



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y EVALUACIÓN
DE RIESGOS DE EVENTOS EXTREMOS DE
TEMPERATURA Y VIENTO OCURRIDOS EN
ESPAÑA.**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO
GITI+ADE**

Autor: Juan María Martínez González.

Directores: Raquel Caro Carretero, Antonio Rúa Vieites.

Declaro, bajo mi responsabilidad, que el Proyecto presentado con el título
Análisis Estadístico y Evaluación de Riesgos de Eventos Extremos de Temperatura y
Viento ocurridos en España.

en la ETS de Ingeniería - ICAI de la Universidad Pontificia Comillas en el
curso académico 2021/22 es de mi autoría, original e inédito y
no ha sido presentado con anterioridad a otros efectos.

El Proyecto no es plagio de otro, ni total ni parcialmente y la información que ha sido
tomada de otros documentos está debidamente referenciada.

Fdo.: Juan María Martínez González

Fecha: 10/ 07/ 2022



Autorizada la entrega del proyecto
EL DIRECTOR DEL PROYECTO



Fdo.: Raquel Caro Carretero, Antonio Rúa Vieites.

Fecha: 10/ 07/ 2022



COMILLAS
UNIVERSIDAD PONTIFICIA

ICAI

**ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y EVALUACIÓN
DE RIESGOS DE EVENTOS EXTREMOS DE
TEMPERATURA Y VIENTO OCURRIDOS EN
ESPAÑA.**

**TRABAJO DE FIN DE GRADO
GITI+ADE**

Autor: Juan María Martínez González.

Directores: Raquel Caro Carretero, Antonio Rúa Vieites.

Resumen

ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y EVALUACIÓN DE RIESGOS DE EVENTOS EXTREMOS DE TEMPERATURA Y VIENTO OCURRIDOS EN ESPAÑA.

Autor: Martínez González, Juan María.

Directores: Caro Carretero, Raquel. Rúa Vieites, Antonio.

Entidad Colaboradora: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas.

RESUMEN DEL PROYECTO

1. Introducción.

Por todos es sabido, y está globalmente aceptado, que el número de eventos meteorológicos extremos cada día es más frecuente (PACH07) ¿Es esto verdad? Si es así, ¿Cuál es la causa principal de ello? ¿Qué medidas se pueden tomar para reducir su incidencia y paliar los efectos? Responder a estas preguntas es el objetivo principal del proyecto.

Todo el mundo en España vive familiarizado con las temperaturas extremas y las olas de calor. En su día, en las zonas rurales, era tema de conversación entre trabajadores, ya que el clima tenía una gran influencia en el devenir de las cosechas, sobre si iba a ser un año con una gran producción, si iba ser de calidad o incluso si iba a permitir cubrir costes (RICO15). Hoy en día este tema de conversación se usa simplemente para salir de un momento incómodo.

Los deportes extremos están en pleno auge. En muchos de ellos, como el windsurf o el parapente, el viento tiene un rol protagonista. Otro tema muy candente en la actualidad es la transición de combustibles fósiles a energías renovables como la eólica. Los eventos de viento se han normalizado en la actualidad en España.

Pese a todo esto no se puede subestimar los fenómenos meteorológicos extremos. Estos tienen un grave impacto tanto en las personas como medioambiente, ecosistemas e infraestructuras. Los eventos de temperatura extrema pueden agravar enfermedades crónicas o incluso, llegar a provocar la muerte (SANZ20). Los eventos extremos de viento tienen un poder destructivo espectacular (AYUN21). Lo que se está convirtiendo en un tópico usual debería ser tratado con seriedad más allá de las autoridades. Se deben evaluar los riesgos y pasar a la acción.

He aquí la motivación del proyecto. Con este trabajo se busca realizar un análisis de estos eventos extremos para concienciar a la población sobre sus consecuencias, poder evaluar los riesgos que conllevan y prepara un plan de medidas que se podrían tomar.

El cambio climático es un tema que está a la orden del día. Desde finales del siglo pasado se han llevado a cabo numerosos informes y trabajos al respecto. El IPCC, tras su creación en 1988 (IPCC22), ha sido el líder global en este aspecto. Ha realizado hasta la actualidad 5 informes principales sobre el cambio climático (IPCC22). Uno de ellos tan importante como para ser protagonista en el Protocolo de Kioto (IPCC22). La base de estos informes es el análisis del cambio climático, su tendencia, las causas, y diferentes medidas que se pueden tomar (IPCC22). Todo ello a una escala global, particularizada en continentes (IPCC22). En ellos también se tratan eventos meteorológicos extremos como consecuencia del cambio climático (IPCC22).

En España también se han realizado trabajos relacionados con esta materia. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) es la principal encargada de proporcionar datos, revistas, e informes. A lo largo de los años se han realizado informes para analizar las olas de calor (RODR12), la temperatura extrema (RICO15) y los eventos meteorológicos extremos en general (PASC2016).

En cuanto a la evaluación del riesgo los principales informes en España han sido desarrollados por las autoridades públicas a nivel nacional (SANZ20), a nivel regional (AYUN21), o por aseguradoras como AGROSUR.

2. Definición del Proyecto y Metodología.

Los eventos meteorológicos extremos, como las temperaturas extremas, las rachas de viento extremo o las olas de calor, son cada vez más frecuentes e intensos (RICO15). Esto no sería de interés si no tuviesen consecuencias que afectan, no solo al ser humano sino también al medioambiente e infraestructuras, en el día a día.

Los eventos de viento y temperatura extremos son aquellos en los que su respectiva variable meteorológica alcanza unas medidas consideradas anómalas (RICO15). En cambio las olas de calor no tienen una definición clara (RODR12). Para el proyecto se las define como la consecución de tres días con eventos de temperatura extremos.

Está globalmente aceptado que el incremento de los eventos extremos tiene una relación directa con el ser humano, ya que este es el principal artífice y contribuidor del cambio climático (PACH07).

Esto último sumado al impacto que tienen merece que se lleve a cabo una evaluación del riesgo que conlleven así como un estudio de las posibles medidas de mitigación, adaptación y prevención que se pueden tomar en respuesta (PACH07).

En este trabajo se realiza un análisis estadístico de los eventos de temperatura y viento extremos que se han medido en España para entender sus características y observar si siguen alguna tendencia temporal o geográfica. Esto tiene como objetivo facilitar los estudios posteriores e ir realizando y comprobando hipótesis sobre el comportamiento de las variables. Se le da un enfoque gráfico.

Para ello se trabaja con una base de datos proporcionada por la AEMET. Esta contiene los eventos de temperatura que han superado los 40 °C separados por Comunidad

Autónoma. En ellos se tienen los datos de la estación en la que se ha realizado la medición, la temperatura alcanzada, la altitud, la latitud y la longitud. También la provincia y comunidad en la que se encuentra la estación, el día mes y año. Como es lógico también la temperatura que se alcanzó.

La base de datos de los eventos de viento es similar a la de temperatura. Incluye la información acerca de la estación de medida, la fecha, provincia, comunidad y localización geográfica. Además incluye la dirección de la racha máxima, la velocidad que alcanzo y la hora a la que se produjo.

Para analizar estos datos se utilizan distintos softwares, como Matlab, Excel y Tableau.

También se estiman modelos explicativos y predictivos para encontrar relación entre posibles variables explicativas y los eventos de interés.

Para los modelos de temperatura se escoge la variable temperatura máxima en grados centígrados como variable endógena. Con los modelos explicativos se busca comprobar distintas hipótesis como la distribución de los eventos o la influencia de la altitud. También interacciones como la época del año con la provincia en la que se toma la medida (OLIV21).

Para los modelos de viento se escoge la velocidad máxima alcanzada en kilómetros por hora como variable endógena. Con los modelos explicativos se busca comprobar distintas hipótesis como la distribución de los eventos o la influencia de la altitud. También la diferencia entre las provincias (MOLI15).

Para la estimación de los modelos se ha utilizado el software GRET. En cada variable se ha partido de modelos sencillos para poco a poco ir tomando las decisiones necesarias desde un punto de vista econométrico. Esto puede ser tomar logaritmos añadir términos cuadráticos o variables (MART19). También se realizan las validaciones necesarias (MART19).

Por último se evalúan los riesgos inherentes y derivados de estos fenómenos meteorológicos extremos y se ofrecen medidas para la adaptación y prevención. Para ello se definen la vulnerabilidad y el riesgo. El primero es la predisposición que el país tiene para verse afectado por los fenómenos, y el segundo es la relación entre la probabilidad de ocurrencia y las consecuencias de los eventos (FIEL14).

En la evaluación de riesgos es donde por primera vez se trabaja con las olas de calor. Las cuales tienen grandes riesgos como su participación en incendios (BERN07). También se evalúan los riesgos establecidos por el IPCC (FIEL14).

Para su análisis se estudia el Índice de Riesgo Potencial, el cual se calcula utilizando el Poder Intrínseco del Riesgo y la vulnerabilidad (AYUN21).

| | | Índice de Vulnerabilidad | | | | | |
|-----|---|--------------------------|----|----|----|---|---|
| | | 10 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| PIR | 5 | 50 | 25 | 20 | 10 | 5 | 0 |
| | 4 | 40 | 20 | 16 | 8 | 4 | 0 |
| | 3 | 30 | 15 | 12 | 6 | 3 | 0 |
| | 2 | 20 | 10 | 8 | 4 | 2 | 0 |
| | 1 | 10 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | |
|-----------------|----------------------------|
| MUY ALTO | IR >= 20 |
| ALTO | 10 <= IR < 20 |
| MEDIO | 5 <= IR < 10 |
| BAJO | IR < 5 |

Tabla 1: Valoración del índice de riesgo potencial. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Tabla 10.

En función del valor que obtengan en el Índice de Riesgo Potencial se las catalogará como:

- Muy Alto: riesgo que demanda atención e intervención urgente al más alto nivel (AYUN21).
- Alto: riesgo que demanda atención prioritaria e intervención a corto plazo (AYUN21).
- Medio: riesgo que demanda atención rutinaria e intervención a medio plazo vigilando los posibles cambios(AYUN21).
- Bajo: sin riesgo apreciable y no requiere respuesta (AYUN21).

Para finalizar se ofrecen las medidas que se consideran útiles para adaptarse, mitigar y prevenir los eventos meteorológicos extremos estudiados.

