



La revista de los
Ingenieros de Caminos,
Canales y Puertos

3545 JULIO-AGOSTO 2013

REVISTA DE
OBRAS PÚBLICAS

ROP



MONOGRÁFICO CAMBIO CLIMÁTICO

Nosotros somos la gran amenaza
Santiago Hernández Fernández y Santiago
Hernández Alonso

El discurso del cambio climático
Pedro Fernández Carrasco

**La realidad del cambio
climático en sus causas,
evolución y efectos**

Antonio Ruíz de Elvira





Cambio climático

Hay cambio climático, siempre lo hay, siempre lo ha habido. La diferencia es la escala temporal en que se está produciendo, mucho menor que en el pasado, de eso hay evidencias incontestables. La cuestión de nuestra responsabilidad en esa aceleración es a corto plazo irrelevante.

Por otra parte, el planeta ha soportado en el pasado remoto climas asociados a temperaturas como las que, a partir de determinados escenarios, se pronostican para dentro de tres o cuatro generaciones (100-150 años). Quien no ha sufrido ese entorno climático es la especie humana (¿4.000.000 de años?). Por otra parte, la naturaleza complejísima de los procesos naturales llena de incertidumbre cualquier análisis proyectivo que se quiera hacer sobre las consecuencias que para el planeta, entendido como organismo vivo, y para nosotros los seres humanos, tendrá a largo plazo ese cambio climático. Lovelock asegura que el planeta se defenderá, lo que no es necesariamente la extinción, sino también, y más probablemente, un anunciado, por algunos reputados científicos, colapso demográfico, que restituyera el equilibrio de las relaciones entre nuestra especie y el planeta del que formamos parte. O que la redistribución de las corrientes marinas, por efecto del cambio climático, provoque un reajuste del mismo..., o realmente la única certeza es que en los próximos doscientos años, se producirán, probablemente, cambios importantes, que afectarán a gran parte de la población mundial, y que en general, pero en particular desde la ingeniería civil, tendríamos que preparar la adaptación al nuevo entorno. A fin de cuentas, la adaptación es el principio fundamental de la evolución, y ésta nunca se ha producido sin la exigencia del entorno natural.

La mitigación y la renuncia a la forma de vida de la sociedad contemporánea, tan ligada al uso de combustibles fósiles baratos, serán procesos lentos, si no media catástrofe, por lo que el desarrollo de los protocolos y mecanismos de adaptación será fundamental para nuestra supervivencia. Ahí la ingeniería civil recupera un protagonismo prometeico como en sus mejores tiempos, ayudando de nuevo a configurar el mejor de los mundos posibles para la vida humana.

Ramiro Aurín

Coordinador de números monográficos

SUMARIO

La revista decana de la prensa española no diaria

Director

Antonio Papell

Coordinador de números monográficos

Ramiro Aurín

Redactores Jefe

Paula Muñoz (reportajes)
Raquel Cubero (información)
Juan A. Sánchez (noticias)

Coordinador

Jesús Benito

Fotografía

Juan Carlos Gárgoles

Publicidad

MM Mass Media
Hermosilla 64 6ºB
T. 91 432 08 39

Imprime

Gráficas 82

Depósito legal

M-156-1958

ISSN

0034-8619

ISSN electrónico

1695-4408

ROP en internet

<http://ropdigital.ciccp.es>

Suscripciones

<http://ropdigital.ciccp.es/suscripcion.php>
suscripcionesrop@ciccp.es
T. 91 308 19 88

Edita

Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
Calle Almagro 42
28010 - Madrid

www.ciccp.es

-
- 7 **La realidad del cambio climático en sus causas, evolución y efectos**
The reality of climate change: its causes, development and effects
Antonio Ruiz de Elvira
-
- 19 **Nosotros somos la gran amenaza**
Santiago Hernández Fernández y Santiago Hernández Alonso
-
- 27 **El discurso del cambio climático**
Pedro Fernández Carrasco
-
- 35 **Impactos del cambio climático y medidas de adaptación**
Alfonso Gutiérrez Teira y José Ramón Picatoste Ruggeroni



-
- 51 **Evidencias y escenarios de cambio climático**
María Jesús Casado Calle y Petra Ramos Calzado
-
- 63 **Análisis de tendencias en el periodo 1921-2010 con series largas de precipitación**
José Antonio López Díaz
-
- 69 **Cambio climático y enfermedades ambientales**
Eugenio Domínguez Vilches y Carmen Galán Soldevilla
-
- 77 **El papel de las energías renovables y la eficiencia energética en la lucha contra el cambio climático**
José María Marcos Fano
-
- 83 **Adaptación al cambio climático en el Delta del Ebro**
Ramiro Aurín Lopera

Consejo de Administración

Presidente

Miguel Aguiló Alonso

Vocales

Juan A. Santamera Sánchez
José Manuel Loureda Mantiñán
José Javier Díez Roncero
Rocío Báguena Rodríguez
Juan Guillamón Álvarez
Luis Berga Casafont
Roque Gistau Gistau
Benjamín Suárez Arroyo
José Antonio Revilla Cortezón
Francisco Martín Carrasco

Comité Editorial

Pepa Cassinello Plaza
Vicente Esteban Chapapriá
Roque Gistau Gistau
Conchita Lucas Serrano
Antonio Serrano Rodríguez

Foto de portada

Abejaruco (*Merop apiaster*), precioso pájaro también africano que cría en España y tiene que acomodarse a los cambios climáticos de dos lugares alejados (Foto: Ángel Rodríguez)



Formación online dirigida a Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos

iccp@structuralia.com www.structuralia.com/iccp



5 plazas limitadas en cada programa con un descuento del 30% en matrícula para Ingenieros de Caminos Canales y Puertos.

www.mbainfraestructuras.com

16ª Edición

Online con fase residencial en Madrid
650 horas

Inicio: Octubre 2013

"En un entorno tan plural y rápidamente cambiante como el actual, el ingeniero precisa de una formación amplia y continua en múltiples materias no sólo técnicas. Un programa como el Executive MBA Internacional de Structuralia y la EOI contribuirá de forma determinante a tu desarrollo profesional como ingeniero en el ámbito de la gestión y la toma de decisiones, y también a potenciar tu desarrollo como persona, para llegar a ser un directivo competente y poder afrontar, así, con éxito los retos de ese mundo complejo y global en el que estamos inmersos".

Mariano Aísa

Conferencia de clausura XV edición Executive MBA Internacional



Structuralia is part of Kaplan, a leading global provider of educational services



Envíanos ya tu CV a executivemba@structuralia.com ¡no te quedes sin tu plaza!

NUEVO

www.mbaenergia.com

Online con fase residencial en Madrid
650 horas

Inicio: Octubre 2013

1ª edición del Máster MBA Internacional de empresas del sector Energético, **especialmente enfocada a las empresas y los profesionales del sector energético internacional.** Potencia las habilidades directivas y aporta los conocimientos necesarios para capacitar a los mejores profesionales, con el objetivo de que puedan liderar y afrontar con éxito y solvencia los retos de este entorno global, aportando un alto valor a la empresa para la que trabajan.



Structuralia is part of Kaplan, a leading global provider of educational services



91 490 42 20 executivemba@structuralia.com

Pregúntanos por otros MBAs de tu interés si tu experiencia laboral es inferior a 3 años en: mbatitulados@structuralia.com



La realidad del cambio climático en sus causas, evolución y efectos



Antonio Ruiz de Elvira

Catedrático de Física Aplicada en la Universidad de Alcalá

Resumen

El cambio climático actual es uno de los cambios climáticos continuos del sistema atmósfera-océano-hielo de nuestro planeta, pero el presente es unas diez veces más intenso y más rápido que los anteriores. La causa es la inyección masiva de gases poliatómicos a la atmósfera, debido al uso de combustibles fósiles como fuente casi gratis de energía. Los efectos del cambio son acumulativos, y de difícil visualización. El análisis y la predicción del cambio precisa de nuevas herramientas matemáticas (de las que aún carecemos) adecuadas al carácter complejo y no lineal del sistema climático.

Palabras clave

Clima, cambio climático, subida de temperaturas, sequías, no linealidad, sistemas complejos

The reality of climate change: its causes, development and effects

Abstract

The actual Climate Change is one of the continuous climate changes of the atmosphere-oceans-ice of our planet, but this one is around ten times bigger and ten times faster than the previous ones. The cause of this increased rate is the massive injection of polyatomic gases into the atmosphere due to the use of fossil coal as the main almost free source of energy. The effects of the present change are cumulative and difficult to notice. The analysis and forecast of this change needs new mathematical tools (that we lack at the present) adequate for the complex and non-linear character of the climate system.

Keywords

Climate, climate change, temperature increase, droughts, non-linearity, complex systems

El clima es la estadística de los estados instantáneos del tiempo atmosférico. Por definición, el clima cambia siempre, al menos siempre que consideremos escalas de tiempo variadas: el clima del último millón doscientos mil años no es el mismo que el clima de los últimos 6.000 años, ni éste el mismo que el de los últimos 2.000 o 1.000 años. Nuestra perspectiva cambia según cambiamos las escalas de tiempo.

En los años 50 y 60 del siglo pasado, los abrigos de pieles eran prendas estándar. Hoy es raro el año en el que hay que utilizarlos. Los glaciares españoles del Pirineo, los alpinos, los de todo el globo están desapareciendo, en una escala de 100 años. Las estaciones agrícolas están cambiando en España y hoy se vendimia en agosto, en vez de hacerlo en septiembre y, en las bandas semidesérticas del planeta, la escasez de lluvias está trastornando la reserva de agua

Climate is the composite or prevailing weather conditions over a given period and, by definition, changes in accordance with the time scales considered. The climate of the last 1,200,000 years is not the same as that of the last 6,000 years, nor this the same as that of the last 2,000 or 1,000 years. Our perspective changes in accordance with these time scales.

In the 1950's and 60's fur coats were commonplace, but one rarely sees them today. Pyrenean and Alpine glaciers, in parallel to those around the world, have rapidly disappeared over the last 100 years. Agricultural seasons have changed in Spain with the grape harvest now in August instead of September and in semi-arid areas throughout the globe, the scarcity of rain has affected groundwater reserves due to a demand that far outstrips water recharge.

Is this a change on a millennium scale, such as glaciations, or rather one on a 100 or 150 year scale such as the rise in temperature

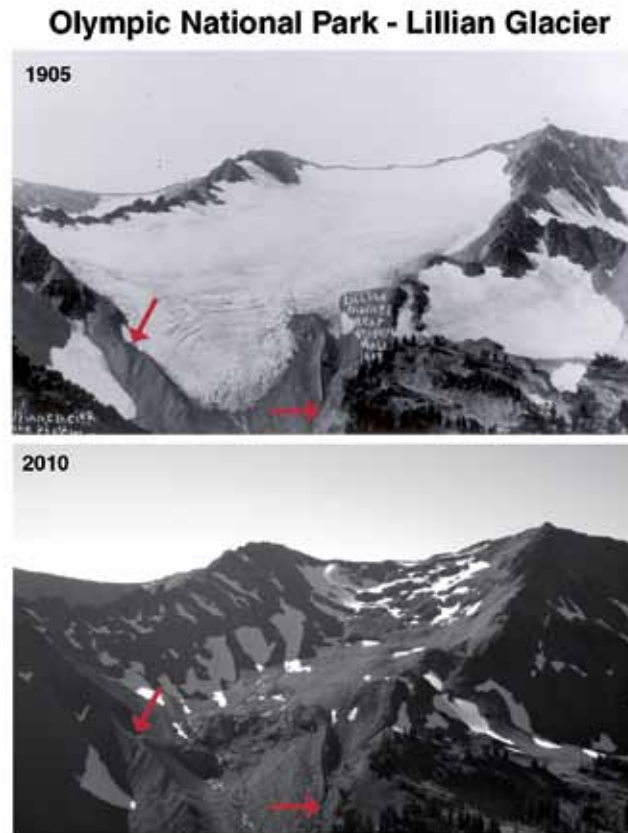


Fig. 1

del subsuelo, por una demanda que supera con mucho la recarga hídrica (Fig. 1).

¿Es esto un cambio como los de la escala de milenios, como las glaciaciones, o un cambio con escalas de 100, 150 años como las subidas de temperatura de la época de las salidas de vikingos de los hombres del norte o el enfriamiento de la pequeña edad del hielo? Realmente no lo sabemos, pero sí tenemos una serie de indicaciones interesantes. Interesantes, sobre todo, a la escala que nos interesa, la escala de dos o tres generaciones, unos 100 años como mucho. Sabemos aún poco del sistema climático, a pesar de 50 años de investigación, y lo que ignoramos se debe a que necesitamos resolver ecuaciones que no hemos querido aprender a resolver.

La ingeniería se desarrolló bajo ideas de la física lineal, del tipo que a doble causa corresponde un efecto doble. De hecho, se esforzó, desde hace siglos, en eliminar la no

during the Viking days that led to the Norse colonization or the late period of cooling during the Little Ice Age? While we really do not know the answer to this question, we do have an interesting series of indicators, particularly in terms of the scale that concerns us, this being one of two or three generations and 100 years at most. After 50 years of investigation we still know very little about the climate system and these unknown factors require us to resolve equations that we have not yet learned or wished to solve.

Engineering is developed along the lines of linear physics to the extent that a double cause corresponds to a double effect. This is so much the case that great efforts have been made over the centuries to eliminate the nonlinearity (with its ensuing doubt) of the natural environment and to attempt to replace this by linear arrangements (one of the best illustrations of this attempt to linearize nature being seen in canals). After centuries of this type of reasoning, the crucial importance of a one-degree rise in the average global temperature or a drop of several litres in the local rainfall is almost impossible to comprehend, and even less so by a good engineer.

linealidad (con su consecuencia de incertidumbre) del ámbito natural y tratar de sustituirla por esquemas lineales (los canales son uno de los mejores ejemplos de este intento de linealización de la naturaleza). Tras siglos de utilización de este tipo de razonamiento, la idea de que la subida de un grado en la temperatura media global, o la disminución de unos litros en la precipitación local son cruciales, es casi imposible de entender, y menos por un buen ingeniero.

Las ecuaciones del clima son no lineales y pertenecen a un sistema complejo de componentes que evolucionan con escalas de tiempo muy diversas. Es obvio que no tienen solución exacta, pues las fluctuaciones se amplifican, pero es obvio también que la amplificación no es infinita. El sistema climático oscila de cuenca en cuenca de atracción, y no sabemos aún, a pesar de ordenadores gigantescos, cómo resolver las ecuaciones que lo rigen. Como con el plasma, estamos intentando subir pendientes del 15 % con Fords modelo T. Se ha hecho un enorme esfuerzo para encontrar la solución de unas ecuaciones no lineales y complejas con las herramientas diseñadas para resolver sistemas simples y lineales. Dejando aquí clara la urgencia de desarrollar otro tipo de análisis matemático, hablaré de lo que, aún con lagunas, sabemos sobre el clima.

Desde 1880 la temperatura media global (TMG) (un promedio de la temperatura instantánea del aire a 2 metros sobre el nivel del suelo en cada punto del globo y a lo largo de un año natural) ha subido (Fig. 2), con altibajos, como corresponde a una variable de un sistema complejo no

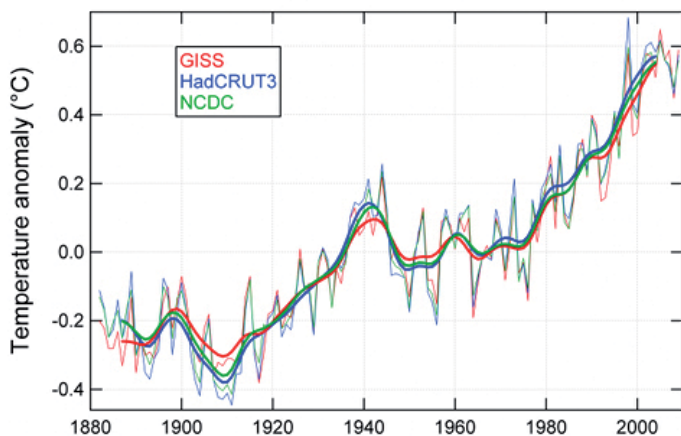


Fig. 2

Climate equations are nonlinear and belong to a complex system of components that evolve with very diverse time scales. While these clearly have no precise solution, as the fluctuations amplify, it is also the case that this amplification is not infinite. The climate system varies from one basin of attraction to another and, in spite of massive computing power, we still do not know how to solve the equations governing the same. We have the tools, but the tools are inadequate and it is like trying to drive up a 15% slope in a Model T-Ford. An enormous amount of time and effort has been made in an attempt to solve nonlinear and complex equations with tools designed for simple, linear systems. When leaving to one side the urgent need to develop another type of mathematical analysis, we shall now move on to discuss what we actually know about the climate, while mindful of the many gaps in this knowledge.

Since 1880 the global average temperature (the average instantaneous air temperature 2 metres above ground level at any point on the globe throughout a calendar year) has shown an overall increase, and while there have been peaks and troughs as corresponding to a variable of a complex, nonlinear system, the fact is that this global average temperature has increased. We have now reached a plateau on the upward rising curve but, after a series of rises and falls, it is clear that the overriding tendency since 1880 is an upward one. The same has occurred with the sea surface temperature and where the Artic sea ice extent, at its lowest annual point, has been seen to shrink constantly ever since it was first measured.

In parallel to all this, the concentration of CO₂ has increased in a slightly exponential manner ever since 1800, this gas absorbing electromagnetic energy in the infrared region, an emission corresponding to the current temperature of the Earth's surface. In theory, any increase in concentration should lead to an increase in the temperature of the surface below, much in the same manner as a wool coat will increase the temperature between the wearer's skin and the coat, as the coat serves to retain the escape of warm air from our skin to the outside. While this is evidently not the only factor controlling the air temperature at the Earth's surface, it is one of the most powerful and direct means of doing so. Other factors are changes in the ocean currents that transport heat from the equator towards the poles and which may change this temperature by changing the amount of Artic ice reflecting the incident energy, or variations in the strength of solar radiation.

There have been interesting changes in the power radiated by the Sun over the last 130 years, but these variations do not serve to explain away the constant rise in temperature over this period.

We shall assume for the sake of argument that there is climate change and accept, as a working hypothesis, that this is caused by the constant emission of CO₂, methane and other industrial gasses.

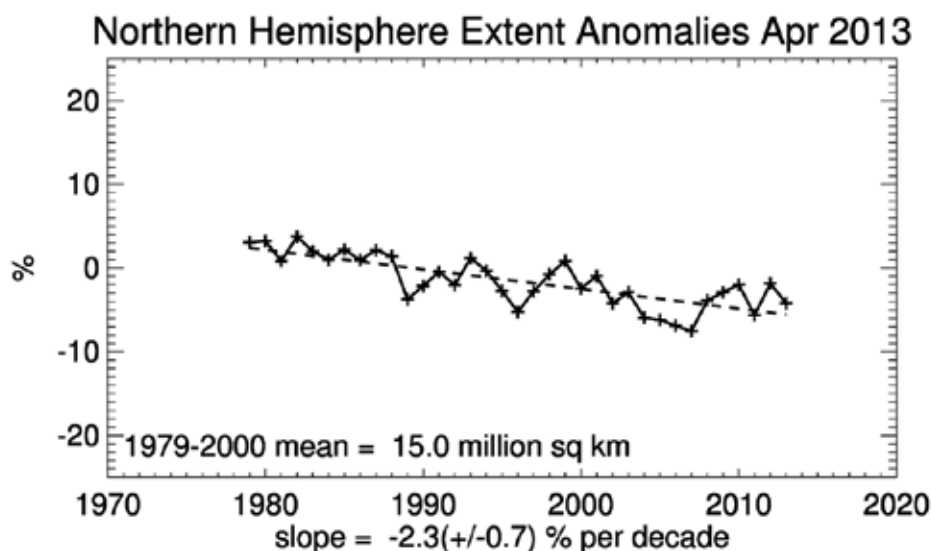


Fig. 3

lineal, pero ha subido. Ahora estamos en una meseta de la curva de subida, y en esta curva hay también bajadas, pero es evidente que la TMG sube desde 1880. Lo mismo ha ocurrido con la temperatura superficial del océano. La secuencia de extensión de hielo en el Ártico, en su punto anual más bajo, ha disminuido de manera constante desde que se empezó a medir (Fig. 3).

Simultáneamente a esto la concentración de CO_2 ha aumentado de manera ligeramente exponencial desde 1800. El CO_2 es un gas que absorbe energía electromagnética en la región del infrarrojo, la emisión que corresponde a la temperatura de la superficie actual del planeta Tierra. Teóricamente un aumento de su concentración debe hacer aumentar la temperatura de la superficie que tiene debajo, lo mismo que el ponernos un abrigo de lana hace aumentar la temperatura del aire entre nuestra piel y el abrigo, ya que el abrigo retiene la salida de aire caliente de nuestra piel hacia el exterior. No es el único mecanismo, evidentemente, que controla la temperatura del aire en la superficie de la Tierra, pero es uno de los más potentes y directos. Otros mecanismos son los cambios en las corrientes marinas que transportan calor del ecuador hacia los polos, y que pueden cambiar esa temperatura al cambiar la cantidad de hielo del Ártico que refleja la energía incidente, o la variación de la potencia de radiación del Sol (Fig 4).

En los últimos 130 años ha habido variaciones interesantes en la potencia solar emitida pero esas variaciones son in-

This emission is going to continue in an ever-increasing manner as there are five thousand million people desperate for energy, which is essential for life and which for many years will continue to be produced from the burning of fossil fuels.

The atmosphere of the Earth and its oceans are in very unstable dynamic equilibrium, in consonance with an enormously complex and nonlinear system. The meteorology of the cooler regions of the planet are directly derived from the meanderings of the polar jet streams, two very powerful air currents that circulate at a height of 11,000 metres around the North and South Poles.

This current (when concentrating on the Northern Hemisphere jet stream) is generated by the difference in temperature between the tropical and the polar zones and where the temperature gradient combines with the Coriolis effect. Its average position is given by the point of the maximum meridian temperature gradient and its strength by the value of this gradient. If there is no gradient there is no circulation, and a lowering of the gradient, even as a result of a temperature drop of just three degrees, weakens the jet streams and these begin to meander. As climate is the historical sequence of weather conditions, a jet stream without meanders implies continuous cold and wet weather conditions over several months and hot and dry conditions throughout the remainder. However, large meanders give rise to continually changing weather conditions, alternating between hot and cold, wet and dry conditions both in winter and in summer: these two radically different climates being simply due to a drop of one degree over 5,000 kilometres of the meridian temperature gradient. In meteorology a change of 1°C is

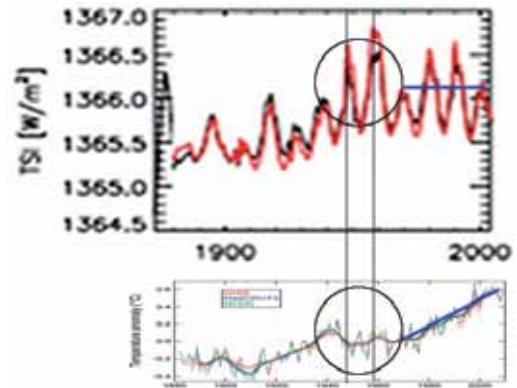
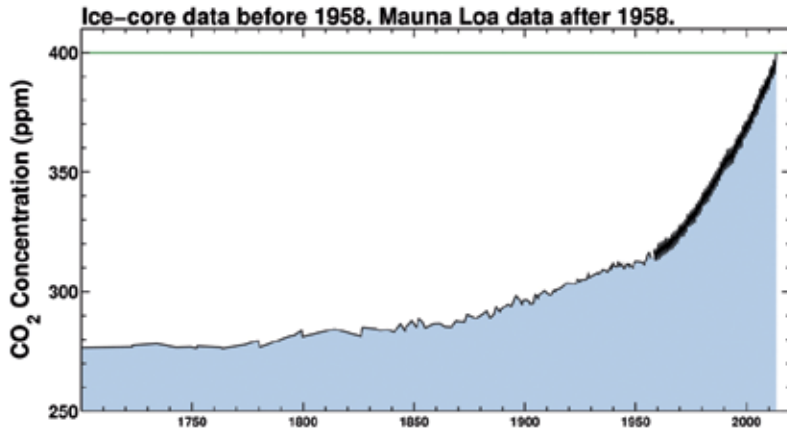


Fig. 4

Fig. 5

capaces de explicar la subida constante de temperaturas a lo largo de esos 130 años (Fig. 5)

Asumamos que hay cambio climático, y aceptemos, como hipótesis de trabajo, que está causado por la emisión constante de CO₂, de metano y de otros gases industriales. Esta emisión va a continuar de manera creciente, puesto que cinco mil millones de personas ansían acceder a la energía que es la vida, y esta energía será, durante mucho tiempo, la quema de combustibles fósiles.

La atmósfera de la Tierra y sus océanos están en un equilibrio dinámico muy inestable, como corresponde a un sistema enormemente complejo y no lineal. La meteorología de las regiones templadas del planeta deriva directamente de los meandros de los chorros polares ('polar jet'), dos corrientes de aire muy poderosas que circulan a 11.000 metros de altura rodeando el Polo Norte y el Sur.

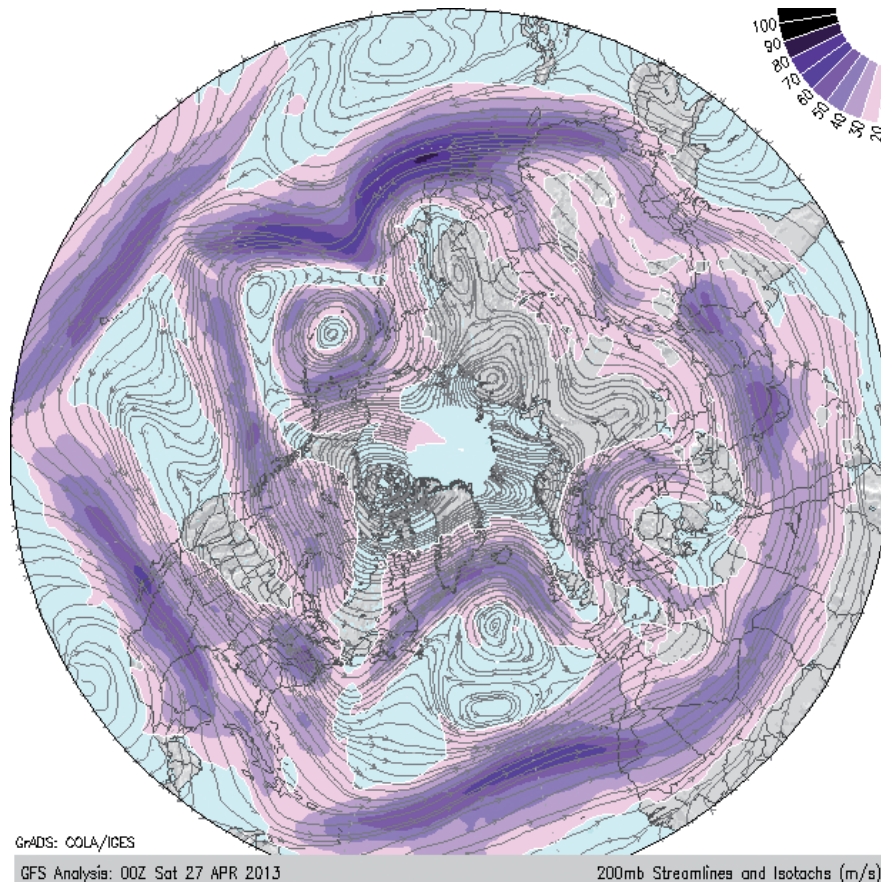
Esta corriente (me voy a centrar en la corriente del hemisferio norte) se genera por la diferencia de temperaturas entre la zona tropical y la zona polar, combinando el gradiente de temperaturas con la aceleración de Coriolis. Su posición media viene dada por el punto de máximo gradiente meridiano de temperaturas y su intensidad por el valor del gradiente. Sin gradiente no hay circulación y con un gradiente reducido, incluso debida la reducción a la bajada de no mas de tres grados, la corriente se debilita y empieza a hacer meandros. Puesto que el clima es la secuencia histó-

an enormous amount and where the heating of just 1°C for the entire atmosphere would entail 1015 kwh, or the equivalent to the worldwide energy consumption over 10 years.

The atmosphere and the oceans are essentially conveyor belts (with these latter also serving as energy reservoirs) that transport energy from the tropical regions to the rest of the planet. As the system is essentially a hydraulic machine, any slight small difference in the circulation of both fluids leads to vast differences in the climate behaviour. A third factor also has to be added to all this in the form of the ice cover of the Polar regions. In the same way that the Earth's temperature depends on the concentration of water vapour and CO₂ retains the energy emitted from the surface in the manner of an almost black body, the polar icecaps and the glaciers act on the energy received by the Earth, acting as an almost perfect mirror.

Some 35 million years ago South America split from Antarctica to form the Drake Passage and this gateway eventually led to the formation of the Antarctic Circumpolar Current and cut Antarctica off from warm southward flowing currents leaving it frozen and desolate. The GAT fell one degree due to the effects of energy reflection and the ensuing reduction in the energy received by the Earth from the Sun.

Following the closure of the Panama Strait some three million years ago and in accordance with the current position of the continents, there are now two ocean conveyor belts that distribute energy and control the Earth's climate: the meridional circulation, formed in part by the Gulf current, and the Kuroshio current in the North Pacific.



200mb Streamlines and Isotachs (m/s)

Fig. 6

rica de estados del tiempo meteorológico, una situación de chorro sin meandros implica un clima de estados de tiempo continuos: frío y lluvia a lo largo de varios meses, calor y sequía a lo largo de otros. Una situación de meandros intensos implica alternancias continuas de calor y frío, de lluvia y tiempo seco, tanto en invierno como en verano: dos climas radicalmente distintos, debidos, sencillamente, a la debilitación en un grado por 5.000 kilómetros del gradiente meridiano de temperaturas. En la meteorología 1 °C es una cantidad enorme. Un calentamiento de 1 °C supone, para toda la atmósfera, 10^{15} kWh, el consumo mundial de energía durante 10 años (Fig. 6).

La atmósfera y los océanos son esencialmente cintas distribuidoras de energía (actuando los últimos de almacén de la misma, adicionalmente) desde la zona de su captura, esencialmente los trópicos, al resto del planeta. Puesto que el sistema es esencialmente una máquina hi-

We shall turn our attention to the first of these, often referred to as the AMOC (Atlantic Meridional Overturning Circulation) by way of example and because this directly concerns Europe. The prevailing winds in the tropics are the easterly trade winds that carried the merchant sailing ships from Europe to America. These winds force the warm intra-tropical surface waters from Africa to the Caribbean and the warm water is further reheated and, as a result of thermal expansion, increases in volume and height over the cold waters of the Atlantic. The warm water then heads out through the Florida Strait where as a result of the Coriolis effect and the prevailing winds, the current then heads eastward to Europe. Part of the warm, salt water turns towards the coast of Portugal, but the majority heads into the North Sea between Scotland and Iceland. This very salty water increases in salinity further still when ice forms in the winter and expels the salt into the sea.

This dense overflow water then heads downwards through the 2,500 m chasm of the Denmark Strait between Iceland and Greenland (This is an

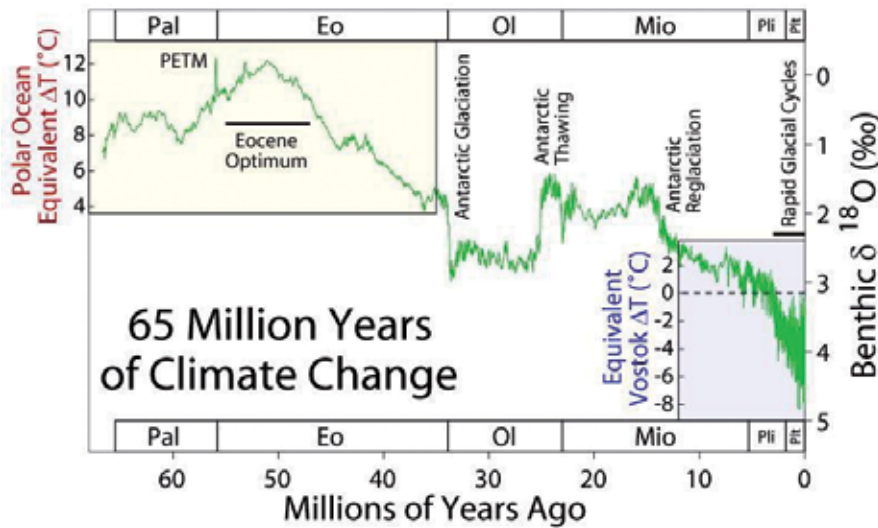


Fig. 7

dráulica, las ligeras diferencias de circulación de ambos fluidos suponen inmensas diferencias de comportamiento climático. A esto es preciso añadir un tercer elemento: la cubierta de hielo de la superficie. Así como la temperatura del planeta depende de la concentración de vapor de agua y CO₂ en la atmósfera, que retienen la energía que la superficie emite como cuerpo casi negro, el hielo de los casquetes polares y de los glaciares actúa sobre la energía recibida por la Tierra, funcionando como un espejo casi perfecto.

De hecho, la separación del continente americano de la Antártida al establecerse el Estrecho de Drake supuso el establecimiento de la corriente oceánica circumpolar antártica y el aislamiento térmico del Polo Sur del resto del globo. La Antártida se heló de manera brusca (a escala histórica) y la TMG cayó un grado hace 35 millones de años, al disminuir, por reflexión, una parte de la energía que recibe la Tierra desde el Sol (Fig. 7).

schematic description. Scientific literature abounds in debates on the effects of the combination of salt and fresh water, topography and other details, but the reality is as described above). The current continues along the bottom of the ocean until Antarctica, where it then enters the Indian Ocean, turns to the south of the Philippines and returns to the surface once more around South Africa and the Saharan coasts.

The balance between the Arctic ice cap, that acts as a thermostat, and the AMOC meridional circulation has, throughout the present geological stage, maintained the Earth's climate in a cold, metastable state, alternating between glaciations and deglaciations over the last 800,000 years with irregular time intervals of around 100,000 years. The Earth's orbital parameters, eccentricity, ecliptic angle and equinox precession, while not generating any of these time scales, may act as the trigger for other phenomena that cause changes in the north ice cap of the planet. These changes are very abrupt and are essentially due to the speed of the thawing or freezing of the polar caps and respond to positive feedback climate processes such as ice-albedo feedback.

