

CAMBIO CLIMÁTICO EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO: UNA EVIDENCIA QUE OBLIGA A ADAPTARSE

Jorge Olcina Cantos

Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física. Universidad de Alicante

EL PROCESO ACTUAL DE CALENTAMIENTO CLIMÁTICO

El clima de la Tierra es, por naturaleza, cambiante. Desde la formación de nuestro planeta, hace cuatro mil quinientos millones de años a la actualidad, los rasgos climáticos básicos y el propio movimiento de la masa atmosférica que nos envuelve y que genera los tiempos diarios nunca ha sido igual. Ello ha dibujado unas condiciones climáticas variadas, incluso contrastadas, en la diversidad de espacios geográficos de la Tierra a lo largo de la historia. Hemos pasado por épocas muy frías, frías, cálidas y muy cálidas, por fases lluviosas y secas. En un proceso dinámico que sucedía mientras tierras y mares encontraban su forma actual en el planisferio dentro de la tectónica global, mientras las formas vegetales y animales ganaban complejidad y, finalmente, cuando apareció, tras una evolución fascinante, la especie humana.

Ahora vivimos una fase nueva en este proceso de cambios constantes en el clima terrestre. Una fase diferente, animada precisamente por la labor del ser humano que desde hace siglo y medio apostó por un modelo de desarrollo que se ha mostrado perjudicial para el conjunto de la naturaleza terrestre y, en particular, para su medio gaseoso. Un proceso de cambio que ya no depende en exclusiva de factores y procesos naturales; un cambio animado por la acción humana que encierra una gran incertidumbre sobre su evolución futura porque es la primera vez que ocurre en la historia de la humanidad.

El clima terrestre resulta de la complejísima interacción protagonizada por el Sol, superficie terrestre y 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 Balance Energético Planetario 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 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.

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, hubiese alterado de forma apreciable las condiciones del clima a escala planetaria. 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 proceso actual de cambio climático por efecto invernadero de causa antrópica es una evidencia científica preocupante. La Tierra, sus tierras y sus mares, es en la actualidad más cálida que hace cuatro décadas. Y ese calentamiento se ha producido de forma

rápida desde 1980, resultando muy notable ese incremento térmico desde 2010. Y este hecho físico lleva asociado dos procesos naturales complementarios: la reducción progresiva de la cubierta de hielo y nieve que es intensa en zonas de montaña y, particularmente, en la cuenca ártica, y el aumento lento pero constante del nivel del mar comprobado en algunas áreas costeras de las grandes cuencas oceánicas. De modo que ni el protocolo de Kioto (1997) ni el Acuerdo de París (2015) están consiguiendo reducir las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera terrestre, y como resultado la temperatura global de la Tierra sigue aumentando. Y lo peor, ese calor se está acumulando en las cuencas oceánicas, con su inquietante efecto de latencia sobre el balance energético planetario (Figura 1).

El clima terrestre tiende a ser en las próximas décadas un clima térmicamente menos confortable, con alteraciones regionales de las precipitaciones y con desarrollo más frecuente de episodios meteorológicos extremos, porque en una atmósfera más cálida los movimientos de las masas de aire para intentar encontrar un equilibrio en el balance energético del planeta son más rápidos e intensos. Un equilibrio que es inalcanzable

porque el calentamiento causado por los gases de efecto invernadero es, de momento, constante.

Los efectos en el litoral mediterráneo español se muestran ya de forma evidente. Los datos atmosféricos registrados son claros al respecto. El proceso de calentamiento climático planetario cobra en el litoral mediterráneo español unos rasgos propios, debido al propio calentamiento, acelerado, que están registrando las aguas de la cuenca del Mediterráneo, que es una de las que ha experimentado un aumento mayor en su temperatura superficial (1,4° C desde 1980 a la actualidad).

Es lo que se puede denominar “mediterraneización” del calentamiento climático; un efecto regional de un proceso global (Figura 2).

