



## Trabajo Final de Grado

# “Metodología de Estudio de Series Temporales Climatológicas.

# Aplicación a la Temperatura”

---

Autor: **David De Las Nieves Martínez**

Tutor: **Giménez Torres, Joaquín**

Curso Académico: 2019/2020

Grado en Ciencias Ambientales

Facultad: Ciencias Experimentales

Departamento: Física y Arquitectura de Computadores

Área de Física Aplicada

## ÍNDICE

1. Introducción .....	¡Error! Marcador no definido.
1.1. Definición de Clima, Cambio Climático, sus orígenes y cronología.....	4
1.2. Situación en España y en la Comunidad Valenciana .....	5
1.3 Justificación del trabajo.....	7
2. Objetivos .....	7
3. Materiales y Métodos .....	8
3.1. Materiales .....	8
3.2 Metodología.....	9
3.2.1. Preparación de datos.....	9
3.2.2. Tratamiento de datos.....	10
4. Resultados .....	11
5. Conclusiones.....	14
6. Proyección futura .....	17
7. Referencias.....	18



## RESUMEN

En el presente trabajo, se aborda la metodología para tratar series temporales y se aplica a la serie de temperatura de la ciudad de Elche (Alicante) en el periodo 2008-2018. Los datos se toman de la estación de Red de Vigilancia de Comunidad Valenciana de la Generalitat Valenciana de calidad del aire, Elx-Agroalimentari. Se completa los datos faltantes en la serie, se estudia su homogeneidad mediante el test SNHT de Alexandersson y se aplica el test de Mann-Kendall corregido de autocorrelaciones mediante el test de Yue para estudiar la tendencia y su pendiente con el test de Sen. Se estudió las series de temperatura media mensual, media anual, máxima mensual, mínima mensual, máxima anual, mínima anual, amplitud mensual y amplitud anual encontrándose tendencias significativas, tanto positivas como negativas en 20 de las 52 variables estudiadas.

Palabras clave: Test de Alexandersson, test de Mann-Kendall, test de Yue, tendencias de temperatura.

## ABSTRACT

In this paper, the methodology for treating time series is addressed and applied to the temperature series of the city of Elche (Alicante) in the period 2008-2018. The data is taken from the Valencian Community Surveillance Network station of the Generalitat Valenciana of air quality, Elx-Agroalimentari. The missing data in the series is completed, its homogeneity is studied using the Alexandersson SNHT test and the Mann-Kendall test corrected for autocorrelations is applied using the Yue test to study the trend and its slope with the Sen test. The series of monthly average temperature, annual average, monthly maximum, monthly minimum, annual maximum, annual minimum, monthly amplitude and annual amplitude were studied, finding significant trends, both positive and negative, in 20 of the 52 variables studied.

Key words: Test Alexandersson Test, Mann-Kendall test, Yue test, temperature trends.

# 1. Introducción

## 1.1. Definición de clima, cambio climático, sus orígenes y cronología

El clima es el conjunto de condiciones atmosféricas propias de un lugar, constituido por la cantidad y frecuencia de lluvias, la humedad, la temperatura, los vientos, etc., y cuya acción compleja influye en la existencia de los seres sometidos a él.

El cambio climático es la variación del estado del clima identificable en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente como unos 30 años aproximadamente, según la Organización Meteorológica Mundial. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales como las erupciones volcánicas o a forzamientos externos tales como cambios en la actividad solar.

En cuanto a los orígenes del fenómeno conocido como cambio climático podemos datarlos de casi 200 años atrás (Tyndall,1863; Arrhenius,1896). Estos dos estudios se basan en el fenómeno conocido como efecto invernadero, el cual, es el efecto radiativo infrarrojo de todos los componentes de la atmósfera que absorben la radiación solar en la banda del espectro del infrarrojo. Fourier, por ejemplo, según las palabras de Sallie Baliunas del centro Smithsonian de astrología (Balliunas,2009) fue uno de los primeros en referirse al efecto invernadero estudiando la temperatura de la tierra y la capacidad radiativa de la atmosfera utilizando una analogía de "un cuenco de vidrio", ya que deja pasar la luz solar pero retiene la radiación infrarroja del suelo, pero finalmente acabo concluyendo que el efecto invernadero fue menos importante que otras influencias como la temperatura del espacio mismo y la radiación solar.

Tyndall descubrió y llego a la conclusión de que el vapor de agua( $H_2O(g)$ ) era el gas de efecto invernadero clave, observando que era capaz de absorber 16000 veces más radiación infrarroja que el aire seco de  $N_2$  y  $O_2$ .

Arrhenius estudió los posibles efectos climáticos de los cambios en las concentraciones atmosféricas de dióxido de carbono( $CO_2$ ), ya que estaba muy interesado en la causa de las principales glaciaciones, así calculo el resultado de agregar y eliminar dióxido de carbono de la atmosfera, estipulando que para aumentar la concentración de dióxido de carbono haría falta un aumento de la temperatura promedio global en  $4^{\circ}C$ , y al mismo tiempo una disminución en la misma temperatura provocaría una disminución en la concentración de dióxido de carbono, pero él atribuía los cambios en la concentración a causas geológicas naturales como las erupciones volcánicas.

Pero no es hasta finales de 1950 que se empieza a cuestionar el origen del efecto invernadero mediante mediciones del nivel de dióxido de carbono en la Antártida y en Hawái (Keeling et al.,1984 citado en Agrawala, 1998.), en las cuales se observó el gran aumento en los niveles de  $CO_2$  y por tanto del efecto invernadero debido a la acción antrópica.