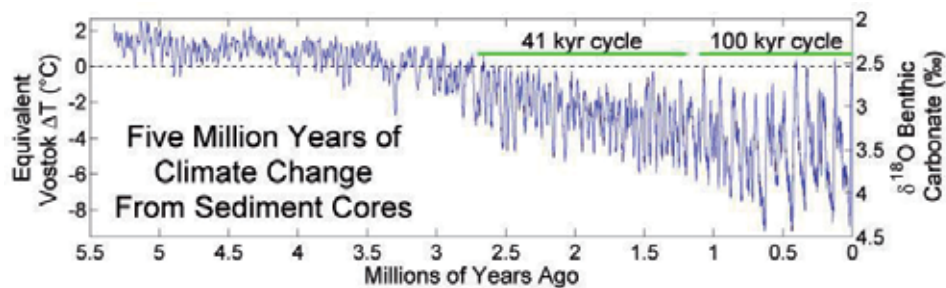


Fig. 8

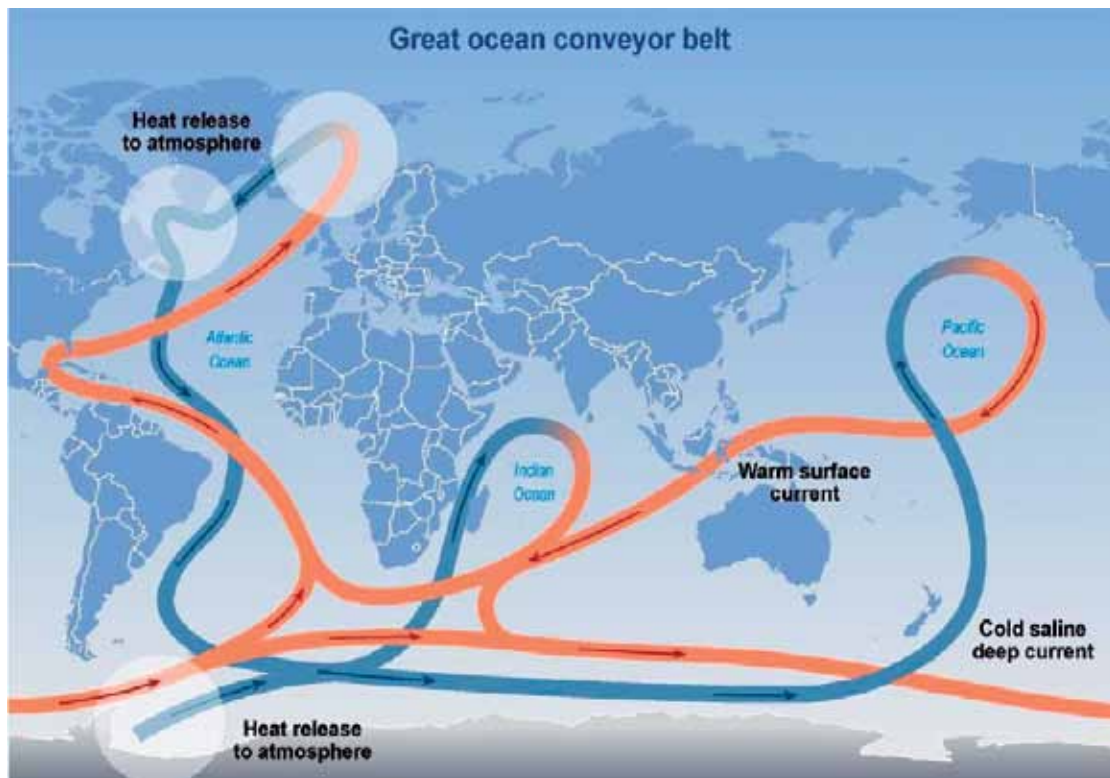


Fig. 9

Hoy, con la posición actual de los continentes y el cierre del Estrecho de Panamá hace unos 3 millones de años, hay dos cintas transportadoras oceánicas que distribuyen la energía y controlan el clima terrestre: la circulación meridiana, de la que una parte es la corriente del Golfo, y la corriente del Kuro-Shio en el Pacífico Norte (Fig. 8).

Fijémonos en la primera, que se suele denominar AMOC (*Atlantic Meridional Overturning Circulation*), como ejemplo, y porque atañe a Europa directamente. Los vientos dominantes en la línea de los trópicos son los alisios en dirección este-oeste, los que hacían posible el paso de Europa a América de los barcos de vela. Estos vientos arrastran agua desde las costas de África hacia el Caribe. El agua, caliente en origen se recalienta en este mar Mediterráneo y allí aumenta su volumen por dilatación térmica y, por tanto, su altura sobre las aguas frías del Atlántico: el agua caliente sale por el estrecho de Florida y se dirige, por la aceleración de Coriolis y los vientos dominantes, hacia Europa. Una parte del agua caliente y salada gira hacia las costas de Portugal, pero la mayor parte entra en el Ártico entre Escocia e Islandia. Es agua cargada de sal, que au-

Over the last glacial periods, that is to say over the last million years, the CO₂ concentration has varied between 180 and 280 ppm in the atmosphere. However, this concentration is now set at a level of 400 ppm and we continue to pump CO₂ into the atmosphere to such an extent that the annual increase is around 1.75 ppm/year. If we continue to pour CO₂ into the atmosphere at this rate, we will reach 450 ppm in 2040, and 500 ppm in 2070, these being concentrations that have not been matched in the planet for tens of millions of years.

The initial repercussions of this increase in IR retention in the lower atmosphere are the accelerated melting of Greenland glaciers, the thawing of permafrost in the Siberian and Canadian tundra and the thinning of ice in the Arctic Ocean, at the north pole. This reduction in ice acts a positive feedback system, as the loss of ice means that more radiation within the visible spectrum will reach land and sea, and lead to greater energy retention within the same.

In addition to which, a thawing of the Siberian permafrost would inject vast amounts of fresh water into the Arctic and alter the salinity of the same, which would, in turn, complicate the passage of water through the Denmark Strait and, subsequently, the entry of warm water to the Arctic via the Gulf Stream. We are once again in a situation of

menta aún más su contenido en esta materia cuando en invierno se forma hielo, que expulsa la sal del agua del mar al congelarse. Agua fría y salada es agua pesada (Fig. 9).

Entre Islandia y Groenlandia, el estrecho de Dinamarca presenta un talud de unos 2.500 metros de caída por donde sale el agua pesada de exceso que entra mediante la corriente del Golfo (ésta es una descripción esquemática, la literatura científica abunda en discusiones sobre los efectos de la mezcla de agua salada y dulce, la topografía y otros detalles, pero la realidad es la que he descrito). La corriente sigue, llega a la Antártida por el fondo del océano entra en el Índico, gira al sur de Filipinas y vuelve en superficie de nuevo hacia África del sur y a las costas saharianas.

Entre la capa de hielo del Ártico, que actúa de termostato, y la corriente meridiana AMOC, el clima del planeta se mantiene, en la presente etapa geológica, en una situación metastable, fría y oscilante entre glaciaciones y deglaciaciones que han ocurrido en los últimos 800.000 años con escalas de tiempo irregulares del orden de 100.000 años. Las distintas excentricidades del movimiento del planeta Tierra, orbitales, de precesión y ángulo de su eje de giro no generan ninguna de estas escalas de tiempo, pero pueden ser un punto de partida para otros fenómenos que generan los cambios de cubierta helada del norte del planeta. Los cambios son muy bruscos y la brusquedad se debe esencialmente a la velocidad de fusión del hielo o

metastable equilibrium which may evolve in one direction or another with just the smallest changes in parameters. Our mathematical tools are not precise enough to establish the direction in which developments will take place and, at a time where the science appears somewhat ill at ease, this problem then presents a huge scientific and practical challenge.

Climate-related equations are generally resolved by numerical models that give answers to suit all tastes. All the models reveal multidecadal and secular variations, though no model is capable of extending the integration of the equations to scales of thousands of years. There is a certain degree of confidence among scientists, engineers and economists with respect to numerical models. They trust their results. However, numerical models are like oscilloscopes: laboratory tools that give some idea how a system works but do not faithfully reproduce the same. This trust is based on the fact that many of the problems dealt with in engineering are artificial problems and concern systems subject to strict boundary lines (canals, roads, dams, ports, flights paths, lineal machinery, etc., etc.) which require a series of generally linear equations.

Nature is not like this and the boundaries change further and faster than the systems themselves. With regards to the AMOC, what we could really say is that its movements have produced glaciation over the last million years, but have done so with very low CO₂ concentrations. We do not know how the AMOC would behave with concentrations higher than 400 ppm, as when the Earth previously had this level of concentration the Panama isthmus was open and the continents were arranged in a different manner to today. However,

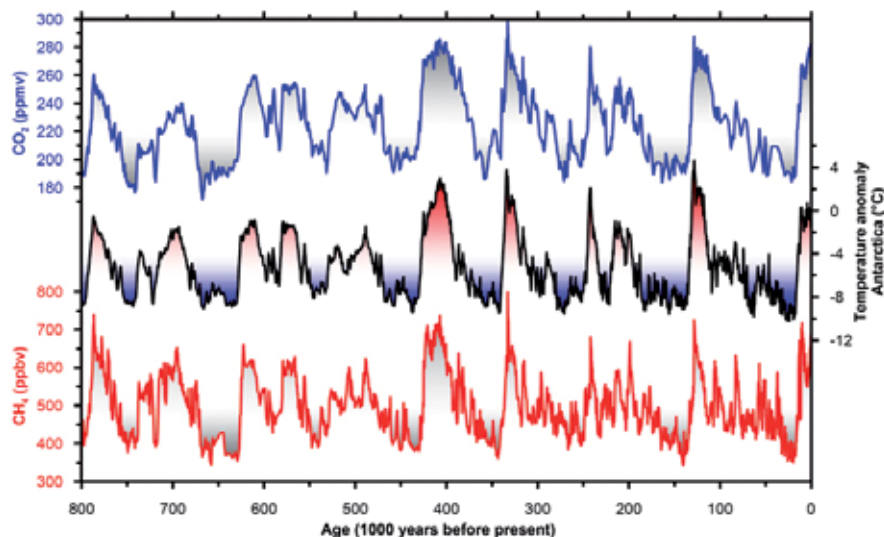


Fig. 10

congelación de los casquetes polares, que son fenómenos realimentados positivamente (Fig. 10)

Durante los últimos periodos glaciales, es decir, durante el último millón de años, las concentraciones de CO₂ se han movido entre las 180 y las 280 ppm (partes por millón) en la atmósfera, mientras que hoy la concentración de CO₂ ha alcanzado ya las 400 ppm. Hoy, también, estamos emitiendo CO₂ de manera que el aumento de su concentración en la atmósfera es de 1,75 ppm/año, de forma que si este ritmo se mantiene alcanzaremos las 450 ppm en 2040 y las 500 ppm en 2070. Esta concentración no se ha alcanzado en el planeta desde hace muchas decenas de millones de años.

La primera consecuencia del aumento de retención de radiación infrarroja en la baja atmósfera es el deshielo, acelerado, de los glaciares de Groenlandia, de la tundra siberiana y la disminución, también acelerada, de la acumulación de hielo en el océano Ártico, en el Polo Norte. Esta disminución de hielo funciona como un sistema de realimentación positiva, pues menos hielo supone más llegada de radiación en el rango del visible al suelo y al mar, y más retención de energía en éstos.

Por otro lado, una Siberia deshelada inyecta mucha agua dulce al Ártico, de manera que cambia la salinidad del mismo, y esto influye en la dificultad de salida del agua por el estrecho de Dinamarca, y por tanto en la entrada de agua caliente a este Ártico gracias a la corriente del Golfo. Estamos de nuevo en una situación de equilibrios metastables que pueden evolucionar en una dirección u otra con minúsculos cambios en los parámetros. Estamos ante fenómenos no lineales de sistemas complejos. Nuestras herramientas matemáticas no tienen la precisión necesaria para determinar el sentido de la evolución, y el problema, en una etapa en la cual la ciencia parece un poco alicaída, presenta un enorme desafío científico y práctico.

En general, las ecuaciones que rigen el clima se resuelven mediante modelos numéricos que dan respuestas para todos los gustos. Todos los modelos indican variaciones multidecadales y seculares, aunque ningún modelo es capaz de extender la integración de las ecuaciones hasta escalas de miles de años. Hay, entre científicos, ingenieros y economistas, una cierta dosis de confianza en los modelos numéricos. Confianza en sus resultados. Los modelos numéricos son como osciloscopios: herramientas de laboratorio para obtener una cierta idea de como se comporta un sistema, pero no

numerical models are constantly used to establish how the earth's climate will behave under these variable conditions and every new model gives answers that are different from the other models. We have the tools, but the tools cannot be trusted.

In situations such as this, it is far more reasonable, though less common, to use a precautionary approach which attempts to establish potential threats or outcomes and to then take the necessary measures with respect to the same. An example may be given by way of illustration: large waves can cause considerable damage to coastal structures; floods can lead to loss of life as may hurricanes. Can a wave then be higher than a 100 metres? How often do waves of over 20 metres occur? How many Category 5 hurricanes may occur in the Gulf of Mexico each year? In the North Sea oil rigs have design protocols for 25 metre waves and it is, in fact, taken that these types of wave may occur. However, the USA lacks any such protocol with respect to intense hurricanes and for this reason hurricane Katrina in New Orleans and Sandy in New York proved so devastating.

What are the expected effects of a climate change that is clearly going to continue and worsen throughout the 21st century? Climate acts on society in an integral manner, that is to say, its effects are accumulative and it is then far more difficult to establish action protocols for this scenario than for a giant wave that lasts a couple of hours.

Humans need fresh water and need it in ever growing amounts due to the rise in population. Water is obtained from rainfall over a specific place at a specific time or from natural or artificial rivers and groundwater. The problem of water is not so much one of quantity, but one of availability. By way of illustration, California, like Spain, has dams on all its major rivers. The water stored in reservoirs lasts up to April or May and from this time on it is necessary to resort to surface runoff, such as that from the snows in the Sierra Nevada. And this "runoff" is ever rapidly decreasing. There is a water shortage, but this water shortage is particularly acute in the summer months when there is no rain.

The Sahel is home to some 50 million people and 300 million people live between the Sahara and the Gulf of Guinea. Here, as in India or Indochina, monsoons serve as the primary source of water, in terms of quantity and availability, though in the case of Africa this primarily refers to the summer monsoon as there is no transversal mountain range.

The Mediterranean-Middle Eastern region is already suffering the effects of climate change. There is no direct influence, but it is su-

reproducen fielmente el tal sistema. La confianza deriva de que muchos de los problemas tratados en la ingeniería son artificiales: son sistemas a los que se imponen ligaduras estrictas (canales, carreteras, diques, puertos, vuelos a lo largo de caminos aéreos, máquinas lineales, etc.) para que sigan un cierto conjunto de ecuaciones, generalmente lineales.

La naturaleza no es así y las ligaduras cambian más y más deprisa que los propios sistemas. Con respecto a la AMOC, lo que realmente podemos decir es que sus movimientos han producido las glaciaciones durante el último millón de años, pero lo han hecho con concentraciones muy bajas de CO₂. No sabemos cómo se comporta la AMOC cuando las concentraciones son superiores a 400 ppm, entre otras cosas porque cuando el planeta tenía esas concentraciones estaba abierto el istmo de Panamá o los continentes estaban dispuestos en una geometría distinta de la actual. Es evidente que los modelos numéricos se utilizan de manera constante para tratar de determinar cómo se va a comportar el clima de la Tierra en estas condiciones variables. Cada modelo de los existentes produce respuestas diferentes de las del resto de los modelos. Tenemos herramientas, pero las herramientas no son muy de fiar.

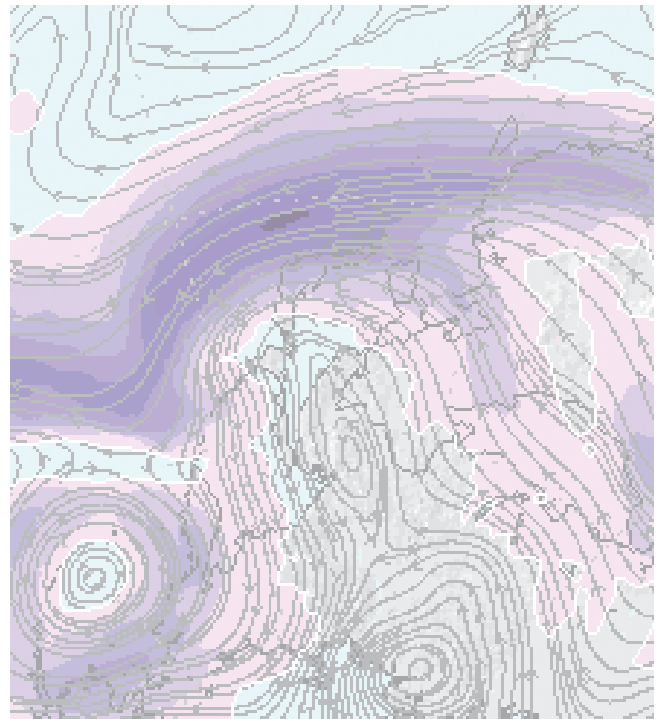
Ante situaciones como ésta lo razonable, aunque no lo habitual, es utilizar el principio de precaución que, como es sabido, es tratar de determinar posibles extremos y tomar las medidas oportunas frente a ellos. Un ejemplo nos aclara esta afirmación. Las olas grandes causan daños muy considerables en las estructuras costeras. Las inundaciones causan hasta víctimas humanas, lo mismo que los huracanes. ¿Puede una ola ser mayor de 100 metros? Y olas de más de 20 metros, ¿con cuánta frecuencia ocurren? ¿Cuántos huracanes son de esperar anualmente en el golfo de México de categoría 5? Ante olas de 25 metros en el mar del Norte, las plataformas petrolíferas tienen diseñados protocolos de actuación: de hecho, suponen que pueden darse este tipo de olas. Ante huracanes intensos, sin embargo, los EE. UU. carecen de tales protocolos, y por eso los daños de los últimos –Katrina en New Orleans y Sandy en New York– han resultado tan dañinos.

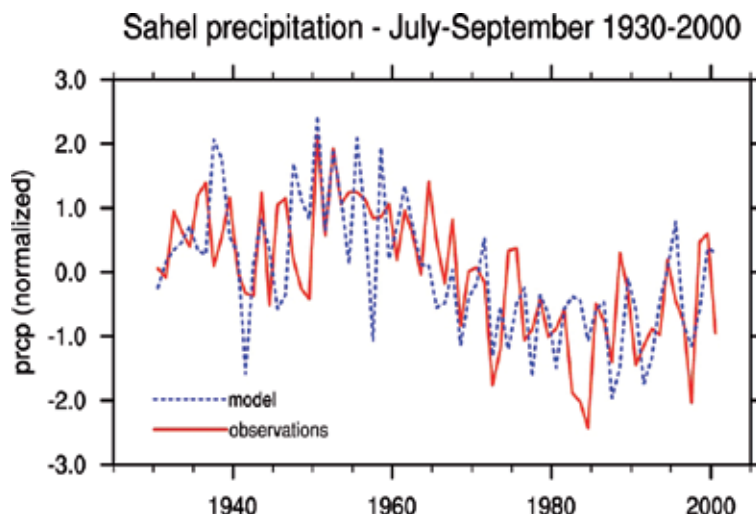
¿Cuáles son los efectos esperables de un cambio climático que es evidente que se va a mantener e intensificar durante el siglo XXI? El clima actúa sobre la sociedad de manera integrada, es decir, sus efectos son acumulativos, de manera que es mucho más difícil establecer protocolos de actuación en este caso que frente a una ola gigante que dura un par de horas.

ffering. The highest temperatures since 1800 have been recorded in the Persian Gulf in 2010 and 2011 and the ensuing 10% reduction in water runoff estimated for the year 2050 will have to meet demands that are projected to increase by a further 60% (Ref. 1). By way of example, a few years ago there was a plague of common voles in Spain. A rational explanation for this plague would be that a warm winter tends to lead to an early start in the activity of the vole population and where the first litters appeared in February rather than April. As the growth in this population is exponential to something that is not climate related, but rather a human related factor, the numbers of common voles took on plague proportions by October. This non-climate related factor, referring to the almost complete eradication of birds of prey and vermin that previously served to control the growth of the rodent population.

In the same way, a small reduction in the amount of rainfall or the time of this rainfall, together with massive deforestation and the channelling of water, with the vast amount of evaporation produced by the same, then leads to droughts, through positive feedback, which does not lineally correspond to this reduction.

We need another type of engineering that takes into account the intrinsic nonlinearity of nature and one capable of understanding that small disturbances to a system may have very large effects. **ROP**





Los seres humanos precisan agua dulce y la precisan en cantidades crecientes de acuerdo con el aumento de población. El agua se obtiene por precipitación sobre el lugar y el momento, o por conducción mediante ríos naturales y artificiales y almacenamiento en acuíferos en el subsuelo. El problema del agua no es esencialmente uno de cantidad, sino mucho más de oportunidad. Pongamos algunos ejemplos: California tiene todos sus ríos embalsados, como España. El agua de los embalses dura hasta abril/mayo. A partir de ahí el agua debe ser del 'embalse' que son las nieves en la Sierra Nevada. Y este 'embalse' está disminuyendo a marchas aceleradas. Falta agua, pero sobre todo falta agua cuando no llueve, durante el verano boreal.

El Sahel es hogar de unos 50 millones de personas y 300 millones viven entre el Sahara y el Golfo de Guinea. Como en la India e Indochina, su suministro de agua depende, en cantidad y oportunidad, de los monzones, y particularmente en África, puesto que no hay cordillera transversal, del monzón de verano.

Las lluvias del Sahel tienen una clara tendencia descendente (Fig. 11).

La región Mediterránea-Oriente Medio está sintiendo ya los efectos del cambio climático. No hay influencia directa, pero lo está sufriendo. Las temperaturas más altas desde 1800 se han registrado en 2010 y 2011 en el Golfo Pérsico, y la reducción de agua será del 10 % en 2050, para una demanda un 60 % mayor que la actual¹

Pongamos un ejemplo. Hace unos años sufrió España una plaga de topillos de campo. Preguntado por esto, indiqué la repuesta racional: un invierno cálido provoca un inicio temprano de la actividad de los topillos, de manera que su primera camada ocurre en febrero, en vez de en abril. Puesto que el crecimiento es exponencial por algo que no es el clima, sino el ser humano, en octubre la cantidad de topillos se ha convertido en una plaga. Ese algo que no es el clima es que también antropogénicamente hemos casi erradicado las aves de presa y las alimañas, que son las que realmente controlan el crecimiento de las poblaciones de roedores.

De la misma manera, una pequeña disminución de la cantidad de agua precipitada, o de la fecha de precipitación, unida a la acción humana de deforestación masiva y canalización del agua con su evaporación también masiva produce, por efecto de realimentación positiva, sequías que no corresponden linealmente con esa disminución.

Necesitamos otro tipo de ingeniería que tenga en cuenta la no linealidad intrínseca de la naturaleza y que sea capaz de estimar que los impactos de una causa pequeña pueden llegar a ser muy grandes. **ROP**

Notas

(1) 'Adaptation to a Changing Climate in the Arab Countries', Dorte Verner, Editor, Report 64635 - MNA, The World Bank, 2012

Nosotros somos la gran amenaza



Santiago Hernández Fernández
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos



Santiago Hernández Alonso
Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos

Resumen

Se analizan las causas que motivan las grandes variaciones del clima terrestre desde la aparición de la vida y las beneficiosas consecuencias del efecto invernadero natural; la hipótesis Gaia de James Lovelock, como teoría sencilla que abarca una complejísima realidad; los efectos reales del calentamiento actual que pueden apreciarse sobre algunos animales y plantas; para terminar comentando la dificultad de cuantificar las consecuencias del cambio climático ahora, los intereses implicados y unas breves conclusiones, con la gran pregunta.

Palabras clave

Cambio climático, efecto invernadero, cambios fenológicos, efectos sobre la biosfera, hipótesis Gaia, clima terrestre

Abstract

The article examines the causes behind the great variations in the Earth's climate ever since life began and the beneficial consequences of the natural greenhouse effect. Consideration is given to James Lovelock's Gaia theory, as a simple theory covering a complex reality, before moving on to examine the real effects of warming that may be currently observed in certain animals and plants. The article concludes by commenting on the present difficulty in quantifying the consequences of climate change and the interests involved in the same among other factors.

Keywords

Climate change, greenhouse effect, phenological changes, effects on the biosphere, Gaia hypothesis, the Earth's climate

1. El clima terrestre cambia continuamente a velocidad geológica

El astrónomo yugoslavo Milutin Milankovitch descubrió, entre 1920 y 1930, las causas que provocaban las variaciones de radiación solar recibidas por la tierra, es decir: a) la Tierra gira alrededor del sol describiendo una “órbita elíptica” y el Sol está en uno de sus focos; b) la “excentricidad” de la órbita terrestre pasa de más elíptica a más circular, cada 100.000 años; c) la Tierra realiza un lento balanceo, similar al de una peonza (movimiento de “precesión”), cada 25.700-25.900 años; d) finalmente su eje de rotación tiene, además, un movimiento de oscilación por la atracción de la Luna (movimiento de “nutación”), con un ciclo de 18,6 años.

Por su parte el Sol, con sus reacciones nucleares, “incrementa su luminosidad” un 10 % cada 1.000 millones de años (<http://foro.tiempo.com/variables-climaticas-a-nivel-mundial-t78734.0.html>).

También conocemos el flujo del calor solar en la Tierra: a) llegan $1,74 \times 10^{17}$ w, a la sección transversal terrestre que, en el exterior de la atmósfera equivale a “ 1.366 w/m^2 ”; b) como llega más calor al ecuador que a los polos, hay un flujo de calor hacia los polos para equilibrar el sistema que es el motor de los movimientos del aire atmosféricos y de las corrientes oceánicas, distribuidoras del calor; c) “el transporte total de calor de la zona cálida hacia la zona fría se estima en unos $5,5 \times 10^{15}$ w. Se acepta que el transporte a través de la máquina atmosférica cuadruplica, más o menos, el transporte a través de la máquina oceánica” (Ramón Margalef, “Planeta azul, planeta verde”, 1992).

La energía solar que llega al planeta es: a) absorbida por la atmósfera (16 %), las nubes (3 %) y por la superficie terrestre (51 %); b) reflejada directamente al espacio por el aire (6 %), las nubes (20 %) y la superficie terrestre (4

%). El flujo entrante (30 %), de alta frecuencia, atraviesa la atmósfera con facilidad. Pero el 70 % absorbido es emitido a baja frecuencia y es interceptado por los gases de efecto invernadero. Estos gases son, principalmente, el dióxido de carbono (CO_2), el vapor de agua, el metano y el ozono. Si no existieran estos gases la temperatura superficial media sería de unos -18°C .

Teniendo en cuenta que: a) la troposfera contiene el 75 % de la masa de gases totales que componen la atmósfera; b) el 99 % de la masa atmosférica se encuentra por debajo los 30 km de altura (GCCIP, 1997; Miller, 1991) y c) es la zona donde se producen todos los fenómenos meteorológicos y donde los gases de efecto invernadero producen su acción benéfica de forma natural.

Podemos aceptar que hacemos muy mal cuando contaminamos y modificamos sus componentes, pues esta delgada capa de gases es la que ha mantenido los equilibrios necesarios para hacer que nuestro planeta sea habitable para nosotros y todo el resto de la biocenosis terrestre.

Finalmente, la “geodinámica interna”, con el movimiento de las placas terrestres, cambia de lugar los continentes, abriendo y cerrando mares, y modifica el relieve creando montañas, que alteran o interrumpen las corrientes marinas y la circulación de borrascas, modificando el clima drásticamente.

La resultante de todas las fuerzas presentes en este complejo sistema se mantiene en equilibrio dinámico, dando lugar al variadísimo clima terrestre y a sus fuertes oscilaciones, a corto, medio y largo plazo. Hablando en términos geológicos, el clima terrestre está variando continuamente, con etapas, en que se suceden periodos glaciales e interglaciales, de decenas y centenas de millones de años, en los que buena parte del planeta ha estado congelado y el nivel del mar oscilaba ± 100 metros.

Pero existe una característica común en todos estos “cambios naturales”: que se producían en plazos de tiempo muy largos y la biocenosis se adaptaba evolutivamente a ellos. Por citar un ejemplo, después de la última glaciación de Würm (hace 13.000 años) los bosques de robles volvieron a ocupar Europa, desde Andalucía hasta Noruega, Suecia y Finlandia, en poco más de 6.000 años a medida que se apartaban los hielos (‘La epopeya de los robles europeos’, Mundo Científico 2001, nº 225).

Cuando los cambios se producían bruscamente, por choques de meteoritos o catástrofes geológicas masivas, teníamos las grandes extinciones cuyas consecuencias biológicas tardaban decenas, o cientos, de millones de años en recuperarse. Se han producido unos 20 episodios de extinciones masivas, 5 de ellas más conocidas por sus enormes efectos.

2. Hipótesis Gaia reguladora del clima planetario

Viendo la figura 1 –evolución de las temperaturas según Veizer–, resulta sorprendente que “la temperatura media global del planeta se haya conservado en un intervalo de solamente unos 12°C ”, entre $+9^\circ\text{C}$ y -3°C sobre la temperatura actual, desde que aparece la vida. Es decir que el “efecto invernadero natural” nos haya protegido muy eficazmente con nuestra aparentemente “frágil atmósfera”.

En su hipótesis Gaia, James Lovelock, consideraba que la vida no solo influye colectivamente en su medio ambiente, obteniendo condiciones más favorables para su existencia, sino que es la vida misma quien regula y controla su medio ambiente. Lovelock defendía –ver la figura 2, la vida como agente geológico Lovelock (1988)– que la aparición de la vida sobre la tierra cambió drásticamente la temperatura en la superficie del planeta. Los pasos fueron primero reducir la concentración de CO_2 , generar metano (CH_4) y elevar la cantidad de O_2 ; para, luego, bajar la concentración de CH_4 , mientras seguía reduciendo el CO_2 y subiendo el O_2 . El contenido del ‘cuadro de Lovelock’ no puede ser más elocuente. La vida terrestre ha reducido drásticamente el CO_2 , ha elevado al 79 % el N_2 y al 21 % el O_2 . Además, la temperatura de Tierra sin vida, que debería ser de 290°C , ha sido reducida a unos 13°C .

Es una teoría que muestra de forma original, sencilla y bonita, un modelo práctico que integra la complejidad de un sistema, del que no sabemos casi nada, permitiendo orientar muchas hipótesis y formular nuevos problemas. Lo cierto es que la vida cambió al planeta y ambos evolucionaron miles de millones de años juntos. Creo que, seguramente como Darwin, Lovelock tiene razón.

Hay una afirmación que me ha sorprendido por su valentía, me refiero a la de Ramón Margalef en su libro ‘Planeta azul, planeta verde’, en 1992, que dice así: “Pero, si se sabe leer entre líneas el libro de Lovelock, se comprende que uno de los mecanismos de regulación de la biosfera o de Gaia, tan eficaz como el que más, puede consistir,

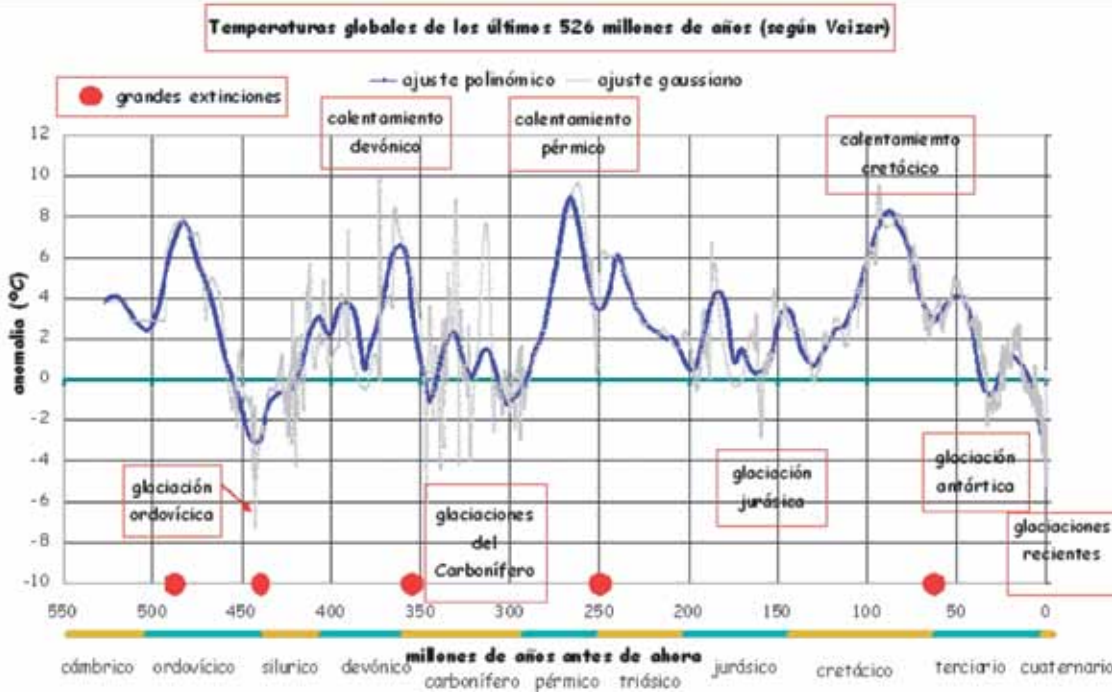


Fig. 1. Evolución de las temperaturas según Veizer

La vida como agente geológico

Gas	Venus	Tierra (muerta)	Marte	Tierra (viva)
CO ₂	98 %	98 %	95 %	0,03 %
N ₂	1,9 %	1,9 %	2,7 %	79 %
O ₂	trazas	trazas	0,13 %	21 %
Temperatura (°C)	477	≈290	-53	13

Fuente: LOVELOCK (1983)

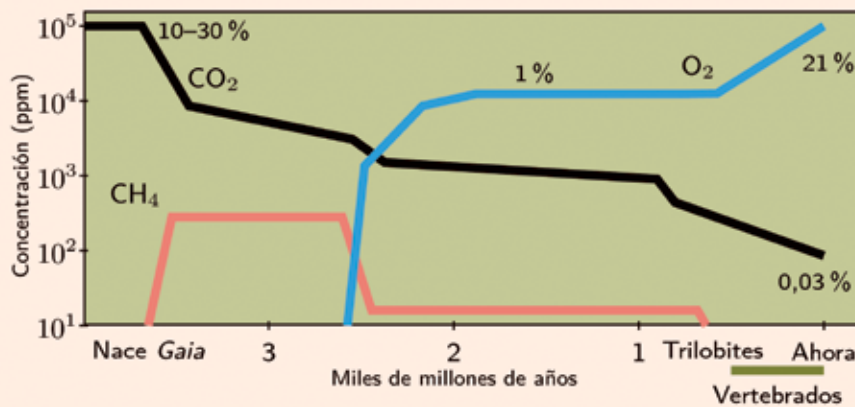


Fig. 2. La vida como agente geológico Lovelock (1988)

pura y simplemente, en eliminar la especie humana si su comportamiento se aparta demasiado del conveniente”.

Tenemos muchas dudas sobre el balance global del ciclo del Carbono (C) en el planeta, pues los cálculos de la “producción antrópica” de 6,8 Pg C/año, suma de la producida por los combustibles fósiles (5) más la debida a la deforestación (1,8), no coincide con el incremento global medible de 4,6 Pg C/año, (3) en la atmosfera más (1,6) en los océanos (Fuente: IPCC 1995). ¿Dónde van los 2,2 Pg C/año que faltan?

Tampoco estamos seguros de los posibles sumideros de CO₂, ni del comportamiento y evolución, por ejemplo de: los bosques templados “fertilizados” del hemisferio norte, la reforestación de áreas antes cubiertas por pastizales, la biomasa del suelo edáfico, del fondo del océano, del permafrost, etc.

Lo cierto es que lanzamos a la atmósfera cantidades enormes de vapor de agua (el que más contribuye al efecto invernadero), CO₂, CH₄, NO_x, O₃ y Clorofluorocarbonos CFC. Alterando sus proporciones en la troposfera y contaminándola en las capas altas con los vuelos de los aviones. Y existen demasiadas interrelaciones desconocidas, entre los factores bióticos y abióticos, como para establecer muchas certidumbres.

Francisco Díaz Pineda dice que el CO₂ de la atmósfera y los acúmulos de hormigón en las construcciones eran los mejores indicadores de la presencia actual del hombre en la biosfera (‘El ciclo del carbono en el globo’, El Campo de las ciencias y las artes. BBVA, nº 137, páginas 111-140, 2.000). Ambas cosas, emisiones contaminantes y modificación de la superficie productiva, contribuyen a desestabilizar los procesos que controlaban el “efecto invernadero natural”.