3. Resultados.

En el análisis estadístico de los eventos de temperatura extremos se estudia qué características influyen en la frecuencia e intensidad de los mismos. Para comenzar se analiza cómo se distribuyen por Comunidad Autónoma. Se obtiene que Andalucía es

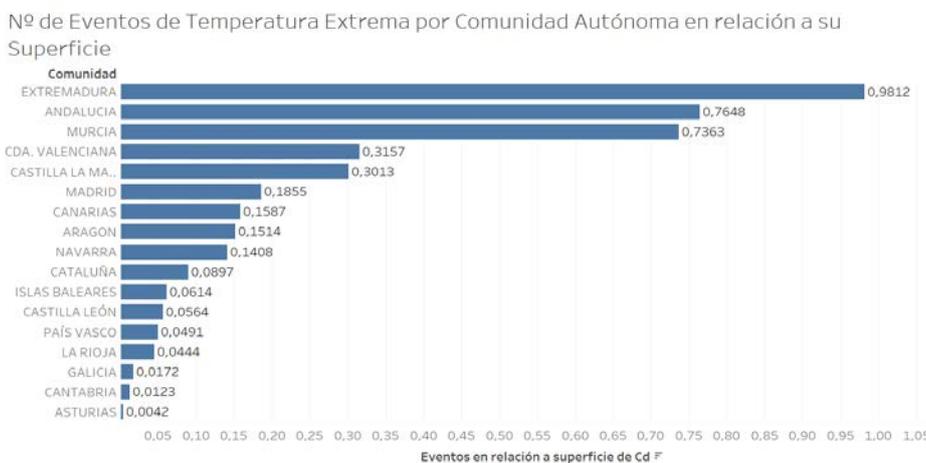


Gráfico 1: Número de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Comunidades Autónomas en relación con su superficie.

donde más eventos se han dado, pero es Extremadura la que tiene un mayor número de eventos de temperatura extrema por kilómetro cuadrado. A su vez, la mayoría de los eventos de temperatura extrema se dan en el sur de España. En concreto un 88,44%.

Por altitud, la mayoría de los eventos se dan en los primeros 500 metros. Entre 0 metros y 499 metros de altura se han dado 114.160 eventos, entre 500 metros y 999 metros de altura se han dado 53.130 eventos, entre 1000 metros y 1499 metros de altura se han dado 1.194 eventos y por encima de los 1500 metros solo 7. En cuanto a su distribución por estaciones, la época estival es la clara dominante. En verano se han dado 159.969 eventos, en invierno 6, en primavera 648 y en otoño 7.868 anomalías.

El último análisis que se hace de los eventos de temperatura extremos es la distribución por décadas. Para ver la evolución por décadas se eliminan los eventos anteriores a 1941 debido a la escasez de estaciones.

- Década 2011-2020: se han dado 27.079 eventos de temperatura extrema.
- Década 2001-2010 se han dado 25.864 eventos de temperatura extrema.
- Década 1991-2000: se han dado 31.689 eventos de temperatura extrema.
- Década 1981-1990: se han dado 28.444 eventos de temperatura extrema.
- Década 1971-1980: se han dado 24.504 eventos de temperatura extrema.
- Década 1961-1970: se han dado 19.386 eventos de temperatura extrema.
- Década 1951-1960: se han dado 4.843 eventos de temperatura extrema.
- Década 1941-1950: se han dado 3.429 eventos de temperatura extrema.

Número de Eventos de Temperatura Extrema por Décadas

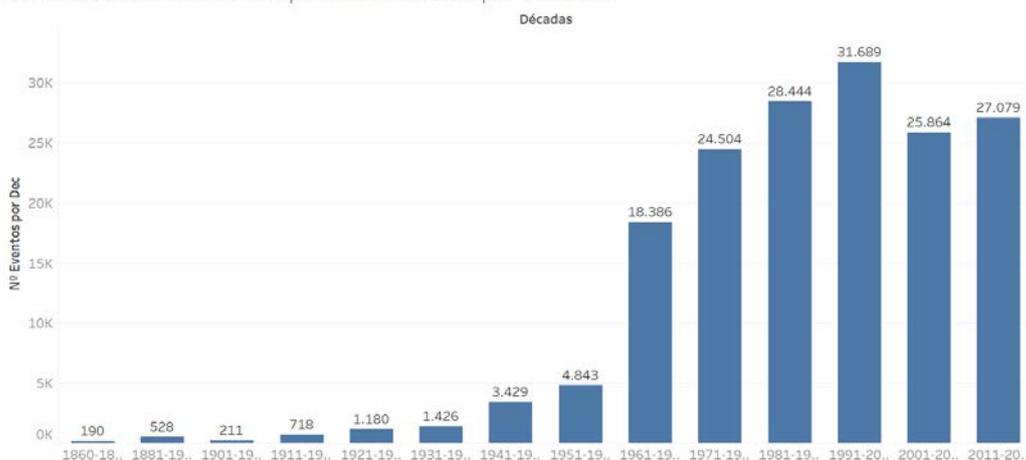


Gráfico 2: Número de Eventos de Temperatura Extrema en España desde 1860 hasta 2021 separados por Décadas.

El análisis de la variable viento es muy similar al de la variable temperatura. Destacan los siguientes resultados:

La distribución por Comunidad Autónoma es más uniforme que en el caso de la temperatura. Destaca sobre todo las Islas Canarias en la que se han dado 23.305 eventos, que equivalen a 3,128 eventos por kilómetro cuadrado. En el norte se han dado más fenómenos con un 61,03% del total.



Gráfico 3: Número de Eventos de Viento Extremo separados por Comunidades Autónomas con relación a su superficie.

Los eventos están distribuidos entre estaciones. En verano se han dado 20.941, en primavera 47.614, en otoño 36.228 y en invierno 75.758. En cuanto a la altitud, 114.435 eventos se han dado en los primeros 500 metros de altitud, 34.708 entre 500 y 999 metros, 13.559 entre 1000 y 1499 metros, 12.275 entre 1500 y 1999 metros, y 5.564 en altitudes mayores a los 2000 metros.

En cuanto a la distribución por décadas, la frecuencia de ocurrencia de los eventos de viento extremo ha ido aumentando exponencialmente. En esta última década se ha llegado a los 74.322 eventos de rachas de viento extremo.



Gráfico 4: Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Décadas.

Los últimos resultados obtenidos en el proyecto son los relacionados con la evaluación de riesgo. EN este caso se considera que los eventos de temperatura extrema tienen un Índice de Riesgo Potencial **ALTO**, lo que implica que requiere atención prioritaria e intervención a corto plazo (AYUN21). Las olas de calor reciben un Índice de Riesgo Potencial **MUY ALTO**, lo que implica que requieren atención e intervención urgente al más alto nivel (AYUN21). Los eventos de viento extremo reciben un Índice de Riesgo

Potencial **ALTO**, lo que implica que requiere atención prioritaria e intervención a corto plazo (AYUN21).

4. Conclusiones y Análisis de los Resultados.

Las conclusiones obtenidas en el proyecto se dividen en las principales categorías que hay en el mismo:

- Análisis Estadístico:

- Eventos de Temperatura Extremos:

Una de las hipótesis que se realiza es que estos son cada más frecuentes. Estudiando los eventos históricos, se puede observar como en el siglo XX el incremento en el número de eventos de temperatura extremos por década es exponencial. Sin embargo, en los últimos años esta tendencia ha cambiado. Se alcanzó el pico en la última década del siglo XX, y en el siglo XXI se ha estabilizado alrededor de los 26.000 eventos por década. Esto se atribuye a la mayor concienciación y al efecto a medio-largo plazo de las medidas tomadas en el pasado.

Se confirma la hipótesis de que se dan más eventos en el sur de España que en el norte. Además, en Extremadura es donde más eventos se dan con relación a su superficie. Esto es algo a tener en cuenta, ya que podría derivar en una desertificación y pasar de contar con un clima de estepa cálida a un desierto cálido.

Se confirma la hipótesis de que la mayoría de los eventos extremos se dan en zonas cercanas a nivel del mar. Por lo tanto, las medidas de protección se deberían tomar en estas zonas.

- Eventos de Viento Extremo:

Se confirma la hipótesis de que el número de eventos extremos ha ido aumentando con el paso de las décadas. Además, lo hace a un ritmo alarmante. En la última década se han alcanzado los 74.322 eventos lo que es muy preocupante debido al poder destructivo del viento.

Las Islas Canarias constan con una gran concentración de eventos de rachas de viento extremo. Por ello es necesario prestarle especial atención y tomar medidas de prevención y adaptación.

En las zonas costeras se han dado un mayor número de eventos de viento. Esto se debe al efecto de las isobaras de presión de los océanos. Destaca la intensidad de los eventos en la zona del litoral cantábrico y atlántico debido a esta misma razón. Por esto parece necesario que los protocolos de actuación sean más concienzudos en zonas costeras.

- Modelos Econométricos:

Con los modelos econométricos las conclusiones y resultados obtenidos son confusos. Se comenzó con la intención de que tuvieran un fin predictivo, pero en todos los modelos se obtienen R2 muy bajos. Se ha probado a cambiar los modelos o simplemente añadir una cantidad ingente de variables, pero la mejora obtenida no es suficiente. Ocurre tanto para los eventos de temperatura como para los de viento.

En cuanto a las conclusiones de los modelos explicativos, se puede afirmar que son buenos modelos ya que cumplen las condiciones para ser óptimos, insesgados y consistentes.

En los eventos de temperatura, se corroboran algunas hipótesis ya que la relación entre la variable Sur y Temperatura es positiva. También es positiva la relación de Verano con temperatura. Sin embargo es negativa para la altitud y el resto de las estaciones. Además, se comprueba el efecto cuadrático de la variable Año como parábola invertida.

En los modelos explicativos de viento destaca como la hipótesis de la altitud se ve rebatida. Los eventos más intensos, es decir, con mayor velocidad, se dan aumentando la altitud. También se corroboran que se dan más eventos en el norte.

- Evaluación de Riesgos y Medidas de Prevención y Adaptación:

Como se ha mencionado anteriormente, los eventos de temperatura reciben la categoría de **ALTO** en el Índice de Riesgo Potencial, lo que implica que requiere atención prioritaria e intervención a corto plazo (AYUN21). Esto se debe, entre otras cosas a los efectos secundarios de estos eventos y su relación de sinergia con otros eventos.

Los eventos de temperatura extrema juegan un papel muy importante en los incendios forestales. Debido a la importancia de estos hay que tomar medidas de prevención como: tener información meteorológica e informes con suficiente tiempo de antelación, tener un sistema de alarma, alertar al ciudadano o mejorar los protocolos de actuación ante incendios. En caso de que fuese necesario se debería tener preparado algún alojamiento temporal para las personas que se vean afectadas por incendios.

