

Episodios de calor extremo en la Cuenca de Pamplona

PEIO ORIA

Recurriendo a los datos climatológicos diarios de la estación meteorológica ubicada en la ciudad de Pamplona y perteneciente a la red manual termopluiométrica de AEMET, se extraen de un sencillo análisis los días de los episodios de temperaturas más altas desde 1954 a través del registro de temperatura máxima en el termómetro de mercurio.

La estación ha cambiado dos veces de ubicación en los últimos 70 años, la primera vez en octubre de 1994 trasladándose desde el torreón noroeste del edificio de la antigua Escuela de Comercio, en la calle Navarrería (actual sede del INAP) al fortín de San Bartolomé, al norte del parque de la Media Luna y, en mayo de 2010, desde este último lugar al vecino Baluarte del Labrit, en el bastión este de la muralla que rodea la zona histórica de la ciudad. Si bien la ubicación actual y la anterior son muy cercanas, e incluso similares en su entorno más local (~30 m), el emplazamiento anterior a 1994 ha podido ser afectado por el crecimiento urbano y el efecto isla de calor.

test de Buishand y el test de Pettitt. La serie rechaza la hipótesis nula en el intervalo de confianza del 95% en los tres tests por lo que se considera homogénea. En el caso de los registros de episodios extremos se ha comprobado además que estaciones cercanas a la de Pamplona y alejadas del núcleo urbano registran temperaturas similares, siendo además validadas y verificadas por la sección de climatología de la Delegación Territorial de AEMET en Aragón y por el Negociado de Suelos y Climatología del Gobierno de Navarra.

En la tabla 1 se muestran algunas características térmicas de los diez episodios de calor más extremos.



Figura 1: fotografía de la estación en su emplazamiento actual (arriba) y captura aérea de los tres emplazamientos: inicial (azul), intermedio (naranja) y actual (rojo) (abajo).



Episodio	Tmax1 (°C)	Tmax3 (°C)	Duración (°C)	Secuencia (días)
31 jul-3 ago 1957	40.3	38.8	4	36.6, 40.3, 39, 37.2
5-8 jul 1982	39.8	39.6	4	37.8, 39.6, 39.8, 39.4
30 jul 1983	40.2	34	1	40.2
13 ago-16 ago 1987	40.2	39.7	4	40, 39, 40.2, 37
19-21 jul 1995	40	39.3	3	38.6, 40, 39.4
2-14 ago 2003	39.5	39.3	13	37, 37, 39.5, 39, 39, 39, 38, 37, 38.5, 39, 39.5, 39.5, 36.5
9-10 ago 2012	40.2	37.8	2	38, 40.2
17-21 ago 2012	40.6	39.4	5	39.6, 40.6, 38, 38.9, 37.9
27-30 jun 2019	39.8	38.8	4	39.2, 37.4, 39.8, 39.2
12-14 ago 2021	40	38.1	3	36.7, 37.7, 40

Tabla 1. Episodios extremos de calor en la Cuenca de Pamplona desde mediados del siglo XX. Tmax1: temperatura máxima del episodio. Tmax3: media más alta de las máximas durante 3 días consecutivos. Duración: días que superan el umbral de ola de calor (*). Secuencia de temperaturas máximas en los días de calor extremo.

Dos consideraciones relativas a la figura 2 son las siguientes: no se aprecia suficientemente bien la duración del episodio de 2003, que presenta temperaturas extremas entre el 2 y el 14 de agosto, es decir, durante 13 días consecutivos. Algunas temperaturas máximas se repiten varios días por lo que la representación no captura la persistencia real del episodio. Este evento resultó ser, por otra parte, una de las olas de calor del pasado reciente de mayor alcance geográfico e impacto en el continente europeo, con decenas de miles de muertes reportadas asociadas al episodio. Por otro lado, el año 2012, presenta dos eventos independientes aunque separados temporalmente tan solo por una semana. El primero tiene lugar el 9 y 10 de agosto, y el segundo entre el 17 y 21 de agosto,

En el periodo analizado (trimestre estival entre 1954 y 2021) la serie está completa al 97.1% (180 días faltantes de 6256). Los datos de partida de temperaturas diarias máximas se han sometido a la aplicación sucesiva de tres tests estadísticos siguiendo recomendaciones del Proyecto ECAD (European Climate Assessment & Dataset, <https://www.ecad.eu/>): El test SNH, el

(*) Las temperaturas máximas superan el percentil 95 de la serie de temperaturas máximas para los meses de julio y agosto (referencia 1971-2000).

