

Análisis de la temperatura estival de Barcelona en los últimos cien años



UNIVERSITAT DE
BARCELONA

Sergio Gris Gil

Treball Final de Grau

Departament de Geografia

Curs 2020-2021

Tutora: María del Carmen Moreno García

¹ Fuente de las imágenes en portada

1

Observatorio Fabra: aladinia.com
Aeropuerto del Prat: lavanguadia.com

A las personas que siempre miran el cielo

A los y las que miran qué temperatura hace en la calle todos los días

...

*Y a las tantas personas que auditan públicamente los datos de sus estaciones
meteorológicas en tiempo real, sin ánimo de lucro*

RESUMEN

En un contexto de calentamiento global, Barcelona es una de las ciudades mediterráneas con mayor población y, por tanto, una de las áreas de estudio más interesantes para poder comprobar el posible aumento de la temperatura en la cuenca mediterránea.

En el presente Trabajo se emplean datos de las temperaturas medias estivales (calculadas con las temperaturas medias mensuales de los meses de junio, julio y agosto), referentes a la ciudad en una escala temporal comprendida entre los últimos setenta y cien años. Con todos ellos se ha investigado qué evolución térmica ha experimentado Barcelona en esta estación del año, ya que es cuando se alcanzan las temperaturas más cálidas de todo el año, pudiendo llegar a valores extremos que son un riesgo para la población.

El Observatorio Fabra y el Aeropuerto del Prat son los observatorios utilizados para representar el área de estudio analizada debido a su antigüedad de los datos y a su ubicación. No obstante, los datos del Aeropuerto del Prat son un complemento a los del primero porque su serie de datos disponibles es más corta que la del Fabra. En definitiva, estos datos indican una tendencia significativa de aumento térmico en la ciudad de Barcelona en los cien últimos veranos.

Palabras clave: temperaturas estivales, Observatorio Fabra, Aeropuerto de Barcelona – El Prat, temperaturas medias, tendencias.

ABSTRACT

In terms of global warming, Barcelona is one of Mediterranean cities more populated. Therefore, the city is one of the most important places to check the probable thermal increase in Mediterranean basin.

In this report, it makes use of thermal data about summer average temperature (calculated with average monthly temperature of June, July and August), related to the city in the last seventy and hundred years. All of these values have let to investigate the type of thermal evolution at summer season in Barcelona, which period the hottest temperatures of the year are reached. These hot temperatures could be extreme values and, as a consequence, it could be a risk for population.

Fabra Observatory and Barcelona – El Prat Airport observatory, are the meteorological observatories used. The two observatories play an indispensable role in the representation of study area due to its ancient data available and its location. However, El Prat Airport data complement Fabra Observatory data because the available data of the first observatory are less ancient than Fabra data. As a result, all the data show a significant trend of thermal increase in the last hundred summers of Barcelona city.

Key words: summer temperatures, Fabra Observatory, Barcelona – El Prat Airport, average temperatures, trends.

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	8
1.1. Objeto de estudio	8
1.2. Motivaciones.....	8
1.2.1. Motivaciones académicas	9
1.2.2. Motivaciones de contexto actual.....	9
1.2.3. Motivaciones personales.....	10
1.3. Objetivos	10
1.3.1. Objetivos generales	10
1.3.2. Objetivos específicos.....	11
1.4. Hipótesis	11
1.5. Área de estudio	12
2. MARCO TEÓRICO	14
3. METODOLOGÍA	17
3.2. Tratamiento de los datos	19
3.3. Cálculo de tendencias	21
4. RESULTADOS	22
4.1. Cálculos de contexto climático: diferencias térmicas entre los dos observatorios y diferencias entre las temperaturas medias de los meses analizados en cada serie.....	23
4.1.1. Diferencia de las temperaturas medias de los meses de junio, julio, agosto y septiembre y de las temperaturas medias de los veranos entre los dos observatorios. Periodos 1944-2020 y 1950-2020.....	23
4.1.2. Diferencia entre las temperaturas medias de julio y agosto. Determinación del mes más cálido en cada serie	32
4.1.3. Comparación y evolución entre la temperatura media de julio y agosto con la temperatura media de junio y la de septiembre	34
4.2. Análisis de las series: cálculos de promedios, anomalías y temperaturas móviles	40
4.2.1. Las temperaturas medias (TMm) de los veranos.....	40
4.2.2. Las temperaturas medias (TMm) de junio, julio, agosto y septiembre	51
4.3. Cálculos de tendencias en las series.....	79
4.3.1. Coeficientes de correlación de Pearson y tendencias de las temperaturas medias (TMm) de los veranos y de las de los meses de junio, julio, agosto y septiembre	79

4.3.2. Coeficientes de correlación de Pearson y tendencias de las temperaturas medias de las máximas (TXm) de los meses de junio, julio, agosto y septiembre.....	82
4.3.3. Coeficientes de correlación de Pearson y tendencias de las temperaturas mínimas medias (TNm) de los meses de junio, julio, agosto y septiembre	84
4.3.4. Tendencias de las temperaturas máximas absolutas (TXx) y las temperaturas mínimas absolutas (TNn) de los meses de junio, julio, agosto y septiembre	86
5. CONCLUSIONES	87
BIBLIOGRAFIA	93

1. INTRODUCCIÓN

El presente Trabajo Fin de Grado se aborda desde la disciplina académica de la Climatología. Esta resulta fundamental para entender la Geografía, como también lo es la propia Geografía para la Climatología. Tanto es así que, un territorio puede caracterizarse y definirse por su clima, al ser diferenciado del de otros territorios; pero estas características climáticas son cambiantes con el paso del tiempo, como lo son también muchos elementos geográficos.

Al ser una característica climática cambiante, la temperatura es una magnitud física definida en un territorio que suele presentar un rango de valores similares en un momento determinado del día, y del año en los climas estacionales, pero es un índice sumamente variable. Tan variable que, incluso también lo es si comparamos estos valores similares que se dan en una estación climática del presente con los que se daban en la misma estación décadas y siglos atrás, a pesar de seguir tratándose del mismo clima. De manera que esta comparación es posible si se dispone de una prolongada e ininterrumpida serie de datos térmicos que pueda constatar una tendencia entre el inicio y el final de la serie entre tanta variabilidad de los valores, obteniendo así una evolución térmica en el clima de un determinado lugar.

1.1. Objeto de estudio

El objeto de estudio es la temperatura climática bajo la óptica de una escala local, así como su variación a lo largo del tiempo y su comportamiento en una estación climática del año. No solamente una escala temporal es útil para estudiar una variabilidad, sino que también lo es para conocer unos valores promedio equidistantes a los valores extremos que definan el clima de un territorio.

El caso escogido es el de la ciudad de Barcelona y su variabilidad climática al tratarse de un lugar que recibe las entradas de aire frío procedentes del norte con la misma facilidad que las entradas de aire cálido procedentes del sur, además de una fuerte influencia del mar Mediterráneo.

Al tratarse de una ciudad con un continuo urbano grande si le añadimos sus municipios colindantes, es recomendable ampliar el estudio de la temperatura a dos observatorios meteorológicos para abarcar una parte importante de esta área urbana.

1.2. Motivaciones

Las motivaciones que me impulsan a la realización de este trabajo son diversas, y de diferente índole. Es por ese motivo que he decidido clasificarlas, con tal de poder clarificar dichas motivaciones. Se trataría de motivaciones académicas, de contexto actual y personales.

1.2.1. Motivaciones académicas

Mi interés en estudiar el clima surge tras cursar la asignatura *Fonaments de Geografia Física*, al introducirme en una primera aproximación en el estudio del clima y la meteorología, a pesar de ser tan sólo una parte de esta asignatura.

Más adelante, al cursar la asignatura de *Climatología*, conseguí adentrarme en dicho ámbito de estudio con mayor facilidad, adquiriendo parte de las herramientas necesarias para poder comprender parte de las preguntas que me hacía sobre las condiciones climáticas y meteorológicas de la atmósfera. Aprendí a realizar climogramas, con la claridad y organización que requiere al ser una actividad realizada a mano sobre el papel. Pero sobre todo, acabé de perfilar mi noción sobre los climas mediterráneos, concretamente, nuestro *Csa*.

Pero fue, sobre todo, en los dos últimos cursos del Grado cuando acabe de convencerme sobre la importancia del clima en la geografía española y catalana. Aparecieron dos conceptos clave: *cambio* y *riesgo*. Respecto al primer término, destaco la asignatura *Cambio Global*, donde pude tener acceso a los primeros cálculos de evoluciones térmicas en diferentes ciudades de España, así como la reconstrucción de series climáticas de temperaturas con más de cien años de antigüedad. Y en cuanto al segundo término, cabe mencionar especialmente también la asignatura optativa de *Riesgos Naturales*, donde pude comprobar que los cambios de la temperatura no son sólo cambios naturales con inercia propia, sino que se trata de cambios que pueden ocasionar extremos térmicos, con varios tipos de peligros para la población a través de *olas de calor*, *olas de frío* o *heladas*.

1.2.2. Motivaciones de contexto actual

Desde hace varias décadas existe una advertencia global sobre la temperatura atmosférica. Por su tendencia constatada al alza, nos encontramos ante la amenaza del calentamiento global, el cual puede acentuar fenómenos meteorológicos extremos como las *olas de calor*, que no sólo se está produciendo en las zonas más cálidas del planeta, llegando incluso a producirse en los casquetes polares.

Además de esta problemática, no puedo ignorar la percepción ciudadana, también recogida en los medios de comunicación. En Barcelona mucha es la gente que expresa cómo siente el calor año a año, incluso hay quien detecta si hace más o menos calor un verano que el anterior. Pero sobre todo, existe una afectación general en los episodios de ola de calor y es que cada vez son más las personas que buscan remedio para combatir el calor en verano. Prueba de ello es el gran aumento de aires acondicionados instalados en las viviendas, vistos con gran frecuencia en los balcones de las fachadas de la ciudad. Lo mismo ocurre con la compra masiva de ventiladores domésticos que se produce cada año en los veranos. Todas estas circunstancias que he observado evidencian que algún

cambio está ocurriendo en esta estación del año, más allá de que seamos una sociedad más consumista que la de hace unas décadas, buscando más comodidades.

1.2.3. Motivaciones personales

En este tipo de motivaciones destaco mi interés concreto en el estudio de las temperaturas así como sus variaciones a lo largo del territorio catalán. Pero también me llena de curiosidad el estudio de los vientos, con su remarcable influencia en las temperaturas y en la humedad relativa.

Pero además recalco que, desde hace años, siempre me ha inquietado la definición popular de normal o no normal en el clima de la ciudad. En estos términos, siento la necesidad de dar una visión más aclaratoria sobre esta cuestión en relación con las temperaturas en la estación cálida.

Y por último, como residente en Barcelona, el disconfort térmico que siento en los veranos de mi ciudad me impulsa a investigar las temperaturas en dicha época del año. Esta incomodidad se ha acrecentado en los últimos diez años, en los que, ya de bien adolescente, me he preguntado si era normal padecer sensaciones térmicas de hasta 40°C. Tal desagrado me ha instado a plantearme incluso mudarme a otro lugar más fresco en verano, siendo consciente de la posibilidad de que se incremente el calor con el paso de los años.

1.3. Objetivos

El objetivo clave en esta investigación es abordar la evolución térmica en la estación más cálida del año en Barcelona, en este caso, bajo una escala temporal amplia. Pero también existen otros objetivos que permitirán describir con mayor concreción dicha evolución térmica, divididos bajo las categorías de generales y específicos.

1.3.1. Objetivos generales

Este tipo de objetivos son los que engloban mi labor del principio hasta el final, estableciendo un hilo conductor entre todos los resultados obtenidos. Se trata de los más abstractos, y de los que, a priori, han impulsado las motivaciones de realizar este trabajo:

- Determinar valores promedio de las temperaturas estivales en estos dos observatorios a través de una serie de datos con gran amplitud temporal para poder explicitar los valores térmicos normales del clima de la ciudad y de sus alrededores en dicha época del año.
- Poder constatar con datos si los veranos barceloneses son más cálidos o no que los de hace unas décadas, a través de tendencias para cada serie de datos.

- Demostrar la relevancia y la utilidad que presentan diversos cálculos climatológicos, derivados de la estadística, para poder describir el clima de un territorio con el paso del tiempo.

1.3.2. Objetivos específicos

Este otro tipo de objetivos describe aquellos que se centran en aspectos concretos de la investigación y que, están orientados para conseguir cumplir con los objetivos generales, aportando información de interés sobre las diferentes cuestiones de la evolución térmica analizada. Pueden resumirse en los siguientes:

- Precisar en cuál de los dos observatorios ha podido variar más la temperatura
- Explicar si la temperatura ha variado más en las horas diurnas que en las horas nocturnas, así como la posibilidad de reducirse o incrementarse la amplitud térmica diaria
- Diferenciar si, en los dos meses más cálidos del verano como son julio y agosto, uno de ellos es apreciablemente más cálido que el otro, o si ha habido una tendencia respecto a esta cuestión. Teniendo en cuenta esta situación, también cabrá determinar si el mes de junio, o el de septiembre, se está asemejando a alguno de ellos.
- Valorar si el mes de septiembre es una continuación del verano barcelonés, así como su evolución a lo largo de los años analizados.
- Como resultado final, poder apreciar una visión orientativa a corto plazo de los valores térmicos que experimentaría el verano barcelonés en caso de continuar la tendencia detectada en los últimos cien años.

1.4. Hipótesis

Una parte de los objetivos de este Trabajo se relaciona con confirmar o descartar ciertas hipótesis acerca del tema de estudio. Las principales hipótesis planteadas son las siguientes:

- a) En un contexto de calentamiento global, la temperatura del área de estudio a investigar debe encontrarse en un proceso de aumento térmico con el paso de los años.
- b) La mayor frecuencia de episodios de olas de calor, produciéndose hasta más de cinco episodios en un mismo verano. Por tanto, cada vez serían menos los veranos en los que no se ha registrado ninguna ola de calor, y menos aún sin ningún pico de calor.
- c) La temperatura mínima, y por consiguiente la temperatura nocturna, es la que debe haber experimentado un mayor aumento en las últimas décadas, no sólo por el efecto de isla de calor.

- d) Que las temperaturas mínimas absolutas de la estación estival, sobre todo las de los meses de julio y agosto, son las que han experimentado un mayor ascenso, dejando de existir valores por debajo de 15°C en toda la ciudad en estos dos meses.

1.5. Área de estudio

La ciudad de Barcelona se encuentra a una latitud algo por debajo de los 41 grados y medio de latitud norte y algo más de 2 grados de longitud este. Situada al noreste de la Península ibérica, es la capital de la comunidad autónoma de Cataluña. Sin valorar su amplia área metropolitana, reside en ella aproximadamente el 20% de la población catalana, aproximadamente 1,66 millones de personas (INE, 2020). Considerando que habitan en tan sólo 101,35 km², se trata de uno de los contextos urbanos más densamente poblados de Europa. Si sumamos todo el continuo urbano de su área metropolitana, la población alcanza más de 5 millones, constituyendo la mayoría de la población catalana. Se trata de la 2ª más importante de España en cuanto a población y actividad económica, teniendo en cuenta también que es una de las ciudades más turísticas del mundo.

Debido a su ubicación geográfica, es una de las ciudades mediterráneas españolas situadas más al norte de la Península, que tiene un clima mediterráneo. De acuerdo con la clasificación climática de Köppen, la ciudad posee un clima del tipo *Csa*, que es el mediterráneo típico con veranos cálidos y secos. No obstante, por su posición noroccidental respecto a la cuenca mediterránea, presenta algunas particularidades. Su occidentalidad define que sus inviernos sean más secos que los del resto de ciudades mediterráneas, y su septentrionalidad, reduce el periodo de sequía estival y mantiene sus temperaturas algo más bajas que el resto del litoral mediterráneo situado más al sur. Todo ello se conoce con precisión porque Barcelona es uno de los puntos de Cataluña que cuenta con amplias series de datos, como las de los observatorios meteorológicos del Fabra y del Aeropuerto del Prat, con hasta 100 años de datos en el primer caso.

Estos dos observatorios meteorológicos, que son los elegidos para este trabajo distan unos diez kilómetros de distancia entre ellos. El Observatorio Fabra es el que se ubica más al norte (41° 25' 06" N, 2° 07' 27" E) y el de El Prat más al sur (41° 17' 34" N, 2° 04' 12" E), con una orientación NNE-SSO entre ellos. Para ser exactos, la orientación del Fabra respecto al aeropuerto es de un azimut de 27° (norte-noreste), e inversamente, la orientación del aeropuerto respecto al Fabra es de un azimut de 207° (sur-suroeste).

El Observatorio Fabra se sitúa al noroeste de la ciudad de Barcelona, justo en la vertiente sur del pico más alto de la sierra de Collserola, que es el Tibidabo (512 m). Este observatorio se encuentra a tan sólo unos cien metros por debajo del pico, a unos 408 metros por encima del nivel del mar. Como se puede intuir, su altitud y su ubicación orográfica pueden variar sus datos meteorológicos de los que se obtienen al nivel del mar. No obstante, este observatorio se encuentra a menos de diez kilómetros

del mar, por lo que tiene una clara influencia marítima al estar en una ladera orientada al mar, frente a la ciudad.

El Aeropuerto del Prat, recientemente llamado Josep Tarradellas, en cambio, como su propio nombre indica, se encuentra en el municipio de El Prat de Llobregat, colindante al de Barcelona. Se sitúa al suroeste de la ciudad, perteneciendo ya a la comarca del Baix Llobregat, pero tan solo a unos siete u ocho kilómetros del límite más suroccidental de la ciudad. Esta cercanía ha permitido que el aeropuerto sea también un punto de referencia en los datos climáticos de la ciudad. Se halla prácticamente al mismo nivel del mar (4 m) y a un kilómetro de la playa.

En definitiva, teniendo en cuenta estas dos ubicaciones, el área de estudio del presente trabajo es toda la parte oeste de la ciudad, delimitada de norte a sur. Sin embargo, los datos climáticos no sólo representan toda la ciudad, sino también una parte del área metropolitana litoral de la ciudad y las vertientes sur de toda la sierra litoral.



Figura 1: Ubicación de Barcelona (estrella negra), dentro de Cataluña, respecto a la Península ibérica y España. En el margen inferior de la derecha, el mapa de situación de España respecto al resto de Europa. (Fuente: HansenBCN)

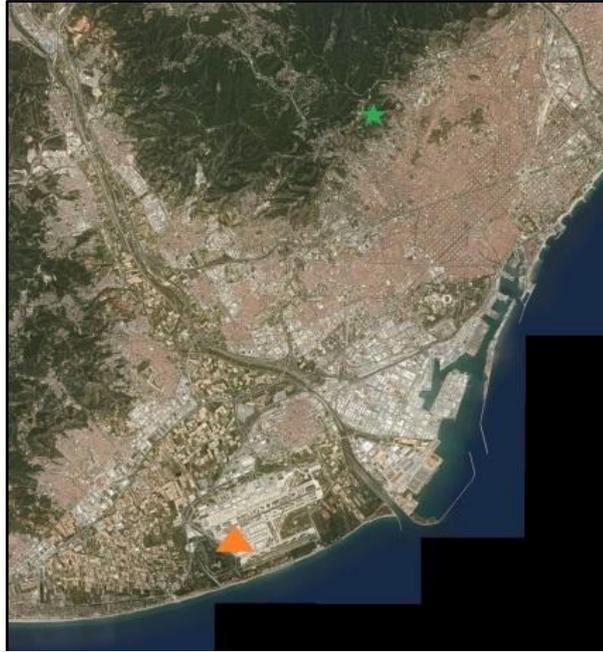


Figura 2: Ubicación de los dos observatorios meteorológicos respecto la ciudad de Barcelona, en la que se contempla la vista aérea de su continuo urbano. La estrella verde (Observatorio Fabra) y el triángulo naranja (Aeropuerto del Prat). (Fuente: Ortofoto 25:000 del ICGC. La ubicación de los dos puntos es elaboración propia mediante la aplicación Paint)

2. MARCO TEÓRICO

Sobre la evolución térmica a nivel mundial se ha investigado mucho, sobre todo, en términos de cambio climático y calentamiento global. Indiscutiblemente, también se ha trabajado dicha cuestión a nivel regional, así como a nivel estatal. Si bien, el estudio más próximo a la escala local, que será la escogida en el presente Trabajo, es el estudio de tendencias del informe BAIC del Servei Meteorològic de Catalunya, que evaluó una serie de índices de temperatura y precipitación del Observatorio Fabra y del Aeropuerto del Prat, ambas por separado y desde el año 1950, además de elaborar una tendencia de la temperatura media de sus veranos.

Javier Sigró junto a otros investigadores (2006), ya constató una cierta tendencia en la temperatura de los veranos catalanes. A pesar de la reducida cobertura temporal de las series de datos que utilizaron (1950 a 1998) detectaron un aumento significativo de las temperaturas máximas, medias y mínimas en esta estación climática. En todo el sector catalán con un patrón climático litoral, el mes de agosto es el que resultó más significativo y de mayor incremento, con un aumento de $0,042^{\circ}\text{C}$ por año en las temperaturas máximas, y de $0,037^{\circ}\text{C}$ por año en las mínimas. Si se compara con el sector catalán más alejado del mar, observaron un mayor aumento de las temperaturas mínimas en el litoral que en los Pirineos, los Prepirineos y el sector septentrional de la Depresión Central. Respecto a las temperaturas máximas, el incremento que constatan es similar, si bien es apreciablemente mayor en el litoral en los meses de agosto, y en cambio, menor y menos significativo en junio. Cabe destacar que en la obtención de

estos datos, dos de los 22 observatorios meteorológicos que Sigró *et al* (2006) analizaron fueron, precisamente, el Observatorio Fabra y el Aeropuerto del Prat, pero tan sólo como parte del cálculo de temperaturas medias del sector con patrón litoral.

En el informe ya mencionado del Servei, cuyos datos llegan hasta 2020, ya se afirma que el verano es la estación anual en que se ha detectado un mayor aumento térmico por década en Cataluña. Concretamente, ha experimentado entre 0,35 y 0,40°C por decenio en todo el territorio catalán (BAIC, 2020). En lo que se refiere al Observatorio Fabra y al Aeropuerto del Prat, el informe muestra como resultados que, en ambos observatorios, la temperatura media del verano se ha incrementado en 0,36°C por decenio en estos 70 años en cuestión. El mismo informe muestra también cómo han aumentado otros índices extremos relativos al verano, como por ejemplo el de los días de verano (su25)², con 5,4 días más por década en el Fabra, y 6,6 en El Prat. Los días de calor (su30)³ han aumentado 4 días por decenio en el Fabra, y 3,4 en el Prat, valores con menor significación que los alcanzados por el índice de los días de verano. A la vez, también constata un alza del índice de días cálidos (TX90p)⁴, con valores de un 3,2% por década en el Fabra, y de un 3,8% en el Prat.

Por otro lado, y como aportación de datos más cualitativos, es de especial utilidad el informe de AEMET publicado en marzo de 2019, donde se analizan las temperaturas medias mensuales entre los años 1981 y 2010 de todos sus observatorios climatológicos españoles, determinando las variaciones térmicas. Describe las temperaturas en función de la posición que ocupan en el percentil de distribución de cada mes, en el caso de situarse más allá del percentil 60 se consideran meses cálidos, y de situarse en un percentil inferior al 40 se consideran meses fríos. Respecto al Aeropuerto del Prat, en lo que se refiere a los meses de junio, julio y agosto, las anomalías cálidas o meses con valores por encima del percentil 60, han aumentado, especialmente, desde el año 2002. Desde entonces, ha habido prácticamente una continuidad de esta anomalía térmica, algo que no ocurre en los otros meses del año. Tan sólo se cuentan algunas excepciones, y todas ellas indican que aquellos meses se situaron en un percentil de normalidad climática (AEMET, 2019).

En cuanto al comportamiento nocturno de las temperaturas, el informe del Servei (BAIC, 2020) constata el alza de las noches tropicales (tr20)⁵. Entre los años 1950 y 2020, existe una tendencia de 4,6 noches tropicales más por década en el Observatorio Fabra, y 5,4 noches más en el Aeropuerto del Prat. En este caso, los dos observatorios

²El índice días de verano (su25) hace referencia a los días en que la temperatura máxima de un lugar es superior a los 25°C (TX>25°C)

³El índice días de calor (su30) hace referencia a los días en que la temperatura máxima de un lugar es superior a los 30°C (TX>30°C)

⁴El índice días cálidos (TX90p) hace referencia al porcentaje de días en que la temperatura máxima que se registra es superior al valor del percentil 90 de todas las temperaturas máximas registradas en ese mismo lugar.

⁵ En un amplio contexto científico, las noches tropicales (NT) (tr20) son aquellas noches en que la T°C mínima alcanzada es igual o superior a los 20°C. (T°C mín. ≥ 20°C). No obstante, existen diversas interpretaciones según el clima que se esté tratando, como la de establecer el umbral por encima de los 23°C (Nastos y Matzarakis, 2008)

son de los más significativos del total de los veinticuatro considerados, liderando el de El Prat como el que más noches ha aumentado. Y por lo que respecta a las noches tórridas (tr_{25})⁶, se han incrementado en 0,2 noches por década en el Fabra, y 0,3 en El Prat, con no muy alta significación. Muchas de estas noches, han superado ampliamente el percentil 90 de sus temperaturas mínimas, incrementándose éstas en más de un 2% por década. En referencia a otro estudio, entre los años 1974 y 2015, de 7 ciudades mediterráneas, Barcelona es la que más ha incrementado sus noches tropicales (NT), con un promedio de 1,7 noches más al año. Entre los mismos años, se ha detectado también un incremento de las noches cálidas (NC)⁷ o *hot nights* en un promedio de 0,51 noches más al año (Royé y Martí, 2016).

En el caso del litoral valenciano, Miró y Estrela (2004) han observado un incremento del número de días de calor persistente⁸ durante los meses de julio y agosto entre 1958 y 2003, siendo éste mayor en el mes de agosto que en el de julio. Aluden así a una tropicalización térmica durante los días estivales. Además, como afirman Sigró *et al* (2006) con Cataluña, en la Comunidad Valenciana también se aprecia un mayor incremento de las temperaturas mínimas en el litoral y en el prelitoral que en el interior, mientras que el ascenso de las temperaturas máximas es menor en el litoral y prelitoral que en el interior (Miró y Estrela, 2004).

Los estudios referidos a la evolución térmica estival a una escala de toda la Península son de especial utilidad para poder comparar la evolución térmica de un lugar concreto con la de su conjunto. En la España peninsular y Baleares la tendencia de la temperatura media de los veranos entre los años 1965 y 2010 es de un incremento de 0,56°C por década. Cifra similar si sólo tenemos en cuenta el periodo desde 1981 que es de 0,52°C por década. Ambos datos ya son significativos al 1% de toda la serie, y además, destacan por ser mayores y más significativos que el resto de aumentos de las otras estaciones del año. Dicho incremento en 45 años tan sólo se asemeja al de la primavera, con 0,50°C por década (Luna Rico *et al*, 2012).

Por otro lado, entre los años 1960 y 2013 se ha detectado un aumento térmico en las temperaturas de los meses de junio, julio y agosto en diversos observatorios españoles,

⁶El índice noches tórridas hace referencia a las noches en que la temperatura mínima de un lugar es superior a los 25°C. ($TN > 25^\circ\text{C}$). Es una situación poco frecuente en la Península, aunque más habitual en la fachada mediterránea y en algunos puntos del interior. Por ese motivo, el informe BAIC sólo evaluó esta tendencia en el Observatorio Fabra y en el Aeropuerto del Prat por lo que respecta a la costa central, y también lo evaluó en la mitad sur de Cataluña, concretamente en su litoral y en una zona cálida de su prelitoral, la Ribera d'Ebre.

⁷ El concepto de *noches cálidas* (NC) (TN_{90p}) tiene amplios significados. Su significado amplio es el referente a las temperaturas mínimas por encima del valor equivalente al percentil 90 de las temperaturas mínimas registradas en cada lugar. El concepto referido, en este caso, es el acuñado por Dominic Royé y Alberto Martí Ezpeleta (2016), que consideran que noches cálidas son aquellas en que en un 40% de las horas nocturnas la temperatura es superior al valor equivalente al percentil 95 de las temperaturas mínimas registradas en cada lugar. De este modo, afirman tener en cuenta la afectación de las altas temperaturas en las primeras fases del sueño de las personas.

⁸El concepto *días de calor persistente*, acuñado por los mismos autores, dista del concepto días de verano (su_{25}), del de días de calor (su_{30}), o del de días cálidos (TX_{90p}). El concepto referido aquí es el empleado por los investigadores Juan Javier Miró y María José Estrela (2004), en que un *día cálido* es aquel en que la $T^\circ\text{C}$ mínima no es inferior a 20°C , a la vez que la $T^\circ\text{C}$ máxima no es inferior a 30°C .

tanto los más cercanos al litoral como otros en el interior de la meseta. Este aumento térmico presenta una velocidad irregular: entre la década 1970-1979 y la 2000-2009, con ciudades como Sevilla, Zaragoza o Madrid con hasta 4°C de diferencia en la temperatura media de junio. Todo ello se debe a que en la década de los 70, las temperaturas medias fueron similares o inferiores a las de los 60. Al abarcar así diversos puntos de la geografía española con climas e influencias climáticas diferentes, se ha descubierto que el calentamiento en el mes de junio ha sido más acusado en las estaciones alejadas del Mediterráneo (Lomas González y Torrijo Murciano, 2020).

En un contexto muy diferente al mediterráneo, y en el otro hemisferio, también se han realizado estudios de tendencia de temperaturas en las últimas décadas. En el caso del Norte Grande chileno, por ejemplo, con temperaturas muy similares a las del clima mediterráneo en buena parte de los meses del año, entre los años 1966 y 2015 se ha detectado un incremento mayor y de más significación en los meses de verano que en el resto de meses del año. Sin embargo, es menor al registrado en la Península ibérica, y más desigual entre distintos puntos de la región. Tal es la desigualdad, que en un observatorio la temperatura se mantiene, y en otro, incluso baja (Meseguer *et al*, 2016).

Además, algunas de las investigaciones señaladas como las de Sigró *et al* (2006) y la de Miró y Estrela (2004) han establecido una estrecha interacción entre el mar y la climatología mediterránea. En el caso del primer autor, unos años después, en otro trabajo vincula más estrechamente esta relación teniendo en cuenta los extremos térmicos que se han registrado en el litoral mediterráneo español en los últimos años (Sigró *et al*, 2012).

Por otro lado, Lomas González y Torrijo Murciano (2020) relacionan las anomalías cálidas y frías de los veranos en la Península con la circulación atmosférica, ya que ésta, principalmente, es la que regula el flujo de viento del norte procedente de latitudes más altas.

3. METODOLOGÍA

La metodología aplicada en este Trabajo ha implicado el empleo de algunas técnicas estadísticas y cuantitativas, como las empleadas de forma similar por otros autores en el análisis de la evolución térmica de otros lugares. Gran parte de los fundamentos teóricos y metodológicos utilizados proceden de los conocimientos adquiridos en las asignaturas de Climatología y Cambio Global, así como la de técnicas estadísticas.

3.1. Obtención de los datos

Como se recalca en los objetivos, es imprescindible disponer de datos de temperaturas medias mensuales de todos estos últimos cien años en verano. Por esta razón, se ha dispuesto de dos series de temperaturas medias (TMm) de los meses de junio, julio y agosto, junto a las de septiembre, del Observatorio Fabra y del Aeropuerto del Prat. Estas dos series están complementadas con las de las temperaturas medias de las

máximas (TXm), las temperaturas medias de las mínimas (TNm), las temperaturas máximas absolutas (TXx) y las temperaturas mínimas absolutas (TNn) de los mismos meses en cada uno de los dos observatorios.

Por el hecho de no tratarse de datos accesibles a través de cualquier página web, ha sido necesario solicitarlos. Cabe matizar que en algunas páginas web como en *tutitempo.net* se pueden consultar los datos promedio de cada mes en el Aeropuerto del Prat, pero tan sólo desde 1973, siendo insuficiente para cubrir toda la serie de datos. Lo mismo ocurre con los datos de series climáticas mensuales de temperatura y precipitación que ofrece el Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), cuyo inicio de la serie es en 1950, a pesar de que en este caso se dispone de datos de los dos observatorios.

Dadas estas circunstancias, ha sido necesario conocer qué organismo gestiona los datos de los dos observatorios en la actualidad, para poder solicitarlos a la Reial Acadèmia de Ciències i Arts de Barcelona (RACAB), en el caso del Observatorio Fabra y a la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), en el caso del Aeropuerto del Prat. En el primer caso, los datos fueron importados en un archivo del software Microsoft Excel, con la totalidad de la serie. En el segundo caso, en cambio, los datos fueron importados en un bloc de notas desde el año 1924. En cuanto a la fiabilidad de todos ellos, los dos organismos hacen constar que son datos que se encuentran sometidos a un control de calidad y a un proceso de homogenización constante.

A diferencia de los habituales estudios de evolución térmica, no solamente se han obtenido los datos de temperatura media. Esto es así porque, a la hora de poder describir un clima, las temperaturas de las medias de las máximas y de las medias de las mínimas ofrecen mayor detalle sobre el comportamiento de las temperaturas a largo de las jornadas, así como sobre la amplitud térmica diaria que suele darse. Así, con todas ellas, se puede determinar si ha habido una tendencia especial en las temperaturas que se registran en un momento determinado del día. Si se valoran únicamente las temperaturas medias mensuales y la media estacional, el análisis sería demasiado genérico e insuficiente para analizar una evolución térmica completa. Una metodología muy similar ha sido sugerida por Miró y Estrela (2004), entre otros, sirviendo como modelo.

