

EL EFECTO DEL CALENTAMIENTO GLOBAL SOBRE LAS TEMPERATURAS MEDIAS Y LOS FENOMENOS DE CALOR EXTREMO EN CASTELLON

Fernando Ginés Llorens

Resumen

El cambio climático ha pasado de ser una mera especulación a una preocupante realidad. En el presente estudio se ha analizado cómo está afectando el calentamiento global a las temperaturas de la ciudad de Castellón, especialmente a las medias anuales y a las máximas estivales, así como a la frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo. Así mismo, se han analizado la evolución que experimentaron las temperaturas de Castellón en el pasado y los episodios extremos más destacables desde que hay registros.

El estudio nos confirma que el aumento de las temperaturas medias en la ciudad de Castellón durante el pasado siglo, una vez descontado el denominado efecto isla de calor urbano, se situó en 1°C y que los fenómenos de calor extremo se han incrementado de manera notable. Temperaturas inimaginables hasta hace pocas décadas, superiores a los 40°C, actualmente presentan un periodo de retorno inferior a los veinte años. A principios del presente siglo se ha observado un estancamiento en el aumento de las temperaturas, constatándose una moderación en la frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo en los últimos años. Sin embargo, esta aparente moderación, de acuerdo con la mayoría de los modelos climáticos, posiblemente sea tan solo un paréntesis previo a un nuevo aumento de las temperaturas.

1 Introducción

1.1. El cambio climático actual y sus efectos

El cambio climático ha dejado de ser una mera especulación para convertirse en una realidad que está impactando sobre todos los aspectos naturales y sociales de nuestro planeta. La gran mayoría de científicos considera que es consecuencia de las actividades humanas y, más concretamente, de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas a la utilización de los combustibles fósiles y a la deforestación.

Independientemente de las causas que lo están originando, las graves consecuencias que está teniendo y que va a tener son numerosas, y entre ellas cabe destacar:

- El aumento de las temperaturas.
- El aumento de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, especialmente, de las olas de calor, sequías e inundaciones.
- El cambio en el ciclo hidrológico con una disminución, en general, de la cantidad y calidad del agua dulce.
- El aumento del nivel y la temperatura de los mares así como la acidificación de los mismos.

- La disminución de la biodiversidad.
- La reducción de la productividad agrícola.
- El impacto sobre la salud humana, principalmente con un aumento de los fallecimientos causados por olas de calor.

Una de las regiones del planeta más sensibles al cambio climático probablemente sea la mediterránea y uno de sus efectos más evidentes, además de la disminución de los recursos hídricos, es el aumento de los días con temperaturas extremas, especialmente, durante el periodo estival.

Los fenómenos de calor extremo se definen basándose en la variabilidad que las temperaturas de una zona han experimentado en el pasado. Un evento 1 sigma nos indica una variabilidad normal, situándose un 31,8% de las observaciones fuera de su rango; por el contrario, una desviación 3 sigma es un fenómeno mucho más raro ya que tan solo el 0,26% de las observaciones se disponen fuera del mismo. Hasta mediados del siglo XX prácticamente no se daban acontecimientos 3 sigma pero, actualmente, debido al calentamiento global, éstos son mucho más probables. Así, los climatólogos han clasificado las olas de calor que sufrieron Europa Occidental en 2003, Australia en 2009, Rusia en 2010 y EEUU en 2012, como eventos 3 sigma. En las próximas décadas, algunos estudios científicos auguran episodios de calor todavía más extremos que se podrán clasificar como 5 sigma¹.

¿Cómo un aumento de apenas un grado centígrado en la temperatura global puede incrementar de tal modo la frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo? Las razones se pueden comprender mejor observando la figura 1 (Hansen et al., 2012). En efecto, la curva de distribución de probabilidad de las temperaturas hasta hace pocas décadas (curva de color azul) con el cambio climático se ha modificado (curva de color rojo). La media, definida por el máximo de la curva, ha aumentado pero su extremo superior, debido al achatamiento de la curva, lo ha hecho todavía más. En consecuencia, los episodios de calor extremo, que antes se situaban a 3 sigmas de la media, con la nueva curva están dentro del rango 1-2 sigma, volviéndose más o menos normales, es decir, que se registran casi todos los años; por otro lado, un calor sin precedentes, un evento que se situaba más allá de la desviación 4 sigma, algo extraordinario en el pasado, de acuerdo con la nueva función de distribución de probabilidad se encuentra a tan solo a 2/3 sigmas del nuevo valor medio, por lo que deja de ser extraordinario.

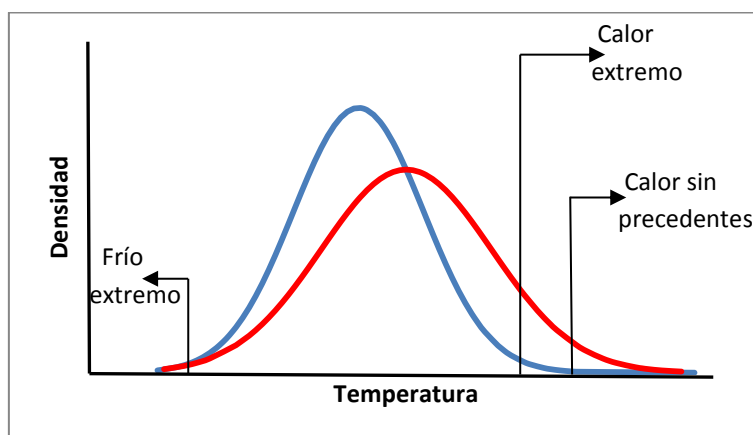


Figura 1. Variación de la distribución de probabilidad de las temperaturas con el cambio climático.

¹ Fuente: IOP Institute of Physics: http://www.iop.org/news/13/aug/page_60872.html

1.2. Evolución de la temperatura terrestre en los dos últimos milenios

El clima no ha dejado de cambiar a lo largo de la historia del planeta, registrándose nada menos que ocho periodos glaciares en los últimos 740.000 años. El último periodo comenzó hace unos 100.000 años y se estima que, en su máximo, las temperaturas pudieron ser entre seis y ocho grados inferiores a las actuales (Montón Chiva, 1997). A comienzos del Holoceno, hace unos 12.000 años, finalizó el periodo frío iniciándose un periodo más cálido en el que todavía nos encontramos. Sin embargo, la entrada en este periodo interglaciar no ha supuesto una total estabilización térmica ya que las temperaturas, aunque en menor escala, han continuado oscilando a lo largo del mismo.

Existen registros de temperatura, razonablemente fiables y con cobertura casi mundial desde 1.850. Previamente, aunque también se realizaron observaciones, su cobertura era más escasa y la instrumentación estaba menos estandarizada. Por tanto, para reconstruir las temperaturas de los tiempos pasados se debe recurrir a otras fuentes como la climatología histórica, es decir, a la especialidad de la paleoclimatología que basa sus estudios en fuentes de tipo documental.

Las crónicas históricas nos aportan información sobre el clima en tiempos pasados. Así, durante la Edad Media el cultivo de la vid se extendió por todo el norte de Europa y los vikingos colonizaron Groenlandia, hechos que nos demuestran que, al menos en el hemisferio boreal, se disfrutó de un ciclo climático caracterizado por suaves temperaturas, el denominado Óptimo Climático Medieval. Por el contrario, desde finales de la Edad Media hasta mitad del siglo XIX (Ginés, 2013a), el clima del planeta experimentó un largo enfriamiento que los especialistas en la materia llaman la Pequeña Edad de Hielo (P.E.H.).

Lógicamente, las crónicas y registros históricos no son suficientes, especialmente cuando se analizan épocas muy pretéritas, por lo que los paleoclimatólogos recurren a métodos indirectos de medición. Las reconstrucciones del clima están normalmente basadas en diferentes fuentes, como los cilindros de hielo, los anillos de los árboles, los sedimentos, etc. En la figura 2 se muestra la reconstrucción de las temperaturas de los últimos dos mil años efectuada por Craig Loehle (2007), en la que se emplearon datos de dieciocho puntos repartidos entre los hemisferios norte y sur, basados tanto en cilindros de hielo, como en el polen y los sedimentos. Los resultados son presentados globalmente para todo el planeta, promediados cada 30 años. En la misma figura, en rojo, se añaden también los datos de HadCRUT3², basados en registros reales efectuados desde mitad del siglo XIX. Como se puede observar, de acuerdo con la reconstrucción de Loehle, la amplitud de las temperaturas en los últimos 2.000 años se estima en 1,2°C con un máximo de + 0,58°C en el año 870 y un mínimo de - 0,61 para el año 1620. Las temperaturas actuales, de acuerdo con la figura, estarían muy cercanas a los máximos registrados en los dos últimos milenios.

² HadCRUT es el conjunto de datos mensuales de temperatura en los que se combinan los registros de temperatura superficial del mar, compilados por el Centro Hadley de la Oficina Meteorológica del Reino Unido, y de los registros de temperatura del aire de la superficie terrestre, recopilados por la Unidad de Investigación Climática de la Universidad de East Anglia. HadCRUT3 es la tercera revisión de esos datos, inicialmente abarcó el periodo 1850-2005, pero desde entonces ha sido actualizado regularmente hasta 2012.

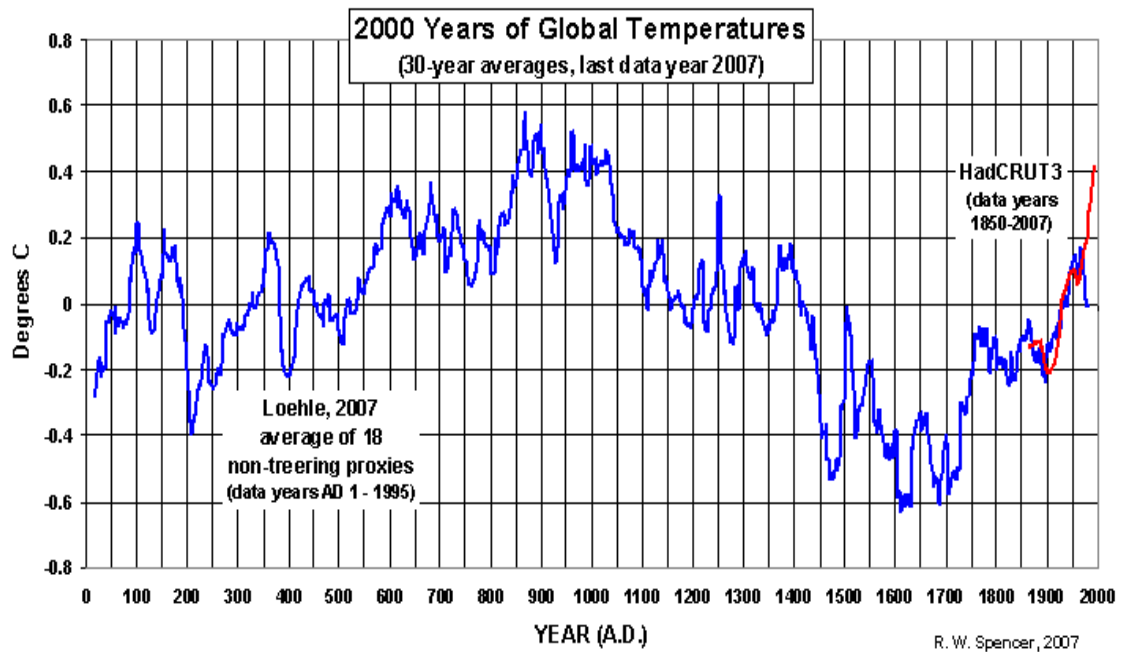


Figura 2. Gráfica de R.W. Spencer en la que se representa la reconstrucción de la temperatura global de los últimos 2.000 años realizada por Graig Loehle, en azul, y los datos de HadCRUT3, en rojo³.

En la reconstrucción realizada por Graig Loehle se aprecia claramente el periodo cálido medieval, episodio caluroso, cuyo máximo se produjo desde mitad del siglo IX a mitad del XI, así como la P.E.H., cuya fase más fría se dio entre finales del siglo XV y principios del XVII y cuyo final se produjo durante el siglo XIX.

El siglo XIX se caracterizó por una sucesión de fases frías y cálidas bien marcadas (Ginés, 2013a). La recuperación térmica que, al igual que en el resto de Europa, se inició en la Península hacia finales del siglo XVIII, se mantuvo hasta la tercera década del siglo, con algunos retrocesos como el provocado por la explosión del Tambora en 1815 (Comellas, 2011). El año 1829 marcó el cambio hacia una nueva fase, en la que se alternaron las olas de frío polar invernales y las olas de calor estivales. A partir de los años cincuenta comenzó una fase mucho más benigna que duró hasta principios de los años ochenta. Nuevamente la explosión de un volcán, el Krakatoa, sucedida en 1883, fue con bastante probabilidad la responsable del enfriamiento observado y que, en sus máximos, devolvió el clima a un escenario cercano al de la P.E.H.. El invierno de 1894-1895 marcó un punto de inflexión en esta fase fría con una recuperación clara de las temperaturas.

Aunque el siglo XX comenzó con una acusada fase fría que se extendió durante las dos primeras décadas, este siglo se caracterizó por un aumento apreciable de las temperaturas y de la variabilidad climática, sobre todo a partir de su segunda mitad. Como se observa en la figura 3, se estima que la temperatura ambiental del planeta subió, en promedio, unos 0,8 °C, desde los 13,6 °C, registrados a comienzos de siglo, hasta los 14,4 °C, alcanzados a finales del mismo. Sin embargo, la tendencia a lo largo del mismo no fue uniforme. En efecto, la integración de los registros de temperatura de

³ R.W. Spencer (2008). *Global Warming: Manmade Mess or Nature's Norm?*. Consultada en 2014 en <http://www.texaspolicy.com/sites/default/files/documents/100708%20Spencer%20presentation.pdf>.

más de trescientas estaciones por todo el hemisferio norte ha permitido establecer tres fases en la secuencia climática del pasado siglo (Quereda Sala, 2001). En la primera mitad, hasta finales de los años cuarenta, se produjo un calentamiento de aproximadamente $0,4^{\circ}\text{C}$. A dicho calentamiento, hasta la primera mitad de los años setenta, siguió un palier o, incluso, un enfriamiento, que en promedio redujo las temperaturas en aproximadamente $0,1^{\circ}\text{C}$. Durante la última fase, hasta finales de siglo, se produjo otro intenso calentamiento estimado en unos $0,5^{\circ}\text{C}$.

