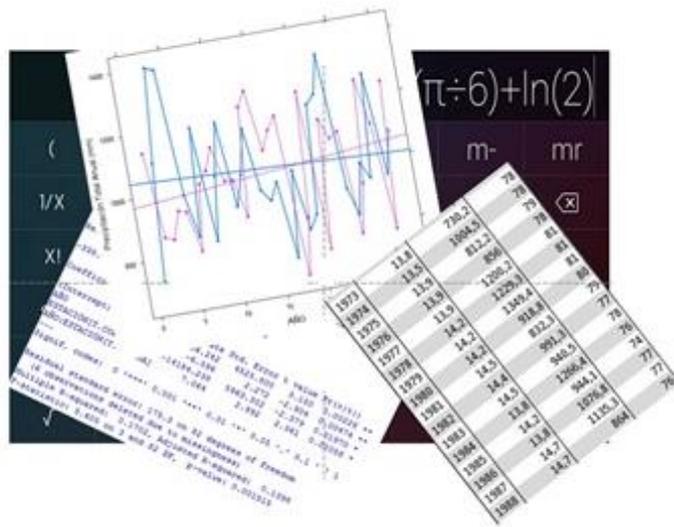


Grao en Bioloxía

Memoria do Traballo de Fin de Grao

Análise de datos climatolóxicos da área de A Coruña
Análisis de datos climatológicos del área de A Coruña
Analysis of climatological data in the area of A Coruña



Alberto García Souto
Septiembre 2018

Director(es) Académico(s): *Luisa Santos Fidalgo*
María Amalia Jácome Pumar

ÍNDICE

Lista de abreviaturas	IV
Resumen	V
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	4
3. METODOLOGÍA	4
3.1. Variables y datos climatológicos.....	4
3.2. Análisis Estadístico de los Datos	7
4. RESULTADOS.....	10
4.1. Análisis comparativo entre las dos estaciones (A Coruña y A Coruña-Aeropuerto) ..	10
4.2. Análisis comparativo entre los años 1957-1986 y 1987-2016	15
3.1. Predicciones	18
4. DISCUSIÓN	20
5.1. Limitaciones del estudio.....	23
5.2. Perspectivas futuras.....	23
5. CONCLUSIÓN	24
REFERENCIAS	27

Lista de abreviaturas

AGADER:	Axencia Galega de Desenvolvemento Rural.
AEMET:	Agencia Estatal de Meteorología.
HR:	Humedad Relativa Media Anual.
IPCC:	Intergovernmental Panel of Climate Change.
IQR:	Rango Intercuartílico.
PM:	Precipitación Máxima diaria del año.
PTA:	Precipitación Total Anual.
Q1, Q2, Q3:	Primer, segundo y tercer cuartil, respectivamente.
TAMA:	Temperatura Absoluta Máxima Anual.
TAmA:	Temperatura Absoluta Mínima Anual.
TMA:	Temperatura Media Anual.
TMAM:	Temperatura Media Anual de las Máximas.
TMAm:	Temperatura Media Anual de las Mínimas.
TMi:	Temperatura Máxima más baja del año.
TmS:	Temperatura Mínima más alta del año.
WMO:	World Meteorological Organization.

Resumen

Desde la segunda mitad del siglo XX hay evidencias de que el clima global podría estar cambiando, y fundadas sospechas de que este cambio podría tener su origen en las actividades asociadas al desarrollo socioeconómico e industrial de la humanidad sobre el planeta. La forma más eficaz de evaluar y cuantificar este cambio climático es analizar estadísticamente los datos pasados de distintas variables climatológicas, construir modelos matemáticos que expliquen el comportamiento de esas variables, y comprobar si el clima actual se corresponde o no con lo que los resultados de esos análisis y los modelos matemáticos indican.

Con base en esta idea se han efectuado ya numerosos estudios a nivel global y sobre regiones geográficas amplias. Dichos estudios arrojan resultados diversos, pero que en general tienden a corroborar la existencia del mencionado cambio climático. Son escasos, sin embargo, los trabajos realizados sobre zonas de extensión reducida como pequeñas ciudades o pueblos. Tales estudios presentan utilidad no sólo para mejorar la gestión social y económica de las localidades sobre las que se llevan a cabo, sino también para evaluar los resultados de los estudios efectuados sobre áreas geográficas mayores.

Son también escasos los estudios comparativos entre estaciones meteorológicas geográficamente muy próximas entre sí. Los resultados que estos estudios pueden arrojar son importantes porque permiten determinar la influencia que sobre las variables meteorológicas locales ejercen factores como la orografía o la distancia a la costa.

En este trabajo se analizaron estadísticamente los datos de la temperatura y la precipitación registrados en el área de la ciudad de A Coruña en los últimos sesenta años. Se utilizaron datos de dos estaciones meteorológicas distintas y próximas entre sí para ajustar modelos lineales explicativos de las variables climatológicas en función del tiempo y de la localización de la estación concreta de la que se tomaron los datos. Con estos modelos se comparó la situación climática de las pasadas décadas con la actual. Los resultados del análisis efectuado parecen indicar que la temperatura local de A Coruña presenta, a lo largo de las últimas décadas, una tendencia al alza que se mantiene en la actualidad y que podría estar incluso acentuándose. La situación de la precipitación, en cambio, no es tan clara, no pudiendo inferirse a partir de los análisis realizados la existencia de ninguna tendencia evidente en esta variable climatológica.

Palabras clave: Clima; Cambio climático; A Coruña; Modelo lineal; Datos climatológicos; Estación meteorológica; Temperatura; Precipitación.

Resumo

Dende a segunda metade do século XX hai evidencias de que o clima global podería estar cambiando, e sospeitas fundadas de que este cambio podería ter a súa orixe nas actividades asociadas ao desenvolvemento socioeconómico e industrial da humanidade no planeta. A forma máis efectiva de valorar e cuantificar este cambio climático é analizar estatisticamente os datos pasados de diferentes variables climatolóxicas, construír modelos matemáticos que expliquen o comportamento desas variables, e comprobar se o clima actual corresponde ou non co que os resultados destas análises e os modelos matemáticos desenvolvidos indican.

Con base nesta idea, téñense feito xa numerosos estudos a nivel global e en rexións xeográficas extensas. Estes estudos amosan resultados diferentes, pero en xeral tenden a corroborar a existencia do mencionado cambio climático. Son raros, con todo, os traballos desenvolvidos en áreas de extensión reducida como pequenas cidades ou vilas. Tales estudos son de utilidade non só para mellorar a xestión social e económica das localidades nas que se realizan, senón tamén para avaliar os resultados dos estudos levados a cabo en áreas xeográficas máis grandes.

Tamén son poucos os estudos comparativos entre estacións meteorolóxicas xeográficamente moi próximas. Os resultados que se poden obter destes estudos son importantes porque permiten determinar a influencia que sobre as variables meteorolóxicas locais exercen factores coma a orografía ou a distancia á costa.

Neste traballo analizáronse estatisticamente os datos de temperatura e precipitación rexistrados na área da cidade de A Coruña nos últimos sesenta anos. Empregáronse datos de dúas estacións meteorolóxicas distintas e próximas entre elas para axustar modelos lineais explicativos das variables climatolóxicas en función do tempo e da localización da estación específica da que se tomaron os datos. Con estes modelos comparouse a situación climática das últimas décadas coa actual. Os resultados da análise levada a cabo parecen indicar que a temperatura local de A Coruña presenta, ao longo das últimas décadas, unha tendencia ascendente que se mantén na actualidade e que podería incluso estarse acentuando. A situación das precipitacións, por outra banda, non é tan clara e non é posible inferir a partir das análises realizadas se esta variable climatolóxica presenta unha tendencia evidente.

Palabras chave: Clima; Cambio climático; A Coruña; Modelo lineal; Datos climatolóxicos; Estación meteorolóxica; Temperatura; Precipitación.

Abstract

Since the second half of the twentieth century there is evidence that the global climate may be changing, and well-founded suspicions that this change could have its origin in the activities associated with the socio-economic and industrial development of humanity on the planet. The most effective way to evaluate and quantify this climate change is to statistically analyze the past data of different climatological variables, construct mathematical models that explain the behavior of these variables, and check whether the current climate corresponds or not with what the results of those analyses and mathematical models indicate.

Based on this idea, many works have already been carried out on a global scale and over broad geographic regions. These works show different results, but they in general tend to corroborate the existence of the mentioned climate change. However, there are not many works carried out on areas of reduced extension such as small towns or villages. Such studies are useful not only to improve the social and economic management of the localities where they are carried out, but also to evaluate the results of works related to larger geographical areas.

There are also not many research works comparing two meteorological stations geographically very close to each other. The results that such researches can yield are important since they can be used to determine the influence of factors such as orography or distance to the coast on the local meteorological variables.

This paper statistically analyzed the data of temperature and precipitation recorded in the area of the city of A Coruna in the last sixty years. Data from two different and close to each other weather stations were used to adjust explanatory linear models of the climatological variables as a function of both time and location of the specific station from where the data were taken. Later, these models were used to compare the climatic situation of the past decades with the current one. The results of the analysis suggest that the local temperature of A Coruna has followed, over the last decades, an upward trend that remains at the present time and that could even be getting more pronounced. The situation of precipitation, however, is not so clear, and it cannot be inferred from the analysis carried out whether this climatological variable has followed an upward or downward trend.

Keywords: Climate; Climate change; A Coruna; Linear model; Climatological data; Weather station; Temperature; Precipitation.

1. INTRODUCCIÓN

El papel clave que tienen las condiciones climáticas sobre el devenir de la sociedad humana por la influencia directa que ejercen sobre el paisaje, la ecología y todas las actividades del hombre, está fuera de discusión (Geiger *et al.*, 2003). Ello hace que el análisis de los datos climatológicos sea de capital importancia: permite detectar la existencia de factores alteradores del curso de evolución natural del clima, tales como la actividad humana, y puede servir de base para estudiar los mecanismos a través de los que dichos factores actúan, y para predecir las consecuencias de las alteraciones. En este sentido, todas las conclusiones que sobre la variabilidad climática y meteorológica puedan derivarse de los análisis de los datos climatológicos constituyen una herramienta valiosísima para la gestión de la agricultura, ganadería y pesca, del agua como recurso, de la contaminación atmosférica, la deforestación y el consumo energético (Palomares Casado, 1988).

A pesar de que el clima ha preocupado al hombre desde la más remota antigüedad, habiendo referencias al tiempo atmosférico ya en los Vedas, la Biblia o los poemas de la Antigua Grecia (Fierro, 1991), la climatología es una ciencia de desarrollo bastante tardío, hecho que obedece fundamentalmente a la complejidad intrínseca de la naturaleza del propio clima, cuyo estudio requiere de una metodología y un desarrollo tecnológico que no estuvieron disponibles hasta épocas relativamente recientes (World Meteorological Organization [WMO], 2011). No es hasta 1950 cuando, con la fundación de la Organización Meteorológica Mundial (WMO, por sus siglas en inglés), se establece un sistema de recopilación de datos que será la base para el inicio del estudio sistemático del clima.

La detección, en la segunda mitad del siglo XX, de una variación evidente en el estado y el comportamiento del clima, condujo a la hipótesis de la existencia de un cambio climático antropogénico (Intergovernmental Panel of Climate Change [IPCC], 2013). La búsqueda de las causas y el deseo de poder predecir las consecuencias de esta alteración del clima motivaron la realización, en las últimas décadas, de una multitud de estudios y análisis estadísticos de los datos climatológicos de distintas regiones del planeta. En España, y en particular en Galicia, los patrones de la variación natural del clima son relativamente bien conocidos gracias a distintos trabajos y estudios que se han focalizado en dilucidar la evolución experimentada por las condiciones climáticas a lo largo de los últimos siglos y milenios. Dichos trabajos fundamentan su metodología principalmente en estudios geomorfológicos, dendrocronológicos y palinológicos. Entre los trabajos de este tipo que han sido realizados sobre la región gallega, merecen especial mención: Fontana Tarrats (1977), Torras & Díaz-Fierros (1978), Ramil-Rego (1993), Creus *et al.* (1995), García González *et al.* (1999), Pérez-Alberti (2002), Saz Sánchez (2003), Saz *et al.* (2004), y Ramil-Rego *et al.* (2005).

Con base en los conocimientos científicos sobre la variación climática natural aportados por los antedichos y otros trabajos, los gobiernos de las distintas Comunidades Autónomas de España, en coordinación con la Oficina Española de

Cambio Climático, adscrita en la actualidad al Ministerio para la Transición Ecológica, han promovido a lo largo de los últimos años la realización de diversos estudios destinados a evaluar el impacto potencial en sus respectivas jurisdicciones territoriales de las alteraciones climáticas con origen en las actividades humanas. Entre tales trabajos, por su calidad y significación, pueden ser citados: de Luque Söllheim (2011) y Martín *et al.* (2011) (Canarias), Guerrero *et al.* (2014) (Andalucía), Victoria Jumilla (2015) (Murcia), y Llasat Botja *et al.* (2016) (Cataluña). Efectuados sobre el territorio de Galicia, destacan: Taboada *et al.* (2006), González Taboada & Anadón Álvarez (2011), y Xunta de Galicia (2016).