Los eventos de temperatura extrema afectan a los recursos hídricos. Para prevenir que haya problemas de abastecimiento se deberían tomar medidas como: concienciar a las personas sobre un uso eficiente del agua, hacer un uso inteligente con una política ahorradora de las cuencas hídricas o limitar su uso en distintas industrias.

Las olas de calor reciben la calificación **MUY ALTO**. Requieren atención e intervención urgente al más alto nivel (AYUN21). Su impacto es parecido al de eventos de temperatura extremos, pero afectan más gravemente a la salud de las personas. Las medidas en relación a incendios son las mismas que con los eventos de temperatura extrema.

Las olas de calor pueden provocar insolaciones, golpes de calor o incluso la muerte de personas. Por ello hay que tomar medidas eficaces. Algunas de ellas son: crear una línea telefónica de atención al ciudadano, contar con personal sanitario suficiente y bien formado, en caso de que fuese necesario prohibir los eventos deportivos y culturales o adaptar el transporte público para que esté a una temperatura adecuada.

Los eventos de viento se catalogan como **ALTO**, por lo que requieren atención prioritaria e intervención a corto plazo (AYUN21). Esto, entre otras cosas, se debe a su enorme poder destructivo.

Los eventos de viento tienen graves consecuencias. Pueden provocar desprendimientos en edificaciones y estructuras. Por ello, se deben tomar medidas como las siguientes: si son lo suficientemente intensos cesar la actividad portuaria y aeroportuaria; remodelar las edificaciones e infraestructuras que lo necesiten, tener un sistema de alarma o prohibir el acceso a determinadas zonas peligrosas.

5. Referencias.

(AYUN21) Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Retrieved from:

<http://www.puertodelacruz.es/sitecontent/uploads/2020/12/Evaluacioin-de-riesgos-y-vulnerabilidades.pdf>

(BERN07) Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Riahi, K. (2008). IPCC, 2007: climate change 2007: synthesis report.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

(FIEL14) 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf

(IPCC22) Español — IPCC. (2022). Retrieved 15 June 2022, from

<https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>

(MART19) Martínez de Ibarreta Zorita, C., Álvarez Fernández, C., Borrás Pala, F., Budría Rodríguez, S., Curto Gonzalez, T., & Escobar Torres, L., (2019) *Modelos cuantitativos para la Economía y la Empresa en 101 ejemplos*. EV Services.

(OLIV21) Oliveres, V., & Rejón, R. (2021). Una de cada tres provincias ha registrado su verano con las temperaturas máximas más altas entre 2015 y 2020. *Eldiario*. Retrieved from

https://www.eldiario.es/datos/provincias-calentamiento-global-verano-calido-2015-2020_1_8174524.html

(PACH07) IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

(PASC2016) Pascual Berghaenel, R. (2016). Fenómenos meteorológicos adversos. *Revista AME 2016-2020*, (2340-6631), 44-47. Retrieved from

<http://hdl.handle.net/20.500.11765/9591>

(RICO15) Rico, M. T. (2015). *Análisis de extremos de temperatura y precipitación en la Península Ibérica en escenarios de cambio climático* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=129105>

(RODR12) Rodríguez Ballesteros, C. (2012). Olas de Calor y de Frío en España desde 1975.

http://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/2533/1/olacalor75_cal2013.pdf

(SANZ20) Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. Obtenido de

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informeimpactosriesgosccespana_tcm30-518210.pdf

Abstract

STATISTICAL ANALYSIS AND RISK EVALUATION OF EXTREME TEMPERATURE AND WIND EVENTS IN SPAIN.

Author: Martínez González, Juan María.

Directors: Caro Carretero, Raquel. Rúa Vieites, Antonio.

Collaborating Entity: ICAI – Universidad Pontificia de Comillas.

ABSTRACT

I. Introduction.

It is common knowledge and globally accepted that the number of extreme weather events is increasing every day (PACH07). If so, what is the main cause and what measures can be taken to reduce their incidence and mitigate their effects? Answering these questions is the main objective of the project.

Everyone in Spain is familiar with extreme temperatures and heat waves. Back in the day, in rural areas, it was a topic of conversation among workers, as the weather had a great influence on the future of the crops, whether it would be a year with a large production, whether it would be of high quality or even whether it would allow to cover costs (RICO15). Today this topic of conversation is used simply to get out of an uncomfortable situation.

Extreme sports are on the rise. In many of them, such as windsurfing or paragliding, wind plays a leading role. Also, a hot topic at the moment is the transition from fossil fuels to renewable energies such as wind power. Wind events have now become normalized in Spain.

Despite all this, these extreme weather phenomena cannot be underestimated. They have a serious impact on people, the environment, ecosystems, and infrastructure. Extreme temperature events can aggravate chronic illnesses or even lead to death (SANZ20). Extreme wind events have spectacular destructive power (AYUN21). What is becoming a common topic should be treated seriously beyond the authorities. Risks must be assessed and action taken.

This is the motivation for the project. The aim of this work is to carry out an analysis of these extreme events in order to make the population aware of their consequences, to be able to assess the risks involved and to prepare a plan of measures that could be taken.

Climate change is an issue that is the order of the day. Since the end of the last century, numerous reports and studies have been carried out on the subject. The IPCC, after its creation in 1988 (IPCC22), has been the global leader in this area. It has so far produced

5 major reports on climate change (IPCC22). One of them was important enough to be a protagonist in the Kyoto Protocol (IPCC22). The basis of these reports is the analysis of climate change, its trend, causes, and different measures that can be taken (IPCC22). All of this is done on a global scale, broken down into continents (IPCC22). They also deal with extreme weather events as a consequence of climate change (IPCC22).

Work related to this subject has also been carried out in Spain. The State Meteorological Agency (AEMET) is the main agency in charge of providing data, journals, and reports. Over the years, reports have been made to analyze heat waves (RODR12), extreme temperature (RICO15) and extreme weather events in general (PASC2016).

Regarding risk assessment the main reports in Spain have been developed by public authorities at national level (SANZ20), at regional level (AYUN21), or by insurers such as AGROSUR.

II. Project Definition and Methodology.

Extreme weather events, such as extreme temperatures, extreme wind gusts or heat waves, are becoming more frequent and intense (RICO15). This would not be of interest if they did not have consequences that affect not only human beings but also the environment and infrastructure on a daily basis.

Extreme wind and temperature events are those in which their respective meteorological variable reaches measurements considered anomalous (RICO15). To do so, they have to exceed a certain threshold value (RICO15). In the project, the threshold temperature will be 40 degrees Celsius and wind gusts of 70 kilometers per hour. On the other hand, heat waves do not have a clear definition (RODR12). For the project, they are defined as the occurrence of three consecutive days with extreme temperature events.

It is globally accepted that the increase in extreme events is directly related to human beings, since they are the main contributors to climate change (PACH07).

This, together with the impact they have, merits a risk assessment and a study of the possible mitigation, adaptation and prevention measures that can be taken in response.

In this work we perform a statistical analysis of the extreme temperature and wind events measured in Spain to understand their characteristics and observe if they follow any temporal or geographic trend. This is intended to facilitate subsequent studies and to test hypotheses about the behavior of the variables. It is given a graphical approach.

For this purpose, we work with a database provided by the AEMET. This contains the temperature events that have exceeded 40 °C separated by Autonomous Community. They contain the data of the station where the measurement was taken, the temperature reached, the altitude, latitude, and longitude. Also, the province and community in which the station is located, the day, month and year. Of course, also the temperature reached.

The wind events database is similar to the temperature database. It includes information about the measuring station, date, province, community, and geographic location. It also includes the direction of the maximum gust, the speed it reached and the time it occurred.

Different software, such as Matlab, Excel and Tableau, are used to analyze these data.

Explanatory and predictive models are also estimated to find the relationship between possible explanatory variables and the events of interest.

For the temperature models, the maximum temperature in degrees Celsius is chosen as the endogenous variable. The explanatory models seek to test different hypotheses such as the distribution of events or the influence of altitude. Also, interactions such as the time of the year with the province in which the measurement is taken (OLIV21).

For the wind models, the maximum speed reached in kilometers per hour is chosen as the endogenous variable. The explanatory models are used to test different hypotheses such as the distribution of events or the influence of altitude. Also, the difference between provinces (MOLI15).

The GRETl software was used to estimate the models. For each variable, we started with simple models to gradually make the necessary decisions from an econometric point of view. This could be taking logarithms, adding quadratic terms or variables (MART19). The necessary validations are also carried out (MART19).

Finally, the risks inherent in and derived from these extreme meteorological phenomena are evaluated and measures for adaptation and prevention are offered. To this end, vulnerability and risk are defined. The former is the predisposition of the country to be affected by the phenomena, and the latter is the relationship between the probability of occurrence and the consequences of the events (FIEL14).

It is in the risk assessment that for the first time we are working with heat waves. These have great risks such as their participation in fires (BERN07). The risks established by the IPCC are also evaluated (FIEL14).

For its analysis, the Potential Risk Index is studied, which is calculated using the Intrinsic Power of Risk and vulnerability (AYUN21).

| | | Vulnerability Index | | | | | |
|-----|---|---------------------|----|----|----|---|---|
| | | 10 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| IPR | 5 | 50 | 25 | 20 | 10 | 5 | 0 |
| | 4 | 40 | 20 | 16 | 8 | 4 | 0 |
| | 3 | 30 | 15 | 12 | 6 | 3 | 0 |
| | 2 | 20 | 10 | 8 | 4 | 2 | 0 |
| | 1 | 10 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | |
|------------------|----------------------------|
| VERY HIGH | IR >= 20 |
| HIGH | 10 <= IR < 20 |
| MEDIUM | 5 <= IR < 10 |
| LOW | IR < 5 |

Table 1: Assessment of the potential risk index. Adapted from: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Tabla 10.

