

EVIDENCIAS E INCERTIDUMBRES DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y DE LOS RIESGOS ASOCIADOS EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL¹

EVIDENCES AND UNCERTAINTIES OF CLIMATE CHANGE AND THE ASSOCIATED RISKS IN THE SPANISH MEDITERRANEAN COAST

*Jorge Olcina Cantos**

1. EL CLIMA DE LA TIERRA, SIEMPRE CAMBIA. HIPÓTESIS ACTUAL

El clima resulta de una compleja interacción en la que participan el Sol, la superficie terrestre y la atmósfera. Es, ante todo, la consecuencia del reparto latitudinal del Balance Energético Planetario, cuyas fluctuaciones originan cambios en las condiciones climáticas más o menos prolongadas en el tiempo. En otros términos, los cambios del clima terrestre, a escala planetaria, son siempre cambios en el Balance Energético del Planeta (BEP). Y estas modificaciones del BEP tienen causas diversas: factores cósmicos (actividad solar), factores planetarios (variaciones en la órbita de traslación, inclinación y fluctuaciones del eje de rotación de la tierra) y factores geográficos (cambios en el

* Universidad de Alicante. jorge.olcina@ua.es

¹ Este texto resume la conferencia de apertura de curso, impartida el 19 de febrero de 2019, en la sede de la Real Sociedad Geográfica. El autor quiere agradecer a la Junta Directiva de la Real Sociedad Geográfica su amable invitación a participar en dicho acto.

reparto de tierras y mares, erupciones volcánicas, cambios en la cobertura del suelo). El análisis de estos factores y su influencia en las condiciones del clima terrestre, nos permite trazar la evolución del mismo, con sus fases cálidas y frías. Y a ello se une la propia composición química de la atmósfera, y específicamente de la troposfera, que ha variado a lo largo de la historia del planeta Tierra, favoreciendo, asimismo, el desarrollo de etapas más o menos cálidas. El clima de la Tierra es, por naturaleza, cambiante. En ningún momento de la historia, desde la formación del planeta (aprox. 4.500 millones de años), las condiciones climáticas han sido siempre iguales y estables. El cambio es, pues, una condición inherente del clima terrestre.

Ahora bien, hasta la Revolución Industrial el clima terrestre ha funcionado, con sus fluctuaciones y cambios, de forma «natural», esto es, sin que hubiese intervención humana en esos cambios o por lo menos sin que la actividad humana, desde la aparición de los primeros seres (3,9 millones de años) hasta el siglo XIX, hubiese alterado de forma apreciable las condiciones del clima a escala planetaria; otra cuestión, son las alteraciones regionales y, sobre todo, locales motivadas por cambios de uso del suelo (deforestación, roturación, desecación). Por tanto, hay un acuerdo unánime entre la comunidad científica en señalar que, hasta el siglo XIX, el clima terrestre era un clima afectado por causas exclusivamente naturales.

Previo a la descripción de la evolución reciente del clima terrestre, en el marco de la actual hipótesis de cambio climático, es necesario realizar una precisión sobre la denominación que debe manejarse para aludir al actual ciclo climático cálido. En efecto, hablar de «cambio climático» a secas, es incorrecto, porque como se ha señalado el clima de la Tierra es, por naturaleza, cambiante. El actual sería un ciclo climático más en la evolución de la historia del clima de la Tierra. Tampoco es adecuado hablar de «cambio climático por efecto invernadero», puesto que el efecto invernadero más importante que tiene lugar en el sistema climático terrestre es el que origina el vapor de agua contenido en la atmósfera, merced al cual es posible, entre otros aspectos, la propia vida sobre la Tierra. Recordemos que, de no existir este efecto invernadero «natural», la temperatura media terrestre sería de -18°C , y no de 15°C . De manera que la denominación correcta, desde la investigación científica del clima, del proceso de calentamiento térmico planetario actual debe ser «hipótesis de cambio climático por efecto invernadero de causa antrópica», porque, en efecto, lo que se trata de indagar es el papel del ser humano en la alteración del Balance Energético del Planeta a través del aumento de CO_2 y otros gases «de efecto invernadero» emitidos a la troposfera terrestre por efecto de un desarrollo económico poco respetuoso con el medio ambiente. Y debe hablar-

se de «hipótesis» porque se trata, en puridad, de una hipótesis científica que va confirmándose a medida que los datos avalan sus premisas. Eso sí, el grado de comprobación de esta hipótesis es cada vez mayor y alcanza un alto grado de consenso en la comunidad científica que investiga el clima terrestre.

Suele señalarse el ecuador del siglo XIX como inicio del ciclo climático actual, que perdura hasta la actualidad, marcado por una recuperación de las temperaturas en todo el planeta; esto es, por un calentamiento que encuentra verificación estadística en los datos aportados por la red terrestre de observatorios meteorológicos que ha ido ampliándose desde entonces y hasta el momento actual. El análisis de los datos de observatorios en toda la superficie terrestre permite detectar tres fases en la evolución reciente del clima a escala planetaria:

1.^a Un intenso calentamiento en el período 1880-1950, con elevación media de las temperaturas entre 0,4 y 0,6°C.

2.^a Unas décadas de enfriamiento entre 1950 y 1970, a causa de una fase poco intensa de radiación solar (ciclo solar n.º 20) y a la reactivación de la actividad volcánica.

3.^a Desde mediados de los años setenta del siglo pasado, tiene lugar una nueva elevación de las temperaturas que perdura hasta la actualidad, y que tendría como característica principal un incremento muy rápido de las temperaturas y el registro de valores récord en la década de los años noventa del siglo XX y los dos primeros decenios del nuevo siglo. Este período de calentamiento rápido se relaciona directamente con el efecto invernadero de causa antrópica generado por los gases de efecto invernadero.

La actual hipótesis de cambio climático por efecto invernadero de causa antrópica cuenta con un hecho incontestable: la superficie terrestre es, en la actualidad, más cálida que hace tres décadas. Y este hecho lleva asociado dos procesos geofísicos estrechamente relacionados: la reducción de la cubierta de hielo y nieve y el aumento comprobado del nivel del mar en algunos sectores planetarios.

Como se indica en el 5.º Informe del IPCC (2013-14), el forzamiento radiativo de causa antrópica total de 2011, en relación con el calculado para el año 1750, es de 2,29 W/m², y ha aumentado más rápidamente desde 1970 que en decenios anteriores. La estimación más ajustada del forzamiento radiativo antrópico total en 2011 es un 43% superior al previsto en el Cuarto Informe de Evaluación (2005). Esto es debido a una combinación del crecimiento continuado, en la mayoría de las concentraciones, de gases de efecto invernadero, y

a estimaciones más precisas del forzamiento radiativo negativo de los aerosoles, que indican un efecto de enfriamiento neto más débil. El forzamiento radiativo provocado por las emisiones de gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados (CO_2 , CH_4 , N_2O y halocarbonos) de 2011, en relación con 1750, es de $3,00 \text{ W/m}^2$. Solo las emisiones de CO_2 han causado un forzamiento radiativo de $1,68 \text{ W/m}^2$. El forzamiento radiativo por el efecto total de los aerosoles en la atmósfera, que incluye los ajustes de nube debidos a aerosoles, es de $-0,9 \text{ W/m}^2$ (nivel de confianza medio), y es el resultado del forzamiento negativo provocado por la mayoría de los aerosoles y de la contribución positiva del carbono negro por su absorción de la radiación solar. Existe un nivel de confianza alto en cuanto a que los aerosoles y sus interacciones con las nubes han compensado, en una proporción considerable, el forzamiento medio global provocado por los gases de efecto invernadero homogéneamente mezclados, que continúan generando la mayor incertidumbre en la estimación total del forzamiento radiativo. Por su parte, de estimar que el forzamiento radiativo provocado por los cambios en la irradiación solar es de $0,05 \text{ W/m}^2$, las observaciones desde satélites de los cambios en la irradiación solar total de 1978 a 2011 indican que el último mínimo solar fue inferior a los dos anteriores, lo que se traduce en un forzamiento radiativo de $-0,04 \text{ W/m}^2$ entre el mínimo más reciente de 2008 y el mínimo de 1986. El informe concluye este apartado relativo a los cambios en el Balance Energético del planeta, señalando que «durante todo el siglo pasado, el forzamiento radiativo natural total provocado por los cambios en la irradiación solar y los aerosoles volcánicos estratosféricos contribuyó poco al forzamiento radiativo neto, excepto en breves períodos posteriores a grandes erupciones volcánicas». Así, por ejemplo, la erupción del Pinatubo (1991) originó un enfriamiento coyuntural en el Balance Energético Planetario calculado entre $-0,1$ y $-0,3^\circ\text{C}$ en los dos años siguientes.

