

Impactos y riesgos del cambio climático en España: una breve panorámica

*David García-León y Juan-Carlos Ciscar**

Resumen

Este artículo ofrece una panorámica de los riesgos climáticos previstos para España en las próximas décadas en los ámbitos de la salud humana, el medio ambiente y la economía. Se detallan asimismo una serie de retos y limitaciones a ser superados para comprender mejor el análisis cuantitativo del riesgo climático y el consiguiente diseño de las políticas de adaptación al cambio climático.

Palabras clave: cambio climático, riesgo, impacto, adaptación.

1. INTRODUCCIÓN

España tiene un plan detallado de reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI). Según el Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030 (MITECO, 2020) en 2030 las emisiones de GEI se reducirán en un 23 % respecto a las emisiones de 1990. Este esfuerzo de mitigación es coherente con los objetivos europeos para 2030, así como con el Acuerdo de París¹ de 2015, que tiene como objetivo limitar el aumento de la temperatura global respecto al periodo preindustrial por debajo de los 2 °C y perseguir el objetivo de 1,5 °C.

El PNIEC contiene metas ambiciosas para múltiples sectores. Por ejemplo, respecto al sector energético, se contempla una contribución del 42 % de las renovables al uso final de la energía, un 39,5 % de mejora de la eficiencia energética y que el 74 % de la generación eléctrica provenga de fuentes renovables. El objetivo

* Comisión Europea, Joint Research Centre.

1 El Acuerdo de París es un tratado internacional sobre el cambio climático jurídicamente vinculante. Fue adoptado por 196 Partes en la COP21 en París, el 12 de diciembre de 2015, dentro de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático.

a largo plazo es lograr la neutralidad de emisiones de GEI de España en 2050, en coherencia con el Pacto Verde Europeo (Comisión Europea, 2019), el cual persigue alcanzar la neutralidad climática de la Unión Europea en 2050, entre otras numerosas metas de sostenibilidad.

¿Por qué debemos asumir los importantes costes de mitigación y consiguientes efectos distributivos que conllevan las transformaciones señaladas en el PNIEC? En las últimas décadas se han venido observando rápidos y generalizados cambios en la atmósfera, océanos, criosfera y biosfera. Estos cambios han venido acompañados por un aumento en la concentración de GEI, proceso iniciado alrededor de 1750 con el creciente y masivo uso de combustibles fósiles propiciado por la revolución industrial. Se estima que la temperatura media del planeta ha aumentado aproximadamente en un grado centígrado desde el periodo preindustrial. El último informe de evaluación del IPCC (IPCC, 2021) afirma con rotundidad que “la influencia humana es inequívoca en el calentamiento de la atmósfera, el suelo y los océanos”.

Desde la época preindustrial la temperatura media en España ha aumentado relativamente más que en el resto de Europa (alrededor de 1,7 °C). El calentamiento generalizado ha venido acompañado de numerosos fenómenos climatológicos, como el alargamiento de los veranos, el incremento en la duración y severidad de las olas de calor, la proliferación de noches tórridas, la disminución de las precipitaciones, la desaparición de los glaciares, la disminución de los caudales de los ríos, la expansión del clima de tipo semiárido, el aumento de la temperatura del agua marina, el ascenso del nivel medio del mar o la acidificación de las aguas marinas.

De este modo, en ausencia de medidas de mitigación y adaptación, el cambio climático se presenta como un gran riesgo para el bienestar de la humanidad, pudiendo afectar significativamente a aspectos fundamentales como la salud humana, la economía y el medio ambiente. Es importante recordar que dado que los distintos procesos fisiológicos, ecosistemas y sistemas socioeconómicos se han optimizado durante siglos para amoldarse al clima existente, la relativa aceleración del cambio climático puede comprometer la estabilidad de estos procesos, provocando efectos desconocidos y graves. Existen numerosas incertidumbres

que pueden agravar los riesgos, como que determinados impactos se propaguen en los sistemas humanos y naturales, una vez que los riesgos climáticos alcanzan ciertos umbrales.

El objetivo de este artículo es ofrecer una breve panorámica sobre los posibles efectos del cambio climático en España. En la sección segunda se detallan las principales características de las proyecciones climáticas hasta finales de siglo. En la tercera sección se sintetizan los aspectos cualitativos del amplio abanico de impactos esperados en España, principalmente impactos de tipo biofísico. La sección cuarta detalla un conjunto de resultados económicos y cuantitativos resultado de combinar modelos biofísicos con modelos económicos. La quinta sección concluye con algunas reflexiones finales.

2. ESCENARIOS CLIMÁTICOS

España presenta una marcada variabilidad climática, con regiones que presentan desde un clima típicamente atlántico, con precipitaciones anuales superiores a los 2.000 mm, hasta áreas con clima semiárido, proclives a un alto estrés hidrológico, pasando por zonas de alta montaña con clima alpino. Esta diversidad es el resultado del posicionamiento latitudinal de la Península Ibérica sobre el extremo norte del cinturón subtropical, de su compleja orografía, salpicada de grandes cadenas montañosas, y de estar rodeada por dos grandes masas de agua con características muy distintas: el océano Atlántico y el mar Mediterráneo. Esta gran variabilidad climática, sumada a otros aspectos morfológicos y geológicos, explican los grandes contrastes hidrológicos existentes entre distintas zonas del territorio. Las grandes diferencias en el comportamiento y magnitud de las precipitaciones en las diversas regiones provocan que muchos de estos territorios se vean frecuentemente expuestos a la acción de diversos eventos meteorológicos extremos, como sequías, lluvias torrenciales e inundaciones fluviales.

El clima es un estado del sistema climático. Los escenarios climáticos describen futuribles acerca de los componentes del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera) y las interacciones entre dichos componentes de acuerdo con distintos niveles de emisiones de GEI. Estos escenarios son claves

para evaluar las posibles consecuencias e impactos del cambio climático en un área determinada y se construyen a partir de modelos climáticos regionalizados que se anidan a modelos de circulación general que describen el sistema climático a nivel global.

El sistema climático es un sistema complejo y su proceso de modelización está sujeto a numerosas incertidumbres. Estas fuentes de incertidumbre se agrupan en tres categorías: a) la asociada a la evolución futura de las emisiones de GEI y a la concentración de dichos gases en la atmósfera; b) aquella inherente al propio proceso de modelización: simulación de los procesos en el seno del sistema climático, a las técnicas de regionalización, etc., y c) la asociada a la variabilidad natural, incertidumbre que surge de la variabilidad interna del sistema. A consecuencia de estas fuentes de incertidumbre, es práctica habitual el uso de distintas combinaciones de modelos climáticos globales y regionales, a fin de poder generar proyecciones con un rango de variabilidad climática que cubra un espectro de resultados amplio y poder así cuantificar la volatilidad generada por las fuentes de incertidumbre señaladas.

2.1. Proyecciones de temperatura y precipitación

A continuación, se presentan las proyecciones climáticas para España² hasta el año 2100 que se desprenden del proyecto EURO-CORDEX, una regionalización dinámica para Europa de la iniciativa CORDEX. Se estudian diez combinaciones distintas de modelos climáticos globales y regionales y se analiza la evolución de diversas variables climáticas considerando dos escenarios de emisiones: RCP4.5 y RCP8.5 que sintetizan un escenario de emisiones medias y altas, respectivamente.