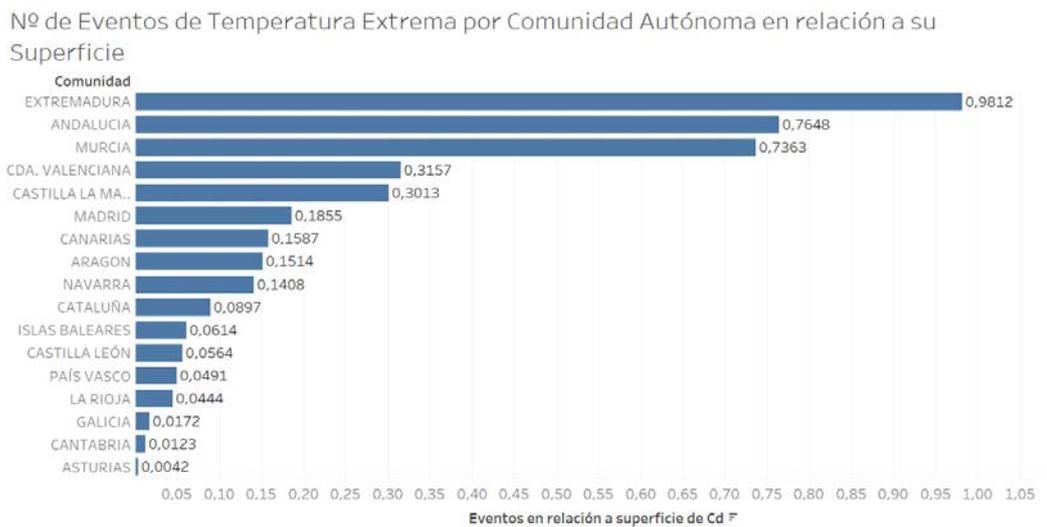
Depending on the value obtained in the Potential Risk Index, they will be classified as follows:

- Very High: risk that demands urgent attention and intervention at the highest level (AYUN21).
- High: risk that requires priority attention and short-term intervention (AYUN21).
- Medium: risk requiring routine attention and medium-term intervention monitoring possible changes (AYUN21).
- Low: no appreciable risk and requires no response (AYUN21).

Finally, the measures considered useful for adapting to, mitigating and preventing the extreme weather events studied are offered.

III. Results.

In the statistical analysis of extreme temperature events, the characteristics that influence their frequency and intensity are studied. To begin with, we analyze how they are distributed by Autonomous Community. Andalusia is the region with the highest number of events, but Extremadura has the highest number of extreme temperature events per square kilometer. In turn, most extreme temperature events occurred in southern Spain. Specifically, 88.44%.



Graphic 1: Number of Extreme Temperature Events in Spain by Autonomous Community in relationship with its surface.

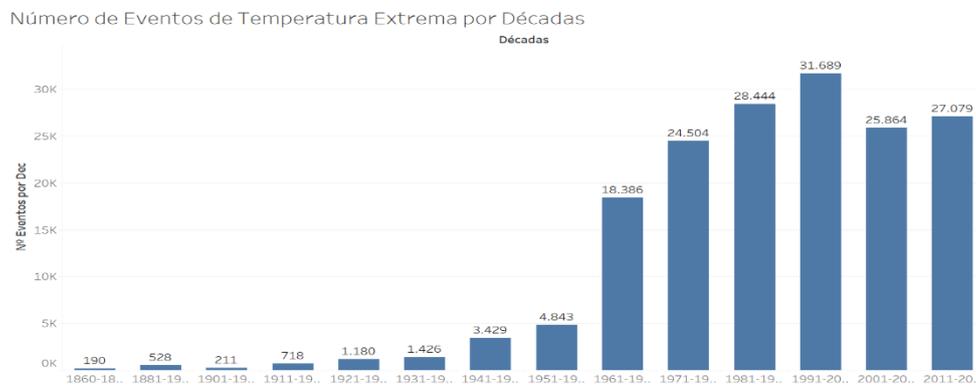
By altitude, most events occurred in the first 500 meters. Between 0 meters and 499 meters altitude there have been 114,160 events, between 500 meters and 999 meters altitude there have been 53,130 events, between 1000 meters and 1499 meters altitude there have been 1,194 events, and above 1500 meters only 7 events. In summer there have been 159,969 events, in winter 6, in spring 648 and in autumn 7,868 anomalies.

By altitude, most events occurred in the first 500 meters. Between 0 meters and 499 meters altitude there have been 114,160 events, between 500 meters and 999 meters altitude there have been 53,130 events, between 1000 meters and 1499 meters altitude

there have been 1,194 events, and above 1500 meters only 7 events. In summer there have been 159,969 events, in winter 6, in spring 648 and in autumn 7,868 anomalies.

The last analysis of the extreme temperature events is the distribution by decades. To see the evolution by decades, events prior to 1941 are eliminated due to the scarcity of stations.

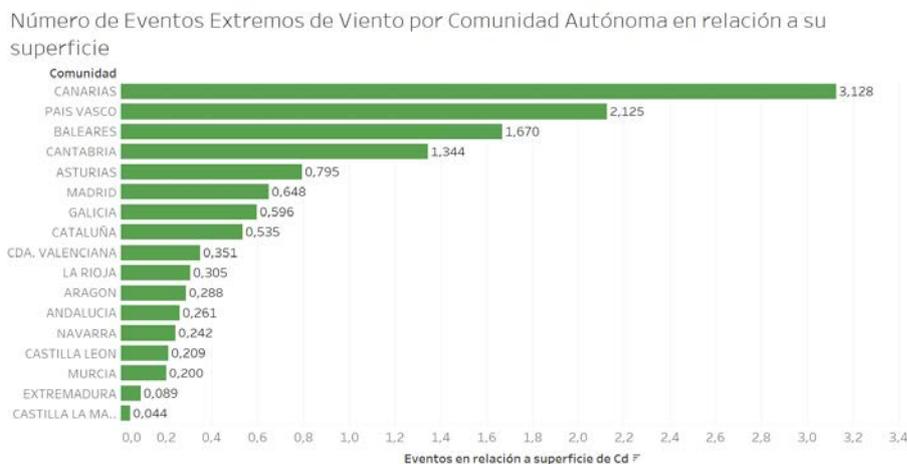
- Decade 2011-2020: there have been 27,079 events.
- Decade 2001-2010: 25,864 events have occurred.
- Decade 1991-2000: there have been 31,689 events.
- Decade 1981-1990: there have been 28,444 events.
- Decade 1971-1980: there have been 24,504 extreme temperature events.
- Decade 1961-1970: there have been 19,386 extreme temperature events.
- Decade 1951-1960: there have been 4,843 extreme temperature events.
- Decade 1941-1950: there have been 3,429 extreme temperature events.



Graphic 2: Number of Events of Extreme Temperature by decade

The analysis of the wind variable is very similar to that of the temperature variable. The following results stand out:

The distribution by Autonomous Community is more uniform than in the case of



Graphic 3: Number of Extreme Wind Events by Autonomous Community in relationship with its surface.

temperature. The Canary Islands stand out above all, with 23,305 events, equivalent to 3.128 events per square kilometer. In the north there have been more events with 61.03% of the total.

The events are distributed among seasons. In summer there have been 20,941, in spring 47,614, in autumn 36,228 and in winter 75,758. In terms of altitude, 114,435 events occurred in the first 500 meters of altitude, 34,708 between 500 and 999 meters, 13,559 between 1000 and 1499 meters, 12,275 between 1500 and 1999 meters, and 5,564 at altitudes higher than 2000 meters.

Regarding the distribution by decades, the frequency of occurrence of extreme wind events has been increasing exponentially. In the last decade, 74,322 extreme wind gust events have occurred.



Graphic 4: Number of Extreme Wind Events by Decade

The last results obtained in the project are those related to risk assessment. In this case, extreme temperature events are considered to have a **HIGH** Potential Risk Index, which implies that they require priority attention and intervention in the short term (AYUN21). Heat waves receive a **VERY HIGH** Potential Risk Index, which implies that they require urgent attention and intervention at the highest level (AYUN21). Extreme wind events receive a **HIGH** Potential Risk Index, implying that they require priority attention and short-term intervention (AYUN21).

IV. Conclusion and Results Analysis.

The conclusions obtained in the project are divided into the main categories in the project:

- Statistical Analysis:
 - Extreme Temperature Events:

One of the hypotheses is that these events are becoming more frequent. By studying historical events, it can be observed that in the 20th century the increase in the number of extreme temperature events per decade is exponential. However, in recent years this trend has changed. The peak was reached in the last decade of the 20th century, and in the 21st

century it has stabilized at around 26,000 events per decade. This is attributed to increased awareness and the medium to long-term effect of measures taken in the past.

The hypothesis that more events occur in the south of Spain than in the north is confirmed. In addition, Extremadura is where more events occur in relation to its surface area. This is something to take into account, since it could lead to desertification and change from a warm steppe climate to a warm desert.

The hypothesis that most extreme events occur in areas close to sea level is confirmed. Therefore, protection measures should be taken in these areas.

- Extreme Wind Events:

The hypothesis that the number of extreme events has been increasing over the decades is confirmed. Moreover, it does so at an alarming rate. In the last decade, 74,322 events have been recorded, which is very worrying due to the destructive power of wind.

The Canary Islands have a high concentration of extreme wind gust events. It is therefore necessary to pay special attention and take preventive and adaptive measures.

In coastal areas there have been a greater number of wind events. This is due to the effect of ocean pressure isobars. The intensity of the events in the Cantabrian and Atlantic coastal area stands out due to this same reason. For this reason, it seems necessary that the protocols of action are more conscientious in coastal areas.

- Econometric Modeling:

With the econometric models, the conclusions and results obtained are confusing. They were started with the intention of having a predictive purpose, but in all the models very low R² are obtained. It has been tried to change the models or simply add a huge number of variables, but the best obtained is not enough. This is the case for both temperature and wind events.

As for the conclusions of the explanatory models, it can be stated that they are good models since they meet the conditions to be optimal, unbiased, and consistent.

In the temperature events, some hypotheses are corroborated since the relationship between the variable South and Temperature is positive. The relationship between summer and temperature is also positive. However, it is negative for altitude and the rest of the seasons. In addition, the quadratic effect of the variable Year as an inverted parabola is verified.

In the wind explanatory models, the altitude hypothesis is refuted. The most intense events, i.e., with higher speed, occur at higher altitudes. It is also corroborated that more events occur in the north.

- Risk Assessment and Prevention and Adaptation Measures:

As mentioned above, temperature events receive the category of **HIGH** in the Potential Risk Index, which implies that they require priority attention and intervention in the short term (AYUN21). This is due, among other things, to the secondary effects of these events and their synergistic relationship with other events.

Extreme temperature events play a very important role in forest fires. Due to the importance of these events, it is necessary to take preventive measures such as: having meteorological information and reports with sufficient time in advance, having an alarm system, alerting the public or improving the protocols of action in case of fires. If necessary, temporary accommodation should be prepared for people affected by fires.

Extreme temperature events affect water resources. In order to prevent supply problems, measures should be taken such as: raising awareness among people about efficient water use, making intelligent use of water with a water-saving policy in water basins or limiting its use in different industries.

