



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Máster

Máster en Ordenación Territorial y Medioambiental

**Evolución de las tendencias de temperatura en Europa
desde el siglo XVIII**

**Evolution of temperature trends in Europe
since the 18th century**

Autora

Carlota Marquinez Franco

Director

José Carlos González Hidalgo

Facultad filosofía y letras

2023

Resumen:

El presente Trabajo Fin de Máster analiza las variaciones de la tasa de tendencia de las temperaturas medias anuales de algunas de las series más prolongadas de Europa (Berlín, De Bilt, Varsovia, Ginebra, Viena y CET) durante el periodo de 1780 a 2016, con el fin de conocer su variabilidad temporal y comprobar si el calentamiento es un fenómeno actual o se está produciendo desde el pasado. De manera general, a medida que la duración de los periodos analizados aumenta el rango absoluto de las tendencias decrece y la ratio señal/ruido (S/N) asciende. Se detecta una aceleración desde finales del siglo XIX, aunque el aumento de las temperaturas comenzó anteriormente y que puede asociarse a la recuperación tras la Pequeña Edad de Hielo. Los observatorios repiten patrones de comportamiento temporal semejantes, siendo todos más variables que la serie más prolongada que conocemos denominada Central England Temperature (CET). El estudio permite sugerir que el periodo mínimo de tiempo para detectar tendencias y eventualmente analizar las posibles causas de las mismas supera mucho el periodo de 30 años denominado normal por la OMM.

Palabras clave: Temperatura, variabilidad, tendencia, señal/ruido.

Abstract:

This Master's Thesis analyzes the variations in the trend rate of the average annual temperatures of some of the longest series of Europe (Berlin, De Bilt, Warsaw, Geneva, Vienna and CET) during the period from 1780 to 2016, in order to know their temporal variability and to check whether warming is a current phenomenon or is occurring from the past. In general, as the duration of the analyzed periods increases, the absolute range of trends decreases and the signal-to-noise ratio (S/N) rises. An acceleration has been detected since the end of the 19th century, although the rise in temperatures began earlier and that it can be associated with the recovery after the Little Ice Age. The observatories repeat similar patterns of temporal behavior, all of which are more variable than the longest series we know of called Central England Temperature (CET). The study suggests that the minimum period of time to detect trends and eventually analysing the possible causes of them goes far beyond the 30-year period called normal by the WMO.

Key words: Temperature, variability, trend, signal/noise.

ÍNDICE

| | |
|--|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN..... | 4 |
| 2. OBJETIVO | 6 |
| 3. DATOS Y MÉTODOS..... | 7 |
| 3.1 Datos | 7 |
| 3.2 Observatorios originales | 8 |
| 3.3 Proceso de reconstrucción | 9 |
| 3.4 Análisis temporal: ventanas móviles | 11 |
| 4. RESULTADOS..... | 12 |
| 4.1 Las series de temperatura media anuales, 1780 a 2016..... | 12 |
| 4.2 Análisis de tendencias, 1780 a 2016 | 13 |
| 4.2.1 La variación del promedio y el rango..... | 15 |
| 4.2.2 Frecuencia de las tendencias..... | 17 |
| 4.2.3 Variación de la relación señal/ruido (S/N) | 18 |
| 4.2.4 El efecto de la longitud de las ventanas en las tasas | 19 |
| 4.2.5 La evolución global de las tendencias | 20 |
| 4.3 Primer periodo 1780 a 1893: Las series de temperatura media anual | 22 |
| 4.4 Análisis de tendencias periodo 1780 a 1893..... | 23 |
| 4.4.1 La variación del promedio y el rango, 1780 a 1893..... | 23 |
| 4.4.2 Frecuencia de las tendencias, 1780 a 1893 | 25 |
| 4.4.3 Variación de la relación señal/ruido (S/N), 1780 a 1893 | 26 |
| 4.4.4 Evolución de la tasa tendencial, 1780 a 1893..... | 27 |
| 4.5 Segundo periodo 1894 a 2016: Las series de temperatura media anual..... | 31 |
| 4.6 Análisis de tendencias periodo 1894 a 2016..... | 32 |
| 4.6.1 La variación del promedio y el rango, 1894 a 2016..... | 32 |
| 4.6.2 Frecuencia de las tendencias periodo, 1894 a 2016..... | 34 |
| 4.6.3 Variación de la relación señal/ruido (S/N), 1894 a 2016 | 35 |
| 4.6.4 Evolución de la tasa tendencial periodo, 1894 a 2016 | 37 |
| 5. EL EFECTO DEL PERIODO EN LAS TASAS | 40 |
| 6. CONCLUSIÓN..... | 42 |
| 7. BIBLIOGRAFÍA | 43 |
| 8. ANEXOS | 46 |

1. INTRODUCCIÓN

La temperatura media del planeta ha aumentado en torno a 0,7 °C desde comienzo del siglo XX (Allen et al., 2015), sin embargo, su evolución no ha sido continua pues ha habido períodos de calentamiento y de enfriamiento sin tener que ser su comportamiento semejante entre estaciones climáticas (Easterling y Wehner, 2009).

Los informes del IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) identifican a los gases de efecto invernadero como los principales responsables del incremento de las temperaturas (IPCC AR6, 2021). Otros posibles factores que pudiesen afectar al aumento de las temperaturas, en especial el incremento de la superficie urbana, se considera que tienen un efecto despreciable a escala global (Peterson et al., 1999; Parker, 2004; Ackerman, s.f.). No obstante, otros autores afirman que su efecto a escalas regionales puede ser significativo, habiéndose documentado en China, donde ha habido una gran expansión de las áreas urbanas (Goddard y Tett, 2019; Scafetta, 2021).

En el contexto de los estudios recientes sobre el calentamiento global, los períodos en los que no se detectan cambios significativos de aumentos de temperatura, o se detectan desaceleración en su aumento (sea o no significativo) e incluso temperaturas decrecientes se conocen como “slowdown” en el calentamiento global o “global warming pause” en español simplemente interrupción o “hiatus” (González-Hidalgo et al., 2020). La pregunta abierta es cuánto de los aumentos de temperatura que se dan en las últimas décadas puede atribuirse a fluctuaciones naturales y cuánto es de origen antropogénico, causado, por ejemplo, por el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero. Este problema de detección y atribución juega un papel importante sobre el clima (IPCC AR6, 2021).

En este contexto de aumento de temperaturas, analizar en qué momento nos encontramos es relevante y para ello se necesita información prolongada en el tiempo. Los científicos hoy tienen acceso a una gran cantidad de información meteorológica y climática temprana de toda Europa (Jones 2001), y también de otras partes del mundo. Las series muy largas, como las temperaturas del centro de Inglaterra CET (Manley, 1974; Parker et al. 1992) o las temperaturas de París (Rousseau, 2015), se utilizan en muchas ocasiones como referencia para analizar los cambios de temperatura actuales y para estudiar variaciones climáticas pasadas a escala regional.

El análisis temporal de la evolución de las temperaturas afronta diversos problemas, entre los que la longitud de la serie y los años concretos analizados son uno de los más importantes. De este modo, determinar el lapso de tiempo mínimo necesario para

encontrar una señal de tendencia de largo plazo es una tarea de gran importancia pues pudiera permitir separar la tendencia “real”, la llamada señal, del ruido es decir la variabilidad natural y sus ciclos (González et al, 2020), pues la contribución relativa de cada uno de estos componentes es variable dependiendo del período de tiempo elegido y su longitud (De Souza et al., 2013; Münch y Laepple, 2018). La relación entre la señal y el ruido (S/N) es baja en series de duración temporal cortas, pero aumenta rápidamente a medida que la serie se vuelve más larga (Santer et al., 2011).

2. OBJETIVO

En el Máster de Ordenación Territorial y Medioambiental se incluye una asignatura denominada cambio global y gestión de riesgos naturales, en cuyo contexto se inserta el presente Trabajo Fin de Máster. El estudio realiza un análisis de series seculares de temperatura en Europa desde el siglo XVIII, con el fin de proporcionar resultados que permitan comprender el momento actual.

El objetivo general de este trabajo es analizar la variabilidad temporal de las tendencias en algunas de las series de temperatura de más largo recorrido en Europa, comprobando si el calentamiento es un fenómeno actual o se está produciendo desde el pasado.

3. DATOS Y MÉTODOS

3.1 Datos

El presente Trabajo Fin de Máster se surte de series históricas de aproximadamente 200 años obtenidas de los proyectos IMPROVE "Improved understanding of past climatic variability from early daily European instrumental sources" y HISTALP "Historical instrumental climatological surface time series of the greater alpine region".

Los observatorios proceden de ciudades europeas elegidas para llevar a cabo el análisis de las tendencias de temperaturas y son Berlín (Alemania), De Bilt (Países Bajos), Varsovia (Polonia), Ginebra (Suiza) y Viena (Austria). Los observatorios pertenecientes a De Bilt, Berlín y Varsovia se sitúan razonablemente dentro del contexto del occidente europeo pues no dejan de tener influencia en principio del Atlántico, mientras que los observatorios de Viena y Ginebra representan condiciones más continentales (figura 1). Junto a ellos se analiza la serie CET por ser la de mayor longitud de registros, que se considerará como referencia general.



Figura 1. Localización de los observatorios. Fuente: Elaboración propia.

3.2 Observatorios originales

Los datos originales han sido analizados previamente para conocer, por un lado, la duración de las series, es decir, en qué año comienzan y en cuál acaban y a su vez el total de años, para así posteriormente seleccionar el rango de años a analizar en todas las series, se observa en la tabla 1.

| ANÁLISIS TEMPORAL | | |
|-------------------|-------------|---------------|
| Observatorios | Duración | Total de años |
| Berlín - Tempel | 1701 a 2019 | 318 |
| Berlín - Dahlem | 1701 a 2019 | 318 |
| De Bilt | 1706 a 2018 | 312 |
| Wroclaw II | 1779 a 2019 | 240 |
| Warszawa-okec | 1779 a 2019 | 240 |
| Geneve-Cointr | 1753 a 2019 | 266 |
| Wien-HoheWar | 1775 a 2019 | 244 |

Tabla 1. Análisis temporal de las series analizadas. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, se muestra en la tabla la ausencia de datos por meses en el total de las series analizadas previas a la reconstrucción.

| AUSENCIA DE DATOS POR MESES EN EL TOTAL DE LAS SERIES ANALIZADAS PREVIAS A LA RECONSTRUCCIÓN | | | | | | | | | | | | |
|--|-------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| Observatorios | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| Berlín - Tempel | 22 | 24 | 24 | 27 | 27 | 26 | 26 | 26 | 28 | 28 | 31 | 27 |
| Berlín - Dahlem | 74 | 73 | 73 | 73 | 74 | 73 | 74 | 75 | 75 | 75 | 75 | 75 |
| De Bilt | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 3 | 1 | 2 |
| Wroclaw II | 17 | 15 | 15 | 15 | 16 | 16 | 17 | 17 | 18 | 18 | 17 | 18 |
| Warszawa-okec | 16 | 16 | 16 | 16 | 17 | 17 | 18 | 19 | 21 | 21 | 19 | 18 |
| Geneve-Cointr | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 2 | 2 | 3 |
| Wien-HoheWar | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

Tabla 2. Ausencia de datos por meses en el total de las series analizadas previas a la reconstrucción. Fuente: Elaboración propia.

La ciudad de Berlín cuenta con dos observatorios, el primero es Berlín-Tempel, el cual va a ser denominado Berlín I y el segundo es Berlín-Dahlem, denominado Berlín II. Tanto Berlín I como Berlín II su rango de años es desde enero de 1701 hasta diciembre de 2019, ambas series de 318 años (Tabla 1). Hay mayor ausencia de datos en Berlín- Dahlem que en Berlín-Tempel (Tabla 2).

La ciudad De Bilt únicamente tiene un observatorio, el cual va a ser denominado De Bilt. Su rango de años es desde enero de 1706 hasta diciembre de 2018, una serie de 312 años (Tabla 1). Destacar que tan apenas tiene ausencia de datos, es una serie bastante completa (Tabla 2).

La ciudad de Varsovia cuenta con dos observatorios el primero es Wroclaw II, el cual va a ser denominado Varsovia I y el segundo es Warszawa-okec, denominado Varsovia II. Tanto Varsovia I como Varsovia II su rango de años es desde enero de 1779 hasta diciembre de 2019, ambas series de 240 años (Tabla 1). En ambas poseen similarmente la misma ausencia de datos en la serie (Tabla 2).

La ciudad de Ginebra cuenta con un observatorio llamado Geneve-Cointr, el cual se va a denominar Ginebra. Su rango de años es desde enero de 1753 hasta diciembre de 2019, una serie de 266 años (Tabla 1). Al igual que el caso De Bilt, es una serie completa con apenas ausencia de datos (Tabla 2).

Por último, la ciudad de Viena cuenta con un observatorio llamado Wien-HoheWar, el cual se va a denominar Viena. Su rango de años es desde enero de 1775 hasta diciembre de 2019, una serie de 244 años (Tabla 1). Es la serie que menos ausencia de datos posee (Tabla 2).

3.3 Proceso de reconstrucción

Tras realizar el análisis de todos los observatorios, se ha llevado a cabo el proceso de reconstrucción de los mismos. Este proceso ha consistido en buscar un segundo observatorio que completase las series (uno para cada caso), a través del programa AnClim.

Para saber que observatorio era más idóneo a la hora de hacer la reconstrucción se ha calculado el coeficiente de correlación en AnClim entre los observatorios, se muestra en la tabla 3.

| Observatorios | COEFICIENTE DE CORRELACIÓN | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------|---------|-------|-------|------|-------|-------|--------|------------|---------|-----------|-----------|
| | Enero | Febrero | Marzo | Abril | Mayo | Junio | Julio | Agosto | Septiembre | Octubre | Noviembre | Diciembre |
| Berlín II - Berlín I | 0,98 | 0,98 | 0,97 | 0,98 | 0,96 | 0,98 | 0,97 | 0,95 | 0,96 | 0,97 | 0,96 | 0,94 |
| De Bilt - Obs 1 (Berlín) | 0,91 | 0,89 | 0,89 | 0,8 | 0,72 | 0,72 | 0,78 | 0,72 | 0,71 | 0,78 | 0,81 | 0,85 |
| Varsovia I - Varsovia II | 0,95 | 0,95 | 0,96 | 0,93 | 0,90 | 0,87 | 0,90 | 0,90 | 0,89 | 0,93 | 0,92 | 0,87 |
| Obs 1 (Berlín) - Obs 3 (Varsovia) | 0,94 | 0,93 | 0,90 | 0,85 | 0,81 | 0,76 | 0,80 | 0,80 | 0,76 | 0,85 | 0,87 | 0,87 |
| Viena - Ginebra | 0,79 | 0,78 | 0,79 | 0,72 | 0,71 | 0,66 | 0,75 | 0,73 | 0,69 | 0,65 | 0,69 | 0,76 |

Tabla 3. Coeficiente de correlación entre los observatorios. Fuente: Elaboración propia

El primer caso es el de Berlín, se ha seleccionado Berlín II para reconstruir los datos de Berlín I, ya que la serie de Berlín I está más completa pero los datos que faltan los posee Berlín II para ello se ha comprobado su correlación (tabla 3). Como se puede observar el coeficiente de correlación entre ambos observatorios es bastante alto superando el 0,9 en todos los meses de la serie.

El segundo caso es la ciudad De Bilt, es una serie bastante completa con tan apenas ausencia de datos y los que faltan son los pertenecientes a años más actuales que para el análisis final se descartaran, aun así, faltaría un único dato para completar que es el mes de octubre de 1805, para ello se ha realizado los promedios de los diez años anteriores

(de 1794-1804) y los diez años posteriores (1806-1815), con este dato se completa la serie.

Antes de continuar, cabe destacar que en la reconstrucción de Berlín I con Berlín II, han quedado algunos datos sin poder rellenar, por ello se ha comprobado la correlación entre ambas series de Berlín con De Bilt (Tabla 3). Se obtiene que todos los meses superan el 0,7 por tanto, es una buena correlación, y también destacar que en los meses más fríos de noviembre a marzo es mayor que en los meses de más calor de abril a octubre.

Con esto, por un lado, se obtiene el observatorio 1 que se corresponde con Berlín rellenado y reconstruido finalmente con Bilt y, por otro lado, el observatorio 2 que representa a De Bilt.

El tercer caso es la ciudad de Varsovia, se ha seleccionado Varsovia II para reconstruirla con Varsovia I, en este caso Varsovia II posee muchos más datos, pero los ausentes en la serie están en la serie de Varsovia I. Se obtiene muy buena correlación en todos los meses de la serie superando el 0,9 a excepción de algunos meses que se encuentran en 0,8 que aun así es alta la correlación (Tabla 3).

Con la serie de Varsovia ya rellena siguen faltando algunos datos, por ello se comprueba la correlación que pueda tener con el observatorio 1 que está completa la serie y así completarla. Se puede observar que disponen buena correlación también superando el 0,7 al igual que pasaba en casos anteriores los meses de más calor es menor que los meses más fríos (Tabla 3). Por tanto, puede completarse Varsovia rellena con el observatorio 1, obteniéndose así el observatorio 3.

El cuarto caso es el de la ciudad de Ginebra, es una serie bastante completa también, pero posee la ausencia de datos de diciembre de 1981 hasta agosto de 1983, por tanto, se ha seleccionado otra serie de años para rellenarla y construirla. En este caso se ha elegido la serie de Viena que posee los datos ausentes, pero se ha comprobado la correlación antes con los otros observatorios resultado que el observatorio de Viena es con el que más correlación tiene (Tabla 3). En este caso la correlación es menor que en casos anteriores, pero supera mayormente el 0,7 en la mayoría de meses. Por tanto, Ginebra se ha reconstruido con Viena y se obtiene así el observatorio 4.

El quinto y último caso es el de la ciudad de Viena, posee una serie bastante completa, con apenas ausencia de los mismos en los años más actuales por tanto no es necesario reconstruirla, sino que con los promedios se obtiene el dato en el caso de que no se eliminen dichos años para el análisis. Esta última serie de Viena se corresponde con el observatorio 5.

Con el proceso de reconstrucción se han obtenido los observatorios finales, que se analizan en este trabajo. El intervalo de años común elegido para ello es de 1780 a 2016.

3.4 Análisis temporal: ventanas móviles

En cada observatorio se ha procedido a calcular los promedios anuales de temperatura empleando la secuencia de diciembre a noviembre como se realiza en estudios climáticos.

El signo y significación de la tendencia de cada serie se calculó por medio de la prueba no paramétrica de Mann-Kendall (Yue et al., 2001) y su magnitud o tasa con el estimador no paramétrico de Theil-Sen (Sen, 1968). Los cálculos se realizaron con rutinas del programa R¹ empleando ventanas móviles entre 10 y 236 años.

En cada una de las ventanas, que expresan una duración temporal en años, se calcularon:

1. La señal de la tendencia, entendida como el promedio de las tasas en cada ventana; por ejemplo, en la ventana de 10 años la señal es el promedio de las tasas de todas las ventanas comprendidas entre 1780-1789 y la ventana 2007- 2016.
2. El rango absoluto, como diferencia en cada ventana temporal entre la tasa más alta y baja.
3. La frecuencia de periodos con tendencias positivas y negativas en cada intervalo de ventanas.
4. La relación señal/ruido, definida como el cociente entre el promedio de las tasas de tendencia calculadas por el estadístico de Sen y el ruido. El cálculo del ruido, es decir, la incertidumbre en la estimación de la tendencia, siguió el enfoque de Santer et al. (2011), explicado por Rapp (2014, pp. 194 y siguientes, y 439 y siguientes). Para cada ventana de tiempo, el rango absoluto de todas las magnitudes de tendencia obtenidas se multiplicó por 0,70. El valor de 0,70 surge del supuesto de Santer et al. (2011) que las tasas de tendencia siguen una distribución normal en cualquier ventana temporal dada, de modo que un rango del 70% incluiría el 95% de los casos.

¹ Rutinas proporcionadas por Dhais Peña Angulo profesora ayudante de doctor del departamento de Geografía y Ordenación del Territorio de la universidad de Zaragoza.

4. RESULTADOS

4.1 Las series de temperatura media anuales, 1780 a 2016

La evolución de las temperaturas medias en cada observatorio analizado se muestra en la figura 2. En el caso de CET, De Bilt y Ginebra se distribuyen sus temperaturas entre 7,5°C y 12°C, en Berlín entre 7,5°C y 11°C, en Varsovia entre 5,5°C y 10°C, y, por último, Viena entre los 7,7°C y 12°C. A excepción de Varsovia, que es el observatorio más frío, y de CET que su distribución es más homogénea, las temperaturas se distribuyen similarmente con mayor variabilidad en las primeras décadas hasta 1840 y un claro aumento desde 1960 hasta la actualidad en todos los casos.

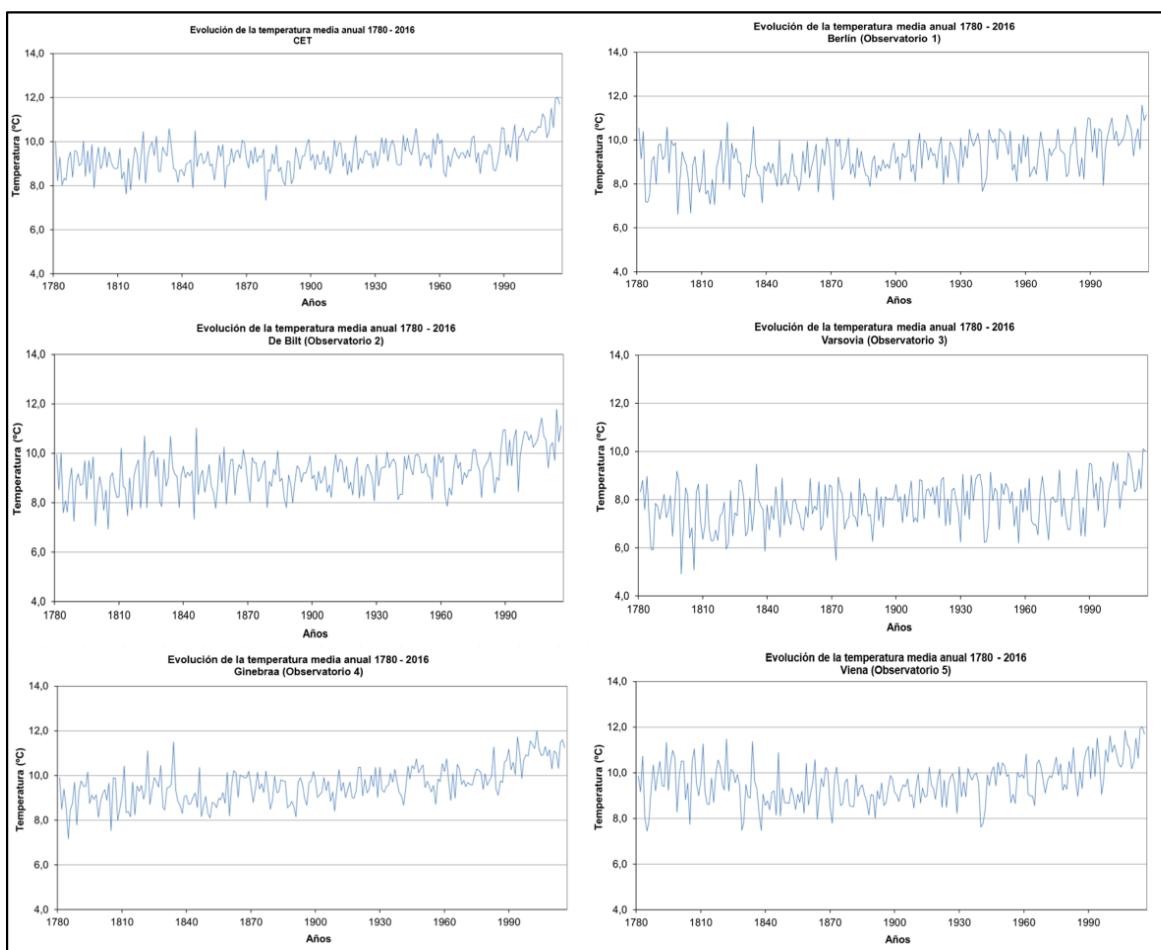


Figura 2. Evolución de la temperatura media anual de cada observatorio (1780-2016).