Independientemente del escenario de emisiones y la combinación de modelos estudiados, *todas las proyecciones sugieren un aumento progresivo de las temperaturas en España a lo largo del siglo XXI* (figura 1, panel izquierdo). Esto ocurre para los valores medios anual y estacionales de las temperaturas máximas y mínimas.

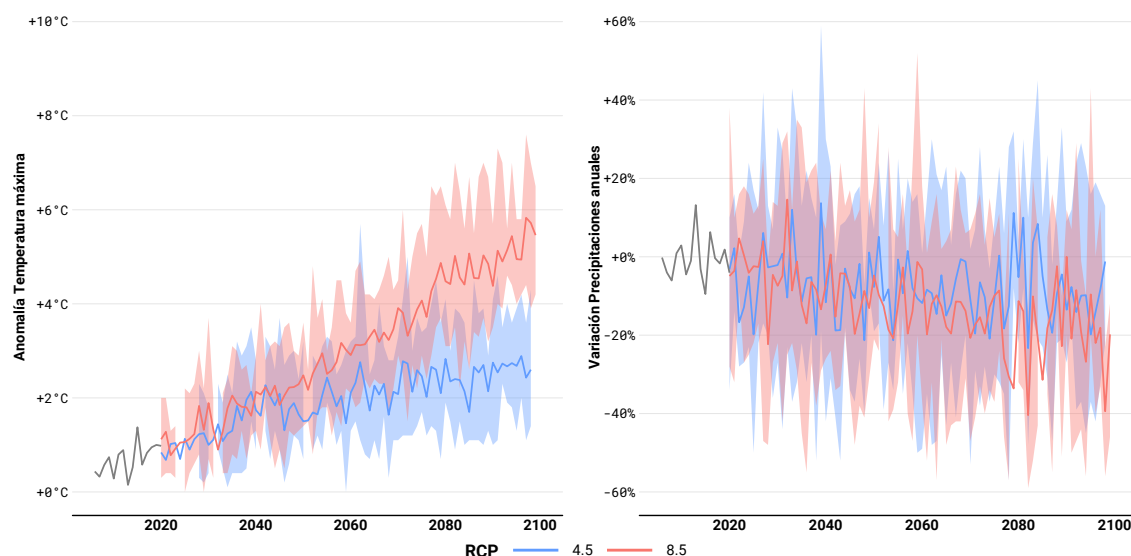
² Esta sección toma como referencia el documento *Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España* (Amblar et al., 2017).

A final de siglo y respecto a los valores observados en la época preindustrial, la temperatura media podría crecer en España en un rango de 2,0-3,4 °C bajo un escenario de emisiones medias (RCP4.5) y en una horquilla de 4,2-6,4 °C bajo la acción de un escenario de emisiones altas (RCP8.5), valores muy por encima de los anunciados por el Acuerdo de París sobre el cambio climático de 2015. Se espera que la variación por estaciones sea desigual, con cambios esperados en verano superiores al resto de las estaciones. Asimismo, se espera que la variabilidad espacial sea amplia, con temperaturas mayores en el interior y en el sur y este peninsular y menores en el norte, siendo más altas en el interior que en las costas.

En cuanto a la precipitación (figura 1, panel derecho), *las proyecciones apuntan a ligeras disminuciones de las precipitaciones anuales a lo largo de la segunda mitad del siglo*. El mismo comportamiento se aprecia en la evolución esperada de las precipitaciones estacionales, con reducciones que pueden alcanzar el 30 % en

Figura 1

Proyecciones de temperatura máxima y precipitación respecto al periodo preindustrial (1850-1900), de acuerdo con dos escenarios de emisiones de GEI: RCP4.5 (emisiones medias) y RCP8.5 (emisiones altas)



Fuentes: Elaboración propia a partir de datos de AEMET open data provenientes de la regionalización AR5-IPCC, basada en proyecciones climáticas dinámicas de EURO-CORDEX.

verano. Estas cifras están sujetas a un alto grado de incertidumbre provocado por los motivos señalados anteriormente y reforzado por las propias características geográficas y climáticas del territorio. España presenta una distribución espacial y temporal de la precipitación muy heterogénea, mucho más acusada que en otros países, lo cual se une a una extraordinaria variabilidad en el tiempo de las aportaciones. A nivel local, las reducciones relativas más importantes se esperan en invierno, en las cuencas hidrográficas en el sur y el Levante y en los dos archipiélagos. En cuanto a la evolución de las precipitaciones intensas, existe un alto grado de incertidumbre respecto a su evolución futura. Lo mismo ocurre con la nubosidad, con ligeros signos de descenso progresivo a lo largo del siglo XXI en todo el territorio.

2.2. Proyecciones de eventos meteorológicos extremos

El cambio climático conlleva asimismo cambios en la frecuencia y severidad de eventos extremos tales como olas de calor, sequías, lluvias torrenciales e inundaciones, vientos fuertes o embates marinos. La proliferación de estos fenómenos meteorológicos debido al cambio climático puede originar que estos eventos extremos puedan convertirse en habituales en determinados lugares a finales de siglo.

Se espera que, *a medida que avance el siglo, la frecuencia y severidad de los eventos meteorológicos extremos en España aumente progresivamente*. Por ejemplo, las olas de calor serán más largas, más frecuentes y de mayor intensidad, siendo estos incrementos más acusados en el escenario de mayores emisiones (RCP8.5) y a finales del siglo XXI. De igual modo, se espera un aumento del número de noches cálidas y una disminución del número de heladas. En todo el sur de Europa y particularmente en lo que respecta a la Península Ibérica, se espera que los periodos de sequía sean más frecuentes, lo que conlleva un riesgo creciente de desertificación en diversas áreas. Algunos estudios apuntan a cambios futuros en la formación de ciclones tropicales en el Mediterráneo o “medicanes”.

3. IMPACTOS

A continuación, se presenta una panorámica de los impactos del cambio climático para los principales sectores ecológicos y económicos en España. Los impac-

tos se agrupan en diez ámbitos o sectores (Sección 3.1-3.10) considerados claves para explicar la realidad socioeconómica y ambiental del país³. No obstante, no se trata de un repaso exhaustivo de todas las posibles consecuencias del cambio climático. Además, la posible relación de cada uno de estos sectores con los restantes es elevada y la cascada de efectos de los riesgos climáticos puede ser muy compleja (Sección 3.11), por lo que los impactos aquí reportados no reflejan la complejidad de los efectos reales esperados.

3.1. Recursos hídricos

La disponibilidad de recursos hídricos se verá mermada con carácter general como consecuencia del aumento de la temperatura y la disminución de la precipitación proyectados para España. Estos impactos afectarán a la gestión de los recursos a lo largo de todo el ciclo hidrológico. La *evapotranspiración*⁴ tiene una tendencia creciente para el conjunto de España durante el periodo 2010-2100 en todos los escenarios de emisiones considerados. Es muy probable que la pérdida de la humedad del suelo cause importantes impactos en los ecosistemas y la agricultura, aunque el grado de pérdida está sujeto a bastante incertidumbre; por ejemplo, en lo que respecta a la agricultura influirán los distintos usos del suelo o las áreas dedicadas al regadío. El potencial de adaptación a este nuevo escenario también influirá en la cuantía final de los impactos. Por ejemplo, en la actualidad existen zonas geográficamente expuestas a la escasez de agua que muestran un alto nivel de adaptación, disponiendo de infraestructuras de regulación y almacenamiento, así como de una cultura de gestión de la escasez.

