reducir la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera. Este proceso se llama *secuestro de carbono*. Por otra parte, si el sistema cada vez tiene menos carbono, nos encontramos ante una *fuentes de emisión* de este gas.

Las plantas, cuando crecen, capturan CO<sub>2</sub> de la atmósfera. Por este motivo, en Cataluña el bosque es el sistema terrestre que mantiene más cantidad de carbono por hectárea en stock, concretamente 149,5 toneladas por hectárea. En segundo lugar se sitúan los prados, con 121,4 toneladas por hectárea. A continuación encontramos los matorrales (112,1 toneladas por hectárea) y los cultivos leñosos (104 toneladas por hectárea), y en última posición quedan los cultivos herbáceos, con 100,8 toneladas por hectárea. La mayor parte de este carbono está almacenando en el suelo en forma de humus.

En términos absolutos, teniendo en cuenta la superficie total ocupada por cada ecosistema, el bosque mantiene el primer lugar con un total de 173 Tg (millones de toneladas) de carbono almacenados. Lo siguen a bastante distancia los cultivos, con 98 Tg (en parte atribuibles a la superficie que ocupa cada uno de los ecosistemas: 42% y 29%, respectivamente), y el mar catalán, con 92 Tg. Mucho más lejos se encuentran los matorrales, los prados, los pastos y las aguas continentales. En el caso de los cultivos, los prados y los pastos, el principal reservorio no son las plantas, sino el suelo, y aquí radica la importancia de su gestión.

Los sistemas terrestres no son los únicos que captan carbono: el mar acumula tanto el CO<sub>2</sub> que se disuelve en el agua como el que captan diversos organismos marinos (como, por ejemplo, las praderas de fanerógamas). Desde el año 1750, el mar catalán (asumiendo una superficie de 74.000 km<sup>2</sup>) ha ido aumentando el stock de carbono y acumula 92 Tg.

### **Los bosques: grandes secuestradores, pero insuficientes**

Actualmente los bosques catalanes compensan cerca del 9,7% de nuestras emisiones. Dicho de otra manera, sería necesario multiplicar por 10,3 la superficie de bosque en Cataluña para compensar el 100% de las emisiones producidas en nuestro territorio. En este hipotético caso —totalmente imposible— todas las emisiones que produjéramos quedarían absorbidas y, por lo tanto, la concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera no aumentaría.

En Cataluña la superficie forestal arbolada ha aumentado mucho en los últimos años (130.000 hectáreas): si en 1993 ocupaba el 38% del territorio, en 2009 ya lo hacía en un 42%. ¿Por qué ha aumentado tanto? ¿Quién ha salido perjudicado de este proceso? El incremento ha ido sobre todo en detrimento del matorral y, en menor grado —aunque de una manera importante—, del abandono de terrenos agrícolas.

Los cambios en los usos del suelo tienen un gran impacto tanto en las emisiones como en la capacidad de absorción de carbono. Tomando nuevamente el periodo 1993-2009 se observa que se ha producido un aumento muy notable de la superficie urbanizada (78.000 hectáreas) y ocupada por infraestructuras de transporte, fruto de la gran actividad económica anterior a la crisis.

A pesar de eso, en este periodo también se han producido dos procesos más, opuestos al anterior. El primero ha sido el abandono de la actividad agrícola, que ha

comportado una reducción neta de 166.500 hectáreas de cultivos y, en segundo lugar, un aumento neto de 88.600 hectáreas de cubiertas forestales (prados y bosques), a pesar de la reducción experimentada en la superficie de matorrales. El segundo proceso ha sido la propia dinámica natural de los ecosistemas: en ausencia de grandes perturbaciones y de actividades humanas, los prados se han transformado en matorrales y los matorrales en bosques.

Aunque no se dispone todavía de los datos del *Cuarto Inventario Forestal Estatal*, que permitirían actualizar la información para el periodo 2001-2015, es muy probable que los bosques catalanes hayan mantenido su capacidad de sumidero durante todo este tiempo. Los motivos son los siguientes:

- 1) Todavía son lo suficientemente jóvenes para mantener la capacidad de crecimiento —y de capturar carbono—, con poca competencia por los recursos y, por lo tanto, con una reducida mortalidad asociada.
- 2) El ritmo de aprovechamientos forestales se ha mantenido estable, aunque bajo.
- 3) No ha habido grandes pérdidas asociadas a grandes incendios forestales (unas 28.000 hectáreas de bosque quemadas entre el 2001 y el 2014, menos de 2.000 hectáreas por año) u otras perturbaciones.

En resumen, aunque ha habido pérdidas, estas han sido compensadas sobradamente por el aumento del stock de carbono en los bosques no afectados y por el incremento de la superficie arbolada.

Sin embargo hay datos que no son tan positivos. El bosque no se explota como antes, cuando aportaba muchos productos que tenían un elevado valor económico, y la disminución del interés económico a menudo lleva a un abandono en la gestión forestal.

En un bosque menos gestionado la densidad aumenta y la cantidad de recursos disponible para cada árbol se reduce, de manera que los individuos deben competir (especialmente por el agua, que con el cambio climático será más escasa). Esto puede limitar su crecimiento y aumentar la mortalidad de ejemplares.

Mirando al futuro, las simulaciones llevadas a cabo apuntan a que en Cataluña los bosques mantendrán la capacidad de sumidero de aquí al año 2050, aunque a partir del decenio 2020-2030 empezará a disminuir y se podrían convertir en emisores netos de CO<sub>2</sub>. La razón es que los bosques crecerán menos vigorosamente y capturarán menos carbono, y con menos agua la mortalidad aumentará y se liberará carbono.

Es decir, uno de los principales sumideros de carbono reducirá su capacidad de eliminar parte de nuestras emisiones de la atmósfera. Por este motivo, dado que la mayor parte de nuestros bosques ya sufren el efecto del cambio climático es imprescindible hacer una gestión forestal flexible y adaptada a cada especie y zona geográfica.

Aunque la actividad agrícola es cada vez menos rentable, debe evitarse el abandono progresivo ya que los cultivos también son un buen sumidero de carbono. Además, dado que por debajo de los 400 mm de lluvia los bosques son muy escasos, las

comunidades arbustivas y los cultivos leñosos tienen un papel clave en la mitigación del cambio climático.

Además de ser sumideros, los cultivos llevan a cabo otras funciones fundamentales: generan beneficio económico, permiten establecer y mantener la población de forma más equilibrada en todo el territorio, protegen el patrimonio natural y cultural y preservan el paisaje. También tienen valor como ecosistemas: regulan los ciclos del agua, de los nutrientes y del carbono, mantienen la biodiversidad, ayudan a controlar mejor los incendios forestales, protegen el suelo y evitan la erosión, etcétera.

Por este motivo deben adoptarse medidas para evitar el abandono rural y, más concretamente, de la actividad agrícola. Estas, unidas a otras que también protejan prados y pastos, permitirían mantener la capacidad de sumidero de todos estos sistemas naturales.



Bosque maduro de pino rojo, con árboles grandes que actúan como reservorios de carbono.

Fuente: Lluís Comas.

## 1.4. En Cataluña, el clima ya está cambiando

Los efectos del cambio climático ya se han empezado a notar en Cataluña. No es fácil discernir si las variaciones que experimenta el clima son atribuibles a este fenómeno pero, a pesar de las incertidumbres, el conjunto de datos disponibles indica que el clima ya está variando y que lo hace en la dirección que prevén los modelos climáticos.

Entre el año 1950 y el año 2014 la temperatura del aire ha aumentado, por término medio,  $+0,23$  °C/decenio (vid. la figura 6). Esta variación no es uniforme a lo largo del año: en verano el incremento de la temperatura media tiene una tendencia más marcada, de  $+0,33$  °C/decenio. Si calculamos la media de la temperatura máxima anual, también se observa un aumento:  $+0,28$  °C/decenio. Con respecto a la media de la temperatura mínima, también evoluciona al alza, pero menos que la máxima:  $+0,17$  °C/decenio.

### *Sequías, pero también inundaciones*

El cambio climático no solo afecta a la temperatura. Con respecto a la precipitación, el análisis de sesenta y ocho series mensuales del periodo 1950-2014 muestra una

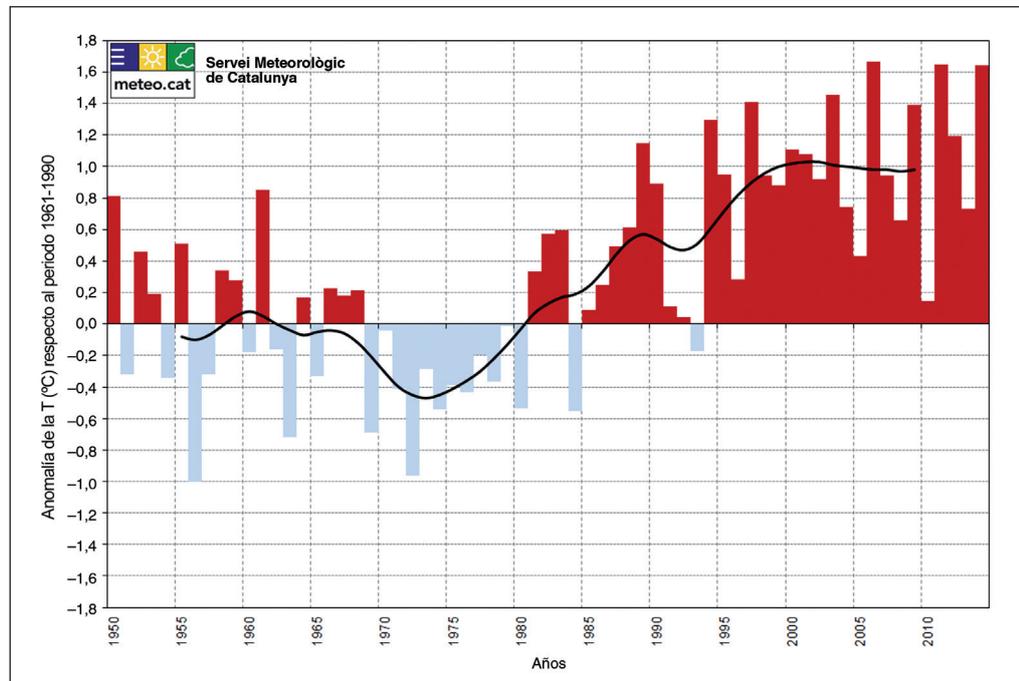


Figura 6. Evolución de la temperatura media anual en Cataluña (1950-2014) expresada como anomalía con respecto al periodo de referencia 1961-1990. La curva corresponde a un filtro gaussiano de trece miembros. Fuente: *Boletín Anual de Indicadores Climáticos* correspondiente al año 2014.

tendencia anual ligeramente negativa (-1,2 %/decenio) en el conjunto de Cataluña, aunque es una disminución no significativa desde el punto de vista estadístico.

Esto hace referencia, sin embargo, al conjunto del país. Si se estudian las variaciones territorialmente (vid. la figura 7), el Pirineo y el Prepirineo son las áreas donde la precipitación ha disminuido más claramente, con valores situados entre -2,4 %/decenio y -3,9 %/decenio. Estos datos sí que son significativos y permiten afirmar que desde 1950 llueve menos en estas zonas.

En cuanto a los extremos pluviométricos, solo se ha detectado una tendencia significativa por lo que se refiere al aumento de la precipitación por día de lluvia, en la de lluvia de carácter convectivo en algunas regiones (con chubascos tempestuosos y lluvias de elevada intensidad, cortas y locales, que son fenómenos típicos de épocas cálidas) y en la duración de las rachas secas. Estos cambios son especialmente notables en verano y se podrían volver más agudos en el futuro.

El número de episodios que producen inundaciones locales aumenta desde mediados de siglo XIX, probablemente a causa del incremento de la exposición y de la vulnerabilidad. Este aumento es más marcado en verano, una estación caracterizada por un fuerte incremento de la exposición a las zonas de veraneo y turísticas, y un posible incremento de la torrencialidad de las lluvias, aunque todavía no hay suficientes evidencias.

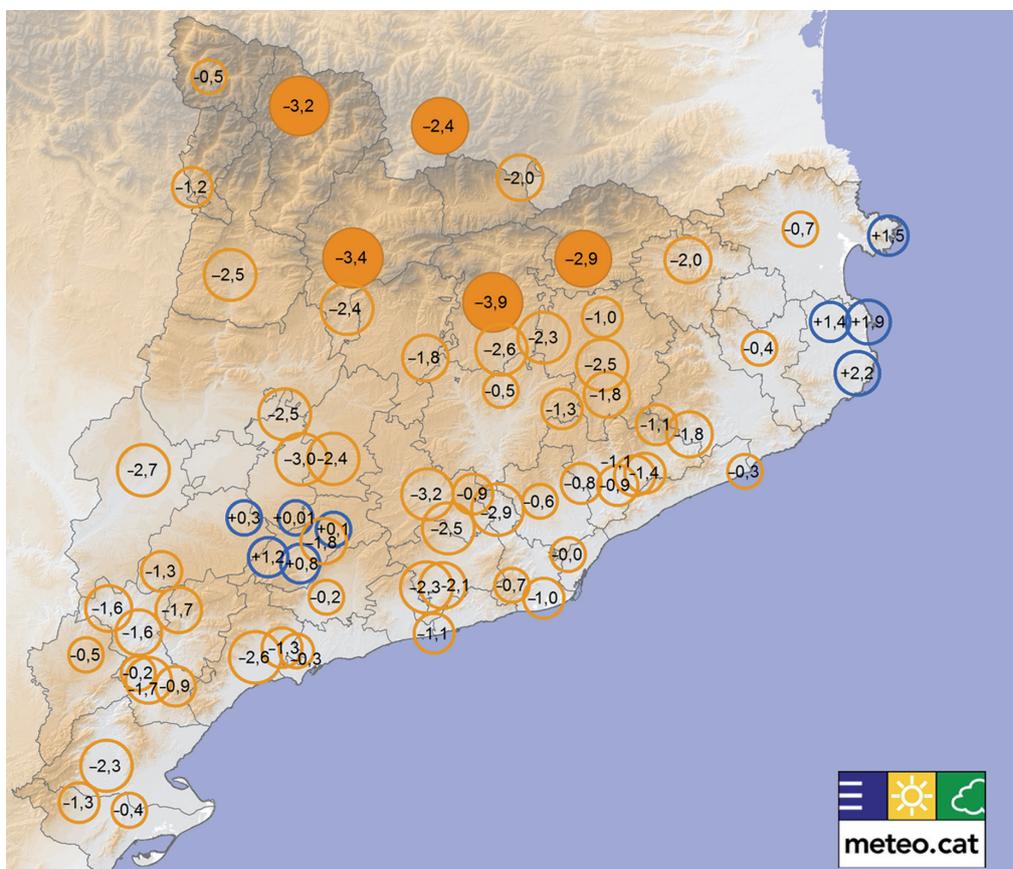


Figura 7. Tendencia de la precipitación media anual en Cataluña (1950-2014) expresada en %/decenio. El radio de la circunferencia es proporcional al porcentaje de cambio por decenio experimentado por la precipitación y el color indica el signo (azul = aumento, naranja = descenso). El círculo naranja indica que la tendencia es estadísticamente significativa según el test de Mann-Kendall ( $p < 0,05$ ).

Fuente: *Boletín Anual de Indicadores Climáticos* correspondiente al año 2014.

Los escenarios no son concluyentes con respecto al futuro. Sin embargo, si se produjera un aumento de las precipitaciones torrenciales, junto con un aumento de la vulnerabilidad, exposición y los cambios de usos del suelo, el riesgo de inundaciones se incrementaría significativamente.

La ocurrencia de deslizamientos de tierra, desprendimientos de rocas y flujos de escombros de alcance local son fenómenos más frecuentes de lo que se suele pensar y en algunas cuencas se producen con una periodicidad anual. Sin embargo, no se ha encontrado que este incremento de frecuencia sea resultado de una variación en la intensidad o la duración de las lluvias, sino que podría estar relacionado con el aumento de la percepción de la población y con la detección de fenómenos de menos magnitud.

En el otro extremo, las sequías meteorológicas, hidrológicas y agrícolas se han incrementado y lo seguirán haciendo en frecuencia y severidad a lo largo del siglo XXI,



El Observatorio Fabra, fundado por la Real Academia de Ciencias y Artes de Barcelona e inaugurado el año 1904, fue construido gracias a un legado de Camil Fabra i Fontanills, primer marqués de Alella. Situado en la montaña del Tibidabo, siempre ha trabajado en tres ámbitos: la astronomía, la meteorología y la sismología. Dispone de observaciones meteorológicas desde finales de 1904 (ininterrumpidamente, desde 1913). Desde el inicio, fue reconocido por la comunidad científica internacional en las tres especialidades, y dispone de aparatos casi únicos en el mundo, como el pluviógrafo Jardí.

Fuente: Maria del Carme Llasat.

lo cual tendrá un impacto importante en los recursos hídricos, la calidad del agua, la conservación de los ecosistemas y el peligro del fuego en los bosques.

Las condiciones climáticas (más temperatura y sequías) y el aumento de la masa forestal incrementan el peligro de incendio en los bosques. Contrariamente a lo que se podría esperar el número de incendios forestales (> 0,5 hectáreas) y la superficie quemada han disminuido año tras año entre 1970 y 2010. Esta reducción del riesgo se basa en la mejora de las tareas de prevención y gestión del riesgo llevadas a cabo en Cataluña.

Las condiciones más extremas de temperatura, humedad y precipitación previstas en los escenarios climáticos apuntan a un aumento del número de incendios forestales, pero también hacia una reducción del área quemada. El incremento de situaciones climáticas excepcionales puede favorecer una frecuencia mayor de incendios de gran extensión, así como la propagación de incendios en zonas donde ahora no son habituales o fuera de la estación veraniega.

Hay otros datos que ponen de manifiesto el sentido de la variación del clima. Así, desde 1950 ha aumentado significativamente la evapotranspiración —la suma de la



El Observatorio del Ebro es un instituto de investigación de la Universidad Ramon Llull. Fundado en el 1904 por la Compañía de Jesús para estudiar las relaciones entre el Sol y la Tierra, abrazaba los campos de la sismología, la meteorología y la astronomía, y demostraba que la religión, la filosofía y la ciencia eran compatibles. La continuidad y la fiabilidad de las observaciones durante más de cien años hacen que los archivos de registros tengan un valor científico incalculable: los sísmicos y los ionosféricos son los más largos de España, y los meteorológicos, iniciados en 1905, conservan registros de la escuela de jesuitas de Roquetes desde 1880.

Fuente: Pere Quintana.

evaporación y la transpiración vegetal. Esto quiere decir que no solamente es probable que llueva menos, sino que las plantas pierdan más agua por evapotranspiración.

Considerando los registros de los observatorios Fabra y del Ebro desde principio del siglo xx, solamente se detecta una disminución de los días con nieve en este último observatorio. En los mismos observatorios se han registrado menos días de niebla, algo que también se ha visto en el de Lleida desde 1940. También ha aumentado de manera notable la insolación (el número de horas de sol efectivo) desde 1960.

Los extremos de temperatura en Cataluña han sufrido variaciones destacables desde 1950: aumentan los días y las noches cálidas y disminuyen significativamente los días y las noches frías. La tendencia climática es evidente: hace más el calor y el frío se retira.

Todos los escenarios climáticos futuros apuntan a un aumento de las temperaturas extremas altas, las olas de calor, las noches tropicales (especialmente en el litoral y prelitoral), las noches y los días cálidos, y la duración de las rachas secas.

### ***El nivel del mar sube, los glaciares retroceden***

Todas estas variaciones no solo son percibidas por las especies que, como la nuestra, viven en el medio terrestre. El agua del mar también se calienta. En Cataluña tenemos la suerte de tener una serie muy larga de medidas (desde 1974) sobre la temperatura del agua a diferentes profundidades en el Estartit (Baix Empordà).

No somos tan afortunados, en cambio, si hacemos caso a lo que estos datos nos dicen sobre el clima: la temperatura del agua del mar ha aumentado +0,30 °C/decenio desde la superficie y hasta 50 metros de profundidad (el incremento ha sido un poco más pequeño desde este nivel hasta los 80 metros) (vid. la figura 8). Este calentamiento se ha producido durante todas las estaciones del año, pero ha sido más acusado en verano y en otoño.

Eso no solo es una señal más del calentamiento del clima, sino que puede tener consecuencias importantes para la vida marina y para la capacidad del mar de actuar como sumidero de carbono. Ya se ha explicado en el apartado anterior que en nuestras aguas ha ido aumentando el stock de carbono, una parte del cual es CO<sub>2</sub> que se ha combinado con el agua y ha producido ácido carbónico.

No obstante, el aumento de temperatura disminuye la capacidad del mar de disolver este gas y, por lo tanto, un agua más caliente tendrá menos capacidad de capturar el carbono de la atmósfera. Se trata de un problema que se puede hacer extensivo a todos los mares y océanos del planeta.

El ascenso de temperatura va acompañado de otro signo del cambio climático: la subida del nivel del mar. Los datos procedentes del Estartit indican que el nivel del mar ha subido +3,9 cm/decenio desde 1990 (vid. la figura 9). Es un aumento estadísticamente significativo, como también lo son los aumentos registrados en las diferentes estaciones excepto en invierno: +4,5 cm/decenio en primavera, y +3,3 cm/decenio tanto en verano como en otoño.

