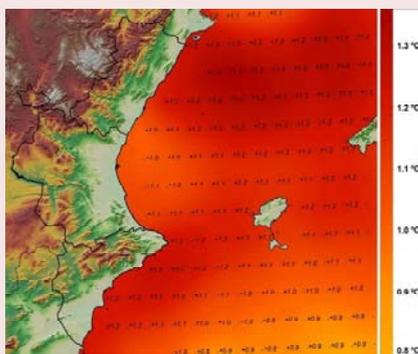


TIEMPO, CLIMA E INTENSIFICACIÓN DE FENÓMENOS EXTREMOS EN ESPAÑA

José Ángel Núñez Mora

Meteorólogo, DT de AEMET en la Comunitat Valenciana

(publicado en el blog de AEMET
el 6 de septiembre de 2021)



Durante este verano, sobre todo a consecuencia de la extrema ola de calor que sufrió España durante los días 12 al 15 de agosto de 2021, se han oído muchas voces aludiendo a la supuesta «normalidad» de que en España, durante el verano, se produzcan olas de calor y días muy cálidos como los de 2021. El argumento más repetido para avalar esa normalidad del calor de 2021 era una portada del semanario «El Español», publicado el 17 de agosto de 1957, en la que se afirmaba que el de

1957 era el verano más cálido del siglo y que en La Mancha se habían registrado 50 °C. Argumentos similares se han oído a raíz de las tormentas provocadas por la dana que se situó sobre la Península en los últimos días de agosto y primeros de septiembre y que provocó lluvias torrenciales y crecidas relámpago, así como efemérides absolutas de precipitación acumulada en 24 horas en observatorios con series largas de datos como el de Daroca, cuyos registros comenzaron octubre de 1909, o máximos provinciales de precipitación en 24 horas en un mes de julio o agosto en Castellón, por las lluvias torrenciales de Benicàssim del día 29 de agosto.

Verano de 1957

Podría haber sido cierto que el verano de 1957 hubiese sido un verano extremadamente cálido, incluso podría haber sido cierto que resultase más cálido que veranos como los de 2003, 2015 y 2017, los más cálidos de estas dos primeras décadas del siglo XXI; y podría haber sido cierto que en La Mancha se hubiesen registrado 50 °C durante ese verano de 1957. **Aunque todo hubiese sido cierto, nada de eso habría invalidado el hecho indudable de que la temperatura media en España está en ascenso en las últimas décadas, que ese ascenso está siendo más intenso en verano y que a consecuencia de ello se están incrementando las olas de calor y el número de días de ola de calor en nuestro territorio.** Siempre hay que volver a insistir en que tiempo y clima son conceptos distintos,

y que el cambio climático no implica que cada año y cada verano vaya a ser más cálido que el anterior y que ya nunca más vaya a hacer frío, sino que lo que implica es una tendencia general de temperaturas al alza, lo que hace cada vez más probable que se produzcan periodos de temperaturas altas y olas de calor, y menos probable que se produzcan olas de frío y días muy fríos.

Pero el caso es que, si acudimos a los datos, ni en 1957 se llegaron a alcanzar 50 °C en La Mancha, ni el de 1957 era el verano más cálido del siglo, ni desde luego la temperatura media de ese verano es comparable a las medias de los veranos de las últimas décadas.

Por empezar por los supuestos 50 °C registrados en La Mancha en 1957: en el banco de datos climatológico nacional solo hay un dato de 50 °C o más, fueron los 50,7 °C registrados el 13 de julio de 1961 en Semara (Esmara), en el Sahara Occidental. No hay ningún registro en el banco de datos climatológico nacional de 50 °C en la Península, los archipiélagos o las ciudades autónomas.