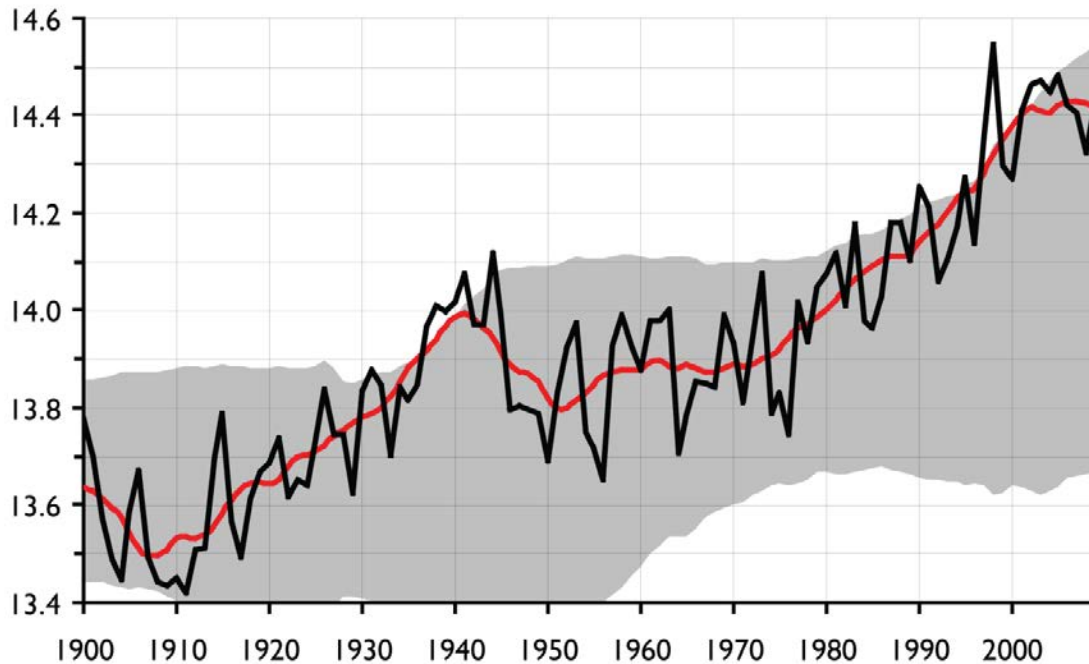


Figura 3. Temperatura media terrestre en el período 1900-2010, la línea roja es la media móvil de diez años. Fuente: NASA GISS.

En los comienzos del siglo XXI, a pesar de registrarse en muchas regiones del planeta temperaturas record, se ha constatado un estancamiento en el aumento de las temperaturas. Así pues, como puede observarse en la figura 4, tras la apreciable subida térmica registrada en último cuarto del siglo XX, y contradiciendo las proyecciones más alarmistas sobre la rapidez y aceleración del calentamiento, la temperatura media global apenas ha experimentado cambios en los últimos catorce años. Los científicos buscan una explicación a esta estabilización de las temperaturas en sus niveles máximos sobre todo teniendo en cuenta que la concentración atmosférica de gases de efecto invernadero no ha hecho sino aumentar en ese período. Las razones podrían ser varias:

- que en las simulaciones se hayan subestimado las fluctuaciones naturales del clima, como son el enfriamiento cíclico que se produce en el Pacífico (la Niña) o la actividad solar,
- que el calentamiento originado por los gases invernadero sea menos efectivo de lo que los modelos presuponían,
- que el calor se esté acumulando principalmente en los océanos,
- o que la emisión de ciertos gases contrarresten el efecto invernadero originado por el dióxido de carbono. Este sería el caso del dióxido de azufre, emitido por la quema del carbón o petróleo, y que genera aerosoles de ácido sulfúrico de los que se puede derivar un enfriamiento.

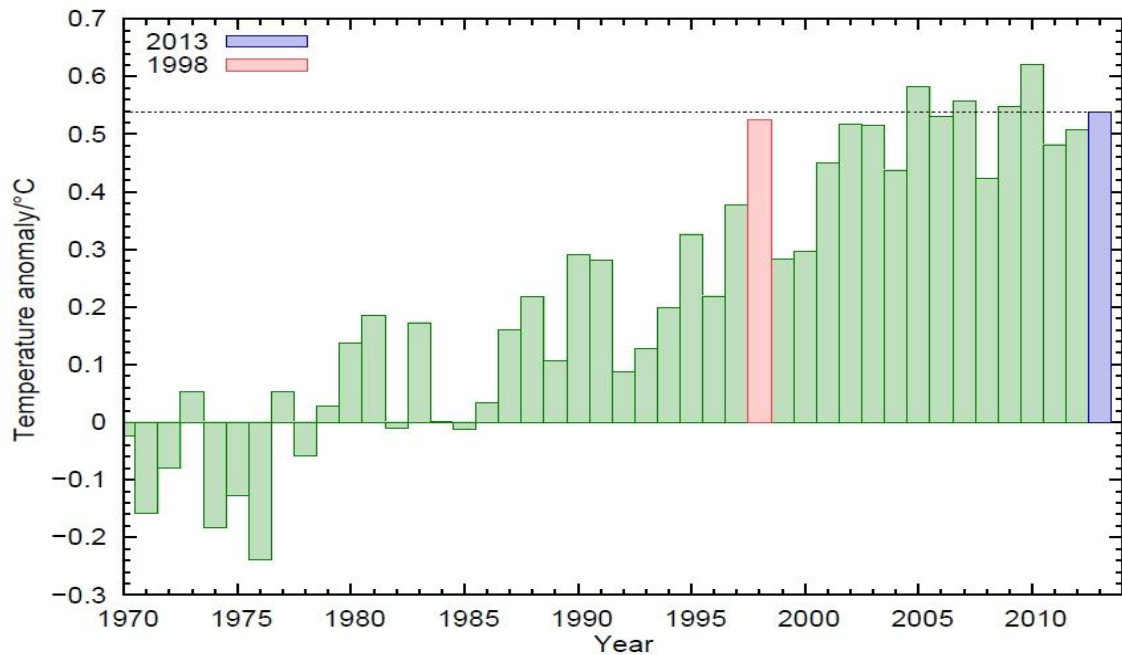


Figura 4. Datos interpolados de HadCRUT4 (promedio anual) desde 1970. Fuente: Kevin Cowtan, University of York.

1.3. Situaciones que propician episodios de elevadas temperaturas en Castellón

Aunque en algunos estudios se distinguen hasta ocho tipos diferentes de situaciones meteorológicas⁴ en las que se pueden dar elevadas temperaturas en la provincia de Castellón, básicamente dos son las situaciones que las favorecen: las denominadas situaciones de flujo de poniente o *ponentadas* y las invasiones de aire tropical continental (aire sahariano) o del sur. Algunas de estas situaciones, pueden comenzar siendo de un tipo y evolucionar hacia el otro posteriormente.

Las situaciones de poniente se caracterizan por un viento, tanto del W como del SW o del NW, que aporta elevadas temperaturas y sequedad; son especialmente agobiantes durante los meses estivales y no suelen durar más de uno o dos días. Comúnmente conocido con el nombre de *ponent*, y meteorológicamente como efecto foehn, este viento refleja los mecanismos adiabáticos desencadenados por el relieve (Querreda, 1989). En efecto, estos vientos, procedentes del interior de la Península, al atravesar el sistema Ibérico experimentan un enfriamiento de 1°C/100 m, enfriamiento que puede ser de tan solo unos 0,5°C/100 m cuando la masa de aire es húmeda y alcanza su grado de saturación. En el descenso el calentamiento del aire es siempre de 1°C/100 m con independencia de si es seco o húmedo (Günter, 1979). Es por ello que en situaciones de flujo de poniente se establece un fuerte contraste entre las temperaturas de las zonas altas del interior y las bajas del litoral y prelitoral. Las temperaturas que se alcanzan dependen fundamentalmente de las características de la masa de aire pero el calentamiento es tan efectivo que, aunque se produzca el paso de un frente frío, la temperatura en la costa suele ascender. Así pues, en los llanos costeros y zonas del prelitoral bajas las temperaturas máximas suelen producirse con estas situaciones, superándose excepcionalmente los 40°C, con humedades ambientales muy bajas. En las figuras 5-6 se muestra la situación sinóptica del 12 de agosto de 2008. Aquel día el

⁴ Fuente: Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAM). Para más información consultar la página <http://www.ceam.es/ceamet/vigilancia/temperatura/verano/informacion.html>

observatorio de Castellón se registró una máxima de 39,4° C. Se observa una borrasca atlántica sobre las islas británicas que favorece el flujo de poniente (NW) en la provincia de Castellón, con un pequeño pinzamiento de aire cálido en el sector delantero del frente.

Las invasiones de aire tropical continental o del sur, se producen cuando aparece en superficie una extensa depresión de carácter térmico, la llamada *baja sahariana*, que hace incidir sobre la Península aire muy cálido y seco del norte de África. La Península queda bajo grandes dorsales en niveles medios y altos de la atmósfera que impiden los movimientos verticales y, por tanto, hacen más efectivo el calentamiento del aire junto al suelo (Pérez Cueva, 1995). Estas situaciones son las que realmente originan las olas de calor estivales⁵ ya que son más persistentes que las anteriores y pueden durar tres o más días, aunque resulta excepcional que perduren más de cinco días. Las temperaturas más elevadas en las zonas del interior provincial y en algunas zonas del prelitoral se alcanzan con estas situaciones atmosféricas, pudiéndose superar los 40°C en los meses estivales, con humedades ambientales que ocasionalmente pueden ser inferiores al 10-15%. En el litoral las brisas consiguen, aunque no siempre, refrescar algo el ambiente, recudiéndose el efecto de estas terribles olas de calor, por lo que rara vez se superan los 37°C. En las figuras 7-8 se muestra la situación sinóptica del 7 de julio de 1982. Durante esas fechas acaeció una de las olas de calor más intensas del siglo XX. Se observa un fuerte pinzamiento de una dorsal de aire tropical continental que va desde el interior de Argelia hasta el levante peninsular, favorecido por la presencia de una depresión fría aislada al oeste de la península Ibérica. Las temperaturas en el interior montañoso castellonense fueron muy altas, rondando los 38°C en poblaciones como Morella y Vilafranca. Las brisas fueron muy débiles tendiendo a componentes meridionales (sureste durante el día y suroeste durante la noche) por lo que las temperaturas en la costa también fueron muy elevadas, registrándose ese día 36,4°C en la ciudad de Castellón.

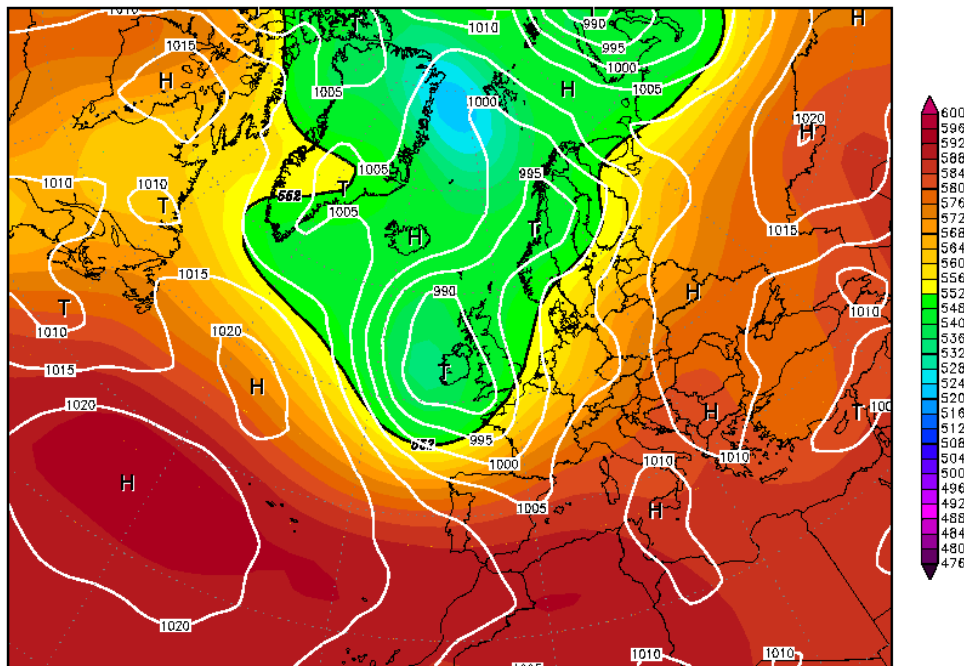
Como ya se ha comentado y se tratará con mayor detalle posteriormente, la frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo, especialmente los asociados a situaciones del sur, está aumentado como consecuencia del calentamiento global. Dicho aumento podría estar causado por cambios en la circulación general de la atmósfera. De este modo, debido al cambio climático, la zona de grandes anticiclones subtropicales, entre los que se encuentra el de las Azores, y la corriente de chorro se podrían estar desplazando hacia el norte. Esto favorecería que, sobre todo en verano y cada vez con mayor frecuencia, masas de aire cálido y estable de procedencia sahariana se instalaran sobre la península Ibérica. Las fluctuaciones NAO⁶, que muestran una tendencia hacia su fase positiva en los últimos 30 años, apoyarían esta hipótesis.

⁵ La definición de ola de calor por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) es muy simple: *periodo de al menos 3 días con temperaturas anormalmente elevadas*. Así pues, aunque con las situaciones de poniente se pueden alcanzar temperaturas extremas, al ser sus episodios más cortos, no entrarían dentro de esta descripción.

⁶ El anticiclón de las Azores conjuntamente con las bajas presiones en Islandia caracterizan la circulación atmosférica superficial de la región del Atlántico Norte. La variabilidad temporal de dichas células de presión está descrita por la denominada Oscilación del Atlántico Norte (NAO). El índice NAO se calcula como la diferencia de presiones normalizadas entre Gibraltar y Reykjavic en invierno (Visbeck et al., 2009).

12AUG2008 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)

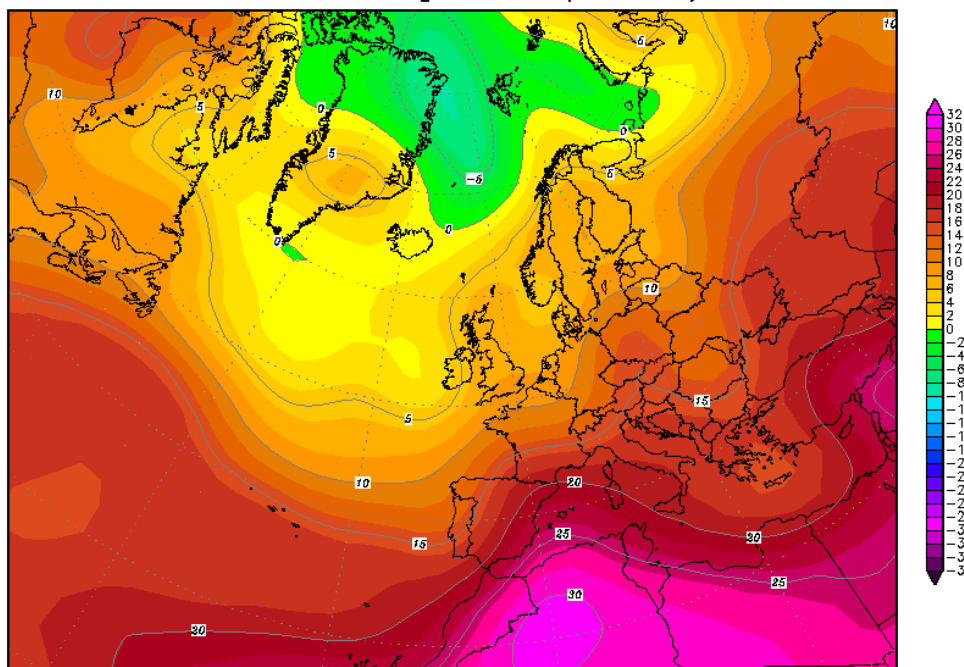


Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Figura 5. Presión superficial y altura geopotencial a 500 hPa (aproximadamente 5.500 m) el 12 de agosto de 2008. Fuente: Wetterzentrale.