3. Efectos reales sobre la biosfera

Algunas plantas florecen antes

Richard Fitter anotó gran cantidad de datos fenológicos entre los años 1954-1989 y su hijo Alastair Fitter lo hizo entre 1990-2000. Cuando en 2001 se confirmaba que la Tierra se estaba calentando, Alastair repasó las notas tomadas por ambos durante 45 años en el mismo lugar de Oxford, y encontró que: la floración de 385 plantas se había adelantado de media de 4,5 días y, de ellas, 60



La fenología del carbonero común (*Parus major*) ya ha sido afectada por la subida de la temperatura primaveral (Foto: Javier Tamargo)

especies que florecían de media 15 antes. Alastair Fitter se adelantó afirmando: “Las temperaturas en aumento están degradando los eslabones de las cadenas alimentarias y la eficiencia de algunos organismos para sobrevivir en sus hábitats”.

Aves, árboles y orugas desacoplan sus fenologías

Marcel E. Visser, del Instituto Holandés de Ecología, estudió las actividades de 400 parejas reproductoras de carbonero común (*Parus major*), en el Parque Nacional de Hoge Veluwe, desde 1955. Encontrando que entre 1985 y 2003, pusieron los huevos casi el mismo día, es decir que no cambió su fenología, aunque la temperatura primaveral durante esos 18 años subió 2 °C.

Sin embargo, esa subida de la temperaturas primaverales de 2 °C en la región sí cambió, y de forma bien diferente, la fenología de las orugas de la mariposa nocturna (*Operophtera brumata*), que sirve de alimento a los polluelos del carbonero junto a otras especies menos abundantes y la fenología de la apertura de las yemas del roble.

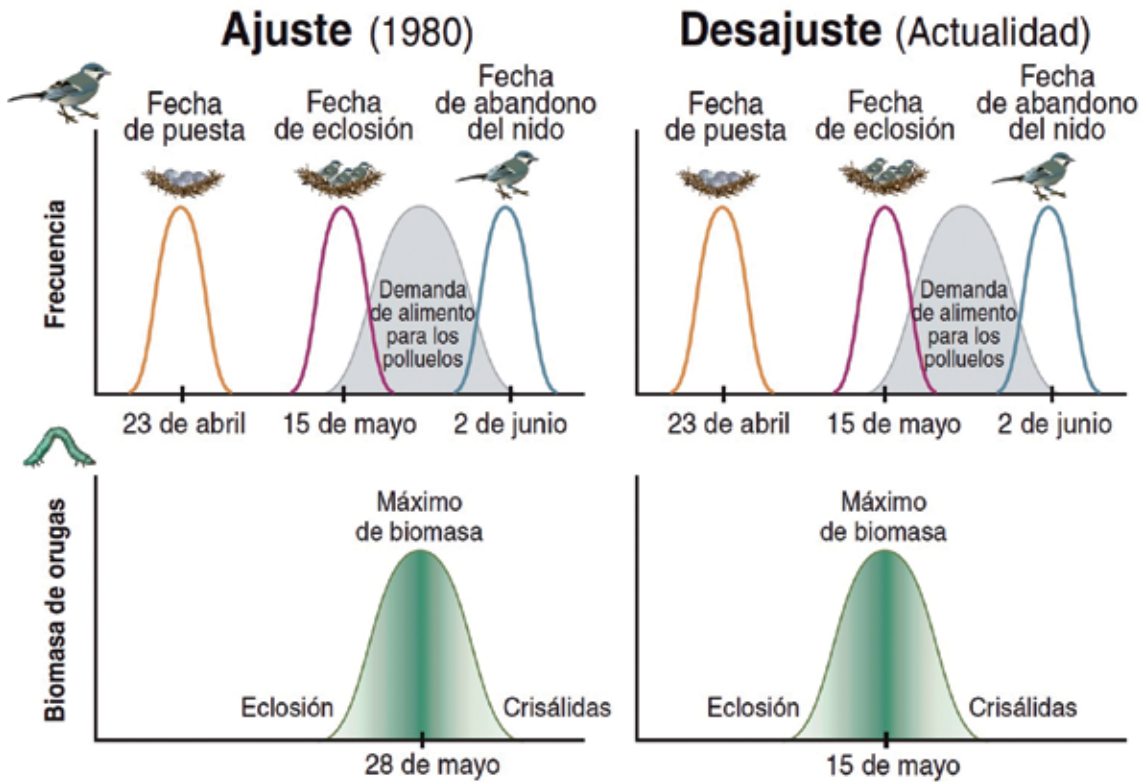


Fig. 3. Esquema de Marcel E. Visser, sobre el desacople fenológico del Carbonero Común (*Parus major*) con la mariposa nocturna (*Operophtera brumata*)

La fenología de las orugas adelantó la eclosión 15 días y por tanto el máximo de biomasa de orugas disponible mientras que las yemas brotaban ahora 10 días antes que en 1985. Las orugas se alimentan de hojas tiernas de roble (aun sin tanino) y para que sobrevivan las orugas deben nacer cuando las yemas revientan, de modo que si se adelanta más de 5 días o se retrasa más de 15, morirán –ver la figura 3, esquema de Marcel E. Visser, sobre el desacople fenológico del carbonero común (*Parus major*) con la mariposa nocturna (*Operophtera brumata*)–.

Esto es solamente un ejemplo de desacople entre el carbonero (ave), el roble (árbol) y la polilla (insecto), por no responder de la misma forma a un aumento de temperatura. Pero el problema es bastante más complejo pues:

- la eclosión de los pollos del carbonero se decide un mes antes, según sean las temperaturas de principio de primavera.
- la eclosión de las orugas de la mariposa depende de dos factores: del número de heladas en invierno y a principio

de primavera y de la temperatura del invierno y principio de primavera.

- Los robles tienden a ajustar el estallido de sus brotes según las temperaturas de finales de primavera.

Las aves migratorias tienen más problemas

Según Christian Both, de la Universidad de Groninga, el papamoscas cerrojillo (*Ficedula hypoleuca*), migra 5.000 km (desde África Tropical occidental a Holanda). Como estos carboneros, alimentan sus crías con orugas que han adelantado 15 días su eclosión y, ellos, siguen llegando a Holanda en la misma fecha, porque la “señal” para abandonar África la marca el “fotoperiodo”, se desacoplan sus fenologías.

Hasta ahora han respondido acortando 10 días (desde 1980) el descanso que tenían, al llegar, previo a la reproducción. Por eso, solo los papamoscas más madrugadores tienen una descendencia sana (bien alimentada) y el resto tienen pollos con peso inferior al normal y la mayoría



Esta rarísima cigüeña negra (*Ciconia nigra*), que viene desde África para criar en Monfragüe, tendrá que soportar cambios fenológicos más graves (Foto: Manuel Pérez Vega)

no retorna al año siguiente. Visser y Both sospechan que este mismo mecanismo podría haber intervenido en la caída demográfica de otras aves migratorias europeas en los últimos años.

Miles de años de coevolución han sincronizado los ciclos biológicos de las tres especies. Pero el problema puede resultar mucho más grave para las especies que emigran, pues:

- Usan “señales” (temperatura y fotoperiodo) de un hábitat para llegar a otro distinto.
- El clima no está variando de manera uniforme en todo el planeta.
- El calentamiento global no tiene influencia sobre el “fotoperiodo”.

En estas condiciones las especies que emigran, incluso a grandes distancias (mamíferos, aves, reptiles y peces) pueden llegar demasiado tarde o demasiado pronto, para sobrevivir a los cambios.

(Los datos anteriores han sido tomados de: “Pérdida de sincronía en los ecosistemas” Daniel Grossman. Investigación y Ciencia, marzo, 2004).

4. Estamos produciendo un cambio climático

Como en todos los problemas complejos, hay división de opiniones en el plano técnico, quizás porque hay exceso de información sin contrastar y, sobre todo, porque no están claras las bases sobre las que se discute, los sistemas de investigación, las características de los modelos, la validación de los resultados, etc.

Aunque la corriente informativa, de forma mayoritaria, defiende la tesis del ‘cambio climático’, habría que escuchar también a quienes están en contra, pues también tienen argumentos rigurosos aunque sus noticias son menos difundidas. Desconfío siempre de lo “políticamente correcto” que, en este caso, es admitir el cambio climático.

Me pareció “un poco sospechoso” que un señor que fue vicepresidente de los EE. UU., con toda la influencia que eso supone, durante 8 años (1993-2001) no hiciera nada para luchar por el cambio climático y, que después de



Abejaruco (*Merop apiaster*), precioso pájaro también africano que cría en España y tiene que acomodarse a los cambios climáticos de dos lugares alejados (Foto: Ángel Rodríguez)

perder las elecciones a presidente en 2001, se transforme en el abanderado del cambio climático, con la superficialidad y las verdades a medias de un documental que pasó al libro 'Una verdad incómoda'. Le critican que en los siguientes años incrementara notablemente su fortuna y que consiguiera numerosos premios, entre ellos el Premio Príncipe de Asturias y el Premio Nobel de la Paz. Me refiero, naturalmente a Albert Arnold Gore (Al Gore).

Tras del cambio climático, hay muchos intereses de empresas, países y gobiernos, muchas veces, ajenos a las inquietudes de los 7.000 millones de habitantes del planeta, capaces de movilizar grandísimos recursos económicos y quizás dispuestos a condicionar los trabajos de investigación.

En conclusión

Nosotros (la civilización occidental) somos la gran amenaza que está arrastrando al resto de países.

Con nuestras emisiones, se están produciendo cambios en los flujos de los gases de efecto invernadero y otros contaminantes, cuyo estudio no sabemos abordar.

Sus efectos pueden estar afectando a todos los ecosistemas del planeta, a sus complejas relaciones internas y a las, aún más desconocidas, interrelaciones entre unos y otros.

No estamos seguros de a qué parte de las especies vivientes afectará, ni cuáles serán las indicadoras de mayores desajustes globales, ni cómo pueden interferir sobre los flujos migratorios entre los ecosistemas conectados, etc.

Ni siquiera conocemos el número de especies vivientes y mucho menos sus nichos ecológicos, sus interrelaciones o las respuestas a los posibles cambios. Tenemos que resolver un problema que tiene muchas más incógnitas que ecuaciones.

Solo sabemos, por lo que hemos visto en cambios geológicos anteriores, que cuando se producen cambios globales, la inercia térmica del planeta necesita miles o millones de años para volver a la situación de equilibrio anterior. Es decir que cuando notemos los efectos del cambio climático, si se produce realmente, será muy tarde para reaccionar.

¿Cuál es el futuro del planeta?

¿Seremos (los países causantes del problema), capaces de convencer al resto de naciones del mundo de que para resolver este problema es necesario:

- a) repartir los recursos del planeta entre todos los países y todos sus habitantes,
- b) que cada país costee la gestión y el reciclaje de sus residuos y emisiones,
- c) que cada país asuma su huella ecológica y las externalidades de su actividad,
- d) que todos los bancos del planeta adopten las tesis de la "Economía Ecológica",
- e) contar con la inercia térmica del planeta, incapaz de actuar en tiempo humano, y
- f) asumir que nosotros, la sociedad occidental, somos los responsables del problema?

¡Vosotros mismos! **ROP**



Soluciones innovadoras para la Ingeniería Civil

Túneles, aeropuertos, carreteras, presas, puertos, puentes... Cualquier obra civil precisa de la tecnología especializada **Sika**, garantizando el éxito de cualquier proyecto.

Líderes mundiales en el sector químico, proporcionamos soluciones innovadoras para cubrir las necesidades más exigentes a los más exigentes. Forma parte de los líderes.



Química para la Construcción

Más información



Sika, S.A.U. · Tel.: 916 57 23 75
info@es.sika.com · www.sika.es



Innovation & Consistency | since 1910

El discurso del cambio climático



Pedro Fernández Carrasco

Doctor ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.

Profesor de Oceanografía de la Universidad Politécnica de Madrid. Departamento de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Medio Ambiente

Resumen

Un discurso de cambio climático negativo y trágico se ha impuesto, reforzado por los medios de comunicación cada vez que se produce un evento extremo. El desarrollo global nos obliga a cuestionarlo y manifestar que las personas y las sociedades son conscientes de que una mejora de las condiciones de vida pasa por la protección de la biodiversidad, por un cambio en los modos de producción y del transporte masivo y absurdo de bienes, en un mundo más poblado y más urbano, donde se impondrá el ‘viajar más y transportar menos’ mientras se teje una revolución participativa a nivel global apoyada en las comunicaciones y las redes sociales.

Palabras clave

Cambio climático, biodiversidad, desarrollo, urbanización, transporte, población, redes sociales, revolución participativa

Abstract

Climate change is looked upon in negative and calamitous terms and this feeling is only heightened by the media in the wake of any exceptional event. Global development makes it necessary to question this stance and to instil in the population and society the awareness that an improvement in living conditions requires the protection of biodiversity, a change in the methods of production and in the massive and absurd transport of goods in an increasingly more populated and urban world. It is necessary to “travel more and transport less” and sow the seeds for a participatory revolution on a global scale based on communications and social networks.

Keywords

Climate change, biodiversity, development, urbanization, transport, population, social networks and participatory revolution

Científicos de nuestras universidades informaban a nuestros políticos, no hace muchas semanas, mayo de 2013, de que el nivel medio del mar en las costas españolas está ascendiendo del orden 5 milímetros al año. Los noticieros nos muestran los ríos navarros batiendo récords de caudal en este mismo mes de mayo, pasando de 40 a 300 m³/s. En la misma semana el río Danubio alcanza un nuevo máximo elevando su calado 8,9 metros a su paso por Budapest. Curiosamente los informes de adaptación al cambio climático de la Fundación Canal (2012) pronostican descensos en los aportes medios. Las maravillosas áreas de coral son afectadas por el cambio en las condiciones de temperatura, salinidad, calidad de las aguas o la llegada de sedimentos por operaciones de dragado para el desarrollo de nuevos puertos, como puede ser el caso de la Gran Barrera de Coral en la costa este de Australia.

Las sociedades con economías fuertes protegen sus bienes contra la posible intensificación de eventos climáticos, como el pasado huracán Sandy en la costa este de los Estados Unidos. El alcalde Michael R. Bloomberg (2013) anuncia un plan para fortificar Nueva York contra las inundaciones de 20.000 millones de dólares americanos, apoyándose en el concepto de resiliencia.

Otros aventuran la posibilidad de ventajas asociadas al debilitamiento de las grandes masas de hielo polares. Se plantea la posibilidad de la ampliación temporal del Paso del Noroeste desde el Atlántico al Pacífico, por el estrecho de Bering para el 2050, como consecuencia del calentamiento global, y la posible apertura de una nueva ruta comercial que dejaría Londres-Osaka en 15.700 km frente a los actuales 23.300 km por Panamá y 21.200 km por Suez.

Podemos encontrar cientos de estudios relacionando el clima futuro con posibles efectos, en la mayoría tremendamente



Fig. 1. Nanjing 2013, China. Foto: Pedro Fernández Carrasco

trágicos, como los que auguran que en África entre 75 y 250 millones de personas sufrirán escasez extrema de agua para el 2020 y que un futuro de guerras se despertará como consecuencia de la deficiencia alimentaria que se generará. La desmesurada información sobre el ya establecido discurso del cambio climático, que casi nadie hoy día en su sano juicio se atreve a negar, bien por puro convencimiento, por instinto de supervivencia frente al dogma establecido o quizás por qué aparentemente no es relevante para sus vidas, más allá de un tema de conversación que empieza a ser recurrente e incluso manido, debería hacernos entender que es tiempo de analizarlo en otro contexto mayor y relativizar su peso en el acelerado cambio global que estamos viviendo.

El discurso del cambio climático tiene al menos tres pilares fundamentales: el acelerado calentamiento global, la generación del mismo debido a la actividad productiva del ser humano, en especial debido al empleo de combustibles fósiles, y las consecuencias negativas que éste producirá y que según sus fieles defensores está produciendo ya. Millones de páginas se han escrito acerca del tema, fuertes grupos de investigadores trabajan y viven de este discurso.

Al menos dos cosas podrían provocar la decepción sobre este discurso: la escasa moralidad exterior de los Estados,

que interiormente adoptan el continente de las normas morales y la poco comprometida conducta de los individuos. En consecuencia, el escenario que se plantea en el mundo parece ignorar este discurso, las ciudades chinas crecen y se urbanizan aceleradamente, de la forma aparentemente más insostenible, la demanda de materias primas cambia sus focos hacia a las costas asiáticas, quizás en un futuro será irrelevante el mencionado trayecto Londres-Osaka.

Un pueblo de pescadores tanzano llamado Mbegani, a 50 kilómetros de Dar es Salam, se convertirá en un puerto clave para el comercio entre los países subsaharianos y China. La visita del presidente chino, Xi Jinping, el pasado mes de marzo de 2013, fue decisiva para avanzar en los detalles del proyecto. En 2017 se espera que el puerto permita el movimiento de 20 millones de contenedores al año.

Se establecen nuevas alianzas para asegurar soberanías alimentarias, por ejemplo entre Medio Oriente, Asia y África ecuatorial, fenómeno que se conoce como el acaparamiento de tierras, quizás provocada por la escasez de alimentos en todo el mundo que siguió a la fuertes subidas de los precios del petróleo en 2008, la creciente escasez de agua y la insistencia de la Unión Europea de que el 10 % de todos los combustibles para el transporte debe venir de las plantas de

biocombustibles a partir de 2015, como daño colateral del discurso del cambio climático.

Se represan los grandes ríos, ya han comenzado las obras que desviarán el cauce del Nilo Azul, uno de los principales afluentes del Nilo, para construir el Gran Dique Etíope Renacimiento. El gobierno del Adis Abeba ha dicho que la obra será “de proporciones históricas”. La presa podrá contener 84 millones de metros cúbicos, y se usará para la producción de energía. El Amazonas en Belo Monte, estado de Pará (Brasil), soportará una central hidroeléctrica, con una capacidad instalada planeada de 11.000 MW, será la segunda mayor hidroeléctrica brasileña (después de la gigantesca Itaipú de 14.000 MW), y la tercera del mundo detrás de Tres Gargantas (China), representando el 11 % de la potencia instalada de Brasil. La represa tiene un costo estimado de 3 mil millones de dólares, y la línea de transmisión 2,5 mil millones. El proyecto está siendo desarrollado por la compañía eléctrica estatal Eletronorte.

Vivimos también otro cambio muy singular, desde el 2008, por primera vez en la historia de la humanidad, hay más personas viviendo en entornos urbanos que seres humanos viviendo en entornos rurales. La población africana abandona el mundo rural y se agolpa en megaurbes como Lagos o Kinshasa. Según el informe, que se presentó en Bamako, la capital de Malí, durante la Tercera Conferencia Ministerial Africana sobre Vivienda y Desarrollo Urbano, el 60 % de los africanos vivirán en suburbios en el año 2050. Según los datos de la ONU, el estado de las ciudades africanas 2010 (UN-Habitat, 2010), en los barrios pobres del África subsahariana viven actualmente unos 199,5 millones de personas. La población africana alcanzará los 2.000 millones de personas en el 2050, de los cuales 400 millones serán nigerianos. Muchos estudios sitúan a Lagos como la ciudad africana con un aumento de la población más rápido, con previsiones para el cercano 2015 de 12 millones de habitantes.

Gran parte de la población mundial es dependiente de la técnica y del comercio, criaturas separadas del mundo natural que nos proporciona la comida y la bebida. Ajenos a la cadena de producción que permite nuestra alimentación, protección contra el medio y nuestros desplazamientos, y en muchos casos parece que la gran mayoría de la población es innecesaria o ignorante de las decisiones de desarrollo que se están produciendo.

Llegados a este punto podríamos pensar que la humanidad medianamente informada, o desinformada, debería entrar en

un casi estado de shock y detener la actividad a nivel mundial, al aproximarnos a una hecatombe de proporciones negativamente impredecibles. Nada más lejos de la realidad, es bien cierto que no estamos aún en la mejor de las situaciones, pero sí en el mejor de los mundos, de momento el único. Pongamos rápidamente algunos ejemplos de éxito:

12 de junio de 2013, Roma. Treinta y ocho países han cumplido los objetivos establecidos internacionalmente en la lucha contra el hambre, anotándose estos éxitos antes del plazo límite fijado para 2015, según ha informado la FAO: “Estos países están abriendo el camino hacia un futuro mejor. Son la prueba de que con una fuerte voluntad política, coordinación y cooperación, es posible lograr reducciones rápidas y duraderas para el hambre”, dijo el Director General de FAO, José Graziano da Silva.

Veinte países han cumplido con el Objetivo de Desarrollo del Milenio número uno (ODM-1), reduciendo a la mitad la proporción de personas que padecen hambre entre 1990-92 y 2010-2012, según lo establecido por la comunidad internacional en la Asamblea General de la ONU en 2000. Adicionalmente, 18 países fueron felicitados por alcanzar tanto el ODM-1 como la meta más exigente de la Cumbre Mundial sobre la Alimentación (CMA) de reducir a la mitad el número total de personas desnutridas entre 1990-92 y 2010-2012. El objetivo de la CMA se estableció en 1996, cuando 180 naciones se reunieron en la sede de la FAO para debatir las distintas formas de acabar con el hambre. Los países que lograron alcanzar solamente el ODM-1 fueron: Argelia, Angola, Bangladesh, Benín, Brasil, Camboya, Camerún, Chile, República Dominicana, Fiji, Honduras, Indonesia, Jordania, Malawi, Maldivas, Níger, Nigeria, Panamá, Togo y Uruguay. Los que lograron alcanzar tanto el ODM-1 como las metas del CMA han sido: Armenia, Azerbaiyán, Cuba, Djibouti, Georgia, Ghana, Guyana, Kuwait, Kirguistán, Nicaragua, Perú, San Vicente y las Granadinas, Samoa, Santo Tomé y Príncipe, Tailandia, Turkmenistán, Venezuela y Vietnam. Los países fueron honrados en una ceremonia de alto nivel en la sede de la FAO el 16 de junio, coincidiendo con la semana en que se reúne la Conferencia de la FAO, el máximo órgano de gobierno de la Organización.

Lamentablemente millones de personas siguen sufriendo hambre. Según el informe de la FAO ‘El estado de la inseguridad alimentaria en el mundo 2012’, la gran mayoría de las víctimas del hambre, 852 millones, viven en países en desarrollo –alrededor del 15 por ciento de su población– mientras

que 16 millones de personas están desnutridas en los países desarrollados.

En cuanto al objetivo siete, garantizar la sostenibilidad del medio ambiente, la Meta 7.A, incorporar los principios del desarrollo sostenible en las políticas y los programas nacionales y reducir la pérdida de recursos del medio ambiente, marca en sus indicadores que la tasa de deforestación muestra signos de remisión, pero sigue siendo alarmantemente alta, se necesita urgentemente dar una respuesta decisiva al problema del cambio climático, el éxito sin precedentes del Protocolo de Montreal demuestra que una acción concluyente sobre cambio climático está a nuestro alcance; los indicadores de la Meta 7.B, haber reducido y haber ralentizado considerablemente la pérdida de diversidad biológica en 2010, señalan que el mundo no ha alcanzado la meta de 2010 de conservación de la biodiversidad, con posibles consecuencias muy graves, los hábitats de las especies en peligro no están siendo adecuadamente protegidos, la cantidad de especies en peligro de extinción sigue creciendo a diario, especialmente en países en vías de desarrollo, y la sobreexplotación de la pesca global se ha estabilizado, pero quedan enormes desafíos para asegurar su sostenibilidad; la Meta 7.C, reducir a la mitad, para 2015, la proporción de personas sin acceso sostenible al agua potable y a servicios básicos de saneamiento parece que aporta unos indicadores más optimistas: el mundo está en camino de cumplir con la meta sobre agua potable, aunque en algunas regiones queda mucho por hacer, se necesitan esfuerzos acelerados y específicos para llevar agua potable a todos los hogares rurales, el suministro de agua potable sigue siendo un desafío en muchas partes del mundo. Dado que la mitad de la población de las regiones en vías de desarrollo carece de servicios sanitarios, la meta de 2015 parece estar fuera de alcance, las diferencias en lo que respecta a cobertura de instalaciones sanitarias entre zonas urbanas y rurales siguen siendo abismales, las mejoras en los servicios sanitarios no están llegando a los más pobres. La Meta 7.D, haber mejorado considerablemente, en 2020, la vida de al menos 100 millones de habitantes de barrios marginales nos indica que las mejoras de barrios marginales, si bien han sido considerables, son insuficientes para compensar el aumento de personas pobres en zonas urbanas. Se necesita una meta revisada sobre la mejora de barrios marginales para fomentar las iniciativas a nivel país. UNICEF está haciendo cada vez más hincapié en el saneamiento, ampliando sus propios programas de apoyo a países de todo el mundo, y abogando por que los esfuerzos de gobiernos y aliados financieros

se centren cada vez más en el saneamiento –Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe de 2012 (ONU 2012)–.

El trabajo a favor de la biodiversidad se pone de manifiesto también en aquellos países que suelen ser acusados de políticas menos sustentables, como es el caso de China, que participa activamente en la realización de eventos en favor de la sostenibilidad como por ejemplo el 2º Congreso Anual Mundial de la Biodiversidad, Ecología y Medio Ambiente, que se llevó a cabo del 25 al 27 abril, 2013 en Nanjing, China, siguiendo al del 2012, que se celebró en Xi'an en abril y que jugó un papel especial en la promoción de la comprensión y un enfoque proactivo para la biodiversidad. Con la participación de diez premios Nobel, cerca de 200 oradores expertos de más de 29 países. El enfoque de biodiversidad 2012 incluyó ecoeconomía, ecocivilización, la gestión de la biodiversidad, así como en las exploraciones científicas y técnicas detalladas en un amplio espectro de temas de biodiversidad por parte de más de 1.500 investigadores, desarrolladores, científicos, educadores, periodistas, líderes empresarios y políticos de todos los rincones de nuestro planeta. El segundo congreso dispuso de 55 secciones que cubren diversos temas como la genética, el crecimiento de la población, las especies y la diversidad de ecosistemas, y se centró en el intercambio de logros y oportunidades de investigación, discusión formal, e intercambios informales y redes diseñadas para asegurar y apoyar los resultados concretos en términos de mejora, ampliación y complemento de una nueva colaboración en la investigación y diseño de proyectos de desarrollo y ejecución, para la exploración de oportunidades de negocio específicos con especial cuidado de la biodiversidad, con aportaciones en política global, economía y acciones sobre protección de la biodiversidad, ciencia básica de la biodiversidad y la investigación ecológica, métodos y tecnologías en ecología y biodiversidad, temas críticos en conservación de la Biodiversidad, oportunidades para jóvenes investigadores, educación y redes entre otras.

El éxito de este tipo de congresos está en su influencia global al ser una potente plataforma para el intercambio internacional, la cooperación y la colaboración en todos los aspectos de la diversidad biológica.

Lo pequeño también importa, no solo los grandes congresos internacionales o los macro proyectos financiados por organismos internacionales y un buen ejemplo de ello es el proyecto financiado por la Universidad Politécnica de Madrid en colaboración con la Universidad de Valparaíso



**Fig. 2. Sol de la biodiversidad
en Nanjing, China.
Foto: Pedro Fernández Carrasco**

so 'Las caletas de pescadores artesanales de Chile y su paisaje cultural' (Fernández y Menéndez, 2013) donde se realizó un registro y estudio comparativo de las caletas de pescadores artesanales de Chile y se obtuvo una aproximación a la comprensión de su paisaje cultural e incidencia en la consolidación urbana y territorial, de los asentamientos costeros menores, en el espacio litoral chileno. Este estudio se planteó como inicio de una línea de investigación conjunta acerca de Chile, su mar, su costa y su gente de mar, en los asentamientos menores enclavados en su espacio litoral, arraigados a las instalaciones productivas de la pesca artesanal, como génesis de unos poblados costeros, que constituyen un paisaje cultural complejo, originario, local y valioso, pero que paradójicamente se presentan marginales en su presencia y reconocimiento nacional. Existen en Chile cerca de 450 instalaciones productivas, denominadas caletas de pescadores artesanales. Desde aquellas que solo son un lugar natural de varado de embarcaciones para facilitar la pesca, pasando a pequeños caseríos asociados a esta faena, caletas un poquito más consolidadas con algo de infraestructura terrestre y marítima, hasta aldeas costeras en donde esta infraestructura costera actúa como centro urbano del poblado, para luego dar paso a las caletas urbanas, como componedoras de los fragmentos urbanos de los bordes costeros de ciudades mayores. Esta primera etapa de la investigación se planteó con la idea

de construir un cuerpo de conocimientos acabado a partir de la comprensión de estas entidades costeras chilenas, extraer los modelos en sus formas de composición y la caracterización de sus componentes urbanos, para fijar una línea de base de conocimientos, que diesen pie a que las futuras intervenciones en estos contextos, tengan la sensibilidad necesaria de lo local y sirva de fundamentos a la generación de pautas aplicables en su futuro proceso de transformación y nuevos emplazamientos costeros equivalentes.

Chile posee una importante masa crítica en el ámbito académico y de investigación acerca de los recursos costeros, si bien buena parte de ella se concentra en el estudio de los recursos pesqueros exclusivamente y sus posibilidades de explotación. No fija su atención en el desarrollo de sus formas de asentamiento y mecanismos de regulación de los mismos, en los procesos de modernización que sufren estos asentamientos, en los que normalmente, se aplican fórmulas urbanas de ciudades mayores o de otros contextos geográficos y culturales, haciendo perder identidad a estos poblados, que largamente han consolidado su propia e identitaria forma urbana.

Esta actividad productiva ha sido el origen de asentamientos humanos estables en el tiempo (desde los primeros



**Fig. 3. Pescadores artesanales Caleta Coloso, Antofagasta, Chile.
Foto: Pedro Fernández Carrasco**

tiempos de utilización de la embarcación, en las que sus localizaciones persisten hasta hoy) y ha construido su forma, ajena a planteamientos, planes o razones urbanas formales. Ha desarrollado procesos de crecimiento orgánicos, que se han validado socialmente y consolidado poco a poco en el tiempo, constituyendo un elenco de elementos de una urbanística compleja, rica, vital y apropiada. Que constituyen un cuerpo de conocimientos específicos importante de reconocer, aprender, interpretar, aprehender,

fijar y difundir, que son los objetivos de esta etapa de la investigación.

También está el esfuerzo que pequeños países realizan, como El Salvador, para situarse en la línea de aprovechamiento de las energías renovables y aquí podemos citar el convenio específico para estudiar y evaluar el oleaje y energía de la costa salvadoreña entre la comisión ejecutiva hidroeléctrica del río Lempa y la fundación Agustín de



**Fig. 4. Suelta de bebés tortuga.
Playa San Diego, El Salvador.
Foto: Pedro Fernández Carrasco**



Fig. 5. Ombbligo del mundo, Rapa Nui, Chile. Foto: Pedro Fernández Carrasco

Betancourt de la Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Madrid, durante el año 2012, y que ha tenido como resultado el establecimiento del primer atlas de oleaje con fines de aprovechamiento de la energía de la costa salvadoreña.

En el ámbito del intercambio de tecnologías integradas en procedimientos ambientales sostenibles de muy bajo coste se puede señalar el proyecto realizado por el Grupo Ingeniería Civil y Cooperación de la Universidad Politécnica de Madrid sobre arquitectura e ingeniería textil en el desierto de Arequipa en Perú, donde el medio desértico andino del sur del Perú sufre una de las más altas incidencias de rayos ultravioletas del mundo. El proyecto dio una respuesta técnica a este problema implicándose socialmente y con el medio natural. Se llevó a cabo una transferencia de la técnica de arquitectura e ingeniería textil y su inserción en el mercado local a través de un taller formativo y productivo que da trabajo a familias locales, especialmente a mujeres. El taller pretende ser autosuficiente gracias a la producción y los beneficios se destinarán a su vez a mejoras sociales en su entorno.

Miles de actividades se realizan a lo largo de mundo poniendo de manifiesto que realmente las personas somos conscientes y responsables de el cambio global que se esta produciendo y de la intención de liderar una pequeña parcela al alcance de las posibilidades de cada uno o una de nosotros. Es necesario que actividades de acercamiento a la naturaleza se promocionen y que se haga notar la importancia de los

pequeños gestos; en este sentido a modo de ejemplo señalamos la suelta de tortugas en la playa de San Diego, El Salvador, como final de la maestría de energía del oleaje por la Universidad Don Bosco y la Universidad Politécnica de Madrid, desarrollado por La Fundación Zoológica de El Salvador (FUNZEL) y que conecta la biodiversidad, las nuevas tecnologías, las corrientes marinas, las personas y el clima. También debemos señalar la importancia del acercamiento a zonas rurales remotas tanto para las personas de estas áreas como para los que habitamos grandes urbes y que vivimos desconectados del medio natural, como es el proyecto que realizan los alumnos del grupo de Cooperación e Ingeniería Civil de la ETSI Caminos de Madrid este verano de 2013, conjuntamente con la asociación TRACAF, trabajando para el corazón de Africa, en su visita a la zona de Lomela en la provincia de Kasai de la Republica Democrática del Congo, dentro de un programa integral para fortalecer la zona y las actividades que las personas realizan minimizando la salida forzada hacia Kinshasa en un viaje de no retorno por razones económicas.

Hay cientos de lugares simbólicos en este precioso mundo, que nos enseñan acerca de la necesidad de armonizar desarrollo, población y naturaleza, entre ellos hemos seleccionado el 'ombbligo del mundo' en Rapa Nui o Isla de Pascua. Un lugar enigmático donde la desaparición de culturas es tan evidente y está asociado a un crecimiento incontrolado donde los recursos son limitados. Ojala que seamos conscientes a tiempo y no se nos recuerde en una



Fig. 6. Moais mirando al océano, Rapa Nui, Chile. Foto: Pedro Fernández Carrasco

nube de misterio entre hipótesis de antropólogos estudiosos de nuestros moáis sobre su *ahu*.

Podemos concluir que si bien el discurso del cambio climático pone de manifiesto situaciones y tendencias preocupantes y que los aspectos de clima, economía, desarrollo, energía, migraciones, urbanización, población, cultura y género están vinculados muy estrechamente, también está claro que los movimientos locales y globales fortalecidos por las nuevas tecnologías de las comunicaciones pueden y deben cambiar los paradigmas actuales, y no permitir que la obsesión por las soluciones técnicas nos cieguen, como está ocurriendo con la desaparición del Parque Nacional de la Lengua de Barbarie, en Sain-Louis (Senegal) ocasionada cuando en octubre de 2003, las autoridades senegalesas recurrieron al ejército para abrir un canal artificial de cuatro metros en la punta de Chameaux, a tan solo dos kilómetros al sur de la isla, atravesando la lengua de arena, y así evitar las consecuencias de las riadas del Senegal en Saint-Louis, la brecha de metros es hoy superior al kilómetro. A nivel global deberíamos replantear muy especialmente la locura del transporte de mercancías con el objeto de obtener una plusvalía ficticia hacia un cambio que podría resumirse en el aforismo ‘viajar más y transportar menos’ o ‘*move more transport less*’ aludiendo a la necesidad de mayor intercambio de personas e ideas y menor transporte

de bienes que se pueden generar localmente. Conclusiones que no quieren ni deben ser completas ni definitivas pero que si miran al océano como estos moais en contra de la opinión del resto de moais que en su discurso de cambio climático miran exclusivamente al interior de su isla. **ROP**

Referencias

- Fundación Canal. Junio 2012, L. Garrote y A. Iglesias. Adaptación al cambio climático. Identificación de medidas de adaptación a partir de los impactos sobre los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid.
- Michael R. Bloomberg. Junio 2013, A stronger, more resilient New York. City of New York.
- UN-Habitat, Nairobi. Noviembre 2010. The state of African cities 2010, Governance, Inequality and Urban land markets .
- Objetivos de Desarrollo del Milenio Informe de 2012. Nueva York, ONU 2012. http://www.un.org/es/millenniumgoals/pdf/mdg_2012_foreword_overview.pdf
- Fernández Carrasco, P. Pozo Menéndez, E. 2013. Chilean Caletas, more than artisan fishing villages. Pag. 939-944. Journal of Coastal Research, Special Issue No. 65, 2013. ISSN 0749-0208.