El balance energético planetario ya no es, en la actualidad, nulo, como se señalaba en los manuales de climatología de balances en décadas pasadas; esto es, entradas y salidas de radiación no se equilibran (Tabla 1). El BEP estaría, por tanto, experimentando modificaciones, puesto que la cantidad de energía calorífica que se devolvería al espacio exterior sería menor, al quedar confinada la radiación terrestre en los primeros kilómetros de la troposfera debido a la presencia de gases de efecto invernadero de origen humano (CO_2 , metano, etc.). De ahí la denominación de «efecto invernadero», puesto que dichos gases actuarían a modo del cristal de una estructura de invernadero, permitiendo la entrada de radiación solar, pero confinando entre sus paredes el calor producido en su interior. Hansen (2006) ha calculado que la cantidad de energía que estaría dejando de salir a la atmósfera exterior dentro de este es-

que se podría cifrar en 1 W/m^2 desde 1980; cantidad que puede parecer insignificante, pero que sería ya la responsable del aumento térmico registrado desde hace tres décadas en el planeta.

Tabla 1. *Cambios en el Balance Energético Planetario*

	Balance Energético Planetario	Cambios en el Balance Energético Planetario (Hansen, 2006)	Cambios en el Balance Energético Planetario (Trenberth et al. (2009))
Energía Solar total incidente (onda corta)	342 W/m^2	340 W/m^2	341,3 W/m^2
Energía total saliente	342 W/m^2	339 W/m^2	340,4 W/m^2
–Reflejada por la atmósfera y la superficie terrestre (onda corta)	102 W/m^2	101 W/m^2	101,9 W/m^2
–Emitida por el suelo, la atmósfera terrestre y los sumideros oceánicos (onda larga)	240 W/m^2	238 W/m^2	238,5 W/m^2
BALANCE NETO	0 W/m^2	+ 1 W/m^2	+ 0,9 W/m^2

Fuente: Gil Olcina y Olcina Cantos (1997) y Hansen (2006), Trenberth et al. (2009).

Constituye un hecho generalmente admitido en la actualidad que la proporción de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado en torno al 25% desde el comienzo de la época industrial. Las medidas practicadas de manera sistemática, a partir de 1958, en el observatorio de Mauna Loa (Hawai) muestran que la concentración de CO_2 ha registrado un incremento superior al 12% en treinta y cinco años, dato que concuerda con los obtenidos en otros lugares muy distantes. Para períodos anteriores la fuente es el análisis de las burbujas de aire contenidas en los hielos glaciares. Mediado el siglo XVIII, la proporción de CO_2 era de 275 ppmv, que, ciento cincuenta años después, en 1900 había subido a 295 y a 315 en 1950, para rebasar las 400 ppmv en la segunda década del siglo XXI. En 2019, esta proporción se ha elevado ya a 414 ppmv (Figura 1). En resumidas cuentas, la concentración de dióxido de carbono en la atmósfera sigue una tendencia creciente desde los inicios de la Revolución Industrial a la actualidad, sin que ningún acuerdo internacional de limitación de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera (Protocolo de Kioto, 1997, Acuerdo de París, 2015) haya podido desacelerar su ritmo. Es cierto que la contribución al incremento de gases de efecto invernadero en la troposfera terrestre no es igual en todo el mundo. Un grupo de países lideran las emisiones de CO_2 : China, Estados Unidos, Unión Europea e India, suman el 60% de las emisiones

anuales de dióxido de carbono a la atmósfera. Se da el hecho preocupante de que China, India y Estados Unidos no firmaron el protocolo de Kioto (1997) y existen serias dudas de que aprueben compromisos concretos de reducción de emisiones, como se contempla en el Acuerdo de París (2015).

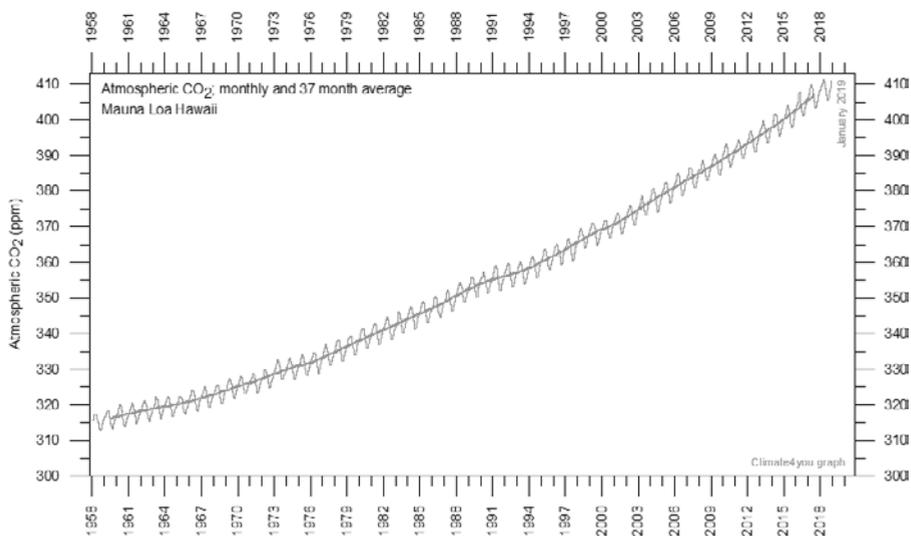


Figura 1. Evolución de la concentración de CO₂ en la atmósfera terrestre, a partir de las mediciones en la estación de Mauna Loa (Hawái) entre 1958 y 2019. Se observa un aumento constante a lo largo del período de observación.

Fuente: Climate4you. A partir de esta realidad (acumulación de CO₂ y de otros gases de efecto invernadero emitidos por el ser humano a la troposfera terrestre), se articula la actual hipótesis de cambio climático que sostiene una relación directa entre aumento de la concentración de estos gases e incremento de temperaturas registrado en todo el mundo, aunque con diferencias regionales (Figura 2).

Desde la geografía, el actual proceso de calentamiento climático de causa antrópica nos obliga a; 1) explicar lo que sucede en la actualidad, desde el rigor de los datos para evidenciar con exactitud la magnitud del problema; 2) analizar lo que ha sucedido en el pasado como referencia histórica de la evolución del clima terrestre, para valorar si lo que ocurre en la actualidad en el sistema climático es una anomalía tan grave como se señala; y 3) presentar lo que puede suceder, los modelos climáticos que se van desarrollando desde la cautela, pero siendo conscientes de que cada vez hay más certeza, para ir proponiendo pautas de adaptación de las sociedades y los territorios ante este proceso.

Una de las paradojas del proceso actual de calentamiento de causa antrópica es que estamos ante un fenómeno global, de escala terrestre, pero cuyo origen (emisiones) tienen lugar básicamente en el hemisferio norte. Los países del hemisferio sur del África o América, así como las islas habitadas del Pacífico sur, tienen escasa responsabilidad en la acumulación de gases de efecto invernadero en la troposfera terrestre, pero sin embargo sufrirán sus efectos con la misma intensidad que los principales emisores de este tipo de gases. La globalización económica, cuyos beneficios se están restringiendo a las regiones ricas del Norte, sin favorecer la «globalización» del desarrollo, supone eso sí, en esta cuestión, la globalización de los efectos del crecimiento acelerado y depredador de recursos naturales y energéticos, puesto que todas las regiones del mundo padecerán sus efectos.