Fuente: Elaboración propia

Se observa un patrón global, el cual expresa de manera muy clara que en la mayoría de los casos el aumento de las temperaturas es evidente, siendo las últimas décadas del periodo (desde 1980) en las que se observa que el valor de temperatura es el más elevado de la serie. Los observatorios se comportan de manera similar y en todos se observa una

mayor variabilidad entre años que la serie CET empleada como referencia. Cabe resaltar que la variabilidad más alta se localiza en todos ellos en los primeros años desde 1780 hasta 1850, y que como se puede observar se reduce desde 1860. En su conjunto, las series parecen sugerir una señal positiva de tendencia de largo plazo con periodos sucesivos de aumento y disminución de temperaturas.

La temperatura media anual en los observatorios ha aumentado entre 1780 y 2016, en Berlín 1,9 °C, en De Bilt 1,5°C, en Varsovia 1,8 °C, en Ginebra 1,9 °C, en Viena 2,2°C y en CET 1,6 °C, en 236 años. En la figura 3 se representan los promedios anuales ya conocidos convertidos a anomalías con el objetivo de identificar si alguna de las series presenta un comportamiento marcadamente diferente del conjunto. Las series convertidas a la “misma unidad” de cuenta siguen el mismo patrón desde el año 1850 con variabilidad menor como se ha comentado anteriormente en la figura 2, y siguen el mismo modelo de aumento en todos los casos, siendo más evidente desde el año 1960 en todos los observatorios.

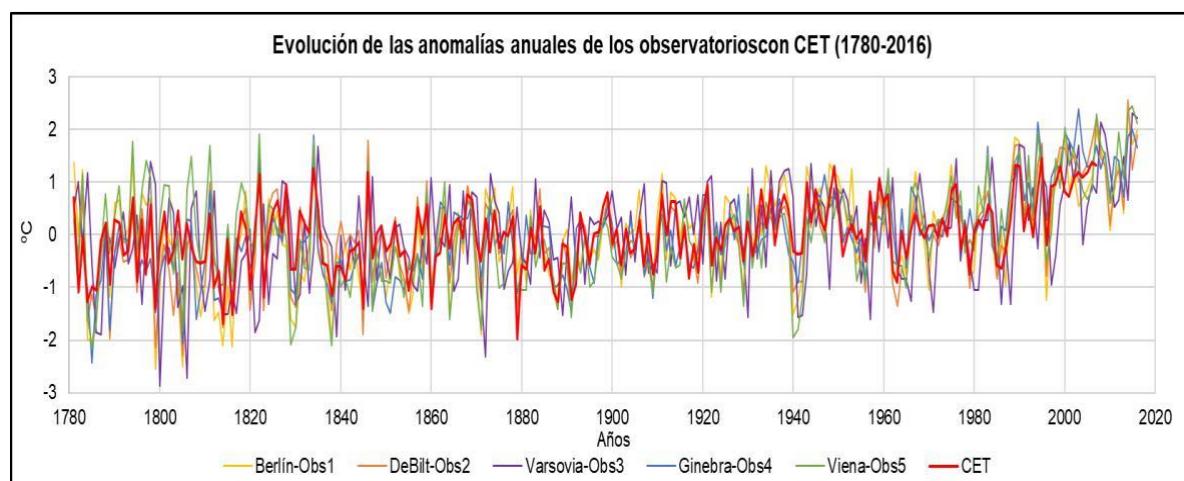


Figura 3. Evolución de las anomalías anuales de los observatorios (1780-2016).

Fuente: Elaboración propia

4.2 Análisis de tendencias, 1780 a 2016

Los resultados generales del análisis de tendencias en ventanas móviles seleccionadas se representan en la tabla 4. Si bien insistimos que el análisis se ha realizado con la secuencia completa de ventanas móviles desde 10 años a 236 años.

La tabla incluye la duración de las ventanas seleccionadas, el promedio de las tasas de tendencia, los valores máximos y mínimos de dichas tasas, el rango absoluto, la relación señal/ruido (S/N) y el número de períodos que se analiza en cada ventana según su duración en años.

| LONGITUD DE LAS VENTANAS EN AÑOS OBSERVATORIO 1 (BERLÍN) | | | | | | | | | | |
|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|--------|
| | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 |
| Media | 0,060 | 0,043 | 0,060 | 0,063 | 0,069 | 0,072 | 0,071 | 0,069 | 0,066 | 0,065 |
| Maximos | 2,833 | 0,539 | 0,304 | 0,173 | 0,116 | 0,114 | 0,097 | 0,089 | 0,081 | 0,071 |
| Minimos | -2,222 | -0,961 | -0,173 | -0,103 | 0,011 | 0,020 | 0,041 | 0,052 | 0,046 | 0,058 |
| Rango | 5,056 | 1,500 | 0,477 | 0,276 | 0,105 | 0,093 | 0,056 | 0,036 | 0,035 | 0,014 |
| Señal/ruido | 0,017 | 0,041 | 0,179 | 0,328 | 0,943 | 1,105 | 1,806 | 2,740 | 2,676 | 6,811 |
| N | 227 | 212 | 187 | 162 | 137 | 112 | 87 | 62 | 37 | 12 |
| LONGITUD DE LAS VENTANAS EN AÑOS OBSERVATORIO 2 (DE BILT) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 |
| Media | 0,091 | 0,076 | 0,066 | 0,046 | 0,041 | 0,038 | 0,036 | 0,037 | 0,042 | 0,054 |
| Maximos | 1,938 | 0,667 | 0,406 | 0,227 | 0,159 | 0,119 | 0,089 | 0,075 | 0,059 | 0,058 |
| Minimos | -1,806 | -0,472 | -0,111 | -0,041 | -0,021 | -0,001 | 0,011 | 0,022 | 0,028 | 0,046 |
| Rango | 3,743 | 1,139 | 0,517 | 0,268 | 0,180 | 0,120 | 0,077 | 0,053 | 0,031 | 0,012 |
| Señal/ruido | 0,035 | 0,096 | 0,183 | 0,246 | 0,325 | 0,447 | 0,667 | 1,004 | 1,924 | 6,384 |
| N | 227 | 212 | 187 | 162 | 137 | 112 | 87 | 62 | 37 | 12 |
| LONGITUD DE LAS VENTANAS EN AÑOS OBSERVATORIO 3 (VARSOVIA) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 |
| Media | 0,039 | 0,038 | 0,048 | 0,042 | 0,042 | 0,045 | 0,045 | 0,042 | 0,043 | 0,048 |
| Maximos | 1,833 | 0,648 | 0,337 | 0,201 | 0,094 | 0,087 | 0,077 | 0,059 | 0,059 | 0,056 |
| Minimos | -1,729 | -0,500 | -0,199 | -0,083 | -0,022 | -0,003 | 0,021 | 0,026 | 0,029 | 0,039 |
| Rango | 3,562 | 1,148 | 0,536 | 0,284 | 0,116 | 0,090 | 0,057 | 0,033 | 0,031 | 0,017 |
| Señal/ruido | 0,016 | 0,048 | 0,128 | 0,210 | 0,513 | 0,723 | 1,135 | 1,826 | 2,017 | 4,006 |
| N | 227 | 212 | 187 | 162 | 137 | 112 | 87 | 62 | 37 | 12 |
| LONGITUD DE LAS VENTANAS EN AÑOS OBSERVATORIO 4 (GINEBRA) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 |
| Media | 0,127 | 0,087 | 0,071 | 0,065 | 0,064 | 0,062 | 0,062 | 0,064 | 0,064 | 0,072 |
| Maximos | 1,875 | 0,780 | 0,359 | 0,219 | 0,167 | 0,139 | 0,109 | 0,106 | 0,086 | 0,077 |
| Minimos | -1,667 | -0,472 | -0,145 | -0,034 | 0,013 | 0,024 | 0,034 | 0,045 | 0,046 | 0,066 |
| Rango | 3,542 | 1,253 | 0,504 | 0,253 | 0,154 | 0,115 | 0,075 | 0,061 | 0,041 | 0,011 |
| Señal/ruido | 0,051 | 0,100 | 0,200 | 0,365 | 0,599 | 0,771 | 1,180 | 1,481 | 2,246 | 9,095 |
| N | 227 | 212 | 187 | 162 | 137 | 112 | 87 | 62 | 37 | 12 |
| LONGITUD DE LAS VENTANAS EN AÑOS OBSERVATORIO 5 (VIENA) | | | | | | | | | | |
| | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 |
| Media | 0,105 | 0,047 | 0,036 | 0,040 | 0,046 | 0,048 | 0,048 | 0,048 | 0,044 | 0,047 |
| Maximos | 2,917 | 0,573 | 0,333 | 0,252 | 0,172 | 0,157 | 0,127 | 0,112 | 0,084 | 0,057 |
| Minimos | -1,967 | -0,708 | -0,295 | -0,182 | -0,091 | -0,062 | -0,026 | -0,003 | 0,014 | 0,038 |
| Rango | 4,883 | 1,281 | 0,628 | 0,435 | 0,263 | 0,218 | 0,153 | 0,115 | 0,070 | 0,018 |
| Señal/ruido | 0,031 | 0,052 | 0,083 | 0,130 | 0,252 | 0,317 | 0,449 | 0,594 | 0,914 | 3,650 |
| N | 227 | 212 | 187 | 162 | 137 | 112 | 87 | 62 | 37 | 12 |
| LONGITUD DE LAS VENTANAS EN AÑOS CET | | | | | | | | | | |
| | 10 | 25 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 |
| Media | 0,072 | 0,061 | 0,047 | 0,036 | 0,035 | 0,037 | 0,036 | 0,036 | 0,036 | 0,041 |
| Maximos | 1,750 | 0,500 | 0,270 | 0,125 | 0,094 | 0,086 | 0,067 | 0,059 | 0,049 | 0,043 |
| Minimos | -1,600 | -0,448 | -0,089 | -0,054 | -0,007 | 0,004 | 0,016 | 0,025 | 0,023 | 0,038 |
| Rango | 3,350 | 0,948 | 0,359 | 0,179 | 0,101 | 0,082 | 0,051 | 0,034 | 0,026 | 0,005 |
| Señal/ruido | 0,031 | 0,092 | 0,188 | 0,286 | 0,496 | 0,638 | 1,000 | 1,504 | 1,940 | 11,297 |
| N | 227 | 212 | 187 | 162 | 137 | 112 | 87 | 62 | 37 | 12 |

Tabla 4. Tasas tendenciales de la longitud de las ventanas temporales de cada observatorio. Fuente: Elaboración propia.

4.2.1 La variación del promedio y el rango

La variación del promedio y el rango absoluto para todas las longitudes de ventana de tiempo seleccionadas se muestra en la figura 4. En los seis observatorios la tendencia del promedio varía según la duración del periodo seleccionado, pero la relación no es homogénea en ellos ni en todos los periodos ni en todos los casos. En general tienen en común que el promedio en las ventanas de menor duración suele ser más elevado (salvo en Berlín y Varsovia), descendiendo a medida que aumenta la longitud de dichas ventanas que se va estabilizando en torno a 75-100 de longitud de las ventanas, aumentando en ocasiones cuando los períodos superan 125 años.

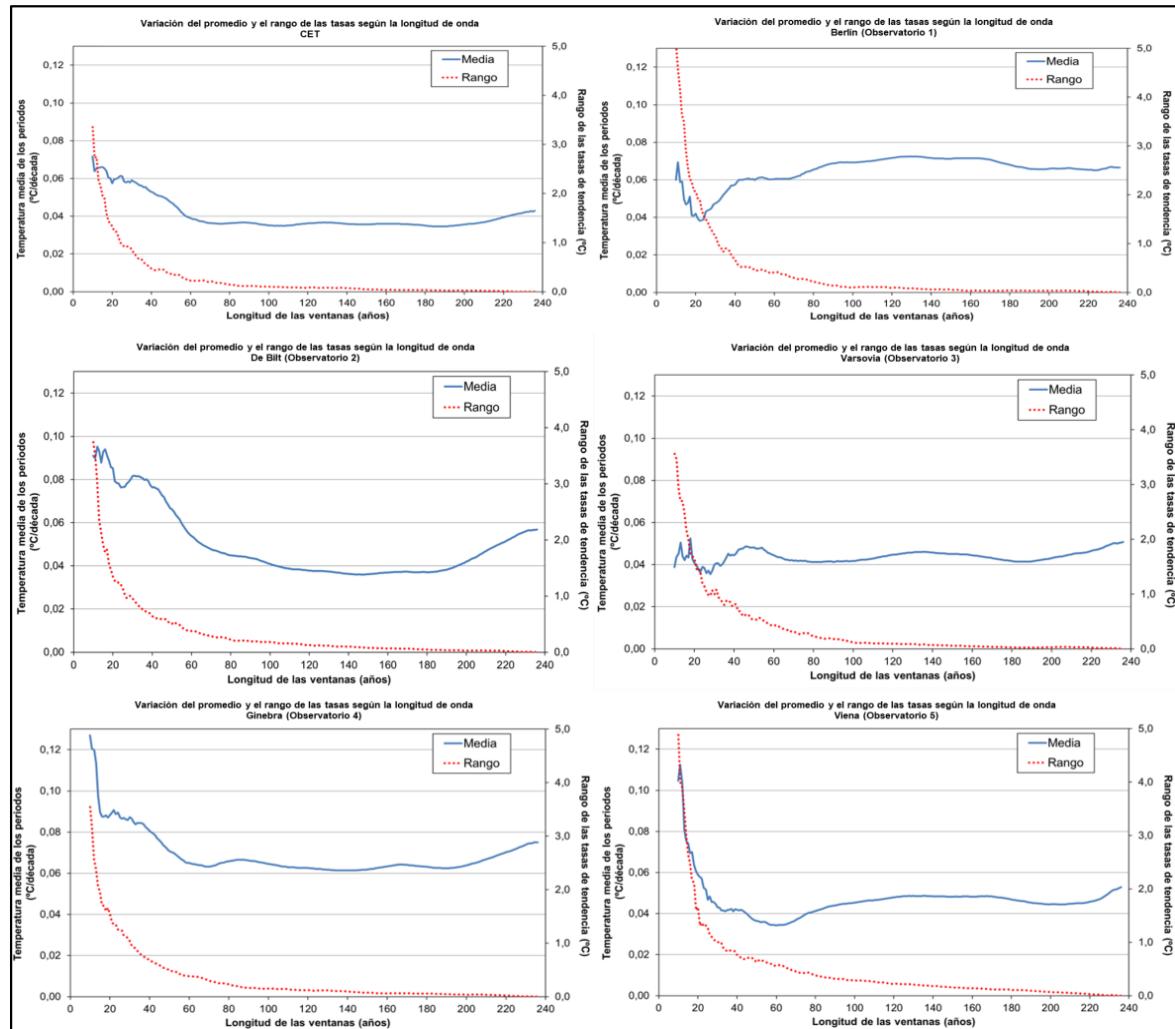


Figura 4. Variación del promedio y el rango de las tasas según la longitud de onda de cada observatorio. Fuente: Elaboración propia.

En CET, se observa que el descenso se produce desde la ventana de 10 años hasta la ventana de 60 años que ya es más homogénea en todo el periodo y a partir de la ventana de 200 años aumenta, en Berlín también se observa un descenso desde la ventana de 10 años hasta la de 22 años, en la cual comienza un aumento en la ventana de 40 años y a partir de la de 80 años se estabiliza. En el caso de De Bilt, en las primeras 10 ventanas

sufre aumentos y descensos hasta la ventana de 100 años donde se estabiliza y a partir de la ventana 190 años vuelve aumentar.

Al igual que en De Bilt, en Varsovia también sufre las primeras ventanas aumentos y descensos hasta la ventana de 70 años donde ya está más estabilizada en todo el periodo. Por último, Ginebra y Viena, en el caso de Ginebra se produce un gran descenso hasta la ventana de 20 años, desde la cual se dan pequeños aumentos y descensos y a partir de la venta de 80 años se estabiliza; y Viena al igual que Ginebra sufre un gran periodo de descensos con algunos aumentos hasta la ventana de 80 años que también se estabiliza en todas las longitudes.

Por otro lado, el rango absoluto de las tasas de tendencia es inversamente proporcional a la duración de ventana de años que se elija, disminuye exponencialmente a medida que aumenta la duración de las ventanas temporales. Como se observa en la figura 4, en todos los casos desciende y a partir de la ventana de 100 años ya se estabiliza, a excepción de Viena que logra dicha estabilidad con periodos en torno a la venta de 180 años

4.2.2 Frecuencia de las tendencias

A lo largo de todas las series, la secuencia de los períodos con tendencias positivas y negativas varían en función de la duración de las longitudes de las ventanas de años (figura 5) si bien en períodos superiores a 80 años predominan las tendencias positivas excepto en Viena.

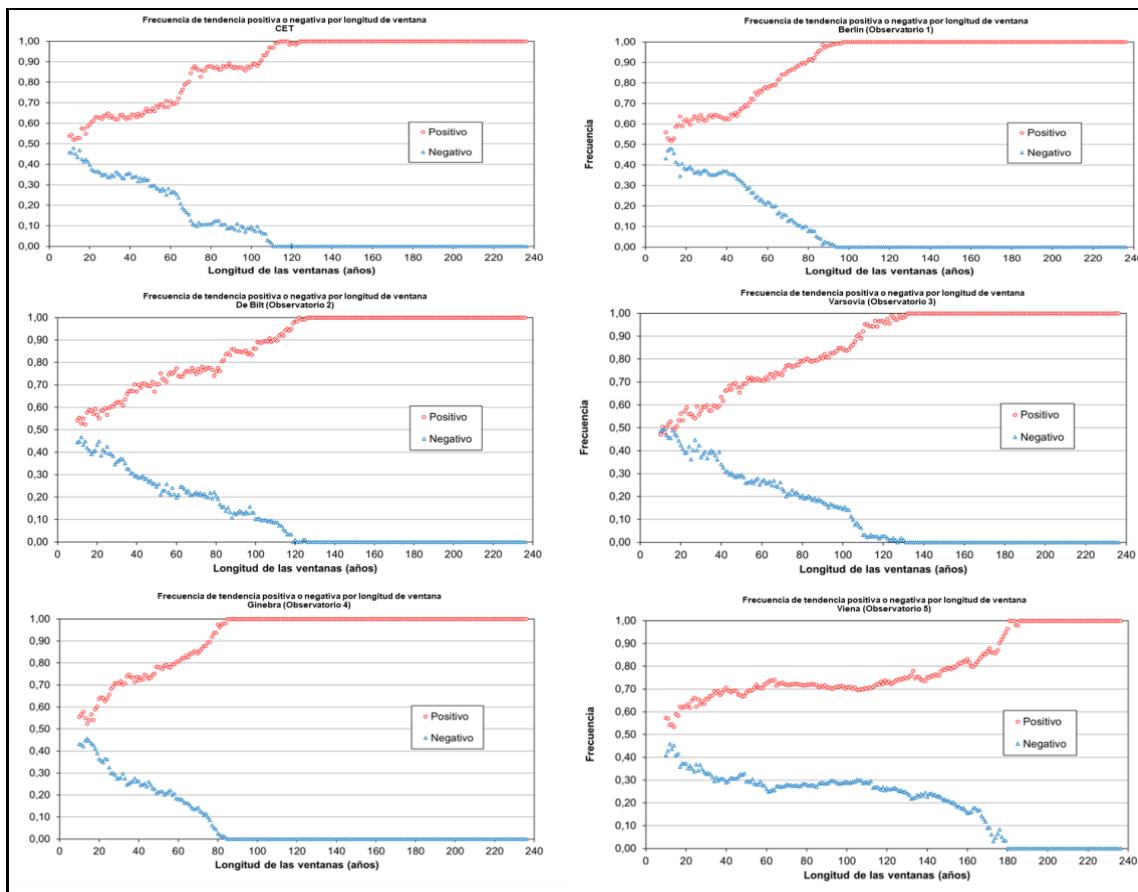


Figura 5. Frecuencia de tendencias positivas y negativas por longitud de ventana de año en los observatorios. Fuente: Elaboración propia.

La proporción de tasas positivas y negativas es superior al 50% en todos los observatorios a excepción de Varsovia que es un 45%. Las tendencias positivas predominan para todas las longitudes de ventanas de años.

Para conseguir que sean tendencias positivas al 100%, en el caso de CET se consiguen a partir de la ventana de 110 años, en Berlín ventanas de 96 años, en De Bilt ventanas de 128 años, en Varsovia ventanas de 130 años, en Ginebra ventanas de 84 años y en Viena ventanas de 180 años.

4.2.3 Variación de la relación señal/ruido (S/N)

La variación de la relación señal/ruido (S/N) en función de la longitud de la ventana se observa en la figura 6. La figura incluye también la variación del rango para completar la información que permite su mejor interpretación. En general en los seis casos los valores bajos de señal/ruido coinciden con un ruido muy elevado y se corresponden con períodos (ventanas temporales) de corta duración. Este conjunto de figuras sugiere que las tendencias calculadas en períodos de corta duración están asociadas a valores bajos de señal/ruido y por tanto sus tendencias son de baja fiabilidad por poder ser muy variables y contrastadas, y a la inversa la tendencia se vuelve más fiable a medida que aumenta la longitud del periodo.

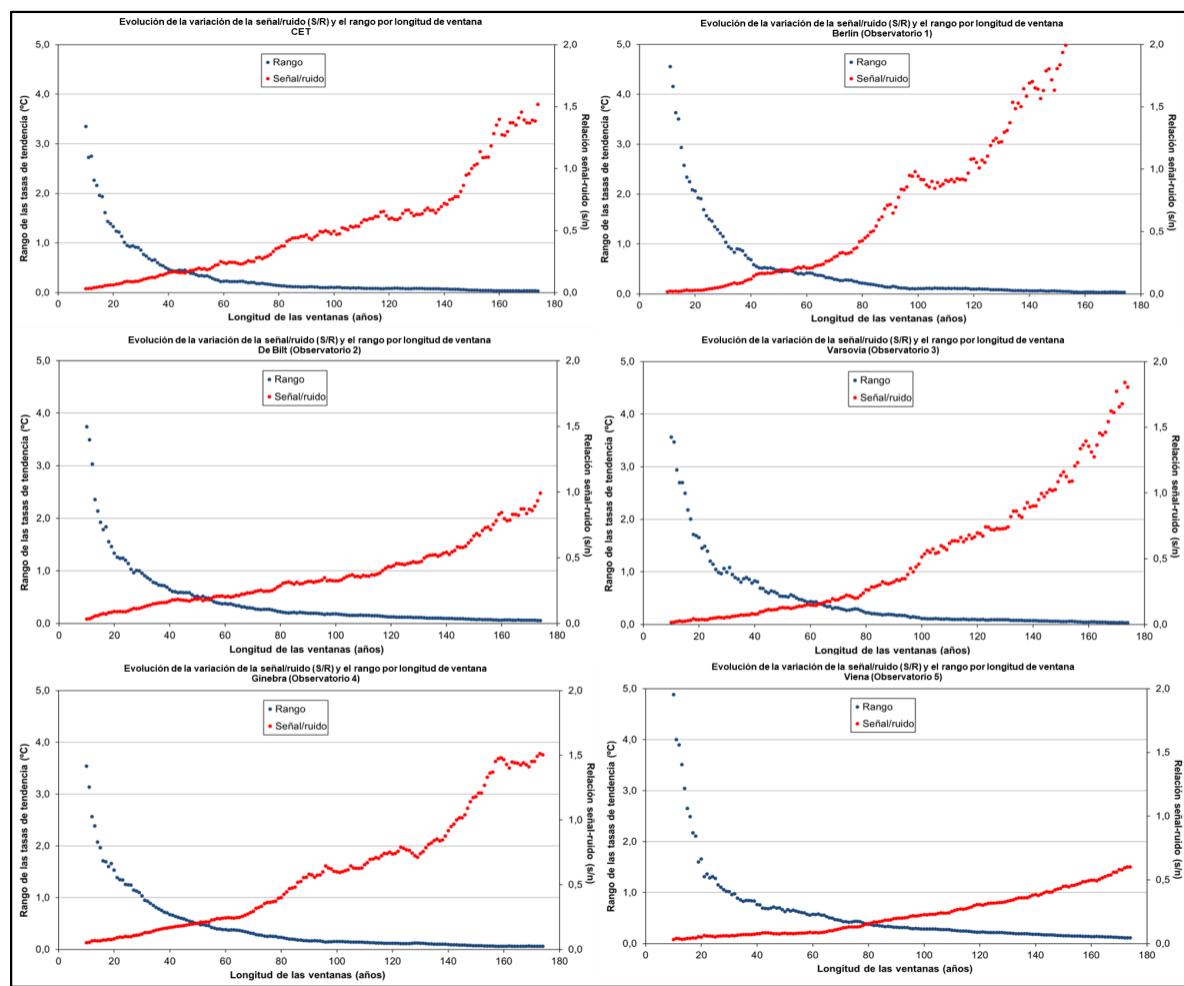


Figura 6. Evolución de la variación de la señal/ruido (S/R) y el rango por longitud de onda en los observatorios y CET. Fuente: Elaboración propia.