Respecto a la *criosfera*, se espera una disminución significativa de la profundidad de la nieve en los Pirineos durante los próximos años, y una reducción de la duración del manto de nieve, lo que puede provocar impactos significativos sobre el ciclo hidrológico. Las *aguas subterráneas* y *acuíferos*, así como sus ecosistemas

3 Para la elaboración de esta panorámica de impactos se han tomado como referencia los documentos *Impactos y Riesgos derivados del cambio climático en España* (Sanz y Galán, 2020) y el *Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático 2021-2030* (MITECO, 2020). Ambos documentos pueden consultarse para un estudio más detallado y profundo de los impactos y medidas de adaptación.

4 La evapotranspiración se define como la pérdida de humedad de una superficie por evaporación directa junto con la pérdida de agua por transpiración de la vegetación.

asociados, también pueden verse afectados como consecuencia del aumento de las temperaturas y la posible disminución de la precipitación anual, el cambio en la estacionalidad o la intensidad de las precipitaciones, así como el aumento del nivel del mar. La *subida del nivel del mar*, junto con el posible aumento de fenómenos extremos, también tendrá implicaciones en relación con las aguas subterráneas al cambiar la interfaz entre agua salada y agua dulce. La *calidad del agua* también puede verse afectada al estar determinada por variables climáticas como la temperatura, las precipitaciones anuales y los fenómenos extremos como las inundaciones y las sequías, así como por la actividad humana, muy especialmente la regulación de los caudales, el uso de la tierra y la urbanización.

En cuanto a los *eventos climáticos extremos y riesgos relacionados con el agua*, el cambio de patrones de lluvia, sobre todo de las lluvias extremas, podría favorecer cambios en la dinámica de las inundaciones, en particular en zonas del Levante español. Asimismo, las *sequías* serán más frecuentes, durarán más y serán más intensas en el sur y el oeste de Europa y conllevarán grandes impactos económicos, especialmente en las regiones mediterráneas

3.2. Ecosistemas

Las proyecciones sobre cambio climático en España apuntan hacia una creciente aridez y erosión del suelo lo que aumenta el riesgo de desertificación, favorecido por la disminución de la precipitación media y el aumento de fenómenos extremos, como lluvias torrenciales. Serán los ecosistemas más frágiles, con menos capacidad para adaptarse a los cambios previstos en la temperatura y la precipitación, los más vulnerables frente a la degradación.

Analizando los patrones en la formación de *incendios forestales* en el periodo 1968-2010 se observa que las variables climáticas son uno de los motores del incremento de los incendios observados en todas las regiones. El cambio climático reduce los niveles de humedad del combustible lo que facilitará su predisposición a arder y, en consecuencia, a una mayor incidencia de estos eventos derivados de factores climáticos. Asimismo, el incremento de la “matorralización” de las últimas décadas en los pastos debido a la disminución de la carga ganadera

aumenta la vulnerabilidad de estos sistemas a los incendios. Se espera un mayor riesgo de incendios en prácticamente toda la Península Ibérica, especialmente en el Mediterráneo.

En los *ecosistemas forestales* se han observado ya cambios fenológicos, como el aumento o desplazamiento del periodo de permanencia de la hoja en especies caducifolias, y cambios en los periodos de floración y fructificación de muchas especies. No obstante, es difícil cuantificar de forma unívoca la contribución del cambio climático, ya que los cambios en los regímenes de temperatura y precipitaciones, las sequías recurrentes o el incremento de CO₂ y su efecto de fertilización interactúan con otros motores de cambio de forma compleja. Además, estos fenómenos en muchos casos están también condicionados por la gestión de estos ecosistemas, que puede aumentar o disminuir su vulnerabilidad. Se esperan otros cambios, por ejemplo, en el comportamiento de las especies animales, como es el caso de las aves migratorias, que en algunos casos adelantarán su llegada en los años calurosos.

El aumento de la temperatura media del agua y la recurrencia de olas de calor, junto con la disminución de los flujos de agua, podría afectar al equilibrio en los *ecosistemas acuáticos* destruyendo algunos hábitats y afectando a muchas especies sensibles a la temperatura del agua. Asimismo, el aumento de la evapotranspiración puede afectar a los ecosistemas asociados a las aguas subterráneas más superficiales, como los humedales, manantiales y ríos.

3.3. Agricultura y ganadería

Los principales impactos del cambio climático en la agricultura y la ganadería son los cambios fenológicos asociados al desplazamiento de las estaciones, el aumento del estrés hídrico, los daños por calor y por eventos extremos, además de los relativos a la erosión de los suelos y la disponibilidad de recursos hídricos. Todos estos cambios agravarán la vulnerabilidad de la agricultura y la ganadería españolas y exigirán medidas adaptativas.

El aumento de la temperatura media está provocando cambios fenológicos de adelanto de la primavera y retraso del otoño. Debido a la prolongación de las temperaturas estivales, la floración se adelanta y las cosechas se hacen más tem-

pranas, evidencias ya constatadas en algunas especies frutales o en la fecha de maduración de la uva. Estos cambios tienen efectos en la calidad de las cosechas o en la competitividad del cultivo de estación temprana. Se espera que esto provoque un cambio de distribución de los cultivos a largo plazo, ya que algunas zonas dejarán de ser óptimas y otras pasarán a ser aptas. Con carácter general, se espera que los cultivos más afectados por el aumento de temperaturas se desplacen hacia el norte. El aumento de las temperaturas puede convertir algunas zonas mediterráneas en óptimas para el cultivo de frutas tropicales. Todo ello, sin embargo, basado en un aumento del uso de los recursos hídricos y deterioro de la calidad de las aguas subterráneas, en situación de riesgo como describimos anteriormente.

En los cultivos de secano, los impactos debidos a temperaturas más cálidas aumentarán las necesidades hídricas de los cultivos lo que, unido a la bajada de precipitaciones, hará que el número de zonas óptimas para los cereales y otros cultivos de secano estivales disminuya. El efecto de la posible limitación de los recursos hídricos para los cultivos de regadío dependerá de los requerimientos de cada tipo de cultivo y de la disponibilidad de dichos recursos en cada región. Los cambios en la fauna auxiliar y los polinizadores también pueden ser muy relevantes, incluyendo impactos en el sector apícola.

En cambio, el aumento de la concentración de CO₂ atmosférico suele considerarse un efecto positivo por aumentar la tasa fotosintética, sobre todo en cultivos herbáceos. Sin embargo, al existir otros factores limitantes, como el agua y los nutrientes del suelo, resulta difícil prever exactamente su influencia en la producción de biomasa.