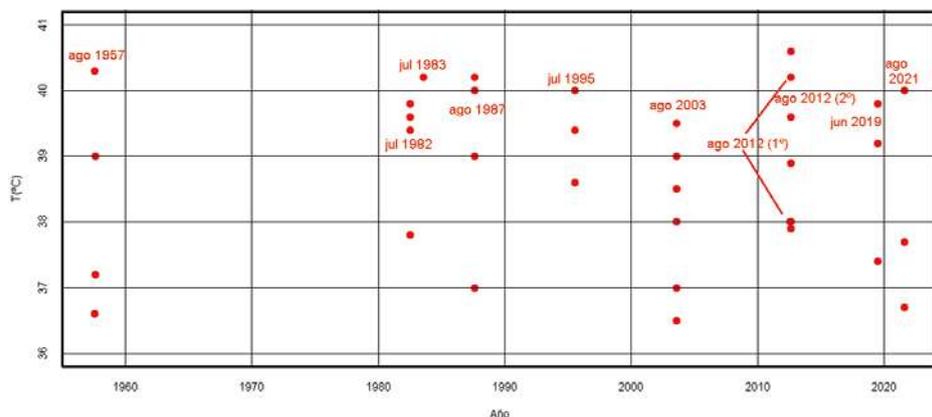


Figura 2: Valores de temperatura por encima del percentil 95 en los días que abarcan los distintos episodios de la tabla anterior.

alcanzándose el día 18 los 40.6 °C, efeméride actual de temperatura máxima absoluta del observatorio.

A continuación se mencionan algunas conclusiones relativas a la tabla y figura anteriores: cinco de los diez periodos más cálidos ocurren en el siglo XXI y sólo 4 de ellos en la última década. Destaca asimismo que en la década de 1960 y 1970 no se registra ninguno. Estas décadas son precisamente las más frías en buena parte de Europa durante la segunda mitad del siglo XX. El episodio más extremo teniendo únicamente en cuenta la temperatura máxima alcanzada en un día tiene lugar en la segunda quincena de agosto de 2012. Si atendemos al promedio de tres días consecutivos es el episodio de 1987 el más extremo, aunque seguido muy de cerca por el de julio de 1982, el segundo de agosto de 2012 y el de agosto de 2003. Teniendo en cuenta la gran duración de este último probablemente merezca la consideración del más severo del pasado reciente. Por otro lado destaca el episodio de finales de junio de 2019, por ser extraordinariamente temprano en el transcurso del año, por batir el récord de temperatura máxima en el mes de junio con una diferencia de 1.3 °C respecto a la anterior efeméride y por tratarse de la masa de aire más caliente que ha llegado a la Cuenca de Pamplona en las últimas décadas, como veremos en el siguiente apartado.

Por tanto no sólo hay más episodios en los últimos años sino que también se ha registrado el más largo, el más intenso y el más temprano. De algún modo estas últimas apreciaciones recuerdan a algunas conclusiones expresadas en el 6º informe de evaluación del IPCC, relativas a los cambios en la distribución de eventos extremos, y cuyo capítulo 11 literalmente afirma que a medida que el clima se aleja de sus estados pasados y actuales, experimentaremos eventos extremos en magnitud, frecuencia, tiempo o ubicación.

Análisis térmico en 850 hPa

Es habitual en meteorología caracterizar térmicamente una masa de aire haciendo uso de la temperatura en el nivel de presión atmosférica de 850 hPa, que se corresponde con una altitud aproximada de algo menos de 1500 m. El motivo reside en que en ese nivel está usualmente situado el comienzo de la atmósfera libre, fuera de la capa límite atmo-

sfera, y, por tanto, de algún modo libre de los efectos del contacto del aire con el suelo.