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.

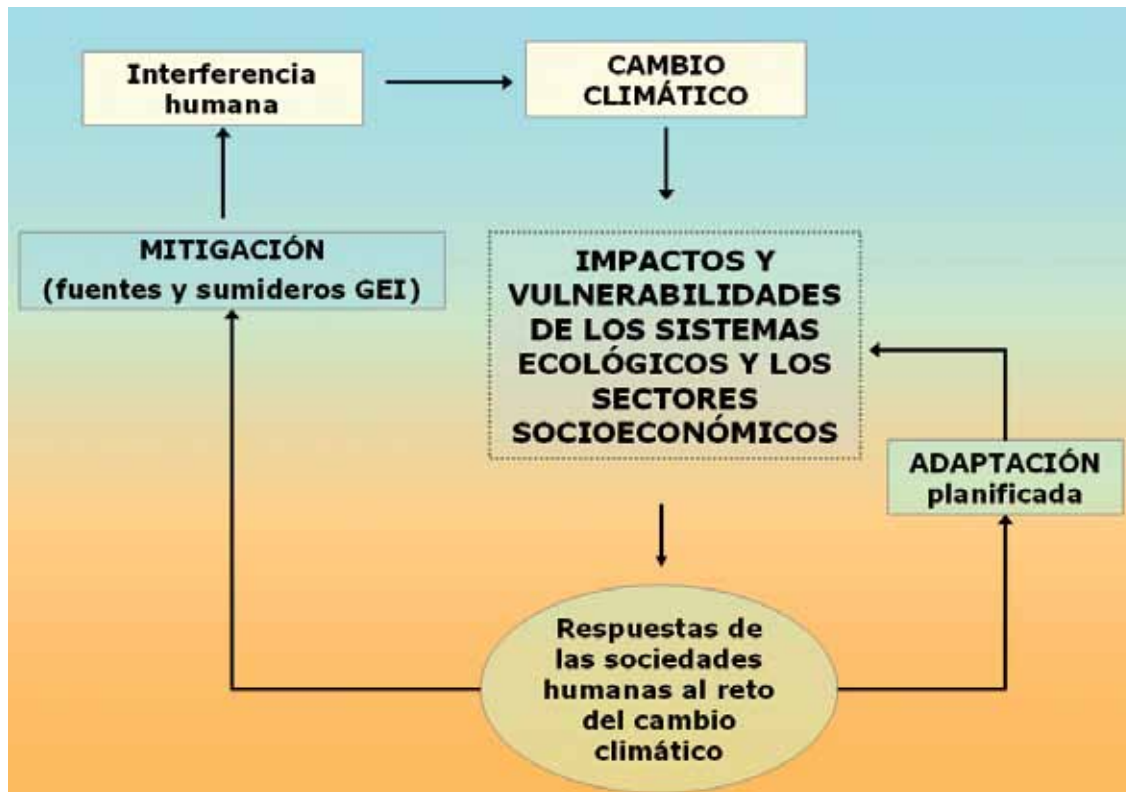


Fig. 1. Las respuestas frente al cambio climático en los ámbitos de la mitigación y la adaptación están estrechamente relacionadas

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 aumentando 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

<p>ECOSISTEMAS MARINOS</p>	<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 	<p>Tabla 1. Efectos observados del cambio climático sobre los ecosistemas marinos, acuáticos continentales y terrestres</p>
<p>ECOSISTEMAS ACUÁTICOS CONTINENTALES</p>	<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 	
<p>ECOSISTEMAS TERRESTRES</p>	<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 representen 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

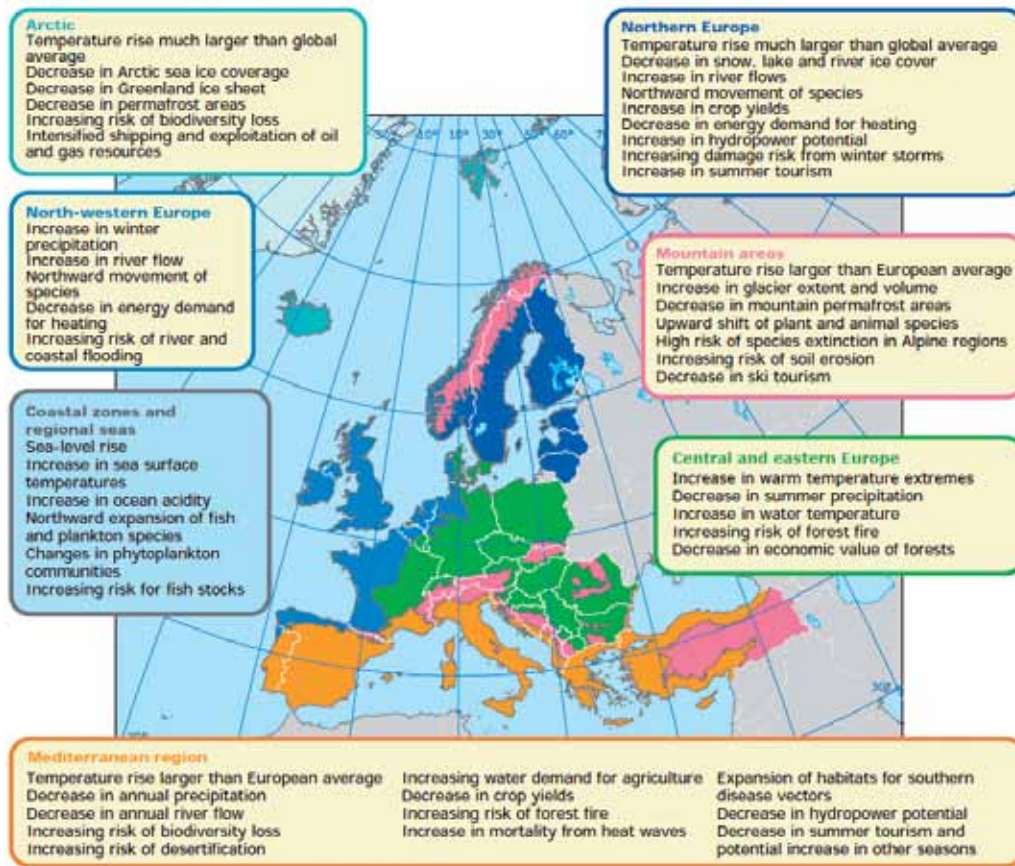


Fig. 2. Impactos observados y proyectados y sus efectos sobre los sectores en las principales regiones biogeográficas europeas. EEA 2012

	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,

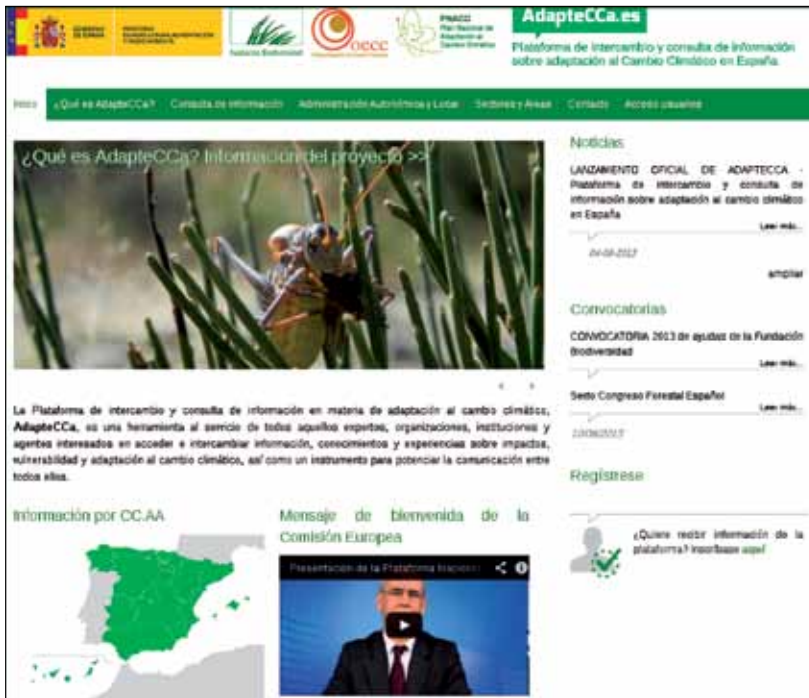


Fig. 4. La plataforma nacional de adaptación al cambio climático

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)

Evidencias y escenarios de cambio climático



María Jesús Casado Calle

Licenciada en Ciencias Físicas e Historia.
Meteoróloga del Estado y jefa de Servicio
en la AEMET



Petra Ramos Calzado

Dra. en Físicas por la Universidad de Sevilla.
Meteoróloga del Estado y jefa de la unidad
de Estudios y Desarrollos de la AEMET

Resumen

El calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, el deshielo generalizado de nieves y hielos y el aumento del promedio del nivel del mar. En este estudio se analizan las causas del cambio climático observado, su evolución esperable a nivel global y regional, las herramientas para diagnosticar y predecir el clima con sus incertidumbres asociadas. Finalmente, se consideran las proyecciones de temperatura y precipitación para España en el siglo XXI.

Palabras clave

Cambio climático, modelos climáticos, incertidumbres, proyecciones

Abstract

Global warming and climate change is a reality today evidenced by the rises seen in the average global air and ocean temperatures, the generalized thawing of snow and ice and the increase in the mean sea level. This study analyses the causes of climate change, its predicted development at a global and regional level, and the tools by which to determine and forecast climate with its associated uncertainties. The article concludes with an examination of temperature and rainfall predictions for the 21st century.

Keywords

Climate change, climate models, uncertainties, forecast

Debido a la gran complejidad del problema del cambio climático, los políticos necesitan una fuente objetiva de información sobre sus causas, sus consecuencias socio-económicas y las opciones de adaptación y de mitigación para responder al mismo. Para resolver esta necesidad, la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) establecieron el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) en 1988. El IPCC no realiza ninguna investigación ni seguimiento de los datos relacionados con el clima. Su función es la evaluación exhaustiva, objetiva, abierta y transparente de la literatura científica, técnica y socio-económica elaborada en todo el mundo y relacionada con el cambio climático para la comprensión de los riesgos inducidos por el hombre en el clima, sus impactos observados y previstos y las opciones de adaptación y mitigación. Los informes del IPCC aspiran a ser neutrales con respecto a la política y de alto nivel científico y técnico. Los informes reflejan diferentes puntos de vista y experiencias con una amplia cobertura geográfica. El IPCC realiza sus informes a intervalos regulares e inmediatamente se convierten en obras de referencia, ampliamente utilizadas por los responsables políticos, expertos y estudiantes. Hasta la actualidad, el IPCC ha publicado cuatro informes y está elaborando el quinto: el Primer Informe en 1990 jugó un papel decisivo en la creación de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), que se abrió a la firma en la Cumbre de Río de Janeiro en 1992 y entró en vigor en 1994; el Segundo Informe de Evaluación en 1995 ofreció información importante para las negociaciones del Protocolo de Kyoto de 1997; el Tercer Informe de Evaluación (TAR) se publicó en 2001; el Cuarto Informe de Evaluación

(AR4) en 2007 y el Quinto Informe de Evaluación (AR5) se publicará en octubre de 2014 y proporcionará una evaluación rigurosa y actualizada del estado del conocimiento sobre el cambio climático. La mayoría de la información global resumida en este artículo procede, a menos que se indique lo contrario, del último informe del IPCC AR4 (información más detallada sobre la organización del IPCC y sus informes están disponibles en www.ipcc.ch).

2. El cambio climático observado a nivel global y regional

En el Cuarto Informe del IPCC (IPCC, 2007) se concluye que el calentamiento del sistema climático es inequívoco, como evidencian ya los aumentos observados del promedio mundial de la temperatura del aire y del océano, la fusión generalizada de nieves y hielos y el aumento del promedio mundial del nivel del mar.

Respecto a la temperatura mundial, en dicho informe, se indica que once de los doce años del periodo 1995-2006 figuran entre los doce años más cálidos en los registros instrumentales de la temperatura de la superficie mundial (desde 1850). De la actualización de la serie hasta el año 2012 realizada por el Climatic Research Unit y el UK Met. Office Hadley Centre se extrae que los años del periodo 1997-2012 son los más cálidos desde 1850. El año más cálido de toda la serie fue el 2010 con una anomalía de temperatura de 0,540 °C con respecto al periodo de referencia de 1961-1990, seguido del 2005, siendo el año 2012 el noveno más cálido. La década más cálida ha sido la del 2001 al 2010, con un incremento de 0,217 °C con respecto a la década anterior (<http://www.cru.uea.ac.uk/cru/info/warming/>).

La tendencia lineal de la temperatura global en 100 años (1906-2005), cifrada en 0,74° C (entre 0,56° C y 0,92° C), es superior a la tendencia correspondiente de 0,6 °C (entre 0,4 °C y 0,8 °C) para el periodo 1901-2000 indicada en el Tercer Informe de Evaluación. El aumento de la temperatura está teniendo lugar en todo el planeta, siendo más acusado en las latitudes altas del hemisferio norte. Por otro lado, las regiones terrestres se han calentado más aprisa que los océanos. La reciente publicación de Morice et al. (2012) indica un aumento de la tendencia lineal de la temperatura de 0,07 °C/década desde 1901 a 2010 y de 0,17 °C/década desde 1979 a 2010 globalmente. En el hemisferio norte (sur) estas tendencias son de 0,08 °C (0,07 °C)/década y de 0,24 °C (0,10 °C)/década, respecti-

vamente. En este artículo se hace referencia y se tienen en cuenta las incertidumbres asociadas a los distintos registros globales existentes.

El aumento de nivel del mar observado concuerda con este calentamiento. En promedio, el nivel de los océanos ha aumentado a razón de 1,8 [entre 1,3 y 2,3] mm/año desde 1961 a 2003, y de 3,1 [entre 2,4 y 3,8] mm/año desde 1993 a 2003. Este incremento es debido tanto al efecto de la dilatación térmica como al deshielo de los glaciares, de los casquetes de hielo y de los mantos de hielo polares. Según un estudio de Nerem et al. (2010), la tasa media de aumento del nivel del mar ha sido de 3,4±0,4 mm/año en los años del 1993 al 2009, consistente con el indicado en el Cuarto Informe del IPCC.

La disminución observada de las extensiones de nieve y de hielo concuerda también con el calentamiento. Datos satelitales obtenidos desde 1978 indican que el promedio anual de la extensión de los hielos marinos árticos ha disminuido un 2,7 % [entre 2,1 % y 3,3 %] por decenio, con disminuciones estivales aun más acentuadas, de 7,4 % [entre 5,0 % y 9,8 %] por decenio. En promedio, los glaciares de montaña y la cubierta de nieve también han disminuido en ambos hemisferios. La figura 1 muestra estos cambios observados en temperatura del aire, en el nivel del mar y en la cobertura de nieve.

Entre 1900 y 2005, también se han observado cambios en la cantidad de precipitación en muchas regiones. La precipitación aumentó significativamente en las zonas orientales de América del sur y del norte, Europa septentrional, y Asia septentrional y central, y disminuyó en el Sahel, en el Mediterráneo, en el sur de África y en ciertas partes del sur de Asia. En todo el mundo, la superficie afectada por las sequías ha aumentado probablemente desde el decenio de 1970, según el Cuarto Informe del IPCC.

Respecto a los fenómenos extremos, algunos de ellos han cambiado en frecuencia y/o intensidad en los últimos 50 años. Así, según el Cuarto Informe del IPCC, es muy probable que en los últimos 50 años los días fríos, las noches frías y las escarchas hayan sido menos frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, y que los días y noches cálidos hayan sido más frecuentes. Es probable que las olas de calor hayan sido más frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, que la frecuencia de las precipitaciones intensas haya aumentado en la mayoría de las áreas, y que, desde

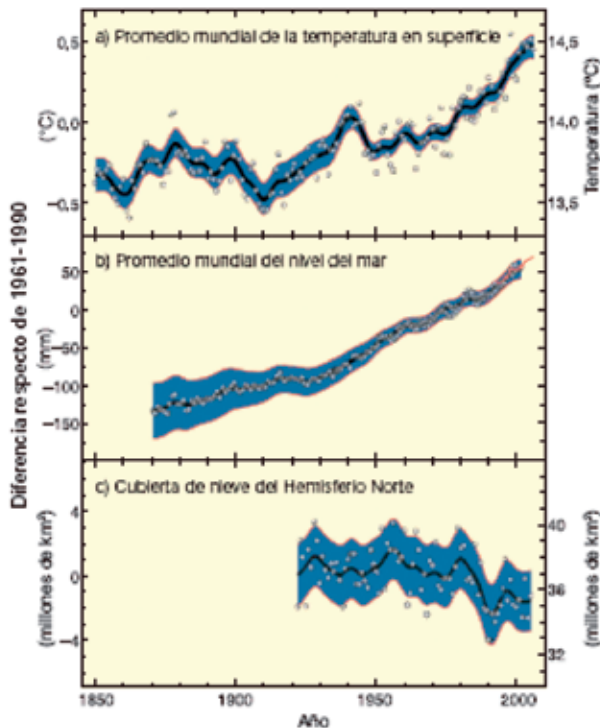


Fig. 1. Variación observada de a) el promedio mundial de las temperaturas en superficie; b) el promedio mundial del nivel del mar a partir de datos mareométricos (azul) y satelitales (rojo); y c) la cubierta de nieve del hemisferio norte durante marzo-abril. Todas las diferencias han sido calculadas respecto de los promedios correspondientes durante el periodo 1961-1990. Las curvas aisladas representan los valores promediados decenalmente, mientras que los círculos denotan los valores anuales. Las áreas sombreadas representan los intervalos de incertidumbre estimados a partir de un análisis completo de las incertidumbres conocidas (a y b) y de la serie temporal c). Fuente: IPCC (2007)

1975, la incidencia de valores altos extremos del nivel del mar haya aumentado en todo el mundo. Las observaciones evidencian un aumento de la actividad ciclónica tropical, intensa en el Atlántico Norte desde aproximadamente 1970, con escasa evidencia de aumentos en otras regiones, no apreciándose una tendencia clara del número anual de ciclones tropicales.

3. Causas de la evolución observada del clima

Ya no hay mucha duda de que la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias mundiales desde

mediados del siglo XX sea debido al aumento observado en la concentración de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de las actividades humanas, principalmente de la combustión de combustibles fósiles y, en menor medida, de cambios en el uso de la tierra. Durante ese período, el efecto combinado de las variaciones naturales en la radiación solar y las erupciones volcánicas habrían producido temperaturas más frías, no más calientes. De hecho, se ha producido un enfriamiento en la atmósfera causado por aerosoles, algunos de ellos debidos, por ejemplo, a erupciones volcánicas y a determinadas actividades humanas que producen emisiones de sulfatos, de carbono negro orgánico, de nitratos y de polvo. Estos aerosoles reflejan o absorben parte de la radiación solar, en cualquier caso, impiden que alcance la superficie terrestre.

El IPCC afirma que la mayor parte del aumento observado en la temperatura media mundial desde mediados del siglo XX es, con una probabilidad superior al 90 %, debido al aumento de origen antropogénico observado en las concentraciones de gases de efecto invernadero. La influencia humana se extiende a otros aspectos del clima, entre los que se incluye el calentamiento del océano, las temperaturas medias continentales, las temperaturas extremas y los patrones de viento. Las simulaciones del clima para el siglo XX producidas con un conjunto de modelos, utilizando bien forzamientos naturales y antropogénicos (Fig. 2a) o únicamente forzamientos naturales (debido a la actividad solar y a los volcanes) (Fig. 2b), muestran que solo las integraciones que incluyen los forzamientos antropogénicos simulan razonablemente la evolución observada de la temperatura media global y, por lo tanto, explican el origen antropogénico del aumento de las temperaturas.

4. Herramientas para diagnosticar y pronosticar la evolución del clima global y regional

Los modelos de circulación general acoplados océano-atmósfera (AOGCM, de las siglas en inglés), que se desarrollan en un número reducido de centros internacionales de investigación climática, constituyen la herramienta básica para realizar estimaciones de proyecciones climáticas. La nueva generación de modelos globales que se están utilizando para elaborar el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, pertenece a la categoría de los llamados Modelos del Sistema Tierra (ESM, de sus siglas en inglés). Estos modelos incluyen, en su versión estándar, además modelos del ciclo del carbono, de aerosoles, de química y de vegetación dinámica (véase WCRP, <http://www.agci.org/dB/>

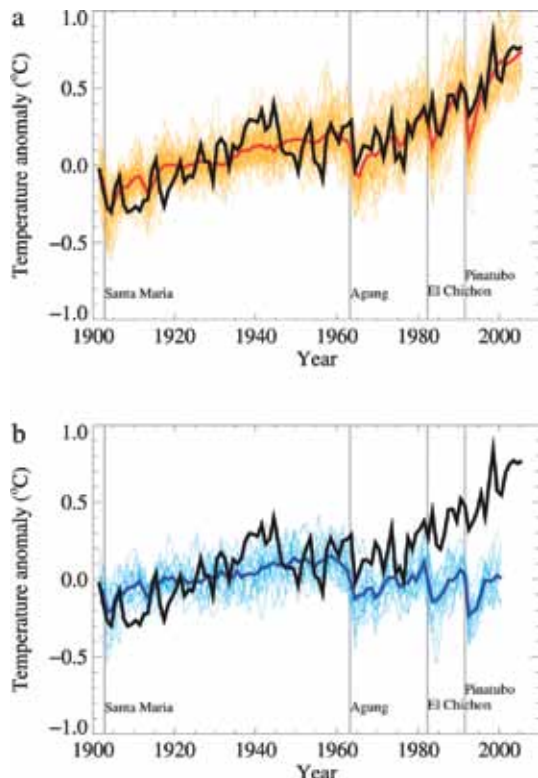


Fig. 2. Comparación entre las anomalías de la temperatura media mundial (°C) a partir de observaciones (negro) y simulaciones con MCGAO (a) tanto antropogénicas y los forzamientos naturales y (b) solo forzamientos naturales. Todos los datos se muestran como anomalías de la temperatura media mundial en relación con el período de 1901 a 1950. Las líneas grises verticales indican el momento de los principales eventos volcánicos. Fuente: IPCC (2007)

PDFs/Publications/06S1_WhitePaper.pdf, Informal Report N° 3/2007 y Taylor et al. 2012).

El desarrollo de los modelos climáticos avanza en el sentido de aumentar la resolución y de incluir más procesos, incorporando aspectos del medio ambiente químico y biológico tales como una vegetación activa y una bioquímica oceánica acopladas con los procesos físicos del clima. Una mayor resolución de los modelos permitirá entrar en el dominio de los modelos oceánicos que resuelven los remolinos de mesoescala. En las escalas oceánicas del orden de las decenas de km, dichos remolinos empiezan a ser resueltos explícitamente. La correspondiente escala de transición, en la atmósfera, es de unos pocos km. A esta escala, los modelos empiezan a resolver las circulaciones correspondientes a la convección profunda. Esta transi-

ción, para el caso atmosférico, ya se está realizando en los modelos de predicción numérica del tiempo. Los modelos que incluyen el ciclo del carbono son capaces de predecir la evolución de la concentración de CO₂ utilizando como datos de entrada solamente las emisiones antropogénicas en lugar de las concentraciones, que es como funcionan ahora la mayoría de los modelos globales. Los modelos que incluyen un módulo de aerosoles permitirán además acoplar la evolución de éstos con otros efectos indirectos sobre la radiación, la formación de nubes y la eficiencia de la precipitación a través de los procesos de microfísica de nubes. Otros temas emergentes que se irán incorporando a los modelos climáticos son la inclusión de otros gases de efecto invernadero y gases reactivos, el almacenamiento de agua y carbono por las plantas, los ciclos de nitrógeno y fósforo, que actúan como limitantes en el crecimiento de ecosistemas, la aclimatación de la microbiología del suelo a temperaturas más altas, etc.

Mientras que los modelos globales proporcionan las características a grandes rasgos de las proyecciones climáticas, la escasa resolución espacial que estas proyecciones climáticas proporcionan las hace poco útiles para ser utilizadas por los distintos tipos de modelos de impacto. Por este motivo, es necesario aplicar técnicas de regionalización a las proyecciones generadas por los AOGCM para aumentar su resolución espacial. La metodología, generalmente aceptada, para hacer estimaciones de proyecciones regionalizadas de cambio climático utiliza la idea del descenso de las escalas grandes a las escalas pequeñas. Las escalas grandes se estiman con los modelos globales acoplados océano-atmósfera y a continuación se desciende a las escalas más pequeñas con diferentes técnicas de regionalización. En este enfoque, la tarea predictiva la realizan los modelos globales y las técnicas de regionalización o de reducción de escala (*downscaling*) bien basadas en algoritmos empíricos o en modelos regionales, se limitan a introducir detalle local. Generalmente, la información solamente fluye desde las escalas grandes (modelos globales) a las escalas regionales (modelos regionales y algoritmos estadísticos) y no en sentido contrario. Únicamente los modelos que admiten anidado con flujo de información en ambos sentidos (*two way nesting*, en la literatura inglesa) constituyen la excepción a esta regla.

La generalidad de técnicas de regionalización parte de las proyecciones suministradas por los AOGCM y las dotan de detalles de escala más pequeña asociados con información

adicional de orografía, fisiografía, etc. En consecuencia, las proyecciones regionalizadas heredan todos los defectos y debilidades de los modelos “padre” globales. Si el modelo global simula incorrectamente aspectos de la variabilidad a gran escala relevantes para el clima regional/local, carece de sentido regionalizar proyecciones climáticas realizadas con el mismo. Ahora bien, si la simulación de la variabilidad climática natural es aceptable, entonces tiene sentido trasladar la información de los modelos globales a la escala local. Es importante tener en cuenta que, debido a que la variabilidad natural es mayor en las escalas regionales y locales que en la gran escala, las proyecciones de cambio climático en escalas regionales estarán sometidas forzosamente a más incertidumbre que las proyecciones de los AOGCM. Esta limitación de las técnicas de regionalización debe tenerse siempre presente.

5. Incertidumbre en las proyecciones de evolución del clima

Todos los informes del IPCC han prestado especial atención al tratamiento de las incertidumbres y su cuantificación. La generación de las proyecciones del cambio climático es un problema caracterizado por las incertidumbres inherentes procedentes de varias fuentes. La incertidumbre en las predicciones del cambio climático antropogénico están presentes, de forma jerárquica, en todos los pasos dirigidos a la obtención de proyecciones regionalizadas del clima.

La primera fuente de incertidumbre procede de los forzamientos naturales debido a nuestra falta de capacidad de predicción de los cambios en la radiación solar (aparte del ciclo de 11 años) y de las erupciones volcánicas. En segundo lugar, la especificación de las emisiones futuras de gases de efecto invernadero, los aerosoles y sus precursores es muy incierta. Las emisiones futuras son el producto de sistemas de dinámica muy compleja, determinada por motores como la evolución demográfica, el desarrollo socioeconómico y el cambio tecnológico. Los escenarios son imágenes alternativas de cómo podría ser el futuro y son una herramienta apropiada que permite analizar cómo los diversos motores pueden influir en las emisiones futuras y evaluar las incertidumbres asociadas. La posibilidad de que cualquier tipo de evolución de las emisiones se produzca tal y como se describe en los escenarios es muy incierta. En tercer lugar, para un determinado escenario de emisiones, se utilizan diferentes modelos biogeoquímicos para calcular las concentraciones de los componentes en la atmósfe-

ra. Para convertir estas concentraciones en forzamiento radiativo son necesarios varios esquemas de radiación y de parametrizaciones. En cuarto lugar, la respuesta de los diferentes componentes del sistema climático (atmósfera, océano, hielo marino, superficie terrestre, estado químico de la atmósfera y del océano, etc) se calcula en un modelo climático global. Además, en los modelos climáticos, la formulación del ciclo del carbono y la interacción con el mismo introducen importantes retroalimentaciones que producen incertidumbres adicionales. La incertidumbre en la señal real del cambio climático se introduce tanto por los errores en la representación de los procesos del sistema terrestre en los modelos como por la variabilidad climática interna. Los efectos de la variabilidad interna se pueden cuantificar mediante la ejecución de un mismo modelo con diferentes condiciones iniciales, siempre que la variabilidad simulada sea consistente con las observaciones. Los efectos de la incertidumbre por el conocimiento de los procesos del sistema terrestre pueden ser parcialmente cuantificados mediante la construcción de conjuntos de modelos que consideren diferentes parametrizaciones de estos procesos. Es importante señalar, que el abanico de modelos no cubre necesariamente la gama completa de las posibles incertidumbres en los procesos ya que el conjunto de modelos es estrictamente un «conjunto de oportunidades», sin ningún protocolo de muestreo. Por último, los métodos de disminución de escala, añaden otro factor de incertidumbre en el cambio climático regional que habrá de explorarse mediante diferentes técnicas de reducción de escala (véanse los capítulos 10 y 11 (IPCC, 2007) para una discusión detallada sobre las incertidumbres y de su cuantificación).

6. Evolución esperable del clima a nivel global y regional

En el Cuarto Informe del IPCC (AR4), y para una serie de escenarios de emisión del IEEA (Informe Especial del IPCC sobre Escenarios de Emisión, 2000, <http://www.ipcc.ch/pdf/special-reports/spm/sres-sp.pdf>), los AOGCMs estiman un calentamiento global de alrededor de 0,2 °C por década para las próximas dos décadas. Esta proyección es consistente con los valores observados en las últimas décadas de aproximadamente 0,2 °C por década. Incluso, si las concentraciones de todos los gases de efecto invernadero y de aerosoles se hubieran mantenido constantes en los niveles de 2000, se esperaría un calentamiento adicional de aproximadamente 0,1 °C por década debido principalmente a la lenta respuesta de los océanos. De acuerdo con el IPCC (IPCC, 2007), las me-

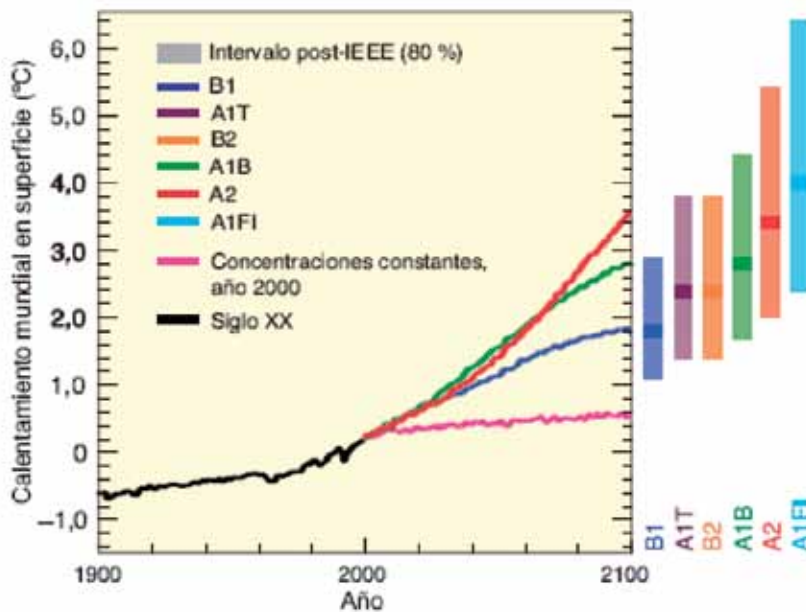


Fig. 3. Las líneas continuas representan promedios mundiales multimodelo del calentamiento en superficie para los escenarios A2, A1B y B1, representados como continuación de las simulaciones del siglo XX. Estas proyecciones reflejan también las emisiones de GEI y aerosoles de corta permanencia. La línea rosa no es un escenario, sino que corresponde a simulaciones de MCGAO en que las concentraciones atmosféricas se mantienen constantes en los valores del año 2000. Las barras de la derecha indican la estimación óptima e intervalo probable evaluado para los seis escenarios testimoniales IEEE en el periodo 2090-2099. Todas las temperaturas corresponden al periodo 1980-1999. Fuente: IPCC (2007)

jores estimaciones de las proyecciones de los modelos indican que el calentamiento medio por décadas en cada continente habitado en 2030 es insensible a la elección de los escenarios del IEEE y es muy probable de que sea al menos dos veces mayor que el correspondiente a la variabilidad natural estimada por los modelos durante el siglo XX. La mejor estimación para finales del siglo XXI con un escenario de emisiones bajas (B1) es de 1,8°C (el rango probable es de 1,1°C a 2,9°C), y con un escenario de emisiones altas (A1FI) es de 4,0°C (rango probable es de 2,4°C a 6,4°C) (Fig. 3).

Entre otros cambios previstos se incluyen los cambios de los patrones de viento, la precipitación y algunos cambios en los climas extremos y el hielo marino. Los cambios a escala regional incluyen: un calentamiento mayor sobre tierra y en las latitudes más septentrionales y menor en el océano del sur y en áreas del Atlántico norte; una contracción de la zona cubierta por la nieve, un aumento de la profundidad a la que la mayor parte del permafrost se deshíele, y una disminución en la extensión del hielo marino; un aumento de la frecuencia de los extremos de calor, olas de calor y fuertes precipitaciones, un probable aumento de la intensidad de los ciclones tropicales; y aumentos de las precipitaciones en latitudes altas, y probables descensos en la mayoría de las regiones terrestres subtropicales.

Se esperan para finales del siglo XXI (2090-2099) aumentos del nivel medio global del mar para el escenario de emisiones bajas (B1) de 0,18-0,38 m, y para el escenario de emisiones altas (A1FI) de 0,26-0,59 m. Sin embargo, debe tenerse en cuenta que muchos de los procesos relacionados con la fusión de los glaciares alrededor de las capas de hielo polares, singularmente en Groenlandia y la Antártida, no están incluidos en los modelos actuales. Por lo tanto, serán probables aumentos más rápidos del nivel del mar, por lo que las estimaciones del IPCC deben considerarse solo como un límite inferior para la subida del nivel del mar (Pfeffer et al., 2008).

El clima puede experimentar también cambios abruptos e irreversibles (Lenton et al., 2008). El cambio climático abrupto, a escalas de tiempo del orden de una década, implica cambios de la circulación oceánica. Según los modelos actuales, aunque es muy probable que la circulación termohalina (MOC, de las siglas en inglés) del Océano Atlántico se ralentice durante el siglo XXI, sin embargo se prevé un aumento en las temperaturas de la región. Cambios a más largo plazo en el MOC no se pueden evaluar con confianza. A escalas de tiempo más largo, la capa de hielo y los cambios en los ecosistemas también pueden desempeñar un importante papel. La pérdida parcial de las capas de hielo polar en la tierra y/o la dilatación térmica del agua de mar a escalas de tiempo muy largas podría suponer

metros de subida del nivel del mar, con impactos mayores en las costas, deltas de ríos e islas, lo que implica cambios importantes en la costa y la inundación de áreas bajas. La fusión completa de la capa de hielo de Groenlandia, si bien sería en escalas temporales de siglos debido a la alta inercia del sistema, elevaría el nivel del mar 7 m y podría ser irreversible.

7. Evolución esperable del clima para España

Una parte significativa del territorio español se encuentra situada en zonas clasificadas como áridas en las que la producción de cosechas, forraje, madera y otros servicios de los ecosistemas se encuentra limitados por el agua disponible. Las zonas áridas, como gran parte de la región mediterránea, están habitualmente sujetas a sequías estacionales, siendo especialmente vulnerables a la desertificación. La zona mediterránea se caracteriza también por las altas densidades de población, las fuertes concentraciones de la industria y la agricultura intensiva. A menudo, la degradación está vinculada a un inadecuado uso del suelo. Desde el punto de vista de la probable evolución de las condiciones climáticas, el panorama no es especialmente halagüeño ya que una parte significativa de las proyecciones de cambio climático generadas con la ayuda de modelos climáticos globales identifican claramente a la región mediterránea como una de las zonas en las que, con más probabilidad, habrá reducción de recursos hídricos como consecuencia del cambio climático. Aún teniendo en cuenta que las incertidumbres que se manejan en las proyecciones de precipitación son relativamente altas, los diferentes modelos muestran un alto nivel de acuerdo sobre la zona mediterránea. Los cambios que se esperan en precipitación y en temperatura se traducen en cambios en escorrentía y en disponibilidad de agua. Si se tienen en cuenta no solamente los cambios en los valores medios sino también los cambios en la variabilidad de la precipitación y de la temperatura, de nuevo la región mediterránea aparece como una de las regiones que va a mostrar más respuesta al cambio climático (Giorgi, 2006). Siendo la alta variabilidad interanual, por ejemplo de la precipitación, un motivo de gran preocupación en las condiciones actuales, se hace necesario extremar la preparación y adaptación de los sectores afectados por las condiciones climáticas para atenuar los efectos de un aumento en dicha variabilidad.