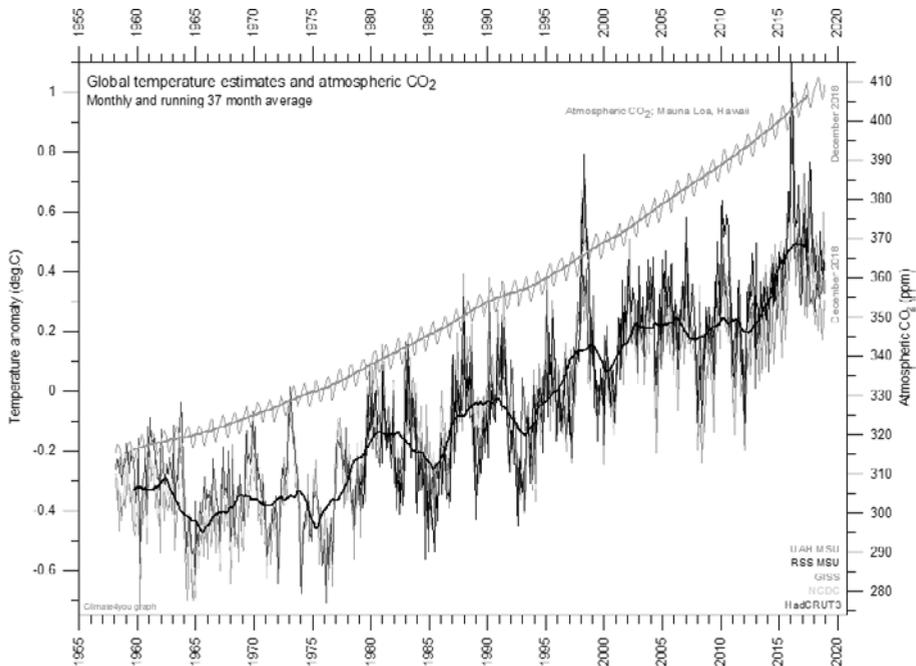


Figura 2. Relación entre aumento de concentración de CO₂ en la atmósfera terrestre e incremento de temperaturas, entre 1958 y 2019.

Fuente: Climate4you.

A nivel mundial, resulta sintomática la atención que el «Foro de Davos» presta en los últimos años al cambio climático como uno de los temas importantes para el futuro de la economía (Figura 3). Los efectos vinculados al ca-

calculado el efecto del calentamiento global en diversos sectores económicos, entre ellos el turismo. Se ha manejado básicamente dos escenarios de emisiones: incremento de temperatura de 2 °C (RCP 4.5), contemplado en el Acuerdo de París; y escenario de emisiones altas con incremento de temperatura a final de siglo superior a 3 °C (RCP 8.5).

Para el conjunto de la economía europea, el impacto del cambio climático, supondrá la pérdida anual del 1,5% del PIB europeo, para el horizonte 2071-2100, para un incremento de temperatura de 2 °C, valor de referencia del Acuerdo de París (2016), que rebasaría el 4% de pérdida anual en el PIB en escenarios de calentamiento elevado (RCP 8.5). Este efecto sería más notable en las regiones meridionales de Centro Europa y, especialmente, en los países el sur de Europa, por las consecuencias en los sectores agrario, sanitario y turístico (Figura 4).

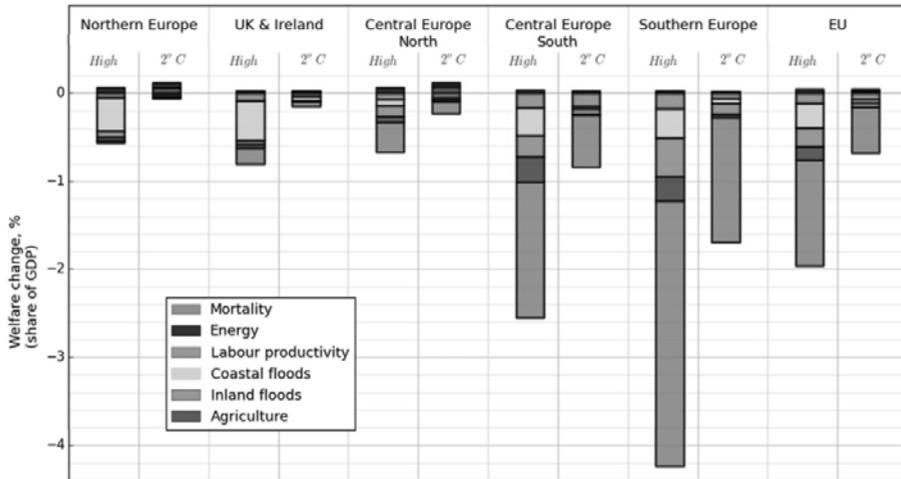


Figura 4. Impacto económico del cambio climático en Europa en puntos de PIB, por sectores económicos y regiones. Horizonte 2071-2100. Escenario 2°C y RCP 8.5.

Fuente: JRC, 2018.

El estudio del clima en el litoral mediterráneo español ha pasado, en las dos últimas décadas, de aproximaciones conceptuales y teóricas a visiones de carácter aplicado al ser, junto al agua, elemento esencial para el desarrollo de actividades económicas en este espacio geográfico. A su vez, se valora cada vez más el componente de riesgo del clima y el agua, puesto que se ha producido una presión creciente sobre los recursos naturales en un contexto de cambios en el medio físico, especialmente en su componente climática sometida a

un proceso innegable de calentamiento térmico. Las últimas dos décadas han estado plagadas de transformaciones en el medio físico en el litoral mediterráneo español y de cambios en la manera de interpretar dichas alteraciones. El uso intensivo de los recursos naturales ha originado, además, situaciones de riesgo que, en algunos casos, han derivado en situaciones de crisis por el desarrollo de eventos de rango extraordinario. Recursos y riesgos naturales han merecido estudios diversos por parte de la geografía española en estos años que han comprendido aspectos conceptuales, metodológicos, diagnósticos y valoraciones de estado, propuestas de planificación y gestión. Todos ellos han enriquecido el corpus de análisis sobre el medio de la geografía española incorporando nuevas miradas que han supuesto la incorporación de ideas, conceptos y métodos, y donde cada vez cobra mayor peso, afortunadamente, la sostenibilidad como principio rector de actuaciones en el territorio, esto es, la defensa del desarrollo acorde con los rasgos del medio físico sin sobrepasar sus límites y respetando, por parte del ser humano, la propia dinámica de la naturaleza.

Las manifestaciones, cada vez más evidentes, del proceso de calentamiento térmico planetario han impulsado estudios sobre sus efectos en el litoral mediterráneo español. El clima es un elemento básico para entender la evolución de este espacio regional a lo largo de la historia. Y especialmente a partir de mediados del siglo pasado ha sido la base para la consolidación de una economía dinámica basada en actividades dependientes de las condiciones atmosféricas en gran medida (agricultura de mercado y turismo).

2. EVIDENCIAS E INCERTIDUMBRES DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

Cada vez son menores las dudas sobre los efectos del proceso actual de calentamiento térmico planetario, causado por efecto invernadero de origen antrópico. Este cambio se manifiesta en los datos de los elementos climáticos y en alteraciones en mecanismos de circulación atmosférica a diversa escala. El clima actual ya no es el mismo del que disfrutábamos en la fachada mediterránea española hace tres décadas. Hay algunos elementos climáticos que manifiestan ya alteraciones y tendencias diferentes a las que registraban entonces. Y eso es ya cambio climático. En los años ochenta del pasado siglo, cuando se lanzó la hipótesis del calentamiento global por efecto invernadero de causa antrópica (emisiones de gases a la atmósfera) se podía dudar, tal vez, del resultado de la misma. Entonces no se manifestaban aún tendencias cla-

ras. Y algunos datos resultaban incluso contradictorios. Pero hoy, cuando está finalizando el segundo decenio del siglo XXI, las evidencias son cada vez mayores. Los datos están ahí para corroborar lo que son tendencias manifiestas (Tabla 2).