En esta sección, y a diferencia de la temperatura máxima medida en la estación de Pamplona que se ha analizado en el apartado previo, se extraen las temperaturas horarias en el nivel de 850 hPa, obtenidas del reanálisis ERA-5 del servicio de Clima C3S de Copernicus. Este servicio está implementado por el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF). Se han descargado más de 150000 datos entre junio de 1950 y agosto de 2021 (trimestre de ve-

rano) para construir la temperatura diaria (promedio horario) en la vertical sobre Pamplona (-1.65, 42.82, coordenadas geográficas, EPSG:4326 WGS 84). Como ya se ha apuntado anteriormente, la media captura mejor las características de la masa de aire sin verse tan influenciada por el ciclo diario asociado al calentamiento de la superficie y de las capas más cercanas al suelo.

En la figura 3 se muestra la evolución de las temperaturas diarias en la vertical sobre Pamplona, desde 1950. Se muestra además la media móvil en 25 días (verde) y se ha ajustado un modelo lineal a los datos, obteniendo una tendencia al alza estadísticamente significativa (rojo). El aumento en-

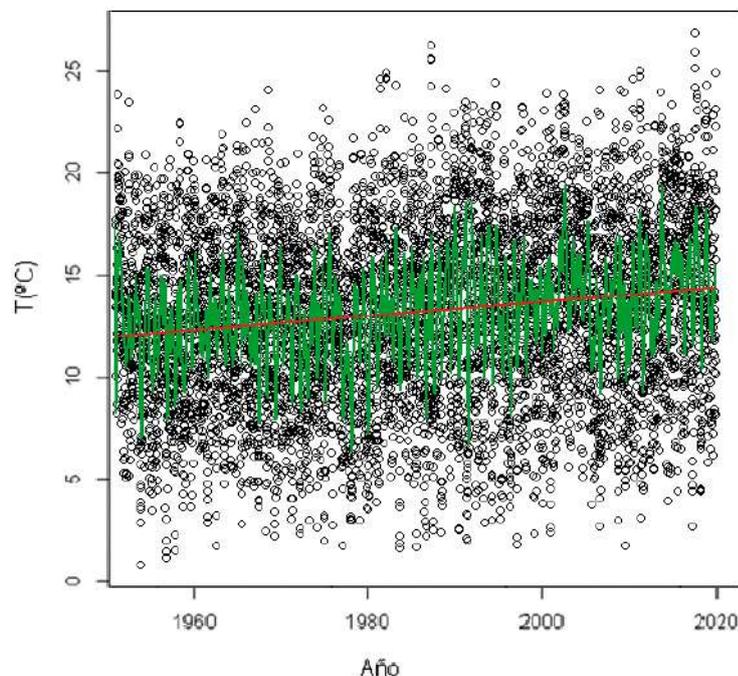


Figura 3: Evolución de las temperaturas diarias en la vertical sobre Pamplona, desde 1950. Media móvil en 25 días (verde) Ajuste de modelo lineal a los datos (rojo).

tre el verano de 1950 y el de 2021 es de casi 2.4 °C, con un aumento decadal de 0.33 +/- 0.03 °C (desviación estándar del ajuste inferior al 10%). Aumentos reportados en superfi-

Episodios de calor extremo en la Cuenca de Pamplona

cie para las últimas décadas en algunas estaciones de Navarra rondan los 0.15 – 0.25 °C decadales.

Una vez se calculan las temperaturas medias diarias es posible igualmente promediar los 92 días del trimestre de verano para obtener la temperatura media anual (figura 4). Siete de los diez años más cálidos pertenecen al siglo XXI y los diez más fríos se registran entre 1950 y 1981. El verano más frío es el de 1978 y el más cálido el de 2003, marcado por la excepcional ola de calor referida anteriormente. Asimismo destacan las elevadas temperaturas en tres de los últimos siete veranos: 2015, 2017 y 2019.