Respecto a la *ganadería*, el aumento de temperatura en forma de eventos extremos y el aumento de las temperaturas mínimas en verano generan episodios de estrés térmico en los animales, lo cual hace disminuir su bienestar, su ingesta, y su producción, pudiendo incluso llegar a ser mortal. La magnitud de los impactos sobre el ganado dependerá de la capacidad de incluir en los parámetros de selección la tolerancia al estrés por calor, que suele estar en contraposición con los criterios productivos.

Estos impactos generales tendrán mayor o menor efecto según el sistema. En los sistemas intensivos industriales, los animales están permanentemente en esta-

blos, cuyas condiciones ambientales pueden modificarse (ventiladores, duchas, corrientes de aire, etc.). Por ello se espera que los efectos directos del cambio climático (estrés por calor, disponibilidad de agua y alimentos) sean menores en estos sistemas, aunque siempre con aumento de los costes de producción.

En los sistemas mixtos y extensivos los animales tienen acceso al exterior, así que se verán afectados de manera directa por la limitación del acceso al agua y la exposición al estrés por calor, sobre todo en pastos donde no hay suficiente arbolado para producir sombra. A su vez, también les afectarán el detrimento de calidad y cantidad del pasto y todo lo que pueda afectar a las infraestructuras de que dispongan.

3.4. Medio marino

El aumento de la temperatura del agua marina, el ascenso del nivel medio del mar y la acidificación de las aguas marinas superficiales amenazan la biodiversidad y los distintos procesos naturales de los ecosistemas del medio marino. Los servicios ambientales provistos por los ecosistemas marinos son fundamentales para el bienestar de las personas. Entre estos servicios se encuentra desde el soporte de especies marinas a través de hábitats y nutrientes, hasta la provisión de alimentos provenientes de la pesca y la acuicultura, el transporte marítimo, la producción de energía, o la regulación del clima.

Los océanos están absorbiendo alrededor del 90 % del exceso del calor acumulado en la atmósfera, lo que causa un aumento de la temperatura del agua. Otras *características físico-químicas* y procesos del océano también se están viendo afectados, como la acidez, la salinidad y el oxígeno en el agua, el nivel del mar, la circulación y corrientes marinas. Para las aguas oceánicas del territorio nacional, estos cambios tienen implicaciones regionales, donde se esperan impactos en diferentes direcciones, distribuidos de forma desigual en las regiones y teniendo repercusiones diferentes sobre los servicios ecosistémicos y las comunidades marinas.

En cuanto a los *ecosistemas marinos*, los impactos sobre la biodiversidad y los ecosistemas, así como en la pesca y acuicultura, son cada vez mayores y se

deben fundamentalmente al aumento de temperatura, la acidificación y la pérdida de oxígeno. Estos impactos se han venido documentando para las regiones Mediterránea, Canaria y Atlántica peninsular, con cada vez más evidencia de especies que cambian sus rangos de distribución, abundancia, presencia y migraciones. Se observan cambios en la distribución y abundancia de especies de flora y fauna marina, cambios fenológicos, establecimiento de especies invasoras y disminución del potencial pesquero y acuícola, principalmente. Estos cambios a nivel de especie influyen en la composición e interacciones dentro de las comunidades biológicas, y en la estructura, dinámica y funcionamiento de los ecosistemas, con implicaciones para los servicios ecosistémicos marinos, la pesca y la acuicultura.

Se espera que la acidificación y desoxigenación del océano afecten a la productividad, abundancia, y distribución de especies marinas, incluidas *especies pesqueras*. Dado que las comunidades ecológicas claves que configuran los ecosistemas marinos, como los bosques de macroalgas, los arrecifes rocosos templados o las praderas de fanerógamas marinas, están siendo afectadas por el cambio climático a lo largo de la costa española, las especies objetivo de actividades de recolección, pesca comercial y recreativa e interés sociocultural ligadas a estos ecosistemas pueden verse en peligro tras cambios en sus hábitats y sus condiciones biológicas y a su vez afectar a dichas actividades humanas. A modo de ejemplo, los desplazamientos latitudinales y en profundidad de estas especies pueden provocar cambios en las capturas y en el esfuerzo pesquero. Asimismo, las comunidades humanas que dependen de ellos serán a su vez más vulnerables.

La *acuicultura marina*, es uno de los sectores decisivos para cubrir la demanda de pescado a nivel mundial y está considerado como uno de los sectores más vulnerables a los efectos del cambio climático. Hablamos de especies como el mejillón, la lubina o el atún rojo. Estas especies sustentan un sector en crecimiento cada vez más importante a nivel internacional para alcanzar la seguridad alimentaria, y requieren diferentes tipos de infraestructuras y alimento a nivel local. El aumento de la temperatura del agua, la acidificación del océano, los cambios en el patrón de vientos (que afectan a las corrientes marinas y afloramientos), así como la disponibilidad de oxígeno, la eutrofización y los fenómenos extremos como el oleaje y los temporales más intensos evidencian una serie de impactos que pueden afectar al cultivo de estas especies.

3.5. Costas

El cambio climático representa una amenaza importante para las costas en España, aunque se trata de uno de los sectores mejor estudiados y que cuenta con su propia estrategia de adaptación. Véase el detallado estudio de Losada, Izaguirre y Díaz (2014) sobre la influencia del cambio climático en la costa española. Entre los factores de cambio más importantes se encuentran el ascenso del nivel del mar, los eventos extremos, como las mareas meteorológicas, los cambios en el oleaje y los cambios en la temperatura del agua, pero también diversos factores antropogénicos, como la ocupación de la costa, que aumentan la exposición ante los riesgos climáticos.

Las proyecciones de ascenso del nivel medio del mar en Europa varían entre 21 cm y 24 cm en 2050 en función del escenario de emisión, RCP4.5 y RCP8.5, respectivamente. A final de siglo, el nivel medio del mar podría alcanzar 53 cm en el escenario de emisión intermedio (RCP4.5) y 77 cm en el más desfavorable (RCP8.5).

Aproximadamente la mitad de los 7.900 km de costa española consisten en zonas acantiladas (especialmente en el Atlántico) y un 25 % son playas arenosas. Otros ecosistemas naturales, como las marismas, coexisten con una gran variedad de actividades antrópicas, desde zonas urbanas, a instalaciones industriales, pasando por las prácticas tradicionales como la pesca y el marisqueo o el turismo. A escala regional, la costa mediterránea española presenta valores de vulnerabilidad y exposición altos o muy altos en cuanto a *inundación* y *erosión* comparada con otras zonas del Mediterráneo. En ausencia de medidas de adaptación, en España también se esperan retrocesos de *playas* importantes, sobre todo en el Cantábrico, Galicia y Canarias. La erosión de las playas puede causar la reducción de su capacidad física de carga y la pérdida, por tanto, de servicios recreativos.

La importancia de las zonas costeras reside en que concentran una parte importante de la población y de las infraestructuras socioeconómicas, por lo que se consideran puntos calientes en cuanto a vulnerabilidad climática y daños económicos. Es por eso que España se encuentra ya entre los países de Europa que más ha gastado en protección de la costa y adaptación al cambio climático en el periodo entre 1998 y 2015.

3.6. Áreas urbanas

Las amenazas más importantes para este sector son el aumento de las temperaturas y de los episodios de olas de calor, así como el incremento de las precipitaciones intensas.