Señalamos que el valor del cociente señal/ruido 1 significa que la magnitud del ruido es equivalente a la señal, por ello cuanto mayor sea el cociente de dicha relación no indicará que el valor de la señal o tendencia supera la variabilidad que el ruido podría introducir. Este valor lo superan CET, Berlín, Varsovia y Ginebra en diferentes ventanas, mientras De Bilt y Viena no lo consiguen.

En la serie de CET, se necesitan ventanas de 152 años para superar el valor 1, en Berlín ventanas de 120 años, en De Bilt aproximadamente ventanas superiores a ventanas de 173 años, en Varsovia ventanas de 145 años, en Ginebra ventanas de 142 años y en Viena se necesitarían ventanas de más de 200 años aproximadamente ya que no llega a alcanzarlo en el periodo analizado.

Estos resultados sugieren que el ruido en todos los casos es bastante elevado, y demuestran que se necesitan periodos muy largos de más de 200 años aproximadamente para que el ruido pueda considerarse bajo.

La evolución de la señal/ruido de los observatorios para poder realizar una comparación visual general, se observa en la figura 7.

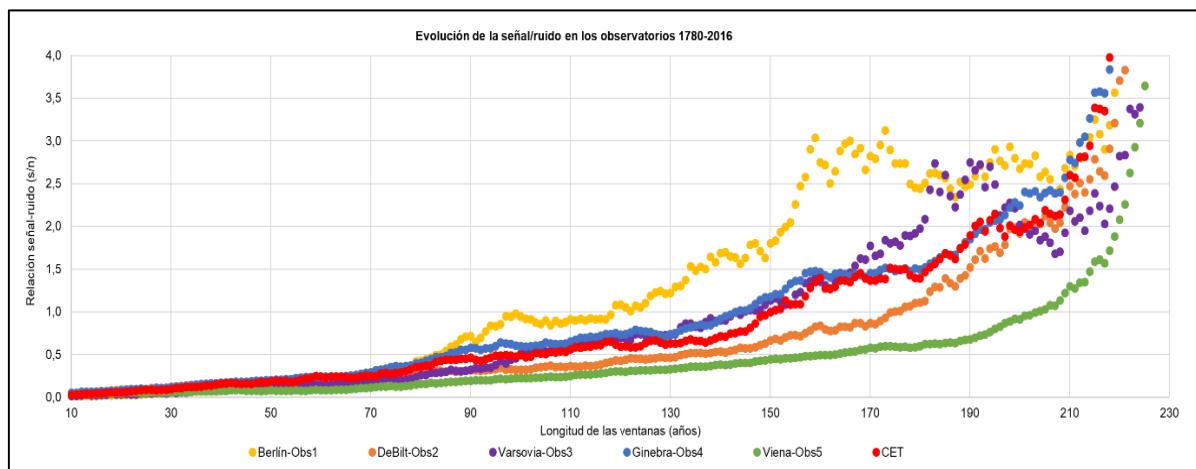


Figura 7. Evolución de la señal/ruido de los periodos en los observatorios.

Fuente: Elaboración propia.

4.2.4 El efecto de la longitud de las ventanas en las tasas

La evolución de la tasa tendencial para las ventanas móviles de diferente duración se puede observar en la figura 8. Utilizando cinco longitudes de ventana seleccionadas, siendo estas las de 10, 25, 50, 100 y 150 años, permitiendo comparar ventanas móviles de diferentes duraciones compartiendo el mismo año de inicio. Las líneas azules (1,96) y rojas (-1,96) muestran el límite que si los valores lo superan se consideran significativos según la prueba de Mann-Kendall.

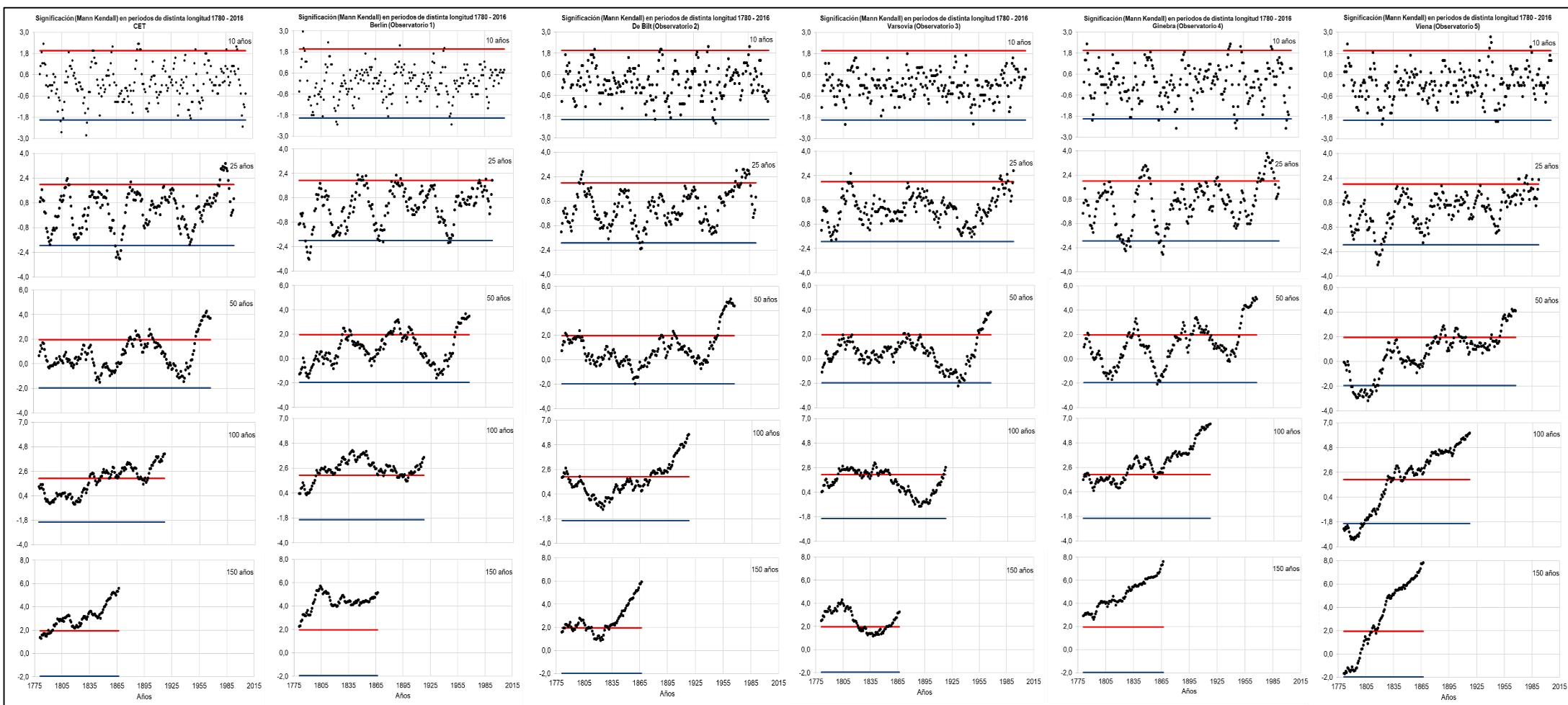


Figura 8. Evolución de la significación de la tasa de tendencial para las ventanas móviles en diferentes duraciones (1780 – 2016).

Fuente: Elaboración propia.

De manera general, la variabilidad de las tasas en el tiempo disminuye en todos los casos a medida que aumentan las longitudes de ventana. En las ventanas de 10 años, la tendencia posee mucho ruido y representa cambios muy rápidos entre valores positivos y negativos, que en su mayoría no son significativos. En las ventanas de 25 años, la variabilidad sigue siendo alta, todavía no se representa un patrón que guie en los períodos con tendencias positivas y negativas.

En ventanas de 50 años se producen aumentos y descensos que normalmente no superan el umbral de significación; no obstante, alcanzan valores significativos positivos como, por ejemplo, en CET las ventanas que comienzan entre 1875 - 1900 y a partir de 1953, en Berlín entre 1830 - 1902, en De Bilt en 1782, 1802 y a partir de 1950, en Varsovia a partir de 1953, en Ginebra 1782, entre 1830 - 1838, 1885 – 1910 y a partir de 1953, y por último Viena, entre 1890 – 1892, 1897 – 1899 y a partir de 1953. Por otro lado, también destaca en algunos casos los valores significativos negativos, como por ejemplo en Varsovia en 1927, en Ginebra en 1861 y en Viena de 1780 a 1820.

Las longitudes de ventanas más largas permiten detectar con más claridad una señal a largo plazo de calentamiento expresada por la secuencia de tasas positivas con una alta frecuencia de períodos con significación estadística.

En ventanas de mayor duración, 100 años en todos los observatorios se detecta una tendencia con significación positiva, concretamente en CET desde 1845 - 1892, y desde 1896 hasta la actualidad, en Berlín prácticamente desde 1800 con algunas excepciones en el periodo de 1890 – 1897, en De Bilt desde 1875, en Varsovia el periodo de 1795 – 1855, 1918 y 1919, en Ginebra a partir de 1828 hasta la actualidad a excepción de 1861 y 1862 y, por último, Viena a partir de 1825 hasta la actualidad, a excepción de 1840 y 1841. Destacar que en Viena también hay que resaltar años con significación negativa, siendo estos el periodo de 1780 a 1804. Por último, los períodos de mayor duración analizados en ventanas de 150 años presentan tendencias positivas y significativas en su totalidad Berlín y Ginebra, CET a partir de 1795, Viena a partir de 1808, De Bilt a partir de 1830 y Varsovia a excepción del periodo de 1827 a 1860.

El análisis previo demuestra que en los observatorios analizados que representan las condiciones de gran parte de la Europa occidental atlántica el aumento de las temperaturas observado en las décadas recientes debe contemplarse en un contexto secular de incremento de las mismas que se puede relacionar con la salida del periodo conocido como Pequeña Edad de Hielo. Del mismo modo los resultados indican que las tasas de períodos inferiores a 50 años son muy variables. La tasa más alta se logra en los últimos cien años, pero la tasa de los últimos 50 años no es la más alta.

4.2.5 La evolución global de las tendencias

El análisis previo se ha centrado en el estudio de la magnitud de las tendencias y su significación estadística en determinadas ventanas, pero es evidente que hay muchos otros períodos en los que se pueden haber producido cambios que analizaremos en este apartado final por medio de los resultados de la prueba de Mann-Kendall aplicados a la serie de ventanas desde 10 años al período completo.

El signo y significación de las tendencias de la totalidad de las ventanas móviles del período global se muestra en la figura 9, donde se representa en colores cálidos los valores positivos y fríos los negativos; los períodos con significación estadística al 5% se representan en rojo y azul respectivamente (tendencia positiva/negativa). El eje horizontal representa el año de inicio de la ventana, y el vertical la duración de la misma.

En general, las temperaturas de los observatorios tienden a ser significativas y positivas a partir de ventanas superiores a 50 años y por encima de 110 años en todos los casos la tendencia es positiva y significativa; en ventanas inferiores a los 100 años se detecta gran variabilidad, ya que dependiendo del período y de la ventana que se seleccione puede tener una tendencia positiva o negativa con valores significativos o no significativos aunque predominan en general los negativos salvo Viena y en menor medida Varsovia en la primera parte del período. Es relevante mencionar, que en todos los observatorios a partir del año 1980 sus tendencias ya no son significativas. Obsérvese en la figura 8 el ejemplo de cinco ventanas seleccionadas con los comentarios previos.

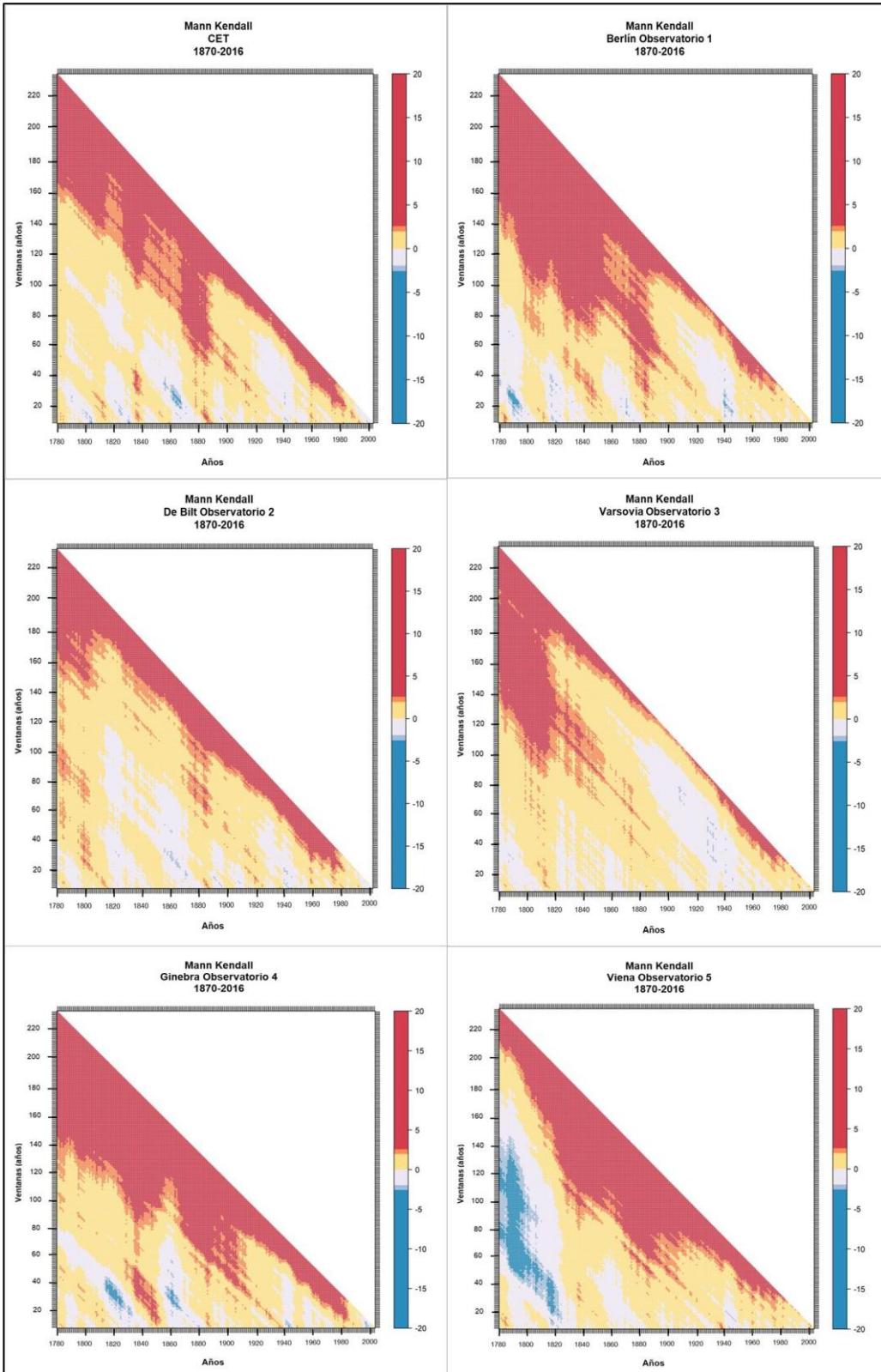


Figura 9. Significación de las tendencias (Mann-Kendall) de los observatorios.

Fuente: Elaboración propia.

En el caso de Berlín hasta el año 1900 y Ginebra hasta el año 1910, han mantenido un crecimiento significativo más prolongado en el tiempo. En Viena, ha tenido lugar un fuerte y significativo incremento en la temperatura media, a partir de 1830 hasta 1910,

pero cabe destacar que hasta el año 1825 sus valores poseían tendencias negativas y significativas. Por otro lado, CET tiene mayor tendencia positiva y significativa entre 1870 y 1890 y, por último, De Bilt y Varsovia, donde las tendencias positivas y significativas son menores en comparación al resto de observatorios, De Bilt tiene mayor tendencia positiva entre 1780 y 1810 y Varsovia entre 1800 y 1820.

Debido a las diferencias que se observan en el periodo global, hemos decidido analizar las dos mitades del mismo para comprobar si los resultados pueden diferir acorde el periodo elegido, es decir si el periodo de años civiles analizados afecta las tasas.

4.3 Primer periodo 1780 a 1893: Las series de temperatura media anual

La evolución de las temperaturas medias en cada observatorio analizado se muestra en la figura 10. En todos los casos tienden a distribuirse las temperaturas de manera general entre los 7°C y 11°C, a excepción de Varsovia entre los 5°C y 9,8°C. La distribución de CET es más homogénea, las temperaturas se distribuyen similarmente con mayor variabilidad.

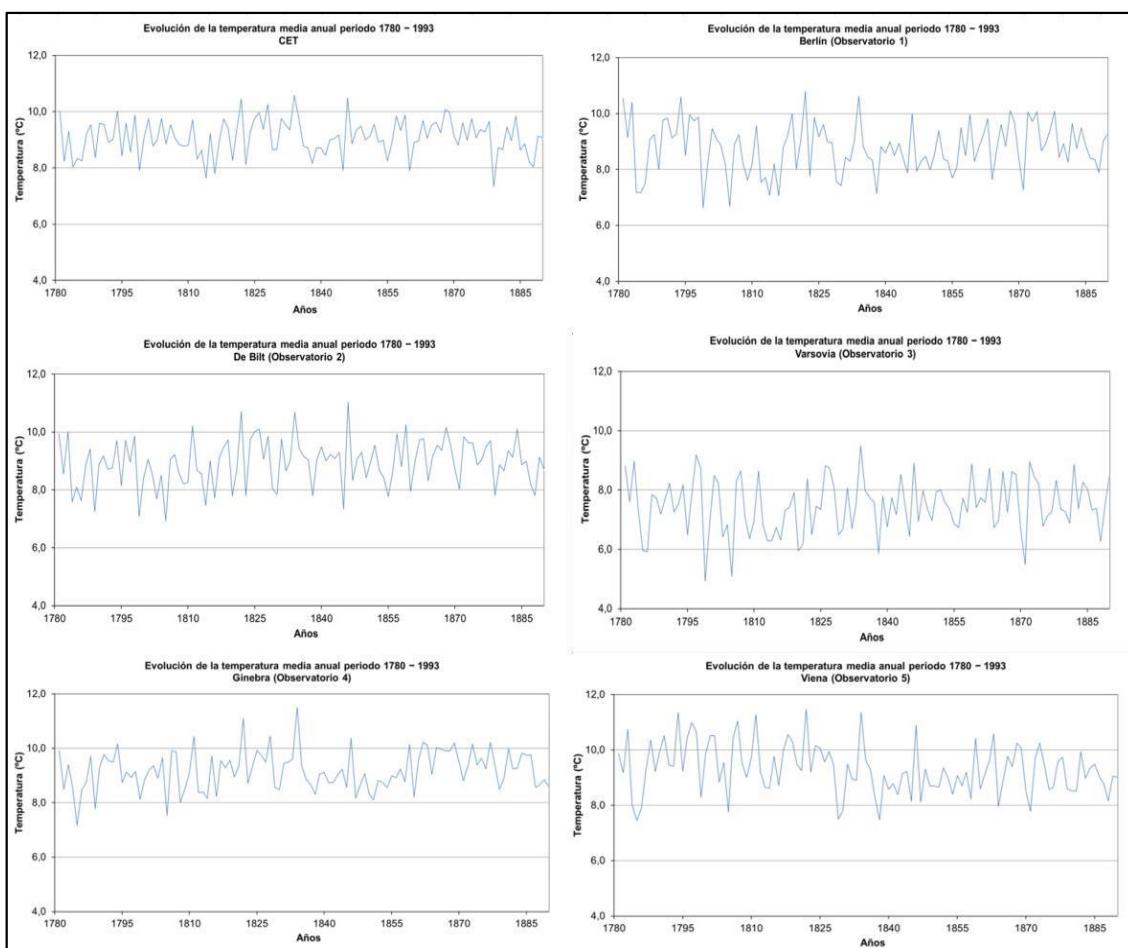


Figura 10. Evolución de la temperatura media anual de cada observatorio (1780-1893).

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un patrón global, el cual expresa que hay una gran variabilidad de temperaturas (secuencia de aumentos y descensos) en este periodo. Aunque los observatorios se comportan de manera similar son todos más variables que la serie CET de referencia, cabe destacar que los primeros años desde 1780 hasta 1850 hay mayor variabilidad en todos ellos que en el resto del periodo, que como se puede observar se suaviza desde 1850.

Por otro lado, los promedios anuales ya conocidos convertidos a anomalías se muestran en la figura 11 con el objetivo de identificar si alguna de las series presenta un comportamiento marcadamente diferente del conjunto. Como se representan las series convertidas a la “misma unidad” de cuenta, siguen el mismo patrón con variabilidad menor.

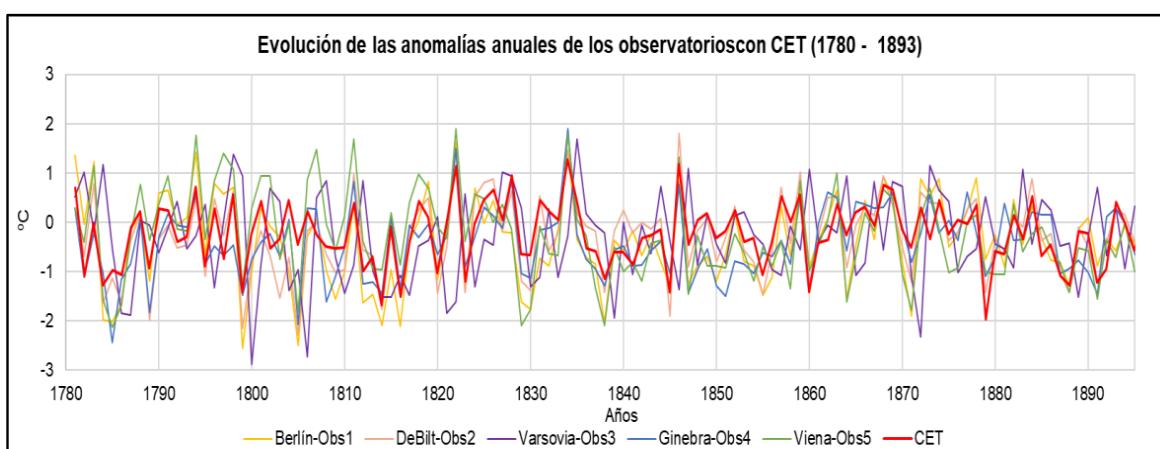


Figura 11. Evolución de las anomalías anuales de los observatorios (1780-1893).