Tabla 2. *Evidencias e incertidumbres del cambio climático por efecto invernadero de causa antrópica*

Evidencias	Incertidumbres
–Cambio en el Balance Energético Planetario, pero...	–En algunos componentes del mismo no se conoce exactamente su contribución al efecto invernadero (p.e. ozono troposférico)
Subida de temperaturas (medias), pero...	–En algunas áreas han subido más las mínimas que las máximas. En otras, al contrario
–Incremento en la irregularidad de las precipitaciones, pero...	–En algunas áreas se han incrementado las lluvias, en otras han disminuido
–Desarrollo de episodios atmosféricos de rango extremo, pero...	–El aumento del riesgo climático se debe más a la mala praxis del ser humano sobre el territorio, que al cambio climático (al menos, de momento)
–Deshielo de glaciares y masas de hielo, pero...	–Quedan incertidumbres en el conocimiento del comportamiento de la criosfera en la Antártida
–Alteraciones en la temperatura y salinidad del agua del mar, pero	–No se sabe bien la respuesta del mar como captador de CO ₂ y la influencia del calentamiento en el circuito de corrientes oceánicas

Elaboración propia.

En el litoral mediterráneo hay tres procesos que tienen relación estrecha con el mecanismo planetario de calentamiento global: 1) variaciones estacionales de las precipitaciones y la intensificación de los chubascos; 2) el incremento de la temperatura media y, en especial, del calor nocturno, manifestado en las denominadas «noches tropicales» ($T^a > 20\text{ }^\circ\text{C}$); y 3) el calentamiento de las aguas del mar Mediterráneo occidental en su sector central (mar de Argel y mar Balear). Los tres están ya corroborados en datos científicos.

El primer proceso, los cambios en la precipitación, es el que suscita más incertidumbre a medio y largo plazo, ya que no hay que olvidar que la irregularidad de las lluvias es uno de los rasgos distintivos de los climas del litoral mediterráneo. A nivel general, en las principales series climáticas del litoral mediterráneo no se aprecia una tendencia clara de disminución generalizada de las precipitaciones, aunque sí en la distribución e intensidad de las mismas, especialmente en las zonas próximas al mar. Por tanto, no llueve menos o ese descenso es muy poco significativo y de hecho en algunas localidades del sector central del litoral mediterráneo español se observan tendencias al alza, pero si está lloviendo de

forma diferente. Desde el comienzo del siglo XXI, se está observando que las precipitaciones de origen convectivo (especialmente aquellas asociadas a la presencia de gotas fría en capas medias-altas de la troposfera) cobran cada vez más importancia, frente a las precipitaciones de origen atlántico, lo que sugiere que se están produciendo cambios en la circulación atmosférica.

Uno de los mejores ejemplos en el territorio valenciano lo tenemos en la ciudad de Alicante. Desde 1950 se han producido hasta ocho episodios en los que el acumulado de precipitación ha rondado o superado los 100 l/m². De estos ocho eventos, tres se han producido entre 2007 y 2017. Otro aspecto a tener muy en cuenta es que las precipitaciones de alta intensidad horaria tienden a desplazarse hacia las otras estaciones del año. Entre otros, destacan los diluvios de carácter local que afectaron a Alicante (13 de marzo de 2017) y Torrevieja (20 de marzo de 2012), en ambos casos con registros de más de 130 l/m² en menos de 24 horas. Sin olvidar los aún recientes temporales de levante del invierno 2016/2017, con acumulados de hasta 400 mm diarios en algunas localidades del norte de la provincia de Alicante y sur de la de Valencia. Incluso en verano, y especialmente en la segunda quincena del mes de agosto, se aprecia un aumento de la torrencialidad en el litoral del Golfo de Valencia, asociados a eventos de las denominadas «lluvias cálidas», síntoma del proceso de tropicalización que está sufriendo el Mediterráneo en los últimos años. También se aprecia un aumento significativo de los chubascos intensos y de carácter localizado, con registros de 30-50 l/m² en menos de una hora (Figura 5).

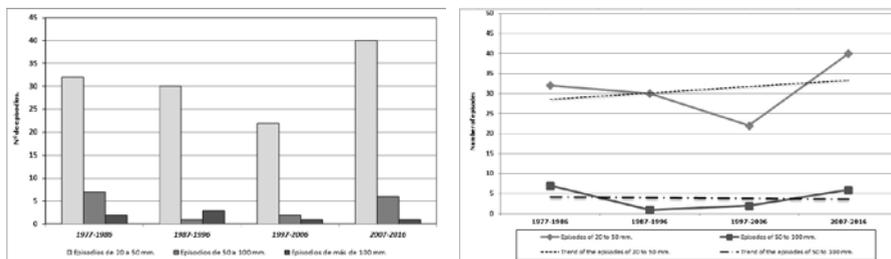


Figura 5. Evolución y tendencia de los episodios de precipitaciones de alta intensidad horaria de una duración igual o menor a 24 horas desde 1986 en la ciudad de Alicante. En los últimos años se aprecia un apunte significativo de aguaceros cortos pero intensos (de 20 a 50 mm²).

Fuente: Elaboración propia, a partir de AEMET Open Data.

² Para el período comprendido entre el 2007 y el 2016 se han tenido en cuenta datos registrados por estaciones automáticas de asociaciones de aficionados a la meteorología (AMETSE, AVAMET y Meteoclimatic). Esta mayor densidad de estaciones meteorológica resulta de gran ayuda para estudiar los casos de trombas de agua de carácter muy local.

Lo comentado anteriormente tiene una repercusión directa en la planificación hidrológica, puesto que las aguas de primavera son muy importantes para el desarrollo con normalidad de la actividad agraria y para la acumulación de reservas hídricas, en embalses y acuíferos, que permitan atender el aumento del gasto en los meses cálidos del año. El futuro plan hidrológico nacional, que tendrá que redactarse en los próximos años, debe tener en cuenta esta cuestión para evitar problemas de desabastecimiento coyuntural. Teniendo en cuenta, además, que los modelos de cambio climático están señalando un probable incremento, en frecuencia de aparición y duración, de las secuencias de sequía en el área mediterránea. Unido a este hecho, se está produciendo como se ha señalado un aumento de los episodios de precipitaciones de alta intensidad horaria. Es decir, llueve menos días al año, pero lo hace de forma más concentrada. Los extremos pluviométricos (sequías e inundaciones) posiblemente se volverán aún más extremos y frecuentes. Este aspecto es importante para la planificación de infraestructuras hidráulicas en las ciudades, puesto que deben ir adaptándose a este incremento de los eventos de lluvias intensas, y especialmente a lo que dejan cantidades no muy abundantes, pero muy concentradas en el tiempo. En media hora o una hora, se acumulan 30 o 50 litros por metro cuadrado, lo que causa anegamientos y daños económicos y, en ocasiones también, pérdida de vidas humanas. Y todo porque nuestras ciudades litorales no están preparadas para asumir cantidades importantes y concentradas de lluvia en tan poco tiempo. Se requiere la implantación de colectores de agua pluvial de gran capacidad. Este es uno de los retos que tienen los municipios del litoral mediterráneo español para las próximas décadas.