Heat waves are rated **VERY HIGH**. They require urgent attention and intervention at the highest level (AYUN21). Their impact is similar to that of extreme temperature events, but they affect people's health more seriously. Measures in relation to fires are the same as with extreme temperature events.

Heat waves can cause sunstroke, heat stroke or even death. Therefore, effective measures must be taken. Some of them are: creating a hotline for citizens, having sufficient and well-trained health personnel, if necessary, banning sporting and cultural events or adapting public transport so that it is at an appropriate temperature.

Wind events are categorized as **HIGH**, requiring priority attention and short-term intervention (AYUN21). This, among other things, is due to their enormous destructive power.

Wind events have serious consequences. They can cause landslides in buildings and structures. For this reason, measures such as the following should be taken: if they are sufficiently intense, port and airport activity should cease; remodel buildings and infrastructures that need it, have an alarm system, or prohibit access to certain dangerous areas.

V. References.

(AYUN21) Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz.

Retrieved from:

<http://www.puertodelacruz.es/sitecontent/uploads/2020/12/Evaluacioin-de-riesgos-y-vulnerabilidades.pdf>

(BERN07) Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Riahi, K. (2008). IPCC, 2007: climate change 2007: synthesis report.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

(FIEL14) 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf

(IPCC22) Español — IPCC. (2022). Retrieved 15 June 2022, from

<https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>

(MART19) Martínez de Ibarreta Zorita, C., Álvarez Fernández, C., Borrás Pala, F., Budría Rodríguez, S., Curto Gonzalez, T., & Escobar Torres, L., (2019) *Modelos cuantitativos para la Economía y la Empresa en 101 ejemplos*. EV Services.

(OLIV21) Oliveres, V., & Rejón, R. (2021). Una de cada tres provincias ha registrado su verano con las temperaturas máximas más altas entre 2015 y 2020. *Eldiario*.

Retrieved from

https://www.eldiario.es/datos/provincias-calentamiento-global-verano-calido-2015-2020_1_8174524.html

(PACH07) IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

(PASC2016) Pascual Berghaenel, R. (2016). Fenómenos meteorológicos adversos. *Revista AME 2016-2020*, (2340-6631), 44-47. Retrieved from

<http://hdl.handle.net/20.500.11765/9591>

(RICO15) Rico, M. T. (2015). *Análisis de extremos de temperatura y precipitación en la Península Ibérica en escenarios de cambio climático* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=129105>

(RODR12) Rodríguez Ballesteros, C. (2012). Olas de Calor y de Frío en España desde 1975.

http://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/2533/1/olacalor75_cal2013.pdf

(SANZ20) Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. Obtenido de

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informeimpactosriesgosccespana_tcm30-518210.pdf

Índice.

| | |
|---|-----|
| Resumen..... | 5 |
| Abstract..... | 15 |
| Índice de Tablas..... | 28 |
| Índice de Figuras..... | 31 |
| Índice de Gráficos..... | 33 |
| 1. Introducción..... | 35 |
| 2. Descripción de la Tecnología y Recursos..... | 37 |
| 3. Estado de la Cuestión..... | 38 |
| 4. Alineación con los ODS..... | 39 |
| 5. Objetivos..... | 41 |
| I. Objetivo 1: Realizar un análisis estadístico de los eventos de temperatura extrema. . | 41 |
| II. Objetivo 2: Realizar un análisis estadístico de los eventos de vientos extremos..... | 41 |
| III. Objetivo 3: Evaluar los riesgos de los eventos extremos para tomar medidas de prevención..... | 42 |
| IV. Objetivo 4: Concienciar sobre los eventos meteorológicos extremos y el cambio climático..... | 42 |
| 6. Análisis Estadístico de las Variables..... | 43 |
| I. Análisis Estadístico de la Variable Temperatura..... | 43 |
| II. Análisis Estadístico de la Variable Viento..... | 55 |
| 7. Modelos Econométricos..... | 69 |
| I. Modelos de la variable Temperatura..... | 73 |
| i. Modelo 1..... | 73 |
| ii. Modelo 2..... | 74 |
| iii. Modelo 3..... | 77 |
| iv. Modelo 4..... | 81 |
| v. Modelo 5..... | 84 |
| vi. Modelos Noreste..... | 89 |
| vii. Modelos Noroeste..... | 95 |
| viii. Modelo Sureste..... | 100 |
| ix. Modelo Suroeste..... | 108 |
| II. Modelos de la variable Viento..... | 113 |
| i. Modelo 1..... | 113 |
| ii. Modelo 2..... | 116 |
| iii. Modelo 3..... | 120 |
| iv. Modelo 4..... | 124 |
| v. Modelo Noreste..... | 130 |

| | |
|---|-----|
| vi. Modelo Noroeste..... | 133 |
| vii. Modelo Sureste..... | 137 |
| viii. Modelo Suroeste..... | 141 |
| III. Análisis Clúster..... | 144 |
| i. Variable Temperatura..... | 144 |
| ii. Variable Viento..... | 146 |
| 8. Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo, Mitigación y Prevención..... | 148 |
| I. Eventos de Temperaturas Extremas..... | 155 |
| II. Olas de Calor..... | 158 |
| III. Eventos de Viento Extremo..... | 161 |
| 9. Conclusiones..... | 164 |
| 10. Referencias..... | 170 |

Índice de Tablas.

| | | |
|------------------|---|----|
| <i>Tabla 1.</i> | Alineación del Proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible. | 39 |
| <i>Tabla 2.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del N° de Eventos de Temperatura Extrema en España. separados por Comunidades Autónomas. | 46 |
| <i>Tabla 3.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del N° de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Comunidades Autónomas en relación con su superficie..... | 48 |
| <i>Tabla 4.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del N° de Eventos de Temperatura Extrema en España de 1860 a 2021 separados por décadas. | 50 |
| <i>Tabla 5.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes de la Temperatura Máxima de los Eventos de Temperatura Extrema en España..... | 53 |
| <i>Tabla 6.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Temperatura Extrema en España entre distintas Alturas. | 54 |
| <i>Tabla 7.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Comunidades Autónomas..... | 57 |
| <i>Tabla 8.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Comunidades Autónomas con relación a su superficie.. | 59 |
| <i>Tabla 9.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Décadas. | 60 |
| <i>Tabla 10.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 entre distintas Alturas. | 63 |
| <i>Tabla 11.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes de las Rachas de Velocidad Máxima de los Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021..... | 66 |
| <i>Tabla 12.</i> | Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes de los Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 según su dirección (°). | 68 |
| <i>Tabla 13.</i> | Hipótesis que deben verificarse para que los estimadores cumplan las propiedades. (Martínez de Ibarreta Zorita, Borrás Pala, Budría Rodríguez, Curto Gonzalez, & Escobar Torres, 2019)..... | 70 |
| <i>Tabla 14.</i> | Características de los modelos con fines explicativos y predictivos. (Martínez de Ibarreta Zorita, Borrás Pala, Budría Rodríguez, Curto Gonzalez, & Escobar Torres, 2019)..... | 72 |
| <i>Tabla 15.</i> | Principales datos del modelo 1 de Evento de Temperatura Extrema. | 73 |
| <i>Tabla 16.</i> | Principales datos del modelo 1 de Evento de Temperatura Extrema. | 74 |
| <i>Tabla 17.</i> | Principales datos del modelo 2 de Evento de Temperatura extrema..... | 75 |
| <i>Tabla 18.</i> | Principales datos del modelo 2 de Evento de Temperatura extrema..... | 76 |
| <i>Tabla 19.</i> | Matriz de covarianzas de los coeficientes del modelo 2 de Eventos de Temperatura Extremas..... | 76 |
| <i>Tabla 20.</i> | VIFS del modelo 2 de Evento de Temperatura Extrema..... | 77 |
| <i>Tabla 21.</i> | Principales datos del modelo 3 de Evento de Temperatura extrema..... | 78 |
| <i>Tabla 22.</i> | Principales datos del modelo 3 de Evento de Temperatura extrema..... | 79 |
| <i>Tabla 23.</i> | Matriz de covarianzas de los coeficientes del modelo 3 de Eventos de Temperatura Extremas..... | 80 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| <i>Tabla 24.</i> | VIFS del modelo 3 de Evento de Temperatura Extrema..... | 80 |
| <i>Tabla 25.</i> | Principales datos del modelo 4 de Evento de Temperatura extrema..... | 82 |
| <i>Tabla 26.</i> | Principales datos del modelo 4 de Evento de Temperatura extrema..... | 83 |
| <i>Tabla 27.</i> | Matriz de covarianzas de los coeficientes del modelo 4 de Eventos de Temperatura Extremas..... | 83 |
| <i>Tabla 28.</i> | VIFS del modelo 4 de Evento de Temperatura Extrema..... | 84 |
| <i>Tabla 29.</i> | Principales datos del modelo 5 de Evento de Temperatura Extrema..... | 86 |
| <i>Tabla 30.</i> | Principales datos del modelo 5 de Evento de Temperatura Extrema..... | 87 |
| <i>Tabla 31.</i> | VIFS del modelo 5 de Evento de Temperatura Extrema..... | 88 |
| <i>Tabla 32.</i> | Principales datos del modelo Noreste de Evento de Temperatura Extrema..... | 90 |
| <i>Tabla 33.</i> | VIFS del modelo Noreste de Evento de Temperatura Extrema..... | 91 |
| <i>Tabla 34.</i> | Principales datos del modelo Noreste de Evento de Temperatura Extrema variable Año..... | 93 |
| <i>Tabla 35.</i> | Principales datos del modelo Noroeste de Evento de Temperatura Extrema..... | 96 |
| <i>Tabla 36.</i> | VIFS del modelo Noroeste de Evento de Temperatura Extrema..... | 97 |
| <i>Tabla 37.</i> | Principales datos del modelo Noroeste de Evento de Temperatura Extrema variable Año..... | 99 |
| <i>Tabla 38.</i> | Principales datos del modelo Sureste de Evento de Temperatura Extrema..... | 102 |
| <i>Tabla 39.</i> | VIFS del modelo Sureste de Evento de Temperatura Extrema..... | 103 |
| <i>Tabla 40.</i> | Principales datos del modelo Sureste de Evento de Temperatura Extrema variable Año..... | 104 |
| <i>Tabla 41.</i> | Principales datos del modelo Sureste de Evento de Temperatura Extrema variable Año..... | 106 |
| <i>Tabla 42.</i> | Principales datos del modelo Suroeste de Evento de Temperatura Extrema..... | 110 |
| <i>Tabla 43.</i> | VIFS del modelo Suroeste de Evento de Temperatura Extrema..... | 111 |
| <i>Tabla 44.</i> | Principales datos del modelo Suroeste de Evento de Temperatura Extrema variable Año..... | 112 |
| <i>Tabla 45.</i> | Principales datos del modelo 1 de Evento de Viento Extremo..... | 114 |
| <i>Tabla 46.</i> | Principales datos del modelo 1 de Evento de Viento Extremo..... | 115 |
| <i>Tabla 47.</i> | VIFS del modelo 1 de Evento de Viento..... | 116 |
| <i>Tabla 48.</i> | Principales datos del modelo 2 de Evento de Viento Extremo..... | 118 |
| <i>Tabla 49.</i> | Principales datos del modelo 2 de Evento de Viento Extremo..... | 118 |
| <i>Tabla 50.</i> | VIFS del modelo 2 de Evento de Viento..... | 120 |
| <i>Tabla 51.</i> | Principales datos del modelo 3 de Evento de Viento Extremo..... | 122 |
| <i>Tabla 52.</i> | Principales datos del modelo 3 de Evento de Viento Extremo..... | 122 |
| <i>Tabla 53.</i> | VIFS del modelo 3 de Evento de Viento..... | 124 |
| <i>Tabla 54.</i> | Principales datos del modelo 4 de Evento de Viento Extremo..... | 127 |
| <i>Tabla 55.</i> | Principales datos del modelo 4 de Evento de Viento Extremo..... | 128 |
| <i>Tabla 56.</i> | VIFS del modelo 4 de Evento de Viento..... | 129 |