Los núcleos urbanos concentran población e infraestructuras críticas, a la par que conocimiento y bienes sociales y culturales. Además de ser vulnerables al cambio climático por estas razones, también las ciudades están altamente expuestas y son propensas a sufrir impactos por sus características intrínsecas o por su localización en el territorio. En los planes urbanos de adaptación al cambio climático en España se identifican seis ejes de riesgo: aumento del nivel del mar, oleaje extremo, precipitación intensa, disminución de las precipitaciones, aumento de las temperaturas, olas de calor y vendavales. Así como diversos sectores afectados (urbanización, ecosistemas, salud, sectores económicos, etc.).

Tanto las inundaciones (de origen pluvial o fluvial) como el aumento de las temperaturas (agravado en las áreas urbanas por el efecto “isla de calor”) provocan una reducción del confort y la habitabilidad de los edificios y el espacio público; el deterioro y debilitamiento de mobiliario urbano y estructuras incrementado por los potenciales deslizamientos asociados a lluvias torrenciales; o el incremento en los gastos de mantenimiento de las redes de infraestructura debido a eventos extremos.

Actualmente, el grado de desarrollo y detalle de las evaluaciones de riesgo y vulnerabilidad en las ciudades es bajo. Se debe seguir trabajando para generar conocimiento cualitativo y cuantitativo en torno a los impactos del cambio climático en las áreas urbanas, tanto en lo relativo a su magnitud como a su temporalidad y probabilidad de ocurrencia⁵. Especial atención debe ponerse sobre los grupos más vulnerables y en las zonas dentro de la ciudad más expuestas o menos preparadas.

3.7. Salud humana

El cambio climático en España representa una amenaza para la salud humana, con impactos directos e indirectos. Entre los primeros, son especialmente relevantes los

⁵ El IPCC, consciente de lo crucial que resulta estudiar los impactos previstos en las ciudades prevé incluir un informe especial sobre cambio climático y ciudades durante su séptimo ciclo de evaluación (AR7).

riesgos asociados a las temperaturas excesivas y a las inundaciones, que se asocian con *morbilidad y mortalidad* por causas cardiovasculares y respiratorias, estrés térmico, agravamiento de enfermedades crónicas y lesiones. El cambio climático también afecta a la salud humana indirectamente por concurrencia con la contaminación medioambiental (aire, polen o radiaciones ultravioletas, etc.).

Las olas de calor pueden acarrear diversos impactos en la salud humana, principalmente aumento de enfermedades cardiovasculares y respiratorias, como asma y rinitis, y aumento de mortalidad. Otros efectos incluyen insolación, sensación de fatiga, agotamientos y golpes de calor, que afectan a los procesos motores y cognitivos (y en consecuencia a la *productividad laboral*) y que en los casos más graves también pueden llegar a ser mortales. Después de la ola de calor del año 2003, que tuvo un elevado impacto en toda Europa, las autoridades sanitarias europeas empezaron a diseñar Planes de Prevención para reducir los impactos en las poblaciones. Hoy se reconoce que estas medidas son fundamentales para abordar los riesgos para la salud que representan las olas de calor. A esto hay que sumar los efectos en la salud del “calor moderado”⁶ y su contribución a la morbilidad y mortalidad total por calor.

Los patógenos transmitidos por los alimentos y el agua son sensibles al cambio climático, por ejemplo, por el crecimiento bacteriano mediado por la temperatura, mediante la contaminación del agua por inundaciones o por alteraciones sobre el ciclo hidrológico que pueda provocar un fuerte impacto en la calidad del agua y, por tanto, en la salud humana, de aquellos que no tengan acceso o de quienes, teniendo acceso, no cuenten con sistemas de tratamiento adecuados. Se prevé, por tanto, una intensificación de los riesgos de *enfermedades transmitidas por agua o alimentos*.

El incremento de las temperaturas podría ocasionar un aumento en la producción polínica y en la cantidad de alérgenos de los granos de polen o, al menos, concentrar la producción en un período menor de tiempo, lo que podría ocasionar una concentración muy elevada y de corta duración de polen agravando las *afecciones relacionadas con la producción polínica*.

6 El “calor moderado” se define por aquellos valores de temperatura por encima de la temperatura para la que se observa la “mortalidad mínima” e inferiores a los valores críticos de temperatura asociados a las olas de calor.

Otros *impactos indirectos* se manifiestan a través de los efectos del cambio climático sobre aspectos sociales, como por ejemplo la seguridad alimentaria, la capacidad laboral, el impacto sobre el sistema sanitario y el desplazamiento de la población. Entre los factores que agravan la vulnerabilidad frente al impacto del cambio climático en la salud se incluyen la presencia de enfermedades previas, la exclusión y desconexión social, la pobreza, los estilos de vida poco saludables y otros factores socioeconómicos y demográficos. Las áreas urbanas son particularmente sensibles por la densidad de población y alta densidad de grupos vulnerables. Todos estos riesgos en salud interactúan entre sí, reduciendo la resiliencia global de la población frente al cambio climático, y se prevé que impacten en la futura salud pública.

3.8. Energía

La energía hidroeléctrica es la fuente de energía que puede verse más afectada por el cambio climático debido a la menor disponibilidad de agua. Asimismo, los eventos meteorológicos extremos pueden afectar a las infraestructuras energéticas, especialmente las situadas en las zonas costeras, y generar riesgos añadidos sobre el sistema. También existen otros riesgos relacionados con la modificación futura del potencial eólico y solar, aunque las proyecciones existentes tienen una elevada incertidumbre. Si bien el impacto más significativo del cambio climático en nuestro país vendría por el lado del nexo entre agua y energía, también existen otros riesgos relacionados con el nexo entre energía y uso de la tierra, que pueden ser más relevantes a medida que aumente el uso de la biomasa como fuente de energía en el futuro, cuyo potencial puede verse afectado por el cambio climático.

La *dependencia energética* de España respecto al exterior es todavía muy elevada, 73 % en 2017, continuando por encima de la media europea. Esto es debido a la preponderancia de combustibles fósiles en su *mix* energético que han de ser importados en su totalidad. El potencial de producción autóctona con energía renovable, junto al grado de diversificación energético y la reducción de la demanda energética pueden, no obstante, reducir la vulnerabilidad asociada a la dependencia energética de España.

Finalmente, el *mix energético* futuro, con una mayor presencia de energías renovables, aumenta la resiliencia del sistema, al reducir los niveles de dependencia energética, y es una medida de adaptación, ya que se reducen los efectos negativos relacionados con el consumo intensivo de agua por parte de las centrales térmicas. Sin embargo, las instalaciones que utilizan fuentes renovables también generan otros impactos indirectos, ya que competirán con otros usos del suelo.

3.9. Infraestructuras y transporte

Se prevén impactos negativos en las redes troncales de transporte terrestre (red vial y ferroviaria), especialmente debidos a los fenómenos climáticos extremos como las precipitaciones torrenciales; aunque también se pueden experimentar impactos positivos si disminuyen las nevadas y heladas. Se ha estimado que la magnitud del cambio de vulnerabilidad de la red estatal de transporte terrestre a 30 años a causa del cambio climático es, en promedio, inferior a la vulnerabilidad que ya tienen en la actualidad gran parte de sus secciones.