Por su parte, el incremento de la temperatura media anual a nivel global es innegable. El litoral mediterráneo español no iba a ser una excepción. El aumento de temperaturas ha sido de 0,8 °C en los últimos cien años, con un ascenso muy pronunciado desde 1980. Sin embargo, la manifestación más evidente de la pérdida de confort térmico en esta región ha sido el incremento muy notable de las denominadas «noches tropicales», en las que el termómetro no desciende de 20 °C durante toda la noche. Desde 1970 a la actualidad el número de noches tropicales en muchas ciudades de la región mediterránea se ha triplicado, pasando de 20 noches tropicales al año a unas 60 o 70 (y en algunos casos más). Además, desde el año 2000 se observa un aumento de noches en las que el termómetro no baja de 25 °C, e incluso en los últimos años ya se ha dado algún caso en el que la temperatura mínima diaria no ha descen-

dido de los 29-30 °C³. Ante estas situaciones, algunos investigadores⁴ han propuesto el uso, sin aceptación generalizada, del término noche tórrida. A las temperaturas nocturnas elevadas se suma la elevada humedad relativa en las localidades de la costa. Este último indicador tiene mucha importancia, puesto que con valores de humedad relativa del 70% o más, la temperatura que realmente siente el cuerpo humano es del orden de unos 4-7 °C mayor respecto a la que marca el termómetro. Este es, en nuestra opinión, el aspecto que genera una mayor pérdida de confort climático como consecuencia del calentamiento global en el área mediterránea.

Varios son los factores que explican este aumento de los valores mínimos en nuestra región. En primer lugar, el ascenso de las temperaturas como consecuencia del proceso de calentamiento global. Durante los últimos años, se observa que el verano tiende a alargarse entre el final de la primavera y el principio del otoño en la fachada mediterránea. Otro factor a tener en cuenta, y del que se hablará a continuación, es el aumento de la temperatura del mar Mediterráneo, cuyas consecuencias más palpables son el aumento de las temperaturas mínimas y de la humedad relativa, así como variaciones en el régimen de las precipitaciones, especialmente en el litoral y prelitoral del litoral valenciano. El último factor resulta determinante en el aumento de las temperaturas (especialmente nocturnas) en los núcleos de población del litoral y aquellos de mayor tamaño. Nos referimos al efecto de la «isla de calor urbana», que modifica a nivel local las características climáticas (temperaturas, precipitación, aparición de problemas de contaminación atmosférica, entre otros). El asfalto o el cemento retienen el calor del día, mientras que por la noche van perdiendo temperatura poco a poco, transmitiendo este calor al aire, situación que se da difuminando conforme nos vamos alejando del centro de la ciudad. En ocasiones, entre las afueras y el centro de un núcleo urbano las diferencias pueden ser de 4-5 °C, e incluso más. Este fenómeno es más acusado en las ciudades del litoral valenciano, ya que no hay que olvidar que estamos ante una de las zonas más densamente pobladas de nuestro país. La combinación de la isla de calor, aumento de la temperatura del Mediterráneo y el proceso planetario de calentamiento global supone una importante pérdida de confort climático, y por ejemplo en los últimos veranos se ha observado que en el centro de las poblaciones de mayor tamaño ya difícilmente se desciende

³ El 1-8-2017 la temperatura mínima en el barrio de La Florida de la ciudad de Alicante rondó los 30 °C, según una estación automática perteneciente a la Red Valenciana de Vigilancia y Control de la Contaminación Atmosférica (GVA).

⁴ Desde los medios de comunicación se ha popularizado el concepto de «noche ecuatorial», que hace referencia a temperaturas mínimas iguales o superiores a los 25 °C. AEMET recomienda utilizar el término de noche tórrida.

de los 20°C durante el verano climatológico (Figura 6). En lo que respecta a la evolución de las temperaturas máximas, en este caso la tendencia no es tan clara, ya que tenemos casos en los que los valores diurnos han experimentado un claro ascenso, en otros no se aprecian tendencias significativas, e incluso no falta algunos en los que hay una leve tendencia a la baja; aunque el principal problema en este caso es la ausencia de series lo suficientemente largas (exceptuando las de los observatorios principales) que nos ayuden a comprender los cambios que han experimentado los valores diurnos en el territorio valenciano, en contraste con las temperaturas mínimas, cuyo ascenso ha sido muy significativo a partir de la década de los 80.

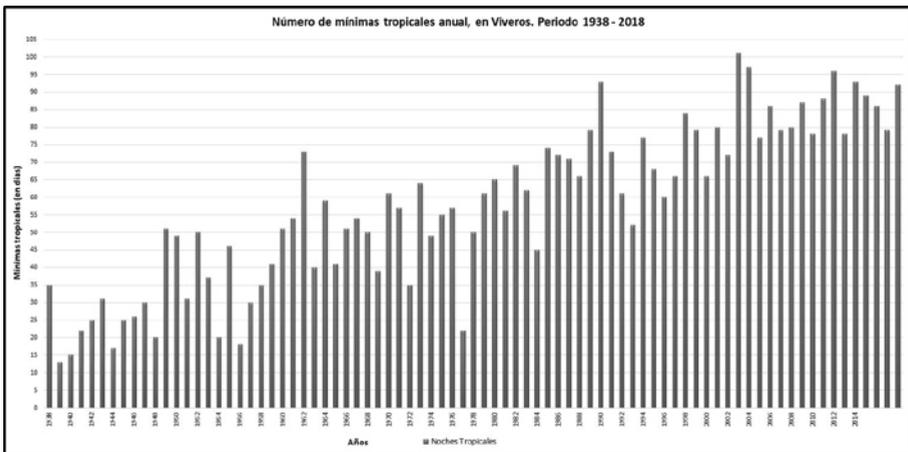


Figura 6. Evolución de las noches tropicales en Valencia Viveros (1938-2018). A partir de los años 80 se aprecia un importante incremento.

Fuente: Rafa Tena (Tiempo Valencia), con datos obtenidos en AEMET Open Data.

Por último, un dato muy relevante y manifestación evidente del cambio en las condiciones climáticas del litoral mediterráneo español es el aumento de la temperatura superficial marina de la cuenca occidental del Mediterráneo, especialmente en su sector central (mar Balear y mar de Argel). Este incremento ronda en torno a 0,8.-1'2°C, por término medio, desde 1980 a la actualidad. El mar Mediterráneo, en estos sectores, está más cálido que hace tres o cuatro décadas, en un proceso de acumulación de calor, especialmente a partir de finales de primavera (mayo-junio) y prolongándose en verano hasta bien entrado el otoño (octubre y comienzos de noviembre). Resulta muy destacable que desde el año 2000 se han observado picos de hasta 30°C durante el verano en las aguas próximas a Baleares y Argelia, un valor más propio de mares tropi-

cales. En definitiva, el período anual en que hay aguas cálidas frente a las costas del Mediterráneo español es mucho mayor que hace unas décadas y además, estas aguas están más calientes.

Esto último tiene una serie de consecuencias que repercuten sobre el clima de nuestra región. Por un lado, como se ha comentado en las anteriores líneas, un mar más cálido favorece el aumento de las noches tropicales en las poblaciones litorales, mientras que por el día las brisas pueden contribuir a aumentar la sensación de bochorno, especialmente en aquellos días en los que la temperatura del Mediterráneo alcanza o supera los 28 °C frente a nuestras costas, ya que el mar transmite el calor y la humedad al aire situado por encima de él (Tabla 3). Por otro lado, esos grados adicionales de la temperatura del mar supone un factor de riesgo ante posibles situaciones de inestabilidad asociadas a descuelgues de gotas frías o vaguadas de evolución retrógrada, ya que entre otras cosas el gradiente en la vertical tiende a ser mayor, así como una mayor evaporación, lo que unido a otros factores favorece que el calendario de lluvias intensas se extienda a otras épocas del año. Ya teníamos asimilado que en nuestra zona se podían producir eventos de precipitaciones de alta intensidad horaria de vez en cuando en otras estaciones del año que no fueran el otoño. Durante los últimos años hemos visto una cantidad no despreciable de eventos de lluvias fuertes en los meses de primavera, invierno e incluso en verano. Resulta reseñable el posible incremento de episodios de lluvias cálidas en el Golfo de Valencia como consecuencia de la tropicalización del Mediterráneo. Este tipo de episodios resultan muy singulares, ya que pueden descargar más de 200 o 300 l/m² en menos de 7 u 8 horas en áreas muy localizadas. La franja comprendida entre la Albufera de Valencia y el norte de la Marina Alta concentra la mayor parte de los episodios más significativos de esta naturaleza, por sus particularidades orográficas (sierras litorales, orientación y exposición...). Habrá que prestar especial atención a la evolución de estos eventos, realmente problemáticos y muy complicados de prever, a pesar del gran avance que han experimentado los modelos meteorológicos durante los últimos años.