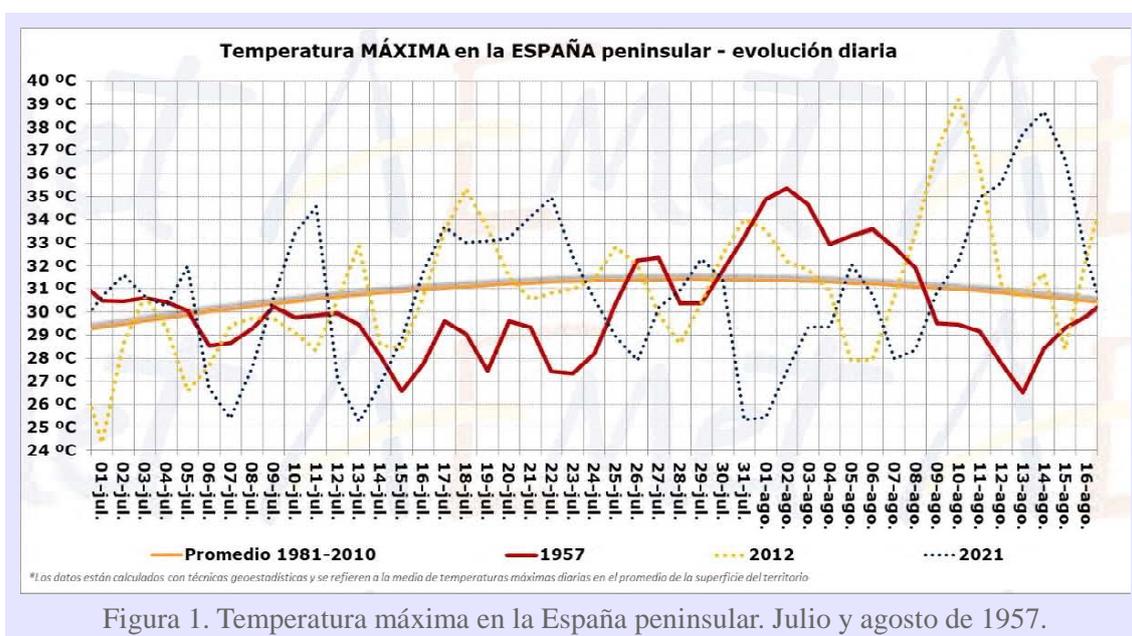


Figura 1. Temperatura máxima en la España peninsular. Julio y agosto de 1957.

El verano de 1957 iba transcurriendo con un ambiente no muy cálido, hasta que los últimos días de julio se produjo un importante ascenso de temperatura que dio lugar a temperaturas muy altas que se prolongaron hasta el 9 de agosto. Este periodo cálido de 1957, siendo importante, estuvo muy lejos de los picos registrados en olas de calor como las de 2012 o 2021 (figura 1) y su persistencia y duración no tuvo nada que ver con olas de calor como las de 2003, 2015 o 2017.

Como el número de la revista *El Español* que afirmaba que el de 1957 era el verano más cálido del siglo fue publicada el 17 de agosto, vamos a prescindir de los datos de la segunda quincena del mes, que es un periodo posterior a la publicación de la revista, y vamos a analizar los datos de temperatura media en España entre el 1 de julio y el 15 de agosto de 1957 y a compararlo con la serie entre 1950 y 2021.

Tomando como referencia climática el promedio del periodo 1981-2010, el de 1957 sería considerado como un verano normal, y, aunque no hemos calculado los datos anteriores a 1950 antes de él, el de 1950 resultó aún más cálido y, desde luego, no hay comparación posible entre la temperatura media registrada en España en veranos a partir de los años noventa del pasado siglo y la de 1957 (figura 2).

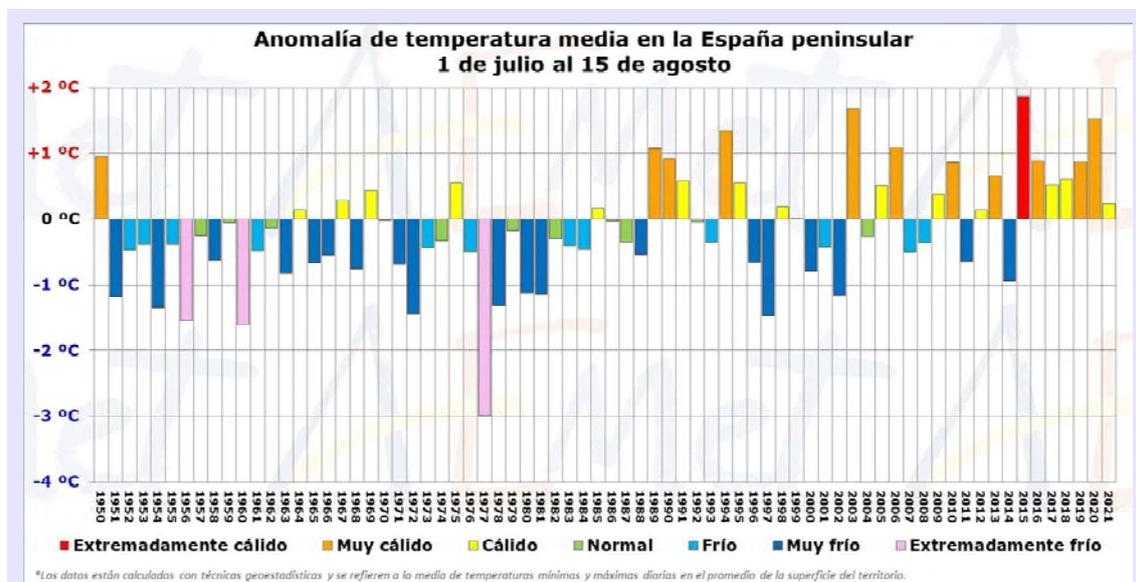


Figura 2. Temperatura media en la España peninsular. 1 de julio al 15 de agosto (1950-2021).

Cambios en las temperaturas medias

Quedan pocas dudas de que todos los fenómenos relacionados con el calor, como las noches tropicales o las olas de calor, se han incrementado de forma significativa en las últimas décadas. En relación a décadas anteriores, en España prácticamente se han duplicado tanto el número de olas de calor como de días al año en los que se registran estos episodios extremos (figura 3)¹ y ha habido olas de calor con una duración que ha llegado hasta los 26 días, como ocurrió en el verano de 2015, o la extraordinaria ola de calor de 2003, que se prolongó durante 16 días².