Los cambios principales en los elementos climáticos que ya se registran en el litoral mediterráneo español se pueden sintetizar en un incremento térmico en las máximas y mínimas y unas variaciones estacionales y de intensificación horaria de las precipitaciones. Es notable la pérdida del confort climático, debido al incremento de las temperaturas, en particular de la temperatura mínima, con

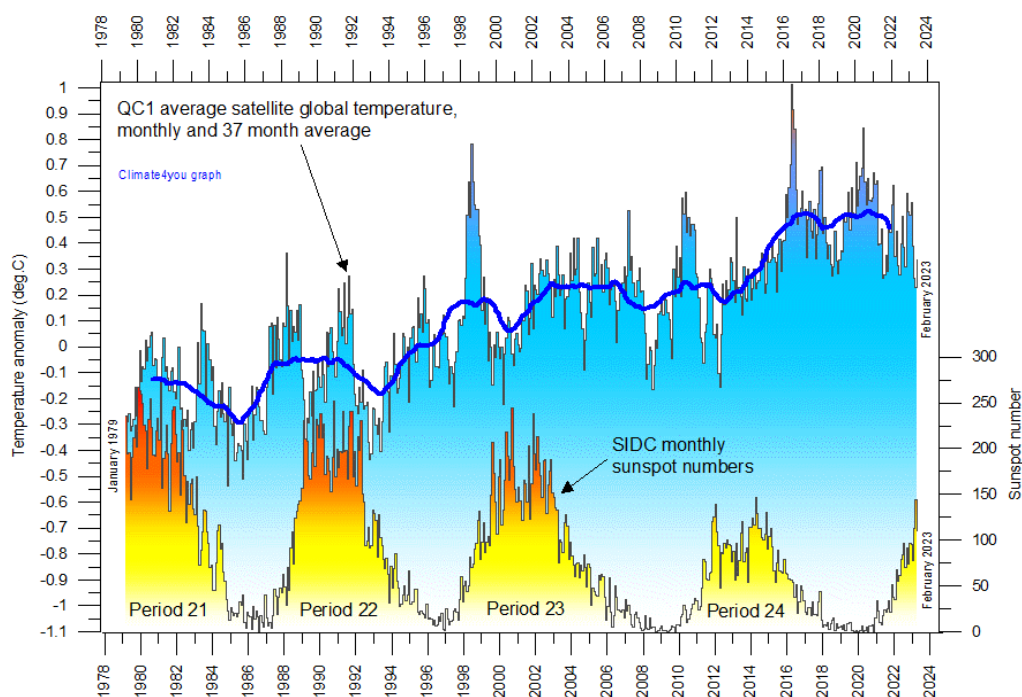


Figura 1.-Evolución reciente de la temperatura del aire (medición satelital QC1) y actividad solar (ciclos solares), 1978-2023. Se observa el desajuste entre estas dos variables, ocasionado por la alteración antrópica del Balance Energético Planetario. Fuente: www.climate4you.com