Todos estos cambios observables conllevan que se empiece a hablar de calentamiento global y por tanto de un cierto cambio climático, así en 1963 se admite por parte de una Organización No Gubernamental (ONG), llamada la Fundación de Conservación, uno de los primeros reconocimientos de la amenaza del cambio climático, y se puso de manifiesto en una reunión de la citada ONG donde se concluyó que duplicar la concentración del  $CO_2$  atmosférico produciría un aumento de la temperatura global en  $3.8^{\circ}C$  (Kellogg,1987), y en 1965 el Comité Asesor de Ciencias del Presidente de los Estados Unidos(PSAC) reconoce que el cambio climático podría estar causado y tener su origen en la acción antrópica y que podría tener consecuencias importantes.

Todo esto crea un gran revuelo en la comunidad científica lo que provoca, tras un pequeño periodo de transición, que se convoque la primera conferencia mundial sobre el clima en 1979, donde posteriormente tras un periodo de normalización, en 1987 se publica el informe final de la comisión, conocido como "Informe Brundtland" que llamo la atención sobre la urgente necesidad de encontrar formas de desarrollo económico sólidas y estables sin perjudicar el medio ambiente ni reducir sus recursos naturales.

Mientras tanto en 1988 se crea el Panel Intergubernamental del Cambio Climático (IPCC), formado por varios expertos y donde se debatió la problemática existente del cambio climático, dividiéndose el trabajo en 3 subgrupos. Se llevó a cabo una revisión exhaustiva en el ámbito social, económico y político de las posibles respuestas para retrasar, mitigar o limitar el impacto del cambio climático, los tratados relevantes y otras leyes e instrumentos relacionados con el clima (Agrawala, 1998).

Más tarde, usando como base el Informe Brundtland en 1990, se crea la Agencia Europea de Medio Ambiente (AEMA), y en 1992 se convoca la Cumbre de la Tierra en Río de Janeiro, donde la comunidad internacional abordó el reto de articular un modelo de desarrollo global que fuera capaz a través de diferentes parámetros comunes de asegurar el desarrollo económico y el bienestar social y ambiental de la humanidad, de esta manera se empieza a hablar del llamado "Desarrollo Sostenible", el cual es la capacidad de todo ser humano de satisfacer sus propias necesidades actuales sin comprometer por ello los recursos y posibilidades de la generaciones futuras.

Mientras tanto 1993, se crea la Unión Europea (UE) y en 1995, las Naciones Unidas organizan la primera conferencia sobre el cambio climático en Berlín, donde se exigió a todas las partes que inicien negociaciones para reducir las emisiones de gases perjudiciales para la atmosfera más allá del año 2000 mediante objetivos cuantitativos y plazos concretos, pero hasta dos años más tarde no se materializó, con la firma del Protocolo de Kioto en 1997 en Japón, entrando en vigor en 2005 cuando 55 países lo ratificaron. En ella, 38 países se comprometieron de forma vinculante a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero conjuntamente en al menos un 5% en el periodo de 2008-2012 en relación con los niveles de 1990, poco a poco, en los años siguientes, varios países se unirían y algunos abandonarían el Protocolo de Kioto, pero en 2009 la UE saca un paquete de medidas convertidas en ley, por las cuales los suscritos al Protocolo de Kioto deben cumplir tres objetivos principales, los cuales son:

- 1- Reducir un 20% la emisión de gases de efecto invernadero
- 2- Que el 20% de la energía de la UE provenga de energías renovables
- 3- Mejora del 20% en la eficiencia energética

Finalmente, las previsiones no se consiguieron y se amplió a un segundo periodo de 2013-2020 para que se puedan conseguir estas metas. Cumplido este periodo tampoco se han conseguido los objetivos propuestos.

## 1.2. Situación en España y en la Comunidad Valenciana

De entre los estudios sobre el cambio climático que afecta a España citaremos los siguientes. Primero, el de González-Hidalgo et al., en el 2016, el cual se centra en estudiar la variación de las tendencias de las temperaturas estacionales en España usando los registros de temperaturas medias tanto máximas como mínimas entre los años 1951-2010 de la base de datos MOTEDAS (González Hidalgo et al.,2015), y utilizando el test de Mann-Kendall, que sirve para poder observar la tendencia de serie de datos temporales y el estadístico de Sen para conocer la tasa de cambio.

Las conclusiones que se obtuvieron muestran una ausencia significativa en las tendencias de las temperaturas medias máximas y mínimas en invierno y en otoño, pero en primavera se observa que la mínima si es significativa, mientras que en verano ni las máximas ni las mínimas son significativas. En cuanto a las tasas se obtuvo un aumento notable en la temperatura media tanto máxima como mínima en primavera y en verano y que la tasa de temperatura mínima había superado a la de temperatura máxima desde 1990.

Y en segundo lugar, el llevado a cabo por Brunet et al., en el 2006, en el cual utilizando el análisis de componentes principales para los registros de las temperaturas máximas, mínimas y medias diarias se analizaron patrones temporales y espaciales de cambio de temperatura en España durante el periodo de 1850-2005.

Como conclusión, se encontró un aumento significativo de la temperatura de España en 0.10 °C cada 10 años, observándose también que este aumento general, se debía en mayor medida a un aumento en las temperaturas extremas frías que en un aumento de las temperaturas extremas cálidas.

En cuanto a la Comunidad Valenciana desde finales de 1950 en adelante se llevaron a cabo varios estudios que ayudaron a que se empezara a hablar de un posible cambio climático, como por ejemplo el llevado a cabo por Quereda et al., en el 2018, en el cuál se usó registros obtenidos de la red regional de Aemet (Agencia Estatal de Meteorología) de 10 observatorios, con series de más de 67 años.