El verano de 2003 fue calificado como probablemente el más cálido hasta entonces en el continente europeo en los últimos 500 años (LUTERBACHER *et al.*, 2005). El informe sobre el exceso de mortalidad en Europa durante el verano de 2003³ elaborado a petición de la Unión Europea dentro del programa de acción comunitaria de la UE para la salud pública, estima que *en total, en 2003 se registraron más de 80 000 muertes adicionales en los doce países afectados por el exceso de mortalidad en comparación con el periodo 1998-2002, 70 000 de estas muertes adicionales ocurrieron durante el verano y casi 45 000 muertes adicionales se registraron solo en agosto.*

¹ AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), 2021. Olas de calor en España desde 1975. http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/estudios/Olas_calor/OlasCalorActualizacionEnero2021.pdf.

² RODRÍGUEZ BALLESTEROS, C., 2016. Principales olas de calor en España desde 1975. <https://repositorio.aemet.es/handle/20.500.11765/11833>.

³ ROBINE, J.-M., CHEUNG, S. L., LE ROY, S., VAN OYEN, H., y HERRMANN, F. R., 2007. Report on excess mortality in Europe during summer 2003. https://ec.europa.eu/health/ph_projects/2005/action1/docs/action1_2005_a2_15_en.pdf.

En el Informe sobre el estado del clima de España 2020⁴ y en la jornada técnica que se organizó para exponer los resultados, se indicó que los últimos análisis indican que el calentamiento se ha acelerado en las décadas más recientes en España, con un incremento de la temperatura media desde 1961 a razón de 0,21 °C/decenio para la España peninsular y Baleares (+1,26 °C de ascenso entre 1961 y 2020) y algo menos en Canarias, 0,19 °C/decenio.



Figura 3. Número de días al año en situación de ola de calor en España por décadas desde 1975.

Fuente: <http://www.aemet.es/es/noticias/2020/09/olas-de-calor-duplicadas-esta-ultima-decada>.

La figura 4 muestra la evolución de la anomalía de temperatura media anual de España del periodo 1850-2020, obtenida por diferentes reconstrucciones climáticas; en línea gruesa negra, la obtenida de simulaciones históricas de los modelos climáticos para el periodo 1971-2005; y en ocre y naranja, la anomalía de temperatura proyectada por los modelos climáticos para 2006-2100.

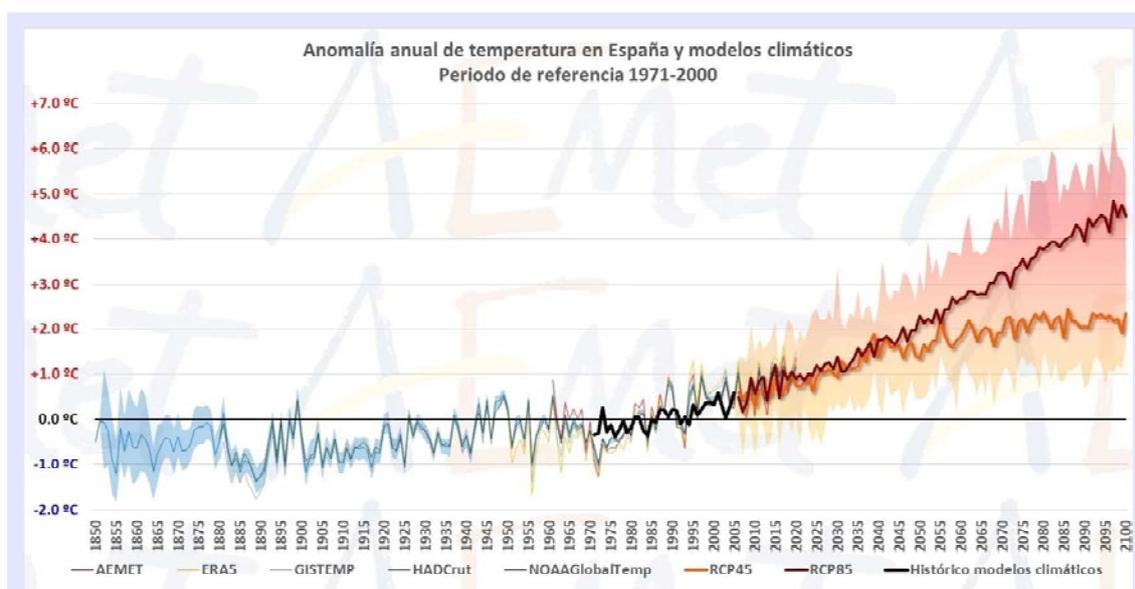


Figura 4. Anomalías de la temperatura media anual en superficie en la España peninsular respecto al periodo de referencia (1971-2000). Los resultados de los datos de AEMET concuerdan con los del reanálisis ERA5 y los valores medios de las simulaciones históricas de los modelos climáticos y con los obtenidos de conjuntos de datos globales (HadCRUT, NOAA GlobalTemp y GISTEMP). También se incluyen las proyecciones de las anomalías de la temperatura para las trayectorias de concentración representativas RCP 8.5 y RCP 4.5.