Por otro lado, en Galicia distintas organizaciones asociadas a sectores económicos concretos han promovido la realización, también en fechas relativamente recientes, de trabajos, estudios e informes sobre la evolución del clima en el territorio gallego, con el fin de poder evaluar el impacto de un potencial cambio climático sobre el sector de su interés. Entre estos trabajos, destaca el desarrollado en 2009 por la Axencia Galega de Desenvolvemento Rural (AGADER) para evaluar los efectos del cambio climático sobre la producción agraria en varios puntos geográficos próximos al área que se estudia en el presente trabajo. Haciendo uso del sistema de información geográfica GRASS (Neteler & Mitasova, 2004) y utilizando datos del proyecto PRUDENCE de la Unión Europea (PRUDENCE Project, 2004), AGADER realizó una predicción de las condiciones climáticas que en un futuro a medio plazo afectarían a los lugares estudiados. La conclusión alcanzada es que se prevé un incremento importante de la temperatura media, y también un descenso de la precipitación, aunque este último sería más moderado en las proximidades de la costa que en el interior (Axencia Galega de Desenvolvemento Rural [AGADER], 2009).

Un año más tarde, en 2010, la organización Unións Agrarias-UPA publicó un informe destinado al sector agroforestal con unas conclusiones muy similares a las del de AGADER (Unións Agrarias -UPA, 2010).

En general, todos estos trabajos, tanto los promovidos desde un ámbito institucional como los realizados por organizaciones con intereses en sectores económicos específicos, coinciden en evidenciar la detección en Galicia de un incremento sostenido de la temperatura a lo largo de las últimas décadas; y mencionan también una posible tendencia a la baja en las precipitaciones, aunque en el caso de esta variable meteorológica los resultados son más dispares que en el de la temperatura.

En el presente trabajo se realiza un análisis de los datos climatológicos de las últimas seis décadas sobre un área geográfica de extensión muy reducida: la zona donde se ubica la ciudad de A Coruña. Este tipo de trabajos ceñidos a ámbitos geográficos de muy poca extensión son considerablemente escasos en comparación con los estudios sobre el clima global o sobre regiones a escalas mayores. Sin embargo, poseen una gran relevancia no sólo por la utilidad directa que puedan tener para las poblaciones y estructuras socioeconómicas de las zonas estudiadas, sino también porque constituyen una fuente de información que puede contribuir a ajustar mejor los modelos derivados de otros análisis climáticos desarrollados en áreas geográficas más extensas.

La ciudad de A Coruña está ubicada en el Noroeste de la Península Ibérica y presenta un clima oceánico con veranos suaves (Martín-Vide & Olcina, 2001). Como tal lo considera la clasificación climática de Köppen (Köppen, 1918), una de las más usadas a nivel mundial (Critchfield, 1974). Este sistema de clasificación fue creado en torno a 1900 por Wladimir Peter Köppen, e identifica cada tipo de clima del mundo mediante un código de letras que hace referencia a los patrones de temperatura y precipitación propios de ese clima particular (Ledesma, 2011). El clima de A Coruña, según este sistema, sería de tipo “Cfb” (Franco Aliaga, 2003). En este código, la “C” indica que se trata de un clima templado, la “f” que no posee una estación seca, y la “b” que presenta veranos cálidos. Otra clasificación climática ampliamente utilizada es la de Trewartha, publicada por Glenn Thomas Trewartha en 1966 en respuesta a algunas deficiencias encontradas en el sistema de Köppen (Belda *et al.*, 2014). Según la clasificación de Trewartha, el clima de A Coruña se clasifica como “Do”. Aquí, la “D” denota un clima templado en el que de 4 a 7 meses al año presentan una temperatura media igual o superior a 10°C; la letra “o” indica que el mes más frío del año tiene una temperatura media no inferior a 0°C (Trewartha & Horn, 1980). A Coruña se encuentra sometida durante todo el año a la influencia de las borrascas atlánticas, lo que da lugar a unas precipitaciones abundantes con un mínimo estival provocado por el desplazamiento periódico del anticiclón de las Azores, que cada verano asciende en latitud hasta situarse frente a las costas coruñesas (García de Pedraza & Rejia Garrido, 1994). La amplitud térmica es baja a causa del efecto regulador del mar, el cual en invierno se comporta como una masa cálida respecto a la tierra, amortiguando el descenso de la temperatura, mientras que en verano actúa de modo inverso, suavizando los picos de calor (Taboada *et al.*, 2006).

En este estudio se utilizan las variables de temperatura y precipitación (junto con alguna otra auxiliar) de los últimos 60 años, tomando series de las bases de datos de dos estaciones de la Red Meteorológica Nacional localizadas en la zona geográfica donde se ubica la ciudad de A Coruña. Con estos datos se modeliza el comportamiento de las variables climáticas a lo largo de los años para detectar discrepancias entre el clima presente y el de las pasadas décadas, así como para comparar los resultados con los obtenidos en estudios anteriores, de modo que puedan contribuir a ratificar, contradecir o matizar las conclusiones alcanzadas en esos otros estudios.

2. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene el siguiente objetivo principal:

Averiguar si en el área geográfica donde se encuentra ubicada la ciudad de A Coruña existe alguna discrepancia entre la situación climática presente y la que se puede derivar de los datos climatológicos de las últimas décadas.

Son además objetivos secundarios de este estudio:

- 1- Detectar posibles tendencias de variación temporal en las variables climatológicas analizadas de los registros seleccionados.
- 2- Determinar si existen diferencias significativas entre las variables climatológicas en función de la localización particular de la estación meteorológica de la que provengan los datos.

3. METODOLOGÍA

3.1. Variables y datos climatológicos

Para lograr alcanzar los objetivos establecidos, se realizó un análisis estadístico de datos correspondientes a variables climatológicas del área geográfica en que se encuentra enclavada la ciudad de A Coruña.

La **fuentes de los datos** fue la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que es el organismo público al que compete la gestión del Servicio Nacional de Meteorología de España. Los datos se descargaron a través de Internet, en el URL: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>. Se eligió esta fuente por su alto grado de fiabilidad y porque posee un registro de datos de calidad y suficientemente extenso en el tiempo.

Como **lugares de recogida de los datos**, es decir, los puntos geográficos donde los valores climatológicos fueron medidos, se seleccionaron las dos estaciones meteorológicas dependientes de AEMET que se encuentran ubicadas en el área geográfica objeto del presente estudio. Dichas estaciones y sus respectivas localizaciones son las detalladas en la Tabla 3.1. Las Figuras 3.1 y 3.2 muestran la ubicación geográfica de las dos estaciones.

Tabla 3.1: Localización de las estaciones meteorológicas.

Código de AEMET	Nombre	Altitud (m)	Latitud (°)	Longitud (°)
1387	A Coruña	58	43° 21' 57'' N	08° 25' 17'' W
1387E	A Coruña-Aeropuerto	98	43° 18' 25'' N	08° 22' 19'' W



Figura 3.1: Localización geográfica de las dos estaciones meteorológicas estudiadas (Fuente: Elaboración propia usando Google Maps).

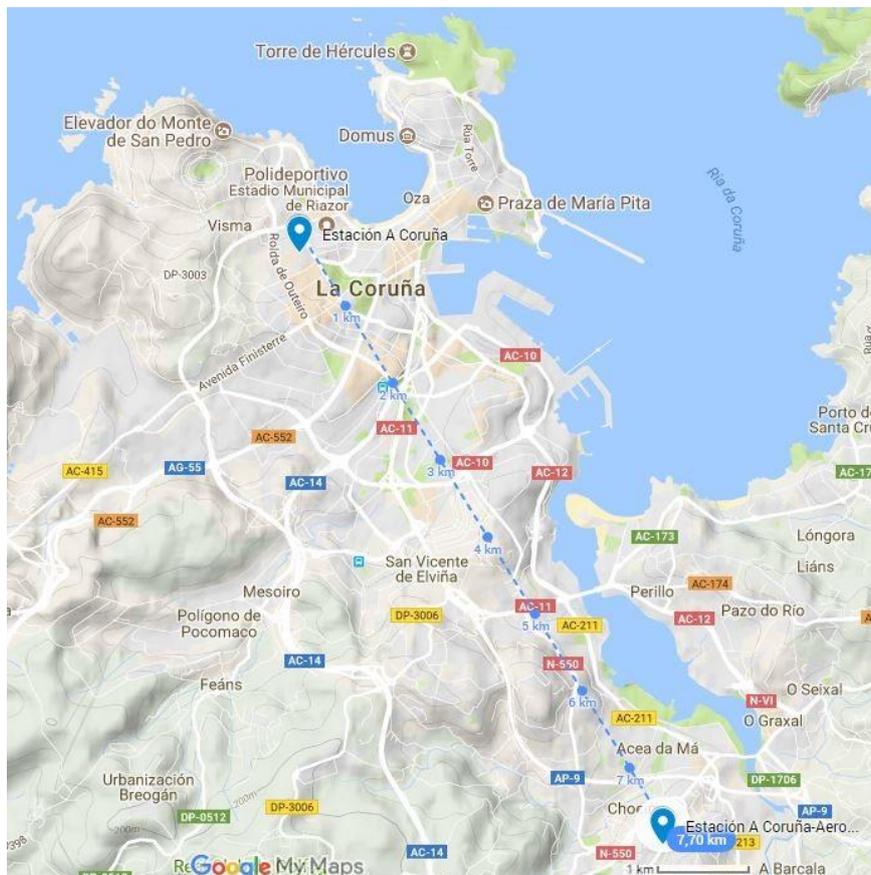


Figura 3.2: Mapa de la zona local sobre el que se muestran las ubicaciones respectivas de las estaciones meteorológicas estudiadas y la distancia entre ellas (Fuente: Elaboración propia usando Google Maps).

Los datos, tomados de la página web de AEMET antes mencionada, se midieron de forma anual. Las **variables meteorológicas** utilizadas en el análisis fueron básicamente dos: la Temperatura Media Anual (TMA) y la Precipitación Total Anual (PTA). Se eligieron estas dos por ser, en general, las más representativas del clima de cualquier lugar (Hufty, 1984). Con el fin de reforzar el análisis, se contempló la posibilidad de añadir al mismo alguna otra variable que por su comportamiento particular pudiera revestir algún interés. Para ello, se realizó un estudio previo de otras ocho variables de las que había series de datos suficientemente largas. Estas variables fueron:

- a) Humedad Relativa Media Anual (HR).
- b) Precipitación Máxima diaria del año (PM).
- c) Temperatura Máxima más baja del año (TMi).
- d) Temperatura Mínima más alta del año (TmS).
- e) Temperatura Media Anual de las Máximas (TMAM).
- f) Temperatura Media Anual de las Mínimas (TMAM).
- g) Temperatura Absoluta Mínima Anual (TAmA).
- h) Temperatura Absoluta Máxima Anual (TAMA).

En este estudio previo se observó que la evolución temporal de la variable HR a lo largo de los años era muy diferente entre las dos estaciones meteorológicas, aun a pesar de la proximidad geográfica entre ambas. Además, en la variable TMAM se observó también una diferencia notable entre su evolución en los últimos 30 años (1987-2016) y la que tuvo en los 30 precedentes (1957-1986). Estos comportamientos tan llamativos se observaron únicamente en las dos variables mencionadas, y en ninguna de las otras seis. Ante este resultado se decidió incorporar la variable HR al estudio comparativo entre estaciones y la TMAM al estudio comparativo entre series de años. Las variables consideradas para el estudio final son las indicadas en la Tabla 3.2.

Tabla 3.2: Variables climatológicas analizadas.

Nombre	Abreviatura	Magnitud medida	Unidad
Temperatura Media Anual	TMA	Promedio de las 12 temperaturas medias mensuales correspondientes a los 12 meses del año	°C
Precipitación Total Anual	PTA	Suma de los 12 valores de precipitación total mensual correspondientes a los 12 meses del año	mm
Humedad Relativa	HR	Promedio de los 12 valores de humedad relativa media mensual de cada año	%
Temperatura Media Anual de las Máximas	TMAM	Promedio de los 12 valores correspondientes a la temperatura máxima de cada mes del año	°C

En lo referente a los **períodos temporales**, las indicaciones generales establecidas por la Organización Meteorológica Mundial (WMO) establecen que para que los estudios y análisis sobre el clima puedan considerarse mínimamente rigurosos, han de utilizarse series de datos de longitud no inferior a 30 años (WMO, 2007). Teniendo esto en cuenta, de la estación de A Coruña-Aeropuerto se tomaron los datos desde 1972 (fecha a partir de la cual hay registros anuales disponibles) hasta 2017, datos de un total de 46 años. De la de A Coruña hay datos desde 1930. Ello supone un período que no alcanza las tres series de 30 años, y por esta razón se consideraron solamente dos series, correspondientes a los valores de los últimos 60 años (desde 1957 a 2016), más los datos de 2017. Otro motivo por el que se desecharon los datos de 1930 a 1956 fue la posibilidad de que en estos años dichos datos no hubieran sido recogidos con el rigor instrumental de los decenios posteriores, lo cual podría alterar la homogeneidad de las series y ello generar distorsiones de los resultados.

