

Impactos del cambio climático y medidas de adaptación



Alfonso Gutiérrez Teira

Unidad de adaptación, Dirección General del Clima, Comisión Europea



José Ramón Picatoste Ruggeroni

Área de Estrategias de Adaptación, Oficina Española de Cambio Climático

Resumen

La evaluación científica, técnica y socioeconómica del conocimiento existente en la actualidad en materia de cambio climático no deja lugar a dudas sobre la evidencia del fenómeno, los impactos observados y proyectados en los distintos sectores socioeconómicos y regiones del planeta –incluido nuestro país– y la necesidad de enfrentar el problema desde el ámbito de la adaptación al cambio climático, complementando las acciones de mitigación. Todos los proyectos de ingeniería, en mayor o menor grado según sus respectivos campos de actividad, son planificados con un horizonte temporal para sus fases de uso y explotación que se adentra en un futuro donde se proyectan cambios importantes en las distintas variables y parámetros climáticos. Esto abre un amplio abanico de oportunidades para que la ingeniería en su conjunto integre la adaptación al cambio climático en todas las fases de planificación y desarrollo de proyectos.

Palabras clave

Cambio climático, impactos, vulnerabilidad, adaptación

Abstract

The scientific, technical and socio-economic evaluation of our current knowledge of climate change and the impacts observed and predicted in different socioeconomic sectors and regions of the planet –including this country– leaves no doubt regarding the existence of this phenomenon and the need to tackle the problem by means of adaptation to climate change in association with mitigating action. To a greater or lesser extent and in accordance with their respective areas of activity, all engineering projects are planned with a timeline for their use and operation which extends into a future where important changes are foreseen with respect to the different climate variables and parameters. This opens up a wide range of possibilities for engineering, as a whole, to incorporate climate change adaptation in all project planning and development stages.

Keywords

Climate change, impacts, vulnerability, adaptation

Una pequeña historia...

El equipo de jóvenes ingenieros había trabajado muy duro en el proyecto de diseño de aquella gran infraestructura costera; la competencia había sido realmente dura, con firmas internacionales de reconocido prestigio, y su adjudicación era la mejor recompensa que podían tener y el salto internacional que tanto anhelaban. El proyecto solucionaría el transporte marítimo de mercancías y pasajeros en aquel país, remoto y poco conocido, para los próximos 100 años, e incluía un dique exterior de 1.500 m en profundidades de 100 m, un dique de abrigo de 4.000 m de longitud en una profundidad de hasta 100 m, un contradique de 750 m de longitud perpendicular a la costa, una superficie total explanada portuaria de más de 200 Ha, dos muelles de 900 m de longitud. La selección del proyecto se había basado en la excelente calidad técnica del diseño, las propuestas innovadoras y el detallado –y ajustado– presupuesto. Todo un éxito bajo cualquier perspectiva.

50 años más tarde se hacía evidente que en el diseño del proyecto había faltado la consideración de un elemento clave. El número de horas anuales en las que la infraestructura costera se encontraba no operativa superaba con creces lo estimado, la frecuencia y dimensión de los dragados necesarios se había duplicado, disparando los costes de mantenimiento y las afectaciones medioambientales a los territorios adyacentes habían convertido el lugar en indeseable e insalubre. En el diseño y dimensionamiento del proyecto se habían empleado datos climáticos, hidrológicos y oceanográficos correspondientes a series largas bien representativas de la zona, que abarcaban registros históricos de cerca de 70 años. En aquel momento, nadie daba mucho crédito a aquello del cambio climático y sus impactos...

1. Introducción.

El cambio climático causado por la actividad humana
Inmersos en plena era de la información, el peso de la carga de la prueba parece tender a difuminarse y a perder valor.

Parece que basta afirmar o negar algo de forma rotunda y reiterativa, para que reciba tanta consideración informativa como cualquier afirmación argumentada y cargada de evidencias y pruebas. En el caso del cambio climático, un argumento basado en un aluvión de pruebas tiene en ocasiones que invertir demasiada energía en contrarrestar argumentos basados en opiniones, profesiones de fe y argumentos inconsistentes.

A lo largo del periodo entre septiembre de 2013 y octubre de 2014 se va a aprobar el Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) –el Cuarto se adoptó en el año 2007–, que va a suponer un nuevo hito y va a proporcionar una información evaluada y sintética sobre los últimos conocimientos científicos, técnicos y socioeconómicos en materia de cambio climático. Hasta su aprobación y debido a su carácter confidencial, los contenidos de los informes se consideran borradores y no pueden ser citados ni difundidos, mientras se someten a un riguroso proceso de revisión por parte de los miles de expertos que participan en este complejo proceso de elaboración.

Los informes del IPCC sirven de base para la construcción de las políticas en materia de cambio climático, y en su elaboración se siguen los protocolos más exigentes en materia de evaluación científica, como así lo reconocen los gobiernos de todos los países, que aprueban los informes por unanimidad.

Los informes del IPCC son muy claros en identificar en qué aspectos hay mayor o menor certidumbre, y con qué nivel de probabilidad se producen o producirán los fenómenos que recoge. Respecto a la certidumbre del cambio climático, el Cuarto Informe de Evaluación del IPCC concluye que éste es inequívoco, y que sus impactos, tanto los que ya se observan como los que se proyectan, afectan e impactarán a muchos sectores socioeconómicos y sistemas naturales en todas las regiones del planeta.

El Cuarto Informe del IPCC también es contundente en cuanto a la atribución del cambio climático, concluyendo que la mayoría del incremento observado en el promedio global de temperaturas desde mediados del siglo XX es muy probablemente (>90 %) debido a los incrementos observados en las concentraciones atmosféricas de gases de efecto invernadero (GEI), causados por las emisiones antropogénicas.

Estrategias de respuesta. Cómo hacer frente al cambio climático

El cambio climático es una de las principales amenazas para el desarrollo sostenible y representa un reto de carácter global extremadamente complejo, que debe abordarse desde una perspectiva que integre los aspectos ambientales, económicos y sociales.

La respuesta de las sociedades humanas al reto del cambio climático tiene dos frentes bien diferenciados pero complementarios: la mitigación y la adaptación. La mitigación ataca la causa primaria del problema, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera y promoviendo su secuestro. Pese a los esfuerzos que se desarrollan en este ámbito, que han acaparado gran parte del proceso internacional a lo largo de los años, la estabilización de las concentraciones atmosféricas de GEI en la atmósfera está lejos de alcanzarse. Esta realidad, y la propia inercia del sistema climático, que desfasaría su respuesta ante una eventual acción global de mitigación, ocasionarán que en las próximas décadas el cambio climático siga su curso y que –por tanto– la adaptación al mismo sea tan necesaria como la mitigación. Adaptación y mitigación se relacionan de manera íntima e inversa: cuanto mayor sea la capacidad internacional de acordar y aportar esfuerzos de reducción de emisiones de GEI, menores habrán de ser las necesidades de adaptación, debido a que la intensidad del cambio climático será menor y menores, consecuentemente, sus impactos (Fig. 1).