Se han obtenido, además, los datos de septiembre pese a no considerarse un mes del verano meteorológico. Esto se debe a que entre 21 y 22 de los 30 días del noveno mes del año pertenecen aún al verano astronómico, a su registro de temperaturas todavía cálidas como suele ser usual en todos los climas mediterráneos, a la existencia de días con temperaturas típicas de julio o de agosto y al predominio de noches tropicales en buena parte del mes en Barcelona. Y como motivo adicional, no menos importante que el resto, la calidez, también, de la temperatura del mar. La temperatura media del mar en superficie en el mes de septiembre en la costa catalana (1973-2017) oscila entre valores como los de mediados de julio a finales de junio, como indican, por ejemplo, los datos tomados en L'Estartit por el ingeniero técnico agrícola Josep Pascual. También existen datos en la misma playa de la Barceloneta de Barcelona, tomados por el meteorólogo

Diego Lázaro, aunque sólo desde el año 2006, que certifican, no obstante, la misma situación que los de L'Estartit, al tratarse del mismo mar. Por tanto, septiembre es un mes clave para determinar la prolongación de los veranos y por ello se ha incluido también en el análisis.

3.2. Tratamiento de los datos

Disponiendo de los archivos principales de fuentes de datos para realizar el trabajo, se ha procedido al tratamiento de los mismos, con el formato del software Excel. El objetivo de dicho tratamiento es conseguir unos resultados, con unos valores promedio, que permitan interpretar la serie en su conjunto.

Hay que advertir que la serie de datos del Aeropuerto del Prat se encuentra muy recortada y no puede calcularse desde 1921, existiendo constantes interrupciones de datos de temperatura de 1924 a 1944, con lagunas frecuentes en los cuatro meses analizados. Por esta razón, la serie de datos continuos se inicia en 1944 con la excepción del mes de agosto, al hallarse de nuevo en dicho mes otra laguna de datos en 1949. A pesar de ello, la serie del Aeropuerto del Prat llega a cubrir más del 70 por cien de la serie de datos necesarios y se ha considerado apta para comparar sus datos con los del Observatorio Fabra. Esta comparación se realizará únicamente en el periodo 1944-2020 en junio, julio y septiembre, y en el periodo 1950-2020 en agosto. También es una serie apta para hallar tendencias, aunque de carácter reciente, y por tanto no se han podido comparar con las tendencias de cien años del Fabra. Para compararlas, se ha acotado el periodo de años del Fabra a los de datos continuos de El Prat. El fin que persigue esto último es evitar la distorsión de las lagunas de datos. Sin embargo, los datos dispersos del Aeropuerto del Prat entre 1924 y 1944 (1950 en agosto) han sido valorados a la hora de calcular los promedios de las series y de analizar los extremos de registros, ya sean de temperaturas medias, de temperaturas absolutas, o de anomalías térmicas.

Con tal de analizar con precisión las temperaturas medias seleccionadas, así como detectar una evolución a simple vista, se ha calculado la media de éstas por décadas. Pero a pesar de dar una visión aproximada de los años más cálidos, en muchas ocasiones, las variaciones térmicas que se producen dentro de una década pueden restar representatividad del valor medio de dicha década. Por esa razón, se han calculado también las temperaturas medias móviles en periodos de 5 años. Este último cálculo permite conocer con mayor precisión cuáles fueron los cinco años más cálidos y los cinco menos cálidos de la serie, con menor distorsión que el cálculo por décadas. Se asume que estos cinco años pueden no presentar un valor térmico medio coincidente con el valor térmico de su década.

Respecto al cálculo de promedios o valores normales, relacionados con el concepto de media climática, se ha escogido el máximo número de años posible hasta contar los cien (1921-2020 en el Fabra y 1924-2020 en El Prat), ya que es la escala temporal que interesa. No obstante, ya deduciendo que sería una tendencia de cambio térmico, también se ha segmentado la serie en dos promedios más: 1921-1990 o 1924-1990 (El

Prat) y 1991-2020, con un fin comparativo. La obtención de estos promedios ha resultado especialmente interesante para la representación de la evolución de las temperaturas medias. De los veranos, y de cada mes, se ha representado gráficamente la evolución de sus temperaturas medias respecto al promedio de la serie analizada en cada observatorio. Acto seguido, se han representado las anomalías térmicas que presentan estas temperaturas medias respecto al promedio de la serie, y respecto a los dos periodos segmentados de la serie. Para evitar una falta de compresión en la evolución térmica con los datos de El Prat, se ha representado su serie continua de datos, que se inicia en 1944 en todos los meses, salvo agosto, que es en 1950. Por consiguiente, en la representación gráfica por décadas, sólo se ha representado la década 1940-1949 si ésta contiene al menos seis de los diez datos de temperatura media.

En numerosos estudios, se indican como valores climáticos normales los de los promedios de los últimos treinta años. En este caso, se ha asumido que para entender un valor normal de un clima se debe obtener el máximo número de años posible, puesto que los valores más recientes pueden no ser representativos del clima a investigar, y menos lo son si éste presenta una tendencia variable. En todo caso, es importante tener en cuenta el clima de los últimos treinta años, ya que según los criterios de la Organización Meteorológica Mundial, esta cifra de años es la mínima cobertura temporal para definir los valores normales de un clima, aunque recientes. Además, en los datos analizados, los cambios detectados se han empezado a contemplar a partir de la década de los noventa.

El cálculo de las temperaturas medias de los veranos en cada observatorio ha sido el paso inicial del tratamiento de los datos porque era necesario realizarlo antes de proceder a calcular las diferencias entre las temperaturas medias de cada observatorio.

La temperatura media de cada verano se ha obtenido calculando el promedio resultante de todos los valores de temperatura media de los meses de junio, julio y agosto. Como se puede intuir, es el índice térmico primordial en este Trabajo, a través del cual se ha podido averiguar el resto de resultados del Trabajo, incluso confirmando parte de las hipótesis.

En este cálculo no se han incluido las temperaturas medias de cada septiembre puesto que estos valores se utilizarían para determinar la temperatura media de los otoños. Como inconveniente, en consecuencia, no se valorará el periodo completo de jornadas veraniegas al año, eludiendo también las que se han producido algunos años en mayo.

Como un paso previo al análisis de las series y a la concreción de sus promedios, se han valorado también las diferencias entre las temperaturas medias de los dos observatorios. Previamente, esto ha ayudado a definir si existen grandes diferencias entre los dos observatorios, aunque previamente se asuma que son del mismo clima. La justificación de haber realizado este paso también reside en la importancia de conocer inicialmente en qué observatorio los veranos son más cálidos, o en cuál lo son menos.

Bajo la hipótesis de que los valores de temperatura media normalmente son más altos en el Aeropuerto del Prat que en el Observatorio Fabra, debido, sobre todo, a las características geográficas y de emplazamiento, la diferencia entre los dos observatorios se ha calculado de El Prat respecto al Fabra (de haber invertido el orden, la mayoría de las diferencias hubieran sido negativas). Esto último habría dificultado más la lectura de diferencias entre ambos observatorios. Y como en todos los datos comparativos entre los dos observatorios empleados en este trabajo, el periodo de años que se ha analizado es el de la serie continua de El Prat. Se han valorado los cinco años con menor y mayor diferencia, así como los que no hubo diferencia o ésta fue prácticamente inapreciable (0,1°C).

Una vez conocidas las diferencias entre ambos observatorios, se ha procedido a evaluar cuál de los dos meses centrales del verano es más cálido cada año. Este procedimiento cobra especial importancia al existir tan poca diferencia térmica entre los dos meses en el clima de la ciudad. De esta forma, se ha establecido determinar que un mes tiene mayor predominio que el otro si éste es más cálido en el 60% o más de los años de la serie.

Por último, cabe destacar que se ha determinado el valor de la temperatura media conjunta de los meses de julio y agosto para compararla con el mes que les antecede (junio) y el que les sucede (septiembre). De esta manera se ha podido establecer si junio y septiembre están alcanzando o no los valores de julio y agosto con el paso del tiempo, siguiendo la metodología sugerida por Lomas González y Torrijo Murciano (2020).

3.3. Cálculo de tendencias

Posteriormente, tras la obtención de toda esta serie de índices térmicos, y una vez vista la evolución de los datos de las series analizadas, se ha determinado la tendencia para cada uno de ellos, sobre todo, cuantificándola y expresando su significación.

En cuanto a los índices térmicos que se han tenido en cuenta para determinar una tendencia son las temperaturas medias de los veranos y las de cada mes (TMm), las temperaturas medias de las máximas de cada mes (TXm) y las temperaturas medias de las mínimas de cada mes (TNn). Pero, en esta ocasión, también se ha determinado la tendencia de las temperaturas máximas absolutas (TXx) y las temperaturas mínimas absolutas (TNn) de cada mes de la serie, para determinar si también ha existido variación en los datos térmicos extremos registrados cada verano. Con la intención de detectar si las dos series analizadas han presentado simultaneidad en este incremento térmico, también se ha hallado la correlación de Pearson entre las dos. No se ha determinado en las temperaturas absolutas, puesto que éstas normalmente presentan mucha más variación que las temperaturas medias.

La metodología para obtener las tendencias en el presente trabajo se basa únicamente en el test no paramétrico de Mann-Kendall (Mann, 1945; Kendall, 1975) en su versión monótona anual. En este caso, existe un número de muestras muy elevado, de 100

datos referentes al Observatorio Fabra, y entre 71 y 77 al Aeropuerto del Prat. Por este motivo, se ha procedido a utilizar el test estadístico Z para la detección de tendencias, el cual indica si la tendencia es positiva o negativa. En un modo informático, para realizar estos cálculos se ha empleado el programa MAKESENS 1.0, impulsado por el Instituto Meteorológico de Finlandia (ampliamente conocido por sus siglas FMI, Finnish Meteorological Institute, en inglés). Este programa, adaptado al software Microsoft Excel, ofrece además las cifras de aumento o decrecimiento mediante el cálculo de la pendiente de Sen (Sen, 1968).

Cabe añadir que se ha considerado que el test de Mann-Kendall es el más adecuado para poder evaluar la tendencia de una serie de temperaturas al darse dos circunstancias típicas para la realización de este test (Salmi *et al*, 2002): la hipótesis de una tendencia monótona y la carencia de ciclos estacionales en los datos.

En cuanto a la significación de tendencias, aunque éstas sean positivas o negativas, pueden ser más o menos confiables. Es por ello que, acorde con los parámetros que se establecen en el manual de instrucciones del programa MAKESENS, esta significación obtiene un calificativo y un icono de significación. Estos parámetros dependen del nivel de confianza de la tendencia, que se resumen en los siguientes:

- Un nivel de confianza menor al 90%: significación dudosa y no aparece representada con ningún signo.
- Un nivel de confianza del 90%: significación aceptable y se representa con el signo (+).
- Un nivel de confianza del 95%: significación buena y se representa con el signo (*).
- Un nivel de confianza del 99%: significación muy buena y se representa con el signo (**).
- Un nivel de confianza del 99,9%: significación excelente y se representa con el signo (***). Es el máximo grado de significación, ya que no existe una significación perfecta.

4. RESULTADOS

Una vez empleada la metodología, se obtienen toda una serie de resultados. Estos resultados, en el proceso de tratamiento de los datos, se han clasificado por su tipología. Ésta última ha quedado definida bajo tres categorías: cálculos de contexto climático, análisis de las series: cálculos de promedios, anomalías y temperaturas medias móviles, y cálculos de tendencias. En los resultados referentes a datos promedio, y a la obtención de tendencias, se analizarán simultáneamente los datos del Observatorio Fabra y los del Aeropuerto del Prat.

En detectarse una tendencia de cambio en los datos analizados, se ha optado por emplear la metodología añadida. En este caso, resulta claramente más cálido el periodo

(1991-2020) que el restante de la serie, el (1921-1990) o (1924-1990). Así pues, también aparecen como resultados las anomalías sólo de temperatura media respecto al primer periodo (periodo fresco), y al segundo y más reciente (periodo cálido).

4.1. Cálculos de contexto climático: diferencias térmicas entre los dos observatorios y diferencias entre las temperaturas medias de los meses analizados en cada serie

Estos resultados derivan de una serie de sencillos cálculos que se han realizado con las series de datos importadas, marcando el punto de partida inicial al análisis de las series.

4.1.1. Diferencia de las temperaturas medias de los meses de junio, julio, agosto y septiembre y de las temperaturas medias de los veranos entre los dos observatorios. Periodos 1944-2020 y 1950-2020.

Teniendo en cuenta los datos promedio obtenidos, las diferencias térmicas de las temperaturas medias de los tres meses veraniegos y las de septiembre entre los dos observatorios se sitúan entre los 0,1°C y los 1,2°C. En consecuencia, las diferencias entre las temperaturas medias de los veranos presentan un promedio de entre 0,3 y 0,4°C, algo lejos del valor de septiembre. Estos hechos confirman que en verano se registran temperaturas muy similares tanto en el Observatorio Fabra como en el Aeropuerto del Prat. Teniendo en cuenta, además, que ambos observatorios son cercanos al mar, es de suponer que no presentan una gran amplitud térmica diaria y, por tanto, las temperaturas máximas y las temperaturas mínimas tampoco destacan por ser diferentes.

Por lo que respecta al mes de junio, el promedio de diferencias entre las temperaturas medias entre los años 1944 y 2020 es de 0,21°C. Es por ello que han existido algunos años en los que solamente se ha experimentado tan sólo 0,1°C de diferencia térmica, tanto positiva como negativa, como es el caso de los años 1954, 1962, 1964, 1978, 1983 y 2000. No obstante, existen grandes variaciones entre todos los años, alcanzando en muchos casos una diferencia negativa del Aeropuerto del Prat respecto al Observatorio Fabra, concretamente en veintisiete años, ocho de los cuales con una diferencia igual o menor a -1°C. El valor mínimo es de -2,3°C en el año 2002. (Tabla 1)

	T°C media junio Fabra	T°C media junio El Prat	Diferencia (T°C)
2002	22,3	20	-2,3
2001	21,9	20	-1,9
1976	22,8	21,3	-1,5
1970	21,1	19,9	-1,2
1945	22,3	21,2	-1,1

Tabla 1: Años con las mayores diferencias negativas entre las temperaturas medias de junio de El Prat con las del Observatorio Fabra

Sin embargo, existe una mayoría de años, cincuenta, con mayor valor térmico en El Prat que en El Fabra (Figura 3). Doce de todos estos años con diferencia positiva presentan una igual o mayor a 1°C; si se aprecian los datos anteriores a 1944, se suman tres años más con diferencia positiva en El Prat y uno con diferencia negativa (Figura 4). Es entonces cuando se encuentran los tres años con mayor diferencia positiva de toda la serie (1925-1927), con valores entre 2,3 y 3,1°C, perteneciendo este último a 1926 (Tabla 2).

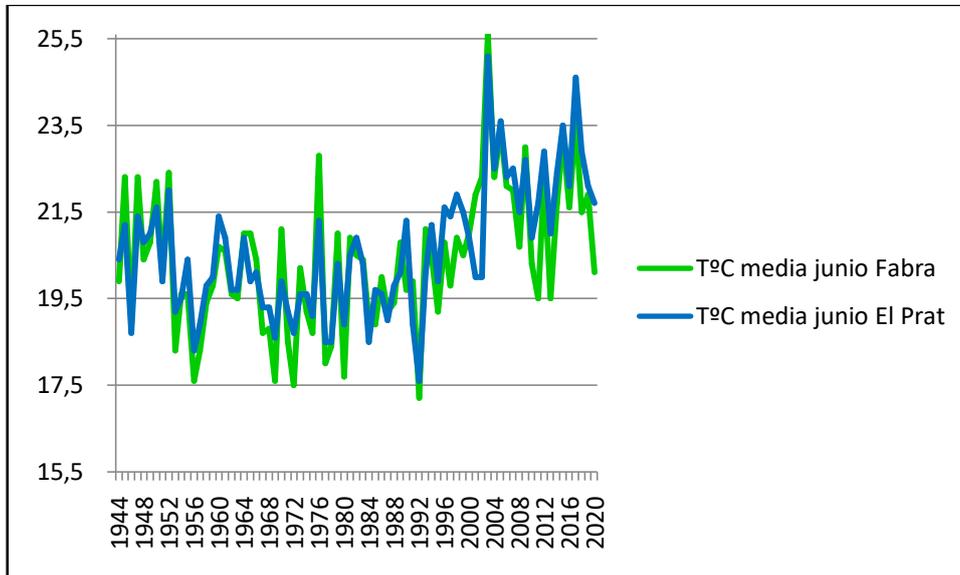


Figura 3: Gráfico con las temperaturas medias de junio del Observatorio Fabra y las de El Prat (1944-2020).

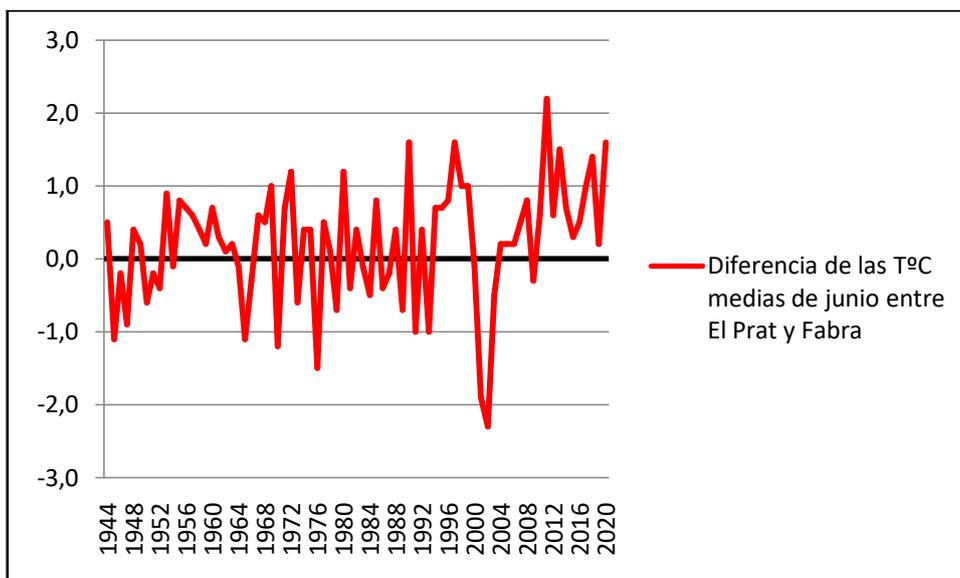


Figura 4: Gráfico con las diferencias térmicas entre las temperaturas medias de junio de El Prat con las del Observatorio Fabra (1944-2020).

	T°C media junio Fabra	T°C media junio El Prat	Diferencia (T°C)
1926	18,8	21,9	3,1
1927	19,9	22,4	2,5
1925	21,1	23,4	2,3
2011	19,5	21,7	2,2
1990	19,7	21,3	1,6

Tabla 2: Años con las mayores diferencias positivas entre las temperaturas medias de junio de El Prat con las del Observatorio Fabra.

El mes siguiente, julio, es el que en promedio existe menor diferencia térmica entre los dos observatorios, con unos escasos 0,11°C, entre 1944 y 2020. En este caso, cabe recalcar que en julio de 1951 no existe diferencia alguna entre las temperaturas medias de ambos observatorios (Figura 5), además de algunos años en que la diferencia es de tan sólo de una décima de grado, como en los años 1956, 1970, 1980, 1993, 1995, 2006 y 2013. Así pues, existen diferencias negativas en treinta y dos años de la serie, ocho de los cuales con una diferencia igual o menor de -1°C. El que más destaca es el año 2001, con un valor de -1,5°C, empatando con el año 1924 (Tabla 3).

	T°C media julio Fabra	T°C media julio El Prat	Diferencia (T°C)
1924	23,2	21,7	-1,5
2001	23,7	22,2	-1,5
1979	24,1	22,7	-1,4
1991	23,9	22,7	-1,2
2002	22,9	21,7	-1,2

Tabla 3: Años con la mayor diferencia negativa entre las temperaturas medias de julio de El Prat con las del Observatorio Fabra.

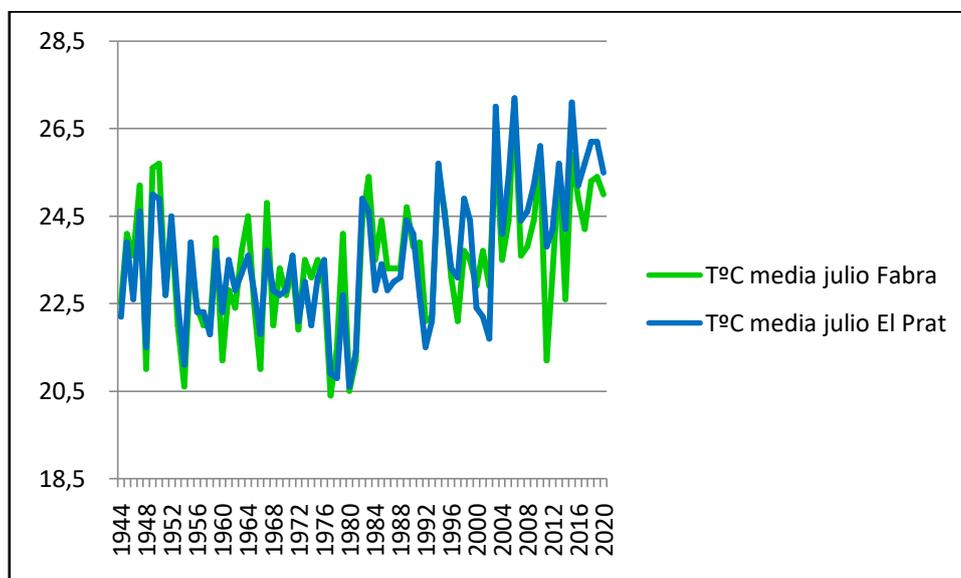


Figura 5: Gráfico con las temperaturas medias de julio del Observatorio Fabra y las de El Prat (1944-2020).

En cambio, existen otros cuarenta y cuatro años con una diferencia positiva, nueve de los cuales presentan una diferencia igual o mayor a 1°C (Figura 6). Valorando los años previos a 1944, se obtienen tres años más con diferencia positiva en El Prat y dos de negativa. Se hallan, de nuevo, los años con mayor diferencia positiva (1925-1927), de entre 2,4 y 3,3°C. Este último valor pertenece al de 1926 (Tabla 4).

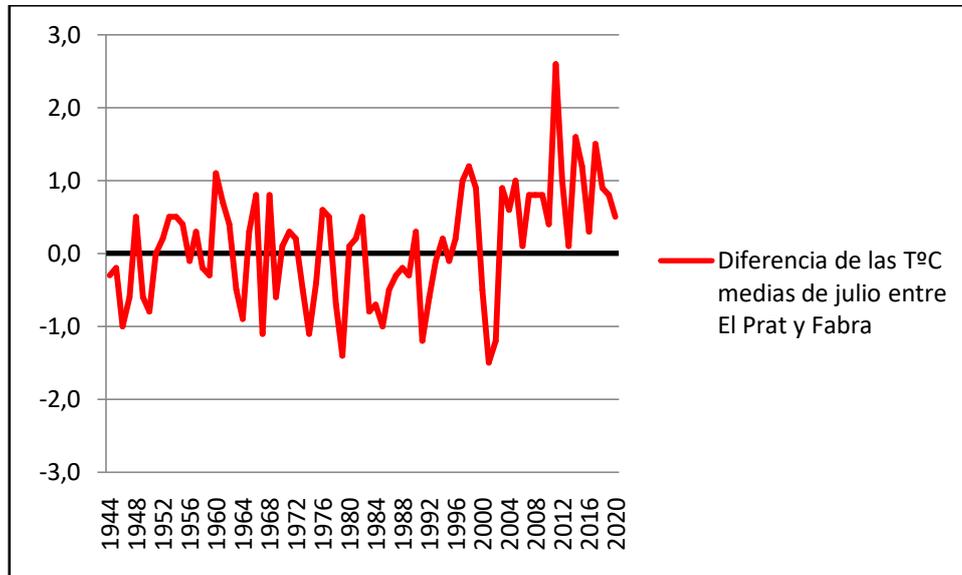


Figura 6: Gráfico con las diferencias térmicas entre las temperaturas medias de julio de El Prat con las del Observatorio Fabra (1944-2020).

	T°C media julio Fabra	T°C media julio El Prat	Diferencia (T°C)
1926	21,7	25	3,3
1925	21,5	24,7	3,2
2011	21,2	23,8	2,6
1927	22,6	25	2,4
2014	22,6	24,2	1,6

Tabla 4: Años con la mayor diferencia positiva entre las temperaturas medias de julio de El Prat con las del Observatorio Fabra

En cuanto al octavo mes del año, agosto, el promedio de diferencias entre 1950 y 2020 es algo mayor que los anteriores, con 0,66°C. En este sentido, el número de años con una diferencia negativa es menor, de once años, y tan sólo uno de ellos presenta una diferencia menor a -1°C. En los otros cincuenta y nueve años de la serie, la diferencia es positiva, siendo igual o mayor a 1°C en veinticinco de ellos. No en vano, siguen existiendo años con apenas una décima de grado de diferencia, como ocurrió en los años 1975, 1984 y 1992, además de existir un par de años (1993 y 2009) sin diferencia térmica (Figuras 7 y 8). El año con mayor diferencia negativa es el 2001 con -1,4°C (Tabla 5). Al ampliar la serie de datos con los anteriores a 1950, se suman ocho años más de diferencia positiva y dos de diferencia negativa. En este caso, las diferencias positivas que se encuentran entre los años 1925 y 1927 son prácticamente iguales a

otras que se dan en el resto de la serie. El año con mayor diferencia de este tipo sigue siendo 1926, con 2,4°C, pero con un escaso margen en relación al año 1982, con 2,3°C (Tabla 6).

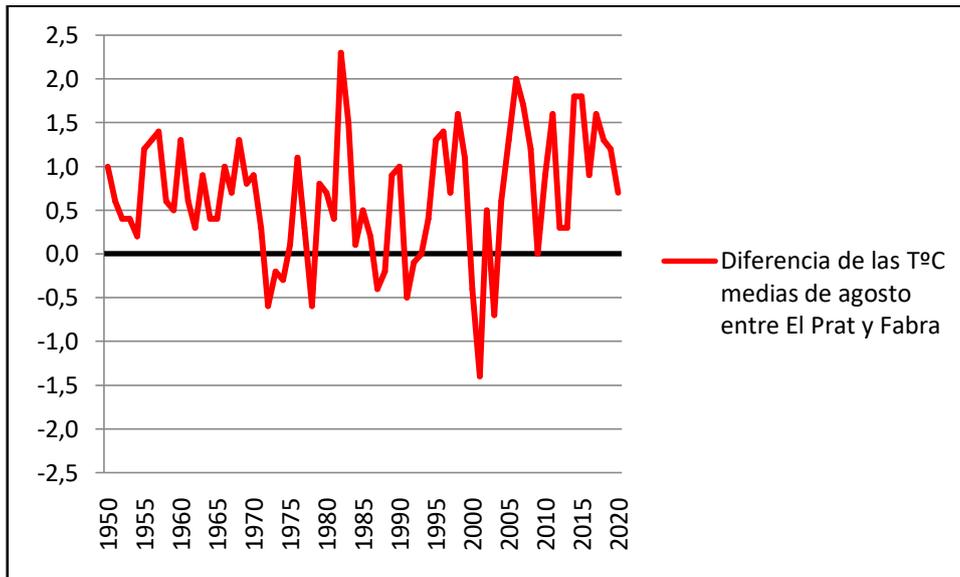


Figura 7: Gráfico con las diferencias térmicas entre las temperaturas medias de agosto de El Prat con las del Observatorio Fabra (1950-2020).

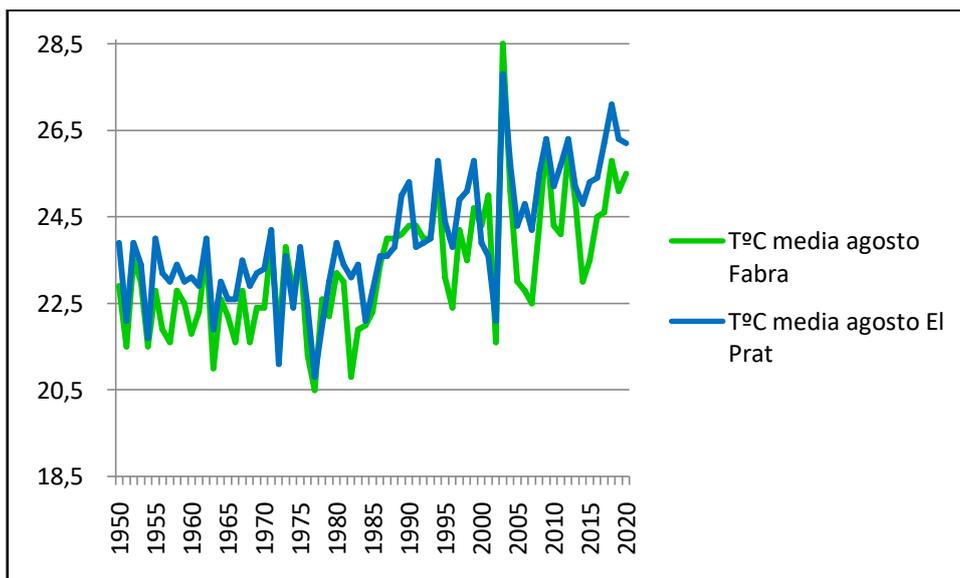


Figura 8: Gráfico con las temperaturas medias de agosto del Observatorio Fabra y las de El Prat (1950-2020).

	T°C media agosto Fabra	T°C media agosto El Prat	Diferencia (T°C)
2001	25,0	23,6	-1,4
1944	24,2	23,1	-1,1
1947	24,9	24,1	-0,8
2003	28,5	27,8	-0,7
1978	22,6	22	-0,6

Tabla 5: Años con la mayor diferencia negativa entre las temperaturas medias de agosto de El Prat con las del Observatorio Fabra

	T°C media agosto Fabra	T°C media agosto El Prat	Diferencia (T°C)
1926	22,8	25,2	2,4
1982	20,8	23,1	2,3
1925	22,6	24,8	2,2
1927	23,2	25,3	2,1
2006	22,8	24,8	2,0

Tabla 6: Años con la mayor diferencia positiva entre las temperaturas medias de agosto de El Prat con las del Observatorio Fabra

Una vez ya analizados los 3 meses de verano por separado, cabe contemplar ahora las temperaturas medias de los veranos. Al obtener los valores promedio de los tres meses anteriormente analizados, las diferencias son algo distintas. El promedio de diferencias entre los años 1950 y 2020 se sitúa en los 0,35°C. En este caso, existen diecinueve veranos con diferencia negativa respecto al Observatorio Fabra, liderando el del año 2001 con 1,6 grados menos. Dos de estos diecinueve meses presentan una diferencia negativa igual o menor a -1°C (Tabla 7). Al mismo tiempo, existen diversos veranos en los que la diferencia es prácticamente inapreciable (en torno a 0,1°C), o en el caso de 1988, en el que no existe diferencia alguna. En el verano de 1975 y de 1989 tan sólo se registró 0,03°C de diferencia entre las temperaturas medias de ambos observatorios. En los veranos de 1950, 1951, 1959, 1965, 1967, 1975, 1976, 1981, 1985, 1992 y 2003 tan sólo existe aproximadamente una décima de diferencia. Por lo respecta a las diferencias positivas, ocurren en cincuenta y un años de la serie, once de los cuales con una diferencia igual o mayor a 1°C (Figura 9).

	T°C media veranos Fabra	T°C media veranos El Prat	Diferencia (T°C)
2001	23,53	21,93	-1,60
2002	22,27	21,27	-1,00
1991	22,70	21,8	-0,90
1973	22,50	22,07	-0,43
1979	22,43	22	-0,43

Tabla 7: Años con la mayor diferencia negativa entre las temperaturas medias de los veranos de El Prat con las del Observatorio Fabra

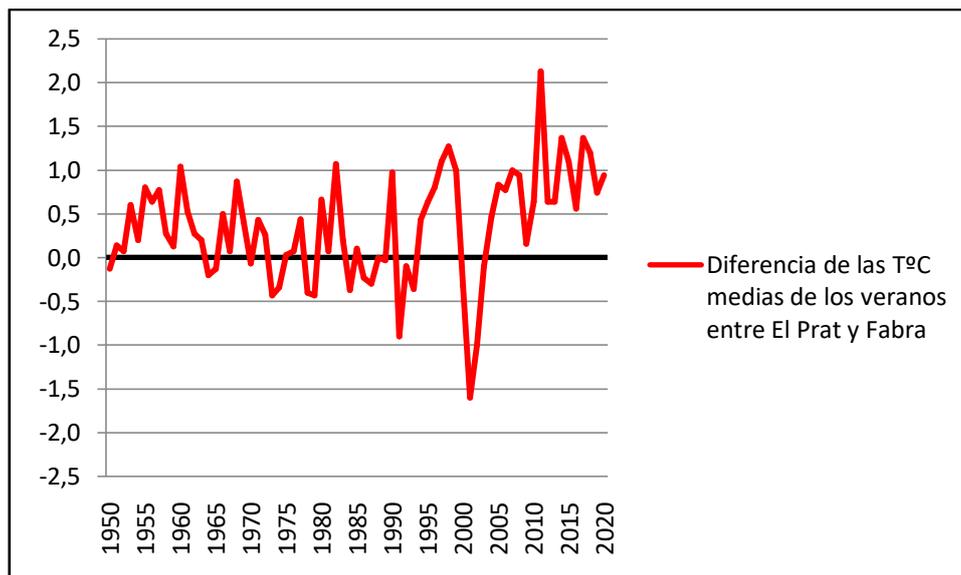


Figura 9: Gráfico con las diferencias térmicas entre las temperaturas medias de los veranos de El Prat con las del Observatorio Fabra (1950-2020).