En cuanto a los impactos negativos, en la *red vial* los impactos con mayor repercusión se producirán sobre taludes y firmes. Los taludes se verán afectados principalmente por el aumento de la intensidad de las precipitaciones extremas de corta duración, combinado con un incremento de las condiciones de aridez. En el caso de los firmes, pueden verse afectados por el aumento de las temperaturas máximas, incrementado el riesgo de aparición de roderas y fisuras.

En la *red ferroviaria* se prevé que los mayores impactos negativos se deban a las precipitaciones intensas por erosión de los taludes y posibles deslizamientos de laderas, así como a los daños que afecten a la estabilidad de los puentes. También se pueden producir daños por el incremento de amplitud de las oscilaciones térmicas (en los carriles y sujeciones).

Las *redes portuarias y aeroportuarias* también pueden verse afectadas de forma negativa, en especial por eventos extremos en las costas los primeros, y por cambios en el régimen de vientos los segundos, pudiendo aparecer también impactos positivos en este caso.

3.10. Turismo

El sector turístico puede verse afectado por el cambio climático tanto por los impactos en la oferta como en la demanda. La sensibilidad del turismo al clima es muy elevada en España, ya que sus buenas condiciones climatológicas, sobre todo en el litoral mediterráneo, suponen un factor de influencia decisivo sobre las zonas geográficas de atracción, los calendarios de actividad, las infraestructuras turísticas y su funcionamiento y las condiciones de disfrute y bienestar de los turistas. La subida de las temperaturas en las provincias costeras del Mediterráneo, especialmente en el sur, puede disminuir la predisposición de los turistas a visitar estos destinos. Aunque esto también podría provocar que la temporada alta de los destinos de sol y playa españoles se desplazara fuera de los meses de julio y agosto tradicionales.

En el caso de la *oferta turística*, los impactos se derivan de los efectos sobre los recursos turísticos, que pueden ser naturales o culturales, y las infraestructuras turísticas (alojamiento, transporte, infraestructuras turísticas específicas). En cuanto a la *demanda*, es muy probable que las tres exigencias genéricas del turista (disfrute, confort y seguridad) se puedan ver alteradas en los escenarios climáticos que se predicen para el futuro. Se da la doble circunstancia de que las condiciones climáticas de las regiones mediterráneas para la práctica de actividades turísticas al aire libre se podrían deteriorar principalmente a partir de 2050 en verano, pero a la vez podrían mejorar en primavera y otoño. Esto podría provocar que la temporada alta de los destinos de sol y playa españoles se desplazara fuera de los meses de julio y agosto tradicionales, alargando así la temporada turística.

La incidencia de *eventos extremos* en las costas puede también incidir negativamente en el turismo de playa y deportes acuáticos. El turismo relacionado con los deportes de invierno es el que se está viendo ya más afectado, especialmente en el caso de las estaciones de esquí a cotas más bajas por la falta de nieve, situación que es previsible que se agrave incluso con escenarios climáticos más moderados.

3.11. Interacciones sectoriales, estresores múltiples y sistemas complejos

Como señala el Programa de Estados Unidos para la Investigación sobre el Cambio Mundial en su Cuarta Evaluación Nacional del Clima (USGCRP, 2018), existen

algunos aspectos importantes a tener en cuenta a la hora de considerar los riesgos, los factores intensificadores, los efectos en cascada y las incertidumbres asociadas a los riesgos climáticos. La existencia de *estresores múltiples* (varios condicionantes climáticos adversos al mismo tiempo) es considerada en todos los casos como un factor intensificador de los impactos del cambio climático. Así, por ejemplo, la disminución de las precipitaciones es un factor que agrava el efecto del aumento de las temperaturas en múltiples impactos, como el empeoramiento de la calidad del aire, el debilitamiento de la vegetación y aumento de peligro de plagas, enfermedades o incendios, etcétera.

Los sectores y sistemas expuestos al clima (por ejemplo, energía, agua y agricultura) *interactúan entre ellos y dependen unos de otros* y de otros sistemas menos expuestos al clima (como el sector financiero). Por ejemplo, la desertificación y los incendios pueden afectar no solo a los ecosistemas, sino también a otros ámbitos del territorio como las infraestructuras y la población que habita los territorios que sufren estos procesos. O la interrelación, en particular desde el punto de vista económico, entre la disponibilidad de recursos hídricos con sectores como son el sector agrario e hidroeléctrico.

Además, estos sistemas interactivos no solo están expuestos a factores relacionados con el clima como las inundaciones, sequías y olas de calor. También, están sujetos a diversos factores que no están entrelazados al clima, como movimientos poblacionales, fluctuaciones económicas y la expansión del espacio urbano. Estas interacciones pueden resultar en comportamientos y consecuencias complejas, que son difíciles de predecir. No es posible entender las implicaciones del cambio climático sin tomar en cuenta las interacciones entre sectores y sus consecuencias.

La evaluación del riesgo del cambio climático se beneficia de una *perspectiva multisectorial* que abarca las interacciones entre sectores y los factores estresantes climáticos y no climáticos. Dado que estas interacciones y sus consecuencias pueden ser difíciles de identificar de antemano, la evaluación efectiva de los riesgos multisectoriales requiere herramientas y métodos que integren evidencia diversa y que consideren una amplia gama de resultados posibles. Por ello, los *sistemas integrados* pueden mejorar la resiliencia de las comunidades, industrias y ecosistemas frente a los factores estresantes relacionados con el clima. Por ejemplo, en los

casos de sequía, las operaciones de los ríos pueden administrarse para equilibrar la demanda de agua potable, para navegación y para producción eléctrica. Dichos métodos integrados pueden ayudar a evitar oportunidades desaprovechadas o concesiones imprevistas relacionadas con la implementación de respuestas de gestión a factores estresantes relacionados con el clima.

4. VALORACIÓN ECONÓMICA DE LOS IMPACTOS: RESULTADOS CUANTITATIVOS DEL ESTUDIO JRC PESETA IV

Como se ha visto en la sección anterior, el conjunto de impactos derivados del cambio climático es muy amplio, pudiendo generar múltiples efectos sobre el sistema económico. Asignar un valor económico a los impactos proyectados es en general una tarea ardua y puede resultar extremadamente compleja en algunos casos. Por ejemplo, ¿qué valor económico tiene la pérdida de un determinado ecosistema?

El proyecto JRC PESETA IV de la Comisión Europea (Feyen *et al.*, 2020) evalúa los impactos del cambio climático en Europa en once sectores o áreas de impacto: mortalidad debida a episodios extremos de calor y frío, tormentas de viento, agua, inundaciones fluviales, sequías, inundaciones en sistemas costeros, incendios forestales, pérdidas de hábitat, ecosistemas forestales, agricultura y oferta energética. Se consideran dos familias de escenarios climáticos muy distintos: escenarios de mitigación, incluyendo aquellos que alcanzan los objetivos del Acuerdo de París (1,5 °C y 2 °C), así como escenarios sin medidas de mitigación (3 °C, y para algunos sectores además 4 °C).