Una vez obtenidas las series, se pasó a estudiar la ausencia de datos, pudiendo observarse que en los registros de algunos años había datos faltantes. En general, no obstante, los datos ausentes eran muy pocos en relación al total de cada serie, y se decidió emplear las series tal y como fueron obtenidas, es decir, sin utilizar ningún procedimiento de imputación.

En el Anexo I se incluyen las tablas que recogen las series de datos utilizadas para los análisis.

3.2. Análisis Estadístico de los Datos

Se efectuaron sobre los datos los siguientes análisis:

- 1- Estudio descriptivo y detección de datos atípicos (outliers).
- 2- Análisis comparativo entre las dos estaciones meteorológicas: Con él se pretende detectar si hay diferencias significativas en las variables analizadas y discutir las posibles causas de las mismas (altitud, topografía, efecto ciudad, etc.).
- 3- Análisis comparativo entre dos periodos consecutivos de tres décadas (1957-1986, y 1987-2016) dentro de la misma estación meteorológica (estación de A Coruña): Se pretende determinar si la evolución y la tendencia de las variables climatológicas presentan diferencias significativas entre los dos períodos de tiempo considerados.

Para analizar los datos se empleó el software estadístico R, versión R 3.4.4 for Windows (R Core Team, 2016). Para la elaboración de los gráficos se utilizó la librería `lattice` de R.

1- ANÁLISIS DESCRIPTIVO Y DETECCIÓN DE DATOS ATÍPICOS (OUTLIERS)

En primer lugar, se calcularon los principales estadísticos descriptivos de las variables TMA, PTA y HR en las estaciones de A Coruña y A Coruña-Aeropuerto para poder tener una estimación de los parámetros centrales y de dispersión de cada serie. En particular, se obtuvieron los estadísticos siguientes:

- a) Medidas de posición: media, mínimo, máximo y cuartiles (Q1, Q2, Q3).
- b) Medidas de dispersión: desviación típica o estándar y rango intercuartílico ($IQR = Q3 - Q1$).

A continuación, se identificaron los años con valores outliers. Para dicha identificación se utilizaron los dos siguientes métodos:

- a) Método 3IQR (Trenberth & Paolino, 1980): Establece que se considerará outlier todo dato mayor que el tercer cuartil (Q3) más el triple del rango intercuartílico (IQR); y, simétricamente, todo dato menor que el primer cuartil (Q1) menos el triple de IQR. Es decir, será outlier todo dato cuyo valor se encuentre fuera del intervalo $[Q1-3 \cdot IQR, Q3 + 3 \cdot IQR]$.
- b) Método 3σ (Guttman & Quayle, 1990): Según el cual será outlier todo dato mayor que la media de la serie (μ) más el triple de la desviación estándar (σ); y, simétricamente, todo dato menor que la media de la serie menos el triple de la desviación estándar. Esto es, será outlier todo dato cuyo valor se encuentre fuera del intervalo $[\mu-3\sigma, \mu+3\sigma]$.

La aplicación simultánea de ambos métodos clasifica como outliers todos los datos cuyo valor se halle fuera del intervalo: $[\max(Q1-3 \cdot IQR, \mu-3\sigma), \min(Q3+3 \cdot IQR, \mu+3\sigma)]$.

En general, en cualquier muestra de datos la determinación de cuántos son los outliers y cuáles son sus magnitudes es útil para poder entender –y corregir, si procede– el efecto distorsionador que estos datos atípicos pueden ejercer sobre los resultados de los análisis estadísticos que hagan uso de esa muestra (Johnson, 2006).

2- ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LAS DOS ESTACIONES

Para llevar a cabo este análisis se utilizaron las series de datos correspondientes a las variables TMA, PTA y HR, de ambas estaciones: A Coruña, y A Coruña-Aeropuerto. Con el fin de que todas las variables tuvieran la misma longitud, se uniformizó el período temporal tomando sólo los datos de 1972 a 2017; se desechó, de este modo, en la estación de A Coruña, la información correspondiente al período 1957-1971.

Para las tres variables elegidas (TMA, PTA y HR) se efectuaron en primer lugar el correspondiente estudio descriptivo y la detección de datos atípicos (outliers). A continuación se elaboró un modelo lineal para predecir dichas características climáticas en función del año (de 1972 a 2017) y de la estación meteorológica (A Coruña, y A

Coruña-Aeropuerto). Se partió de un modelo con interacción entre los años y la estación meteorológica (la evolución temporal en función del año podría ser diferente en cada estación meteorológica). Cuando el término interacción no fue estadísticamente significativo (p -valor > 0.05) se eliminó del modelo, ajustando un modelo sin interacción (las diferencias entre estaciones, de haberlas, serían constantes a lo largo de los años). Se utilizó la ecuación lineal resultante de estos modelos como expresión de la variable meteorológica en función del tiempo.

Finalmente, para mostrar de una forma más clara los resultados obtenidos y los modelos lineales elaborados, se hizo una representación gráfica de TMA, PTA y HR en cada estación, y de los correspondientes modelos lineales. Se elaboraron en total tres representaciones gráficas, una para cada una de las tres variables consideradas, de modo que cada representación contiene y presenta la evolución de la variable a lo largo de los años junto con el modelo lineal ajustado, diferenciando entre estaciones meteorológicas.

3- ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE DOS SERIES TEMPORALES

En la realización de este análisis se emplearon las series de datos correspondientes a las variables TMA, PTA y TMAM, de la estación de A Coruña. Para cada variable se establecieron dos “subseries” de 30 años cada una: la primera abarcando desde 1957 a 1986, y la segunda desde 1987 a 2016.

De manera análoga a como se procedió en el análisis entre estaciones, se realizó en primer lugar un estudio descriptivo y una detección de datos atípicos (outliers).

A continuación se elaboró, para las tres variables (TMA, PTA y TMAM), un modelo lineal para predecir dichas características climáticas en función del año (del 1 al 30) y de la serie (serie 1 de 1957-1986, y serie 2 de 1987-2016). Se partió de un modelo con interacción entre los años y la serie (la evolución temporal a lo largo de los años podría ser diferente en 1957-1986 con respecto a 1987-2016). En los casos en los que el término interacción no resultó estadísticamente significativo (p -valor > 0.05) se eliminó del modelo, ajustando un modelo sin interacción (las diferencias entre las dos series, de haberlas, serían constantes a lo largo de los años).

Análogamente al análisis anterior, se muestran tres gráficos, uno para cada una de las tres variables consideradas, de modo que cada representación contiene y presenta la evolución de la variable correspondiente a lo largo de los años junto con el modelo lineal ajustado, diferenciando entre los periodos 1957-1986 y 1987-2016.

Utilizando el modelo lineal correspondiente a la serie de tiempo de 1987 a 2016, se realizaron, para cada una de las tres variables en cuestión (TMA, PTA y TMAM), predicciones de los valores de 2017. Una vez obtenidas estas predicciones, las mismas se compararon con los datos reales medidos y registrados en ese año.

4. RESULTADOS

4.1. Análisis comparativo entre las dos estaciones (A Coruña y A Coruña-Aeropuerto)

Los resultados obtenidos tras analizar las variables TMA, PTA y HR en el periodo de 1972 a 2017 en las estaciones de A Coruña y A Coruña-Aeropuerto se presentan a continuación.

4.1.1-Estadísticos Descriptivos

Los principales estadísticos descriptivos aparecen recogidos en la Tabla 4.1. Se puede observar que en promedio la temperatura en la estación de A Coruña es superior en casi 1°C a la registrada en A Coruña-Aeropuerto. La precipitación anual, en cambio, es ligeramente inferior en la estación de A Coruña. La humedad relativa es muy similar en ambas estaciones, no llegando la diferencia entre las dos a un punto porcentual. Es interesante resaltar también que, como puede verse en la tabla, el tamaño muestral es inferior en la estación de A Coruña-Aeropuerto, en la que hay más datos faltantes.

Tabla 4.1: Análisis estadístico descriptivo de las variables TMA, PTA y HR en cada estación.

Variable	Estación	Media	D. T.	IQR	Mín.	Q1	Q2	Q3	Máx.	n
TMA (°C)	A Coruña	14.7	0.6	0.9	13.4	14.2	14.9	15.1	15.8	46
	Aeropuerto	13.7	0.6	0.8	12.4	13.3	13.7	14.1	15.2	42
PTA (mm)	A Coruña	1006.2	175.9	282.7	672.3	858	1005.5	1140.7	1349.4	46
	Aeropuerto	1115.5	188.6	163.6	696	1039	1110	1202.7	1506.3	40
HR (%)	A Coruña	76.2	2.3	4	73	74	76	78	81	44
	Aeropuerto	75.6	1.7	1	71	75	76	76	80	39

D. T.: Desviación típica; HR: Humedad Relativa; IQR: Rango Intercuartílico; Mín: Mínimo; Máx: Máximo; PTA: Precipitación Total Anual; Q1, Q2, Q3: Primer, segundo y tercer cuartil respectivamente; TMA: Temperatura Media Anual.

Tabla 4.2: Intervalos de determinación de outliers. Todo dato situado fuera del correspondiente intervalo es considerado como atípico.

Variable	Estación	Intervalo
TMA (°C)	A Coruña	(12.85, 16.55)
	Aeropuerto	(11.83, 15.63)
PTA (mm)	A Coruña	(478.24, 1534.08)
	Aeropuerto	(549.74, 1681.30)
HR (%)	A Coruña	(69.4, 83)
	Aeropuerto	(72, 79)

HR: Humedad Relativa; PTA: Precipitación Total Anual; TMA: Temperatura Media Anual.

4.1.2-Detección de outliers

En la detección de los outliers, se identificó como dato atípico todo aquel cuyo valor no estaba incluido en los intervalos obtenidos como resultado de la aplicación de los métodos 3IQR y 3σ en los términos detallados en el apartado de Metodología. Estos intervalos aparecen recogidos en la Tabla 4.2.

En la tabla con los datos correspondiente (Anexo I), aparecen destacados en color rojo aquellos valores que se encuentran fuera de los intervalos mostrados en la Tabla 4.2, y que en consecuencia fueron clasificados como outliers. Sólo se detectaron dos outliers, ambos en la variable HR medida en la estación de A Coruña-Aeropuerto, y fueron los datos correspondientes a los años 2008 y 2012.

Debido a que los outliers hallados fueron escasos y no extremadamente dispares con el resto de los valores de su serie, se decidió no eliminarlos ni modificarlos, dándoles en los análisis el mismo trato que el resto de los datos.

4.1.3-Modelos Lineales

Para cada variable, se ajustó un modelo lineal en función del año y la estación, incluyendo el término interacción. A efectos ilustrativos, se indican a continuación el código utilizado y los resultados obtenidos para la variable TMA:

Código:

```
lm(formula = TMA ~ AÑO * ESTACION, data = datosMICiudadAeropuerto)
```

Resultados del ajuste del modelo lineal:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	-57.468797	9.886516	-5.813	1.07e-07
AÑO	0.035717	0.004959	7.202	2.33e-10
ESTACIÓN[T.CORUNA]	-2.598443	13.337020	-0.195	0.846
AÑO:ESTACIÓN[T.CORUNA]	0.001772	0.006689	0.265	0.792

Los modelos derivados de estos resultados fueron los siguientes:

A Coruña: $TMA = (-57.4688 - 2.5984) + (0.03572 + 0.00177) \times AÑO$
A Coruña-Aeropuerto: $TMA = -57.46988 + 0.03572 \times AÑO$

Tabla 4.3: Expresiones analíticas de los modelos lineales correspondientes a las variables TMA, PTA y HR en cada una de las dos estaciones de estudio.

Variable	Estación	Modelo Lineal
TMA (°C)	A Coruña	$TMA = -58.476 + 0.0367 \times \text{año}$
	Aeropuerto	$TMA = -59.411 + 0.0367 \times \text{año}$
PTA (mm)	A Coruña	$PTA = 72.004 + 0.4680 \times \text{año}$
	Aeropuerto	$PTA = 14256.2 - 6.5960 \times \text{año}$
HR (%)	A Coruña	$HR = 249.46 - 0.0869 \times \text{año}$
	Aeropuerto	$HR = 46.442 + 0.0147 \times \text{año}$

HR: Humedad Relativa; PTA: Precipitación Total Anual; TMA: Temperatura Media Anual.

