



---

**Universidad de Valladolid**

Facultad de Ciencias

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Grado en Física

**Medida de la tendencia de la temperatura en la costa  
mediterránea**

***Autor: Marta Castellanos Castromonte***

***Tutor/es: Isidro A. Pérez Bartolomé***

***M<sup>a</sup> Luisa Sánchez Góme***



### *Agradecimientos*

*A mis tutores Isidro y María Luisa por su colaboración y los conocimientos adquiridos.*

*Gracias a todos aquellos que me han apoyado y animado para realizar este trabajo.*

# ÍNDICE

<b>Abstract/Resumen.....</b>	<b>4</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>6</b>
<b>Capítulo I Área de Estudio .....</b>	<b>11</b>
1.1 Características geográficas de la costa mediterránea.....	12
1.1.1 Vegetación.....	12
1.1.2. Fauna .....	13
1.2 Características climáticas de la costa mediterránea .....	13
<b>Capítulo II Descripción Experimental .....</b>	<b>15</b>
2.1 Obtención de datos .....	16
2.2 Diagrama de selección de datos.....	19
2.3 Base de datos.....	22
2.4 Datos válidos.....	23
<b>Capítulo III Estudio de la temperatura mediante indicadores estadísticos .....</b>	<b>25</b>
3.1 Definición de indicadores estadísticos .....	26
3.2. Significación estadística del coeficiente de correlación .....	30
3.3 Obtención de resultados.....	32
3.4 Representación de los resultados para los indicadores estadísticos .....	34
3.4.1 Mediana.....	34
3.4.2 Rango Intercuartílico (RIC).....	37
3.4.3 Índice Yule-Kendall .....	39
3.4.4 Curtosis robusta.....	41
<b>Capítulo IV Tendencia de la temperatura mediante un modelo armónico .....</b>	<b>43</b>
4.1 Coeficiente b. Tendencia de la temperatura.....	47
4.2 Coeficiente c. Amplitud anual de la temperatura. ....	49
4.3 Coeficiente d. Crecimiento con el tiempo. ....	51
4.4 Coeficiente d'. Variación lineal de la amplitud con el tiempo.....	53
<b>Conclusiones.....</b>	<b>55</b>
<b>Referencias.....</b>	<b>58</b>
<b>Lista de Tablas y Figuras .....</b>	<b>63</b>

# **Abstract/Resumen**

## Abstract

The climatic change was subject of intensive research in the last years. A variable that directly measures this change is the temperature. So, this study analyses the main features and the trend of the temperature recorded at the Mediterranean coast. Measurement interval was investigated to select stations with the same measurement period. To that end, maximum and minimum temperatures recorded during 40 years at 52 stations were considered. Finally, certain statistics were calculated to classify the stations following their values, forming three with a contrast of around 5°C. The lowest values were reached at the Black Sea, whereas the highest were obtained at low latitudes. Skewness was slightly positive at most of the stations. Moreover, temperature distributions were flatter than the Gaussian distribution. The last part of this study considers the temperature trend. This was around 0.02°C per year for the maximum temperature and slightly greater for the minimum temperature. Moreover, the yearly cycle presented the highest amplitude at the Black Sea, and the lowest at stations with a low latitude. Finally, the trend of the annual amplitude was 0.02°C per year, similar to the value of the annual trend.

## Resumen

El cambio climático ha sido objeto de una intensa investigación en los últimos años. Una variable que mide directamente este cambio es la temperatura. Por lo tanto, este estudio analiza las principales características y la tendencia de la temperatura registrada en la costa mediterránea. Se investigó un intervalo de medición para seleccionar estaciones con el mismo periodo de medición. Para ello, se consideraron las temperaturas máximas y mínimas registradas durante 40 años en 52 estaciones. Finalmente, se calcularon ciertos estadísticos para clasificar las estaciones según sus valores, formando tres grupos con un contraste de alrededor de 5 °C. Los valores mas bajos se alcanzaron en el Mar Negro, mientras que los más altos se obtuvieron en latitudes bajas. La asimetría fue ligeramente positiva en la mayoría de las estaciones. Además, las distribuciones de temperatura eran más planas que la distribución gaussiana. La última parte de este estudio considera la tendencia de la temperatura. Esto fue alrededor de 0.02 °C por año para la temperatura máxima y ligeramente mayor para la temperatura mínima. Además, el ciclo anual presentó la mayor amplitud en el Mar Negro y la más baja en estaciones con una latitud menor. Finalmente, la tendencia de la amplitud anual fue de 0.02 °C por año, similar al valor de la tendencia anual.

# Introducción

Durante los últimos años ha arreciado el interés por las consecuencias asociadas al cambio climático. En particular, el conocimiento de la respuesta de los ecosistemas ante el aumento de la temperatura ha sido objeto de atención. En este sentido, un ejemplo de regiones especialmente sensibles al cambio climático está formado por el oeste de Asia y el norte de África, cuyos ecosistemas son frágiles y sus reservas naturales limitadas. En África las temperaturas fueron de 0.85 °C por encima de lo normal en la década 2001-2010 y 0.49 °C superiores a las de cualquier década anterior (Sivakumar et al., 2013). Una de las actividades más afectadas por el cambio climático es la agricultura, cuyas implicaciones socioeconómicas son evidentes. Según el estudio presentado por Orlandi et al. (2013), el cambio climático puede determinar desplazamientos en latitud y altura del cultivo de una especie tan sensible como es el olivo, aunque también podrían mitigarse estas consecuencias mediante el cultivo de especies más adaptadas a las futuras características ambientales.

Esta preocupación ha llevado a medir la temperatura alrededor del planeta, especialmente en lugares remotos, donde las medidas son menos frecuentes. Zhang et al. (2018) han investigado la evolución de la temperatura mensual en el macizo de Altái, en Asia central, en el periodo 1966-2015 y han obtenido un crecimiento significativo de 0.042 °C por año en el norte y 0.054 °C por año en el sur. Kharyutkina et al. (2012) han analizado la distribución espacio-temporal de la temperatura en el territorio asiático de Rusia en el periodo 1979-2008 y han encontrado un aumento de 1.4 °C. Onuchin et al. (2014) han estudiado las temperaturas mensuales en 73 estaciones en el norte de Asia y concluido que el establecimiento de patrones espaciales de las tendencias de la temperatura exige tener en cuenta las características regionales específicas. Kothawale y Singh (2017) estudiaron la temperatura de la India tanto en superficie como en cinco niveles isobáricos en el periodo 1971-2015 y encontraron un desigual comportamiento de la tendencia, mientras que en el norte la tendencia fue creciente en todos los niveles, en el sur se obtuvo una tendencia creciente en los niveles más bajos y decreciente en los más altos.

Se han esgrimido distintas causas para justificar la evolución de la temperatura. Se sabe que cambios en la frecuencia, persistencia y duración de ciertos patrones de circulación han alterado las temperaturas extremas de algunas regiones (Horton et al., 2015). En la misma línea, se ha constatado que el aumento de episodios de niebla persistente observados en Beijing está vinculado no solo con el aumento de emisiones de sustancias contaminantes, sino también con cambios en la circulación atmosférica regional asociados al cambio climático (Pei et al., 2018). Collins (2011) analizó el cambio climático sobre África en relación con el fenómeno de El Niño y concluyó que este cambio más bien pudiera ser debido a la variabilidad natural del clima y/o a la actividad humana. Algunos estudios inciden en los procesos naturales. Por ejemplo, Eschel (2016) estudió el cambio climático en el sur de Nueva York donde el calentamiento diurno excede al nocturno y lo justificó como respuesta al aumento de

la actividad solar. Asimismo, se han observado asimetrías espacio temporales en la evolución de la temperatura del aire que pueden explicarse por diferencias en la capacidad calorífica efectiva de la atmósfera (Esau et al., 2012). De Andrade et al. (2012) investigaron la tendencia de la temperatura en la región ecuatorial de Brasil y obtuvieron las mayores tasas de incremento para las temperaturas mínimas. Este estudio atribuyó dicho comportamiento a la superior retención de energía en forma de calor sensible durante la noche debido a la mayor dificultad del intercambio de energía entre la superficie y la atmósfera.

Un aspecto que debe considerarse es la constancia del cambio de la temperatura. En ocasiones, resulta conveniente suministrar un valor que indique la tendencia de la temperatura en un periodo largo. Este es el caso de Jain et al. (2013), quienes obtuvieron una tendencia creciente de la temperatura de 0.019 °C por año para la temperatura máxima en un periodo superior a un siglo al noreste de la India. Sin embargo, la evolución de la temperatura global no se ha mantenido uniforme a lo largo del tiempo. A principios del siglo XX se produjo un periodo de calentamiento que fue seguido por otro de enfriamiento de 1940 a 1970. Después se observó un rápido calentamiento hasta el final de siglo. En los últimos años se ha producido el llamado hiato, es decir un periodo en que el calentamiento parece haber parado o decrecido de intensidad. En particular, en España se observó un periodo de alta tasa de calentamiento entre 1970 y 1990 seguido por un decremento hasta la actualidad (Gonzalez-Hidalgo et al., 2016). Estos cambios en la evolución temporal han llevado a que se tengan que considerar distintos intervalos a la hora de calcular las tendencias de la temperatura. En concreto, Kumar et al. (2016) han considerado tres periodos: el siglo veinte, la segunda mitad del siglo veinte y el reciente periodo de hiato (1999-2013). Sin embargo, Wang et al. (2018) han observado en China que el crecimiento de los deciles anuales de la temperatura mínima es desigual en este periodo de hiato y el mayor crecimiento de ciertos deciles puede verse enmascarado cuando solo se estudian la temperatura media o las temperaturas extremas.

Se ha realizado una gran variedad de análisis relacionados con las características de las estaciones meteorológicas que han puesto de manifiesto destacados contrastes.

Uno de ellos es la diferencia en la evolución de la temperatura en la costa o en el interior. Así, se han registrado tendencias significativas crecientes de la temperatura en el centro de Chile mientras que son no significativas o negativas en lugares costeros (Burger et al., 2018). También, en un estudio a escala global, Cederlöf et al. (2016) obtuvieron tendencias positivas de la temperatura de alrededor de 0.025-0.027 °C por año sobre la tierra que fueron significativamente superiores a los valores obtenidos sobre el océano, que fueron de alrededor de 0.006-0.012 °C por año. Mientras que en la troposfera media fueron de 0.008-0.011 °C por año, similares para tierra y océano y próximos a los valores de este último.



Otro tipo de análisis se ha centrado en el contraste entre las zonas rurales y las urbanas (Peng et al., 2018). Este es el caso del estudio de Fujibe et al. (2012) acerca de la tendencia de la temperatura en áreas urbanas de Japón en relación con la velocidad del viento y con la precipitación, que concluyó que el calentamiento inducido por las ciudades no es exclusivo de ciudades grandes, sino que también se presenta en lugares poco urbanizados. Sin embargo, Choi et al. (2011) analizaron la temperatura de 30 estaciones de Illinois y obtuvieron temperaturas más altas y tendencias mayores en las estaciones urbanas. Además, Misra et al. (2012) observaron una importante heterogeneidad espacial en las tendencias de las temperaturas medias mensuales máxima y mínima en el SE de los Estados Unidos donde las tendencias de las temperaturas mínimas fueron de 0.039 °C por año en áreas urbanas y 0.031 °C por año en áreas rurales. En el mismo sentido, Li et al. (2013) han descrito la positiva relación entre la intensidad y la extensión espacial de la actividad humana y el calentamiento observado en su estudio sobre el impacto de la urbanización en la tendencia de la temperatura en China.

Algunos estudios distinguen entre las evoluciones de las temperaturas cálidas y las frías. Así, en el observatorio de Mauna Loa, en Hawái, se obtuvo un calentamiento de 0.040 °C por año durante la noche y un enfriamiento durante el día de -0.014 °C por año que condujeron a un calentamiento promedio de 0.021 °C por año en el periodo 1977-2006 (Malamud et al., 2011). En un periodo algo mayor, 1969-2007, en la isla de Oahu, también en Hawái, Safeeq et al. (2013) obtuvieron un incremento en la temperatura mínima de 0.017 °C por año, que es notablemente inferior al de Mauna Loa, pero no obtuvieron tendencia detectable en la temperatura máxima. En la península arábiga se ha observado un aumento de los extremos de las temperaturas cálidas y un decremento de los extremos de las temperaturas frías (AlSarmi y Washington, 2014). En la misma línea, Croitoru y Piticar (2013) analizaron los cambios en las temperaturas diarias extremas en las regiones oriental y meridional de Rumanía y encontraron que las temperaturas máximas diarias se van haciendo más extremas, mientras que las mínimas son menos extremas.

Por último, otro tipo de investigaciones se han centrado en un análisis temporal más detallado de las evoluciones. Unkašević y Tošić (2013) estudiaron las temperaturas diarias máxima y mínima en Serbia en el periodo 1949-2009 y obtuvieron cambios estacionales en las temperaturas extremas. Feng et al. (2018) investigaron las variaciones de las temperaturas extremas en Asia central en el periodo 1981-2015 mediante distintos índices y concluyeron que el calentamiento se produjo principalmente en primavera para los índices asociados al calentamiento extremo, mientras que los índices de enfriamiento extremo mostraron tendencias significativas de calentamiento en otoño. Por otra parte, Vicente-Serrano et al. (2018) analizaron las mismas temperaturas en Perú en el periodo 1964-2014 y presentaron un aumento de 0.028 °C por año en septiembre (0.018 °C para todo el año) para la temperatura

máxima y  $0.022\text{ °C}$  por año ( $0.016\text{ °C}$  para todo el año) en diciembre para la temperatura mínima. Por último, García (2015) ha considerado seis estaciones en la cuenca balear y ha obtenido un incremento de  $0.039\text{ °C}$  por año en el periodo 1960-2010, observándose las mayores tendencias en junio ( $0.12\text{ °C}$  por año) con un adelantamiento o prolongación de la estación estival.

El presente trabajo aborda el análisis de la temperatura y su evolución en la costa mediterránea. Está dividido en capítulos, el Capítulo I da idea de las características geográficas de la costa mediterránea y de sus condiciones climáticas.

Para poder realizar un análisis riguroso de la temperatura de la costa mediterránea se necesitan datos diarios con una gran extensión temporal de un conjunto de estaciones. De este modo, el Capítulo II está dedicado a la descripción experimental del trabajo. Describe las características de las estaciones, seguido de un diagrama de selección de datos que permite escoger de todas las estaciones meteorológicas aquellas con un periodo común entre 30 y 40 años con el fin de tener datos suficientes para el estudio de la temperatura. A continuación, se elaboró una base de datos con las temperaturas diarias para cada estación. Por último, se observó el tanto por ciento de datos válidos de cada estación con el fin de eliminar aquellas que no tuvieran datos suficientes.

El Capítulo III describe la temperatura mediante indicadores estadísticos. En primer lugar, se definen los indicadores de posición, dispersión, simetría y aplanamiento. Después, se presentan los resultados de los análisis tanto para las temperaturas máximas como para las mínimas. Estos resultados están enfatizados en representaciones gráficas para un mejor entendimiento de los resultados.

El capítulo IV se centra en el análisis de la tendencia de temperaturas mediante un modelo armónico, que consiste en un ajuste de funciones. De la misma forma que en el Capítulo III, los resultados de los valores de los coeficientes empleados en el ajuste de las temperaturas se presentarán gráficamente para un estudio más completo

# **Capítulo I**

## **Área de Estudio**

## 1.1 Características geográficas de la costa Mediterránea

La cuenca mediterránea abarca 3.800 km de este a oeste, desde el extremo de Portugal hasta las playas del Líbano, y unos mil kilómetros de norte a sur, desde Italia hasta Marruecos y Libia. Dentro de la Unión Europea, la región mediterránea abarca siete Estados miembros, de manera parcial (España, Francia y Portugal) o total (Italia, Chipre, Grecia y Malta).

Además, se caracteriza por una variada topografía y geografía. Aunque se suele identificar generalmente con playas soleadas, esta es asombrosamente montañosa, incluso en las islas, además de sus costas rocosas, estepas semiáridas, humedales costeros y playas arenosas. (Sundseth,2010).

### 1.1.1 Vegetación

La región mediterránea presenta una biodiversidad muy amplia, donde se pueden encontrar numerosas especies endémicas. Se caracteriza por albergar alrededor de 25000 taxones de especies vegetales, muchas de ellas con una holgada presencia en toda la región y representando el 10% de la totalidad de las especies vegetales del planeta Tierra (Sundseth, 2010).

Este porcentaje es debido en gran medida a la elevada cantidad de especies animales y vegetales que se extienden por toda la región mediterránea, que, en comparación con los bosques nórdicos, presentan una alta variabilidad genética, debido principalmente a la supervivencia de ciertas especies de coníferas y de hoja ancha en zonas del sur de Europa durante los periodos glaciares. (Scarascia-Mugnozza et al.,2000).

Los bosques mediterráneos albergan una rica biodiversidad, con un total de 100 especies arbóreas distintas. En las zonas de menor altitud predominan las especies del género *Quercus* sp., caracterizados por ser predominantemente de índole arbóreo, con follaje variable y de gran valor para el ser humano. A medida que la altitud aumenta, la formación boscosa cambia encontrándose en mayor medida especies pertenecientes a la familia de las Fagáceas, predominando *Castanea sativa* Mill. (1768) (Castaño), con un alto valor para el ser humano por su aspecto alimenticio y maderero. A mayor altitud el paisaje se vuelve más arbustivo, predominando en esta zona matorrales tales como el *Arbutus unedo* (Madroño), *Pistacia lentiscus* (Lentisco), *Olea europaea* var. *silvestris* (Acebuche), *Juniperus communis* (Enebro), *Laurus nobilis*

(Laurel), *Lavandula* sp. (Lavanda), *Thymus* sp. (Tomillo) y *Rosmarinus officinalis* (Romero) entre otros. Cabe destacar que es la Dehesa la formación arbórea por excelencia de la Península Ibérica, caracterizada por tratarse de sistema vegetal de explotación humano con mezcla de masa arbórea, arbustiva y herbácea, de gran valor para la ganadería por sus pastos. Las especies vegetales predominantes suelen ser *Quercus ilex* (Encinas) y *Quercus suber* (Alcornoques), en su mayoría, de hoja perenne y caduca, mezcladas con *Pinus pinea* (Pino piñonero) (Scarascia-Mugnozza et al., 2000 & Sundseth, 2010).

### 1.1.2. Fauna

La región mediterránea contabiliza alrededor de 200 especies de mamíferos terrestres y en torno a 350 especies de aves en toda la región mediterránea (Scarascia-Mugnozza et al., 2000). Cabe destacar que la gran biodiversidad vegetal favorece al mismo tiempo la biodiversidad faunística, en especial de los insectos. Por otro lado, la presencia de reptiles en toda el área mediterránea es bastante notable, destacando ciertas especies tales como *Zamenis situla* (Culebra leopardina) e *Iberolacerta monticola* (Lagartija serrana) (Fauna, 2019). Por último, cabe mencionar la biodiversidad asociada al propio mar mediterráneo, pues también cuenta con una enorme cantidad de especies en sus aguas, destacando los delfines y las tortugas marinas (Sundseth, 2010).

## 1.2 Características climáticas de la costa mediterránea

La región del mediterráneo se caracteriza por tener cambios climáticos inducidos, esto es debido, por ejemplo, a concentraciones crecientes de gases de efecto invernadero. Es por ello que esta región se ha identificado como una zona muy vulnerable al cambio climático (Li et al., 2013).