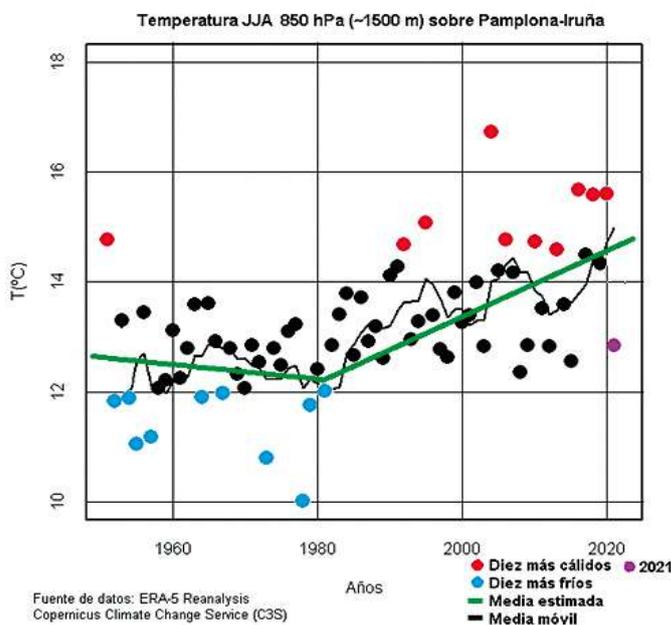


Figura 4: Evolución de las temperaturas medias anuales (JJA) para el trimestre de verano en el nivel de 850 hPa en la vertical sobre Pamplona, desde 1950. Se representa igualmente la media móvil y estimada.

Como era de esperar, en la gráfica anterior se observa que los episodios más extremos coinciden con los listados en la sección anterior, en concreto algunos de los más extremos se corresponden con los que la temperatura media diaria en 850 hPa alcanza o supera los 25 °C (línea azul). Destaca muy especialmente el episodio de finales de junio de 2019 con una temperatura cercana a 27 °C el día 29. De algún modo puede esperarse que una temperatura que rebase los 25 °C en 850 hPa funcione como predictor de la temperatura en superficie dando una alta probabilidad de alcanzar o superar los 40 °C teniendo en cuenta por un lado la gran correlación y, por otro, la estabilidad del gradiente térmico en capas bajas para situaciones de subsidencia y fuerte advección cálida y seca. Todos los eventos por encima de ese umbral (señalados por encima de la línea azul en la gráfica) alcanzan o rebasan li-

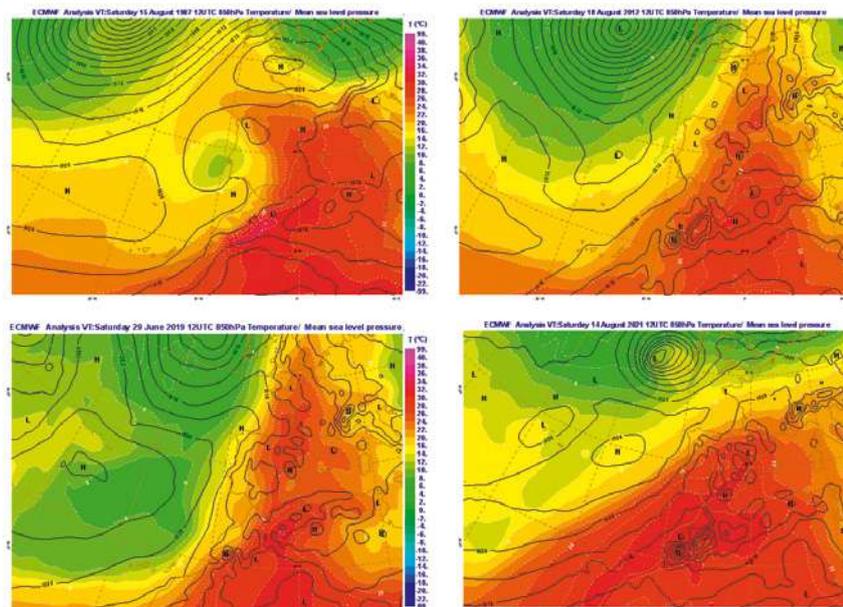


Figura 6: Temperatura en 850 hPa y presión en superficie para las 12 UTC de los días en los que la temperatura alcanza los valores más altos sobre la vertical de Pamplona.