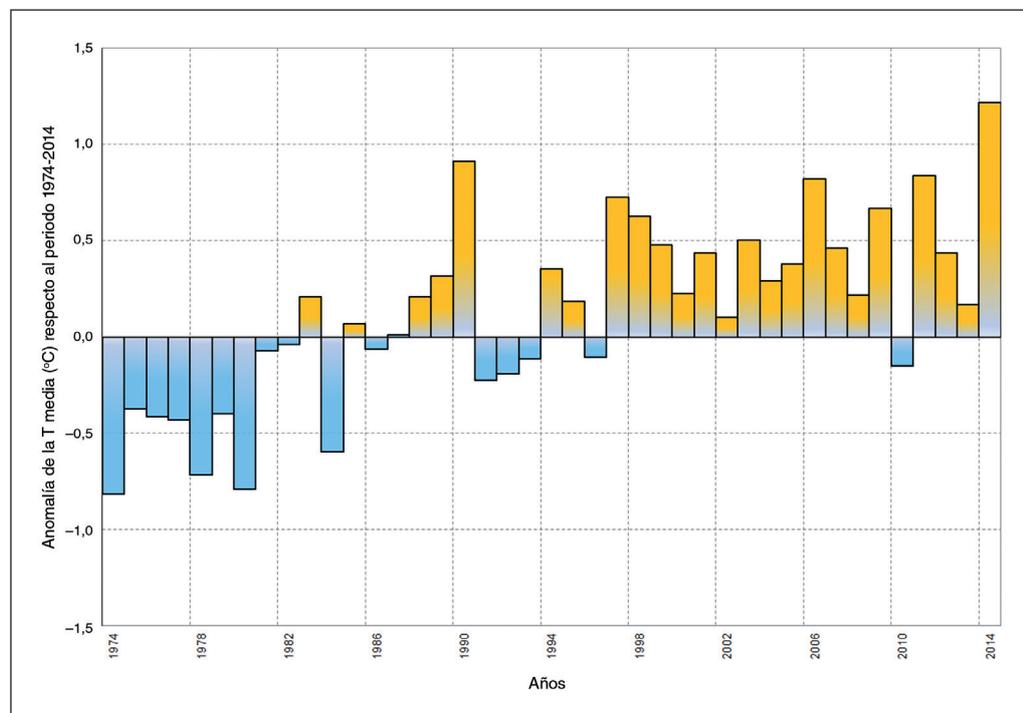


Figura 8. Anomalia de la temperatura media anual del agua del mar en la superficie en el Estartit (1974-2014). Fuente: *Boletín Anual de Indicadores Climáticos* correspondiente al año 2014, a partir de los datos facilitados por Josep Pascual.

Estos datos son parecidos a los que se han obtenido en otros puntos de la costa mediterránea. Así mismo, concuerdan con el *Quinto informe de evaluación* del IPCC, publicado en 2014, donde se afirma que, muy probablemente, la tasa media global de elevación del nivel del mar ha sido de +2,0 mm/año en el periodo 1971-2010 y que debe haber aumentado hasta un +3,2 mm/año entre 1993 y 2010. Este último valor encaja de forma bastante coherente con la tendencia de aumento del nivel del mar medido en el Estartit.

Si pasamos del agua del mar a la que se encuentra en estado sólido, las noticias todavía son peores porque desde 1970 hay una tendencia al alza en el número de ciclos de grandes avalanchas en el Pirineo catalán. Más recientemente, las avalanchas de nieve húmeda también han crecido, especialmente por episodios de lluvias a mediados del invierno.

Las masas de hielo y la nieve en las áreas más elevadas del Pirineo occidental catalán han podido ser analizadas en detalle a partir de imágenes y fotografías tomadas desde 1980.

La conclusión es tan contundente como escalofriante: en estos momentos se puede afirmar con rotundidad que ya no hay ningún aparato glacial visible en Cataluña y que únicamente se intuye la existencia de un glaciar rocaloso en el macizo del Besiberri, en la Alta Ribagorça. Se trata de un nevero (es decir, una zona de acumulación de hielo

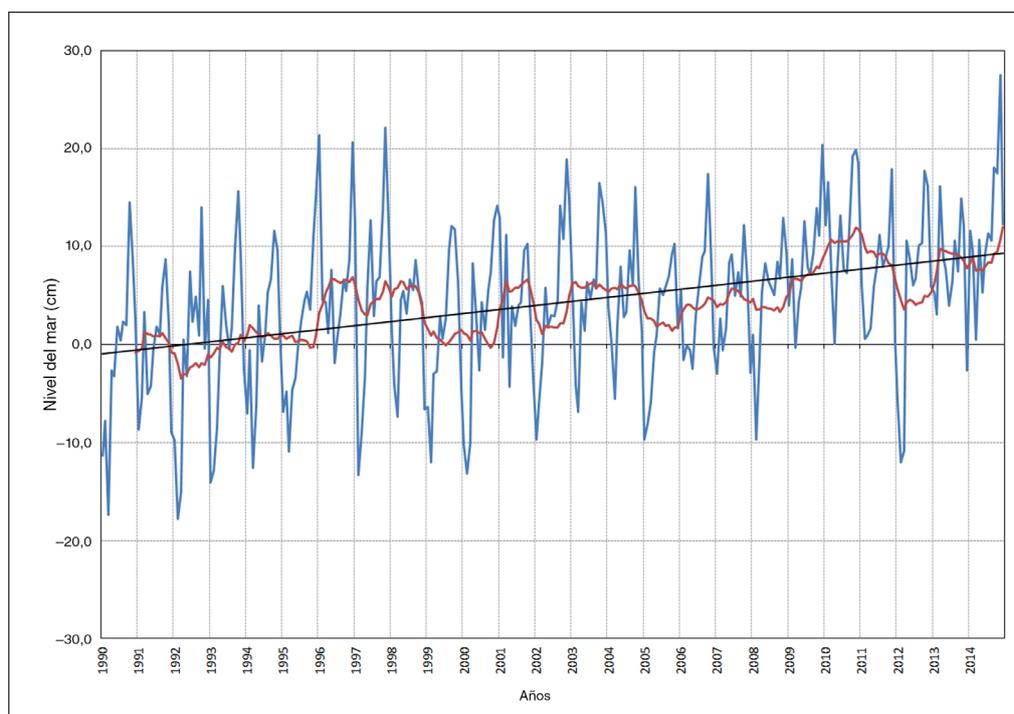


Figura 9. Evolución mensual del nivel del mar en el Estartit (1990-2014). En rojo se dibuja la media móvil de doce meses de periodo y la línea recta muestra la tendencia lineal experimentada.

Fuente: *Boletín Anual de Indicadores Climáticos* correspondiente al año 2014, a partir de los datos facilitados por Josep Pascual.



Glacial del Aneto. Comparativa 2009-2012. Fragmentación del límite inferior del lóbulo oriental que origina el nevero inferior del Aneto.

Fuente: Jordi Camins.

de un nivel inferior a un glaciar propiamente dicho), probablemente fragmentado, que solo en algún sector podría llegar a superar los 10 metros de grosor.

Los verdaderos aparatos glaciales más próximos se encuentran en dos macizos pirenaicos que limitan con Cataluña: el de Mont Valier, en el Arieja, en territorio francés, junto a la Val d'Aran, y el de Aneto-Maladeta, en Aragón, en el límite de la Alta Ribagorça.

Sin embargo, de allí tampoco nos llegan buenas noticias: en el macizo Aneto-Maladeta, de los trece aparatos glaciales catalogados en 2008 se ha pasado a once aparatos a finales de 2014, y todos han perdido grosor y extensión. Esto ha favorecido su fragmentación y que algunas zonas bajen en la catalogación y pasen a ser neveros o aparatos glaciales residuales.

Si esta tendencia sigue, como se prevé, los aparatos glaciales más próximos a Cataluña se seguirán deteriorando y acabarán desapareciendo; incluso los glaciares más extensos y que ocupan lugares más favorables habrán dejado de ser activos en un

plazo de unos veinticinco años, y al cabo de diez años más se habrá producido su extinción total después de un breve recorrido por un estado residual.

Así pues, para conocer bien el clima pasado y poder prepararse para el futuro hay que disponer de series climáticas largas y de calidad. Por eso, se requiere una red de observación meteorológica en buen estado, bien mantenida y, sobre todo, con una densidad espacial adecuada. Esto último es esencial dada la gran diversidad climática del país.

## 1.5. El clima que viene: ¿qué dicen las proyecciones climáticas?

En el apartado anterior se han alternado los datos sobre la evolución del clima en el pasado con algunas previsiones sobre su tendencia en el futuro, las cuales se denominan *proyecciones climáticas*. Se trata de simulaciones que se hacen con modelos numéricos, contruidos a partir de lo que se conoce del clima pasado y de los complejos mecanismos que dirigen el sistema climático. Las simulaciones proyectan el clima futuro en una zona concreta considerando las variaciones en las emisiones y la concentración de GEI y de aerosoles, lo que obliga a hacer supuestos diferentes porque no se conoce cuál será la evolución de su presencia en la atmósfera.

A su vez, la temperatura, los cambios en los usos del suelo y el comportamiento de los sumideros, entre otros factores, pueden variar. Igualmente, pueden producirse cambios en las condiciones socioeconómicas o en las herramientas tecnológicas. Sin embargo, las proyecciones son imprescindibles para hacerse una idea de la evolución que puede tener el clima y plantear las medidas para afrontarla.

A nivel global, las proyecciones más completas y que se consideran de referencia son las que el IPCC resume en sus informes. Los resultados que ofrecen, sin embargo, se aplican directamente a grandes regiones, a una escala de miles de kilómetros. Además, en áreas como Cataluña, con una orografía compleja y una climatología influenciada por la interacción mar-tierra, los modelos globales no ofrecen una buena representación, motivo por el cual hay que regionalizar los resultados de estos modelos globales —es decir, reducir la escala.

Para obtener los escenarios de futuro para Cataluña, se han utilizado los resultados de modelos climáticos globales, pero se han considerado muy especialmente los resultados de diversos proyectos de regionalización que se han llevado a cabo recientemente a nivel internacional, español y catalán. También se han tenido en cuenta, para el futuro más inmediato, las proyecciones que han surgido de las predicciones decenales efectuadas mediante diferentes modelos globales.

Las proyecciones aportadas por la mayor parte de los modelos confirman la tendencia que se ha descrito hasta ahora. Tomando como referencia la media del periodo 1971-2000, se observa un aumento de la temperatura media anual de +0,5 °C a +1 °C para el periodo 2012-2021 en el conjunto de Cataluña, y a mediados de siglo (2031-2050)

el aumento sería de +0,9 °C a +2 °C. Los incrementos se producirían en todas las estaciones del año y en todo el territorio, pero podrían ser más elevados durante el verano y en el Pirineo. Las tablas 1 y 2 detallan los resultados.

TABLA 1. Variación de la temperatura y la precipitación en Cataluña según la estación del año (1971-2000)

		Invierno	Primavera	Verano	Otoño	Anual
Temperatura (°C)	2012-2021	0,7	0,7	0,9	0,8	0,8
	2031-2050	1,3	1,2	1,8	1,7	1,4
Precipitación %	2012-2021	2,2	-4,6	-3,0	-5,2	-2,4
	2031-2050	-3,8	-10,7	-10,2	-9,4	-6,8

Nota: los valores son las medianas de las proyecciones climáticas efectuadas por diversos modelos y proyectos de alcance global y regional.

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

TABLA 2. Variación de la temperatura y la precipitación en Cataluña según el territorio (1971-2000)

		Litoral/ Prelitoral	Interior	Pirineo	Cataluña
Temperatura (°C)	2012-2021	0,7	0,7	0,8	0,8
	2031-2050	1,4	1,4	1,6	1,4
Precipitación (%)	2012-2021	-2,4	0,7	-0,2	-2,4
	2031-2050	-8,3	-6,5	-5,3	-6,8

Nota: los valores son las medianas de las proyecciones climáticas efectuadas por diversos modelos y proyectos de alcance global y regional.

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

Estos aumentos pueden parecer reducidos si se consideran las diferencias que se pueden observar actualmente entre territorios o estaciones del año, o incluso en un mismo día. No obstante, y para poner un ejemplo claro, durante la última era glacial la temperatura media de la Tierra solo era entre 5 °C y 8 °C inferior a la actual. Así pues, debe haber pocas dudas sobre el hecho que, de cumplirse estas proyecciones, los cambios que sufriremos serán significativos.

Con respecto a la precipitación, aunque proyecciones diferentes dan resultados diferentes, y por eso se dice que la tendencia es incierta, la mayor parte de modelos apuntan a una disminución de la precipitación. Si nos fijamos en las proyecciones regionalizadas —diseñadas a una resolución espacial de 10-30 km en lugar de los 150-300 km de las proyecciones globales— observamos un descenso de las precipitaciones para el conjunto de Cataluña y para todo el año, así como un descenso de la media anual de -6,8% (2031-2050).

Todas estas simulaciones se han basado en escenarios de emisiones «moderados» —por lo tanto, con una tasa de incremento de emisiones de GEI que tiende

a estabilizarse. Si la generación de gases aumentase a un ritmo más elevado —y esto depende de diversos factores, pero básicamente de las políticas que se lleven a cabo a nivel planetario— los cambios podrían ser más marcados, la temperatura podría aumentar y la precipitación podría disminuir. Sin embargo, este efecto no se produciría de una manera clara hasta la segunda mitad del siglo XXI.

Junto con las medias, hay que tener en cuenta si se pueden producir más fenómenos extremos. En el caso de las temperaturas máximas y mínimas diarias, para 2050 pueden aumentar hasta 3,5 °C y 1,5 °C, respectivamente.

También podemos esperar que el número de meses cálidos aumente de una manera considerable durante los próximos cuarenta años. En cambio, el número de meses muy fríos sería parecido al observado en el periodo de referencia (1971-2000).

En la zona litoral y prelitoral aumentaría considerablemente el número de noches tropicales (cuando la temperatura es igual o superior a 20 °C). Con respecto a las zonas de alta montaña, las proyecciones apuntan a una reducción notable de los días de helada (cuando la temperatura mínima es igual o inferior a 0 °C).

También pueden aumentar los episodios de lluvia torrencial, no siendo esto incompatible con la disminución global de la precipitación. Así, se prevé que aumente la probabilidad de ocurrencia de episodios de precipitación superior a 200 mm en veinticuatro horas. En cambio, la gravedad y la duración de las sequías podrían aumentar significativamente por el efecto combinado del aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación.

Habría, por lo tanto, más lluvias torrenciales y sequías más largas. El clima se mostraría más variable y con una tendencia al aumento de estos fenómenos extremos.



## 2ª PARTE



# Sistemas naturales: impactos, vulnerabilidad y adaptación

En los apartados anteriores se ha podido constatar la tendencia que las principales variables climáticas han registrado en los últimos decenios y las proyecciones que se han hecho hasta 2050. En conjunto, hay una serie de fenómenos o situaciones que, con un margen de duda muy pequeño, aumentarán en frecuencia y, a menudo, en intensidad.

En este sentido se puede afirmar con mucha seguridad que el cambio climático hará aumentar las temperaturas altas extremas y las olas de calor, que habrá más noches tropicales y que las rachas cálidas se prolongarán durante periodos más largos.

En cambio no hay una tendencia significativa y generalizada hacia un incremento del número de días de lluvias fuertes, ni de la precipitación máxima en veinticuatro horas, ni de cualquiera de los índices relacionados. También es muy probable que aumente la duración de las rachas secas. Esto será más evidente en verano, la estación en que la subida de la temperatura y la disminución de la precipitación son más marcadas.

Estas variaciones tendrán una incidencia muy marcada en la agricultura y el estado de los ecosistemas, porque los suelos serán más secos en primavera y el periodo seco estival se alargará. También afectarán a la disponibilidad de recursos hídricos, que disminuirán y se convertirán en más variables. Este último hecho dificultará la gestión de las sequías. La gran reserva de agua que es la de nieve almacenada también seguirá disminuyendo.

Si hay periodos calurosos y secos más prolongados, los cultivos necesitarán más agua y el estrés hídrico de las plantas aumentará; es la consecuencia lógica de un aumento de la demanda y una disminución de la disponibilidad de agua.

## 2.1. Incendios, inundaciones y otros riesgos de origen climático

La disminución de la disponibilidad de agua incrementará el peligro de incendios forestales causado por las temperaturas elevadas y una sequía más severa. Estos siniestros podrían extenderse a zonas donde ahora no son muy habituales, como las áreas de montaña, o en temporadas en que actualmente la incidencia es mucho más pequeña, como el invierno y la primavera.

Ante este hecho, dos elementos esenciales son la gestión forestal, que debe dificultar la expansión de estos incendios, y la planificación, que debe facilitar el acceso a las zonas afectadas.

También debe considerarse la responsabilidad sobre unos hechos que pueden producirse más frecuentemente a causa del cambio climático y que requieren, en consecuencia, de medidas más contundentes.

Así, si bien alertar sobre las acciones o las imprudencias susceptibles de provocar fuegos siempre ha sido importante, todavía lo será más si las condiciones favorecen que estos incendios se puedan declarar con más frecuencia o propagarse con mayor rapidez.



Efectos del incendio forestal que afectó al Parque Natural de Sant Llorenç de Munt en agosto de 2003.  
Fuente: Grupo de Análisis de Situaciones Meteorológicas Adversas de la Universidad de Barcelona.



Una calle de Badalona durante el aguacero del 29 de julio de 2010.

Fuente: O. Rodríguez.

El número de episodios que producen inundaciones locales crece desde mediados del siglo XIX, probablemente como consecuencia del aumento de la exposición y la vulnerabilidad. También se detecta una subida reciente del número de episodios en verano que se podría relacionar con un incremento de la torrencialidad de las lluvias, aunque todavía no hay evidencias suficientes.

Con respecto al futuro, los escenarios dibujados por los modelos climáticos no son concluyentes, pero si aumentaran las precipitaciones torrenciales podría incrementarse significativamente el riesgo de inundación. Contribuirían a ello, sin embargo, factores que no están relacionados con el cambio climático, como el aumento de la vulnerabilidad y de la exposición y los cambios de usos del suelo.

Si bien la planificación urbanística y la instalación de infraestructuras siempre deben considerar el riesgo de avenidas de agua o de inundaciones, la probabilidad de un incremento de lluvias torrenciales o de corrimientos de tierras todavía lo hace más necesario, dado que este riesgo provoca grandes pérdidas económicas y es la causa del mayor número de activaciones de los planes de protección civil.

Así, se ha constatado que los corrimientos de tierra, los desprendimientos de rocas y los flujos de escombros de alcance local son más frecuentes de lo que se pensaba. A pesar de ello, actualmente no hay evidencias de que el aumento en la frecuencia de estos fenómenos sea el resultado de ninguna variación en la intensidad o en la duración



Un puente de la carretera nacional II destruido después de los aguaceros del 10 de junio de 2000.

Fuente: Maria del Carmen Llasat.

de las lluvias. Es probable que este incremento se deba más al desarrollo de las tecnologías de la comunicación, las cuales facilitan la difusión, que a razones climáticas.

Sin embargo, se han instalado instrumentos de medidas en cuencas experimentales, hecho que ha permitido obtener información mucho más precisa y constatar que los umbrales de lluvia que desencadenan corrimientos son inferiores a los que se conocían hasta ahora.

Por otro lado, ahora el número de accidentes por aludes es superior. Aunque hay una tendencia al aumento del número de ciclos de grandes aludes en el Pirineo catalán y que al mismo tiempo han aumentado los aludes de nieve húmeda, también hay mucha más gente que participa en actividades de alta montaña. A pesar del incremento en el número de accidentes, hay menos víctimas mortales, lo que se explica, muy probablemente, por una mayor percepción del riesgo por parte de los practicantes de actividades de ocio y laborales en la alta montaña.

Esto significa que, más allá de la incidencia del clima en ciertos fenómenos, el aumento de la conciencia y de las medidas de prevención puede comportar una disminución de los efectos negativos. Así pues, se debe tener una visión holística e integrar la gestión del riesgo y la adaptación al cambio climático tanto en la planificación territorial como sectorial. El establecimiento de comisiones interdepartamentales para la reducción del riesgo es el medio imprescindible para asegurar la coordinación de todas las partes interesadas.

No obstante, al mismo tiempo se debe mejorar la concienciación y la corresponsabilidad de la población, sobre todo en zonas o sectores sociales muy vulnerables. Una buena planificación y gestión, acompañadas de una mayor conciencia y de un comportamiento más responsable, parecen esenciales para afrontar los retos que el cambio climático genera en relación con los riesgos naturales asociados al clima.

## 2.2. El agua, un recurso más escaso

Uno de los efectos más marcados del cambio climático en Cataluña será una reducción de la disponibilidad de agua. En este sentido, en el futuro la escasez de recursos hídricos será común en todo el país, aunque la heterogeneidad del territorio delimitará niveles diferentes de vulnerabilidad.

La escasez de agua aumentará en todo el territorio, aunque variará mucho en función de cada zona. A partir de un balance hídrico basado en los datos de las proyecciones climáticas y los usos del suelo en cada cuenca hidrográfica, se ha calculado que la disponibilidad de agua descenderá un 11% en 2021 y un 17,8% en 2051. En este último horizonte se calcula que la reducción será del 9,4% en el Pirineo. Aun siendo importante, esta bajada será mucho más pequeña que en el conjunto de Cataluña. En las comarcas del interior la disminución será del 18,2% y en las comarcas litorales podrá llegar al 22%.

Los efectos serán similares tanto en el interior como en el litoral catalán, y resultarán especialmente marcados en la mitad meridional. En esta zona se calcula que en 2051 los recursos hídricos disponibles disminuirán entre un 70% y un 75% en relación a los valores actuales, hecho que evidencia que la disponibilidad de agua, tanto para el abastecimiento humano como para la preservación de ríos y zonas húmedas, será uno de los problemas más relevantes en los próximos decenios.