El clima del mediterráneo es suave y húmedo en invierno, con precipitaciones resultantes de tormentas que se originan en el Atlántico y chocan con las cosas de Europa Occidental (Hurrell, 1995). Los veranos son secos y cálidos, especialmente en el sur del Mediterráneo, además, Alpert et al., (2006) han encontrado evidencias de que la variabilidad del clima mediterráneo en verano está conectada con los monzones asiáticos y africanos.

En el clima mediterráneo destacan vientos fuertes y aguaceros torrenciales durante todo el año, como por ejemplo los fenómenos de El siroco, viento proveniente de del Sahara con velocidades de huracán en el norte de África y sur de Europa y de El mistral, viento del noroeste característico de las costas del mediterráneo (Sundseth, 2010).

**Capítulo II**  
**Descripción**  
**Experimental**

## 2.1 Obtención de datos

Una estación meteorológica tiene como objetivo medir y registrar variables meteorológicas. Mediante los datos obtenidos se realizan estudios climáticos y predicciones meteorológicas.

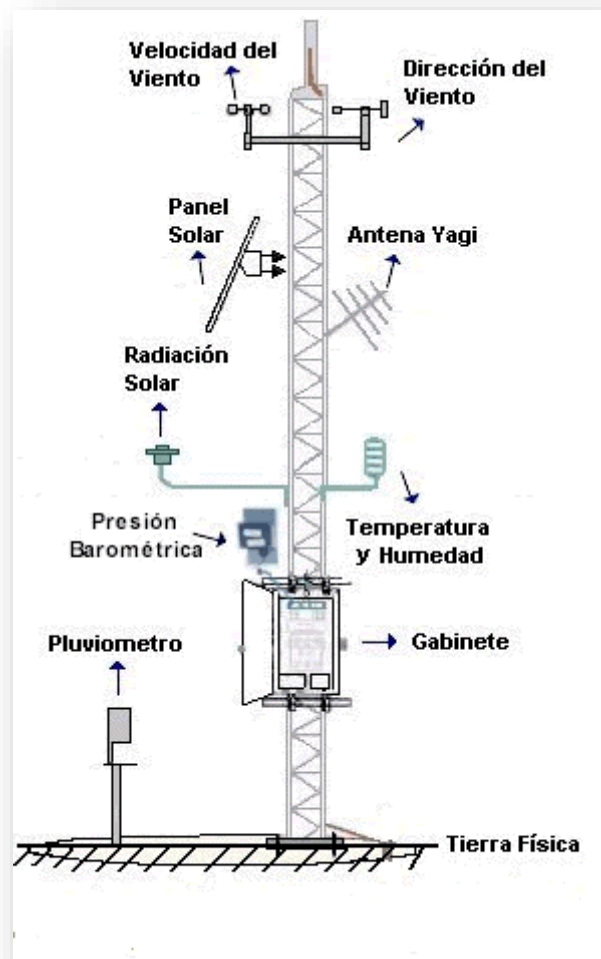


Figura 2.1. Esquema de una estación meteorológica. Gobierno de México, s.f.

Los datos se obtienen a partir de:

- Un termohigrómetro que mide la temperatura y humedad del aire.
- Una anemoveleta que tomará datos de dirección y velocidad del viento.
- Un piranómetro capaz de medir la radiación solar global.
- Un pluviómetro que datará las cantidades de agua precipitada.
- Un sensor de temperatura en el suelo.
- Una antena Yagi, que es un dispositivo capaz de transmitir frecuencias, a diferencia de una antena convencional, una antena Yagi tiene un alto rendimiento, lo que permite un largo alcance direccional.



- Un datalogger encargado del registro de datos, de la medida de los sensores y de controlar el funcionamiento de la estación (Tobajas, 2016).

Europa cuenta con una amplia red de estaciones meteorológicas cuya ubicación esta disponible en la siguiente dirección:

<http://www.ecad.eu/dailydata/predefinedseries.php>

La base de datos que vamos a usar en este trabajo de la ECA (European Climate Assessment) está formada por series diarias de cada estación obtenidas a partir de divisiones meteorológicas. Estos datos corresponden a temperaturas máximas y mínimas. A continuación, se muestra en la figura 2.2 la distribución de las estaciones.

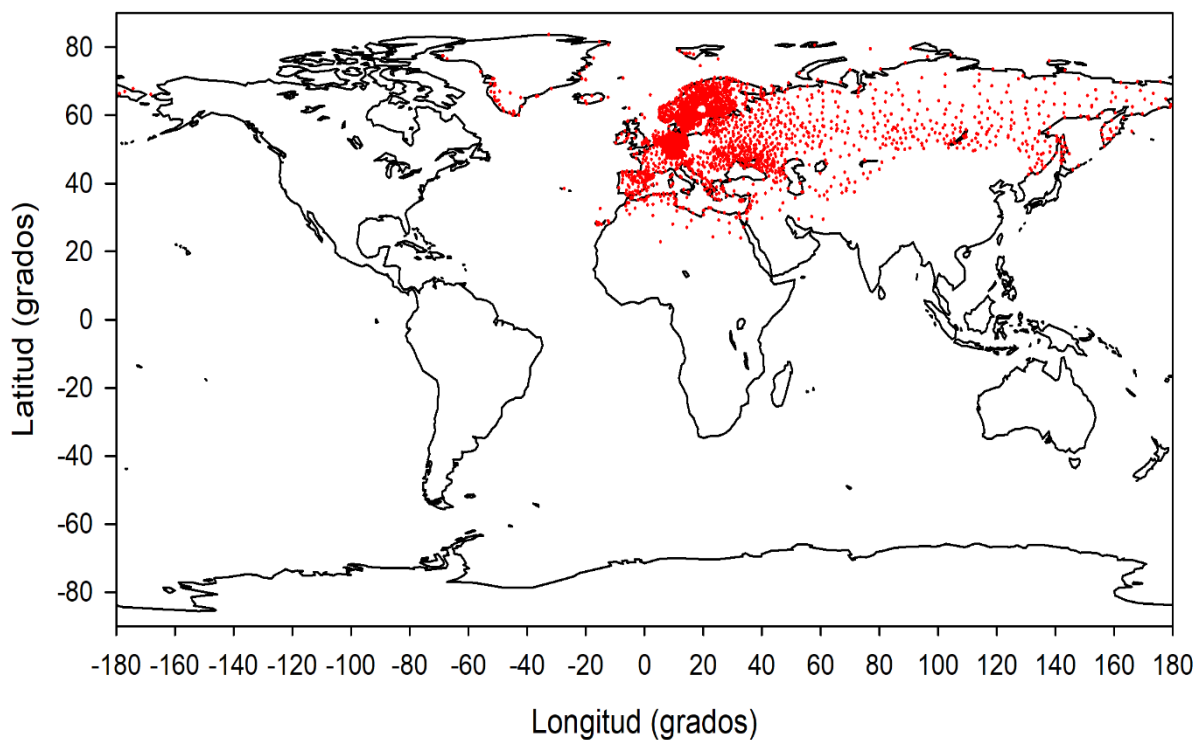


Figura 2.2. Distribución de las estaciones meteorológicas.

Las series recogidas en los países participantes generalmente no contienen datos en los últimos años. Para tener una serie de tiempo lo mas completa posible de cada estación, se ha incluido un procedimiento de actualización automatizado que se basa en los datos diarios de los mensajes SYNOP que se distribuyen en tiempo casi real sobre el sistema global de telecomunicaciones (GTS).

En las opciones de descarga de los datos diarios se puede seleccionar los datos “no mezclados” que son los proporcionados por los participantes y los datos “mezclados” que son los obtenidos por el método descrito en el párrafo anterior. En este caso se hizo uso de los datos “no mezclados”, que se obtuvieron de la siguiente dirección:

<https://www.ecad.eu/dailydata/predefinedseries.php> , donde se puede seleccionar datos diarios de variables meteorológicas máximas. Una variable meteorológica es una magnitud que puede adquirir distintos valores numéricos dentro de un conjunto de números específicos, por ejemplo, la temperatura, presión atmosférica, humedad, velocidad del viento, nubosidad, precipitación, etc. (Aemet, 2019).

En este caso, se han seleccionado los datos diarios para la temperatura máxima y mínima.

Una vez seleccionados esos ficheros (la descarga es directa), se dispone de un documento de texto que incluye todas las estaciones meteorológicas de Europa como se muestra a continuación.

23	SOUID	SOUNAME	CN	LAT			LON			HGHT	ELEID	START	STOP	PARID	PARNAME
24															
25	100002	VAEXJOE	SE	56	52	0	14	48	0	166	TX2	19180101	20011231	1	Markku Rummukainen
26	100005	FALUN	SE	60	37	0	15	37	0	160	TX2	19180101	19820531	1	Markku Rummukainen
27	100007	FALUN	SE	60	37	0	15	37	0	160	TX2	19820601	20011231	1	Markku Rummukainen
28	100010	STENSELE	SE	65	4	0	17	9	59	325	TX2	19180101	20011231	1	Markku Rummukainen
29	100013	LINKOEPING	SE	58	24	0	15	31	59	93	TX2	19310101	19491231	1	Markku Rummukainen
30	100016	LINKOEPING	SE	58	24	0	15	31	59	93	TX2	19500101	20011231	1	Markku Rummukainen
31	100019	KARLSTAD	SE	59	21	0	13	28	0	46	TX2	19180101	19491231	1	Markku Rummukainen
32	100022	KARLSTAD-A	SE	59	26	40	13	20	15	107	TX2	19500101	20011231	1	Markku Rummukainen
33	100025	OESTERSUNE	SE	63	10	59	14	28	59	376	TX2	19180101	19531231	1	Markku Rummukainen
34	100028	OESTERSUNE	SE	63	10	59	14	28	59	376	TX2	19540101	20011231	1	Markku Rummukainen
35	100033	KREMSMUEN	AT	48	3	0	14	7	59	383	TX12	18760101	20101231	3	Wolfgang Lipa
36	100061	ZAGREB-GRK	HR	45	49	0	15	58	41	157	TX1	18810101	20141231	6	Tanja Likso
37	100064	AMIANDOS	CY	34	55	59	32	55	0	1360	TX1	19760601	20120430	7	Michael Panayiotis
38	100067	LARNACA	CY	34	52	59	33	37	59	1	TX1	19760404	20131231	7	Michael Panayiotis
39	100070	LIMASSOL	CY	34	40	0	33	2	59	5	TX1	19751101	20131231	7	Michael Panayiotis
40	100073	NICOSIA	CY	35	10	0	33	21	0	160	TX1	19710101	20001231	7	Michael Panayiotis
41	100076	POLIS	CY	35	1	59	32	25	59	20	TX1	19710101	20131231	7	Michael Panayiotis
42	100081	PRAHA-KLEN	CZ	50	5	11	14	24	59	191	TX8	17750101	20050430	8	Petr Skalák
43	100085	HELSINKI KA	FI	60	10	30	24	56	52	4	TX1	19510101	20180331	9	Pauli Jokinen
44	100089	JYVASKYLA L	FI	62	24	7	25	40	42	139	TX1	19510101	20180331	9	Pauli Jokinen
45	100093	SODANKYLA	FI	67	21	57	26	37	59	179	TX1	19080101	20180331	9	Pauli Jokinen

Figura 2.3. Ejemplo estaciones meteorológicas de Europa para temperatura máxima.

Dónde, SOUID es un identificador de cada estación, SOUNAME es el nombre de la estación, CN (Country code) son las iniciales del país correspondiente a cada estación, las tres columnas siguientes muestran los valores de la latitud en grados, minutos y segundos, de la misma forma las tres columnas siguientes muestran la longitud. La columna HIGHT da los valores de la altura en metros, ELEID es un elemento identificador de cada estación, START muestra la fecha de inicio de la estación en el

formato año/mes/día, del mismo modo la fecha de finalización es la columna STOP. Las dos últimas columnas son números y nombres identificadores de cada estación.

## 2.2 Diagrama de selección de datos

De todas las estaciones meteorológicas de Europa se han escogido las correspondientes a la costa mediterránea, debido a que tienen alturas similares y las temperaturas son comparables a lo largo de toda la costa. Para ello, se representaron todas las estaciones en el mapa de Europa y se acotaron a las correspondientes de la costa mediterránea.

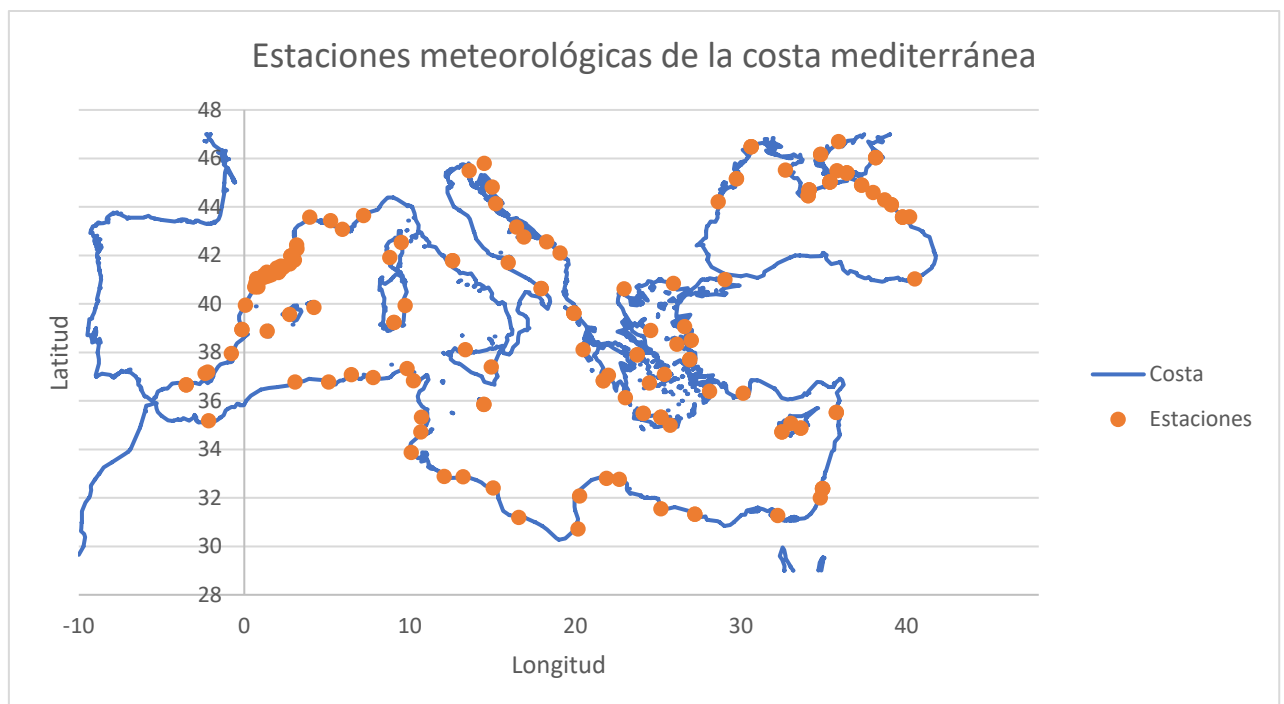


Figura 2.4. Estaciones meteorológicas de la Costa mediterránea para la temperatura máxima.

A continuación, se escogió un periodo común a todas las estaciones para poder realizar un estudio climático, este tiene que ser de entre 30-40 años para tener datos suficientes. Para ello se ha elaborado el gráfico de barras que aparece a continuación en la figura 2.4 y que representa la distribución de los periodos de todas las estaciones de la costa mediterránea que son 128. Cada línea horizontal indica el intervalo de tiempo con medidas disponibles. Las estaciones han sido ordenadas de manera creciente.

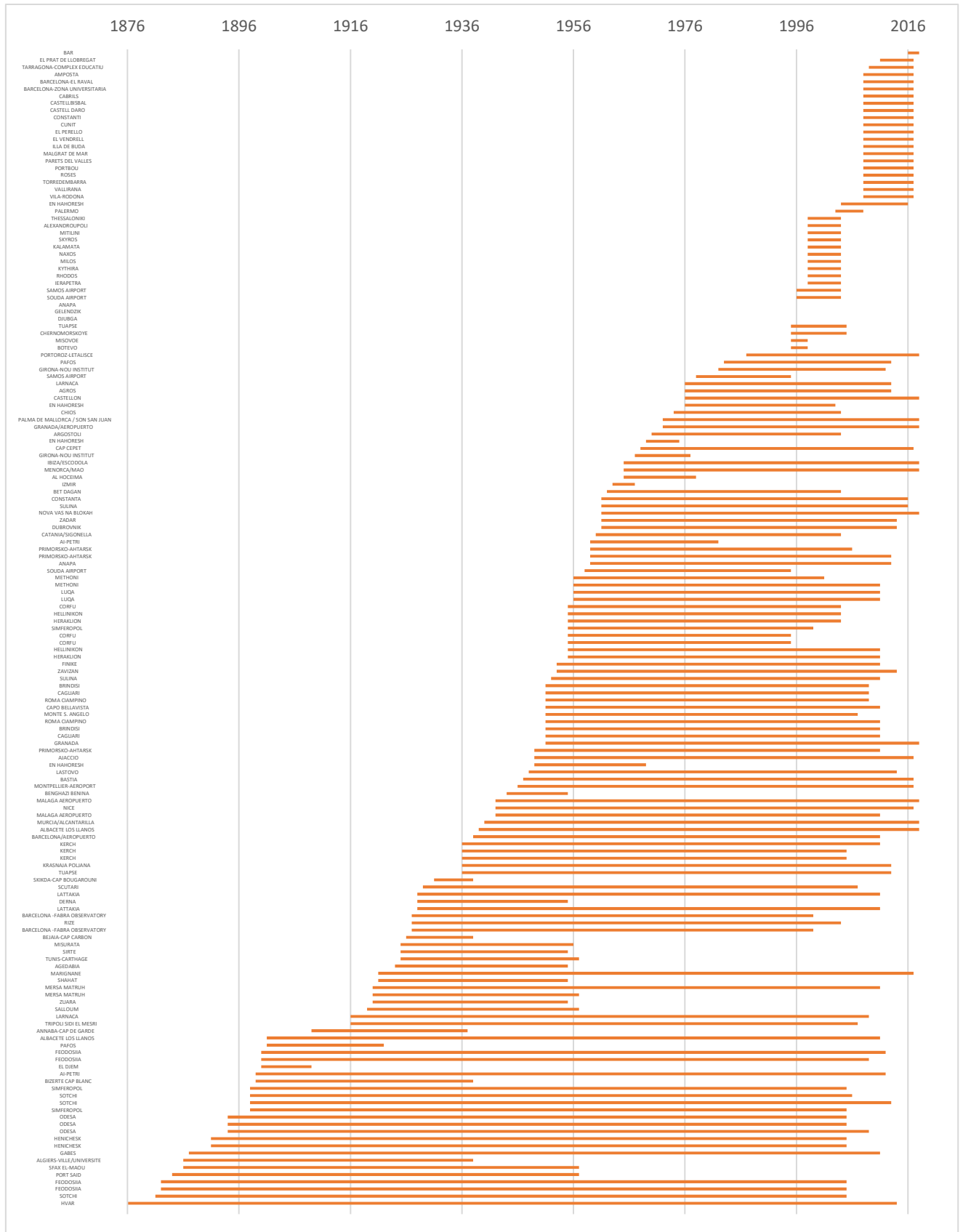


Figura 2.5. Distribución de los intervalos de medida de las estaciones para la temperatura máxima.