Las líneas ocre y naranja de trazo grueso, y las zonas sombreadas que las envuelven, representan las proyecciones regionalizadas de las anomalías de temperatura para España

⁴ AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA (AEMET), 2021. Informe sobre el estado del clima de España 2020. <https://doi.org/10.31978/666-21-002-3>.

para el periodo 2006-2100, realizadas a partir de las proyecciones globales de 16 modelos del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático) para dos escenarios diferentes de emisión de gases de GEI o trayectorias de concentración representativas (RCP), que corresponden a un escenario intermedio (RCP 4.5) y al peor escenario de emisiones (RCP 8.5). Las líneas gruesas representan la media de los modelos, y las zonas sombreadas la dispersión de los mismos para los respectivos escenarios. Este gráfico refleja que:

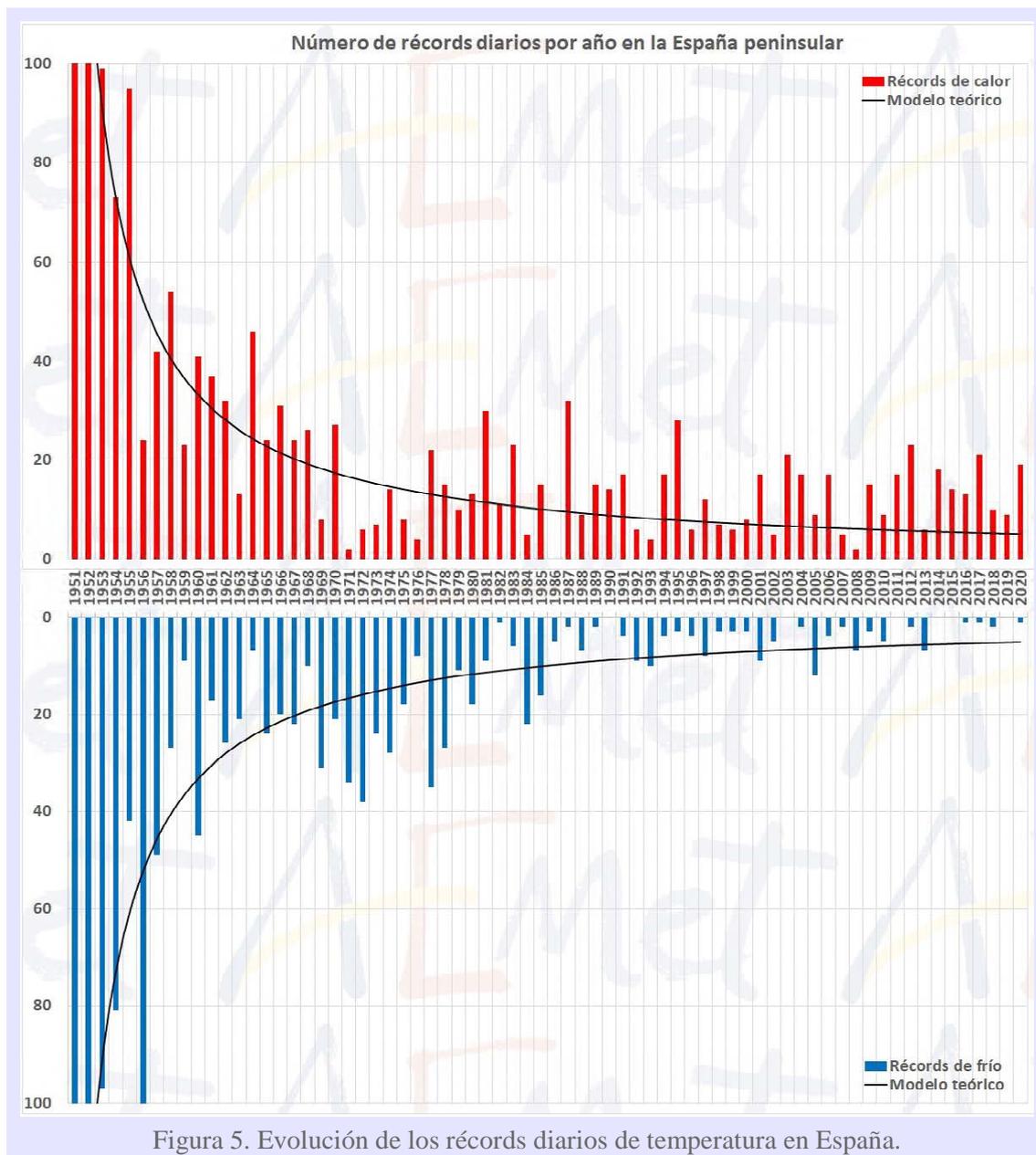
1. Los modelos han sido capaces de reproducir la tendencia de temperatura en el periodo 1971-2020, requisito fundamental para poder dar validez a las proyecciones climáticas.
2. Los modelos climáticos proyectan que las temperaturas continuarán al alza y de forma similar en ambos escenarios hasta mediados del siglo XXI. A partir de ahí, en el escenario intermedio (RCP 4.5), la tendencia de temperatura al alza se estabiliza, resultando un incremento de temperatura medio en España próximo a 2 °C a final de siglo respecto a la referencia climática 1971-2000 (2,6 °C con respecto a los niveles preindustriales). En el peor escenario (RCP 8.5) seguirá con tendencia creciente, con un incremento de temperatura medio próximo a 5 °C a final de siglo respecto a la referencia climática 1971-2000 (5,6 °C con respecto a la era preindustrial).