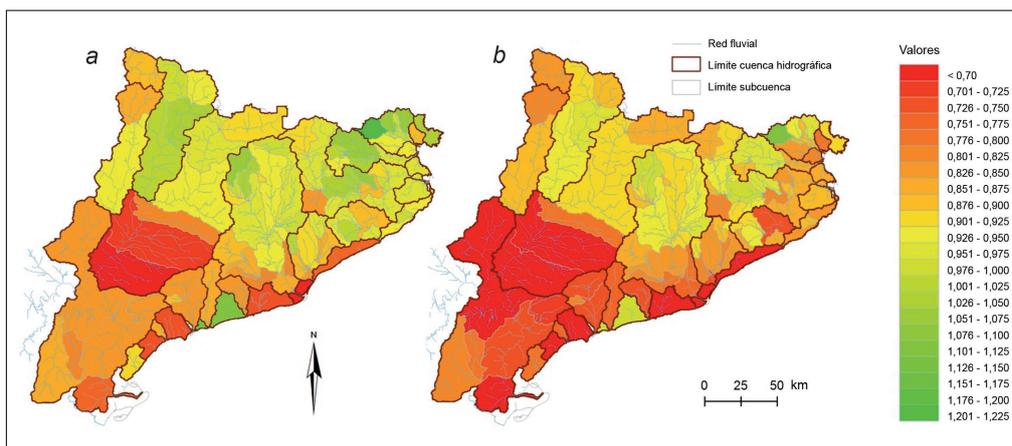


Figura 10. Distribución territorial de los recursos hídricos disponibles en Cataluña para los horizontes a) 2021 y b) 2050, mediante la relación del cociente  $R/P$  en cada horizonte y el valor actual basado en los datos registrados en 168 observatorios de Cataluña. La distribución de los usos del suelo actuales, como determinantes del componente evapotranspirativo del balance hídrico, también se ha considerado en el cálculo del recurso disponible total.

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.



Imagen del pantano de Sau de 2008, durante el episodio de sequía que dejó la iglesia al descubierto.  
Fuente: Grupo de Análisis de Situaciones Meteorológicas Adversas de la Universidad de Barcelona.



Imagen del pantano de Susqueda durante la grave sequía del año 2008, tomada el 5 de marzo.  
Fuente: Agencia Catalana del Agua, Generalitat de Catalunya.

Destacan las estimaciones referentes a las subcuencas pirenaicas, dado que condicionarán los recursos hídricos disponibles para la regulación de los embalses, los principales elementos de gestión del agua para los diferentes usos antrópicos y para la garantía de las funciones ecológicas e hidrológicas en los ríos más antropizados de Cataluña: el Ter, el Llobregat, el Segre, la Noguera Pallaresa y la Noguera Ribagorçana.

En el capítulo 7 del TICCC se presentan cartografías inéditas de la disponibilidad futura de agua en Cataluña, basadas en el cálculo del balance hídrico en las distintas situaciones climáticas. Esta disponibilidad se expresa mediante la relación  $R/P$  (la relación entre los recursos disponibles, tanto por la escorrentía fluvial como por la recarga de los acuíferos, y la precipitación) para los horizontes climáticos de 2021 y 2050 (vid. la figura 10), y el valor  $R/P$  actual, según la media de precipitación y temperatura del último decenio. Los valores de temperatura, junto con la distribución de los usos del suelo, son necesarios para calcular la pérdida por evapotranspiración del balance, muy dependiente del tipo de vegetación y, concretamente, de la masa forestal.

### **Cambio climático, cambio de modelos de gestión**

Como también manifiestan diversos estudios llevados a cabo en Cataluña, esta proyección se explica por el cambio de las variables climáticas y también, de una manera directa, por el cambio de usos del suelo, especialmente en el abandono de las tierras de cultivo y el consiguiente aumento de la masa forestal.

Así, hay dos elementos clave que, más allá de las consecuencias del cambio climático, tienen un papel relevante en la disponibilidad de recursos hídricos: los cambios en los usos del suelo y la gestión de los mismos recursos. De esta manera, los cambios que se han producido en los usos del suelo y la gestión de las cuencas, los ríos y los acuíferos llevada a cabo durante el siglo xx han modificado el balance hídrico regional.

Por eso, más allá del aumento de la temperatura y la disminución de las lluvias, es necesario gestionar de forma integrada la demanda con el fin de adaptarla a la disponibilidad del recurso, ya sea con el ahorro, con el uso de fuentes locales alternativas o, sobre todo, con la reutilización de las aguas regeneradas en todos los ámbitos donde sea posible. Los próximos retos son las tareas destinadas a mejorar la eficiencia en la distribución del recurso y a considerar la interconexión entre redes para garantizar el suministro de manera equilibrada y comprometida.

Las estimaciones de crecimiento demográfico en Cataluña no comportarán ningún aumento significativo de la demanda de agua en las cuencas internas, donde están las necesidades urbanas más destacables, concretamente en las áreas metropolitanas de Barcelona, Girona - Costa Brava y Camp de Tarragona. Incluso algunas grandes ciudades, como Barcelona y su entorno, han disminuido el consumo diario hasta un 15% en los últimos decenios. Esto se debe, en buena parte, a la aplicación de medidas de ahorro y a un uso más eficiente del agua, si bien todavía son insuficientes para afrontar la menor disponibilidad de agua causada por el cambio climático. El objetivo

en el ámbito de la gestión debe ser, pues, reducir progresivamente el consumo y alcanzar una gestión eficiente del agua.

Los proyectos de desarrollo agrario deben enmarcarse en un contexto generalizado de escasez de recursos. Así, por ejemplo, los nuevos proyectos de regadíos y grandes embalses proyectados para abastecerlos en el actual Plan hidrológico de la cuenca del Ebro incrementarán las necesidades agrícolas en detrimento del caudal del río, ya falto de recursos por el mismo cambio climático, y del abastecimiento a las partes más bajas de la cuenca. En este caso, los usos ambientales y, más específicamente, la estabilidad del delta del Ebro en todos los aspectos que dependen del ciclo hidrológico y sedimentario serán especialmente sensibles y vulnerables.

### ***Un problema de cantidad, pero también de calidad***

Otro aspecto que hay que considerar es la calidad de los recursos hídricos en un contexto de más escasez hídrica. Por un lado, la importancia que tendrá en la preservación de los ecosistemas fluviales y de los servicios que proporcionan dado que asimilan nutrientes y elementos químicos no deseables en disolución. Por el otro, la afectación en la dilución de otros tipos de contaminación, como la de las aguas subterráneas, por una falta de recarga del subsuelo. En las zonas litorales tendrá mucha influencia la elevación del nivel del mar, otra consecuencia del cambio climático. Con el aumento del nivel del mar y la explotación de los recursos de agua subterránea en la zona litoral, la cuña salina avanzará hacia el continente y el nivel de salinización de los acuíferos se incrementará.



El río Ebro da vida a la llanura deltaica antes de llegar al mar Mediterráneo.

Fuente: Mariano Cebolla. Archivo del Parque Natural del Delta del Ebro.

En este aspecto, la situación en los deltas del Llobregat y del Ebro es diferente. En el primer caso, la cuña salina es inducida por las extracciones de agua subterránea en el área deltaica y la actuación adoptada para controlarla ha sido la creación de barreras hidráulicas (la cual también puede ser efectiva ante la elevación del nivel del mar).

En el delta del Ebro, en cambio, el balance entre agua dulce y agua salada, tanto a lo largo del canal del río como en los acuíferos, es extremadamente delicado a causa de la misma geografía del delta pero, sobre todo, del control del equilibrio hídrico por parte de las actividades agrícolas. El Ebro, por sí mismo, es el paradigma de sistema hídrico litoral que recibe los efectos del cambio climático tanto desde el continente (reducción y cambios en el régimen de caudales, reducción de las aportaciones de sedimento) como desde el mar (intrusión marina, erosión litoral).

### **2.3. La costa catalana, mucho más vulnerable**

Una de las consecuencias del cambio climático es el aumento del nivel del mar, que afectará a los sistemas costeros, como las playas y los puertos, aunque no se puede generalizar porque estos sistemas tienen una elevada diversidad de presiones, tanto naturales como antrópicas. La respuesta a factores meteorológicos y oceanográficos actualmente ya es muy variada y lo seguirá siendo con climas futuros.

#### ***Erosión marina e incremento del nivel del mar***

Con respecto al oleaje, se prevé que el valor más representativo, la mediana de la altura de la ola, disminuya ligeramente en la mayor parte del dominio catalán —esto concuerda con una disminución de la velocidad del viento. Sin embargo, en latitudes próximas al golfo de Génova, es decir, al norte de la costa catalana, se produciría un aumento. Además, los patrones son muy diferentes entre verano —cuando la altura de la ola aumentaría en la parte sur— e invierno.

El impacto sobre las playas se ha evaluado en términos de erosión e inundación marina. El primer concepto expresa la diferencia entre los sedimentos entrantes y salientes —es decir, entre los que han sido aportados por diferentes mecanismos y los que han sido extraídos por el oleaje.

Si hablamos de erosión en sentido estricto es porque este balance es negativo —han salido más de los que han entrado. La mayor parte de las playas catalanas sufren una erosión que, como media para toda la costa, se sitúa entre los 0,60 m/año y 0,90 m/año. Las proyecciones de la erosión inducida por las alteraciones en el oleaje, que transporta los sedimentos longitudinalmente a lo largo de la costa, revelan que para 2050 un 26% de la costa catalana mantendrá el mismo comportamiento en cuanto a la erosión o la acreción (el fenómeno contrario).

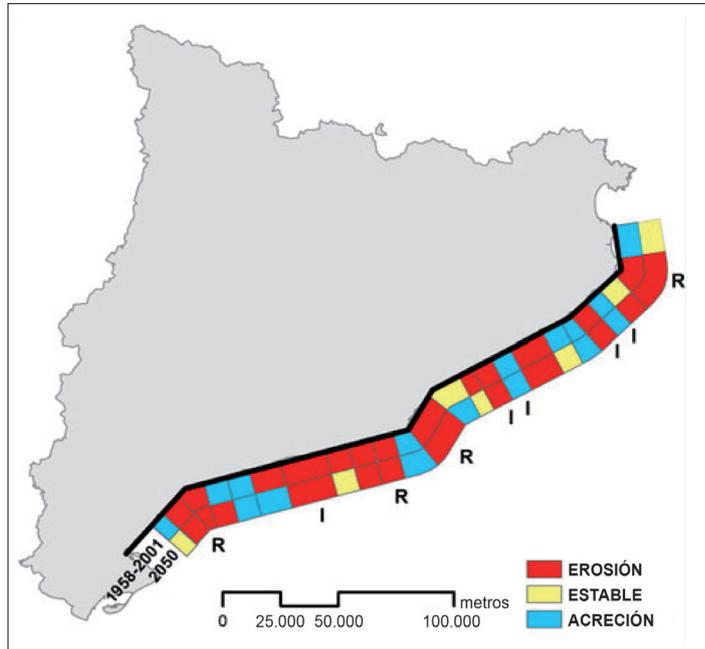


Figura 11. Comportamiento de la costa a medio plazo presente (periodo 1958-2001) y en un escenario de cambio climático, el año 2050. I (intensificación): designa tramos costeros donde el efecto del cambio climático intensifica la erosión. R (reducción): corresponde a tramos de costa donde el efecto del cambio climático produce una reducción de la erosión.

Fuente: Casas-Prat, M.; Sierra, J. P. «Trend analysis of wave direction and associated impacts on the Catalan coast». *Climatic Change*, 115, 2012, p. 667-691.

Esto quiere decir que más del 70% de las playas experimentarán un cambio respecto de las condiciones iniciales; de estas, cerca del 50% empeorarán (más erosión) mientras que en el resto se producirá una mejora (acreción). El diagnóstico advierte de la vulnerabilidad del tramo norte de la costa catalana. La figura 11 muestra el potencial de erosión y de acreción.



El aspecto desértico del Fangar, uno de los iconos del Parque Natural del Delta del Ebro.

Fuente: Mariano Cebolla. Archivo del Parque Natural del Delta del Ebro.

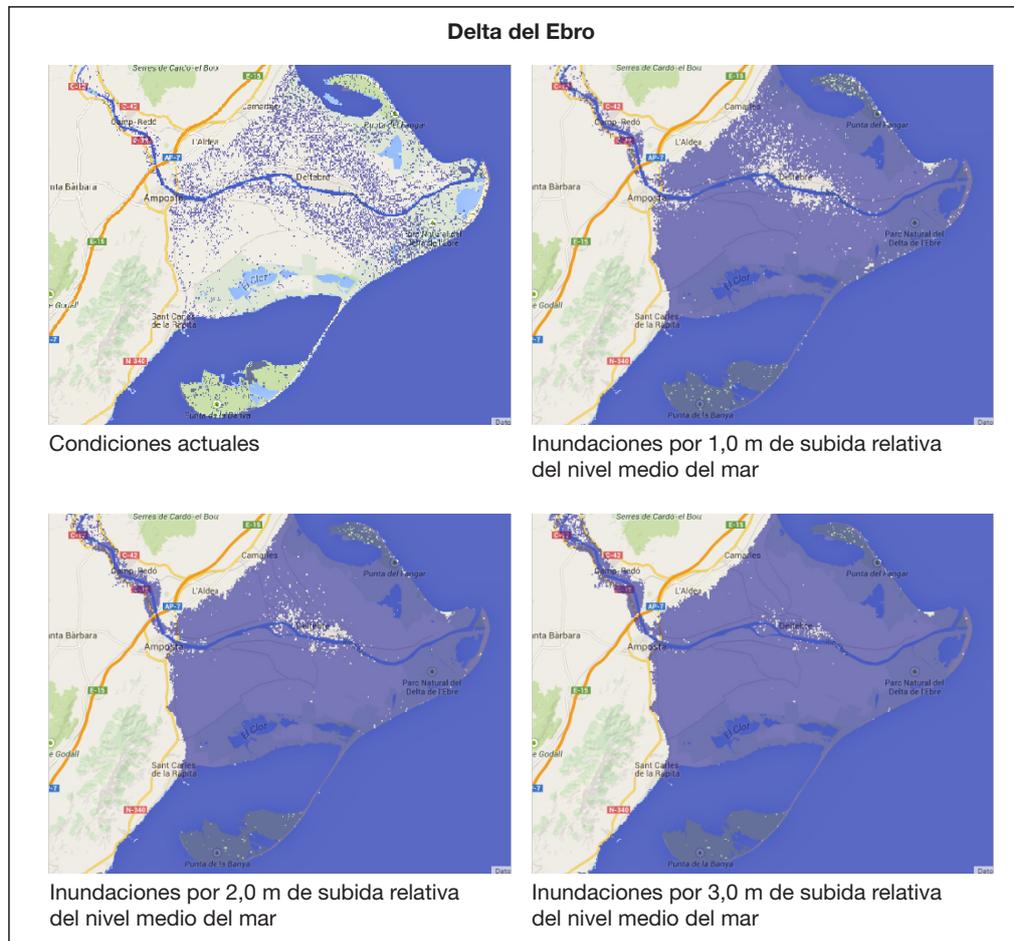


Figura 12. Efecto del incremento relativo del mar en el delta del Ebro. El delta actual figura en el lado superior izquierdo. Las inundaciones causadas por 1,0, 2,0 y 3,0 m de incremento relativo figuran a continuación, calculadas teniendo en cuenta que el delta no responde al cambio relativo de los niveles tierra-mar y que, por lo tanto, se puede aplicar un modelo del tipo «bañera» (*bathtub* o inundación simple), que implica que no hay ninguna reacción del perfil de playa. El nivel relativo corresponde a un incremento del mar de hasta 2,0 m y a una subsidencia de hasta 1,0 m. Esto permite un análisis de sensibilidad, sin asociar estos niveles a un horizonte temporal determinado.

Fuente: La topografía proviene de un modelo digital del terreno, obtenido a partir de imágenes del Instituto Cartográfico y Geológico de Cataluña.

Este transporte de sedimento dominará la evolución de las características de la playa a medio plazo. A largo plazo, sin embargo, hay que considerar la combinación de la subsidencia de la costa y el incremento del nivel medio del mar. También hay que tener en cuenta las modificaciones episódicas causadas por los temporales. En este sentido se prevé que más del 50% de la costa de Cataluña se vuelva vulnerable o muy vulnerable a la erosión provocada por la acción de los temporales.

De esta manera, considerando la contribución del transporte longitudinal, en 2060 Cataluña tendrá 140 km de costa muy vulnerables a los efectos de los temporales,

lo que contrasta con los 61 km actuales. El Montsià, el Baix Ebre, el Tarragonès y el Baix Penedès son las comarcas donde el incremento de los kilómetros en situación de vulnerabilidad será más importante (especialmente en el Montsià, donde se pasaría de 3 km a 65 km). Las figuras 12 y 13 muestran el efecto del incremento relativo del mar en el delta del Ebro y en la playa de la Barceloneta, respectivamente.

Finalmente, sin embargo, si se tiene en cuenta el efecto combinado del transporte longitudinal de sedimentos y el incremento relativo del nivel medio del mar, los modelos apuntan que Cataluña pasaría a tener 164 km de costa —de un total de 218 km analizados— con una vulnerabilidad alta o muy alta a la erosión. Destaca especialmente el Alt Empordà, donde el cien por cien de la costa se volvería vulnerable.

### Los puertos, las infraestructuras más vulnerables

Otro elemento litoral afectado por el cambio climático (especialmente por el aumento del nivel del mar) son los puertos. En este caso, los principales impactos potenciales directos son el rebasamiento de los diques de abrigo de las embarcaciones y la inundación de muelles y superficies portuarias.

De acuerdo con los modelos los caudales de rebasamiento, es decir, el agua que pasaría por encima del dique de abrigo, aumentarían significativamente en muchos puertos catalanes. Esto haría que el número de puertos en situación de vulnerabilidad

creciera, particularmente ante el riesgo de tormentas de intensidad media o grande, lo cual afectaría a la operatividad portuaria y podría comportar serios problemas de gestión en las instalaciones.

Si el nivel del mar aumenta todavía más de lo que se ha considerado (casi 4 cm/decenio), la situación empeorará significativamente. La mayor parte de los puertos con problemas potenciales de rebasamiento se localizan en la mitad norte de la costa catalana.

Los puertos situados más al norte también sufrirán un incremento de la agitación —se llama de esta manera a las variaciones causadas por olas de corto periodo que se registran



Figura 13. Evolución de la línea de borde de playa de la Barceloneta, causada por la subida del nivel del mar, considerando una playa de arena (caso teórico) y la existencia de infraestructuras rígidas (caso real).

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

dentro de los recintos portuarios por cambios en las condiciones de oleaje. Lo mismo pasará en los situados más al sur. En cambio, la agitación media anual se podría mantener o disminuir en los puertos situados en el sector central de la costa catalana. Debe considerarse que la época del año en que la agitación aumentará será el verano, precisamente cuando la ocupación en la costa es mayor.

## **2.4. Los ecosistemas: cambios de estructura, de funcionamiento y en los servicios que nos proporcionan**

Los ecosistemas son relevantes desde diversos puntos de vista. Nos proporcionan un conjunto de servicios productivos, como alimentos, pastos para los rebaños, medicinas, madera, etc., pero también ambientales, como el mantenimiento de la biodiversidad, la regulación de la composición atmosférica y del clima, la conservación del suelo y del agua o el almacenaje de carbono, entre otros.

Presentan, igualmente, una vertiente social: usos recreativos, educativos y de ocio, valores tradicionales culturales, turismo, excursionismo, etc. Además, muchos de estos servicios tienen una lectura económica evidente. Por eso, la afectación del cambio climático en los ecosistemas es un tema esencial, que tiene incidencia en muchos ámbitos.

La primera constatación es que el aumento de la temperatura, las nuevas pautas de la precipitación y otros cambios climáticos están ya afectando los ecosistemas terrestres catalanes. Hay hechos que mucha gente ha experimentado o ha intuido. ¿La primavera se adelanta? ¿El invierno tarda más en llegar? ¿Hay especies vegetales que florecen antes o animales migratorios que han cambiado sus pautas de llegada y de partida? Diversos estudios confirman y cuantifican estas impresiones.

Por ejemplo, se sabe con certeza que el inicio de la primavera se ha adelantado y que se ha retrasado la llegada del invierno, por lo cual el periodo vegetativo se ha prolongado unos tres o cuatro días por término medio por decenio en los últimos cincuenta años. Y en la naturaleza, donde hay tantas interacciones y tanta dependencia de unas especies con respecto a otras, esto puede producir cambios todavía más visibles (a modo de ejemplo, las aves migratorias pueden echar en falta ciertos alimentos para alimentar a las crías porque las plantas han variado los patrones de floración o de producción de fruto).

Algunas especies son más vulnerables a estos cambios que otras y esto disminuye su habilidad competitiva. En último término, la composición de las comunidades cambia (en nuestros matorrales, por ejemplo, disminuye la riqueza de especies), como también lo hace la distribución de las especies (algunas especies mediterráneas se desplazan hacia cotas más elevadas para compensar el aumento de la temperatura).

### ***Cambios genéticos que transforman ecosistemas***

Las evidencias se pueden observar desde el nivel más pequeño, a escala molecular, hasta las extensiones de las imágenes que muestran los satélites, con grandes

alteraciones en el conjunto del país. En medio encontramos modificaciones en el metabolismo de los organismos, cambios en la demografía de las poblaciones vegetales y animales, variaciones en la composición de las comunidades y diferencias en la estructura y el funcionamiento de los ecosistemas.

Vamos a la escala más pequeña tomando un ejemplo: estudios de campo hechos en el Montseny y experimentos de manipulación climática llevados a cabo en el Garraf (en los que se ha provocado calentamiento y déficit hídrico) muestran que muchas especies tienen capacidad de aclimatación y adaptación rápida como respuesta al cambio climático porque aprovechan la variabilidad genética de sus poblaciones.