Las actividades de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) en materia de cambio climático amplían las tradicio-

nales tareas de la Agencia en materia de observación y estudios relativos al clima de España, como consecuencia del reconocimiento explícito de la rápida evolución del clima debida a causas fundamentalmente antropogénicas. Estas nuevas actividades se encuadran en el marco del Plan Nacional de Adaptación del Cambio Climático (PNACC) del entonces Ministerio de Medio Ambiente (MMA), aprobado en 2006 por la Comisión de Coordinación de Políticas de Cambio Climático y el Consejo Nacional del Clima, y en el mandato recogido en los propios estatutos de AEMET. El PNACC establece el marco general de referencia para las actividades de evaluación de impactos, vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Como el conocimiento detallado de las condiciones climáticas actuales y la estimación de las proyecciones climáticas en nuestro país son elementos imprescindibles para la puesta en funcionamiento del PNACC, se asignó a AEMET, en dicho plan, el proyecto de generar escenarios de cambio climático regionalizados para España utilizando tanto sus propios recursos como coordinando los esfuerzos de otros grupos de investigación activos en este campo.

Para cumplir con los compromisos asignados en el PNACC, con el mandato de los Estatutos de la Agencia y con las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), AEMET: a) observa el clima y hace un seguimiento continuo de sus cambios, manteniendo una base de datos climáticos que constituye una referencia a nivel nacional; b) proporciona estimaciones de los posibles escenarios de evolución del clima, manteniendo una base de datos de libre acceso de escenarios de evolución del clima para la comunidad de impactos y adaptación al cambio climático; c) proporciona asesoramiento al MAGRAMA, a otros departamentos ministeriales e instituciones en temas relacionados con el clima, su cambio y variabilidad; d) participa activamente en los diversos foros nacionales e internacionales en los que se tratan los aspectos meteorológicos del cambio climático y e) contribuye a la formación en temas relacionados con los aspectos físicos del cambio climático en el contexto de cooperación internacional.

AEMET coordina la generación de escenarios regionalizados de cambio climático con los objetivos específicos de: desarrollar, documentar y poner a disposición del PNACC escenarios de cambio climático para España a la escala adecuada para su utilización por la comunidad de impactos; y poner en funcionamiento un mecanismo de generación operativa y actualización de escenarios regionales de cam-

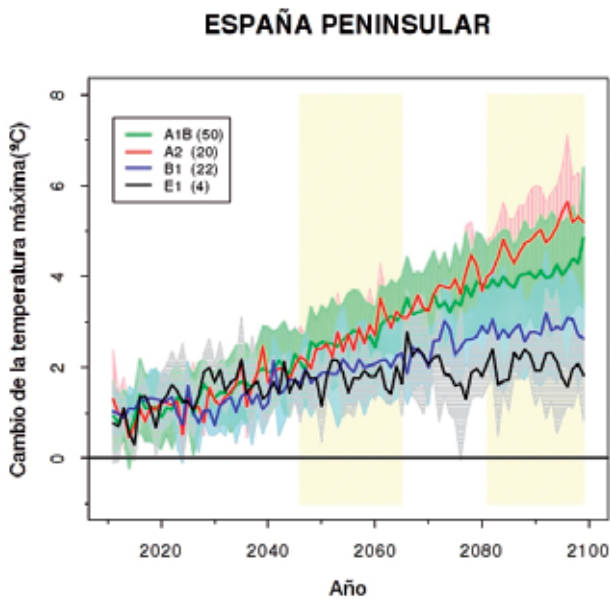


Fig. 4. Cambio de las temperaturas máximas, obtenidas por métodos de regionalización estadísticos y dinámicos, respecto al periodo de referencia promediado para todas las estaciones de España peninsular para cuatro escenarios de emisión. Las líneas representan el promedio de todas las proyecciones consideradas para cada escenario de emisiones y la zona sombreada representa la incertidumbre expresada como \pm una desviación estándar en torno a la media

bio climático para España en su página web, que alimente de forma periódica al PNACC (http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat).

A continuación se analiza la evolución esperable del clima para España a partir de los resultados de regionalización estadística y dinámica de la información disponible de 10 modelos climáticos del AR4 y de 12 del proyecto ENSEMBLES (<http://www.ensembles-eu.org>), de los valores medios y ciertos índices de extremos de las temperaturas máximas y mínimas y la precipitación, para el periodo 2000-2100 y para escenarios de emisión bajo (B2), intermedio (A1B), alto (A2) y el escenario de mitigación (E1). De estos escenarios los tres primeros no contemplan políticas de mitigación y muestran la evolución libre del clima en ausencia de acuerdos internacionales que limiten las emisiones de GEI. El cuarto escenario, E1, es un escenario de mitigación con una estabilización de los GEI en 450 ppm de CO₂ equivalente para 2140 y con el pico máximo en 2010 (van der Linden y Mitchell, 2009). El número total

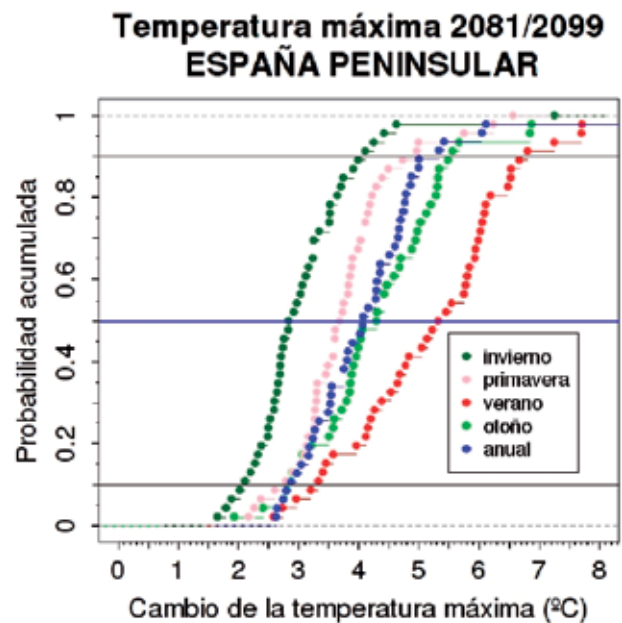
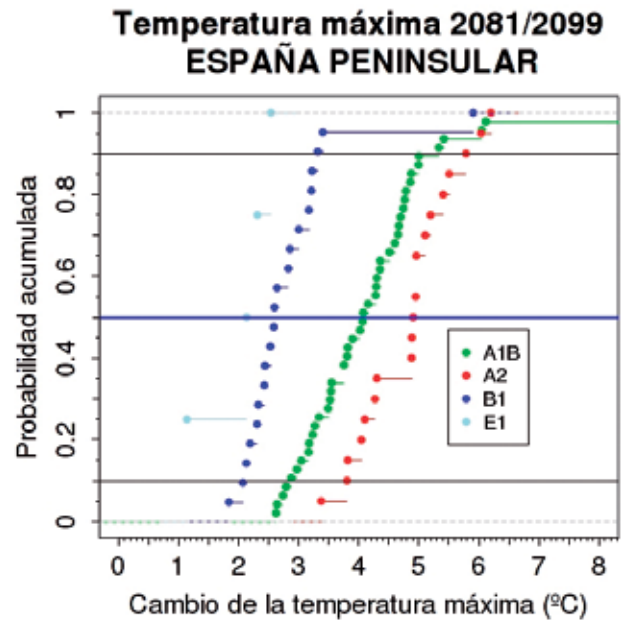


Fig. 5. Funciones empíricas de distribución acumulada del cambio del valor medio de la temperatura máxima del periodo 2081/2099 respecto al periodo de referencia para España peninsular para los cuatro escenarios de emisión (A2, A1B, B1 y E1) (5.a) y para el promedio anual y estacional con el escenario A1B (5.b). Las líneas horizontales muestran la mediana (color azul) y los percentiles 10 y 90 (color negro) de la distribución

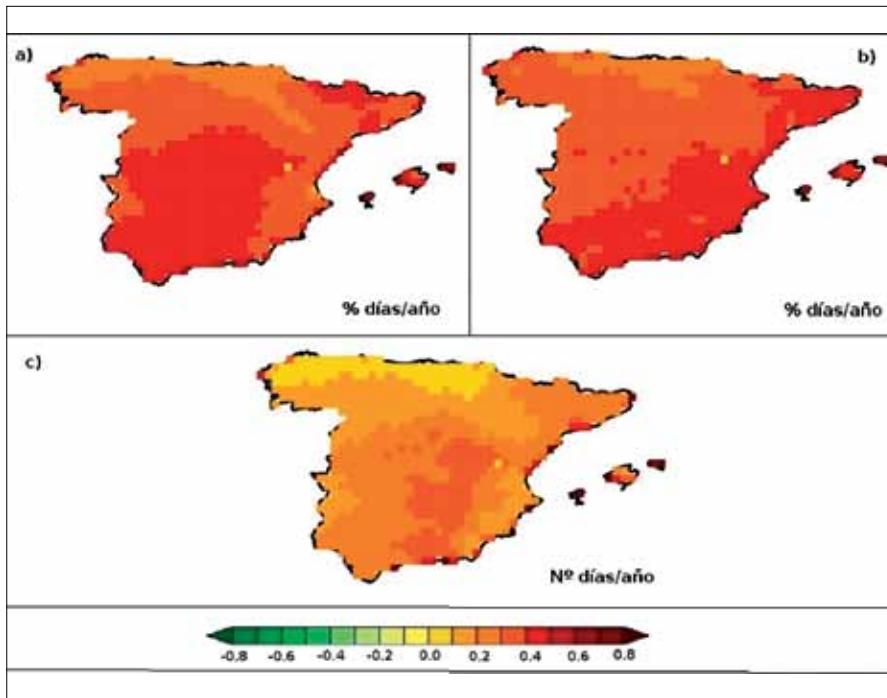


Fig. 6. Distribución espacial de la tendencia de la proporción de días cálidos (6.a), proporción de días con noches cálidas (6.b) y de la longitud máxima de las olas de calor (6.c) del periodo 2011/2098 proyectadas para el escenario de emisiones A1B por el conjunto de modelos del proyecto ENSEMBLES

de proyecciones regionalizadas analizadas asciende a 96 (50 para el escenario A1B, 22 para el escenario B1, 20 para el escenario A2 y 4 para el escenario E1). Esto permite realizar una estimación de las incertidumbres de las variaciones de las variables analizadas a partir de su distribución de probabilidad empírica, obteniéndose el rango de variación probable.

7.1. Temperatura máxima

Todas las proyecciones generadas muestran un aumento progresivo de las temperaturas máximas a lo largo del siglo XXI (Fig. 4), más rápido para el escenario más emisoro y más lento para el escenario menos emisoro y para el escenario de mitigación. Así, para finales de siglo, cuando los aumentos son mayores, es probable que la variación del valor medio de la temperatura máxima de los dos últimos decenios respecto al valor de referencia (1971/2000) esté comprendida entre 3,8 °C y 5,8 °C para el escenario de emisiones altas (A2) y entre 2,1 °C y 3,3 °C para un escenario de emisiones bajas (Fig. 5.a). Los incrementos menores se obtienen con el escenario de mitigación, en este caso el número de proyecciones disponibles es pequeño.

Las temperaturas estivales son las que experimentarán mayores cambios, entre 3,4 °C y 6,7 °C para el escenario

de emisiones A1B, y las invernales las que tendrán menos variaciones, entre 2,1 °C y 4,0 °C (Fig. 5.b). Respecto a la incertidumbre debida a los modelos globales y las técnicas de regionalización, estas son mayores en el verano.

Este comportamiento de las temperaturas máximas se manifiesta en todas las zonas de España peninsular, aunque con ligeras variaciones, siendo más acusado en la cornisa cantábrica.

Estos cambios en las temperaturas máximas inducen cambios en los índices extremos asociados a esta variable. Tanto la proporción de días cálidos como la longitud máxima de las olas de calor van a ir aumentando progresivamente a lo largo del siglo. Este aumento será más rápido en el centro y sur peninsular y en la zona pirenaica para los días cálidos (Fig. 6.a), y en la zona interior del cuadrante sureste de la península para la longitud de las olas de calor (Fig. 6.c). Respecto a su incertidumbre, se observa un aumento apreciable de la incertidumbre inducida por los modelos globales para finales de siglo para la longitud de las olas de calor.

7.2. Temperatura mínima

Al igual que para la temperatura máxima, todas las proyecciones de temperatura mínima dan un aumento progresivo

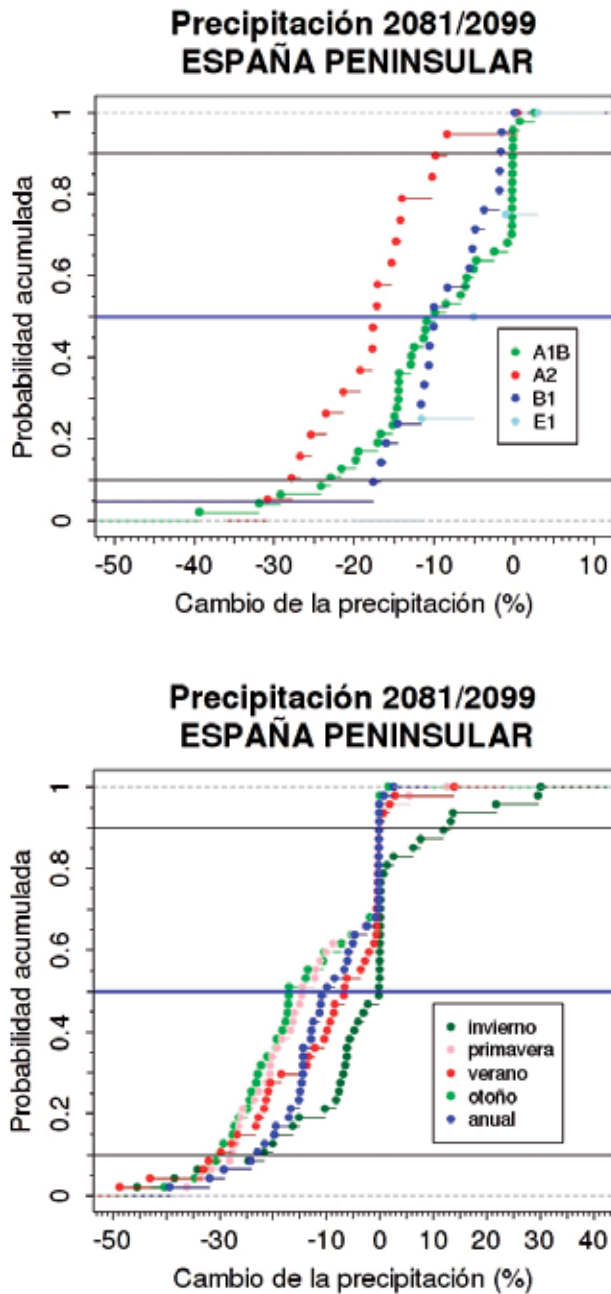


Fig. 7. Funciones empíricas de distribución acumulada del valor medio de la anomalía relativa de la precipitación anual del periodo 2081/2099 respecto al periodo de referencia para España peninsular para los cuatro escenarios de emisión (A2, A1B, B1 y E1) (8.a) y para el promedio anual y estacional con el escenario A1B (8.b). Las líneas horizontales muestran la mediana (color azul) y los percentiles 10 y 90 (color negro) de la distribución

a lo largo del siglo XXI, en todas las zonas geográficas de España peninsular. Por tanto, los mayores aumentos se obtienen para finales de siglo. Sin embargo, la rapidez con la que se puede producir este aumento varía, principalmente, según el escenario de emisión, poniéndose de manifiesto esta diferencia a finales de siglo. Los aumentos mayores son más probables en los escenarios más emisivos, así, es probable que la variación del valor medio de la temperatura mínima de España peninsular para los dos últimos decenios esté comprendida entre 2,8 °C y 4,3 °C para el escenario más emisivo (A2) y entre 1,6 °C y 2,5 °C para el escenario menos emisivo (B1). Estos valores tienden a ser menores en las proyecciones que se tienen para el escenario de mitigación E1.

Los cambios son mayores para el verano (entre 2,5 °C y 4,6 °C) y menores en invierno (1,6 °C y 3,4 °C) y primavera para el escenario de emisiones medias-altas (A1B). Respecto a la incertidumbre debida a modelos globales y técnicas de regionalización, también son mayores en el verano que en el invierno.

Este aumento de la temperatura mínima llevará consigo una variación de los índices extremos asociados a esta variable. Así, se espera una disminución en el número de días de heladas, especialmente en el área pirenaica. En esta zona, y para finales de siglo (periodo 1981/2100), es probable que haya entre 20 y 40 días menos de heladas que en el periodo 1971/2000. En las zonas de la mitad sur peninsular y zonas costeras, donde actualmente se registran pocos días de heladas, es muy probable que para finales de siglo las temperaturas no bajen por debajo de los 0 °C. Por el contrario, a lo largo del siglo XXI habrá un aumento progresivo en la proporción de noches cálidas. Así, para finales de siglo y a nivel de la España peninsular, es probable que el porcentaje de noches cálidas anuales aumente entre un 30 % y un 50 % respecto al periodo de referencia para el escenario de emisiones medias. Este aumento será más acusado en la parte sur y este peninsular, como se observa en la figura 6b, y más suave en la cornisa cantábrica.

7.3. Precipitación

A diferencia de las temperaturas máximas y mínimas, para la precipitación no todas las proyecciones muestran el mismo comportamiento. En general, se aprecia una tendencia a la disminución de la precipitación aunque existen proyecciones que no muestran tendencia significativa o incluso pueden tener una tendencia positiva. Las pro-

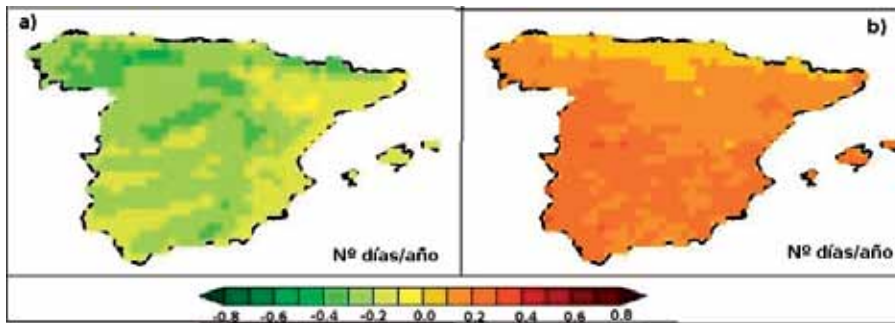


Fig. 8. Distribución espacial de la tendencia de número de días de precipitación (8.a) y de la longitud máxima de los periodos secos (8.b) del periodo 2011/2098 proyectadas para el escenario de emisiones A1B por el conjunto de modelos del proyecto ENSEMBLES

yecciones de los escenarios más emisivos son las que muestran mayor acuerdo (más de la mitad de las proyecciones muestran tendencia significativa y éstas son todas negativas) y dan mayor disminución de las precipitaciones para finales de siglo. El cambio relativo de la precipitación media del periodo 2081/2100 respecto al periodo de referencia es probable que esté entre el -10 % y el -27 % para el escenario A2 y entre el -2 % y el -17 % para el escenario B1 (Fig. 7a).

El desacuerdo entre las proyecciones es mayor en el invierno (Fig. 7b) –algo más de la mitad de las proyecciones obtenidas para el escenario A1B muestran tendencia negativa (30 de 50), siendo significativas solo en un cuarto de ellas–, con una variación la precipitación invernal de entre -21 % y 12 % para finales de siglo. Para el resto de las estaciones, el acuerdo entre las proyecciones es mayor (alrededor del 85 % tienen una tendencia negativa, siendo significativa para la mitad de ellas). Las reducciones mayores se producirían en otoño y primavera.

Respecto a los índices extremos asociados a esta variable, se aprecia una ligera tendencia a disminuir el número de días de precipitación, manifestándose más claramente hacia final de siglo y especialmente en los escenarios más emisivos. Esta disminución sería mayor en las áreas montañosas (Fig. 8a). También se puede apreciar una ligera tendencia al aumento de la longitud máxima de los periodos secos, algo mayor en el sur peninsular (Fig. 8.b), aunque la incertidumbre de este índice, para finales de siglo, es importante. Finalmente, no se aprecia una tendencia clara en el cambio de las precipitaciones intensas.

8. Conclusiones y perspectivas

El calentamiento del sistema climático es inequívoco y según los datos disponibles los años más cálidos desde 1850 han tenido lugar a partir de 1997. Este calentamiento no es uniforme, siendo mayor en las zonas terrestres y en las latitudes más altas del hemisferio norte. Además, este calentamiento se ha manifestado en varios indicadores como la subida del nivel del mar o la reducción de la extensión de hielo y nieve entre otros. La mayor parte de este calentamiento observado en las temperaturas medias mundiales es debido, muy probablemente, al aumento observado de GEI procedentes de la actividad humana.

Las herramientas básicas para realizar proyecciones futuras climáticas son los modelos de circulación general acoplados océano atmósfera. Sin embargo, hay que tener presente que el sistema climático es un sistema complejo altamente no lineal compuesto por varios subsistemas que interactúan entre sí, de ahí que se vaya tendiendo a utilizar mejor los denominados modelos del Sistema Tierra, donde se irá introduciendo más información sobre los subsistemas y sus interacciones, además de intentar alcanzar mayores resoluciones que permitan capturar fenómenos de escala más pequeña.

Los modelos globales proporcionan características a grandes rasgos de las proyecciones climáticas, sin embargo, la resolución actual de los mismos es insuficiente para las necesidades de la comunidad de impactos y adaptación al cambio climático. Por ello, es necesario aplicar técnicas de regionalización a las proyecciones globales para obtener proyecciones en escalas espaciales más pequeñas. Es

importante resaltar que las proyecciones regionales heredan los defectos y debilidades de los modelos globales en los que se basan, por lo que previamente a la regionalización será necesario realizar una evaluación de los modelos globales, cuyo resultado nos permitirá considerar para la regionalización solo aquellos modelos que simulen de forma aceptable la variabilidad natural del clima.

Las proyecciones regionales del clima están afectadas por incertidumbres que proceden de diferentes fuentes. Estas incertidumbres se propagan a lo largo de todos los pasos dirigidos a obtenerlas de una forma jerárquica. Estas fuentes de incertidumbre van desde los forzamientos naturales, por la falta de capacidad de predecir los cambios en la radiación solar y en las erupciones volcánicas, pasando por la evolución futura de las concentraciones de los GEIs, hasta las debidas a los procesos de modelización. El uso de ensambles permitirá una mejor estimación de las diferentes incertidumbres.

Del análisis del conjunto de proyecciones regionales se obtiene que a nivel de España peninsular se observa una tendencia a aumentar las temperaturas máximas y mínimas, más acusada para los escenarios más emisivos. Este aumento conlleva una disminución del número de días de heladas y un aumento de las noches cálidas, los días cálidos y la duración máxima de las olas de calor. Respecto a la precipitación existe más discrepancia entre las proyecciones, predominando aquellas que dan una disminución de precipitaciones para finales de siglo. Esta discrepancia es mayor en el periodo invernal. Este cambio lleva asociado una ligera tendencia a la disminución del número de días de precipitación, especialmente en las zonas montañosas, y un aumento en la longitud máxima de los periodos secos.

Evidentemente, a medida que se mejoren las estimaciones futuras de las concentraciones de GEIs, los modelos globales del sistema Tierra y las técnicas de regionalización se podrán disponer de proyecciones más fiables, siendo necesario la disponibilidad de métodos que permitan el acotamiento de las incertidumbres de las proyecciones obtenidas.

Agradecimientos

Los autores agradecen encarecidamente la revisión y sugerencias aportadas por Ernesto Rodríguez Camino. **ROP**

Referencias

- Giorgi, F., "Climate change hot-spots", *Geophys. Res. Lett.*, 33, L08707, doi:10.1029/2006GL025734, 2006.
- IPCC (2007), Salomon, S., Qin D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K.B., Tignor y Miller, K.L., "The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, U.K. y New York, USA, (Eds.). Cambridge University Press, Climate Change, 2007, p. 996.
- Lenton, T.M., Held, H., Kriegler, E., Hall, J.H., Lucht, W., Rahmstorf, S., y Schellnhuber, H.J., "Tipping elements in the Earth's climate system", *Proc. Natl. Acad. Sci.*, 105(6), 2008, pp.1786-1793.
- MMA, "Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), OECC, MMA", [http://www.mma.es/portal/secciones/cambio_climatico/areas_tematicas/impactos_cc/pdf/pna_v3.pdf], 2006.
- Morice, C.P., Kennedy, J.J., Rayner, N.A. y Jones, P.D., 2012: "Quantifying uncertainties in global and regional temperature change using an ensemble of observational estimates: the HadCRUT4 dataset". *J. Geophys. Res.*, 117, D08101, doi:10.1029/2011JD017187, 2012.
- Nerem, R.S., Chambers, D.P., Choe, C., y Mitchum, G.T., "Estimating Mean Sea Level Change from the TOPEX and Jason Altimeter Missions", *Marine Geodesy* Volume 33, Supplement 1, Special Issue: OSTM/Jason-2 Calibration/Validation, 2010
- Pfeffer, W.T., Harper, J.T., y O'Neel, S., "Kinematic Constraints on Glacier Contributions to 21st-Century Sea-Level Rise. *Science*, 321, No. 5894, 2008, pp. 1340-1343, doi: 10.1126/science.1159099
- Taylor, K. E., Stouffer, R. J. y Meehl, G. A., "An overview of CMIP5 and the experiment design". *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93, 2012, 485-498. DOI 10.1175/BAMS-D-11-00094.1
- Van der Linden P., y Mitchell, J.F.B. (eds.), *ENSEMBLES: Climate Change and its Impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project*. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK, 2009, 160pp.

Análisis de tendencias en el periodo 1921-2010 con series largas de precipitación



José Antonio López Díaz

Licenciado en Ciencias Físicas y en Ciencias Matemáticas.

Meteorólogo del Estado

Resumen

Para el estudio de las tendencias a largo plazo de la precipitación en España se han utilizado un conjunto de 66 series largas con control de homogeneidad. El periodo de estudio se extiende a los últimos 90 años. En primer lugar se estudian las tendencias en la serie de precipitación media en la península inferida a partir de las series largas, así como en las dos vertientes atlántica y mediterránea. A continuación, se aborda el análisis de las tendencias de las series en el total anual, incluyendo su distribución espacial. Por último, se analizan las tendencias a escala mensual.

Palabras clave

Tendencias de la precipitación, series largas de precipitación, tendencias mensuales y anuales, métodos no paramétricos

Abstract

A study of long-term rainfall trends in Spain over the last 90 years has been made on the basis of 66 long-time series following data and homogeneity checks. These data series were employed to analyse mean rainfall trends in Spain and in the Atlantic and Mediterranean basins. The study continued with an analysis of series trends in yearly totals together with their spatial distribution and was completed with an examination of monthly trends.

Keywords

Rainfall trends, long rainfall series, monthly and yearly trends, non-parametric methods

Series largas de precipitación

Las tendencias de precipitación desde comienzos del siglo XX se han analizado usando un conjunto de series largas de precipitación que se obtuvieron realizando una búsqueda de estaciones en el Banco de Datos Climatológico de AEMET siguiendo criterios de cobertura espacial y temporal, continuidad a largo plazo y calidad potencial. El criterio de cobertura temporal ha sido determinante, ya que se han buscado registros con longitudes cercanas o superiores a 100 años. La red de observación climatológica en España aumentó considerablemente entre 1910 y 1920, por lo que se ha impuesto un criterio inicial de existencia de observaciones con anterioridad a 1920. Las series así identificadas debían tener continuidad, permitiéndose cambios de emplazamiento o incluso desapariciones siempre que existiese en los alrededores, a una distancia no superior a 20 km, algún observatorio fiable y con perspectivas de continuidad en el futuro. El trabajo realizado ha dado como resultado un conjunto de 66 series mensuales potencialmente buenas, 65 distribuidas por el territorio español peninsular y Baleares, más la de Gibraltar cuyos datos se remontan a 1852.

La homogeneización de los datos y el relleno de lagunas se llevó a cabo con el paquete "Climatol" descrito con detalle en Guijarro, 2011. El procedimiento se basa en un ajuste iterativo de las anomalías de cada serie del conjunto con relación a un conjunto muy amplio de series climatológicas próximas disponibles en el Banco de Datos de AEMET. El procedimiento incluye pruebas de homogeneidad mediante el test SNHT (Alexandersson, 1986). La figura 1 muestra

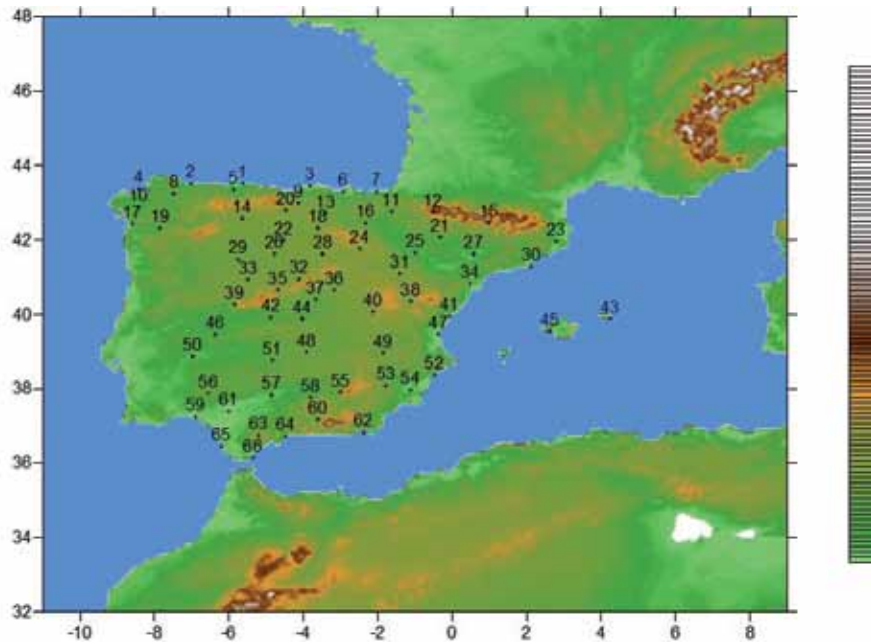


Fig. 1. Mapa de situación de las estaciones pluviométricas que componen las 66 series largas de precipitación

la relativamente uniforme cobertura espacial de los 66 observatorios que componen esta base de datos.

Análisis de las series estimadas de precipitación anual media en la España peninsular, vertiente atlántica y vertiente mediterránea

A partir de las 66 series largas de precipitación se ha construido una serie de precipitación total anual media en la España peninsular y en sus dos vertientes, la atlántica y la mediterránea. Para ello se ha procedido a efectuar una regresión múltiple con las series disponibles en AEMET para el periodo 1941-2010 de precipitación anual media en la vertiente atlántica y en la mediterránea. En cada vertiente se han usado como regresores las series de total anual de las estaciones pertenecientes a cada vertiente de entre las 66 series largas. Ambas regresiones dan un coeficiente de determinación muy elevado.

En la figura 2 se han representado las series obtenidas suavizadas con un filtro gaussiano para todo el periodo de datos de las series largas disponible incluyendo extrapolación 1851-2010. Destacan a simple vista los óptimos pluviométricos centrados en finales de los años 30 y en principios de los 60 del pasado siglo.

En la tabla 1 se han reflejado, para los tres periodos de 30 años desde 1921 hasta 2010, y para los últimos 60 años y 90 años, las tendencias en la Península y las dos vertientes. Tanto aquí como en el resto del artículo, para estimar las tendencias y para hallar la significación estadística de las mismas se han empleado procedimientos no paramétricos, que garantizan independencia frente al tipo de distribución estadística de la variable. En concreto, la tendencia se ha estimado con el estimador de la tau de Kendall, que es la mediana de las tendencias determinadas por todas las

PERIODO	PEN			ATL			MED		
1921 - 1950	2	0	0.0	1	0	0.0	-14	-2	-0.0
1951 - 1980	-59	-8	-0.1	-83	-11	-0.1	-125	-21	-0.2
1981 - 2010	358	55	1.1	432	61	1.0	282	51	0.6
1951 - 2010	-68	-10	-0.3	-89	-12	-0.3	-46	-8	-0.3
1921 - 2010	-31	-5	-0.2	-45	-6	-0.2	-11	-2	-0.0

Tabla 1. Para la península y las dos vertientes, a la izquierda la tendencia en mm/100 años, en el centro la anterior tendencia como porcentaje respecto a la media de la serie, a la derecha el p-valor del test de Mann-Kendall en la forma Log[[p-valor]], con signo según tendencia. Valor crítico al 10 % 1.0, al 5 % 1.3

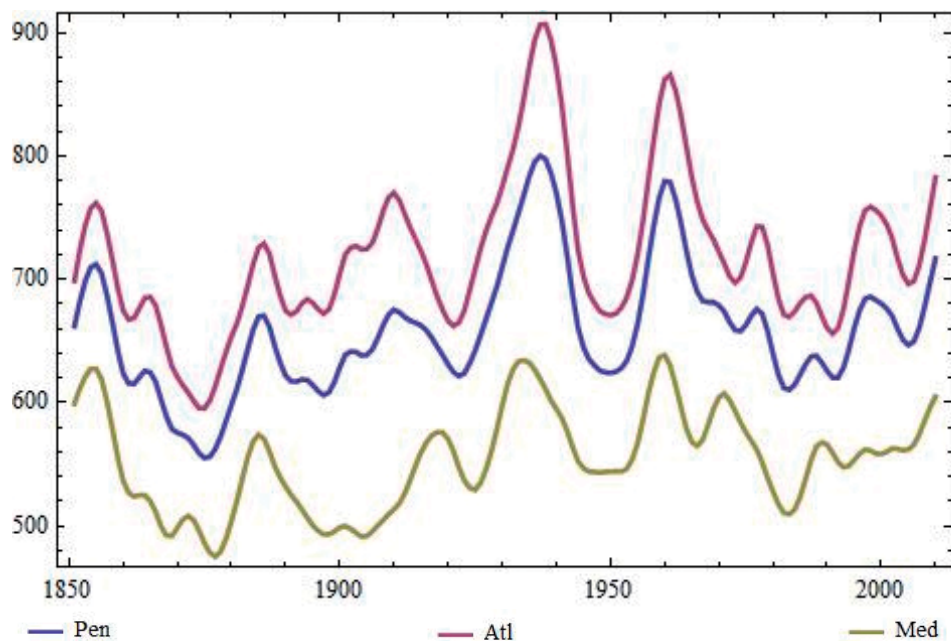


Fig. 2. Series temporales suavizadas con un filtro de Gauss (T = 15 años) de la precipitación anual media (mm) en la Península, vertiente atlántica y vertiente mediterránea

parejas de valores en la serie. Al ser un estimador más robusto que el habitual obtenido de la pendiente de la recta de regresión, depende menos de los detalles de datos de años aislados muy húmedos o secos. Por otra parte la significación estadística de las tendencias se ha determinado mediante el test de tendencia de Mann-Kendall, que es también no paramétrico.