Para describir espacialmente la evolución de la temperatura en el mayor número de estaciones posibles, se han seleccionado las estaciones con un periodo de 40 años, desde 01-01-1965 hasta 31-12-2004. En total suman 52 estaciones.

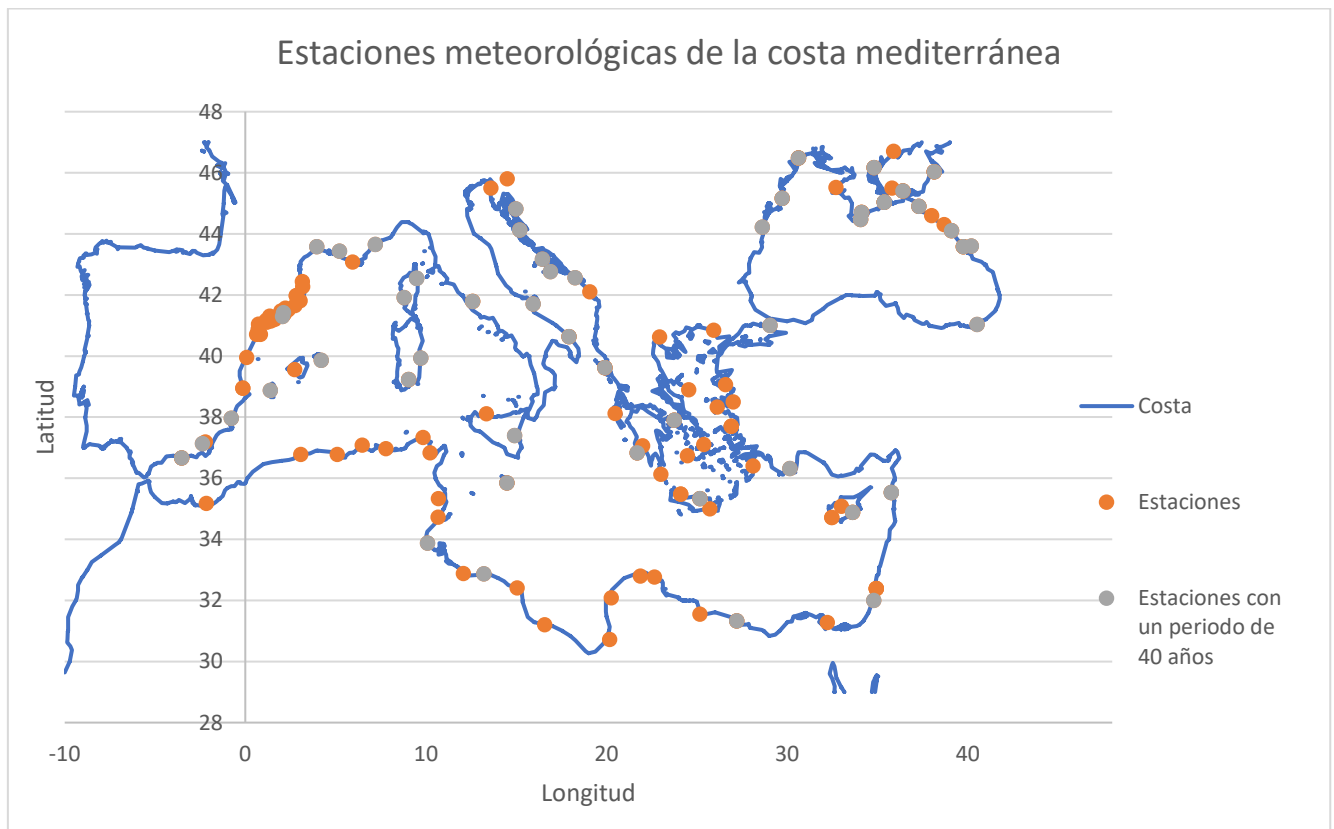


Figura 2.6. Ejemplo estaciones meteorológicas con un periodo de 40 años para la temperatura máxima.

### 2.3 Base de datos

Por otro lado, en la descarga de los ficheros, se obtiene un documento de texto por estación en cuyo contenido se encuentra una base de datos diaria para la temperatura máxima o mínima (dependiendo del fichero escogido). A partir de ellos se crearon archivos de Excel para cada estación de la costa mediterránea que cumpliera con el periodo mencionado anteriormente.

	A	B	C	D	E	F	G	H
19	STOID	SQUID		DATE		TX	Q_TX	
20	59	100223	1955	1	1	100	0	
21	59	100223	1955	1	2	130	0	
22	59	100223	1955	1	3	160	0	
23	59	100223	1955	1	4	180	0	
24	59	100223	1955	1	5	180	0	
25	59	100223	1955	1	6	178	0	
26	59	100223	1955	1	7	158	0	
27	59	100223	1955	1	8	160	0	
28	59	100223	1955	1	9	140	0	
29	59	100223	1955	1	10	148	0	
30	59	100223	1955	1	11	142	0	
31	59	100223	1955	1	12	140	0	
32	59	100223	1955	1	13	172	0	
33	59	100223	1955	1	14	160	0	
34	59	100223	1955	1	15	200	0	
35	59	100223	1955	1	16	176	0	
36	59	100223	1955	1	17	162	0	
37	59	100223	1955	1	18	160	0	
38	59	100223	1955	1	19	179	0	
39	59	100223	1955	1	20	170	0	
40	59	100223	1955	1	21	152	0	
41	59	100223	1955	1	22	150	0	

Figura 2.7. Ejemplo datos diarios para la temperatura máxima de la estación Corfu, Grecia.

Dónde “STOID” y “SQUID” son identificadores de cada estación, date es la fecha, “TX” es la temperatura por días y “Q\_TX” es un código de calidad (0=válido; 1=sospechoso; 9=desaparecido).

Finalmente, a partir de los archivos de Excel, se realizó una base de datos donde aparece cada estación en columnas y cada día del año en filas, de esta manera se obtienen todos los valores de cada año a continuación uno del otro, sin separarlos,

consiguiendo así nuestra variable temporal.

AÑO	MES	DIA	Corfu	Hellinikon	Heraklion	Brindisi	Cagliari	Roma Ciamp	Malaga Aero	Feodosiia	Rize	Finike	Primorsko-A	Sotchi
1965	1	1	15.6	15	16.6	13.4	12.5	10.8	16.4	7.7	10.5	17.3	2.5	
1965	1	2	14.2	15	18.4	15.2	12	12.5	20	10.1	11.7	18.4	8.1	
1965	1	3	14.6	17	18.8	12.7	10.5	12.8	15	11.2	14.7	14.3	8.9	
1965	1	4	14.8	18.3	19	11.8	10.4	10	12	11	14.2	17.5	5.1	
1965	1	5	15.5	16	18.8	11.4	12	11.2	7.6	10	15.4	16.6	8.7	
1965	1	6	14	16.8	15.6	12.2	12.6	11	13	7.5	11.2	16.9	4.3	
1965	1	7	13.8	13.6	16.6	12.7	13.3	13.8	14	2	6.7	15.4	1.9	
1965	1	8	11.6	9.3	13.6	11.5	13	14.2	11	-2.2	4.5	14	-3.1	
1965	1	9	14.2	15.1	12	15.2	13.5	12.6	16.2	5.3	5.6	14.6	1.3	
1965	1	10	13.4	16.1	16.6	12.8	13	12.2	15	6.7	6.9	14.2	3.7	
1965	1	11	14	12.4	14.6	13	13	16.1	14	6.2	10.6	16	1.3	
1965	1	12	13	8.7	11.2	13.2	13.6	13.2	15.6	-2.8	5.9	15.9	-0.3	
1965	1	13	11.3	9.3	10	10	13.7	11.2	16	-2	5.7	14.1	-6.5	
1965	1	14	11.5	9.9	11.3	11.4	14.5	14.8	14.4	-0.9	8	14.3	-3.1	
1965	1	15	12.8	10.8	11.6	13.8	13	14.2	15.6	1.5	7.7	12.9	-1.6	
1965	1	16	13	12.7	13	11.6	10.4	11.7	17.8	2.1	8.4	13.4	-0.9	
1965	1	17	14.2	13.1	15	14.5	12.2	13	14.6	3.4	8.1	10.9	0.4	
1965	1	18	13.7	16.3	13.2	13.6	14	15.4	20	8.2	9.4	10.4	0.6	
1965	1	19	14.8	15.3	19.4	12.6	13.2	13.3	19.8	9.6	11.7	15.1	3	
1965	1	20	14	14	16	10.4	11.4	10.7	20	9.6	13.6	16	7.1	

Figura 2.8. Ejemplo base de datos para la Temperatura máxima.

## 2.4 Datos válidos

Se observó que en casi todas las estaciones hay días en los que no se obtienen datos, estos aparecen de la forma “-999.9”. Por lo tanto, para obtener una base de datos más precisa se aplicó el tanto por ciento de datos válidos, para ello se aplica la función SI de Excel, esta es una función lógica que permite evaluar una condición para determinar si es verdadera o falsa. De este modo se sustituyó todos los “-999.9” por “AAAA” y se aplicó la función SI a cada dato diario de cada estación.

Corfu	Hellinikon	Heraklion	Brindisi	Cagliari	Roma Ciamp	Malaga Aero	Feodosiia	Mersa Matr
=SI(D4="AAAA";1;0)		0	0	0	0	0	0	0
SI(prueba_lógica; [valor_si_verdadero]; [valor_si_falso])		0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 2.9. Ejemplo de cálculo del tanto por ciento de datos válidos para la temperatura máxima.

Por último, se suman todas las funciones SI calculadas de cada estación y se realiza el tanto por ciento de esa suma sobre el número de datos diarios totales.

De este modo las estaciones con un porcentaje de datos válidos inferior al 95% fueron descartadas, en total fueron 11 para la temperatura máxima y 8 para la mínima.

Obteniendo finalmente un total de 41 estaciones para la temperatura máxima y 45 estaciones para la temperatura mínima.

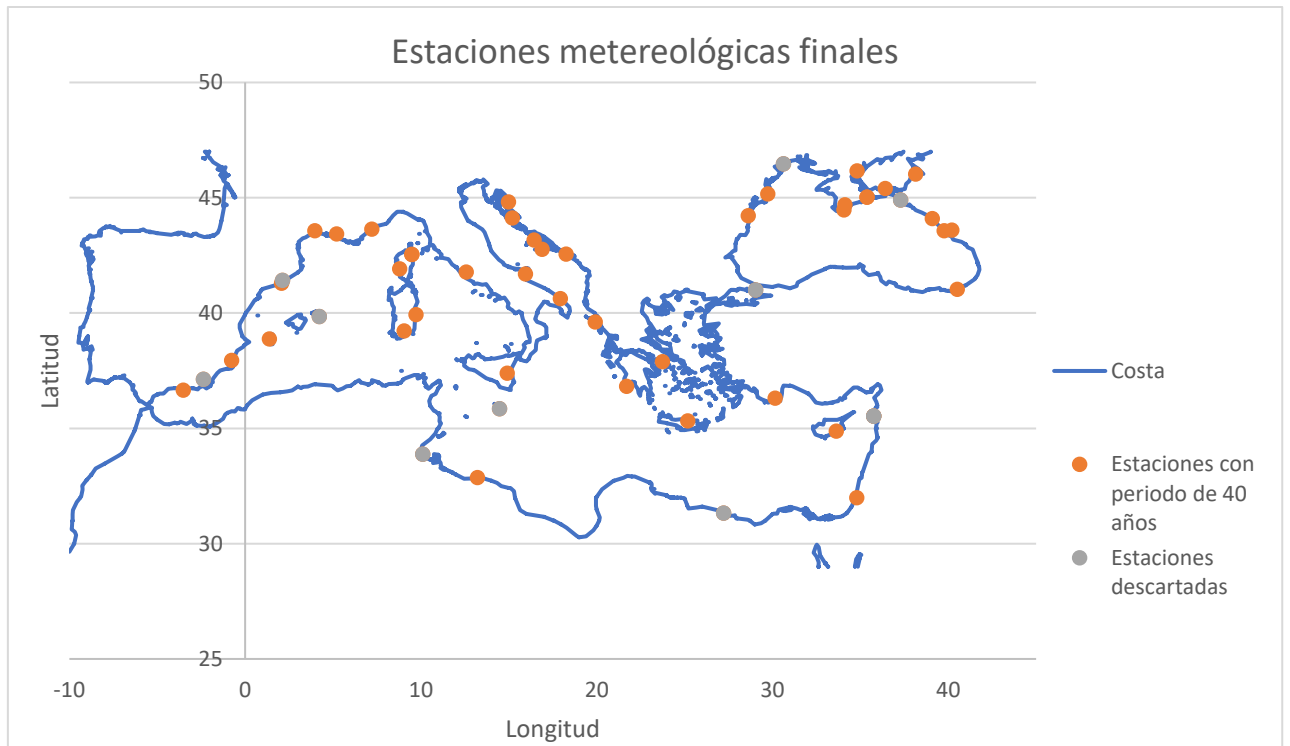


Figura 2.10. Mapa de las estaciones meteorológicas finales para la temperatura máxima



**Capítulo III**  
**Estudio de la**  
**temperatura**  
**mediante**  
**indicadores**  
**estadísticos**

Las previsiones meteorológicas son inciertas, por ello es necesario hacer uso de la probabilidad. Este capítulo está dedicado a un estudio realizado sobre la distribución de la temperatura máxima y mínima de las diferentes estaciones a lo largo de un período de 40 años.

### 3.1 Definición de indicadores estadísticos

Wilks (2006) afirma que las previsiones meteorológicas son inciertas, por ello es necesario hacer uso de la probabilidad. Para entender adecuadamente los indicadores estadísticos es necesario introducir los conceptos cuartil, decil y percentil.

- **Cuartil**

Los cuartiles son los tres valores de la variable que dividen un conjunto de datos en cuatro partes iguales, es preciso que los datos de dicho conjunto estén ordenados de menor a mayor.  $q_{0.25}$  es la mediana de la primera mitad de valores,  $q_{0.5}$  es la mediana de la serie, y  $q_{0.75}$  es la mediana de la segunda mitad de valores.

- **Decil**

Los deciles son los nueve valores que dividen la serie de datos en diez partes iguales, para su obtención es necesario que la serie de datos esté ordenada de menor a mayor. ( $q_{0.1}, q_{0.2} \dots q_{0.9}$ )

- **Percentil**

El percentil es una medida de posición el valor de la variable por debajo del cual se encuentra un porcentaje dado de datos en un grupo de observaciones, una vez ordenadas de menos a mayor. De este modo identificamos los cuartiles con los percentiles:

$$q_{0.25} = p_{25}$$

$$q_{0.5} = p_{50}$$

$$q_{0.75} = p_{75}$$

- **Tercil**

En este trabajo se ha hecho uso del tercil. Para ellos los datos fueron ordenados de menor a mayor, aquellos inferiores al percentil 33.33 se correspondieron con el primer tercil, los inferiores al percentil 66.66 con el segundo tercil y los superiores al percentil 66.66 se correspondieron con el tercer tercil.

Podemos distinguir dos clases de indicadores estadísticos:

#### 3.1.1 Indicadores estadísticos no robustos

- **Media**

La media (promedio o media aritmética) de un conjunto de datos ( $x_1, x_2, \dots, x_n$ ) es una medida de posición central de estos. Se define como el valor característico de la serie de datos resultado de la suma de todas las observaciones dividido por el número total de datos.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.1)$$

Siendo  $x$  cada factor de nuestra serie de datos que contiene  $n$  valores.

- **Desviación estándar**

La desviación estándar da cuenta de la dispersión de los datos respecto a su media. Es la raíz cuadrada de la varianza, siendo la varianza igual al momento de orden 2 con respecto a la media o momento central de orden 2.

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.2)$$

- **Sesgo**

El sesgo cuantifica la asimetría de la distribución de los datos. Es igual a cero en el caso de la distribución normal, es decir, para datos esencialmente simétricos, menor que cero si la distribución presenta asimetría negativa, hacia la derecha y mayor que cero si presenta asimetría positiva, hacia la izquierda.

$$\gamma = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{s^3} \quad (3.3)$$

- **Curtosis**

La curtosis sirve para determinar el grado de aplanamiento de la distribución (respecto de la normal). Siendo igual a cero en el caso de la distribución normal, menor que cero si la distribución es aplanada y mayor que cero si es apuntada.

$$Curtosis = \frac{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^4}{s^4} \quad (3.4)$$

Si el valor del coeficiente de curtosis es mayor que el de la distribución normal, significa que la curva de la de distribución será más estrecha, tendrá un máximo mayor que el de la distribución normal. Si, en cambio, el coeficiente obtenido es inferior al de la distribución normal, significará que el máximo es más bajo, la campana está más achatada que la distribución

normal, nuestra distribución sería más plana que la de la distribución normal.

A continuación, en la Figura 3.1 vemos una representación del significado del sesgo y del coeficiente de curtosis en una distribución.

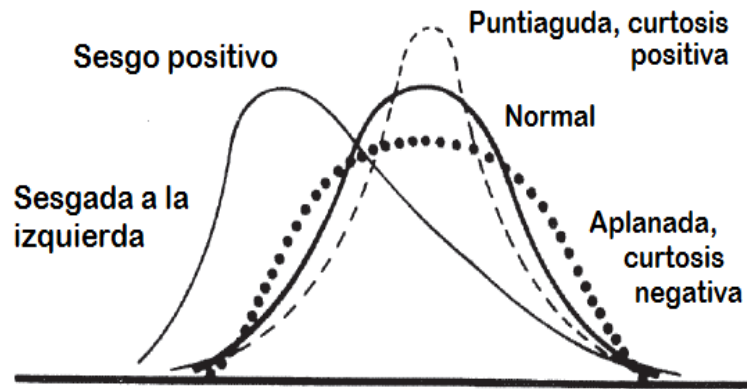


Figura 3.1. Desviaciones de la curva de campana (distribución normal).

### 3.1.2 Indicadores estadísticos robustos

Estos indicadores son menos sensibles a la distribución de datos o a la presencia de valores anómalos (extremos) para evitar que pudieran alterar los resultados obtenidos.

- **Mediana**

La mediana es la medida más robusta, resistente y más común de la tendencia central de la distribución de datos. A diferencia de la media no se ve afectada por valores extremos que pudieran ser anómalos. Es el valor del segundo cuartil,  $Q_{0.5}$ , para un número  $N$  impar de datos y se puede expresar de la siguiente forma:

$$\tilde{v} = v_{(N+1)/2} \quad (3.5)$$

En caso de un número  $N$  par de datos:

$$\tilde{v} = \frac{v_{N/2} + v_{(N/2)+1}}{2} \quad (3.6)$$

donde  $N/2$  es el valor central de los datos.

- **Rango Intercuartílico (IQR)**

El rango intercuartílico (IQR) es la medida más común y más simple, además de ser una medida robusta y resistente a la dispersión de los datos, es una medida de la dispersión estadística.

Es igual a la diferencia entre el tercer y primer cuartil de una distribución:

$$IQR = q_{0.75} - q_{0.25} \quad (3.7)$$

Es un buen indicador de la dispersión en la parte central de un conjunto de datos ya que está referido únicamente al rango del 50% central de los datos. No considera el 25% superior e inferior de los datos, lo que hace que sea muy resistente a valores atípicos.