Finalmente llegaron a la conclusión, de que en el periodo de 1950-2016, se había producido un incremento en la temperatura de al menos 1°C en la Comunidad Valenciana, y al mismo tiempo mediante el uso del Urban Heat Index (UHI) y de los registros anteriormente mencionados se confirma que podría estar afectando con una generación de calor urbano de entre 0.6 y 0.8 °C , y por tanto se deduce que tanto la acción antropogénica como las interacciones atmósfera- mar, pueden ser las dos grandes causas del aumento de la temperatura. No obstante este reconocimiento de la elevación térmica, no impide que resulte todavía muy aventurado afirmar tanto la verdadera magnitud del Cambio Climático regional así como su atribución exclusiva al efecto invernadero. Según los informes del IPCC (2007-2013), basados en los modelos del Hadley Center, se establece que nuestra región mediterránea será la más vulnerable de toda Europa a los efectos del cambio climático. Se estima un aumento regional de 1,5°C a 3°C, durante el siglo XXI (Quereda et al., 2018).

Otro estudio es el llevado a cabo por Miró et al., en el 2006, en el cual utilizando los registros diarios de temperaturas medias tanto máximas como mínimas de la red de estaciones del Instituto Nacional de Meteorología( INM) de la región de Valencia y áreas adyacentes entre 20 y 30 km, y utilizando los métodos de regresión simple y de análisis de tendencias utilizando el test de Mann-Kendall junto con el estimador de pendiente de Sen, se estudió la evolución y la tendencia de las temperaturas en los meses de verano en la zona de Valencia en el periodo de 1958-2003.

Finalmente se obtuvo que existía una mayor frecuencia de días con características tropicales y calor persistente, pero por el contrario no se encontraron tendencias que evidenciaran un aumento de las temperaturas máximas absolutas.

Por último citaremos el estudio de Favá et al., en el 2018, que usó datos de presión obtenidos del NCEP/NCAR (Centro Nacionales de Predicción Ambiental/Centro Nacional para la Investigación Atmosférica), el registro de temperaturas máximas y mínimas diarias obtenidas del Aemet desde 1948-2006, el índice NAO, y el Método de Montecarlo usando la metodología de Turco y Llasat (Turco y Llasat., 2011) para evaluar tendencias.

### 1.3. Justificación del trabajo

Los cambios en la temperatura, tanto a nivel global como nacional y en nuestro caso en la Comunidad Valenciana, es un hecho demostrado mediante diversos estudios a lo largo de la historia (Keeling et al., 1984; Kellogg, 1987), (González Hidalgo et al., 2016; Brunet et al., 2006), (Quereda et al., 2018; Miró et al, 2006; Favá et al., 2018). Sin embargo, los estudios a nivel local y regional siguen siendo escasos. Interesa ahondar en el conocimiento de los mismos para aquilatar las tendencias climáticas.

El presente trabajo se enmarcaría en una primera aproximación a estudios locales.

## 2. Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es mostrar la metodología que se debe utilizar para poder llevar a cabo un estudio de series temporales climatológicas.

En segundo lugar, estudiar una serie climatológica de temperatura relativamente corta y valorar los resultados obtenidos.



### 3. Materiales y Métodos

#### 3.1 Materiales

Los datos se tomaron de la base de datos horarios de la estación Elx-Agroalimentari de la Red de Vigilancia de Comunidad Valenciana de la Generalitat Valenciana para el periodo 2008-2018 que se encuentran en el siguiente enlace.

<http://www.agroambient.gva.es/web/calidad-ambiental/datos-obtenidos-a-partir-de-la-rvvcca>

En la tabla 1 se cita sus coordenadas y altitud y en la figura 1 una foto de la estación

Estación	Latitud	Longitud	Altitud(m)
Generalitat	38°14'53,2N	0°41'52,6W	57

Tabla 1. Coordenadas de la estación meteorológica del estudio.



Figura 1. Localización de la estación Agroalimentari de Elx

El material informático utilizado fue la hoja de cálculo Microsoft EXCEL, el software estadístico IBM Statistics SPSS y el paquete estadístico de EXCEL XLSTAT.

## 3.2 Metodología

### 3.2.1 Preparación de datos.

En las campañas experimentales, se almacenan las medidas procedentes de los sensores en series temporales. Éstas acostumbran a contener anomalías, como consecuencia de la digitalización de la señal, derivadas del mismo sensor, por el cableado, por el sistema de almacenamiento o por el sistema de alimentación del conjunto. Las principales anomalías encontradas son los valores puntuales, o picos excesivamente altos o bajos, las discontinuidades o huecos en el muestreo y el ruido o inhomogeneidades presentes en las series temporales. En consecuencia, se hace imprescindible realizar un control de calidad a los datos antes de extraer posibles conclusiones erróneas.

En el tratamiento estadístico conviene eliminar de las series temporales aquellos datos aislados (picos) que se alejan del valor medio porque alteran los resultados.

Suponiendo que la serie temporal digitalizada  $\{x_i\}$  se comporta como una variable aleatoria normal en períodos cortos, podemos calcular su valor medio  $\bar{x}$  mediante la expresión

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

Donde  $N$  es el número de términos de la ventana considerada, y la varianza correspondiente según

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2 \quad (2)$$

Eligiendo un nivel de confianza de la serie de 3,5 veces la desviación estándar,  $\sigma_x$ , escrutamos cada uno de los datos, sustituyendo todos aquellos que no estén comprendidos en el intervalo  $(\bar{x} - 3,5 \sigma_x, \bar{x} + 3,5 \sigma_x)$

La sustitución más utilizada es por el valor medio de los dos valores próximos o bien mediante una interpolación lineal (Vickers y Mahrt, 1997)

Como los picos iniciales han influido en el cálculo de los estadísticos anteriores, ecuaciones (1) y (2), se repite el proceso para toda la serie con los datos sustituidos, calculándose los nuevos estadísticos de filtrado. Y así sucesivamente, hasta que el total de los datos de la serie no sustituidos estén dentro del intervalo de confianza designado por la media y la varianza últimas.

Cuando los datos faltantes correspondían a valores máximos o mínimos (mediodía o amanecer), se sustituían por la media de sus valores más próximos a esas horas.

### 3.2.2 Tratamiento de datos

En primer lugar, se estudia la homogeneidad de las series temporales usando el test SNHT de Alexandersson (Alexandersson, H. 1986) a series mensuales para detectar aquellas discontinuidades en las series no atribuibles a factores puramente climáticos.