La interpretación de las estimaciones de los coeficientes es la siguiente:

- **AÑO (0.035717):** Cada año que pasa, la TMA en la estación de A Coruña-Aeropuerto aumenta, por término medio, 0.035717°C. Si el p-valor asociado no es significativo ($p > 0.05$), se puede afirmar que la TMA no varía significativamente con los años en la estación de A Coruña-Aeropuerto.
- **ESTACION [T.CORUNA] (-2.598443):** Independientemente del año, la TMA en la estación de A Coruña es, en media, 2.598433°C inferior a la de la estación de A Coruña-Aeropuerto. Si el p-valor asociado no es significativo ($p > 0.05$), se puede afirmar que, en media, no hay diferencias significativas en la TMA entre ambas estaciones.
- **AÑO:ESTACIÓN [T.CORUNA] (0.001772):** Cada año que pasa, la TMA en la estación de A Coruña aumenta, por término medio, 0.001772°C más que en la estación de A Coruña-Aeropuerto. Si el p-valor asociado no es significativo ($p > 0.05$), el aumento (o disminución) de la TMA con los años se puede asumir igual en ambas estaciones.

Dado que el término interacción no resultó estadísticamente significativo ($p = 0.792$), se elaboró un modelo lineal sin interacción. Esto implica que los modelos resultantes que explican la TMA en función del año tengan la misma pendiente en ambas estaciones (el aumento o disminución de la TMA con los años se puede asumir igual en ambas estaciones).

En los casos de las variables PTA y HR, la interacción entre la variable temporal y la estación resultó ser significativa, y se utilizaron estos modelos completos (diferente pendiente en los modelos de cada estación meteorológica) para explicar la relación funcional entre las variables y el tiempo. Con los resultados obtenidos, para cada una de las variables meteorológicas consideradas en su estación correspondiente se construyeron los modelos lineales cuyas expresiones analíticas se muestran en la Tabla 4.3 y cuya representación gráfica se visualiza en la Figura 4.1. Para ver las salidas de R para el cálculo de los modelos de HR y PTA, así como para el de los modelos suponiendo existencia e inexistencia de interacción para TMA, véase el Anexo II.

Las conclusiones para cada una de las variables analizadas, a partir de los modelos lineales, son las siguientes:

- Cada año que pasa, la TMA aumenta, y lo hace por igual en las dos estaciones, 0.0367°C por término medio ($p < 2 \times 10^{-16}$), no habiendo diferencias significativas entre ellas a este respecto ($p = 0.792$). No obstante, con independencia del año, la TMA en la estación de A Coruña es, en media, 0.936°C superior a la de la estación A Coruña-Aeropuerto ($p < 2 \times 10^{-16}$).
- La evolución de la PTA es diferente en ambas estaciones: en la de A Coruña aumenta a medida que pasan los años, y lo hace a un ritmo, en promedio, de 0.4680 mm/año ($p = 0.0206$). En la de A Coruña-Aeropuerto, en cambio, disminuye por término medio en 6.5960 mm cada año que pasa ($p = 0.0047$). Este resultado es un poco extraño, y ello puede obedecer a que en la serie de datos de la variable PTA en la estación A Coruña-Aeropuerto hay muchos datos faltantes; en concreto, faltan los datos de PTA de los años 2012-2016. Además, el dato de 2017 es inusualmente bajo (696 mm). Esto explicaría por qué resulta negativa la evolución de la PTA en dicha estación.

Si se ajustan los mismos modelos para la PTA pero tomando los datos sólo hasta el año 2010, los resultados obtenidos son diferentes. En este nuevo modelo, la interacción entre la variable estación y la temporal resulta ser no significativa ($p = 0.0712$). El correspondiente modelo sin interacción muestra una tendencia decreciente de las precipitaciones en ambas estaciones a lo largo del período 1972-2010 que no es estadísticamente significativa ($p = 0.512$). Se observa que la PTA es significativamente menor en la estación de A Coruña respecto a la de A Coruña-Aeropuerto ($p = 0.0018$), siendo esta diferencia de 124.2 mm anuales en promedio. En el Anexo II se recogen las salidas de R para los modelos con y sin interacción tomando sólo los datos de la variable PTA de 1972 a 2010, así como las ecuaciones ajustadas del modelo sin interacción.

- La HR se comporta también de manera diferente en las dos estaciones: cada año que pasa disminuye por término medio en un 0.0869% en la estación de A Coruña ($p = 0.00196$) mientras que en la de A Coruña-Aeropuerto no varía de forma estadísticamente significativa ($p = 0.5348$).

Las representaciones gráficas de las tres variables estudiadas son las mostradas en la Figura 4.1. La Figura 4.2 muestra, a modo de ejemplo, el código utilizado para elaborar la Figura 4.1 usando el paquete `lattice` de R.

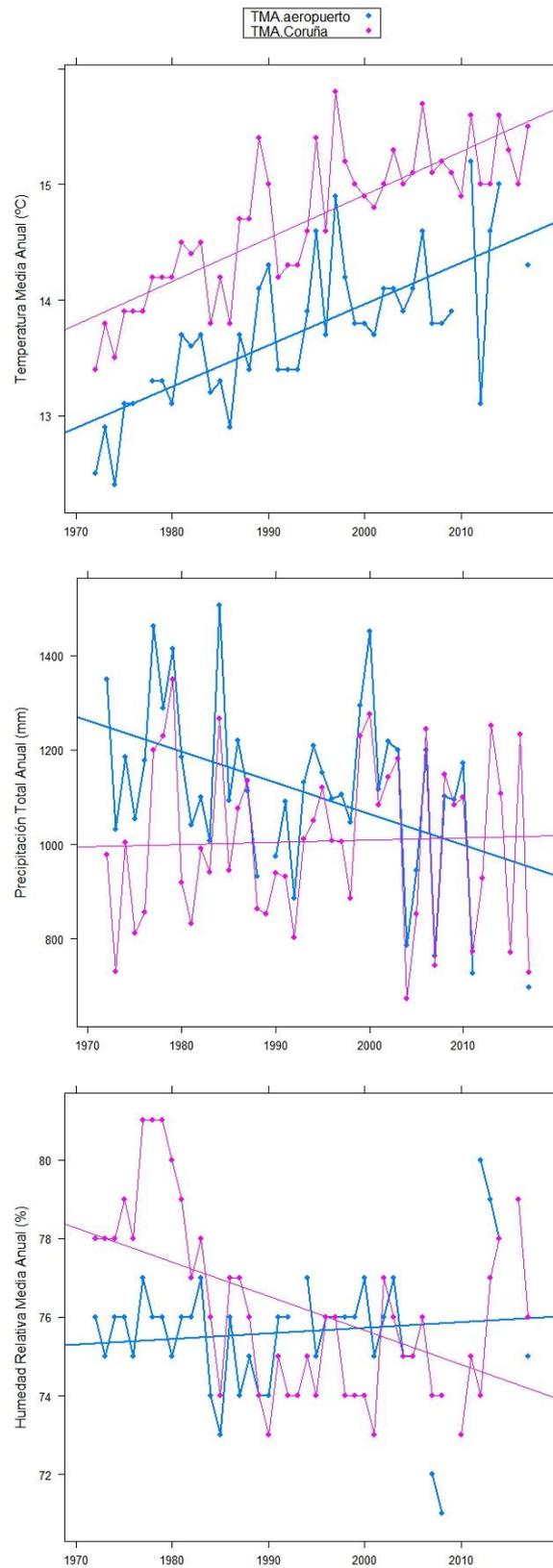


Figura 4.1: Temperatura Media Anual (arriba), Precipitación Total Anual (centro) y Humedad Relativa Media Anual (abajo) con respecto al tiempo, con sus correspondientes modelos lineales asociados, en las estaciones de A Coruña (rojo) y A Coruña-Aeropuerto (azul) entre los años 1972 y 2017.

```

library(lattice, pos=16)
xyplot(TMA.aeropuerto + TMA.Coruña ~ AÑO, type=c("p", "l", "r"),
pch=16, auto.key=list(border=TRUE),
par.settings=simpleTheme(pch=16), scales=list(x=list(relation='same'),
y=list(relation='same')), data=DatosCiudadAeropuerto, xlab="AÑO",
ylab="Temperatura Media Anual (°C)")

```

Figura 4.2: Código R utilizado para elaborar el gráfico mostrado en la Figura 4.1. Como puede observarse en la primera línea del código, el mismo hace uso de la librería *lattice* de R.

A efectos ilustrativos, en los gráficos de la Figura 4.1 siempre se muestran las rectas correspondientes a un modelo completo (aquel que asume la existencia de una interacción entre las variables año y estación, y por tanto los ajustes figuran siempre con distintas pendientes), con independencia de que dicha interacción sea o no estadísticamente significativa. Si la interacción no fue estadísticamente significativa, las rectas mostradas en los gráficos no se corresponderían exactamente con los modelos propuestos en la Tabla 4.3, ya que estos últimos asumirían la misma pendiente en ambos ajustes. Éste es el caso, por ejemplo, de la variable TMA.

4.2. Análisis comparativo entre los años 1957-1986 y 1987-2016

Los resultados del análisis de las variables TMA, PTA y TMAM en los periodos de 1957 a 1986 (Serie 1) y 1987 a 2016 (Serie 2) en la estación de A Coruña son los siguientes.

4.2.1- Estadísticos Descriptivos

Los principales estadísticos descriptivos de los datos aparecen recogidos en la Tabla 4.4. Se puede observar que en promedio la TMA y la TMAM del periodo 1987-2016 superan aproximadamente en 1°C a las de las tres décadas precedentes (1957-1986). La precipitación anual, en cambio, es ligeramente inferior, en promedio, en los años 1987-2016.

Tabla 4.4: Análisis estadístico descriptivo de las variables TMA, PTA y TMAM en cada serie.

Variable	Serie	Media	D. T.	IQR	Mín.	Q1	Q2	Q3	Máx.	n
TMA (°C)	1957-1986	14	0.3	0.4	13.4	13.8	13.95	14.2	14.7	30
	1987-2016	15	0.4	0.45	14.2	14.8	15	15.3	15.8	30
PTA (mm)	1957-1986	1026.6	186	262.7	727.3	919.5	988.6	1182.2	1399	30
	1987-2016	1014.2	171.5	271.4	672.3	869.3	1030.2	1140.7	1276.1	30
TMAM (°C)	1957-1986	17	0.39	0.5	16.3	16.8	17.1	17.3	17.9	30
	1987-2016	18.1	0.48	0.57	17.1	17.7	18.1	18.3	18.9	30

D.T.: Desviación Típica; IQR: Rango Intercuartílico; Máx.: Máximo; Mín.: Mínimo; PTA: Precipitación Total Anual; Q1, Q2, Q3: Primer, segundo y tercer cuartiles respectivamente; TMA: Temperatura Media Anual; TMAM: Temperatura Media Anual de las Máximas.

Tabla 4.5: Intervalos de determinación de outliers. Todo dato situado fuera del correspondiente intervalo es considerado como atípico.

Variable	Serie	Intervalo
TMA	1957-1986	(13.01, 14.99)
	1987-2016	(13.83, 16.22)
PTA	1957-1986	(468.71, 1584.49)
	1987-2016	(499.55, 1528,76)
TMAM	1957-1986	(15.85, 18.23)
	1987-2016	(16.63, 19.51)

PTA: Precipitación Total Anual; TMA: Temperatura Media Anual; TMAM: Temperatura Media Anual de las Máximas.

4.2.2- Detección de Outliers

En la detección de los outliers, se siguió el criterio de considerar como dato atípico todo aquel cuyo valor no estuviera dentro de los intervalos obtenidos como resultado de la aplicación de los métodos 3IQR y 3σ en los términos detallados en el apartado de Metodología. Estos intervalos aparecen recogidos en la Tabla 4.5. En este caso, ningún dato resultó hallarse fuera de los intervalos determinados, no habiendo pues outliers.

4.2.3- Modelos Lineales

Para cada variable, se ajustó un modelo lineal en función del año y la serie (Serie 1 = 1957-1986; Serie 2 = 1987-2016), incluyendo el término interacción. Cuando este término no fue estadísticamente significativo, se ajustó de nuevo un modelo sin incluir interacción. Con los resultados obtenidos, para cada una de las variables climatológicas consideradas en cada una de las dos series se construyeron los modelos lineales cuyas expresiones analíticas se muestran en la Tabla 4.6. En el Anexo II se encuentran las salidas de R con los modelos ajustados.

A efectos ilustrativos, se indican a continuación el código usado y los resultados obtenidos para la variable TMA:

Código:

```
lm(formula = TMA ~ AÑO * SERIE, data = datosMISeries)
```

Resultados del ajuste del modelo lineal:

```

              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  13.964828   0.130584 106.941 < 2e-16
AÑO          0.002269   0.007356   0.308 0.758849
SERIE[T.2]   0.745287   0.184674   4.036 0.000167
AÑO:SERIE[T.2] 0.018154   0.010402   1.745 0.086449

```

Los modelos derivados de estos resultados fueron los siguientes:

$$\text{Serie 1 (1957-1986): TMA} = 13.964828 + 0.002269 \times \text{AÑO}$$

$$\text{Serie 2 (1987-2016): TMA} = (13.964828 + 0.745287) + (0.002269 + 0.018154) \times \text{AÑO}$$

La interpretación de las estimaciones de los coeficientes es la siguiente:

- **AÑO (0.002269):** Entre 1957 y 1986, cada año que pasa, la TMA aumentó por término medio 0.002269°C. Como el p-valor asociado no es significativo ($p = 0.7588$), se puede afirmar que la TMA no varía significativamente con los años.
- **SERIE[T.2] (0.745287):** Independientemente del año, la TMA entre 1987 y 2016 es, en media, 0.745287°C superior a la TMA registrada en 1957-1986. Esta diferencia es estadísticamente significativa ($p = 0.000167$).
- **AÑO:SERIE[T.2] (0.018154):** Durante 1987-2016 la TMA aumentó cada año, por término medio, 0.018154°C más que lo que aumentó anualmente durante 1957-1986. Sin embargo, el p-valor asociado no es significativo ($p = 0.086$), por lo que el aumento de la TMA con los años se puede asumir igual en ambas series. Dado que este término no resultó estadísticamente significativo, se elaboró un modelo lineal sin incluir el término interacción. Esto implica que los modelos resultantes que explican la TMA en función del año y la serie tengan la misma pendiente (el aumento o disminución de la TMA con los años se puede asumir igual en ambas series).