Fuente: Elaboración propia

4.4 Análisis de tendencias periodo 1780 a 1893

4.4.1 La variación del promedio y el rango, 1780 a 1893

La variación del promedio y el rango absoluto para todas las longitudes de ventana de tiempo seleccionadas, se muestra en la figura 12. En los seis casos la tendencia del promedio varía según la duración del periodo seleccionado, pero la relación no es homogénea en todos los periodos ni en todos los casos. Poseen en común que el promedio en las primeras ventanas se caracteriza por valores inferiores de sus tasas que aumentan al aumentar la longitud de la ventana hasta estabilizarse.

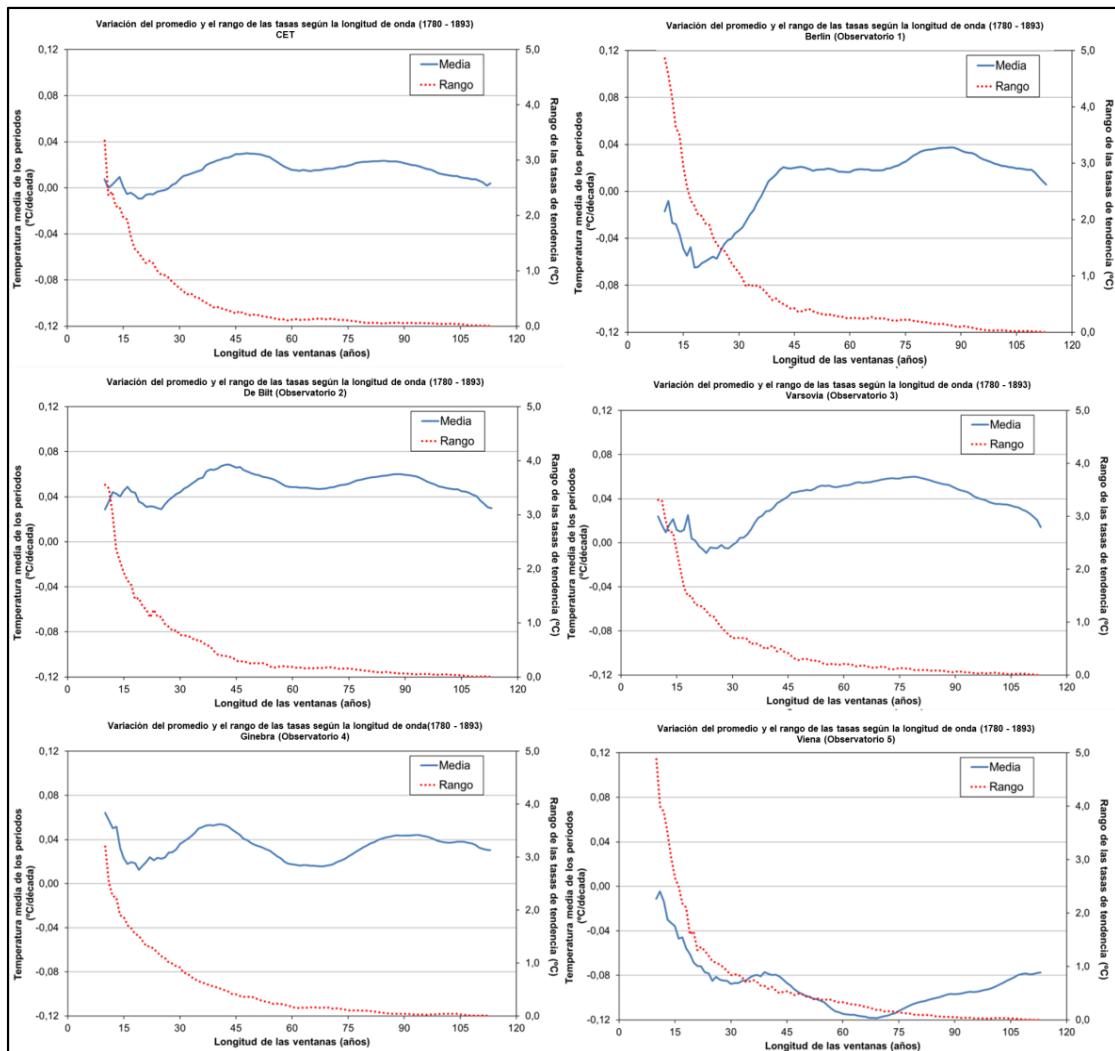


Figura 12. Variación del promedio y el rango de las tasas según la longitud de onda de cada observatorio (1780-1893). Fuente: Elaboración propia.

En CET, se observa una secuencia de descenso y aumentos de poca magnitud desde la ventana de 10 años hasta la ventana de 20 años que ya son más homogéneos dichos descensos y aumentos en todo el periodo, en Berlín también se observa un descenso desde la ventana de 10 años hasta la de 17 años, comienza un aumento en la ventana de 18 años y a partir de la de ventana de 42 años se estabiliza hasta la de 73 años que vuelve esa secuencia de ascensos y descensos.

En el caso de De Bilt, en la ventana 10 años hasta la de 25 años sufre aumentos y descensos más marcados y a partir de la ventana de 30 años se siguen produciendo, pero más extendidos y suavizados. Al igual que en De Bilt, en Varsovia también sufre las primeras ventanas aumentos y descensos hasta la ventana de 30 años donde se produce un gran ascenso a lo largo del resto de longitudes hasta la ventana de los 80 años que comienza a disminuir.

En Ginebra, las primeras ventanas hasta la ventana de 25 años es una secuencia en descenso que también tiene los ascensos y descensos marcados en las primeras ventanas y siguen el mismo modelo posterior a la ventana de 26 años como en los casos anteriores de ascensos y descensos. Por último, en Viena es la secuencia más diferente con valores negativos, representa un gran descenso hasta la ventana de 70 años donde ya comienza a ascender, pero continúa siendo negativa. Por otro lado, el rango absoluto de las tasas de tendencial es inversamente proporcional a la duración de ventana de años que se elija, disminuye exponencialmente a medida que aumenta la duración de las ventanas temporales.

4.4.2 Frecuencia de las tendencias, 1780 a 1893

A lo largo de todas las series, la secuencia de los períodos con tendencias positivas y negativas varían en función de la duración de las longitudes de las ventanas de años. A continuación, en la figura 13 se representa la proporción de ventanas con tendencias positivas y negativas para cada ventana entre 10 y 113 años.

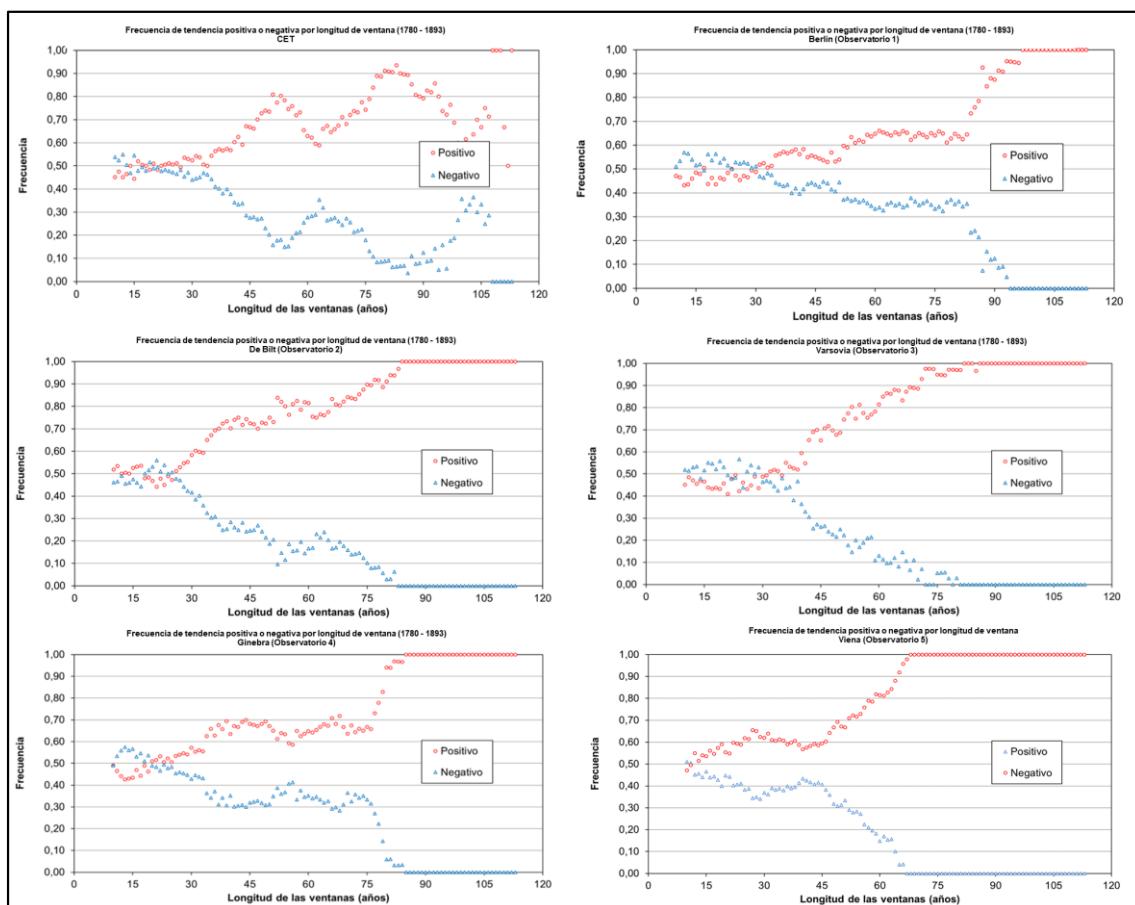


Figura 13. Frecuencia de tendencias positivas y negativas por longitud de ventana de año en los observatorios (1780-1893). Fuente: Elaboración propia

La proporción de tasas positivas y negativas es superior al 40% en todos los observatorios. Si bien las tendencias positivas acaban predominando para todas las

longitudes de ventanas de años. Las tendencias positivas alcanzan el 100% en CET a partir de las ventanas de 107 años, en Berlín ventanas de 92 años, en De Bilt ventanas de 78 años, en Varsovia ventanas de 80 años, en Ginebra ventanas de 82 años y en Viena ventanas de 68 años. Cabe destacar que en ventanas de corta duración las tendencias positivas en ocasiones superan en número a las tendencias negativas.

4.4.3 Variación de la relación señal/ruido (S/N), 1780 a 1893

La variación de la relación señal/ruido (S/N) en función de la longitud de la ventana se observa en la figura 14. Al igual que en el apartado anterior, en los seis casos los valores bajos de señal/ruido indican un ruido muy elevado en la determinación del rango y viceversa. Esta secuencia de gráficos muestra la variación del rango como referencia, donde las tasas de tendencia más altas obtenidas con longitudes de ventana de pocos períodos están asociadas a valores bajos de señal/ruido, y la tendencia se vuelve más segura o confiable a medida que aumentan los períodos.

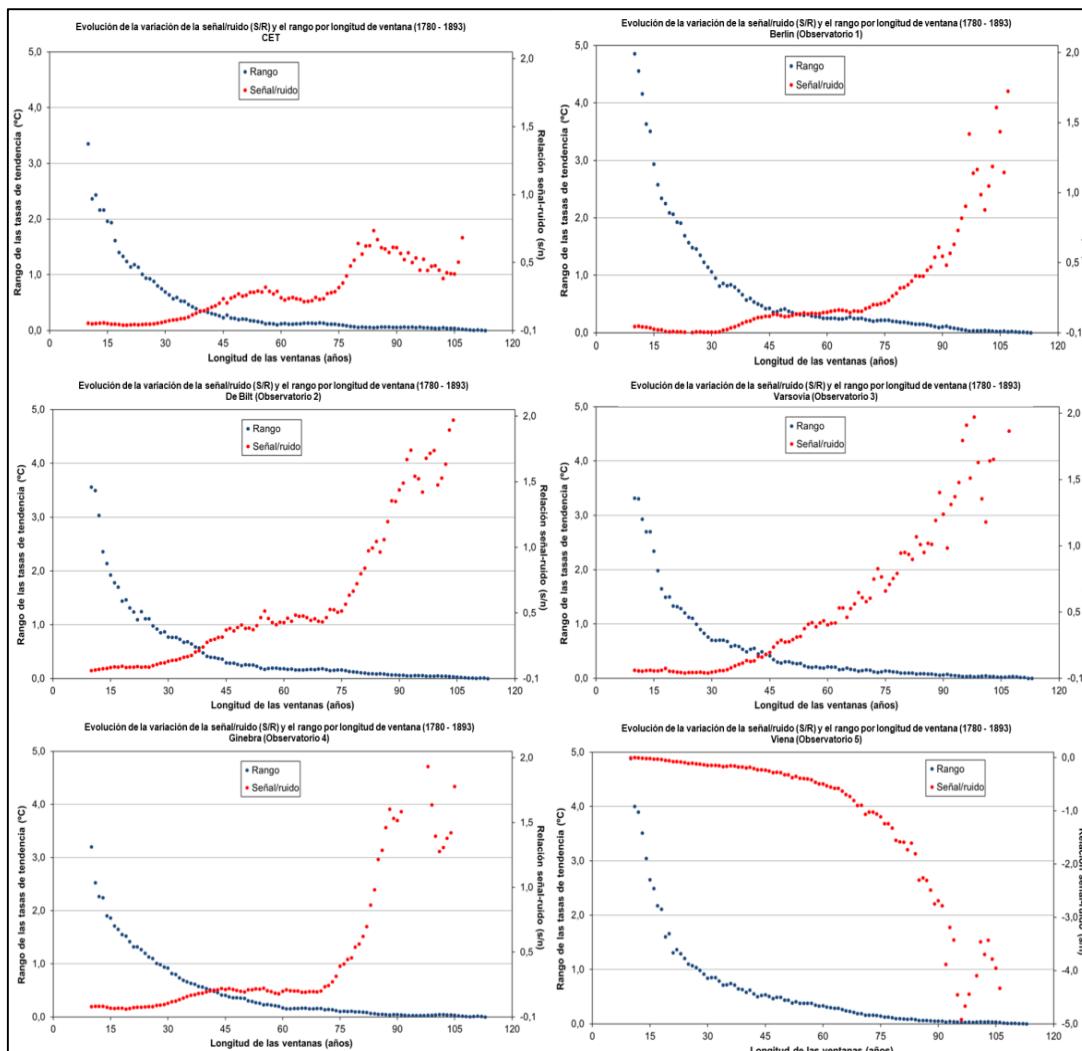


Figura 14. Evolución de la variación de la señal/ruido (S/R) y el rango por longitud de onda en los observatorios (1780-1893). Fuente: Elaboración propia.

Estos resultados sugieren que el ruido en todos los casos es bastante elevado, y demuestran que en el tránsito del siglo 18 al 19 se necesitan periodos muy largos de más de 150 años aproximadamente para que el ruido pueda considerarse bajo. En la figura 15 se observa conjuntamente la evolución de la señal/ruido en todos los observatorios. Tal y como se ha comentado anteriormente, se necesitan ventanas de muchos años dependiendo del caso para superar el valor 1, todos los observatorios a excepción de Viena con ventanas de más de 100 años lo superarían, por tanto, cuanto mayor sean los períodos a analizar menor ruido.

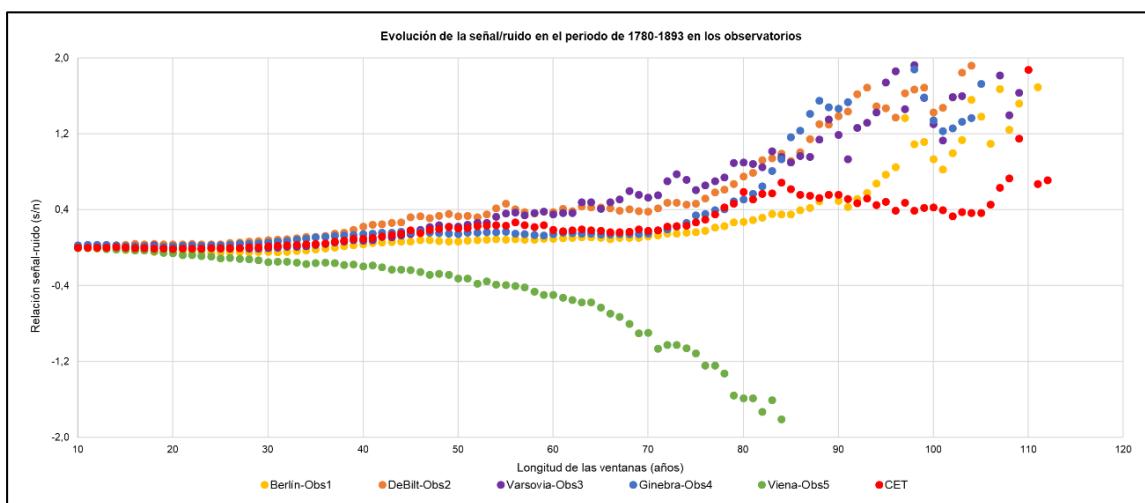


Figura 15. Evolución de la señal/ruido de los períodos en los observatorios (1780-1893). Fuente: Elaboración propia.

4.4.4 Evolución de la tasa tendencial, 1780 a 1893

La evolución de la tasa tendencial para las ventanas móviles de diferente duración se puede observar en la figura 16. Utilizando cuatro longitudes de ventana seleccionadas, siendo estas las de 10, 25, 50 y 75 años, permitiendo comparar ventanas móviles de diferentes duraciones compartiendo el mismo año de inicio. Las líneas azules (1,96) y rojas (-1,96) muestran el límite que si los valores lo superan se consideran significativos según la prueba de Mann-Kendall.

De manera general, la variabilidad del tiempo disminuye en todos los casos a medida que aumentan las longitudes de ventana. En las ventanas de 10 años, la tendencia posee mucho ruido y representa cambios muy rápidos entre las tendencias positivas y negativas, en su mayoría no son significativos. En las ventanas de 25 años, comienza a representarse un patrón con tendencias positivas y negativas, destacan ya períodos que son significativos positivos.

Las longitudes de ventanas más largas permiten que los patrones se detecten más fácilmente, representando una señal a largo plazo expresada por una alta frecuencia de periodos con significancia. En las ventanas de 50 años y especialmente en las de 75 años, se detecta fases de enfriamiento con tendencias negativas en todos los casos y que van en aumento general, donde las tendencias tienden a ser positivas o negativas y significativas.

En ventanas de 50 años se producen aumentos y descensos entre los valores normales y alcanzando valores significativos, por ejemplo, en CET representan ascensos y descensos sin significación, en Berlín sucede lo mismo, pero con un patrón de aumento, en De Bilt posee valores significativos positivos en los años 1777 y 1778, en los posteriores se marca un patrón de descenso. En Varsovia, se distribuye con valores no significativos y que representan un ascenso y posteriormente un descenso. En Ginebra, sufre primero un descenso y posteriormente un patrón de aumento. Y, por último, Viena que sus valores son mayormente negativos y a su vez significativos en el periodo de 1780 a 1810.

En ventanas de 100 años, muestra lo mismo que en el caso anterior en todos los observatorios donde el patrón es más marcado y definido. Tanto CET como Ginebra no poseen valores significativos ni positivos ni negativos. Pero en los casos de Berlín, De Bilt, Varsovia y Viena si, los tres primeros significación positiva y Viena con significación negativa. Los resultados demuestran que en el paso del siglo 18 al 19 a mayores longitudes de ventanas analizada los patrones de las tendencias de diferentes observatorios de Europa occidental son más claros y las tasas de tendencia ganan fiabilidad.

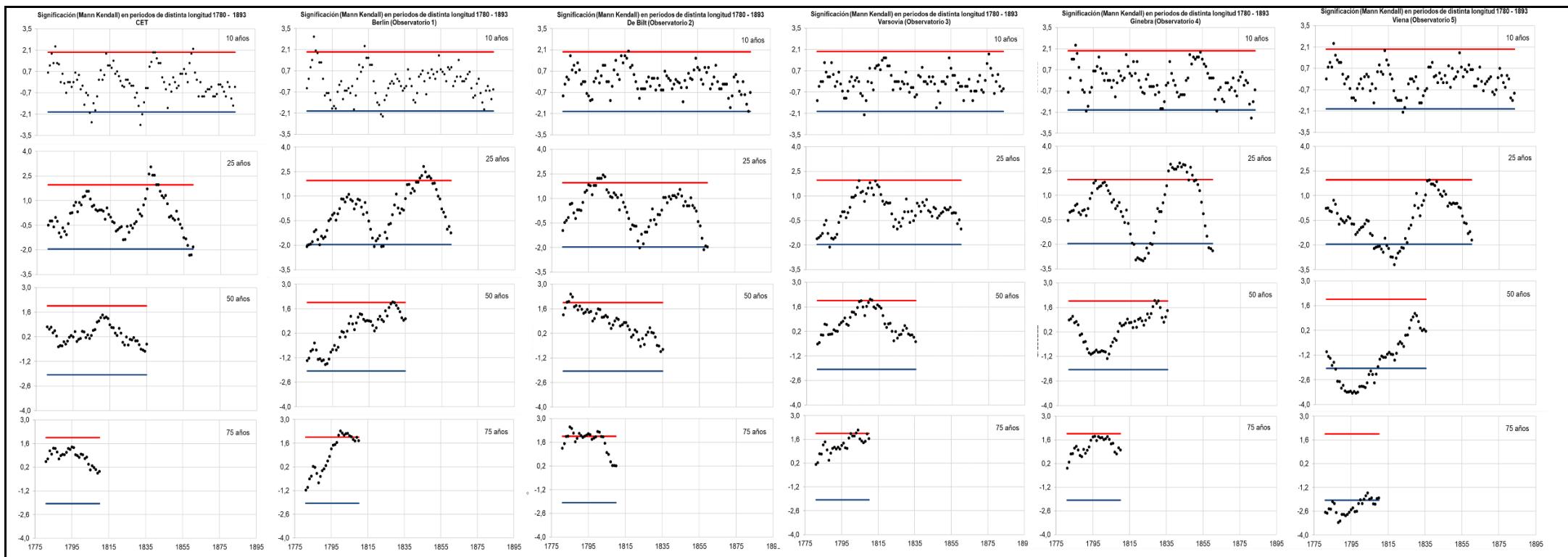


Figura 16. Evolución de la significación de la tasa de tendencial para las ventanas móviles en diferentes duraciones (1780 – 1893).

Fuente: Elaboración propia.

4.5 Segundo periodo 1894 a 2016: Las series de temperatura media anual

La evolución de las temperaturas medias en cada observatorio durante la segunda mitad del periodo analizado se muestra en la figura 17. En todos los casos tienden a distribuirse las temperaturas de manera general entre los 8°C y 12°C, a excepción de Varsovia entre los 7°C y 10°C.

La distribución de CET es más homogénea, las temperaturas se distribuyen similarmente con mayor variabilidad y un claro aumento en las últimas décadas en todos los casos.