- **Índice Yule-Kendall**

Un correspondiente indicador robusto y resistente al sesgo es el índice de Yule-Kendall. El índice Yule-Kendall será mayor que cero en caso de que los datos tengan una tendencia hacia la derecha, al menos el 50% de ellos, esto quiere decir que la distancia a la mediana será mayor desde el cuartil superior que desde el cuartil inferior. De forma inversa los datos sesgados a la izquierda tienen un índice Yule-Kendall negativo.

$$\gamma_{YK} = \frac{(q_{0.75} - q_{0.5}) - (q_{0.5} - q_{0.25})}{RIC} = \frac{q_{0.25} + q_{0.75} - 2q_{0.5}}{RIC} \quad (3.8)$$

- **Curtosis robusta**

La curtosis robusta es el indicador robusto análogo a la curtosis. En el caso de la distribución normal su valor es 0.263.

$$Curtosis\ robusta = \frac{(q_{0.75} - q_{0.25})}{2(d_{0.9} - d_{0.1})} \quad (3.9)$$

### 3.2. Significación estadística del coeficiente de correlación

El coeficiente de correlación en estadística mide el grado de relación lineal que existe entre dos variables aleatorias. Es decir, muestra el ajuste de la recta de mínimos cuadrados a los datos muestrales. En el caso de dos variables aleatorias se hacen las siguientes suposiciones (Lothar, 1982):

- Las unidades equidistantes de medida para ambas variables.
- La regresión presenta linealidad.
- La normalización de ambas variables.

La primera de ellas es de gran importancia. El hecho de que la segunda no sea cierta no presenta un problema, en este caso el valor de  $r$  será una estimación. La tercera de ellas puede ser omitida.

El coeficiente de correlación puede calcularse mediante las expresiones siguientes:

$$r = \frac{\sum(x - \bar{x})(y - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x - \bar{x})^2 \sum(y - \bar{y})^2}} \quad (3.10)$$

Esta fórmula se conoce como fórmula producto-momento para la correlación lineal (Spiegel y Murray, 1976).

Fórmulas equivalentes a la anterior que se utilizan en la práctica son:

$$r = \frac{\sum xy - \sum x \sum y}{\sqrt{(n(\sum x^2) - (\sum x)^2)(n(\sum y^2) - (\sum y)^2)}} \quad (3.11)$$

$$r = \frac{\bar{x}\bar{y} - \bar{x}\bar{y}}{\sqrt{(\bar{x}^2 - \bar{x}^2)(\bar{y}^2 - \bar{y}^2)}} \quad (3.12)$$

El coeficiente de correlación de Pearson es el más comúnmente empleado, este es independiente de la escala de medida de las variables a diferencia de lo que ocurre con la covarianza.

Una vez determinado el coeficiente de correlación puede ser necesario establecer un criterio para concluir si existe o no correlación relevante entre las variables, puede llevarse a cabo mediante la consulta de tablas o mediante el cálculo de alguna relación de prueba.

El Test de correlación se emplea para determinar si existe o no correlación, si no es nulo existirá una correlación que habrá que valorar si es relevante. Viene dado por la expresión:

$$t = \frac{r}{\sqrt{\frac{1-r^2}{n-2}}} \quad (3.13)$$

Dónde  $t$  es una variable con la distribución de Student y  $n$  el número de datos. Despejando de la ecuación 3.13 se obtiene el coeficiente de correlación  $r$  crítico:

$$r = \frac{t}{\sqrt{t^2 + n - 2}} \quad (3.14)$$

El resultado depende de  $n$ , número de valores de la distribución 41 para la temperatura máxima y 45 para la temperatura mínima, y del valor crítico de la distribución  $t$  de Student, que debemos calcular. Lo haremos mediante la función “inversa de la distribución  $t$ ” que proporciona el programa Excel. Debemos darle al programa dos valores, el porcentaje del nivel de significación en el que estamos interesados en cada caso y los grados de libertad que tenemos, teniendo en cuenta que si no conocemos el signo del coeficiente de correlación será un test de dos colas, y de una en caso contrario.

Para correlaciones estadísticamente significativas al 0,1%, 1% y 5% se obtuvieron los resultados presentados a continuación en Tabla 3.1 y Tabla 3.2, donde la primera está referida a la distribución de temperaturas máximas y la segunda a las temperaturas mínimas.

<b>p</b>	<b>t</b>	<b>r</b>
0.001	3.55812008	0.4950425
0.01	2.70791318	0.39782355
0.05	2.02269092	0.3081306

Tabla 3.1. Coeficientes de correlación para la distribución de temperaturas máximas.

<b>p</b>	<b>t</b>	<b>r</b>
0.001	3.53162568	0.47417239
0.01	2.69510208	0.38014434
0.05	2.0166922	0.2939552

Tabla 3.2. Coeficientes de correlación para la distribución de temperaturas mínimas.

### 3.3 Obtención de resultados

Aplicando a las bases de datos, tanto para la temperatura máxima como para la mínima, los respectivos indicadores estadísticos del apartado anterior se obtuvieron los siguientes resultados:

	A	B	C	D	E	F	G	H
		LONGITUD	LATITUD	Mediana	RIC	YK	Curtosis robusta	
2	Corfu	19.9166667	39.6166667	21.2		12	0.13333333	0.34090909
3	Hellinikon	23.75	37.9	21.4		12.4	0.16129032	0.32124352
4	Heraklion	25.1830556	35.3330556	22		9.8	-0.02040816	0.33108108
5	Brindisi	17.9330556	40.6330556	20		11	0.09090909	0.32738095
6	Cagliari	9.05	39.2330556	21		10.8	0.11111111	0.32142857
7	Roma Ciamp	12.5830556	41.7830556	20		12.6	0.11111111	0.328125
8	Malaga Aero	-3.51194444	36.6666667	22.4		8.8	0.09090909	0.30555556
9	Feodosiia	35.3830556	45.0330556	16		15.6	0.05128205	0.30708661
10	Rize	40.5166667	41.0330556	18.4		11.6	-0.06896552	0.32768362
11	Finike	30.15	36.3163889	23.9		12.4	0.08064516	0.33695652
12	Primorsko-A	38.15	46.0330556	16.6		18.4	-0.08695652	0.32857143
13	Sotchi	39.77	43.58	18.8		12.4	-0.0483871	0.32631579
14	Kerch	36.4166667	45.4	15.6		16.2	0.01234568	0.30916031
15	Nice	7.20888889	43.6488889	18.7		9.3	0.16129032	0.32068966
16	Marignane	5.21583333	43.4377778	19.3		11.8	0.10169492	0.30569948
17	Hvar	16.45	43.1666667	19.9		11.3	0.11504425	0.32285714
18	Lastovo	16.8994444	42.7666667	18.1		11.8	0.13559322	0.3172043
19	Zavizan	14.9830556	44.8166667	7.1		12.6	0.03174603	0.30882353
20	Ai-Petri	34.07	44.47	9.8		13.575	-0.0718232	0.30852273
21	Montpellier	3.96305556	43.5766667	19.1		11	0.09090909	0.30726257
22	Ajaccio	8.79277778	41.9180556	19.5		9.9	0.13131313	0.33221477
23	Constanta	28.63	44.22	16.3		15.4	-0.07792208	0.32489451
24	SULINA	29.7330556	45.1666667	14.3		15.4	0	0.33757124
25	Larnaca	33.6330556	34.8830556	20		28.7	-0.39372822	0.44984326
26	Methoni	21.7	36.8330556	21		9.8	0.06122449	0.35
27	Capo Bellav	9.72	39.93	19.8		10.4	0.15384615	0.31325301
28	Monte S.Ang	15.95	41.7	14.4		12.8	0.0625	0.30188679
29	Odesa	30.63	46.48	14.1		16.6	-0.02409639	0.32806324
30	Henichesk, U	34.8166667	46.1666667	14.3		18.5	0.01621622	0.33759124
31	Simferopol,	34.1330556	44.7	16.7		16.5	-0.07878788	0.31132075
32	Scutari, TUR	29.05	41	18.8		13.7	-0.02189781	0.32069288
33	Granada, SP	-2.36861111	37.1366667	21		14.2	0.12676056	0.32272727
34	Murcia/Alca	-0.77055556	37.9577778	24		11.4	0.0877193	0.31147541
35	Anapa	37.3	44.9	16.4		14.4	0.04166667	0.31168831
36	Krasnaja Pol	40.2	43.6	17		14.8	-0.10810811	0.3231441
37	Zadar	15.2055556	44.13	18.5		11.4	0.0877193	0.31843575
38	Dubrovnik, C	18.27	42.56	19.3		10.9	0.10091743	0.32831325
39	Bastia, FRAN	9.48527778	42.5405556	19.7		9.9	0.15151515	0.31730769
40	Bet Dagan, IS	34.7994444	32	26.2		9.6	-0.20833333	0.34042553
41	BARCELONA	2.06972222	41.2927778	19.4		9.4	0.14893617	0.31756757
42	TUAPSE, RU	39.1	44.1	18.3		13.6	0.01470588	0.32075472

Figura 3.2. Indicadores estadísticos para la temperatura máxima.

A continuación, se escogió latitud, longitud y cada indicador estadístico para todas las estaciones, ordenando esas tres columnas de menor a mayor según el indicador. Después, se calculó el primer y segundo tercil del indicador estadístico como se puede observar en la figura 3.3.



	A	B	C	D	E	F
1		<b>LONGITUD</b>	<b>LATITUD</b>	<b>Mediana</b>		
2	Zavizan	14.9830556	44.8166667	7.1	}	<b>1ºTERCIL</b>
3	Ai-Petri	34.07	44.47	9.8		
4	Odesa	30.63	46.48	14.1		
5	SULINA	29.7330556	45.1666667	14.3		
6	Henichesk, U	34.8166667	46.1666667	14.3		
7	Monte S. Ang	15.95	41.7	14.4		
8	Kerch	36.4166667	45.4	15.6		
9	Feodosiia	35.3830556	45.0330556	16		
10	Constanta	28.63	44.22	16.3		
11	Anapa	37.3	44.9	16.4		
12	Primorsko-A	38.15	46.0330556	16.6		
13	Simferopol,	34.1330556	44.7	16.7		
14	Krasnaja Polj	40.2	43.6	17		
15	Lastovo	16.8994444	42.7666667	18.1		
16	TUAPSE, RUS	39.1	44.1	18.3		
17	Rize	40.5166667	41.0330556	18.4		
18	Zadar	15.2055556	44.13	18.5		
19	Nice	7.20888889	43.6488889	18.7		
20	Sotchi	39.77	43.58	18.8		
21	Scutari, TUR	29.05	41	18.8		
22	Montpellier-	3.96305556	43.5766667	19.1		
23	Marignane	5.21583333	43.4377778	19.3		
24	Dubrovnik, C	18.27	42.56	19.3		
25	BARCELONA	2.06972222	41.2927778	19.4		
26	Ajaccio	8.79277778	41.9180556	19.5		
27	Bastia, FRAN	9.48527778	42.5405556	19.7		
28	Capo Bellavi	9.72	39.93	19.8		
29	Hvar	16.45	43.1666667	19.9		
30	Brindisi	17.9330556	40.6330556	20		
31	Roma Ciamp	12.5830556	41.7830556	20		
32	Larnaca	33.6330556	34.8830556	20		
33	Cagliari	9.05	39.2330556	21		
34	Methoni	21.7	36.8330556	21		
35	Granada, SP	-2.36861111	37.1366667	21		
36	Corfu	19.9166667	39.6166667	21.2	}	<b>3ºTERCIL</b>
37	Hellinikon	23.75	37.9	21.4		
38	Heraklion	25.1830556	35.3330556	22		
39	Malaga Aero	-3.51194444	36.6666667	22.4		
40	Finike	30.15	36.3163889	23.9		
41	Murcia/Alca	-0.77055556	37.9577778	24		
42	Bet Dagan, IS	34.7994444	32	26.2		

Figura 3.3. Mediana de la temperatura máxima dividida en terciles.

### 3.4 Representación de los resultados para los indicadores estadísticos

A continuación, se presentan los resultados de los indicadores estadísticos obtenidos en el apartado anterior en forma de gráfica tanto para la temperatura máxima como para la mínima.

#### 3.4.1 Mediana

Una vez interpolado los datos de cada indicador estadístico con sus respectivas coordenadas y divididos en terciles, se representaron los datos en gráficas.

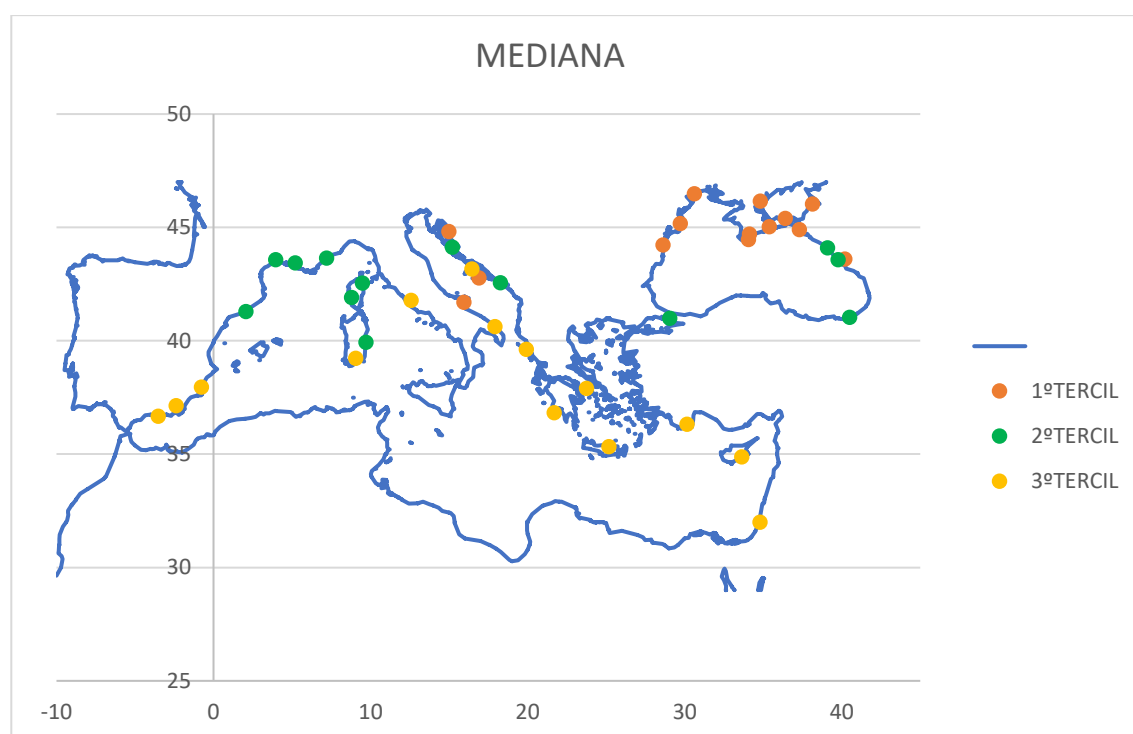


Figura 3.4. Mediana para T máxima.

Se observa en la gráfica anterior que el primer tercil se localiza alrededor del Mar Negro, costa de Croacia y costa de Apulia (Italia), temperaturas más altas agrupadas en el segundo tercil tienen lugar entre el este de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, la costa de Croacia y costa del Mar Negro. Por último, las temperaturas máximas correspondientes al tercer tercil se encuentran en el sur de España, Cerdeña, la costa de Toscana y Apulia (Italia), Corfu, Hellinikon, Methoni y Creta (Grecia), Sur de Turquía, Chipre y costa de Israel.

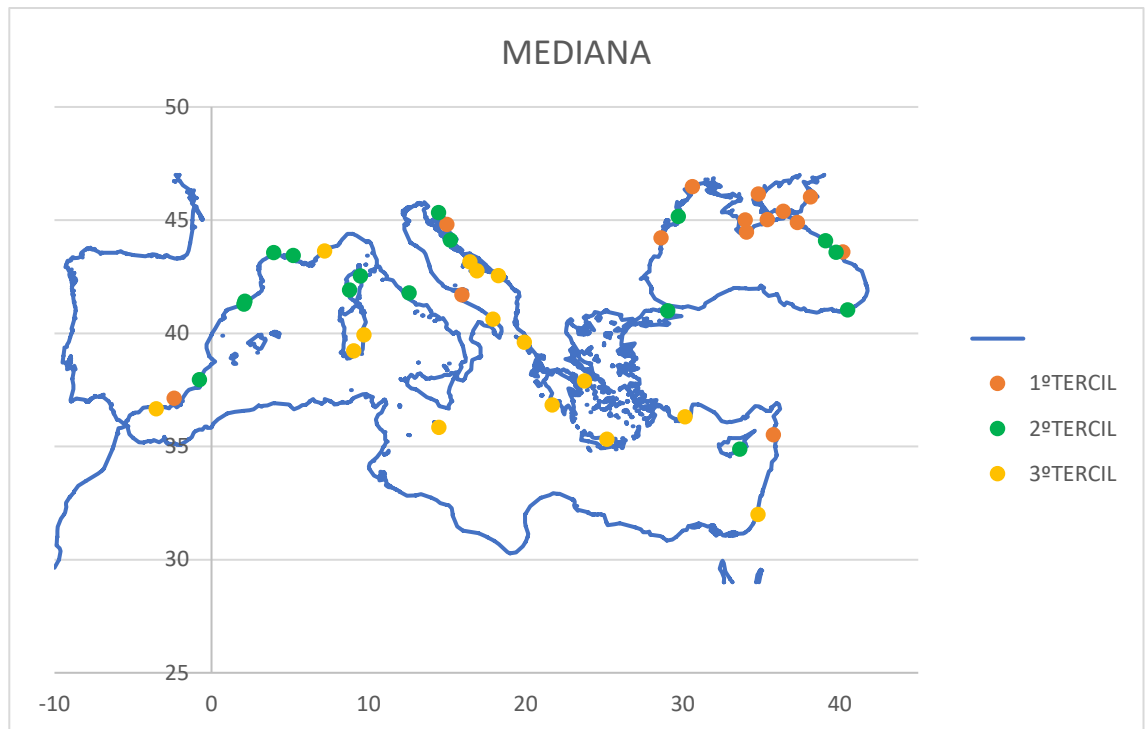


Figura 3.5. Mediana para T mínima.

En la figura 3.5 las temperaturas más bajas abundan en el mar negro, sur de España, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia y costa de Siria. Las correspondientes al segundo tercil tienen lugar en el este de España, sur de Francia, Córcega, Costa de la Toscana (Italia), costa de Croacia, Mar Negro y Chipre. Por último, las temperaturas más altas se encuentran en el sur de España, sur de Francia, Cerdeña, Malta, Costa de Apulia (Italia), Costa de Croacia, Hellinikon, Methoni y Creta (Grecia), sur de Turquía y Costa de Israel.