Si se detectara algún caso de discontinuidad debido a factores no climáticos, se debería homogeneizar la serie comparándola con datos de otras series vecinas con varianzas similares a la estudiada y entre sí. Deberían ser representativas del lugar de estudio y no estar muy alejadas pues su correlación cae con la distancia (Guijarro., Jose.A. 2018) ver figuras 2 y 3.

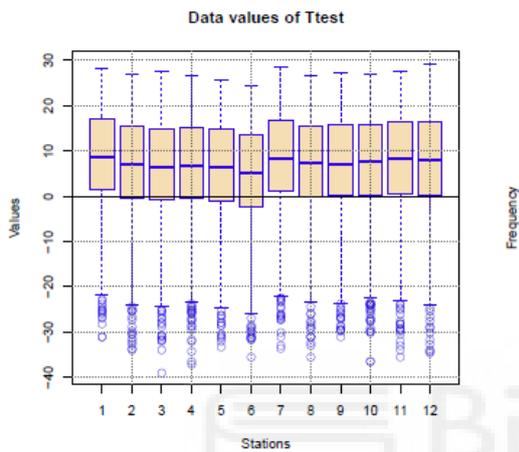


Figura 2. Diagrama de cajas de estaciones vecinas (Guijarro., Jose.A. 2018)

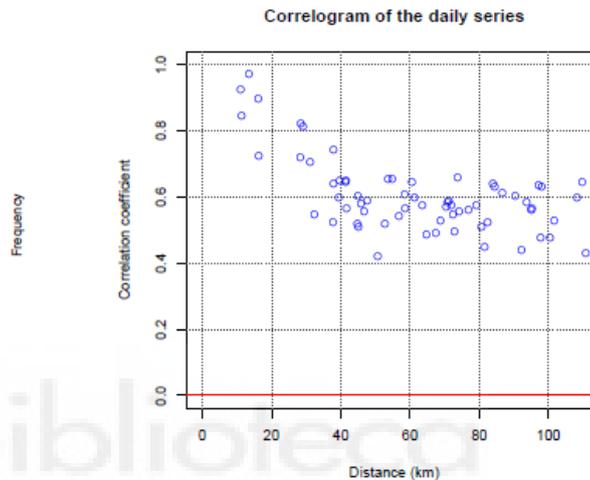


Figura 3. Coeficientes de correlación con la distancia (Guijarro., Jose.A. 2018)

El programa CLIMATOL (entre otros) hace el trabajo homogenización y relleno de datos automáticamente (<https://CRAN.R-project.org/package=climatol>)

En nuestro caso, no se dispone de estaciones vecinas para poder hacer la homogenización por lo que asumiremos la homogeneidad de las mismas.

Más aún, en general, si no se está seguro de la calidad de la serie de referencia, los resultados pueden estar falseados (Quereda et al. 2018)

En segundo lugar, se aplican los test de tendencia no paramétricos de Mann-Kendall (Salmi.T., et al. 2002) corregido de autocorrelaciones mediante el test de Yue (Yue.S., et al) y el de pendiente de Sen (Wang. Wenpeng et al, 2019).

#### 4. Resultados.

El número de datos perdidos se muestra en la tabla

Año	Hora/año	Datos	% Valores perdidos
2008	8760	8379	4,35
2009	8760	8560	2,28
2010	8760	8553	2,36
2011	8760	8759	0,01
2012	8784	8596	2,14
2013	8760	8720	0,46
2014	8760	8265	5,65
2015	8760	8675	0,97
2016	8784	8687	1,10
2017	8760	8581	2,04
2018	8760	8672	1,00
Total	96408	94447	2,03

Tabla 2. Valores perdidos en el periodo 2008-2018

Los bajos porcentajes, inferiores al 20%, permiten la utilización de los mismos.

El rellenado de valores perdidos se llevó a cabo utilizando el software informático IBM SPSS Statics y la hoja de cálculo Excel de Microsoft.

A continuación, se aplicó el test de Homogeneidad SNHT- de Alexandersson., 1986 a series mensuales con significaciones del 5% y 1%.

Interpretación de la prueba:

H0: Los datos son homogéneos

Ha: Hay una fecha en la que hay un cambio en los datos

Cuando el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0,05$  (o 0,01), se debe rechazar la hipótesis nula H0, y aceptar la hipótesis alternativa Ha.

Como ejemplo adjuntamos las graficas de salida del modelo del paquete estadístico de Excel XLSTAT

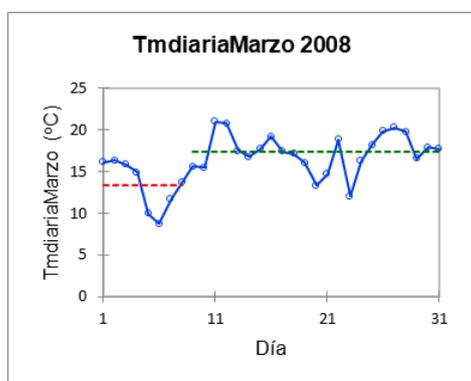


Figura 4. Serie no homogénea. Salida del paquete estadístico de Excel, XLSTAT

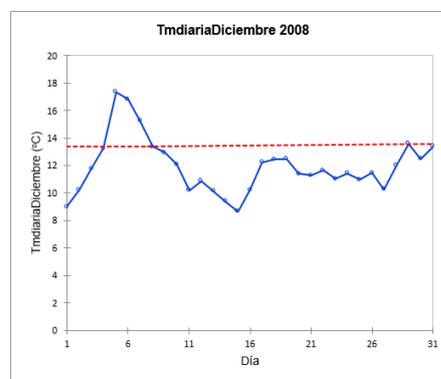


Figura 5. Serie homogénea. Salida del paquete estadístico de Excel, XLSTAT

En la figura 4 se observa un salto de temperatura que separa dos series de medias distintas. En este caso, existe un aumento de temperatura en el mes ilustrado. Este cambio de temperatura puede ser debido a un efecto puramente climatológico o un efecto no climatológico como puede ser errores en la toma de medidas o en su transmisión, y cambio en el instrumental utilizado, cambios en la ubicación del observatorio o su entorno. Estos últimos pueden ser cambios bruscos, como el incendio de un bosque colindante, o graduales, como la posterior recuperación de la vegetación. Estas alteraciones de las series, denominadas inhomogeneidades, enmascaran los verdaderos cambios del clima y hacen que el estudio de las series conduzca a conclusiones erróneas