En términos de tendencia absoluta en mm/100 años vemos que los valores más grandes corresponden al último periodo de 30 años, con valores del orden de 400 mm/100

años para tendencia creciente, aunque disminuye en la vertiente mediterránea. Estas tendencias, como porcentaje respecto a la media del periodo alcanzan valores muy notables, del orden del 50 %, como vemos por los valores centrales. Con todo, la significación estadística no llega al 5 %, pero sí al 10 % en la península y vertiente atlántica. Para los últimos 90 años (última fila) las tendencias son muy poco importantes.

La tabla 2 permite un análisis de dónde se sitúan los periodos más húmedos o secos en la serie de precipitación

AÑOS	PERIODOS MÁS HUMEDOS					PERIODOS MÁS SECOS				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
5	1959	1936	1935	1937	1933	1990	1980	1991	1981	1950
10	1932	1933	1934	1930	1931	1945	1944	1986	1985	1981
15	1929	1928	1927	1930	1926	1980	1981	1979	1978	1943
20	1924	1925	1923	1928	1929	1980	1973	1976	1975	1974
25	1924	1955	1923	1925	1936	1971	1970	1981	1980	1972
30	1932	1934	1936	1935	1931	1980	1966	1978	1979	1973
40	1930	1932	1927	1924	1926	1970	1967	1968	1966	1969
50	1930	1929	1923	1928	1924	1944	1945	1943	1946	1942
60	1925	1921	1930	1922	1924	1948	1942	1943	1949	1944

Tabla 2: Periodos más húmedos y secos en la España peninsular en 1921-2010. Para cada longitud de periodo en la columna de la izquierda, se indican los 5 periodos más húmedos/secos, reflejando el año de inicio de cada periodo

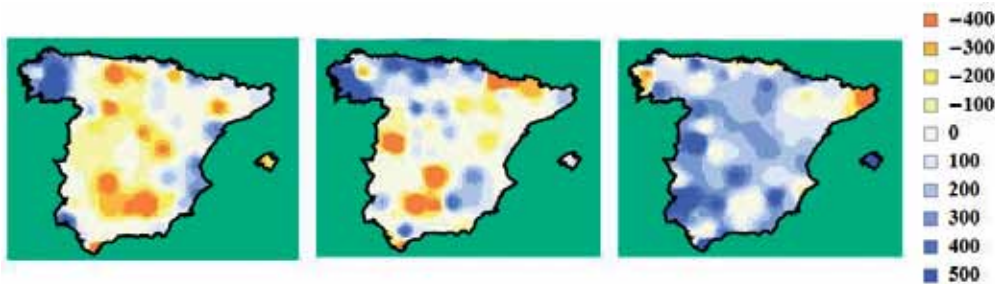


Fig. 3: De izquierda a derecha distribución espacial de las tendencias (mm/ 100 años) para los periodos sucesivos de 30 años 1921-1950, 1951-1980 y 1981-2010

media de la España peninsular, para periodos de diferentes longitudes en años. Quizá llame la atención que los lluviosos principios de los 60 del pasado siglo solo aparezcan en la tabla 2 para periodos de longitud 5 años. En cuanto pasamos a 10 años ya no consiguen estar entre los 5 periodos más húmedos, que para esta longitud están acaparados por los años 30. En realidad, la tabla muestra que los periodos más húmedos, para longitudes iguales o superiores a 10 años están dominados por periodos que comienzan a finales de los años 20 o principios de los 30. En cambio, los periodos más secos tienden a comenzar más tarde; hasta longitudes de 30 años predominan los periodos que comienzan en principios de los 80 o finales de los 70. Sin embargo, el periodo más seco de 5 años comienza en 1990.

Tendencias de precipitación anual

Al objeto de hacerse una idea de la distribución espacial de las tendencias anuales de la precipitación en la Península y Baleares se han representado en la figura 3 estas tendencias para los tres periodos sucesivos de 30 años.

Como ya se comentó al hablar de las series de precipitación anual de la península, el último grupo de 30 años es excepcional, también en cuanto a la distribución espacial de la tendencia creciente, que se extiende a la mayor parte del área representada. En cambio los dos anteriores son ciertamente mucho más heterogéneos en cuanto a la distribución espacial de las tendencias.

Para el periodo global estudiado de los últimos 90 años, para el que ya vimos que la tendencia de la precipitación en la Península es muy escasa, la figura 4 muestra que solo en una región del centro de Andalucía se alcanza una tendencia negativa significativa al 5 % con una subregión bastante extensa al 1 %. Otros dos contornos más reducidos de significación estadística se dan al nor-

te (tendencia decreciente al 1 %) y en la costa levantina (tendencia creciente).

Tendencias de precipitación por meses

Las tendencias de la precipitación para los 12 meses del año, en los tres periodos de 30 años sucesivos, aparecen en las figuras 5, 6 y 7 respectivamente. Del análisis de estos mapas se desprende que los dos meses que más llaman la atención son noviembre del primer periodo de tres décadas y octubre de último periodo: el primero por la extensión e intensidad de las tendencias decrecientes, el segundo por las tendencias crecientes. De hecho, si hacemos un análisis de los meses con mayor número de estaciones con tendencia significativa encontramos los resultados de la tabla 3.

Según la tabla 3, los dos meses anteriormente citados ocupan un lugar destacado por el número de tendencias, de forma especial el noviembre de 1921-1950, en que casi la mitad de las estaciones tienen tendencia decreciente significativa al 5 %.



Fig. 4. Significación estadística de las tendencias anuales de precipitación en el periodo 1921-2010

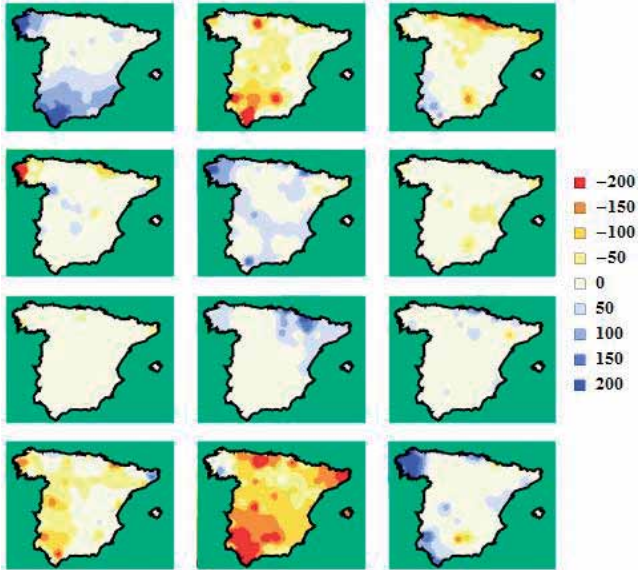


Fig. 5. Tendencias para los 12 meses del año en mm/100 años para el periodo 1921-1950

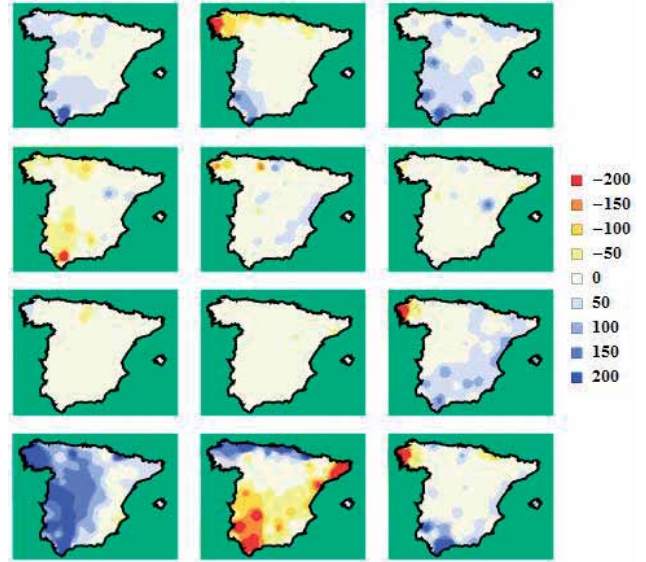


Fig. 7. Tendencias para los 12 meses del año en mm/100 años para el periodo 1981-2010

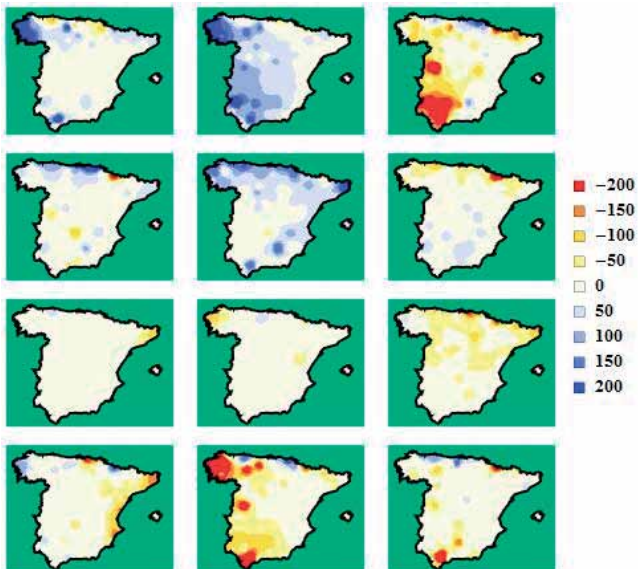


Fig. 6. Tendencias para los 12 meses del año en mm/100 años para el periodo 1951-1980

PERIODO	MES	Nº TEN. 5 %	Nº TEN. 1 %
1921 - 1950	11	30 (-)	9 (-)
1981 - 2010	10	17 (+)	3 (+)
1921 - 1950	8	8 (+)	3(+)
1981 - 2010	9	8 (+)	2 (+)
1921 - 1950	1	7 (+)	3 (+)

Tabla 3. Meses en los tres periodos de 30 años con mayor número de tendencias significativas

Para el periodo completo 1921-2010, merece la pena destacar que los mapas, tanto de tendencias como de su significación estadística (no representados), no muestran rasgos reseñables, salvo para marzo. En este mes el número de tendencias decrecientes en los últimos 90 años es sorprendentemente grande.

La figura 8 muestra que para este mes en los últimos 90 años las tendencias significativas al 1 % se extienden por amplias áreas de la mitad oeste salvo en el tercio septentrional. De hecho, en este mes el número de estaciones con tendencia decreciente significativa al 5 % es de la mitad, o sea, 33 estaciones, de las que 23 lo son incluso al 1 %.

Para hacerse una idea de lo excepcional de este mes, baste decir que el siguiente mes por número de tendencias significativas en este periodo es junio, en que tan solo 3 estaciones dan tendencia decreciente significativa al 5 %.

Otro rasgo que merece la pena comentar es que en el mes de noviembre, para los tres periodos de 30 años, como se desprende de las figuras 5-7, en el extremo SO de la península hay una tendencia decreciente muy significativa. Sin embargo, para el periodo global de 90 años no hay tendencia significativa en noviembre en esa zona. Esto implica que en esta zona hay una repetición de un patrón de tendencia decreciente cada 30 años que se asemeja a un diente de sierra con tres dientes, de tal forma que no hay tendencia significativa global en noviembre (ver Fig. 9). **ROP**



Fig. 8. Significación estadística de las tendencias en marzo para el periodo 1921-2010

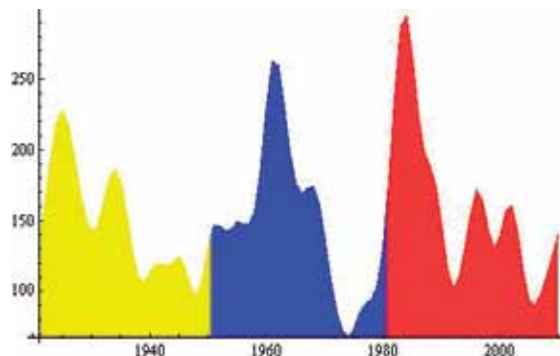


Fig. 9. Valor medio (mm) de las series de Grazales, San Fernando y Gibraltar en noviembre. Los colores marcan los tres periodos de 30 años

Referencias

- Alexandersson H (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *Jour. of Climatol.*, 6:661-675.
- Almarza, C.; López-Díaz, J. A. y Flores, C. (1996). Homogeneidad y variabilidad de los registros históricos de precipitación de España. Monografía Técnica A-143 Instituto Nacional de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente, ISBN 8449802210.
- Guijarro, J.A. (2011). User's guide to climatol. <<http://webs.ono.com/climatol/climatol-guide.pdf>>, 40 pp.
- Kunkel et al. (1999): Long-term trends in extreme precipitation events over coterminous United States and Canada, *J. Climate*, 12, 2515-2527

- Luna, M.Y., Guijarro, J.A., López, J.A. (2012). Reconstrucción, homogeneidad y tendencias de las series históricas de precipitación mensual acumulada en la España peninsular y las Islas Baleares. Ponencias 8º Congreso Asociación Española de Climatología (AEC), Salamanca 25-28 Septiembre de 2012, págs. 499-507
- Luna, M.Y., Guijarro, J.A., López, J.A. (2011). Tendencias observadas en España en precipitación y temperatura. *Revista Española de Física*. Vol 26-2, págs. 12-17

Cambio climático y enfermedades ambientales



Eugenio Domínguez Vilches

Biólogo.

Catedrático de Botánica y Responsable de la Cátedra de Medio Ambiente ENRESA-UCO de la Universidad de Córdoba. Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (CeIA3)



Carmen Galán Soldevilla

Bióloga.

Catedrática de Botánica de la Universidad de Córdoba. Coordinadora de la Red Española de Aerobiología. Campus de Excelencia Internacional Agroalimentario (CeIA3)

Resumen

La modificación de los factores ambientales por la especie humana juegan un papel importante en la ecuación del clima. El aumento en la velocidad e intensidad de dichas modificaciones en los últimos 200 años ha traído, como consecuencia, un aumento desmesurado en la concentración de GEI en la atmósfera, en particular de CO₂, dando lugar a la aparición de nuevas patologías y exacerbación/extensión de las existentes entre los humanos. Para evitar las consecuencias que este fenómeno tendrá para las futuras generaciones, es necesario que se tomen medidas de mitigación de los factores desencadenantes y la adaptación a estos fenómenos, impidiendo así, la extensión, agravamiento o aparición de nuevas patologías.

Palabras clave

Cambio climático, enfermedades medioambientales, calentamiento global, alergias, aeroalérgenos, enfermedades transmitidas por vectores

Abstract

The modification of the environment by human activity plays a very important role in the climate equation. The ever increasing rate of these modifications over the last 200 years has led to a disproportionate increase in the concentration of greenhouse gasses in the atmosphere, and particularly CO₂, that has given rise to new disorders and the exacerbation/spreading of existing disorders among humans. In order to prevent the effects of this phenomenon on future generations, it is essential that we take measures to mitigate the causing factors and prevent the spreading, worsening or appearance of new disorders.

Keywords

Climate change, Environmental diseases, Global warming, Allergies, Aeroallergens, Vector transmitted diseases

Introducción

“Existen evidencias científicas que muestran el importante papel de los factores ambientales en el desencadenamiento o agravamiento de las enfermedades y dado el más que probable cambio abrupto del clima que el planeta Tierra está sufriendo en los dos últimos siglos, será necesario tomar medidas de mitigación para impedir su extensión y la aparición de patologías que puedan afectar no solo al ser humano sino al resto de la biodiversidad terrestre” (12, 9).

La Oficina Regional para Europa de la Organización Mundial de la Salud (OMS), en su *Climate Change and Adaptation Strategies for Human Health* (2006) (10,2), indica que las enfermedades ambientales son aquellas que pueden ser generadas tanto por agentes internos, relacionados con la variación y cambio del clima, o las generadas por distintos agentes externos, tales como los vectores transmisores de enfermedades, los alimentos y el agua, o los aeroalérgenos.

A mediados del siglo XX, la Unión Internacional de Ciencias Biológicas y el Consejo Internacional de Uniones Científicas proyectaron un programa internacional sobre estudios biológicos enfocados hacia la “productividad de los recursos biológicos, la adaptación del hombre al cambio del clima, y a los cambios ambientales”. Fue así como surgió en 1964 el Programa Internacional de Biología en el que la NASA jugó un papel importante, proyectando algunos de sus estudios sobre el componente biológico de la atmósfera. Dada la estrecha relación que existe entre los factores climáticos y la salud pública, lo que lleva a pensar que la variabilidad y cambio del clima pueden, y así lo demuestran numerosas investigaciones, incidir de manera importante en la salud y el bienestar de los humanos.

Las enfermedades ambientales

Las enfermedades ambientales siempre han despertado un interés especial. Podríamos remontarnos hasta el siglo

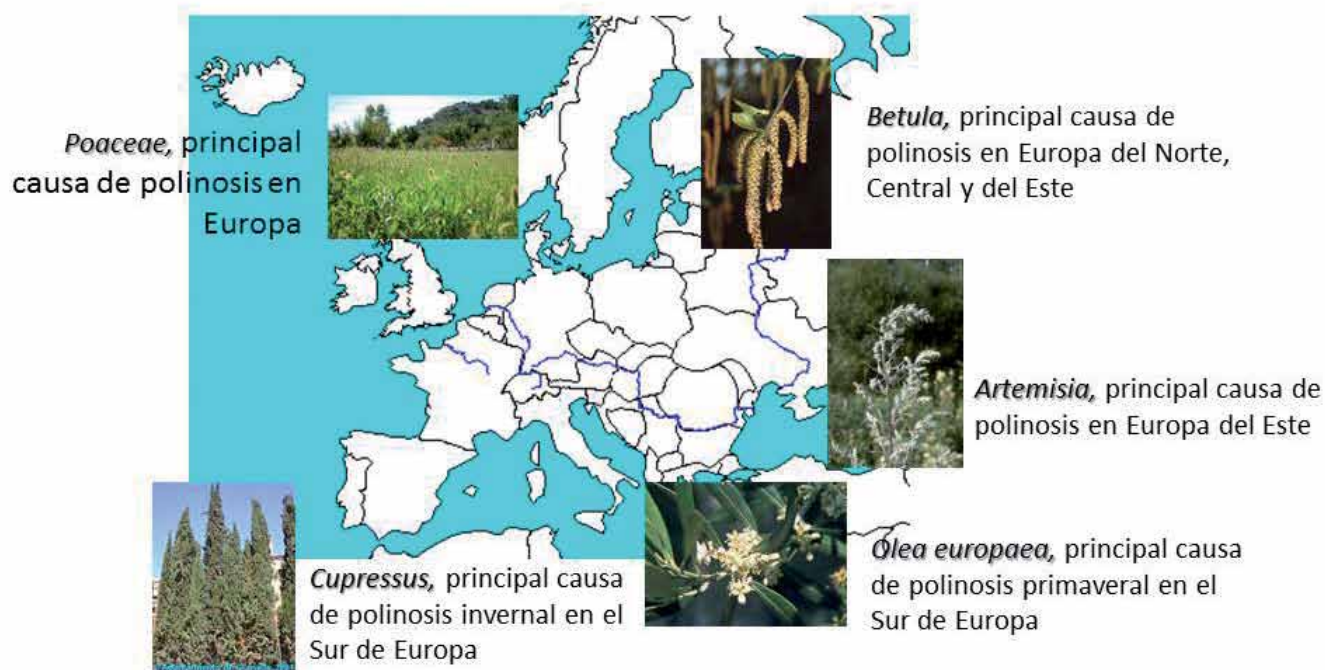


Fig. 1. Mayores productores de polinosis en las diferentes zonas de Europa en invierno y verano

V a.C. cuando Hipócrates de Kos, considerado hoy en día como padre de la medicina, atribuía las enfermedades a fenómenos naturales, ya entonces concluyó que “el hombre puede ser atacado por fiebres epidémicas cuando inhala el aire infectado con poluciones hostiles a la raza humana”.

Durante un periodo prolongado de tiempo se creyó que tanto los animales como las plantas podían surgir a partir de materia inerte, es decir, de forma espontánea (Teoría de la generación espontánea de Aristóteles, 384-322 a.C.). Teoría que se mantuvo vigente hasta el siglo XVII, cuando se puso en duda gracias a distintos experimentos de laboratorio, de Francesco Redi (1626-1697), con insectos; Pier Antonio Michelli (1679-1737), inoculando esporas de hongos en distintos frutos; o Lazzaro Spallanzani (1729-1799) con anfibios y reptiles.

Sin embargo, no fue hasta el siglo XIX cuando Louis Pasteur (1822-1895) desterró definitivamente la teoría de la generación espontánea a través de distintos estudios con microorganismos, asignando a estos el poder de crear y transmitir las

enfermedades en el resto de los seres vivos y que poniendo de manifiesto la intensidad y la extensión de éstas estaban fuertemente ligados a factores climáticos, entre otros.

Las enfermedades del sistema inmune (aeroalérgenos) y el clima

Ya en el siglo XVIII algunos médicos se interesaron por describir algunos casos de enfermedades estacionales, no descritas hasta entonces en los libros de Medicina. Empezaron a conocerse su sintomatología y los posibles agentes responsables, apareciendo las primeras menciones a una extraña enfermedad, que fue nombrada de diferente manera dependiendo del principal agente causante. Por ejemplo, John Bostock (1773-1846) se refirió a ella como la “fiebre del heno” y Charles H. Blackley (1820-1900), como “Catarrhus Aestivus”, una enfermedad ideal para investigación según estos autores, ya que no “es peligrosa y ocurre solo durante una época del año”. Por otro lado, y dado que estos primeros síntomas se detectaron en pacientes de clase alta, hubo quien llegó a denominarla como la “enfermedad de la aristocracia” (Fig. 1).

Las alergias polínicas no son más que una hipersensibilidad inmunológica, desencadenada en el tracto respiratorio de algunos individuos atópicos y que al parecer solo se produce en los humanos. Los alérgenos son aquellos componentes biológicos frente a los que nuestro sistema inmune reacciona al reconocerlos como cuerpos “extraños” (antígenos), tratando de neutralizarlos, destruirlos o eliminarlos. Los aeroalérgenos son aquellos que se encuentran en el aire durante un cierto período de tiempo.

La mayoría de los autores parecen estar de acuerdo en que uno de los principales causantes del cambio climático parece ser el incremento exponencial que han sufrido las concentraciones de los GEI en nuestra atmósfera. Uno de estos gases es el CO_2 y está más que constatado que un aumento del CO_2 atmosférico favorece la actividad biológica de las plantas y por ende, la fotosíntesis, que a su vez produce un incremento de la intensidad de la floración y, por tanto, de la emisión polínica por parte de las plantas y como consecuencia un incremento de las concentraciones de polen en el aire que respiramos. De ahí que el número de polinóticos se haya incrementado en más de 75 % en los últimos 50 años, de tal manera que los estudios epidemiológicos indican que en España, más del 25 % de la población es sensible, en mayor o menor medida al polen de las plantas superiores (3).

Nuestro equipo ha demostrado recientemente que el aumento de las temperaturas, especialmente de las invernales, provoca un adelanto de la floración de algunas especies de floración primaveral, alargando su estación polínica, por lo que los pacientes que sufren polinosis se exponen durante un período de tiempo más prolongado (4,5) (Fig. 2a).

Por otro lado, un aumento del CO_2 atmosférico favorece la actividad biológica de las plantas, y la fotosíntesis, observándose un incremento de la intensidad de la floración y, por tanto, de la emisión polínica (10) (Fig. 2b).

Impactos directos generados por el clima

Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, la variabilidad del clima puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en las que la mano del hombre tiene una importante implicación

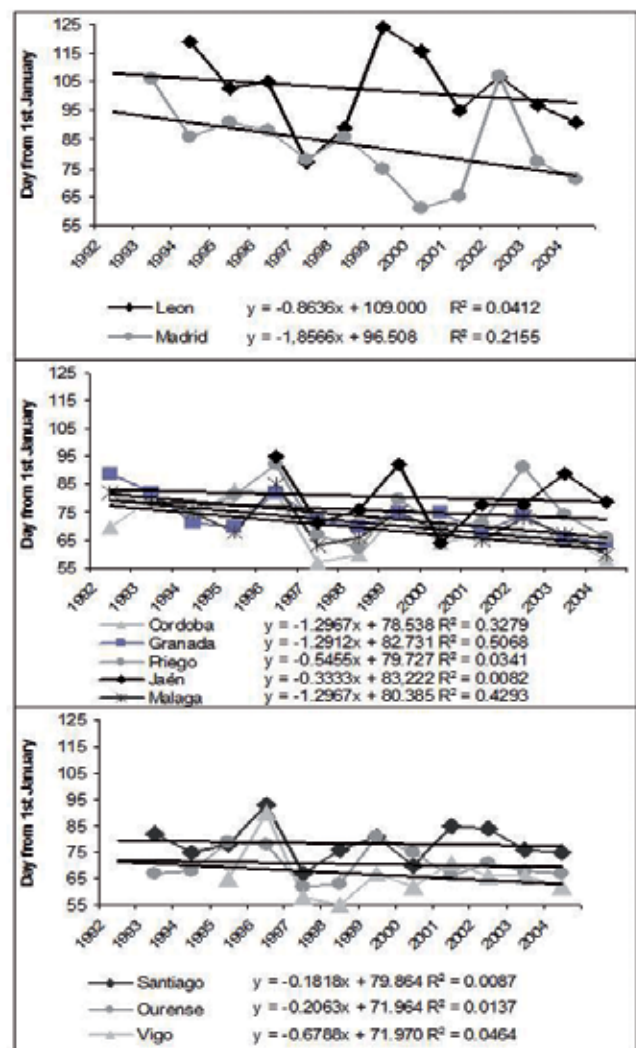


Fig. 2a. Tendencia negativa del inicio de la estación polínica de la encina en distintas zonas de España. Más marcado en zonas continentales que en zonas de costa, debido a un escenario de mayor incremento de las temperaturas medias en el área continental

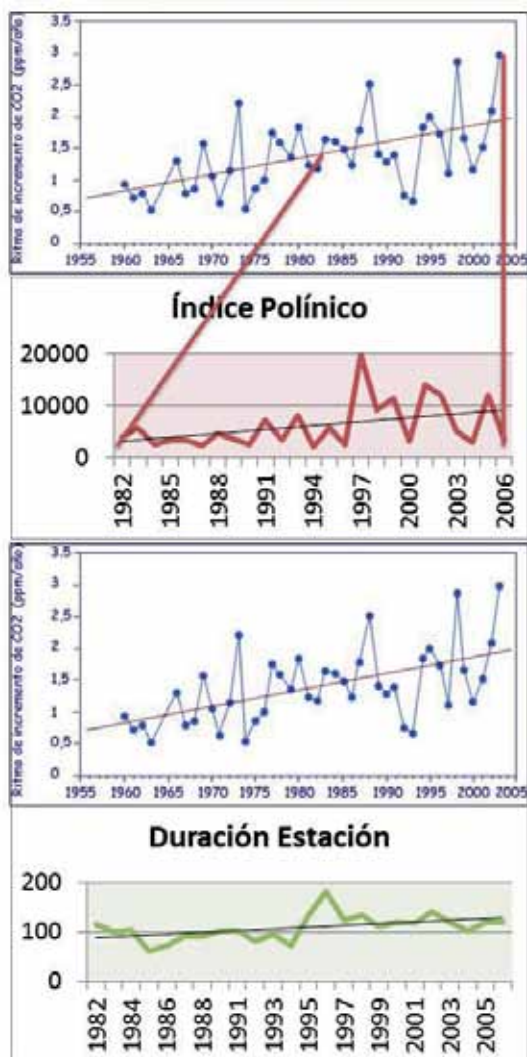


Fig. 2b. Aumento del índice polínico y de la duración de la estación en especies del género *Quercus*, debido al alargamiento del período de actividad vegetal y el ascenso térmico, combinado con un aumento de CO₂ atmosférico y otros cambios, como la fijación acelerada de nitrógeno

como agente externo o antropógeno (variabilidad externa). Aun así, es difícil determinar el porcentaje que representa lo que hoy día se viene llamando la huella humana sobre lo que sería la variabilidad natural del clima. Parece evidente, por la información que obra en manos de los climatólogos, que se está produciendo un importante cambio en el clima de la Tierra, que a su vez tiene su máxima expresión en un incremento de la temperatura del planeta que se está expresando a través de distintos episodios meteorológicos extremos y que son los responsables de los impactos directos a los que se puede ver expuesta la población. Distintos escenarios de proyección del clima del futuro ponen de manifiesto que los días fríos, noches frías y heladas serán menos frecuentes, mientras que los días cálidos, noches calurosas, y olas de calor serán más frecuentes; en general, la temperatura aumentará aunque no se conoce con exactitud cuál será la magnitud de este aumento (2) (Fig. 3).

Por lo tanto, planificar acciones de adaptación es hoy en día una de las tareas más relevantes en el ámbito de la salud pública. La adopción de medidas preventivas de adaptación, tratando de reducir los impactos que este cambio del clima está provocando en la salud, deberían enfocarse hacia una mejor educación de la ciudadanía, la oferta de una información más acertada que ayude a adoptar medidas de prevención, así como hacia proyectos de nuevos diseños urbanos, una orientación de los edificios apropiada y el uso de infraestructuras que eviten, como ejemplo, una mayor exposición en las “islas de calor urbano” con su capacidad de atrapamiento de las partículas biológicas y no biológicas, los lugares donde se detectan, al contrario de lo que cabría esperar, el mayor número de sensibilizaciones al polen, habiéndose apreciado fuertes correlaciones sinérgicas entre concentraciones de polen y de partículas inorgánicas procedentes de los vehículos propulsados por motores de combustión interna, sobre todo de los alimentados por diésel (1).

Alergias y factores socio-ambientales

Distintos estudios han puesto en evidencia el papel que juega el estilo de vida y distintos factores socio-ambientales en los casos de atopía y asma (7). Hoy en día se ha constatado el efecto coadyuvante de la polución ambiental sobre el carácter alérgico del polen. Estudios llevados a cabo en laboratorio han puesto de manifiesto una mayor o menor

CIUDADES	Inicio años 90	2025	2050	2075	2099	2099 - Inicio s. XXII
Santiago	82	80	79	77	77	-3
Vigo	74	55	50	36	32	-33
Ourense	73	54	48	33	29	-40
Barcelona	90	77	76	74	75	-5
Girona		80	75	70	72	-13
Lleida		80	77	75	71	-13
Tarragona		80	76	76	75	-15
León	115	90	64	47	31	-74
Madrid	106	65	47	27	26	-56
Córdoba	90	71	58	31	23	-57
Priego	91	59	50	25	25	-50
Jaén		50	49	27	28	-43
Granada	82	64	54	31	30	-45
Málaga	81	68	54	43	34	-39
Media	88				45	-34

Fig. 3. Escenario de adelanto en el inicio de la floración de los Quercus de España para final del siglo XXI de acuerdo con el modelo climático previsto por el UK.Met.Office

		2000	2001	2002
	Valores Límite			
GVP-PM ₁₀	50 µg/m ³ (25 µg/m ³)	295	87	209
PC-PM ₁₀		177	144	222
Polen	50 polen/m ³	38	32	39
	Valores aceptable			
GVP-PM ₁₀	150 µg/m ³ (50 µg/m ³)	0	0	0
PC-PM ₁₀		0	0	0
Polen	100 polen/m ³	55	28	33
	Valores de riesgo			
GVP-PM ₁₀	350 µg/m ³ (75 µg/m ³)	0	0	0
PC-PM ₁₀		0	0	0
Polen	200 polen/m ³	58	75	59

Fig. 4. Número de días en los que las concentraciones de (Materia Particulada) PM10 y granos de polen sobrepasan valores límite, aceptable o de riesgo en la ciudad de Córdoba. Entre paréntesis los valores de PM10 indican las reducciones que han sido aplicadas en 2005. Cariñanos, P., E. Domínguez-Vilches & al (2007). Ann. Agric. Environ. Med.

Epidemiología vectorial y salud humana

Original de Andreas Kalk & Britta Heine. *Climate Change and Health . Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit.*
http://www2.gtz.de/wbf/4tDx9kw63gma/CC_Health-final.pdf

1. Las Enfermedades relacionadas con los vectores representan casi el 17% de la carga mundial de morbilidad (Townson et al 2005).
2. Las Enfermedades Sensibles al Clima se encuentran entre las principales causas mundiales.
3. En África, la diarrea, la malaria y la malnutrición proteico-calórica solo, causaron más de 3,3 millones de muertes en 2002, lo que representa el 29% de la cifra total de muertos (OMS).
4. En un estudio reciente, se estima para África (Hammerich et al 2002) un aumento del 16-18% de los meses-persona de exposición a la malaria atribuibles al calentamiento global y el cambio climático (sin aumento de la población).

Fig. 5. Enfermedades Transmitidas por Vectores

liberación de ciertas proteínas polínicas, dependiendo de su grado de exposición a distintos contaminantes de la atmósfera. Como se ha citado anteriormente, las partículas emitidas por los motores diésel, pueden adherirse a la pared del grano de polen induciendo la liberación de proteínas, algo parecido a lo que ocurre cuando el grano de polen se adhiere sobre el órgano receptor femenino de la planta en el proceso de polinización. Esto refrenda la idea de que el alto índice de contaminantes dispersos en la atmósfera, junto con el constante incremento de partículas polínicas, pueden ser responsables de una mayor frecuencia de procesos alérgicos entre la población urbana. El alto nivel de emisión de partículas y el estilo de vida occidental está relacionado con un incremento en la frecuencia de problemas respiratorios inducidos por el polen. Las personas que viven en zonas urbanas tienden a estar más afectadas que las personas que viven en el medio rural (Fig. 4).

Enfermedades Transmitidas por Vectores (ETV)

En el caso de las ETVs juegan un importante papel distintos factores medioambientales que caracterizan al clima

de una zona determinada. El clima en general, y distintas condiciones meteorológicas en particular puede afectar a la distribución geográfica y la dinámica de la población de distintos vectores transmisores y huéspedes intermedios. Parámetros meteorológicos, como la temperatura, la lluvia y la humedad ambiental pueden afectar a la fisiología y ecología de estos vectores y huéspedes intermedios, así como al índice de desarrollo y supervivencia del patógeno transmitido por ellos.

Sin embargo, otros factores como la vegetación y el uso del suelo juegan también un papel relevante (Fig. 5).

En Europa, las ETVs más frecuentes son la enfermedad de Lyme, transmitida por garrapatas o la leishmaniosis, transmitida por mosquitos flebótomos, esta última considerada como una enfermedad endémica en distintas zonas del sur de Europa. El paludismo o malaria, transmitida por mosquitos del género *Anopheles*, no se considera hoy en día una enfermedad que se adquiera en España, aunque se observan algunos casos de transmi-

sión, posiblemente a través de pacientes que provienen de África. (6,8)

La distribución de los distintos vectores de transmisión de estas enfermedades está relacionada con el clima, aunque, en este caso, surge la duda de si podría aumentar la presencia de estos vectores en el norte de Europa en un futuro próximo o la posible introducción de nuevos vectores procedentes de las zonas tropicales y subtropicales. ¿El calentamiento global puede llevarnos a un aumento de ETV en Europa? Según el IPCC durante el siglo XX se ha venido observando una tendencia hacia una elevación de las temperaturas en la mayor parte de Europa, lo que ha supuesto un aumento de la media global de 0,8 °C. Esta situación nos puede llevar hacia una posible reducción en la mortandad de vectores transmisores de la enfermedad, como es el caso de muchos insectos, durante inviernos más suaves, al no encontrarse expuestos a situaciones de estrés térmico. En cuanto a las lluvias, la tendencia de precipitación en el siglo XX ha mostrado un incremento en el norte y un descenso en el sur de Europa, lo que puede llevar hacia un desplazamiento y una mayor propagación de distintas enfermedades hacia latitudes septentrionales. Sin embargo, de momento no queda claro que un aumento del riesgo de padecer estas enfermedades sea consecuencia del cambio climático.