Evolución de los récords diarios de temperatura en España

En base a los datos diarios calculados con técnicas geoestadísticas, se ha estimado cómo han ido variando con el tiempo los récords diarios de temperatura media en la España peninsular desde 1950 (figura 5), a los que llamaremos «récords de temperaturas altas y bajas». No son, por tanto, efemérides de estaciones meteorológicas ni se trata tampoco de evolución de olas de calor, al estar referidos a todo el año y a datos calculados. Sin embargo, sí que muestra una de las consecuencias más evidentes del cambio climático: el incremento del número de días cálidos y, consecuentemente, la mayor frecuencia y duración de los episodios de calor. Justo lo contrario ocurre con los días fríos, que disminuyen notablemente, al igual que la frecuencia y duración de los episodios fríos.

De entre los métodos existentes para estimar el número teórico de récords de temperatura en un año, en este informe anual del clima 2020 se ha aplicado el método usado por el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (COPERNICUS CLIMATE CHANGE SERVICE (C3S), European State of the Climate 2019, 2020) que asume que, en un clima estacionario, el número anual de récords de temperaturas altas y bajas no debería variar demasiado con el paso del tiempo, ajustándose a la misma distribución estadística teórica.

El método parte de la base de que, en el primer año de registros, en nuestro caso 1950, todos los días se producen de forma simultánea récords de temperaturas altas y bajas (solo hay un registro cada día del primer año de nuestra serie, por lo que ese registro es a la vez el más alto y el más bajo). Así, el número de récords de ese primer año es de 365, tanto en temperaturas altas como bajas. En 1951, el segundo año de nuestra serie, el registro de cada uno de los días del año solo puede ser superior o inferior al del año anterior, por lo que aproximadamente el número de récords del segundo año será 365/2, tanto para días cálidos como para días fríos.



Asimismo, en el tercer año, aproximadamente uno de cada tres días se establecerá un récord, por lo que el número teórico es $365/3$, y así sucesivamente. En general, para una serie que comienza en 1950, el número teórico de récords en el año AAAA en un clima teórico estable sería de $365/(AAAA - 1949)$.

La figura 5 proporciona el número teórico de récords de días fríos y cálidos para un clima estacionario (curvas de color negro) y el número real observado de récords diarios de temperaturas altas y bajas desde 1950 en la España peninsular (barras color azul y rojo). Durante los últimos 30 años, el número real de récords de temperaturas altas diarias es mucho mayor que el valor teórico, y el número de récords diarios de temperaturas bajas es mucho menor que el valor teórico, lo cual es coherente con el calentamiento observado en España en las últimas décadas, que presupone una mayor frecuencia en los récords de temperaturas altas frente a los de bajas, si bien los de estas últimas seguirán produciéndose.

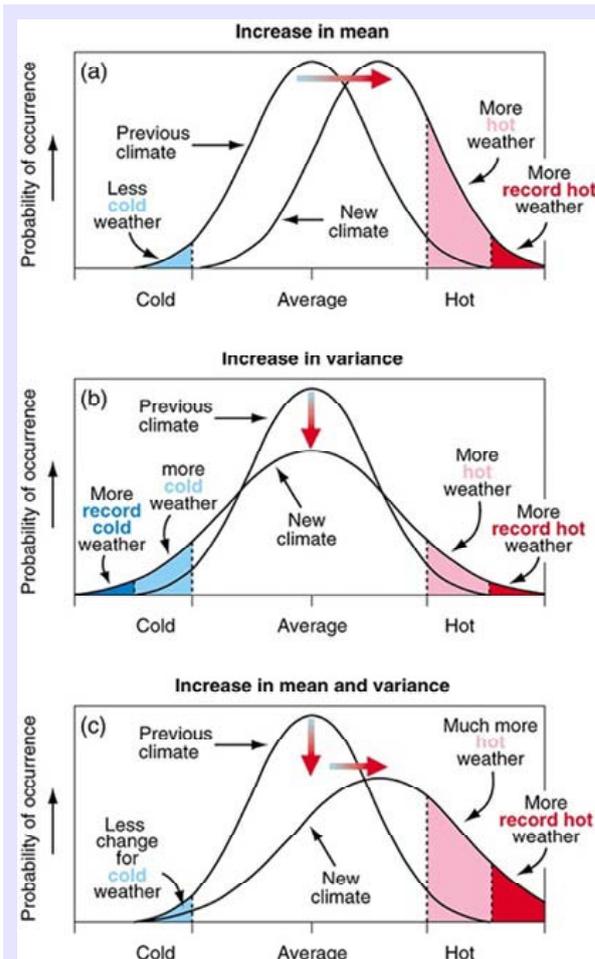


Figura 6. Diferentes escenarios, según un modelo teórico, de la evolución de los extremos de temperatura en función del aumento de la temperatura media y la varianza.