La abundancia de meses heterogéneos induce a pensar que los cambios se deban fundamentalmente a factores climáticos lo cual no impide que alguno salto se daba a algún factor no climático. Para decidir sobre esta cuestión, se debería disponer de Metadatos e información complementaria. No se dispone de esta información por lo que se asumirá que los saltos son debidos a factores climáticos.

A continuación, se aplica el Test de tendencia de Mann-Kendall corregido de autocorrección por el test de Yue y el de pendiente de Sen.

El signo del estadístico del test de Mann-Kendall indica la tendencia. Positivo para tendencia creciente y negativo para tendencia decreciente. El teste de Sen se aplica en combinación con el de Mann-Kendall y da una estimación de la pendiente.

Interpretación de la prueba de Mann-Kendall

H<sub>0</sub>: No existe una tendencia en la serie

H<sub>a</sub>: Hay una tendencia en la serie

Cuando el valor-p computado es menor que el nivel de significación  $\alpha=0,05$  (o  $0,01$ ), se debe rechazar la hipótesis nula H<sub>0</sub>, y aceptar la hipótesis alternativa H<sub>a</sub>.

En la tabla siguiente, se ilustra la salida del paquete estadístico de Excel XLSTAT

Variable	Observaciones	Obs. con datos perdidos	Obs. sin datos perdidos	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica	Pendiente Sen	Intervalo de Confianza 95%	Intervalo de Confianza 99%	P valor $\alpha=(0,05)$	P valor $\alpha=(0,01)$
TmEnero	11	0	11	11,830	14,453	12,932	0,931	0,106	(-0,129-0,357)	(-0,202-0,395)	0,005	0,005
TmFebrero	11	0	11	10,273	14,905	13,033	1,316	0,104	(-0,160-0,384)	(-0,257-0,420)	0,109	0,109
TmMarzo	11	0	11	13,524	16,356	15,098	0,804	0,089	(-0,125-0,246)	(-0,154-0,309)	0,313	0,313
TmAbril	11	0	11	16,472	19,662	17,566	0,935	0,062	(-0,207-0,205)	(-0,227-0,247)	0,060	0,060
TmMayo	11	0	11	19,056	22,020	20,520	0,945	0,062	(-0,161-0,233)	(-0,251-0,357)	0,001	0,001
TmJunio	11	0	11	22,840	26,027	24,411	1,025	0,119	(-0,127-0,325)	(-0,218-0,385)	< 0,0001	< 0,0001
TmJulio	11	0	11	26,553	28,859	27,159	0,670	0,037	(-0,086-0,169)	(-0,166-0,187)	0,114	0,114
TmAgosto	11	0	11	26,641	28,318	27,518	0,547	0,005	(-0,127-0,164)	(-0,187-0,183)	1,000	1,000
TmSeptiem	11	0	11	23,927	25,996	24,788	0,676	0,045	(-0,118-0,207)	(-0,159-0,310)	0,003	0,003
TmOctubre	11	0	11	19,760	22,837	21,180	1,018	0,033	(-0,268-0,264)	(-0,365-0,350)	0,751	0,751
TmNoviemr	11	0	11	13,946	17,649	16,133	1,015	0,055	(-0,248-0,232)	(-0,328-0,374)	0,390	0,390
TmDiciemb	11	0	11	11,350	14,556	13,165	0,993	0,166	(-0,026-0,376)	(-0,125-0,403)	< 0,0001	< 0,0001
Tmanual	11	0	11	18,626	20,046	19,458	0,415	0,063	(-0,077-0,150)	(-0,109-0,169)	0,000	0,000
TmaxEnero	11	0	11	21,100	27,200	23,918	1,702	-0,086	(-0,500-0,360)	(-0,700-0,600)	0,634	0,634
TmaxFebrer	11	0	11	20,500	26,200	23,764	1,699	0,238	(-0,250-0,800)	(-0,350-0,920)	0,235	0,235
TmaxMarzo	11	0	11	23,200	31,000	26,345	2,429	0,400	(-0,360-0,800)	(-0,867-0,875)	0,009	0,009
TmaxAbril	11	0	11	25,300	30,900	27,500	1,789	-0,240	(-0,550-0,125)	(-0,800-0,383)	< 0,0001	< 0,0001
TmaxMayo	11	0	11	27,900	35,600	30,856	2,250	-0,130	(-0,670-0,375)	(-0,850-0,600)	0,388	0,388
TmaxJunio	11	0	11	31,500	37,900	34,036	2,065	0,0375	(-0,533-0,500)	(-0,900-0,750)	1,000	1,000
TmaxJulio	11	0	11	33,200	38,900	35,538	1,938	0,100	(-0,460-0,500)	(-0,767-0,617)	0,205	0,205
TmaxAgosto	11	0	11	34,700	38,000	36,709	0,980	-0,033	(-0,260-0,200)	(-0,300-0,250)	0,089	0,089
TmaxSeptie	11	0	11	32,100	36,800	34,818	1,615	-0,017	(-0,500-0,333)	(-0,625-0,550)	0,832	0,832
TmaxOctubr	11	0	11	29,000	33,700	31,064	1,522	-0,150	(-0,600-0,300)	(-0,650-0,400)	0,258	0,258
TmaxNovie	11	0	11	23,100	30,300	25,964	2,143	-0,014	(-0,622-0,375)	(-0,967-0,500)	1,000	1,000