Si se produjera un calentamiento global de 3 °C, la pérdida anual de bienestar en el conjunto de la UE podría representar el 1,4 % del PIB, considerando un conjunto limitado de impactos climáticos (inundaciones fluviales, inundaciones costeras, agricultura, sequías, suministro de energía, mortalidad por temperaturas extremas y tormentas de viento). El informe PESETA-IV muestra además una clara división norte-sur, con pérdidas de bienestar varias veces mayores en las regiones meridionales en comparación con las del norte de Europa, siendo el sur de

Europa la región más afectada en los escenarios de 1,5 °C y 2 °C y la segunda con más impacto económico el escenario de 3 °C.

Conviene recordar que la evaluación no tiene una cobertura sectorial exhaustiva, con lo que los impactos estimados infravaloran el coste total del cambio climático. Impactos que pueden ser muy relevantes, como por ejemplo las consecuencias económicas de las alteraciones y destrucción de ecosistemas naturales, no se consideran.

A continuación, se revisan los principales resultados económicos para España del estudio JRC PESETA-IV. El análisis económico se realiza en términos de estática comparativa, de forma que se simula cómo el clima futuro podría afectar a la economía de hoy en día, así como en el caso dinámico, con crecimiento económico y evolución demográfica.

Naumann *et al.* (2021) estiman que *los costes actuales de las sequías en España son de casi 1.500 millones de euros* (la sexta parte del total de la UE y el Reino Unido). En un contexto de estática comparativa, los daños económicos podrían multiplicarse por cuatro en el escenario 4 °C, hasta 5.900 millones de euros, pasando de representar el 0,14 % del PIB en la actualidad hasta el 0,51 % en el escenario de 4 °C. Los daños serían mucho menores en el caso de alcanzarse los objetivos de París, 2.200 millones de euros para el escenario 1,5 °C y 2.780 millones de euros para 2 °C. Todos los daños serían mayores en términos absolutos en un contexto con crecimiento económico, debido a que los activos expuestos a las sequías tendrían mayor valoración económica (*e.g.* daños de 12.400 millones de euros para el escenario 4 °C).

Mientras que en España los impactos económicos estimados debidos a la sequía crecen mucho con el calentamiento global, en el caso de las inundaciones fluviales los efectos son mucho menores (Dottori *et al.*, 2021). *Los costes actuales estimados de las inundaciones fluviales son de 451 millones de euros* (0,04 % del PIB), y llegarían a 528 millones de euros (2015) en el escenario 3 °C (0,05 % del PIB), en un contexto económico estático. Por el contrario, para el conjunto de la UE y Reino Unido, los daños más que se triplican en el escenario de 3 °C, en comparación con los daños estimados actuales.

Vousdoukas *et al.* (2020a) estudian los efectos del cambio climático sobre los sistemas costeros, considerando el efecto combinado de la subida del nivel del mar, las mareas y las tormentas costeras. *Los daños actuales generados por los riesgos costeros se calculan en unos 100 millones de euros anuales.* En ausencia de medidas de adaptación y en un contexto dinámico, por tanto con crecimiento económico, se estima que los daños costeros podrían aumentar de forma muy significativa: en un escenario de altas emisiones en el año 2100 los impactos podrían alcanzar casi los 10.000 millones de euros, mientras que en un escenario de mitigación moderada, los impactos se estiman en 5.300 millones de euros. Vousdoukas *et al.* (2020b) usan la misma metodología, pero para otros escenarios económicos, los de la familia *Shared Socioeconomic Pathways (SSPs)*, aplicando además un marco probabilístico. Se estiman unos costes mucho mayores en el escenario SSP5 (varias veces superiores a los del escenario de altas emisiones) debido sobre todo al efecto que tiene el escenario de crecimiento económico sobre la valoración monetaria de los activos expuestos a las inundaciones costeras.

Volviendo al trabajo de Vousdoukas *et al.* (2020a), en el caso en el que se adoptaran medidas de adaptación, como la elevación de diques existentes o la construcción de diques nuevos, los costes se verían muy reducidos; los daños serían de 1.100 millones de euros en el escenario de altas emisiones y de 600 millones en el escenario de mitigación moderada. Aproximadamente el 45 % de los sistemas costeros serían protegidos, con unos costes anuales estimados medios para el periodo 2020-2100 de unos 100 millones de euros.

Entre los estudios anteriores de la familia PESETA, se puede mencionar la evaluación de los impactos en el sector turismo, clave debido a su elevado peso en el caso de la economía española. Barrios e Ibáñez (2015) se centran en la relación entre demanda de turismo y cambio climático, considerando el precio de los hoteles y el coste de la distancia recorrida por los turistas. Los autores concluyen que, si el clima del 2100 ocurriese hoy, la caída de los ingresos turísticos en España podría suponer una reducción del PIB en torno a un 0,6 % o 0,7 %, muy superior a la que se simula para Europa (del orden del 0,2 % del PIB).

El estudio PESETA IV está siendo ampliado con *nuevos sectores*, con resultados disponibles para las infraestructuras de transporte y la productividad labo-

ral. Mulholland y Feyen (2021) estudian los *efectos del calor extremo en el gasto en operación y mantenimiento de las infraestructuras de carretera y ferroviarias* en Europa y Reino Unido. En un marco estático (sin influencia del crecimiento económico), concluyen que, para un escenario de 3 °C y 4 °C, los costes anuales podrían aumentar en España en 173 y 325 millones de euros (euros de 2020), respectivamente. Estos cambios son mucho menores en los escenarios objetivo del Acuerdo de París, 37 y 73 millones para el escenario de 1,5 °C y 2 °C, respectivamente. En el conjunto de Europa y Reino Unido, en el escenario de 4 °C los gastos aumentarían en 4.800 millones de euros, lo que supone un aumento de cerca del 7 % respecto a los niveles de gasto actuales; este incremento sería de unos 2.800 millones de euros en el escenario de 3 °C, un crecimiento del 4 %.

En cuanto a *los descensos de la productividad laboral provocados por el estrés térmico*, Szewczyk, Mongelli y Ciscar (2021) han considerado las posibles reducciones de productividad debidas al cambio climático, empleando la evidencia disponible sobre la relación entre productividad laboral y el estrés térmico (funciones de exposición-respuesta). Sin adaptación, los autores estiman que en los años 2080 la productividad laboral podría reducirse en un 1,6 % en España, por término medio; en el peor escenario posible (de entre los once modelos climáticos considerados) la reducción de productividad podría llegar a ser del 3,7 %. En un contexto económico dinámico, estas caídas de productividad podrían conducir a una caída media del 1,4 % del PIB, alcanzando el 3,2 % en el peor escenario. Medidas de adaptación, como el uso de aire acondicionado y robots exoesqueléticos, podrían aliviar las pérdidas de productividad, siendo la reducción media del 1,3 % para España, en lugar del 1,6 %, con la consiguiente reducción de las caídas estimadas del PIB.