Estas dos caras de la acción frente al cambio climático, adaptación y mitigación, requieren, también, ámbitos de trabajo diferentes. Así, mientras que las acciones de mitigación requieren una respuesta conjunta y coordinada a nivel internacional (las emisiones de GEI se traducen en aumentos de su concentración atmosférica, sin fronteras en el planeta), existe un reconocimiento general de que las acciones e iniciativas de adaptación deben ser definidas e implementadas a nivel nacional o subnacional, basándose en un conocimiento profundo de los impactos y las vulnerabilidades, que son específicos de cada lugar.

2. Impactos del cambio climático observados a nivel global y regional

Son muchos los efectos y los impactos del cambio climático que, en diferentes sistemas naturales y sectores socioeconómicos, se han observado ya a nivel global y regional en el conjunto del planeta.

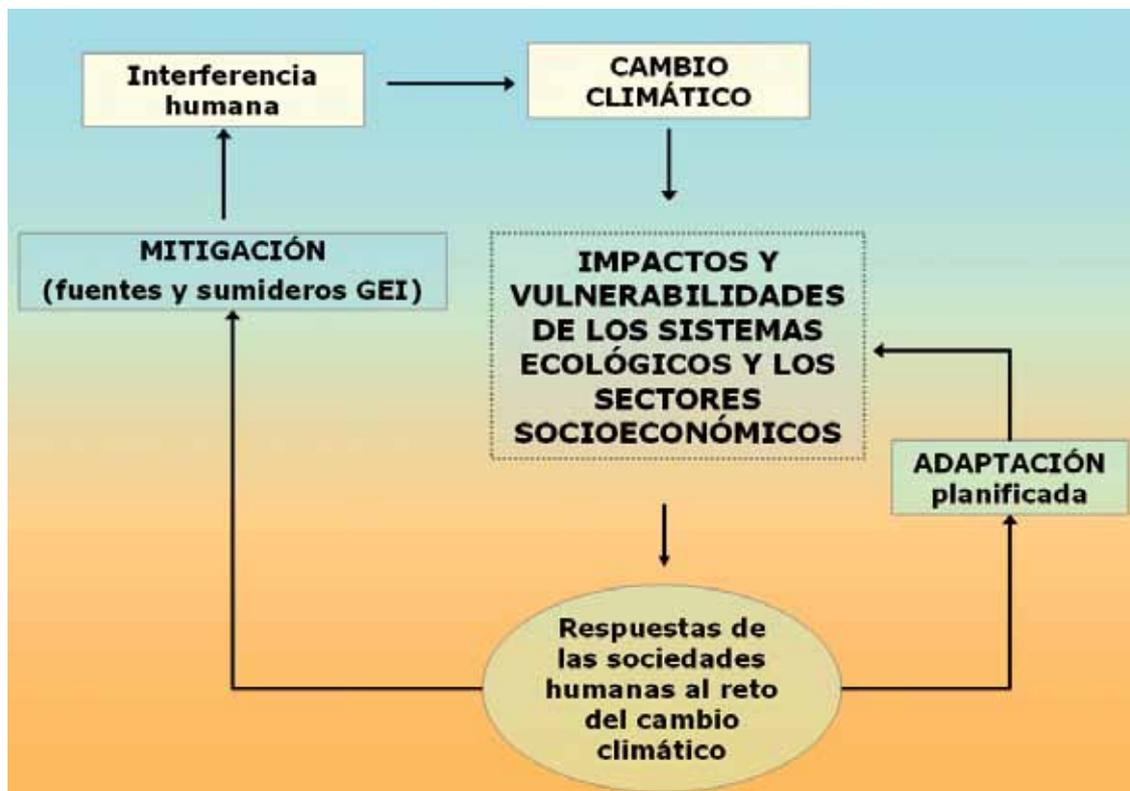


Fig. 1. Las respuestas frente al cambio climático en los ámbitos de la mitigación y la adaptación están estrechamente relacionadas

La criosfera –que incluye básicamente todas las fracciones terrestres y marinas congeladas de la Tierra– es un componente del sistema climático con una alta sensibilidad, que refleja fiel y rápidamente el cambio climático a través de un amplio conjunto de señales, tales como la propia reducción de la capa de hielo marino ártico –en aceleración progresiva en los últimos años, con la mínima extensión registrada en el año 2012– la reducción de los glaciares de montañas tropicales, alteraciones de las comunidades biológicas polares, modificaciones en el régimen fluvial de cuencas, desestabilización y aumento del riesgo de colapso y de inundaciones repentinas procedentes de glaciares, fusión del permafrost que provoca problemas de subsidencia e inestabilidad de las infraestructuras que se asientan sobre él, etc.

El agua es un recurso de capital importancia para el desarrollo y bienestar de las sociedades humanas. Las alteraciones detectadas en los recursos hídricos por efecto del cambio climático son muy numerosas, y el conjunto de

señales detectadas en algunas regiones, tanto en la descarga de los ríos como en el régimen de sequías y lluvias intensas, apuntan a una intensificación del ciclo hidrológico. Además, hay evidencias de un adelanto estacional en los picos de crecida de los caudales de los ríos de grandes cuencas nivales, con consecuencias en la distribución de la disponibilidad de agua y por tanto en la gestión del recurso hídrico. También existen análisis que muestran que, globalmente, las áreas muy secas han aumentado más del doble desde 1970, mientras que las muy húmedas han disminuido cerca de un 5 %.

Las áreas costeras, por su parte, sufren los efectos del aumento del nivel del mar como consecuencia del cambio climático. A lo largo del siglo XX la tasa de subida del nivel del mar fue en promedio de 1,7-1,8 mm/año, mientras que en la última década este valor aumentó hasta los 3mm/año. Este es un elemento que sumado a otros factores (vientos, oleajes, corrientes, mareas, etc.) condiciona la geodinámica costera y ocasiona fuertes impactos tanto en