Sin embargo, ampliando las temperaturas medias del verano existentes antes de 1950, se obtienen cuatro años con diferencias positivas, uno de una diferencia casi nula (1946, con $-0,03^{\circ}\text{C}$), y otros cuatro años con diferencia positiva (Figura 10). En cuanto a estos últimos, ocurre algo similar que con junio y julio, con mayor temperatura en El Prat en los tres años 1925, 1926 y 1927. Destaca 1926, con $2,93^{\circ}\text{C}$ grados más que en el Observatorio Fabra (Tabla 8).

	T°C media verano Fabra	T°C media verano El Prat	Diferencia (T°C)
1926	21,10	24,03	2,93
1925	21,73	24,30	2,57
1927	21,90	24,23	2,33
2011	21,60	23,73	2,13
2014	22,43	23,80	1,37

Tabla 8: Años con la mayor diferencia positiva entre las temperaturas medias de los veranos de El Prat con las del Observatorio Fabra

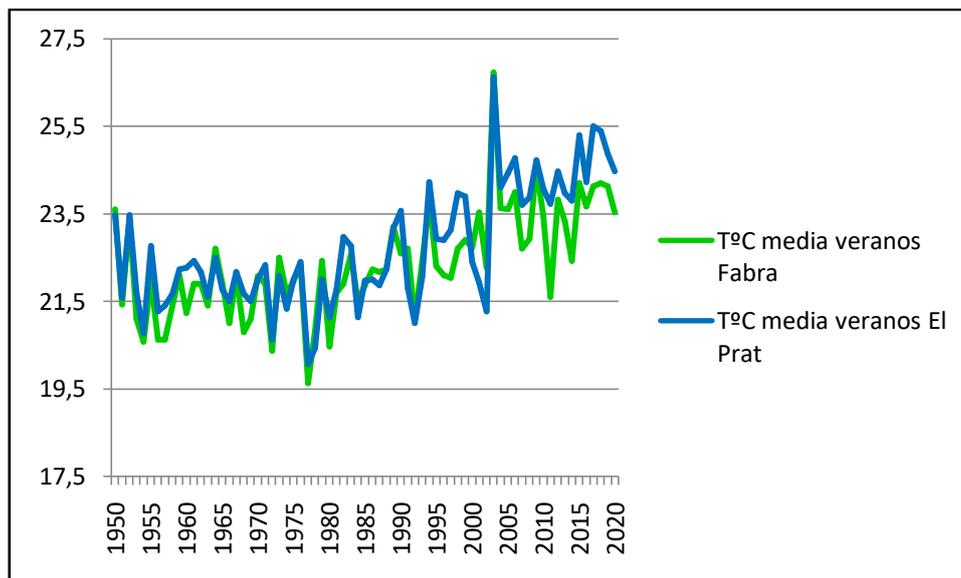


Figura 10: Gráfico con la temperatura media de los veranos del Observatorio Fabra y las de El Prat (1950-2020).

Justo después del verano meteorológico, en el mes de septiembre, aumentan las diferencias entre los dos observatorios. En este caso, el valor promedio de diferencias entre los años 1944 y 2020 ya supera el grado de diferencia, con 1,2°C a favor de El Prat. Por esta razón, tan sólo existen 4 años de la serie con una diferencia negativa, que en ambos casos no superan las dos décimas de grado, como sucede en el año 1987 (-0,2°C) (Tabla 9). Tan sólo existen cuatro años con una diferencia de una décima de grado, los años 1978, 1985, 2000 y 2001, los tres últimos con la décima a favor del Fabra, y valorados a su vez como años de diferencia negativa.

	T°C media septiembre Fabra	T°C media septiembre El Prat	Diferencia (T°C)
1987	23,5	23,3	-0,2
2000	21,0	20,9	-0,1
2001	19,6	19,5	-0,1
1985	22,4	22,3	-0,1

Tabla 9: Años de la serie con diferencia negativa entre las temperaturas medias de septiembre de El Prat con las del Observatorio Fabra

Por otro lado, existe una mayoría amplísima de años con una diferencia positiva, 73 de 77, con tres años en los que se superan los 2°C de diferencia, incluso hasta 3,0°C (como los 3,6°C del año 2004). En cincuenta y tres de estos setenta y tres años de que consta la serie existen diferencias iguales o mayores a 1°C. Ampliando la serie con datos anteriores a 1944, los cinco años que se suman son de diferencia positiva. (Figuras 11 y 12). En este caso, se vuelve a confirmar el liderazgo de diferencia positiva entre los años 1925 y 1927, con valores superiores a los 3°C. Aunque el valor más alto es equivalente al de 2004, con 3,6°C en 1926 (Tabla 10).

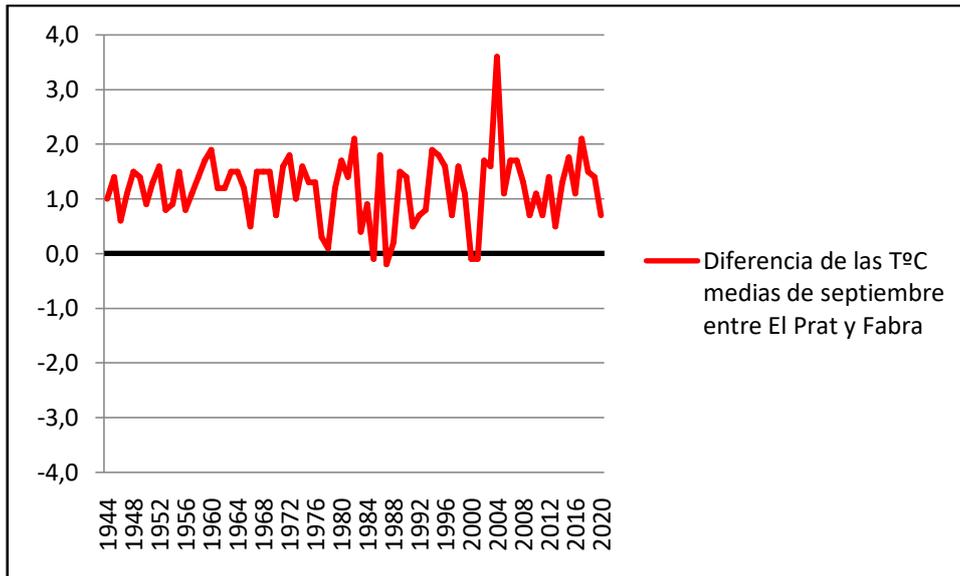


Figura 11: Gráfico con las diferencias térmicas entre las temperaturas medias de septiembre de El Prat con las del Observatorio Fabra (1944-2020)

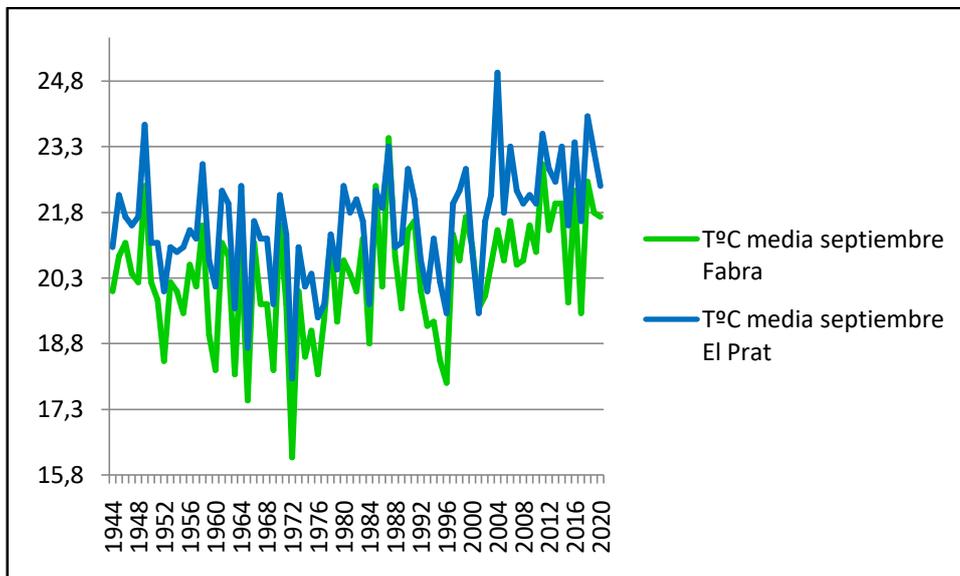


Figura 12: Gráfico con las temperaturas medias de septiembre del Observatorio Fabra y las de El Prat (1944-2020)

	T°C media septiembre Fabra	T°C media septiembre El Prat	Diferencia (T°C)
2004	21,4	25	3,6
1925	18,3	21,9	3,6
1926	21,9	25,1	3,2
1927	19,7	22,8	3,1
1982	20,0	22,1	2,1

Tabla 10: Años de la serie con diferencia positiva entre las Temperaturas medias de septiembre de El Prat con las del Observatorio Fabra

4.1.2. Diferencia entre las temperaturas medias de julio y agosto. Determinación del mes más cálido en cada serie

En esta parte del análisis se ha procedido al cálculo de la diferencia entre las temperaturas medias del mes de julio y del mes de agosto, así como la determinación del mes más cálido en cada una de las series correspondientes a los dos observatorios.

Observatorio Fabra

En los 100 años de datos que se han recopilado, existe una alternancia prácticamente idéntica entre los meses de julio y agosto al revelarse como el mes más cálido del año. En concreto, en 52 años el mes de julio ha sido el más cálido, y en 48, lo ha sido agosto (Figura 13).

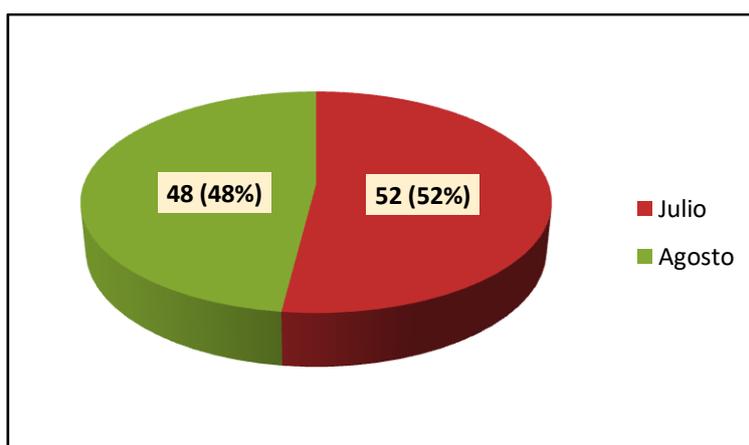


Figura 13: Gráfico con el número de meses de julio y de agosto como los más cálidos del año en la serie analizada del Observatorio Fabra (1921-2020).

Además, existe una escasa variación entre las temperaturas medias de los dos meses, con un valor promedio de $0,14^{\circ}\text{C}$ a favor de los meses de julio. En la mayoría de años la diferencia es menor a 1°C , pero también existen algunos años con diferencias importantes. Es el caso del año 2006 con una diferencia de $4,1^{\circ}\text{C}$ entre los dos meses a favor de julio o, a la inversa, los $3,8^{\circ}\text{C}$ a favor de agosto en el año 1932 (Figura 14).

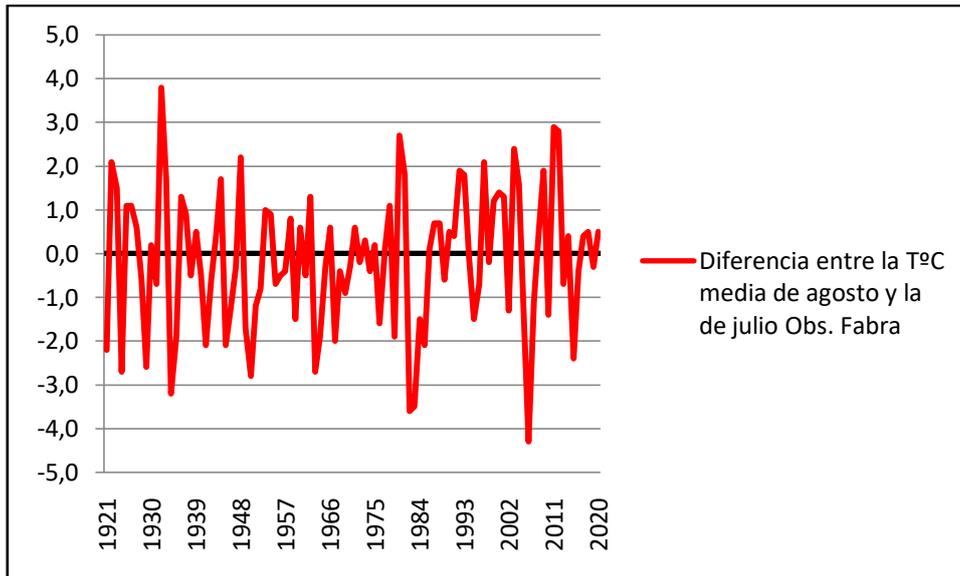


Figura 14: Gráfico con la diferencia térmica entre las temperaturas medias de agosto con las de julio en la serie analizada del Observatorio Fabra (1921-2020).

Aeropuerto del Prat

En 71 años de datos (1950-2020) que se han podido comparar, existe un mayor predominio del mes de agosto como el más cálido que de julio. En 48 años, agosto fue el mes más cálido, representando el 67,61 % de todos los meses de agosto la serie, mientras que, en 23 años fue más cálido el mes de julio, representando el 32,39% de todos los meses de julio de la serie (Figura 15).

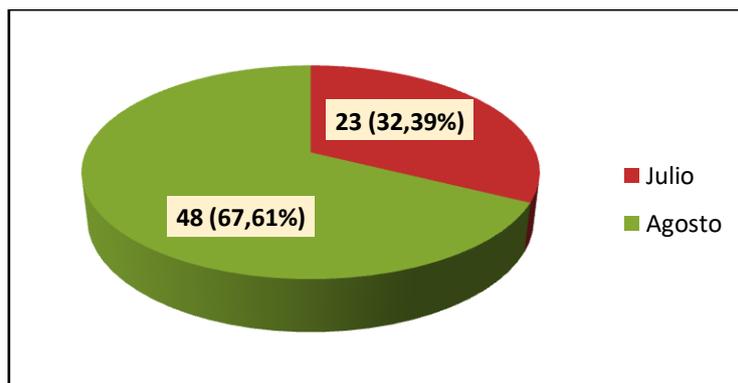


Figura 15: Gráfico con el número de meses de julio y de agosto como los más cálidos del año en la serie analizada del Aeropuerto del Prat (1950-2020).

Pero a pesar de ello, la variación es muy poco notoria, con un valor promedio de diferencias que se sitúa en los 0,35°C, a favor de los meses de agosto. También la mayor parte de diferencias es menor a 1°C, pero con algunos extremos destacables. La mayor diferencia se encuentra en el año 1980 con 3,3°C más de temperatura media en agosto que en julio. En el caso contrario se encuentra el año 2006, cuando la temperatura media del mes de julio fue de 2,4°C mayor que la de agosto. Cabe destacar que, incluso, se observan diversas rachas, de unos tres o cuatro años consecutivos en que la temperatura

media de julio es mayor que la de agosto. La más reciente se experimentó en los años 2005, 2006 y 2007 (Figura 16).

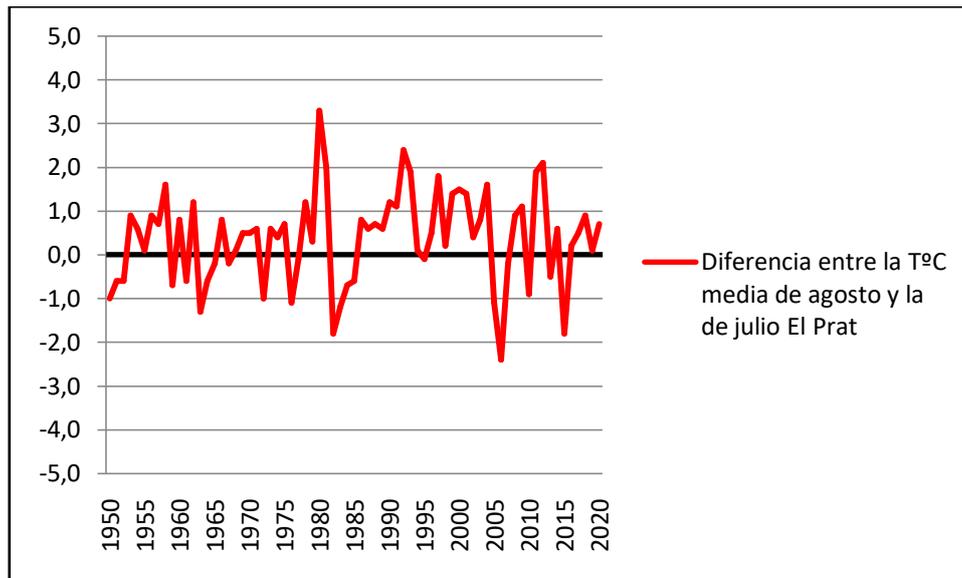


Figura 16: Gráfico con las diferencias térmicas entre las temperaturas medias de agosto con las de julio en la serie analizada del Aeropuerto del Prat (1950-2020).

Si se añaden los diez años de datos dispersos de julio y agosto entre los años 1924 y 1950, el predominio de agosto apenas varía. En estos diez años, tan sólo en los años 1924, 1945 y 1947 sus meses de julio fueron más cálidos que los de agosto. En consecuencia, el peso de estos diez años sobre los 71 años continuos de la serie incrementaría un 0,29% el porcentaje de meses de agosto más cálidos que los de julio, algo prácticamente insignificante.

4.1.3. Comparación y evolución entre la temperatura media de julio y agosto con la temperatura media de junio y la de septiembre

En ambos observatorios se confirma que la diferencia térmica entre la temperatura media del mes de inicio del verano astronómico con la de los dos meses más cálidos del año es moderada en la mayor parte de años de la serie climática en cuestión. Lo mismo sucede en la comparación entre la temperatura media del mes de septiembre con la de los dos meses principales del verano. Esta moderación hace referencia a unos valores entre unos 2 y 3°C, de manera que este cambio térmico es notorio tanto desde el punto de vista meteorológico como climático, aunque no implica un cambio de estación climática.

De hecho, teniendo en cuenta la diferencia resultante, en un clima mediterráneo se puede afirmar que en el sexto y en el noveno mes del año las temperaturas también son cálidas. No obstante, existe una pequeña irregularidad en las diferencias observadas en los dos observatorios y una evolución particular.

Comparación entre la temperatura media del mes de junio con la conjunta de julio y agosto:

Por lo que respecta al mes de junio, en el Observatorio Fabra, la diferencia entre la temperatura media del mes de junio con la conjunta de los meses de julio y agosto, es de 2,94°C, en promedio entre los años 1921 y 2020. Pero a pesar de este promedio, existe una considerable diferencia entre este valor y los valores extremos de diferencias que se han registrado algunos años. Estas variaciones oscilan entre los valores negativos de diferencia que se han registrado en algunos años, en los que junio resultó unas décimas más cálido que los meses centrales del verano, a años en los que se producen diferencias de entre 5 a 8°C, resultando más cálidos julio y agosto. A modo de ejemplo, en estos extremos de julio y agosto menos cálidos que junio se sitúan los años 1976 (-0,7°C), 1931 (-0,1°C), o el año 2002 (-0,05°C). Los otros extremos, es decir, los años en que julio y agosto han sido mucho más cálidos que junio, se hallan los años 1933 (+7,7°C), 1923 (+6,9°C), y entre los pocos años que registraron una diferencia entre 5 y 6°C, figura el reciente año 2013 (+5,8°C) (Figura 17).

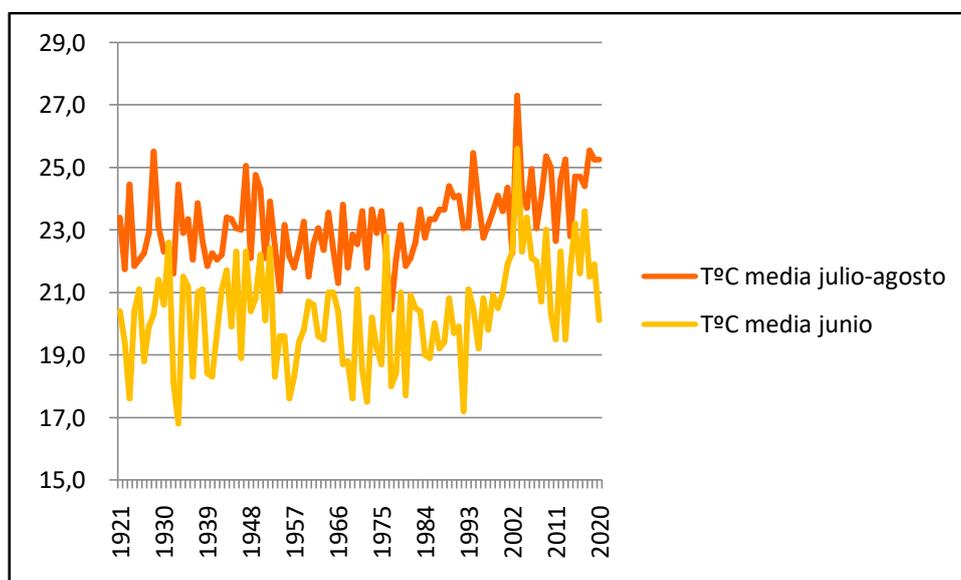


Figura 17: Gráfico con la evolución de la temperatura media conjunta de julio y agosto y la del mes de junio en el Observatorio Fabra (1921-2020).

Por otro lado, aunque con una serie de datos más reducida (1950-2020), en el Aeropuerto del Prat, los resultados son muy parecidos. A pesar de ello, el resultado del promedio de diferencias es algo mayor que en el Observatorio Fabra, con 3,16°C de diferencia. Pero la diferencia fundamental, sin duda, es que las diferencias presentan mayor regularidad que en el Observatorio Fabra. A consecuencia de ello, los extremos no distan tanto del promedio. La segunda diferencia fundamental es que no existe ningún año con diferencia negativa, en que julio y agosto, por tanto, hayan sido menos cálidos que junio. Los años con menor diferencia entre ambos presentan diferencias no inferiores a 1°C, como es el caso de los años 1960 (+1,3°C), el reciente 2017 (+1,35°C), 1976 (+1,65°C), 2007 (+1,8°C), o los años 1981 y 2002 (+1,9°C). Por el contrario, los años con mayor diferencia no superan los 5,5°C, como es el caso del año 1992 (+5,1°C),

el reciente 2010 (+4,75°C) o 1971 (+4,7°C) (Figura 18). Cabe mencionar que, en parte, estas diferencias positivas son más reducidas porque en los años que el Observatorio Fabra presentó unas diferencias térmicas muy grandes, en 1923 y 1933, existe una laguna de datos en el Aeropuerto del Prat.

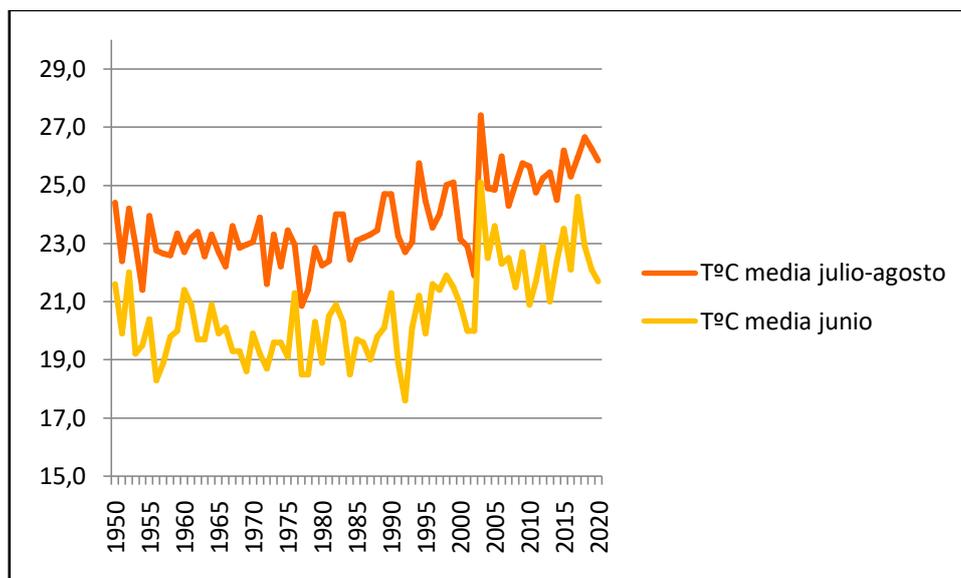


Figura 18: Gráfico con la evolución de la temperatura media conjunta de julio y agosto y la del mes de junio en el Aeropuerto del Prat (1950-2020).

Comparación entre la temperatura media del mes de septiembre con la conjunta de julio y agosto:

Por lo que respecta al mes de septiembre, el Observatorio Fabra presenta considerablemente una mayor diferencia térmica respecto a julio y agosto que el Aeropuerto del Prat. Ya se intuía este fenómeno cuando los resultados de diferencias térmicas entre los dos observatorios, en el apartado 4.1.1., indicaban una acentuación de las mismas en el noveno mes del año. Así pues, el promedio de diferencias entre la temperatura media del mes de septiembre con la temperatura media conjunta de julio y agosto entre los años 1921 y 2020 es de 3,02°C. En la misma línea que en la comparación con la temperatura media de junio, existen varios años de extremos alejados del promedio, aunque en el caso de las diferencias positivas, son algo más modestas. En cuanto a los años con una temperatura media de julio y agosto menos cálida que la de septiembre destaca únicamente el reciente año 2011 (-0,3°C). Después existen otros años en que la diferencia es prácticamente nula, como el año 1987 (+0,1°C), 1966 (+0,2°C) o el año 1926 (+0,4°C). Por el contrario, los años en que julio y agosto han sido bastante más cálidos que septiembre son el año 2003 (+6,7°C), 1994 (+6,2°C), 1923 (+5,7°C), 1972 (+5,6°C) o 1952 (+5,5°C) (Figura 19).

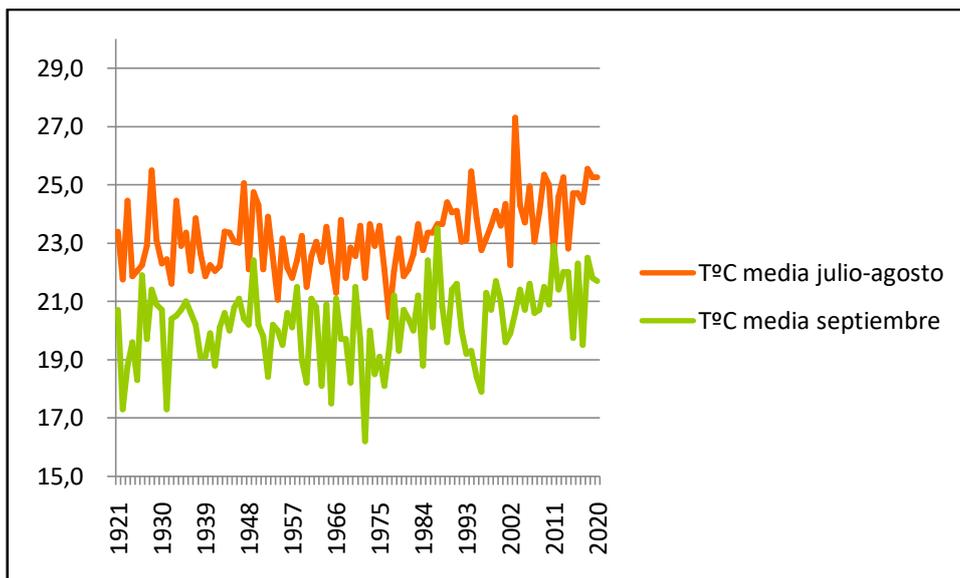


Figura 19: Gráfico con la evolución de la temperatura media conjunta de julio y agosto y la de septiembre en el Observatorio Fabra (1921-2020).

En el caso del Aeropuerto del Prat, el promedio de diferencias entre los años 1950 y 2020 es de 2,28°C, casi un grado menor que las que presenta con junio. En cuanto a la variación de estas diferencias, es similar a la de junio, con la diferencia de algunos años en que julio y agosto han sido unas décimas menos cálidos que septiembre. Es el caso del año 1958 (-0,3°C), 1980 (-0,15°C) o 2004 (-0,1°C). Igualmente, se trata de años en que la diferencia ha sido prácticamente nula, como también sucede a la inversa en el año 1978 (+0,1°C), 2002 (+0,3°C) y 1954 (+0,5°C). Destaca el año 1987, en que no existe diferencia alguna entre las dos temperaturas medias. En el otro extremo, los años con mayor diferencia tampoco superan los 5,5°C. Destacan el año 2003 (+5,2°C), 2015 (+4,7°C), 1994 (+4,55°C), 2017 (4,35°C) o 1952 (+4,2°C) (Figura 20).

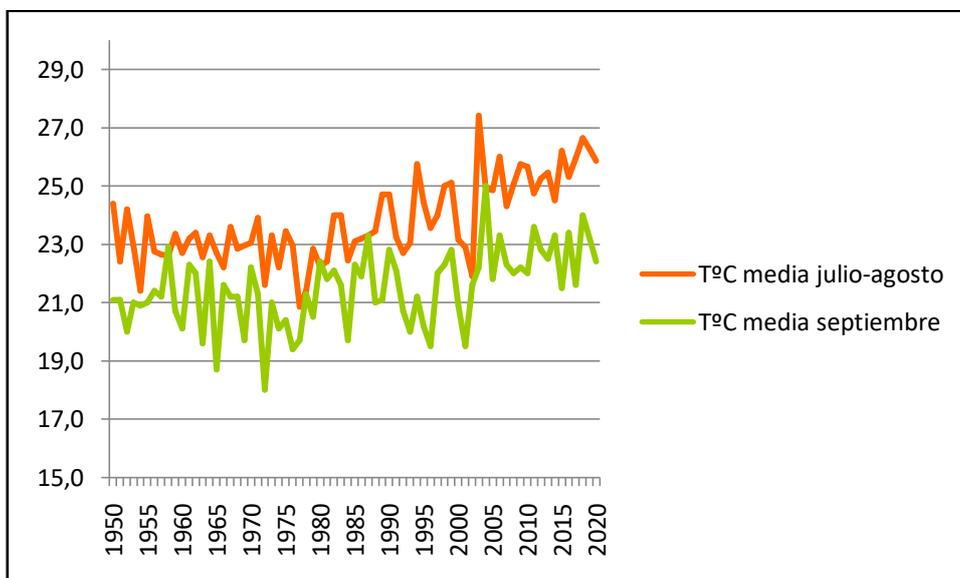


Figura 20: Gráfico con la evolución de la temperatura media conjunta de julio y agosto y la del mes de septiembre en el Aeropuerto del Prat (1950-2020)

Evolución por décadas:

Más allá de estas evidentes diferencias que marcan los inicios y los finales del verano año a año, lo que es importante analizar acorde con los objetivos de este Trabajo es la evolución de ambas temperaturas medias. Entre los gráficos 17 y 20, ya se contempla una evolución al alza. Por tanto, a medida que avanza el tiempo, a consecuencia del aumento de las temperaturas medias de junio y de septiembre, estos últimos, en los años más recientes, llegan a alcanzar valores como los de la temperatura media de julio y agosto de otros años atrás. Es un hecho que se observa de forma más precisa determinando la temperatura media por décadas. Y es que, obteniendo tales promedios, no solamente se confirma que han alcanzado la temperatura media de julio y agosto de los años 60 y 70, sino que además la han rebasado, aunque tímidamente.

En el caso del Observatorio Fabra, este fenómeno ha ocurrido más en junio que en septiembre. La temperatura media de junio en la década 2000-2009 es tan sólo ocho milésimas inferior a la temperatura media de julio y agosto en la década 1960-1969 (22,43°C frente a 22,51°C, respectivamente). Lo mismo ocurre si comparamos los meses de junio entre los años 2000 y 2009 con los meses de julio y agosto de la década 1970-1979, con tan sólo dieciséis milésimas de diferencia (22,43°C frente a 22,59°C respectivamente) (Tabla 11). En este último caso, la similitud es todavía mayor en el Aeropuerto del Prat si se compara la temperatura media de junio 2010-2019 con la de julio y agosto de los 70 (22,47°C frente a 22,57°C). No es la de los 60 porque, a diferencia del Fabra, la temperatura media de los meses de julio y agosto en la década de los 70 fue todavía menor que en la de los 60 (Tabla 12).

	T°C media julio-agosto	T°C media junio
1920-1929	22,86	19,98
1930-1939	22,75	19,96
1940-1949	23,12	20,74
1950-1959	22,66	19,73
1960-1969	22,51	19,79
1970-1979	22,59	19,54
1980-1989	23,14	19,68
1990-1999	23,72	19,96
2000-2009	24,29	22,43
2010-2019	24,49	21,51

Tabla 11: Temperaturas medias de julio-agosto junto con las de junio por décadas en el Observatorio Fabra

	T°C media julio-agosto	T°C media junio
1950-1959	23,03	19,96
1960-1969	22,99	20,12
1970-1979	22,57	19,30
1980-1989	23,10	19,75
1990-1999	24,12	20,40
2000-2009	24,56	21,99
2010-2019	25,55	22,47

Tabla 12: Temperaturas medias de julio-agosto junto con las de junio por décadas en el Aeropuerto del Prat

Estos resultados confirman que Barcelona también experimentó un fenómeno de evolución térmica en el verano como el ya detectado en otros estudios referidos a otros lugares de la Península Ibérica, donde se afirma que la temperatura media de junio de la década 2000-2009 fue igual, o prácticamente idéntica, a la temperatura media de julio y agosto de la década 1970-1979 (Lomas González y Torrijo Murciano, 2020). En el caso del Observatorio Fabra, al ofrecer más datos, la equivalencia de la temperatura media de junio con la de julio y agosto es también extensible a la de los años 20, 30 y 50, aunque en menor medida.