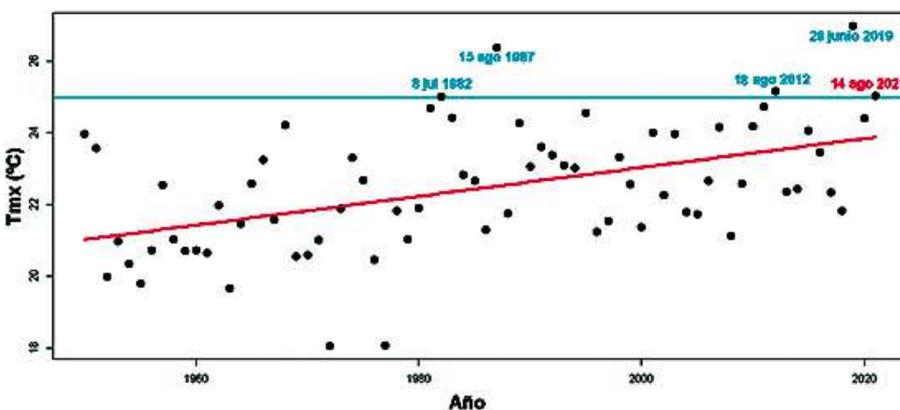


Figura 5: Temperaturas medias diarias más altas para cada año del registro.

Mediante una aproximación estadística se intentan ahora obtener algunas conclusiones del comportamiento de los extremos de la distribución anterior de datos. Para ello se va a analizar el valor máximo anual del promedio diario de temperatura en 850 hPa, extraído fácilmente de los datos anteriores (figura 5).

geralmente los 40 °C en Pamplona. De manera similar al caso de los datos diarios de temperatura media se calcula el ajuste lineal de los datos para obtener la tendencia, que en este caso se sitúa en 2.9 °C +/- 0.6 °C para los 72 años de datos siendo también estadísticamente significativa. Por tanto, dentro del margen de incertidumbre en la tendencia, el aumento resulta superior para el comportamiento de los máximos.

En la figura 6 se representan los datos del reanálisis ERA-5 en rejilla de la temperatura en 850 hPa y de la presión en superficie para las 12 UTC de los días en los que la temperatura alcanza los valores más altos en las situaciones analizadas (15 de agosto de 1987, 18 de agosto de 2012, 29 de junio de 2019 y 14 de agosto de 2021).

Las características sinópticas de las masas de aire muestran gran similitud, con una dorsal térmica llegando hasta el norte de la península ibérica o interior del continente europeo y favoreciendo la entrada de aire muy cálido desde latitudes subtropicales. Además una baja profunda al oeste de las Islas Británicas potencia el transporte canalizado de aire muy cálido en sentido sur norte. Es el clásico escenario de ola de calor si la persistencia es suficiente y en el que en otros puntos de la Península, especialmente en el valle del Ebro y cuadrante noroeste (y según la intensidad de la dorsal también en Francia), se registran igualmente temperaturas extremas.

¿Es esperable que este tipo de episodios sean cada vez más frecuentes en el futuro?

En base a una interpretación estadística se analiza ahora la tendencia futura del periodo de retorno de aquellas incursiones de masas de aire cálido que dan lugar a los episodios extremos de calor. Se emplean proyecciones regionalizadas obtenidas de modelos climáticos, partiendo de las temperaturas máximas anuales observadas en superficie correspondientes a los días del trimestre de verano. Se efectúa un análisis de valores extremos mediante un ajuste de la familia de distribuciones GEV a los valores máximos diarios obtenidos en la estación en el periodo entre 1954 y 2021. La función que se utiliza para la caracterización estadística del comportamiento de los máximos es

$$F(x; \mu, \sigma, \xi) = \exp \left\{ - \left[1 + \xi \left(\frac{x - \mu}{\sigma} \right) \right]^{-1/\xi} \right\}$$

donde los tres parámetros, ξ , μ y σ representan la forma, localización y escala de la función de distribución acumulativa, respectivamente. Un ajuste paramétrico a los datos permite obtener los valores de ξ , μ y σ .