Estos modelos lineales (ver Tabla 4.6 y Anexo II) nos indican lo siguiente en relación a las variables analizadas:

- Cada año que pasa, la TMA aumenta, y lo hace por igual en las dos series, 0.0113°C por término medio ($p = 0.0364$), no habiendo diferencias significativas entre ellas a este respecto ($p = 0.086$). No obstante, con independencia del año, la TMA en los años 1987-2016 es, en promedio, 1.027°C superior a la de los años 1957-1986 ($p = 4.96 \times 10^{-16}$).

Tabla 4.6: Expresiones analíticas de los modelos lineales correspondientes a las variables TMA, PTA y TMAM en cada una de las dos estaciones de estudio.

Variable	Serie	Modelo Lineal
TMA (°C)	1957-1986	$TMA = 13.824 + 0.0113 \times \text{año}$
	1987-2016	$TMA = 14.851 + 0.0113 \times \text{año}$
PTA (mm)	1957-1986	$PTA = 1015.948 + 0.6872 \times \text{año}$
	1987-2016	$PTA = 1003.505 + 0.6872 \times \text{año}$
TMAM (°C)	1957-1986	$TMAM = 17.083 - 0.0030 \times \text{año}$
	1987-2016	$TMAM = 17.657 + 0.0266 \times \text{año}$

PTA: Precipitación Total Anual; TMA: Temperatura Media Anual; TMAM: Temperatura Media Anual de las Máximas.

- La variable PTA aumenta a medida que pasan los años, 0.6872 mm en promedio, aunque este aumento no es estadísticamente significativo ($p = 0.799$), y lo hace por igual en ambas series, no habiendo por consiguiente diferencias entre ellas a este respecto ($p = 0.488$). En los años 1987-2016, la PTA es por término medio 12.443 mm inferior a la de los años 1957-1986, aunque esta diferencia tampoco es estadísticamente significativa ($p = 0.790$).
- La TMAM se comporta de manera diferente en las dos series: cada año durante 1957-1986, disminuyó por término medio en 0.0030°C , aunque no de forma significativa ($p = 0.7371$), mientras que durante 1987-2016 aumentó en 0.0266°C cada año de forma significativa ($p = 0.0204$). Además, la TMAM fue, en promedio, durante 1987-2016, 0.5747°C mayor que durante 1957-1986 ($p = 0.0116$).

Las representaciones gráficas de las tres variables estudiadas son las mostradas en la Figura 4.3. Al igual que en el caso del análisis comparativo entre las dos estaciones estudiadas, también aquí, a efectos ilustrativos, en los gráficos (Figura 4.3) siempre se muestran las rectas correspondientes a un modelo completo (aquel que asume la existencia de una interacción entre las variables año y serie, y por tanto siempre con distintas pendientes); con independencia de que dicha interacción sea o no estadísticamente significativa. Si la interacción no fue estadísticamente significativa, las rectas mostradas en los gráficos no se corresponderían exactamente con los modelos propuestos en la Tabla 4.6, ya que estos últimos asumirían la misma pendiente en ambos ajustes. Éste es el caso de las variables TMA y PTA.

3.1. Predicciones

Se hicieron predicciones para los valores de las variables TMA, PTA y TMAM en el año 2017 utilizando las ecuaciones del modelo lineal determinado para los años 1987 a 2016 con datos de la estación de A Coruña. En la Tabla 4.7 se detallan los valores de dichas predicciones juntamente con los valores reales que las variables tomaron ese año.

Para las dos variables de temperatura (TMA y TMAM) estas predicciones son bastante buenas, aunque ligeramente superiores a los valores reales. Para la PTA, en cambio, el valor real fue mucho menor que el predicho. Si bien aparentemente la diferencia entre la PTA estimada y la real es alta, no lo es tanto si se tiene en cuenta que el error estándar residual del modelo es de 181.2 mm, lo cual quiere decir que en el 95% de los casos la diferencia entre el valor de la PTA estimada y la real debería ser inferior a $2 \times 181.2 = 362.4$ mm (en 2017, la diferencia es de sólo 296 mm).

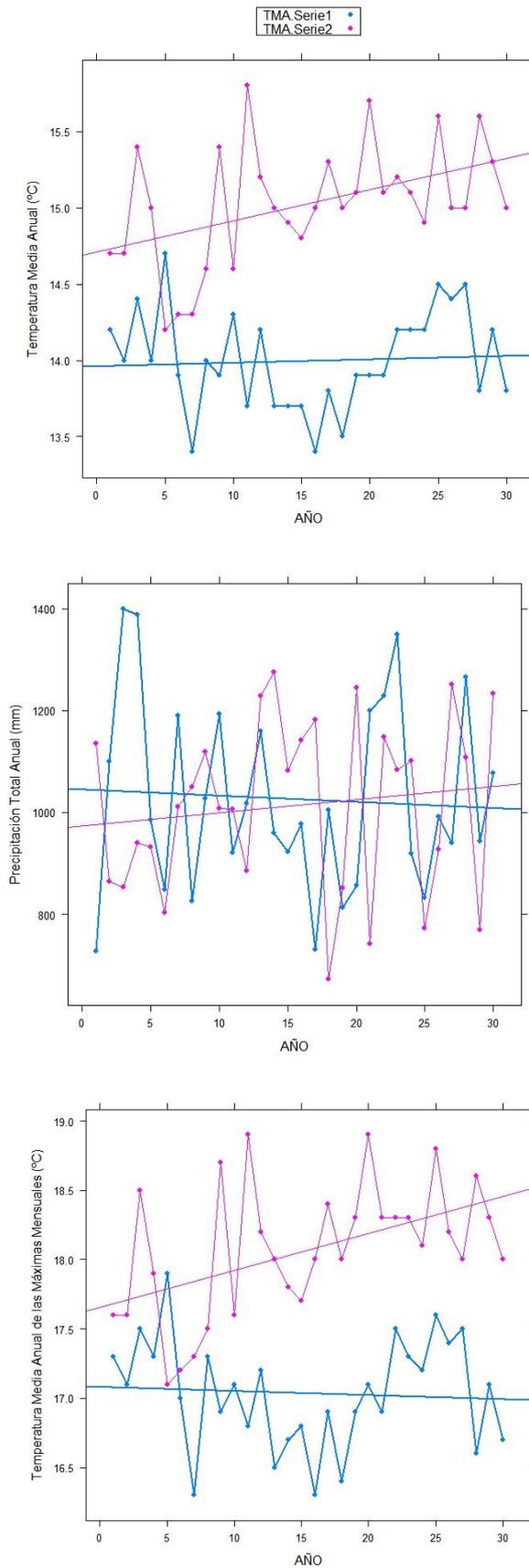


Figura 4.3: Temperatura Media Anual (arriba), Precipitación Total Anual (centro) y Temperatura Media Anual de las Máximas Mensuales (abajo) con respecto al tiempo, con sus correspondientes modelos lineales asociados, durante los años 1957-1986 (azul) y 1987-2016 (rojo).

Tabla 4.7: Predicciones de los valores de TMA, PTA y TMAM para el año 2017, efectuadas con los modelos lineales elaborados a partir de los datos de los años 1987-2016, y valores reales que las tres variables tomaron ese año.

Variable	Valor predicho (2017)	Valor real (2017)
TMA (°C)	15.2	15.5
PTA (mm)	1024.8	728.8
TMAM (°C)	18.5	18.8

PTA: Precipitación Total Anual; TMA: Temperatura Media Anual; TMAM: Temperatura Media Anual de las Máximas.

4. DISCUSIÓN

En este estudio se analizaron las variables de precipitación y temperatura en el área geográfica de A Coruña, estudiando las posibles diferencias entre las estaciones de A Coruña y A Coruña-Aeropuerto, y a lo largo de los años 1957-1986 y 1987-2016.

Se ha observado que la Temperatura Media Anual (TMA), en el periodo de 1972 a 2017, ha aumentado por igual en ambas estaciones: un promedio de 0.0367°C al año, lo que implica un aumento de 1.101°C cada 30 años. Esto concuerda con lo observado por otro lado en la estación de A Coruña, en la que la TMA en el periodo 1987-2016 fue, en media, 1.027°C más alta que en los 30 años anteriores (periodo 1957-1986). Estos datos están en consonancia con los resultados de Taboada *et al.* (2006), quienes reportaron un aumento de 1.18°C en A Coruña a lo largo de las tres décadas del periodo de 1973 a 2004.

La observación de una TMA superior en 0.936°C en la estación de A Coruña respecto a la de A Coruña-Aeropuerto es, en principio, coherente con la localización de ambas estaciones. Las temperaturas más altas en la estación de A Coruña se pueden explicar por la menor altitud de ésta y por el “efecto de isla de calor” del casco urbano de la ciudad, donde la estación está ubicada. Las desviaciones estándar de las series de datos de TMA en ambas estaciones son muy similares ($\sigma = 0.62$ en A Coruña, $\sigma = 0.63$ en A Coruña-Aeropuerto), aunque la de A Coruña es ligeramente menor, lo cual es también coherente con la ubicación más próxima al mar, cuyo efecto amortiguador térmico tiende a reducir la amplitud del rango de temperaturas (Fernández García, 1996). La forma de cambio y evolución de la variable TMA es muy similar en ambas estaciones, sin que puedan apreciarse entre una y otra, en este sentido, diferencias estadísticamente significativas.

Con la TMA se relaciona la Temperatura Media Anual de las Máximas Mensuales (TMAM), dado que ambas variables corresponden a la misma magnitud física medida sobre el mismo sistema. La TMAM, que se ha estudiado únicamente en la estación de A Coruña por separado en los años 1957-1986 y 1987-2016, no varía significativamente durante 1957-1986 (disminuye únicamente 0.003°C al año). Sin embargo, esta tendencia se altera durante 1987-2016, y la TMAM pasa a aumentar de forma significativa 0.0267°C al año en promedio, en consonancia con y ratificando lo observado en la TMA.

Todas estas observaciones sobre la temperatura están en sintonía con los resultados del “Informe de Cambio Climático de Galicia: 2012-2015”, que constata un aumento general de la temperatura en todo el territorio gallego a lo largo de los últimos decenios. La tasa de aumento de la temperatura media anual de $0.036^{\circ}\text{C}/\text{año}$ (o $0.36^{\circ}\text{C}/\text{década}$) observada en el área de A Coruña es preocupante, porque está muy próxima a las predicciones máximas de los modelos climáticos, que son de $0.4^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (Parry *et al.*, 2001). Además, en Galicia y en general en todo el territorio español, es un hecho comprobado que las mayores subidas de temperatura se dan en el interior y no en la costa. Así, en el mismo período de 1973 a 2004 en que Taboada *et al.* (2006) detectaron en A Coruña el aumento de 1.18°C que se mencionó más arriba, hallaron un incremento de 1.55°C para Santiago de Compostela y Ourense, y 1.81°C para Lugo, reportando un aumento medio de la temperatura para todo el territorio gallego de 1.46°C . En el periodo de 1971 a 2000, el cual se solapa en su mayor parte con el utilizado por Taboada *et al.* (2006), Ayala-Carcedo (2004) estimó para el conjunto de España un aumento de temperatura de 1.53°C . Todos estos datos, excepto el de A Coruña, están por encima de los $0.4^{\circ}\text{C}/\text{década}$ (o 1.2°C en 30 años) mencionados por Parry *et al.* (2001).

En el caso de las precipitaciones, en un primer análisis se observó una cierta constancia de los niveles de Precipitación Total Anual (PTA) registrados en la estación de A Coruña a lo largo del período 1972-2017, con un incremento muy leve de tan sólo $0.468\text{ mm}/\text{año}$. En la estación de A Coruña-Aeropuerto, en cambio, se vio que la misma variable disminuía en promedio $6.596\text{ mm}/\text{año}$. Ante estos resultados, que resultan extraños tanto por lo elevado de la diferencia entre ellos como por el signo distinto de las respectivas tendencias, se efectuó un segundo análisis en el que se excluyeron del periodo antes indicado y para ambas estaciones los datos de los años posteriores a 2010. El motivo por el que se decidió proceder de este modo fue que en los registros de PTA de la estación de A Coruña-Aeropuerto se detectó un número importante de datos faltantes con posterioridad al año 2010, y se consideró que este hecho podría estar ocasionando una distorsión que constituiría la causa de las anomalías observadas en los resultados antes referidos. Este nuevo análisis mostró una tendencia decreciente de las precipitaciones en ambas estaciones a lo largo del período 1972-2010 pero que no era estadísticamente significativa.