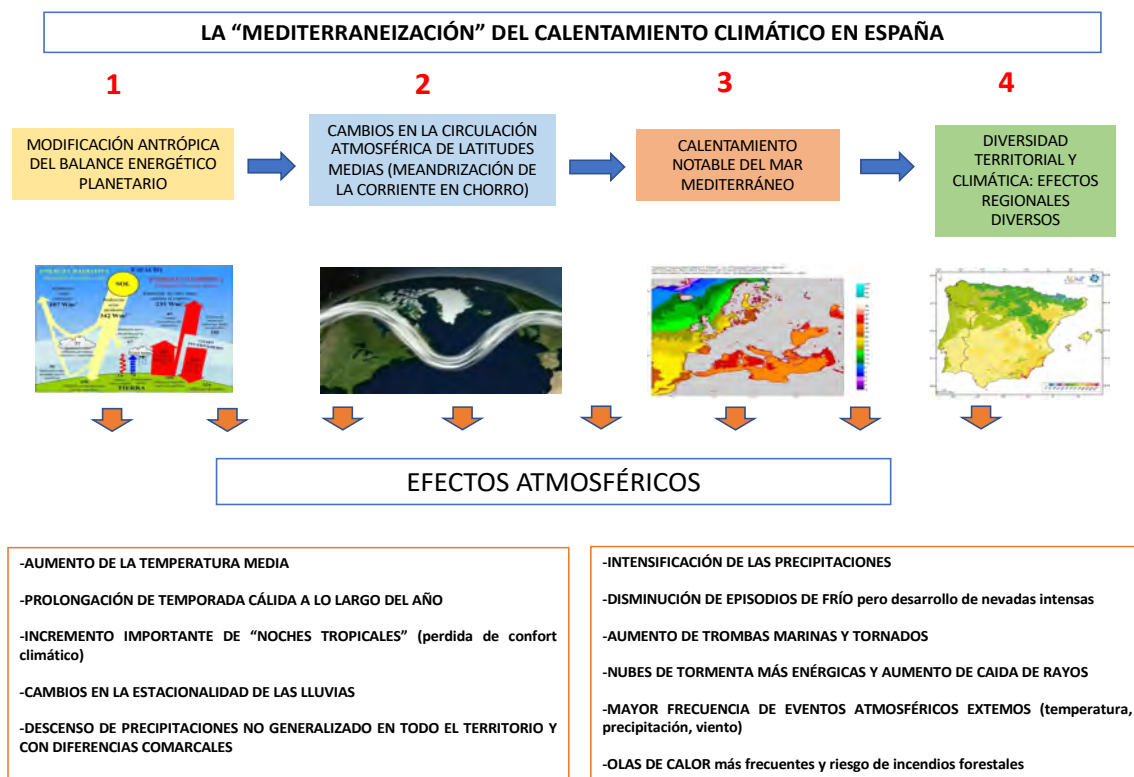


Figura 2. La "mediterraneización" del cambio climático actual. Un efecto regional de un proceso global.

un aumento de las noches tropicales y una pérdida del confort climático. Se trata de un proceso general en todo el litoral mediterráneo español que tiene estrecha relación con el aumento de la temperatura de la superficie marina del Mediterráneo en su cuenca occidental. No sólo se observa un incremento en la frecuencia de estas noches muy cálidas, sino también las rachas con tres o más noches tropicales consecutivas o incluso noches tórridas con mínimas superiores a 25° C. Así, por ejemplo, en numerosos observatorios del litoral mediterráneo español, especialmente en el área central -frente a los sectores marítimos Balear y de Argel- se ha pasado de registrar 40 noches tropicales al año en los años setenta del pasado siglo, a casi 80 noches tropicales en la actualidad.

Por otra parte, los cambios en la precipitación en el sector central del litoral mediterráneo español no son uniformes y esto suscita incertidumbre a medio y largo plazo. No hay que olvidar que la irregularidad de las lluvias es uno de los rasgos distintivos tanto de los climas del litoral mediterráneo como del archipiélago canario, con

coeficientes de variación en amplios espacios de ambos territorios que superan el 35-40%. En las principales series pluviométricas de las provincias del litoral mediterráneo español no se aprecia todavía una tendencia clara de disminución generalizada de las precipitaciones, aunque sí se muestran cambios en la distribución estacional e intensidad de las mismas, especialmente en las áreas próximas a la línea de costa.

Es notable ya el cambio en el tipo de precipitación. Desde el comienzo del presente siglo, se observa que las lluvias de origen convectivo (especialmente aquellas asociadas a la presencia de situaciones de "gotas frías" en capas medias-altas de la troposfera) cobran cada vez más importancia, frente a las precipitaciones frontales de origen atlántico. Junto a ello, también se está modificando el calendario de desarrollo de las precipitaciones de intensidad horaria, que se presentan en cualquier estación del año. No se limitan al otoño, como estación tradicionalmente considerada de riesgo de inundaciones. Se producen eventos que rondan o superan los 100 mm en apenas una o dos horas, en cualquier mes.

Otro dato relevante es la modificación estacional en el desarrollo de las precipitaciones, porque las lluvias de primavera tienden a perder peso a favor de las de otoño, en el reparto anual. Esto es especialmente significativo en el extremo meridional del Sistema Ibérico, donde tienen su nacimiento algunos de los ríos importantes que recorren España con desembocadura en el mar Mediterráneo (Júcar, Turia) o bien en el Atlántico (Tajo).