		Tabla 1. Efectos observados del cambio climático sobre los ecosistemas marinos, acuáticos continentales y terrestres
ECOSISTEMAS MARINOS	<ul style="list-style-type: none"> • Blanqueamiento de corales, que implican la muerte de arrecifes u otros efectos adversos sobre estos reservorios de biodiversidad, como la simplificación estructural o el cambio en la composición de las biocenosis. • Cambios fisicoquímicos (acidificación por concentración de CO₂) que dificultan el proceso de calcificación que llevan a cabo numerosos invertebrados marinos • Cambios en la fenología: adelantamientos temporales en la aparición estacional de taxones y nuevas condiciones de crecimiento. • Cambios en la distribución de especies: especies subtropicales de zooplancton en latitudes elevadas 	
ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES	<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones significativas de la estructura térmica de lagos de latitudes medias y altas • Alteraciones en la dinámica de estratificación y régimen de mezcla • Alteraciones del ciclo anual de productividad, y composición y evolución anual de sus comunidades biológicas 	
ECOSISTEMAS TERRESTRES	<ul style="list-style-type: none"> • Alteraciones fenológicas, asociadas a una primavera más temprana y prolongada en latitudes medias y altas: foliación, floración, fructificación, caída de las hojas, migración, puesta y eclosión de huevos (en aves, anfibios e insectos), etc.² • Cambios en la distribución de numerosas especies de ecosistemas terrestres, generalmente hacia latitudes más altas o hacia altitudes más elevadas³ 	

los sistemas naturales como en los sectores y actividades que se desarrollan en estos territorios, como el transporte marítimo, las infraestructuras, los asentamientos y el turismo. También se han observado abundantes cambios en la composición, la estructura y el funcionamiento de distintos tipos de ecosistemas. Los cambios temporales fenológicos¹ y los cambios en la distribución geográfica de las especies pueden ocasionar importantes desacoplamientos o falta de sincronización de procesos ecológicos clave en el funcionamiento de los ecosistemas, tales como la polinización, la dispersión de semillas en sus múltiples formas y las relaciones predador-presa o parásito-huésped (Tabla 1).

La agricultura es un sector de actividad muy sensible al clima y al cambio climático. Las tendencias de cambio fenológico que se han observado en poblaciones silvestres de plantas se reproducen en los cultivos agrícolas, sobre todo en los permanentes (frutales, viñedos, olivos). Estos

cambios en el clima parecen estar afectando, de forma desigual, a variables críticas que afectan a la productividad o la duración del período vegetativo, es decir al potencial de la actividad agrícola y ganadera propiamente dichos. En general los agrosistemas, intensamente gestionados, tienen a priori capacidad para responder a los impactos del cambio climático, modificando y adaptando sus prácticas con gran flexibilidad y rapidez: en Europa todos los análisis demuestran que el calentamiento reciente se ha traducido en un adelanto del calendario de todas las labores agrícolas.

El sector forestal, por su parte, al igual que el agrícola, se ve sometido por efecto del calentamiento global a un aumento del período de crecimiento anual en las latitudes medias y altas. Esta circunstancia, unida a factores como el aumento de la concentración de CO₂ en la atmósfera (fertilización atmosférica), ocasiona un aumento de la productividad primaria que, en conjunto, se ha traducido en un aumento

del C almacenado en los bosques a nivel mundial durante las pasadas décadas, aunque existen excepciones regionales a esta tendencia general, cuando las disponibilidades hídricas se convierten en el factor limitante. Por otra parte, el calentamiento global también se ha traducido en una mayor incidencia de determinadas enfermedades y plagas forestales. Por ejemplo, en numerosas zonas de Europa se ha detectado una reciente expansión latitudinal y altitudinal en la procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*), atribuible a un incremento de la supervivencia invernal causada por el calentamiento observado en los últimos decenios. Con relación a los incendios forestales, es difícil atribuir como causa única o principal el cambio climático, pero sin duda la intensificación de la sequía, las condiciones más cálidas y las olas de calor que se han observado en años recientes potencian los índices de riesgo que han acompañado a extensos eventos de fuegos forestales en el Mediterráneo y en otras regiones del planeta.

También se han observado efectos del cambio climático sobre la salud, relacionados principalmente con la tendencia al aumento de las temperaturas y a los cambios en las temperaturas extremas, aunque también existen impactos ligados a los cambios en los patrones de precipitación. Los impactos de las olas de calor, que según las proyecciones de cambio climático se intensificarán a lo largo del presente siglo, sobre la mortalidad humana están bien establecidos, siendo el evento del verano del 2003 en el centro y sur de Europa quizá uno de los mejor documentados. Algunas enfermedades de transmisión vectorial, por su parte, son muy sensibles a la temperatura y la precipitación y el cambio climático favorece la expansión de sus vectores y por tanto la incidencia de la enfermedad que transmiten. Es el caso de la enfermedad de Lyme, transmitida por la picadura de una garrapata, que ha cambiado su distribución hacia latitudes más norteñas en Europa por efecto del calentamiento global, o determinados brotes de malaria en zonas altas africanas hasta ahora libres de la enfermedad, donde el cambio climático se suma a otros factores que potencian la enfermedad. También se han observado cambios en los patrones estacionales de las alergias, que se asocian a los cambios fenológicos ligados al cambio climático.

3. La modelización de los impactos del cambio climático. La evaluación de la vulnerabilidad

La evaluación de los impactos del cambio climático sobre los distintos sistemas naturales y sectores socioeconómicos es un ámbito de investigación muy activo, y en muchos

casos emergente, prácticamente en todos los campos científicos y técnicos, donde se están produciendo muchos resultados y muy rápidamente.

Algunas disciplinas llevan ya muchos años investigando los aspectos relativos a los impactos del cambio global y del cambio climático en los sistemas objeto de su estudio, principalmente las ciencias de la naturaleza y de la Tierra (ecología, limnología, oceanografía, nivología, glaciología, hidrología, biología de la conservación, ciencias forestales, agronomía, fisiología, geomorfología, etc.). Son las ciencias que tradicionalmente han estudiado sistemas altamente sensibles al clima y que en este nuevo contexto de cambio climático de origen antropogénico ya tienen una amplia y sólida base de conocimiento, metodologías, modelos y experiencias que aplicar para evaluar y proyectar los impactos futuros por efecto del cambio climático.

Otras disciplinas, sin embargo, han incorporado recientemente a sus líneas de investigación la evaluación de los impactos del cambio climático. Son las ciencias económicas, las ciencias aplicadas a la salud, el turismo, la ordenación del territorio, la industria y la energía, los aspectos sociales, etc. En muchos de estos casos se están dando en la actualidad los primeros pasos en la construcción de un cuerpo de conocimiento.

La modelización de los impactos del cambio climático, que persigue identificar y cuantificar los efectos del mismo sobre el recurso en estudio (sea la producción agrícola de las cosechas, el caudal de los ríos, el número de turistas que visitan determinada región, o el cambio en la tasa de mortalidad, por ejemplo) debe partir de dos elementos básicos: por un lado, una serie de escenarios climáticos regionalizados –lo más detallados que permita la ciencia en las escalas temporal y espacial– que representan las futuras condiciones climáticas en la región en estudio y en el período bajo consideración; por otro lado, se debe poseer un profundo entendimiento de la sensibilidad climática del sector en estudio, que debe traducirse en una construcción de modelos de simulación que reproduzcan la respuesta del sistema antes distintas condiciones climáticas. Los modelos pueden ser tan sencillos o tan complejos como el uso que se va a hacer de ellos: modelos agregados o distribuidos, modelos estadísticos o deterministas, modelos multi-paramétricos o simples, cuantitativos o semicuantitativos, etc. La combinación de estos dos elementos mediante un uso de dichos modelos alimentados por las proyecciones

climáticas futuras permite identificar y evaluar los impactos futuros del cambio climático.