Cuando en la estación de A Coruña se analizó el comportamiento de la PTA por separado en los periodos 1957-1986 y 1987-2017 se encontró que la variable aumenta muy ligeramente a lo largo del tiempo y lo hace al mismo ritmo ($0.6872\text{ mm}/\text{año}$) en ambos periodos. Esta tasa de incremento es demasiado leve como para poder concluir con base en ella que la precipitación haya aumentado a lo largo de las últimas décadas; y su tendencia opuesta a la observada en el estudio de las dos estaciones por separado en los años 1972-2010 debilita si cabe aún más su valor como indicador de una posible tendencia al alza de la precipitación.

A partir del conjunto de los resultados obtenidos para la precipitación lo único que puede decirse, a lo sumo, es que en general las precipitaciones parecen haberse mantenido constantes o con una muy leve tendencia a la baja a lo largo de los últimos 60 años. Esto está en concordancia con los resultados de los análisis de Taboada *et al.*

(2006) quienes, tras haber estudiado la variación de la precipitación en A Coruña y otras cinco localidades gallegas durante el período de 1973 a 2004, concluyeron que en estas áreas la precipitación no varió a lo largo de esas tres décadas.

Por otro lado, los modelos lineales elaborados para la variable Humedad Relativa (HR) muestran tendencias opuestas en las dos estaciones de estudio: mientras en A Coruña la HR disminuye con el tiempo en un promedio del 0.084% anual, en A Coruña-Aeropuerto no varía significativamente. Este resultado coincide con las observaciones del informe de AGADER de 2009, en el que se indica que un aumento progresivo de la temperatura a lo largo de los años suele conllevar asociado un patrón de variaciones drásticas de la Humedad Relativa sin una tendencia definida (AGADER, 2009).

Como ya se indicó más arriba, los modelos lineales elaborados muestran que la Temperatura Media Anual (TMA) ha aumentado a lo largo de las últimas seis décadas; y lo mismo ha sucedido, aunque con una tasa de crecimiento diferente, con las temperaturas máximas (TMAM). En el año 2017, la TMA fue de 15.5°C. Este valor supera en 0.3°C al predicho por el modelo lineal elaborado para las tres décadas precedentes (1987 a 2016), y en 0.5°C a la media de dicho periodo. La variable TMAM, con su comportamiento similar al de TMA, corrobora lo observado para ésta. En 2017 su valor fue de 18.8°C, es decir, 0.3°C más de lo predicho por el correspondiente modelo lineal del periodo 1987-2016, y 0.73°C mayor que la media de ese periodo.

En lo que se refiere a las precipitaciones, en 2017 la Precipitación Total Anual (PTA) fue de 728.8 mm, 296 mm menor que lo predicho por el modelo lineal correspondiente a los años 1987 a 2016, y 285.36 mm por debajo de la media de dicho periodo. Esta discrepancia de 296 mm entre las predicciones de los modelos sobre la precipitación y la situación real de 2017 podría interpretarse bien como una simple desviación puntual del patrón general observado en la pluviosidad, o, por el contrario, como un cambio en las precipitaciones que podría perpetuarse en el tiempo. La primera hipótesis es la más plausible, y la corrobora el hecho de que dispersos a lo largo de los últimos seis decenios se encuentran algunos años en los que la precipitación total anual fue de un orden de magnitud similar al observado en 2017 (el error estándar residual del modelo lineal es de 181.2 mm). Este tipo de años muy secos son escasos, pero se dan y son observables en listas de series muy largas de tiempo. Su aparición, en principio y a falta de evidencias en contra, se ajusta a patrones de variabilidad natural del clima. El año 2017 fue uno de estos años. En particular, a nivel nacional español el otoño de 2017 fue el tercero más seco desde 1965, sólo superado por los de 1978 y 1981 (AEMET, 2017). Dado que el otoño es una de las estaciones de mayor pluviosidad en A Coruña, esta sequía generalizada en dicha época del año afecta necesaria y significativamente al nivel de precipitación anual registrado.

Normalmente, cuando a lo largo de varias décadas se produce un aumento sostenido de las temperaturas, podría esperarse que el mismo se viera acompañado de una disminución paralela de las precipitaciones, porque el aire a mayor temperatura puede contener mayor cantidad de vapor de agua, y en consecuencia, siempre que la masa total de vapor de agua en la atmósfera local no aumente, será más difícil que se alcance el

punto de saturación y se produzca la condensación (Lutgens & Tarbuck, 2013). Esto no se observa de modo evidente en la zona de A Coruña, donde las precipitaciones parecen mantenerse constantes, o disminuir pero de una manera apenas perceptible. La causa de tal circunstancia podría radicar en la proximidad del mar, en el cual el grado de evaporación aumentaría a medida que lo hacen las temperaturas, y con ello se aportaría mayor cantidad de vapor de agua al aire, manteniéndose en consecuencia los índices de humedad relativa más o menos constantes.

En definitiva, los resultados de los análisis estadísticos realizados en el presente estudio están en concordancia con los trabajos anteriores a que se ha hecho referencia, y muestran, al igual que aquéllos, una divergencia entre lo que sería de esperar a partir del devenir natural del clima, y los parámetros climatológicos que se observan en el presente. No obstante, dada la enorme complejidad del sistema climático, los estudios que lo abordan tienen un margen de incertidumbre muy elevado, lo cual hace muy difícil poder establecer conclusiones concretas a partir de los resultados estadísticos obtenidos (McGuffie & Henderson-Sellers, 1997).

5.1. Limitaciones del estudio

Es importante tener en cuenta que el hecho de que en el presente estudio no se hayan imputado los valores perdidos en los años donde no había registro de datos introduce un cierto factor de error. Por otro lado, si bien se han identificado y localizado los outliers, hay que resaltar que tampoco se han eliminado o modificado de modo alguno, circunstancia que puede también distorsionar los resultados.

Asimismo, cabe destacar que el tipo de técnica estadística que se ha utilizado para los análisis llevados a cabo merece algunos comentarios. Los datos a analizar son series temporales anuales, de manera que la metodología estadística apropiada para su análisis son las técnicas de series de tiempo (Wilks, 1995). Dado que estas técnicas no están incluidas en las competencias de la titulación, se ha optado por el uso de los modelos lineales, el cual es también adecuado para expresar la relación funcional entre la variable respuesta (las distintas variables climatológicas) y el tiempo. Una limitación de estos modelos es que expresan la relación funcional de cada variable con el tiempo de forma lineal. Si la verdadera relación tuviese otra forma funcional, esto podría dar lugar a predicciones y conclusiones erróneas. Sin embargo, las representaciones gráficas sugieren que las relaciones son efectivamente lineales.

5.2. Perspectivas futuras

El presente estudio podría ampliarse realizando los mismos análisis estadísticos con otras variables climatológicas distintas de las que se han utilizado. De este modo, se tendría un volumen mayor de información, lo que daría lugar a unos resultados más robustos y fiables que los aquí obtenidos. Sería también muy interesante realizar una repetición de los mismos análisis que se han desarrollado, pero usando técnicas de series de tiempo, y comparar los resultados alcanzados con los del presente trabajo.

5. CONCLUSIÓN

En los últimos 60 años, la temperatura en el área de la ciudad de A Coruña aumentó $0.36^{\circ}\text{C}/\text{década}$, presentando la temperatura media anual una tendencia general al alza a lo largo de todo el periodo. De las dos estaciones meteorológicas estudiadas, A Coruña y A Coruña-Aeropuerto, el aumento de la temperatura fue mayor en la primera. Una de las causas posibles de esto podría ser el efecto de isla de calor que ejerce la ciudad, donde se encuentra la estación de A Coruña.

En lo que se refiere a las precipitaciones a lo largo de los últimos decenios, a la luz de los análisis realizados se puede afirmar que aparentemente se observa una constancia de las mismas; o, a lo sumo, una tendencia decreciente muy leve; pero la evidencia de tal tendencia no es tan clara como lo es en el caso de la temperatura. En las dos estaciones meteorológicas estudiadas la variación de las precipitaciones presenta un patrón similar, disminuyendo a una tasa muy baja en ambas.

Las predicciones que los modelos matemáticos elaborados con datos de la estación de A Coruña de los últimos 30 años arrojan para el año 2017 muestran una discrepancia con la situación real. Así, la temperatura que se midió en la zona en 2017 fue superior a la predicha por el modelo; y la precipitación considerablemente inferior. A partir de esta observación se puede concluir que tal hecho es indicativo de una posible aceleración en las tendencias de variación de precipitaciones y temperatura, pero no hay de ello evidencias suficientes como para declarar esto de modo rotundo, siendo necesarios, para poder hacerlo, más estudios que corroboren los resultados obtenidos en éste.

En definitiva, las discrepancias observadas entre lo predicho por los modelos lineales estimados y lo que ocurrió realmente en 2017 podrían obedecer simplemente a un patrón natural de variación del clima, cuya detección requeriría del análisis de series muy largas de datos y queda fuera de los objetivos y el alcance de este estudio. También podrían tener su origen en el Cambio Climático Antropogénico Global, pues el aumento de la temperatura observado en el análisis que se ha efectuado es similar al achacado por el IPCC al Cambio Climático. Una tercera causa de esta diferencia entre lo predicho y lo que sucedió efectivamente podría radicar en algún cambio social, económico o ecológico de relevancia acaecido en la zona de A Coruña en las últimas décadas; pero esta explicación es la menos plausible de todas, porque no es posible reconocer en dicho periodo ningún cambio de cualquiera de esos tres tipos que tuviera la magnitud y la envergadura suficientes como para afectar al clima: la población ha permanecido estable en número, el grado de industrialización no ha variado, y tampoco se ha incrementado el área urbana de manera considerable. El único factor que podría tener alguna influencia es el aumento notable de los incendios forestales, que han sido abundantísimos en Galicia en las últimas décadas, y que podrían haber alterado de algún modo el albedo del suelo, provocando un aumento de la temperatura. No obstante, hasta la fecha los estudios acerca del efecto de los incendios forestales sobre el albedo y la correspondiente influencia en el clima son insuficientes como para poder concluir nada definitivo en este sentido.

CONCLUSIÓN

Nos últimos 60 anos, a temperatura na área da cidade de A Coruña aumentou $0.36^{\circ}\text{C}/\text{década}$, amosando a temperatura media anual unha tendencia xeral crecente ao longo de todo o periodo. Das dúas estacións meteorolóxicas estudadas, A Coruña e A Coruña-Aeroporto, o aumento da temperatura foi maior na primeira. Unha das posibles causas disto podería ser o efecto de illa de calor que exerce a cidade, onde se atopa a estación de A Coruña.

No referente ás precipitacións ao longo dos últimos decenios, á luz das análises levadas a cabo pódese afirmar que aparentemente se observa una constancia, ou, como máximo, unha tendencia decrecente moi leve; pero a evidencia de tal tendencia non é tan clara como ocorre no caso da temperatura. Nas dúas estacións meteorolóxicas estudadas a variación das precipitacións amosa un patrón semellante, diminuindo a unha taxa moi baixa en ámbalas dúas.

As predicións que os modelos matemáticos elaborados con datos da estación de A Coruña dos últimos 30 anos fan para o ano 2017 amosan unha discrepancia coa situación real. Así, a temperatura que se mediu na zona en 2017 foi superior á predita polo modelo; e a precipitación bastante máis baixa. Este feito pode considerarse indicativo dunha posible aceleración nas tendencias de variación da precipitación e da temperatura, pero non hai probas suficientes para declarar isto de xeito rotundo, sendo necesarios, para poder facelo, máis estudos que corroboren os resultados obtidos neste.

En definitiva, as discrepancias observadas entre o predito polos modelos lineais estimados e o que ocorreu realmente en 2017 poderían obedecer só a un patrón natural de variación do clima, pero a detección deste patrón precisaría dunha análise de series de datos moi longas, e queda fóra dos obxectivos e o alcance deste estudo. Tamén poderían ter orixe no Cambio Climático Antropoxénico Global, pois o aumento da temperatura observado na análise feita é semellante ao achacado polo IPCC ao Cambio Climático. Unha terceira causa desta diferenza entre o predito e o que en efecto sucedeu podería radicar nalgún cambio social, económico ou ecolóxico de relevancia acaecido na zona de A Coruña nas últimas décadas; pero esta explicación é a menos plausible de todas, porque non é posible identificar en dito periodo ningún cambio de calquera deses tres tipos coa magnitude e envergadura suficientes como para afectar ao clima: a poboación permaneceu estable en número, o grao de industrialización non variou, e tampouco se incrementou a superficie de área urbana de maneira considerable. O único factor que podería ter algunha influencia é o aumento notable dos incendios forestais, que foron moi abundantes en Galicia nas últimas décadas e que poderían ter alterado dalgún xeito o albedo do solo, producindo un aumento da temperatura. Con todo, ata a actualidade os estudos sobre o efecto dos incendios forestais no albedo e a correspondente influencia no clima son insuficientes para poder concluír nada definitivo neste sentido.