Diversos trabajos señalan la progresiva ganancia de extensión territorial que experimenta el régimen de lluvias típicamente mediterráneo (máximo pluviométrico en otoño) hacia el interior de la península Ibérica, donde el pico principal de lluvias se sitúa generalmente en primavera (sector oriental de la cordillera ibérica). Este hecho tiene una repercusión directa en la planificación hidrológica, puesto que las aguas de primavera son muy importantes para la acumulación de reservas hídricas, en embalses y acuíferos, que permitan atender el aumento del gasto en los meses cálidos del año, mucho más teniendo en cuenta que la temporada turística alta se desarrolla durante el estío.

Asimismo, es notable el incremento en los eventos atmosféricos extremos registrados desde 2000 en el litoral mediterráneo español. Los episodios de lluvia intensa, que generan precipitaciones de intensidad (hasta 100 mm en 1 h) muestran una tendencia creciente a lo largo del siglo XXI y no son necesarias cantidades de lluvia torrencial para que se generen elevados daños económicos en los territorios afectados, hecho también constatado y ya comentado para el archipiélago canario. En consonancia con ello también se ha incrementado el riesgo en los últimos veinte años en cuanto a la vulnerabilidad y la exposición ante eventos atmosféricos de rango extraordinario debido a la implantación de viviendas y equipamientos en áreas inundables. Especialmente intensos han sido los últimos temporales marítimos en la costa mediterránea española, desde 2015 se han sucedido 3 temporales importantes (2017, 2020, 2021) con graves efectos en infraestructuras y viviendas situadas en primera línea de costa. Especialmente energético fue el temporal provocado por la borrasca "Gloria" (enero de 2020) que causó importantes pérdidas económicas en todo el litoral mediterráneo.

Todos estos cambios experimentados en los elementos climáticos y en los fenómenos atmosféricos de rango extremo de los dos ámbitos de estudio, tienen una relación estrecha con dos procesos atmosférico-oceánicos: 1) las alteraciones en la circulación atmosférica general de latitudes medias y subtropicales; y 2) el incremento en la temperatura del agua del mar en todas las costas españolas.

Respecto al primer aspecto, los cambios señalados en la intensidad y estacionalidad de las precipitaciones en el área mediterránea española están relacionados con las alteraciones que está experimentando la circulación atmosférica en latitudes medias del hemisferio norte. Hay estudios que muestran que la velocidad media de la corriente en chorro polar se habría reducido un 14% desde 1980. Esto implica una mayor ondulación del chorro, es decir, la generación más frecuente de ondas planetarias (crestas y vaguadas) con desplazamientos más rápidos de masas de aire cálido hacia latitudes septentrionales y de aire polar o ártico hacia el sur. En ese sentido, diferentes autores han confirmado, recientemente, el aumento de la circulación atmosférica de "gotas frías" en latitudes medias planetarias, que en el hemisferio norte habría supuesto un incremento del 20% desde 1960 a 2017. Además, en el sector europeo de las latitudes medias, las zonas donde se habría concentrado la instalación de estas depresiones aisladas en niveles altos de la atmósfera (DANA) corresponderían al Golfo de Cádiz y al Mediterráneo Occidental en su conjunto. Tomando como referencia el nivel de los 200 hPa, en Europa el número de DANAs al año entre 1960 y 1990 se mantuvo estable, con cerca de 30 anuales. Sin embargo, a partir de 1990 se ha producido un repunte importante, rondando actualmente las 35-40. El proceso actual de calentamiento térmico planetario parece tener buena culpa de ello, ya que se ha demostrado que las corrientes en chorro se han ido desplazando hacia los polos, al igual que la célula de Hadley y la zona de convergencia intertropical; sin olvidar la contracción del vórtice polar y el enfriamiento de la estratosfera. Con un jet más ondulado, se producen bloqueos que favorecen la aparición de ramales subtropicales y polares más débiles, algo muy relacionado con el incremento observado en Europa en el número de gotas frías.