En cuanto al mes de septiembre, en este caso, teniendo en cuenta la influencia marítima sobre Barcelona, esto hace que las temperaturas de dicho mes no sean muy diferentes a las de julio y agosto. En otros lugares de la Península, como Madrid, con un clima de una marcada influencia continental, este mes no sería útil para esta comprobación porque en septiembre ya se experimenta un notable descenso térmico, siendo éste último, habitualmente, más fresco que junio.

En el área de estudio, donde se encuentran estas similitudes con julio y agosto es en el Aeropuerto del Prat. Tanto es así, que la temperatura media de septiembre del reciente periodo 2010-2019 es 0,12°C superior a la temperatura media de julio y agosto de la década de los 70 (22,69°C frente a 22,57°C). Ocurre algo similar si esta reciente temperatura media de septiembre es comparada con la temperatura media de julio y agosto de la década 1960-1969, en este caso quedando la primera a tan sólo 0,3°C por debajo de la segunda (22,69°C frente a 22,99°C). Incluso la década 2000-2009, la temperatura media de septiembre es tan sólo 0,43°C inferior a la de julio y agosto del periodo 1970-1979 (22,14°C frente a 22,57°C) (Tabla 13). En el Observatorio Fabra, por el contrario, no ocurre esta situación. A pesar de que la reciente década 2010-2019 fuese notablemente más cálida que las décadas anteriores en lo que se refiere a septiembre, esta última mantiene un margen de 1,01°C con la década más fresca de julio y agosto, la de 1960 a 1969. (21,50°C frente a 22,51°C, respectivamente) (Tabla 14).

	T°C media julio-agosto	T°C media septiembre
1950-1959	23,03	21,18
1960-1969	22,99	20,98
1970-1979	22,57	20,31
1980-1989	23,10	21,66
1990-1999	24,12	21,19
2000-2009	24,56	22,14
2010-2019	25,55	22,69

Tabla 13: Temperaturas medias de julio-agosto junto con las del mes de septiembre por décadas en el Aeropuerto del Prat

	T°C media julio-agosto	T°C media septiembre
1920-1929	22,86	19,78
1930-1939	22,75	19,96
1940-1949	23,12	20,43
1950-1959	22,66	19,93
1960-1969	22,51	19,53
1970-1979	22,59	19,30
1980-1989	23,14	20,75
1990-1999	23,72	20,15
2000-2009	24,29	20,76
2010-2019	24,49	21,50

Tabla 14: Temperaturas medias de julio-agosto junto con las del mes de septiembre por décadas en el Observatorio Fabra

4.2. Análisis de las series: cálculos de promedios, anomalías y temperaturas móviles

Una vez conocidas estas condiciones de contexto, los resultados mostrados en este apartado conforman una de las arterias principales del presente Trabajo, con vistas a describir el clima de Barcelona en los meses de verano.

4.2.1. Las temperaturas medias (TMm) de los veranos

Las temperaturas medias de los veranos de toda la serie (1921-2020 en el Observatorio Fabra, 1924-2020 en el Aeropuerto del Prat), en ambos observatorios, oscilan entre los 22 y los 23°C. Es un hecho que confirma que Barcelona presenta un clima de veranos cálidos según la clasificación de Köppen, ya que es una cifra que indica claramente que en al menos un mes del verano la temperatura media es superior a 22°C. No obstante, calculadas las temperaturas medias de los veranos año a año, existe una cantidad

considerable de años en que la temperatura media de esta estación es inferior a los 22°C. Esta particularidad ha ocurrido especialmente en el Observatorio Fabra.

Observatorio Fabra

Las temperaturas medias de los veranos en este observatorio de la parte alta de la ciudad han oscilado entre los 19,5°C y los 27°C en los últimos cien años (Figura 21). El verano menos caluroso que registró fue el de 1977, con 19,63°C. A siete décimas del segundo verano menos cálido, el de 1972, con 20,37°C (Tabla 15). Por el contrario, el que destaca por ser el verano más cálido fue el de 2003, con 26,73°C. Este último es incluso hasta más de 2°C más cálido que el segundo verano más cálido, el de 2009, con 24,57°C (Tabla 16).

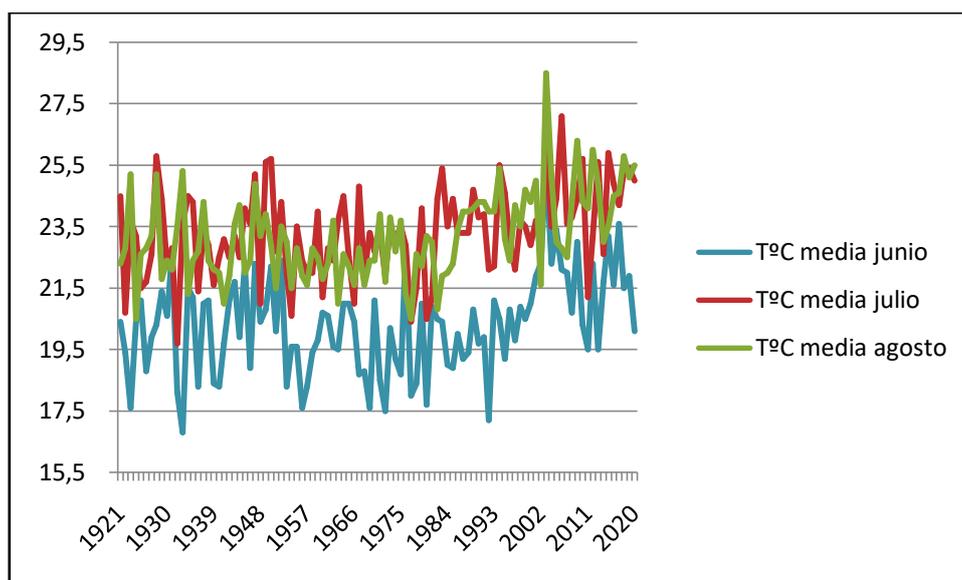


Figura 21: Gráfico con la evolución de las temperaturas medias de junio, julio y agosto en el Observatorio Fabra (1921-2020).

	T°C media verano Obs. Fabra
1977	19,63
1972	20,37
1932	20,43
1980	20,47
1954	20,57

Tabla 15: Años con las temperaturas medias de los veranos más bajas en el Observatorio Fabra (1921-2020)

	T°C media verano Obs. Fabra
2003	26,73
2009	24,57
2015	24,20
2018	24,20
1947 y 2017	24,13

Tabla 16: Años con las temperaturas medias de los veranos más altas en el Observatorio Fabra (1921-2020)

Así pues, la temperatura media de los veranos en el Observatorio Fabra entre los años 1921 y 2020 es de 22,27°C, con una diferencia de hasta 7,1°C entre el verano más cálido y el menos cálido (Figura 22). Sin embargo, el valor térmico que más predomina en la serie, en estos cien años, es de 21,90°C. En la figura 23, se puede apreciar, como la línea de tendencia calculada es claramente ascendente (Figura 23).

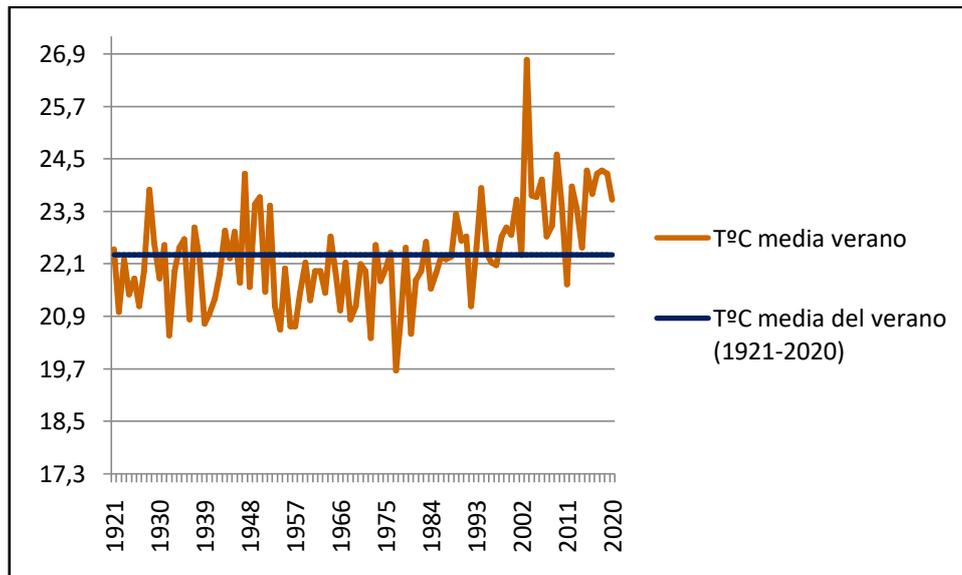


Figura 22: Gráfico de la evolución de la temperatura media de los últimos cien veranos en el Observatorio Fabra, comparada con el valor de la temperatura media de los veranos de la serie 1921-2020

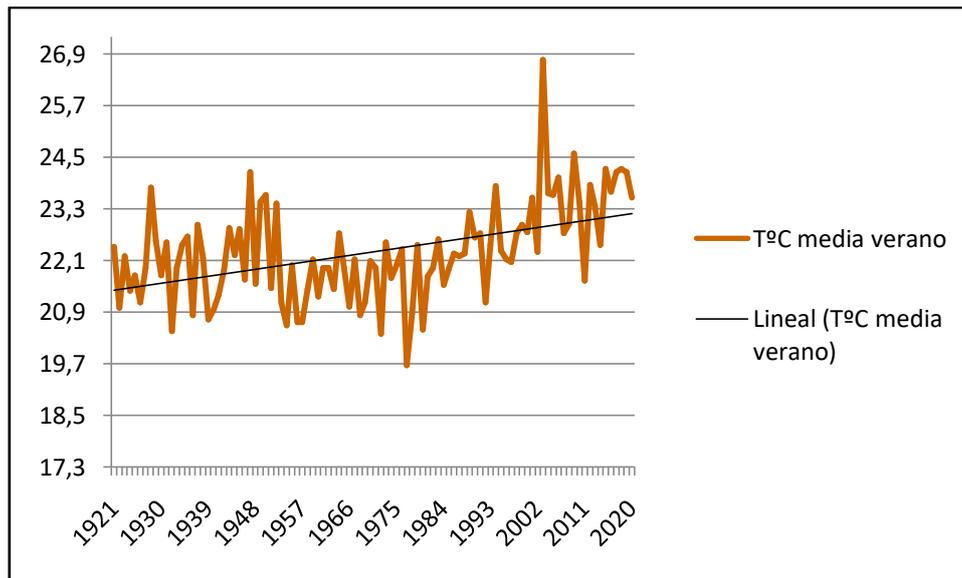


Figura 23: Gráfico con la línea de tendencia de la evolución de la temperatura media de los veranos en el Observatorio Fabra (1921-2020).

En el análisis de temperatura media por décadas, se observa este cambio térmico en el cálculo de promedios por décadas (Figura 24). La década en que los veranos fueron menos calurosos fue la de 1970 a 1979, con 21,57°C de temperatura media, tan sólo a tres milésimas por debajo del valor correspondiente a la década de los 60, con 21,6°C. En cambio, la década más cálida fue la de 2000 a 2009, con 23,67°C. Ésta última tan sólo es diecisiete décimas superior a la reciente década, 2010-2019, con 23,5°C (Tabla 17). Existe, por tanto, una diferencia de 2,1°C entre el conjunto de la década menos cálida y la más cálida, equiparable al valor que también presentan entre las mismas décadas los observatorios de Málaga, Sevilla y Valencia (Lomas González y Torrijo Murciano, 2020). Se han calculado, asimismo, las temperaturas medias móviles (5 años), resultando que los cinco años más cálidos y los cinco menos cálidos no se corresponden necesariamente con la década menos cálida y la más cálida. El periodo de cinco veranos menos cálidos es el 1953-1957, ambos incluidos, con 20,98°C. En cambio, el periodo de los cinco más cálidos, es el reciente 2015-2019, con 24,07°C.

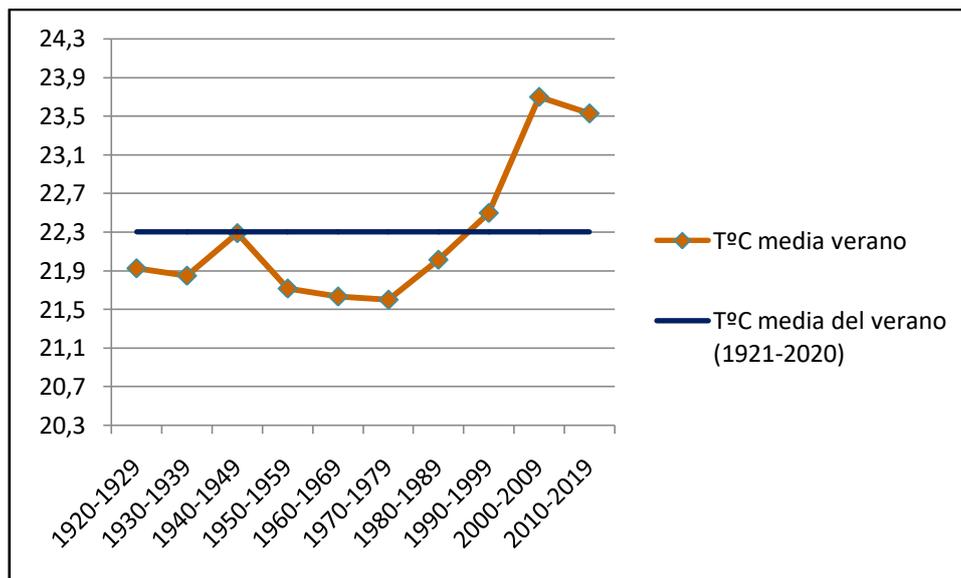


Figura 24: Gráfico con la evolución de la temperatura media de los veranos por décadas en el Observatorio Fabra, comparada con la temperatura media de los veranos de la serie 1921-2020.

	T°C media verano Obs. Fabra
1920-1929	21,90
1930-1939	21,82
1940-1949	22,26
1950-1959	21,68
1960-1969	21,60
1970-1979	21,57
1980-1989	21,98
1990-1999	22,47
2000-2009	23,67
2010-2019	23,50

Tabla 17: Temperaturas medias de los veranos por décadas en el Observatorio Fabra.

Por tanto, es de suponer que existe una tendencia a que se registren más anomalías térmicas positivas respecto a la temperatura media de los veranos (1921-2020). Tanto es así, que entre los años 2003 y 2020 se registran anomalías térmicas positivas consecutivas, a excepción del verano de 2011. Este es un hecho que no ocurre en los años anteriores de la serie, ya que de haber anomalías positivas, se distribuyen de forma más aleatoria. Por tanto, el verano con mayor anomalía positiva respecto al promedio de la serie es el más cálido, el 2003, con 4,46°C por encima de la media climática. Por el contrario, el verano con mayor anomalía negativa es el menos cálido, el de 1977, con 2,64°C por debajo de la media (Figura 25).

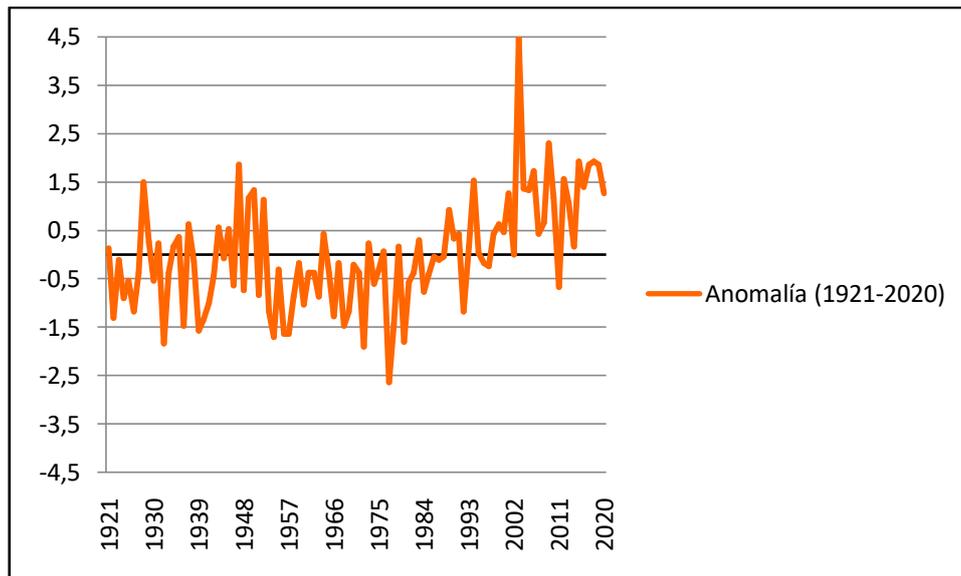


Figura 25: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de los últimos cien veranos en el Observatorio Fabra respecto a la temperatura media de los veranos de la serie 1921-2020.

En cuanto a las temperaturas medias de los periodos 1921-1990 y 1991-2020, destaca especialmente la diferencia entre ambas ($21,85^{\circ}\text{C}$ frente a $23,24^{\circ}\text{C}$, respectivamente), hecho que constata todavía más esa tendencia de cambio en los datos. Esta situación ya indica que las anomalías calculadas respecto a un promedio y al otro son diferentes. Así pues, se detectan mayores anomalías negativas en los años 60 y 70 respecto al promedio 1991-2020, siendo en este caso el verano de 1977 el que presenta una anomalía negativa de $-3,61^{\circ}\text{C}$. No obstante, siguen existiendo anomalías positivas en las décadas 2000-2009 y 2010-2019 que, en el caso del verano de 2003, es de $3,49^{\circ}\text{C}$. Por el contrario, respecto al periodo 1921-1990, el verano de 1977 presenta una anomalía negativa de $-1,48^{\circ}\text{C}$, y el verano de 2003, una anomalía positiva de hasta $4,88^{\circ}\text{C}$. Lo importante a destacar sobre estas anomalías es que, desde 1992, sólo se registró una anomalía negativa en el verano de 2011, con tan sólo $-0,25^{\circ}\text{C}$. En cambio, la mayoría de anomalías negativas se concentran entre 1950 y 1982 (Figura 26).

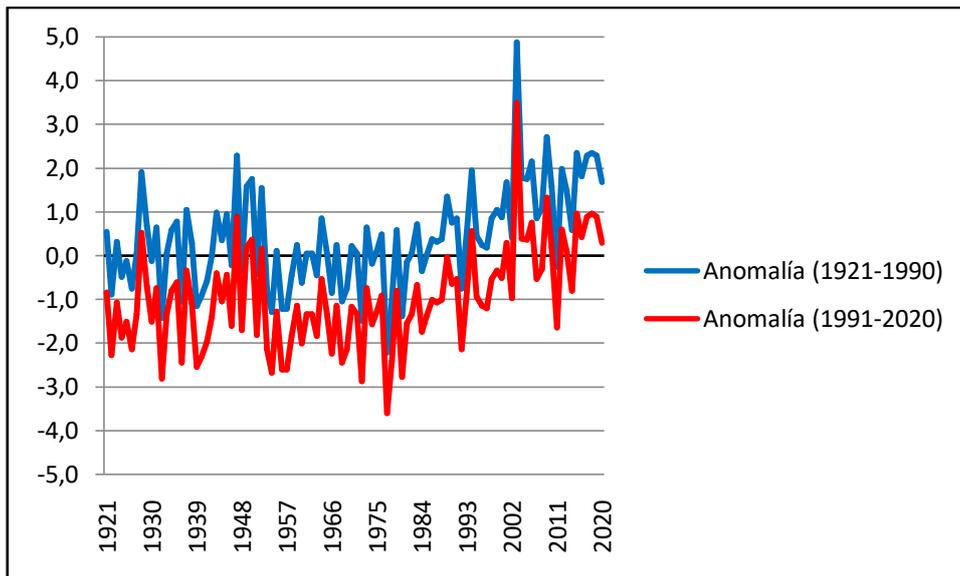


Figura 26: Gráfico con la evolución de las anomalías térmicas de las temperaturas medias de los veranos en el Observatorio Fabra de los periodos 1921-1990 y 1991-2020.

Aeropuerto del Prat

Las temperaturas medias de los veranos en el observatorio de El Prat de Llobregat (1924 a 2020) oscilan entre los 20 y los 27°C (Figura 27). En cuanto al valor promedio de todos estos valores de la serie (1924-2020), en el Aeropuerto del Prat fue de 22,74°C, prácticamente medio grado más que en el Fabra. En cambio, el valor que más veces se ha registrado es el de 22°C, quedando a mayor distancia del promedio que la que registró la moda de los datos del Observatorio Fabra. Sin embargo, existe algo menos de diferencia entre el verano más cálido y el menos cálido, en este caso con 6,6°C.

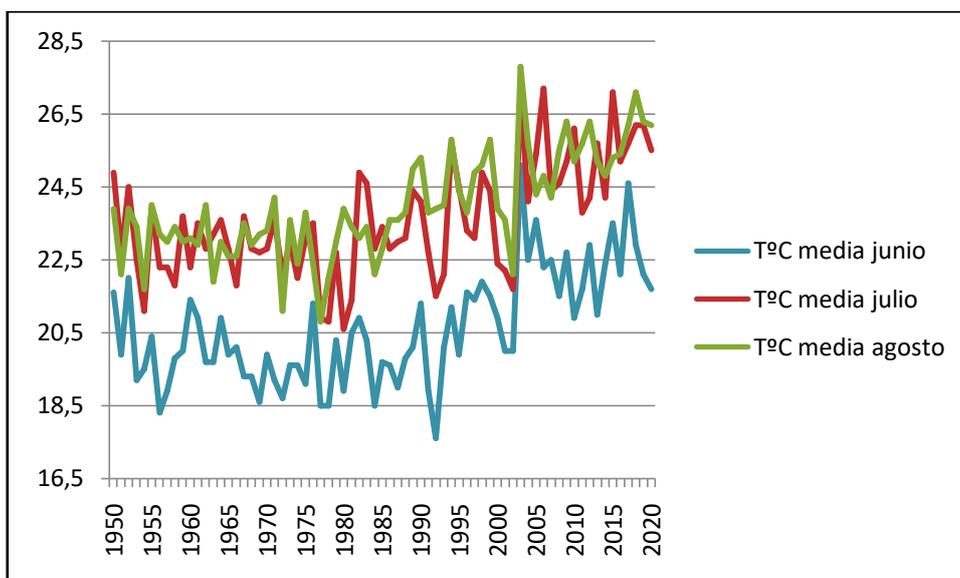


Figura 27: Gráfico con la evolución de las temperaturas medias de junio, julio y agosto en el Aeropuerto del Prat (1950-2020).

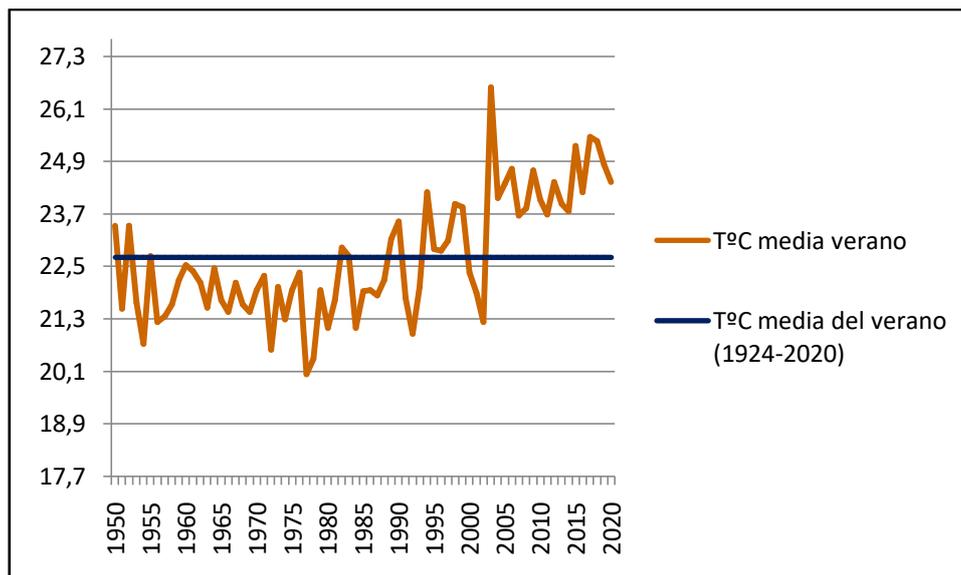


Figura 28: Gráfico con la evolución de la temperatura media de los veranos en el Aeropuerto del Prat (1950-2020), comparada con la temperatura media de los veranos de su serie (1924-2020).

La temperatura media del verano más baja que se alcanzó fue en el verano de 1977, con 20,07°C, a poco del verano del año siguiente, el de 1978, con 20,43°C (Figura 28). Entre los cinco veranos menos cálidos, coincide con el Observatorio Fabra en que el verano del año 1977 fuera el menos cálido de todos, pero también en los veranos de los años 1954 y 1972 (Tabla 18) Por el contrario, el verano más cálido fue el del 2003, con 26,63°C, a sólo una décima con el valor que registraba entonces el Observatorio Fabra. Este valor también se muestra algo separado del segundo verano más cálido, el de 2017, con 25,5°C. Entre los cinco veranos más cálidos, también coincide con el Fabra en que el año 2003 fuera el más cálido, pero también en los años 2015, 2017 y 2018 (Tabla 19). Lo más relevante de los cinco veranos más cálidos en el Aeropuerto del Prat es que, cuatro de los cinco, lo fueron en los últimos seis veranos, teniendo en cuenta que el de 2019 fue el quinto verano más cálido. Como en el Observatorio Fabra, ya se intuye una tendencia lineal ascendente mayor (Figura 29).

	T°C media verano El Prat
1977	20,07
1978	20,43
1972	20,63
1954	20,77
1924	20,97

Tabla 18: Años con las temperaturas medias de los veranos más bajas de la serie 1924-2020 en el Aeropuerto del Prat

	T°C media verano El Prat
2003	26,63
2017	25,50
2018	25,40
2015	25,30
2019	24,87

Tabla 19: Años con las temperaturas medias de los veranos más altas de la serie 1924-2020 en el Aeropuerto del Prat

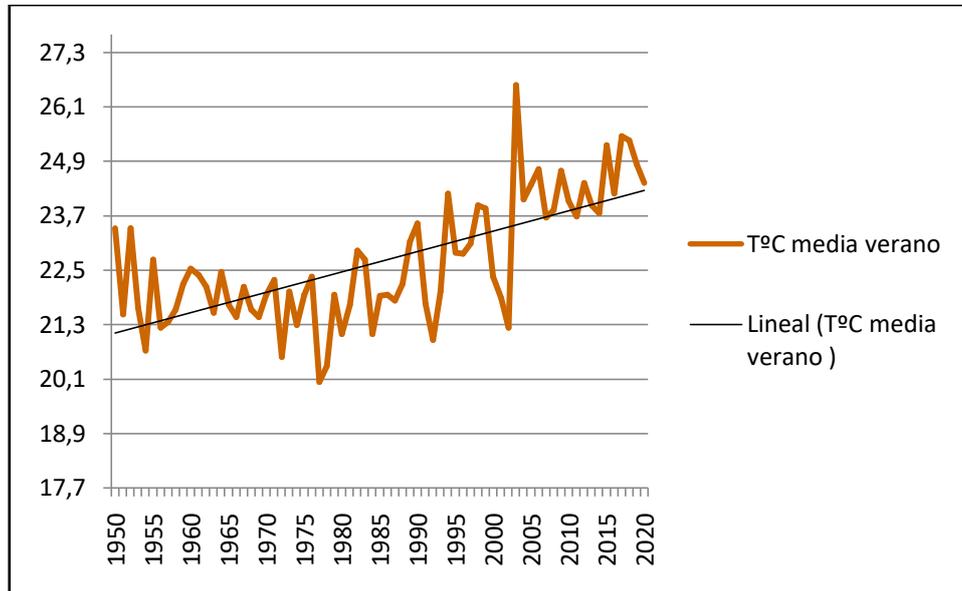


Figura 29: Gráfico con la línea de tendencia de la evolución de la temperatura media de los veranos en el Aeropuerto del Prat (1950-2020).

Por lo que respecta a la evolución por décadas, se contempla también otro incremento térmico, especialmente pronunciado a partir de la década de los 90 (Figura 30). La década menos cálida fue la de los años 70, con una temperatura media de 21,53°C, que es aproximadamente medio grado menor que sus décadas anteriores y la posterior. En cambio, la década más cálida fue la reciente 2010-2019, con 24,53°C (Tabla 20). La diferencia entre la década más cálida y la menos cálida es incluso mayor que la existente en el Observatorio Fabra, con hasta 3°C de diferencia. En cambio, la diferencia entre el valor de la década 1970-1979 y la 2000-2009 es menor, de 2,25°C, equiparable a la que presenta el observatorio de Madrid-El Retiro (Lomas González y Torrijo Murciano, 2020). Sin embargo, la temperatura media móvil de los cinco años menos cálidos sí que coincide con la década menos cálida. En este caso los cinco años menos cálidos corresponden al periodo 1977-1981, con 21,08°C de temperatura media. Los cinco años más cálidos también se encuentran en la década más cálida, ya que es el reciente periodo 2015-2019, con 25,06°C, unos 4°C de diferencia.

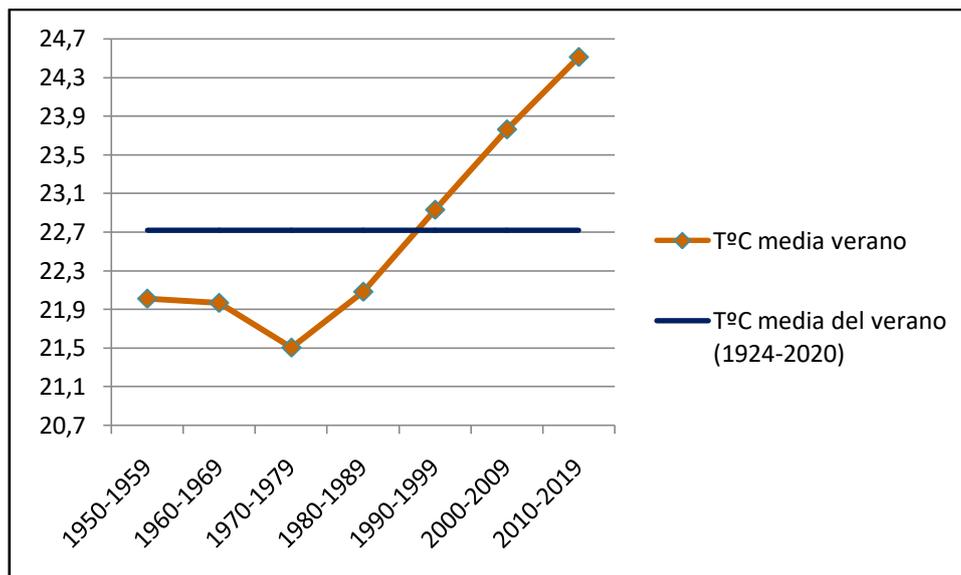


Figura 30: Gráfico con la evolución de la temperatura media de los veranos por décadas en el Aeropuerto del Prat, comparada con la temperatura media de los veranos de su serie (1924-2020).

	T°C media verano El Prat
1950-1959	22,03
1960-1969	21,99
1970-1979	21,53
1980-1989	22,10
1990-1999	22,95
2000-2009	23,78
2010-2019	24,53

Tabla 20: Valores de la temperatura media por décadas en el Aeropuerto del Prat

Si contemplamos las anomalías respecto a la temperatura media de los veranos de la serie (1924-2020), de nuevo se detectan mayores anomalías positivas a partir del año 2003. En este caso, a diferencia del Observatorio Fabra, la temperatura media del verano de 2011 también presenta una anomalía positiva, de 0,99°C. Sin embargo, la anomalía negativa más pronunciada se registró en el verano de 1977, con -2,67°C. Por el contrario, la anomalía del verano más cálido, el de 2003, presentó una anomalía positiva de 3,89°C. Lo importante a destacar es que, además de las anomalías positivas a partir del año 2003, de 1955 a 1982 se registraron anomalías negativas consecutivas (Figura 31).

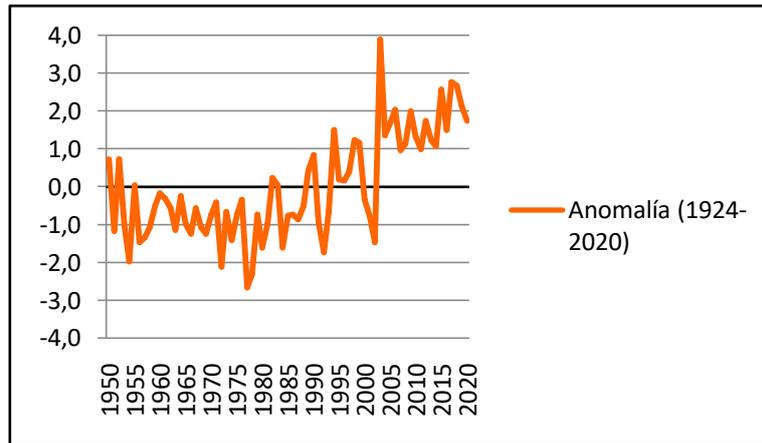


Figura 31: Gráfico de la anomalía térmica de la temperatura media de los veranos (1950-2020) en el Aeropuerto del Prat respecto a la temperatura media de los veranos de su serie (1924-2020).