12AUG2008 00Z

850 hPa Temperatur (Grad C)

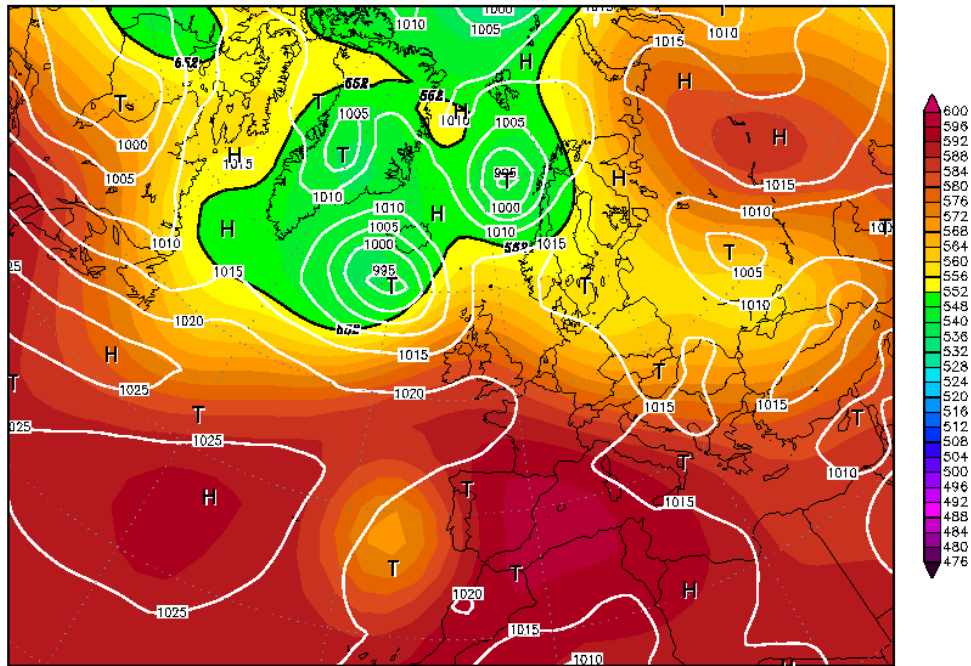


Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Figura 6. Temperatura a 850 hPa (aproximadamente 1.500 m) el 12 de agosto de 2008. Fuente: Wetterzentrale.

07JUL1982 00Z

500 hPa Geopotential (gpm) und Bodendruck (hPa)

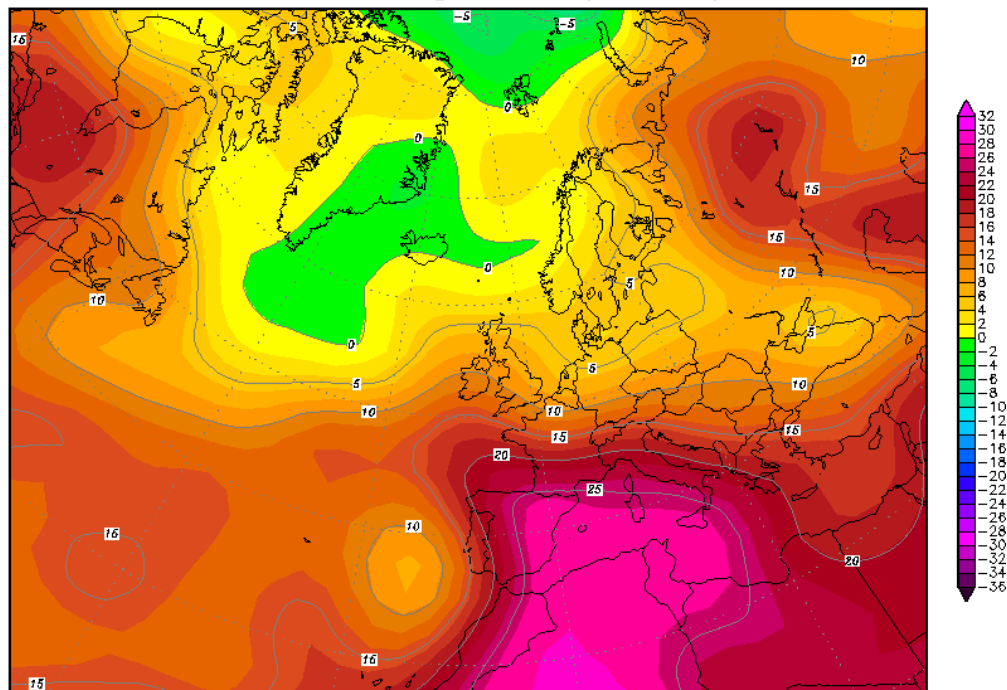


Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Figura 7. Presión superficial y altura geopotencial a 500 hPa el 7 de julio febrero de 1982. Fuente: Wetterzentrale.

07JUL1982 00Z

850 hPa Temperatur (Grad C)



Daten: Reanalysis des NCEP
(C) Wetterzentrale
www.wetterzentrale.de

Figura 8. Temperatura a 850 hPa el 7 de julio de 1982. Fuente: Wetterzentrale.

2. Objetivos

El objetivo del presente estudio ha sido determinar cómo está afectando el cambio climático a las temperaturas en la ciudad de Castellón y, especialmente, a los fenómenos de calor extremo.

El estudio se ha dividido en tres partes:

- En una primera parte, y con el objeto de precisar las dimensiones del actual cambio climático, se ha analizado la evolución de las temperaturas desde la Edad Media hasta el presente. En este apartado también se han determinado los efectos que han tenido sobre los registros el cambio de ubicación del observatorio oficial de Castellón y el denominado efecto isla de calor urbano.
- En una segunda parte, se han descrito los episodios de temperatura extremas más destacables de los últimos 100 años.
- En la tercera y última parte, se ha determinado el efecto que está teniendo el calentamiento global sobre la frecuencia e intensidad de los fenómenos de calor extremo.

3. Fuentes de información utilizadas para realizar el estudio.

Los registros meteorológicos no comenzaron a realizarse en Castellón hasta el año 1879⁷, por tanto, para conocer el clima de Castellón desde el siglo XV se ha debido recurrir a fuentes documentales. Desafortunadamente, apenas disponemos de información sobre la climatología de Castellón durante los siglos XV a XVIII. Juan A. Balbás en su libro *La Provincia de Castellón* (Balbás Cruz, 1981) nos aporta algunas crónicas, valiosas pero claramente insuficientes, por lo que se hace necesario recurrir a la documentación histórica de otras ciudades y lugares próximos a la capital de la Plana. Disponemos de bastante información sobre las heladas que padeció el Ebro a su paso por Tortosa así como de las nevadas acaecidas en la ciudad de Valencia desde el siglo XV, lo cual nos puede ayudar a deducir como fue el clima castellonense durante los citados siglos (Ginés, 2013a). Font Tullot (1988) en su obra *La historia del clima en España* también nos proporciona una apreciable información.

Respecto al siglo XIX, el cronista Juan A. Balbás aporta bastante más información, especialmente del periodo 1880-1891. A partir de 1858 comienzan a realizarse mediciones meteorológicas en la Comunidad Valenciana, primero en Alicante y Valencia y, posteriormente, en Castellón, lo que nos permite disponer de registros de temperatura. Nuevamente el libro de Font Tullot así como la obra de Motón Chiva: *¿Hacia un cambio climático? La evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX* (1997), nos aportan una información muy valiosa.

⁷ La ubicación del observatorio de Castellón, ha cambiado tres veces desde que se hacen mediciones. Durante los años 1879-80 se instaló el primer observatorio, en el Instituto Provincial de Segunda Enseñanza, sito en el convento de las Monjas Clarisas en la actual Plaza Santa Clara. Después de unos 10 años de funcionamiento se paralizaron las observaciones, las cuales volvieron a retomarse en 1911. En el nuevo instituto de la Av. Del Rey Don Jaime, continuaron las medidas a partir de 1921 y hasta finales de 1975. En enero de 1976 comenzaron las mediciones en el observatorio de Almassora, donde todavía continúan.

Las fuentes de información de los siglos XX y XXI son mucho más numerosas y, básicamente, han sido las siguientes:

- . Los resúmenes anuales de las observaciones meteorológicas emitidos por el antiguo Servicio Meteorológico Nacional.
- . Los mapas de reanálisis del NCEP (1948-actual) y NOAA-CIRES (1871-1947) de Wetterzentrale⁸.
- . Las hemerotecas de los diarios locales y nacionales (El Mediterráneo, El Levante, La Vanguardia, El ABC, etc.).
- . Las observaciones meteorológicas de la Agencia Estatal de Meteorología, AEMET.
- . Las citadas obras de Font Tullot (1988) y de Montón Chiva (1997).

4. Análisis de la información.

4.1. Evolución de las temperaturas en Castellón desde el siglo XV

De la frecuencia con la que se congeló el Ebro en el pasado, especialmente durante los siglos XVI y XVII, se deduce que el este peninsular, al igual que el resto de Europa, padeció unas temperaturas sensiblemente inferiores a las actuales, por lo que la P.E.H. también se dejó sentir en las comarcas castellonenses. Este hecho se ve confirmado no solo por las crónicas de la época sino por el gran número de neveras, edificaciones relacionadas con el almacenamiento y comercialización del hielo y la nieve, que se construyeron en el interior de la provincia durante aquellos años.

Hacia finales del siglo XVIII, al igual que en el resto de la Península, se debió hacer patente una moderación en las temperaturas, mejora que se mantuvo hasta la tercera década del siglo XIX. El año 1829 marcó el cambio hacia una nueva fase más fría, observándose durante el invierno de 1829-1830 algunos de los elementos típicos de los inviernos más fríos de la P.E.H., entre ellos la congelación del río Ebro.

A partir de los años cincuenta comenzó una fase mucho más benigna. Los registros meteorológicos no comenzaron a realizarse en Castellón hasta el año 1879, sin embargo, disponemos de datos de otras ciudades españolas que nos pueden ayudar a estimar como fueron las temperaturas en la capital de la Plana en esas fechas. Según dichos datos, a partir de los años cincuenta, se inició una fase climática más benigna, en la que las temperaturas experimentaron un progresivo aumento que duró hasta principios de los años ochenta. El verano de 1876 fue, posiblemente, el más caluroso del siglo en gran parte de la península Ibérica. El 28 de julio se registró en Barcelona la temperatura más alta de la centuria con 36,2°C; el día siguiente se midieron en Murcia, en su instituto, 47,8°C, siendo también la más elevada del siglo; finalmente el día 30 de julio se registraron 51,0°C⁹ en Sevilla, 44,2°C en Madrid, 42,5°C en Bilbao y 41,0°C en Salamanca. Respecto a las comarcas valencianas, las crónicas señalan que las

⁸ <http://www.wetterzentrale.de/topkarten/fsreaur.html>

⁹ En muchas publicaciones esta temperatura aparece como efeméride de España, pero parece ser que el instrumental con la que se midió, ubicado en la cúpula de la Iglesia de la Anunciación, estaba instalado de manera deficiente.

temperaturas fueron también muy elevadas durante aquellas fechas, sufriendose un poniente abrasador que dañó al arbolado y, especialmente, a los algarrobos¹⁰.

A principios de la década de los años ochenta comenzaron a realizarse medidas de temperatura en la ciudad de Castellón, confirmándonos los registros que las temperaturas continuaron siendo elevadas. El 18 de agosto de 1881 se midió la temperatura máxima del siglo XIX con 41,5°C¹¹. Sin embargo, a partir de 1883, muy posiblemente debido a la explosión del Krakatoa, comenzó una nueva fase fría. Las medidas efectuadas durante aquellos años, como puede observarse en la figura 9, constatan esta última fase fría del siglo XIX. De este modo, hasta finales de 1883, las mínimas absolutas anuales no fueron extraordinariamente bajas pero, a partir del citado año y con la única excepción de 1886, se registraron valores próximos o inferiores a -3,0°C, destacando los -10,4°C medidos en enero de 1891. Por el contrario, tras unos veranos excepcionalmente calurosos a principios del decenio, las máximas absolutas ya no volvieron a superar los 36°C.

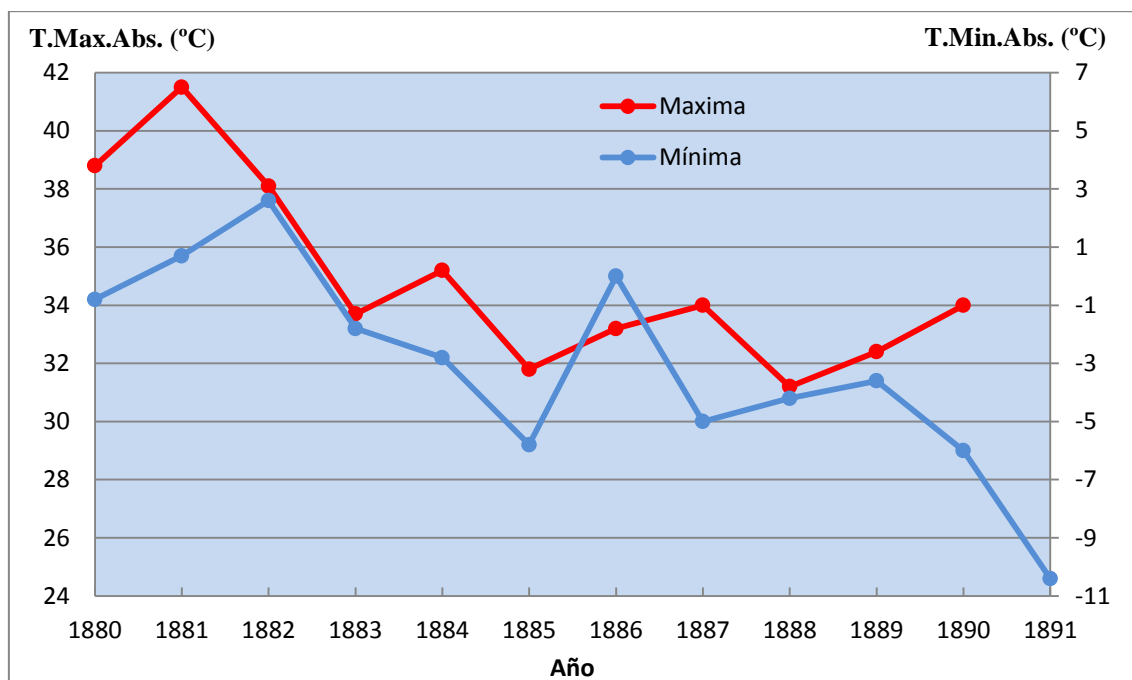


Figura 9. Variación de las máximas y mínimas absolutas en la ciudad de Castellón durante los años 1880 a 1891. Fuente: J. Balbas Cruz.

En 1891 se paralizaron las mediciones durante varios decenios, sin embargo, los datos de otros observatorios del Mediterráneo peninsular, como los de Valencia y Barcelona, nos muestran que a partir del invierno de 1894-1895 se produjo un punto de inflexión en la fase fría, con el comienzo de un corto ciclo cálido que apenas duró un lustro y que finalizó con el comienzo de la siguiente centuria.

¹⁰ Para más información véase Barcelona: Historias del tiempo.