TmaxDicien	11	0	11	20,300	24,800	23,064	1,412	0,044	(-0,420-0,343)	(-0,500-0,467)	0,298	0,298
Tmaxanual	11	0	11	36,200	38,900	37,300	0,772	-0,040	(-0,200-0,100)	(-0,275-0,183)	0,025	0,025
TminEnero	11	0	11	0,800	6,300	3,791	1,650	0,083	(-0,375-0,400)	(-0,500-0,600)	0,695	0,695
TminFebrer	11	0	11	1,600	7,200	4,782	1,363	0,057	(-0,133-0,300)	(-0,240-0,400)	0,669	0,669
TminMarzo	11	0	11	4,600	8,400	6,255	1,108	0,160	(-0,125-0,300)	(-0,233-0,400)	0,000	0,000
TminAbril	11	0	11	8,700	11,800	9,982	1,100	-0,017	(-0,340-0,250)	(-0,467-0,333)	0,536	0,536
TminMayo	11	0	11	9,900	14,000	12,309	1,430	-0,100	(-0,450-0,167)	(-0,700-0,329)	0,484	0,484
TminJunio	11	0	11	14,400	19,100	16,518	1,695	0,100	(-0,400-0,400)	(-0,560-0,600)	0,316	0,316
TminJulio	11	0	11	19,200	23,600	21,055	1,362	-0,113	(-0,429-0,200)	(-0,533-0,383)	0,026	0,026
TminAgosto	11	0	11	19,200	23,200	21,509	1,172	-0,033	(-0,211-0,200)	(-0,375-0,300)	1,000	1,000
TminSeptie	11	0	11	14,600	19,100	17,555	1,406	0,100	(-0,050-0,400)	(-0,200-0,467)	0,009	0,009
TminOctubr	11	0	11	8,300	15,000	12,036	2,696	0,100	(-0,300-0,786)	(-0,589-1,000)	0,205	0,205
TminNovier	11	0	11	4,400	10,200	7,418	1,881	0,150	(-0,350-0,700)	(-0,560-0,760)	0,226	0,226
TminDiciem	11	0	11	0,400	8,000	4,855	2,610	0,388	(-0,044-0,875)	(-0,417-0,983)	< 0,0001	< 0,0001
Tminanual	11	0	11	0,400	4,800	2,809	1,445	0,150	(-0,080-0,443)	(-0,400-0,500)	0,000	0,000
AmpEnero	11	0	11	18,300	23,200	20,127	1,581	0,133	(-0,375-0,378)	(-0,400-0,450)	0,858	0,858
AmpFebrer	11	0	11	14,700	22,400	18,982	2,398	0,133	(-0,550-0,980)	(-0,733-1,100)	0,141	0,141
Ampmarzo	11	0	11	15,900	25,000	20,091	2,633	0,288	(-0,520-0,675)	(-0,767-0,950)	0,001	0,141
Ampabril	11	0	11	15,700	19,100	17,518	1,269	-0,260	(-0,433-0,100)	(-0,500-0,150)	0,001	0,001
Ampmayo	11	0	11	15,200	22,000	18,547	2,494	0,078	(-0,720-0,650)	(-0,975-0,767)	1,000	1,000
AmpJunio	11	0	11	15,700	19,700	17,518	1,220	-0,144	(-0,500-0,175)	(-0,600-0,267)	0,054	0,054
AmpJulio	11	0	11	11,000	16,500	14,484	1,602	0,086	(-0,200-0,614)	(-0,233-0,825)	0,096	0,096
Ampagosto	11	0	11	12,500	17,500	15,200	1,470	-0,025	(-0,383-0,275)	(-0,467-0,300)	1,000	1,000
AmpSeptie	11	0	11	14,200	21,600	17,264	1,954	-0,220	(-0,817-0,100)	(-0,900-0,180)	0,030	0,030
AmpOctubr	11	0	11	14,700	23,500	19,027	2,670	-0,367	(-0,971-0,100)	(-1,400-0,483)	0,011	0,011
AmpNovien	11	0	11	14,100	25,900	18,545	3,243	-0,189	(-1,300-0,400)	(-1,700-0,500)	0,435	0,435
AmpDiciem	11	0	11	12,600	24,100	18,209	3,344	-0,375	(-1,333-0,256)	(-1,575-0,500)	0,005	0,005
Ampanual	11	0	11	31,800	37,500	34,491	1,954	-0,267	(-0,600-0,200)	(-0,900-0,400)	0,016	0,016

Tabla.3. Resultados test de tendencia de Mann-Kendall (p-valores), corregido con el test de corrección de autocorrelaciones de Yue, y el test de Sen.

Se resalta en amarillo los resultados con significatividad estadística.

## 5. CONCLUSIONES Y DISCUSIÓN

Si comparamos nuestros resultados con los de otros estudios, podemos observar que, por ejemplo, en el estudio de Quereda et al; 2018, obtiene que en el periodo de 1950-2016, con una significatividad del 95%, se observó un aumento en la temperatura en las regiones de Castellón, Valencia y Alicante con los siguientes valores: 0,033 °C/año, 0,022 °C/año, 0,019 °C/año.

Brunet et al; 2007, obtuvo en España, en el periodo de 1850-2005, con una significatividad del 95%, que la temperatura máxima varía alrededor de 0,1°C/año, y la temperatura mínima varía alrededor de 0,08°C/año.

En el estudio de González-Hidalgo et al; 2016, se obtiene para en España, en el periodo de 1951-2010, con una significatividad del 95%, que la temperatura máxima varía a razón de 0,019°C/año, y la temperatura mínima varía a razón de 0,032°C/año.