En la comparación con la temperatura media de los dos periodos 1924-1990 y 1991-2020, en este caso, sus temperaturas medias distan algo más entre ellas, con 22,12°C y 23,79°C respectivamente. Con ello se entiende que las diferencias entre las anomalías respecto a un periodo y las que lo son respecto al otro son mayores que en el Fabra. Tanto es así que, las anomalías negativas respecto a la temperatura media del periodo 1991-2020 todavía abarcan más años de la década de los 50, 60, 70 y 80, de manera que son consecutivas desde el año 1950 hasta el año 1994. También cabe destacar que los veranos de 1925, 1926 y 1927 presentan anomalía positiva respecto al clima reciente, aunque sin superar los 0,5°C. Así pues, el verano menos cálido presenta una anomalía negativa de hasta -3,72°C, y el más cálido, el de 2003, una anomalía positiva de 2,84°C. En cambio, si se analizan las anomalías térmicas respecto al periodo 1924-2020, presentan la misma dinámica que las anteriores, pero con la diferencia de existir mayor alternancia entre anomalías positivas y negativas entre los años cincuenta y ochenta, mayores anomalías positivas en los años ochenta y noventa y anomalías positivas mayores a partir del año 2003. En este caso, la anomalía negativa más destacada, la del verano de 1977, es de -2,05°C. La anomalía positiva más amplia, la del verano de 2003, es de 4,51°C (Figura 32).

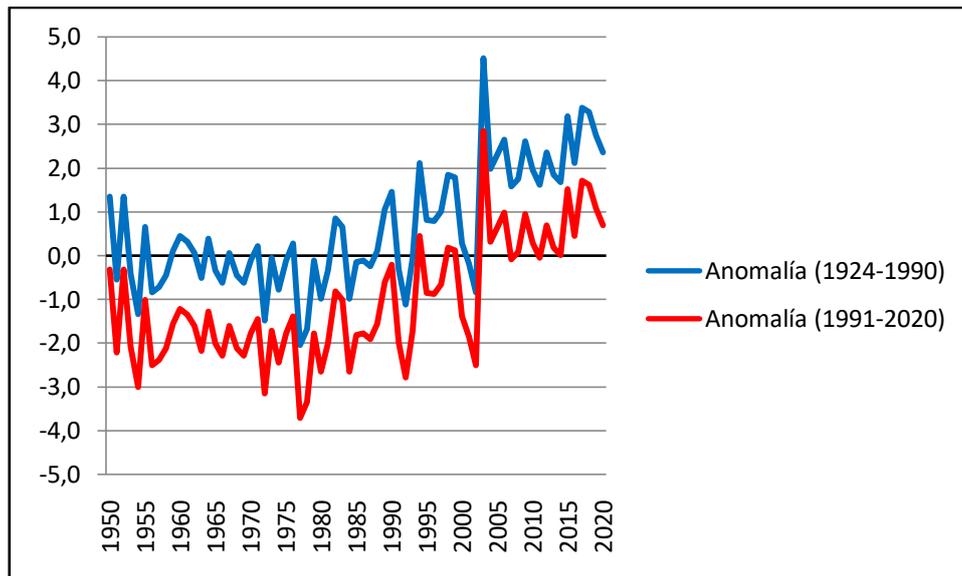


Figura 32: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de los veranos (1950-2020) en el Aeropuerto del Prat respecto a sus temperaturas medias de los veranos de los periodos 1924-1990 y 1991-2020.

4.2.2. Las temperaturas medias (TMm) de junio, julio, agosto y septiembre

También se han calculado las temperaturas medias de cada uno de los meses del verano por separado para ambos observatorios.

Mes de junio

La temperatura media de las dos series en lo que se refiere al mes de inicio del verano meteorológico se sitúa entre los 20 y los 21°C. En el caso del observatorio Fabra la temperatura media del mes de junio en la serie analizada (1921-2020) es de 20,31°C, aunque con una moda de 20,4°C. Aún así, existe una considerable variación térmica según el año, oscilando desde los 17°C hasta los 26°C (Figura 33 y Tablas 21 y 22).

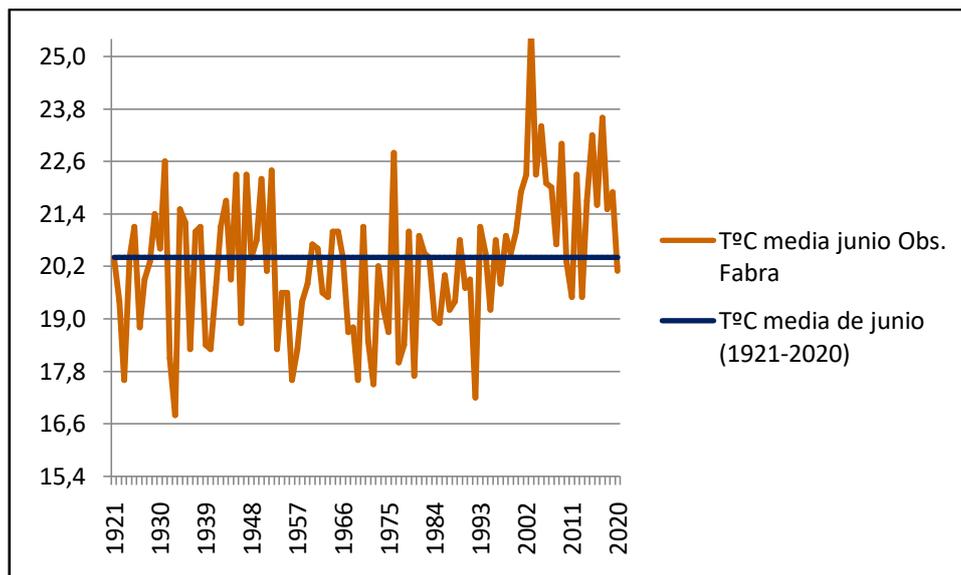


Figura 33: Gráfico con la evolución de las temperaturas medias de los meses de junio en el Observatorio Fabra, comparada con la temperatura media de junio de toda la serie analizada (1921-2020).

	T°C media junio Obs. Fabra
1933	16,8
1992	17,2
1972	17,5
1923	17,6
1956	17,6

Tabla 21: Años con las temperaturas medias de junio más bajas de los últimos cien años en el Observatorio Fabra

	T°C media junio Obs. Fabra
2003	25,6
2017	23,6
2005	23,4
2015	23,2
2009	23,0

Tabla 22: Años con las temperaturas medias de junio más altas de los últimos cien años en el Observatorio Fabra

La temperatura media de la década menos cálida fue la de 1970 a 1979, con 19,54°C. La más cálida, como ya se comentaba en el apartado 4.1.3., es la de 2000 a 2009, con 22,43°C (Figura 34 y Tabla 23). Se trata de una diferencia térmica entre ambas que es prácticamente idéntica a la que registra el observatorio de Valladolid (Lomas González y Torijo Murciano, 2020).

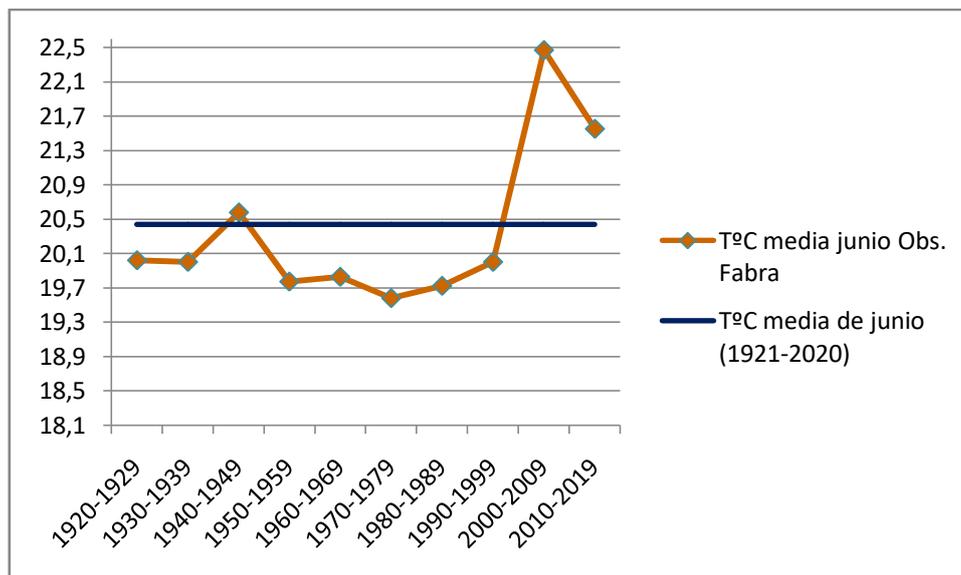


Figura 34: Gráfico con la evolución de la temperatura media de junio por décadas en el Observatorio Fabra, comparada con la temperatura media de junio de su serie 1921-2020.

	T°C media junio Obs. Fabra
1920-1929	19,98
1930-1939	19,96
1940-1949	20,54
1950-1959	19,73
1960-1969	19,79
1970-1979	19,54
1980-1989	19,68
1990-1999	19,96
2000-2009	22,43
2010-2019	21,51

Tabla 23: Valores de las temperaturas medias de junio por décadas en el Observatorio Fabra

En cambio, la temperatura media móvil de los cinco años menos cálidos no se corresponde con la década de 1970 a 1979, ya que es en el periodo 1953-1957, con 18,68°C. La de los cinco más cálidos sí coinciden con la década 2000-2009, ya que es el periodo 2002-2006, con 23,14°C.

En cuanto a las anomalías respecto a la temperatura media de la serie analizada (1921-2020), destaca el predominio de anomalías negativas en las décadas de los sesenta y setenta y, por el contrario, anomalías positivas a partir del año 1998, con las excepciones de los años 2011, 2013 y 2020. El de 2010 se consideraría dentro de la normalidad climática. En cuanto a los extremos, junio de 1933 presenta una anomalía de -3,51°C, y junio de 2003, de 5,29°C. También es importante mencionar algunas

anomalías positivas en los años veinte y los treinta: 1925 (+0,79°C), 1929 (+1,09°C) y 1931 (+2,29°C). La de 1931 es muy similar a la de 1976 (Figura 35).

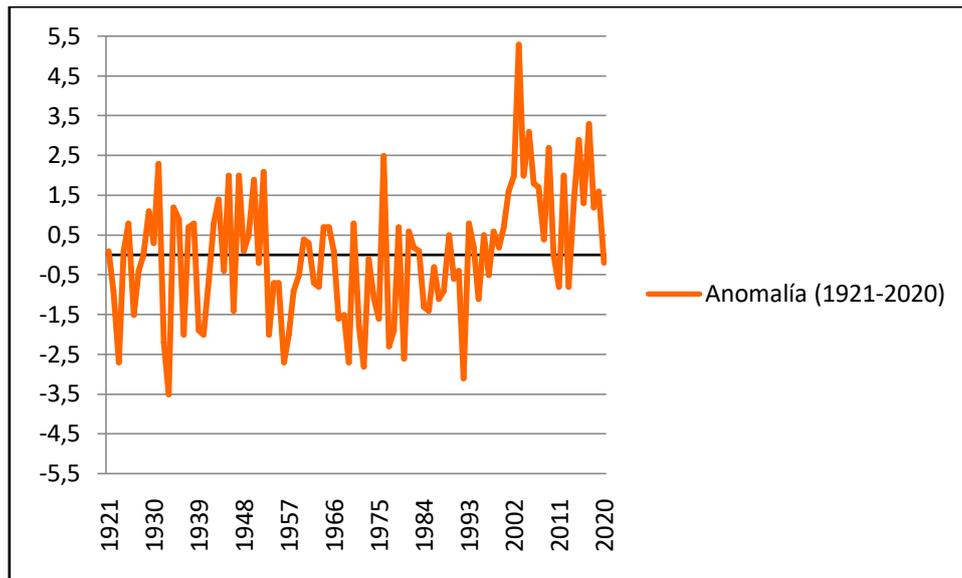


Figura 35: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de junio (1921-2020) en el Observatorio Fabra respecto a la temperatura media de junio de su serie 1921-2020.

Segmentando la serie en dos periodos, la temperatura media del periodo 1921-1990 es de 19,88°C, y la del periodo reciente 1991-2020, de 21,31°C. Respecto a esta última, las anomalías siguen siendo positivas entre los años 2001 y 2020, aunque con varias excepciones. La última se experimentó el pasado mes de junio de 2020 (-1,21°C). Por el contrario, junio de 1931, sigue manteniendo su anomalía positiva, pero con 1,29°C por encima de la media. Así pues, la anomalía negativa de junio de 1933 respecto a la media (1991-2020) es de -4,51°C y la anomalía positiva de junio de 2003 respecto a la media (1921-1990) es de 5,72°C (Figura 36).

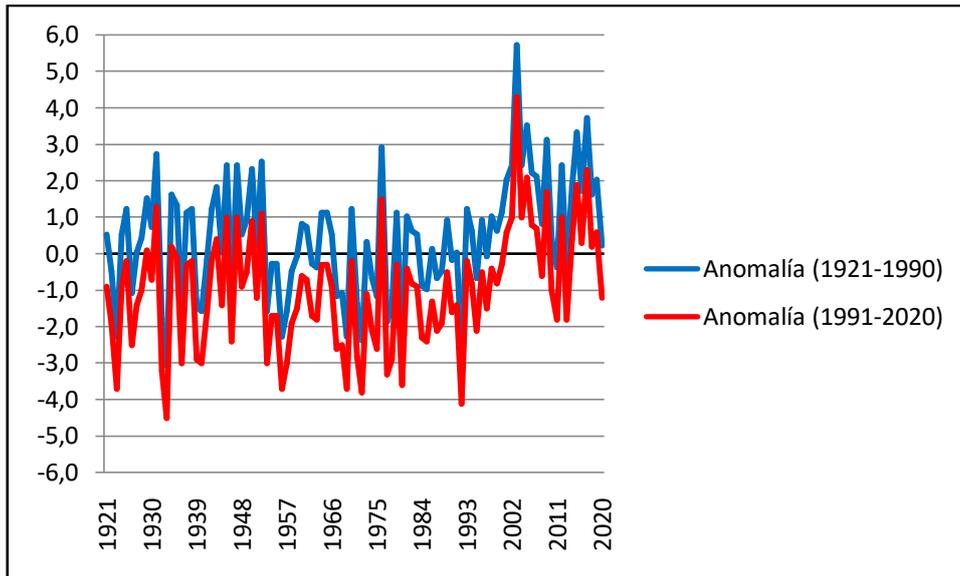


Figura 36: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de junio (1921-2020) en el Observatorio Fabra respecto a sus temperaturas medias de junio de los periodos 1921-1990 y 1991-2020.

En el aeropuerto del Prat la temperatura media de la serie analizada (1924-2020) para el mes de junio es de 20,68°C, aunque con una moda de 19,9°C. Todo ello con una variación térmica desde los 18°C hasta los 25°C a lo largo de los junios de la serie (Figura 37).

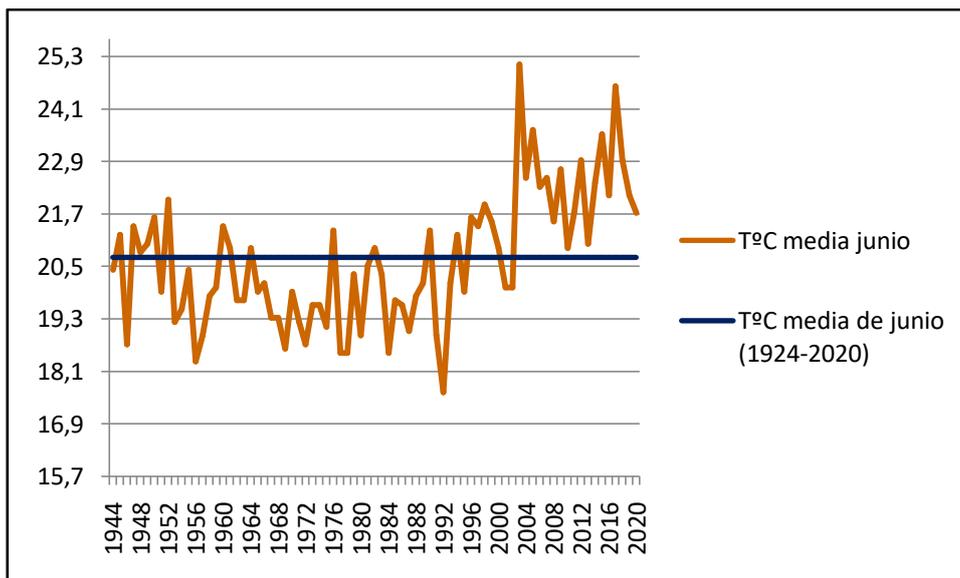


Figura 37: Gráfico con la evolución de la temperatura media de junio en el Aeropuerto del Prat (1944-2020), comparada con la temperatura media de junio de su serie (1924-2020).

El junio menos cálido, al existir laguna de datos en 1933, fue el de 1992, con 17,6°C. Once años después se registró el más cálido, con 25,1°C. Ambos se sitúan a poca distancia del que fue el segundo junio menos cálido y el más cálido, respectivamente (Tablas 24 y 25).

	T°C media junio El Prat
1992	17,6
1956	18,3
1977	18,5
1978	18,5
1984	18,5

Tabla 24: Años con las temperaturas medias de junio más bajas de los últimos cien años en el Aeropuerto del Prat

	T°C media junio El Prat
2003	25,1
2017	24,6
2005	23,6
2015	23,5
1925	23,4

Tabla 25: Años con las temperaturas medias de junio más altas de los últimos cien años en el Aeropuerto del Prat

Por lo que respecta a su evolución por décadas, su década menos cálida fue la de 1970 a 1979, con 19,47°C y la más cálida, en cambio, la reciente década de 2010 a 2019, con 22,41°C (Figura 38 y Tabla 26). En este caso, la diferencia entre estas dos décadas es muy similar a la de Valladolid (Lomas González y Torrijo Murciano, 2020). La temperatura media móvil del lustro menos cálido es el periodo 1968-1972, con 19,14°C. El lustro más cálido, sin embargo, no se sitúa en la década más cálida. De forma similar a lo que ocurre con los datos del Fabra, es el periodo 2003-2007, con 23,2°C.

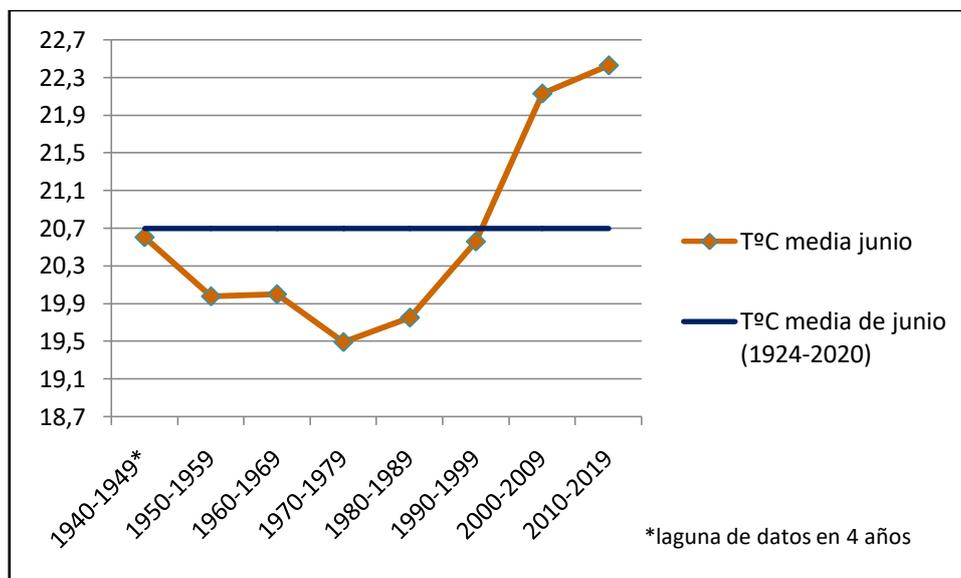


Figura 38: Gráfico con la evolución de la temperatura media de junio por décadas en el Aeropuerto del Prat, comparada con la temperatura media de junio de su serie (1924-2020).

	T°C media junio El Prat
1940-1949*	20,58
1950-1959	19,96
1960-1969	19,98
1970-1979	19,47
1980-1989	19,73
1990-1999	20,54
2000-2009	22,11
2010-2019	22,41

Tabla 26: Temperaturas medias de junio por décadas en el Prat (*con laguna de datos en 4 años en la década 1940-1949)

En cuanto a las anomalías respecto a la temperatura media de 1924 a 2020, se repite la misma sintonía observada hasta ahora. Prácticamente todas las anomalías son positivas desde el año 1996 hasta el presente, a excepción de los años 2001 y 2002. En cuanto a los extremos, la anomalía negativa de junio de 1992 es de $-3,08^{\circ}\text{C}$, mientras que la de junio de 2003 es de $4,42^{\circ}\text{C}$ (Figura 39).

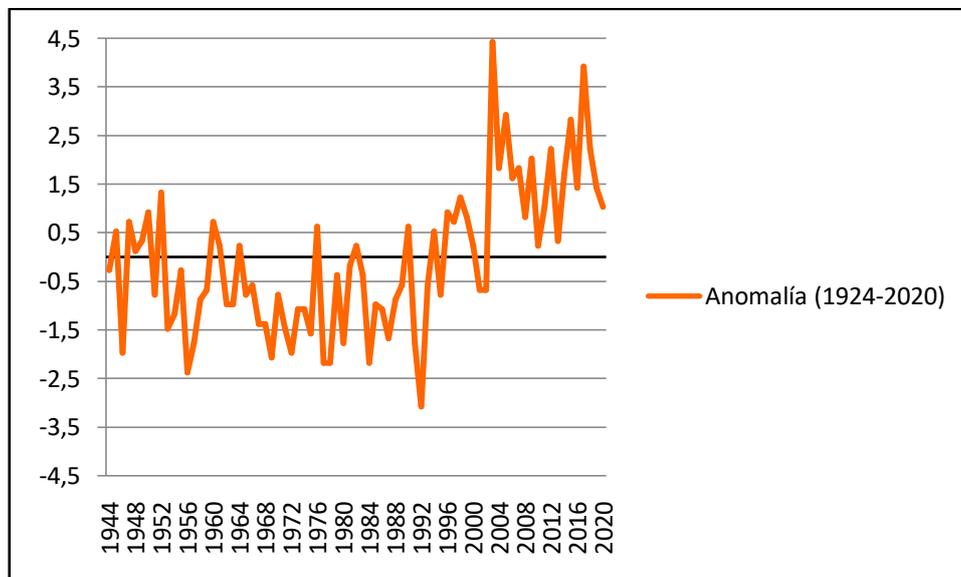


Figura 39: Gráfico con la anomalía térmica de las temperaturas medias de junio (1944-2020) en el Aeropuerto del Prat, respecto a la temperatura media de junio de su serie (1924-2020).

Si buscamos estas anomalías respecto a la media de los periodos 1924-1990 y 1991-2020, los valores son de $20,07^{\circ}\text{C}$, en el primer caso, y de $21,7^{\circ}\text{C}$, en el segundo. Las anomalías respecto al periodo reciente, a diferencia del Fabra, son positivas en todos los años desde el año 2003. También destacan las de algunos años anteriores a 1944: 1925 ($+2,72^{\circ}\text{C}$), 1927 ($+1,72^{\circ}\text{C}$) y 1926 ($+1,22^{\circ}\text{C}$). Así pues, la anomalía negativa de junio de 1992 respecto a su periodo de 1991-2020 es de $-4,1^{\circ}\text{C}$ y la anomalía positiva de junio de 2003 respecto al periodo 1924-1990 es de $5,03^{\circ}\text{C}$ (Figura 40).

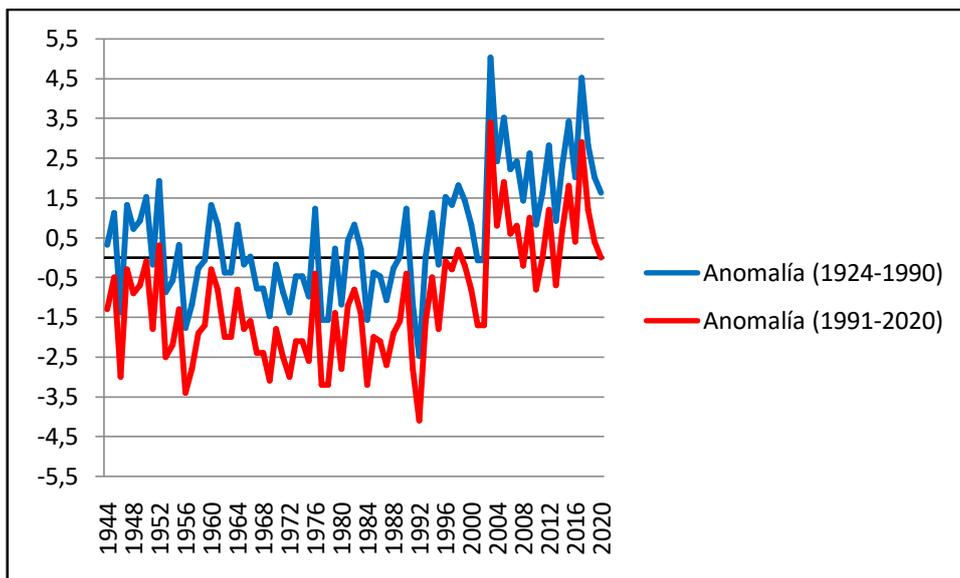


Figura 40: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de junio (1944-2020) en el Aeropuerto del Prat respecto a sus temperaturas medias de junio de los periodos 1924-1990 y 1991-2020.

Mes de julio

La temperatura media del mes de julio en las dos series oscila entre los 23 y los 24°C. La temperatura media de este mes en la serie del Observatorio Fabra (1921-2020) es de 23,32°C, aunque con una moda de 23,5°C. A lo largo de toda la serie las temperaturas medias de este mes oscilan entre los 20 y los 27°C (Figura 41). El julio menos cálido se registró en el año 1932, con 19,7°C, a siete décimas del segundo julio menos cálido, el de 1977. En cambio, el julio más cálido es el de 2006, con 27,2°C, un grado por encima del de 2003 (Tabla 27 y Tabla 28).

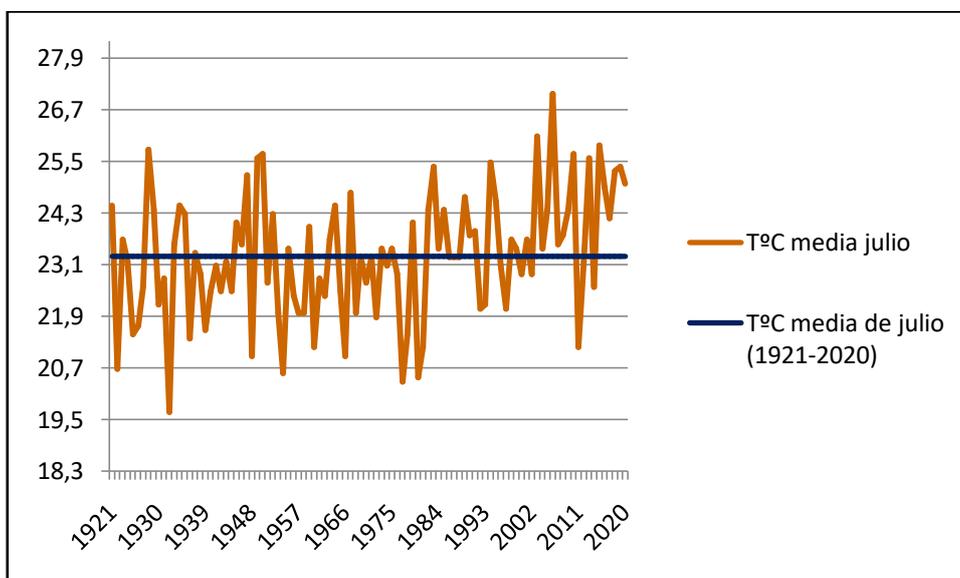


Figura 41: Gráfico con la evolución de las temperaturas medias de los meses de julio en el Observatorio Fabra (1921-2020), comparada con la temperatura media de julio de la serie 1921-2020.

	T°C media julio Obs. Fabra
1932	19,7
1977	20,4
1980	20,5
1954	20,6
1922	20,7

Tabla 27: Años con las temperaturas medias de julio más bajas de los últimos cien años en el Observatorio Fabra

	T°C media julio Obs. Fabra
2006	27,1
2003	26,1
2015	25,9
1928	25,8
1950 y 2010	25,7

Tabla 28: Años con las temperaturas medias de julio más altas de los últimos cien años en el Observatorio Fabra

Su evolución por décadas muestra que la década menos cálida fue de nuevo la de los años setenta, con 22,69°C, aunque poco por debajo de la de los sesenta. Y la década más cálida es la reciente, la de 2010-2019, con 24,4°C (Figura 42 y Tabla 29). La temperatura media móvil de los cinco años menos cálidos es la del periodo 1977-1981, con 21,54°C. Sin embargo, la más cálida es la del periodo reciente 2015-2019, con 25,14°C. El periodo recortado 2018-2020 ya ha superado este valor, con 25,23°C.

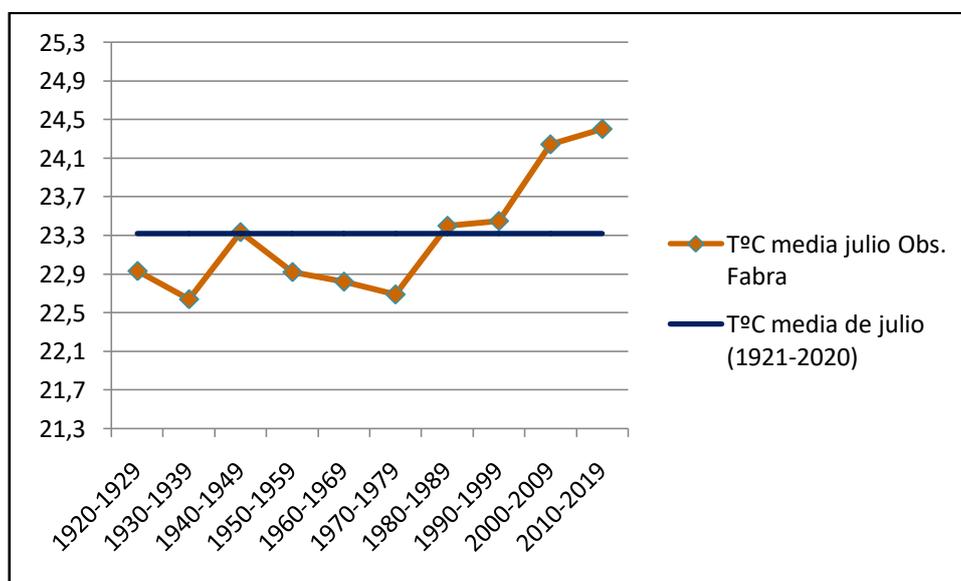


Figura 42: Gráfico con la evolución de la temperatura media de julio por décadas en el Observatorio Fabra, comparada con la temperatura media de julio de la serie 1921-2020.

	T°C media julio Obs. Fabra
1920-1929	22,93
1930-1939	22,64
1940-1949	23,33
1950-1959	22,92
1960-1969	22,82
1970-1979	22,69
1980-1989	23,40
1990-1999	23,45
2000-2009	24,24
2010-2019	24,40

Tabla 29: Temperaturas medias de julio por décadas en el Observatorio Fabra

Los meses de julio entre los años 2003 y 2020 presentan, en su mayoría, anomalías positivas respecto a la temperatura media (1921-2020). Las únicas excepciones son las de los años 2011, 2012 y 2014. El primero presenta una anomalía negativa de hasta -2,12°C. El mes de julio de 1932 presenta una anomalía negativa de -3,62°C mientras que el de 2006, una anomalía positiva de 3,78°C (Figura 43).

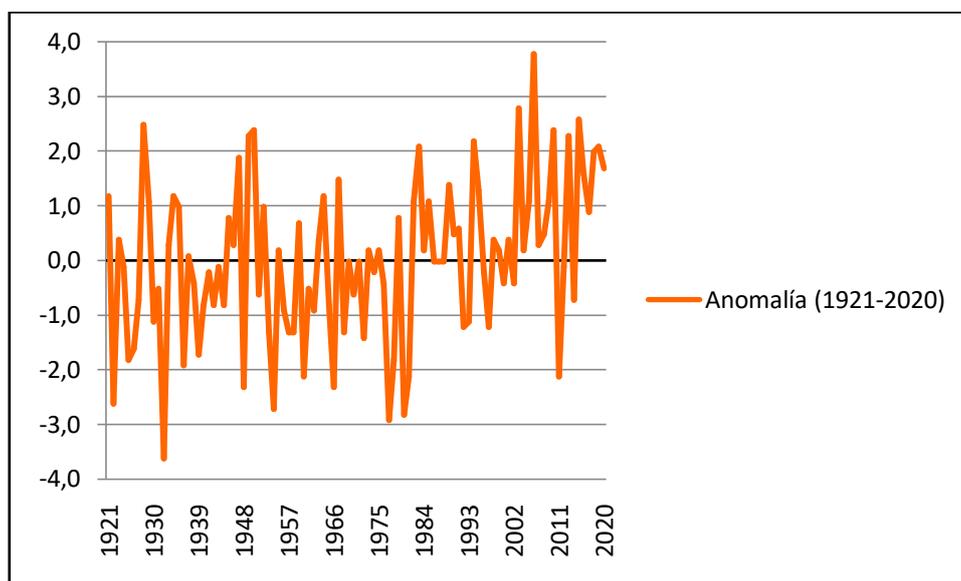


Figura 43: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de julio (1921-2020) en el Observatorio Fabra, respecto a la temperatura media de julio de la serie 1921-2020.