El calentamiento de las temperaturas de la superficie marina es un hecho significativo

en toda la costa española. Las aguas de la cuenca mediterránea han experimentado un calentamiento, pero de modo singular en los extremos oriental y occidental de la misma. En el sector occidental, los datos aportados por el CEAM (Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo) muestran, como se ha indicado, un calentamiento de 1,4° C entre 1980 y 2022. Esto significa que el calor acumulado en la cuenca marina es superior al propio calentamiento experimentado en el aire en el mismo intervalo de tiempo, según los datos registrados en los observatorios del litoral mediterráneo español. Debe recordarse que el aumento en la temperatura del agua del mar tiene dos efectos directos en los elementos climáticos: pérdida de confort térmico, especialmente en verano, debido al aumento de las noches cálidas entre finales de primavera y comienzos del otoño; y génesis de precipitaciones de intensidad debido a la transferencia de calor desde la superficie marina a la atmósfera en los procesos de convección.

La relación agua-atmósfera se manifiesta también con efectos en la subida del nivel del mar y sus consecuencias en la franja costera. El informe sectorial sobre los océanos y la criosfera del IPCC manifiesta gran preocupación por el efecto de subida del nivel del mar que ya se registra en áreas litorales de grandes cuencas oceánicas (Pacífico y Atlántico). Para la cuenca del Mediterráneo, el problema no es tan evidente aún, pero se hace notar el efecto que tendrá la dilatación del agua del mar (calentamiento) y la frecuencia más elevada de temporales marítimos (temporales de levante en el litoral mediterráneo español) en la franja costera.

LA NECESIDAD DE ADAPTACIÓN

El proceso actual de calentamiento climático y sus efectos previstos puede entenderse como oportunidad de cambio, como necesidad de entender la relación entre el ser humano y el medio natural de modo diferente a como se ha desarrollado en los dos últimos siglos. La explotación intensa de los recursos, la depredación del territorio entendido como espacio de todo lo posible, el desarrollo económico basado en los combustibles fósiles como fuente energética principal, que son las bases del actual modelo liberal de crecimiento

económico puede –debe– plantear cambios obligados por las consecuencias que el actual cambio climático, por efecto invernadero de causa antrópica, va a causar en los territorios y sociedades de nuestro planeta.

La organización de la acción política por parte de los gobiernos, en cualquier escala, debe partir de la consideración de la lucha contra el cambio climático como principio rector en la orientación de las políticas. Las políticas de cambio climático implican medidas que afectan, directa o indirectamente, a todas las áreas de gobierno, de ahí la necesidad de mayor coordinación de las mismas por parte de un departamento exclusivo dedicado a políticas de cambio climático y/o medio ambiente en general.

Sigue habiendo demasiada distancia entre la elaboración de informes, diagnósticos o estrategias y su concreción en políticas públicas o en formas de incentivar desde la esfera pública a los sectores privados. La promoción de la investigación sobre cambio climático y en sus efectos previstos debe afianzarse con un programa propio en los planes nacionales o regionales de investigación, dotado de recursos suficientes. Se deberían coordinar esfuerzos entre administraciones con competencias en materia de cambio climático que optimice las acciones y los recursos financieros. Así, por ejemplo, la modelización climática puede ser una labor única, pero el estudio de los efectos territoriales debe realizarse desde las escalas regional y local.

Resulta prioritaria la elaboración de planes de adaptación al cambio climático en esas escalas. Especialmente interesante es el diseño de actuaciones en la escala local porque es la más próxima a la ciudadanía y donde la implicación de las esferas pública y privada puede ser más efectiva (Figura 3). Estos planes de adaptación deben incorporar medidas de ordenación territorial, de cambios en los sectores económicos, de movilidad sostenible, de educación ciudadana y de comunicación a la población. La implementación de las acciones contenidas en los planes de adaptación en la escala local tiene en las ordenanzas municipales un eficaz procedimiento jurídico-administrativo. Estos planes se deben elaborar bajo los principios de territorios de “emisiones cero” y de “economías sin carbono” que ya se están desarrollando en regiones y ciudades de

países avanzados. Estos planes deben tener un sistema transparente de seguimiento a partir de elaboración de informes de estado y del establecimiento de un sistema de indicadores.