Por otro lado, el período de retorno se traduce en estimar la probabilidad de que el valor de una variable extrema se vea superada en un determinado lapso de recurrencia. En otras palabras el periodo de retorno se relaciona inversamente con la probabilidad de ocurrencia de un evento de una magnitud dada o mayor en un período. En este caso la probabilidad resulta del propio ajuste anterior a la distribución estadística. El resultado obtenido para el periodo de retorno de las temperaturas máximas anuales en la estación de Pamplona se ilustra en la figura 7.

El ajuste conduce a un periodo de retorno de 10 años correspondiente a un valor de 39.6 °C (38.8 °C – 40.2 °C en el intervalo de confianza del 90%). De todos modos hay que recalcar que el ajuste se hace con los datos del periodo completo en el que se registra una tendencia estadísticamente significativa de la temperatura máxima. Por tanto, idealmente habría que tener en cuenta esa tendencia, abstraerla de los datos y trasladar el comportamiento del periodo de retorno para el comienzo y final del periodo (este procedimiento es el que se suele emplear en estudios de detección y atribución al cambio

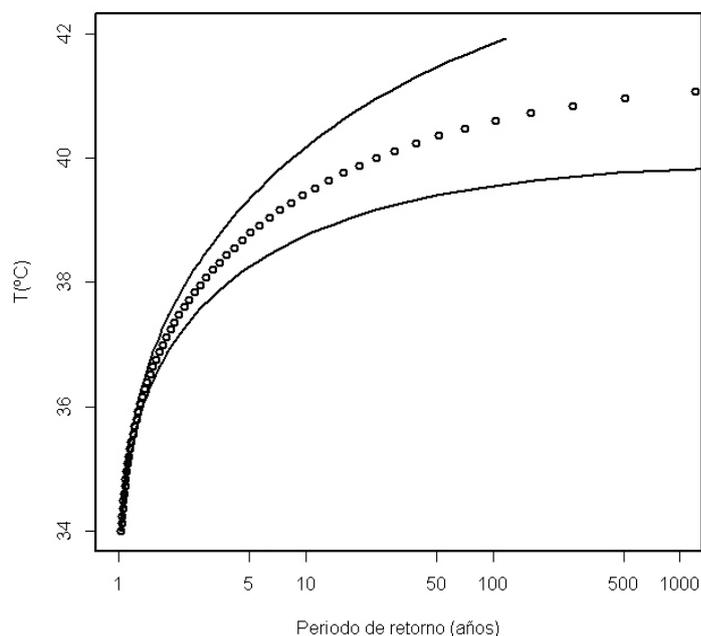


Figura 7: Periodo de retorno de temperaturas máximas anuales en Pamplona en base a registros observacionales en superficie (puntos). Las curvas inferior y superior definen el intervalo de confianza del 90% obtenido del ajuste a una distribución del tipo GEV.

climático). En cualquier caso la representación anterior correspondería al periodo de retorno asociado al clima de la ciudad de Pamplona en el conjunto de la segunda parte del siglo XX y comienzos del siglo XXI.