La temperatura media del periodo 1921-1990 es de 23°C, mientras que la del 1991-2020 es de 24,07°C. De este modo, las anomalías positivas respecto al periodo reciente que se dan entre los años 2003 y 2020 presentan más excepciones pero, sobre todo, cabe destacar que desde el año 2014 no existe ninguna negativa. Como ya ocurría con el mes de junio, algunos julios de los años veinte y treinta presentan anomalías positivas respecto a este periodo reciente, destacando la de 1928 (+1,73°C). Teniendo la disparidad entre los dos periodos, la anomalía positiva de julio de 2006 respecto a la

media de 1921-1990 es de 4,1°C, mientras que la anomalía negativa de julio de 1932 respecto a la media de 1991-2020 es de -4,37°C (Figura 44).

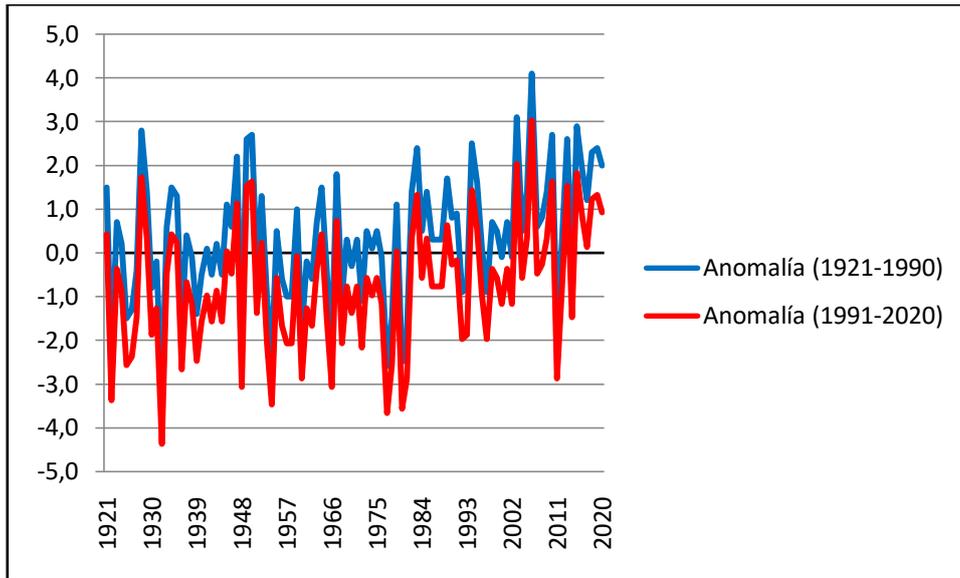


Figura 44: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de julio (1921-2020) en el Observatorio Fabra respecto a sus temperaturas medias de julio de los periodos 1921-1990 y 1991-2020.

En el caso del Aeropuerto del Prat la temperatura media de la serie analizada (1924-2020) para este mes es de 23,58°C, aunque con una moda de 22,8°C. Los valores de la serie oscilan entre los 21 y los 27°C (Figura 45). A falta de datos del año 1932, el julio menos cálido fue el de 1980, con una temperatura media de 20,6°C, a muy poca distancia de la de los años 1977 y 1978. En cambio, el mes de julio más cálido fue también el de 2006, con 27,2°C, pero con tan sólo una décima más que la de 2015 (Tabla 30 y Tabla 31).

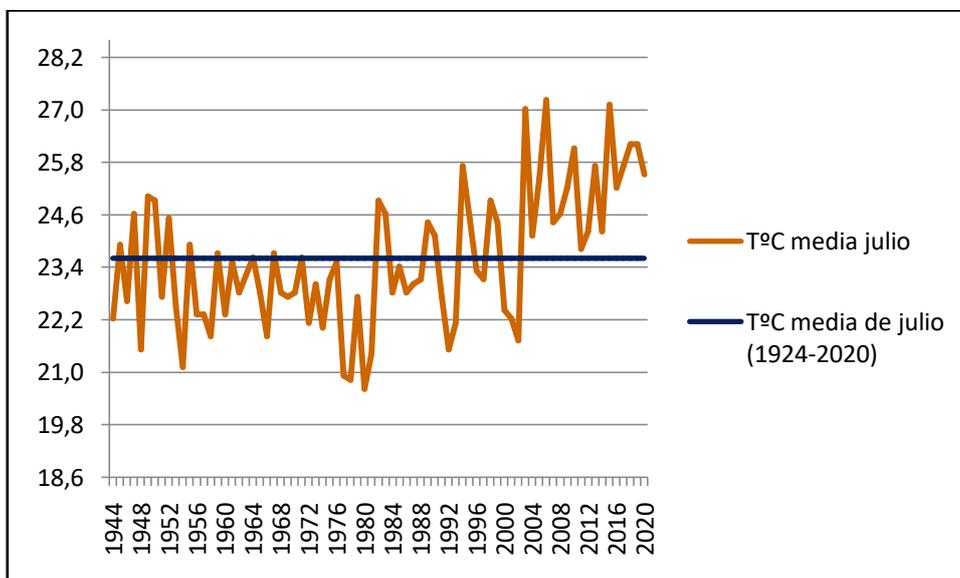


Figura 45: Gráfico con la evolución de la temperatura media de julio en el Aeropuerto del Prat (1944-2020), comparada con la temperatura media de julio de su serie de datos (1924-2020).

	T°C media julio El Prat
1980	20,6
1978	20,8
1977	20,9
1954	21,1
1981	21,4

Tabla 30: Años con las temperaturas medias de julio más bajas de los últimos cien años en el Aeropuerto del Prat

	T°C media julio El Prat
2006	27,2
2015	27,1
2003	27
2018	26,2
2019	26,2

Tabla 31: Años con las temperaturas medias de julio más altas de los últimos cien años en el Aeropuerto del Prat

Su evolución por décadas refleja que la década menos cálida fue la de los años setenta, con 22,45°C de temperatura media, y un margen de medio grado con la anterior. En cambio, la década más cálida corresponde a la reciente 2010-2019, con 25,44°C (Figura 46 y Tabla 32). En la misma línea, la temperatura media móvil menos cálida es la del periodo 1977-1981, con 21,28°C, diferenciándose claramente de las demás. En cambio, la más cálida se encuentra en el periodo 2015-2019, con 26,08°C.

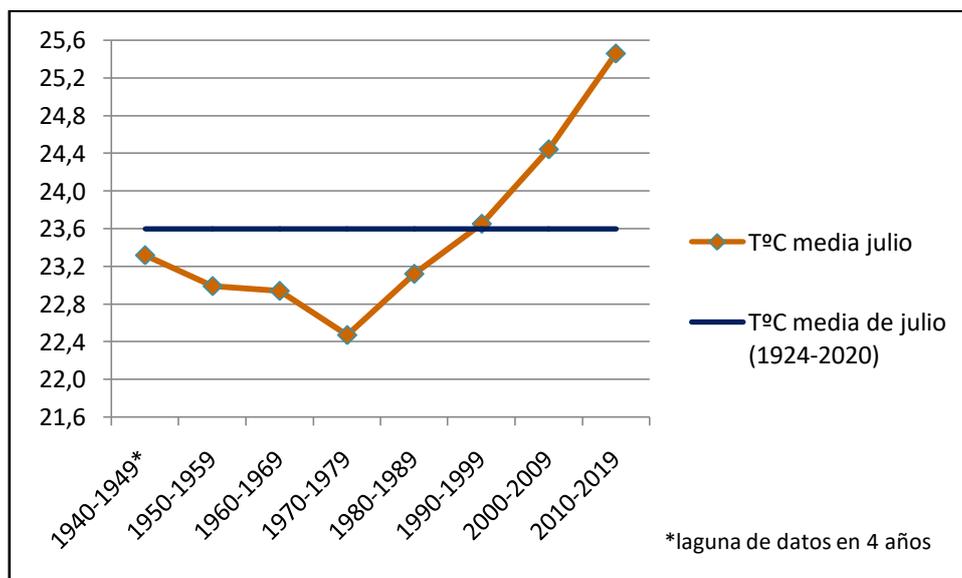


Figura 46: Gráfico con la evolución de la temperatura media de julio por décadas en el Aeropuerto del Prat, comparada con la temperatura media de julio de su serie (1924-2020).

	T°C media julio
1940-1949*	23,30
1950-1959	22,97
1960-1969	22,92
1970-1979	22,45
1980-1989	23,10
1990-1999	23,63
2000-2009	24,42
2010-2019	25,44

Tabla 32: Temperaturas medias de julio por décadas en el Prat (*con laguna de datos en 4 años en la década 1940-1949)

En cuanto a las anomalías respecto al promedio de la serie, como ya ocurría con junio, todas las anomalías son positivas desde el año 2003 hasta 2020. Se detectan algunas con valores de cerca del grado y medio en los julios de 1926 y 1927, y de 1949 y 1950. De esta forma, julio de 1980 presenta una anomalía negativa de $-2,98^{\circ}\text{C}$, mientras que julio de 2006 registró una anomalía positiva de $3,62^{\circ}\text{C}$ (Figura 47).

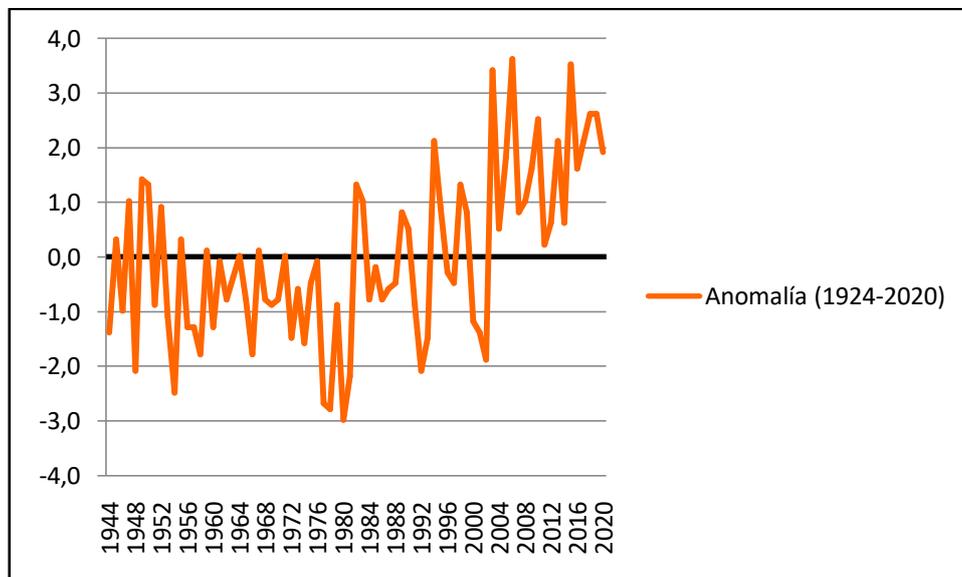


Figura 47: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de julio (1944-2020) en el Aeropuerto del Prat, respecto a la temperatura media de julio de su serie (1924-2020).

En cuanto a la división de la serie en dos periodos, la temperatura media de los años 1921 a 1990 es de $23,03^{\circ}\text{C}$, distando de la de los años 1991 a 2020, que es de $24,54^{\circ}\text{C}$. A pesar de haberse incrementado tanto esta última, solamente cinco años entre los años 2003 y 2020 presentaron una anomalía negativa respecto a ella. Ninguna de ellas supera el grado negativo. Sin embargo, a diferencia de junio, los años con anomalía positiva anteriores a 2003 presentan anomalías positivas muy débiles ($<0,5^{\circ}\text{C}$). En cuanto a las anomalías respecto al periodo 1924-2020, en la segunda década del siglo XXI, las positivas dan valores de entre 2 y 4°C en la mayoría de los años. En consecuencia, la anomalía negativa de julio de 1980 respecto a la media de 1991-2020 es de $-3,94^{\circ}\text{C}$, mientras que la de julio de 2006 fue de $4,17^{\circ}\text{C}$ (Figura 48).

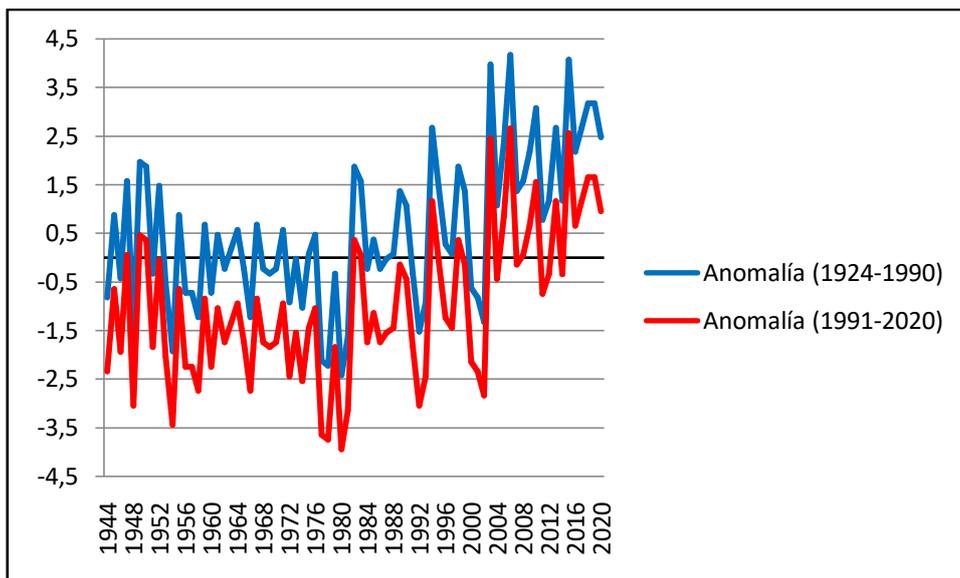


Figura 48: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de julio (1944-2020) en el Aeropuerto del Prat respecto a sus temperaturas medias de julio de los periodos 1924-1990 y 1991-2020.

Mes de agosto

Las temperaturas medias de este mes en las dos series analizadas, como en julio, oscilan entre los 23 y los 24°C, aunque con algunas diferencias respecto a este último mes. En el observatorio Fabra la temperatura media de la serie analizada (1921-2020) en este mes es de 23,18°C, aunque con una moda de 22,4°C. Estas temperaturas medias han variado desde los 20,5 hasta los 28,5°C a lo largo de la serie (Figura 49).

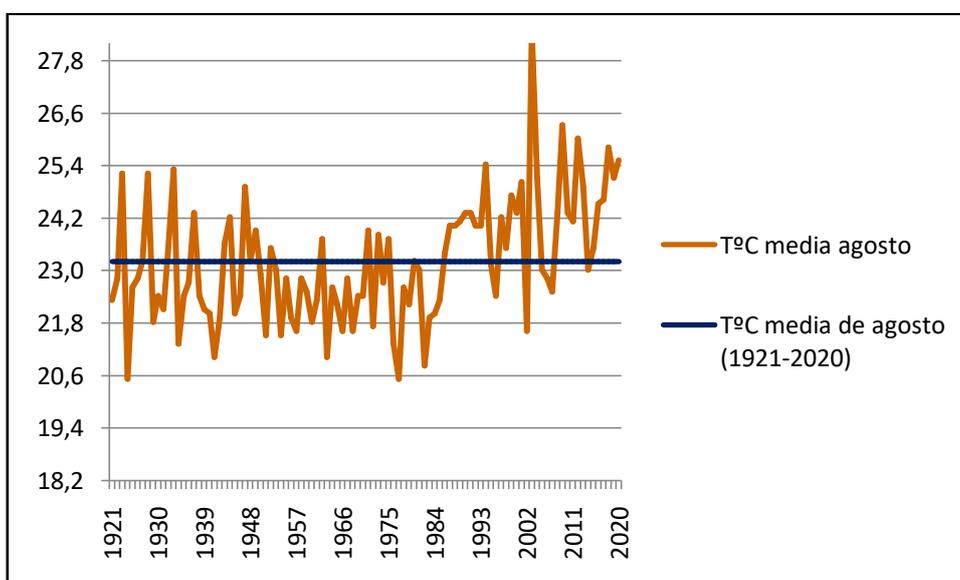


Figura 49: Gráfico con la evolución de la temperatura media de agosto en el Observatorio Fabra (1921-2020), comparada con su temperatura media de agosto de la serie 1921-2020.

	T°C media agosto Obs. Fabra
1924	20,5
1977	20,5
1982	20,8
1941	21,0
1963	21,0

Tabla 33: Años con las temperaturas medias de agosto más bajas de los últimos cien años en el Observatorio Fabra

	T°C media agosto Obs. Fabra
2003	28,5
2009	26,3
2012	26,0
2018	25,8
2020	25,5

Tabla 34: Años con las temperaturas medias de agosto más altas de los últimos cien años en el Observatorio Fabra

En su análisis por décadas, es la década de los sesenta, y no la de los setenta, la que presenta un valor más bajo, con 22,2°C. En cambio, igual que sucedió con el mes de julio, la década más cálida fue la reciente 2010-2019, con 24,58°C (Figura 50 y Tabla 35).

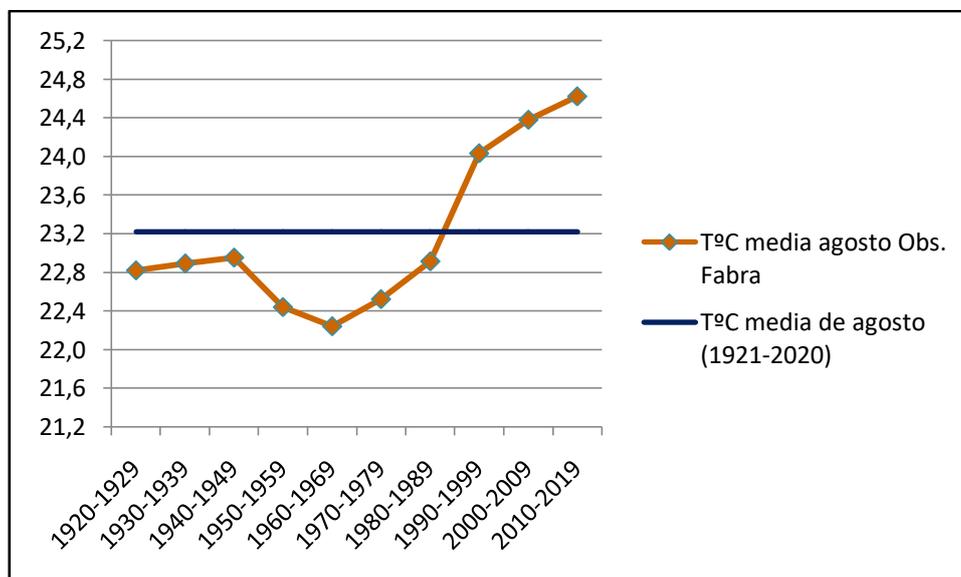


Figura 50: Gráfico con la evolución de la temperatura media de agosto por décadas en el Observatorio Fabra, comparada con la temperatura media de agosto de la serie 1921-2020.

Sin embargo, la temperatura media móvil de los cinco años menos cálidos no se encuentra en la década de los sesenta, ya que corresponde al 1938-1942, con 21,88°C. En cambio, la media móvil de los cinco años más cálidos sí que corresponde a la década reciente, siendo el periodo 2016-2020, con 25,1°C. Cabe destacar que, a falta de completarse, ya es superado por los tres años 2018-2020, con 25,47°C.

	T°C media agosto Obs. Fabra
1920-1929	22,78
1930-1939	22,85
1940-1949	22,91
1950-1959	22,40
1960-1969	22,20
1970-1979	22,48
1980-1989	22,87
1990-1999	23,99
2000-2009	24,34
2010-2019	24,58

Tabla 35: Temperaturas medias de agosto por décadas en el Observatorio Fabra

En cuanto a las anomalías respecto a la temperatura media de la serie, sucede lo mismo que con los meses de junio y julio. Con las excepciones de los años 2002, 2005, 2006, 2007 y 2014, el resto de años -del 2000 al 2020- presentan anomalías positivas, muchas por encima de los 2°C. También destacan algunas, previas a 1950: 1923 y 1928 (+2,02°C) o 1933 (+2,12°C). En este caso, los meses de agosto de 1924 y 1977 quedaron a 2,68°C por debajo de la media, mientras que agosto de 2003 superó los 5°C de anomalía positiva (Figura 51).

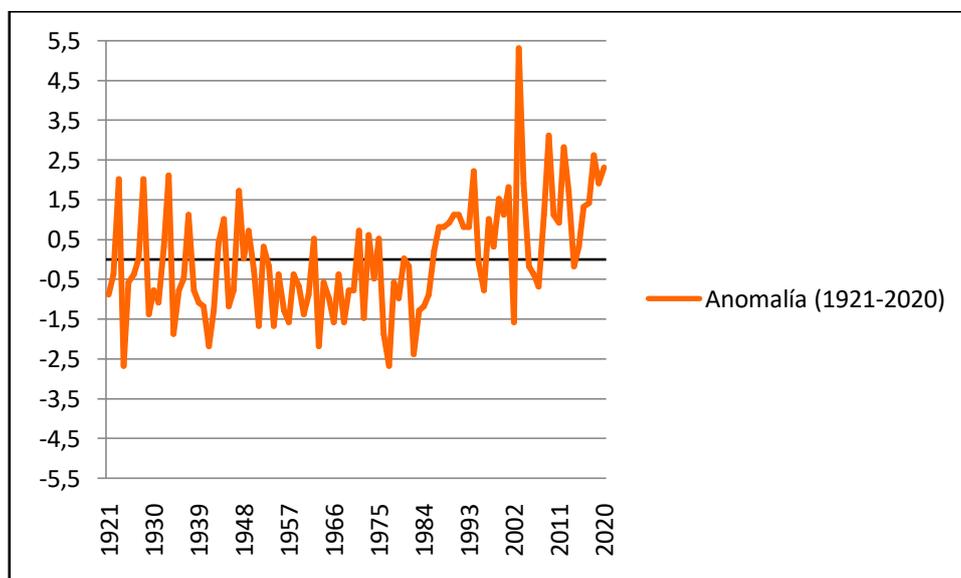


Figura 51: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de agosto (1921-2020) en el Observatorio Fabra, respecto a la temperatura media de agosto de la serie 1921-2020.

Si comparamos estas anomalías con los periodos 1921-1990 y 1991-2020, ambas presentan temperaturas medias de 22,68°C y 24,34°C, respectivamente. Destaca aquí como la temperatura media de agosto del periodo reciente supera a la de julio, fenómeno contrario al que sucede en el conjunto de la serie y en el periodo 1921-1990. Al haber crecido tanto el valor de 1991-2020, estas anomalías negativas que se observaban en algunos agostos entre los años 2000 y 2020 presentan valores entre 1,5 y 2°C, todavía mayores en numerosos años entre 1921 y 2000. En los últimos veinte años, las anomalías positivas también son destacadas respecto al periodo 1921-1990. De esta forma, la anomalía negativa de los meses de agosto de 1924 y 1977 respecto al periodo reciente es de -3,84°C, mientras que la anomalía positiva de agosto de 2003 respecto al periodo 1921-1990 es de 5,82°C (Figura 52).

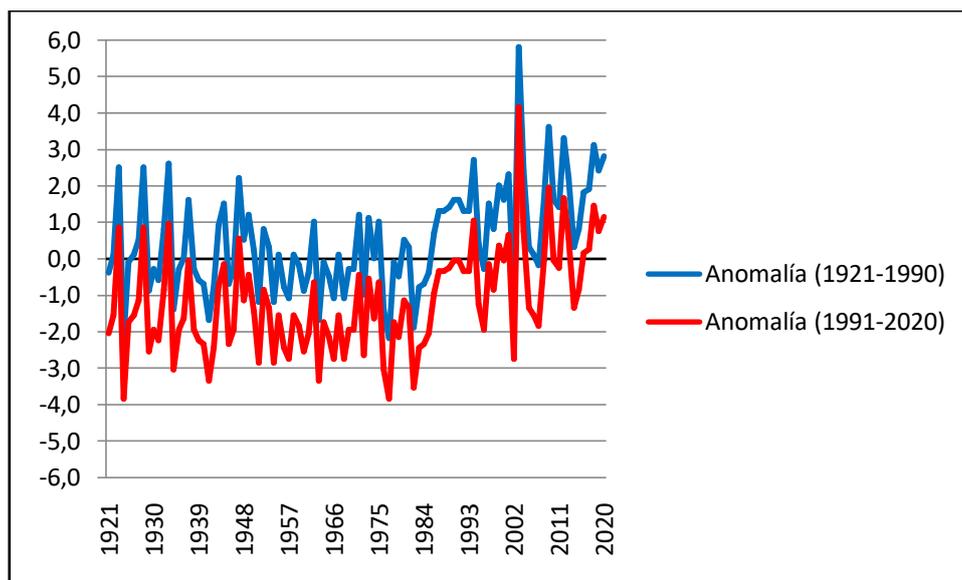


Figura 52: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de agosto (1921-2020) en el Observatorio Fabra respecto a sus temperaturas medias de agosto de los periodos 1921-1990 y 1991-2020.

La temperatura media de la serie analizada en el caso del observatorio del Aeropuerto del Prat (1924-2020) es de 23,94°C, y como se incidía en el 4.1.2., es un valor similar al del mes de julio. No obstante, presenta una moda de 23,4°C y una variación entre los 21°C y los 28°C (Figura 53). El agosto menos cálido fue el 1977, con 20,8°C, pero a cinco décimas del de 1924 (Tabla 36). Y el agosto más cálido también fue el de 2003, con 27,8°C, a siete décimas del de 2018 (Tabla 37).

	T°C media agosto El Prat
1977	20,8
1972	21,1
1924	21,3
1954	21,7
1963	21,9

Tabla 36: Años con las temperaturas medias de agosto más bajas de los últimos cien años en el Aeropuerto del Prat

	T°C media agosto El Prat
2003	27,8
2018	27,1
2009	26,3
2012	26,3
2019	26,3

Tabla 37: Años con las temperaturas medias de agosto más altas de los últimos cien años en el Aeropuerto del Prat

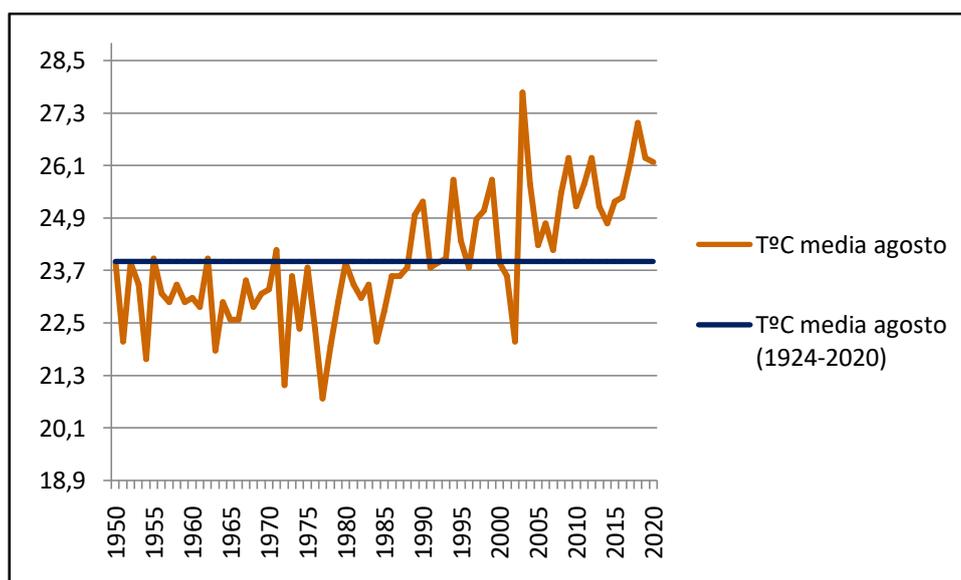


Figura 53: Gráfico con la evolución de la temperatura media de agosto en el Aeropuerto del Prat (1950-2020), comparada con la temperatura media de agosto de su serie de datos (1924-2020).

Su análisis por décadas, vuelve a indicar que la década de los setenta fue la más fresca, con 22,66°C. La más cálida, la reciente 2010-2019, con 25,75°C (Figura 54 y Tabla 38). La temperatura media móvil de los cinco años menos cálidos es la del periodo 1974-1978, con 22,28°C, y la de los cinco años más cálidos, el reciente periodo 2016-2020, con 26,24°C. Sobre esta cuestión, cabe destacar que se aprecia un notable aumento

sostenido entre la temperatura media móvil del periodo 2014-2018, con 25,76°C y la de los tres años 2018, 2019, 2020, con 26,53°C.

	T°C media agosto El Prat
1950-1959	23,16
1960-1969	22,97
1970-1979	22,66
1980-1989	23,47
1990-1999	24,68
2000-2009	24,82
2010-2019	25,75

Tabla 38: Temperaturas medias de agosto por décadas en el Prat

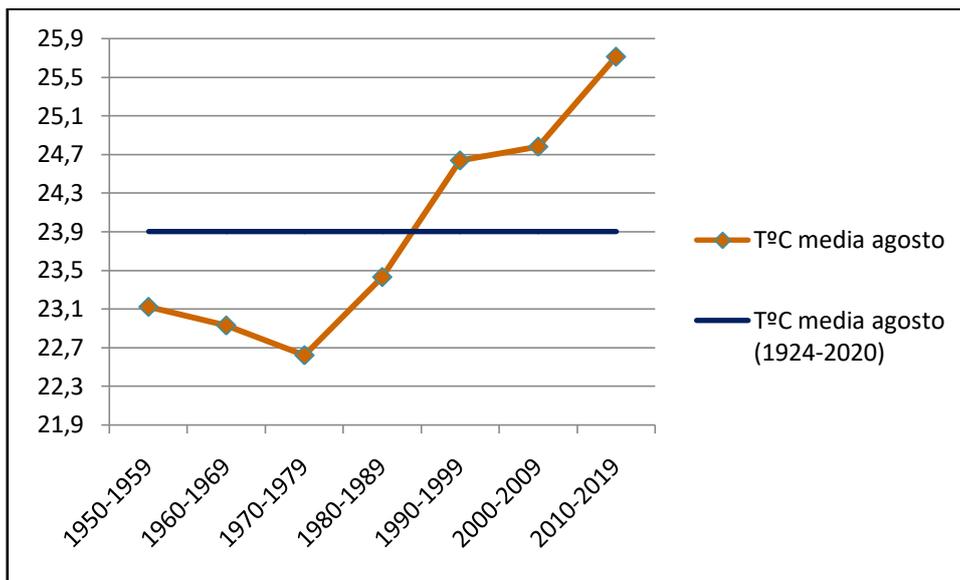


Figura 54: Gráfico con la evolución de la temperatura media de agosto por décadas en el Aeropuerto del Prat, comparada con la temperatura media de agosto de su serie (1924-2020).

En cuanto a las anomalías de la serie, como ya ocurría con los meses de junio y julio, la anomalía negativa más reciente de este mes es la del año 2002. Aunque a diferencia de sus dos meses anteriores, se observa un mayor predominio de anomalías positivas en la década de los 90. De este modo, el mes de agosto de 1977 presenta una anomalía negativa de -3,14°C, y el de 2003, de 3,86°C (Figura 55).

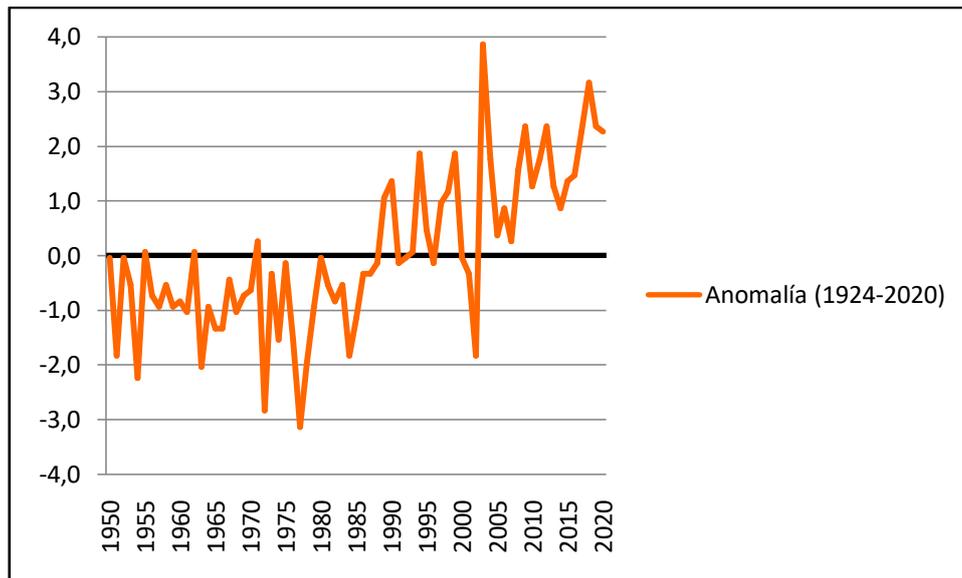


Figura 55: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de agosto (1950-2020) en el Aeropuerto del Prat, respecto a la temperatura media de agosto de su serie (1924-2020).