| | | |
|------------------|--|-----|
| <i>Tabla 57.</i> | Principales datos del modelo Noreste de Evento de Viento Extremo..... | 132 |
| <i>Tabla 58.</i> | VIFS del modelo Noreste de Evento de Viento. | 133 |
| <i>Tabla 59.</i> | Principales datos del modelo Noroeste de Evento de Viento Extremo..... | 135 |
| <i>Tabla 60.</i> | VIFS del modelo Noroeste de Evento de Viento. | 137 |
| <i>Tabla 61.</i> | Principales datos del modelo Sureste de Evento de Viento Extremo..... | 139 |
| <i>Tabla 62.</i> | VIFS del modelo Sureste de Evento de Viento. | 141 |
| <i>Tabla 63.</i> | Principales datos del modelo Suroeste de Evento de Viento Extremo..... | 142 |
| <i>Tabla 64.</i> | VIFS del modelo Suroeste de Evento de Viento. | 144 |
| <i>Tabla 65.</i> | Resultados del Análisis Clúster de los Eventos de Temperatura Extrema. | 145 |
| <i>Tabla 66.</i> | Resultados del Análisis Clúster de los Eventos de Viento Extremo. | 146 |
| <i>Tabla 67.</i> | Valoración de la magnitud del impacto de los eventos. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). <i>Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz</i> . Puerto de la Cruz. Tabla 4. | 149 |
| <i>Tabla 68.</i> | Valoración de la probabilidad de ocurrencia de los eventos. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). <i>Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz</i> . Puerto de la Cruz. Tabla 5..... | 149 |
| <i>Tabla 69.</i> | Valoración del índice de riesgo. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). <i>Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz</i> . Puerto de la Cruz. Tabla 6. | 150 |
| <i>Tabla 70.</i> | Evaluación del Riesgo de distintos Eventos en España..... | 152 |
| <i>Tabla 71.</i> | Valoración del índice de vulnerabilidad. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). <i>Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz</i> . Puerto de la Cruz. Tabla 8. | 153 |
| <i>Tabla 72.</i> | Valoración del Índice de Probabilidad (IP). Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). <i>Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz</i> . Puerto de la Cruz. Tabla 8. | 153 |
| <i>Tabla 73.</i> | Valoración del índice de riesgo potencial. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). <i>Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz</i> . Puerto de la Cruz. Tabla 10. | 154 |
| <i>Tabla 74.</i> | Clasificación de las distintas rachas de viento según su velocidad. Adaptado de: Wind speed units & wind directions converter - Windfinder. (2022)..... | 162 |

Índice de Figuras.

| | |
|--|-----|
| Figura 1. Rico de Lamo, T. (2016). Figura 1.1. Desplazamiento de la curva pdf hacia mayores temperaturas con aumento de valores medios y también de la frecuencia de extremos [Image]. | 36 |
| Figura 2. Geolocalización de los Eventos de Temperatura Extrema en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias..... | 44 |
| Figura 3. (AEME11). Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) & Instituto de Meteorología (Portugal). (2011). Atlas climático ibérico - Iberian climate atlas. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España. Fig. 1. Clasificación climática de Köppen-Geiger en la Península Ibérica e Islas Baleares [Image]. | 45 |
| Figura 4. Geolocalización de los Eventos de Viento Extremo en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias. | 55 |
| Figura 5. Resultados de la simulación del Modelo 1 de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 74 |
| Figura 6. Resultados de la simulación del Modelo 2 de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 76 |
| Figura 7. Resultados de la simulación del Modelo 3 de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 79 |
| Figura 8. Resultados de la simulación del Modelo 4 de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 83 |
| Figura 9. Resultados de la simulación del Modelo 4 de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 87 |
| Figura 10. Resultados de la simulación del Modelo Noreste de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 91 |
| Figura 11. Resultados de la simulación del Modelo Noreste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año..... | 93 |
| Figura 12. Resultados de la simulación del Modelo Noreste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año..... | 94 |
| Figura 13. Resultados de la simulación del Modelo Noroeste de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 97 |
| Figura 14. Resultados de la simulación del Modelo Noroeste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año..... | 99 |
| Figura 15. Resultados de la simulación del Modelo Sureste de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 102 |
| Figura 16. Resultados de la simulación del Modelo Sureste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año..... | 105 |
| Figura 17. Resultados de la simulación del Modelo Sureste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año..... | 106 |
| Figura 18. Resultados de la simulación del Modelo Sureste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año..... | 107 |
| Figura 19. Resultados de la simulación del Modelo Suroeste de los Eventos de Temperaturas Extremas..... | 110 |

| | |
|--|-----|
| Figura 20. Resultados de la simulación del Modelo Suroeste de los Eventos de Temperaturas Extremas, Variable Año. | 112 |
| Figura 21. Resultados de la estimación del Modelo 1 de los Eventos de Viento Extremo..... | 115 |
| Figura 22. Resultados de la estimación del Modelo 2 de los Eventos de Viento Extremo..... | 119 |
| Figura 23. Resultados de la estimación del Modelo 3 de los Eventos de Viento Extremo..... | 123 |
| Figura 24. Resultados de la estimación del Modelo 4 de los Eventos de Viento Extremo..... | 128 |
| Figura 25. Resultados de la estimación del Modelo Noreste de los Eventos de Viento Extremo..... | 132 |
| Figura 26. Resultados de la estimación del Modelo Noroeste de los Eventos de Viento Extremo..... | 136 |
| Figura 27. Resultados de la estimación del Modelo Sureste de los Eventos de Viento Extremo..... | 140 |
| Figura 28. Resultados de la estimación del Modelo Sureste de los Eventos de Viento Extremo..... | 143 |
| Figura 29. Riesgos clave para el continente europeo identificados en el quinto informe del IPCC. Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. Assessment Box SPM.2 Table 1 | 151 |
| Figura 30. Mapa de riesgo de ocurrencia de Eventos de Temperatura Extrema en España. .. | 155 |
| Figura 31. Mapa de riesgo de ocurrencia de Olas de Calor en España..... | 158 |
| Figura 32. Mapa de riesgo de ocurrencia de Eventos de Viento Extremo en España. | 161 |

Índice de Gráficos.

| | |
|---|----|
| Gráfico 1. Número de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Comunidades Autónomas. | 44 |
| Gráfico 2. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Comunidades Autónomas. | 45 |
| Gráfico 3. Número de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Comunidades Autónomas en relación con su superficie. | 47 |
| Gráfico 4. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Temperatura Extrema en España desde 1860 hasta 2021 separados por Comunidades Autónomas en relación con su superficie. | 47 |
| Gráfico 5. Número de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Décadas. | 48 |
| Gráfico 6. Diagrama de Cajas o Bigotes del N° de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por décadas. | 49 |
| Gráfico 7. Comparación Número de Eventos de Temperatura Extrema en España desde 1860 hasta 2021 entre Norte y Sur. | 51 |
| Gráfico 8. Comparación Número de Eventos de Temperatura Extrema en España entre Estaciones. | 51 |
| Gráfico 9. Número de Repeticiones de los Eventos de Temperatura Extrema en España entre 1860 y 2021. | 52 |
| Gráfico 10. Diagrama de Cajas o Bigotes de la Temperatura Máxima de los Eventos de Temperatura Extrema en España. | 53 |
| Gráfico 11. Comparación Número de Eventos de Temperatura Extrema en España desde 1860 hasta 2021 entre distintas Alturas. | 53 |
| Gráfico 12. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Temperatura Extrema en España entre distintas Alturas. | 54 |
| Gráfico 13. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 separados por Comunidades Autónomas. | 56 |
| Gráfico 14. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Comunidades Autónomas. | 57 |
| Gráfico 15. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 separados por Comunidades Autónomas con relación a su superficie. | 58 |
| Gráfico 16. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 separados por Comunidades Autónomas con relación a su superficie. | 58 |
| Gráfico 17. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Décadas. | 59 |
| Gráfico 18. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Décadas. | 60 |
| Gráfico 19. Comparación del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 a 2021 entre Norte y Sur. | 61 |
| Gráfico 20. | 61 |

| | |
|---|----|
| Gráfico 21. Comparación Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 entre distintas Alturas..... | 61 |
| Gráfico 22. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 entre distintas Alturas..... | 62 |
| Gráfico 23. Comparación del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 a 2021 entre Estaciones..... | 63 |
| Gráfico 24. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 a 2021 separados por su clasificación de velocidad..... | 64 |
| Gráfico 25. Repetición del Número Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por su Velocidad (Km/h)..... | 65 |
| Gráfico 26. Diagrama de Cajas o Bigotes de las Rachas de Velocidad Máxima de los Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021..... | 65 |
| Gráfico 27. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 a 2021 separados según su Dirección. | 66 |
| Gráfico 28. Repetición del Número Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por su Dirección (°). | 67 |
| Gráfico 29. Diagrama de Cajas o Bigotes de los Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 según su dirección (°)..... | 68 |

1. Introducción.

Desde comienzos de junio el principal tema de conversación entre los españoles ha sido el tremendo calor que ha hecho. Esta ola de calor ha estado en boca de todos. Pese a que todos los años la población se sorprende, cada verano aparecen con mayor frecuencia los términos de ola de calor o temperatura extrema en las noticias. Desde 1975 estos eventos se han hecho más intensos, destacando los de 1989, 1991, 2003, 2012, 2015, 2016, 2017 y 2018 (RODR12), los cuales, debido a su intensidad, mucha gente recordará con el paso de los años.