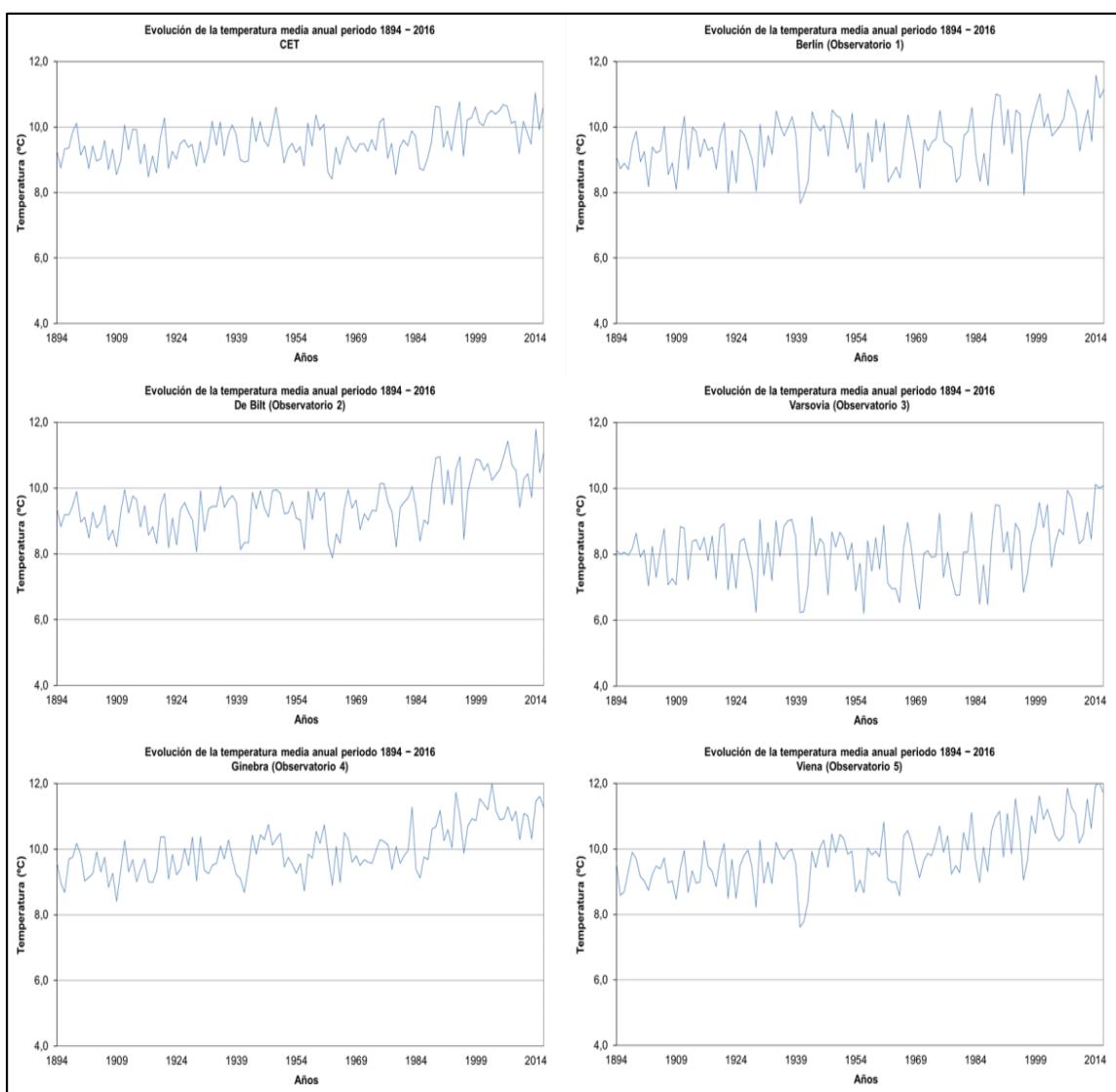


Figura 17. Evolución de la temperatura media anual de cada observatorio (1894-2016).

Fuente: Elaboración propia.

Se observa un patrón global el cual expresa que hay una gran variabilidad de temperaturas en este periodo (secuencia de aumentos y descensos) y de manera clara

en la mayoría de los casos un aumento de las temperaturas en las últimas décadas. Aunque los observatorios se comportan de manera similar son todos más variables que la serie CET considerada de referencia, y se observa que el observatorio de Varsovia es el más frío.

Los promedios anuales ya conocidos convertidos a anomalías se muestran en la figura 18, con el objetivo de identificar si alguna de las series presenta un comportamiento marcadamente diferente del conjunto. Como se representan las series convertidas a la “misma unidad” de cuenta, como se ha comentado en apartados anteriores, siguen el mismo patrón con variabilidad menor y siguen el mismo modelo de aumento en todos los casos, siendo más evidente desde el año 1980 en todos los observatorios.

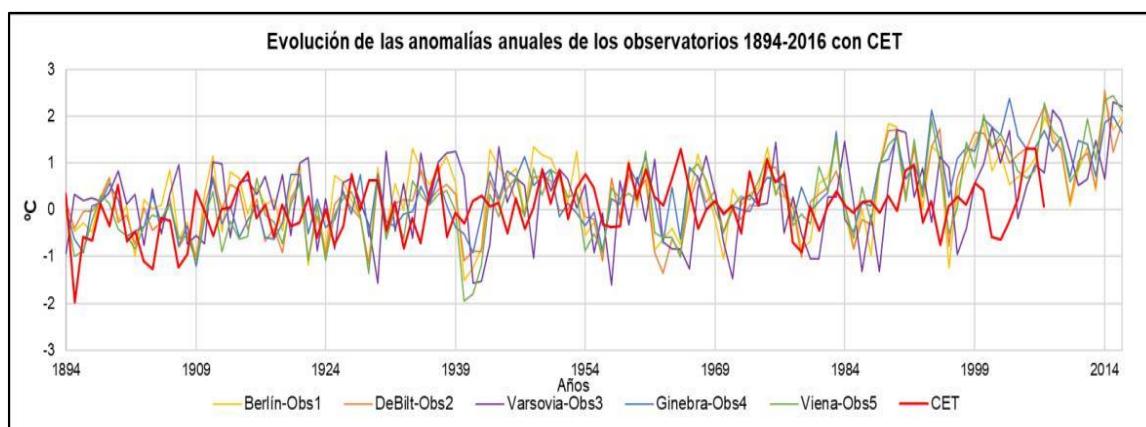


Figura 18. Evolución de las anomalías anuales de los observatorios (1894-2016).

Fuente: Elaboración propia.

4.6 Análisis de tendencias periodo 1894 a 2016

4.6.1 La variación del promedio y el rango, 1894 a 2016

La variación del promedio y el rango absoluto para todas las longitudes de ventana de tiempo seleccionadas se muestra en la Figura 19. En los seis observatorios la tendencia del promedio varía según la duración del periodo seleccionado, pero la relación no es homogénea en ellos ni en todos los períodos ni en todos los casos al igual que en los apartados comentados anteriormente. En general tienen en común que el promedio en las ventanas de menor duración suele ser más elevado, descendiendo a medida que aumenta la longitud de dichas ventanas que se va estabilizando a partir de las ventanas de 50 años, y aumentando cuando los períodos superan los 100 años.

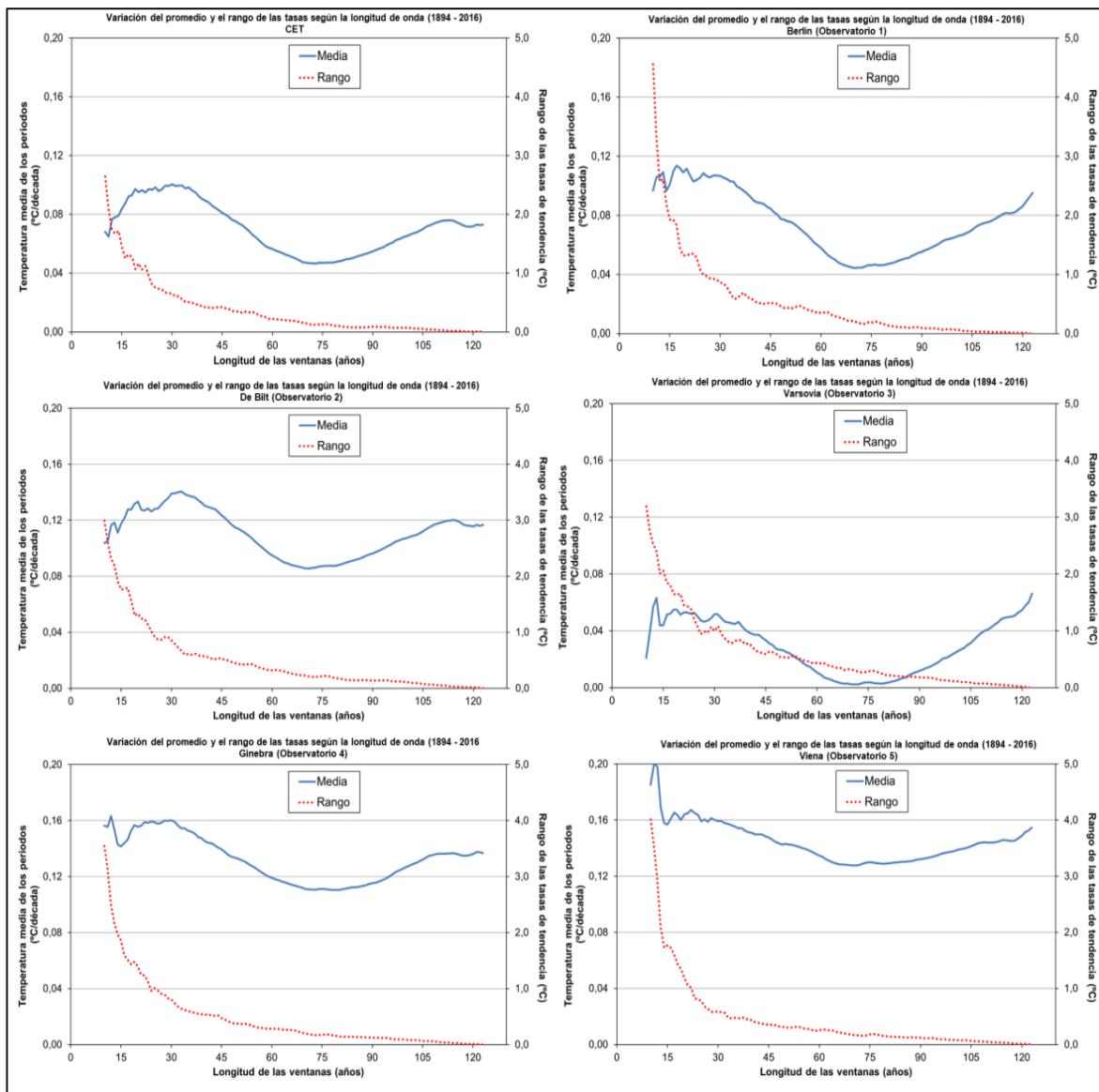


Figura 19. Variación del promedio y el rango de las tasas según la longitud de onda de cada observatorio (1894-2016). Fuente: Elaboración propia.

Más detalladamente, en CET se observa que el aumento se produce desde la ventana de 10 años hasta la ventana de 35 años, a partir de la cual se da un descenso más homogéneo en todo el periodo y a partir de la ventana de 100 años aumenta. En Berlín, se observa una secuencia de aumentos y descensos desde la ventana de 10 años hasta la de 30 años, desde entonces hasta la ventana de 75 años se produce un gran descenso suavizado y desde la cual vuelve a darse un aumento. En De Bilt, en las primeras 30 ventanas aumenta y al igual que en los casos anteriores vuelve a originar un gran descenso suavizado hasta la ventana de 75 años donde vuelve a aumentar.

El caso de Varsovia sus valores son mucho más bajos que en el resto de observatorios, pero sigue el mismo patrón con una secuencia de aumentos y descensos hasta la ventana

de 35 años donde se produce ese gran descenso y posterior aumento desde la ventana de 75 años.

Por último, Ginebra y Viena, sus valores son superiores al resto, Ginebra sigue el mismo recorrido que se da en los casos anteriores y en Viena sí que cabe destacar, que desde el principio se da un gran descenso hasta la ventana de 17 años, en las ventanas siguientes continua el descenso y en este observatorio el aumento posterior a los descensos es menor que el resto de observatorios.

4.6.2 Frecuencia de las tendencias periodo, 1894 a 2016

A lo largo de todas las series, la secuencia de los períodos con tendencias positivas y negativas varían en función de la duración de las longitudes de las ventanas de años, representadas en la figura 20.

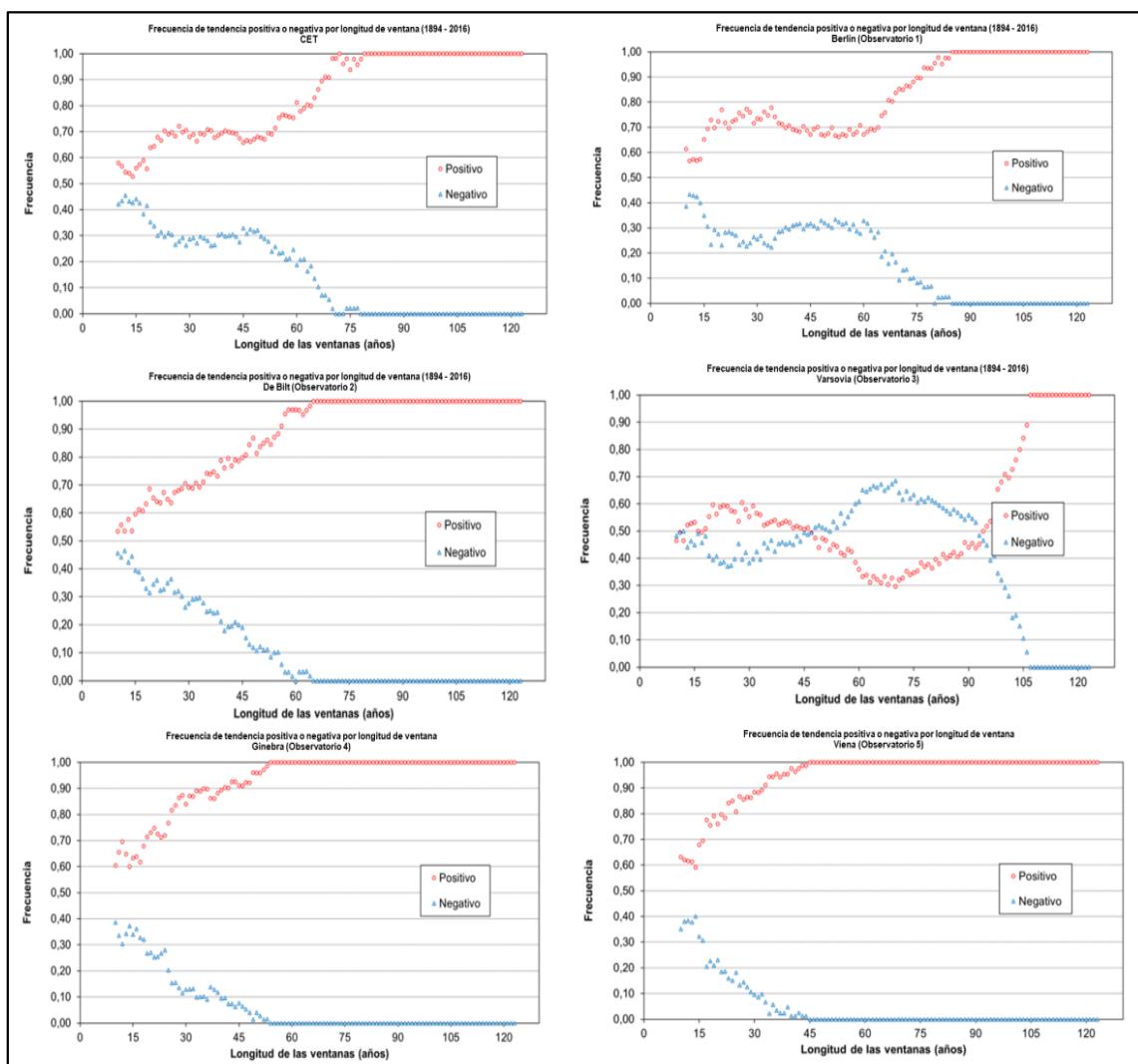


Figura 20. Frecuencia de tendencias positivas y negativas por longitud de ventana de año en los observatorios. Fuente: Elaboración propia.

Por otro lado, hay que volver a reiterar que el rango absoluto de las tasas de tendencia es inversamente proporcional a la duración de ventana de años que se elija, disminuye exponencialmente a medida que aumenta la duración de las ventanas temporales. Como se observa en la figura 20, en todos los casos desciende y a partir de la ventana de 75 años.

Si bien las tendencias positivas predominan para todas las longitudes de ventanas de años en los observatorios, exceptuando el caso de Varsovia. Para conseguir que sean tendencias positivas al 100%, en el caso de CET se consiguen a partir de la ventana de 75 años, en Berlín ventanas de 80 años, en De Bilt ventanas de 65 años, en Varsovia ventanas de 108 años, en Ginebra ventanas de 50 años y en Viena ventanas de 45 años.

4.6.3 Variación de la relación señal/ruido (S/N), 1894 a 2016

La variación de la relación señal/ruido (S/N) en función de la longitud de la ventana se observa en la figura 21. La figura incluye también la variación del rango para completar la información que permita su mejor interpretación. En general en los seis casos los valores bajos de señal/ruido coinciden con un ruido muy elevado y se corresponden con períodos (ventanas temporales) de corta duración. Insistir en que este conjunto de figuras sugiere que las tendencias calculadas en períodos de corta duración están asociadas a valores bajos de señal/ruido y por tanto sus tendencias son de baja fiabilidad por poder ser muy variables y contrastadas, y a la inversa la tendencia se vuelve más fiable a medida que aumenta la longitud del periodo.

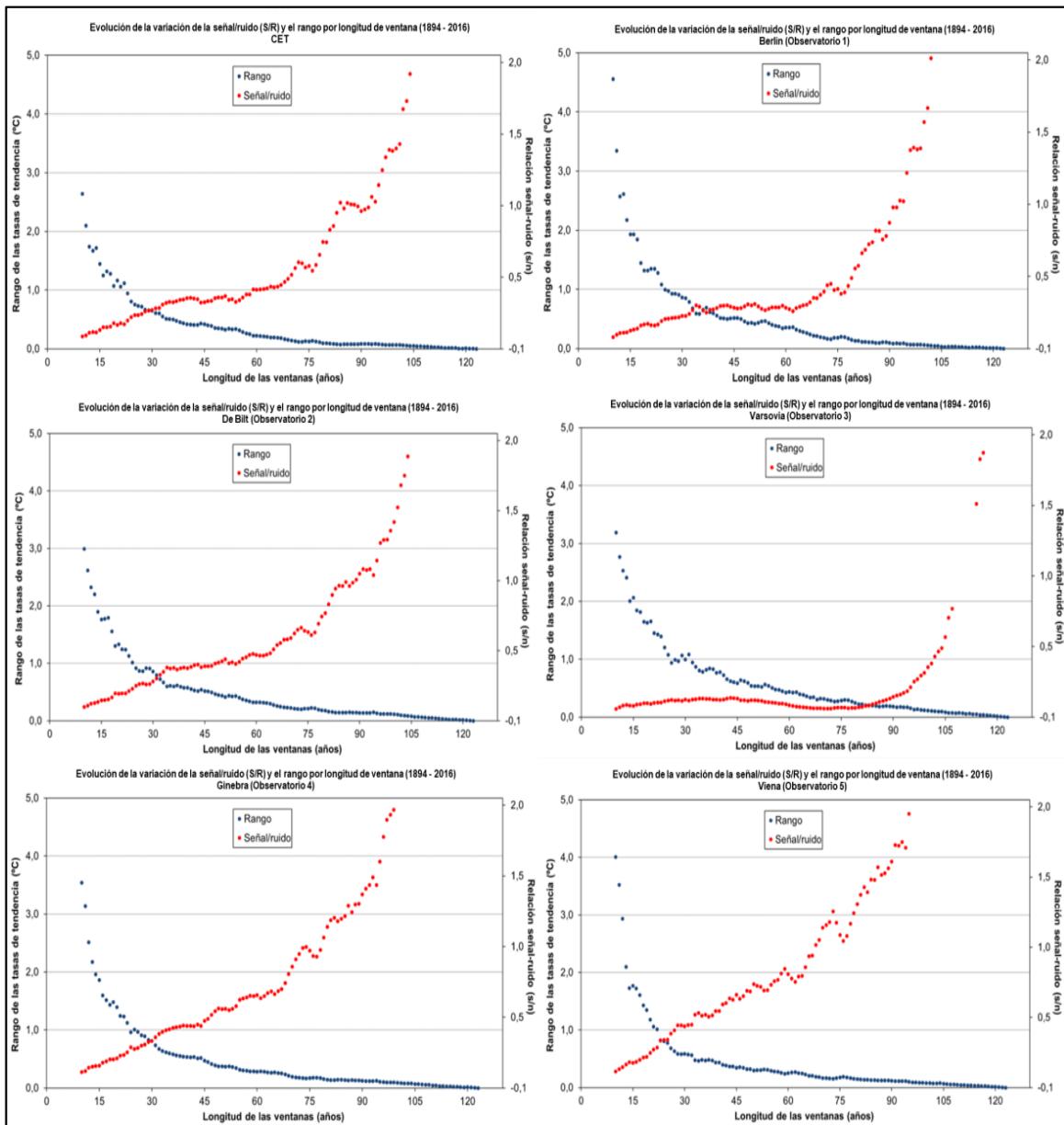


Figura 21. Evolución de la variación de la señal/ruido (S/R) y el rango por longitud de onda en los observatorios (1894-2016). Fuente: Elaboración propia.

Cabe repetir, que señalamos que el valor del cociente señal/ruido 1 significa que la magnitud del ruido es equivalente a la señal, por ello cuanto mayor sea el cociente de dicha relación indicará que el valor de la señal o tendencia supera la variabilidad que el ruido podría introducir.

Este valor lo superan todos los observatorios, destacando que Varsovia tan apenas lo consigue. En la serie de CET y De Bilt, se necesitan ventanas de 80 años para superar el valor 1, en Berlín ventanas de 90 años, en Varsovia ventanas superiores a 110 años, en Ginebra ventanas de 70 años y en Viena se necesitarían ventanas de 65 años.

Estos resultados sugieren que el ruido en todos los casos es bastante elevado, y demuestran que se necesitan periodos muy largos para que el ruido pueda considerarse bajo o con efectos menores en el valor de la tendencia. En la figura 22, se presenta la evolución de la señal/ruido de los observatorios para poder realizar una comparación visual general.

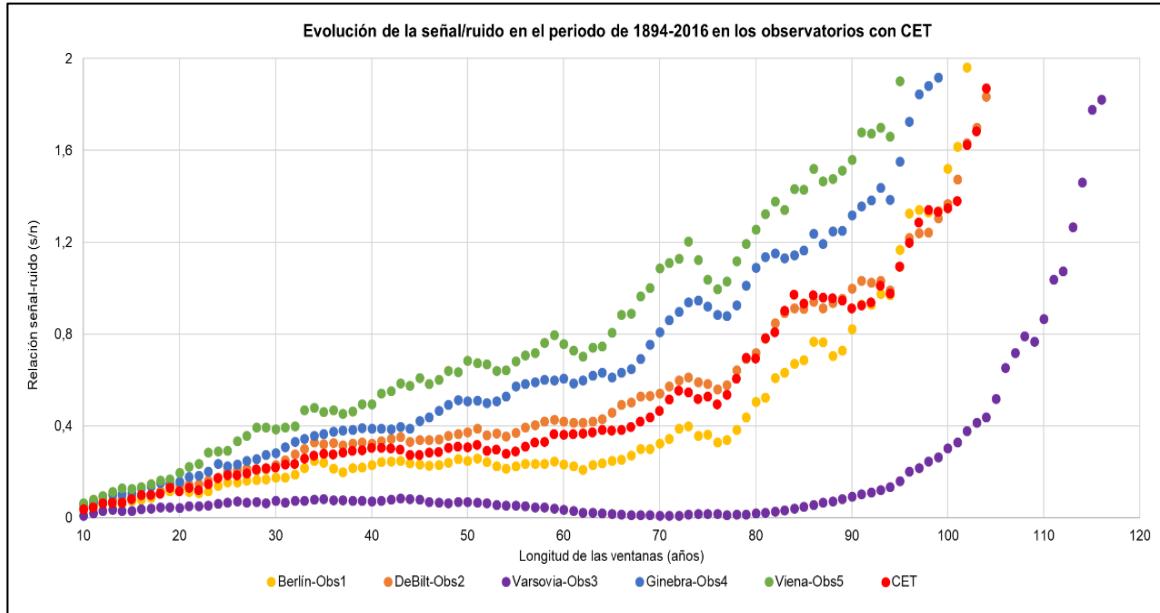


Figura 22. Evolución de la señal/ruido de los periodos en los observatorios (1894-2016) Fuente: Elaboración propia.