En consecuencia, se pueden extraer dos conclusiones: 1) los impactos severos sobre los organismos y los ecosistemas catalanes pueden ser muy significativos, y 2) cuanto menos variabilidad genética tengan las especies, más pequeña será la capacidad de respuesta y adaptación.

El material genético, el ADN, puede sufrir variaciones en la secuencia de nucleótidos —las cuatro letras, A, C, T y G, que se combinan para producir la extraordinaria diversidad de la vida. No obstante, en los últimos años se han descrito alteraciones en la expresión de los genes que no son atribuibles a cambios en esta secuencia: es lo que se conoce como *epigenética*, que, en resumidas cuentas, consiste en cambios que se producen en algunas partes del ADN, como los llamados *procesos de metilación*, los cuales comportan que un determinado gen se exprese o no.

Esto quiere decir, en definitiva, que en genética no solo cuenta la secuencia de los nucleótidos y, por lo tanto, los genes que un individuo tiene, sino también la existencia de una especie de interruptores que pueden encender o apagar su actividad.

Se han analizado los cambios en los perfiles de metilación en encinas (*Quercus ilex*) sometidas a una sequía inducida experimentalmente y se han observado diferencias epigenéticas claramente atribuibles a esta sequía. También se han utilizado técnicas basadas en el análisis de diversos metabolitos para medir la actividad en el brezo de invierno (*Erica multiflora*) y la encina, y se ha descrito un descenso de actividad de las vías metabólicas ligadas a la acumulación de energía y al crecimiento, y un aumento de las rutas metabólicas secundarias ligadas a los mecanismos antiestrés como respuesta al incremento del grado de sequía.

Las consecuencias pueden ser muy diversas e inesperadas. Los cambios metabólicos comportan cambios de composición química en los diferentes órganos de las plantas, y estos cambios, al mismo tiempo, afectan al sabor de las plantas, que pueden ser más o menos gratas al paladar de los herbívoros. Por lo tanto, los cambios metabólicos pueden afectar a toda la red trófica.

Todas las respuestas metabólicas tienen un fuerte efecto en el crecimiento y el desarrollo de los organismos a medio y largo plazo. Así, en el encinar de las montañas de

Prades se ha observado como una pequeña reducción de la humedad del suelo ha comportado una reducción muy importante en el incremento de biomasa. Esta fuerte disminución del crecimiento de los árboles ha sido producida por una disminución de las tasas fotosintéticas netas y por un aumento de la defoliación.

### ***El calendario de la naturaleza varía***

Las especies mediterráneas muestran una fuerte capacidad de aclimatación a condiciones cálidas y secas, pero pueden ser sensibles a situaciones de sequía persistente y al estrés por temperatura elevada. Una de las estrategias que estas especies pueden seguir es aprovechar al máximo los periodos en los que disponen de condiciones favorables.

Esto se puede conseguir con cambios fenológicos, es decir, con los ciclos ligados al clima. De hecho, ya se ha observado que el cambio climático no solo altera el calendario de salida de las hojas y la época de floración, sino que también incide en la caída de la hoja de especies caducifolias en invierno.

En general, el calentamiento retrasa el envejecimiento y la caída de la hoja. La sequía, en cambio, lo adelanta, aunque la intensidad con que lo hace varía según la especie. El impacto del cambio climático dependerá, en definitiva, de la importancia relativa de cada uno de estos factores en regiones o años específicos.

Por la dependencia o la relación mutua entre plantas y animales, estos últimos también experimentan cambios fenológicos. En este sentido, ya hay datos fehacientes del adelantamiento de las fechas de aparición de las abejas, así como de la floración de determinadas plantas que polinizan.

Con respecto a cambios en el rango de distribución de las especies, también hay numerosos ejemplos de especies que se desplazan hacia latitudes más próximas a los polos o a cotas más altas en las montañas.

### ***Los grandes árboles, los diminutos microorganismos***

No todas las especies arbóreas se ven afectadas de la misma manera por la sequía. En el caso de la encina, una especie dominante en los bosques mediterráneos catalanes, durante los últimos años ha sufrido una disminución importante de la productividad y un aumento de la mortalidad y de las tasas de defoliación. En cambio, en otras especies arbustivas de porte elevado y más adaptadas a ambientes áridos el efecto de la sequía ha sido mínimo.

De esta manera se podría esperar que, si el clima mediterráneo se vuelve más árido en el futuro, la encina sea reemplazada por las mencionadas especies arbustivas y que, en consecuencia, se reduzca la capacidad de sumidero de CO<sub>2</sub> que actualmente tienen los bosques del país.

Es necesario que también tengamos en cuenta el efecto del cambio climático en las comunidades microbianas del suelo que, a pesar del reducido tamaño de estos organismos, regulan los ciclos del carbono y de los nutrientes a escala global.

Los cambios en los regímenes de precipitación pueden, en primer lugar, alterar la composición de la comunidad microbiana como consecuencia de la extinción de determinadas unidades taxonómicas operacionales a nivel local —en microorganismos no hablamos de especies. También pueden modificar la abundancia relativa de bacterias y hongos, los cuales tienen actividades muy diferentes en la descomposición de otros organismos y, por lo tanto, pueden condicionar la disponibilidad de materia orgánica para otros organismos, como los macroinvertebrados.

Los microorganismos son más resilientes y pueden responder a las perturbaciones. Sin embargo, habrá que observar qué incidencia tiene el cambio climático en estas comunidades, porque pueden provocar variaciones a una escala mayor.

Por lo tanto, las alteraciones provocadas por el cambio climático en los ecosistemas terrestres ya son visibles, y se prevé que lo sean más en el futuro. No obstante, pueden ser más fuertes y significativas si el cambio climático se combina con otras perturbaciones asociadas a este fenómeno, como las inundaciones, los episodios de sequía, las olas de calor y los incendios forestales. También influirán otros factores, como los cambios de usos del suelo, la contaminación y la sobreexplotación de los recursos.

Estas perturbaciones comprometen —y comprometerán— los servicios ambientales, productivos y sociales que los ecosistemas terrestres nos proporcionan. Por lo tanto, las políticas de gestión ambiental y forestal deberían tener en cuenta tanto las características propias de nuestros ecosistemas como las condiciones climáticas, ambientales y sociales que se proyectan para los próximos años y decenios.

### ***La sequía, un factor determinante para la integridad de los ecosistemas acuáticos continentales***

En Cataluña, los ecosistemas acuáticos continentales (ríos, lagos, lagunas y embalses) presentan una gran diversidad de fauna y flora. Estos organismos se han adaptado a los cambios hidrológicos extremos propios del clima mediterráneo. No obstante, si estos cambios se incrementan o se hacen todavía más intensos, su capacidad de resistencia podría llegar al límite.

A medio plazo, algunos nichos ecológicos podrían quedar vacíos y expuestos a ser invadidos por especies no nativas, un hecho que podría comportar unas comunidades más homogéneas y una disminución del número de especies endémicas, hoy por hoy mucho más abundantes que en muchas otras regiones climáticas.

La principal alteración que sufren estos sistemas acuáticos está relacionada con el ciclo hidrológico, el cual está más condicionado por la actividad humana que por el

cambio climático: en las cuencas internas de Cataluña, el 36,4% de los caudales —el 30% si se considera también el Segre— se intercepta para usos urbanos o agrícolas.

El cambio climático también puede afectar de manera importante a las especies que viven en estos ecosistemas: puede ser el detonante del aumento de la frecuencia de acontecimientos extremos y transitorios que afectan a la presencia de determinadas especies, como las sequías y las avenidas, pero también de alteraciones en las condiciones hidrológicas habituales.

El incremento térmico anómalo puede ser la causa de la disminución de la cubierta del hielo en los lagos pirenaicos, del adelantamiento y la prolongación del periodo de estratificación de las masas de agua lacustres y del aumento de la temperatura del agua fluvial, con implicaciones biogeoquímicas y para la biodiversidad.

El estado de los ecosistemas acuáticos puede estar influido por fenómenos muy diversos ligados al clima, como la sequía. El incremento de la severidad y la frecuencia de este fenómeno (especialmente en verano, como se observa en todo el territorio de la península Ibérica durante los últimos cinco decenios) puede provocar la ruptura del continuo fluvial y la aparición de un mosaico fragmentado de masas de agua efímeras y desconectadas.

En Cataluña, este proceso de aumento de residencia del agua en el sistema hídrico, denominado *lentificación*, se puede observar de una manera particularmente clara porque muchos de nuestros ríos se regulan mediante una red muy densa de esclusas. Durante los periodos de sequía estas esclusas, junto con los pequeños charcos aislados de los cauces secos, acumulan la mayor parte del agua y la actividad biológica de las redes fluviales.

Si la temperatura media de la atmósfera de la Tierra aumentara en 2 °C respecto de la época preindustrial (hecho que el Acuerdo de París quiere evitar), todos los cambios que se derivarían de ello podrían producir un incremento del 13% en el tiempo de residencia del agua en los ríos catalanes.

Este incremento podría provocar la acumulación de materia orgánica, un déficit de oxígeno, el incremento de la salinidad, la acidificación de ríos y lagos en aguas poco mineralizadas e incluso el aumento de la metanización o producción de metano, que es un GEI potente. La aparición de grandes poblaciones estables de macrófitos en ríos regulados, como el Segre y el Ebro, ya es una muestra clara de estas alteraciones biogeoquímicas y del régimen de caudales.

### **Las poco previsibles crecidas de los ríos**

El fenómeno opuesto, el aumento de la frecuencia de crecidas de los ríos, es más sutil. En Cataluña, los acontecimientos más catastróficos no presentan ninguna tendencia significativa, si bien es cierto que la frecuencia de crecidas extraordinarias —desbordamientos con destrucciones puntuales de patrimonio— tiende a aumentar desde 1850, especialmente a finales de verano y principios de otoño. Estos episodios no

solo están relacionados con el caudal circulante por el río, sino también con el modelo urbanístico y de ocupación del territorio.

Desde el punto de vista de los ecosistemas acuáticos, un incremento de la frecuencia de estos acontecimientos puede hacer aumentar puntualmente las concentraciones de muchas de las sustancias disueltas en el agua, como el carbono orgánico disuelto y los nitratos, que el ecosistema fluvial a duras penas puede retener o procesar y que terminarán en lagos y embalses, zonas aluviales y deltaicas y áreas costeras.

Un incremento de estos acontecimientos extremos, que movilizan el sustrato, erosionan el cauce y transportan sedimentos, puede favorecer cambios en los hábitats fluviales y, en consecuencia, una pérdida de heterogeneidad. Otro efecto puede ser que en las áreas urbanizadas las crecidas colapsen las redes de saneamiento y el funcionamiento de las depuradoras.

### ***La incidencia en la distribución de las especies acuáticas***

El ascenso de la temperatura del agua afecta al ciclo vital y la distribución de las especies, promueve cambios en las interacciones y las redes tróficas y favorece el establecimiento de especies invasoras. Algunos procesos vitales, como la metamorfosis, también se adelantan en especies autóctonas. Por el contrario, el tiempo de desarrollo se reduce con el aumento de temperatura, y el resultado son individuos adultos más pequeños y con menos potencial de éxito reproductivo.



Lago de Baborte y collado de Sellente, en el Parque Natural del Alt Pirineu.

Fuente: Generalitat de Catalunya.

La distribución de especies de agua fría, como la trucha común (*Salmo trutta*) o algunas especies de insectos, se podría reducir por efecto de la temperatura en el Prelitoral y el Prepireneo. La incidencia del calentamiento, sin embargo, también llega a los ecosistemas acuáticos de alta montaña. Así, los estudios hechos en el lago Redon (Val d'Aran) muestran una clara tendencia al calentamiento del agua durante el siglo xx, acelerada en los últimos años como consecuencia del aumento de la temperatura en verano y, sobre todo, en otoño. El calentamiento tiene un impacto evidente en algunas de las especies que lo habitan.

Al mismo tiempo, la modificación de la duración de la cubierta de hielo tiene incidencia en la composición de las comunidades de los lagos de alta montaña.

### ***Cambios profundos bajo la superficie del mar***

El Mediterráneo es un mar semicerrado donde confluyen una elevada riqueza biológica y una fuertísima presión humana en la costa, dos aspectos que lo hacen especialmente vulnerable al cambio climático. En las últimas décadas se han observado variaciones en diversos parámetros, aunque no todos estos cambios han sido causados únicamente por este fenómeno.

Un estudio reciente señala que tan solo el 42%, aproximadamente, del calentamiento observado en los últimos decenios sería causado por la acción humana; el resto provendría de la influencia de la oscilación multidecadal del Atlántico (AMO), un patrón de variabilidad que experimenta este océano y que produce variaciones cíclicas de temperatura.

Esta observación es importante con respecto a proyecciones futuras porque, por una parte, el AMO podría atenuar el efecto del calentamiento global pero, por otra, también reforzaría el aumento térmico en periodos determinados.

En cualquier caso, el cambio en las condiciones climáticas ha tenido una incidencia clara tanto en los ecosistemas como en especies concretas, y hay que tenerlo presente con vistas al futuro.

De entrada, la valiosa serie temporal del Estartit, que ya se ha mencionado anteriormente, ofrece datos de la temperatura del agua del mar a diferentes profundidades (desde 1974) y de la evolución del nivel del mar (desde 1990).

En resumen, la información recogida señala aumentos de temperatura media anual de +0,3 °C a +0,19 °C por decenio en los primeros 50 metros y a 80 metros de profundidad, respectivamente. En cuanto al nivel del mar, el aumento ha sido de 3,9 cm por término medio por decenio.

Estos datos no se pueden extrapolar a todo el mar catalán, que comprende una superficie aproximada de 74.000 km<sup>2</sup>. El Mediterráneo ya presenta una variabilidad natural en estos dos parámetros y los datos obtenidos en el Estartit, aparte de tener un valor en sí mismos para seguir la evolución en un punto concreto del litoral ampurdanés, permiten trazar una orientación general en la costa catalana.

La salinidad también ha aumentado desde mediados del siglo xx en el Mediterráneo. El aumento ha sido muy elevado en zonas profundas, por debajo de los mil metros. En cambio, en zonas superficiales este incremento ha sido más pequeño. Con respecto al futuro, los resultados de los diferentes modelos difieren y, en consecuencia, hoy por hoy no es posible afirmar si la salinidad aumentará o disminuirá.

En el Mediterráneo, como en la mayor parte de mares y océanos del planeta, se observa un proceso de acidificación de las aguas. Este hecho se debe al aumento de CO<sub>2</sub> en la atmósfera, que ha provocado que se disuelva una cantidad mayor de este en mares y océanos y que, en consecuencia, el pH del agua disminuya (es decir, que tengan más acidez). Se prevé que este proceso sea más significativo durante los próximos años.

El consenso científico indica que la acidificación afectará negativamente a la disponibilidad de carbonato cálcico y, por lo tanto, perjudicará el crecimiento de especies que tienen esqueleto o caparazón formado por este compuesto —como las algas coralinas, los moluscos (mejillones, almejas, caracoles), los crustáceos (langostas, cangrejos) y muchos corales.

El Mediterráneo es un mar con tendencia a la oligotrofia, es decir, a una concentración baja de nutrientes. El cambio climático previsiblemente alargará el periodo en que hay más empobrecimiento de nutrientes, que va desde finales de la primavera hasta principios del otoño.

Sin embargo, la presencia de nutrientes puede tener más que ver con las acciones humanas que con el calentamiento planetario. El aprovechamiento intensivo de los ríos ha hecho decrecer el caudal de agua que llega al mar y, por lo tanto, la cantidad de nutrientes que llegan a él.

Por otra parte, los productos más ecológicos —como los detergentes sin fosfatos— o las normativas que limitan el uso de ciertos productos como los abonos sintéticos y los purines han hecho disminuir, respectivamente, la cantidad de fósforo y nitrógeno que llega al mar.

El resultado de estas acciones es que en los últimos veinticinco años no se ha detectado ninguna tendencia, ni al alza ni a la baja, en la concentración de nitratos, amonio y silicato en las aguas marinas, mientras que sí se ha observado una disminución de la de fosfatos.

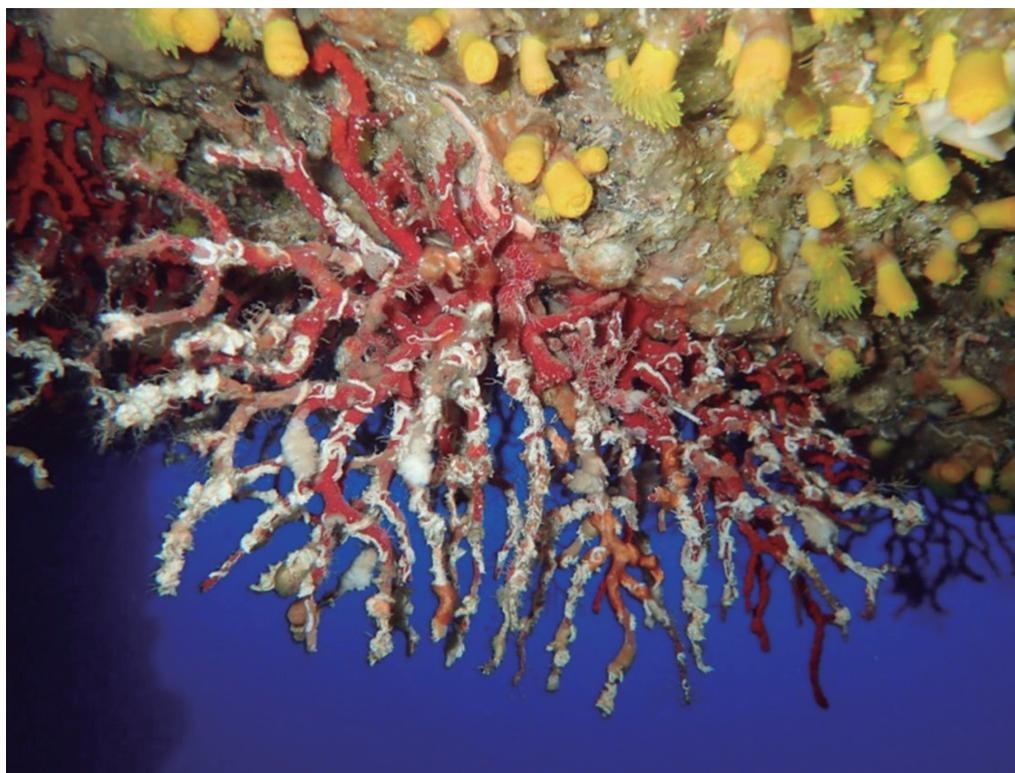
### ***El coralígeno y la posidonia, dos comunidades en peligro***

Todos estos cambios progresivos, acompañados por episodios puntuales de sobrecalentamiento en verano o un aumento de las tormentas en otoño, tienen efectos en los ecosistemas marinos. Una de las comunidades más afectadas es el coralígeno de los fondos litorales, exclusiva del Mediterráneo, constituida principalmente por ciertos tipos de algas calcáreas incrustantes. Se han identificado hasta 1.666 especies diferentes en ella, aunque esta cifra se considera conservadora. Esto indica claramente el valor que tiene como reserva de biodiversidad.

La comunidad de coralígeno recibe los impactos de la pesca de arrastre, el anclaje de embarcaciones, el «pisoteo», la contaminación y la proliferación de especies exóticas. No obstante, el impacto mayor lo produce el cambio climático: los episodios de calentamiento de las aguas superficiales y subsuperficiales se prolongan hasta el otoño, hecho que interfiere en procesos naturales como la mezcla vertical de las aguas y acaba provocando episodios de mortandades masivas, generalmente de especies de invertebrados suspensívoros, de los cuales les cuesta mucho recuperarse.

Por otra parte la posidonia (*Posidonia oceanica*), una fanerógama marina endémica del Mediterráneo, es sensible a las variaciones de la temperatura y del nivel del mar. Las praderas que forma retienen materia orgánica, lo que permite que algunos organismos más propios de fondos duros se instalen en ellas. También sirven de refugio y área de cría a peces y otros animales, estabilizan los sedimentos y protegen el litoral, además de ser un gran sumidero de carbono como se ha apuntado en la primera parte de este resumen.

Sin embargo, las praderas de posidonia se encuentran entre las comunidades marinas más amenazadas por las actividades humanas y, en especial, por la modificación de



Colonia de coral rojo (*Corallium rubrum*) afectada por necrosis asociada a un episodio de calentamiento de la temperatura. El tejido, una vez se ha degradado, deja al descubierto los esqueletos calcáreos, que son colonizados por especies oportunistas.

Fuente: Generalitat de Catalunya.



Vista general de un herbazal de fanerógamas marinas constituido por posidonia (*Posidonia oceanica*), especie endémica del Mediterráneo.

Fuente: Generalitat de Catalunya.

las aportaciones sedimentarias desde el continente, que pueden enterrar o descalzar el algar.

Son muy sensibles al aumento de la temperatura del agua y a la acidificación provocados por el cambio climático, y también se verán perjudicados por el incremento del nivel del mar, un factor que puede reducir la cantidad de luz que les llegue.

Todo esto lleva a un pronóstico muy pesimista: hacia el 2049 (diez años arriba, diez años abajo) los algares de posidonia en la costa catalana pueden estar funcionalmente extinguidos (el estadio en el cual la densidad de los haces foliares baja por debajo del 10% del actual).

### **Algas, mejillones, sardinas y boquerones**

Las alteraciones de especies son especialmente significativas en el caso de las algas, los invertebrados y los peces. Con respecto a las primeras, presentan una diversidad tan elevada que se hace difícil prever si se verán favorecidas o perjudicadas por el cambio climático.