Fuente: <https://archive.ipcc.ch/ipccreports/tar>.

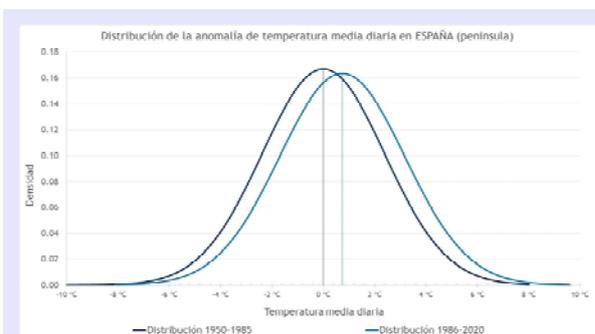


Figura 7. Distribuciones normales de la anomalía de temperatura media diaria de los periodos 1950-1985 y 1986-2020.

Según el modelo teórico, basado en un clima estable, durante la década pasada, que finalizó en 2020, se deberían haber producido 55 récords de temperaturas altas y 55 de temperaturas bajas (la probabilidad es igual en ambos casos), mientras que la realidad muestra que en los últimos 10 años se produjeron 14 récords de temperaturas bajas y 150 de temperaturas altas, resultando, por tanto, que el número de récords de temperaturas altas multiplica por 10,7 el número de récords de temperaturas bajas.

Este asunto de los récords de temperatura, que puede parecer una anécdota, tiene detrás una sólida base estadística, que ya **fue anticipada hace 20 años por el IPCC**. La figura 6, elaborada en 2001 por el IPCC, muestra el efecto teórico en las temperaturas extremas cuando:

1. Aumenta la temperatura media.
2. Aumenta la varianza.
3. La media y la varianza aumentan para una distribución normal de la temperatura.

En el caso de España, si normalizamos los datos diarios de temperatura y cogemos como serie patrón la de las anomalías diarias de temperatura del periodo 1950-1985, y la comparamos con la serie 1986-2020, que podríamos denominar que es nuestro nuevo clima, ambas previamente ajustadas a una distribución normal, vemos como en España lo más significativo ha sido el incremento de la media (figura 7).

De acuerdo con el modelo teórico del IPCC, nuestra situación sería la de la imagen a) de la figura 6, en la que un aumento de la media implicaría más días

cálidos, más récords de calor, menos días fríos y muy pocos récords de días fríos, y esa está siendo la realidad de nuestro clima en las últimas décadas.

Vamos a seleccionar en nuestra distribución de probabilidad normal de la serie patrón, la de 1950-1985, los puntos de probabilidad 5 % y 95 %, que se corresponderían con las colas derecha e izquierda de la distribución, correspondientes al 5 % de probabilidad de días muy fríos y muy cálidos. Ese umbral de días muy fríos o muy cálidos es aproximadamente -4°C y $+4^{\circ}\text{C}$. Es decir, aquellos días con una anomalía de temperatura media en la España peninsular inferior a -4°C serían considerados como muy fríos, y aquellos días con una anomalía de temperatura media en la España peninsular superior a $+4^{\circ}\text{C}$ serían considerados como muy cálidos. Esas zonas de días muy fríos y muy cálidos se han sombreado en morado y rojo, respectivamente, sombreándose en verde la zona donde se sitúan el 50 % de los datos, que podríamos decir que son los días con una temperatura normal, cercana a la media (figura 8).

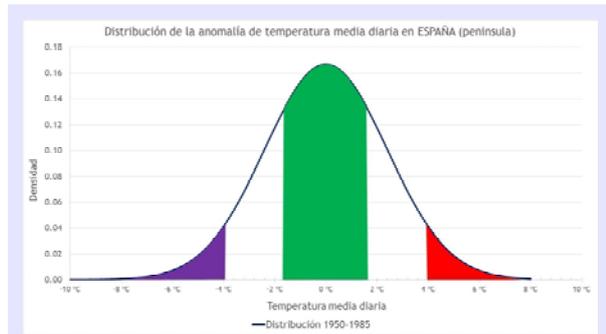


Figura 8. Distribución normal de temperatura y zonas de días muy fríos (morado) y muy cálidos (rojo). Periodo 1950-1985.

Si representamos la distribución de nuestro nuevo clima con esos umbrales establecidos, comprobamos cómo el número de días muy cálidos se ha duplicado y el de días muy fríos se ha reducido a la mitad (figura 9) y en un escenario no muy pesimista, las anomalías de temperaturas cálidas que en nuestra serie patrón solo ocurrían un 5 % de los días, en los últimos 30 años del siglo XXI pueden ocurrir el 50 % de los días, es decir, lo que antes era raro se podrá convertir en normal.