La evaluación de la vulnerabilidad del correspondiente sector, sistema o recurso requiere tener en consideración un componente adicional a la evaluación del impacto: la capacidad adaptativa existente para hacer frente a estos impactos y minimizar los efectos. Esta evaluación de la capacidad adaptativa incluye un amplio abanico de aspectos tales como las opciones tecnológicas que puedan aplicarse, la fortaleza institucional y administrativa que permite coordinar las respuestas, la sensibilidad de los gestores y planificadores ante el problema, la sensibilidad de la sociedad en general, etc.

La evaluación de los impactos y la vulnerabilidad son en realidad dos actividades íntimamente relacionadas e imbricadas, que forman parte del mismo proceso de adaptación al cambio climático. La primera pone el acento en la evaluación física de la respuesta del sistema, sector o recur-

so, mientras que la segunda lo pone en las capacidades sociales para minimizar -o sacar ventaja- de esa respuesta estimada. Ambas son absolutamente imprescindibles en el proceso de la planificación anticipada de la adaptación al cambio climático, que se convierte así en una actividad de carácter multidisciplinar.

La adaptación al cambio climático en la ingeniería

La ingeniería en su concepción más general juega un importante papel en este proceso de adaptación al cambio climático. Todos los proyectos de ingeniería, en mayor o menor grado según sus respectivos campos de actividad, son planificados proyectando un horizonte temporal para sus fases de uso y explotación que se adentra en un período donde se proyectan cambios importantes en parámetros climáticos. Así, dependiendo de su ciclo de vida y de su sensibilidad al cambio climático, cada proyecto debería incorporar en su fase de planificación una evaluación de los efectos potenciales que el cambio climático podría tener en su localización y de la vulnerabilidad del proyecto

	Energía	Agricultura	Aguas	Bosques
Procesos para integrar una evaluación de impactos y vulnerabilidad al cambio climático	Producción hidroeléctrica	Rendimiento de las cosechas	Aportaciones en régimen natural	Producción maderable
	Necesidades de refrigeración	Aptitud del territorio	Regímenes hídricos de las cuencas	Sanidad forestal y plagas
	Potencial de renovables	Necesidades de riego	Estado ecológico de las masas de agua	Incendios
	Proyección de la demanda	Plagas y enfermedades	Demandas de agua	Producción no maderable
	Dimensionamiento de las redes de distribución ante extremos meteorológicos	Rendimiento de las instalaciones ganaderas y acuícolas	Procesos hidrogeológicos: recarga, intrusión...	Selección de variedades y procedencias
		Calculo de riesgos con fines de agroseguro	Sequías e inundaciones	

a lo largo de su ciclo, de forma que permita identificar las mejores opciones de adaptación, e integrarlas desde una fase temprana, idealmente en la misma concepción del proyecto.

Un campo de trabajo abierto a la innovación de nuevos desarrollos ingenieriles para hacer frente a un problema específico de los impactos del cambio climático es la protección de recursos naturales, territorios y espacios singulares o protegidos. En este ámbito hay que explorar y desarrollar soluciones basadas en la conservación y el refuerzo de los bienes y servicios que proporcionan los propios sistemas ecológicos.

El siguiente cuadro –bajo estas líneas– refleja algunos ejemplos de sectores de actividad de la ingeniería y algunos procesos relevantes donde evaluar los impactos y la vulnerabilidad al cambio climático, mediante una modelización adecuada, con objeto de integrar la adaptación en el proceso de planificación de los proyectos.

4. Sectores y sistemas más vulnerables en España

España se encuentra entre los países más vulnerables a los efectos adversos del cambio climático, tanto por su posición geográfica, que sitúa al país en un clima mediterráneo y al mismo tiempo enfrentado al océano Atlántico y ocupando un extremo continental, como por sus particulares condiciones socioeconómicas, dependientes de forma significativa de sectores, sistemas y servicios muy sensibles a las condiciones climáticas.

A escala regional europea, la Agencia Europea de Medio Ambiente (EEA 2012) ha realizado una síntesis, que recoge tanto los hallazgos del IPCC como otras aportaciones propias, del tipo de impactos y efectos sectoriales observados y proyectados, basándose en las regiones biogeográficas europeas (figura 2). El abanico de efectos que dicha síntesis recoge para la región mediterránea –mayoritaria en España– incluye: descensos en la precipitación anual y en el caudal anual de los ríos, incrementos en el número de incendios forestales, reducciones en las cosechas, en contraste con

Transporte	Tele-comunicaciones	Industria	Protección de recursos naturales y espacios protegidos	Procesos para integrar una evaluación de impactos y vulnerabilidad al cambio climático
Inundaciones y deslizamientos de tierras	Dimensionamiento de infraestructuras	Demandas de agua	Resiliencia y resistencia de los ecosistemas	
Drenajes	Diseño de componentes	Dimensionamiento de infraestructuras ante extremos meteorológicos	Mantenimiento de la provisión de bienes y servicios ambientales por parte de los ecosistemas	
Dimensionamiento de infraestructuras y defensas ante extremos meteorológicos	Necesidades de refrigeración	Necesidades de refrigeración	Restauración ecológica	
Procesos de geomorfología: erosión, sedimentación...		Respuesta de los materiales frente al cambio climático	Ingeniería paisajística	
Detección temprana de situaciones extremas				
Respuesta de los materiales frente al cambio climático				