Dividida la serie en dos periodos, la temperatura media del periodo 1924-1990 es de 23,24°C (sólo dos décimas superior a la de julio 1924-1990), y la de 1991-2020, en cambio, ya es de 25,11°C. Aún se detecta mayor diferencia térmica entre estos dos periodos que en la del Observatorio Fabra. Tanto es así, que de los años 1986 a 2020, sólo se detecta una anomalía negativa respecto a la media 1921-1990, en el año 2002. Y de los años 1950 a 1990, todas las anomalías respecto a la media 1991-2020 son negativas. Aun así, se sigue observando que los agostos de 1925, 1926 y 1927 se parecen a los más recientes. En consecuencia, la anomalía negativa de agosto de 1977 respecto a la media de 1991-2020 es de -4,31°C, mientras que agosto de 2003 presenta una anomalía positiva de 4,56°C respecto a la media de 1924-1990 (Figura 56).

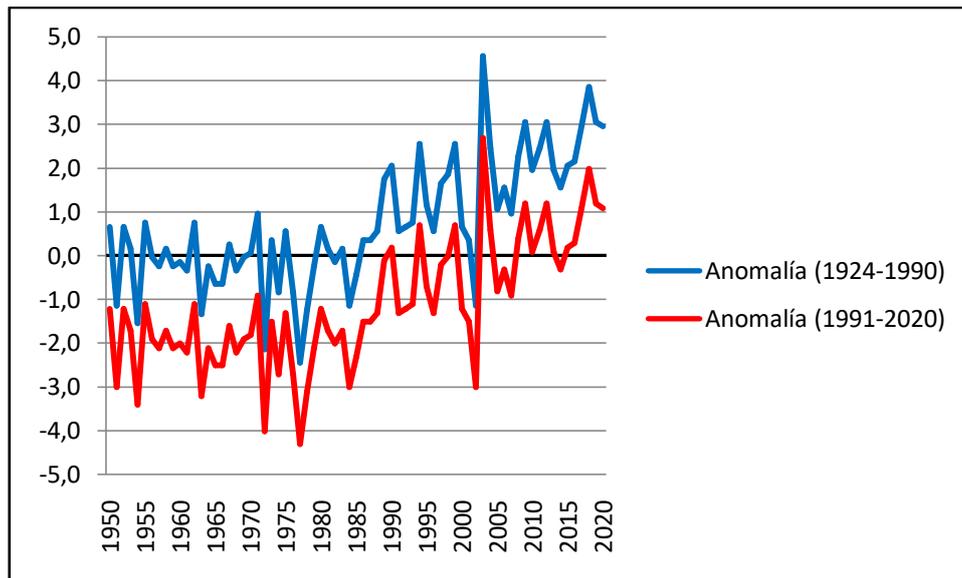


Figura 56: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de agosto (1950-2020) en el Aeropuerto del Prat respecto a sus temperaturas medias de agosto de los periodos 1924-1990 y 1991-2020.

Mes de septiembre

Las temperaturas medias del mes de septiembre de las dos series analizadas oscilan entre los 20 y los 22°C, si bien existe mayor diferenciación, como se apuntaba en el apartado 4.1.1. En el caso del observatorio Fabra la temperatura media de la serie analizada (1921-2020) es de 20,23°C, aunque con una moda de un valor superior, de 20,7°C, algo que también ocurría en julio. Así pues, las temperaturas medias para este mes han oscilado desde los 16°C hasta los 23,5°C (Figura 57). En cuanto al mes de septiembre menos cálido es el de 1972, con 16,2°C, a un grado por debajo del segundo menos cálido, el de 1922 o 1931 (Tabla 39). En cambio, el mes de septiembre más cálido fue el del año 1987, con 23,5°C (Tabla 40).

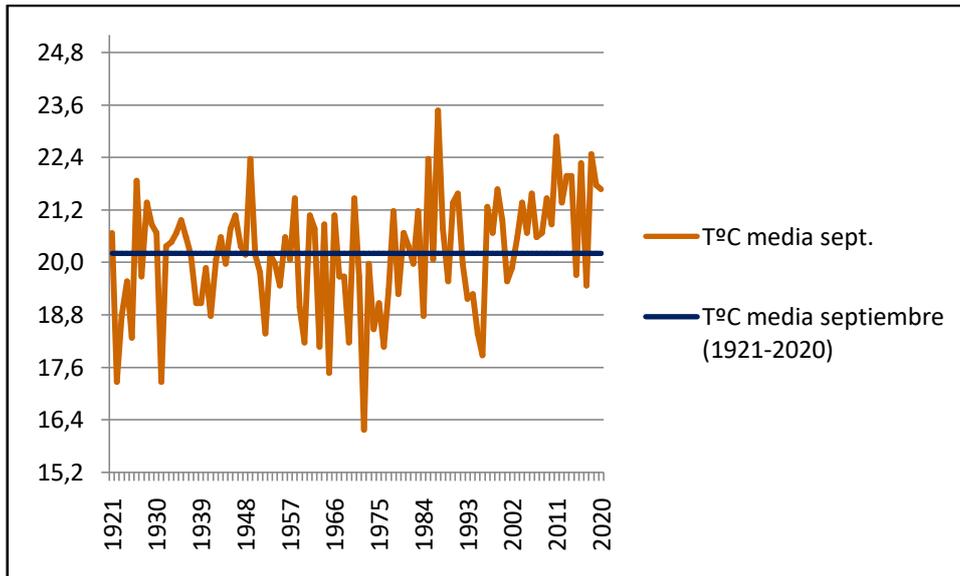


Figura 57: Gráfico con la evolución de la temperatura media de los meses de septiembre en el Observatorio Fabra (1921-2020), comparada con su temperatura media de septiembre de la serie 1921-2020.

	T°C media sept. Obs. Fabra
1972	16,2
1922	17,3
1931	17,3
1965	17,5
1996	17,9

Tabla 39: Años con las temperaturas medias de septiembre más bajas de los últimos cien años en el Observatorio Fabra

	T°C media sept. Obs. Fabra
1987	23,5
2011	22,9
2018	22,5
1949	22,4
1985	22,4

Tabla 40: Años con las temperaturas medias de septiembre más altas de los últimos cien años en el Observatorio Fabra

En su análisis por décadas, la década de los años setenta vuelve a ser la más fresca, con 19,3°C de temperatura media. En cambio, la década más cálida es la reciente 2010-2019, con 21,5°C, marcando una considerable distancia con el resto de décadas (Figura 58 y Tabla 41). La temperatura media móvil de los cinco años menos cálidos es la del periodo 1972-1976, con 18,38°C y la de los cinco más cálidos es la de 2010-2014, con

21,84°C. Sin embargo, sin acabarse de completar, la temperatura media móvil de los años 2018, 2019 y 2020 ya alcanza los 22°C.

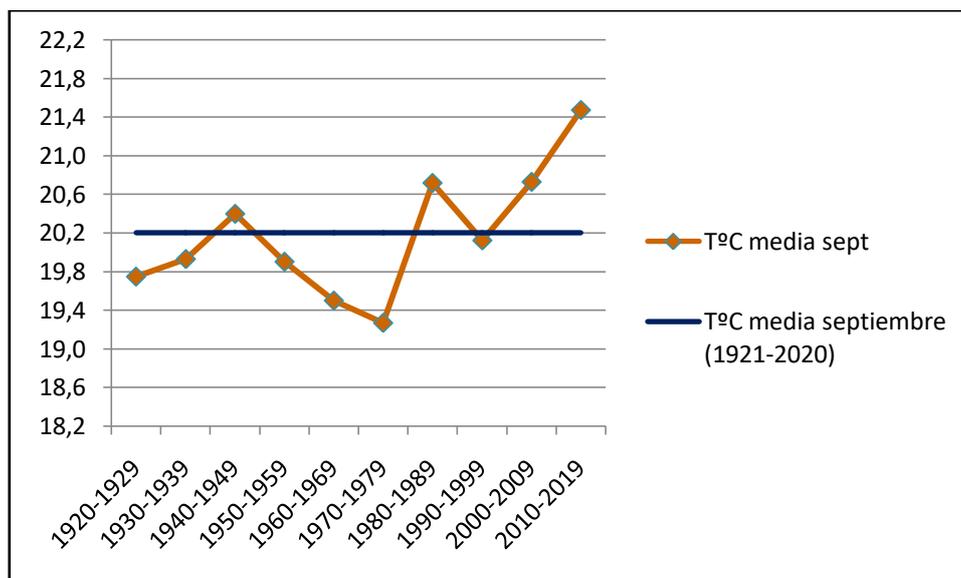


Figura 58: Gráfico con la evolución de la temperatura media de septiembre por décadas en el Observatorio Fabra, comparada con la temperatura media de septiembre de la serie 1921-2020.

	T°C media sept. Obs. Fabra
1920-1929	19,78
1930-1939	19,96
1940-1949	20,43
1950-1959	19,93
1960-1969	19,53
1970-1979	19,30
1980-1989	20,75
1990-1999	20,15
2000-2009	20,76
2010-2019	21,50

Tabla 41: Temperaturas medias de septiembre por décadas en el Observatorio Fabra

En cuanto a las anomalías respecto a la temperatura media de la serie (1921-2020), se repite la misma tendencia que los tres meses anteriores. Del año 2003 al 2020, en tan sólo dos años hubo una anomalía negativa, en 2015 y 2017. En los años anteriores a 1950, destacan las anomalías positivas de 1926 (+1,67°C) y de 1949 (2,17°C). Valorando el mes menos cálido y el más cálido, el mes de septiembre de 1972 presenta una anomalía negativa de -4,03°C y septiembre de 1987, una positiva de 3,27°C (Figura 59).

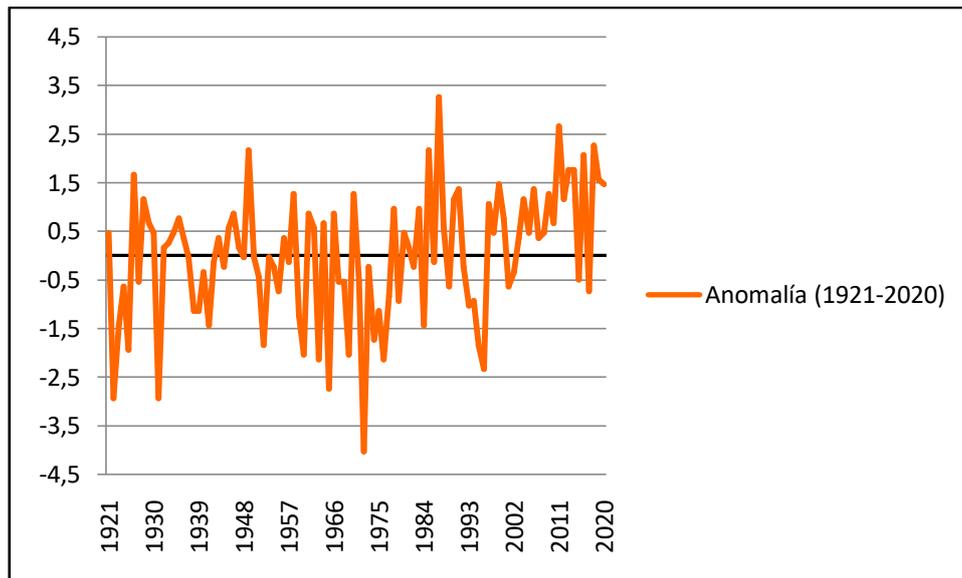


Figura 59: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de septiembre (1921-2020) en el Observatorio Fabra, respecto a la temperatura media de septiembre de la serie 1921-2020.

Dividida esta serie en dos periodos, en 1921-1990 y 1991-2020, ambas temperaturas medias son las que menos se diferencian de los meses analizados. El valor del primero es de $19,99^{\circ}\text{C}$, y el del segundo, de $20,81^{\circ}\text{C}$. Por tanto, las anomalías térmicas respecto a un periodo y al otro se diferencian poco. No obstante, respecto al segundo periodo, se registran mayores anomalías negativas entre los años 2003 y 2020 que las que se registraban respecto a la media del total de la serie, incluyendo los años 2003, 2005, 2007 y 2008. Además, a diferencia de lo que ocurre con agosto, existen dos años de la década 2010-2019 que obtuvieron una anomalía negativa respecto a la media de 1921-1990, que son los mencionados anteriormente 2015 y 2017. En consecuencia, la anomalía negativa de septiembre de 1972 respecto a la media de 1991-2020 es de $-3,79^{\circ}\text{C}$, mientras que la anomalía positiva de septiembre de 1987 respecto a la media de su periodo 1921-1990 es de $3,51^{\circ}\text{C}$ (Figura 60).

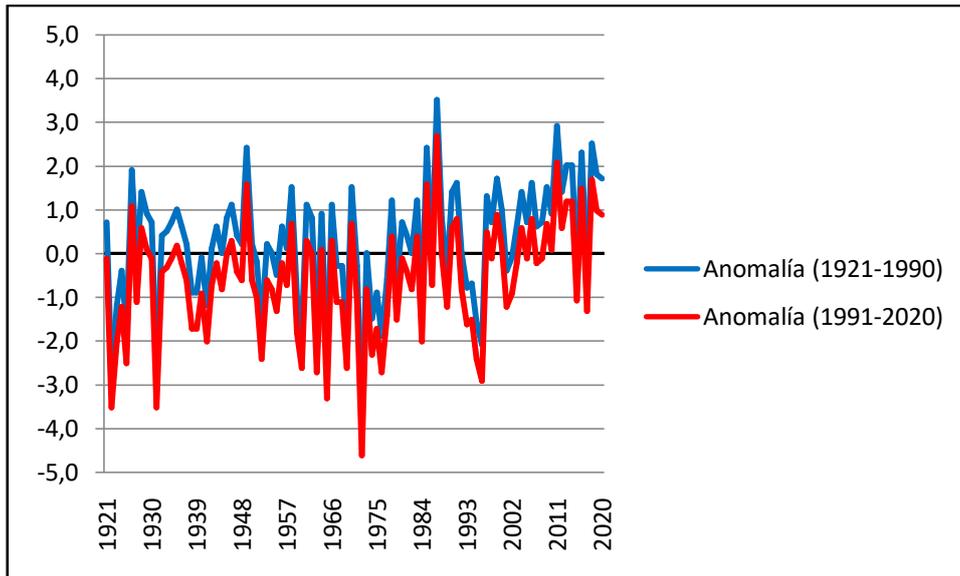


Figura 60: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de septiembre (1921-2020) en el Observatorio Fabra respecto a sus temperaturas medias de septiembre de los periodos 1921-1990 y 1991-2020.

En referencia al Aeropuerto del Prat, por lo que respecta al mes de septiembre, hay que advertir que los datos también tienen algunas lagunas entre 1928 y 1943.

La temperatura media de la serie analizada de este observatorio (1924-2020) es de 21,57°C, aunque con una moda de 21°C. En dichos años, la temperatura media del mes de septiembre ha oscilado entre los 18 y los 25°C (Figura 61). El mes de septiembre menos cálido también es el de 1972, con 18°C, a siete décimas del de 1965 (Tabla 42) y el septiembre más cálido, en este caso, es el de 1926, con 25,1°C, a una décima del de 2004 (Tabla 43).

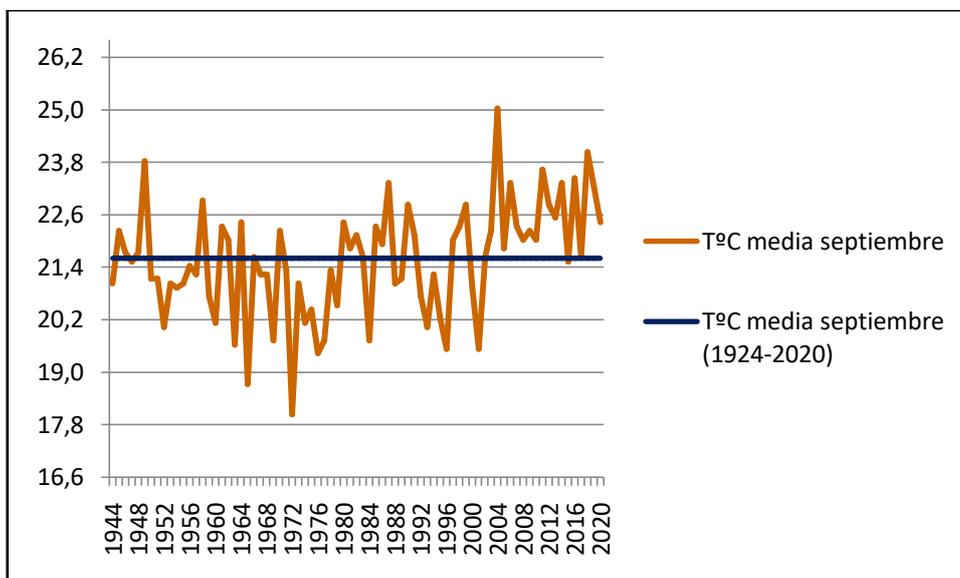


Figura 61: Gráfico con la evolución de la temperatura media del mes de septiembre en el Aeropuerto del Prat (1944-2020), comparada con la temperatura media de septiembre de su serie de datos (1924-2020).

	T°C media sept. El Prat
1972	18
1965	18,7
1976	19,4
1996	19,5
2001	19,5

Tabla 42: Años con las temperaturas medias de septiembre más bajas de los últimos cien años en el Aeropuerto del Prat

	T°C media sept. El Prat
1926	25,1
2004	25
2018	24
1949	23,8
2011	23,6

Tabla 43: Años con las temperaturas medias de septiembre más altas de los últimos cien años en el Aeropuerto del Prat

La evolución térmica que presenta por décadas, también demuestra que es la de los setenta la década menos cálida, con 20,39°C. Por el contrario, la más cálida es la reciente 2010-2019 con 22,79°C, diferenciándose claramente de las otras, como ocurre con los datos del Fabra (Figura 62 y Tabla 44). En cuanto a las temperaturas medias móviles, la menos cálida corresponde al periodo 1972-1976, con 19,78°C. En el otro extremo, la más cálida corresponde al periodo 2016-2020, con 22,92°C. Ante esto último, cabe destacar que coincide con la temperatura media móvil del periodo 2003-2007, el mismo periodo que junio. También es importante añadir que la temperatura media móvil referente a los años 2018-2020, es de 23,2°C.

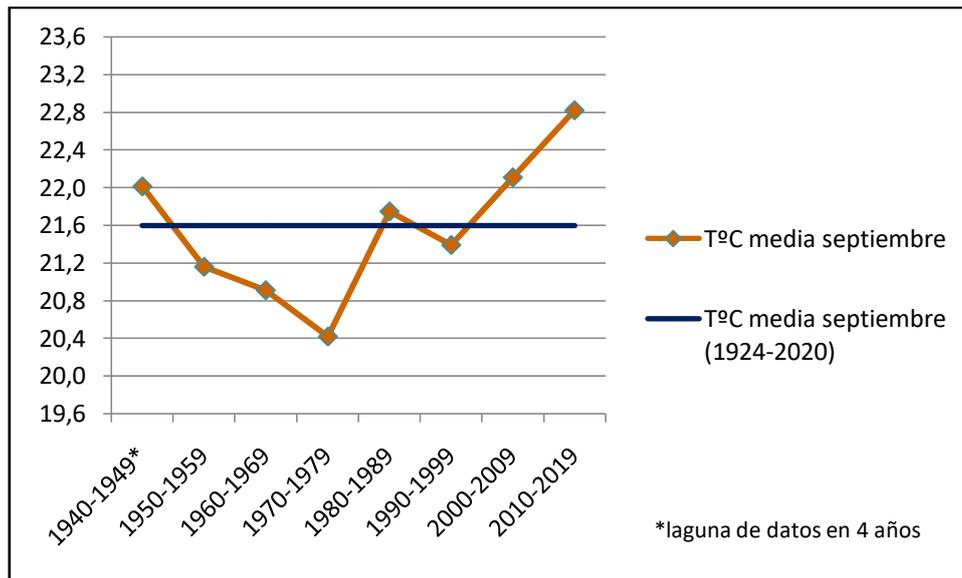


Figura 62: Gráfico con la evolución de la temperatura media del mes de septiembre por décadas en el Aeropuerto del Prat, comparada con la temperatura media de septiembre de su serie (1924-2020).

	T°C media sept. El Prat
1940-1949*	21,98
1950-1959	21,13
1960-1969	20,88
1970-1979	20,39
1980-1989	21,72
1990-1999	21,36
2000-2009	22,08
2010-2019	22,79

Tabla 44: Temperaturas medias de septiembre por décadas en el Prat (*con laguna de datos en 4 años en la década 1940-1949)

En cuanto a las anomalías respecto a la temperatura media de la serie (1924-2020), se repite el mismo predominio de anomalías positivas a partir del año 2003, pero con una excepción no hallada en El Prat en el análisis de los meses anteriores: la anomalía negativa de septiembre de 2015 (-0,07°C). En este caso, también destacan las anomalías positivas de septiembre de 1926 (+3,53°C), que es la más alta de la serie, y la del de 1949 (+2,23°C). Valorando el mes menos cálido, septiembre de 1972, presenta una anomalía negativa de -3,57°C (Figura 63).

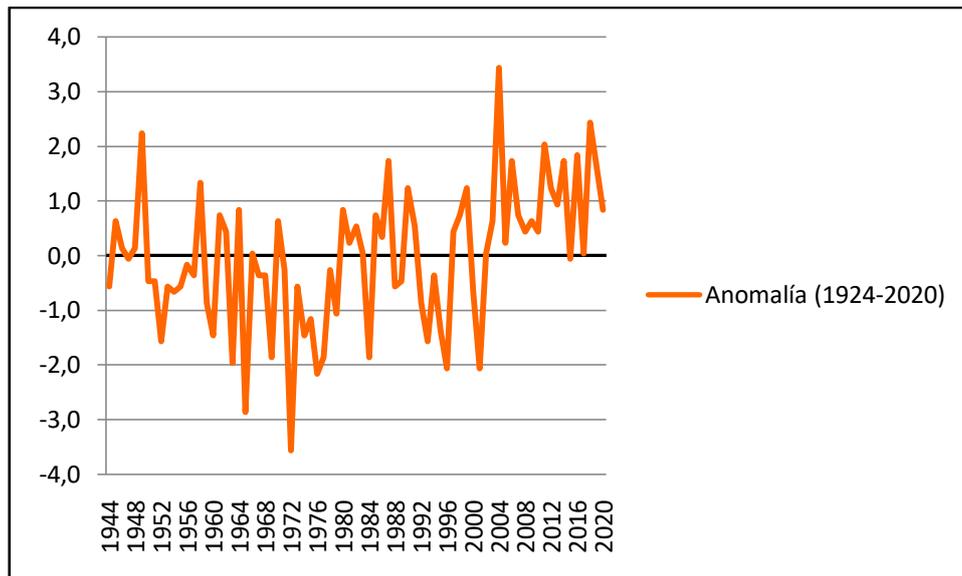


Figura 63: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de septiembre (1944-2020) en el Aeropuerto del Prat, respecto a la temperatura media de septiembre de su serie (1924-2020).

En la segmentación de la serie en los dos periodos (1924-1990) y (1991-2020), a diferencia de agosto, la diferencia entre las temperaturas medias de los dos periodos es poco notable. La primera es de 21,28°C, y la segunda, de 22,06°C. De esta forma, en la línea de lo analizado hasta ahora, destaca el predominio de anomalías positivas entre los años 2003 y 2020, aunque con mayores anomalías negativas que las referentes al promedio total de la serie. En este caso la que más destaca es la del año 2015, con -0,56°C. En consecuencia, la anomalía positiva del mes más cálido, el de 1926, respecto a la media de su periodo 1924-1990, es de 3,82°C. En cambio, la anomalía negativa de septiembre de 1972 respecto a la media 1991-2020 es de -3,28°C (Figura 64).

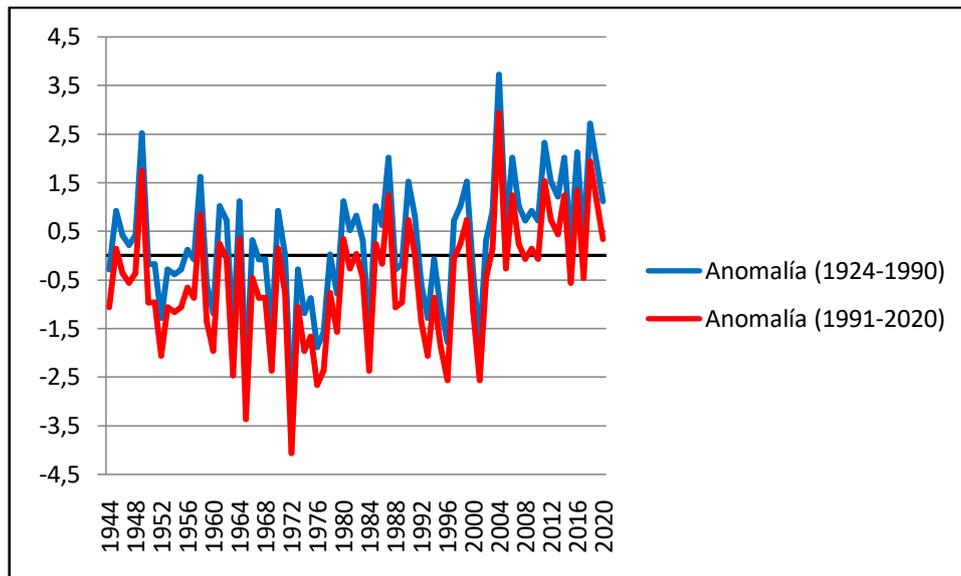


Figura 64: Gráfico con la evolución de la anomalía térmica de las temperaturas medias de septiembre (1944-2020) en el Aeropuerto del Prat respecto a sus temperaturas medias de septiembre de los periodos 1924-1990 y 1991-2020.

4.3. Cálculos de tendencias en las series

En esta parte de los resultados, se incluye el cálculo de las tendencias reales de los datos térmicos analizados, aspecto clave para poder confirmar o no las hipótesis inicialmente planteadas. En un primer apartado se indicarán los coeficientes de correlación de Pearson calculados y las tendencias de las temperaturas medias de los veranos (TMm) y las de los meses de junio, julio, agosto y septiembre. En el segundo apartado se hará lo propio con las temperaturas medias de las máximas (TXm) y en el tercer y último apartado serán los coeficientes de correlación y tendencias correspondientes a las temperaturas medias de las mínimas (TNm).

4.3.1. Coeficientes de correlación de Pearson y tendencias de las temperaturas medias (TMm) de los veranos y de las de los meses de junio, julio, agosto y septiembre

Temperaturas medias de los veranos

Por lo que respecta a las temperaturas medias del verano, la correlación de Pearson entre los datos del Observatorio Fabra (1921-2020) y los del Aeropuerto del Prat (1924-2020) es de 0,83 sobre 1. Este dato indica, de nuevo, que es una tendencia ascendente y que ha tenido lugar de forma prácticamente simultánea entre los dos observatorios.

Según los resultados del programa *Makesens*, la temperatura media de los veranos en el Observatorio Fabra se ha incrementado en 0,019°C por año en los últimos cien años. La significación de esta tendencia es excelente, con un nivel de confianza del 99,9%. Por

tanto, en el Observatorio Fabra la temperatura media de los veranos es 1,9°C superior a la de cien años atrás, con prácticamente total seguridad.

A modo de comparación con los datos del Aeropuerto del Prat, la temperatura media de los veranos en el Observatorio Fabra entre los años 1950 y 2020 se ha incrementado en 0,039°C por año, siendo más pronunciado que si se amplía la cobertura temporal a cien años. Es una tendencia que también es de una significancia excelente, como también lo es la del Prat en este mismo periodo. En este último, el alza térmica es algo mayor, con 0,046°C por año. Esto dos datos nos indican que la temperatura media de los veranos es aproximadamente 2,77°C más cálida que en 1950 en el Observatorio Fabra, y aproximadamente 3,27°C más cálida que en 1950 en el Aeropuerto del Prat. Este último es superior al aumento térmico del conjunto de Cataluña en dicha estación en el mismo periodo de tiempo (BAIC, 2020). Se trata de dos cambios térmicos notables, equivalentes a las variaciones de temperatura media que ocurren anualmente entre los meses de junio o septiembre con los dos meses centrales del verano.

Comparada esta tendencia con la del estudio de Luna Rico *et al* (2012), entre los años 1965 y 2010, el calentamiento es idéntico al del conjunto de la España peninsular y Baleares (0,52°C por década) en el Observatorio Fabra, siendo superior en el Aeropuerto del Prat (0,64°C por década).

Temperaturas medias de junio:

La correlación de Pearson entre la serie analizada del Observatorio Fabra (1921-2020) y la del Aeropuerto del Prat (1924-2020) referentes al mes de junio es de 0,82 sobre 1, de manera que el incremento térmico, normalmente, ha ocurrido de forma simultánea.

Acorde con los resultados del programa *Makesens*, el incremento térmico que muestran los datos continuos de temperaturas medias del mes de junio en el Observatorio Fabra en los últimos cien años fue de 0,016°C por año. Su significación es muy buena, con un nivel de confianza del 99%. Esta determinación indica que, con mucha probabilidad, la temperatura media de junio es aproximadamente 1,6°C más cálida que hace cien años.

En la comparación de tendencias con los datos del Aeropuerto del Prat, la temperatura media de junio entre los años 1944 y 2020 en el Observatorio Fabra ha aumentado en 0,028°C por año, y entre los mismos años, 0,034°C en el aeropuerto. Ambas tendencias muestran una significación distinta, ya que la del observatorio del Tibidabo es muy buena y, la de El Prat, excelente. De este modo, en los últimos setenta y siete años, la temperatura media de junio del Observatorio Fabra ha aumentado 2,16°C, y en El Prat, 2,62°C. Son incrementos que en este caso son menores que los del conjunto del verano, pero no menos importantes.

Temperaturas medias de julio:

En cuanto a la temperatura media del mes de julio, el coeficiente de correlación de Pearson entre los datos importados del Observatorio Fabra (1921-2020) y los del Aeropuerto del Prat (1924-2020) es de 0,80 sobre 1. Es el mes con menor correlación de

los cuatro analizados, pero sigue siendo bastante alta. Y a pesar de seguir presentando una tendencia térmica simultánea, como se comentaba, coincide con el mes en el que existe menor diferenciación térmica entre las temperaturas medias de los dos observatorios, consecuencia de una mayor irregularidad más que por presentar los mismos valores (apartado 4.1.1.).

En cuanto a las cifras de variación térmica, la temperatura media de julio en el Observatorio Fabra entre los años 1921 y 2020 ha ganado $0,017^{\circ}\text{C}$ por año, con una significación muy buena (nivel de confianza del 99%). En consecuencia, la temperatura media de julio muy probablemente resulta $1,7^{\circ}\text{C}$ mayor que hace cien años.

En comparación con los datos del Aeropuerto del Prat, se detecta un alza térmica de $0,025^{\circ}\text{C}$ por año en las temperaturas medias de julio del Observatorio Fabra entre los años 1944 y 2020. En la misma cobertura temporal, el Aeropuerto del Prat registra una subida de $0,036^{\circ}\text{C}$ por año. La diferencia entre ambos crecimientos térmicos es que el del Fabra presenta una significación muy buena, y El Prat, excelente. En otras palabras, la temperatura media de julio es $1,925^{\circ}\text{C}$ mayor y $2,77^{\circ}\text{C}$ mayor que hace setenta y siete años, en ambos observatorios respectivamente.

Temperaturas medias de agosto:

Por lo que respecta a la temperatura media del mes de agosto, el coeficiente de correlación entre la serie analizada del Observatorio Fabra (1921-2020) y la del Aeropuerto del Prat (1950-2020) es de 0,85 sobre 1. Se trata de una correlación cercana a ser perfecta.

Respecto a la cuantificación de su tendencia a lo largo del tiempo, la temperatura media de agosto en el Observatorio Fabra se ha incrementado en $0,022^{\circ}\text{C}$ por año entre 1921 y 2020. La significación de esta tendencia de aumento es excelente (nivel de confianza de 99,9%) y expresa que la temperatura media de agosto en este observatorio es $2,2^{\circ}\text{C}$ más cálida que cien años atrás.

Comparando las tendencias con las del Aeropuerto del Prat, esta temperatura media de agosto, solamente entre los años 1950 y 2020, se ha incrementado en $0,043^{\circ}\text{C}$ por año en el Observatorio Fabra. En el mismo periodo, El Prat presenta un alza de $0,048^{\circ}\text{C}$ por año. Los dos incrementos presentan una significancia excelente, con lo cual cabe concluir, con escasas dudas, que la temperatura media de agosto es $3,05^{\circ}\text{C}$ mayor en el observatorio de la parte alta de la ciudad respecto a la de hace setenta y un años. La temperatura es todavía más cálida en el Aeropuerto del Prat, con un valor de $3,41^{\circ}\text{C}$. Como ha ocurrido en el litoral valenciano, el mes de agosto es el que ha presentado un mayor incremento térmico en la segunda mitad del siglo XX (Miró y Estrela, 2004).

Temperaturas medias de septiembre:

En cuanto a la temperatura media del mes del fin del verano astronómico, el coeficiente de correlación de Pearson entre la serie analizada del Observatorio Fabra (1921-2020) y

la serie del Aeropuerto del Prat (1924-2020) es de 0,85 sobre 1. La misma alta correlación que la que presentan las series de agosto.

Por lo que respecta a la cuantificación de la tendencia que presenta esta temperatura media en los últimos cien años en el Observatorio Fabra, se trata de un incremento de 0,013°C, que equivale a una temperatura media de septiembre en el presente 1,3°C más cálida que la de hace cien años. Su significancia es muy buena, con un nivel de confianza del 99%.