CONCLUSION

In the last 60 years, in the area of the city of A Coruña there was an increase in temperature of $0.36^{\circ}\text{C}/\text{decade}$, with the average annual temperature showing a general upward trend throughout the entire period. Of the two weather stations studied, A Coruña and A Coruña-Airport, the increase in temperature was greater in the first one. One of the possible causes of this difference could be the urban heat island effect exerted by the city, where A Coruña station is located.

With regard to precipitation over the last decades, based on the analyses that have been carried out, it can be stated that apparently it has kept constant; or, at most, has shown a very slight downward trend; but the evidence of such trend is not as clear as it is in the case of temperature. In both weather stations, the variation in precipitation shows a similar pattern, decreasing at a very low rate.

The predictions for the year 2017 of the mathematical models made with data of the last 30 years from A Coruña station show a discrepancy with the real situation. Thus, the temperature that was measured in the area in 2017 was higher than the one predicted by the model; and the precipitation significantly lower. Based on this observation it can be concluded that this fact is indicative of a possible acceleration in the trends of variation of precipitation and temperature, but there is not enough evidence to declare this conclusion in a firm way, being still necessary more studies corroborating the results of this one to be able to do so.

In short, the discrepancies observed between what was predicted by the estimated linear models and what actually happened in 2017 could simply follow a natural pattern of climate variation, which detection would require the analysis of very long series of data and it is beyond the scope and objectives of this paper. Those discrepancies could also be an effect of the Global Anthropogenic Climate Change, since the increase in temperature observed in the analysis made in this paper is similar to that attributed by the IPCC to Climate Change. A third cause of this difference between what was predicted and what actually happened could lie in some important social, economic or ecological change that has occurred in the area of A Coruña in recent decades; but this explanation is the least plausible of all, because it is not possible to find in such period any change of any of those three types that was deep enough to affect the climate: the population has remained stable in number, the degree of industrialization has not changed, and the urban area has not increased significantly. The only factor that could have had some influence is the notable increase of forest fires, which have been very abundant in Galicia in recent decades. They could have altered the albedo of the ground in some way, causing an increase in temperature. However, to date there are not enough studies on the impact of forest fires on the albedo and the corresponding influence on climate to conclude anything definitive in this regard.

REFERENCIAS

- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2017). *Resumen Estacional Climatológico. Otoño 2017*. Recuperado el 24 de agosto de 2018, de Resumen Estacional Climatológico. Otoño 2017.
http://www.aemet.es/documentos/es/serviciosclimaticos/vigilancia_clima/resumenes_climat/estacionales/2017/Est_otono_2017.pdf
- Agencia Estatal de Meteorología (AEMET). (2018). *Centro de Descargas*. Obtenido de Centro de Descargas: <https://opendata.aemet.es/centrodedescargas/inicio>
- Axencia Galega de Desenvolvemento Rural. (2009). *Evaluación de los efectos del cambio climático sobre el área geográfica y distribución de cinco producciones agrarias en Galicia*. Santiago de Compostela: AGADER.
- Ayala-Carcedo, F. J. (2004). La realidad del cambio climático en España y sus principales impactos ecológicos y socioeconómicos. *Industria y Minería* 358, 10-15.
- Belda, M., Holtanová, E., Halenka, T. & Kalvová, J. (2014). Climate classification revisited: from Köppen to Trewartha. *Climate Research* 59, 1-13.
- Creus, J., Belorlegui, M. & Fernández Cancio, A. (1995). *Cambio Climático en Galicia. Reconstrucción climática de las últimas centurias*. Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.
- Critchfield, H. J. (1974). *General climatology*. Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall.
- de Luque Söllheim, Á. L. (2011). *Procesamiento de datos de estaciones meteorológicas de Gran Canaria para analizar tendencias de temperaturas en el contexto de cambio climático*. Canarias: Gobierno de Canarias. Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático.
- Fernández García, F. (1996). *Manual de Climatología Aplicada: Clima, Medio Ambiente y Planificación*. España: Editorial Síntesis, S. A.
- Fierro, A. (1991). *Histoire de la Météorologie. La Météorologie populaire*. París: Denoël.
- Fontana Tarrats, J. M. (1977). *Historia del clima del Finis-Terrae gallego*. Madrid: Autor.
- Fox, J. (2005). The R Commander: A Basic Statistics Graphical User Interface to R. *Journal of Statistical Software*, 14(9) 1-42.
- Fox, J. (2017). *Using the R Commander: A Point-and-Click Interface for R*. Boca Raton FL, USA: Chapman and Hall/CRC Press.

- Fox, J. & Bouchet-Valat, M. (2017). *Rcmdr: R Commander. R package version 2.3-2*.
- Franco Aliaga, T. (2003). *Geografía Física de España*. España: UNED.
- García González, I., Díaz Vizcaíno, E. A. & Martínez Cortizas, A. (1999). Dendrochronological analysis of oak (*Quercus robur* L., Fagaceae) in the Serra da Carba (Galicia, NW Spain): An application of cluster analysis. *Nova Acta Científica Compostelana (Biología)*, 171-177.
- García de Pedraza, L. & Rejia Garrido, A. (1994). *Tiempo y clima en España. Meteorología de las Autonomías*. Madrid: Dossat.
- Geiger, R., Aron, R. H. & Todhunter, P. (2003). *The Climate Near the Ground*. Lanham, Maryland: Rowman and Littlefield Publishers.
- González Taboada, F. & Anadón Álvarez, R. (2011). *Análisis de Escenarios de Cambio Climático en Asturias*. Principado de Asturias: Gobierno del Principado de Asturias. Consejería de Medio Ambiente, Ordenación del Territorio e Infraestructuras. Oficina para la Sostenibilidad, el Cambio Climático y la Participación.
- Google LLC. (2018). *Google Maps*. Obtenido de Google Maps: <https://www.google.com/maps>
- Guerrero, J. J., Ghislanzoni, M., Giménez de Azcárate, F., Alcántara, J., Romero, D., Cáceres, F. & Moreira, J. M. (2014). *Efectos previsibles del Cambio Climático sobre el Paisaje de Andalucía*. Alicante: REDIAM.
- Guttman, N. B. y Qualye, R. G. (1990). A Review of Cooperative Temperature Data Validation. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 7, 334-339.
- Hufty, A. (1984). *Introducción a la Climatología*. (Trad. F. Sheriff). Barcelona, España: Editorial Ariel, S. A. (Original en francés, 1976).
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Nueva York: Cambridge University Press.
- Johnson, R. A. (2006). *Statistics: principles and methods*. Hoboken (New Jersey): John Wiley & Sons.
- Köppen, W. (1918). Klassifikation der Klimate nach Temperatur, Niederschlag und Jahreslauf. *Petermanns Geographische Mitteilungen*, 64, 193-203, 243-248.
- Ledesma, M. (2011). *Principios de Meteorología y Climatología*. Madrid: Paraninfo.
- Lutgens, F.K. & Tarbuck, E.J. (2013). *The Atmosphere: An Introduction to Meteorology* (12^a ed.). Pearson Education, Inc.

- Llasat Botja, M., Corominas, J., García Sellés, C., Quintana Seguí, P. & Turco, M. (2016). Riesgos del cambio climático. En J. Martín-Vide, *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans y Generalitat de Catalunya.
- Martín, J. L., Bethencourt, J. & Cuevas-Agulló, E. (2011). *Evaluación del Calentamiento Global en Tenerife. Tendencias desde 1944 en las temperaturas máximas y mínimas anuales*. Canarias: Gobierno de Canarias. Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático.
- Martín Vide, J. & Olcina, J. (2001). *Climas y tiempos de España*. Madrid: Alianza Editorial.
- McGuffie, K. & Henderson-Sellers, A. (1997). *A Climate Modelling Climate* (2^a ed.). Gran Bretaña: John Wiley & Sons Ltd.
- Neteler, M. & Mitasova, H. (2004). *Open Source GIS: A GRASS GIS Approach* (2^a ed.). Boston: Kluwer Academic Publishers/Springer.
- Palomares Casado, M. (1988). *Aspectos humanos y sociales en meteorología y climatología*. Madrid: Instituto Nacional de Meteorología, Servicio de Publicaciones.
- Parry, M., Parry, C. & Livermore, M. (2001). *Valoración de los efectos potenciales del cambio climático en Europa. (Informe ACACIA de la Comisión Europea, resumen y conclusiones)*. Universidad de Castilla-La Mancha, Iberdrola. Toledo:
- Pérez-Alberti, A. (2002). Análisis geomorfológico y evolución paleoclimática de Galicia durante el Terciario y el Cuaternario. *Semata*, 11-66.
- Prudence Project. (2001-2004). *Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects*. Recuperado el 2018, de Prediction of Regional scenarios and Uncertainties for Defining European Climate change risks and Effects: <http://prudence.dmi.dk/>
- R Core Team. (2016). *R: A language and environment for statistical computing*. Viena, Austria: R Foundation for Statistical Computing. URL <https://www.R-project.org/>.
- Ramil-Rego, P. (1993). Evolución climática e historia de la vegetación durante el Pleistoceno Superior y el Holoceno en las regiones montañosas del Noroeste Ibérico. En A. Pérez, L. Guitián & P. Ramil, *La evolución del paisaje en las montañas del entorno de los Caminos Jacobeos* (págs. 25-60). Santiago de Compostela: Xunta de Galicia.
- Ramil-Rego, P., Iriarte, M. J., Muñoz Sobrino, C. & Gómez-Orellana, L. (2005). Cambio climático y dinámica temporal del paisaje y de los hábitats en las ecorregiones del NW de la Península Ibérica durante el Pleistoceno superior. *Munibe*, 57(1), 537-551.

- Sarkar, D. (2008). *Lattice: Multivariate Data Visualization with R*. New York, USA: Springer.
- Saz Sánchez, M. A. (2003). *Temperaturas y Precipitaciones en la mitad norte de España desde el siglo XV. Estudio Dendroclimático*. Zaragoza: Consejo Protecc. Natur. Aragón.
- Saz, M. A., Creus, J. & Cuadrat, J. M. (2004). La Pequeña Edad de Hielo en Galicia: reconstrucción de las temperaturas de Labacolla entre los siglos XVI y XIX. *Xeografía, Rev. Xeogr. Teerr. e Med. Amb.*, 4, 141-161.
- Subdirección Xeral de Meteoroloxía e Cambio Climático de la Secretaría Xeral de Calidade e Avaliación Ambiental de la Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio de la Xunta de Galicia. (2016). *Informe de cambio climático de Galicia: 2012-2015*. España: Autor.
- Taboada, J., Cruz, R. & Lage, A. (2006). O problema do cambio climático. En L. Naranjo & V. Pérez Muñuzuri (Coords.), *A variabilidade natural do clima en Galicia* (pp. 185-218). España: Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible, Xunta de Galicia.
- Torras, M. L. & Díaz-Fierros, F. (1978). El registro polínico como indicador del cambio climático en Galicia. *VI Simp. Biotecnología*, (págs. 162-171). Madrid.
- Trenberth, K. E. & Paolino, D. A. (1980). The Northern Hemisphere Sea-Level Pressure Data Set: Trends, Errors and Discontinuities. *Monthly Weather Review*, 108(7), 855- 872.
- Trewartha, G. T. & Horn, L. H. (1980). *Introduction to climate* (5 ed.). New York: McGraw-Hill.
- Unións Agrarias-UPA. (2010). *Estrategias para la adaptación del Cambio Climático en el sector agroforestal*. Galicia: Autor.
- Victoria Jumilla, F. (2015). *Cambio Climático en la Región de Murcia. Evaluación basada en Indicadores. Trabajos del Observatorio Regional del Cambio Climático*. Murcia: Consejería de Agua, Agricultura y Medio Ambiente de la Región de Murcia.
- Wilks, D. S. (1995). *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences: An Introduction*. United States of America: Academic Press.
- World Meteorological Organization. (2007). *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate*. Ginebra, Suiza: Autor.
- World Meteorological Organization. (2011). *Guide to Climatological Practices*. Ginebra, Suiza: Autor

ANEXO I

TABLAS CON LOS DATOS UTILIZADOS EN LOS ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Tabla con los datos utilizados para la realización del análisis comparativo entre las estaciones meteorológicas de A Coruña y A Coruña-Aeropuerto.