En otro estudio reciente, García-León *et al.* (2021), se centran en el *impacto de las olas de calor en la productividad laboral*, partiendo de la evidencia disponible en las olas de los años 2003, 2010, 2015 y 2018. El estudio considera todas las regiones de la UE, simulando las reducciones de productividad y de PIB a mitad de siglo en un escenario futuro de altas emisiones (RCP8.5). Se estima que las olas de calor futuras podrían conducir a una caída próxima al 3 % del PIB español en los años 2050, estando España entre los cinco países con mayor reducción del PIB dentro de la UE.

5. REFLEXIONES FINALES

En este artículo se proporciona una breve panorámica sobre las posibles consecuencias del cambio climático en España, considerando un amplio conjunto de impactos, sectores económicos y ecosistemas naturales. Los impactos debidos al cambio climático serán cada vez más frecuentes, pudiendo generar crecientes pérdidas a nivel social, económico y medioambiental. Asimismo, como los impactos derivados del cambio climático se distribuyen de forma desigual en el territorio y dentro de la sociedad, considerar la dimensión regional y social de los riesgos climáticos resulta crucial.

Sin embargo, existe una clara necesidad de avanzar en la cuantificación de los riesgos climáticos, de una forma sistemática y consistente, para de esta forma poder reducir los mismos a través de medidas concretas de adaptación, en línea con la nueva estrategia europea de adaptación (Comisión Europea, 2021a), así como con El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC). Las autoridades regionales y locales, así como otros agentes, como el sector financiero (*e.g.* ECB, 2021), requieren de una evaluación precisa y creíble de los riesgos climáticos.

En ese sentido, la recientemente anunciada Misión de Adaptación al Cambio Climático (Comisión Europea, 2021b) pretende fomentar y apoyar la transición hacia la resiliencia al cambio climático en Europa a nivel de los individuos, las ciudades y las regiones, involucrando tanto en los sectores privados como públicos. Es fundamental estar mejor preparados para los impactos del cambio climático y acelerar en la transformación de Europa en un continente climáticamente resiliente.

Dicha evaluación rigurosa de los impactos potenciales del cambio climático, siguiendo un conjunto armonizado de escenarios y proyecciones climáticas y socioeconómicas, constituye una tarea sumamente exigente a la vez que necesaria. Sería deseable que ese análisis tuviera en cuenta los cálculos de incertidumbres, considerase la interdependencia entre sectores, así como las posibles medidas de adaptación.

REFERENCIAS

- AMBLAR, P., CASADO, M. J., PASTOR, A. y RODRÍGUEZ, E. (2017). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España. A partir de los resultados del IPCC-AR5. Madrid: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Agencia Estatal de Meteorología. 2017. https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/guia_escenarios_ar5.pdf
- BARRIOS, S. e IBÁÑEZ, J. N. (2015). Time is of the essence: adaptation of tourism demand to climate change in Europe. *Climatic Change*, 132, pp. 645-660.
- COMISIÓN EUROPEA (2019). El Pacto Verde Europeo. COM(2019) 640 final.
- COMISIÓN EUROPEA (2021a). Forjar una Europa resiliente al cambio climático — La nueva estrategia de adaptación al cambio climático de la UE. COM(2021) 82 final.
- COMISIÓN EUROPEA (2021b). Communication on European Missions. COM(2021) 609 final.
- DOTTORI, F., MENTASCHI, L., BIANCHI, A., ALFIERI, L. y FEYEN, L. (2020). Adapting to rising river flood risk in the EU under climate change, EUR 29955 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-76-12946-2 . doi:10.2760/14505.
- ECB (2021). ECB economy-wide climate stress test. Methodology and results. *Occasional Paper Series*, No 281 / September 2021. European Central Bank. doi:10.2866/460490.
- FEYEN, L., CISCAR, J. C., GOSLING, S., IBARRETA, D. y SORIA, A. (editores). (2020). Climate change impacts and adaptation in Europe. JRC PESETA IV final report. EUR 30180EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-76-18123-1. doi: 10.2760/171121, JRC119178.
- GARCÍA-LEÓN, D., CASANUEVA, A., STANDARDI, G., BURGSTALL, A., FLOURIS, A. D. y NYBO, L. (2021). Current and projected regional economic impacts

of heatwaves in Europe. *Nature Communications*, 12(1), p. 5807. <https://doi.org/10.1038/s41467-021-26050-z>

IPCC (2021). Summary for Policymakers. In: *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [V. MASSON-DELMOTTE, P. ZHAI, A. PIRANI, S. L. CONNORS, C. PÉAN, S. BERGER, N. CAUD, Y. CHEN, L. GOLDFARB, M. I. GOMIS, M. HUANG, K. LEITZELL, E. LONNOY, J. B. R. MATTHEWS, T. K. MAYCOCK, T. WATERFIELD, O. YELEKÇİ, R. YU y B. ZHOU (eds.)]. En prensa.

LOSADA, I. J., IZAGUIRRE, C. y DÍAZ, P. (2014). *Cambio climático en la costa española*. Madrid: Oficina Española de Cambio Climático, Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.

MULHOLLAND, E. y FEYEN, L. (2021). Increased risk of extreme heat to European roads and railways with global warming. *Climate Risk Management*, 34, 100365.

NAUMANN, G., CAMMALLERI, C., MENTASCHI, L. y FEYEN, L. (2021). Increased economic drought impacts in Europe with anthropogenic warming. *Nature Climate Change*, 11, pp. 485–491. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01044-3>

PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO 2021-2030 (PNACC-2). (2020). Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/pnacc-2021-2030_tcm30-512163.pdf

PLAN NACIONAL INTEGRADO DE ENERGÍA Y CLIMA 2021-2030 (PNIEC). (2020). Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO). https://www.miteco.gob.es/images/es/pnieccompleto_tcm30-508410.pdf

SANZ, M. J. y GALÁN, E. (editoras) (2020). *Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España*. Oficina Española de Cambio Climático. Madrid: Ministerio

para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.adaptecca.es/sites/default/files/documentos/impactosyriesgosccespanawebfinal_tcm30-518210_0.pdf

SZEWCZYK, W., MONGELLI, I. y CISCAR, J. C. (2021). Heat stress, labour productivity and adaptation in Europe—a regional and occupational analysis. *Environmental Research Letters*, 16, 105002.

USGCRP (2018). Impacts, Risks, and Adaptation in the United States: Fourth National Climate Assessment, Volume II: [D. R. REIDMILLER, C. W. AVERY, D. R. EASTERLING, K. E. KUNKEL, K. L. M. LEWIS, T. K. MAYCOCK y B. C. STEWART (eds.)]. U.S. Global Change Research Program, Washington, DC, USA, 1515 pp. doi: 10.7930/NCA4.2018.

VOUSDOKAS, M., MENTASCHI, L., MONGELLI, I., CISCAR, J-C, HINKEL, J., WARD, P., GOSLING, S. y FEYEN, L. (2020a). Adapting to rising coastal flood risk in the EU under climate change, EUR 29969 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN 978-92-76-12990-5. doi:10.2760/456870, JRC118512.

VOUSDOKAS, M. I., MENTASCHI, L., HINKEL, J., WARD, P. J., MONGELLI, I., CISCAR, J. C. y FEYEN, L. (2020b). Economic motivation for raising coastal flood defenses in Europe. *Nature Communications*, 11, 2119. <https://doi.org/10.1038/s41467-020-15665-3>