4.6.4 Evolución de la tasa tendencial periodo, 1894 a 2016

La evolución de la tasa tendencial para las ventanas móviles de diferente duración se puede observar en la figura 26. Utilizando cuatro longitudes de ventanas seleccionadas, ya que poseen menos años que el periodo completo que eran cinco ventanas seleccionadas, siendo estas las de 10, 25, 50 y 75 años, permitiendo comparar ventanas móviles de diferentes duraciones compartiendo el mismo año de inicio. Las líneas azules (1,96) y rojas (-1,96) muestran el límite que si los valores lo superan se consideran significativos según la prueba de Mann-Kendall.

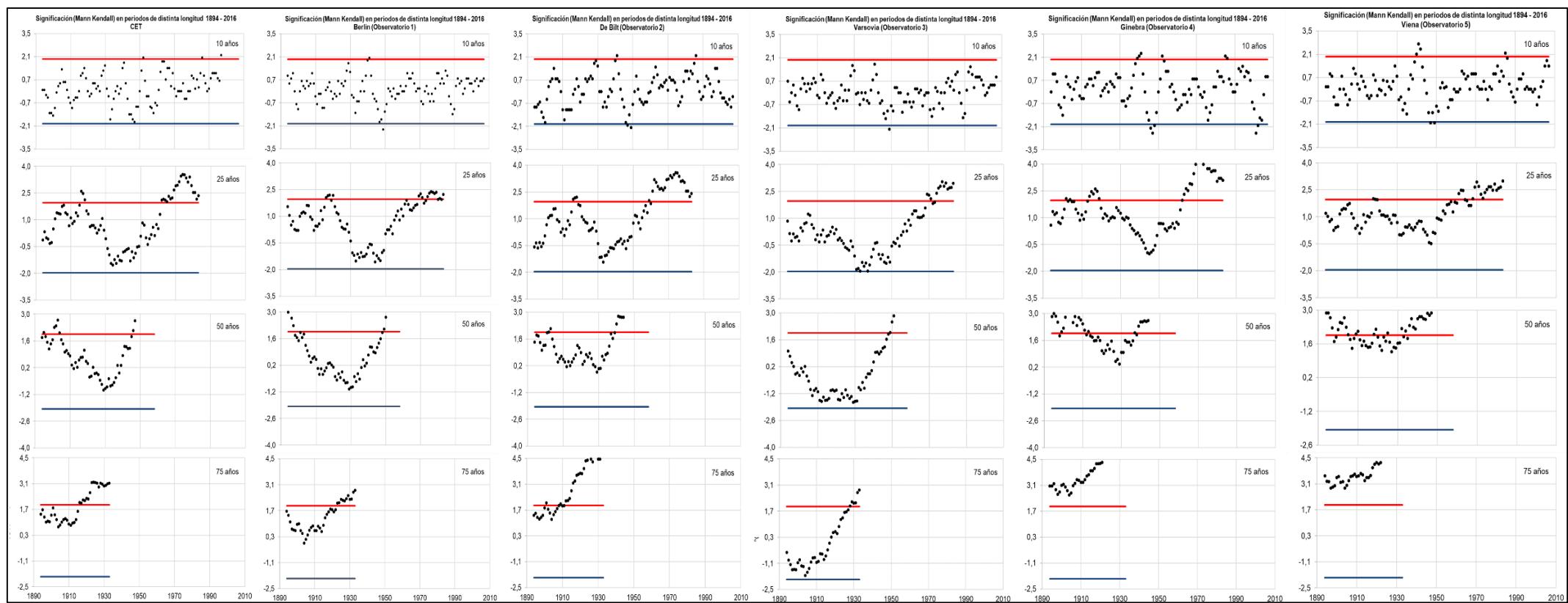


Figura 23. Evolución de la significación de la tasa de tendencial para las ventanas móviles en diferentes duraciones (1894 - 2016).

Fuente: Elaboración propia.

Si bien, la variabilidad del tiempo disminuye en todos los casos a medida que aumentan las longitudes de ventana. En las ventanas de 10 años, la tendencia posee mucho ruido y representa cambios muy rápidos entre las tendencias positivas y negativas, en su mayoría no son significativos. En las ventanas de 25 años, comienza a representarse un patrón con tendencias positivas y negativas, destacan ya periodos que son significativos positivos.

Las longitudes de ventanas más largas permiten que los patrones se detecten más fácilmente, representando una señal a largo plazo expresada por una alta frecuencia de periodos significativos. En las ventanas de 50 años y especialmente en las de 75 años, se detecta fases de descensos y aumentos en todos los casos, pero tienden a ascender todos los observatorios donde su tendencia es positiva y finalmente significativa.

En ventanas de 50 años se producen aumentos y descensos entre los valores normales y alcanzando valores significativos, por ejemplo, en CET, De Bilt y Ginebra poseen valores positivos significativos en periodos a partir de 1960 y negativos, pero no significativos. En Berlín y Varsovia sucede lo mismo, sus valores positivos significativos se dan periodos superiores a 1970. Y, en Viena, sus valores positivos y significativos se dan a partir de 1955.

En ventanas de 100 años, muestra lo mismo que en el caso anterior en todos los observatorios donde el patrón es más marcado y definido. Todos los casos poseen valores positivos, menos Varsovia que posee periodos negativos. Cabe destacar, que en Ginebra y Viena todos sus periodos son positivos y a su vez significativos. En CET, Berlín, De Bilt y Varsovia, su periodos positivos y significativos son a partir de 1920, 1925, 1910 y 1930, respectivamente.

5. EL EFECTO DEL PERIODO EN LAS TASAS

Los dos periodos analizados muestran que hay una gran variabilidad de temperaturas a diferencia de CET que es más homogénea, en el primero periodo destaca dicha variabilidad y en el segundo además de ello, un claro aumento en las últimas décadas.

La variación del promedio y el rango de las tasas tienen en común que el promedio en las ventanas de menor duración suele ser más elevado, descendiendo a medida que aumenta la longitud de dichas ventanas que se va estabilizando; los promedios de las tasas son inferiores en el primer periodo de 1780 a 1893 (entre 0,08 y -0,12) y superiores en el segundo de 1894 a 2016 (entre 0,20 y 0). El rango absoluto de las tasas de tendencia en ambos periodos es inversamente proporcional a la duración de ventana de años.

La frecuencia de tendencias positivas en los periodos predomina para todas las longitudes de ventanas de años en ambos. Cabe destacar, en el segundo periodo se consigue el 100% de las tendencias positivas en longitudes de ventana más cortas, a diferencia del primero que necesita longitudes más largas para conseguirlo.

La variación de la relación señal/ruido (S/N) en función de la longitud de la ventana en los dos periodos reafirma que el ruido en todos los casos es bastante elevado, y sugiere que se necesitan periodos muy largos para que pueda considerarse bajo. Por ello, la fiabilidad de sus tendencias no es alta debido a que pueden ser muy variables y contrastadas, y a la inversa la tendencia se vuelve más fiable a medida que aumenta la longitud del periodo. En la figura 24 se muestra la comparación final entre la variación de la señal/ruido de ambos periodos y a título informativo incluimos la misma secuencia del periodo completo, si bien somos conscientes de que las series no son datos independientes por formar parte aquellos del análisis global del periodo 1780-206. En términos generales estos resultados sugieren que el periodo segundo es menos variable que el primero.

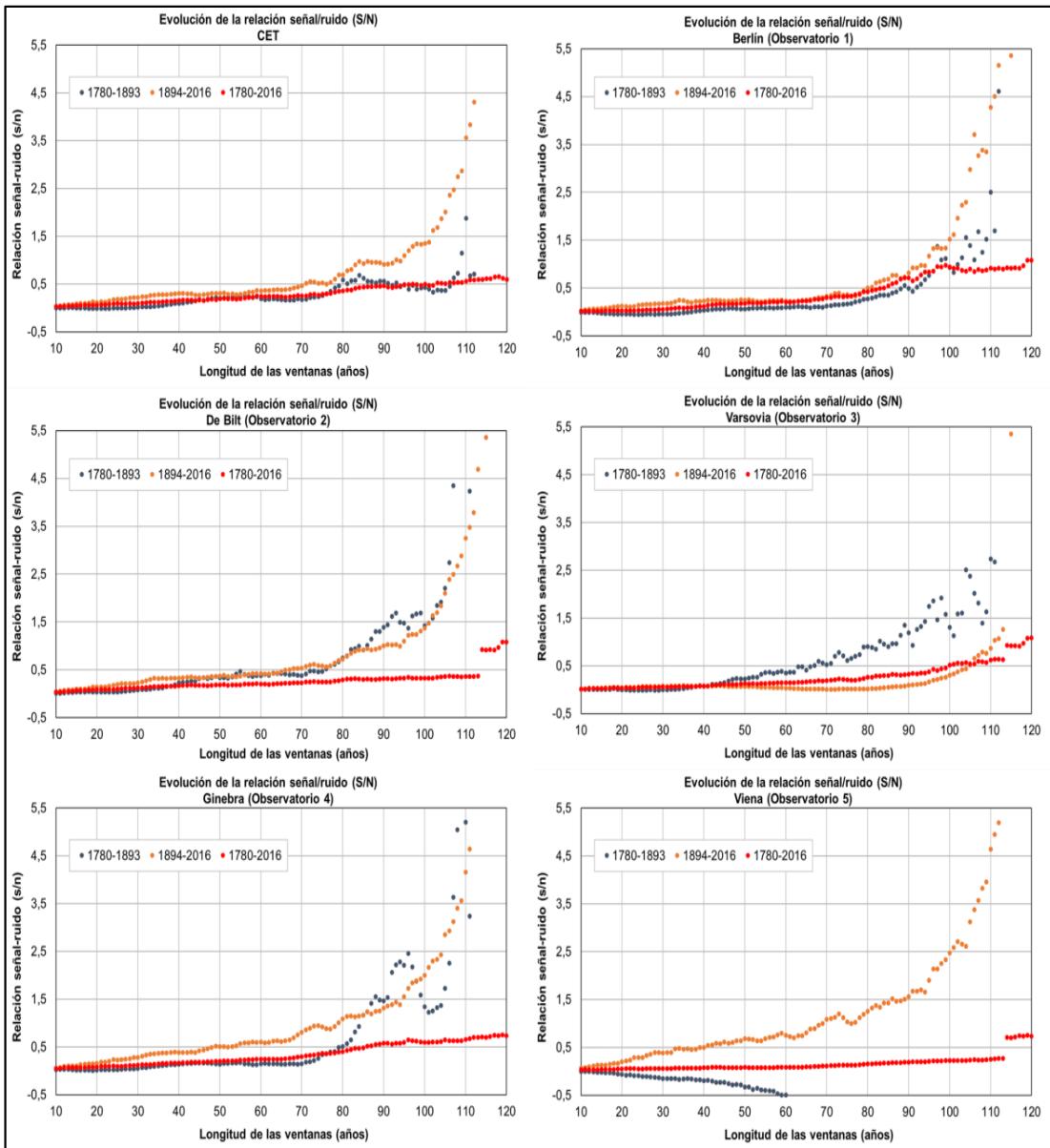


Figura 24. Comparación de la evolución señal ruido en los períodos analizados en cada observatorio. Fuente: Elaboración propia.

Por último, las variaciones de la tasa de tendencial de ambos períodos y del periodo completo demuestran que es necesario analizar series prolongadas de temperatura para obtener resultados que caractericen su evolución del modo más fiable.

6. CONCLUSIONES

El análisis de la variabilidad en las tendencias de los promedios de temperaturas anuales en diversas series seculares europeas en el periodo de 1780 a 2016 da lugar a tres conclusiones:

- Se estima que las tendencias de las Temperaturas medias anuales exhiben una gran variabilidad en periodos de tiempo inferiores a 50 años. Para alcanzar una señal de tendencia sostenida, positiva y significativa periodos cortos no deberían emplearse. Por esta razón para caracterizar la evolución y el posible aumento actual de las temperaturas es necesario analizar largos periodos de tiempo.
- El aumento de la relación señal/ruido con la longitud de las ventanas se debe a que el ruido disminuye gradualmente a medida que aumenta la longitud de la serie de años analizados. En consecuencia, si bien no se puede recomendar una longitud mínima de tiempo (ventana) requerida para poder detectar señales climáticas claras, donde no predomine el ruido, nuestra investigación aconseja que la calificación de una tasa debería proceder de periodos superiores a 75 años al menos, o incluso 100 años.
- Los resultados sugieren que el calentamiento reciente comenzó en años anteriores a 1780, que se puede relacionar con la recuperación de las temperaturas desde el final de la Pequeña Era de Hielo. Esto se debe, a que desde entonces las tasas de tendencia tienden a ser crecientes, aunque cuenten con periodos de descensos o incluso con tendencias negativas en ventanas más cortas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Brönnimann, S., Baer, S., Barriendos, M., Brázil, R., Brugnara, Y., Brunet, M., Brunetti, M., & Chimani, B. (n.d.). UNLOCKING PRE-1850. Instrumental Meteorological Records A Global Inventory. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-19-0040.2>

Böhm, R., Jones, P. D., Hiebl, J., Frank, D., Brunetti, M., & Maugeri, M. (2010). The early instrumental warm-bias: A solution for long central European temperature series 1760-2007. *Climatic Change*, 101(1), 41–67. <https://doi.org/10.1007/s10584-009-9649-4>

Camuffo, D., & Jones, P. D. (2014). Improved understanding of past climatic variability from early daily european instrumental Sources-Guest Editorial.

<https://www.researchgate.net/publication/264315124>

Croxtion, P.J., Huber, K., Collinson, N., Sparks, T.H. 2006. How well do the Central England Temperature and the England and Wales Precipitation Series represent the climate of the UK? *International Journal of Climatology* 26, 2287-2292. <https://doi.org/10.1002/joc.1378>.

De Souza, J., Duarte-Queiros, S.M., Grimm, A.M. 2013. Components of multifractality in the central England temperature anomaly series. *Chaos* 23, 023130.

<https://doi.org/10.1063/1.4811546>

Easterling, D, Wehner, M.F. 2009. Is the climate warming or cooling? *Geophysical Research Letter* 36, L08706. <https://doi.org/10.1029/2009GL037810>.

González-Hidalgo, J. C., Peña-Angulo, D., & Beguería, S. (2020). Temporal variations of trends in the Central England Temperature series. *Geographical Research Letters*, 46(2), 345–369. <https://doi.org/10.18172/cig.4377>

González-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D., Brunetti, M., Cortesi, C. 2016. Recent trend in temperature evolution in Spanish mainland (1951-2010): from warming to hiatus. *International Journal of Climatology* 36, 2405-2416. <https://doi.org/10.1002/joc.4519>.

IPCC AR6. (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Masson-Delmotte, V., Zhai P., Pirani A., et al. (eds.). Cambridge University Press, United Kingdom and New York, NY, USA, 1924 pp.

Lennartz, S., & Bunde, A. (2009). Trend evaluation in records with long-term memory: Application to global warming. *Geophysical Research Letters*, 36(16).
<https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2009GL039516>

Manley, G. 1974. Central England temperatures: monthly means 1659 to 1973. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* 100, 389-405.
[https://doi.org/10.1002/qj.49710042511.](https://doi.org/10.1002/qj.49710042511)

Münch, T., Laepple, T. 2018. What climate signal is contained in decadal- to centennial-scale isotope variations from Antarctic ice cores? *Climate of the past* 14, 2053-2070.
<https://doi.org/10.5194/cp-14-2053-2018>.

Peña-Angulo, D., & González-Hidalgo, J. C. (2019). Creación de una base de datos de la temperatura media estacional para el análisis de su tendencia y variabilidad espacial. *Avances Investigación En Ingeniería*, 16(1), 101–110.
<https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1.5170>

Parker, D.E. 2010. Uncertainties in early Central England temperatures. *International Journal of Climatology* 30, 1105-1113. <https://doi.org/10.1002/joc.1967>.

Parker, D.E., Horton, E.B. 2005. Uncertainties in Central England Temperature 1878- 2003 and some improvements to the maximum and minimum series. *International Journal of Climatology* 25, 1173-1188. <https://doi.org/10.1002/joc.1190>.

Parker, D.E., Legg, T.P., Folland, C.K. 1992. A new daily Central England Temperature Series, 1772-1991. *International Journal of Climatology* 12, 317-342.
<https://doi.org/10.1002/joc.3370120402>.

Santer, B.D., Mears, C., Doutriaux, C., Caldwell, P., Gleckler, P.J., Wigley, T.M.L., Solomon, S., Gillett, N.P., Ivanova, D., Karl, T.R., Lanzante, J.R., Meehl, G.A., Stott, P.A., Taylor, K.E., Thorne, P.W., Wehner, M.F., Wentz, F.J. 2011. Separating signal and noise in atmospheric temperature changes: the importance of timescales. *Journal of Geophysical Research* 116, D22105. <https://doi.org/10.1029/2011JD016263>.

Sen, P.K. 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American Statistical Association* 63, 1379-1389. <https://doi.org/10.2307/2285891>

Ventura, B. P. (2021). Tendencias de las temperaturas en la España peninsular y su relación con el grado de humanización del territorio. Trabajo Fin de Máster.

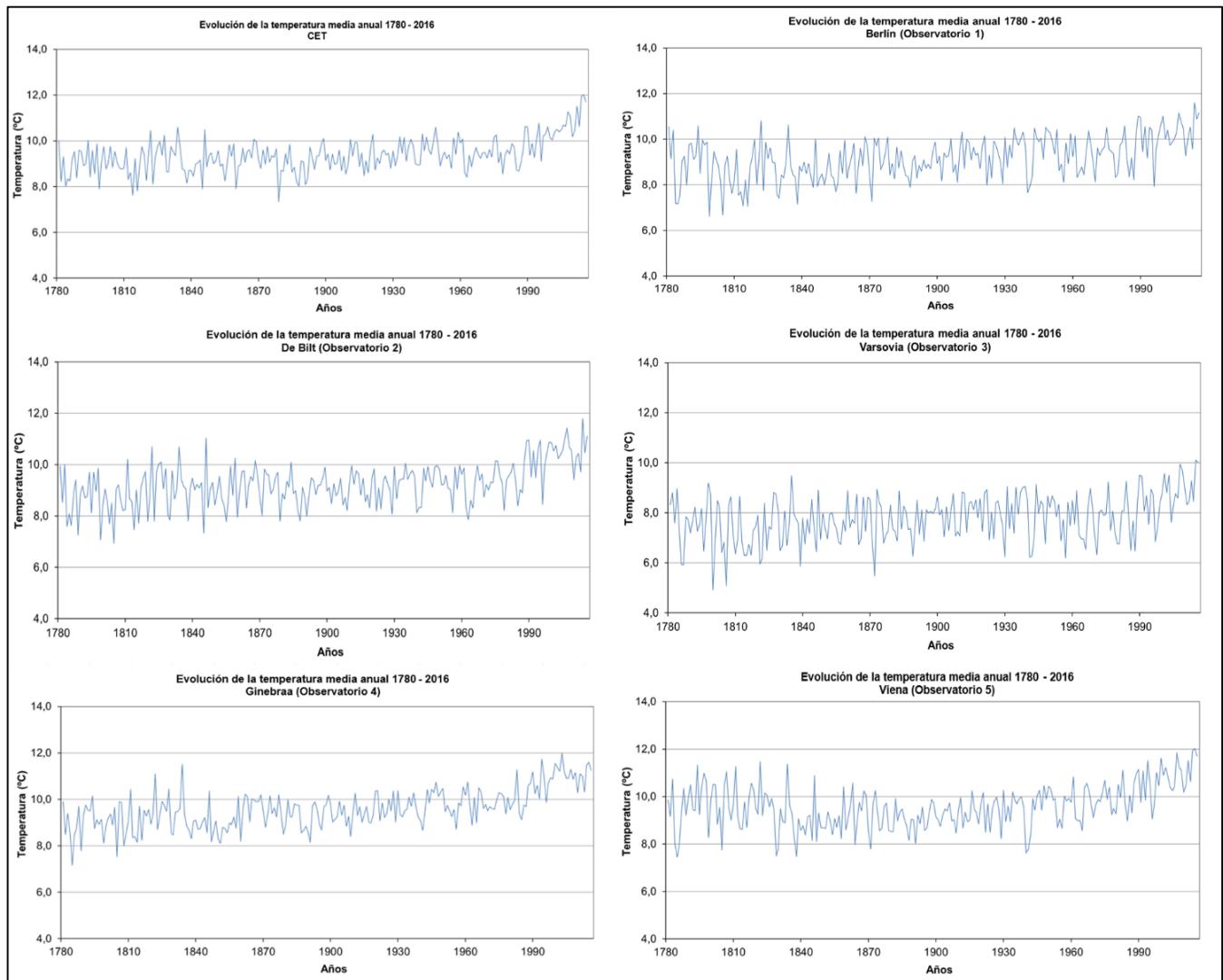
<https://zaquan.unizar.es/record/124633/files/TAZ-TFM-2022-1086.pdf?version=1>

8. ANEXOS

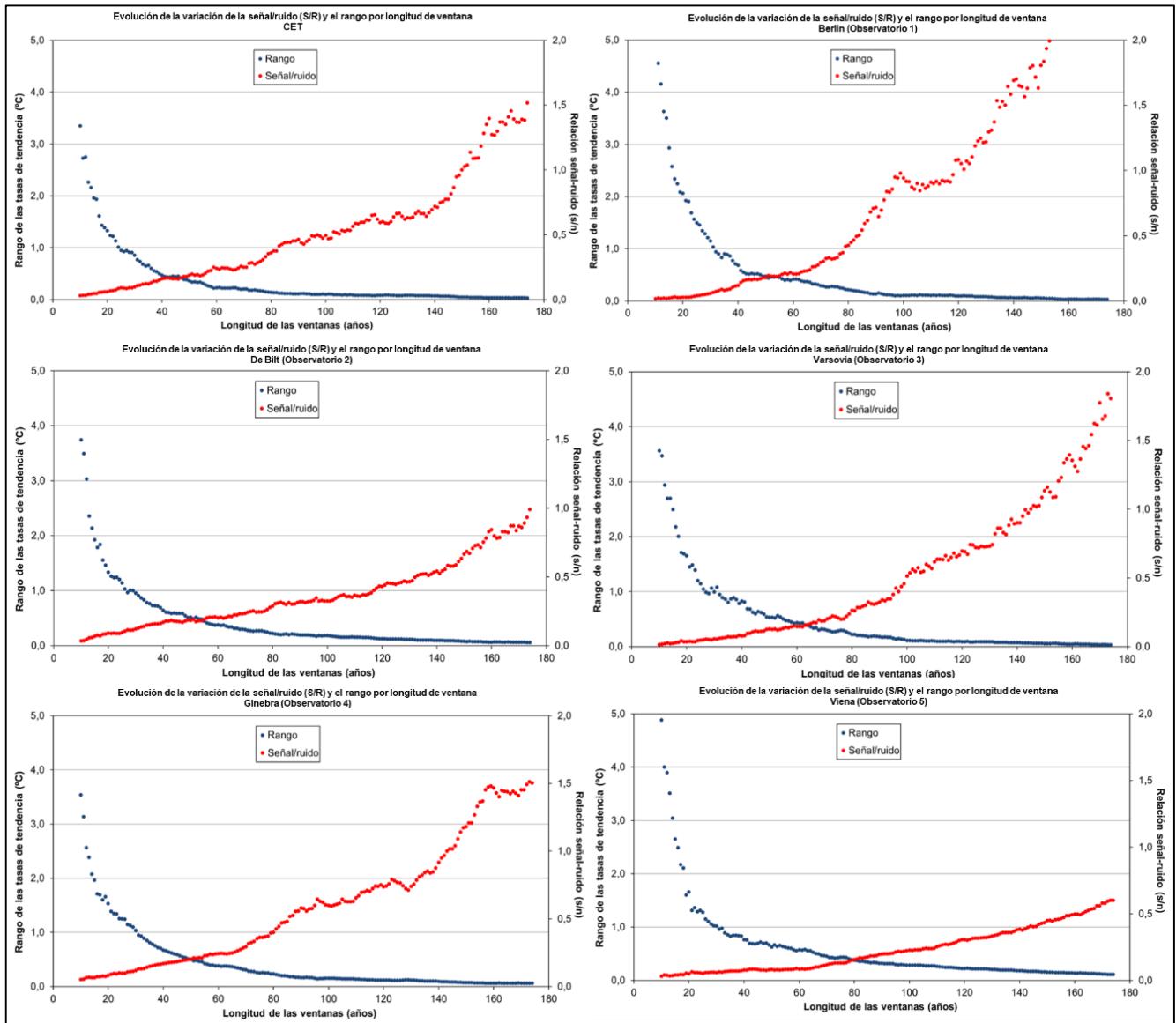
Anexos pertenecientes al periodo 1780 – 2016:

Anexo 1. Evolución de la temperatura media anual de cada observatorio (1780-2016).