Es necesario adaptar la planificación y gestión del agua a los escenarios de cambio climático. Los Planes Hidrológicos (de demarcación y de escala estatal) deben abandonar las medidas de oferta, como criterio de planificación, y centrarse en la gestión de los recursos propios en un territorio y en la demanda existente. En un contexto de cambio climático, con reducción de precipitaciones o, en el mejor de los casos, con alteración significativa de regímenes de lluvia, los trasvases de agua quedan cuestionados. Por el contrario, la planificación basada en la gestión eficaz de los recursos existentes y en la incorporación de recursos no convencionales (depuración y desalación) son medidas racionales y realistas para la garantía de los abastecimientos.

La reducción de costes del agua para uso agrario puede producirse, bien por la subvención directa por parte de las administraciones estatal y regional o bien por el establecimiento de sistemas de compensación entre la ciudad y el campo, a través del mecanismo del canon de saneamiento, depuración, al que habría que incorporar la

tasa por desalación. Es importante que los municipios elaboren planes de gestión de sequía para escenarios de cambio climático.

Las actividades económicas más expuestas a los efectos del calentamiento climático (agricultura y turismo) deben comenzar a elaborar programas de adaptación a corto y medio plazo. Estas acciones deben verse como una oportunidad de desarrollo económico, como se ha señalado, evitando los enfoques catastrofistas en la elaboración de las medidas a realizar.

En agricultura, por ejemplo, debe contemplarse el cambio en los ciclos de cultivo y, en algunos casos, de sustitución de variedades. La investigación agronómica va a resultar fundamental para la adaptación de cultivos a las condiciones climáticas previstas en los modelos. En áreas con reducción prevista en las precipitaciones, la agricultura de secano deberá apoyarse en dotaciones de agua de apoyo para mantener las producciones. La eficiencia en el uso de agua debe ser prioridad, por su parte, en la agricultura de regadío. Algunos informes recientes ya aportan suficiente información como para saber el alcance de previsible impactos en las agriculturas europeas.

Por su parte, la modalidad de turismo de sol y playa tendrá que adaptar sus temporadas

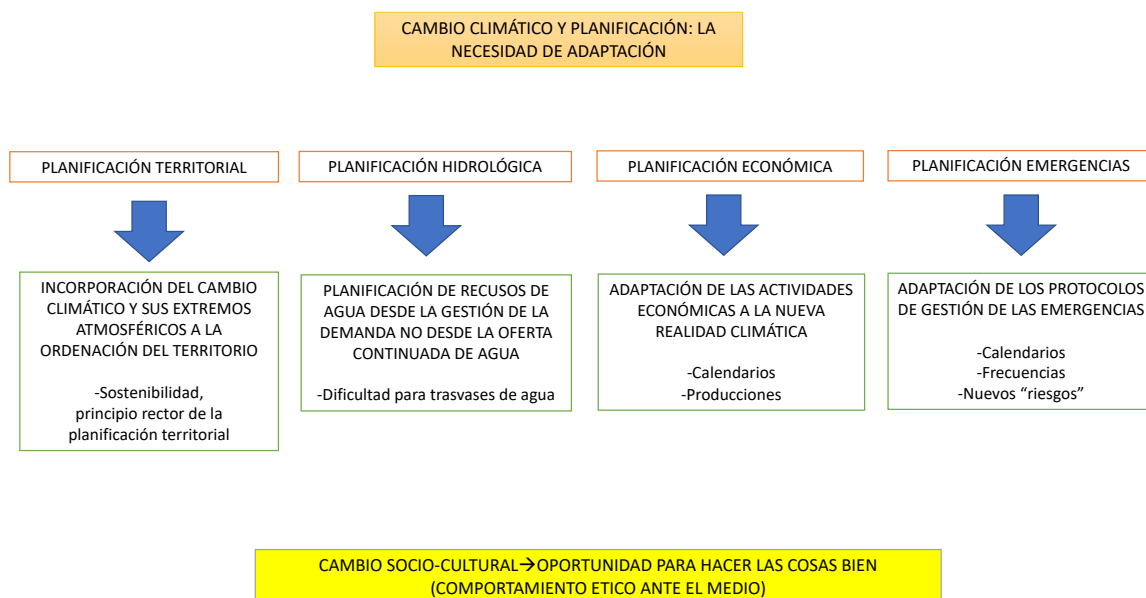


Figura 3. La necesidad de adaptar la planificación de recursos, actividades y procesos a los efectos del cambio climático.