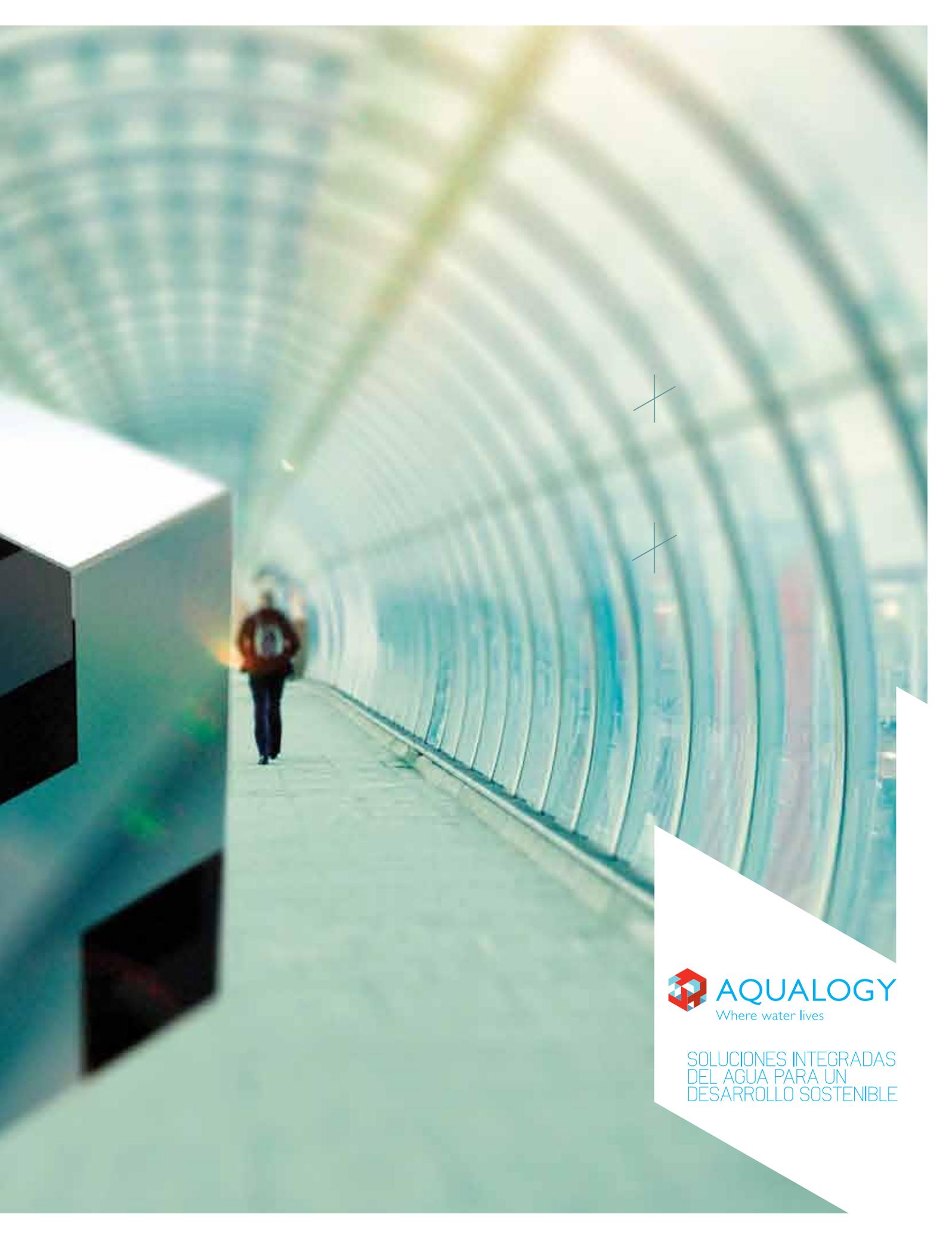
desarrollo sostenible



Más que agua

Talento, conocimiento y compromiso.
Aportamos respuestas adecuadas
para una gestión más eficiente.
Compartimos conocimiento
y generamos innovación.
Trabajamos por un futuro basado
en el compromiso y la cooperación.

www.aqualogy.net



AQUALOGY

Where water lives

SOLUCIONES INTEGRADAS
DEL AGUA PARA UN
DESARROLLO SOSTENIBLE

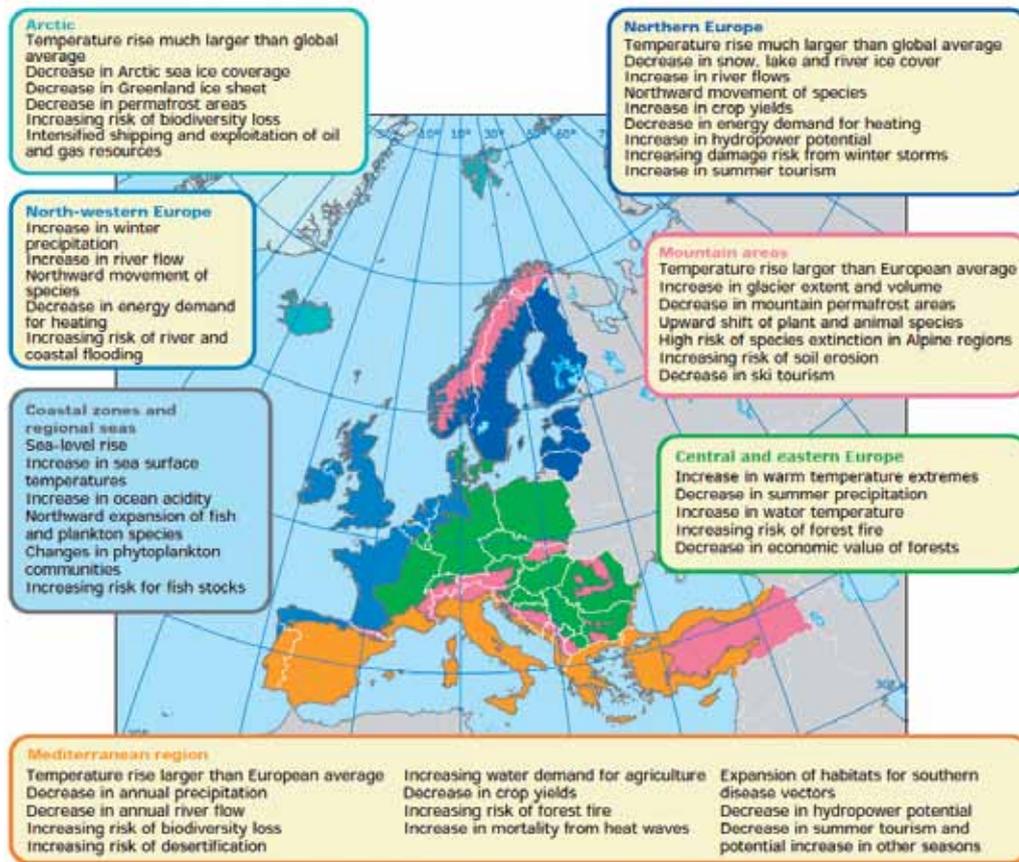


Fig. 2. Impactos observados y proyectados y sus efectos sobre los sectores en las principales regiones biogeográficas europeas. EEA 2012

	Escenario A2			Escenario B2		
	2011-2040	2041-2070	2071-2100	2011-2040	2041-2070	2071-2100
Temperatura	1.5	2.9	4.8	1.6	2.5	3.6
Precipitación	-5	-9	-17	-6	-8	-9
Evapotranspiración potencial	6	13	21	7	12	15
Evapotranspiración real	-3	-6	-12	-5	-6	-7
Humedad del suelo	-11	-21	-35	-12	-16	-22
Recarga subterránea	-8	-15	-27	-8	-12	-16
Escorrentía	-8	-16	-28	-8	-11	-14

Tabla 2. Proyecciones generales para España de la variación (%) de los valores medios anuales de las diferentes variables y características relacionadas con el ciclo hidrológico, respecto al período de control (1961-1990), para tres períodos y dos escenarios de emisiones considerados. Fuente: Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos en régimen natural en España, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX, 2011) EEA 2012

una mayor demanda de recursos hídricos para la agricultura; incrementos en el riesgo de desertificación; reducciones en ciertas fuentes de energía como la hidroeléctrica; impactos sanitarios como un mayor número de decesos asociados a eventos extremos de calor, o un incremento en las enfermedades vectoriales; una disminución del turismo estival, o un aumento de los riesgos de pérdida de biodiversidad.