<http://barcelonahistoriasdeltiempo.blogspot.com.es/2012/05/verano-de-1876-un-verano-de-record.html>

¹¹ Esta temperatura no solo es la efeméride del siglo XIX, sino desde que hay mediciones. Sin embargo, el cambio de ubicación del observatorio varias veces y el instrumental que se debió utilizar nos hacen ponerla en duda. A pesar de ello, debió de ser un episodio realmente extremo.

Las observaciones meteorológicas se retomaron a inicios del segundo decenio del siglo XX, lo que nos proporciona un registro continuado y directo desde aquellos años¹². Así mismo, la reconstrucción de las temperaturas efectuada por Montón Chiva y basada en la serie de datos de Valencia, nos permiten estimar como evolucionaron durante el primer decenio. A partir de todos estos datos, en la figura 10 se ha representado la evolución de las temperaturas medias quinquenales de la capital de la Plana de 1901 a 2010.

Como puede observarse, hasta mitad de los años setenta, las temperaturas siguieron una evolución similar, aunque no exactamente igual, a la planetaria. El siglo comenzó con un ciclo frío cuyo máximo se situó entre los años 1916 y 1918¹³. Posteriormente, se produjo un apreciable calentamiento, que acabó a finales de los años cuarenta y al que siguió, más que un palier, un claro enfriamiento. El aumento ocurrido en la primera mitad del siglo, desde 1901-1905 a 1946-1950, fue en la capital de la Plana de aproximadamente 0,50°C, ligeramente superior al del promedio mundial (0,4°C), mientras que el enfriamiento posterior fue notablemente mayor. Este enfriamiento, de aproximadamente 0,6°C, retornó las temperaturas medias de Castellón, durante el quinquenio 1971-1975, a valores incluso ligeramente inferiores a los registrados a principios de siglo.

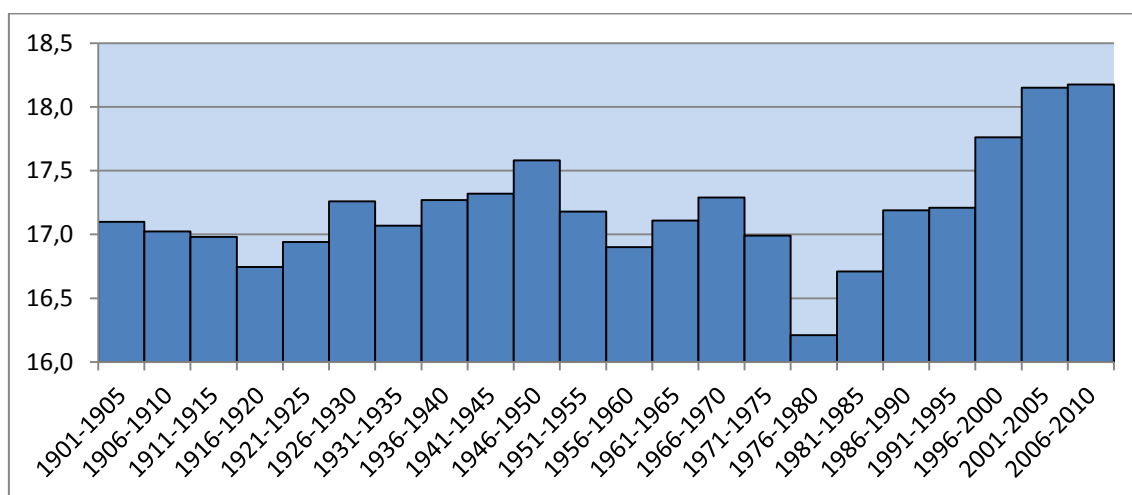


Figura 10. Variación de las temperaturas medias quinquenales en la ciudad de Castellón desde 1901 hasta 2010. Fuente: Aemet y Montón (1997).

Durante el segundo quinquenio de los años setenta, la evolución de las temperaturas muestra una evolución diferente a la del promedio planetario. En efecto, como puede comprobarse en las figuras 3 y 4, las temperaturas globales experimentaron un sensible aumento mientras que las castellonense registraron una fuerte caída, de unos 0,8°C. Las temperaturas no recuperaron los valores del primer lustro de los años setenta hasta la segunda mitad de los años ochenta, de modo que los años 1976, 1977, 1980 y 1985, conjuntamente con el año 1956, se encuentran entre los cinco más fríos de toda la serie. El motivo principal de esta disminución no debe buscarse en causas naturales sino en el cambio de ubicación del observatorio, del centro de la ciudad a sus afueras, a una zona poco urbanizada y rodeada de huertos de naranjos.

¹² Desde 1912 la serie de observaciones es prácticamente continua hasta el traslado del observatorio en 1976. No obstante, existen algunas lagunas de datos, siendo la más importante de ellas la correspondiente a la Guerra Civil.

¹³ A nivel global el mínimo se situó unos diez años antes como puede apreciarse en la figura 3. Algunos autores consideran que pudo estar relacionado con la explosión del Mont Pelé (Comellas, 2007)

Con el objeto de estimar mejor el efecto de dicho cambio, en las figuras 11 y 12 se muestra la evolución de las máximas y mínimas quinquenales desde el lustro 1941-1945 hasta la actualidad. Puede comprobarse, que las temperaturas mínimas se redujeron en casi 1,2°C entre los quinquenios 1971-1975 y 1976-1980, mientras que las máximas tan solo lo hicieron en 0,4°C. Este hecho nos confirma que la mayor parte del enfriamiento observado, sobre 0,5°C, se debió a la reducción o, incluso, desaparición del denominado efecto isla de calor urbano¹⁴, como consecuencia del traslado del observatorio¹⁵. Es posible que otros factores, como el cambio de altura del observatorio (de 51 a 20 m), también tuvieran algún efecto sobre las medidas aunque su influencia, de existir, sería mucho menos importante.

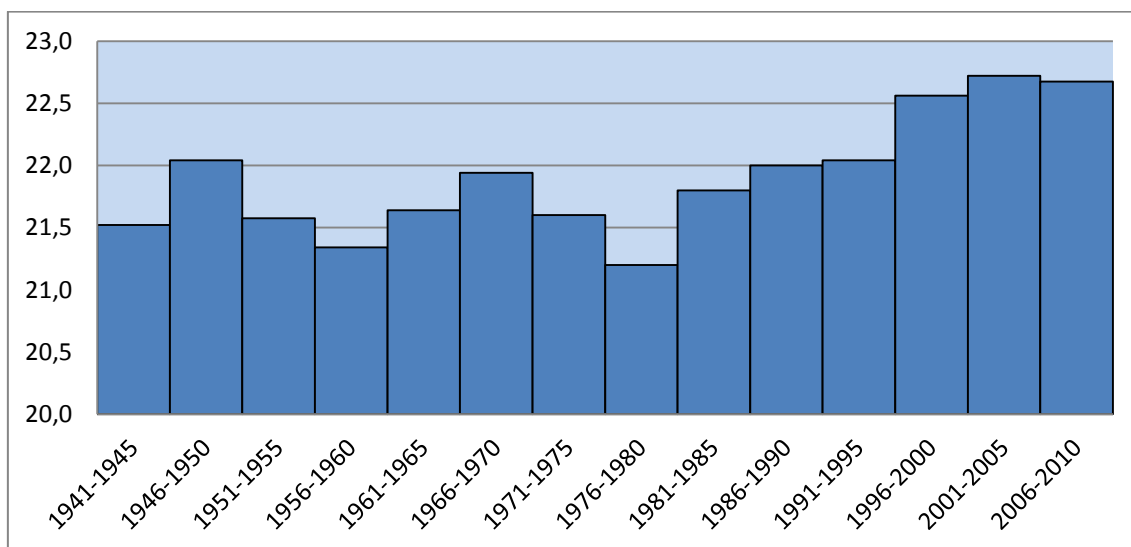


Figura 11. Variación de las temperaturas máximas quinquenales desde 1941 a 2010. Fuente: Aemet.

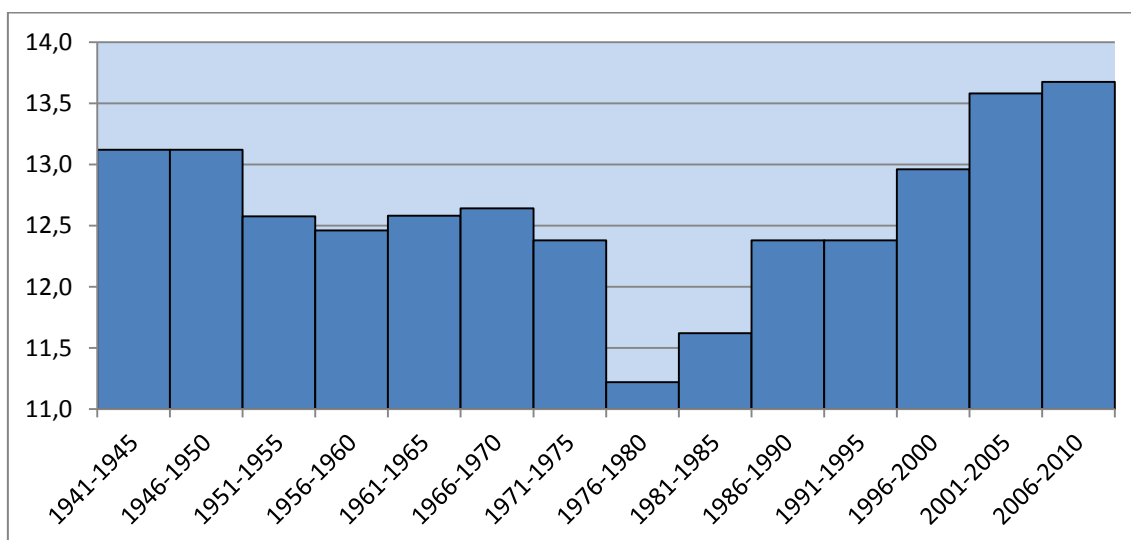


Figura 12. Variación de las temperaturas mínimas quinquenales desde 1941 a 2010. Fuente: Aemet.

¹⁴ El efecto isla de calor urbano afecta levemente a las temperaturas máximas diurnas mientras que alterna de forma apreciable las mínimas nocturnas. Así pues, el aumento o disminución de la amplitud térmica anual denota una reducción o incremento, respectivamente, de los efectos urbanos.

¹⁵ Montón Chiva (1997) obtuvo el mismo resultado reduciendo las temperaturas medias anuales con el observatorio paralelo de Atzeneta. Así mismo, este valor, 0,5°C, ha sido contrastado con otras series como la de Valencia.

El incremento que experimentó la temperatura en los lustros siguientes, desde el quinquenio 1976-1980 hasta principios de los años dos mil, de casi 2,0°C, tampoco puede ser explicado completamente por el calentamiento global. Al incremento observado a nivel planetario se le debe sumar, nuevamente, el efecto antropogénico, consecuencia de la construcción progresiva de polígonos industriales alrededor del nuevo observatorio. En efecto, como puede observarse al comparar las figuras 11 y 12, las temperaturas máximas, desde la segunda mitad de los años setenta, no han ascendido tanto como las mínimas, 1,5°C frente a 2,4°C, lo que nos confirma que una parte importante del aumento observado en las temperaturas medias, sobre unos 0,5°C, se ha debido al efecto isla de calor urbano.

La representación de la amplitud de las temperaturas anuales (figura 13), diferencia entre la medias de las temperaturas máximas y mínimas, nos permite estimar cuando se produjeron los mayores cambios en la infiltración de calor urbano. Durante las décadas de los años cuarenta, cincuenta y sesenta, con el observatorio ubicado en el centro de la ciudad, la amplitud térmica se situó en unos 9°C. Con el traslado del observatorio, al disminuir el efecto de calor urbano, aumentó la citada amplitud en aproximadamente 1°C. Posteriormente, a partir del quinquenio 1986-1990, la progresiva urbanización provocó que los niveles de infiltración comenzaran a aumentar de nuevo, lo que supuso una reducción de la amplitud térmica. En la primera década del siglo XXI, la amplitud se situó nuevamente en unos 9°C, por lo que, actualmente, las medidas del observatorio de Almassora deben presentar una infiltración de calor urbano similar a la del antiguo observatorio. De la citada figura también se concluye que fue durante los lustros 1986-1990 y 2000-2005 cuando se produjo una disminución más apreciable en la amplitud térmica, disminución que ocurrió justamente en los periodos de máxima expansión inmobiliaria en la comarca de la Plana y previamente a las dos últimas crisis económicas.

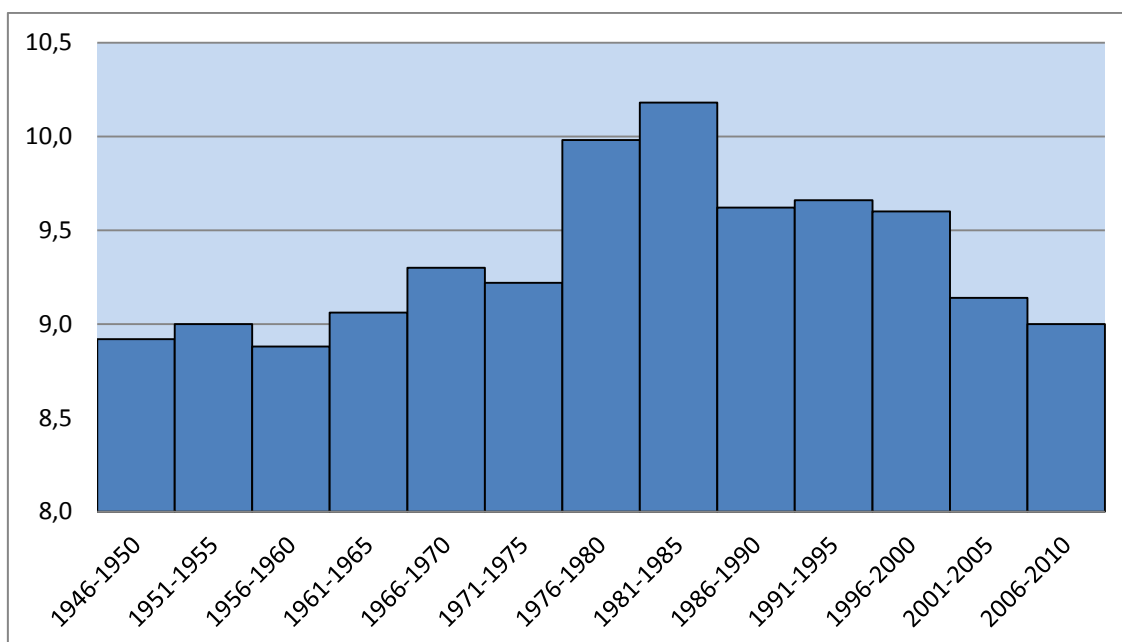


Figura 13. Variación de la amplitud de las temperaturas medias quinquenales desde 1946 a 2010. Fuente: Aemet.

Asumiendo el hecho de que actualmente la infiltración de calor urbano en el observatorio de Almassora es muy similar a la que tenía el antiguo observatorio de

Castellón, podemos afirmar que el aumento real de las temperaturas medias desde el quinquenio 1971-1975 hasta la primera década de los años dos mil fue de aproximadamente 1,15°C, frente a los 0,5°C observados a nivel planetario, mientras que el aumento observado desde principios del siglo XX hasta la citada década se situó ligeramente por encima del grado centígrado, 1,05°C, frente a los 0,8°C estimados a nivel mundial¹⁶.