La cuestión que surge a continuación es si los periodos de retorno van a verse modificados en el clima futuro. Esto es especialmente relevante para el análisis de riesgos llevado a cabo por una multitud de usuarios sectoriales en estudios de adaptación al cambio climático y en áreas como los recursos hídricos y energéticos, la edificación, el impacto de las temperaturas extremas en la salud y los ecosistemas, etc. Para tratar de arrojar luz sobre esta cuestión se han descargado datos de proyecciones climáticas regionalizadas para la península ibérica en el periodo 1954-2100, en concreto para la temperatura máxima en la estación de Pamplona. Se cuenta con un total de 48 modelos regionalizados con técnicas estadísticas de regresión y análogos. Para el periodo histórico (1954-2021) se calcula la temperatura máxima anual de cada uno de los modelos y se realiza el mismo ajuste que se ha hecho con los datos observados. Este paso tiene la finalidad de verificar si la distribución de las temperaturas extremas anuales observadas guarda alguna relación con la de las temperaturas provenientes del modelo. Este es un paso clave en cualquier estudio dado que los modelos climáticos tienen dificultades en simular eventos extremos, además de la cadena de incertidumbres asociadas, especialmente a las técnicas de regionalización. El criterio que se sigue para dar un modelo por válido es si los parámetros ajustados de su distribución se encuentran en el margen del intervalo de confianza del 95% de los parámetros de la distribución de los valores observados. Tan sólo 12 modelos satisfacen la anterior