Ya en el ámbito de nuestro país, la Oficina Española de Cambio Climático realizó un primer ejercicio de aproximación al conocimiento de los principales efectos potenciales del cambio climático, mediante un enfoque sectorial que resulta coherente con la especificidad de los impactos y las opciones de adaptación que, en su caso, se lleven a cabo. Dicho ejercicio (Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático, MMA 2005) permitió, por una parte, realizar una revisión del conocimiento existente al respecto, movilizándolo a más de 400 expertos de diversos ámbitos; por otra parte, sentó las bases para el establecimiento del marco nacional para la adaptación al cambio climático.

El conocimiento disponible en la actualidad indica que los recursos hídricos en España pueden sufrir una disminución significativa a lo largo del presente siglo (tabla 2), condicionando la planificación y gestión de otros muchos sectores, como la agricultura, el turismo o la industria, y sistemas como la conservación de los ecosistemas acuáticos continentales y costeros, y los bienes y servicios ambientales que proporcionan. La intensificación a lo largo del siglo de eventos extremos de sequía o inundaciones, también proyectada para nuestro país, complicará aún más la planificación y gestión de los sistemas de almacenamiento y explotación del agua y la adecuada satisfacción de las demandas.

Las zonas costeras de España concentran una parte muy significativa de la población y de la actividad económica del país, además de unas características propias ambientales que proporcionan al conjunto del territorio costero un alto valor estratégico. Suponen, sin duda, la franja de territorio más vulnerable a los efectos del cambio climático, donde pueden producirse muchos impactos derivados de la combinación de un aumento del nivel del mar (ya observado en 1.8 +/- 0.5 mm/año; esperado entre 15-35 cm en 2050), de variaciones en la dirección e intensidad del oleaje, y de un calentamiento del agua del mar. Entre estos impactos se pueden citar inundaciones de áreas costeras (zonas

urbanas, usos del suelo, espacios naturales, infraestructuras); cambios en los procesos de erosión, transporte y sedimentación costera, que afectarían a playas, humedales, espacios naturales costeros e infraestructuras; aumento de la intrusión salina; efectos en la estabilidad y funcionalidad de las obras de infraestructura marítimas.

Muchos de los sectores productivos que conforman el sistema económico español pueden verse modificados de forma significativa por razón del cambio climático. El sector energético deberá afrontar, con toda probabilidad, un ajuste de las fuentes de energía de que se nutre, tanto por las medidas de mitigación (hidrocarburos) como por los efectos del cambio climático en su potencial (hidroeléctrico, biocombustibles, eólico, solar); es muy probable, además, que se produzcan cambios en los picos de demanda, y cambios asociados en los patrones temporales demanda-producción, que deberán ser afrontados mediante la planificación adecuada, el fomento de la eficiencia y del ahorro y el ajuste asociado de las infraestructuras energéticas. El turismo, de tanta importancia para la economía española, deberá afrontar cambios y posibles pérdidas de calidad de sus activos (playas, montañas, confort climático, infraestructuras) y de los recursos asociados (agua, nieve, naturaleza), y por tanto de su capacidad competitiva frente a otros destinos que se adapten mejor o que puedan aflorar como consecuencia del cambio climático. Las actividades del sector primario –agricultura, ganadería, pesca y bosques– se verán afectadas directamente por los impactos sobre la biodiversidad, el agua o las costas, además de tener que afrontar cambios en la productividad y la rentabilidad, en el potencial agronómico, en la afección de plagas y enfermedades, o en el riesgo de incendios. La salud humana puede verse afectada por múltiples patologías, nuevas o intensificadas, causadas por una mayor morbilidad por la aparición de nuevas enfermedades vectoriales, importadas de áreas tropicales y por la mayor transmisión de enfermedades a través de los alimentos y el agua.

Si bien la adaptación al cambio climático se plantea principalmente como un conjunto de procesos que permitan hacer frente a nuevos retos que se producirán a escalas intermedias temporales, los efectos de una mayor frecuencia e intensidad de eventos extremos de origen climático, como inundaciones, desplazamientos de laderas, o incendios, pueden intensificar los impactos sobre muchos sectores y recursos, y desplazarlos temporalmente hasta

unas escalas temporales de corto plazo. Dichos riesgos de catástrofes tienen el potencial de causar efectos significativos, de elevado coste económico y social, en áreas tan dispares como la salud, las infraestructuras (viales, energéticas, etc.), la vivienda y la ordenación urbana, el agua, la agricultura, los bosques, etc. El sector financiero y el asegurador podrían verse asimismo afectados de forma significativa por la nueva magnitud y frecuencia de estos sucesos y deberán, por tanto, estar preparados para afrontar la integración de medidas adaptativas en sus productos y su funcionamiento.

5. El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático y sus Programas de Trabajo

Los trabajos llevados a cabo de revisión y generación de conocimiento sobre los impactos del cambio climático en España suponen la base para la planificación y el desarrollo de un marco de referencia para las acciones de adaptación por parte de las distintas administraciones y los agentes públicos y privados implicados en cada actividad sectorial.

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC) es, desde el año 2006, este marco de referencia para la evaluación de los impactos y la vulnerabilidad y la coordinación de las políticas de adaptación al cambio climático en España.

Entre los aspectos clave que figuran en su concepción y conceptualización caben destacar la consideración del cambio climático como un fenómeno con efectos a corto, medio y largo plazo, y la consideración de la adaptación como un proceso continuo de respuesta a dichos efectos, que debe conducir, como se ha señalado, al objetivo fundamental de integrar usos y medidas adecuados en la planificación, ejecución y revisión de las políticas sectoriales. La incertidumbre asociada al conocimiento del cambio climático –en continuo proceso de investigación y acotamiento– debe considerarse mediante la aplicación del principio de cautela en cuantas políticas se considere que la adaptación al cambio climático es necesaria.

Por otro lado, el PNACC encara la adaptación al cambio climático siempre basada en el mejor conocimiento disponible, lo que implica asumir un complejo esquema de aprendizaje permanente, de investigación y desarrollo de nuevas herramientas, métodos, datos, de acumulación de experiencias y cuantos elementos sean necesarios para ajustar y reducir las incertidumbres climáticas y sus

efectos, en un ciclo continuo de realimentación periódica de todos estos conocimientos en los procesos de adaptación. Junto a ello, son también piezas básicas del PNACC la cooperación entre todos los niveles de la administración y la participación de la sociedad y de los agentes sectoriales en la evaluación de las vulnerabilidades y en la identificación y adopción de las medidas adaptativas más ajustadas.