Para un análisis más minucioso de la temperatura, se escogió la latitud, longitud, todos los indicadores estadísticos y se ordenaron según la mediana. A continuación, se calculó el primer y segundo tercil de esta, para poder dividir los datos como aparece en la figura 3.6 y poder tener una muestra más representativa de la temperatura.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	
1		LONGITUD	LATITUD	Mediana	RIC	YK	Curtosis robusta				
2	Zavizan	14.9830556	44.8166667	7.1	12.6	0.03174603	0.30882353	1ºTERCIL			
3	Ai-Petri	34.07	44.47	9.8	13.575	-0.0718232	0.30852273				
4	Odesa	30.63	46.48	14.1	16.6	-0.02409639	0.32806324				
5	SULINA	29.7330556	45.1666667	14.3	15.4	0	0.33757124				
6	Henichesk, U	34.8166667	46.1666667	14.3	18.5	0.01621622	0.33759124				
7	Monte S. Ang	15.95	41.7	14.4	12.8	0.0625	0.30188679				
8	Kerch	36.4166667	45.4	15.6	16.2	0.01234568	0.30916031				
9	Feodosiia	35.3830556	45.0330556	16	15.6	0.05128205	0.30708661				
10	Constanta	28.63	44.22	16.3	15.4	-0.07792208	0.32489451				
11	Anapa	37.3	44.9	16.4	14.4	0.04166667	0.31168831				
12	Primorsko-A	38.15	46.0330556	16.6	18.4	-0.08695652	0.32857143				
13	Simferopol,	34.1330556	44.7	16.7	16.5	-0.07878788	0.31132075				
14	Krasnaja Polj	40.2	43.6	17	14.8	-0.10810811	0.32314441				
15	Lastovo	16.8994444	42.7666667	18.1	11.8	0.13559322	0.3172043				
16	TUAPSE, RUS	39.1	44.1	18.3	13.6	0.01470588	0.32075472		2ºTERCIL		
17	Rize	40.5166667	41.0330556	18.4	11.6	-0.06896552	0.32768362				
18	Zadar	15.2055556	44.13	18.5	11.4	0.0877193	0.31843575				
19	Nice	7.20888889	43.6488889	18.7	9.3	0.16129032	0.32068966				
20	Sotchi	39.77	43.58	18.8	12.4	-0.0483871	0.32631579				
21	Scutari, TUR	29.05	41	18.8	13.7	-0.02189781	0.32069288				
22	Montpellier	3.96305556	43.5766667	19.1	11	0.09090909	0.30726257				
23	Marignane	5.21583333	43.4377778	19.3	11.8	0.10169492	0.30569948				
24	Dubrovnik, C	18.27	42.56	19.3	10.9	0.10091743	0.32831325				
25	BARCELONA	2.06972222	41.2927778	19.4	9.4	0.14893617	0.31756757				
26	Ajaccio	8.79277778	41.9180556	19.5	9.9	0.13131313	0.33221477				
27	Bastia, FRAN	9.48527778	42.5405556	19.7	9.9	0.15151515	0.31730769	3ºTERCIL			
28	Capo Bellavi	9.72	39.93	19.8	10.4	0.15384615	0.31325301				
29	Hvar	16.45	43.1666667	19.9	11.3	0.11504425	0.32285714				
30	Brindisi	17.9330556	40.6330556	20	11	0.09090909	0.32738095				
31	Roma Ciamp	12.5830556	41.7830556	20	12.6	0.11111111	0.328125				
32	Larnaca	33.6330556	34.8830556	20	28.7	-0.39372822	0.44984326				
33	Cagliari	9.05	39.2330556	21	10.8	0.11111111	0.32142857				
34	Methoni	21.7	36.8330556	21	9.8	0.06122449	0.35				
35	Granada, SP	-2.36861111	37.1366667	21	14.2	0.12676056	0.32272727				
36	Corfu	19.9166667	39.6166667	21.2	12	0.13333333	0.34090909				
37	Hellinikon	23.75	37.9	21.4	12.4	0.16129032	0.32124352				
38	Heraklion	25.1830556	35.3330556	22	9.8	-0.02040816	0.33108108				
39	Malaga Aero	-3.51194444	36.6666667	22.4	8.8	0.09090909	0.30555556				
40	Finike	30.15	36.3163889	23.9	12.4	0.08064516	0.33695652				
41	Murcia/Alca	-0.77055556	37.9577778	24	11.4	0.0877193	0.31147541				
42	Bet Dagan, IS	34.7994444	32	26.2	9.6	-0.20833333	0.34042553				

Figura 3.6. Indicadores estadísticos divididos en terciles según la mediana para Tmax.

Por último, se calcularon las medianas de cada indicador estadístico que se presentan en la siguiente tabla, tanto para la temperatura máxima como para la mínima.

Indicadores	T Máxima			T Mínima		
	1º Tercil	2º Tercil	3º Tercil	1º Tercil	2º Tercil	3º Tercil
Mediana(°C)	15.8	19.13	21.1	7.5	10.75	13
RIC(°C)	15.4	11	11.35	12.7	10.25	9.4
YK	0.006	0.100	0.090	0.007	0.029	0.066
Curtosis Robusta	0.314	0.320	0.327	0.312	0.306	0.311

Tabla 3.3. Medianas de los indicadores estadísticos de las distribuciones para las temperaturas máximas y mínimas.

### 3.4.2 Rango Intercuartílico (RIC)

Repitiendo el proceso anterior para los valores de rango intercuartílico observamos en las Figuras 3.6 y 3.7 su distribución geográfica por terciles.

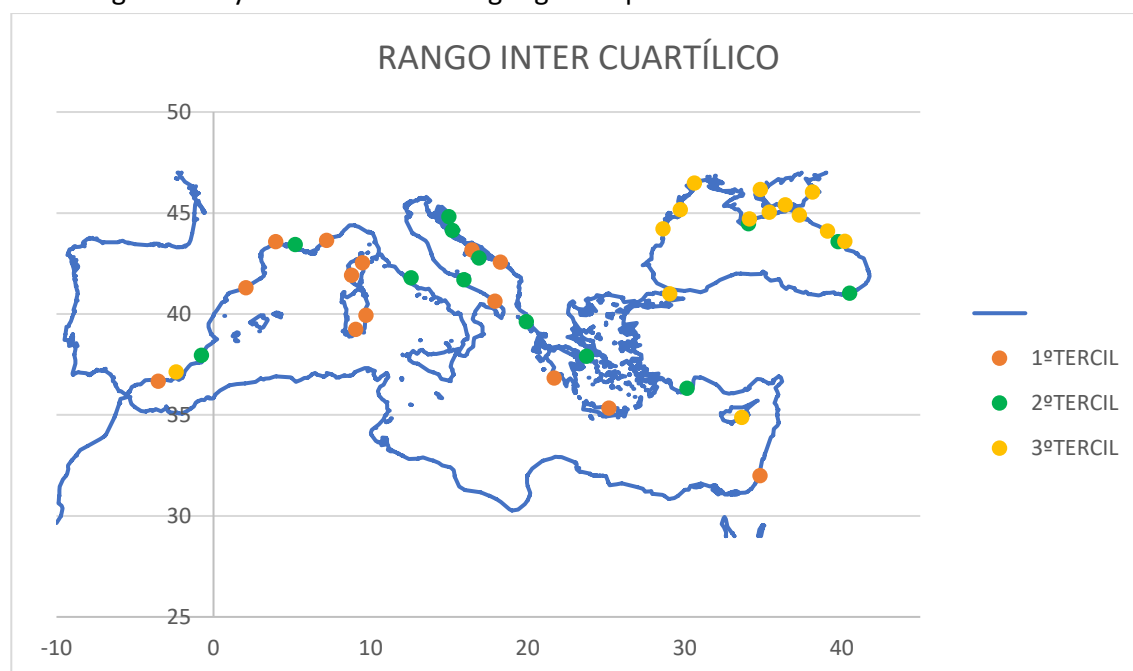


Figura 3.7. RIC para T máxima.

Se observa en la gráfica anterior que el primer tercil del rango intercuartílico para la temperatura máxima se localiza en el sur y este de España, el sur de

Francia, Córcega, Cerdeña, costa de Apulia (Italia), Costa de Croacia, Methoni y Creta (Grecia), y costa de Israel, con un valor de la mediana de 9.9 °C.

El segundo tercil, posee una mediana de 12.4 °C, tiene lugar en el sur de España, sur de Francia, costa de la Toscana y Apulia (Italia), costa de Croacia, Corfu, Hellinikon y Creta (Grecia), y norte y sur de Turquía. Por último, el tercer tercil de mediana 15.5 °C, se encuentra principalmente en la costa del mar negro, sur de España y Chipre.

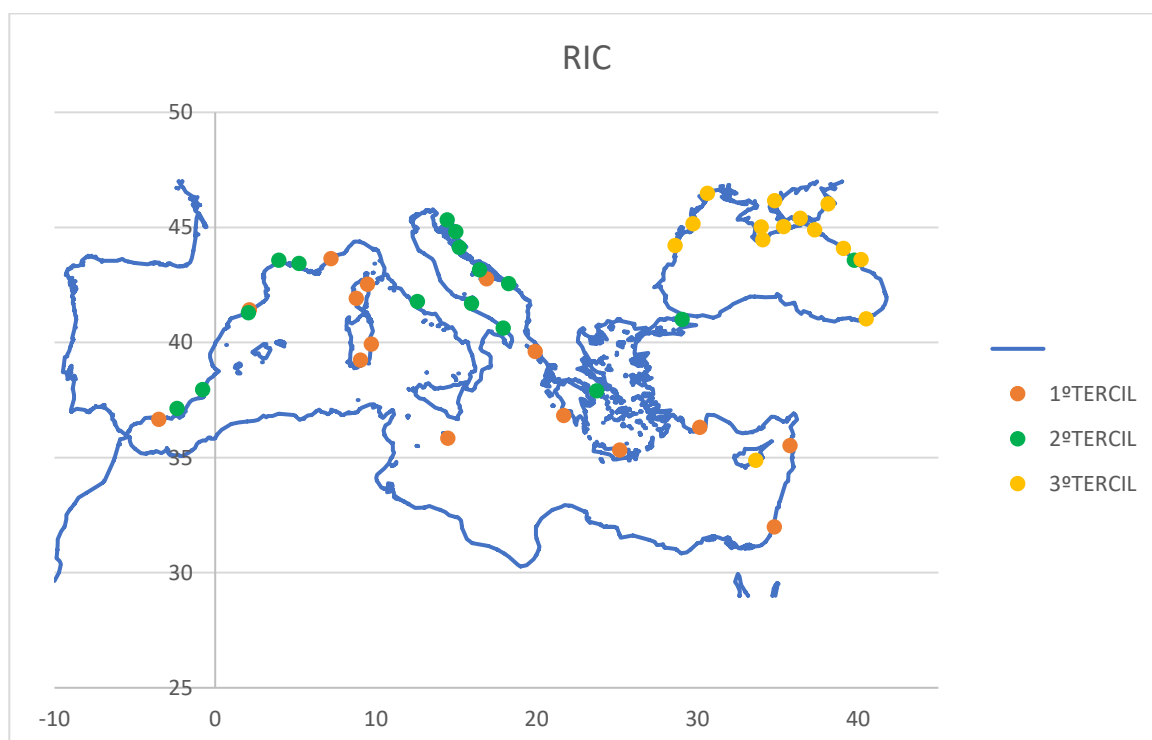


Figura 3.8. RIC para T mínima.

Para la temperatura mínima se tiene un valor de la mediana del rango intercuartílico del primer tercil de 9 °C, estos valores se localizan en el sur de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, Malta, costa de Croacia, Corfu, Methoni y Creta (Grecia), sur de Turquía, costa de Siria y costa de Israel. El segundo tercil con una mediana de 10.225 °C, tiene lugar en el sur y este de España, sur de Francia, costa de la Toscana y Apulia (Italia), costa de Croacia, Hellinikon y Creta (Grecia) y sur de Turquía. Los valores máximos agrupados en el tercer tercil tienen una media de 13.5 °C, y se encuentran agrupados en la costa del Mar Negro y en Chipre.

### 3.4.3 Índice Yule-Kendall

Se repitió el proceso para los datos del índice Yule-Kendall, representados geográficamente en las figuras 3.8 y 3.9 siguientes.

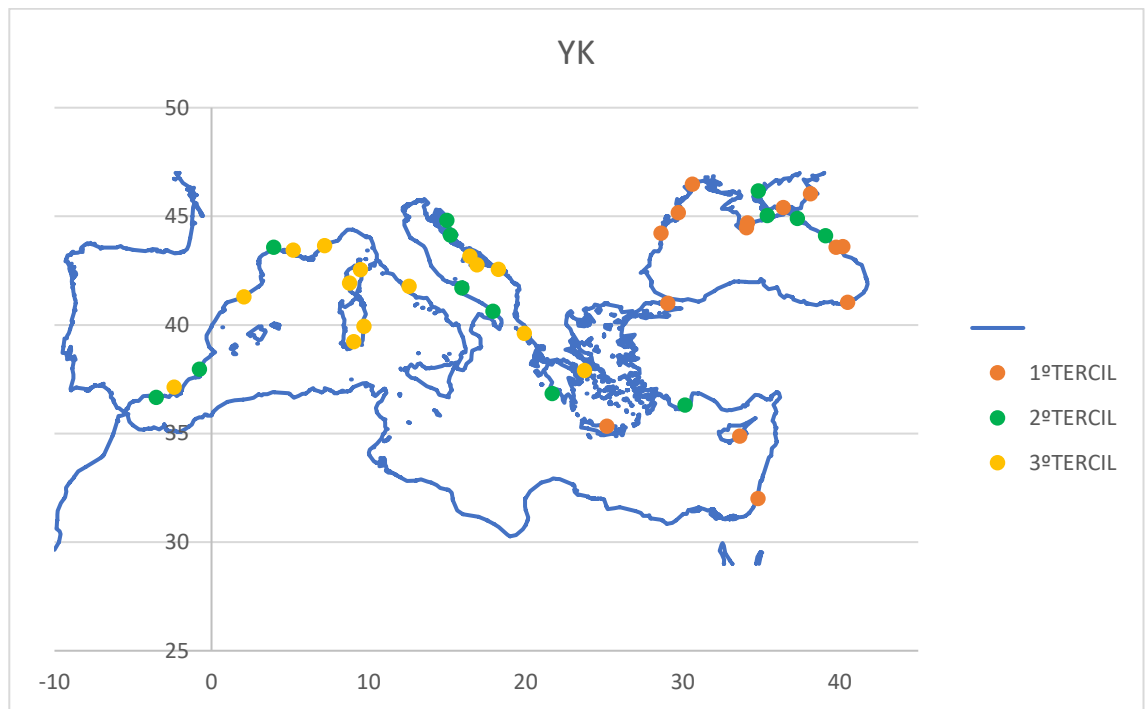


Figura 3.9. YK para T máxima.

Los valores mínimos para la temperatura máxima agrupados en el tercer tercil tienen una mediana de -0.070 y se localizan en la costa del Mar Negro, Creta (Grecia), Chipre y costa de Israel. Los datos del segundo tercil poseen una mediana de 0.062 y se encuentra en el sur de España, sur de Francia, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia, Methoni (Grecia), Sur de Turquía y Costa del Mar Negro. Los datos máximos del índice Yule Kendall agrupados en el tercer tercil, con una mediana de 0.132, se sitúan en el sur y este de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de la Toscana (Italia), costa de Croacia y en Corfu y Hellinikon (Grecia).

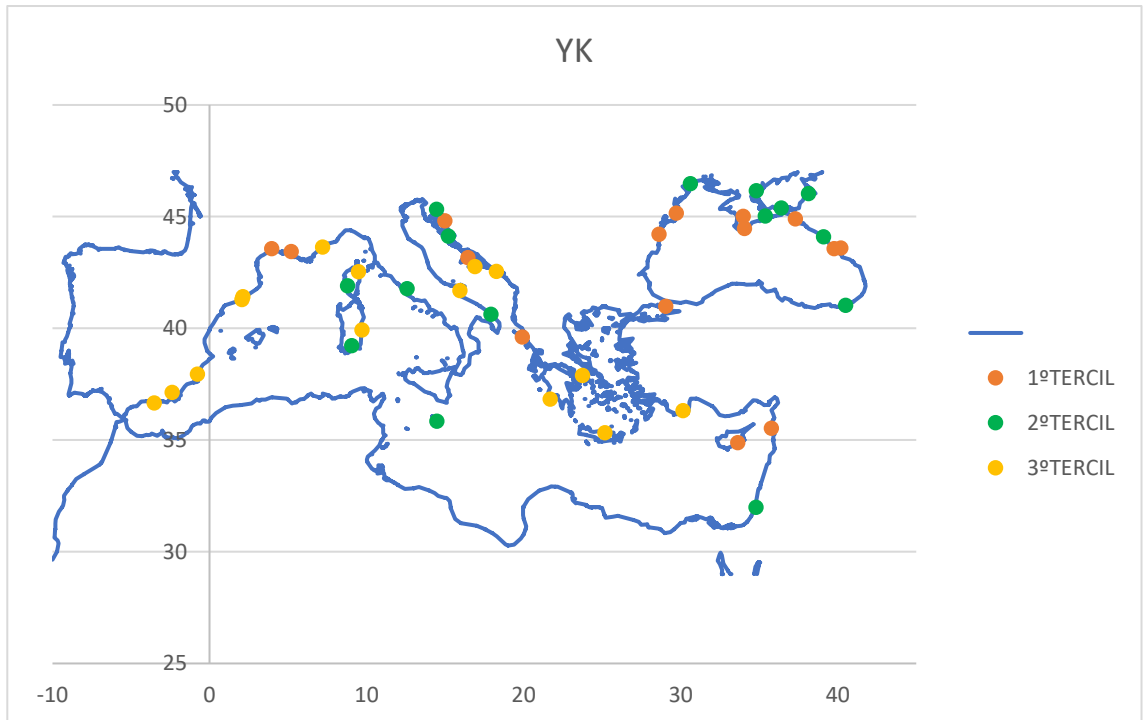


Figura 3.10. YK para T mínima.

Para la temperatura mínima, los valores más bajos del índice Yule-Kendall poseen una mediana de -0.015 y se distribuyen en el sur de Francia, costa de Croacia, Corfu (Grecia), Costa del Mar Negro, Chipre y costa de Siria. El segundo tercil tiene una mediana de 0.033 tiene lugar en Córcega, Cerdeña, costa de la Toscana y Apulia (Italia), Malta, costa de Croacia, costa del Mar Negro y costa de Israel. Por último, los valores más altos del índice Yule-Kendall se agrupan en el tercer tercil con una mediana de 0.111 y se localizan en el sur y ese de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia, Methoni, Hellinikon y Creta (Grecia), y sur de Turquía.



### 3.4.4 Curtosis robusta

Para el coeficiente de curtosis robusta, las Figuras 3.10 y 3.11 muestran los datos en el mapa.

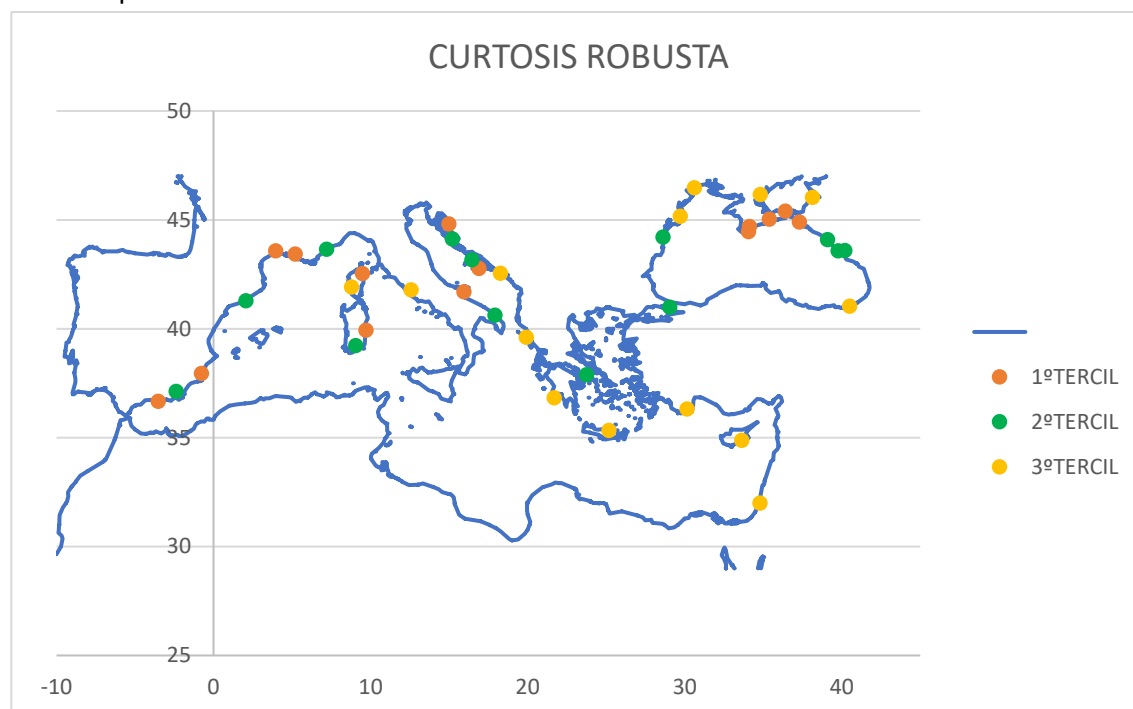


Figura 3.11. Curtosis Robusta para T máxima.