En el caso de los invertebrados, cabe destacar la elevada vulnerabilidad de las gorgonias y otras especies sésiles. El aumento de temperatura del agua podría incrementar la recurrencia de los episodios de calor, hecho que perjudicaría la cría de mejillones en el delta del Ebro (en 2015 ya se produjo un episodio que puso fin a toda la cría de mejillón en la bahía dels Alfacs y a una parte de la existente en la punta del Fangar).

El calentamiento de las aguas también favorecerá la proliferación de especies exóticas, como las lessepsianas, que llegan al Mediterráneo procedentes del mar Rojo a través del canal de Suez. Finalmente también puede haber especies introducidas accidentalmente a través de las aguas de lastre o mediante actividades de acuicultura.

En el caso de los peces no es fácil discernir los efectos del cambio climático de los provocados por acciones humanas directas, como la sobreexplotación pesquera. En el ecosistema pelágico los modelos proyectan un incremento de la producción primaria bruta del fitoplancton que no se ve reflejado en un aumento de la productividad planctónica neta porque la respiración también crece.

Lo que sí que se observa es un desplazamiento hacia el norte de especies habituales del litoral catalán, tanto las sésiles —las que viven unidas a un sustrato— como las vágiles —las que se pueden mover. El aumento de temperatura de nuestras aguas lleva estas especies a buscar aguas menos cálidas. En cambio, como ya se ha comprobado, especies termófilas venidas del sur se pueden establecer progresivamente en nuestra costa.



Barco de cerco remolcando el bote lucero y volviendo a puerto con pescado azul (sardina y boquerón) después de una noche de pesca.

Fuente: Generalitat de Catalunya.

Hay correlaciones entre los peces y el clima que no se deben al calentamiento progresivo del planeta, sino a fenómenos recurrentes como la oscilación del Mediterráneo occidental (WeMO). Los periodos con valores positivos de WeMO se asocian con bajas temperaturas del medio marino, altas descargas de los ríos y fuerte mezcla vertical de la columna de agua, y coinciden con un aumento de las capturas de peces pelágicos pequeños, como la sardina (*Sardina pilchardus*) y el boquerón (*Engraulis encrasicolus*).

Hay que tener presente que el valor comercial de las capturas conjuntas de estos pequeños pelágicos podría disminuir, a consecuencia de la proporción mayor de peces termófilos, como la alacha (*Sardinella aurita*), en la captura final conjunta de las tres especies.

Las afectaciones en la cría de mejillones o en las capturas de sardinas y boquerones tienen consecuencias socioeconómicas importantes. Hay, sin embargo, otros fenómenos que también las tienen. Los inviernos suaves, la poca pluviosidad y los veranos cálidos favorecen un aumento en la proliferación y en la permanencia de enjambres de medusas en las playas. Algunas algas microscópicas tóxicas también se pueden ver favorecidas por aguas más cálidas y más estratificadas. Una vez más, el cambio climático no será la única causa: la proliferación de algas tóxicas es favorecida por unas infraestructuras litorales que se han multiplicado por cuatro en el último medio siglo (ahora hay cerca de cuarenta puertos en 400 km de costa catalana).

### **Proteger el Mediterráneo, hacerlo más fuerte**

El Mediterráneo —que solo representa el 0,82% de la superficie y el 0,32% del volumen de todos los mares y océanos del mundo— tiene una biodiversidad muy superior y hospeda un porcentaje más alto de organismos marinos de lo que le correspondería por sus dimensiones.

Como se ha apuntado anteriormente, el cambio climático pone en riesgo algunas de estas especies o las comunidades de las que forman parte. Por otra parte, el mar regula el clima y los ecosistemas litorales protegen la costa. Es un referente cultural y vital para mucha gente, así como una fuente de actividades económicas y de ocio. Por todo esto, la protección del mar tiene una importancia extraordinaria.

El cambio climático lo afecta y, por lo tanto, las medidas generales dirigidas a reducir las concentraciones de CO<sub>2</sub> también son esenciales para mantener los ecosistemas marinos. No obstante, en los párrafos anteriores se ha destacado que muchas de las problemáticas que lo afectan no provienen del cambio climático, sino de actividades humanas directas.

Por eso mismo, para proteger el Mediterráneo se requieren medidas como promover una explotación sostenible de los recursos marinos y velar por la preservación de la rica biodiversidad marina del mar catalán.

También hay que actuar para reparar los ecosistemas que ya han sufrido afectaciones, lo cual no solo limitará el impacto negativo de las actividades humanas en el

Mediterráneo, sino que lo hará más fuerte —o menos débil— para afrontar el aumento de la temperatura y todas las consecuencias que se derivan de ello.

## 2.5. Los suelos: un elemento vivo que regula el clima y sufre sus impactos

Los suelos tienen un doble papel con relación al cambio climático. Por una parte, son un sujeto pasivo porque sus propiedades y características se modifican, de una manera más o menos acelerada, en función de la resiliencia y de los usos a los que se someten. Por otra, actúan como sumidero y emisor de GEI, como se ha expuesto en la primera parte de este resumen.

Se considera que el cambio climático afectará tanto al suelo como a la dinámica de la materia orgánica que contiene, aunque estos efectos todavía son poco predecibles. Lo que sí que es cierto es que los cambios de usos del suelo pueden tener tanta incidencia o más que el cambio climático. Paralelamente, en cultivos de secano las emisiones son más pequeñas cuando se adopta un cultivo de conservación, pero en suelos de regadío son más difíciles de prever.

La evolución del clima y sus impactos sobre la vegetación comportará un aumento de la aridez y, en consecuencia, de la erosión, que se podría atenuar mediante prácticas adecuadas de conservación.

Algunos procesos son mucho más graves en ciertas regiones. Así, la erosión causada por la lluvia es especialmente grave en los Pirineos y en el valle del Ebro. El aumento de la evapotranspiración, por otra parte, disminuirá la disponibilidad de agua de los suelos y aumentará la salinidad. Por eso, en áreas de regadío será necesaria una dotación más elevada para el riego y prever fracciones de lavado con el fin de evitar la acumulación de sales.

El ascenso de temperatura podría permitir desplazar actividades agrícolas hacia zonas de más altitud. Sin embargo, en Cataluña estas zonas también tienen más riesgo de erosión, porque están situadas en zonas de más pendiente. Por lo tanto, se debería implementar, con criterios técnicos, una combinación de medidas de cultivo de conservación y la construcción de bancales.

Las reservas medias de carbono orgánico de los suelos agrícolas de la Cataluña mediterránea y semiárida son de 100 Mg por hectárea (hasta un metro de profundidad). Las previsiones indican que nuestros suelos experimentarán una pérdida lenta de materia orgánica por mineralización durante los próximos decenios. Para compensarla, sería necesario devolver restos de cosecha y aplicar abonos orgánicos de calidad en la dosis adecuada a los suelos agrícolas, además de mejorar la gestión de los residuos orgánicos.

Una opción para mitigar los efectos del cambio climático en el suelo es la aplicación de biocarbón (*biochar*), la fracción sólida que queda cuando se transforman por pirólisis

diferentes tipos de biomasa de residuos. Se puede aplicar al suelo para secuestrar carbono y para mejorar su fertilidad, o bien puede ser utilizado como sustrato de cultivo. Para promover esta práctica, habría que modificar los planes de energía actuales para incluir el procesado de biomasa residual, que produciría biocarbón, energía y otros productos químicos.

La aplicación adecuada, en dosis y métodos, de residuos ganaderos y la eficiencia en el uso del agua son dos prácticas básicas tanto para reducir las emisiones de los suelos como para mantener los niveles de salinidad y no afectar a la calidad.

También convendría estimar de una manera más precisa la capacidad de secuestro y el carbono almacenado en los suelos del país, lo que permitiría mejorar los modelos sobre la estimación de los reservorios de carbono orgánico en todo el territorio.

Hoy por hoy, sin embargo, la falta de información, el marco legal y unas propuestas legislativas recientes insuficientes no permiten avanzar en la protección del suelo ni reforzar el papel que tiene en la lucha contra el cambio climático, el cual, como ya se ha dicho en muchos casos, tiene menos importancia que los cambios de usos del suelo y otras actividades humanas.

Proteger el suelo también es, por lo tanto, planificar el territorio de una manera adecuada y promover las prácticas adecuadas a cada zona y situación.

# 3ª PARTE

# Sistemas humanos: impactos, vulnerabilidad, adaptación y mitigación



## 3.1. Cambio climático y seguridad alimentaria

Cataluña es el primer clúster de industria agroalimentaria en Europa: produce más de 7 millones de toneladas de productos agrícolas y más de 3,7 millones de hectolitros de vino y aceite (2013). En conjunto, incluyendo los sectores primario, secundario y terciario, el sistema agroalimentario catalán aporta el 20,8% del PIB industrial catalán y el 3,8% del PIB del país, lo cual revela la importancia socioeconómica del sector.

No obstante esta fortaleza, también tiene características que le dan una cierta vulnerabilidad ante el cambio climático. La agricultura y la ganadería ocupan un tercio del territorio y son sectores que pueden tener afectaciones importantes por el cambio climático.

Actualmente la autosuficiencia alimentaria de Cataluña es del 40% y, por lo tanto, un aumento de la población y los efectos del cambio climático (básicamente las disponibilidades hídricas) puede hacer disminuir todavía más este porcentaje y contribuir a incrementar la dependencia del exterior, en un escenario de futuro que identifica los alimentos como un punto crítico mundial.

### *De los cultivos a los rebaños*

Los efectos del cambio climático en los sistemas agroalimentarios son complejos y variados. En cualquier caso, la incertidumbre sobre la producción de alimentos aumentará.

Cataluña presenta una gran heterogeneidad ambiental y, por lo tanto, según las zonas de cultivos —regadío o secano (30% y 70%, respectivamente)— las variedades o los

sistemas de producción, los efectos del cambio climático serán diferentes. Por otra parte, el aumento de la temperatura puede alargar los ciclos de crecimiento de algunos cultivos y reducirlos en otros, generar problemas de floración y maduración, y afectar a la calidad organoléptica de los productos.

Los principales retos de la agricultura catalana con relación al cambio climático son la mejora de la eficiencia en el uso del agua y en la gestión del abono, principalmente el nitrogenado, el uso del material vegetal más eficiente y/o nuevo y la agricultura de precisión, entre otros. También hay elementos positivos para afrontar los cambios: el secuestro de carbono por parte de los cultivos y del suelo, el crecimiento de la agricultura ecológica, cada vez más solicitada, el fomento de la agricultura de conservación y una mejor gestión de los residuos de los cultivos contribuirían a reducir y mitigar la emisión de los GEI.

La disminución de los recursos hídricos, tanto de lluvia como de regadío (ríos, pantanos, freáticos, agua regenerada, etc.) tiene una importancia especial en el caso de la agricultura, que representa entre el 70% y el 80% de los recursos hídricos gestionados de Cataluña. Esto la convierte en el usuario principal, pero también en un regulador clave del sistema hidrológico.

El probable descenso de las precipitaciones en Cataluña llevaría la disponibilidad de agua por persona y año hacia los 1.850 m<sup>3</sup>, un valor próximo al estrés hídrico según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). En este escenario, para cubrir las necesidades de riego de la agricultura se deberá incrementar la eficiencia en el uso del agua tanto en secanos como en regadíos. Entre otras medidas, se puede conseguir con sistemas de distribución y gestión impulsados por comunidades de regantes y con estrategias de agricultura de conservación en los suelos.

El otro aspecto clave que se ha destacado es la gestión de los abonos nitrogenados, los cuales son básicos para aumentar la productividad del suelo pero contribuyen al cambio climático con la emisión de GEI (especialmente de N<sub>2</sub>O). Actualmente, en Cataluña se usan en exceso —aunque las cifras exactas no se conocen con precisión.

Las consecuencias ambientales de los abonos nitrogenados a escala regional en algunos casos son importantes y negativas. Para mejorar esta situación y evitar otras peores, sería necesario fomentar los sistemas participativos para transferir conocimiento sobre la gestión esmerada de los elementos nutricionales a la agricultura e impulsar modelos de gestión más eficientes y sostenibles.

Con respecto a la ganadería, el aumento de las temperaturas tendrá efectos diversos en la productividad según las especies. Así, las olas de calor afectan negativamente a la producción de leche en los rumiantes (cuya composición química, además, varía). Los cerdos y las aves tienen un intervalo de confort térmico más reducido y, por lo tanto, una temperatura más elevada los podría afectar mucho si las instalaciones donde se los mantiene no se adaptan. De hecho, habría que ajustarlas a las condiciones de bienestar animal que establece la Unión Europea.

Parece claro que, para compensar estas anomalías fisiológicas derivadas de las condiciones térmicas, habrá que refrigerar los animales y/o las instalaciones donde se encuentren, hecho que comportará un incremento en las necesidades de agua de calidad del sector ganadero, aunque el gasto de agua de este sector se encuentra entre el 3% y el 5% de toda el agua utilizada por la agricultura.

A la incidencia de la temperatura sobre cada especie hay que añadir la afectación en la alimentación: el cambio climático afectará a los pastos, la disponibilidad de forraje y las materias primas utilizadas por la industria del pienso. Sin embargo, la disponibilidad de alimentación es un tema de cambio global que hay que valorar con vistas a mitigar el cambio climático y asegurar la sostenibilidad en la disponibilidad de alimentos para el país.

### ***Unas actividades que también potencian el cambio climático***

Junto con la incidencia que el cambio climático puede tener en estos sectores hay que considerar el efecto contrario, es decir, cómo estos sectores pueden potenciar el aumento de temperaturas. El sector ganadero es responsable, a escala global, del 14,5% de las emisiones de GEI.

En Cataluña, el total de emisiones del sector agroganadero fue de unos 4,1 millones de toneladas de CO<sub>2</sub> equivalentes en 2014 y cerca de la mitad, el 47,5%, fueron debidas a la gestión del estiércol. Por lo tanto, deben reducirse estas emisiones para contribuir a disminuir el impacto sobre el cambio climático.

Para conseguirlo debe mejorarse la eficiencia de la producción, tanto de carne como de leche. En este sentido podrían adoptarse acciones diversas, como la mejora en la selección de la genética animal, por ejemplo, a partir de la elección de animales de cría con más tolerancia a la temperatura, más capacidad de supervivencia y más resistencia a las enfermedades.

También se debe buscar más eficiencia en el uso de los nutrientes porque una mejor alimentación del ganado puede reducir la huella de carbono. Los avances en nuevas disciplinas, como la nutrigenómica y la nutrigenética, ayudarán a adaptar esta alimentación a las características genéticas de cada especie e incluso de cada individuo.

Otras medidas que se pueden tomar son: utilizar aditivos para reducir las emisiones de metano, aprovechar los avances tecnológicos para mejorar las explotaciones y el bienestar animal, favorecer la producción ecológica de carne, mejorar la gestión de los residuos ganaderos y reducir el impacto ambiental de los purines. En todo caso, no solo hay que buscar la reducción de la contaminación, sino la obtención de un recurso (nutriente, energía u otros) que nos evite haber de extraerlos de otras fuentes.

### ***El futuro de los peces y de la pesca***

La pesca costera presenta una realidad y unos escenarios futuros preocupantes, como ya se ha puesto de manifiesto en el análisis del impacto del cambio climático en los

ecosistemas marinos y costeros. Hay proyecciones que sitúan la disminución de las capturas en un 20% a mediados de siglo.

Para afrontar este panorama, la Unión Europea plantea un cambio de enfoque en la gestión de la pesca: en lugar de gestionar los stocks se gestionarán los ecosistemas, de manera que los recursos pesqueros ya no se tratarán simplemente como un producto que se captura, con un reparto de cuotas basado en la demanda de cada especie, sino con una perspectiva holística.

Por lo tanto, ya no se tratará de mirar la cantidad de ciertos peces que se puede capturar, sino de aplicar los conocimientos y las incertidumbres sobre los componentes bióticos y abióticos y las interacciones de un ecosistema.

No es, sin embargo, un enfoque nuevo dado que la FAO ya lo propuso en los años noventa. Persigue los objetivos siguientes: mantener la viabilidad económica de la pesca, detener la pérdida de biodiversidad y restaurar la productividad del medio marino. En algunos lugares del mundo, la disminución creciente de los stocks pesqueros ha comportado la creación de zonas de exclusión de pesca y la protección de hábitats como las praderas de fanerógamas.

Como corolario, hay que incrementar el nivel del conocimiento científico y la difusión entre la población, porque este conocimiento objetivo, contrastado, transversal y holístico debe ser la base para el desarrollo de tecnologías que permitan asegurar el mantenimiento de los ecosistemas marinos y la práctica de la pesca.

### ***El reto del agua y la producción de alimentos***

La falta de los recursos naturales que se utilizan en agricultura (básicamente agua y nutrientes minerales), o una eficiencia baja en su uso, puede llegar a ser un problema en el futuro en una población creciente y en una sociedad desarrollada. Esta situación de demanda creciente de productos agrícolas y de una intensificación mayor de la producción con el objetivo de obtener más productividad por unidad de superficie y entrada, junto con una política de conservación ambiental clara y decidida, genera un gran reto para la agricultura del siglo XXI.

La nueva situación climática en Cataluña puede comportar una bajada considerable del agua utilizable agrícolamente (básicamente por la condición errática de las lluvias) y un incremento de un 7,9% de la demanda hídrica de los cultivos.

Desde un punto de vista agrícola, la mejora en la eficiencia productiva del agua debe ser un objetivo primordial ligado a una apuesta por la eficiencia que no implique requerimientos energéticos o de alta sofisticación en la gestión. La agronomía y el sentido común tienen un gran papel en esta tarea.

Para dar salida a estas necesidades, hay que promover un sistema de I+D+I que permita una gestión eficiente del recurso agua en la agricultura, que aumente tanto como



La agricultura consume aproximadamente el 75% del agua gestionada en Cataluña, que sirve básicamente para producir alimentos. Ejemplos de riego a manta (a), riego por aspersión (b) y riego a goteo (c).

Fuente: Jaume Lloveras, Jaume Camps y el Instituto de Investigación y Tecnología Agroalimentarias (IRTA), respectivamente.

sea posible la eficiencia (kilogramos de alimentos producidos por metro cúbico de agua utilizado) dentro de unos márgenes de eficacia y sostenibilidad de las explotaciones.

También hay que abordar la planificación y la gestión del uso del agua en Cataluña de una manera global, no sectorial (uso agrícola, urbano, etc.), y teniendo en cuenta especialmente los efectos del cambio climático en el agua en el Mediterráneo.

### 3.2. La energía y la industria: dos sectores clave para reducir las emisiones de GEI

En Cataluña, la producción de energía primaria —la que se extrae de la naturaleza— es insignificante con respecto al consumo total. Por lo tanto, el país tiene una elevada dependencia energética del exterior. En este contexto, y dentro del modelo energético todavía hegemónico, los precios de los hidrocarburos condicionan la economía catalana y la competitividad de las empresas.

#### *Un modelo energético a transformar*

Hay que desarrollar nuevas políticas energéticas para afrontar el cambio climático, encaminadas tanto a reducir el uso de combustibles fósiles como a utilizar la energía de una manera más eficiente. La mejora de la eficiencia y del ahorro de energía contribuiría a mitigar la huella de carbono y también a disminuir la dependencia energética del exterior y los costes económicos y la incertidumbre que comporta. Esto implica apostar decididamente por las fuentes de energía renovables.

En el momento de redactar el TICCC, los últimos datos disponibles sobre el consumo de energía en Cataluña correspondían al año 2009, de manera que estos son los que constan en el informe. En este resumen ejecutivo, sin embargo, se han sustituido por los datos del 2014, que ya están disponibles. El consumo final (resultado de la transformación de la energía primaria menos las pérdidas causadas por esta transformación y el transporte) ha ido bajando año tras año, pero más por efecto de la crisis que por cambios estructurales. Los porcentajes, sin embargo, han variado poco de un año al otro.

Los productos derivados del petróleo representan prácticamente la mitad del consumo final de energía: el 48,4%. Después vienen la energía eléctrica, con el 27,2%, el gas natural, con el 20,8%, las energías renovables, con el 2,8%, y el carbón y los residuos no renovables, con el 0,8% restante. Por sectores, el transporte es el que consume más, con el 42,3%. La industria consume el 27,3%; el ámbito doméstico, el 15,1%; los servicios, el 12,2%, y el sector primario, el 3,1%.

En el caso de Cataluña, la energía es responsable de más del 75% de los GEI. Este dato obliga a repensar la combinación (*mix*) energética, en la cual las energías renovables deben ganar protagonismo, a apostar claramente por la eficiencia en el uso de la energía y a considerar la movilidad para reducir la dependencia de los combustibles fósiles.



La energía eólica se basa en el aprovechamiento de la energía cinética del viento para convertirla en energía eléctrica o mecánica.

Fuente: Instituto Catalán de Energía. Generalitat de Catalunya.

Con respecto a la energía nuclear, todavía contribuye en buena parte a la producción de la electricidad que se consume en Cataluña. Si no se adoptan medidas muy drásticas y difíciles de llevar a cabo, cuando se acabe el ciclo de vida de cuarenta años, hecho que ocurrirá poco después del año 2020, todavía no se podrá sustituir por energías renovables.

Por eso hay que iniciar con tiempo suficiente un debate como más amplio mejor para decidir qué hay que hacer cuando estas centrales nucleares lleguen a los cuarenta años de funcionamiento. Habrá que considerar tanto las ventajas como los inconvenientes.

Entre las primeras se suele destacar que este tipo de energía no emite GEI. Hay que matizar, sin embargo, esta afirmación: las centrales producen emisiones mientras se construyen y también hay que contar las que se generan cuando se importa un combustible del que Cataluña no dispone.

Considerando el ciclo de vida, una vez en funcionamiento una central nuclear tarda unos cuantos años en compensar los GEI emitidos durante la construcción. En cuanto a los inconvenientes, destacan el tratamiento de los residuos, la posible peligrosidad y los costes, difíciles de evaluar, del cierre definitivo.