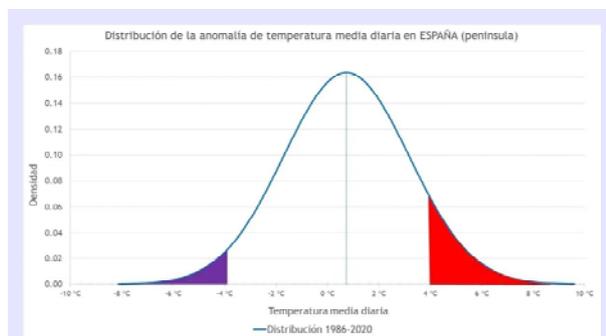


Figura 9. Distribución normal de temperatura y zonas de días muy fríos (morado) y muy cálidos (rojo). Periodo 1986-2020.

Aumento de la temperatura superficial del agua del mar

Los impactos de estos cambios observados en el sistema atmosférico no se restringen solo al aire. La atmósfera es uno de los componentes del complejo sistema terrestre. Aunque los componentes del sistema terrestre son muy diferentes en su composición, propiedades físicas y químicas, estructura y comportamiento, todos ellos están enlazados por flujos de masa, calor y cantidad de movimiento, lo que implica que no son sistemas cerrados, sino que todos los subsistemas están abiertos e interrelacionados. Como ejemplo, la atmósfera y los océanos están fuertemente acoplados e intercambian, entre otros, vapor de agua y calor a través de la evaporación, lo que resulta fundamental para el ciclo hidrológico. Por otro lado, la precipitación tiene una influencia sobre la salinidad, su distribución y la circulación termohalina del océano, etc., por lo que un cambio en uno de los componentes, en este caso el atmosférico, necesariamente tiene impacto en los otros, particularmente en la biodiversidad y en los ecosistemas, tan frágiles en nuestro entorno mediterráneo.

Zona marítima	Mínimo	Año	Máximo	Año	Media	Incremento 1950-2020
Alborán	17.7 °C	1977	19.2 °C	2015	18.4 °C	+0.6 °C
Baleares	17.7 °C	1972	19.8 °C	2017	18.7 °C	+1.2 °C
Cabrera	18.3 °C	1972	20.3 °C	2017	19.3 °C	+1.0 °C
Cádiz	18.0 °C	1972	19.6 °C	2020	18.9 °C	+0.9 °C
Canarias	20.3 °C	1972	21.9 °C	1997	21.1 °C	+0.7 °C
Cantábrico	14.6 °C	1972	16.5 °C	2006	15.7 °C	+1.1 °C
Finisterre	14.6 °C	1972	16.1 °C	1997	15.4 °C	+0.6 °C
León	15.7 °C	1974	17.8 °C	2018	16.7 °C	+0.8 °C
Menorca	17.5 °C	1972	19.4 °C	2020	18.4 °C	+0.9 °C
Palos	18.4 °C	1977	19.8 °C	2017	19.0 °C	+0.8 °C

Figura 10. Estadística de la serie anual de temperatura media de la superficie del agua del mar en cada zona marítima (1950-2020). Fuente de datos para la elaboración de la tabla: C3S.

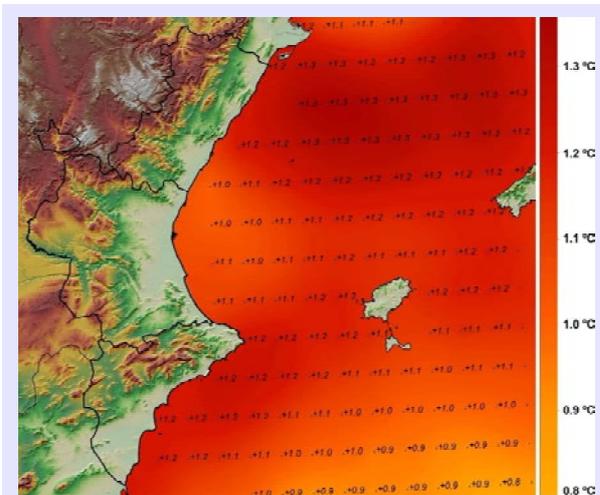


Figura 11. Incremento de la temperatura superficial del agua del mar (1950-2020). Fuente: elaborado con los datos ERA5 del Servicio de Cambio Climático de Copernicus, C3S.

En una cuenca relativamente pequeña y cerrada como lo es el Mediterráneo, el calentamiento del aire estaría dando lugar, con una probabilidad muy alta, a un calentamiento de la temperatura del agua del mar. El Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo ha estudiado en varias publicaciones cómo ha variado la temperatura superficial del Mediterráneo desde 1982 empleando para ello los datos registrados por sensores a bordo de satélites meteorológicos⁵.

Utilizando los datos de la última generación del reanálisis climático global ERA5, realizada por el Servicio de Cambio Climático de Copernicus (HERSBACH *et al.*, 2020), uno de los seis servicios temáticos del Programa Copernicus de la Unión Europea, que combina datos de modelos numéricos con observaciones de todo el mundo en un conjunto de datos globalmente completo y consistente, se ha encontrado una tendencia estadísticamente significativa, con un 95 % de nivel de confianza, de que la temperatura superficial del mar ha aumentado en todas las zonas marítimas y costeras de España, con más intensidad en el Cantábrico oriental y el Mediterráneo (figuras 10 y 11).