Los datos mínimos para la temperatura máxima de la curtosis robusta agrupados en el primer tercil tienen una mediana de valor 0.308 y se localizan en el sur de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia y costa de Mar Negro. El segundo tercil posee una mediana de 0.321 y se encuentra en el sur y este de España, sur de Francia, Cerdeña, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia, Hellinikon (Grecia) y costa del Mar Negro. Los datos máximos recopilados en el tercer tercil con una mediana de 0.334 tienen lugar en Córcega, costa de la Toscana (Italia), costa de Croacia, Corfu, Methoni y Creta (Grecia), costa del Mar Negro, sur de Turquía, Chipre y costa de Israel.

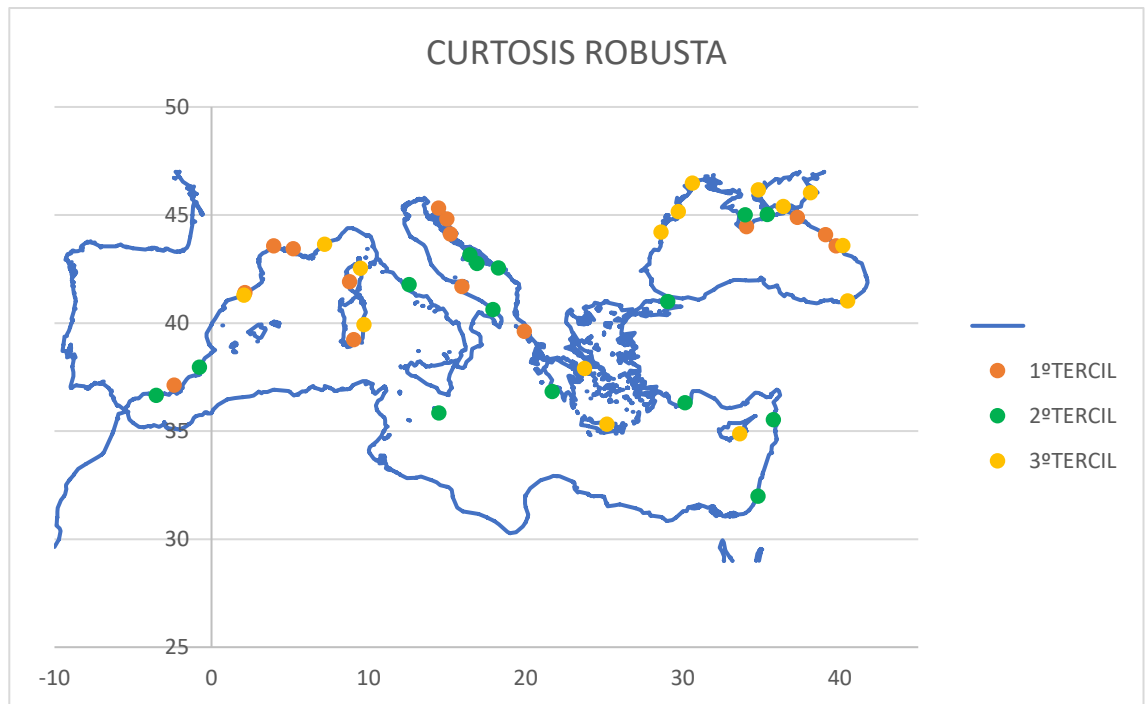


Figura 3.12. Curtosis robusta para T mínima.

Para la temperatura mínima, el primer tercil de la curtosis robusta tiene una mediana de 0.302 y se localiza en el sur de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia, Corfu (Grecia) y costa del Mar Negro. El segundo tercil con una mediana de 0.310 tiene lugar en el sur de España, costa de la Toscana y Apulia (Italia), Malta, costa de Croacia, Methoni (Grecia), costa del Mar negro, sur de Turquía, costa de Siria y costa de Israel. Los datos máximos agrupados en el tercer tercil poseen una mediana de 0.320 y se sitúan en el este de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, Hellinikon y Creta (Grecia), costa del Mar Negro y Chipre

**Capítulo IV**  
**Tendencia de la**  
**temperatura**  
**mediante un modelo**  
**armónico**

Conocemos de antemano que la temperatura media anual cambia con el tiempo. Durante este capítulo llevaremos a cabo un estudio para ver cómo se comportan las temperaturas máximas y mínimas a lo largo del periodo de 40 años seleccionado. En primera aproximación se puede emplear un modelo lineal. Sin embargo, lo haremos de acuerdo a un modelo con una parte armónica, ajustando mediante una regresión múltiple que calcularemos en Excel.

Este tipo de análisis armónico es comúnmente usado en ciencias atmosféricas para estudiar ciclos a lo largo de un periodo determinado. La siguiente ecuación consiste en la suma de una parte lineal más una contribución armónica (Sánchez et al., 2008; 2010).

$$y(t) = a + bt + (c' + d't) \cos(\omega t - \theta') \quad (4.1)$$

Donde,  $t$  es el tiempo en días, desde enero de 1965 hasta diciembre de 2004,  $a$  es la media de la temperatura inicial,  $b$  es la variación de la temperatura durante el periodo de estudio,  $(c' + d't)$  considera una tendencia lineal de la amplitud con el tiempo y  $\cos(\omega t - \theta')$  representa la evolución de la estación, con  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ , siendo  $T$  el número de años del intervalo seleccionado.

Sin embargo, si separamos el término armónico podemos obtener una simplificación del modelo y de esta manera, la ecuación resultante es:

$$y(t) = a + bt + c \cos(\omega t - \theta_1) + dt \cos(\omega t - \theta_2) \quad (4.2)$$

Si la desarrollamos y agrupamos obtenemos,

$$y(t) = a + bt + c \cos \omega t \cos \theta + c \sin \omega t \sin \theta + dt \cos \omega t \cos \theta + dt \sin \omega t \sin \theta$$

$$T = a + bt + c_1 \cos \omega t + c_2 \sin \omega t + d_1 t \cos \omega t + d_2 t \sin \omega t \quad (4.3)$$

De forma que,

$$c = \sqrt{c_1^2 + c_2^2} \quad d = \sqrt{d_1^2 + d_2^2} \quad (4.4)$$

“ $b$ ” es el coeficiente de la regresión múltiple que da cuenta de la variación con el tiempo del conjunto de la temperatura.

“ $c$ ” es la amplitud anual de la temperatura, o semirango, ya que se ha calculado refiriéndose a cero. Se obtiene a partir de la raíz cuadrada de la suma de los coeficientes  $c_1$  y  $c_2$ , que acompañan a  $\cos \omega t$  y  $\sin \omega t$  en la regresión. Nos indica la máxima variación de la temperatura en un año, correspondería a  $c'$  en la ecuación (4.1) (Bajat et al., 2015).

“**d**” da cuenta de parte del crecimiento de la amplitud a lo largo de los 40 años. Se calcula a partir de los coeficientes  $d_1$  y  $d_2$  que acompañan a  $t \cos \omega t$  y  $t \sin \omega t$  en la regresión múltiple, calculando la raíz de la suma de sus cuadrados y multiplicándolo por el número de días de los 40 años.

La suma de funciones armónicas de amplitud constante e igual frecuencia tiene como resultado otra función armónica de la misma frecuencia. Por otro lado, el cambio de la amplitud en la Ecuación 4.2 es suficientemente lento como para que, siguiendo el planteamiento anterior, la función resultante se pueda aproximar a la Ecuación 4.1, donde depende de un término constante,  $c'$  y de otro término que acompaña al tiempo,  $d'$ . Este término se puede determinar mediante una regresión lineal de los máximos de la parte armónica de la Ecuación 4.2 respecto del tiempo.

Para calcular los coeficientes se realizó un análisis de regresión lineal múltiple, teniendo como variables independientes  $t$ ,  $\cos \omega t$ ,  $\sin \omega t$ ,  $t \cos \omega t$ ,  $t \sin \omega t$  y como variable dependiente la estación. De esta forma se obtiene un ajuste múltiple. Para el cálculo de la frecuencia angular,  $\omega$ , multiplicamos cada día,  $t$  por  $2\pi$  y dividimos entre el número de días que tiene un año, en nuestro caso será el número total de días (14610) entre los 40 años, resultando 365,25 días:  $\omega = \frac{2\pi}{365.25}$ .

Tomando como ejemplo la estación de Corfu (Grecia), se presenta a continuación en la Figura 4.1 y Figura 4.2 los datos de sendas distribuciones dados por la estación, en azul y el ajuste del modelo en negro, tanto para la temperatura máxima como para la mínima.

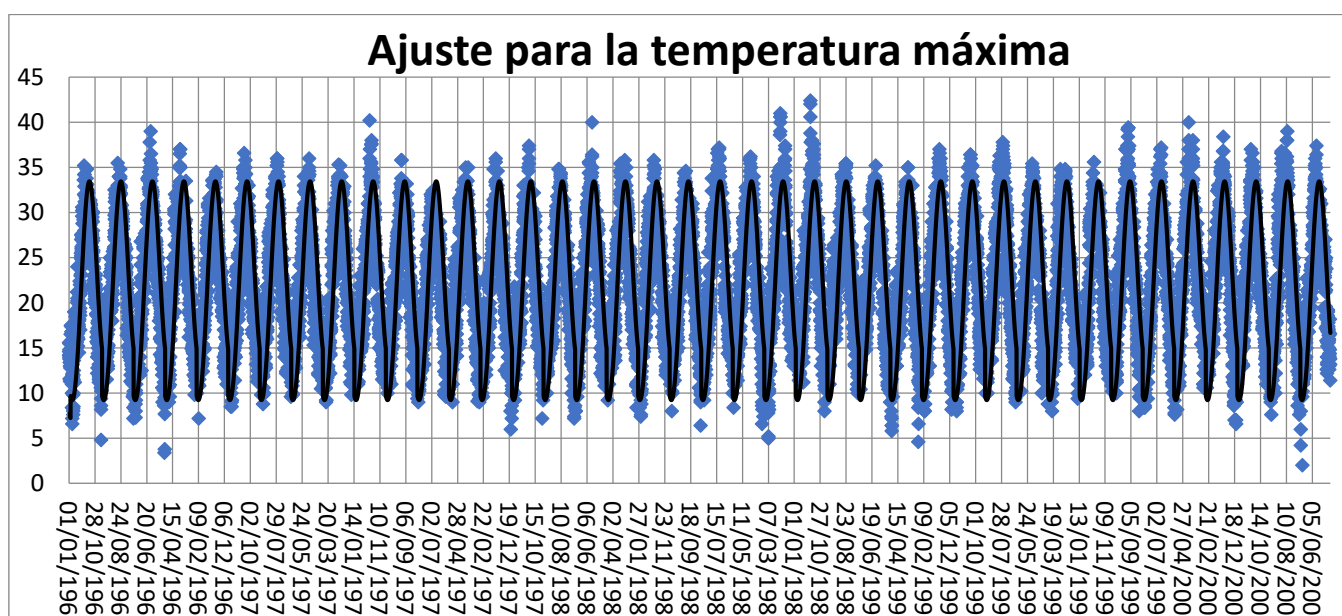


Figura 4.1. Ajuste de temperaturas máximas.

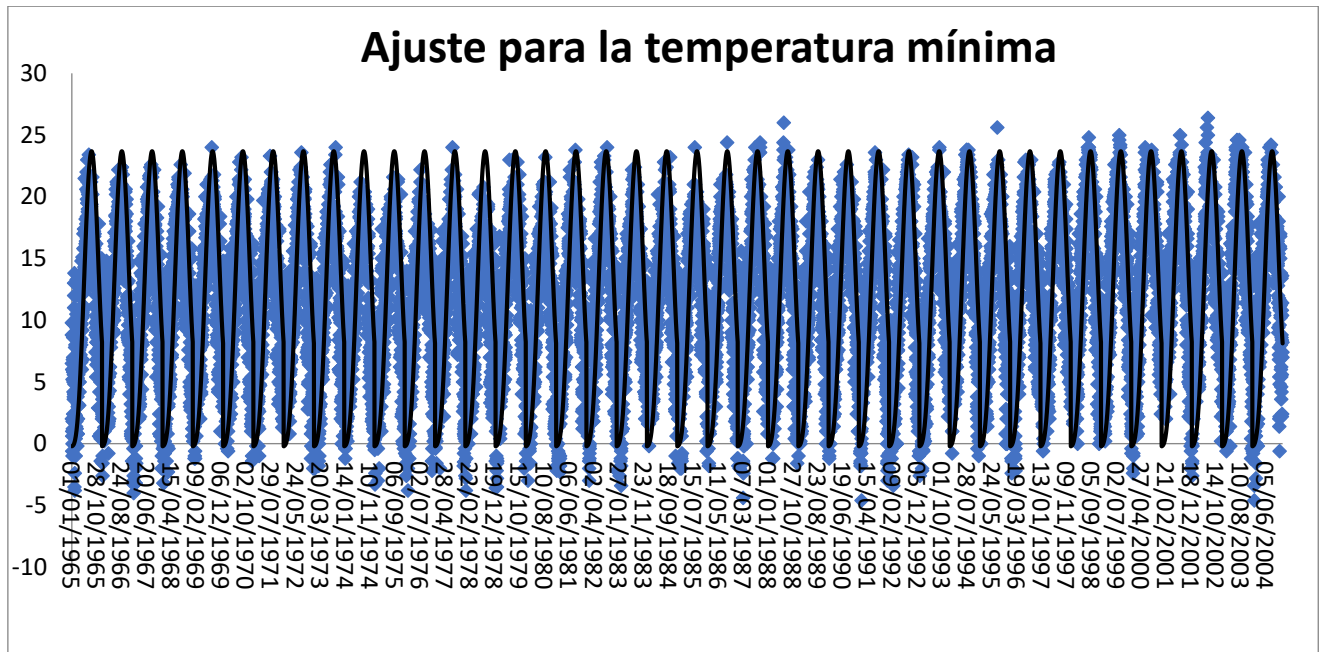


Figura 4.2. Ajuste de temperaturas mínimas.

A continuación, se presentan los datos de los coeficientes  $b$ ,  $c$ ,  $d$  y  $d'$  obtenidos para los casos de temperaturas máximas y mínimas como en el capítulo anterior, mediante gráficas dónde aparecen los coeficientes de cada estación divididos en terciles.

#### 4.1 Coeficiente b. Tendencia de la temperatura en 40 años.

El coeficiente b es aquel que va multiplicado por el tiempo en la regresión múltiple.

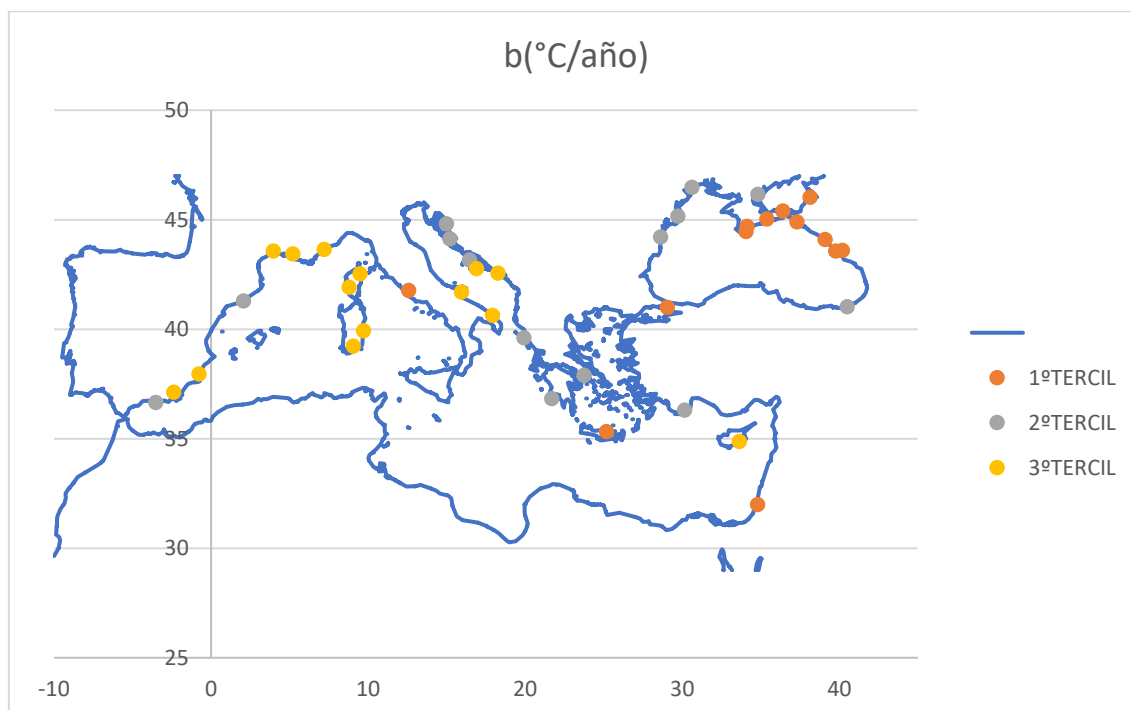


Figura 4.3. Tendencia para T máxima.

En los datos agrupados en el primer tercil tres de ellos presentan valores negativos lo que implica un descenso de la temperatura por año, estas estaciones son Anapa (Rusia) con un descenso del  $-0.019$  °C/año, Kerch (Ucrania) con  $-0.004$  °C/año y Scutari (Turquía) con  $-0.001$  °C/año. El resto presentan un aumento de  $0.002$  °C por año y se encuentran en la costa del Mar Negro, Creta (Grecia) y costa de Israel.

El segundo tercil presenta un aumento de la temperatura por año de  $0.023$  °C. Estas estaciones se sitúan en el este de España, costa de Croacia, Methoni, Hellinikon y Corfu (Grecia), costa del Mar Negro y sur de Turquía.

Por último, el tercer tercil tiene un aumento de  $0.039$  °C/año en el sur de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia y Chipre.