Tabla 3. *Incremento de las temperaturas en las aguas del Mediterráneo Occidental situadas frente a las costas de la Comunidad Valenciana.*

	Pendiente Sen en °C/década	Magnitud absoluta de cambio entre 1985 y 2007 (según pendiente Sen) en °C
Enero	0.16	0.36
Febrero	0.17	0.39
Marzo	0.21	0.47

	Pendiente Sen en °C/década	Magnitud absoluta de cambio entre 1985 y 2007 (según pendiente Sen) en °C
Abril	0.54	1.24
Mayo	0.68	1.57
Junio	0.68	1.57
Julio	0.40	0.92
Agosto	0.11	0.25
Septiembre	-0.11	-0.26
Octubre	0.21	0.49
Noviembre	0.08	0.18
Diciembre	0.07	0.16
AÑO	0.26	0.61

Fuente: Miró Pérez, 2014.

Junto a estas evidencias que manifiestan los datos de los elementos climáticos en el territorio valenciano, quedan incertidumbres que la investigación deberá estudiar en los próximos años. La evolución de las precipitaciones es, sin duda, la incógnita importante, puesto que el calentamiento de la atmósfera y el mar Mediterráneo puede dar lugar a la formación más frecuente de nubosidad convectiva y tormentas. Los modelos de cambio climático indican una reducción generalizada de las precipitaciones, lo que va a condicionar la circulación de agua en los ríos y su infiltración en los acuíferos. En las cuencas del Júcar y Segura, sector central del litoral mediterráneo español, y en escenarios de emisión moderados, esta reducción se estima entre un 8-10% respecto a la actualidad hasta mediados del presente siglo. Hasta el momento presente, como se ha señalado, la tendencia de las últimas décadas en esta cuestión es a la acumulación de cantidades de lluvia más destacadas en la franja litoral frente a los territorios del interior. Se muestra, por ejemplo, un incremento significativo en el sur de la provincia de Valencia y norte de Alicante, pero será necesario estudiar la evolución de este elemento climático en las próximas dos décadas, al menos, para confirmar las tendencias actuales en el conjunto del litoral mediterráneo español. El viento es otro elemento de difícil modelización. No conocemos bien el comportamiento que pueden tener las brisas en una atmósfera más cálida y con un mar Mediterráneo también más caliente, entre primavera y otoño. Por otra parte, los procesos de reajuste energético serán teóricamente más energéticos en una atmósfera más cálida y ello puede dar como resultado la formación de borrascas «enérgicas» de forma más habitual, que transiten por las latitudes ibéricas en su desplazamiento hacia el Mediterráneo, con lo que también se vería afectado el litoral mediterráneo por esta mayor presencia de vientos fuertes, con efectos en la agricultura y mobi-

liario urbano. Tampoco esta claro el comportamiento de mecanismos de oscilación oceánico-atmosférica que afectan al territorio valenciano, como la NAO (Oscilación del Atlántico Norte) y la WeMO (Oscilación del Mediterráneo occidental), puesto que no se conoce la tendencia de los sistemas de presión a nivel de mar, en unos mares más cálidos. Si sigue la expansión hacia latitudes septentrionales de la célula de Hadley de nuestro hemisferio, nos podemos aproximar a un clima con cambios de estaciones mucho más difuminados y con presencia de dos momentos contrastados a lo largo del año: una estación más cálida, con desarrollo de tormentas, muy prolongada, y otra menos fría que la actual, que ocupará apenas dos o tres meses del año. Un clima mediterráneo aún más subtropicalizado. Pero este supuesto, deberá corroborarse en las próximas décadas.

3. LA NECESIDAD DE ADAPTACIÓN DE LA ECONOMÍA Y LOS TERRITORIOS EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO

Los efectos registrados y previstos del calentamiento térmico planetario de causa antrópica obliga a adaptar los territorios y sus actividades a las nuevas condiciones atmosféricas en cada ámbito regional. El cambio climático va a tener efectos notorios, en el medio (2030) y largo plazo (a partir de 2050), en la economía del litoral mediterráneo español. Los sectores económicos que pueden verse más afectados, debido a su algo grado de exposición a los cambios atmosféricos y a la subida del nivel del mar. En todo caso, la repercusión de la subida de temperatura y sus efectos asociados en los sectores económicos debe contemplarse como una oportunidad de renovación-reconversión-adaptación de procesos productivos a las nuevas condiciones climáticas. El cambio climático es un acicate para la mejora de la economía valenciana, para la transformación de su estructura productiva hacia la sostenibilidad ambiental y territorial. Las consecuencias de estas alteraciones y cambios en los elementos atmosféricos y en la línea de costa del litoral mediterráneo van a ser, por tanto, diversas según los sectores económicos afectados. Una síntesis de estos efectos en las actividades económicas que se pueden manifestar ya de forma evidente en 2030, integra los aspectos siguientes:

La agricultura de secano, sin garantías de riego auxiliar, puede verse seriamente afectada si se producen sequías intensas de forma más frecuente. El almendro podrá ver mermadas sus producciones por el descenso e irregularidad en las precipitaciones. Por su parte, el viñedo verá modificado su calenda-

rio de cultivo (adelanto de vendimia) y tendrá que modificarse prácticas de cultivo. Asimismo, se deberá experimentar con nuevas variedades adaptadas a condiciones de mayor temperatura media y mayor irregularidad de las precipitaciones. La agricultura de regadío deberá adaptar sus producciones a los recursos de agua existentes. Se experimentará un incremento en los costes de producción porque la proporción de áreas regadas con recursos no convencionales será mayor. Por su parte, se podrán introducir nuevas variedades de cultivo (frutales) adaptadas a las nuevas condiciones de temperatura. La agricultura de regadío bajo plástico reduciría sus costes de producción por la menor necesidad de aporte de calor al reducirse las horas-frío al año.

Por su parte, el sector del turismo, pieza clave en la economía española y especialmente, de las regiones del mediterráneo español, es uno de los más expuestos a los cambios en las condiciones climáticas. El cambio climático va a suponer alteraciones en el confort climático, especialmente en los meses centrales del verano, además de la necesidad de tener garantizado el suministro de agua, en cantidad y calidad, ante las perspectivas de alteración del régimen de precipitaciones señalado. El sector turístico debe prepararse para la posibilidad cierta de prolongación del calendario de «temporada alta», —centrada en la actualidad en el aprovechamiento masivo de los meses de julio y agosto—, hacia junio (inicio) y septiembre-comienzos de octubre (final) que serán meses muy aptos para las estancias turísticas en este espacio geográfico. El sector debe abordar la necesidad de acondicionamiento climático de los establecimientos turísticos, de las viviendas residenciales y de las tramas urbanas a una situación más habitual de altas temperaturas y elevada humedad, diurna y nocturna, a los efectos de compensar el desconfort térmico que se estima creciente en los espacios costeros, especialmente a partir de mediados del siglo actual. Por su parte, los municipios turísticos, en colaboración con los agentes privados del sector deberán tener bien diseñados los sistemas de abastecimiento de agua para minimizar la disminución de volúmenes de agua superficial disponible prevista. Por último, deberán elaborarse protocolos específicos de protección civil y sanidad pública, puesto que se van a alterar los calendarios de riesgo frente a determinados peligros de causa climática (tormentas y lluvias intensas por la presencia de aguas calientes en el Mediterráneo occidental durante un período del año mayor), así como la frecuencia e intensidad de aparición de extremos atmosféricos (olas de calor y sus efectos en grupos de riesgo). En esta cuestión será necesario mejorar los sistemas de drenaje de precipitaciones intensas en las ciudades turísticas en aras a la reducción de sectores de riesgo de anegamiento e inundación. La colaboración público-privada en este aspecto debe ser continua.