Muchas personas disfrutaban del viento en gran variedad de ocasiones. Esto se hace palpable y evidente en el incisivo auge que tienen deportes extremos como el windsurf o el parapente. Además, es un tema de actualidad muy candente la sustitución de las fuentes de energía clásicas por energías renovables como la eólica. Apreciando esto, los eventos de viento no son algo desconocido para el ciudadano medio español. Pese a ello, no hay que menospreciar los eventos de viento extremo. Cuando alcanzan cierta intensidad tienen un poder destructivo impresionante. Cuando las rachas superan los 118 Km/hora y son considerados temporales huracanados (WIND22) suponen un peligro grave tanto para humanos como para infraestructuras. Estos cada vez son más frecuentes y tienen una mayor intensidad.

Los eventos de viento y temperatura extremos son aquellos en los que su respectiva variable meteorológica alcanza unas medidas consideradas anómalas. Estas medidas pueden ser, por ejemplo, aquellas que se encuentran en los percentiles 5 ó 95 de la distribución estadística de la población total de los valores observados (RICO15). En este caso se han determinado extremos utilizando la base de datos con la que se trabaja. Para los eventos de temperatura se ha determinado que son extremos cuando superan los 40°C y para los eventos de viento, una velocidad de racha máxima superior a los 70 Km/hora.

También son de interés las olas de calor. Estas no tienen una definición clara, pero para el trabajo se va a considerar que se ha producido un episodio de ola de calor cuando se supere el umbral de temperatura extrema tres días seguidos o más.

El incremento en la frecuencia de ocurrencia de los eventos meteorológicos extremos es un hecho (PACH07). Además, está globalmente aceptado que el cambio climático juega un papel importante en ello (PACH07).

Debido a diversos factores, entre ellos el cambio climático, se puede observar como con el paso de las décadas y previsiblemente en el futuro, las curvas de distribución de clima promedio se desplacen (RICO15). Esto es que tanto la media como las “colas” del clima promedio cambien de valor (RICO15). Pese a que pueda parecer que siga una relación proporcional, esta en realidad es compleja, ya que el valor de cambio de las “colas” y del promedio no siempre coincide (RICO15).

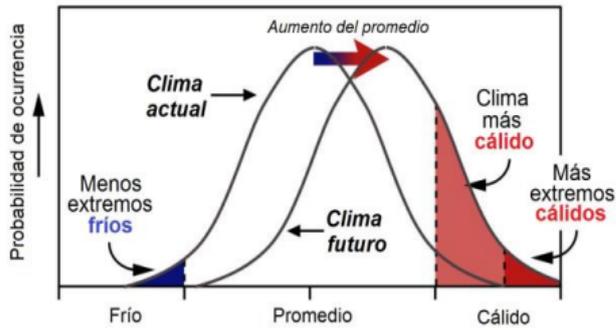


Figura 1. Rico de Lamo, T. (2016). Figura 1.1. Desplazamiento de la curva pdf hacia mayores temperaturas con aumento de valores medios y también de la frecuencia de extremos [Image].

El desplazamiento de las colas hacia la derecha provocaría un aumento en las temperaturas máximas alcanzadas por los eventos extremos. Lo mismo ocurre con los eventos extremos de viento, en los que la velocidad máxima se incrementaría; y en las olas de calor, en las que la temperatura máxima también aumentaría.

¿Cuál es el motivo de la intensificación de estos episodios? Según el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPPC), esto se debe por el cambio climático, y, por ende, por la acción de los seres humanos (FIEL12).

El análisis de estas variables no tendría propósito si no se hiciese una evaluación del riesgo y estudio de las medias de prevención y mitigación. Con él se pretende esclarecer cual es el riesgo y la vulnerabilidad de España ante ellos para hacer recomendaciones en las medidas a tomar.

Con todo ello, la principal motivación del proyecto es arrojar resultados esclarecedores acerca de los incrementos de los eventos extremos para concienciar a la población y, en la medida de lo posible, mejorar las medidas y protocolos actuales para disminuir el riesgo y su impacto en España.

2. Descripción de la Tecnología y Recursos.

El recurso principal para la realización del proyecto será la base de datos proporcionada por la AEMET. En ella se recogen los siguientes datos de temperatura y vientos extremos:

- Temperatura: los datos están organizados por Comunidad Autónoma. Dentro de cada una, se aporta la siguiente información:
 - Indicativo: indicativo climatológico. Código que identifica la subestación climática en la que se tomó la medida.
 - Nombre: nombre de la estación climatológica.
 - Provincia en la que se encuentra la estación.
 - Fecha: con día, mes y año. Estos están separados por columnas.
 - Altitud: altura a la que se encuentra la estación (metros).
 - Longitud: la última cifra indica la orientación (1 para Este y 2 para Oeste).
 - Latitud.
 - Datum: datum de referencia.
 - Tmax: temperatura máxima en grados centígrados.
- Viento: los datos están organizados por Comunidad Autónoma. Dentro de cada una, se aporta la siguiente información:
 - Indicativo: indicativo climatológico. Código que identifica la subestación climática en la que se tomó la medida.
 - Nombre: nombre de la estación climatológica.
 - Provincia en la que se encuentra la estación.
 - Fecha: con día, mes y año. Estos están separados por columnas.
 - Altitud: altura a la que se encuentra la estación (metros).
 - Longitud: la última cifra indica la orientación (1 para Este y 2 para Oeste).
 - Latitud.
 - Datum: datum de referencia.
 - Velocidad de la racha máxima de viento: en Km/h.
 - Dirección de la racha máxima de viento: se da en decenas de grado.
 - Valores especiales:
 - 99: viento variable.
 - 88: sin datos.
 - 0: viento en calma.
 - Hora de la racha máxima de viento: en horas y minutos.

Para trabajar los datos, simular modelos, crear gráficas y análisis se utilizarán distintos programas:

- Matlab: versión R2020a. Se utilizará para el estudio de las variables. Se generarán gráficas y estudiarán tendencias de los datos.
- Gretl: software para el análisis estadístico y econométrico. Con él se estimarán los diferentes modelos que se utilizan en el trabajo. Además, también sirve para extraer datos de las variables.
- IBM SPSS Statistics: versión 26.

- Tableau: versión 2022.1. Programa para analizar datos y obtener gráficos. Con él se crean los gráficos y figuras que se utilizan en el trabajo. Este programa da facilidad a la hora de editar estos recursos y tiene un acabado profesional.

3. Estado de la Cuestión.

El cambio climático es un tema candente es la actualidad. El aumento en la frecuencia de eventos meteorológicos extremos lleva siendo una cuestión de interés para diversas organizaciones mucho tiempo. Estas han desarrollado diversos proyectos, estudios y artículos (RICO15).

En las últimas décadas se han llevado a cabo diversos proyectos que abordan cuestiones similares. La creación del Grupo Intergubernamental de Expertos del Cambio Climático (IPCC) marcó el inicio de muchos trabajos en esta materia. Los principales informes del IPCC que tratan eventos extremos son los siguientes:

- Primer Informe (FAR): publicado en 1990 y complementado en 1992 (IPCC22).
- Segundo Informe (SAR): publicado en 1995. Puso las primarias piedras del Protocolo de Kioto (IPCC22).
- Tercer Informe (TAR): fue publicado en 2001 (IPCC22).
- Cuarto Informe (AR4): fue publicado en 2007 (IPCC22).
- Quinto Informe (AR5): fue publicado en 2014 (IPCC22).

Estos informes abordan el cambio climático, sus causas y posibles medias de adaptación y mitigación que se puedan tomar. La principal diferencia con este trabajo es que los informes del IPCC están enfocados a un nivel global, mientras que este trabajo se centra en España.

En los últimos años, se han llevado a cabo proyectos a distintos niveles en diversas regiones. Cabe destacar el proyecto *Prudence* (CHRI07). Este proyecto se basa en el modelo *Prudence*, el cual es un modelo que tiene como objetivo predecir señales de cambio climático en Europa. Este modelo, desarrollado por Christensen y Christensen (CHRI07), es aplicable por regiones. Estudia dos variables, temperatura y precipitación (CHRI07).

Cabe resaltar que la mayoría de los proyectos y trabajos presentados similares a este tienen un enfoque más amplio. Es decir, no hay tantos centrados en una región tan específica como España. La mayoría se dan a nivel europeo (RICO15). He aquí la novedad de este proyecto. Al estar específicamente enfocado a España, permitirá obtener resultados más precisos y concretos con los datos recogidos.

La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) también elabora y recoge muchos informes y proyectos relacionados con este. Además, la mayoría están enfocados a nivel nacional. Publicaciones acerca de la distribución climatológica, datos, análisis de eventos extremos y más son abundantes en sus repositorios.

En cuanto a la evaluación de riesgos y toma de medidas de prevención y adaptación es común encontrar informes de las Principales Instituciones Públicas. El Gobierno de España realiza planes de prevención de riesgos en base a entre otros informes del IPCC (SANZ20). También las instituciones regionales elaboran sus propios documentos (AYUN21). Por último, los informes del IPCC recogen análisis de este tipo (IPCC22). Lo hacen a un nivel global ofreciendo soluciones normalmente por continentes a diversos eventos extremos o que tienen impacto en el medioambiente, industria, sociedad e infraestructura entre otros (IPCC22).

En definitiva, se han desarrollado informes similares a este. Sin embargo, la diferencia principal es que este trabajo tiene un enfoque nacional y se centra en menos variables, pudiendo hacer así un análisis más exhaustivo y concienzudo de las mismas.