Respecto a la evolución de los últimos años, como puede comprobarse al comparar las figuras 3, 4 y 10, cabe indicar que ha sido muy similar a la del resto del planeta, con una estabilización de las temperaturas medias anuales en sus máximos históricos.

4.2 Situaciones de temperaturas extremas acaecidas durante el siglo XX y XXI.

Como veremos con más detalle en el apartado siguiente, el calentamiento global, especialmente desde los años ochenta, ha venido acompañado de un incremento de la frecuencia e intensidad de los episodios de elevadas temperaturas. Sin embargo, esto no significa que previamente, como puede comprobarse en la figura 14, no se registraran en Castellón temperaturas muy elevadas.

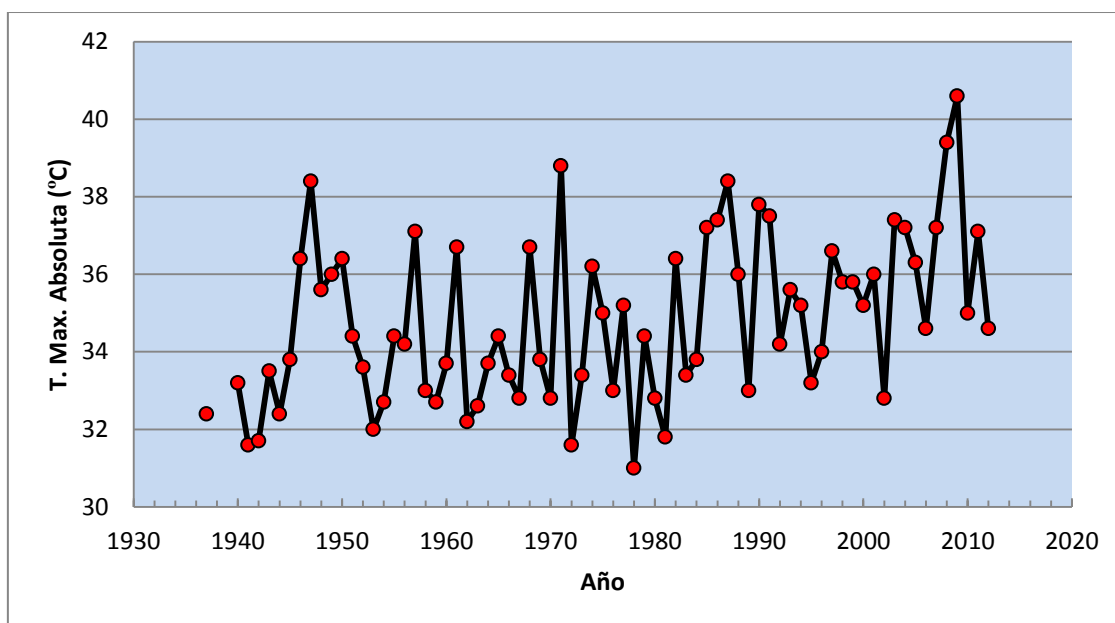


Figura 14. Variación de las temperaturas máximas absolutas anuales en Castellón. Fuente: Aemet.

De la primera mitad del siglo XX se pueden destacar los episodios acaecidos durante el quinquenio 1946-1950, lustro en el que se produjo un máximo térmico secundario. Así pues, durante aquellos años se alcanzaron temperaturas máximas que no volvieron a registrarse hasta la década de los setenta, siendo los veranos más calurosos los de 1946, 1949 y, especialmente, el de 1947.

En el verano de 1946, durante los días 13-14 de julio, una situación del sur provocó temperaturas elevadas en la zona del prelitoral castellonense, destacando Atzeneta con 39°C y Eslida con 35,8°C. El verano siguiente, entre los días 24 de julio y 9 de agosto,

¹⁶ Se ha supuesto que no hubo un cambio en la infiltración de calor urbano desde los inicios del siglo XX hasta comienzos de los años setenta, lo cual es probable que no sea completamente cierto, ya que la ciudad de Castellón triplicó su población durante el mencionado periodo.

un nuevo episodio del sur, que posiblemente evolucionó a uno de flujo de poniente, originó temperaturas muy elevadas, destacando los 38,4°C registrados en la capital de la Plana el día 9 de agosto (véase la figura 15). Esta temperatura no se volvió a alcanzar hasta 1971 y fue la segunda más elevada del siglo XX. El último episodio intenso del sur sucedió los días 17-18 de agosto de 1949, registrándose las temperaturas máximas en las zonas del prelitoral y destacando Atzeneta con 40°C y Sant Mateu con 41°C.

Durante los dos decenios siguientes, la bajada de las temperaturas medias también se vio reflejada en las temperaturas máximas. De estas décadas se puede destacar la invasión de aire sahariano que evolucionó a una situación de poniente, acaecida durante los días 8-10 de agosto de 1957, en la que se midieron 40°C en Onda, así como la situación de flujo poniente, ocurrida entre los días 12-14 de agosto de 1961, en la que se registraron 41°C en Sant Jordi y 37,1°C en Borriana.

El primer quinquenio de los años setenta, fue uno de los más fríos del siglo, retornando las temperaturas medias a los valores de principios del siglo XX. Sin embargo, durante dicho quinquenio se registró en la ciudad de Castellón la temperatura más elevada de la centuria. Desde el día 30 de julio al 3 de agosto de 1971, una situación del sur que evolucionó a una de flujo poniente provocó elevadas temperaturas, destacando los 38,8°C medidos en la capital de la Plana el día 3 de agosto, efeméride del siglo XX, y los 37,8°C registrados en la Vall d'Uixó.

Durante el segundo lustro de los años setenta las temperaturas medias de Castellón continuaron en sus mínimos, siendo noticia las bajas temperaturas que se registraron algunos de sus veranos, como el de 1978 y, especialmente, el de 1977. Este último fue el más frío de toda la centuria, no tan solo en la capital de la Plana, sino en gran parte de la península Ibérica. Las temperaturas máximas medias de los meses de julio y agosto fueron casi 3°C inferiores a lo normal debido a una persistente entrada de aire frío del norte.

A principios de los ochenta, como ya hemos comentado, se asiste a un incremento progresivo de las temperaturas medias que, como es lógico también se observa en las máximas veraniegas. De la primera mitad de esta década, se puede destacar la ola de calor sahariano ocurrida entre los días 6 y 8 de julio de 1982, ya comentada en la introducción.

El aumento de las temperaturas medias se hizo más patente durante la segunda mitad de los años ochenta, la década de los noventa y los años dos mil. Este panorama climático, como puede comprobarse en la tabla 1, ha ido acompañado de veranos muy cálidos, siendo durante el último cuarto de siglo cuando la ciudad de Castellón ha padecido los episodios de calor más intensos desde que hay registros. Así, con la excepción de un número muy contado de años, como el 2002, prácticamente en todos los veranos se han registrado una o varias olas de calor y/o ponientes intensos. Dada la cantidad de episodios de calor extremo acaecidos en el último cuarto de siglo, tan solo se van a describir los más excepcionales.

Tabla 1. Meses y veranos en los que se han registrado las temperaturas máximas medias más elevadas.

Mes	T.Max.Med. (°C)	Verano	T. Max. Med. (°C)
Agosto 2003	33.40	2003	32.55
Julio 2006	31.90	2006	31.15
Agosto 2004	31.80	1994	31.10
Julio 2003	31.70	2004	31.00
Agosto 2012	31.40	1998	30.95
Agosto 1991	31.30	1991	30.80
Agosto 1994	31.20	2009	30.80
Agosto 2009	31.20	2012	30.60
Agosto 2006	31.15	2001	30.50
Julio 1985	31.10	1999	30.45
Agosto 2001	31.10	2005	30.40
Julio 2010	31.10		

El primer episodio a destacar ocurrió durante el verano de 1994. Como puede comprobarse en la tabla 1, este verano fue el tercero más cálido desde que hay registros a pesar de que, posteriormente, las temperaturas medias continuaron subiendo hasta el final de la década; fue, por tanto, un preludio a lo que iba a acontecer en los años subsiguientes. Las elevadas temperaturas unidas a una sequía excepcional favorecieron los mayores incendios forestales que se recuerdan en la provincia de Castellón (Ginés, 1995).

La ola de calor de 1994, aunque también afectó a toda la Europa Occidental, tuvo su mayor incidencia en la península Ibérica alcanzándose temperaturas extremas durante la última semana de junio y la primera de julio, fechas en las que se produjo una invasión de aire tropical continental o sahariano. La peor parte de esta ola de calor se centró en la vertiente mediterránea, donde se alcanzaron las temperaturas más elevadas, si bien los registros superiores a 40° C fueron también habituales en el interior de Andalucía, Extremadura y Castilla-La Mancha. Las temperaturas superaron los 45° C en la región de Murcia, destacando el record histórico nacional de la ciudad de Murcia en el siglo XX, con 47,2°C. Las temperaturas también fueron excepcionales en la provincia de Alicante, con 41,4°C en la misma capital. Los 40° C alcanzados en muchas localidades de la costa mediterránea, en Canarias y en buena parte de Aragón, supusieron en muchos casos récords históricos.

Centrándonos en la provincia de Castellón, el día 4 de julio se alcanzaron 44°C en Segorbe mientras que en buena parte del interior de castellonense se rondaron los 40°C, destacando los 38°C registrados en Morella. En la capital de la Plana las leves brisas refrescaron las temperaturas, por lo que apenas se superaron los 33,5°C. El calor continuó durante todo el mes de julio, agosto y primera parte de septiembre, situándose los valores promedio varios grados por encima de lo habitual.

El siguiente episodio excepcional, probablemente el más intenso desde que hay registros, acaeció el verano de 2003, alcanzando su máximo durante la primera quincena del mes de agosto. Nuevamente, las elevadas temperaturas se debieron a irrupciones sucesivas de aire sahariano. Las consecuencias fueron dramáticas en los ecosistemas y

en la población, con miles de muertos en toda Europa. En algunos países, como Francia, los daños ocasionados por las altas temperaturas causaron incluso importantes crisis políticas. Como es habitual, los países del sur de Europa fueron los que registraron las temperaturas más elevadas. En el sur de Portugal, el 1 de agosto se alcanzaron 47,3 °C. Ese mismo día se batieron los registros de temperatura máxima en Badajoz, con 45 °C, y en Jerez de la frontera, con 45,1 °C. Aunque tan solo se registraron records históricos en contados observatorios, lo más extraordinario de esta ola de calor fue su persistencia, superándose los 40 °C en buena parte de la Península durante la primera quincena de agosto. Así mismo, no solo fueron destacables las máximas diurnas sino también las mínimas nocturnas, ya que se registraron un número de noches tropicales sin precedentes¹⁷.

En Castellón, al igual que en el resto de la cuenca mediterránea occidental, las altas temperaturas, tanto las máximas como las mínimas, estuvieron por encima de los valores normales sin solución de continuidad, desde principios de junio hasta finales de agosto. Durante aquellas fechas no se registraron records históricos, generalmente asociados a flujos de poniente, pero la persistencia de las temperaturas máximas por encima de los 32°C no tiene equivalente en los más de 100 años de observaciones (véase la figura 15).

El verano de 2004, también se caracterizó por las elevadas temperaturas. Entre los días 8 a 10 de agosto una borrasca situada sobre las islas británicas favoreció un flujo continuado de vientos de poniente. En la ciudad de Castellón, durante cinco días las máximas no bajaron de los 32°C, alcanzándose un valor máximo de 36,6°C. La misma situación se repitió entre los días 18 y 19 de ese mismo mes, registrándose una máxima de 37,2°C.

El segundo lustro de los años dos mil también se caracterizó por intensos episodios de calor extremo. El mes de julio de 2006 se encuentra entre los tres más cálidos desde que hay registros. Sin embargo, lo más remarcable de este quinquenio fueron las *ponentadas* ocurridas el 12 de agosto del año 2008 y, especialmente, el 23 de julio de 2009. La primera, con 39,4°C, estableció un nuevo record de temperatura máxima que fue superado por la segunda, con 40,6°C.

Durante los últimos años, 2011-2014, no se han registrado episodios tan extremos como los de la década anterior, destacando los 37,1°C alcanzados el 26 de agosto de 2012.

¹⁷ Se define como noche tropical aquella noche en la que la temperatura mínima es igual o superior a los 20°C.

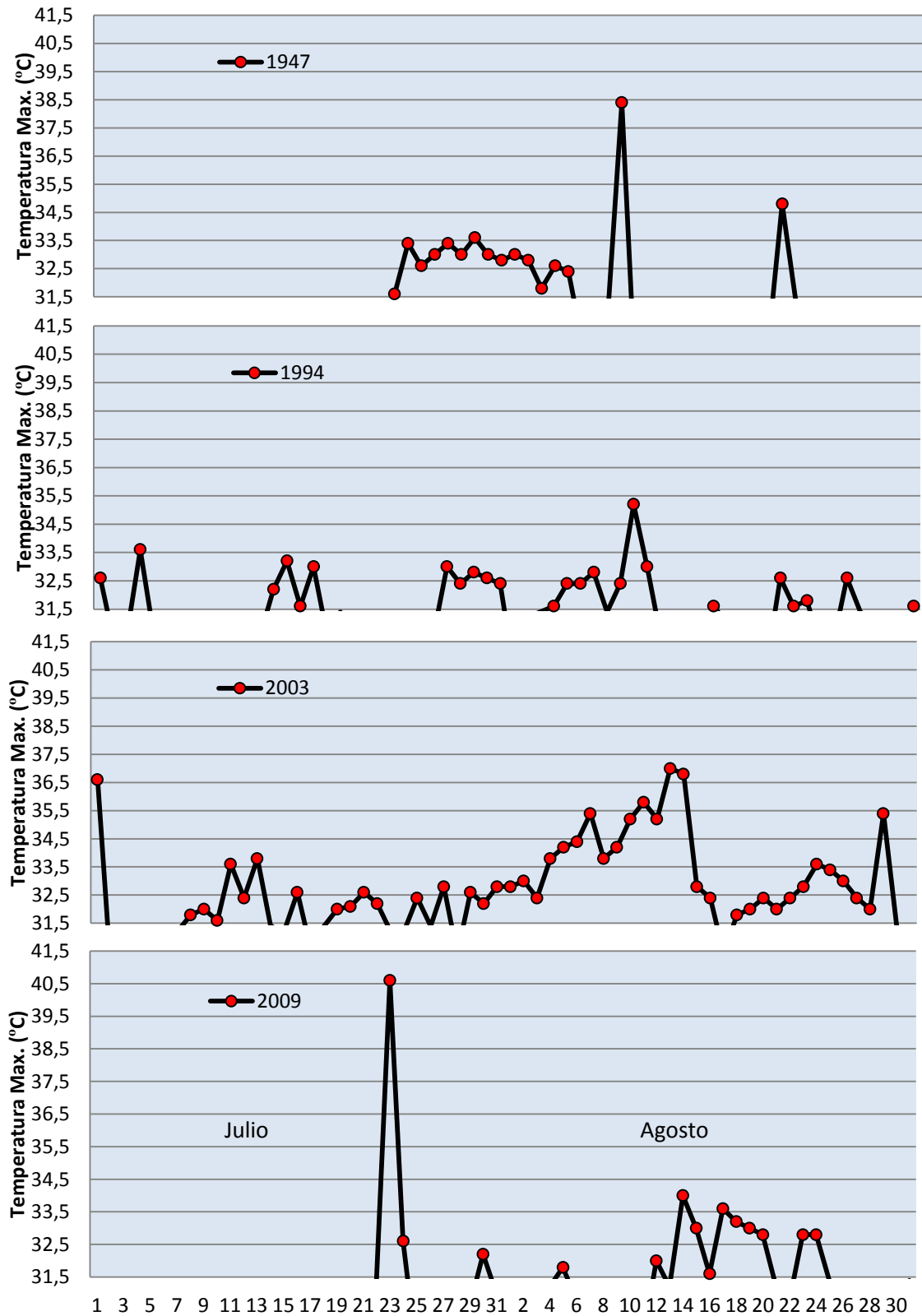


Figura 15. Evolución de las temperaturas máximas diarias, superiores a los 31,5°C, durante algunos de los veranos más cálidos de los últimos setenta y cinco años. Fuente: Aemet.