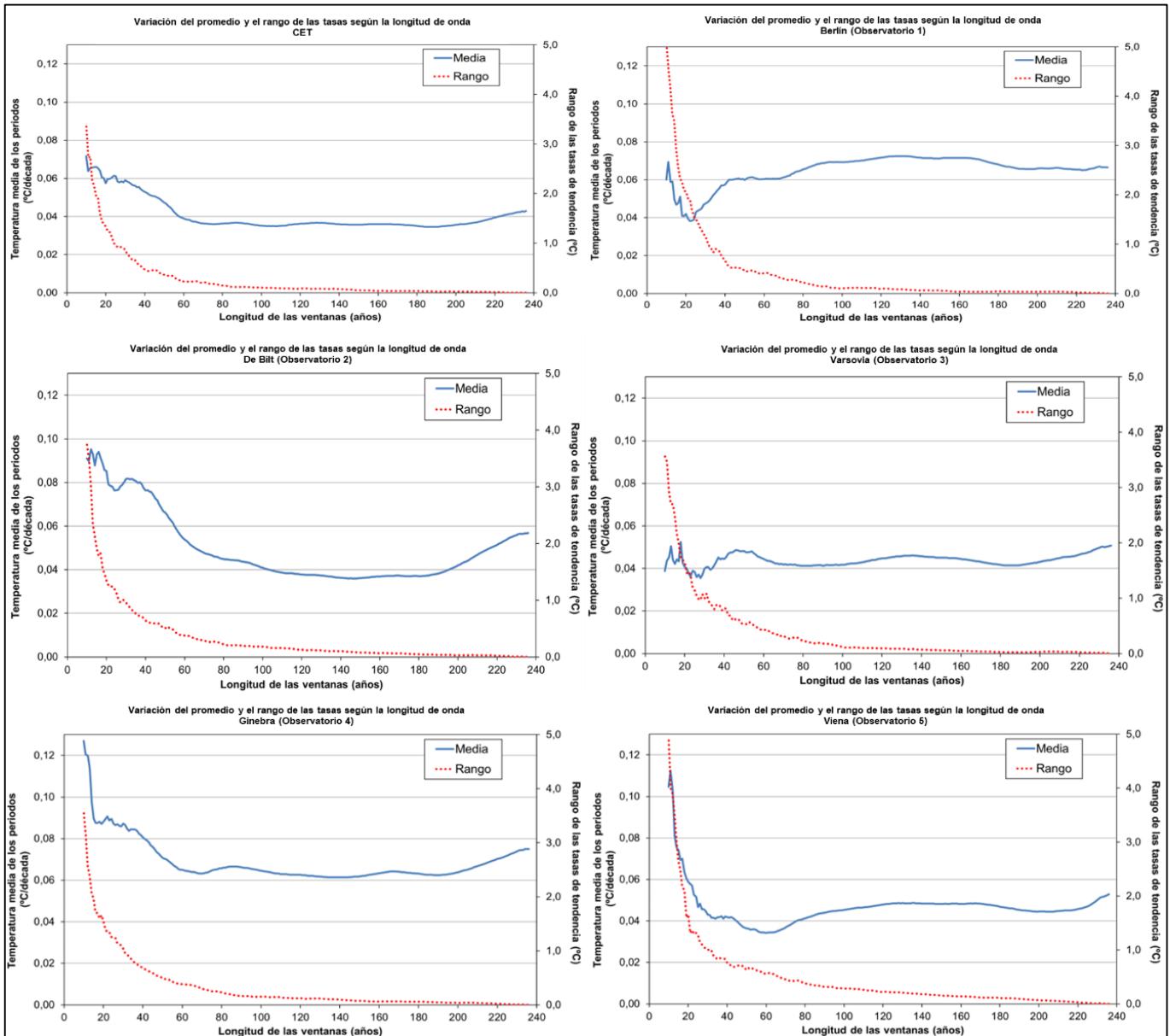
Fuente: Elaboración propia



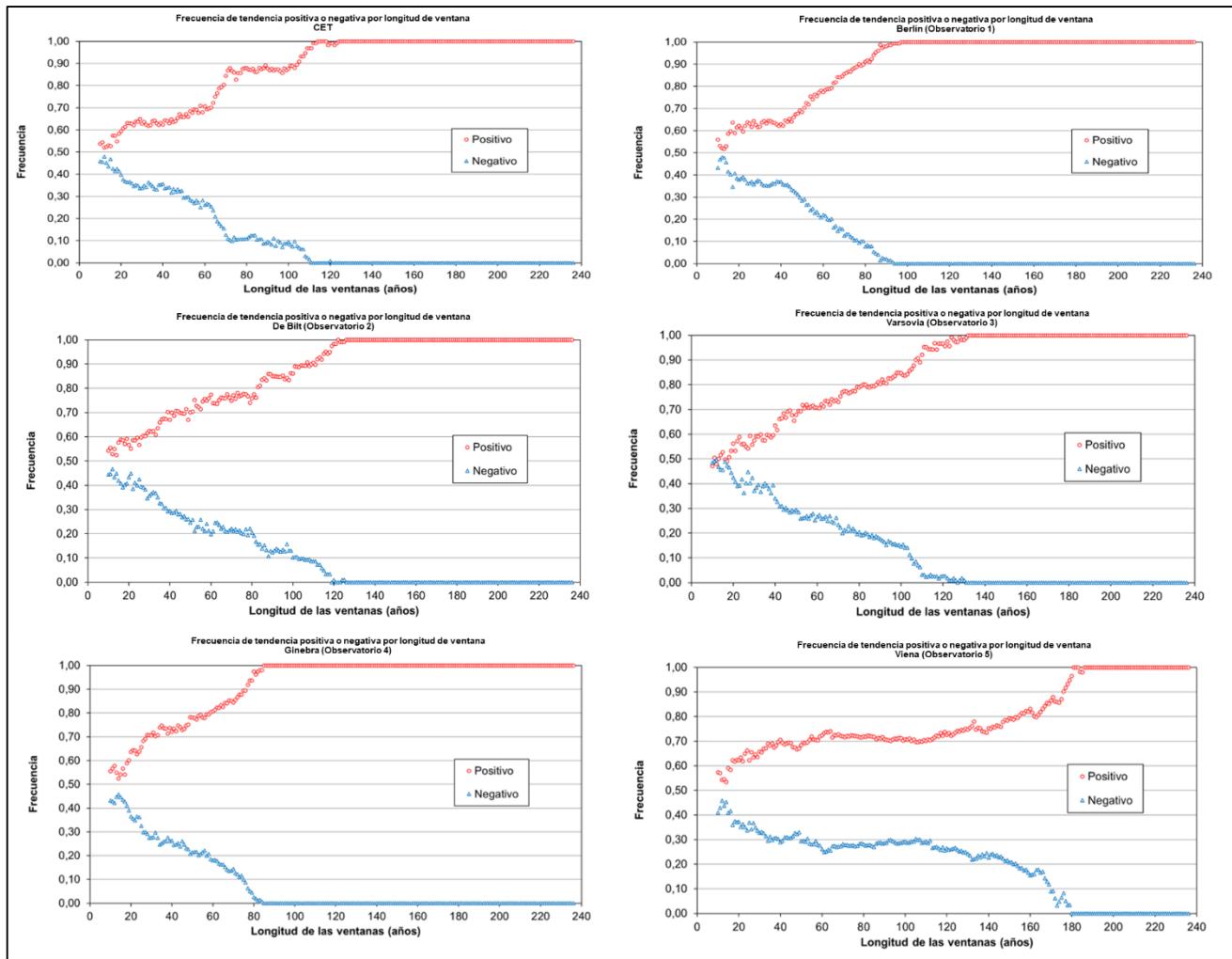
Anexo 2. Evolución de la relación señal/ruido en los observatorios (1780-2016). Fuente:
Elaboración propia.



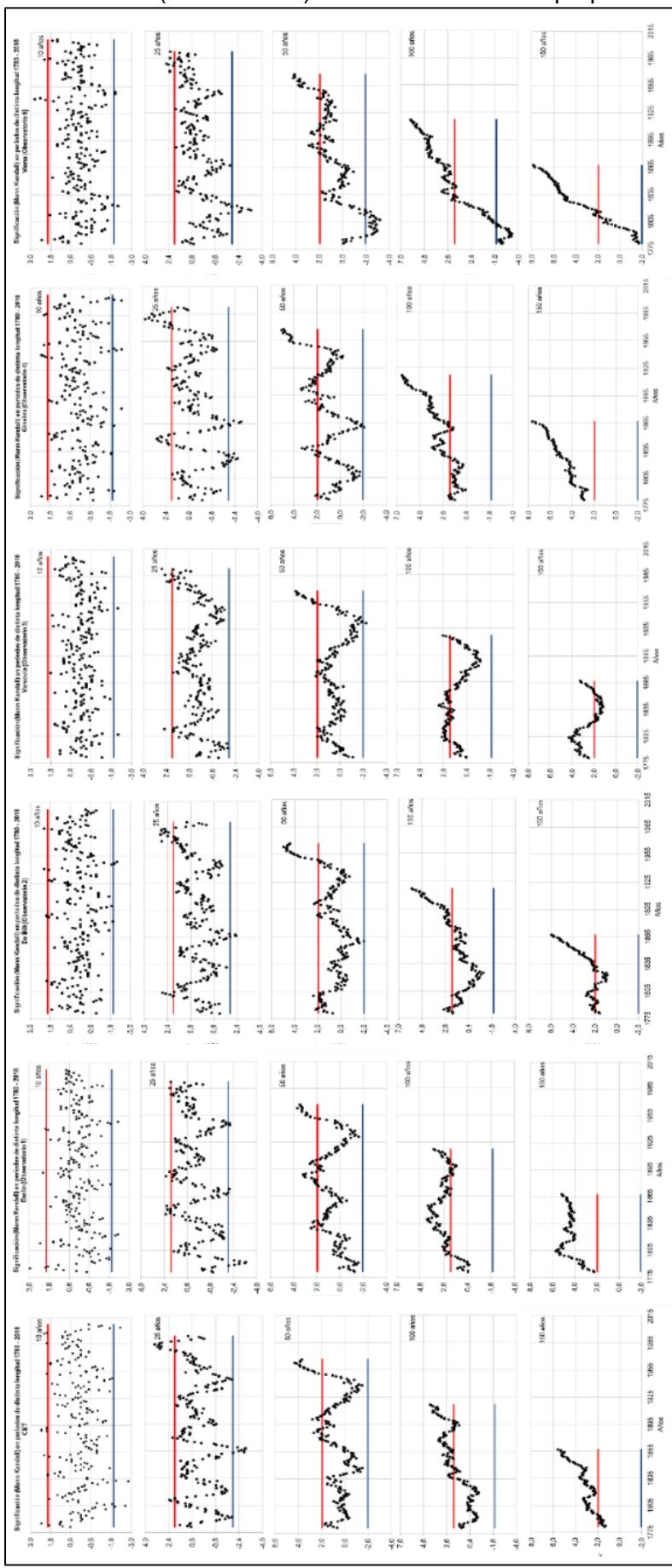
Anexo 3. Variación del promedio y el rango de las tasas según la longitud de onda de cada observatorio (1780-1893). Fuente: Elaboración propia.



Anexo 4. Frecuencia de tendencias positivas y negativas por longitud de ventana de año en los observatorios (1870-2016). Fuente: Elaboración propia.



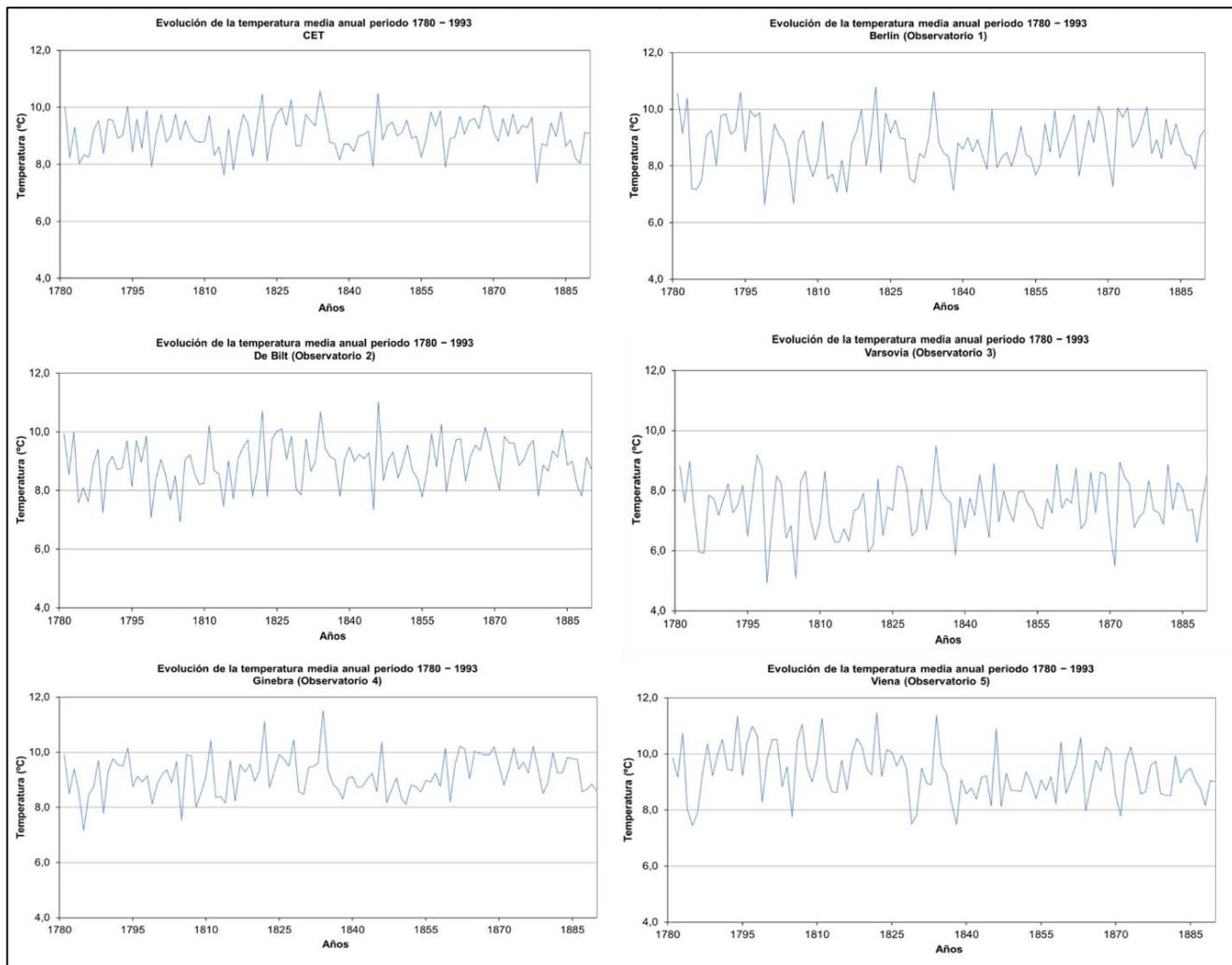
Anexo 5: Evolución de la significación de la tasa de tendencial para las ventanas móviles en diferentes duraciones (1780 – 2016). Fuente: Elaboración propia.



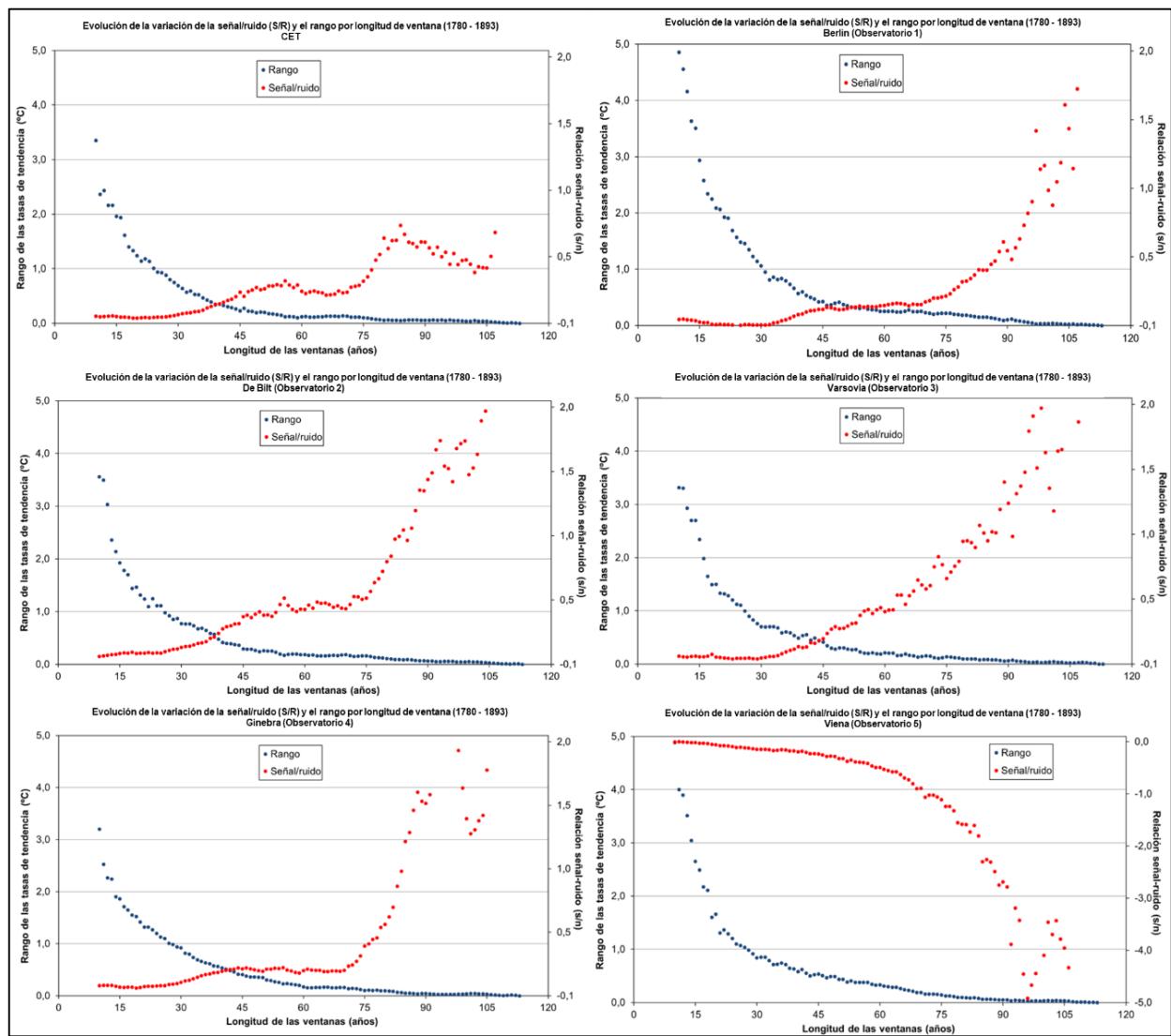
Anexos pertenecientes al periodo 1780 – 1893:

Anexo 6. Evolución de la temperatura media anual de cada observatorio (1780-1893).