Son otros los factores que pueden contribuir a este fin, como las condiciones socioeconómicas, los usos de suelo, la migración de personas infectadas, etc. Aun así, se hace necesario estudiar la posible implicación del calentamiento global como otro factor a tener en cuenta cara al futuro.

Enfermedades transmitidas por los alimentos y el agua

El cambio del clima tiene un efecto directo sobre la producción de alimentos a escala mundial. Un aumento de la temperatura y una mayor exposición a eventos extremos pone en riesgo el rendimiento de las cosechas, el ganado, la pesca y la acuicultura, afectando de forma importante a la producción de alimentos (12).

En algunos casos estas enfermedades presentan un patrón estacional poniendo de manifiesto su modo de transmisión. Por ejemplo, la salmonelosis, enfermedad provocada por la bacteria denominada Salmonella, presenta su pico durante el verano, mientras que la campilobacteriosis, que

son las infecciones causadas por la bacteria Campylobacter, ocurre generalmente durante la primavera. En estas enfermedades suelen estar implicados algunos patrones estacionales, como por ejemplo, patrones de migración y de crecimiento de algunos vectores transmisores.

Por otro lado, la temperatura y la lluvia pueden influir en el desarrollo de estas enfermedades, aunque en la mayoría de los casos este papel no está bien documentado. Algunos estudios indican la relación entre el ratio de multiplicación de Salmonella y la temperatura. Sin embargo, se han observado distintos umbrales de respuesta y modelos de comportamiento en diferentes países, dependiendo no solo de las temperaturas medias, sino de la latitud.

Estrés crónico y alergia

Estudios recientes en psiconeuroinmunología ponen de manifiesto una regulación recíproca entre el sistema inmune y el sistema nervioso como respuesta del organismo para afrontar una situación estresante. A lo largo del tiempo se ha venido observando una asociación entre situaciones de estrés crónico y diferentes patologías, tales como cardiovasculares, psiquiátricas, endocrinas, gastrointestinales o neurológicas. Sin embargo, no está del todo claro que el estrés provoque casos de alergia, aunque las evidencias apuntan a que en individuos genéticamente predispuestos puede favorecer su aparición o dificultar su control cuando estas ya existen.

Algunos autores plantean la posibilidad de que algunos casos de suicidio primaveral, que aunque ocurren por causas desconocidas desde tiempo inmemorial, han podido estar provocados por una exposición intensa al polen durante esa época del año. Los últimos trabajos publicados en el campo de la epidemiología psiquiátrica han puesto de manifiesto que la exposición a altas concentraciones de polen puede desencadenar procesos de depresión en personas atópicas, observaciones llevadas a cabo en la mayoría de los casos durante la estación primaveral, y solo en algunos casos en la otoñal.

Conclusión

Parece pues evidente, que existen evidencias científicas que muestran el importante papel de los factores ambientales y en consecuencia, todos aquellos que tienden a su modificación, como es el caso del calentamiento global,

en el desencadenamiento o agravamiento de un número importante de enfermedades y que será necesario tomar medidas de mitigación y de adaptación sobre ellos para impedir su extensión y, en su caso, en la aparición de nuevas patologías que puedan afectar no solo al ser humano, sino a muchos del resto de los seres vivos que forman parte del ecosistema Tierra.

Múltiples parecen ser los agentes externos implicados en las enfermedades ambientales inducidas por el cambio climático, pero siempre existe una variable común en la importancia de estos sobre la salud humana, el papel de las acciones antropogénicas y su capacidad de modificación de los factores ambientales sobre la ecuación clima-enfermedades ambientales. **ROP**

Referencias

- (1) Cariñanos, P., C. Galán, P. Alcázar, E. Domínguez. 2007. Analysis of the solid particulate matter suspended in the atmosphere of Córdoba, South-western Spain. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 14: 219-224
- (2) Ebi, K.L., R. S. Kovats & B. Menne. 2006. An Approach for Assessing Human Health Vulnerability and Public Health Interventions to Adapt to Climate Change. *Environ Health Perspect*, 114(12): 1930–1934.
- (3) Fernández-González, F., J. Loidi, J.C. Moreno, M. del Arco, A. Fernández-Cancio, C. Galán, H. García-Mozo, J. Muñoz, R. Pérez-Badía & M. Tellería. Chapter 5 Impacts on Plant Biodiversity. 2005 In: *Evaluation of Climate Change Impacts in Spain*. ECCE. Moreno, J.M. ed. Ministry of Environment. Madrid, Spain. 183-248 pp.
- (4) García-Mozo, H., I. Chuine, M.J. Aira, J. Belmonte, D. Bermejo, C. Díaz de la Guardia, B. Elvira, M. Gutiérrez, J. Rodríguez-Rajo, L. Ruiz, M.M. Trigo, R. Tormo, R. Valencia & C. Galán. 2008. Regional phenological models for forecasting the start and peak of the Quercus pollen season in Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 148:372-380.
- (5) García-Mozo H., C. Galán, V. Jato, J. Belmonte, C. Díaz de la Guardia, D. Fernández, M. Gutiérrez, M. Jesús Aira, J. M. Roure, L. Ruiz, M. M. Trigo & E. Domínguez-Vilches. 2006a. Quercus pollen season dynamics in the Iberian Peninsula: response to meteorological parameters and possible consequences of climate change. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine*, 13:209-224.
- (6) Githeko, A.K., S.W. Lindsay, U.E. Confalonieri & J.A. Patz. 2000. Climate change and vector-borne diseases: a regional analysis. *Bulletin of the World Health Organization*, 78 (9): 1136–1147.
- (7) Huynen M. & Menne B. 2003. Phenology and human health: allergic disorders. Report of a World Health Organization (WHO) meeting, Rome, Italy, 16-17 January 2003. Health and global environmental change, Series No. 1. (EUR/02/5036813). Rome, Italy.
- (8) Lindsay SW, Birley MH. Climate change and malaria transmission. *Annals of Tropical Medicine and Parasitology*, 1996, 90: 573–588.
- (9) McMichael, A.J., D.H. Campbell-Lendrum, C.F. Corvalán, K.L. Ebi, A.K. Githeko, J.D. Scheraga & A. Woodward Eds. 2003. *Climate Change and Human Health. Risks and Responses*. World Health Organization Library Cataloguing-in-Publication Data. Geneva, Italy.
- (10) Menne, B. & K. L. Ebi, Eds. 2006. *Climate change and adaptation strategies for human health*. Steinkopff Verlag Darmstadt, 449 pages.
- (11) Menzel, A., T.H. Spark, N. Estrella, E. Kochl, A. Aasas, R. Ahas, K. Alm-Kübler, P. Bissolli, O. Braslavska, A. Briede, F. M. Chmielewski, Z. Crepinsek, Y. Curnel, A. Dahl, C. Defila, A. Donnelly, Y. Filella, K. Jactzaj, F. Mage, A. Mestre, O. Nordli, J. Peñuela, P. Pirinen, V. Remisova, H. Scheifinger, M. Striz, A. Susnik, A. J.H. van Vliet, F.E. Wielgolaski, S. Zach & A. Zust. 2006. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*, 12:1969-1976.
- (12) Patz, J.A., D. Campbell-Lendrum, T. Holloway & J. A. Foley. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature*, 438:310-317.
- (13) Peñuelas J., I. Fililla, P. Comas. 2002. Changed plant and animal life cycles from 1952-2000 in the Mediterranean region. *Global Change Biology*, 8:531-544.

El papel de las energías renovables y la eficiencia energética en la lucha contra el cambio climático



José María Marcos Fano

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Jefe del Departamento de Política Energética y Desarrollo Sostenible de UNESA (Asociación Española de la Industria Eléctrica)

Resumen

El artículo describe el objetivo europeo a largo plazo en materia de emisiones de gases de efecto invernadero: reducir en un 80 % las emisiones de 1990 para el año 2050, y las herramientas para lograrlo. Esas herramientas son básicamente lograr una mayor penetración de las energías renovables, la mayor penetración de la energía eléctrica en el consumo de energía final sustituyendo el consumo de energías fósiles, la integración de redes transfronterizas, el consumo inteligente y una mayor eficiencia energética, junto con el comercio de derechos de emisión, que se configura como el principal elemento para alcanzar las reducciones requeridas de la forma más eficiente en términos económicos.

Palabras clave

Objetivos 2050, gases de efecto invernadero, energías renovables, eficiencia energética, consumo inteligente

Abstract

The article describes the long-term objective in Europe of reducing the 1990 level of greenhouse gas emissions by 80% by the year 2050 and the means by which to do so. These means essentially consists of the greater penetration of renewable energies, the greater penetration of electricity in the final energy consumption in replacement of fossil fuels, the integration of trans-European energy networks, smart energy consumption and greater energy efficiency, together with the trading of emission allowances, as the principal means of reaching emission goals in the most effective economic manner.

Keywords

2050 Energy Roadmap, Greenhouse gas, Renewable energies, energy efficiency, Smart consumer

En la actualidad existe un marco claro en el seno de la UE en materia de lucha contra el cambio climático y de energía hasta 2020. Los principales objetivos pasan por reducir la emisión de gases de efecto invernadero y mejorar la seguridad de suministro, así como lograr una mayor penetración de las energías renovables en los balances de energía primaria, lo que implica su aprovechamiento tanto por la vía eléctrica como para biocarburantes y para uso final directo.

También existe un marco y un claro objetivo de conseguir un mercado único de la energía.

No obstante, la aparición de una grave crisis económica que afecta en mayor o menor medida a todos los Estados Miembros y ha traído consigo una notable reducción del consumo de energía, junto con las distorsiones de fijar objetivos en cierta forma redundantes -reducción de emisiones, penetración de renovables, incrementos de la eficiencia energética- ha afectado al funcionamiento de la herramienta básica que, en un principio, era el comercio de derechos de emisión.

Así el precio de este producto –el derecho de emisión– que debía ser el parámetro básico que permitiera se tomaran decisiones, especialmente en el ámbito energético, tendentes a la transformación del sistema económico y energético hacia la descarbonización, ha caído hasta niveles que lo hacen poco operativo para los fines deseados. De hecho, aunque el objetivo a 2020 era una reducción de las emisiones de GEI del 20 % con respecto a 1990, en 2011 tal reducción era ya próxima al 16 % con respecto al citado nivel. Ambos efectos, precio y reducción alcanzada, desincentivan las inversiones hipocarbónicas de largo plazo.

Objetivos de la UE a largo plazo

Sin embargo, a pesar de la reglamentación y definición de objetivos a 2020, a más largo plazo los objetivos no están, ni mucho menos, definidos.

Sí existe un gran objetivo a muy largo plazo, reafirmado por el Consejo Europeo de febrero de 2011 consistente en reducir las emisiones de GEI entre un 80 % y un 90 % respecto a los niveles de 1990 antes del año 2050 .

Con el fin de avanzar en la definición de la senda que se aproxime a dicho objetivo, la Comisión Europea presentó la Comunicación 'Hoja de ruta hacia una economía hipocarbónica competitiva en 2050'. Allí se plantea cómo reducir la emisión de GEI de conformidad con lo acordado y la senda intermedia indicativa a seguir, los retos políticos y las necesidades y oportunidades de inversión.

A continuación, se sintetiza la visión de los órganos europeos sobre los elementos y los requerimientos para lograr ese objetivo político (Fig. 1).

Contribución de las energías renovables a la descarbonización en 2050

En el ámbito de las energías renovables en la UE, se está produciendo un rápido avance de la penetración de estas tecnologías, que pasaron de suponer el 8,5 % en el consumo final bruto de la energía en 2005 al 12,7 % en 2010. En muchas tecnologías se ha producido un importante desarrollo tecnológico y un abaratamiento entre mediados de la década pasada y el momento actual y se están

desarrollando más rápidamente de lo que se preveía cuando se aprobó la Directiva de fomento del uso de energías renovables. Los avances más notables se han conseguido en energía eólica, terrestre en fotovoltaica, en solar térmica para ACS y en biocombustibles para el transporte.

Estos avances han dado lugar en algunos Estados Miembros a un rápido crecimiento de los costes de los sistemas de ayudas que resultaría insostenible de no ponerse freno de manera urgente. Por otra parte, se prevé por parte de la UE y con vistas al largo plazo elaborar orientaciones sobre la reforma de los regímenes de ayuda evitando la fragmentación del mercado interior.

En cuanto a la cooperación entre Estados Miembros para el cumplimiento de los objetivos de penetración de renovables a 2020, los mecanismos de cooperación que preveía la Directiva hasta el momento no han tenido mucho éxito: la inmensa mayoría de los Planes presentados a Bruselas por los EEMM sobre la estrategia para conseguir su objetivo de penetración de renovables a 2020 se basaban en el cumplimiento de cada Estado con medidas internas.

En el ámbito eléctrico, la penetración de la producción variable y poco predecible que proporcionan la mayor parte de las tecnologías renovables puede afectar a los precios

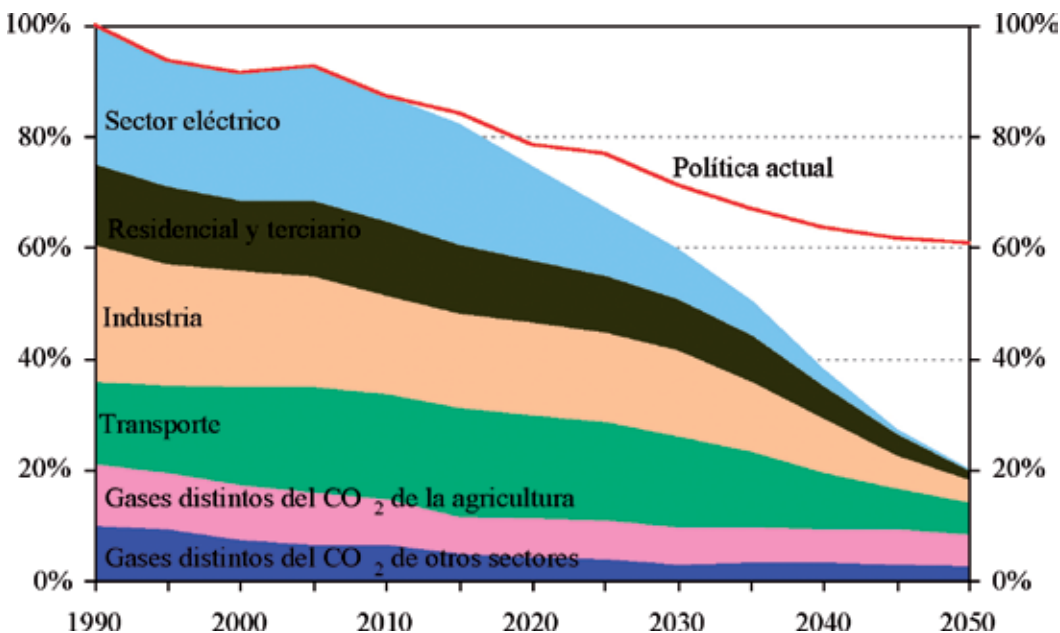


Fig. 1. Emisiones de GEI de la UE: objetivo 2015 y senda actual (100 % =1990)

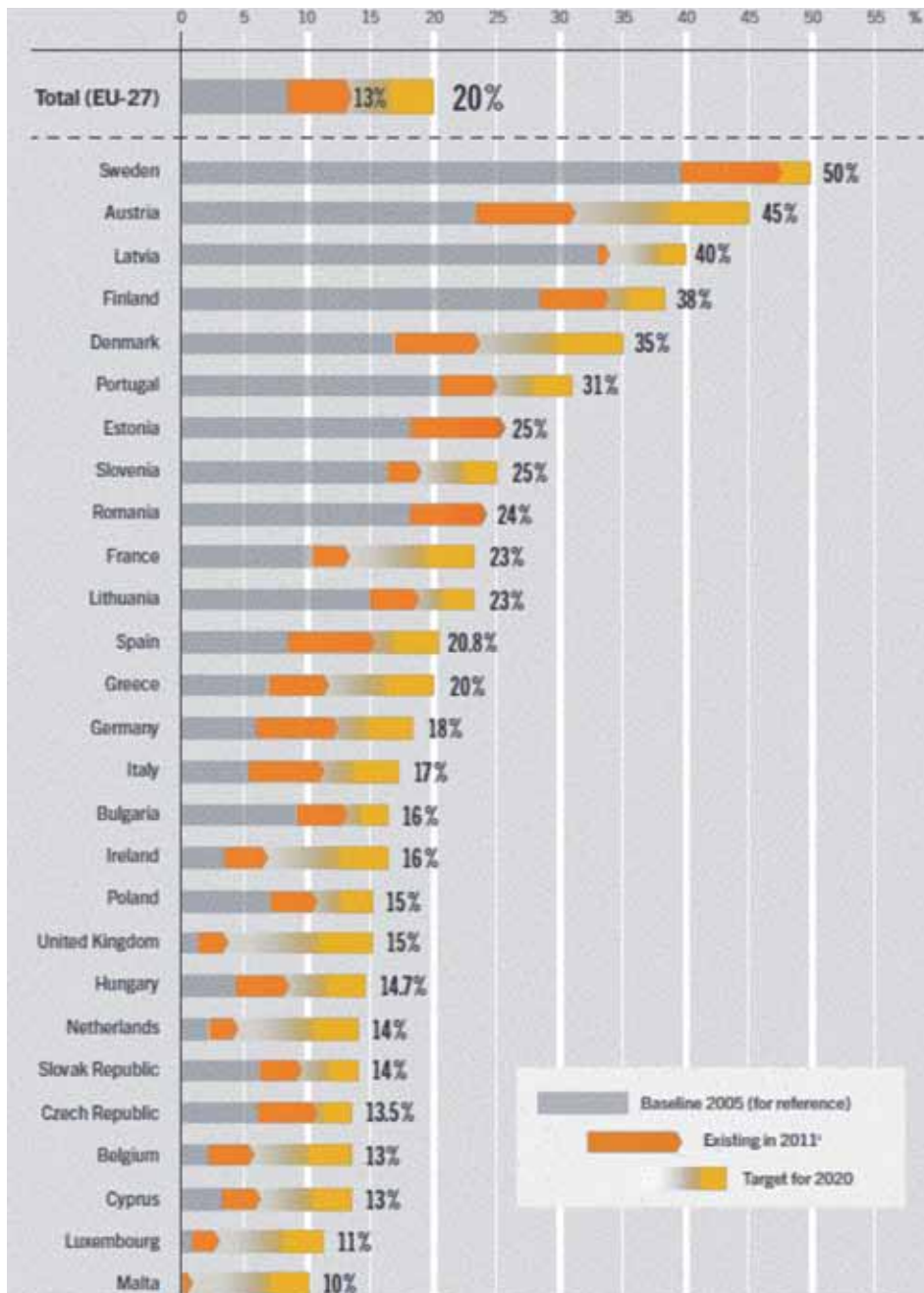


Fig. 2. Penetración de las EER en 2015, 2011 y objetivos 2020.
Fuente: REN 21. Renewables 2013 global status report

de los distintos mercados mayoristas que, como en casi todos los mercados, se basa en costes marginales de corto plazo. Ante tal horizonte y la posible falta de inversión en las tecnologías necesarias para garantizar la cobertura de la demanda, en diversos países se han establecido pagos por capacidad, esto es, retribuciones para asegurar la exis-

tencia de potencia firme de elevada disponibilidad y, en ocasiones, otros mecanismos complementarios.

En el ámbito europeo, otro elemento que se considera fundamental para permitir una integración eficiente de estas energías renovables es una mayor integración de las redes

de transporte transfronterizo de electricidad que permita una mayor cuota de energías renovables y una mayor integración de los mercados. En los niveles de tensión de la distribución se considera imprescindible el desarrollo de redes inteligentes que permitan el desarrollo de la generación distribuida y la transformación del clásico consumidor en un productor-consumidor con elevada capacidad de gestión de su demanda. Ello podría suponer una revolución en el ámbito del consumo y de la eficiencia económica y medioambiental, al permitir un consumo inteligente aprovechando los tramos horarios de menor precio, contribuyendo al aplanamiento de la curva de carga, reduciendo las necesidades de nuevo equipo generador, reduciendo las pérdidas de red, etc. (Fig. 2).

La definición de la política y de las medidas en materia de energías renovables para más allá de 2020 está supeditada en gran medida a la estrategia global que se adopte. Se están planteando a nivel europeo desde perseguir la descarbonización sin fijar objetivos en materia de energías renovables (confiando en que el mercado de derechos de emisión sea el “driver” único que haga viables las tecnologías no emisoras por sí mismas), continuar la política actual de objetivos vinculantes en paralelo de energías renovables, reducción de emisiones y eficiencia, o bien una tercera vía de armonización en la UE en el ámbito de las energías renovables. Aún con las incertidumbres que supone lo anterior, el escenario central maneja una cuota de energías renovables en generación eléctrica del 60 %.

El papel de la eficiencia energética

En 2005 se publicó un Libro verde sobre la eficiencia energética, que tenía como subtítulo “Cómo hacer más con menos”. Como objetivo a largo plazo se fijaba la posibilidad de reducir el consumo de energía en un 20 % entre aquel año y el año 2020. También se indicaba que la consecución de dicho objetivo podría dar lugar a la creación de un millón de puestos de trabajo cualificados y la promoción de inversiones en equipos más eficientes.

En el año 2007 tuvo lugar la publicación del Plan de Acción para la eficiencia energética, entonces se cuantificó el objetivo de reducción de 20 % como lograr un ahorro del 1,5 % anual acumulado hasta 2020.

Como último acto legislativo en esta materia cabe citar la Directiva 2012/27/UE de eficiencia energética que recoge el citado objetivo. Se prevé que los estados miembros fijen unos objetivos nacionales que sean coherentes con el límite de consumo de energía primaria para la UE en 2020 y que ascendería a 1.474 Millones de tep.

En definitiva, la eficiencia se ha incorporado al núcleo de la estrategia energética de la UE y con ello se persigue desligar el crecimiento económico del consumo de energía, como elemento para asegurar la sostenibilidad. De hecho, la Comunicación 2050 indica que sería posible reducir para 2050 en un 30 % el Consumo de energía primaria respecto a 2005.

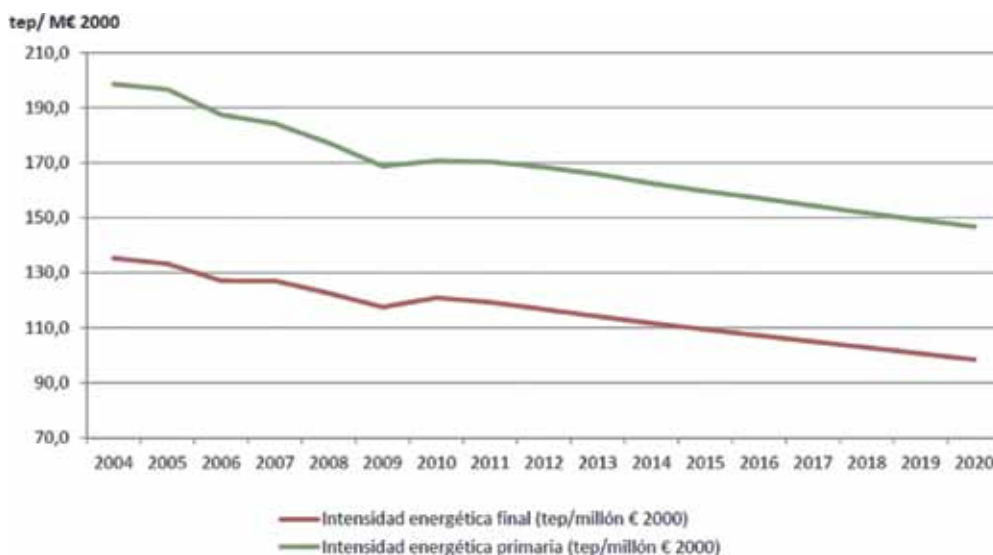


Fig. 3. Evolución y previsión de la intensidad energética en España

La Directiva se decanta por un planteamiento integrado entre el sector de suministro de energía y los sectores usuarios finales (Fig. 3).

Los Estados miembros deben tener en cuenta en sus objetivos, planes y programas el potencial remanente de ahorro rentable, los cambios en su balance de energía con el exterior, los avances en renovables y otras fuentes como la nuclear, la captura y almacenamiento de CO₂ y las acciones tempranas adoptadas en los años anteriores para mejorar la eficiencia. Como contenidos más notables de la Directiva cabe citar el mandato a las EEMM de establecer una estrategia a largo plazo de renovación del parque residencial y comercial, la obligación de renovar anualmente el 3 % de la superficie de edificios propiedad de la Administración central y un sistema de obligaciones de eficiencia o un plan alternativo que permita ahorros anuales equivalentes al 1,5 % anual desde 2014 hasta 2020, la obligación de realizar auditorías energéticas cada cuatro años para la grandes empresas y el fomento de la eficiencia en calefacción y refrigeración, entre otras medidas.

Con las políticas actuales, si se lograsen los objetivos en materia de renovables y de eficiencia energética, las previsiones comunitarias indican que podría alcanzarse fácilmente el tercer objetivo, las emisiones de CO₂, y muy posiblemente superarse, consiguiéndose una reducción de las emisiones del 25 % (aunque con las políticas actuales en el escenario central solo se alcanzaría la mitad del objetivo de eficiencia energética). El comercio de emisiones será el “driver” para la introducción de las tecnologías hipocarbónicas más allá de 2020 (tanto renovables como captura y almacenamiento de CO₂ o la energía nuclear), siempre y cuando el precio de los derechos de emisión proporcionen una señal adecuada. En algunos estados miembros no se descartan a priori la necesidad de otras medidas vía impuestos sobre la energía y ayudas en el ámbito del desarrollo tecnológico.

Otras consideraciones para la descarbonización de la UE en 2050

En los análisis de escenarios hipocarbónicos a 2050, cabe destacar los siguientes aspectos:

- La electricidad será un vector energético fundamental. En su generación se prevé eliminar (o capturar y almacenar de forma definitiva) prácticamente todas las emisiones de CO₂. A su vez su penetración relativa en el balance de uso

final aumentará gracias a la electrificación de la economía, es decir, penetrará de forma sustancial sustituyendo a los combustibles fósiles en el transporte y la calefacción (bomba de calor). El consumo aumentará a tasas del orden de las históricas.

- Como consecuencia de la puesta en servicio de las energías renovables eléctricas que dependen de recursos muy variables se precisará una gran capacidad de transporte eléctrico a nivel europeo y de un sistema de consumo inteligente para permitir el consumo eficiente.

- Además será preciso un sistema europeo de transporte basado en nuevos combustibles y en vehículos más eficientes en su consumo. El desarrollo temporal que se plantea pasa por los motores híbridos, híbridos recargables y eléctricos equipados con baterías y más adelante con pilas de combustible. Como alternativa o complemento a la electrificación se plantea los biocarburantes sostenibles.

- Como medidas adicionales al margen de la evolución tecnológica se plantean profundas reformas del sistema fiscal asociado, cánones por utilización de infraestructuras y la planificación urbanística.

- En el ámbito residencial el mayor desafío es la renovación de los edificios existentes y su financiación que podría requerir de la aplicación de fondos estructurales. En gran medida la reducción de las emisiones de CO₂ en estos edificios dependerá de la introducción de energías renovables, de su electrificación (bombas de calor) y en determinadas regiones de la introducción de sistemas de calefacción urbana.

- En cuanto a los nuevos edificios se confía en el cumplimiento de la Directiva de Eficiencia Energética de 2012 que obliga a que los nuevos edificios a partir de 2020 tengan un consumo de energía casi nulo dando por hecho que el ahorro energético compensará el incremento del coste respecto de la construcción convencional.

- En el caso de las industrias con elevado consumo de energía, se confía en reducir las emisiones a la mitad en los sectores de mayor consumo gracias a equipos y procesos avanzados y recurriendo al reciclado.

- También se parte de la base de que más allá del 2035 se generalizará la captura y almacenamiento de CO₂ en

los sectores más intensivos (cemento, acero...). Siendo conscientes de que todo ello daría lugar a un incremento de costes, se parte de la base de que no se produciría deslocalización industrial, dado que sería el conjunto de la humanidad el que se enfrenta al cambio climático, pero se admite que si no existe un compromiso equivalente por parte del resto de las grandes áreas económicas, la UE debería tomar las medidas adecuadas.

– En el ámbito agrario se espera una población mundial de 9.000 millones de personas, con lo que ello supone para la biodiversidad y la preservación de otros recursos (agua y suelo) y de los bosques tropicales en un contexto de demanda creciente de alimentos, piensos, madera y materias primas. Este sector podría reducir más de un 40 % sus emisiones de gases de efecto invernadero distintos del CO₂ en las dos próximas décadas gracias a medidas de eficiencia en el uso de abonos, de gestión de estiércol, mejores forrajes y comercialización local, mayores rendimientos ganaderos,

agricultura extensiva, etc. No obstante, las emisiones de este origen serían las menos gestionables y se incrementarían en términos relativos pasando de suponer un 10 % de las emisiones de la UE en 1990 a más de un 30 % en 2050.

El Libro verde: Un marco para las políticas de clima y energía en 2030

Una vez plenamente operativo el marco normativo para impulsar la creación de un mercado único de la energía, la seguridad del suministro energético y los objetivos a 2020, siguiendo un procedimiento habitual, la CE ha publicado un libro verde con el fin de reflexionar y recabar información y opiniones sobre un nuevo marco para las políticas de clima y energía de cara a 2030. En paralelo, la Comisión está realizando consultas sobre cuestiones relacionadas con las negociaciones internacionales de un acuerdo jurídicamente vinculante respecto a la acción climática y con su política destinada a permitir la demostración de la tecnología de captura y almacenamiento de carbono. **ROP**



Adaptación al cambio climático en el Delta del Ebro



Ramiro Aurín Lopera

Ingeniero de Caminos, Canales y Puertos.
Comunicador. Proyectista. Director técnico
del Plan Integral del Delta del Ebro

Resumen

Estrategia desarrollada para conseguir la viabilidad y sostenibilidad del desarrollo urbanístico de un núcleo urbano del Ayuntamiento de Deltebre denominado Riumar, situado en la costa deltaica, al norte de la desembocadura del río Ebro.

Palabras clave

Cambio climático, urbanización, dinámica marina, Delta del Ebro, subida del nivel del mar, Riumar

Abstract

Strategy to ensure the viability and sustainability of urban development at the Riumar residential complex within the Deltebre municipal area, on the delta coast to the north of the mouth of the River Ebro.

Keywords

Climate change, Urban planning, Marine dynamics, Ebro Delta, Rising sea level, Riumar

Introducción

El cambio climático es una evidencia y, más allá de su origen o de las causas inmediatas que lo están provocando, lo importante es, por un lado, hacer lo posible para no acelerarlo, reduciendo nuestra contribución al efecto invernadero, y por otro, adaptarnos a gestionar el nuevo paradigma climático. La catástrofe es un estado de ánimo y tiene más que ver con la percepción del cambio que con la realidad. Muy al contrario, la realidad es cambiante por definición y la ingeniería sirve, entre otras cosas, para adaptarnos a vivir en sus contornos. Frente a fatalismos milenaristas, que bajo la apariencia de racionalidad, no hacen sino sustituir los mitos del castigo divino de Sodoma y Gomorra, y sin renunciar a corregir el tiro, para que nuestra civilización evolucione hacia la sostenibilidad, hemos de utilizar nuestros conocimientos para seguir viviendo dignamente, superando el estado de necesidad, y asumiendo que éste es un mundo modelado por la presencia y la intervención humanas.

El artículo que sigue pretende explicar, justamente, un caso de adaptación a los efectos del cambio climático, en un entorno en el que la actuación antrópica, ya ha alterado toda la dinámica de fenómenos naturales, y a pesar de ello, o en algún caso gracias a ello, el medio tiene un alto valor ambiental.

El contexto físico es el Delta del Ebro, que por su propia condición deltaica es de los lugares más sensibles de nuestro país a la subida del nivel medio del nivel de mar, provocada por el sostenido aumento de las temperaturas. La intervención humana, mediante el cultivo masivo del arroz, ha transformado un ecosistema fundamentalmente halófilo (salino), en otro de agua dulce con contornos halófilos. Por otro lado, la red de embalses de la cuenca del Ebro ha condicionado el desarrollo físico del delta, que en la actualidad ha detenido su proceso de crecimiento y está sometido a un permanente reequilibrio dinámico, que propicia zonas de erosión y de acresión.

Escuché en una ocasión a un profeta de la no acción decir que era tan hermoso ver cómo se formaba un delta que ver cómo desaparecía. Les aseguro que los habitantes, humanos, del Delta del Ebro –podría asegurar que los de cualquier delta–, no están de acuerdo.

Antecedentes

La ordenación urbanística del frente marítimo del municipio de Deltebre se concentra en el territorio más cercano a la desembocadura del río Ebro, en los terrenos conocidos como Riumar, que fueron objeto de crecimiento en la segunda mitad de los años sesenta.

El núcleo de Riumar, dada su proximidad al mar, puede sufrir un anegamiento por lámina de agua, determinado por la combinación de lluvias intensas y persistentes con temporal marítimo de levante que pueden evitar el normal desagüe de canales.

Este riesgo hasta ahora no ha ocasionado problemas importantes en la urbanización existente.

El caudal del Ebro presenta en los últimos años una disminución atribuida directamente a la construcción de embalses, que retienen los sedimentos, lo que se ha traducido en un descenso de las aportaciones lo que ocasiona dos dinámicas degenerativas como son la erosión, regresión y redistribución del frente deltaico y la subsidencia o hundimiento de la llanura deltaica. Este fenómeno se puede ver agravado por la subida del nivel del mar como consecuencia del progresivo deshielo de los casquetes polares fruto del cambio climático.

Partimos, pues, de la premisa de que el Delta del Ebro se verá afectado por la acción del cambio climático. La modificación de las dinámicas actuantes, esto es, nivel del mar y oleaje, provocará cambios en el régimen de inundación y en la tasa de erosión litoral en el Sector IV-I. Es por ello que se establece la necesidad de determinar la cota de inundación y la posición de la línea de orilla dentro de 50 años, año 2060. Así se han desarrollado sendos estudios en colaboración con las universidades de Cantabria (IH Cantabria, Raul Medina) y Politécnica de Catalunya (UPC, José Jiménez), a partir de los cuales se han concretado los riesgos reales de una potencial urbanización en el espacio y en el tiempo, y la estrategia para su viabilidad, y donde pueden contrastarse los datos fundamentales aportados en este artículo.

Vulnerabilidad y estrategia defensiva

En esencia, la playa en la zona objeto de estudio puede caracterizarse funcionalmente como una obra natural de protección

costera en la que el *hinterland* (y todos los usos y recursos que soporte) está protegido de la acción directa del oleaje gracias a su presencia. Así, habrá una configuración óptima de la playa, básicamente definida en términos de ancho y elevación, que será capaz de disipar la energía del oleaje durante los temporales característicos de la zona manteniendo el trasdós a salvo de la acción de dichas acciones. Un retroceso de la línea de costa en la zona supondría una disminución en el ancho de la playa que protege el *hinterland* y tendería a incrementar la vulnerabilidad del área sin necesidad de considerar un aumento en las condiciones del oleaje incidente. Es decir, la evolución de la vulnerabilidad de la zona en el tiempo dependerá del comportamiento de la línea de costa.

En la costa del Delta del Ebro, los mayores impactos en la costa se producen bajo el impacto de temporales en los que coexisten olas de gran altura y un nivel de mar elevado por causas meteorológicas (Jiménez et al., 1997). Aunque la totalidad de la línea de costa está sometida a la acción de estos temporales, existen zonas localizadas que se muestran especialmente vulnerables. A lo largo del hemidelta norte, la playa de la Marquesa es una zona especialmente sensible y las zonas más susceptibles de sufrir daños son aquellas relativamente estrechas en la que el *hinterland*, aquí ocupado esencialmente por campos de arroz, está muy cerca de la línea de orilla determinando la existencia de un ancho de playa emergida relativamente estrecho como para poder disipar eficientemente la energía del oleaje incidente.