A continuación, habrá que tomar las decisiones pertinentes de una manera firme, sean las que sean. En el TICCC se considera que no es prudente alargarles la vida a base de

ampliarla consecutivamente en pequeños periodos adicionales como se ha hecho con alguna central española, dado que, en este caso, no se pueden adoptar las medidas de seguridad complementarias que sí que se pueden pedir si se establece una vida útil más larga, que puede hacer rentables inversiones importantes.

Sin embargo, habrá que hacer un balance riguroso de costes que no puede descuidar los causados por el desmantelamiento o el tratamiento de combustible usado, a fin de que las decisiones no acaben teniendo una repercusión elevada en el coste de la energía producida o en procesos que puede acabar teniendo que asumir el Estado.

Se dispone de datos de las emisiones totales (de las sometidas a directiva y de las difusas) de GEI para Cataluña (excepto un porcentaje negligible). En el año 2012, el último del segundo periodo definido por el Protocolo de Kioto, el procesamiento de la energía, que comprende las emisiones causadas por las actividades de combustión del sector energético, industrial, transporte, residencial y servicios y las emisiones fugitivas de los combustibles, representó el 75,7% de las emisiones totales.

Los procesos industriales (sin considerar las emisiones energéticas y de combustión) representaron el 8,3%; la agricultura, el 9,5%; el tratamiento y la eliminación de residuos, el 6%, y el uso de disolventes y otros productos, el 0,5%. Dentro de las emisiones energéticas o de combustión, el transporte contribuyó con el 36,8%; las industrias manufactureras y de la construcción, con el 25,2%; las industrias del sector energético, con el 20,2%; los sectores residencial y de servicios; con el 17,7%, y las emisiones fugitivas de combustibles, con el 0,1%.

A partir del 2013 se inició un periodo en el cual ya no hay cesión gratuita de derechos de emisión para todos los sectores. Se dispone de los datos de las emisiones controladas por directiva (aproximadamente el 34% de las totales) y, aunque los valores son inferiores a los de 2012, son claramente superiores a los asignados, con el consiguiente coste de adquisición de derechos de emisión.

### ***El nuevo planteamiento europeo sobre la energía***

La Unión Europea ha establecido directivas concretas para los sectores residencial y de servicios, para los cuales se piden medidas de eficiencia energética. En sectores propiamente energéticos, como el de la generación eléctrica, los últimos años la tendencia ha sido una disminución de las emisiones.

La Unión Europea siempre se ha mostrado ambiciosa en los planes para afrontar el cambio climático —al menos, sobre el papel. El paquete legislativo de energía y clima de la Unión Europea estableció los objetivos 20/20/20: es decir, un 20% de reducción de las emisiones en Europa respecto de 1990, un 20% de participación de las energías renovables en la combinación energética europea y un 20% de ahorro en el consumo de energía primaria. Para alcanzar estos objetivos, se dotó de la Directiva de eficiencia energética.

Para el 2030, la Unión Europea ha establecido unos objetivos más ambiciosos: un mínimo del 40% de reducción de las emisiones de GEI respecto de 1990, un 27% de



La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la transformación directa de la energía lumínica que proviene del sol en energía eléctrica.

Fuente: Instituto Catalán de Energía. Generalitat de Catalunya.

participación de las energías renovables en la combinación energética y un 27% como objetivo de eficiencia energética.

También es ambiciosa la propuesta de la Comisión Europea, aprobada por el Consejo a finales de 2013, de lograr en 2050 una reducción del 80% al 95% de las emisiones de GEI respecto de 1990. Como destacan diversos estudios, un escenario como este obliga a ir mucho más allá del sistema de producción y del uso energético actual.

Se plantea avanzar hacia una unión energética, con una política climática ambiciosa que ofrezca a los consumidores una energía segura, sostenible, competitiva y accesible. Los ciudadanos, en el sistema energético del futuro, son actores principales y responsables de la transición energética y deben tener capacidad de elección y poder para gestionar la demanda como hoy ya se hace desde la oferta.

Este nuevo modelo no es una apuesta ideológica, sino una necesidad urgente si tenemos en cuenta que la Unión Europea importa el 53% de la energía con un coste que, en función de los precios de los hidrocarburos, ha llegado a superar los mil millones de euros diarios.

Diferentes documentos europeos establecen las dimensiones de la transición energética: seguridad, solidaridad y confianza en el ámbito de la energía, un mercado europeo integrado, una moderación de la demanda a consecuencia de la eficiencia

energética, una economía libre de carbono y una apuesta decidida por la investigación, la innovación y la competitividad.

Con respecto a Cataluña, que tiene limitaciones en las competencias y que debe enmarcar las iniciativas en las medidas estatales, el instrumento central es el Plan de la energía y cambio climático de Cataluña 2012-2020, cuyo objetivo principal es alcanzar el escenario que la Unión Europea plantea para el 2020. Hay que señalar que Cataluña está lejos de cumplir este objetivo con respecto a las energías renovables y que, por este motivo, el esfuerzo debe ser muy importante a partir de ahora.

### **La transición de la industria**

En Cataluña la industria genera el 25% de las emisiones de GEI. El procesamiento de materiales para ser transformados en productos, el sector químico y de abonos, la industria papelera y el procesamiento de alimentos son los contribuyentes principales.

El 76% de las emisiones de la industria manufacturera catalana están asociadas al uso energético, según datos del 2012. Si las comparamos con las emisiones del 2005 veremos que se consiguió una reducción de casi el 40%, aunque deben tenerse en cuenta los efectos de la crisis económica. El 24% restante son emisiones relacionadas con procesos sin combustión, principalmente de descarbonatación.

De hecho, el 90% de las emisiones directas de GEI de la industria catalana se originan en el uso de combustibles fósiles para calderas y cogeneración y en la industria del cemento. En esta última hay que señalar que el proceso, con la calcinación de carbonato cálcico, libera CO<sub>2</sub> inevitablemente.

Con respecto a las políticas de mitigación en el sector industrial, el Gobierno de la Generalitat ha impulsado, además de la ley de cambio climático (aprobada por el Parlamento de Cataluña el 27 de julio de 2017), el Programa de acuerdos voluntarios y diversas medidas de fomento de la economía verde. Con estos acuerdos voluntarios, diversas empresas e incluso establecimientos han establecido medidas, en algunos casos muy sencillas y con una inversión mínima o sin ningún coste, para reducir las emisiones, al mismo tiempo que conseguían un ahorro energético y económico.

En definitiva, la industria catalana, aunque con diferencias según los sectores, ha dado pasos notables para adaptarse al cambio climático, aunque aún hay mucho margen para la mejora y la innovación.

Uno de los retos de la industria catalana, aparte de la eficiencia energética, es la eficiencia en los materiales que utiliza, que tiene que ver con la reducción de las pérdidas de rendimiento en la producción y con la reutilización. Disminuir el uso de carbón y petróleo e incrementar el de gas y las redes instaladas en los centros productivos reduciría las emisiones.

Finalmente, y muy especialmente, el diseño de los productos tiene una incidencia muy importante. El análisis del ciclo de vida, que incluye todo el proceso en los costes



Figura 14. Cambios que adopta la industria del siglo XXI para conseguir más eficiencia, más reciclaje y menos emisiones de GEI.

Fuente: Composición elaborada por Jaime Josa.

ambientales, desde la obtención de las materias primas y la fabricación hasta el uso y el final de la vida útil del producto, puede ser clave para mitigar el cambio climático.

Todos estos retos son especialmente importantes en los sectores que contribuyen más al valor añadido bruto de la economía catalana: las industrias de productos alimentarios y de fabricación de bebidas, las empresas químicas y farmacéuticas, y los fabricantes de vehículos de motor. La figura 14 muestra algunos de estos cambios, que deben contribuir a aumentar la eficiencia y el reciclaje, y a disminuir las emisiones de GEI.

### 3.3. La movilidad: una cuestión de hábitos y planificación

La nueva realidad climática obliga a repensar los modelos de transporte de personas y mercancías con el fin de favorecer energías más limpias para la propulsión de los vehículos y reducir la movilidad (la distancia recorrida por los vehículos).

La incidencia del transporte en el cambio climático, sin embargo, también tiene que ver con la planificación territorial. Un modelo disperso comporta más desplazamientos. Si el transporte público no ofrece una alternativa fiable y atractiva —con un coste de tiempo y dinero parecido o excepcionalmente inferior—, la opción del vehículo privado es difícil de abandonar.

El transporte, en conjunto, sea por tierra, mar o aire, de personas o de mercancías, es un sector muy sensible a los ciclos económicos. Por lo tanto, la crisis, más allá de las graves consecuencias socioeconómicas, ha traído buenas noticias desde una perspectiva ambiental. El número de viajes en infraestructuras lineales y los movimientos de vehículos en puertos, aeropuertos y estaciones ha disminuido y, en consecuencia, también se han reducido las emisiones. En el sector aéreo, los efectos coyunturales se han notado menos.

El impacto ambiental de este sector se concentra en las ciudades y en las áreas metropolitanas, donde vive el 70% de la población europea. Con respecto a Cataluña, observamos diferencias muy claras entre los treinta y seis municipios que conforman el Área Metropolitana de Barcelona —el 2% del territorio, pero con el 43% de la población— y el resto del territorio.

La mayor parte de los desplazamientos y, por lo tanto, de las emisiones y de los contaminantes locales se concentran en el área de Barcelona, de manera que buena parte de los municipios disponen de planes de protección especial del ambiente atmosférico.

La Directiva 2008/50/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, del 21 de mayo, relativa a la calidad del aire ambiente y a una atmósfera más limpia en Europa, pone especial atención en el sector del transporte y ha sido clave para impulsar planes de mejora de la calidad del aire, aunque muchos municipios tienen dificultades para alcanzar los objetivos establecidos: por ejemplo, el Plan de movilidad urbana de Barcelona

prevé una reducción del tráfico del 21% para el 2018, pero las evidencias indican que no solamente no se reducirá, sino que, ya en etapa de recuperación económica, el tráfico aumenta en un 5%.

Estos planes se orientan a la reducción de los contaminantes locales, pero tienen un efecto global sobre los GEI. Las medidas se dirigen a promover la movilidad activa (caminar e ir en bicicleta), el transporte público, los vehículos eléctricos y los que tienen etiquetado ambiental, la certificación que se da a los vehículos que tienen unas emisiones por debajo de cierto valor.

También se busca la mejora del parque automovilístico, porque unos vehículos demasiado envejecidos —a causa de la crisis, que ha dificultado su renovación— tienen un consumo más elevado y contaminan más, aunque se utilicen menos.

Con respecto al transporte de mercancías, los camiones que recorren rutas de larga distancia han reducido las emisiones en los dos últimos decenios. En el trasvase de mercancías de la carretera al ferrocarril todavía hay mucho camino por recorrer, porque el porcentaje de mercancías que se transportan en tren todavía es muy bajo con relación a otros países europeos.

La mejora de las infraestructuras ferroviarias y las conexiones con otros sistemas de transporte, como los puertos, junto con los centros logísticos de intercambio, parecen esenciales para conseguir este objetivo.

En los puertos de Barcelona y de Tarragona también se han reducido los movimientos tanto de mercancías como de pasajeros. El reto de los barcos que por el tamaño requieren grandes motores de propulsión es reducir el impacto de las emisiones locales a través de la sustitución de los motores diésel por otros de menos contaminantes.

La crisis económica ha comportado una reducción del número de movimientos de las aeronaves en Cataluña desde el 2008. El número de pasajeros, en cambio, ha crecido, y el transporte de mercancías se ha mantenido estable. Con respecto al impacto ambiental del sector aeronáutico, la industria ha hecho una notable apuesta por la innovación, y empresas como Boeing o Airbus apuestan claramente por la eficiencia energética de los aviones.

La mitigación del impacto del sector del transporte en el calentamiento global, que es muy significativo, implica, por una parte, medidas políticas impopulares. Limitar el uso del vehículo propio o el acceso a determinadas zonas urbanas —algo que también se impulsa para reducir los contaminantes responsables de la mala calidad del aire— suele comportar quejas de muchos ciudadanos, que lo ven como un perjuicio para la accesibilidad, del sector del taxi, de la distribución urbana de mercancías y del transporte de turistas y otros servicios.

Por otra parte, también requiere apostar por la investigación de tecnologías y vehículos de nueva generación, lo cual debería comportar, como ha pasado en Alemania, una

planificación que no se limitara, por ejemplo, a establecer más puntos de carga de vehículos eléctricos, sino que implicara la industria, los servicios, las universidades y centros de investigación, la educación y la formación profesional. Solo así se puede alcanzar una cierta competitividad en este sector.

Llevar a cabo el trasvase a medios de transporte de más capacidad y que generen menos emisiones quiere decir impulsar medidas coercitivas que comporten un menor uso del vehículo privado. Esta apuesta política tiene un precio político y económico, y también muchas resistencias de la industria del automóvil, pero parece imprescindible desde el punto de vista ambiental en general y, sobre todo, con respecto al cambio climático.

### 3.4. El turismo: en busca de nuevos modelos

Durante los últimos años se ha despertado el interés de la comunidad científica por los efectos del cambio climático en el turismo. Las instituciones y el mismo sector han contribuido al impulso de la investigación sobre las relaciones entre turismo, adaptación y mitigación, tanto en forma de publicaciones periódicas como en forma de monografías específicas.

En Cataluña, el turismo es un motor económico de una gran importancia: el año 2014 había 6.200 establecimientos, con 760.000 plazas turísticas, y se produjeron más de 71,9 millones de pernoctaciones. La importancia estratégica de esta actividad, pero también su vulnerabilidad al cambio climático, obligan a mejorar y a repensar algunas prácticas del sector, y es necesario establecer una diferenciación clara entre el turismo de sol y playa y el turismo de nieve.

#### ***El turismo de sol y playa, una oferta competitiva basada en recursos frágiles***

La tendencia regresiva de las playas y la escasez de recursos hídricos son los escenarios que debe afrontar el turismo de sol y playa. Las condiciones geográficas y urbanísticas influyen en la tendencia más o menos regresiva de las playas. En este sentido, los estudios llevados a cabo en Cataluña muestran que las zonas más afectadas se sitúan al sur de los puertos deportivos, que dificultan la transferencia de sedimentos. En cambio, a levante de los puertos, cuando no impiden la llegada de sedimentos, encontramos playas que crecen.

La disminución continuada del recurso playa y el aumento de la oferta turística pueden hacer peligrar, a medio plazo, la satisfacción del turista. Esta evidencia obliga a muchos municipios costeros a repensar el modelo urbanístico y turístico y a impulsar, por medio de algún ente supramunicipal, una gestión integrada para el conjunto del litoral catalán. En cualquier caso, la oferta de nuestro litoral es muy competitiva con respecto al confort climático y tiene potencial para ampliar la demanda más allá del verano, a causa del aumento termométrico. Contrariamente, el aumento de las temperaturas mínimas compromete, cada vez más, el confort térmico durante las noches de verano.



La presión de residentes y turistas y la pérdida de arena en las playas abiertas hacen peligrar la confortabilidad y la competitividad de las playas catalanas (playa de s'Abanell, en Blanes).

Fuente: Proyecto Playa+.

La otra cara de la moneda son los recursos hídricos. La reducción de las precipitaciones en Cataluña, anticipada, aunque con incertidumbres, por los modelos climáticos, implicará una disminución de las principales fuentes de abastecimiento de agua del litoral. Y si aumenta la temperatura, también lo hará la demanda de agua, tanto directa como indirectamente. Este hecho puede provocar tensiones y conflictos entre el sector turístico y otros usuarios.

### ***El turismo de invierno, la necesidad de un replanteamiento***

El turismo de nieve es más vulnerable al cambio climático que el turismo de sol y playa. La viabilidad natural y técnica de las estaciones de esquí de los Pirineos presenta muchos interrogantes. Las estaciones existentes se verían más o menos afectadas, y algunas incluso abocadas a la desaparición en las condiciones climáticas actuales.

En general, es plausible que la cota de nieve suba. En cualquier caso, se anticipa una redistribución y una concentración territorial en menos estaciones, y la de Baqueira-Beret es la que saldría más beneficiada de esto.

Ante la falta de nieve, muchas estaciones han impulsado la fabricación con cañones de nieve, lo que tiene unos costes económicos, energéticos y ambientales elevados.



Excursión en bicicleta por los bosques de Sant Joan de l'Erm (Alt Urgell).

Fuente: Generalitat de Catalunya.

No obstante, si hay que reducir el gasto energético y, además, se dispone de menos agua, producir nieve artificial puede acabar teniendo un coste desorbitado. La instalación de cañones de nieve es una práctica que solamente es viable técnicamente ante incrementos de temperatura inferiores a los 2 °C; con incrementos superiores esta técnica es inviable.

Una alternativa sería la desestacionalización y la diversificación turística, con el fin de convertir las estaciones de esquí en estaciones de montaña. Esto implicaría fomentar las actividades no invernales —como algunas estaciones ya hacen— y limitar la oferta de las actividades relacionadas con la nieve.

Sin embargo, no solo tiene retos el turismo invernal. Todos los sectores turísticos deberían tomar más medidas para aumentar el ahorro y mejorar la eficiencia energética. También deberían promover un tipo de turismo sostenible y con más certificaciones ambientales.

### 3.5. Los residuos: de problema a recurso

La identificación de los residuos como un valioso recurso puede ayudar a reducir el consumo de recursos y, en consecuencia, los diferentes impactos ambientales, entre los cuales el calentamiento global del planeta generado por las emisiones de GEI.

La disminución en la generación de residuos en Cataluña se evidencia a partir del año 2007, especialmente en residuos industriales y de la construcción. Con respecto a los

residuos sólidos municipales, entre 2011 y 2013 se pasó de 1,47 kg residuos/persona/día a 1,30 kg residuos/persona/día (vid. la tabla 3). Es probable, sin embargo, que la crisis económica haya influido en esto.

Los residuos de origen ganadero —sobre todo los purines de cerdo— se han visto afectados por el cierre de las plantas de cogeneración y tratamiento de purines, fruto de una política que daba un peso excesivo al beneficio de la producción de energía respecto de la gestión del residuo. En 2015 el Departamento de Agricultura, Ganadería, Pesca, Alimentación y Medio Natural de la Generalitat impulsó un cambio de modelo en la gestión de los purines por parte de las explotaciones.

TABLA 3. Los residuos en Cataluña durante los años 2000, 2007 y 2013

	<b>Año 2000</b>	<b>Año 2007</b>	<b>Año 2013</b>
Industriales (Mt)*	5,6	5,4	3,6
Municipales (Mt)	3,5	4,3	3,6
Escombros (Mt)	5,5	10,7	2,3
Población (número de habitantes)	6.090.040	7.210.508	7.553.650

\* No incluye secundarios.

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

La gestión y el tratamiento de los residuos municipales generan, directa e indirectamente, emisiones de GEI. Las directas son causadas por la degradación biológica y por la combustión de los residuos y se generan en las mismas operaciones de gestión de residuos, mientras que las indirectas se producen fuera de las operaciones de gestión (por ejemplo, las emisiones de la generación de electricidad consumida).

Para contabilizar las emisiones de GEI, la Agencia de Residuos de Cataluña (ARC) utiliza, desde el año 2011, la herramienta Carbon Footprint Tool for Waste Management.

El enfoque metodológico seguido considera las emisiones futuras de los depósitos controlados asociadas a los residuos generados en el presente, de manera que no coincide plenamente con el enfoque utilizado en los inventarios nacionales de emisiones, elaborados siguiendo las metodologías del IPCC. Al mismo tiempo, estos últimos solo incluyen las emisiones del proceso, no incluyen las plantas de valorización energética dentro del capítulo de los residuos —las incluyen dentro del capítulo de la energía, excepto la incineración sin recuperación energética—, no consideran emisiones evitadas gracias a la recuperación material y energética y, finalmente, no incluyen el transporte de residuos dentro del capítulo de los residuos —lo incluyen dentro del capítulo general sobre el transporte.

Aplicando la metodología de la ARC, las emisiones generadas por los residuos municipales en Cataluña en el año 2013 son 1.440.861 t CO<sub>2</sub> equiv. Por el contrario, las emisiones evitadas, procedentes de la valorización material y energética, ascienden

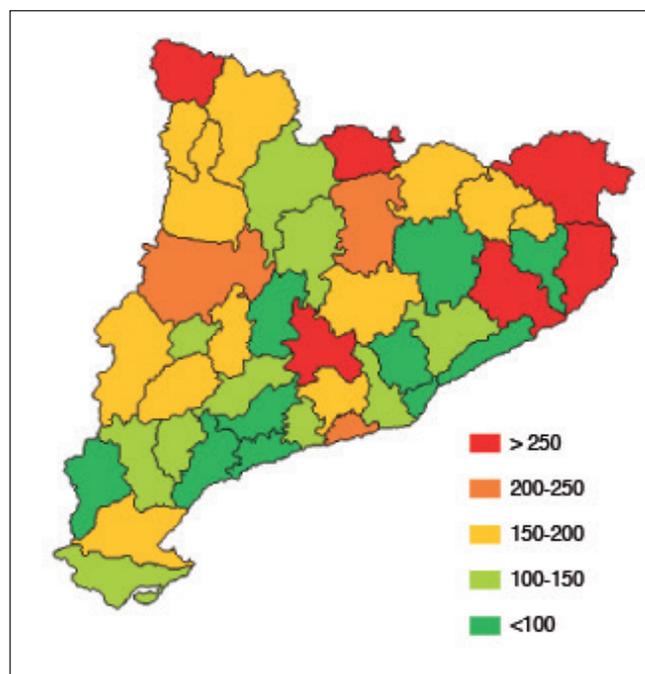


Figura 15. Huella de carbono (emisiones generadas y evitadas) de la gestión de residuos municipales de las comarcas de Cataluña en el 2013.