La industria del frío y del helado tienen una coyuntura favorable en el contexto previsto de temperaturas más elevadas en los meses de verano y de prolongación de la estación cálida hacia los extremos. La mayor necesidad de aclimatación de las viviendas a la subida de temperaturas se presenta como un *input* favorable para la industria de refrigeración. El sector de energías renovables, especialmente la fabricación de paneles solares, puede verse beneficiado en el nuevo contexto climático de forma importante. El litoral mediterráneo español, especialmente en su sector meridional, debe convertirse en un clúster de la energía solar de escala europea. Deberá apostarse por la producción micro-eólica en núcleos urbanos, con implantación de dispositivos de bajo impacto en azoteas de edificios.

El sector económico relacionado con el agua (planificación y gestión del recurso) va a experimentar importantes cambios con el objetivo principal de la mejora en la gestión de un recurso natural que va a ser más escaso (precipitaciones y agua disponible de forma natural) y que deberá complementar dicha reducción de recursos naturales con la incorporación de recursos no convencionales de forma más importante. No debe ser extraño la posible implantación de nuevas tasas en el precio del agua, por parte de las administraciones, para sufragar gastos de mejora de las instalaciones de depuración y mantenimiento de desaladoras en los municipios usuarios de las mismas. Por su parte, la industria relacionada con dispositivos de suministro urbano y domiciliario de agua y los servicios asociados a ella, tendrá en el objetivo principal de la mejora de la eficiencia del consumo de agua, un importante acicate para introducir mejoras tecnológicas y de gestión del recurso.

El sector del transporte debe seguir apostando por la promoción de sistemas de transporte sostenible y de emisión cero, en las escalas regional y, especialmente, local. Este sector ha iniciado desde hace años su renovación y reconversión en esta línea, que debe seguir en los próximos años.

El textil y, en general, el sector de moda y complementos tendrá que adaptar sus producciones a las nuevas condiciones climáticas, más cálidas y con períodos de frío invernal de menor duración. En general, los procesos productivos que requieren un consumo energético elevado deben iniciar una reconversión de sus fuentes de energía, especialmente aquellos que tienen aún en las energías fósiles el suministro energético principal para la fabricación de sus productos (cerámica, vidrio). El juguete tendrá que apostar por la búsqueda de nuevos materiales que reduzcan la dependencia de los plásticos derivados del petróleo. Es un sector muy versátil que a lo largo de la historia ha demostrado una alta capacidad de adaptación, de manera que este reto no debe suponer una dificultad importante.

El cambio climático debe orientar las decisiones de los agentes económicos, en aquellos sectores de actividad más expuestos a sus efectos, durante las próximas décadas. Para ello es necesario que exista una estrecha cooperación entre las administraciones y el sector privado para ir adaptando políticas y medidas a la realidad existente en cada momento. El seguimiento continuo y diagnóstico preciso de este proceso por parte de las administraciones se presenta como uno de los objetivos más necesarios en los próximos años para que éstas puedan ofrecer datos ciertos a los sectores productivos más vulnerables, con objeto de animar acciones de reducción de sus efectos que supongan el menor coste social y económico posible. Las comunidades del litoral mediterráneo español han llevado, en este sentido, un ritmo pausado en la puesta en marcha de políticas y prácticas de defensa ante el cambio climático. Los próximos años deben caracterizarse por el impulso en las medidas y políticas para la mitigación y adaptación al cambio climático por parte de las administraciones y en contacto directo con los agentes implicados en cada uno de los sectores económicos que pueden verse más afectados.

De entrada, el cambio climático debería ocupar un lugar principal en el organigrama administrativo con rango, al menos de vicepresidencia que coordine el resto de políticas socio-económicas, territoriales y ambientales bajo el objetivo común de la mitigación y adaptación a las nuevas condiciones climáticas que se van a manifestar

Una primera cuestión de realización urgente para los próximos años es que todas las regiones del litoral mediterráneo español tengan elaborado un «informe de estado de la cuestión» del cambio climático, a guisa del realizado en Cataluña o en otras Comunidades Autónomas de nuestro país (País Vasco) y que son la base de la elaboración posterior de políticas públicas sobre la cuestión, en dichas regiones.

Para los sectores y actividades económicas más expuestas a los efectos del cambio climático en los próximos años, es posible establecer una serie de actuaciones y recomendaciones que las administraciones públicas (regional y locales) deben llevar a término para una correcta reducción y adaptación a los efectos del calentamiento térmico planetario de causa antrópica. El cambio climático debe convertirse, por último, en materia de enseñanza en los diferentes niveles educativos. Por su parte, los programas anuales de investigación deberán incluir programas anuales de incentivos para la investigación en cambio climático y sus efectos asociados, con finalidad aplicada para los sectores productivos de las regiones del litoral mediterráneo español.

4. CONCLUSIONES

El litoral mediterráneo español es un territorio de riesgo frente al cambio climático, sus efectos ambientales y sus riesgos asociados (incentivación de fenómenos atmosféricos de rango extremo, disminución de precipitaciones y de recursos de agua superficiales). Las próximas décadas van a ser decisiva para confirmar las actuales hipótesis de trabajo del Panel Intergubernamental para el Cambio Climático y mejorar, aún más, la modelización climática para alcanzar escalas de detalle. La necesidad de mantener la investigación climática con el fin de ir confirmando todos los extremos de la hipótesis principal de trabajo (efecto invernadero de origen antrópico) no debe significar inacción de las administraciones públicas o de los agentes privados en las medidas de mitigación y adaptación que deben aplicarse en los territorios. Al contrario, los próximos años son básicos para el diseño de políticas ante el cambio climático y la planificación sostenible de los recursos de agua en este territorio español que permitan adelantarse a los acontecimientos que pueden desarrollarse. La geografía tiene un papel fundamental, como ciencia territorial y social, en la formulación de propuestas que conviertan el cambio climático en una oportunidad de desarrollo socioeconómico bajo los principios de la sostenibilidad ambiental y territorial, superando el paradigma del crecimiento sin límites y depredador de recursos que han caracterizado las últimas décadas con efectos de transformación radical de sus paisajes.

La gestión del clima y del agua en un escenario de calentamiento térmico planetario plantea un reto importante para la planificación territorial y urbana. Seguramente va a ser el reto más importante en las regiones del mediterráneo español y un motivo de actuación política principal. Además de la necesidad de apostar por territorios y ciudades de «emisión cero» y con una economía descarbonizada, los territorios deben apostar por una planificación sostenible en los usos del suelo a implantar. El manejo de la herramienta de la «infraestructura verde» debe asumirse como una práctica habitual en la planificación de los territorios. La aprobación de ordenanzas municipales de adaptación al cambio climático, la planificación urbana adaptada a las nuevas condiciones climáticas (zonas verdes, transporte sostenible). Las ciudades, en colaboración con los agentes privados del sector deberán tener bien diseñados los sistemas de abastecimiento de agua para minimizar la disminución de volúmenes de agua superficial disponible prevista. Por último, deberán elaborarse protocolos específicos de protección civil y sanidad pública, puesto que se van a alterar los calendarios de riesgo frente a determinados peligros de causa climática (tormentas y lluvias intensas por la presencia de aguas calientes en el

Mediterráneo occidental durante un período del año mayor), así como la frecuencia e intensidad de aparición de extremos atmosféricos (olas de calor y sus efectos en grupos de riesgo). En esta cuestión será necesario mejorar los sistemas de drenaje de precipitaciones intensas en las ciudades del litoral mediterráneo en aras a la reducción de sectores de riesgo de anegamiento e inundación y a su vez disponer de caudales, que convenientemente depurados se inserten en los ciclos hidrosociales de las ciudades.