En el estudio llevado a cabo por Miró et al; 2006, se obtuvo para la región de Valencia en el periodo de 1958-2003, los siguientes resultados. En las estaciones litorales y prelitorales (con una significatividad del 95%) la temperatura mínima del mes de Julio varía a razón de 0,038 °C/año con el intervalo de confianza (0,009-0,065) °C/año.

En las estaciones de Interior (significatividad del 95%) la temperatura media del mes de Julio varía a razón de 0,026 °C/año con el intervalo de confianza (0,002-0,048) °C/año.

En el mes de Agosto en las estaciones litorales y prelitorales (con significatividad del 99%) la temperatura media varía a razón de 0,026 °C/año con un intervalo de confianza (0,001-0,053) °C/año y la temperatura mínima (con una significatividad del 99%) varía a razón de 0,047 °C, con el intervalo de confianza (0,006-0,09) °C/año .

Mes de Agosto en el interior (con significatividad del 99%) la temperatura media varía a razón de 0,044 °C, con intervalo de confianza (0,011-0,073) °C/año. Mientras que la temperatura mínima (significatividad del 95%) varía a razón de de 0,044 °C, con intervalo de confianza (0,007-0,082) °C/año . La temperatura máxima (con significatividad del 99%) varía a razón de de 0,048 °C, con intervalo de confianza (0,008-0,0919) °C/año.

Los valores significativos obtenidos en nuestro trabajo son

Variable	Pendiente Sen	Intervalo de Confianza 95%	Intervalo de Confianza 99%	P valor $\alpha=(0,05)$	P valor $\alpha=(0,01)$
TmEnero	0,106	(-0,129-0,357)	(-0,202-0,395)	0,005	0,005
TmMayo	0,062	(-0,161-0,233)	(-0,251-0,357)	0,001	0,001
TmJunio	0,119	(-0,127-0,325)	(-0,218-0,385)	< 0,0001	< 0,0001
TmSeptiembre	0,045	(-0,118-0,207)	(-0,159-0,310)	0,003	0,003
TmDiciembre	0,166	(-0,026-0,376)	(-0,125-0,403)	< 0,0001	< 0,0001
Tmanual	0,063	(-0,077-0,150)	(-0,109-0,169)	0,000	0,000
TmaxMarzo	0,400	(-0,360-0,800)	(-0,867-0,875)	0,009	0,009
TmaxAbril	-0,240	(-0,550-0,125)	(-0,800-0,383)	< 0,0001	< 0,0001
Tmaxanual	-0,040	(-0,200-0,100)	(-0,275-0,183)	0,025	0,025
TminMarzo	0,160	(-0,125-0,300)	(-0,233-0,400)	0,000	0,000
TminJulio	-0,113	(-0,429-0,200)	(-0,533-0,383)	0,026	0,026
TminSeptiembre	0,100	(-0,050-0,400)	(-0,200-0,467)	0,009	0,009
TminDiciembre	0,388	(-0,044-0,875)	(-0,417-0,983)	< 0,0001	< 0,0001
Tminanual	0,150	(-0,080-0,443)	(-0,400-0,500)	0,000	0,000
Ampmarzo	0,288	(-0,520-0,675)	(-0,767-0,950)	0,001	0,141
Ampabril	-0,260	(-0,433-0,100)	(-0,500-0,150)	0,001	0,001
AmpSeptiembre	-0,220	(-0,817-0,100)	(-0,900-0,180)	0,030	0,030
AmpOctubre	-0,367	(-0,971-0,100)	(-1,400-0,483)	0,011	0,011
AmpDiciembre	-0,375	(-1,333-0,256)	(-1,575-0,500)	0,005	0,005
Ampanual	-0,267	(-0,600-0,200)	(-0,900-0,400)	0,016	0,016

Tabla 4. Resultados significativos del estudio.

Salida del paquete estadístico de Excel XLSTAT

En la tabla anterior se observa que la temperatura media mensual presenta una tendencia creciente, con una significatividad del 99%, en los meses de Enero, Mayo, Junio, Septiembre y Diciembre. En el resto de meses la temperatura media mensual no sufre cambios significativos.

La Tmedia anual, al 99%, aumenta significativamente.

La Tmax mensual de Marzo aumenta significativamente al 99%. La Tmax mensual de Abril disminuye significativamente al 99%. El resto de meses no sufre cambios significativos.

La Tmax anual disminuye significativamente al 95%.

La Tmin de Marzo, Septiembre, y Diciembre aumentan significativamente al 99%. La Tmin de Julio al 95% disminuye significativamente. El resto de meses no sufre cambios significativos.

La Tmin anual aumenta significativamente al 99%.

La Amplitud de Marzo, aumenta significativamente al 95%. La amplitud de Abril y de Diciembre disminuyen significativamente al 99% y la de Septiembre y Octubre disminuyen significativamente al 95%. El resto de meses no sufre cambios significativos.

La Amplitud Anual, al 99%, disminuye significativamente.

Comparando estos valores con los obtenidos por los otros autores citados, se obtiene

Autor	T media(°C/año)(95%)	Lugar	Periodo
Estudio realizado	0,063	Elche	2008-2018
Estudio de Quereda	0,019	Alicante	1950-2016

Tabla5. Comparación de datos del estudio con los de Quereda et al., 2018

Variables del estudio de Quereda: T media Anual.

Autor	Tmax(°C/año)(95%)	Tmin(°C/año)(95%)	Tm ((°C/año)(95%)	Lugar	Periodo
Estudio realizado	-0,040	0,150	0,063	Elche	2008-2018
Estudio de Brunet	0,01	0,08	0,08	España	1850-2005

Tabla 6. Comparación de datos del estudio con los de Brunet et al., 2007

Variables del estudio de Brunet: Tmax anual, Tmin anual, Tmedia anual.