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

a  $-730.369$  t CO<sub>2</sub> equiv. A partir de estas cifras la huella de carbono por habitante se situaría en 94 kg CO<sub>2</sub> equiv./hab. en 2013.

Los depósitos controlados, que emiten grandes cantidades de metano a pesar de la captación de biogás, son los que contribuyen más a las emisiones. El transporte interurbano de residuos tiene una contribución pequeña, del 1% —no se ha considerado el transporte urbano durante la recogida ni el transporte de los residuos secundarios. Por otra parte, la recogida selectiva contribuye a reducir la huella de carbono del sector.

El aprovechamiento del biogás es un elemento clave para reducir las emisiones, tanto si se utiliza como una fuente de energía de alta eficiencia que sustituya el gas natural como si se recupera en plantas de digestión anaeróbica y vertederos. Una mejor gestión de la fracción orgánica de los residuos municipales, en el sistema de recogida, en el tipo de transporte y en la dimensión de las instalaciones, también puede contribuir a reducir las emisiones.

A nivel local, en 2013 el 80% de los municipios catalanes tenían una huella de carbono entre 38 kg CO<sub>2</sub> equiv./hab. y 296 kg CO<sub>2</sub> equiv./hab. A nivel comarcal, las zonas con más dependencia de los depósitos controlados tienen huellas de carbono más elevadas, mientras que las comarcas con índices mejores de recogida selectiva presentan huellas de carbono por habitantes más bajas. La figura 15 muestra los datos por comarca.

Reducir el consumo de recursos es uno de los objetivos principales, tanto por el aspecto ambiental como por el económico. Una manera eficiente de reducirlos es considerar el residuo como un recurso valioso; es decir, fomentar el reciclaje y la reutilización en vez de ver el residuo como una molestia que se debe eliminar o esconder. Reciclar comporta recuperar materiales y evitar que sean gestionados por medio de un tratamiento finalista, como el vertedero o la incineración, que son emisores netos de GEI. La figura 16 muestra el peso total de los residuos de papel, de plástico y de aluminio municipales e industriales recogidos selectivamente en 2013 en Cataluña.

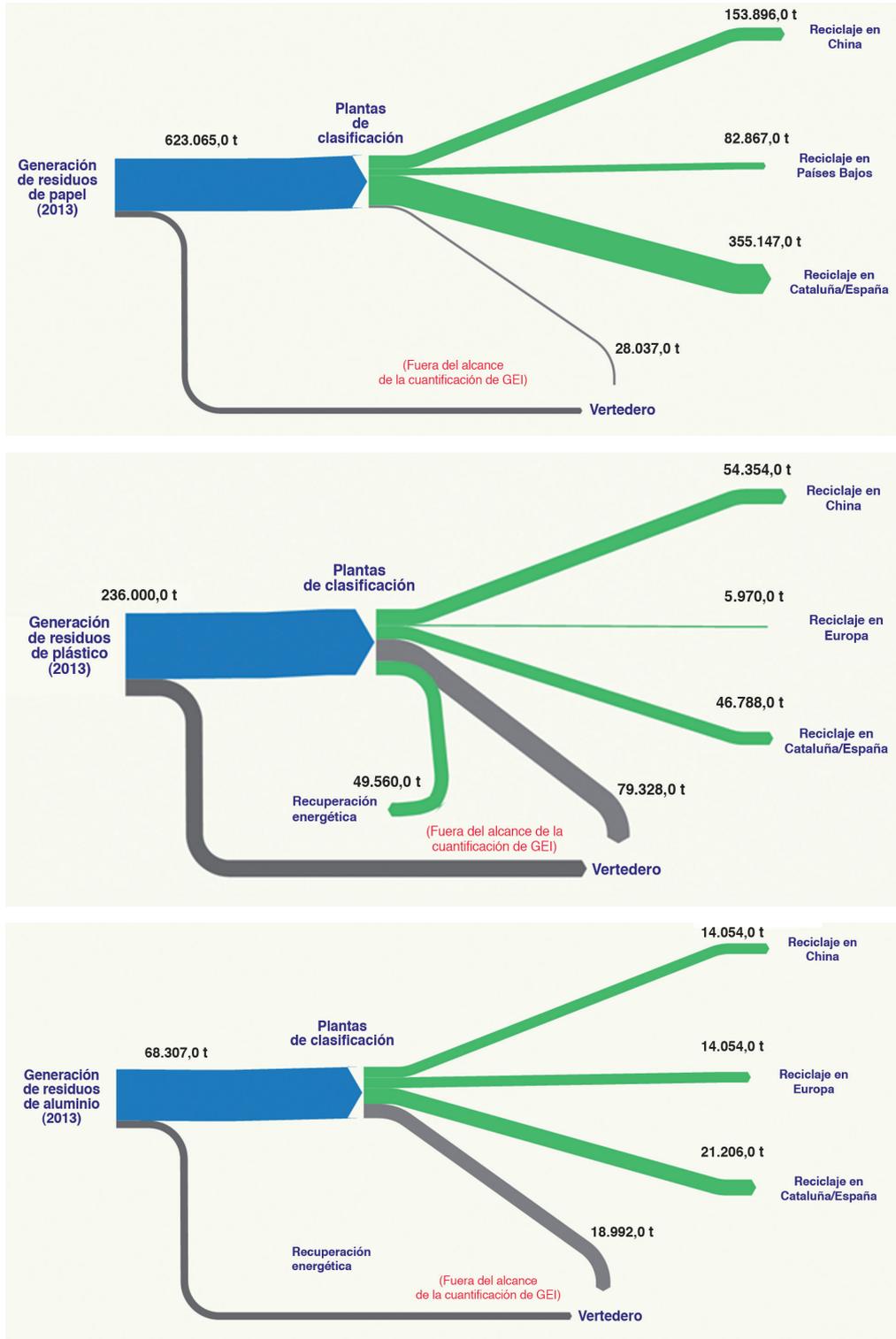


Figura 16. Flujo de los residuos municipales e industriales de papel, plástico y de aluminio, respectivamente, recogidos de manera selectiva en Cataluña en 2013.

Fuente: Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña, 2016.

Para facilitar el reciclaje, un aspecto clave es el ecodiseño, que implica tanto el uso más eficiente de materiales en la producción como la planificación para que, una vez acabada la vida útil, los materiales se puedan separar y reutilizar o reciclar de una manera sencilla. También es importante utilizar metodologías como el análisis del ciclo de vida, que evalúa tanto las emisiones generadas en el reciclaje —que también produce— como las evitadas por el uso de materiales que no sean vírgenes.

Finalmente, debe prestarse atención al ciclo del agua. Este recurso se extrae, se transporta, se reparte, se utiliza, se vierte y se depura, y este proceso genera emisiones. El cálculo de las emisiones de GEI derivadas del ciclo del agua de las redes urbanas en Cataluña señala que se emiten 395 g CO<sub>2</sub> equiv./m<sup>3</sup> de agua consumida. Teniendo en cuenta el volumen de agua consumido en Cataluña durante el año 2013 (casi 560 millones de metros cúbicos), hablamos de unas emisiones de 220.639 t CO<sub>2</sub> equiv./año o 29 kg CO<sub>2</sub> equiv./hab. año.

Una manera de reducir estas emisiones, y también el consumo eléctrico, sería mejorar la gestión integrada de las aguas residuales, de las plantas potabilizadoras y de los sistemas de distribución de agua para el consumo humano.

### 3.6. El cambio climático afecta la salud

Las olas de calor y de frío, la contaminación atmosférica, los incendios forestales, las alergias, las enfermedades transmitidas por vectores como los mosquitos, entre otros fenómenos que pueden estar asociados al cambio climático, inciden en la salud humana. Los efectos varían notablemente según las poblaciones y los territorios que se analizan, pero a escala global hay consenso en considerar el cambio climático como la amenaza más importante para la salud.

Los factores individuales y sociales y el tipo de actividad profesional determinan un grado más alto o más bajo de vulnerabilidad, pero los efectos son universales. Con respecto a Cataluña, los grupos de población más vulnerables son las personas mayores —a partir de sesenta y cinco años y especialmente si son enfermos crónicos—, los bebés, las mujeres embarazadas, los enfermos mentales, los colectivos con un nivel socioeconómico más bajo y determinadas profesiones de riesgo.

Con respecto a los grupos de población con un nivel socioeconómico bajo, que presentan peores indicadores de salud, son más vulnerables al cambio climático porque acostumbran a tener viviendas más antiguas y mal climatizadas (hecho que agrava la frecuente pobreza energética que los afecta), y viven en zonas con menos espacios verdes y azules (agua).

En cuanto a los efectos del calor en la salud, debe tenerse en cuenta que las muertes y los ingresos hospitalarios asociados a las altas temperaturas son debidos, principalmente, a las enfermedades cardiovasculares, las enfermedades respiratorias, las enfermedades mentales, las enfermedades del riñón y la diabetes, y tienen una prevalencia más elevada en la población de edades más avanzadas. Diversos estudios

demuestran que en Cataluña, en episodios de olas de calor, la mortalidad aumenta un 20% entre las personas de sesenta a setenta años y un 40% en la franja de ochenta a noventa años. Con respecto a las gestantes, estudios recientes relacionan el calor con el riesgo de nacimientos prematuros.

Actualmente, el 40% del total de muertes atribuidas al calor en Cataluña se producen en episodios de calor extremo que no han sido catalogados como olas de calor y se estima que en 2050 las defunciones relacionadas con episodios de calor se pueden multiplicar por ocho y llegar a más de 2.500 muertes anuales. Estas estimaciones, sin embargo, no consideran una posible adaptación a las temperaturas más altas, que puede moderar este aumento.

En las grandes ciudades los efectos se agravan a consecuencia del fenómeno conocido como *isla de calor urbano*: una zona con temperaturas más elevadas que las zonas rurales que la rodean. Los entornos metropolitanos también son los que presentan los índices más elevados de contaminación atmosférica causada por los vehículos. Las olas de calor suelen coincidir con episodios de estancamiento del aire, que dificultan la dispersión de los contaminantes y los concentran cerca de la superficie, hecho que aumenta los efectos nocivos sobre la salud.

La exposición a las partículas en suspensión, habituales en zonas urbanas donde se concentra el tráfico, tiene una gran incidencia sobre las enfermedades respiratorias y cardiovasculares: en el Área Metropolitana de Barcelona se estima que cada año hay 3.500 muertes prematuras causadas por la contaminación del aire.

El ozono es un gas que, cuando se encuentra en la estratosfera, nos protege de los rayos ultravioletas del sol. No obstante, el ozono troposférico, que se encuentra en el nivel donde se desarrolla la vida, es un contaminante secundario muy peligroso que se origina a partir de la combinación de la luz solar con los contaminantes generados por el tráfico, como los óxidos de nitrógeno y los compuestos orgánicos volátiles.

Los contaminantes secundarios son contaminantes primarios que reaccionan con el vapor de agua o con la radiación luminosa y generan nuevas sustancias. Es habitual que los niveles de estos contaminantes aumenten durante el verano, en situaciones anticiclónicas. Si las concentraciones son elevadas, pueden provocar un agravamiento de los problemas respiratorios, dificultades en el desarrollo cognitivo y una disminución del rendimiento, acompañada de malestar general.

Igualmente debe considerarse que los vientos procedentes del Sáhara, que transportan grandes cantidades de polvo hacia el sur de Europa, afectan a la calidad del aire. La toxicidad de este polvo se agrava cuando se mezcla con otras fuentes de contaminación, como las emisiones industriales o los plaguicidas. Por otra parte, el aumento de las temperaturas tiene efectos directos en las plantas, que variarán la distribución y el ciclo fenológico, lo cual provocará un incremento potencial de los ataques de asma y las alergias.

Las evidencias científicas demuestran que las tasas de desarrollo, supervivencia y reproducción de los organismos de sangre fría, como los mosquitos, aumentan con

el incremento de la temperatura. Por lo tanto, los cambios en la temperatura y en el patrón de precipitaciones también favorecerán las condiciones para que proliferen vectores como los mosquitos y las garrapatas, transmisores de ciertas enfermedades.

Esto puede comportar un aumento de los casos de malaria —que en Cataluña ya había existido en el pasado— y de enfermedades que hasta ahora no habían estado presentes en nuestro territorio, como el chikungunya.

Con respecto a las medidas para mitigar el cambio climático, los expertos recomiendan la proliferación de espacios verdes en las zonas más pobladas. También proponen fomentar el transporte público y los desplazamientos a pie o en bicicleta, dos medidas que, además de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub> y la contaminación ambiental, disminuyen la obesidad y el sobrepeso de la población, mejoran la salud mental y reducen tanto los accidentes de tráfico como el gasto sanitario.

### 3.7. Repensar el territorio

El aumento de zonas verdes en las áreas más pobladas, que acabamos de mencionar como una medida de salud, no deja de ser un elemento más de la planificación territorial y urbana. Durante los últimos años se han desarrollado numerosas herramientas e instrumentos para elaborar planes de energía, de adaptación, de mejora de la calidad del aire, etc. Las herramientas de planificación territorial y urbanística y la llamada *evaluación ambiental estratégica* también hacen una aportación y conforman una mirada innovadora sobre los espacios abiertos, los espacios protegidos y el espacio urbano.

Este nuevo análisis de las capacidades y las limitaciones de un territorio incorpora el concepto de *biocapacidad*, entendido como la capacidad de regeneración de la naturaleza. Por lo tanto, los territorios con biocapacidad alta, que preservan la diversidad y la complejidad del sistema, encaran mejor los retos ambientales.

Esta aproximación varía según el tipo de territorio que observamos. Con respecto a los espacios abiertos, es decir, los territorios que se han interpretado como *suelo no urbanizable*, tradicionalmente se han valorado desde una perspectiva productiva.

No obstante, entender las zonas agrícolas o forestales, los espacios protegidos o los paisajes simplemente como bienes orgánicos o pasivos es una visión obsoleta que hoy ya es minoritaria. Además, el aumento de la población urbana ha incidido en la dinámica de los espacios abiertos, que han sufrido un empobrecimiento de los hábitats y ecosistemas. Considerar los espacios abiertos como infraestructuras verdes es la tendencia actual a nivel internacional.

Con respecto a los espacios protegidos, preservan una parte importante de la biodiversidad y tienen unos niveles de perturbación antrópica más bajos, lo que favorece los ciclos vitales de las especies y la conservación de los ecosistemas. En cualquier caso, son espacios muy sensibles a las modificaciones de las condiciones ambientales y, por lo tanto, es clave hacer un seguimiento de la afectación de las perturbaciones

climáticas, aunque también hay que valorar el importante papel que tienen precisamente para afrontar estas alteraciones del clima.

En Cataluña los espacios protegidos ocupan un tercio del territorio y tienen diferentes niveles de protección. Los espacios naturales resultan clave en la mitigación y la adaptación al cambio climático, hecho que obliga a revisar la Ley 12/1985, del 13 de junio, de espacios naturales, a partir de una aproximación más estratégica, más ecológica y menos naturalística —el servicio por encima de la protección *per se*—, y con criterios de eficiencia.

Con respecto al espacio urbano, se ha gestionado y planificado sin tener lo bastante en cuenta, por ejemplo, el ciclo del agua y los residuos, los paisajes o la escasa diversidad biológica. El desarrollo de la ecología urbana ha transformado la perspectiva sobre las ciudades. Destacan dos ideas: en primer lugar, que las características de las anillas que las rodean condicionan los flujos de cada ciudad y el exterior y, en segundo lugar, que las áreas urbanas también son mosaicos.

Desde una mirada ecológica, la planificación y el diseño urbano deben considerar las estructuras antrópicas —infraestructuras—, las zonas residenciales, comerciales e industriales, y, muy especialmente, los espacios verdes, los parques urbanos y periurbanos, las zonas de agricultura urbana y los corredores verdes, entendidos como un sistema.

Entender las ciudades a partir de todas las dimensiones anteriores las hace menos vulnerables a las crisis ecológicas y también más equitativas. Al mismo tiempo, cumplen nuevas funciones, como la que destacábamos en el apartado anterior sobre el aumento de zonas verdes para mejorar la salud.

Para reducir las emisiones de GEI, esta visión ecológica de los espacios urbanos se debe concretar en medidas de adaptación. Diseñar y construir edificios con una demanda energética mínima es una de ellas, y también se debe tenerla en cuenta cuando se hacen rehabilitaciones.

Atendiendo a la larga vida de la mayor parte de edificios, un diseño inadecuado puede provocar muchos años perdidos en la reducción de emisiones. Se deben establecer medidas para un uso racional del agua, para la reducción de los residuos —priorizando la reutilización y el reciclaje de materiales— y para la minimización del uso del vehículo privado, entre otros elementos de una planificación más sostenible.

### 3.8. El reto de las montañas

Cataluña es un país montañoso. Según los criterios que se utilizan en el TICCC, entre el 30% y el 50% de la superficie de Cataluña es zona montañosa y, como el resto de zonas de montaña del mundo, la montaña catalana vive transformaciones demográficas, culturales, económicas y ecológicas importantes.

El calentamiento global afecta a las regiones de montaña básicamente en dos aspectos: por un lado, el aumento de fenómenos extremos, como corrimientos y riadas,

y, por otro, afectaciones graduales de procesos biofísicos, como el aumento de la temperatura veraniega.

De hecho, el cambio climático ya se ha expresado en las montañas catalanas, y muy especialmente en el Pirineo, donde prácticamente ha desaparecido la totalidad de la nieve permanente a causa del aumento de las temperaturas durante el verano. También se ha constatado un acortamiento del invierno, que afecta tanto a las comunidades rurales como al turismo.

En las zonas de montaña, al impacto del cambio climático se añaden una serie de transformaciones asociadas a la mundialización de la economía: se producen movimientos de población, tanto de emigración como de inmigración, las políticas de ayuda a la agricultura de la Unión Europea influyen en el mantenimiento o el abandono de estas prácticas y, si se produce abandono, una de las consecuencias más importantes es la homogeneización y el crecimiento del paisaje forestal. Al mismo tiempo, nacen y aumentan ciertas demandas sobre el espacio rural, como usos recreativos, paisajísticos, conservacionistas o culturales. Así, las economías rurales viven un proceso de terciarización que provoca un proceso de adaptación difícil de las regiones de montaña.

La identidad y la dinámica propias de las zonas de montaña (los Pirineos, los puertos de Beseit, el Montseny, etc.), bien diferenciadas de las zonas que las rodean aunque también están estrechamente ligadas a ellas, permiten entenderlas como una unidad



Pasturaje de vacas brunas de los Pirineos, un ejemplo de la ganadería extensiva de montaña.

Fuente: Generalitat de Catalunya.

socioecológica, una región donde sociedad y naturaleza conforman un sistema muy complejo pero muy relacionado, y donde las políticas de adaptación tienen retos sociales, económicos y de conservación. Todo esto hace que sean clave en las políticas de adaptación y mitigación del cambio climático.

El punto de partida para la adaptación es definir claramente los escenarios de futuro posibles para las zonas de montaña y los marcos mentales y las acciones asociadas que configuran estas regiones. A partir de diversas investigaciones, en el caso de los Pirineos encontramos cuatro marcos mentales o discursos de ruralidad: el discurso conservacionista, el discurso emprendedor, el discurso agricultor y el discurso del desarrollo endógeno.

El primero, el conservacionista, pone el foco en los espacios naturales protegidos como elementos clave en la dinamización económica y social. El emprendedor entiende que el turismo y la construcción son los activos más sólidos de las zonas de montaña. El discurso agricultor apuesta por la agricultura y especialmente por la ganadería como actividades generadoras de bienes y servicios que tienen un gran valor para la sociedad. Finalmente, el desarrollo endógeno, crítico con el modelo que mira básicamente



La sierra del Cadí, el río Segre y el pueblo de Alàs desde la Seu d'Urgell (Alt Urgell).

Fuente: Marisa Tartera. Archivo del Consejo Comarcal del Alt Urgell.

al turismo y a la construcción, apuesta por la diversificación económica y por una participación activa de la población local en la toma de decisiones.

A partir de los marcos mentales descritos y de un análisis de diferentes estrategias de desarrollo observadas en otras regiones de montaña, se proponen diferentes instrumentos y formas de gestión para adaptarse a la nueva realidad.

En primer lugar está la cogestión, que se entiende como la construcción de nuevas formas de organización social en red y horizontales. Sería el caso de la custodia del territorio y la gestión adaptativa, por ejemplo. En segundo lugar tenemos la intensificación, que se centra en el emprendimiento y aprovecha el potencial productivo de cada zona. En tercer lugar destaca la innovación social, que también está ligada al temperamento emprendedor, pero que explora nuevas actividades, como nuevos cultivos y nuevas profesiones. Finalmente queda la diversificación, que plantea una base económica tan amplia como sea posible.

En cualquier caso, la adaptación de las regiones de montaña catalanas, y especialmente del Pirineo, al cambio climático implica definir el modelo de desarrollo socioeconómico teniendo en cuenta las ganancias y las pérdidas que cada acción representa para los diferentes sectores.

# 4ª PARTE



## La gobernanza y la gestión del cambio climático

### 4.1. Compromisos internacionales y políticas propias

La caída del muro de Berlín en 1989 cambió el mundo. El proceso de globalización de la economía y el protagonismo de las economías emergentes, especialmente China e India, han provocado entre muchos otros efectos un aumento del 51% de las emisiones energéticas mundiales en el periodo 1990-2012.

En una economía globalizada que afronta crisis ecológicas diversas, la Organización de las Naciones Unidas es el único instrumento de gobernanza a escala global. Aunque la organización en la toma de decisiones es mejorable, ha puesto en marcha las Conferencias de las Partes, el principal instrumento en la lucha contra el cambio climático.