El PNACC aborda las necesidades de conocimiento en una quincena de sectores y sistemas considerados clave para el desarrollo social y económico de España, identificando una serie de actuaciones sectoriales prioritarias. No obstante, se trata de un instrumento con la flexibilidad suficiente como para poder ajustarse al nuevo conocimiento que surja o a las nuevas demandas de la sociedad. La manera en que el PNACC, como marco general y estratégico, se materializa en acción específica, es a través de actividades concretas, calendarios de acción y producción de resultados contenidos en sus Programas de Trabajo, el Tercero de los cuales verá la luz a finales del año 2013.

Uno de los cimientos de la adaptación al cambio climático es el desarrollo de modelos y escenarios climáticos que puedan ser empleados en las escalas a que se realizan las planificaciones territoriales y sectoriales. Este aspecto constituye una de las actividades vertebrales del PNACC, que está siendo coordinado por la Agencia Estatal de Meteorología desde la concepción misma del PNACC, de forma continuada a través de los sucesivos Programas de Trabajo.

El Primer Programa de Trabajo del PNACC apostó por el abordaje de una serie de evaluaciones sectoriales de impactos y vulnerabilidad que, por su importancia para el sistema socioeconómico español y por su carácter horizontal a otros múltiples sectores, se consideran prioritarios, teniendo en cuenta su impacto potencial y la necesidad de proporcionar información básica necesaria para abordar la valoración del impacto del cambio climático en otros sectores. Así, se planteó una serie de proyectos para la evaluación de los impactos y la vulnerabilidad al cambio climático en los recursos hídricos, las costas españolas y la biodiversidad.

El Segundo Programa de Trabajo cuenta con un diseño más complejo, que trata de hacer frente a todos los elementos que el PNACC considera necesarios para hacer



Fig. 3. Esquema conceptual del PNACC

efectiva la adaptación al cambio climático. El concepto puramente analítico y sectorial desarrollado en el Primer Programa dio paso a 4 ejes de acción y 2 pilares en el Segundo Programa (figura 3). Uno de los ejes de acción continúa siendo, por supuesto, la evaluación sectorial de impactos y vulnerabilidad al cambio climático, que se alimentan en gran medida de los escenarios climáticos regionalizados. Los sectores abordados se han extendido respecto a los considerados en el Primer Programa de Trabajo, incluyendo otros muy relevantes para la sociedad española como la salud, el turismo, la agricultura, el sector forestal o los suelos.

La integración sectorial depende en gran medida de superar un gran reto como es la tradicional barrera existente en la planificación y gestión entre distintos sectores, pues cada vez resulta más evidente el carácter transversal de la mayoría de las políticas, en las que se entrelazan de forma inseparable los aspectos sociales, económicos, sanitarios, medioambientales, los efectos transfronterizos, la competitividad, etc. La lucha contra los efectos del cambio climático depende en estos momentos de los departamentos de medio ambiente de muchas administraciones, y la adaptación requiere la integración en los distintos sectores. Ya se han dado algunos pasos significativos en este sentido, como la creación de un Observatorio de Cambio Climático y Salud.

El trabajo sectorial de evaluación de impactos y vulnerabilidad se complementa con un eje de integración de la

adaptación al cambio climático en la normativa sectorial, consistente en la identificación de los instrumentos normativos donde más efectiva resulte la integración de la adaptación, y con otro eje de movilización de actores clave, públicos o privados, en los sectores abordados. Estos tres ejes de enfoque sectorial, que pretenden cubrir todos los frentes en que la adaptación puede integrarse en nuestras formas de hacer y de pensar cotidianas, se complementan con un cuarto cuyo objetivo es establecer un sistema de indicadores de los impactos y la adaptación al cambio climático, con el fin de contar con un instrumento de seguimiento y evaluación a largo plazo, que permita orientar los sucesivos desarrollos del PNACC.

Los dos pilares que acompañan a estos cuatro ejes son el fortalecimiento de la coordinación entre los distintos niveles de la administración en materia de adaptación al cambio climático, mediante el refuerzo del trabajo conjunto y el intercambio de conocimientos y experiencias, y la potenciación de la I+D+i, de forma que se pueda mejorar el conocimiento y las herramientas para hacer frente a los efectos del cambio climático.

6. Las plataformas europea y española de adaptación al cambio climático

Uno de los aspectos fundamentales para promover la adaptación al cambio climático es facilitar la transferencia e intercambio de información entre el mayor número posible de instituciones, agentes y responsables de la planificación de sectores y sistemas sensibles al clima y, por tanto,



Fig. 4. La plataforma nacional de adaptación al cambio climático

AdapteCCa (www.adaptecca.es)

El corazón de la plataforma AdapteCCa (nombre que combina la palabra adaptación, el dominio de su contenido, con el sufijo teca, del griego théke, depósito, caja o almacén) descansa en la información que contiene y en la manera en que se alimenta. AdapteCCa se ha diseñado para guardar una estrecha relación con la estructura del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), de manera que la información almacenada en la plataforma está referenciada, por un lado, de acuerdo a los sectores y sistemas que se contemplan en el PNACC y, por otro lado, a la propia tipología de cada producto almacenado, de acuerdo a criterios documentalistas (tipo y características de los documentos y publicaciones, plataformas de conocimiento, etc.). Además, cada información almacenada en AdapteCCa lleva asociada –si es el caso– el ámbito geográfico del que trata, el idioma en que está escrito, las palabras o descriptores clave que lo caracterizan y otra serie de datos que permiten al usuario realizar sus consultas haciendo uso de un potente e intuitivo motor de búsqueda de la plataforma.

La información de AdapteCCa es suministrada por sus usuarios. Este es un punto importante de la plataforma española, que apuesta por dar un papel clave al usuario y abre su desarrollo futuro al grado de participación del conjunto de los mismos.

Esto implica llevar a cabo una activa labor de dinamización de la plataforma.

Por otro lado, una importante funcionalidad de AdapteCCa reside en la posibilidad que ofrece a grupos de usuarios de contar con un espacio virtual de trabajo para desarrollar su actividad, bien de forma permanente –por ejemplo, el Grupo de Trabajo técnico que reúne a las unidades responsables de adaptación de la Administración General del Estado y las CCAA- o bien de forma temporal –por ejemplo, un grupo de expertos que se constituyen como tal con el objetivo de desarrollar un proyecto determinado en un plazo dado-.

Resumiendo, AdapteCCa permite a todos aquellos interesados interactuar con la plataforma de tres maneras distintas: (i) buscando y consultando la información de su interés, (ii) compartiendo su propia información y (iii) trabajando en un espacio privado con otros usuarios afines.