Episodios de calor extremo en la Cuenca de Pamplona

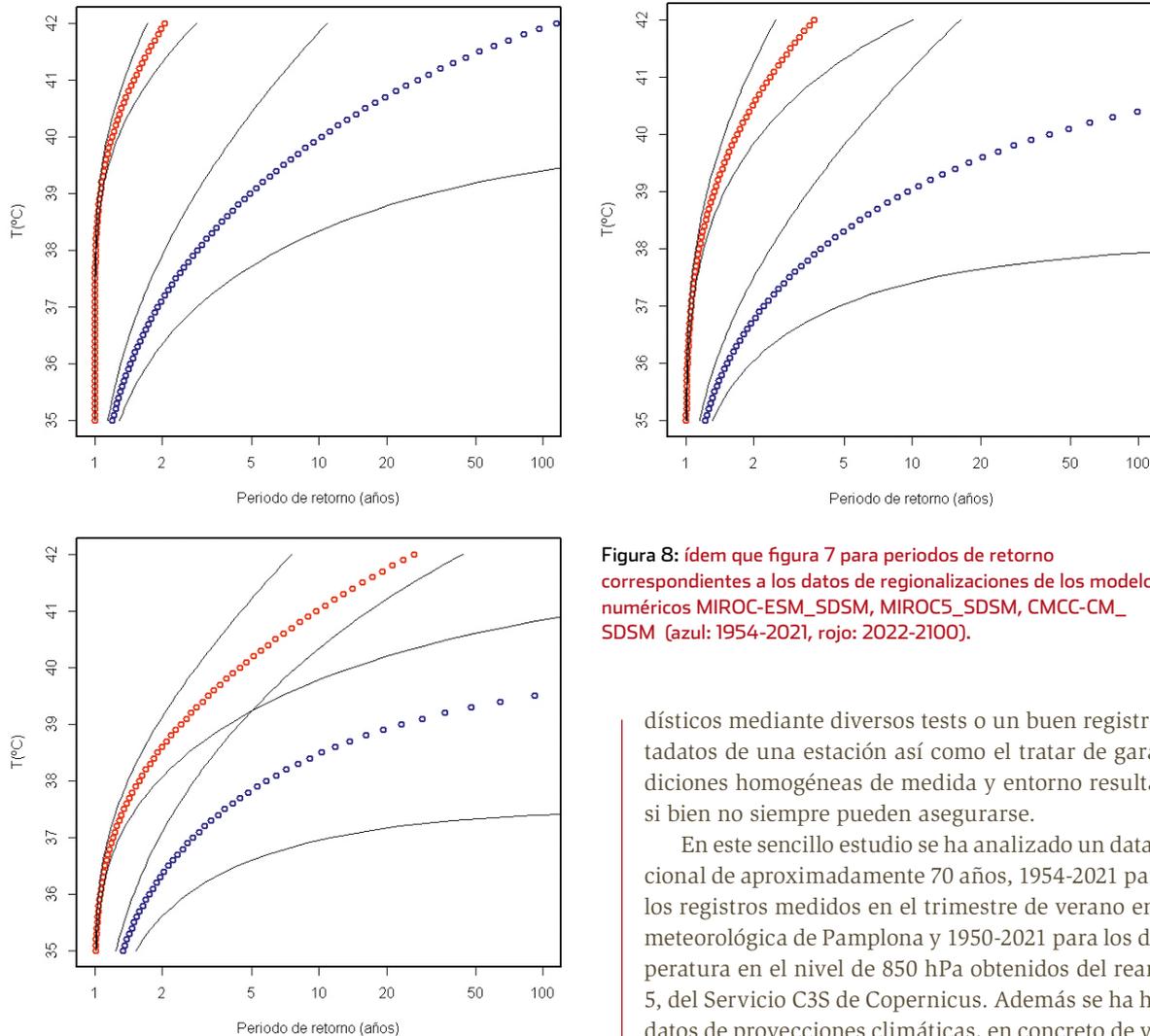


Figura 8: ídem que figura 7 para periodos de retorno correspondientes a los datos de regionalizaciones de los modelos numéricos MIROC-ESM_SDSM, MIROC5_SDSM, CMCC-CM_SDSM (azul: 1954-2021, rojo: 2022-2100).

premisa. En la figura 8 se representan los periodos de retorno de tres de estos modelos (MIROC-ESM_SDSM, MIROC5_SDSM, CMCC-CM_SDSM) para el periodo histórico 1954-2021 (en azul) y para el periodo 2022-2100 (en rojo).

Apréciase que los periodos de retorno correspondientes a alcanzar temperaturas de 40 °C que resultan de estos modelos se reducen de décadas en el periodo histórico a uno o pocos años en el futuro, es decir, las 7 veces que se han superado los 40 °C en Pamplona entre 1954 y 2021 podrían empezar a ser cada vez más habituales en los veranos de los próximos años y décadas.

Principales conclusiones

En un estudio climático local, siempre hay limitaciones inherentes a los datos e incertidumbres relativas a la observación o derivadas del uso de modelos climáticos. La cuantificación de la incertidumbre no siempre es posible aunque dado el carácter intrínseco e insoluble de la misma a cualquier estudio climático se debe al menos tratar de acotarla. El uso de ensembles en la modelización climática, recurrir a varios orígenes de fuentes de datos, el tratamiento de errores esta-

dísticos mediante diversos tests o un buen registro de los metadatos de una estación así como el tratar de garantizar condiciones homogéneas de medida y entorno resultan cruciales si bien no siempre pueden asegurarse.

En este sencillo estudio se ha analizado un dataset observacional de aproximadamente 70 años, 1954-2021 para el caso de los registros medidos en el trimestre de verano en la estación meteorológica de Pamplona y 1950-2021 para los datos de temperatura en el nivel de 850 hPa obtenidos del reanálisis ERA-5, del Servicio C3S de Copernicus. Además se ha hecho uso de datos de proyecciones climáticas, en concreto de varios modelos que reproducen razonablemente bien la distribución de extremos observados en los últimos 70 años, por lo que hay una confianza relativa en que puedan hacer lo propio para los periodos de retorno en el clima futuro. Los resultados muestran que los periodos de retorno a la hora de alcanzar temperaturas de 40 °C en superficie, estarían en el orden de magnitud de entre uno y diez años. En el clima pasado estos episodios se han repetido en promedio cada 10 años aunque hay evidencias de que en el siglo XX (y especialmente durante la pasada década) aumentan claramente su probabilidad de ocurrencia. Sin ir más lejos entre el 11 y el 16 de agosto de este mismo año hemos vivido un episodio de ola de calor de seis días de duración a nivel nacional, evento considerado histórico por su intensidad y extensión, y que también afectó a la Comunidad Foral de Navarra. De hecho el día 14 de agosto de 2021 se considera ya el segundo más cálido de la historia reciente en España, prácticamente empatado con el 10 de agosto de 2012. Por otro lado, en el presente estudio se encuentran tendencias claras en el aumento estival de temperaturas en el nivel de 850 hPa sobre Pamplona, superiores a las registradas en superficie. En el contexto de una cada vez más frecuente e intensa superación de registros máximos las estrategias de adaptación se tornan prioritarias ante el impacto del calor extremo.