BIBLIOGRAFÍA

- AEMET (2015): *Proyecciones Climáticas para el siglo XXI en España*. Disponible en: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat
- CEDEX, (2017): *Evaluación del impacto del cambio climático en los recursos hídricos y sequías en España*, Madrid. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente y Ministerio de Fomento, 346 pp.
- DE LUIS, M.; BRUNETTI, M.; GONZÁLEZ-HIDALGO, J. C.; LONGARES, L. A.; MARTÍN-VIDE, J. (2010): «Changes in seasonal precipitation in the Iberian Peninsula during 1946–2005», *Global and Planetary Change* 74 (1), pp. 27-33.
- GIL OLCINA, A., y OLCINA CANTOS, J. (2017): *Tratado de Climatología*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante, 975 p.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE, IPCC (2013-14): *Climate Change 2013 and Climate Change 2014 (3 vols.)*: Disponible en: <http://www.ipcc.ch/> (Consultado: octubre 2017).
- MARCOS-GARCÍA, P., y PULIDO-VELÁZQUEZ, M. (2017): «Cambio climático y planificación hidrológica: ¿Es adecuado asumir un porcentaje único de reducción de aportaciones para toda la demarcación?», *Ingeniería del Agua*, 21,1, pp. 35-52.
- MARTÍN VIDE, J., y LÓPEZ BUSTINS, J. A. (2006): «The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian peninsula», *Int. J. Climatol*, 26, pp. 1455-1475. Doi: 10.1002/joc.1388.
- MILLÁN, M.; ESTRELA, M. J., and MIRÓ, J. J. (2005): Rainfall components: variability and spatial distribution in a Mediterranean area (Valencia region). *Journal of Climate*, 18(14), 2682–2705. <https://doi.org/10.1175/JCLI3426.1>.
- MIRÓ PÉREZ, J. J. (2014): *Downscaling estadístico de series climáticas mediante redes neuronales: Reconstrucción en alta resolución de la temperatura diaria para la Comunidad Valenciana. Interpolación espacial y análisis de tendencias (1948-2011)*. Tesis Doctoral. Instituto Interuniversitario de Geografía de la Universidad de Alicante, Fundación Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo, y Departamento de Geografía de la Universidad de Valencia. 523 p. DOI: 10.13140/RG.2.1.2059.1523.
- MIRÓ, J. J.; ESTRELA, M. J., and OLCINA-CANTOS, J. (2016): Reconstrucción de la señal térmica local en la Comunidad Valenciana entre 1948 y 2011 a partir de

- un downscaling estadístico mediante una red neuronal artificial: Detección de patrones locales de cambio. *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 70, 113–147. <https://doi.org/10.21138/bage.2165>.
- MIRÓ, J. J.; ESTRELA, M.^aJ.; CASELLES, V., y OLCINA CANTOS, J. (2016): «Fine-scale estimations of bioclimatic change in the Valencia region, Spain», *Atmospheric Research* 1809, pp. 150-164.
- MONJO, R., and MARTÍN-VIDE, J. (2016): Daily precipitation concentration around the world according to several indices. *International Journal of Climatology*, 36(11), 3828–3838. <https://doi.org/10.1002/joc.4596>.
- OLCINA CANTOS, J. (2013): «Experiences in adapting to Climate Change and Climate Risk in Spain», in *Climate Change Adaptation in practice: from strategy development to implementation* (Philipp Schmidt-Thome and Johannes Klein, eds.), Wiley-Blackwell, pp. 253-268.
- OLCINA CANTOS, J. (2017): «Incremento de episodios de inundación por lluvias de intensidad horaria en el sector central del litoral mediterráneo español: análisis de tendencias en Alicante», *Rev. Semata*, 29, 143-163.
- OLCINA CANTOS, J., HERNÁNDEZ HERNÁNDEZ, M., RICO AMORÓS, A. M., MARTÍNEZ IBARRA, E. (2010): «Increased risk of flooding on the coast of Alicante (Region of Valencia, Spain)», *Natural Hazards*, vol. 10, n.º 11, pp. 2229-2234.
- OLCINA CANTOS, J.; RULLÁN SALAMANCA, O. (2017): «Consecuencias ambientales de la actividad económica», en *Geografía Humana de España* / Romero, J. (coord.): Ed. Tirant Lo Blanch, pp. 526-641. ISBN: 978-84-16786-65-7.
- QUEREDA-SALA, J.; MONTÓN-CHIVA, E., and ESCRIG-BARBERÀ, J. (2009): El cambio climático en las regiones de Valencia y Murcia: La sombra analítica de un auténtico troyano. *Investigaciones Geográficas*, 49, 107–127. <https://doi.org/10.14198/INGEO2009.49.06>.
- SAURÍ, D.; OLCINA, J.; VERA, J. F.; MARTÍN-VIDE, J.; MARCH, H.; SERRALLOBET, A., and Padilla, E. (2013): «Tourism, climate change and water resources: coastal Mediterranean Spain as an example». In: Schmidt-Thome, Philip and Greiving, Stefan (coords.): Schmidt-Thome, Philip and Greiving, Stefan (coords.): *European Climate Vulnerabilities and Adaptation: A Spatial Planning Perspective*, Willey, pp. 231-252. ISBN: 978-0-470-97741-5.
- SERRANO NOTIVOLI, R. (2017): *Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: ensayo metodológico y aplicaciones*. Tesis doctoral, inédita. Universidad de Zaragoza. Facultad de Filosofía y Letras. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio. Zaragoza, 234 pp + anexo cartográfico (inédita).
- VERA REBOLLO, J. F. (coord.): (2016): «El turismo en Alicante y la Costa Blanca». *Canelobre*. Revista del Instituto alicantino de Cultura Juan Gil-Albert, n.º 66 (monográfico), 443 pp.

RESUMEN

EVIDENCIAS E INCERTIDUMBRES DEL CAMBIO CLIMÁTICO Y DE LOS RIESGOS ASOCIADOS EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO ESPAÑOL

El proceso actual de calentamiento térmico planetario está asociado a las emisiones de gases de efecto invernadero procedentes de actividad humana. Desde los años ochenta del pasado siglo las temperaturas terrestres sufren un proceso de ascenso que se mantiene hasta la actualidad y que puede condicionar las actividades económicas y la propia vida en el medio urbano, debido al incremento de episodios atmosféricos de rango extremo. El litoral mediterráneo español manifiesta ya cambios en algunos elementos climáticos (temperaturas y precipitaciones). El trabajo presenta las evidencias y las incertidumbres que el actual proceso de calentamiento climático tienen en este ámbito regional que es un laboratorio de estudio privilegiado por su propia ubicación geográfica próxima a la dinámica atmosférica subtropical y en relación con los cambios que está teniendo lugar, asimismo, en las temperaturas del agua del mar Mediterráneo.

Palabras clave: Calentamiento térmico planetario, cambios en los elementos climáticos, litoral mediterráneo, efectos territoriales y económicos.

ABSTRACT

EVIDENCES AND UNCERTAINTIES OF CLIMATE CHANGE AND THE ASSOCIATED RISKS IN THE SPANISH MEDITERRANEAN COAST

The current process of planetary thermal heating is associated with emissions of greenhouse gases from human activity. Since the eighties of the last century, terrestrial temperatures have undergone a process of ascent that continues up to the present; this process can affect economic activities and life in the urban environment, due to the increase in extreme weather episodes. Spanish mediterranean coast already shows changes in some climatic elements (temperatures and rainfall). This paper presents the evidences and the uncertainties that the current process of climate warming have in this regional area, which is a privileged study laboratory due to its geographical location near to the subtropical atmospheric dynamics and also in relation to the changes that are taking place in water temperatures of the Mediterranean Sea.

Key-words: Climate change, changes in climatic elements, spanish mediterranean coast, territorial and economic effects.