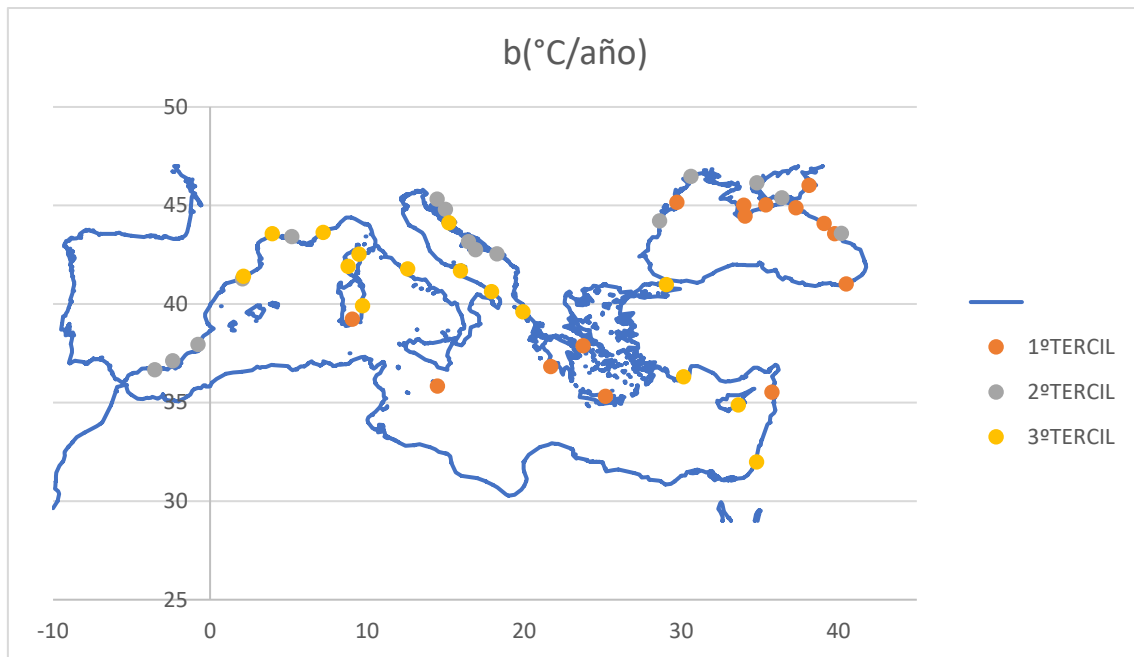


Figura 4.4. Tendencia para T mínima.

Para la temperatura mínima el primer tercil presenta dos estaciones con datos negativos, estas son Methoni (Grecia) con un descenso de la temperatura por año de  $-0.007\text{ }^{\circ}\text{C}$  y Simpheropol (Ucrania) con  $-0.005\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ . Las estaciones restantes tienen un aumento de  $0.007\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ , situadas en Cerdeña, Malta, Hellinikon y Creta (Grecia), costa de Siria y costa del Mar Negro.

Las estaciones del segundo tercil, situadas en el sur de España, sur de Francia, costa de Croacia y costa del Mar Negro, tienen un aumento de  $0.025\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ .

El tercer tercil, tiene un aumento de  $0.044\text{ }^{\circ}\text{C/año}$ . Estas estaciones están situadas en el este de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de la Toscana y Apulia (Italia), costa de Croacia, Corfu (Grecia), costa del Mar Negro, Chipre y costa de Israel.



## 4.2 Coeficiente c. Amplitud anual de la temperatura.

Este coeficiente es la amplitud anual de la temperatura, o semirango, ya que se calcula refiriéndose a cero. Indica la máxima variación de la temperatura en un año. Se observa en las figuras 4.5 y 4.6 que la amplitud anual para la temperatura máxima y para la mínima es similar.

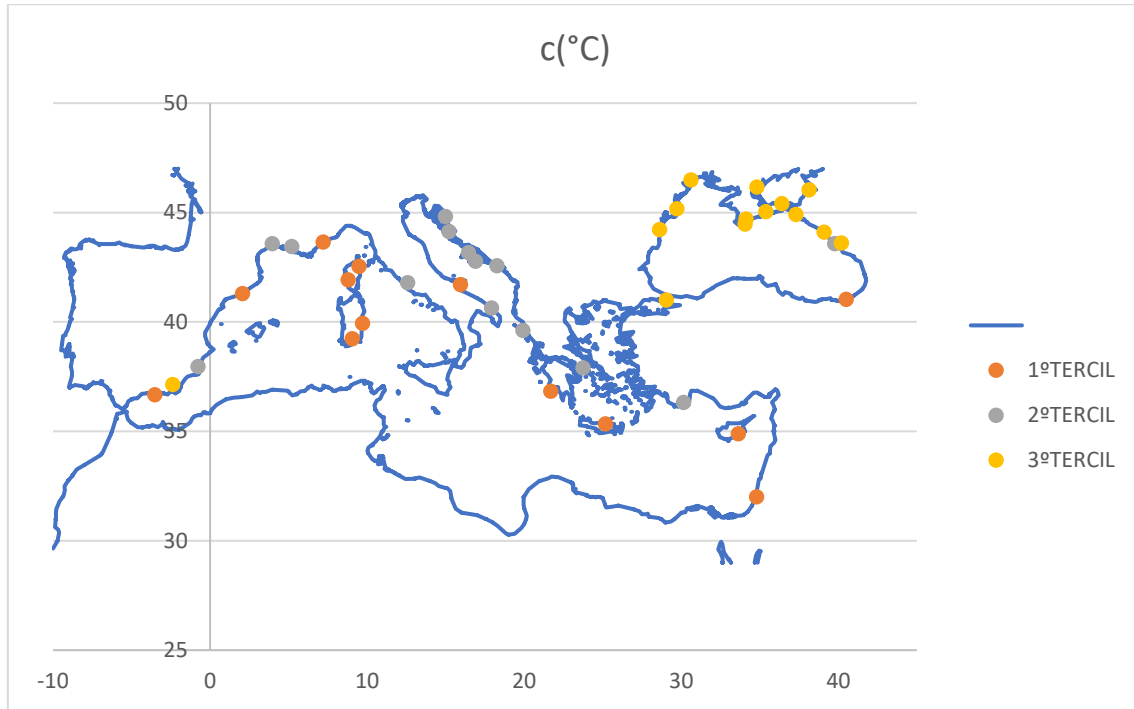


Figura 4.5. Amplitud anual para T máxima.

El primer tercil con las estaciones localizadas en el sur y este de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña costa de Apulia (Italia), Methoni y Creta (Grecia), Chipre y costa de Israel, tiene una amplitud anual de 6.85 °C.

Las estaciones del segundo tercil, tienen una amplitud de 8.55 °C y se sitúan en el sur de España, sur de Francia, costa de la Toscana y Apulia (Italia), costa de Croacia, Corfu y Hellinikon (Grecia), y sur de Turquía.

El tercer tercil presenta una amplitud de 11.17 °C en el sur de España y la costa del Mar Negro.

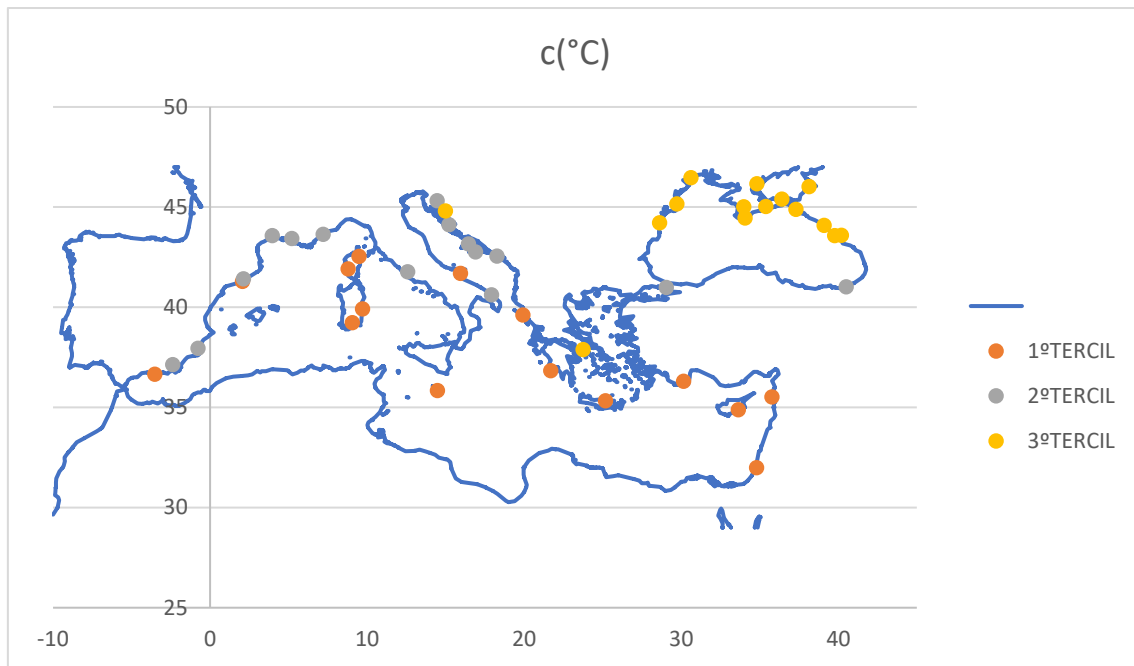


Figura 4.6. Amplitud anual para T mínima.

Para la temperatura mínima, el primer tercil presenta una amplitud de  $6.22^{\circ}\text{C}$  en el sur de España, Córcega, Cerdeña, Malta, costa de Apulia (Italia), Corfu, Methoni y Creta (Grecia), sur de Turquía, Chipre, costa de Israel y costa de Siria.

La amplitud del segundo tercil es de  $7.29^{\circ}\text{C}$  en el sur y este de España, sur de Francia, costa de la Toscana y Apulia (Italia), y costa del Mar Negro.

El tercer tercil presenta una amplitud de  $9.54^{\circ}\text{C}$  en las estaciones localizadas en la costa de Croacia, Hellinikon (Grecia) y costa del Mar Negro.

### 4.3 Coeficiente d. Crecimiento con el tiempo.

Este coeficiente está relacionado con el cambio de la amplitud a lo largo de los 40 años. Se calcula a partir de los coeficientes  $d_1$  y  $d_2$  que acompañan a  $t \cos \omega t$  y  $t \sin \omega t$  en la regresión múltiple, calculando la raíz de la suma de sus cuadrados y multiplicándolo por el número de días de los 40 años.

En este caso, las Figuras 4.7 y 4.8 nos muestran que los valores del coeficiente d son muy desiguales en la costa mediterránea.

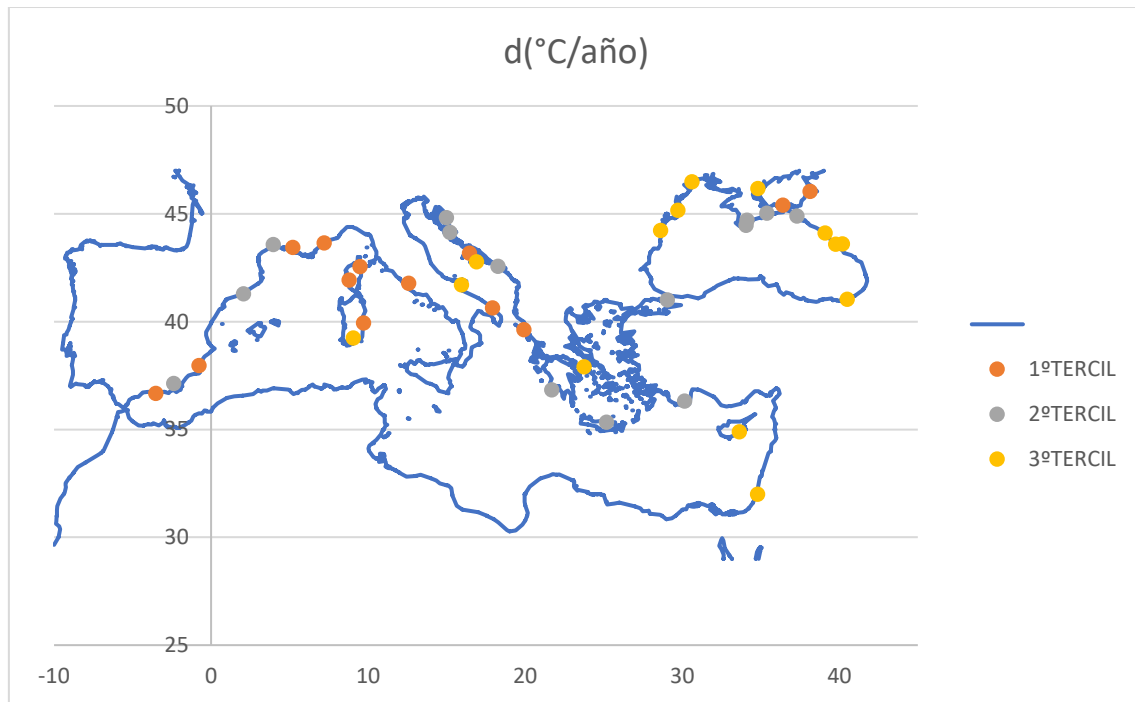


Figura 4.7. Crecimiento del coeficiente d para T máxima.

En las temperaturas máximas, para las estaciones del primer tercil localizadas en el sur de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de la Toscana y Apulia (Italia), y costa del Mar Negro, el valor del coeficiente “d” es de 0.015 °C/año.

Para el segundo tercil tiene un valor de 0.0208 °C/año en el sur y este de España, sur de Francia, costa de Croacia, Methoni y Creta (Grecia), sur de Turquía y costa del Mar Negro.

Por último, el tercer tercil presenta un coeficiente “d” con valor 0.0305 °C/año en Cerdeña, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia, Hellinikon (Grecia), Chipre, costa del Mar negro, y costa de Israel.

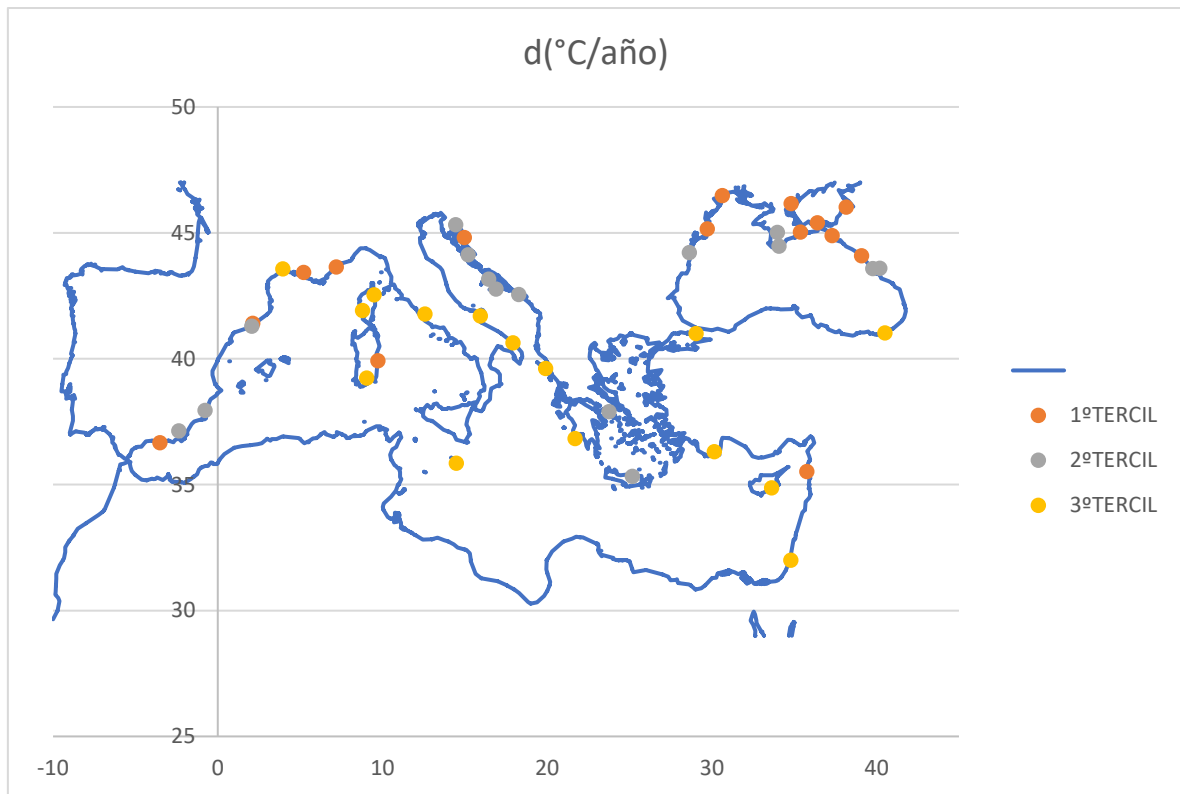


Figura 4.8. Crecimiento del coeficiente  $d$  para  $T$  mínima.

Para la temperatura mínima, el primer tercil presenta un coeficiente de  $0.011\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$  en el sur de España, sur de Francia, Cerdeña, costa de Croacia, costa del Mar Negro y costa de Siria. El segundo tercil posee un valor de  $0.019\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$  en las estaciones localizadas en el sur y este de España, costa de Croacia, Hellinikon y Creta (Grecia) y costa del Mar Negro. El tercer tercil tiene lugar en el sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de la Toscana y Apulia (Italia), Malta, costa del Mar Negro, sur de Turquía, Chipre y costa de Israel, con un valor del coeficiente de  $0.02940\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$ .

#### 4.4 Coeficiente $d'$ . Variación lineal de la amplitud con el tiempo.

A continuación, se presenta cómo se ha comportado la amplitud del ciclo global en cada una de las estaciones, tanto máximas como mínimas.

Se observa en las Figuras 4.9 y 4.10 sus comportamientos para temperaturas máximas y para mínimas.

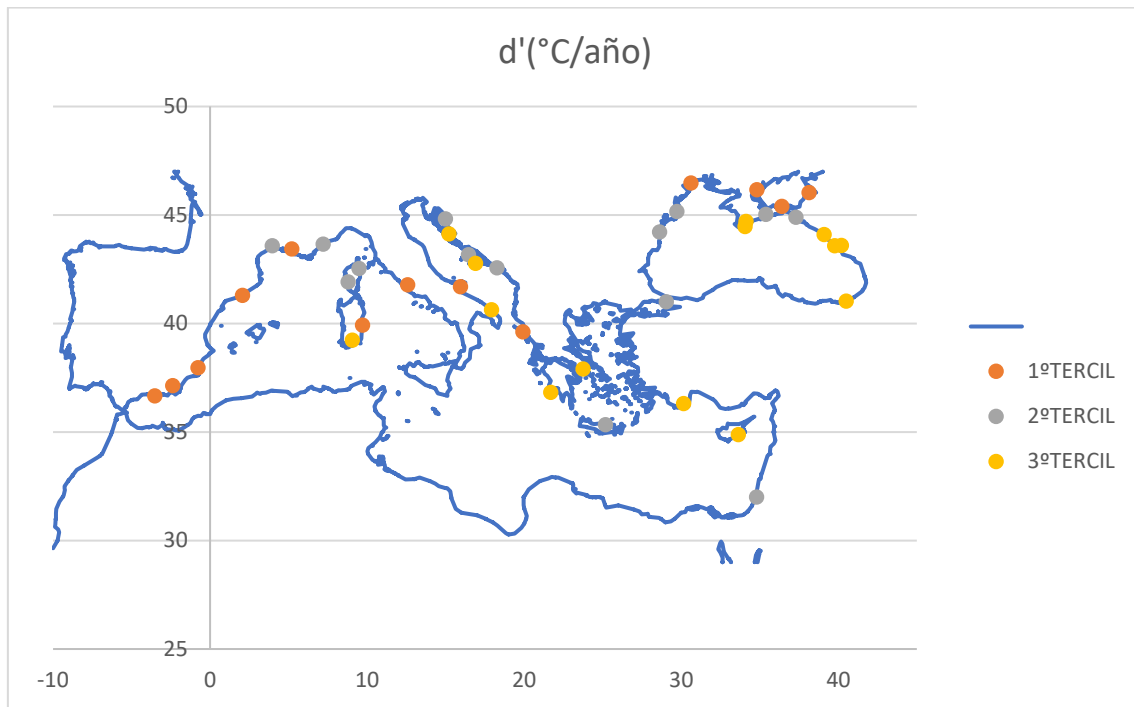


Figura 4.9. Variación de la amplitud para T máx.