4.3 Efecto del calentamiento global sobre la frecuencia e intensidad de los fenómenos de calor extremo.

El cambio climático conlleva, además de un aumento de las temperaturas medias, un incremento de la frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo, episodios que, como ya hemos comentado, pueden tener consecuencias nefastas sobre el medio ambiente y el ser humano. Tres son los parámetros que pueden servirnos para estimar la evolución de este tipo de eventos:

- El valor medio de las temperaturas máximas.
- Las temperaturas máximas absolutas.
- El número de días al año en los que se supera una temperatura umbral.

A continuación se analiza cada uno de ellos.

Valores medios de las temperaturas máximas

En verano y, más concretamente, durante los meses de julio y agosto, es cuando más probables son los episodios de calor extremo. Como puede comprobarse en la figura 16, durante estos meses es cuando se registran casi el 80% de las máximas absolutas anuales. Así pues, con el objeto de simplificar, el estudio se ha centrado en las temperaturas máximas que se registran durante los dos meses plenamente estivales, julio y agosto.

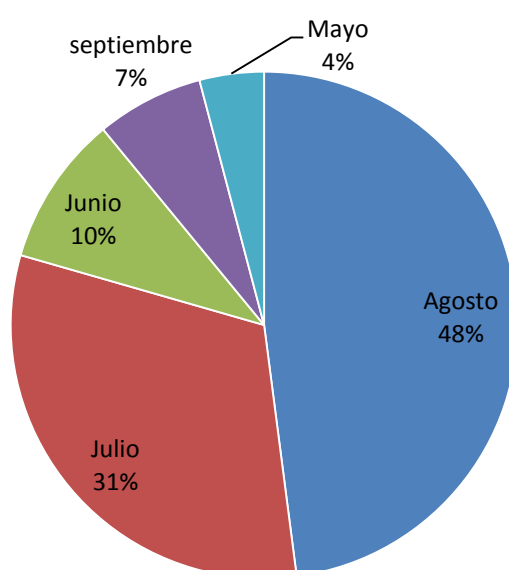


Figura 16. Distribución mensual de las temperaturas máximas absolutas anuales en Castellón.

En la figura 17 se muestra la evolución de la media de la máximas estivales (julio+agosto) entre los quinquenios 1971-1975 y 2006-2010, ambos inclusive¹⁸. Por

¹⁸ Debido a que prácticamente todo el aumento de las temperaturas observado el siglo pasado se produjo desde la década de los años sesenta hasta el final de la centuria, el análisis se ha centrado principalmente en los datos registrados desde esa década hasta la actualidad. Recordemos que el enfriamiento posterior a los años cincuenta, mucho mayor que el registrado a nivel global, retorno las temperaturas a los valores de principios del siglo XX.

otro lado, en la figura 18 se muestra la evolución de las máximas anuales en el citado periodo de tiempo. Como puede comprobarse, el incremento de las medias estivales ha sido incluso mayor que el observado para las anuales, sobre 1,40°C frente a 1,15°C. Dicho incremento es aún mayor si se toma como referencia el lustro 1976-1980, sobre 2,5°C frente a 1,5°C.

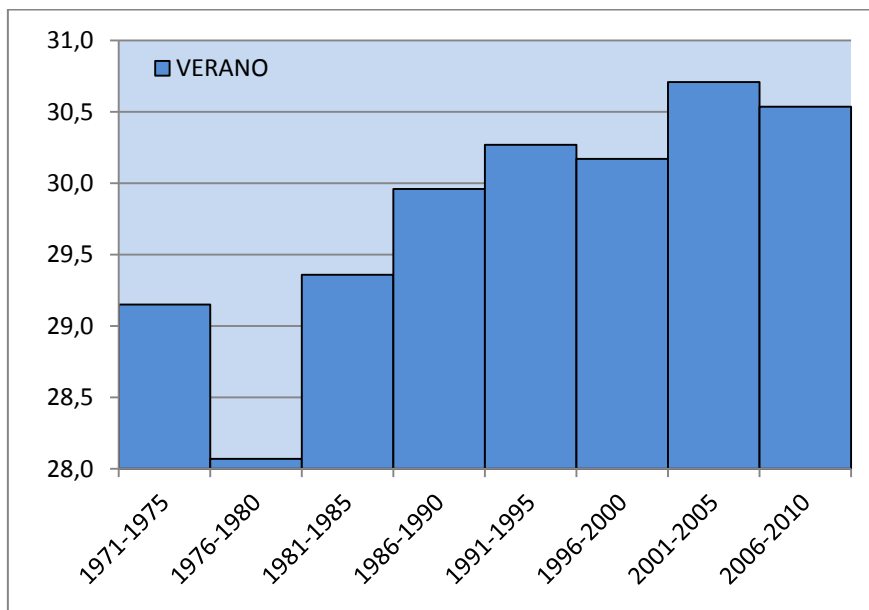


Figura 17. Variación de la media de las temperaturas máximas estivales entre los quinquenios 1971-1975 y 2006-2010. Fuente: Aemet.

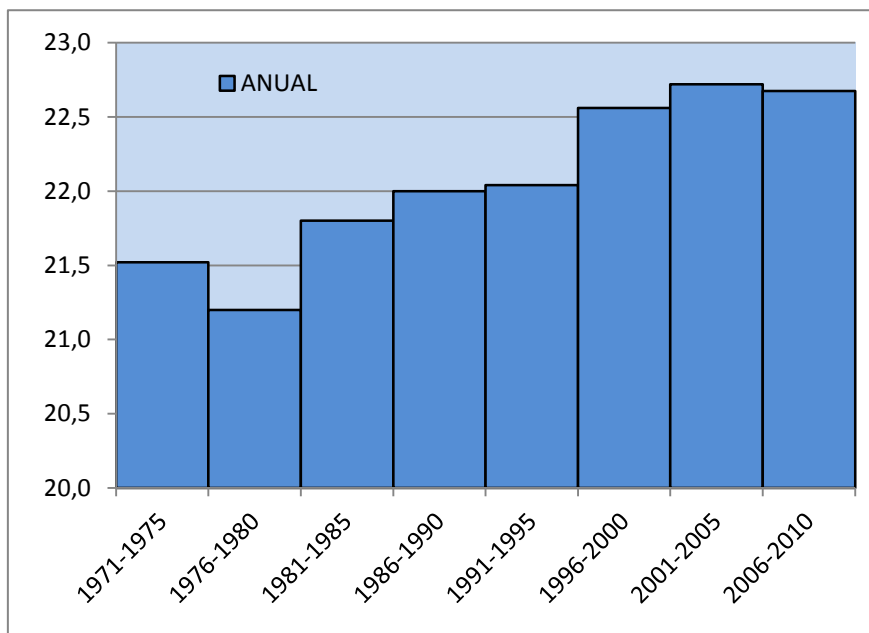


Figura 18. Variación de la media de las temperaturas máximas anuales entre los quinquenios 1971-1975 y 2006-2010. Fuente: Aemet.

Con el objeto de apreciar mejor este hecho, en la figura 19 se ha representado, para cada año del periodo 1940-2010, la media de las máximas estivales en función de la media de las máximas anuales. Como puede comprobarse, y aunque existe una gran dispersión, a medida que se incrementan las temperaturas anuales las estivales lo hacen todavía más:

por cada 1°C que aumentan las anuales las estivales lo hacen en aproximadamente 1,3°C.

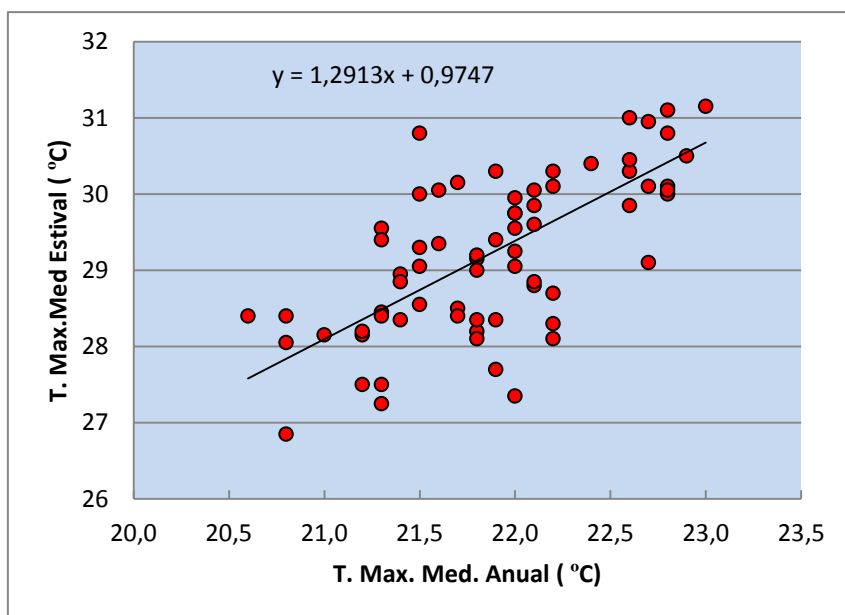


Figura 19. Variación de la media de las temperaturas máximas estivales en función de la media de las temperaturas máximas anuales, periodo 1940-2010. Fuente: Aemet.

Aunque el estudio se centra en los fenómenos de calor extremo resulta interesante conocer que ha sucedido con las temperatura invernales (diciembre+enero+febrero). En efecto, si las temperaturas estivales han aumentado más que el promedio anual, las temperaturas registradas el resto año deben haber seguido una evolución diferente. En la figura 20 se muestra la evolución de la media de las máximas invernales entre los quinquenios 1971-1975 y 2006-2010. Puede comprobarse que, sorprendentemente y en contra de la sensación general, éstas han variado en menor cuantía, apreciándose incluso una tendencia a la disminución desde el primer lustro de los años setenta.

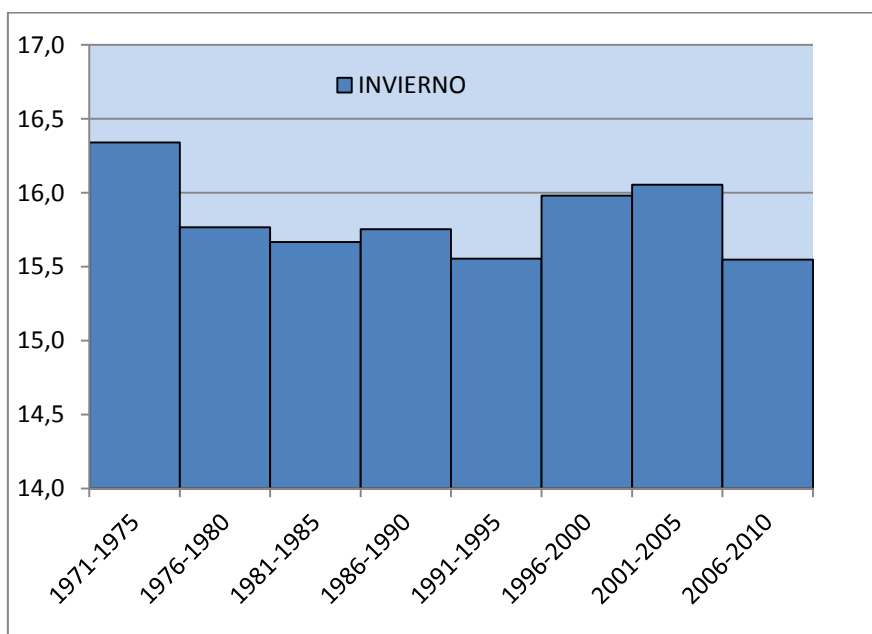


Figura 20. Variación de la media de las temperaturas máximas invernales entre los quinquenios 1971-1975 y 2006-2010. Fuente: Aemet.

Esta diferente evolución nos indica, por un lado, que el calentamiento se está concentrado en los meses estivales, que es un cuando ocurren la mayor parte de los episodios de calor extremo, y, por otro, que está aumentando la variabilidad climática, con veranos mucho más calurosos que los vividos en los años setenta e inviernos incluso algo más fríos.

Volviendo a las máximas medias veraniegas, como ya comentamos en la introducción, debido al aumento progresivo de las temperaturas, la distribución de probabilidad de las observaciones inevitablemente se debe haber modificado. Asumiendo que las medidas de la temperatura se ajustan a una distribución normal, se han calculado las medias y desviaciones estándar de las temperaturas registradas en los decenios setenta, ochenta, noventa y dos mil así como las del periodo de referencia 1951-1980¹⁹ (tabla 2). Como era de esperar, apenas se observan diferencias cuando comparamos el valor medio del periodo de referencia 1951-1980 con el del decenio 1971-1980. Por el contrario, las diferencias son bastante más apreciables cuando hacemos la comparación con los decenios posteriores, incrementándose de forma progresiva. Así mismo, puede comprobarse nuevamente el brutal aumento que ha experimentado la media de las temperaturas máximas estivales en tan solo treinta años, de aproximadamente 2°C, un aumento que ha sido unas cuatro veces superior al estimado para las temperaturas anuales planetarias.

Tabla 2. Media de las temperaturas máximas estivales y desviación estándar para el periodo de referencia 1951-1980 y los decenios setenta, ochenta, noventa y dos mil.

Periodo	Promedio (°C)	Desviación (°C)
1951-1980	28,56	0,66
1971-1980	28,61	0,95
1981-1990	29,66	0,68
1991-2000	30,22	0,59
2001-2010	30,63	0,94

Con el objeto de apreciar mejor los cambios ocurridos durante los últimos cuarenta años, en la figura 21 se comparan las curvas de distribución de Gauss de los decenios setenta, ochenta, noventa y dos mil, tomando como referencia la media y desviación estándar del periodo 1951-1980. Como puede apreciarse, durante la década de los setenta, 1971-1980, un verano extremadamente caluroso, en el que la temperatura media se situase más allá de las 3 sigmas, era algo bastante improbable. Sin embargo, debido al calentamiento global, la temperatura media (que coincide con el máximo de la curva) se fue desplazando progresivamente hacia la derecha (hacia mayores temperaturas) por lo que en el último decenio, 2001-2010, la media se situó a unas tres sigmas del periodo de referencia. Esto ha supuesto que en la actualidad aproximadamente la mitad de los años se supere dicha desviación y que los veranos otrora calificados como extremadamente calurosos sean ahora completamente normales. Por otro lado, la curva

¹⁹ 1951-1980 fue propuesto como periodo de referencia por Hansen para el análisis del GISS (Hansen et al., 2010).

del decenio 2001-2010 muestra un mayor achatamiento que el de las curvas de los dos decenios precedentes, 1981-1990 y 1991-2000, lo que supone que los valores extremos han experimentado una variación incluso mayor que la del valor medio²⁰. Como consecuencia de ello, un calor sin precedentes, un evento que se situaría más allá de las 4 o 5 sigmas de la media del periodo de referencia, en estos momentos ya no es un hecho extraordinario porque puede suceder una o dos veces por década.