Al comparar las tendencias de los dos observatorios, entre los años 1944 y 2020, los datos de temperatura media del Fabra presentan un incremento de 0,020°C por año. En otras palabras, en dicho observatorio, la temperatura media de este mes es 1,42°C superior a la de hace setenta y siete años. El grado de significación es muy bueno, como la anterior tendencia. En este caso, el Aeropuerto del Prat presenta la misma cifra de incremento y de significancia que el Observatorio Fabra. De manera que, se puede afirmar que los dos observatorios han presentado el mismo incremento, respetando sus diferencias térmicas por lo que respecta a este mes.

Septiembre, pues, es el mes con el menor incremento de temperatura, pero con incertidumbre sobre si se mantendrá esta moderación en su ascenso térmico en el futuro.

4.3.2. Coeficientes de correlación de Pearson y tendencias de las temperaturas medias de las máximas (TXm) de los meses de junio, julio, agosto y septiembre

Temperatura media de las máximas de junio:

La serie analizada de la temperatura máxima media del mes de junio en el Observatorio Fabra (1921-2020) y la del Aeropuerto del Prat (1924-2020) presentan una correlación de Pearson de 0,76 sobre 1. Como ocurrirá con el resto de temperaturas máximas medias, y también con las temperaturas mínimas medias, es una alta correlación pero algo más baja que las temperaturas medias. Esto se debe, en parte, a que las temperaturas máximas y las mínimas son más variables entre un lugar y otro, presentando mayor irregularidad en sus diferencias.

En la cifra de incremento térmico de los datos analizados en la serie del Observatorio Fabra de 1921 a 2020, existe un alza térmica equivalente al que presenta la temperatura media de los veranos en el mismo tiempo, de 0,019°C por año. Siendo mayor que el de la temperatura media de junio, la temperatura máxima de dicho mes es 1,9°C más cálida que la de hace cien años. Una cifra de muy buena significación (nivel de confianza del 99%).

En comparación con la tendencia de los datos de El Prat, entre los años 1944 y 2020, la temperatura máxima media de junio en el Observatorio Fabra ha aumentado 0,031°C cada año, con la misma significación que la anterior tendencia. Mientras, en el Aeropuerto del Prat se registra un incremento algo menor, pero con significancia excelente, de 0,028°C por año. Por tanto, respecto a setenta y siete años atrás, la

temperatura máxima media de junio del Observatorio Fabra es 2,39°C mayor, y la de El Prat, 2,16°C. La segunda con más probabilidad que la primera.

Temperatura media de las máximas de julio:

La correlación de Pearson existente entre la serie analizada del Observatorio Fabra (1921-2020) y la del Aeropuerto del Prat (1924-2020) respecto a la temperatura máxima media de julio es de 0,73 sobre 1, siendo la correlación más baja de todas las calculadas.

En este caso, los datos del Observatorio Fabra de los últimos cien años muestran un incremento térmico de 0,020°C por año, esta vez con una significación excelente. Se trata, pues, de una temperatura máxima de 1,54°C mayor que la de cien años atrás.

En comparación con la tendencia del Aeropuerto del Prat, entre los años 1944 y 2020, los datos del Observatorio Fabra muestran un aumento de 0,028°C cada año, y los de El Prat, 0,021°C. Ambas tendencias presentan muy buena significación. En consecuencia, cabe afirmar que, con mucha probabilidad, la temperatura máxima media de julio en el Observatorio Fabra es 2,16°C más cálida que en 1944, y la de El Prat, 1,62°C.

Temperatura media de las máximas de agosto:

Respecto a este indicador, la serie de datos escogida del Observatorio Fabra (1921-2020) y toda la serie de datos del Aeropuerto (1924-2020) presentan una correlación de 0,8 sobre 1, siendo el mes con mayor correlación entre las temperaturas máximas de los cuatro analizados.

En los últimos cien años, la temperatura máxima media de agosto del Observatorio Fabra ha sido 0,028°C mayor cada año, con una excelente significación (nivel de confianza del 99,9%). En otras palabras, la media de temperaturas más alta que se alcanza en los días del mes de agosto es 2,8°C mayor que hace cien años.

Comparando la tendencia del Observatorio Fabra con la del Aeropuerto del Prat, entre los años 1950 y 2020, en el Fabra ha habido un incremento de 0,053°C por año, mientras que en El Prat es de 0,041°C. El primer dato muestra una de las tendencias ascendentes más grandes de todas las tendencias analizadas en el presente Trabajo. En consecuencia, la temperatura máxima media de agosto ha aumentado 3,76°C en los últimos setenta y un años en el observatorio del Tibidabo, mientras que en el del Aeropuerto lo ha hecho con 2,91°C. Además, ambas tendencias muestran una significación excelente. Todo ello indica que se ha mantenido la tendencia de un mayor incremento en las temperaturas máximas de agosto que en las de junio o julio, como ya se detectaba entre 1950 y 1998 (Sigró *et alter*, 2006). No obstante, al margen de lo que se determina en este último estudio, el incremento de las máximas de agosto del Aeropuerto del Prat es menor al de las mínimas de dicho mes.

Temperatura media de las máximas de septiembre:

Respecto a este índice, la correlación existente entre la serie empleada del Observatorio Fabra (1921-2020) y toda la serie del Aeropuerto del Prat (1924-2020) es de 0,76 sobre 1, demostrando de nuevo una alta simultaneidad en el incremento térmico que se ha detectado.

En este sentido, la temperatura media de las máximas en septiembre se ha incrementado en 0,021°C por año en el Observatorio Fabra en los últimos cien años. Es una cifra similar a la de las máximas de julio, también con significación excelente (nivel de confianza del 99,9%).

Si sólo se tiene en cuenta el periodo 1944-2020, a modo de comparación con la tendencia del Aeropuerto del Prat, la tendencia al alza del Observatorio Fabra es de 0,032°C por año, con una significación excelente. Sin embargo, en el Aeropuerto del Prat el incremento se reduce a algo más de la mitad, con 0,015°C por año, y con una significación buena (nivel de confianza del 95%). En consecuencia, con mucha seguridad, la temperatura máxima media de septiembre en el Fabra es 2,46°C, mientras que en El Prat también ha aumentado, pero 1,155°C, y con menor probabilidad de haberse producido un incremento.

4.3.3. Coeficientes de correlación de Pearson y tendencias de las temperaturas mínimas medias (TNm) de los meses de junio, julio, agosto y septiembre

Temperaturas medias de las mínimas de junio:

Sobre las temperaturas mínimas medias del mes de junio, la correlación existente entre la serie empleada del Observatorio Fabra (1921-2020) y toda la serie del Aeropuerto del Prat (1924-2020) es de 0,77 sobre 1.

En cuanto al valor de la tendencia de los cien últimos años en el Fabra, ésta se cuantifica en 0,013°C por año, con una significación buena (nivel de confianza del 95%). Esto nos indica que la temperatura mínima de junio en este Observatorio es 1,3°C mayor que la de hace cien años. Es el mismo incremento que la temperatura media de septiembre en la misma escala temporal, pero con menor significación que esta última.

Si se comparan las tendencias de los dos observatorios, entre los años 1944 y 2020, el incremento en el Fabra es de 0,023°C por año, con una significación muy buena (nivel de confianza del 99%). En el caso del Aeropuerto del Prat, el incremento es de 0,041°C por año, con una significación excelente (99,9% de nivel de confianza). Por tanto, se concluye que la temperatura mínima de junio es 1,71°C más cálida que la de setenta y siete años atrás en el Observatorio Fabra, mientras que en El Prat lo es de 3,16°C.

Temperaturas medias de las mínimas de julio:

La correlación entre la serie de datos tratada del Observatorio Fabra (1921-2020) y toda la serie del Aeropuerto del Prat (1924-2020) es de 0,74 sobre 1.

Por lo que respecta a la tendencia de aumento de los datos de los últimos cien años en el Observatorio Fabra, como la de junio, es de $0,013^{\circ}\text{C}$ por año, suponiendo un aumento de $1,3^{\circ}\text{C}$ respecto a 1921. En esta ocasión, la significación de la tendencia gana más calidad respecto a la de junio (1921-2020), pasando a ser muy buena (nivel de confianza del 99%).

Entre los años 1944 y 2020, respecto a la comparación de tendencias entre los dos observatorios, en el Fabra se halla un incremento de $0,021^{\circ}\text{C}$ por año, con una significancia muy buena. En el Prat, con una significación excelente, la temperatura mínima ha subido $0,049^{\circ}\text{C}$ cada año. Esto quiere decir que, respecto a 1944, la temperatura mínima es muy probablemente $1,62^{\circ}\text{C}$ más alta en el Observatorio Fabra y $3,78^{\circ}\text{C}$ más alta en El Prat con mucha certeza. El incremento del Fabra, en este caso, es prácticamente idéntico al que muestra a la vez el Aeropuerto del Prat en las temperaturas máximas de este mes.

Tanto en el periodo 1921-2020 como en el 1944-2020, el índice térmico que presenta menor incremento en el Fabra es el de las temperaturas mínimas medias, a diferencia de lo que se detectó en el ámbito litoral y prelitoral de la costa valenciana respecto al mes de julio en la segunda mitad del siglo XX. En cambio, el Aeropuerto del Prat coincide con la tendencia detectada en este otro lugar, al presentar mayor ascenso térmico en las temperaturas mínimas (Miró y Estrela, 2004).

Temperaturas medias de las mínimas de agosto:

La correlación que muestran la serie de datos seleccionada del Observatorio Fabra (1921-2020) y toda la serie del Aeropuerto del Prat (1924-2020) es de 0,76 sobre 1.

La tendencia ascendente que refleja la serie de cien años del Observatorio Fabra es de una suma de $0,015^{\circ}\text{C}$ por año, con una significación excelente. En otras palabras, la temperatura mínima de agosto es $1,5^{\circ}\text{C}$ más cálida que hace diez décadas.

Comparando las tendencias que muestran el Observatorio Fabra y el Aeropuerto del Prat, entre los años 1950 y 2020, en el Observatorio Fabra se registra un aporte de $0,033^{\circ}\text{C}$ cada año con una significancia excelente. El incremento que entonces se detecta en el Aeropuerto del Prat, es bastante mayor. En este caso es la tendencia ascendente que más grados suma, con $0,056^{\circ}\text{C}$ por año y una significación excelente. Además de existir mayor incremento, hay también mayor significación que en los otros tres meses. Por tanto, desde 1950, la temperatura mínima de agosto es $2,34^{\circ}\text{C}$ más cálida en el Observatorio Fabra, y hasta $3,98^{\circ}\text{C}$ en el Prat.

Como se destacaba en el mes de julio, el Observatorio Fabra vuelve a presentar menor tendencia ascendente en las temperaturas medias de las mínimas que la de las temperaturas medias y medias de las máximas. Este hecho vuelve a distar de lo que se detectó en el ámbito litoral y prelitoral de la costa valenciana entre los años 1958 y 2003. Sin embargo, los datos del Aeropuerto del Prat coinciden con lo observado en la

Comunidad Valenciana, presentando un mayor ascenso térmico en las temperaturas mínimas (Miró y Estrela, 2004).

Temperaturas medias de las mínimas de septiembre:

Las dos series tratadas para este análisis, la del Observatorio Fabra (1921-2020) y del Aeropuerto del Prat (1924-2020), en este caso muestran una correlación de Pearson de 0,78 sobre 1.

Respecto a las temperaturas de los cien últimos años en el Observatorio Fabra, se detecta un incremento de 0,005°C por año, un incremento muy pequeño y que, a diferencia de lo visto hasta ahora, no es significativo. Por tanto, en caso de haberse registrado un incremento térmico, se trataría de 0,5°C en cien años, muy probablemente más pronunciado en la reciente década 2010-2019.

Si se comparan las tendencias de los dos observatorios, entre los años 1944 y 2020, el Fabra registra un incremento de 0,007°C por año, pero tampoco es significativo. El Aeropuerto del Prat, sin embargo, presenta un aumento de 0,026°C por año y es de una significación excelente. En consecuencia, en caso de haberse registrado un ascenso térmico en el Fabra, tan sólo es de 0,54°C en setenta y siete años. Donde sí se confirma de nuevo otro incremento es en el Prat que, con casi total seguridad, la temperatura mínima de septiembre es 2°C más cálida que en 1944. Sin duda, el alza térmica que registra El Prat en este mes es considerablemente menor que la de los meses de julio y agosto, o incluso junio.

4.3.4. Tendencias de las temperaturas máximas absolutas (TXx) y las temperaturas mínimas absolutas (TNn) de los meses de junio, julio, agosto y septiembre

Temperaturas máximas absolutas:

Por lo que respecta a las tendencias de las temperaturas máximas más altas año a año, todas muestran tendencias de incremento significativas.

Entre los años 1944 y 2020 en los meses de junio, julio y septiembre, y entre 1950 y 2020 en el mes de agosto, ordenando los meses por su orden anual, el Observatorio Fabra muestra ascensos anuales de 0.028, 0.021, 0.041 y 0.038°C, respectivamente. Los dos primeros son de una significación buena (nivel de confianza del 95%), mientras que los otros dos son de una significación excelente (nivel de confianza del 99%). El Aeropuerto del Prat, en cambio, muestra incrementos anuales para los meses de junio, julio, agosto y septiembre de 0.033°C, 0.019°C, 0.043°C y 0.018°C. Agosto muestra una significación excelente al 99,9%, mientras que junio y septiembre una significación muy buena al 99%, y julio, una significación buena al 95%. Sobre todo en este último mes, el aumento de las temperaturas máximas absolutas es más modesto que el de las temperaturas medias de las máximas, como ocurría en el litoral y prelitoral e interior valenciano entre los años 1958 y 2003 (Miró y Estrela, 2004).

Si se amplía esta cobertura temporal a cien años, solamente con los datos del Observatorio Fabra, los incrementos son similares, aunque la mayoría de ellos son

menos significativos al no superar el 95%. Sólo existe un caso excepcional, el del mes de junio, con una significancia excelente.

Temperaturas mínimas absolutas:

Respecto a las temperaturas mínimas más bajas que se registran año a año, solamente los datos de El Prat muestran una tendencia al alza significativa. Como excepción, las temperaturas mínimas de agosto entre 1950 y 2020 del Observatorio Fabra.

Entre los años 1944 y 2020 en los meses de junio, julio y septiembre, y entre 1950 y 2020 en agosto, las tendencias de incremento anual en el Observatorio Fabra, por orden anual de los meses, son de 0.012, 0.014, 0.023 y 0.004°C. Solamente agosto es significativo, al 95%. En cambio, en el Aeropuerto del Prat, los ascensos anuales son considerablemente mayores que en el Fabra, con 0.043, 0.034, 0.040 y 0.029°C, respectivamente. Destacan por su significación excelente el dato de junio y el de agosto. Julio tiene una significación muy buena, y septiembre, buena al 95%. En este caso, también son incrementos más moderados que los de las temperaturas medias de las mínimas, como también se detectaba en la Comunidad Valenciana (Miró y Estrela, 2004). Pero destaca mucho el incremento de junio en el Aeropuerto del Prat, siendo mayor que el de su temperatura mínima media, de 0,041°C por año (apartado 4.3.3.).

Ampliando esta evolución a cien años, disponiendo únicamente de los datos del Observatorio Fabra, ningún incremento es significativo. El aumento térmico anual de los cuatro meses en cuestión es de 0.002, 0.008, 0.009 y 0.004°C, respectivamente. A excepción, quizás, del mes de agosto, en los tres meses restantes es probable que su evolución térmica haya sido estable.

5. CONCLUSIONES

Las conclusiones resultantes del presente Trabajo confirman gran parte de las hipótesis inicialmente planteadas:

- El Observatorio Fabra y el Aeropuerto del Prat no presentan las suficientes diferencias como para afirmar que se correspondan con dos regímenes térmicos distintos durante la estación cálida en Barcelona, si bien, como era lógico suponer, se alcanza una mayor temperatura media en El Prat.
- Al contrario de lo que se manifestaba como hipótesis, existen numerosos años, y por descontado, días, en que los valores térmicos de El Prat son algo más bajos que los del Fabra. Se asume, además, que este hecho ocurre totalmente al margen de la presencia de la inversión térmica invernal.
- Hacia la segunda mitad del verano, a partir de agosto, las diferencias térmicas entre los dos observatorios tienden a acentuarse, con una mayor temperatura a nivel del mar. Esta

diferencia es todavía mayor en el mes de septiembre, con un promedio de diferencias de hasta 1,2°C en las dos series de dicho mes entre 1944 y 2020.

- Analizando todas las temperaturas medias, lo primero que se observa es que, en Barcelona, los meses de junio y septiembre presentan valores térmicos muy similares, confirmándose otra de las hipótesis planteadas.

- Como suele ser habitual en los climas mediterráneos litorales, el Aeropuerto del Prat presenta una temperatura media algo más cálida en septiembre que en junio (+0,9°C), con 21,57°C y 20,68°C, respectivamente, referente al periodo anual 1924-2020. En cambio, en el Fabra la de septiembre es prácticamente idéntica a la de junio, con 20,23°C y 20,31°C de temperatura media en sus últimos cien años, respectivamente. Este hecho es atribuible a la distancia respecto al mar, ya que en septiembre la temperatura superficial del mar se encuentra poco por debajo del máximo térmico de agosto, mientras que conforme hay mayor distancia al mar, influye más la reducción de la radiación solar.

- Los meses más cálidos en Barcelona se encuentran en julio y en agosto, con una alternancia especial que es diferente según la distancia al mar. Por un lado, el Observatorio Fabra muestra una alternancia casi perfecta entre estos dos meses, existiendo algo más de julios como los más cálidos que agostos (52% de años de la serie frente a un 48%, respectivamente). En el Aeropuerto del Prat, cerca de la línea de costa, suele ser agosto el más cálido, pero con matices nada menospreciables. En los últimos setenta y un años, tanto si se le añaden o no los diez datos disponibles antes de 1950, agosto es el mes más cálido del año en 6,8 de cada 10 veranos.

- Se confirma que los junios y los septiembreres de los últimos veinte años son igual de cálidos que los julios y agostos anteriores a los años ochenta. El primer caso se ha dado más en el Observatorio Fabra, y el segundo, en el Aeropuerto del Prat. Esto confirma otra de las hipótesis planteadas, superando estos meses la temperatura media de 22°C. La temperatura media de junio del Observatorio Fabra supera los 22°C en la década 2000-2009. En El Prat, este hecho se aprecia mejor en septiembre, pues su temperatura media en la década 2010-2019 incluso es algo más cálida que la temperatura media de julio y agosto de la década 1970-1979.

- En la línea de lo que se afirma anteriormente, se detectan dos hechos particulares. En el Observatorio Fabra, junio de 1976 se quedó a tan sólo una décima de grado de ser el mes más cálido de aquel año y el de 1931, a dos décimas. Y según los datos del Aeropuerto del Prat, septiembre de 1926 se quedó a una décima de ser también el mes más cálido del año.

- La temperatura media de los veranos de todos los años de las dos series se sitúa entre los 22 y los 23°C. En los últimos veinte veranos, prácticamente de forma consecutiva, se ha situado por encima de los 23°C, incluso de 24 y 25°C en muchos casos (depende de la evolución que han presentado los meses de junio, julio y agosto).

- La temperatura media del mes de junio de las dos series se sitúa entre los 20 y los 21°C. No obstante, este valor en el periodo reciente (1991-2020) ya se encuentra entre los 21°C y los 22°C, acercándose a este último en el caso del Aeropuerto del Prat, con 21,7°C. Los meses de junio de 1933 y 1992 se parecieron más a mayo y a octubre, mientras que junio de 2003 registró una temperatura media considerablemente superior a la media de la serie en julio y en agosto.

- La temperatura media del mes de julio de las dos series se sitúa entre los 23 y los 24°C, pero el valor climático del periodo reciente (1991-2020) ya la sitúa en torno a los 24,5°C. El mes de julio de 1932 presentó una temperatura más típica de la primera mitad de junio, o de la de la segunda mitad de septiembre, mientras que julio de 2006 se situó entre 3,5 y 4°C por encima de la media climática.

- La temperatura media del mes de agosto se sitúa entre los mismos valores que en julio. Pero el valor del último periodo (1991-2020) se encuentra ya en unos 25°C, o incluso, 25,11°C en El Prat. Los agostos de 1924 y 1977 presentaron valores más propios de junio, mientras que agosto de 2003 rebasó entre 4 y 5,5°C la temperatura media de dicho mes.

- La temperatura media del mes de septiembre se posiciona algo por encima de los 20°C en la sierra litoral barcelonesa, y entre los 21 y los 22°C cerca de la línea de costa. El valor del periodo reciente (1991-2020), sin embargo, indica que en El Fabra se acerca a los 21°C, mientras que en El Prat ya ha superado los 22°C. Los valores de septiembre de 1972 fueron más típicos de mayo y octubre, mientras que el de 1987 fue de pocas décimas inferior a la media de julio y agosto. El valor de septiembre de 1926 en El Prat igualó la temperatura media de agosto (1991-2020).

- Como bien es sabido, la ciudad de Barcelona presenta el fenómeno térmico de isla de calor urbana, cuya intensidad varía en función de la estación climática. En Barcelona, precisamente, en verano es el periodo en que esta isla de calor suele ser más débil (Moreno García, 2001), aunque hay que recordar que se trata, sobre todo, de un fenómeno nocturno. En el presente Trabajo se confirma, además, lo que he detectado en los últimos años entre las estaciones meteorológicas automáticas del Baix Llobregat y la de El Raval, en que la diferencia entre sus temperaturas medias en verano no suele ser mayor a 1°C, a pesar, eso sí, de la considerable diferencia entre sus temperaturas mínimas. En consecuencia, si se toma como referencia los datos de El Prat en el mes más cálido (agosto), se podría considerar que si la temperatura media de la ciudad rebasa los 25°C, ya se registra una anomalía térmica positiva al margen del efecto urbano.

- Además, entre los meses de julio y agosto tiene lugar el periodo canicular en el litoral mediterráneo (del 15 de julio al 15 de agosto, aproximadamente), que es cuando se registran los valores más cálidos del verano. Es por ello que, al margen de los resultados, en este periodo las temperaturas medias se sitúan algo por encima del valor de su mes. Sin embargo, existen años en que la canícula no se diferencia térmicamente

de la otra mitad de mes que la antecede o la sucede, o en todo caso presenta diferencias muy leves.

- Como ya se demuestra con las variaciones de la temperatura media, las dos series de temperaturas de los meses analizados han presentado una tendencia ascendente, de forma simultánea, siendo significativa en todos los meses. No obstante, cabe prestar atención a las diferencias habidas entre las temperaturas medias de las máximas y las temperaturas medias de las mínimas, que permiten describir con mayor detalle este aumento.

- Las temperaturas máximas y mínimas también suben, tanto en las últimas siete décadas como en las diez. Pero existe una mayor subida en las temperaturas diurnas del Observatorio Fabra, mientras que en El Prat, es mayor en las nocturnas, especialmente en agosto. Se observa el mismo patrón con las temperaturas máximas y mínimas absolutas, aunque ambas con menor incremento. Además, en el Observatorio Fabra se registran menos incrementos con significación excelente que en El Prat.

- El mes del verano que más ha incrementado sus temperaturas es agosto, ya en la segunda mitad del verano. Es el mes en el que se encuentran las dos mayores subidas de temperatura de todo el análisis, en este caso entre los años 1944 y 2020, presentando una significación excelente. Se trata del aumento térmico de 0,056°C por año en las temperaturas medias de las mínimas de El Prat, y al mismo tiempo, el incremento de 0,053°C por año en las temperaturas medias de las máximas del Fabra.

- El importante alza de las temperaturas mínimas también se ha detectado en gran parte del litoral español (Miró y Estrela, 2004; Royé y Martí Ezpeleta, 2016). Los factores explicativos más probables son el incremento de la temperatura superficial del Mediterráneo (Sigró *et al*, 2006) y el cambio de usos del suelo en toda la costa mediterránea (Royé y Martí Ezpeleta, 2016).

- Septiembre es el mes que más se resiste a este incremento térmico. Los pequeños incrementos de temperaturas mínimas observados en el Fabra no son significativos, mientras que el resto de incrementos, tanto en este observatorio como en El Prat, son de menor valor y significación. No obstante, El Prat mantiene su incremento en sus temperaturas mínimas, con significación excelente y el Fabra muestra también una significación excelente en el de sus temperaturas máximas. Además, el valor de temperatura media de la década 2010-2019, con 21,5°C en el Fabra y 22,79°C en El Prat, es claramente superior a los valores de las demás décadas.

Todos estos resultados escenifican un problema creciente en la ciudad de Barcelona. Los veranos se han vuelto más calurosos, a pesar de las excepciones que puedan darse algunos años. Y, en consecuencia, se abre de nuevo el debate sobre la necesidad de implementar políticas de adaptación o mitigación ante el incremento térmico. Las tendencias observadas apuntan a que, de continuar en los próximos años, es posible que la temperatura media de agosto de la década 2020-2029 en el Aeropuerto del Prat supere los 26°C. Además, a la espera de lo que suceda este 2021, se detecta una “cresta cálida”

de julio y agosto por encima de la temperatura media desde 2014, si bien algo menor en 2016. Lo mismo se detecta en el conjunto de los veranos, aunque también algo menos en 2020 (por junio).

Si la tendencia observada en los veranos se mantiene a la misma velocidad que en los últimos setenta y un años, las temperaturas medias de los veranos en Barcelona de 2092 serán 5,54°C más cálidas en el Observatorio Fabra, y 6,54°C más en el Aeropuerto del Prat, que en 1950. El mes de agosto, respecto a 1950, en 2092 puede ser hasta 6,1°C más cálido en el Observatorio Fabra y hasta 6,82°C en El Prat, cerca casi de los 7°C este último. En cambio, presentaría mayor distancia con septiembre, ya que entre ambos años habría un incremento mucho más modesto en los dos observatorios, de 2,84°C. Septiembre, aproximadamente, alcanzaría las temperaturas medias de la serie para los meses de julio y agosto; además, si su tendencia creciente sigue siendo menor que la de junio, este último podría llegar a ser más cálido que septiembre, incluso, en primera línea de mar.

Independientemente de las tendencias, a nivel metodológico, en un contexto de clima cambiante a nivel global, este Trabajo también ha permitido reconocer que es imprescindible discernir las temperaturas promedio de los años recientes con las del resto de años de las series estudiadas. A modo de ejemplo, una temperatura puede considerarse normal si se compara solo con el periodo 1991-2020, pero por encima de lo normal si se compara con la media de los últimos cien años. Además, se ha conseguido, asimismo, valorar los matices existentes en el clima entre la ladera del Tibidabo (Observatorio Fabra) y los primeros metros a nivel del mar (Aeropuerto del Prat), al menos en esta época del año, representativos de la ciudad de Barcelona por su extensión urbana.

NOTA: Durante el proceso de la elaboración del trabajo, se ha procedido a la comprobación de los datos del Aeropuerto del Prat de los años 2001 y 2002 debido a su gran diferencia térmica negativa respecto a los datos del Observatorio Fabra.

Atendiendo a los datos de temperaturas de otros observatorios referentes a estos dos veranos, como son los del Aeropuerto de Girona – Costa Brava y el de Reus, y teniendo en cuenta también el ranquin de meses más cálidos a más fríos de 1950 hasta hoy en el informe BAIC del SMC, se constata que los datos de El Prat de los años 2001 y 2002 son menos fiables que los del resto de años. Pues las temperaturas medias de El Prat también son considerablemente más bajas que las de Girona y de Reus, cuando normalmente no es así. Además, es de difícil comprensión que, mientras los datos del Aeropuerto del Prat registran anomalías negativas, los otros tres observatorios registren anomalías positivas respecto a la temperatura media de su mes. Como es el caso de los meses de junio y agosto de 2001, y también de junio de 2002, El Prat experimenta una anomalía negativa mientras que Cataluña vive uno de los quince meses de junio y de agosto más cálidos desde 1950. Junio de 2001 se consideró el 9º junio más cálido, mientras El Prat muestra una temperatura media de 20°C exactos (anomalía de -0,68°C) y Reus registra una anomalía positiva de hasta 3°C respecto a su temperatura media de su mes (1981-2010)

Por tanto, podría no ser del todo cierto que los años 2001 y 2002 fueran los años con mayor diferencia térmica negativa del Aeropuerto del Prat respecto al Fabra. Además, se abre la posibilidad también de que también sean algo dudosos los datos del Aeropuerto del Prat respecto al verano del año 2000, aunque en menor medida que en 2001 y 2002 al presentar menor diferencia con los demás observatorios aquí mencionados.

BIBLIOGRAFIA

Agencia Estatal de Meteorología, 27 de marzo de 2019. *Efectos del cambio climático en España*. [Consulta: 19 de febrero de 2021]. Disponible en:

http://www.aemet.es/ca/noticias/2019/03/Efectos_del_cambio_climatico_en_espanha.

Agencia Estatal de Meteorología (2019). *Caracterización del comportamiento de la temperatura mensual desde 1991, respecto al periodo de referencia 1981-2010*. Pág. 37. Disponible en:

<http://www.aemet.es/documentos/es/noticias/2019/Caracterizacion1991.pdf>. [Consulta: 19 de febrero de 2021]

KENDALL, M.G. (1975). *Rank correlation methods*. Fourth editorial, Charles Griffin, Londres.

LOMAS GONZÁLEZ, A. y TORRIJO MURCIANO, R. (2020). Estudio sobre la evolución de la temperatura en varios observatorios españoles y su relación con cambios en la circulación atmosférica. *Acta de las jornadas científicas de la Asociación Meteorológica Española*, 33(1). Disponible en: <https://pub.ame-web.org/index.php/JRD/article/viewFile/2046/2264>

LUNA RICO, Y. *et al* (2012). Tendencias observadas en España en precipitación y temperatura. *Revista española de física*, Vol. 26, nº 2. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/1186/1/2012_Luna_et_al_RevistaFisica.pdf

MANN, H.B. (1945). Non-parametric test against trend. *Econometrica*, 13, pp. 245-249.

MESEGUER, O. *et al* (2016). Tendencias de la temperatura mensual y de los extremos diarios durante el periodo 1966-2015 en el Norte Grande chileno. *X Congreso de la Asociación Española de Climatología: 5 a 8 de octubre*. Alicante, 2016, pp. 257-266. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8003/1/0037_X-2016-MESEGUER.pdf

MIRÓ, J. J. y ESTRELA, M. J. (2004). Tendencia de la temperatura en los meses de julio y agosto en la Comunidad Valenciana en las últimas décadas: cambios en la frecuencia de días calurosos. En: García Codrón, J.C. *et al* (Eds.). *El clima, entre el mar y la montaña*. AEC, Serie A, nº4, pp. 390-398. Disponible en: http://aeclim.org/wp-content/uploads/2016/02/0038_PU-SA-IV-2004-JJE_MIRO.pdf

MORENO GARCÍA, M. C. (2001). Climas urbanos y variabilidad climática. En: Martín Vide, J. y Olcina, J. (eds). *Climas y tiempos de España*. Alianza Editorial, S.A., Madrid, pp. 153-176.

- NASTOS, P. T. y MATZARAKIS, A. (2008). Human-Biometeorological effects on sleep disturbances in Athens, Greece: A Preliminary Evaluation. *Indoor Built Environment*, 17, 535-542. Disponible en: https://www.urbanclimate.net/matzarakis/papers/Nastos_Matzarakis_Indoor%20and%20Built%20Environment_2008.pdf
- ROYÉ, D. y MARTÍ EZPELETA, A. (2016). Análisis espacio-temporal de las noches cálidas en el litoral mediterráneo de España. En: Olcina, J. *et al* (eds.) *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alicante: Instituto Interuniversitario de Geografía, Asociación Española de Climatología, pp. 689-700 Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8041/1/0053_X-2016-ROYE.pdf
- SALMI, T.; MÄÄTTÄ, A.; ANTTILA, P.; RUOHO-AIROLA, T.; AMNELL, T. (2002). *Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates—The Excel Template Application MAKESENS*. Finnish Meteorological Institute, Publications on Air Quality No. 31, Helsinki. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/259356944_Detecting_Trends_of_Annual_Values_of_Atmospheric_Pollutants_by_the_Mann-Kendall_Test_and_Sen's_Solpe_Estimates_the_Excel_Template_Application_MAKESENS
- SEN, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based of Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63, pp. 1379-1389.
- Servei Meteorològic de Catalunya. *Índexs climàtics. Índexs de la temperatura de l'aire. 1950-2020*. [Consulta: 27 de mayo de 2021]. Disponible en <https://www.meteo.cat/wpweb/climatologia/el-clima-ara/indexs-climatics/>
- Servei Meteorològic de Catalunya. Equip de Canvi Climàtic. Àrea de Climatologia. (2020). *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics*. pp. 7-20. Disponible en: https://static-m.meteo.cat/wordpressweb/wp-content/uploads/2021/05/27105050/BAIC_2020_v2.pdf [Consulta: 27 de mayo de 2021]
- SIGRÓ, J. *et al* (2006). *Variabilidad de la temperatura estival en Cataluña 1950-1998*. Disponible en: https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8788/1/0026_PU-SA-V-2006-J_SIGRO.pdf
- SIGRÓ, J. *et al* (2012). Los extremos térmicos en el litoral mediterráneo: evolución y factores de rozamiento. *Territoris*, Universitat de les Illes Balears, pp. 265-281. ISSN: 1139-2169. Disponible en: http://ibdigital.uib.cat/greenstone/collect/territoris/index/assoc/Territoris_2012v/08p265.dir/Territoris_2012v08p265.pdf