También se ha encontrado que **el incremento de la temperatura del mar Mediterráneo es casi el doble en verano que en invierno, con el impacto que ello puede tener en las lluvias torrenciales otoñales.**

Más energía disponible, más vapor en la atmósfera: mayor torrencialidad de las precipitaciones

El calentamiento del aire y del mar observado en las últimas décadas descrito en los puntos anteriores está muy relacionado con variaciones de ciertos componentes del ciclo hidrológico y de los sistemas hidrológicos, entre ellos el aumento de la evaporación y el aumento del vapor de agua atmosférico y, consecuentemente, un mayor poder de liberación de calor latente cuando se desarrollan los fenómenos convectivos presentes en situaciones de lluvias torrenciales otoñales y de final del verano.

⁵ PASTOR, F., VALIENTE, J. A. y KHODAYAR, S., 2020. A Warming Mediterranean: 38 Years of Increasing Sea Surface Temperature. *Remote Sensing*, 12(17), 2687. <https://doi.org/10.3390/rs12172687>.

Coherente con el calentamiento observado, que ha sido más intenso en los meses de verano, tanto en la temperatura del mar como del aire, en las últimas décadas se ha producido un incremento de la evaporación en esta estación. Gran parte de este flujo de humedad desde la superficie hacia la atmósfera se traduce en un notable incremento del total de agua en la columna atmosférica sobre la superficie del Mediterráneo occidental.

En promedio, en la zona de la Comunitat Valenciana, el incremento de vapor en la atmósfera en el mes de agosto, por tanto previo a la época más favorable para que se produzcan precipitaciones torrenciales en la zona, es de 2,1 kg/m² sobre una media climática en este mes de 29,0 kg/m², lo que supone un incremento del total de agua en columna del 11,4 % en el promedio del mes.

Estas variaciones, conducentes a una mayor energía y vapor de agua disponible en la atmósfera, pueden dar lugar a que las precipitaciones torrenciales sean más intensas cuando se produce una situación meteorológica adecuada, y esa situación es la que probablemente ya se esté produciendo. Sobre el cambio en los patrones de precipitación y la mayor torrencialidad en el área mediterránea, varios estudios recientes apuntan a que se está produciendo un aumento en frecuencia e intensificación de las situaciones que provocan lluvias muy fuertes o torrenciales y de extensión significativa en el conjunto del Mediterráneo español. Dejamos cuatro referencias para obtener más información al respecto:

- GARCÍA-VALERO, J. A., 2021. Caracterización de la variabilidad interanual de las precipitaciones diarias en la Demarcación Hidrográfica del Segura. AEMETblog. <https://aemetblog.es/2021/02/14/caracterizacion-de-la-variabilidad-interanual-de-las-precipitaciones-diarias-en-la-demarcacion-hidrografica-del-segura-parte-i/>
- MIRÓ, J. J., ESTRELA, M. J., CASELLES, V. y GÓMEZ, I., 2018. Spatial and temporal rainfall changes in the Júcar and Segura basins (1955-2016): Fine-scale trends. *International Journal of Climatology*. <https://doi.org/10.1002/joc.5689>
- NÚÑEZ-MORA, J. Á. (n.d.). Breve análisis de las lluvias torrenciales en la Comunitat Valenciana. 4 y 5 de noviembre de 2020. Aemetblog. <https://aemetblog.es/2020/11/29/breve-analisis-de-las-lluvias-torrenciales-en-la-comunitat-valenciana-4-y-5-de-noviembre-de-2020/>
- ORIA, P., 2021. ¿Está aumentando la frecuencia o la intensidad de las precipitaciones extremas en el Mediterráneo? Aemetblog. <https://aemetblog.es/2021/05/02/esta-aumentando-la-frecuencia-o-la-intensidad-de-las-precipitaciones-extremas-en-el-mediterraneo/>

Conclusión

Podemos dar por bueno el argumento de que ninguno de los fenómenos que se han registrado este verano en España son nuevos. Tormentas, granizadas, tornados, olas de calor, reventones, etc. no son desconocidos en nuestro territorio; pero no se trata de eso, eso forma parte del tiempo, de lo que se trata es de **si estos fenómenos ahora son más intensos y violentos que antes y más frecuentes**, es decir, **se trata de averiguar si el clima**

está cambiando y qué consecuencias e impactos están teniendo lugar a causa de esos cambios.

Como se ha expuesto en este artículo, **quedan pocas dudas de que esa mayor intensidad y frecuencia de los fenómenos adversos veraniegos, sobre todo los relacionados con el calor, las olas de calor o la mayor temperatura del agua del mar, ya se está produciendo y, al menos por lo que respecta al área mediterránea, también se está produciendo un aumento en frecuencia e intensificación de las situaciones que provocan lluvias muy fuertes o torrenciales y de extensión significativa.**