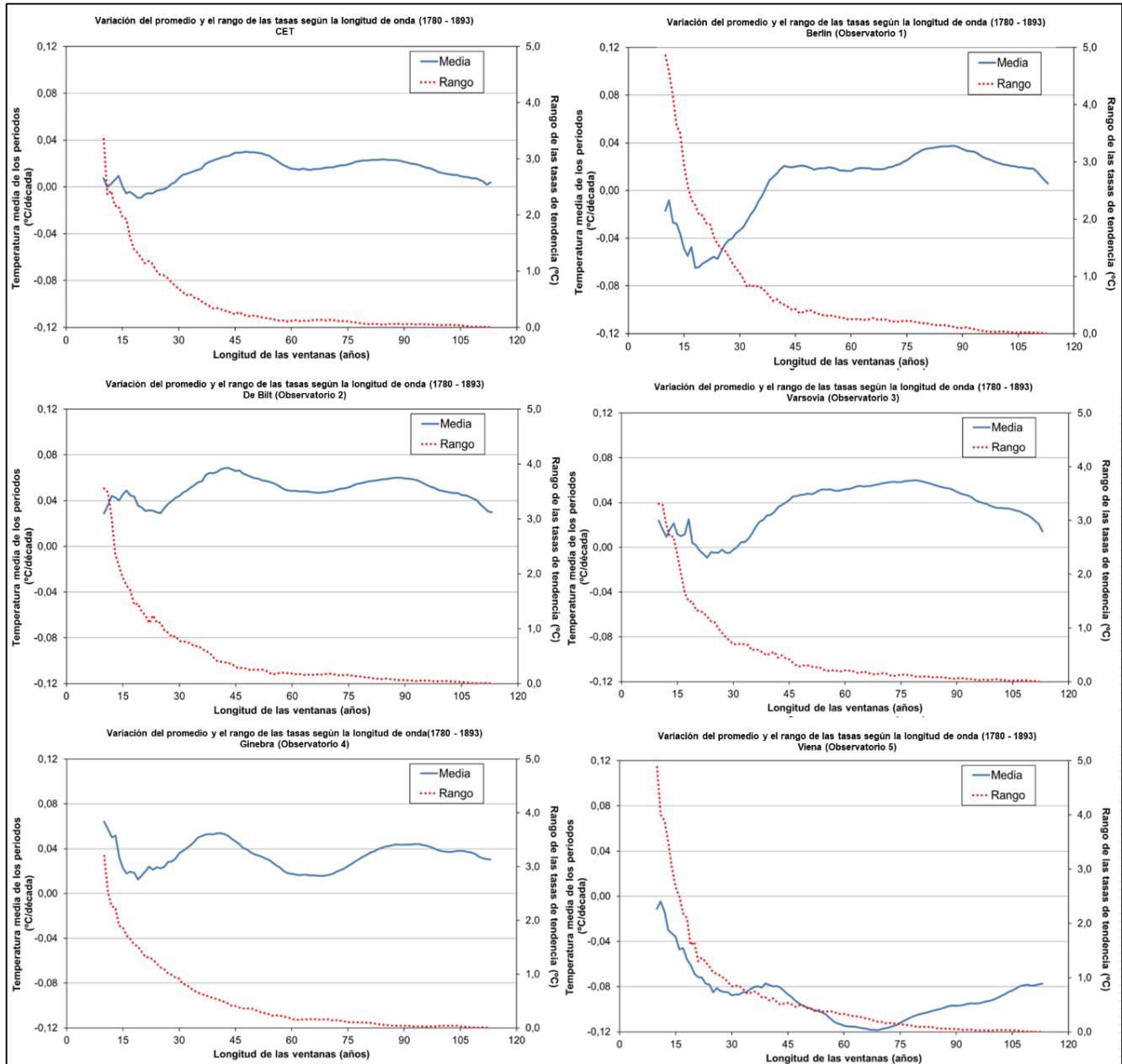
Fuente: Elaboración propia



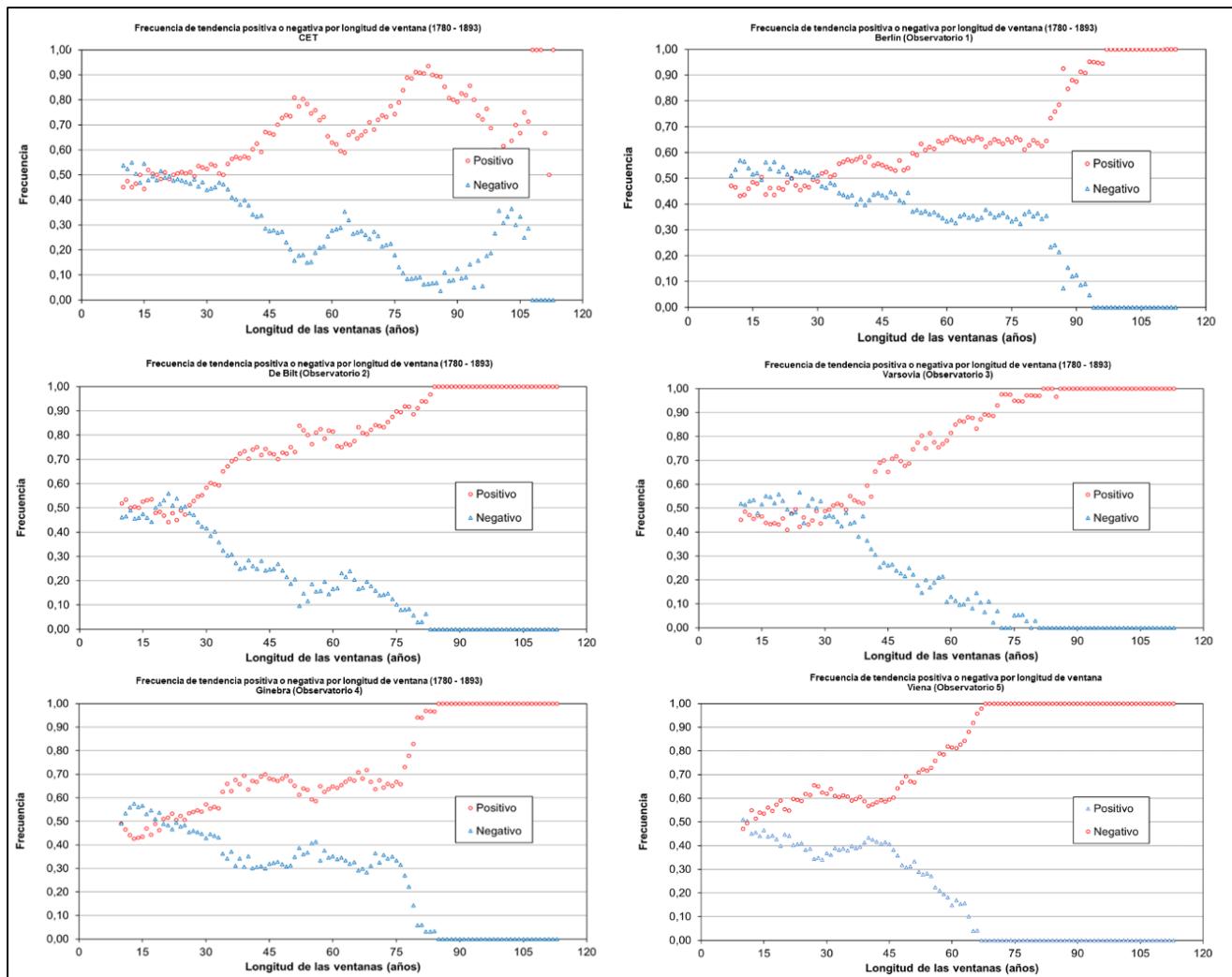
Anexo 7. Evolución de la relación señal/ruido en los observatorios (1780-1893). Fuente:
Elaboración propia.



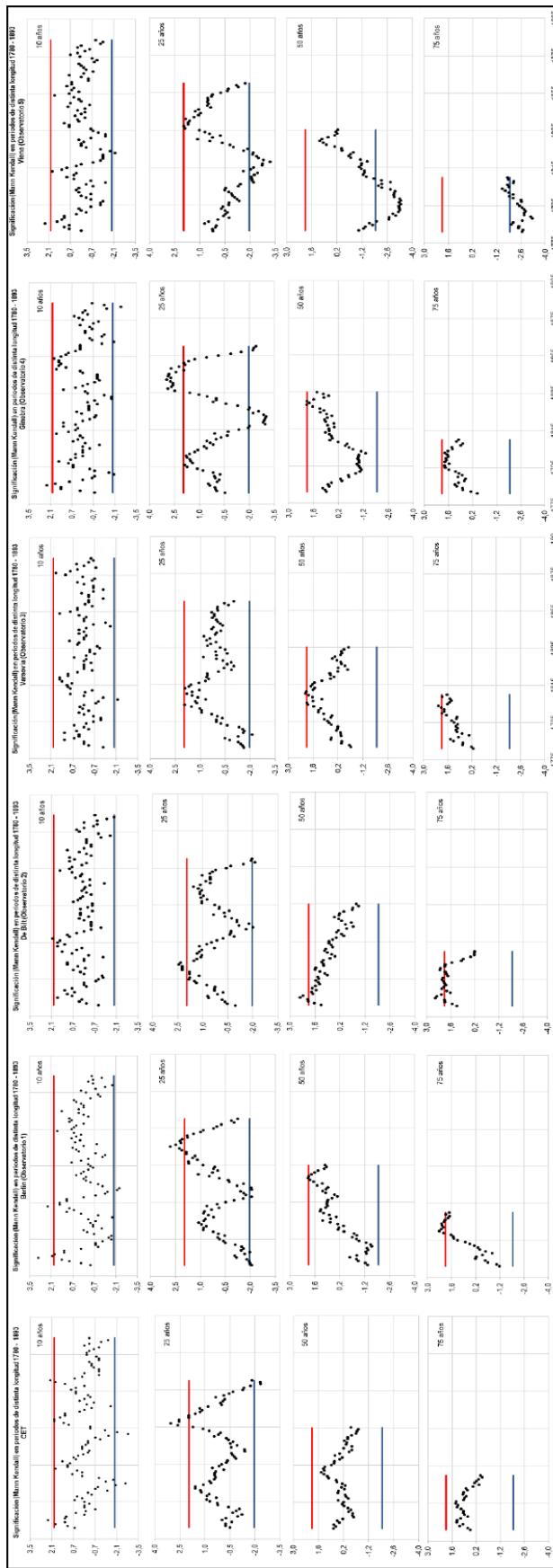
Anexo 8. Variación del promedio y el rango de las tasas según la longitud de onda de cada observatorio (1780-1893). Fuente: Elaboración propia.



Anexo 9. Frecuencia de tendencias positivas y negativas por longitud de ventana de año en los observatorios (1870-1893). Fuente: Elaboración propia.



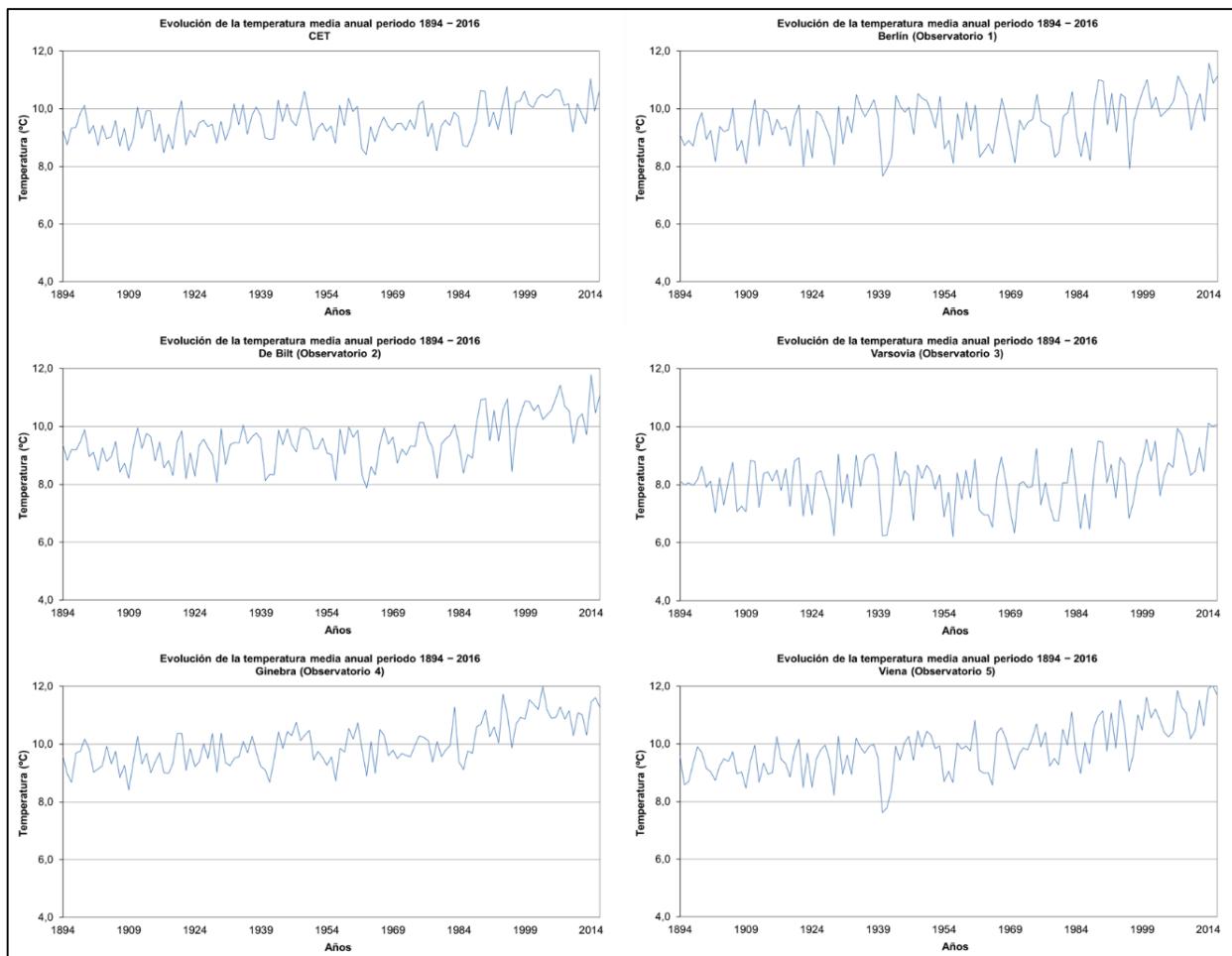
Anexo 10: Evolución de la significación de la tasa de tendencial para las ventanas móviles en diferentes duraciones (1780 – 1893). Fuente: Elaboración propia.



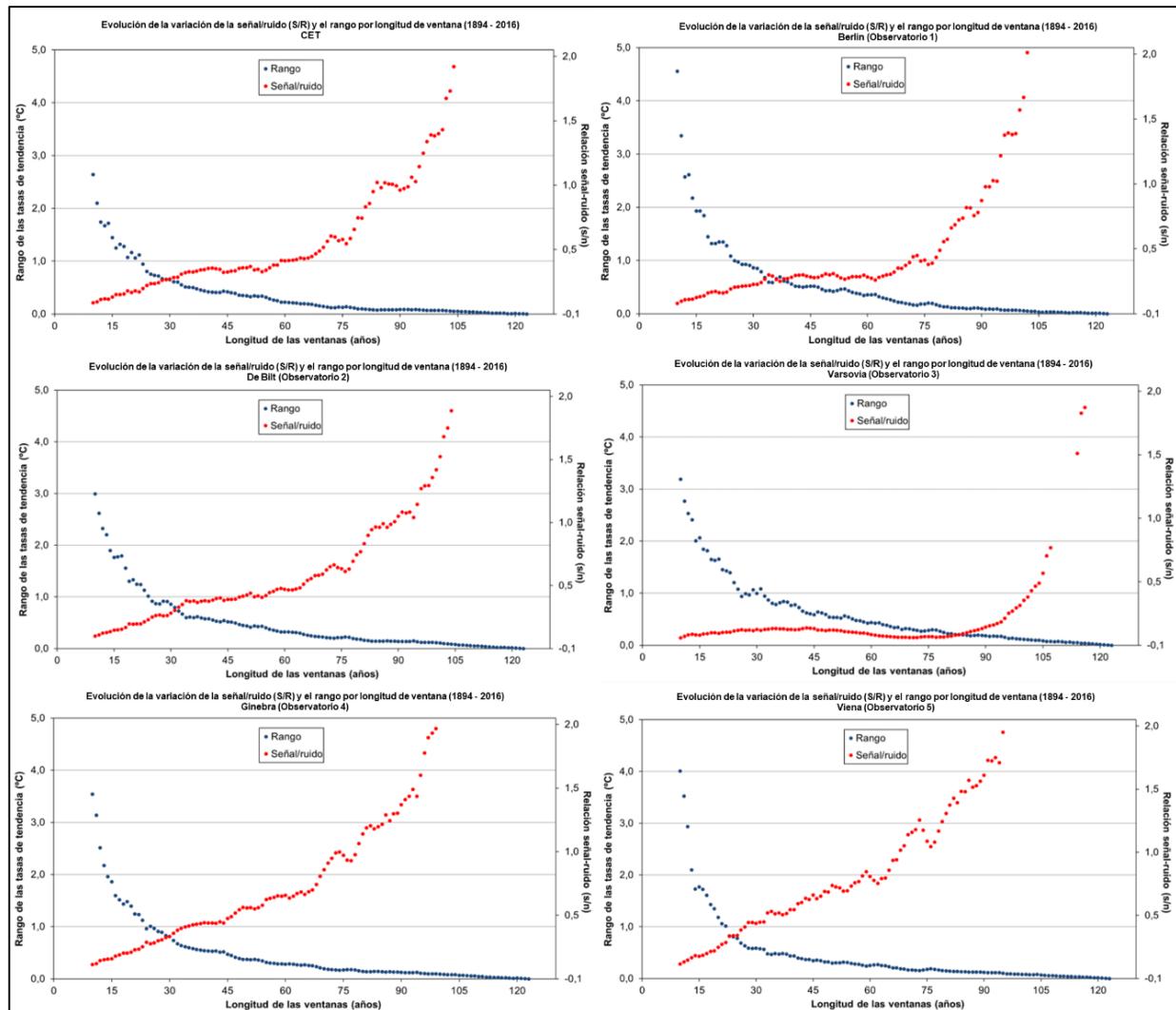
Anexos pertenecientes al periodo 1894 - 2016:

Anexo 11. Evolución de la temperatura media anual de cada observatorio (1894- 2016).

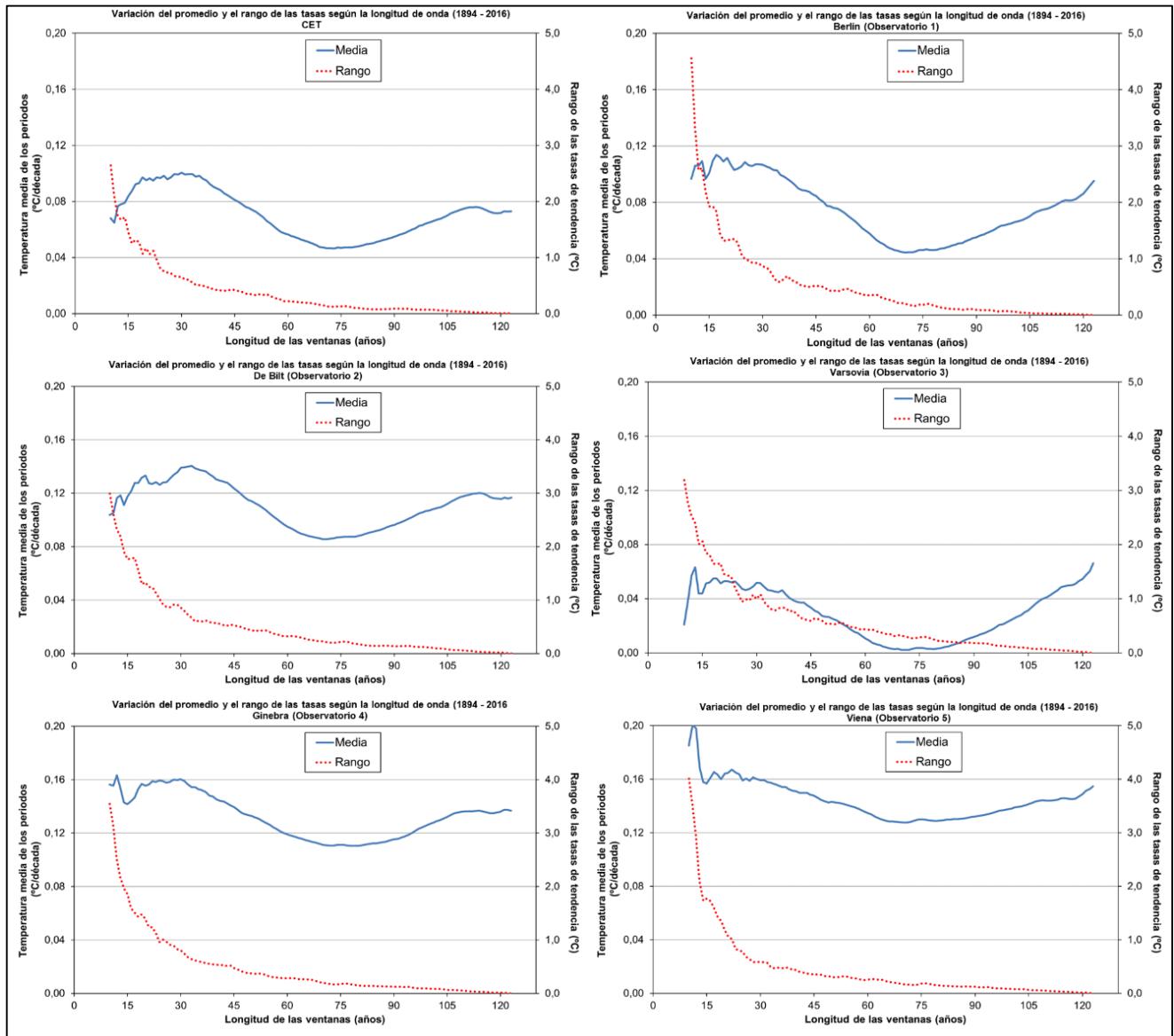
Fuente: Elaboración propia



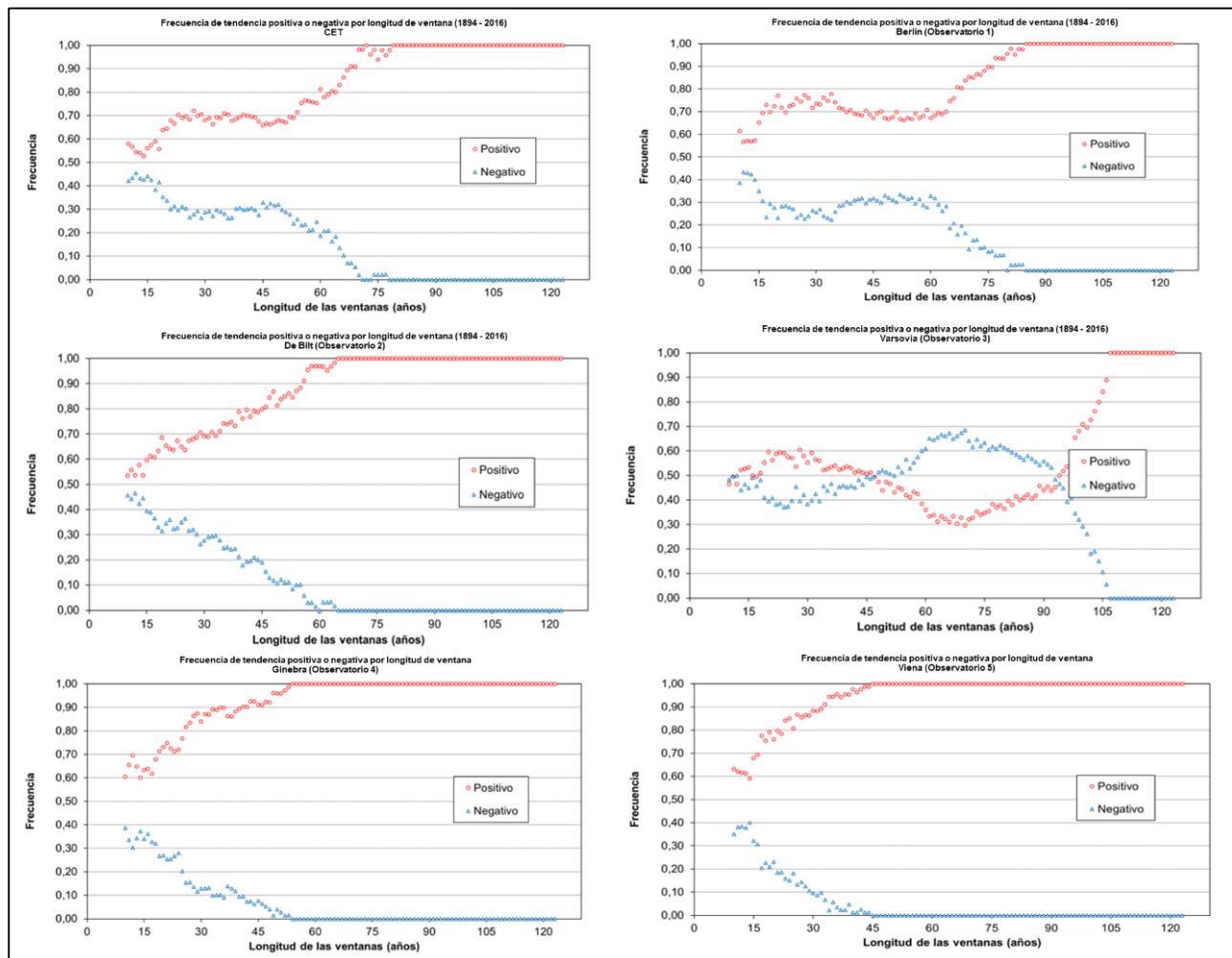
Anexo 12. Evolución de la relación señal/ruido en los observatorios (1894-2016). Fuente:
Elaboración propia.



Anexo 13. Variación del promedio y el rango de las tasas según la longitud de onda de cada observatorio (1894-2016). Fuente: Elaboración propia.



Anexo 14. Frecuencia de tendencias positivas y negativas por longitud de ventana de año en los observatorios (1893-2016). Fuente: Elaboración propia.



Anexo 15: Evolución de la significación de la tasa de tendencial para las ventanas móviles en diferentes duraciones (1893-2016). Fuente: Elaboración propia.