El primer tercil, localizado en el sur y este de España, sur de Francia, Cerdeña, costa de la Toscana y Apulia (Italia), Corfu (Grecia) y costa del Mar negro, presenta una mediana del coeficiente  $d'$  de  $0.005\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$ . El segundo tercil con una mediana de  $0.016\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$  tiene lugar en el sur de Francia, Córcega, costa de Croacia, Creta (Grecia), costa del Mar Negro y costa de Israel. Por último, el tercer tercil posee una mediana de  $0.027\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$  y se sitúa en Cerdeña, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia, Methoni y Hellinikon (Grecia), sur de Turquía, Chipre y costa del Mar Negro.

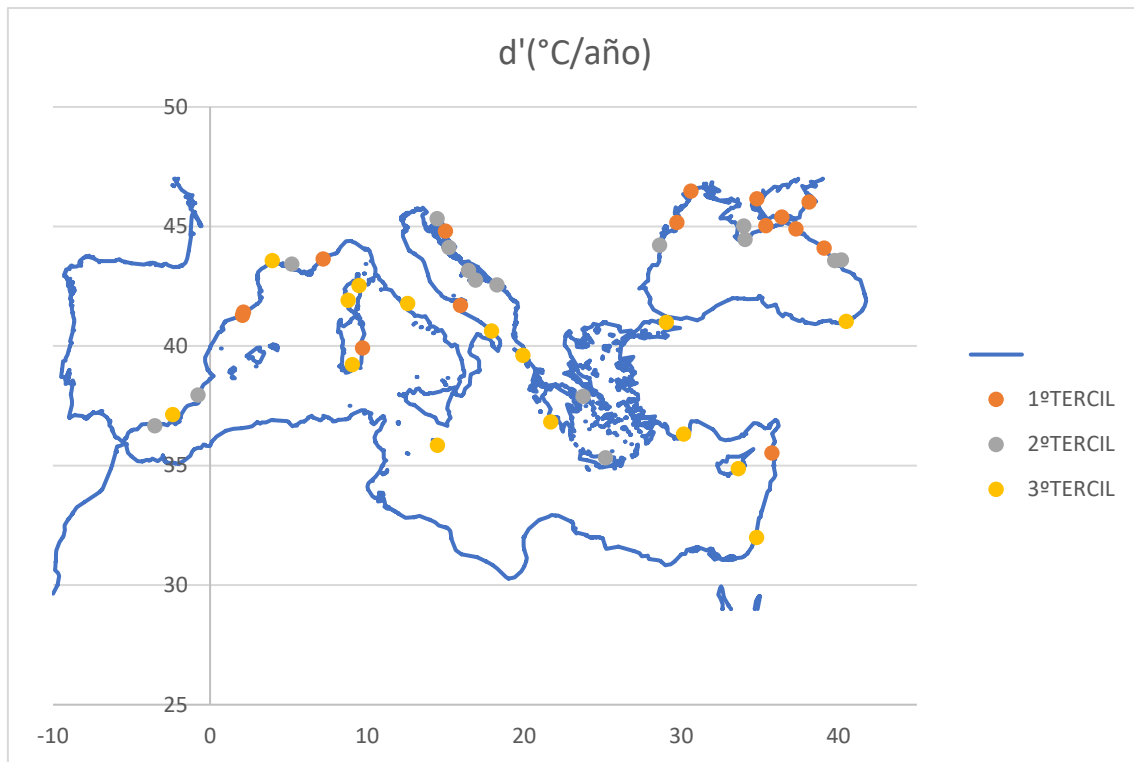


Figura 4.10. Variación de la amplitud para T min.

Para las temperaturas mínimas, el primer tercil con una mediana del coeficiente  $d'$  de  $0.002\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$  se sitúa en el este de España, sur de Francia, Cerdeña, costa de Apulia (Italia), costa de Croacia, costa de Siria y costa del Mar Negro. El segundo tercil posee una mediana de  $0.017\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$  y se localiza en el sur de España, sur de Francia, costa de Croacia, Hellinikon y Creta (Grecia), y costa del Mar Negro. El tercer tercil tiene una mediana de  $0.028\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{año}$  y tiene lugar en el sur de España, sur de Francia, Córcega, Cerdeña, costa de la Toscana y Apulia (Italia), Malta, Corfu y Methoni (Grecia), costa del Mar Negro, sur de Turquía, Chipre y costa de Israel.

# Conclusiones

En este trabajo se han analizado tanto las temperaturas máximas y mínimas como sus tendencias en una región, la costa mediterránea, cuyas características climáticas son similares. Además, se han tomado estaciones a nivel del mar, lo que permite excluir los efectos de la altura en las temperaturas registradas.

Partiendo de un conjunto inicial de 128 estaciones de la costa mediterránea, se han seleccionado 52 estaciones, que son aquellas que tienen un periodo de medidas común de 40 años. Además, las estaciones con un porcentaje de datos válidos inferior al 95% fueron descartadas, quedando así 41 estaciones para la temperatura máxima y 45 para la mínima.

El análisis estadístico se ha efectuado con indicadores de posición, dispersión, simetría y concentración de observaciones. Se ha observado que las estaciones situadas en la costa del Mar Negro son aquellas con temperaturas más bajas, en torno a 15.8 °C para las máximas y 7.5 °C para las mínimas, mientras que los rangos intercuartílicos son los más altos, 11 °C para las máximas y 9.4 °C para las mínimas.

En la distribución de temperatura máxima los rangos intercuartílicos son comparables a las medianas, en cambio para la temperatura mínima, se ha observado en la tabla 3.1 que ambos son comparables para el primer y segundo tercil, sin embargo, los valores del tercer tercil difieren, esto puede ser debido a la homogeneidad de los datos. El resto de indicadores presenta valores repartidos en toda la región. En ambas distribuciones el índice de Yule-Kendall es ligeramente positivo en la mayor parte de las estaciones, así como la curtosis robusta. Adicionalmente se ha realizado una distribución geográfica de los indicadores estadísticos para cada distribución en la costa mediterránea, lo que permite una mejor visualización de los resultados.

El estudio de la tendencia se ha efectuado con una expresión lineal unida de una función armónica con amplitud variable con el tiempo, que ha permitido obtener una serie de coeficientes con información sobre la tendencia de la temperatura en la costa mediterránea. En cuanto a la evolución de la temperatura, el coeficiente “**b**” muestra un incremento anual tanto para la distribución de las máximas (0.002 °C/año, 0.0023 °C/año y 0.039 °C/año para el primer, segundo y tercer tercil respectivamente) como de las mínimas (0.008 °C/año, 0.025 °C/año y 0.044 °C/año), los promedios de cada tercil son similares, resultando superior los de las mínimas.

Las amplitudes anuales de máximas y mínimas dadas por el coeficiente “**c**”, son similares. Los valores máximos de la amplitud se corresponden con latitudes mayores, localizándose en la costa del Mar Negro con valores de 11.17 °C para las máximas y



9.54 °C para las mínimas. Amplitudes menores se distribuyen por el resto de la costa mediterránea.

Por otro lado, el coeficiente “d” nos proporciona información sobre la variación de la amplitud del ciclo anual, que ha sido creciente para ambas distribuciones. Los valores para las temperaturas máximas (0.005 °C/año para el primer tercil, 0.016 °C/año para el segundo y 0.027 °C/año para el tercer tercil) y para las temperaturas mínimas (0.002 °C/año, 0.017 °C/año y 0.028 °C/año, para el primer, segundo y tercer tercil respectivamente) son similares y se encuentran distribuidos a lo largo de toda la costa mediterránea

# Referencias

Agencia Española de Meteorología (AEMET) - MeteoGlosario Visual. (2019). Variable meteorológica - Glosario Meteorológico Visual. [En línea] Disponible en: [https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/417\\_variable-meteorologica](https://meteoglosario.aemet.es/es/termino/417_variable-meteorologica)

AlSarmi, S. H., & Washington, R. (2014). Changes in climate extremes in the Arabian Peninsula: analysis of daily data. *International Journal of Climatology*, 34(5), 1329-1345.

Bajat, B., Blagojevid, D., Kilibarda, M., Lukovid, J., Tošid, I. (2015) Spatial analysis of the temperature trends in Serbia during the period 1961-2010. *Theoretical and Applied Climatology*, 121, pp. 289–301.

Burger, F., Brock, B., & Montecinos, A. (2018). Seasonal and elevational contrasts in temperature trends in Central Chile between 1979 and 2015. *Global and planetary change*, 162, 136-147.

Cederlöf, M., Bengtsson, L., & Hodges, K. I. (2016). Assessing atmospheric temperature data sets for climate studies. *Tellus A: Dynamic Meteorology and Oceanography*, 68(1), 31503.

Choi, W., Keuser, A. P., & Becker, S. (2011). Air Temperature Variability in Illinois Based on Weather Station Records and the North American Regional Reanalysis from 1979 to 2006. *Physical Geography*, 32(4), 338-355.

Collins, J. M. (2011). Temperature variability over Africa. *Journal of climate*, 24(14), 3649-3666.

Croitoru, A. E., & Piticar, A. (2013). Changes in daily extreme temperatures in the extra-Carpathians regions of Romania. *International Journal of Climatology*, 33(8), 1987-2001.

Andrade, E. M. D., Silva, B. B. D., Rodrigues, M. M. A., Mendonça, M. A. B., & Chaves, L. C. G. (2012). Extreme temperature trends in the equatorial region of Brazil: Case study of the state of Ceará. *Revista Ciência Agrônômica*, 43(2), 262-272.

Esau, I., Davy, R., & Outten, S. (2012). Complementary explanation of temperature response in the lower atmosphere. *Environmental Research Letters*, 7(4), 044026.

Eshel, G. (2016). Recent southern New York climate change: observations, mechanisms, and spatial context. *Journal of Climate*, 29(1), 209-226.

Fauna-eu.org. (2019). Welcome to Fauna Europaea | Fauna Europaea. (En línea). Disponible en: <https://fauna-eu.org/>

Feng, R., Yu, R., Zheng, H., & Gan, M. (2018). Spatial and temporal variations in extreme temperature in Central Asia. *International Journal of Climatology*, 38, e388-e400.

Fujibe, F. (2012). Dependence of long-term temperature trends on wind and precipitation at urban stations in Japan. *Journal of the Meteorological Society of Japan*. Ser. II, 90(4), 525-534.

García, M. J. L. (2015). Recent warming in the Balearic Sea and Spanish Mediterranean coast. Towards an earlier and longer summer. *Atmósfera*, 28(3), 149-160.

Gobierno de México. (2019). Estaciones meteorológicas automáticas (EMAS). Consulta: Descripción EMA. Disponible en <https://smn.cna.gob.mx/es/observando-el-tiempo/estaciones-meteorologicas-automaticas-ema-s>

Gonzalez-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., & Cortesi, N. (2016). Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951–2010): from warming to hiatus. *International Journal of Climatology*, 36(6), 2405-2416.

Horton, D. E., Johnson, N. C., Singh, D., Swain, D. L., Rajaratnam, B., & Diffenbaugh, N. S. (2015). Contribution of changes in atmospheric circulation patterns to extreme temperature trends. *Nature*, 522(7557), 465.

Hurrell, J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: regional temperatures and precipitation. *Science*, 269(5224), 676-679.

Jain, S. K., Kumar, V., & Saharia, M. (2013). Analysis of rainfall and temperature trends in northeast India. *International Journal of Climatology*, 33(4), 968-978.

Kharyutkina, E. V., Ippolitov, I. I., & Loginov, S. V. (2012). The variability of radiative balance elements and air temperature over the Asian region of Russia. *Biogeosciences*, 9(3), 1113-1123.

Kothawale, D. R., & Singh, H. N. (2017). Recent trends in tropospheric temperature over India during the period 1971–2015. *Earth and Space Science*, 4(5), 240-246.

Kumar, S., Kinter III, J. L., Pan, Z., & Sheffield, J. (2016). Twentieth century temperature trends in CMIP3, CMIP5, and CESM-LE climate simulations: Spatial-temporal

uncertainties, differences, and their potential sources. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(16), 9561-9575.

Li, Y., Zhu, L., Zhao, X., Li, S., & Yan, Y. (2013). Urbanization impact on temperature change in China with emphasis on land cover change and human activity. *Journal of Climate*, 26(22), 8765-8780.

Lionello, P., Malanotte-Rizzoli, P., Boscolo, R., Alpert, P., Artale, V., Li, L., ... & Ulbrich, U. (2006). The Mediterranean climate: an overview of the main characteristics and issues.

Lothar, S. *Applied statistics: a handbook of techniques*. Springer-Verlag, New York, 1982.

Malamud, B. D., Turcotte, D. L., & Grimmond, C. S. B. (2011). Temperature trends at the Mauna Loa observatory, Hawaii. *Climate of the Past*, 7(3), 975-983.

Misra, V., Michael, J. P., Boyles, R., Chassignet, E. P., Griffin, M., & O'Brien, J. J. (2012). Reconciling the spatial distribution of the surface temperature trends in the southeastern United States. *Journal of Climate*, 25(10), 3610-3618.

Onuchin, A., Korets, M., Shvidenko, A., Burenina, T., & Musokhranova, A. (2014). Modeling air temperature changes in Northern Asia. *Global and Planetary Change*, 122, 14-22.

Orlandi, F., Avolio, E., Bonofiglio, T., Federico, S., Romano, B., & Fornaciari, M. (2013). Potential shifts in olive flowering according to climate variations in southern Italy. *Meteorological Applications*, 20(4), 497-503.

Pei, L., Yan, Z., Sun, Z., Miao, S., & Yao, Y. (2018). Increasing persistent haze in Beijing: potential impacts of weakening East Asian winter monsoons associated with northwestern Pacific sea surface temperature trends. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 18(5), 3173-3183.

Peng, J., Ma, J., Liu, Q., Liu, Y., Li, Y., & Yue, Y. (2018). Spatial-temporal change of land surface temperature across 285 cities in China: An urban-rural contrast perspective. *Science of the Total Environment*, 635, 487-497.

Safeeq, M., Mair, A., & Fares, A. (2013). Temporal and spatial trends in air temperature on the Island of Oahu, Hawaii. *International Journal of Climatology*, 33(13), 2816-2835.

- Sánchez, M. L., García, M. A., Pérez, I. A., & de Torre, B. (2008). Evaluation of surface ozone measurements during 2000–2005 at a rural area in the upper Spanish plateau. *Journal of atmospheric chemistry*, 60(2), 137-152.
- Scarascia-Mugnozza, G., Oswald, H., Piussi, P., & Radoglou, K. (2000). Forests of the Mediterranean region: gaps in knowledge and research needs. *Forest Ecology and Management*, 132(1), 97-109.
- Sivakumar, M. V., Lal, R., Selvaraju, R., & Hamdan, I. (Eds.). (2013). *Climate change and food security in West Asia and North Africa*. Springer Netherlands.
- Spiegel, M.R., Stephens, L.J. (2014). *Estadística*. Editorial Schaum.
- Sundseth, K., & Comisión Europea. Dirección General de Medioambiente, Seguridad Nuclear y Protección Civil. (2010). *Natura 2000 en la región mediterránea*. Oficina de Publicaciones de la Unión Europea.
- Tobajas García, A. (2016). Diseño e implementación de una estación meteorológica con Raspberry Pi.
- Unkašević, M., & Tošić, I. (2013). Trends in temperature indices over Serbia: relationships to large-scale circulation patterns. *International journal of climatology*, 33(15), 3152-3161.
- Vicente-Serrano, S. M., López-Moreno, J. I., Correa, K., Avalos, G., Bazo, J., Azorin-Molina, C., ... & Nieto, R. (2018). Recent changes in monthly surface air temperature over Peru, 1964–2014. *International Journal of Climatology*, 38(1), 283-306.
- Wang, L., Liu, B., Henderson, M., Shen, X., Yang, L., & Lian, L. (2018). Warming across decades and deciles: minimum and maximum daily temperatures in China, 1955–2014. *International Journal of Climatology*, 38(5), 2325-2332.
- Wilks, D.S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. 100). Academic press.
- Zhang, D., Yang, Y., & Lan, B. (2018). Climate variability in the northern and southern Altai Mountains during the past 50 years. *Scientific reports*, 8(1), 3238.

# **Lista de Tablas y Figuras**

## Listado de Figuras

Figura 2.1 Esquema de una estación meteorológica.....	16
Figura 2.2. Distribución de las estaciones meteorológicas.....	16
Figura 2.3. Ejemplo estaciones meteorológicas de Europa para temperatura máxima.....	18
Figura 2.4. Estaciones meteorológicas de la Costa mediterránea para la temperatura máxima.....	18
Figura 2.5. Distribución de los intervalos de medida de las estaciones para la temperatura máxima.....	20
Figura 2.6. Ejemplo estaciones meteorológicas con un periodo de 40 años para la temperatura máxima.....	21
Figura 2.7. Ejemplo datos diarios para la temperatura máxima de la estación Corfu, Grecia.....	22
Figura 2.8. Ejemplo base de datos para la Temperatura máxima.....	23
Figura 2.9. Ejemplo de cálculo del tanto por ciento de datos válidos para la temperatura máxima.....	23
Figura 2.10. Mapa de las estaciones meteorológicas finales para la temperatura máxima.....	24
Figura 3. 1. Desviaciones de la curva de campana (distribución normal).....	28
Figura 3.2. Indicadores estadísticos para la temperatura máxima.....	32
Figura 3.3. Mediana de la temperatura máxima dividida en terciles.....	33
Figura 3.4. Mediana para T máxima.....	34
Figura 3.5. Mediana para T mínima.....	35



Figura 3.6. Indicadores estadísticos divididos en terciles según la mediana para Tmax.....	36
Figura 3.7. RIC para T máxima.....	37
Figura 3.8. RIC para T mínima.....	38
Figura 3.9. YK para T máxima.....	39
Figura 3.10. YK para T mínima.....	40
Figura 3.11. Curtosis Robusta para T máxima.....	41
Figura 3.12. Curtosis robusta para T mínima.....	42
Figura 4.1. Ajuste de temperaturas máximas.....	46
Figura 4.2. Ajuste de temperaturas mínimas.....	46
Figura 4.3. Tendencia para T máxima.....	47
Figura 4.4. Tendencia para T mínima.....	48
Figura 4.5. Amplitud anual para T máxima.....	49
Figura 4.6. Amplitud anual para T mínima.....	50
Figura 4.7. Crecimiento del coeficiente d para la T máxima.....	51
Figura 4.8. Crecimiento del coeficiente d para la T mínima.....	52
Figura 4.9. Variación de la amplitud para T máx.....	53
Figura 4.10. Variación de la amplitud para T min.....	54

## Listado de Tablas

Tabla 3.1. Coeficientes de correlación para la distribución de temperaturas máximas.....	31
Tabla 3.2. Coeficientes de correlación para la distribución de temperaturas mínimas.....	31
Tabla 3.3. Medianas de los indicadores estadísticos de las distribuciones para las temperaturas máximas y mínimas.....	37