El ancho de playa necesario para proteger adecuadamente el *hinterland* depende básicamente del clima de oleaje de la zona o, más concretamente, de la tormenta que impacte la playa en un instante dado. Así, a medida que aumente la intensidad de ésta, mayor será el ancho de playa requerido. Actualmente, este efecto de variación del grado de protección en función del ancho de playa emergida puede detectarse a lo largo del hemidelta norte, ya que la proximidad de los campos de arroz en la zona es variable (figura 1), traduciéndose esta variabilidad en una exposición y afectación variable del *hinterland* a lo largo de la costa.

De toda la zona, el área con los campos de arroz más retirados de la línea de orilla es la única que puede considerarse razonablemente protegida para el clima marítimo en las condiciones actuales. Esta zona tiene un ancho de playa ligeramente superior a los 100 m de ancho en la actualidad, aunque formalmente el ancho necesario varía en función de la tormenta para la cual se quiere “estar seguro”.



Fig. 1. Variabilidad del ancho de playa emergida a lo largo del hemidelta norte y ejemplo del impacto de tormentas en la playa de la Marquesa (temporal de noviembre de 2001) en las áreas más estrechas

Una idea del ancho de playa óptimo puede obtenerse también a partir de lo que se conoce como el “ancho de playa activa”. Este ancho sería la parte de la costa emergida activa bajo la influencia del clima marítimo de la zona a una escala de tiempo dada. En la costa del delta puede caracterizarse a partir del análisis de la evolución de las franjas de playa barrera que, aunque sometidas a grandes tasas de regresión, son capaces de reconstruirse y mantenerse estables a lo largo del tiempo. En la costa del delta, éstas se encuentran a lo largo de la Illa de Buda –en la zona de Cap Tortosa– y la playa del Trabucador, las cuales aun estando sometidas a grandes tasas de regresión durante las últimas décadas mantienen la playa, ya que ésta ha sido reconstruida por la acción del oleaje. A partir de los datos existentes en ambas zonas, se ha estimado que el ancho de playa activa que puede reconstruirse por acción del clima marítimo de la zona, X_{act} , es del orden de 125-150 m.

Además del ancho de playa emergida, la protección del *hinterland* durante la acción de temporales estará también modulada por una variable adicional, la altura de la playa. Ésta viene determinada, en ausencia de elementos morfológicos singulares, por la altura del cordón de dunas que pudiera existir en la parte trasera de la playa. Aunque a lo largo de la costa del hemidelta norte y en gran parte del delta no hay dunas significativas, la playa de Riudar se caracteriza por la presencia de un sistema dunar bien desarrollado sobre todo en el extremo situado más al sur. En esta zona, la orientación NW-SE de la

costa, que coincide con la dirección del Mestral, hace que exista un corredor con arena disponible en la dirección del viento dominante que posibilita la llegada de arena desde la parte norte de la playa. Ésta queda depositada en el extremo sur donde forma un cordón de dunas que va elevando la altura del perfil de playa y, en consecuencia, ayudando a proteger el *hinterland* en la zona del impacto de los temporales. Este efecto del transporte eólico sobre la morfología de la playa era visible antes de la ocupación de la zona, ya que el área siempre ha estado caracterizada de forma natural por la presencia de estructuras dunares (ver figura 2). A todos los efectos, la zona funciona como un sistema de transferencia de sedimento donde el material es transportado a lo largo de la costa por el transporte longitudinal neto inducido por el oleaje hacia la punta del Fangar y donde parte de éste vuelve a la zona de la desembocadura debido al transporte eólico inducido por la acción del Mestral. El resultado neto del balance sedimentario es negativo dado que la línea de orilla retrocede, aunque localmente se produce una acumulación de material en la parte trasera de la playa en el área más próxima a la desembocadura.

El principal condicionante para la construcción de dunas en la zona es la disponibilidad sedimentaria que, en este caso, viene determinada por la existencia de una playa lo suficientemente ancha y sin obstáculos como para que la acción del viento sobre ella sea eficiente. En la actualidad, la configuración en planta de la playa a lo largo del hemidelta norte presenta un

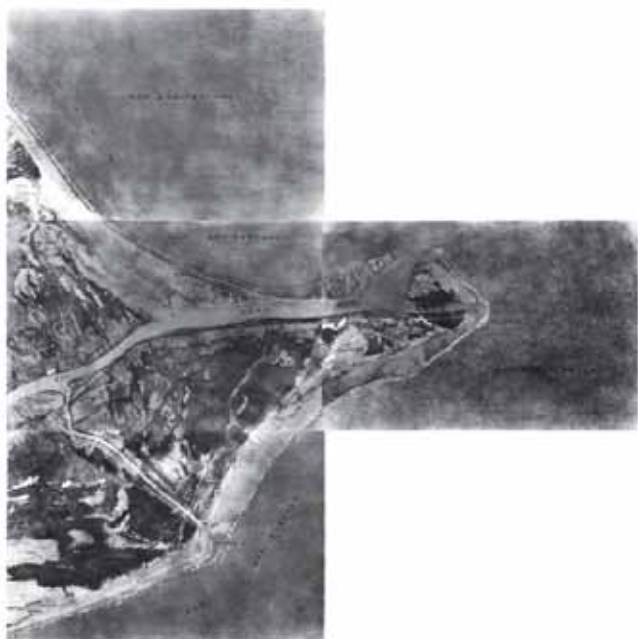


Fig. 2. Configuración de la playa de Riumar en 1927
(Confederación Hidrográfica del Ebro)

ancho variable, existiendo diferentes zonas donde ésta se hace muy estrecha (figura 1) limitando la cantidad de sedimento susceptible de ser movilizada por la acción del viento. Recientemente, el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente ha realizado un proyecto en la zona en la que se recupera una franja de unos 500 m de ancho a lo largo de la costa del hemidelta norte. En esta franja se promoverá la recuperación natural de la playa con lo que se recuperará un ancho más uniforme a lo largo de todo el tramo y que será próximo al ancho activo antes mencionado. En la figura 3 puede verse cómo la playa se va regenerando en las zonas actualmente más estrechas una vez se eliminan los obstáculos en la parte trasera y se le deja evolucionar libremente. Bajo este nuevo escenario, es de prever que la influencia de la dinámica eólica en la playa de Riumar se mantenga e incluso mejore al aumentar el ancho de playa sobre la que actuaría el viento.

En resumen, las variables que controlan la vulnerabilidad del hinterland en la playa de Riumar son la anchura y la elevación de la playa. En términos de anchura, cuanto más ancha sea la playa mayor protección tendrá el hinterland frente a la acción de los temporales. En cuanto a la elevación, cuanto mayor sea la cota de la playa menor será la probabilidad de inundación y, al mismo tiempo, habría un mayor volumen de



Fig. 3. Estado actual de la playa de la Marquesa tras permitir su renaturalización y libre evolución costera

sedimento disponible para “resistir” a la acción del temporal. En consecuencia, la evolución de la vulnerabilidad de la zona dependerá de cómo evolucione la playa.

En base a la evolución costera observada y prevista en el área de estudio, la vulnerabilidad de la zona tiende a aumentar con el tiempo dado que la zona está sometida a un proceso de regresión en el que la línea de orilla retrocede y, por lo tanto, el ancho de playa disminuye. Si este proceso se mantiene y no se toma ninguna medida adicional, la zona trasera estará cada vez más expuesta a la acción de los temporales sin necesidad de considerar ningún efecto climático.

Por ello, a efectos de gestión de la vulnerabilidad de la costa se propone mantener el ancho efectivo de la playa y promover un aumento en la elevación de la playa en las zonas más erosivas frente a la zona de la urbanización (zonas II y III).

Medidas de gestión de la vulnerabilidad de la zona

A continuación se presentan las medidas recomendadas para gestionar la vulnerabilidad costera en la zona de la playa de Riumar. En este sentido, hay que tener en cuenta que estas medidas disminuirán la vulnerabilidad futura de la zona en comparación con la que ocurriría en condiciones naturales (si no se actuase) dado que, en la actualidad, la vulnerabilidad se va incrementando en el tiempo al ir retrocediendo la línea de orilla.

En primer lugar, hay que considerar que las medidas a proponer han de ser compatibles con el valor natural de la zona, de tal forma que la no se puede proponer una medida de actuación que degrade el valor ambiental de la zona ni que

afecte la dinámica de la zona adyacente. Es decir la medida a proponer debe ser compatible e integrable con cualquier alternativa de actuación en la costa del delta.

La medida considerada como más efectiva para gestionar la vulnerabilidad de la zona sin afectar la dinámica natural del área consiste en el mantenimiento del ancho de playa a lo largo de la zona urbanizada. Para ello se propone aportar una cantidad de sedimento equivalente a la erosionada cada año.

Teniendo en cuenta los valores de la evolución costera calculados para la zona (tabla 1) y las dimensiones del perfil activo a escala anual (altura de la berma y profundidad activa), la cantidad mínima requerida para mantener la línea de costa en la posición actual y así, disminuir la vulnerabilidad costera futura en la zona, vendría dada por la cantidad erosionada anualmente: 15.000 m³/año.

Dado que se ha observado una aceleración en las tasas de erosión a lo largo del tramo situado más próximo a la desembocadura y, ya que se ha previsto un posible cambio en el comportamiento evolutivo del área, se ha estimado el efecto que podría tener dicho cambio en el volumen de sedimento necesario. Para ello se ha asumido que en la zona de control las tasas de erosión alcanzarán un valor uniforme dado por el valor máximo del tramo en las condiciones actuales (en su extremo norte), con lo que el volumen máximo potencialmente requerido sería 29.400 m³/año.

Con el fin de poder ajustar anualmente la cantidad necesaria en función de las variaciones en el material erosionado bien sea debido a la variabilidad natural (variación en la intensidad de la dinámica de la zona debido a los cambios en el clima de oleaje incidente) o por un cambio sistemático en las condiciones evolutivas (por el efecto antes cuantificado de aceleración de las tasas o debido al RSLR), se propone hacer un seguimiento de la evolución de la zona que permita actualizar las tasas de evolución y determinar en cada momento la cantidad necesaria a aportar anualmente para compensar el retroceso de la línea de orilla y mantener el grado de vulnerabilidad actual. Para ello se propone hacer un seguimiento del ancho de playa en la zona mediante una toma de perfiles de playa cada 150 m a lo largo de la zona II (perfiles 11 a 18 en la figura 5). En dichos perfiles se determinará, por un lado, el ancho de playa emergido y, por otro, la topografía del terreno. La primera de las variables servirá para conocer el ancho de playa en cada momento y al comparar con datos previos, la evolución del comportamiento costero en el tiempo. La segunda variable (topografía) permitirá

Zona	Ptos de control	LR ₈₉₋₁₀ (m/a)	ΔX ₂₀₅₀ (m)	LR ₉₅₋₁₀ (m/a)	ΔX ₂₀₅₀ (m)
I	1	-4.2	-168	-4.2	-168
	2	-4.2	-168	-4.2	-168
	3	-3.7	-148	-3.7	-148
	4	-4.4	-176	-4.4	-176
	5	-4.1	-164	-4.1	-164
	6	-4.2	-168	-4.2	-168
	7	-4.7	-188	-4.7	-188
	8	-4.2	-168	-4.2	-168
	9	-3.6	-144	-3.6	-144
	10	-3.8	-152	-3.8	-152
	11	-4.0	-160	-4.0	-160
II	12	-3.5	-140	-3.5	-140
	13	-2.8	-112	-2.4	-96
	14	-2.2	-88	-2.0	-80
	15	-1.4	-56	-1.4	-56
	16	-1.1	-44	-0.5	-20
	17	-0.1	-4	0.4	16
III	18	0.8	32	1.1	44
	19	1.3	52	1.0	40
	20	1.3	52	0.7	28
	21	0.6	24	-0.6	-24
IV	22	0.4	16	-1.5	-60
	23	-0.4	-16	-2.5	-100
	24	-1.6	-64	-3.4	-136
	25	-2.9	-116	-3.6	-144

Tabla 1. Tasas de evolución de la línea de orilla a largo plazo (LR) y predicción para el año 2050 del desplazamiento con respecto a la posición actual (ΔX) a lo largo de la zona de estudio (ver localización en figura 4). (LR₈₉₋₁₀: regresión lineal entre 1989 y 2010; LR₉₅₋₁₀: regresión lineal entre 1995 y 2010). La parte sombreada indica las zonas donde se produce un cambio evolutivo incrementándose la tendencia erosiva en la época más reciente



Fig. 4. Zonificación del área de estudio y perfiles de control

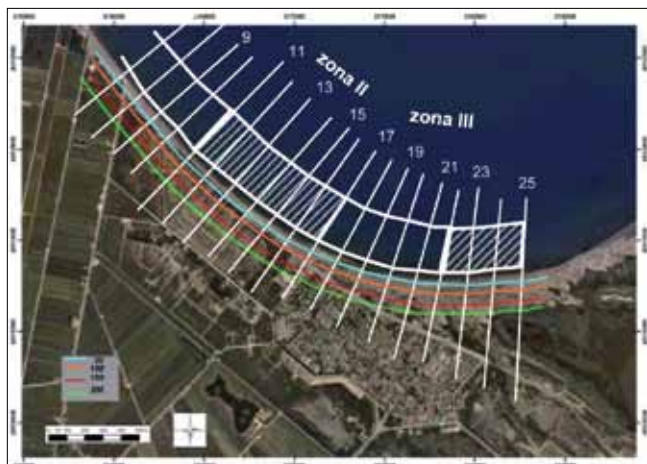


Fig. 5. Zonificación del área de estudio, perfiles de control y líneas *buffer*

estimar el volumen de sedimento disponible en playa seca así como la evolución de la cota de la playa, así como para evaluar la efectividad del transporte eólico para reconstruir la zona. Dichos perfiles se tomarían como mínimo una vez al año siendo la época ideal para la toma de datos el final del verano, dado que servirían para caracterizar la playa al inicio de la época de acción de los temporales.

A partir de estas medidas se podría establecer un criterio de intervención en la playa en función de la excedencia o no de un valor umbral. Así se propone que la actuación base quede definida por una aportación media anual de 15.000 m³/año. En el caso de que se presente un año (o grupo de ellos) especialmente erosivo, en el que la tasa de retroceso medio a lo largo de la zona exceda la tasa media estimada de 1,8 m/a, se corregirá la cantidad a aportar proporcionalmente a dicho exceso de erosión de tal forma que se compensen las pérdidas anuales registradas.

Adicionalmente a este umbral dinámico establecido en base a la tasa de evolución de la zona se propone uno “estático” basado en el ancho de playa existente en un instante dado. En primer lugar, se recomienda que en la zona objeto de interés no se construya ninguna instalación fija relacionada con la urbanización del lugar a una distancia inferior a 150 m de la línea de costa actual. Este valor fue identificado anteriormente como el ancho de playa activa a largo plazo en la zona en ausencia de obstáculos y el objetivo sería preservar este ancho para permitir la acomodación de la playa a un posible RSLR. El preservar inicialmente este ancho desde la parte interna (evitando la construcción de obstáculos longitudinales en tierra cercanos a la

orilla) y el contrarrestar la erosión del borde exterior mediante las aportaciones periódicas permitirá mantener el ancho de la zona en una magnitud suficiente que proteja el hinterland ante eventos de tormentas característicos de la zona.

Por último, para reducir aún más la vulnerabilidad de la zona, se propone aumentar la cota de la playa y la disponibilidad de material sedimentario en la trasplaya que actúe como reservorio de arena para compensar el efecto del impacto de temporales. Para ello se propone fomentar la formación de dunas a lo largo del tramo de costa situado entre los sectores II y III, frente a la parte urbanizada de la playa de Riumar, mediante la instalación de diferentes barreras de cortavientos en la playa que actúen sobre el sedimento transportado por el Mestral hacia el sur. Estas barreras se aprovecharían del efecto generado al ganar ancho de playa seca a lo largo de la Marquesa, al norte del área de interés, que tendería a favorecer el transporte eólico hacia esta zona.

En la figura 6 se resume de forma gráfica la problemática existente y las consecuencias de la solución propuesta. La zona está sometida a un clima de oleaje que durante la acción de los temporales inducirá en el tramo de interés un retroceso y una inundación proporcional a la magnitud del temporal (la cual puede asociarse a un determinado período de retorno). Esta respuesta (retroceso e inundación) la denominamos *hazard* y podemos asumir un escenario climático en el que este clima de tormentas sea estacionario (es decir que las olas no se vean afectadas). La playa en la zona de interés tiene un determinado ancho inicial (el actual) que, debido a la evolución prevista (incluyendo cambio de comportamiento), irá disminuyendo a lo largo del tiempo. Esta disminución en el ancho de la playa implicará una reducción de su capacidad para disipar la energía del oleaje durante tormentas. Cuando el ancho de playa sea inferior al valor umbral requerido para que proteja la zona (para un temporal de determinadas características) su nivel de exposición se irá incrementando de forma progresiva. La combinación de un *hazard* constante y un nivel de exposición creciente tendrá como consecuencia un incremento de la vulnerabilidad en el tiempo, es decir, si no se actúa en la zona, la susceptibilidad a sufrir daños aumentará en el tiempo.

Con la actuación propuesta se modifica la situación final de la siguiente forma. El *hazard* sigue teniendo la misma intensidad dado que no se modifica el clima de oleaje incidente y la magnitud de la respuesta (retroceso e inundación) será la misma. Dado que la actuación propuesta consiste en alimentar la playa para compensar las pérdidas de sedimento que se producen,

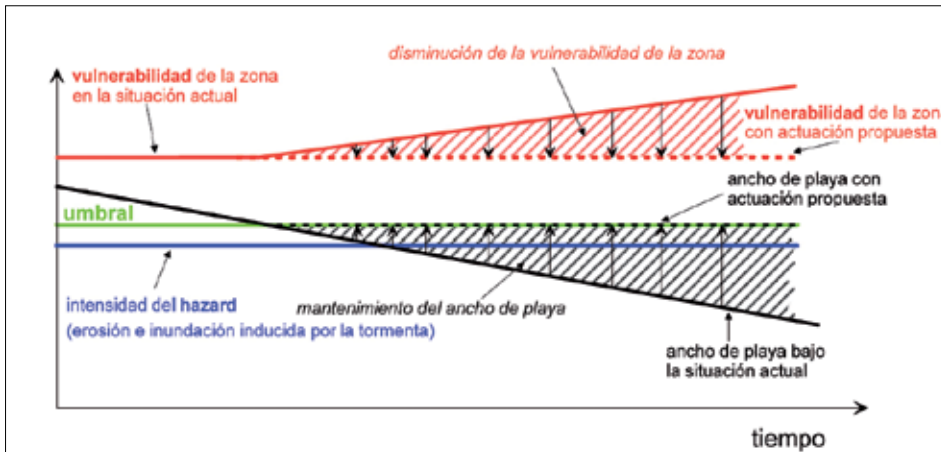


Fig. 6. Relación entre la evolución de la zona, hazard y vulnerabilidad en la situación actual y tras la actuación propuesta

se evitará el retroceso existente y, en consecuencia, el ancho de la playa se mantendrá en los valores actuales. Esto implica mantener la capacidad para disipar la energía del oleaje durante tormentas y, como resultado, el nivel de exposición de la playa. La combinación en este caso de un *hazard* y un nivel de exposición constantes tendrá como consecuencia un nivel de vulnerabilidad constante en la zona, mejorando la situación con respecto al escenario actual (sin mantenimiento de la playa).

Medidas complementarias para la reducción de la vulnerabilidad de la zona

Con el plan propuesto de aportación anual de arena y control sistemático de la evolución de los perfiles de playa se consigue una reducción de la mayor componente del riesgo de inundación de la zona, que es la erosión de la línea de playa, y la entrada directa del agua del mar a la zona de estudio.

El resto de los riesgos en la zona asociados a la inundabilidad, provienen mayoritariamente de la inundación potencial por subida del nivel del mar a través de la Bahía del Fangar, debido a la ausencia de oleaje y de playa asociada. En menor medida también contribuye la posibilidad de inundación directa de la zona en el caso en que la playa de Pals desapareciera y, en consecuencia, el mar pudiera ingresar en la zona inundando la zona de Riumar a través de su zona trasera. Estas dos componentes del riesgo de inundación de la zona son mucho menores que la contemplada en este estudio y su ocurrencia se dilataría en el tiempo mucho más allá del horizonte de este estudio dado que están asociadas a una subida del nivel del mar.

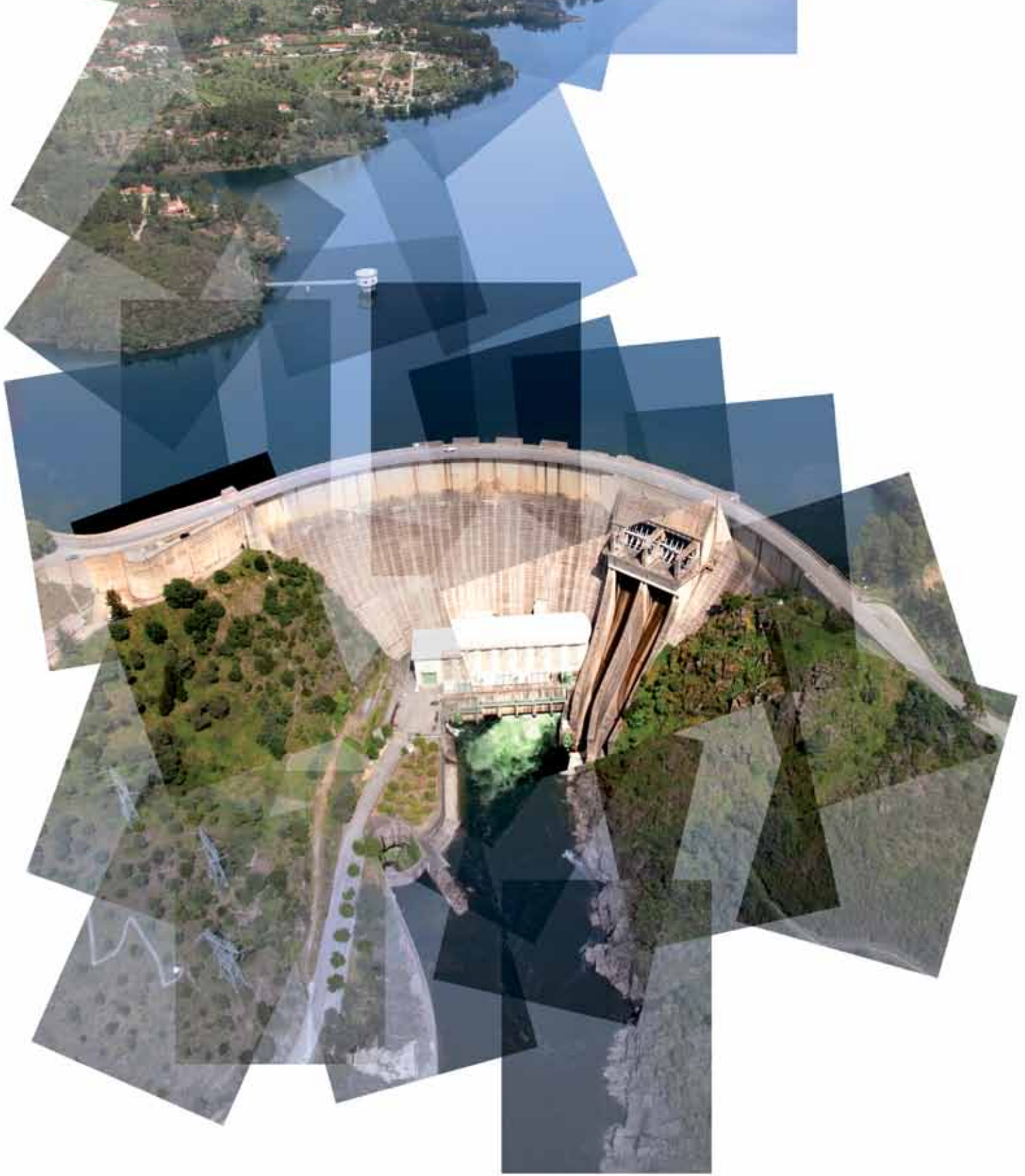
Esta situación se verificaría en el supuesto de que las condiciones de contorno sobre los efectos del cambio climático en el Delta del Ebro no cambiaran. Sin embargo, el Ministerio de Medio Ambiente, a través de Acuamed y de la Dirección General del Medio Marino (Costas), han redactado, y en algún caso ejecutado, proyectos para mejorar sustantivamente esas condiciones, y reducir y/o limitar aun más los riesgos asociados.

Así, en el área del Fangar se ha proyectado una zona *buffer* de un mínimo de 100 metros de ancho que mediante diversas actuaciones, que incluyen lagunaje con carrizo, y sus correspondientes elementos de contención; camino y canal de circunvalación interior, y elementos mecánicos para evitar que en caso de subida del nivel del mar, la inundación se propagara hacia el interior a través de los propios canales y desagües. Este conjunto de actuaciones impedirá, cuando estén operativas, la inundación del delta a través del Fangar por un aumento súbito del nivel del mar, y más aún, si la inundación es lenta y progresiva, sentando las pautas de una estrategia defensiva sostenible de las tierras emergidas del Delta del Ebro.

Por otra parte, a través de la Dirección General de Medio Marino, se ha proyectado en el tramo de litoral entre Riumar y la Marquesa, otra zona *buffer* de 500 metros de ancho, donde se deja evolucionar libremente la playa para que alcance su máximo potencial defensivo. La actuación se complementa con zonas húmedas en el trasdós de la playa que permitirá el movimiento de la arena según sus necesidades. El conjunto se cierra mediante un camino perimetral, que va desde Riumar hasta la playa de la Marquesa. Esta actuación, cuando esté implementada, reducirá significativamente los efectos de la erosión en ese tramo de costa, ya que permitirá la reconstrucción de la playa en su zona interior al eliminar los obstáculos que determinarían la desaparición de la playa. Esta reducción será todavía mayor si se complementa con la aportación de arena propuesta en este estudio para la zona de Riumar. Adicionalmente, y como efecto más global, esta solución evita la inundación súbita del interior del hemidelta izquierdo en su parte más septentrional, permitiendo una respuesta eficiente y sostenible a cada uno de los sucesivos escenarios que se den en el espacio y en el tiempo. Hasta la fecha, además de los documentos técnicos, se ha ejecutado la compra de la finca "Bombita", fundamental por varios motivos para el desarrollo de la estrategia planteada. **ROP**

Referencias

- Anders, F.J. y Byrnes, M.R. 1991. Accuracy of shoreline change rates as determined from maps and aerial photographs. *Shore and Beach*, 59, 1, 17-26.
- Birkemeier, W.A. 1985. Field data on seaward limit of profile change. *Journal of Waterway, Port, Coastal and Ocean Engineering*, 111(3), 598-602.
- Bou, J. 1994. Uso de la fotogrametría en los estudios de morfología costera. Aplicación al Delta del Ebro. Tesina de Especialidad, DEHMA, ETSECCPB, UPC.
- Bruun, P. 1962. Sea-level rise as a cause of shore erosion. *J Waterway Div-ASCE*, 88 (1-3), 117-130.
- Bruun, P. 1988. The Bruun rule of erosion by sea-level rise: A discussion on large scale two-and three dimensional usages. *Journal of Coastal Research*, 4, 627-648.
- Crowell, M., Leatherman, S.P. y Buckley, M.K. 1991. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7, 839-852.
- Crowell, M., Douglas, B.C. y Leatherman, S.P. 1997. On forecasting future US shoreline positions: A test of algorithms. *Journal of Coastal Research*, 13, 1245- 1255.
- Dolan, R., Fenster, M.S. y Holme, S.J. 1991. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. *Journal of Coastal Research*, 7, 723-744.
- Europrincipia. 2010. Proyecto de mejora y adecuación ambiental de las playas del hemidelta izquierdo entre Riumar y el Fangar, en el Delta del Ebro y plan de gestión de los espacios afectados (Tarragona). Campaña topo-batimétrica y toma de muestras.
- Fenster, M.S., Dolan, R. y Elder, J.F. 1993. A new method for predicting shoreline positions from historical data. *Journal of Coastal Research*, 9, 147-151.
- Generalitat de Catalunya. 2004. Programa de actuaciones urgentes en las zonas costeras del Delta del Ebro afectadas por los temporales. Departament de Medi Ambient i Habitatge, Generalitat de Catalunya.
- Gracia, V., Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 2005. Nearshore profiles along the Ebro Delta. Implications for coastal processes. *MEDCOAST'95*, 1131-1143.
- Gracia, V., Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1997. Temporal and spatial variability of the depth of closure in the Ebro Delta coast. PACE- Prediction of Aggregated Coastal Evolution, 1st Overall Meeting, Extended Abstracts, 1.4.
- Hallermeier, R.J. 1981. A profile zonation for seasonal sand beaches from wave climate. *Coastal Engineering*, 4, 253-277.
- Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1993. Medium-Term Coastal Response at the Ebro Delta, Spain. *Marine Geology*, 114, 105-118.
- Jiménez, J.A. y Sánchez-Arcilla, A. 1997. Physical impacts of climatic change on deltaic coastal systems (II): driving terms. *Climatic Change*, 35 (1), 95-118.
- Jiménez J.A., Sánchez-Arcilla, A. y Valdemoro, H.I. 2005. Effects of storm impacts in the Ebro Delta coast. *Floodsite Report T26-05-10*.
- Jiménez, J.A., Sánchez-Arcilla, A., Bou, J. y Ortiz, M.A. 1997. Analysing short-term shoreline changes along the Ebro Delta (Spain) using aerial photographs. *Journal of Coastal Research*, 13, 1256-1266.
- Jiménez, J.A., Sánchez-Arcilla, A., Valdemoro, H.I., Gracia, V. y Nieto, F. 1997. Processes reshaping the Ebro Delta. *Marine Geology*, 144, 59-79.
- Jiménez, J.A., Valdemoro, H.I., Bosom, E. y Gracia, V. 2011. Storm-induced coastal hazards in the Ebro Delta (NW Mediterranean). *Coastal Sediments 2011*, World Scientific, 1332-1345.
- Sánchez-Arcilla, A., Jiménez J.A. y Valdemoro H.I. 1998. The Ebro Delta: morphodynamics and vulnerability. *J Coast Res*, 14, 754-772.
- Sánchez-Arcilla A., Jiménez J.A., Valdemoro H.I. y Gracia V. 2008. Implications of climatic change on Spanish Mediterranean low-lying coasts: The Ebro Delta case. *J Coast Res*, 24, 306-316.
- Somoza L., A. Barnolas, A. Arasa, A. Maestro, J.G. Rees y Hernández-Molina, F.J. 1998. Architectural stacking patterns of the Ebro Delta controlled by Holocene high-frequency eustatic fluctuations delta-lobe switching and subsidence processes. *Sedimentary Geology*, 117, 11-32.
- Thieler, E.R. y Danforth, W.W. 1994. Historical shoreline mapping (I): Improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 10, 549- 563.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., y Miller, T.L. 2005. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 3.0; An ArcGIS© extension for calculating shoreline change. U.S. Geological Survey Open-File Report 2005-1304.
- Valdemoro, H.I., Sánchez-Arcilla, A. y Jiménez, J.A. 2007. Coastal dynamics and wetlands stability. The Ebro Delta case. *Hydrobiologia*, 577, 17-29.



Porque creemos que la innovación es la única manera de ser competitivos.
Porque creemos que el único mercado es el mundo entero.
Si crees como nosotros. **Creemos contigo.**

Sacyr

www.sacyr.com

FONDOS DE INVERSIÓN

La solución para que usted no tenga que ocuparse de gestionar sus inversiones.

SICAV'S

GERLOCAPITAL SICAV S.A.
Invierte en Renta Variable con una vocación global y exposición en distintas divisas.
(Nº REG. CNMV 211)

CENTAURUS 2002 SICAV S.A.
Con una cartera de Renta Fija con objetivo de estabilidad, invierte en Renta Variable global.
(Nº REG. CNMV 2819)

RENDA VARIABLE

CARTERA VARIABLE F.I.
Fondo 100% Renta Variable con exposición en Ibex35 fundamentalmente.
(Nº REG. CNMV 1678)

CAMINOS BOLSA EURO F.I.
Fondo 100% Renta Variable con exposición en Eurostoxx 50 fundamentalmente.
(Nº REG. CNMV 2327)

CAMINOS BOLSA OPORTUNIDADES F.I.
Fondo 100% Renta Variable. Busca oportunidades en empresas con potencial de revalorización.
(Nº REG. CNMV 660)

MIXTO

RV 30 FOND F.I.
Fondo mixto de Renta Fija con una exposición máxima en Renta Variable del 30% y una cartera de RF que busca valor añadido.
(Nº REG. CNMV 498)

DINFONDO F.I.
Fondo mixto de Renta Fija que invierte en una seleccionada cartera de RF y un máximo del 10% en Renta Variable.
(Nº REG. CNMV 261)

RENDA FIJA

FONCAM F.I.
Nuestro Fondo de Renta Fija más galardonado.
(Nº REG. CNMV 659)

FONDO SENIORS F.I.
Fondo de Renta Fija por el que Gestifonsa SGIIC ha sido galardonada como mejor Gestora de RF en varios ejercicios. (Nº REG. CNMV 2622)

DINVALOR GLOBAL F.I.
Fondo de Renta Fija Global con reducida exposición en España, invierte en distintas estrategias con bonos internacionales.
(Nº REG. CNMV 1477)

MONETARIO

DINERCAM F.I.
Nuestro Fondo Monetario.
(Nº REG. CNMV 3449)

E **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP Año 2000** Otorgado por Expansión y Standard&Poor's. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP 3 años Año 2001** Otorgado por Expansión y Standard&Poor's. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF a LP Año 2004** Otorgado por Lipper Fund Awards y Cinco Días. / **Dinvalor Global FI Tercer Premio Mixtos defensivos Año 2005** Otorgado por Intereconomía, Morningstar, Tressis y JP Morgan. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF Bonos Euro Año 2008** Otorgado por Morningstar y La Gaceta. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo RF LP zona Euro Año 2008** Otorgado por Interactive Data y Expansión. / **Foncam FI Premio Mejor Fondo de RF Año 2008** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Gestifonsa SGIIC Premio Mejor Gestora de RF Año 2008** Otorgado por Interactive Data y Expansión. / **Foncam FI Best Fund over three years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Foncam FI Best Fund over five years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Foncam FI Best Fund over ten years bond Euro Año 2009** Otorgado por Lipper Fund Awards. / **Dinercam FI Premio Mejor Fondo Monetario Nacional Año 2010** Otorgado por BME, Interactive Data y Expansión. / **Gestifonsa SGIIC Premio Mejor Gestora de RF Nacional Año 2010** Otorgado por BME, Interactive Data y Expansión.

Disclaimer: IMPORTANTE: para invertir en estos productos es necesario tener conocimientos y experiencia en los Mercados conforme a la Normativa MiFID. Existe riesgo de pérdida de capital invertido. Rentabilidades pasadas no aseguran rentabilidades futuras. Las cifras y datos contenidos en este anuncio no constituyen recomendación de compra o venta de una inversión y tienen estricto contenido publicitario. Los Fondos de Inversión disponen de un folleto informativo y documento con los datos fundamentales para el inversor (DFI) que pueden consultarse en las oficinas de GESTIFONSA SGIIC, S.A.U., Nº Registro Administrativo CNMV-123, C/ Almagro 8 planta 5ª, 28010 Madrid, en la página web de la Entidad (www.gestifonsa.es) y en la página web de la Comisión Nacional del Mercado de Valores (www.cnmv.es). La Entidad Depositaria de los Fondos de Inversión es Banco Caminos S.A., Entidad de Crédito registrada en el Banco de España con el código de Entidad 0234.