AdapteCCa se ha diseñado teniendo en plena consideración y buscando la máxima sinergia con la plataforma europea de adaptación Climate-Adapt y ha contado con la participación de técnicos y expertos de la Comisión Europea y la Agencia Europea de Medio Ambiente.



vulnerables al cambio climático. Se persigue que todos los actores involucrados en este ámbito de trabajo tengan una herramienta multidireccional hacia la mejor información disponible en materia de adaptación al cambio climático, tanto para la búsqueda y consulta como para la puesta a disposición de otros potenciales usuarios de la información propia que cada usuario pueda generar y considere de utilidad para otros.

Con este objetivo, la Comisión Europea lanzó en marzo de 2012 la Plataforma Europea de Adaptación, Climate-ADAPT (<http://climate-adapt.eea.europa.eu/>), que ofrece una completa información y una serie de productos sobre la vulnerabilidad actual y futura y las opciones de adaptación en los distintos sectores donde existen políticas comunitarias, métodos y herramientas para evaluar dichos impactos y vulnerabilidad, proyectos europeos de investigación, estrategias de adaptación de los Estados Miembros, proyectos concretos de adaptación que ilustran la acción sobre el terreno, etc. Climate-ADAPT constituye un pilar básico para el desarrollo de la recién adoptada -abril de 2013- Estrategia Europea de Adaptación, fortaleciendo la coordinación entre los Estados Miembros y la Comisión Europea, facilitando el intercambio de información, promoviendo la acción conjunta y, en definitiva, contribuyendo a la construcción de una Europa más preparada para hacer frente a los impactos del cambio climático

De forma análoga en el nivel nacional, y en estrecha cooperación con las unidades responsables de las CCAA, la Oficina Española de Cambio Climático ha desarrollado la Plataforma Nacional de Adaptación AdapteCCa (www.adaptecca.es). La plataforma AdapteCCa tiene como ob-

jetivo facilitar la coordinación y la transferencia de información, conocimiento y experiencias en la materia entre las distintas administraciones, así como entre la comunidad científica y técnica, los planificadores, los gestores –tanto públicos como privados– y otros agentes, proporcionando el canal de comunicación multidireccional entre ellos antes mencionado (Fig. 4).

7. Conclusiones y perspectivas

El abanico de impactos que se proyectan en distintos sectores por efecto del cambio climático tiene múltiples puntos de contacto con el campo de las ingenierías. Como se ha indicado, la adaptación al cambio climático debe considerarse como un proceso continuo, con un horizonte que, sin renunciar a la necesidad de medidas a corto plazo, concentre su actividad en el medio y largo plazo. La adaptación, en este contexto, debe entenderse principalmente como un proceso de integración en las formas y usos en que se llevan a cabo los programas, planes y proyectos de los distintos sectores.

En este sentido, pues, la adaptación al cambio climático debe buscar la mejor relación coste-eficacia y, por tanto, la adaptación más racional consistirá en una progresiva integración desde la misma fase inicial de desarrollo de los proyectos de ingeniería, o antes, cuando se produce la planificación general o la programación. Cabe plantear aquí un paralelismo con el proceso de Evaluación del Impacto Ambiental de proyectos de muchas infraestructuras y obras que, si bien en un principio se realizaba principalmente de forma externa y como un apéndice a los proyectos y actuaciones, ha ido asumiéndose hasta convertirse en un elemento integrado en el propio proceso

de planificación y diseño de las obras, inspirado y guiado por la normativa en vigor. Del mismo modo, esta integración de los aspectos medioambientales se ha producido a nivel de los planes y programas generales, a través del proceso de Evaluación Ambiental Estratégica, también con su propia normativa.

El proceso de planificación de la adaptación al cambio climático no debe suponer una actividad particularmente costosa en términos económicos, si bien requerirá una cierta inversión en creación de capacidades para que los agentes sean capaces de manejar las especificidades técnicas (escenarios, métodos y modelos de valoración) y la incertidumbre asociada al cambio climático. Considerando los costes evitados que las medidas de adaptación aportan, el beneficio neto será claramente positivo, como se está poniendo de manifiesto en la actualidad a través de recientes estudios de análisis de coste-beneficio de las medidas de adaptación.

... con un final diferente

Aquel equipo de jóvenes ingenieros realmente había trabajado muy duro en el proyecto de diseño de la gran infraestructura costera, y había integrado un enfoque innovador para la época, a pesar del escepticismo de muchos colegas y del sobrecoste que, aparentemente, soportaba el proyecto: el diseño y el dimensionamiento de todos los elementos incorporaba un análisis probabilístico de los impactos, una evaluación de la vulnerabilidad del cambio climático sobre ellos, una valoración de los costes económicos asociados, una identificación de las potenciales medidas de adaptación que minimizaban dichos efectos, con estimación de los costes adicionales y una estimación de los beneficios netos que se obtendrían con la implementación de dichas medidas de adaptación. Aquel enfoque innovador fue fundamental en la valoración de las ofertas y la selección del proyecto. Todo un éxito bajo cualquier perspectiva.

*50 años más tarde se hacía evidente el acierto en el diseño del proyecto. El nivel medio del mar había subido 45 cm, la dirección predominante del viento había rolado 17° y su fuerza se había intensificado un 7 %, modificando sensiblemente el régimen del oleaje y el equilibrio de fuerzas que actúa en la geodinámica de la zona. El proyecto había considerado tal escenario de cambio climático y los impactos del mismo sobre la infraestructura y los territorios adyacentes eran ahora mínimos. Los herederos de ese equipo de jóvenes ingenieros no habían dejado desde entonces de innovar en materia de adaptación al cambio climático, convirtiéndose en una referencia mundial en la materia. **ROP***

Referencias

- M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds). Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 2007. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- J. M. Moreno Rodríguez (Director/coordinador). Evaluación Preliminar de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático. Proyecto ECCE. Ministerio de Medio Ambiente 2005
- Impacts of Europe's changing climate — 2012 indicator-based assessment. Joint EEA-JRC-WHO report, 2012
- B. Menne, K. L. Ebi (Eds). Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health. Organización Mundial de la Salud, 2006
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), MARM, 2006, y sus dos Programas de Trabajo, el Primero, 2006 y el Segundo, 2009 [http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pnacc.htm]

Notas

- (1) La fenología es la ciencia que estudia la relación entre los factores climáticos y las fases y ciclos estacionales de las plantas y los animales
- (2) El proyecto pan-europeo COST-725 ha analizado más de 125.000 series de datos fenológicos de 542 plantas y 19 especies de animales de 21 países, que abarcan un registro de 30 años (1971-2000). El resultado revela una clara señal a lo largo de Europa, donde la primavera se ha adelantado por término medio 2,5 días/década
- (3) Un análisis de un conjunto de numerosos trabajos que abarca datos de más de 1.700 especies en el hemisferio norte arroja una tendencia de desplazamiento de las distribuciones poblacionales, en sus límites septentrionales, de 6,1 km/década. Se pueden citar expansiones de este tipo en insectos (mariposas, libélulas, ciertos parásitos como la garrapata) aves y vegetación de alta montaña (con desplazamiento hacia cotas más elevadas del límite supra forestal)