La Conferencia de Copenhague sobre el cambio climático, celebrada en el 2009, comportó una gran decepción porque no se cumplieron las altas expectativas que había despertado. Por otra parte, sin embargo, fue la primera ocasión en que los Estados Unidos de América y China se implicaron de verdad en la lucha contra el cambio climático.

Cada una de las conferencias posteriores significó un avance destacable, aunque en algunos casos pareciera modesto. En Durban se volvió a recuperar la transparencia y la confianza en las negociaciones perdida en Copenhague.

En Doha se aprobó la segunda fase del Protocolo de Kioto sin la presencia de Japón, Rusia y Canadá. La de Varsovia significó un paso adelante en las contribuciones voluntarias de cada estado. En Lima, en cambio, volvieron a aflorar las discrepancias

entre países desarrollados y no desarrollados, según los criterios oficiales. Finalmente, la COP21, en París, a finales del 2015, volvió a recuperar el consenso y concretó un acuerdo firmado por todos los países.

Hay que añadir otros avances significativos, como la aceptación de las entidades subestatales (*subnations*) como concepto en los documentos oficiales de la Organización de las Naciones Unidas. Las gestiones internacionales de la Oficina Catalana del Cambio Climático, con el apoyo de gobiernos africanos, fueron fundamentales para que los documentos preparatorios de la Conferencia de París reconocieran el papel clave de las autoridades subestatales y locales en la lucha contra el cambio climático.

De hecho, hoy se acepta plenamente que los acuerdos internacionales entre los estados necesitan el complemento de las entidades subestatales, el mundo local y la participación e implicación de los científicos, los empresarios, los representantes de las organizaciones no gubernamentales y el conjunto de la ciudadanía.

Con respecto a la política de la Unión Europea, que considera la lucha contra el cambio climático como una de las prioridades, dispone de diversas directivas y reglamentos. El programa de energía y clima tiene como objetivo para el año 2030 una reducción del 40% de las emisiones internas respecto de 1990. Y para 2050, también de acuerdo con las emisiones de 1990, plantea un objetivo ambicioso de una reducción del 80% al 85%. Para alcanzar estos objetivos, la Unión Europea fomenta las energías renovables, la creación de un mercado europeo de derechos de emisiones, la eficiencia energética y una reducción de las emisiones en la gestión de los residuos, en el transporte y en los edificios.

Los estados, como es el caso de España, han impulsado planes nacionales, con más o menos celeridad, para adaptar las diferentes directivas de la Unión Europea. En el caso de Cataluña, el Gobierno dispone de la Oficina Catalana del Cambio Climático y de una comisión interdepartamental específica en esta materia.

Durante los últimos años, en el marco de la política catalana contra el cambio climático, se han impulsado el Plan de energía y cambio climático de Cataluña 2012-2020 y la Estrategia catalana de adaptación al cambio climático, horizonte 2013-2020.

En Cataluña, el mundo local, por medio del Pacto de Alcaldes y Alcaldesas por el Clima y la Energía, impulsado por la Comisión Europea, y de diversas herramientas y redes de apoyo a la gobernanza, tiene una gran implicación en la lucha contra el cambio climático, a pesar de las limitaciones competenciales, económicas y técnicas. En cualquier caso, la adaptación al cambio climático obliga a hacer un cambio en la gobernanza a escala local.

## 4.2. El comercio de emisiones

Desde 2005, el hecho de poner precio a las emisiones de CO<sub>2</sub> ha significado un paso importante para reducir las emisiones, especialmente de los sectores industriales.

En síntesis, se trata de que los estados, las industrias y las empresas que no hayan cumplido los objetivos de reducción de emisiones compren derechos a otros que los hayan superado. Así, el objetivo global, que se va reduciendo cada año, se mantiene, pero quien ha alcanzado lo que le tocaba puede recibir un beneficio añadido, mientras que no cumplir el compromiso comporta un gasto.

A pesar de que el mercado de emisiones, en el sentido más amplio, se puede considerar un mecanismo de acción global, el sistema de comercio más importante y más desarrollado hasta ahora es el régimen europeo de comercio de derechos de emisión (EU ETS), en el cual participan todos los estados miembros de la Unión Europea además de Islandia, Noruega y Liechtenstein, y el cual cubre las emisiones de más de doce mil instalaciones industriales y de cerca de ochocientos operadores de líneas aéreas.

Los sectores incluidos en la Directiva de comercio de CO<sub>2</sub> representan cerca del 45% de las emisiones de GEI de Europa, que, por otra parte, significan cerca del 11% de las emisiones energéticas de GEI del mundo. Se trata, pues, del instrumento central de la política de la Unión Europea para alcanzar los objetivos de energía y clima para 2020.

Con respecto a Cataluña, en 2014 el número de instalaciones sometidas al régimen de comercio fue de 153. En total emitieron 13,2 Mt CO<sub>2</sub> equiv., es decir, 3,85 Mt CO<sub>2</sub> equiv. más de las asignaciones recibidas gratuitamente, lo que representó cerca del 35% de las emisiones catalanas. El sector más deficitario fue, nuevamente, el de la generación eléctrica.

El reto es que el mercado de emisiones se vuelva realmente global y pueda encontrar mecanismos para flexibilizar la oferta en situaciones de variación inesperada de la demanda. La creación de un banco central de derechos eficiente y la evolución de los acuerdos firmados en París marcarán el futuro de los mercados de CO<sub>2</sub>.

### 4.3. La investigación sobre cambio climático en Cataluña

En 2015 Cataluña tenía ochenta y ocho grupos reconocidos por la Generalitat trabajando en cambio climático. La investigación es muy diversa y se lleva a cabo principalmente en siete universidades, en los centros CERCA (Centros de Investigación de Cataluña) y en centros del Consejo Superior de Investigaciones Científicas.

La medición y reducción de los niveles de CO<sub>2</sub> y el efecto invernadero son las dos temáticas que generaron más producción científica (2009-2014), seguidas, a distancia, por las sequías, la calidad del aire y el incremento del nivel del mar. Los tres artículos más citados corresponden a una investigación del Centro de Cambio Climático de la Universidad Rovira i Virgili y a dos investigaciones publicadas por el Centro de Investigación Ecológica y Aplicaciones Forestales (CREAF). En el periodo 2011-2014, los investigadores catalanes publicaron 3.643 artículos sobre temas de cambio climático indexados en el Web of Science, de los cuales 13 correspondieron a la revista *Nature* y 4 a la revista *Science*.

En el periodo analizado, los grupos catalanes consiguieron 310 proyectos europeos, 111 del sector privado, y también 3 proyectos del European Research Council (ERC). De las convocatorias del Gobierno español, desde el 2010 se han conseguido 171 proyectos del Plan Nacional.

Entre los proyectos que han recibido apoyo europeo, concretamente del ERC, destaca el proyecto Imbalance-P liderado por el CREA. También resulta muy relevante la participación del Instituto de Investigación en Energía de Cataluña, como líder del área de energías renovables, en el KIC InnoEnergy de la Unión Europea, una institución que conecta activos, talento y recursos. Con respecto a los proyectos europeos colaborativos, hay que subrayar el proyecto Field-AC, liderado por el Laboratorio de Ingeniería Marítima de la Universidad Politécnica de Cataluña, que utiliza los satélites para controlar las zonas costeras.

La financiación es uno de los grandes retos de los grupos que investigan el cambio climático en Cataluña. La Generalitat lleva a cabo una política de investigación complementaria a las convocatorias de proyectos de investigación en cambio climático que provienen de recursos estatales o de la Unión Europea. En el marco europeo, una de las incógnitas es si el Plan Juncker aportará financiación a la investigación y a la innovación en cambio climático.

La financiación de los proyectos europeos duplica la de los proyectos competitivos españoles. Destaca el buen papel que hacen las universidades catalanas y los centros en la captación de recursos.

Con respecto a la captación de talento, desde hace una década el Gobierno de la Generalitat ha hecho una apuesta estratégica en este campo. Las convocatorias de la Institución Catalana de Investigación y Estudios Avanzados (ICREA) son el proyecto estrella, y han permitido que brillantes científicos se establezcan en Cataluña. Hay diecisiete investigadores ICREA que trabajan en temas relacionados con el cambio climático.

Por otra parte, el año 2013 se inició el Plan Serra Húnter, que permite incorporar profesores con un alto nivel de investigación a las universidades catalanas.

#### 4.4. La percepción pública del cambio climático

Los ciudadanos se muestran preocupados por los efectos del cambio climático, pero reclaman nuevas maneras de recibir la información y el conocimiento científico. El relato catastrofista y a veces sensacionalista, centrado en los riesgos y los impactos, provoca una cierta fatiga. La alternativa es el desarrollo de nuevos procedimientos y redes de acción que generen un tipo de conocimiento útil para buscar soluciones viables ante el reto del cambio climático.

Se trata de un objetivo esencial, porque sin la concienciación de la gente, con el objetivo de que acepten las medidas que se toman o que las tomen en el ámbito personal, se hace muy difícil luchar contra el cambio climático.

Una de las estrategias posibles para superar las viejas maneras de comunicar y socializar la información son las llamadas *comunidades de aprendizaje*. Los agentes y las organizaciones que operan en las interfaces entre la ciencia, la política y la ciudadanía deben tener protagonismo y ser reconocidos para construir un nuevo relato y nuevas formas de acción. La creación de comunidades de aprendizaje se puede convertir en un catalizador de la transformación socioambiental.

Con respecto a la percepción del cambio climático, diferentes investigaciones muestran un aumento de la complejidad a la hora de interpretar el fenómeno. Para unos, el cambio climático es una gran amenaza global; para otros, una oportunidad económica para repensar el mercado de trabajo y para incrementar la calidad de vida.

En el marco de la Unión Europea, la opinión pública española es la más convencida de que el cambio climático es una oportunidad para impulsar la economía y el empleo. Por otra parte, los españoles figuran entre los más críticos con las políticas ambientales de su gobierno y también se muestran preocupados por los efectos del cambio climático en la salud.

Con respecto a la información, España es uno de los países de la Unión Europea donde los ciudadanos se sienten menos informados sobre temas ambientales y donde menos confían en los medios de comunicación, especialmente en la televisión. Las fuentes que consideran más fiables son los grupos ecologistas y los científicos, mientras que la información que encuentran menos fiable es la que ofrecen las administraciones, los sindicatos y las empresas.

En Cataluña, el Gobierno hace un seguimiento de la opinión pública sobre el cambio climático desde el 2010. Para los catalanes, la contaminación en general y la contaminación del aire son los fenómenos que suscitan más preocupación. En tercer lugar aparece el cambio climático, seguido de los residuos.

Los procesos de transmisión del conocimiento científico sobre el cambio climático al conjunto de la sociedad son complejos. Un estudio reciente sobre la comunicación del *Quinto informe de evaluación* del IPCC en España y Cataluña refuerza la idea de que hay que repensar el viejo modelo de comunicación unidireccional y centrada en los riesgos, los impactos y la vulnerabilidad.

Sin embargo, los veinte agentes escogidos para el estudio y el análisis de contenido hecho a partir de artículos de prensa confirman que el relato tradicional todavía es hegemónico, y hay unanimidad sobre la tendencia, más visible en los nuevos soportes digitales, hacia un nuevo modelo más complejo de creación de significado, abierto y multidireccional.

Las nuevas herramientas permiten escoger los sectores a los que se quiere hacer llegar un mensaje determinado. Ya no son necesarias campañas masivas, sino enviar informaciones concretas y propuestas a los grupos en que tendrán más impacto o son más necesarias. O sea, se trata de establecer un modelo orientado a segmentar

las audiencias y los usuarios de conocimiento y que responda a los criterios de la demanda más que a los de la oferta.

#### 4.5. Soluciones complejas para un fenómeno también complejo

Desde un punto de vista político, el Acuerdo de París se ha considerado un éxito. Contribuyeron a ello la numerosa asistencia de líderes mundiales y las hábiles formas diplomáticas francesas, con Laurent Fabius al frente. En cualquier caso, la COP21 significa un salto cualitativo y un cambio de modelo de la comunidad internacional para afrontar el cambio climático. El Acuerdo entró en vigor el mes de noviembre del 2016, después de que fuera ratificado por 55 partes, las emisiones de las cuales representan el 55% de las totales.

Asimismo, el gran reto es validar y consolidar el cambio de modelo de Kioto —*top-down*, es decir, que establece unos objetivos que los estados deben asumir obligatoriamente— por el acuerdo de París —*bottom-up*, de manera que depende de la iniciativa de los estados y del compromiso que quieran asumir para sacar adelante los acuerdos.

El Acuerdo de París tiene una gran incidencia en el marco jurídico de la Unión Europea y de todos los niveles de la Administración. Europa está en proceso de reforma del sistema de comercio de emisiones para adaptarlo a los compromisos generales de reducciones concedidos a la COP21. Tanto la Administración española como la catalana deberán reforzar las actuaciones, actualizar las estrategias e impulsar nuevos planes y programas de ejecución.

A las numerosas iniciativas impulsadas por la Generalitat de Catalunya durante los últimos años, se añade la Ley de cambio climático de Cataluña, aprobada en el Parlamento de Cataluña el día 27 de julio de 2017 y publicada en el Diario Oficial de la Generalitat de Catalunya el 1 de agosto de 2017.

# **ANEXO**

## **Personas que han hecho posible el TICCC**



## Dirección y coordinación

### COMITÉ DE DIRECCIÓN

Javier Martín-Vide  
Coordinador científico del *Tercer informe sobre el cambio climático en Cataluña* (TICCC) y del Grupo de Expertos en Cambio Climático de Cataluña

Oriol Puig Godes  
Director del Servicio Meteorológico de Cataluña

Arnau Queralt Bassa  
Director del Consejo Asesor para el Desarrollo Sostenible de Cataluña

Joandomènec Ros Aragonès  
Presidente del Institut d'Estudis Catalans

Salvador Samitier Martí  
Jefe de la Oficina Catalana del Cambio Climático

### SECRETARÍA TÉCNICA

*Consejo Asesor para el Desarrollo Sostenible:*

Fina Ambatlle Espuñes  
Raquel Ballesteros Arenas  
Sílvia Cañellas Boltà  
Mercè Garcia Botet  
Meritxell Rota Claret

*Grupo de Expertos en Cambio Climático de Cataluña:*

Rosa Maria Bosch Casadevall

*Institut d'Estudis Catalans:*  
Rosa Franquesa Bonet

*Oficina Catalana del Cambio Climático:*  
Gabriel Borràs Calvo  
Iñaki Gili Jáuregui

*Servicio Meteorológico de Cataluña:*  
Marc Prohom Duran

## Especialistas

### AUTORÍA

Ander Achotegui-Castells  
Vicenç Acuña Salazar  
Jennifer Albrand  
Josep M<sup>a</sup> Alcañiz Baldellou  
Vicent Altava Ortiz  
Dolores Asensio Abella  
José M<sup>a</sup> Baldasano Recio  
Júlia Barba Miralpeix  
Adrià Barbeta Margarit  
Antoni Barrera Escoda  
Mireia Bartrons Vilamala  
Xavier Basagaña Flores  
Meritxell Batalla Mercadé  
Ramon J. Batalla Villanueva  
Jaume Boixadera i Llobet  
Carles Borrego More  
Montserrat Busto Navines  
Andrea Butturini  
Àngels Cabello Gómez  
Nuno Caiola  
Josep Calbó Angrill  
Eva Calvo Costa  
Marta Camino  
Jordi Camins Just  
Mar Campins Eritja  
Josep Canadell Gili  
Jofre Carnicer Cols  
Jordi Catalan Aguilà  
Bernat Claramunt López  
Jordi Corominas Dulcet  
Jordi Cunillera Graño  
Francisco Doblás-Reyes  
Marc Estiarte Garrofé  
Miquel Estrada Romeu  
Gerard Farré-Armengol  
Ramon Farreny Gaya  
Marisol Felip Benach  
Maria Teresa Felipó Oriol  
Àlvar Feliu Jofre  
Marcos Fernández-Martínez  
Iolanda Filella Cubells

Xavier Font Segura  
Rosa Maria Fraguell Sansbelló  
Inmaculada Funes Mesa  
Xavier Gabarrell Durany  
Francesc Gallart Gallego  
Emili García-Berthou  
Manel García-León  
Carles García Sellés  
Javier García-Serrano  
Albert Gargallo-Garriga  
Josep Garriga Sala  
Ramon Garriga Saperas  
Stéphanie Gascón Garcia  
Joan Girona Gomis  
M<sup>a</sup> Belén Gómez Martín  
María Gonçalves Ageitos  
Carles Gracia Alonso  
Vicente Gracia Garcia  
Oriol Grau Fernández  
Virginie Guemas  
Jaume Josa Pons  
Daijun Liu  
Lei Liu  
Maria del Carme Llasat Botija  
Pilar Llorens Garcia  
Jaume Lloveras Vilamanyà  
Rosa Llurba Huguet  
Joan Carles Llurdés Coit  
Joan Llusia Benet  
Feliu López Gelats  
Rafael Marcé Romero  
Olga Margalef Marrassé  
Carolina Martí Llambrich  
Eugènia Martí Roca  
Javier Martín-Vide  
Carles Martínez Gasol  
Èrica Martínez Solanas  
Josep Mas-Pla  
Xavier Mayor Farguell  
Margarita Menéndez López  
Clara Montaner Augé  
César Mösso Aranda  
Isabel Muñoz Gracia  
Daniel Nadal Sala  
Juan Emilio Nieto Moreno

Romà Ogaya Inurrigarro  
Josep Oriol Ortiz Perpiñà  
Krijn Paaijmans  
Josep Pascual Massaguer  
Diana Pascual Sánchez  
Guille Peguero Gutiérrez  
Carles Pelejero Bou  
Josep Peñuelas Reixach  
Eduard Pla Ferrer  
Sergi Pla Rabes  
Josefina Plaixats Boixadera  
Rosa M<sup>a</sup> Poch Claret  
Isabel Pont Castejón  
Megan Popkin  
Laurent Pouget  
Catherine Preece  
Marc Prohom Duran  
Xavier Quintana Pou  
Pere Quintana Seguí  
Javier Retana Alumbrreros  
Anna Ribas Palom  
Laura Rico Cabanas  
Joan Rieradevall Pons  
Albert Rivas-Ubach  
Marta G. Rivera Ferre  
Francesc Robusté Anton  
Ismael Romeo Garcia  
Joandomènec Ros Aragonès  
Lluís Rovira Pato  
Santi Sabaté Jorba  
Francesc Sabater Comas  
Sergi Sabater Cortés  
Agustín Sánchez-Arcilla  
Anabel Sánchez Plaza  
Jordi Sardans Galobart  
David Saurí Pujol  
Robert Savé Montserrat  
Maria Teresa Sebastià Álvarez  
Josep Maria Serena Sender  
Joan Pau Sierra Pedrico  
Rafel Simó Martorell  
Dominik Sperlich  
Constantí Stefanescu  
Maria Eugenia Suárez Ojeda  
Jordi Sunyer Deu

Joan David Tàbara Villalba  
Melodia Tamayo Moreno  
Montserrat Termes Rifé  
Jaume Terradas Serra  
Marco Turco  
Andreu Ubach  
Ifigenia Urbina  
Jordi Vayreda Duran  
Irma Ventayol Ceferino  
Aleixandre Verger Ten  
Laura Vergonyós Pascual  
Gara Villalba Méndez  
Maria Vives Ingla  
Chris Wheat  
Chao Zhang

### **REVISIÓN CIENTIFICOTÉCNICA**

Ferran Ballester Díez  
Enric Ballesteros Sagarra  
Ileana Bladé Mendoza  
Denis Boglio  
Manola Brunet India  
Pere Casals Tortras  
Jordi Catalan Aguilà  
Josep Dolz Ripollés  
Xavier Domene Casadesús  
Xavier Duran Escriba  
Arturo Elozegi Irurtia  
Marta Estrada Miyares  
Jaume Font Garolera  
Félix Francés García  
Miquel Gayà Porcel  
Iñaki Gili Jáuregui  
Damià Gomis Bosch  
Miquel Grimalt Gelabert  
Carles Ibáñez Martí  
Lluís Inglada Renau  
Agustí Jansà Clar  
Josep Enric Llebot Rabagliati  
Gisela Loran Benavent  
Emilio Martínez Ibarra

Mariano Marzo Carpio  
Carme Miralles Guasch  
Marc Montlleó Balsebre  
Ramon Moreno Amich  
Rafael Mujeriego Sahuquillo  
Jorge Olcina Cantos  
Valerià Paül Carril  
Enric Pol Urrutia  
Jaume Porta Casanellas  
Narcís Prat Fornells  
Ignasi Puig Ventosa  
Ana Romero Càlix  
Romualdo Romero March  
Pep Salas Prat  
Josep Lluís Salazar Máñez  
Juan Sánchez Díaz  
David Serrat Congost  
Joan Manuel Soriano López  
Aurelio Tobías Garcés  
Patrizia Ziveri

### **ASESORAMIENTO LINGÜÍSTICO Y CORRECCIÓN**

*Servicio de Corrección Lingüística del Institut  
d'Estudis Catalans:*

Josep M<sup>a</sup> Mestres Serra, jefe del Servicio  
Kàtia Oliver Vila  
Anna de Pablo Puig  
Anna Serra Zamora

### **EDICIÓN**

*Entidad Autónoma del Diario Oficial y de  
Publicaciones de la Generalitat de Catalunya:*

Raimon Alamany Sesé, subdirector general  
de Publicaciones  
Lluís Prat Francisco, jefe del Área de  
Producción y Servicios Editoriales  
Josep M<sup>a</sup> Carmona Vallejos  
Vicenç Petit Garcia  
Marc Sacases Guardia