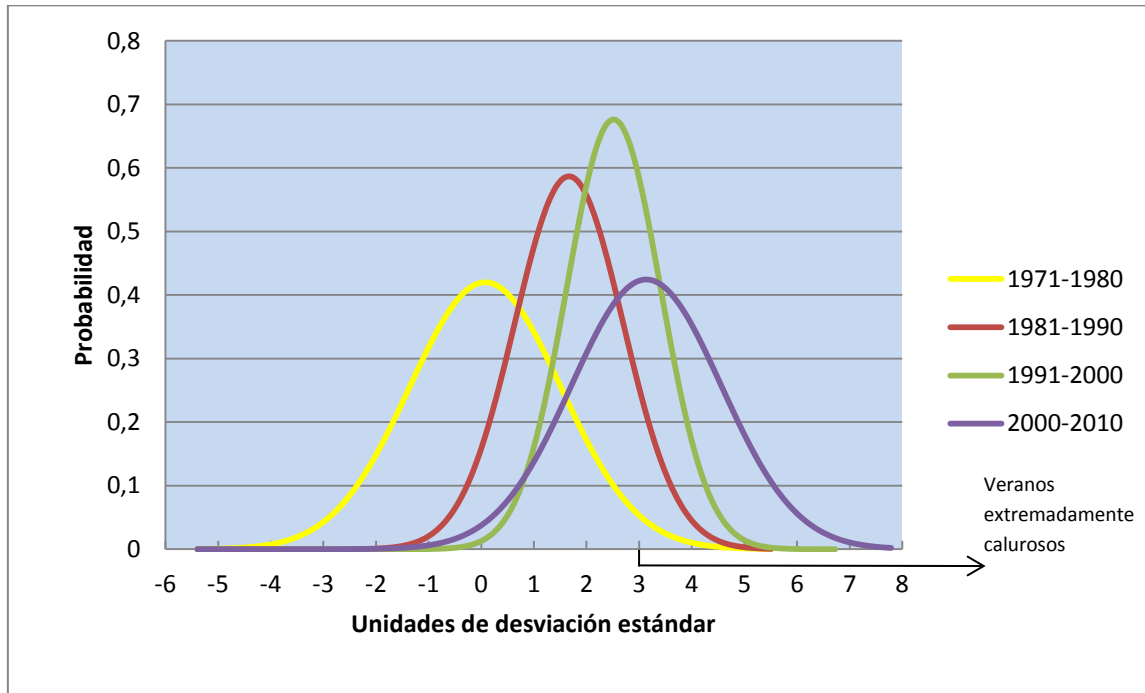


Figura 21. Curvas de distribución normal para las diferentes décadas, tomando como referencia el periodo 1951-1980.

En la tabla 3 se muestran, en orden decreciente, los once veranos más tórridos de los últimos cien años. La clasificación se ha realizado basándonos en el número de desviaciones a las que se ha situado su temperatura media respecto al periodo de referencia 1951-1980. Al examinar la tabla, destaca el extraordinario verano de 2003, evento que se puede clasificar de 6 sigma. Lógicamente, no se puede considerar como un evento 6 sigma propiamente dicho ya que en ese caso el clima se debía haber mantenido estacionario desde el periodo de referencia cosa que, como sabemos, no ha ocurrido. Si consideráramos como normales las temperaturas del periodo 1981-2010 el evento tan solo sería 3 sigma y 2 sigma si tomáramos como referencia el periodo 2001-2010.

²⁰ Evidentemente en el decenio 2001-2010 tuvo mucho peso el extraordinario el verano de 2003, tanto en el promedio como en la desviación, por lo que, si no tuviéramos en cuenta dicho año, las diferencias respecto al decenio anterior serían algo menores. Por su parte, el periodo 1971-1980 también muestra una gran variabilidad, la cual podemos atribuir a la inflexión que tuvo la evolución de las temperaturas medias y, posiblemente, también al cambio de ubicación del observatorio.

Tabla 3. Veranos con las temperaturas máximas medias más elevadas y su desviación respecto al periodo de referencia 1951-1980.

Verano	T. Max. Med. (°C)	Desviación (°C)
2003	32.55	6-7 sigma
2006	31.15	3-4 sigma
1994	31.10	3-4 sigma
2004	31.00	3-4 sigma
1998	30.95	3-4 sigma
1991	30.80	3-4 sigma
2009	30.80	3-4 sigma
2012	30.60	3-4 sigma
2001	30.50	2-3 sigma
1999	30.45	2-3 sigma
2005	30.40	2-3 sigma

Temperaturas máximas absolutas

Respecto a las temperaturas máximas absolutas, como puede observarse en la figura 22, a pesar de la variabilidad anual existente, con una evolución en forma de dientes de sierra, su aumento en las últimas décadas ha sido más que destacable con casi 3,0°C. Como ocurría con las medias estivales, éste aumento ha sido apreciablemente superior al observado para las medias anuales.

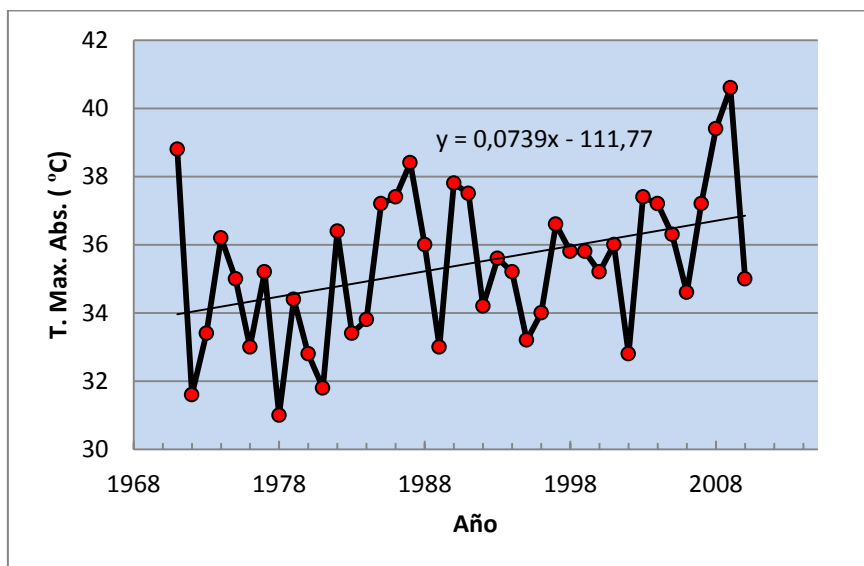


Figura 22. Variación de las temperaturas máximas absolutas anuales.

Con el objeto de apreciar mejor este hecho, en la figura 23 se ha representado, para cada año del periodo 1940-2010, la máxima absoluta en función de la media anual de las temperaturas máximas. Puede comprobarse que, a pesar de la gran dispersión existente,

a medida que aumenta la temperatura anual el incremento de las máximas absolutas es todavía mayor.

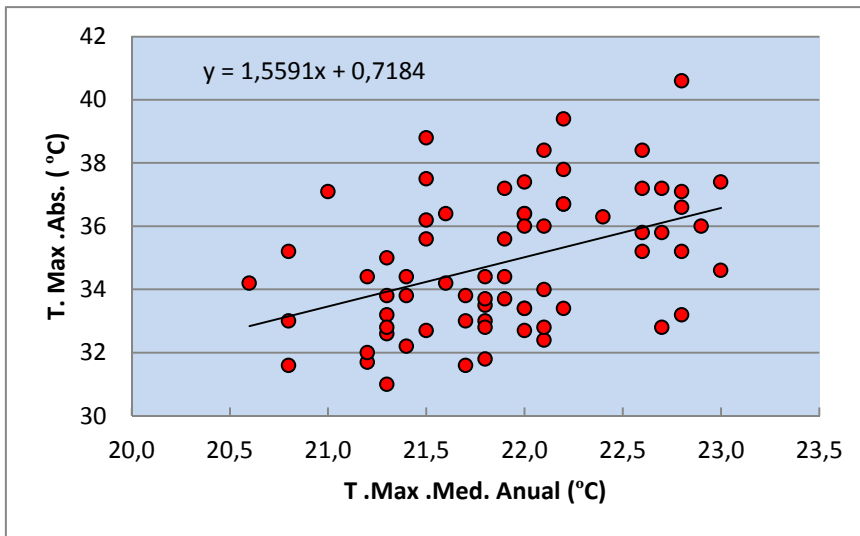


Figura 23. Variación de la temperatura máxima absoluta anual en función de la temperatura media máxima, periodo 1940-2010. Fuente: Aemet.

Este notable aumento debe haber supuesto una la reducción de los periodos de retorno a los que se presenta una máxima extrema. Con el objeto de estimar dicha reducción, se ha calculado la distribución tipo Gumbel²¹ que mejor se ajusta a la serie de temperaturas máximas absolutas de los periodos 1951-1980 (figura 24) y 1981-2010 (figura 25). En las tablas 4 y 5 se muestran los resultados para periodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 30, 50, 100, 250 y 500 años.

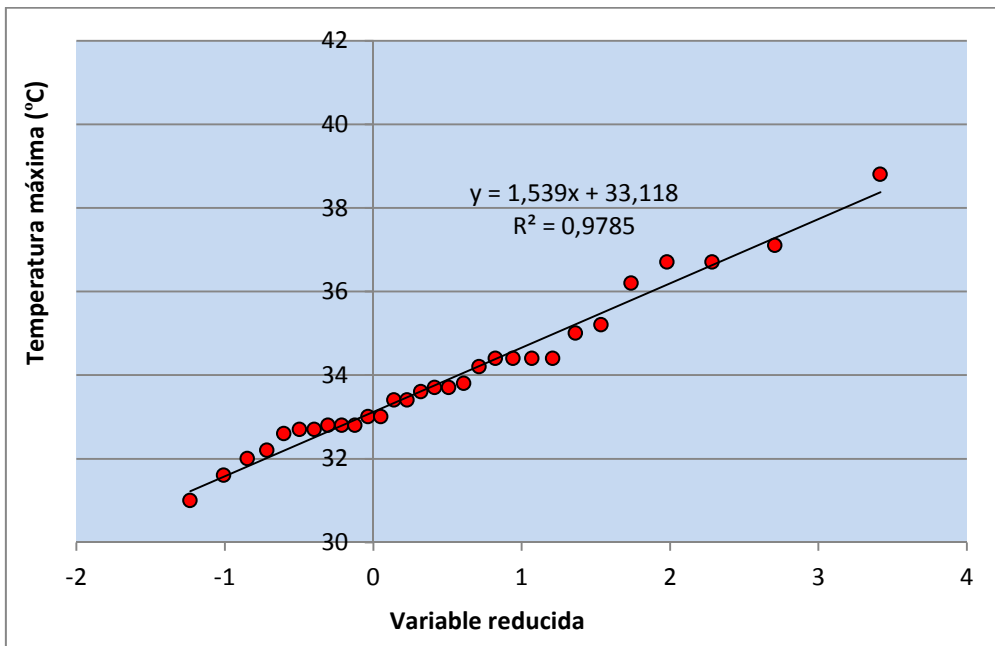


Figura 24. Diagrama de probabilidad de Gumbel para las temperaturas máximas absolutas anuales, periodo 1951-1980.

²¹ La distribución de Gumbel suele ajustarse mejor que la distribución normal a las series de valores meteorológicos (Ginés, 2013b).

Tabla 4. Temperaturas extremas para diferentes periodos de retorno (1951-1980).

Periodo de retorno (años)	Temperatura (°C)
2	33,7
5	35,4
10	36,6
20	37,7
30	38,3
50	39,1
100	40,2
250	41,6
500	42,7

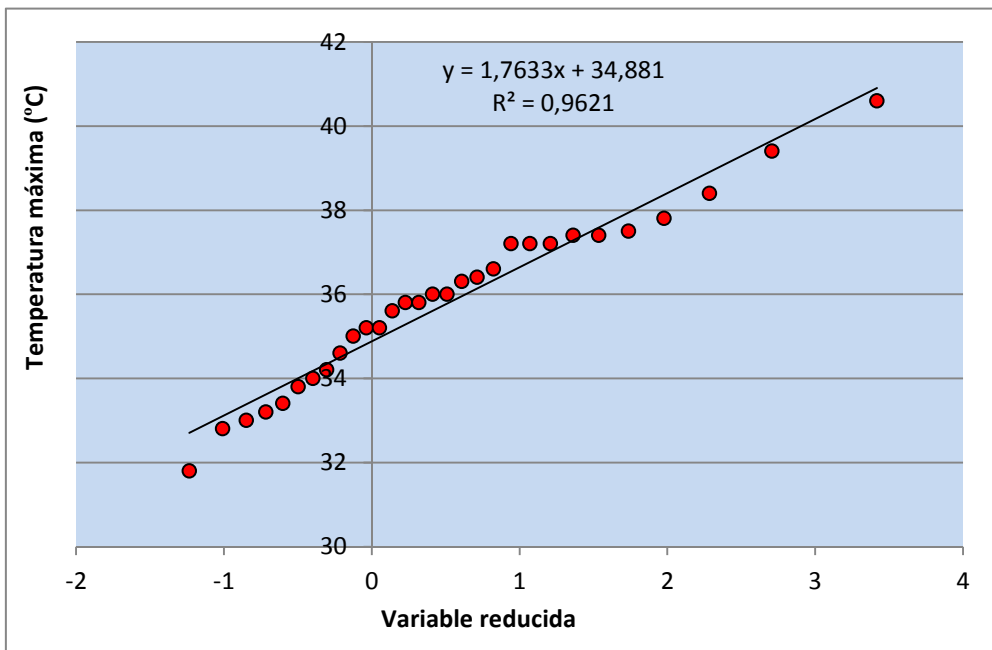


Figura 25. Diagrama de probabilidad de Gumbel para las temperaturas máximas absolutas anuales, periodo 1981-2010.

Tabla 5. Temperaturas máximas para diferentes periodos de retorno (1981-2010).

Periodo de retorno (años)	Temperatura (°C)
2	35,5
5	37,5
10	38,8
20	40,1
30	40,8
50	41,8
100	43,0
250	44,6
500	45,8

Si comparamos los resultados obtenidos para el periodo 1951-1980 con los correspondientes al periodo 1981-2010 vemos el efecto que ha causado el cambio climático sobre las máximas absolutas (tabla 6). En efecto, una temperatura de cuarenta

grados, que a mediados del siglo pasado presentaba un periodo de retorno de ochenta y ocho años, superior a la esperanza de vida humana, actualmente puede registrarse cada diecinueve años.

Tabla 6. Comparación de los periodos retorno para diferentes temperaturas máximas.