AÑO	A Coruña			A Coruña-Aeropuerto		
	TMA	PTA	HR	TMA	PTA	HR
1972	13,4	978,1	78	12,5	1350	76
1973	13,8	730,2	78	12,9	1032,2	75
1974	13,5	1004,5	78	12,4	1184,8	76
1975	13,9	812,2	79	13,1	1053,6	76
1976	13,9	856	78	13,1	1177,6	75
1977	13,9	1200,2	81		1462,8	77
1978	14,2	1229,3	81	13,3	1288,3	76
1979	14,2	1349,4	81	13,3	1414,8	76
1980	14,2	918,8	80	13,1	1184,7	75
1981	14,5	832,3	79	13,7	1041,3	76
1982	14,4	991,3	77	13,6	1099,5	76
1983	14,5	940,5	78	13,7	1007,2	77
1984	13,8	1266,4	76	13,2	1506,3	74
1985	14,2	944,1	74	13,3	1093,6	73
1986	13,8	1076,8	77	12,9	1220,3	76
1987	14,7	1135,3	77	13,7	1113,7	74
1988	14,7	864	76	13,4	931,7	75
1989	15,4	852,9	74	14,1		74
1990	15	939,8	73	14,3	974,7	74
1991	14,2	931,5	75	13,4	1090,5	76
1992	14,3	802,9	74	13,4	884,6	76
1993	14,3	1010,7	74	13,4	1131,5	
1994	14,6	1049,6	75	13,9	1209,7	77
1995	15,4	1120	74	14,6	1152,7	75
1996	14,6	1007,8	76	13,7	1096,9	76
1997	15,8	1006,5	76	14,9	1106,2	76
1998	15,2	885,1	74	14,2	1046,1	76
1999	15	1229,2	74	13,8	1295	76
2000	14,9	1276,1	74	13,8	1451,5	77
2001	14,8	1082,8	73	13,7	1115,9	75
2002	15	1142,5	77	14,1	1218,2	76
2003	15,3	1182,1	76	14,1	1200,3	77
2004	15	672,3	75	13,9	786,1	75
2005	15,1	851,7	75	14,1	944,4	75
2006	15,7	1245,3	76	14,6	1199,6	
2007	15,1	742,2	74	13,8	763,4	72
2008	15,2	1147,7	74	13,8	1102,1	71
2009	15,1	1083,3		13,9	1094,5	
2010	14,9	1100,9	73		1172	
2011	15,6	772,1	75	15,2	726,4	
2012	15	927,8	74	13,1		80
2013	15	1251,2	77	14,6		79
2014	15,6	1107,2	78	15		78
2015	15,3	770,1				
2016	15	1234,1	79			
2017	15,5	728,8	76	14,3	696	75

Tabla con los datos de la estación meteorológica de A Coruña utilizados para la realización del análisis comparativo entre los periodos de 1957-1986 y 1987-2016.

AÑO	Serie 1 (1957-1986)			Serie 2 (1987-2016)		
	TMA	PTA	TMAM	TMA	PTA	TMAM
1	14,2	727,3	17,3	14,7	1135,3	17,6
2	14	1100,5	17,1	14,7	864	17,6
3	14,4	1399	17,5	15,4	852,9	18,5
4	14	1388,6	17,3	15	939,8	17,9
5	14,7	985,9	17,9	14,2	931,5	17,1
6	13,9	848,3	17	14,3	802,9	17,2
7	13,4	1189,6	16,3	14,3	1010,7	17,3
8	14	826,1	17,3	14,6	1049,6	17,5
9	13,9	1027,9	16,9	15,4	1120	18,7
10	14,3	1193,4	17,1	14,6	1007,8	17,6
11	13,7	921,6	16,8	15,8	1006,5	18,9
12	14,2	1016,9	17,2	15,2	885,1	18,2
13	13,7	1159,8	16,5	15	1229,2	18
14	13,7	960,2	16,7	14,9	1276,1	17,8
15	13,7	922,8	16,8	14,8	1082,8	17,7
16	13,4	978,1	16,3	15	1142,5	18
17	13,8	730,2	16,9	15,3	1182,1	18,4
18	13,5	1004,5	16,4	15	672,3	18
19	13,9	812,2	16,9	15,1	851,7	18,3
20	13,9	856	17,1	15,7	1245,3	18,9
21	13,9	1200,2	16,9	15,1	742,2	18,3
22	14,2	1229,3	17,5	15,2	1147,7	18,3
23	14,2	1349,4	17,3	15,1	1083,3	18,3
24	14,2	918,8	17,2	14,9	1100,9	18,1
25	14,5	832,3	17,6	15,6	772,1	18,8
26	14,4	991,3	17,4	15	927,8	18,2
27	14,5	940,5	17,5	15	1251,2	18
28	13,8	1266,4	16,6	15,6	1107,2	18,6
29	14,2	944,1	17,1	15,3	770,1	18,3
30	13,8	1076,8	16,7	15	1234,1	18

ANEXO II

SALIDAS DEL SOFTWARE R UTILIZADAS PARA ELABORAR LOS MODELOS
LINEALES CALCULADOS Y EMPLEADOS EN ESTE TRABAJO

COMPARACIÓN ENTRE ESTACIONES

1- Temperatura Media Anual (TMA)

Modelo con interacción

```
Call:
lm(formula = TMA ~ AÑO * ESTACIÓN, data = DatosMICiudadAeropuerto)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.29479 -0.25188 -0.05636  0.22775  1.04098

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      -57.468797   9.886516  -5.813 1.07e-07 ***
AÑO                0.035717   0.004959   7.202 2.33e-10 ***
ESTACIÓN[T.CORUNA] -2.598443  13.337020  -0.195  0.846
AÑO:ESTACIÓN[T.CORUNA] 0.001772  0.006689   0.265  0.792
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4041 on 84 degrees of freedom
(4 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.7473, Adjusted R-squared:  0.7382
F-statistic: 82.78 on 3 and 84 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

Modelo sin interacción

```
Call:
lm(formula = TMA ~ AÑO + ESTACIÓN, data = DatosMICiudadAeropuerto)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-1.31277 -0.25141 -0.05551  0.21957  1.03761

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)      -59.411325   6.597776  -9.005 5.28e-14 ***
AÑO                0.036692   0.003309  11.087 < 2e-16 ***
ESTACIÓN[T.CORUNA]  0.935863   0.085832  10.903 < 2e-16 ***
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4019 on 85 degrees of freedom
(4 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.747, Adjusted R-squared:  0.7411
F-statistic: 125.5 on 2 and 85 DF,  p-value: < 2.2e-16
```

2- Precipitación Total Anual (PTA)

Años 1972-2017

Modelo con interacción

Call:

```
lm(formula = PTA ~ AÑO * ESTACIÓN, data = DatosMICiudadAeropuerto)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-338.31	-146.45	0.05	127.89	387.43

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	14256.242	4525.800	3.150	0.00228	**
AÑO	-6.596	2.272	-2.904	0.00474	**
ESTACIÓN[T.CORUNA]	-14184.238	5963.302	-2.379	0.01970	*
AÑO:ESTACIÓN[T.CORUNA]	7.064	2.992	2.361	0.02058	*

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 175.3 on 82 degrees of freedom

(6 observations deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.1702, Adjusted R-squared: 0.1398

F-statistic: 5.605 on 3 and 82 DF, p-value: 0.001515

Años 1972-2010

Modelo con interacción

Call:

```
lm(formula = PTA ~ AÑO * ESTACIÓN, data = DatosHasta2010)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-365.56	-134.11	-3.85	108.53	360.07

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)	
(Intercept)	9457.967	4707.052	2.009	0.0482	*
AÑO	-4.179	2.364	-1.768	0.0813	.
ESTACIÓN[T.CORUNA]	-12309.819	6655.304	-1.850	0.0684	.
AÑO:ESTACIÓN[T.CORUNA]	6.120	3.343	1.831	0.0712	.

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 166.1 on 73 degrees of freedom

(1 observation deleted due to missingness)

Multiple R-squared: 0.1663, Adjusted R-squared: 0.132

F-statistic: 4.853 on 3 and 73 DF, p-value: 0.003913

Modelo sin interacción

```

Call:
lm(formula = PTA ~ AÑO + ESTACIÓN, data = DatosHasta2010)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-355.57 -106.74   -9.78   109.52  361.62

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    3362.561    3380.233     0.995  0.32309
AÑO            -1.118       1.698    -0.658  0.51227
ESTACIÓN[T.CORUNA] -124.233     38.456   -3.231  0.00184 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 168.7 on 74 degrees of freedom
(1 observation deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.128, Adjusted R-squared:  0.1044
F-statistic:  5.43 on 2 and 74 DF,  p-value: 0.006302

```

Expresiones Analíticas del Modelo Lineal Ajustado

PTA (mm)	A Coruña	$PTA = 3238.328 - 1.118 \times \text{año}$
	Aeropuerto	$PTA = 3362.561 - 1.118 \times \text{año}$

3- Humedad Relativa (HR)

Modelo con interacción

```

Call:
lm(formula = HR ~ AÑO * ESTACIÓN, data = DatosMICiudadAeropuerto)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-4.8501 -1.0485   0.0831   0.7705   4.7330

Coefficients:
                Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)    46.44194    46.80054     0.992  0.32406
AÑO             0.01465     0.02349     0.623  0.53484
ESTACIÓN[T.CORUNA] 203.01793    63.18700     3.213  0.00190 **
AÑO:ESTACIÓN[T.CORUNA] -0.10155     0.03171    -3.203  0.00196 **
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 1.838 on 79 degrees of freedom
(9 observations deleted due to missingness)
Multiple R-squared:  0.1953, Adjusted R-squared:  0.1647
F-statistic:  6.39 on 3 and 79 DF,  p-value: 0.0006224

```

COMPARACIÓN ENTRE SERIES

1- Temperatura Media Anual (TMA)

Modelo con interacción

Call:

```
lm(formula = TMA ~ AÑO * SERIE, data = DatosMISeries)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.61223	-0.24621	-0.03793	0.21437	0.86524

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	13.964828	0.130584	106.941	< 2e-16 ***
AÑO	0.002269	0.007356	0.308	0.758849
SERIE[T.2]	0.745287	0.184674	4.036	0.000167 ***
AÑO:SERIE[T.2]	0.018154	0.010402	1.745	0.086449 .

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3487 on 56 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.7111, Adjusted R-squared: 0.6956

F-statistic: 45.94 on 3 and 56 DF, p-value: 4.098e-15

Modelo sin interacción

Call:

```
lm(formula = TMA ~ AÑO + SERIE, data = DatosMISeries)
```

Residuals:

	Min	1Q	Median	3Q	Max
	-0.70753	-0.22152	-0.00503	0.21971	0.82439

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	13.824138	0.104554	132.220	< 2e-16 ***
AÑO	0.011346	0.005294	2.143	0.0364 *
SERIE[T.2]	1.026667	0.091639	11.203	4.96e-16 ***

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.3549 on 57 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6954, Adjusted R-squared: 0.6847

F-statistic: 65.05 on 2 and 57 DF, p-value: 1.939e-15

2- Precipitación Total Anual (PTA)

Modelo con interacción

```
Call:
lm(formula = PTA ~ AÑO * SERIE, data = DatosMISeries)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-348.3 -116.6  -10.2   135.8   357.4

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1045.203     67.844   15.406 <2e-16 ***
AÑO          -1.200       3.822   -0.314  0.755
SERIE[T.2]   -70.952     95.945   -0.740  0.463
AÑO:SERIE[T.2]  3.775     5.404    0.698  0.488
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 181.2 on 56 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.01101, Adjusted R-squared:  -0.04197
F-statistic: 0.2078 on 3 and 56 DF,  p-value: 0.8906
```

Modelo sin interacción

```
Call:
lm(formula = PTA ~ AÑO + SERIE, data = DatosMISeries)

Residuals:
    Min       1Q   Median       3Q      Max
-343.57 -130.21   -5.93   132.06   380.99

Coefficients:
              Estimate Std. Error t value Pr(>|t|)
(Intercept)  1015.9484     53.1303   19.122 <2e-16 ***
AÑO           0.6872      2.6901    0.255  0.799
SERIE[T.2]   -12.4433     46.5674   -0.267  0.790
---
Signif. codes:  0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 180.4 on 57 degrees of freedom
Multiple R-squared:  0.002392, Adjusted R-squared:  -0.03261
F-statistic: 0.06833 on 2 and 57 DF,  p-value: 0.934
```

3- Temperatura Media de las Máximas Mensuales (TMAM)

Modelo sin interacción

Call:

```
lm(formula = TMAM ~ AÑO * SERIE, data = DatosMISeries)
```

Residuals:

Min	1Q	Median	3Q	Max
-0.7618	-0.2609	-0.0341	0.2247	0.9498

Coefficients:

	Estimate	Std. Error	t value	Pr(> t)
(Intercept)	17.082529	0.155685	109.725	<2e-16 ***
AÑO	-0.002959	0.008770	-0.337	0.7371
SERIE[T.2]	0.574713	0.220172	2.610	0.0116 *
AÑO:SERIE[T.2]	0.029588	0.012402	2.386	0.0204 *

Signif. codes: 0 '***' 0.001 '**' 0.01 '*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1

Residual standard error: 0.4157 on 56 degrees of freedom

Multiple R-squared: 0.6456, Adjusted R-squared: 0.6266

F-statistic: 34 on 3 and 56 DF, p-value: 1.196e-12