Autor	T max(°C/año)(95%)	T min(°C/año)(95%)	Lugar	Periodo
Estudio realizado	-0,040	0,150	Elche	2008-2018
Estudio de Gonzalez-Hidalgo	0,019	0,032	España	1951-2010

Tabla 7. Comparación de datos del estudio con los de González-Hidalgo et al., 2016

Variables del estudio de González Hidalgo: Tmax anual, Tmin anual, Tmax y min estacional.

Autor	T min Julio Litoral(°C/año)(95%)	I. confianza	Lugar	Periodo
Estudio Realizado	-0,113	(-0,429-0,200)	Elche	2008-2018
Estudio de Miró	0,038	(0,009-0,065)	Valencia	1958-2003

Tabla 9. Comparación de datos del estudio con los de Miró et al., 2006

Variables del estudio de Miró: T media mínima, T max media, T media, T min, T max, T min más alta y Tmax más baja.

Valores negativos de la pendiente son normales que aparezcan en los estudios climáticos (Miró et al., 2006) (González-Hidalgo et al., 2016)

Se observa que no hay una concordancia en la tendencia de los valores obtenidos con los publicados por otros autores. La causa puede ser debida tanto al periodo de estudio como a la dependencia local de las condiciones meteorológicas.

Es de destacar que se ha obtenido valores de pendiente significativos a pesar del corto periodo de estudio.

## 6. PROYECCIÓN FUTURA

Los resultados encontrados muestran una alta variabilidad quizás debido a la diversidad de las condiciones meteorológicas locales. Resulta pues lógico plantearse aumentar los estudios locales a fin de encontrar aquellos lugares que presenten pautas similares y buscar la explicación de las mismas.

La Red de Vigilancia de la Calidad del Aire de la Comunidad Valenciana de la Generalitat Valenciana cubre una gran extensión de la misma y podría usarse para este fin. No obstante, su fiabilidad estaría sujeta a la disponibilidad de datos en estaciones cercanas que permitiera la homogenización de las series temporales. La homogenización es un problema que no siempre tiene solución por lo que los resultados obtenidos pueden ser falsos.



## 7. Referencias

- Agrawala, S (1998), 'Context and early origins of the intergovernmental panel in climate change', *Climatic change* 39: 605-620.
- Alexandersson, H. (1986) 'A homogeneity Test Applied to Precipitation Data. *Journal of Climatology*'. Vol 6, 661-675.
- Arrhenius, S (1896), 'On the Influence of Carbonic Acid in the Air Upon the Temperature of the Ground', *Phil. Mag.* 41, 237-271.
- Baliunas, S y Soo, W (1999), 'Pioneers in the Greenhouse Effect'. *Center for Astrophysics Harvard and Smithsonian*. <https://www.cfa.harvard.edu/~wsoon/myownPapers-d/BaliunasSoon99-WCR-onArrhenius+GHGeffect.pdf>
- Brunet, M., Jones, P.D., Sigró, J., Saladié, O., Aguilar, E, Moberg, A., Della-Marta, P.M., Lister, D., Walther, A., y López, D.; (2007), 'Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005', *Journal of Geophysical research*, Vol. 112, D12117.
- Favá, V, Curto, J.J., y Llasat, M.; (2018), 'Changes in Summer Pressure Patterns across the Late 1960s and Their Influence on Temperature Trends on the Eastern Coast of the Iberian Peninsula', *Atmosphere*, 9, 42.
- Guijarro., Jose.A.(2018)'Homogeneización de Series Climáticas con Climatol'. *Agencia Estatal de Meteorología*. <https://CRAN.R-project.org/package=climatol>
- González-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D, Salinas, C, Jiménez-Castañeda, A., Brunetti, M.; (2016), 'Variaciones recientes de las temperaturas en España: El efecto del periodo elegido en las tendencias de las series estacionales de promedios de máximas y mínimas', *X Congreso Internacional AEC: Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. DOI: <http://dx.doi.org/10.14198/XCongresoAECAlicante2016-44>.
- González-Hidalgo, J.C., Peña-Angulo, D, Brunetti, M. y Cortesi, N. ;( 2015), 'Motedas: a new monthly temperature database for mainland Spain and the trend in temperature (1951-2010)', *International Journal of Climatology*, 35: 4444-4463. DOI: 10.1002/joc.4298
- Kellogg, W (1987), 'Mankind's Impact On Climate: The Evolution of an awareness', *Climatic Change* 10: 113-136.
- Miró, J.J., Estrela, M.J. y Millán, M. (2006), 'summer temperature Trends in a Mediterranean area (Valencia Region)', *International Journal of Climatology*, 26: 1051-1073.
- Quereda, J, Montón, E, Quereda, V;(2018), 'La Elevación de las Temperaturas en el Norte de la Comunidad Valenciana: Valor y Naturaleza (1950-2016)
- Salmi, T; A Maata; Antila, P, Ruoho Airola, T., Amell, T.; (2002)' Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by The Mann-Kendall Test and Sens Slope Estimates- The Excel Template Application Makesens'. *Finnish Meteorological Institute*. Pag 1-35
- Turco, M., Llasat, M.C. "Trends in indices of daily precipitation extremes in Catalonia (NE Spain), 1951-2003" (2011) *Natural Hazards and Earth System Science*, 11 (12), pp. 3213-3226.
- Tyndall, J (1863), 'On Radiation Trough the Earth's Atmosphere'. *Royal Institution*, 413-418.

Vickers, D y Mahrt, L (1997), 'Quality Control and Flux Sampling Problems for Tower and Aircraft Data', *J Atmos. Oceanic Tech.* 14: 512-526.

Yue; S; 'The influence of autocorrelation on The ability to detect trend in hydrological series'. *Hydrological Processes.* Vol. 16. 1807-1829

Wang, Wenpeng, Yuelong, Zhu, Liu, Bo, Chen Yuanfang y Zhao, Xu;(2019). ' Innovate Variance Corrected Sen's Trend Test on Persistent Hydrometeorological Data'. *Water.* Pag 1-22.  
<http://dx.doi.org/10.3390/w11102119>