Temperatura (°C)	Periodo retorno 1951-1980 (años)	Periodo retorno 1981-2010 (años)
35	4	<2
36	7	2,5
37	14	4
38	25	7
39	46	11
40	88	19
41	168	33
42	325	58

Al igual que ocurría con la desviación estándar, nuevamente debemos tener en cuenta que los periodos de retorno calculados pueden no ser del todo correctos. En efecto, se parte del supuesto que la frecuencia con la que se registra una temperatura máxima será igual en el futuro que lo ha sido en el pasado. Este hecho implica dos cosas, que la serie disponible es una muestra homogénea y representativa de una población determinada y que durante los años que abarca la misma no se han producido una variación climática. Sin embargo, como hemos indicado, se ha producido un incremento apreciable de las temperaturas en los últimos decenios. Por tanto, los resultados obtenidos para el periodo 1981-2010 pueden haber quedado incluso desfasados y los periodos de retorno actuales ser todavía menores.

Número días/año en el que se supera una temperatura umbral

Los dos factores que determinan la intensidad de los fenómenos de calor extremo son las temperaturas alcanzadas y su duración. El número de días al año en los que se supera un determinado umbral de temperatura puede ayudarnos a evaluar la intensidad y frecuencia de estos fenómenos. Previamente, por tanto, se hace necesario establecer un umbral de temperatura a partir del cual podemos considerar que una jornada es calurosa. Para definir una ola de calor suele utilizarse el percentil 95 de la serie de datos. Así pues, para definir un día caluroso, se ha decidido establecer como valor umbral el percentil 95 de las temperaturas estivales (julio+agosto) que, en el caso de la ciudad de Castellón y para el periodo de referencia 1951-1980, se sitúa en aproximadamente 31,5°C.

En la figura 26 se muestra la evolución que han experimentado el número de días al año en los que se ha alcanzado o superado esta temperatura. Puede comprobarse que en la década de los setenta y primera mitad de los ochenta era muy improbable que ocurriera más de diez veces al año, destacando 1978, con cero jornadas. En la segunda mitad de los años ochenta y durante toda la década de los noventa se produjo un aumento de la frecuencia, sobrepasándose la mayoría de los años los diez días y sobresaliendo 1994 y 1998, con más de veinte veces. Este incremento se mantuvo durante la primera mitad de los años dos mil, hasta 2006, superándose la mayor parte de los años las veinte jornadas

y destacando, sobre manera, el año 2003, con nada menos que sesenta veces. Posteriormente se ha constatado una reducción de los días en los que se ha alcanzado o superado la temperatura umbral, retornando los valores a niveles de la década de los noventa.

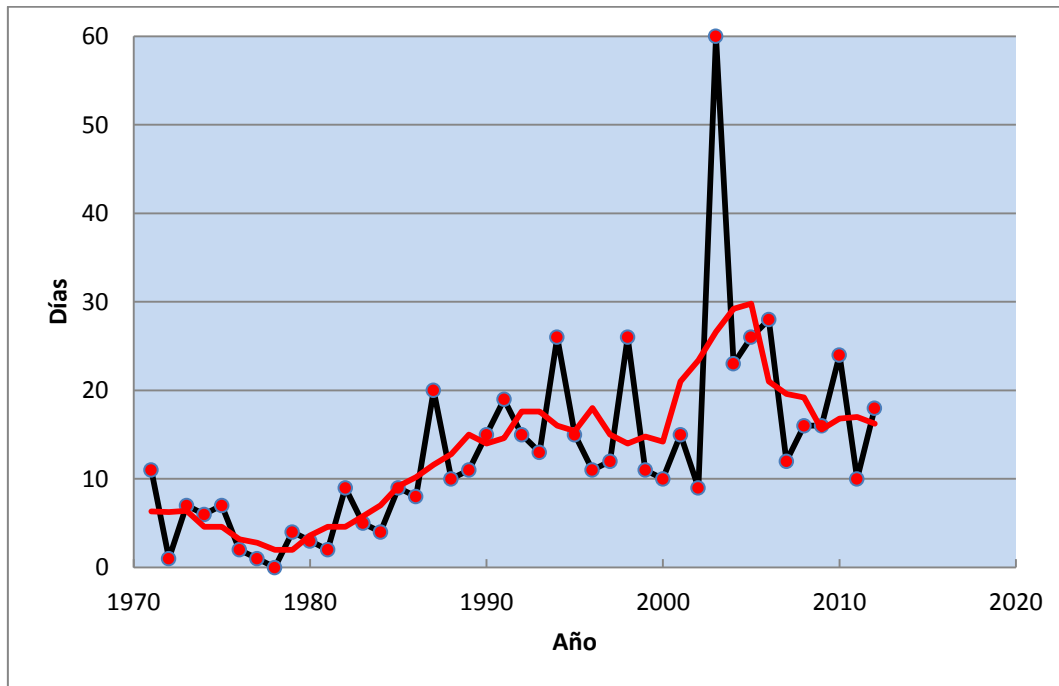


Figura 26. Días por año en los que se igualaron o superaron los 31,5°C, en rojo la media móvil de cinco años.

Como puede apreciarse en la figura 27, si establecemos unos umbrales de temperatura todavía más elevados, 34°C y 36°C, que están por encima del percentil 99% para el período de referencia, se observa la misma secuencia. En efecto, la década de los setenta es la que presentó un menor número de días con episodios extremos. Desde la segunda mitad de los años ochenta la frecuencia de estos episodios se incrementó de manera apreciable hasta el primer lustro de los años dos mil en el que alcanzó su valor máximo. Finalmente, en la segunda mitad de los años dos mil el número de días se redujo significativamente, siendo muy parecido al de los años noventa y finales de los ochenta.

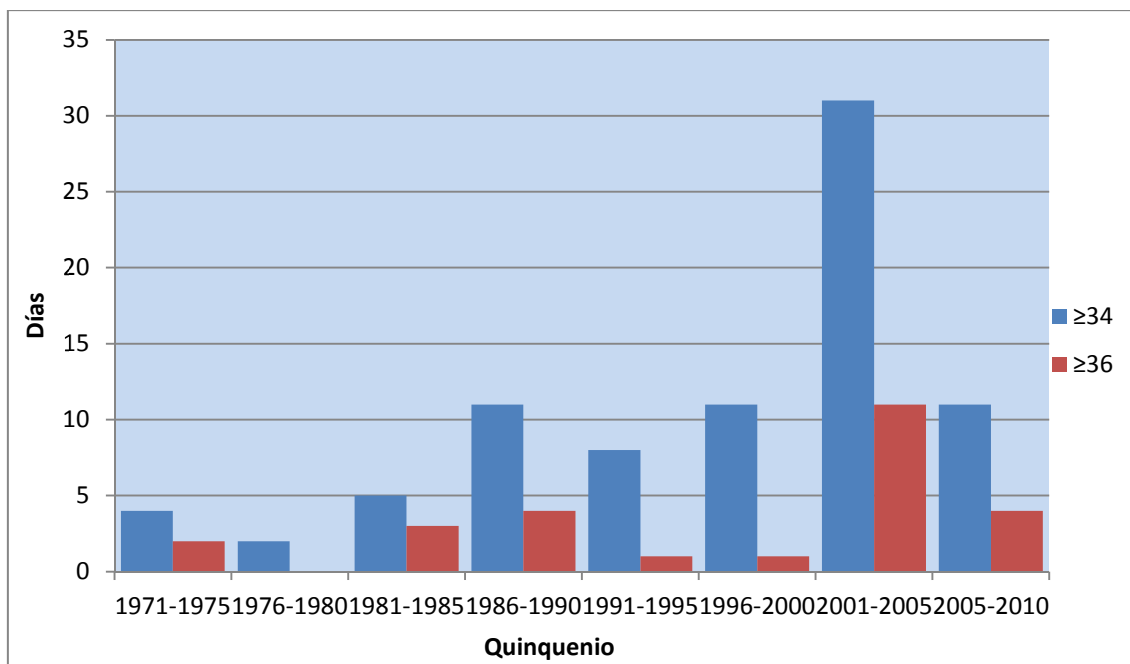


Figura 27. Días por quinquenio en los que se igualaron o superaron los 34 y 36°C.

5. Conclusiones.

El cambio climático ha dejado de ser una mera especulación para convertirse en una preocupante realidad que está impactando sobre todos los aspectos naturales y sociales de nuestro planeta. En el presente trabajo se ha analizado cómo está afectando a las temperaturas de la ciudad de Castellón, tanto medias como absolutas, así como a la frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo. Previamente, con el objeto de precisar las dimensiones del actual cambio climático, se han analizado la evolución que experimentaron las temperaturas de Castellón en el pasado y los episodios extremos más destacables desde que existen registros.

Los datos históricos nos demuestran que las temperaturas no se han mantenido estables a lo largo del tiempo sino que los ciclos cálidos y fríos se van alternando. Actualmente nos encontramos en un periodo cálido y, al margen de las causas que lo están provocando y que no son motivo de este estudio, es muy probable que hayamos alcanzado o incluso superado las temperaturas registradas en el Óptimo Medieval, por lo que estaríamos entrando en un escenario climático desconocido en al menos dos mil años. El efecto isla de calor urbano, aunque destacable, no puede ser considerado, como algunos escépticos consideran, el único causante del calentamiento observado ya que, una vez descontado, el aumento de las temperaturas medias en los últimos cien años ha sido en la ciudad de Castellón de aproximadamente 1°C, un cuarto de grado por encima del estimado a nivel mundial. Sin duda alguna un aumento más que apreciable si se tiene en cuenta que la variación de las temperaturas globales en los últimos 2.000 años, de acuerdo con la reconstrucción de Loehle, ha sido de tan solo 1,2°C.

Tras este notable calentamiento, a comienzos del siglo XXI se ha constatado un estancamiento en la subida de las temperaturas, evolución que la mayoría de los modelos climáticos no predijeron. Las causas de dicho estancamiento pueden ser muy variadas. Sin embargo, si el incremento de los gases de efecto invernadero es la principal causa del cambio climático y, como es de prever, la concentración de los

mismos continúa aumentando, la estabilidad observada en la actualidad no debería ser muy duradera. Así pues, nos encontraríamos en un paréntesis, similar al ocurrido a mediados del siglo pasado, previo a un nuevo aumento de las temperaturas. Lógicamente, si se prolongara mucho la actual estabilidad térmica, aunque sería una buena noticia, tendríamos un serio problema científico.

Al igual que en el resto del planeta, debido al calentamiento global, en las últimas décadas han aumentado la frecuencia e intensidad de los episodios de calor extremo registrados en la ciudad de Castellón. Dicho aumento se ha constatado mediante el análisis de la evolución de las máximas estivales, de las máximas absolutas y del número de días al año en los que se supera una temperatura umbral.

El análisis de los datos nos demuestra que el calentamiento global se está concentrando en las temperaturas estivales. Así, mientras las temperaturas medias máximas invernales de los últimos cuarenta años muestran una estabilidad o ligera disminución, las estivales están aumentando incluso en mayor medida que las anuales. Así, entre los quinquenios 1971-1975 y 2006-2010 el incremento de las máximas veraniegas ha sido de alrededor de 1,40°C, frente a 1,15°C para los valores anuales. La curva de distribución de probabilidad de las temperaturas estivales se ha modificado de tal modo que, veranos tan extraordinarios como el de 2003, evento 6 sigma de acuerdo con curva de distribución del periodo 1951-1980, ahora se encuentran dentro del rango 3 sigma. En consecuencia, de continuar aumentando las temperaturas, veranos como el mencionado podrían ser habituales en un futuro relativamente cercano.

El notable incremento de las temperaturas medias estivales ha venido acompañado de unas temperaturas absolutas cada vez más elevadas por lo que el registro de temperaturas superiores a los 40°C, inimaginables en el pasado, actualmente tan solo presenta en la ciudad de Castellón un periodo de recurrencia de diecinueve años. Así mismo, el número de días por año en los que se alcanzó o superó en la capital de la Plana los 31,5°C aumentó de forma significativa desde la década de los setenta hasta los años dos mil. Si en la década de los setenta era muy raro que se dieran más de diez días al año, a mitad de los años dos mil se superaban de forma habitual los veinte días. En los últimos años, sin embargo, se aprecia una clara reducción en el número de los días, observándose esta misma secuencia cuando se establecen umbrales de temperatura más elevados. A pesar de esta aparente moderación, no debemos olvidarnos que las máximas absolutas históricas se han registrado durante los años 2008 y 2009 y que las temperaturas medias no han disminuido, por lo que no resultaría extraño que en los próximos años se volvieran a repetir fenómenos tan extremos como los ocurridos en la primera década del presente siglo.

Finalmente señalar que, de continuar el calentamiento como auguran todos los modelos climáticos, éste se convertirá en uno de los mayores desafíos a los que deberá responder la humanidad en los próximos años. Posiblemente, una de las regiones del planeta más vulnerables sea la mediterránea. Entre sus múltiples efectos, quizá el más alarmante a corto plazo sea la disminución de los recursos hídricos, disminución que puede afectar a todos los sectores económicos (servicios, agricultura e industria) y aumentar el riesgo de desertificación. Además, la falta de humedad en el suelo y unas temperaturas cada más elevadas pueden favorecer los incendios forestales, unas de las peores catástrofes medioambientales que sufren los países mediterráneos año tras año. A medio plazo, los riesgos son inmensos para el planeta y las generaciones futuras por lo que si el cambio

climático es consecuencia de las actividades humanas, como la mayoría de científicos postula, se debe actuar de forma urgente antes de que sea irreversible.

6. Bibliografía.

Balbás Cruz, J.A. (1981). *El libro de la Provincia de Castellón*. Castellón de la Plana: Caja de Ahorros y Monte Piedad de Castellón.

Comellas, J.L. (2011). *Historia de los cambios climáticos*. Madrid: Rialp.

Craig Loehle (2007). A 2000-year Global Temperature Reconstruction Based on Non-treering Proxies. *Energy and Enviroment*, 8 (7+8).

Ginés, F. (1995). Relación entre los factores climáticos y los incendios forestales en la provincia de Castellón. *Ribalta*, (9), 141-150.

Ginés, F. (2013a). Olas de aire frío y temporales de nieve en Castellón. Repositori UJI.

Ginés, F. (2013b). Pluviometrías anuales y mensuales en los municipios de Castellón, Almassora y Benicàssim, extremos y su evolución con el tiempo. Repositori UJI.

Font Tullot, I. (1988). *Historia del clima en España. Cambios climáticos y sus causas*. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología.

Hansen, J., et al. (2010). Global surface temperature change. *Geophysic.*, 48 (4).

Hansen, J., et al. (2012). Perception of climate change. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109, E2415-2423.

Montón Chiva, E., Querreda Sala, J. (1997). *¿Hacia un cambio climático?: la evolución del clima mediterráneo desde el siglo XIX*. Castellón: Fundación Dávalos-Fletcher.

Pérez Cueva, A.J. (1994). *Atlas climático de la Comunidad Valenciana*. Valencia: Generalitat Valenciana.

Querreda Sala, J. (1989). *La ciclogénesis y las gotas frías del Mediterráneo Occidental*. Castellón: Diputació de Castelló.

Visbeck, M.H., Hurrell J.W., Polvani L., y Cullen H.M. (2009). The North Atlantic Oscillation: Past, present, and future. *PNAS.*, 98 (23), 12876–12877.