a los cambios en las temperaturas. Además, el calentamiento del agua que se registra en algunos mares, como el Mediterráneo, permitirá alargar la temporada de baños si no la interrumpen frecuentes episodios climáticos extremos. Esto va a suponer cambios en el calendario laboral a favor de una mayor flexibilidad. El turismo basado en la nieve también deberá adaptar la temporada a la reducción, ya registrada en el calendario y volúmenes de nieve, así como su reconversión a estaciones de montaña en sentido amplio, con oferta de actividades complementarias a la práctica del esquí.

La industria basada en materias primas procedentes de transformación de combustibles fósiles debe reflexionar sobre su mantenimiento futuro en el marco de economías descarbonizadas. Las industrias del frío tendrán un desarrollo importante, así como la basada en la promoción de las energías limpias. La industria textil deberá adaptar sus producciones a un escenario climático con menos frío y más calor.

La gestión de zonas costeras y los previsible efectos de los temporales en el litoral debe ser abordado con enfoques estructurales y no tanto con medidas reparadoras. Como es bien sabido, no disponemos de mecanismos coordinados sobre gestión integrada de zonas costeras, y a medida que los impactos derivados del cambio climático se hagan más evidentes será más necesario revisar tanto la falta de coordinación como muchas estrategias territoriales y otras iniciativas sobre territorio y urbanismo a escala regional y subregional.

Los protocolos de gestión de las emergencias deben ser actualizados ante la posibilidad de fenómenos extremos más frecuentes y en cualquier época del año. Y estos protocolos deben enseñarse a la población en los territorios de riesgo, bien a través del currículo académico bien mediante campañas de comunicación del riesgo en la escala local, principalmente. La promoción del voluntariado para la gestión de las emergencias, que existe en algunos países, puede ser una buena fórmula para conseguir la implicación de la población local en las medidas de adaptación al cambio climático y sus extremos asociados.

Finalmente, la educación en cambio climático y en la gestión del riesgo y de la emergencia debe incorporarse a los currículos

en todos los niveles: desde la enseñanza no universitaria hasta posgrado y máster. Algunos países ya lo han desarrollado como asignaturas específicas o como contenidos dentro de materias de ciencias sociales o conocimiento del medio. Se deberían promover programas de enseñanza transversal (enseñanza por proyectos) en cambio climático y sus efectos entre diversas asignaturas en los diferentes cursos académicos.

AGRADECIMIENTOS

El autor quiere agradecer la amable invitación recibida por la Junta Directiva de la Academia Malagueña de Ciencias, en especial a su Presidente D. Fernando Orellana Ramos y a su Vocal coordinador de Ciencias del Medio Ambiente y el Territorio, mi hermano, el Dr. José Damián Ruíz Sinoga, para impartir, el 21 de febrero de 2023, la conferencia titulada "*Cambio Climático en el litoral mediterráneo: una evidencia científica que obliga a adaptarse*", dentro de los actos de celebración de su 150 Aniversario y que constituye la fuente principal de este escrito.

LECTURAS DE INTERÉS

- GIL OLCINA A. y OLCINA CANTOS J. 2021. *Tratado de Climatología*. 2ª edición. Publicaciones de la Universidad de Alicante, 1024 pp.
- KRAUSS L.M. 2021. *El cambio climático: la ciencia ante el calentamiento global*. Ed. Pasado y Presente, Barcelona. 224 pp.
- OLCINA CANTOS J. 2020. Clima, cambio climático y riesgos climáticos en el litoral mediterráneo. Oportunidades para la geografía. *Documents d'Anàlisi Geogràfica* 66 (1): 159–182. <https://doi.org/10.5565/rev/dag.629>
- ROMERO J. y OLCINA J. (coords.) 2021. *Cambio climático en el Mediterráneo. Procesos, riesgos y políticas*. Ed. Tirant lo Blanc, Valencia, 346 pp.
- VIÑAS J.M. 2022. *Nuestro reto climático*. Ed. Alfabeto, Madrid, 248 pp.