4. Alineación con los ODS.

Como su propio nombre indica, los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son 17 objetivos creados por la ONU en 2015 para alcanzar un futuro mejor y más sostenible para todos (ONU_15). En el plan establecido, se pretende alcanzar estos objetivos en 15 años, es decir, en 2030, a través de la cooperación internacional de personas corporaciones y gobiernos (ONU_15).

| | ODS | ROL | OBJETIVO |
|---------------------------------|-----|------------|---|
| Eventos Meteorológicos Extremos | 13 | Principal | Estudiar eventos meteorológicos extremos y evaluar su efecto en España. |
| Vidas Humanas | 11 | Secundario | Evaluar y prevenir el impacto de los eventos extremos en las vidas humanas. |
| Medioambiente y ecosistemas | 15 | Secundario | Evaluar y prevenir el impacto de los eventos extremos en el medioambiente. |

Tabla 1. Alineación del Proyecto con los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

El primer y principal objetivo que se alinea con este proyecto es el número 13, “Adoptar medidas urgentes para combatir el cambio climático y sus efectos” (ONU_15). Este objetivo, también llamado Acción por el Clima, se basa en la respuesta a llevar en contra del creciente aumento de las temperaturas por el cambio climático (ONU_15). “El cambio climático está afectando a todos los países de todos los continentes. Está alterando las economías nacionales y afectando a distintas vidas. Los sistemas meteorológicos están cambiando, los niveles del mar están subiendo y los fenómenos meteorológicos son cada

vez más extremos (RICO15).” Esta última frase recoge de manera concisa y breve la motivación del proyecto.

Como ya se ha especificado anteriormente, a lo largo del trabajo se realizará un análisis de los eventos de temperatura y viento extremos de las últimas décadas en España, y se estudiarán diferentes aplicaciones que este estudio podría tener en diversos sectores e industrias. Por lo tanto, la relación con este objetivo es clara. Dentro de este, se asocia con varias metas. En primer lugar, la meta 13.3 “Mejorar la educación, la sensibilización y la capacidad humana e institucional respecto de la mitigación del cambio climático, la adaptación a él, la reducción de sus efectos y la alerta temprana” (ONU_15) tiene relación con el proyecto en cuanto el análisis se realiza para prevenir el riesgo y tomar medidas acordes con un margen de tiempo prudencial. También se alinea con la meta 13.2 “Incorporar medidas relativas al cambio climático en las políticas, estrategias y planes nacionales” (ONU_15) en cuanto a que el trabajo está muy relacionado con el cambio climático y la relación causa-efecto de los eventos meteorológicos y sus detonantes. Por último, la meta 13.b “Promover mecanismos para aumentar la capacidad para la planificación y gestión eficaces en relación con el cambio climático en los países menos adelantados y los pequeños Estados insulares en desarrollo, haciendo particular hincapié en las mujeres, los jóvenes y las comunidades locales y marginadas” (ONU_15), tiene relación, aunque este centrada en países menos desarrollados que España, ya que se puede extrapolar el objetivo a este último país. Esta última está relacionada con la última parte del trabajo, la evaluación del riesgo y las medidas de adaptación y prevención.

Como se observa a lo largo del trabajo, el número de eventos de temperatura extremos por década ha aumentado en gran medida respecto al siglo pasado. En concreto, la media del número de eventos de temperatura extremos en el siglo XXI es de 26.471,5, mientras que en el siglo XX es de 11.140,1 eventos por década. Hay que matizar que el número de estaciones de medida ha ido aumentando con los años, pero no explica al 100% el gran incremento que ha habido.

Con los eventos de rachas de viento extremo ocurre algo similar. En este caso, la media de eventos de viento extremo en el siglo XXI es de 54.443,5. En cambio, el siglo pasado se dieron 11.802,11. Otra vez, el número de eventos está condicionado por el número de subestaciones. En este caso sí que parece que hay la ausencia de puntos de medida distorsiona un poco más la estadística.

Otros objetivos del ODS se alinean con este proyecto, aunque en menor medida que el anteriormente expuesto. El punto 15, “Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad” (ONU_15), también conocido como “Vida de Ecosistemas Terrestres”. Este tiene relación ya que una de las principales consecuencias de los eventos de temperatura y vientos extremos son los daños producidos a diferentes ecosistemas. En concreto, un efecto que tienen las temperaturas extremas y las olas de calor es favorecer la aparición de incendios forestales (AYUN21). Esto combinado con las rachas de viento intenso provoca que tengan un mayor peligro para todo tipo de ecosistemas, su fauna y su vegetación (AYUN21). Otro efecto derivado es el impacto en los recursos hídricos, también muy dañino para el medioambiente (SANZZ20). Cuantificando estos datos, desde el 2012, se han quemado al menos 44.000 hectáreas por incendios forestales todos los

años menos en el 2018 que se alcanzaron las 22.000 hectáreas. Por lo tanto, menos en 2018, ha ardido aproximadamente un 0,169% del territorio de los ecosistemas forestales en España cada año, lo cual es bastante alarmante.

Por último, el objetivo 11, “Lograr que las ciudades sean más inclusivas, seguras, resilientes y sostenibles” (ONU_15), tiene cierta alineación con el proyecto. En concreto, se alinea con las metas 11.5 y 11.b. A modo de resumen breve, estas señalan que hay que tratar de reducir el número de muertes por desastres naturales y que hay que hacer un uso más sensato y organizado de los recursos (ONU_15). Tanto las olas de calor como las temperaturas extremas son perjudiciales para la salud, ya que provocan golpes de calor e insolaciones entre otras cosas (SANZ20). Ambos eventos también afectan al bienestar de las personas, limitando las actividades al aire libre o el descanso (PASC2016). Además, los eventos extremos de viento pueden provocar daños en las infraestructuras y desprendimientos de cornisas u otros elementos, lo cual es un peligro para el ciudadano.

5. Objetivos.

I. Objetivo 1: Realizar un análisis estadístico de los eventos de temperatura extrema.

Se pretende realizar un estudio de la evolución de los eventos de temperaturas extremas de las últimas décadas en España. A partir del análisis, se visualizará si hay o no cambio en el número de sucesos anómalos de la variable estudiada. Posteriormente, se intentará encontrar una relación causa-efecto y posibles medidas para prevenirlos o paliar sus efectos.

Este análisis estadístico se realizará con el objetivo de arrojar información que sea útil para elaborar modelos de predicción y evaluar el riesgo ligado los eventos de temperatura extrema.

II. Objetivo 2: Realizar un análisis estadístico de los eventos de vientos extremos.

Este objetivo es similar al anterior, pero cambiará la variable a analizar. Se pretende realizar un estudio de la evolución de los eventos de vientos extremos de las últimas décadas en España. A partir del análisis, se visualizará si hay o no cambio en el número de sucesos anómalos de la variable estudiada. Posteriormente, se intentará encontrar una relación causa-efecto y posibles medidas para prevenirlos o paliar sus efectos.

Este análisis estadístico se realizará con el objetivo de arrojar información que sea útil para elaborar modelos de predicción y evaluar el riesgo ligado los eventos de viento extremo.

III. Objetivo 3: Evaluar los riesgos de los eventos extremos para tomar medidas de prevención.

Como se irá mencionando a lo largo del proyecto, los eventos de temperatura y viento extremos tienen un impacto y consecuencias en distintos ámbitos y sectores. Desde las infraestructuras a la vida de los seres humanos, pasando por ecosistemas y el sector de la agricultura y ganadería. Todos ellos y más se ven afectados por los eventos. Como juegan un papel muy importante en España, se pretende analizar cuáles son los riesgos que conllevan y como afectan al país. Estos riesgos no solo son los que producen ellos, sino también se tendrá en cuenta los efectos e impacto secundarios o que derivan de ellos.

Las características y alcance de los desastres vienen determinados no solo por estos eventos extremos, sino también por la exposición y vulnerabilidad, por lo que también serán analizados. Esta vulnerabilidad está influenciada por muchos factores, como la acción humana, factores socioeconómicos o el cambio climático. El control de riesgo por parte de distintas organizaciones y empresas se centra en reducir esta exposición y vulnerabilidad (FIEL12).

Por todo esto, uno de los principales objetivos del proyecto es evaluar los riesgos de los eventos extremos a estudiar y estudiar qué medidas se pueden tomar para paliar o prevenir sus efectos.

IV. Objetivo 4: Concienciar sobre los eventos meteorológicos extremos y el cambio climático.

Se parte de la hipótesis de que tanto la cantidad como intensidad de eventos de viento y temperatura extremos ha aumentado y continuará incrementándose con el paso del tiempo. La principal causa de esto es el cambio climático (FIEL12). Por lo tanto, como una de las bases del proyecto es prevenir las consecuencias de estos fenómenos, reducir una de sus posibles causas es muy importante. Se espera que el proyecto provea suficiente información y resultados óptimos para concienciar acerca del cambio climático y educar a la población.

6. Análisis Estadístico de las Variables.

El principal objetivo del análisis estadístico de las variables en cuestión es esclarecer la tendencia de ocurrencia que llevan distintos eventos extremos con el paso de las décadas en España. Se realizará a través del estudio de los datos obtenidos de diferentes eventos extremos puntuales.

Para realizar estos análisis nos pueden interesar distintos tipos de distribuciones. La distribución de Poisson es útil para estudiar la probabilidad de que un evento extremo ocurra dentro de un intervalo, por ejemplo, eventos extremos por estaciones (RICO15). A su vez, la Gaussiana es fiable para datos cercanos a la media, pero no tanto para los extremos que superan dos veces la desviación estándar, por lo que los eventos climáticos extremos son más frecuentes de lo que predice la gaussiana (RICO15). Para los datos de la velocidad del viento es común utilizar una distribución de Weibull (RICO15).

I. Análisis Estadístico de la Variable Temperatura.

Algunas de las hipótesis iniciales que se van a intentar comprobar son:

- Ocurren más eventos de Temperatura Extrema en la zona sur de España que en la norte.
- Con el paso de las décadas, la frecuencia de estos eventos ha aumentado.
- Estos eventos, lógicamente, son más comunes en verano que en otras estaciones.
- La altitud influye en la ocurrencia de estos Eventos de Temperatura Extrema, siendo los puntos más cercanos al nivel del mar los que tienen una mayor incidencia.
- Andalucía es la Comunidad Autónoma con un mayor número de eventos de temperatura extrema.
- En relación con su superficie, Andalucía es la Comunidad Autónoma con una mayor incidencia de estos eventos.

* Para separar entre Norte y Sur se ha elegido el Cerro de los Ángeles como punto medio de la península ibérica.

** Ceuta y Melilla han sido incluidos en los datos de Andalucía por su tamaño y proximidad.

*** Durante el análisis se encuentran muchos outliers por arriba y no por abajo, lo que provoca que la media se desplace. Esto no afecta a la mediana. Entonces, es probable que aparezcan asimetrías positivas.

Para comenzar, se estudia brevemente dónde se han medido estos eventos de temperatura extrema en España de 1860 a 2021. Como se puede observar, la densidad de ocurrencia de estos eventos extremos es mayor en el sur que en el norte de la Península Ibérica. Lo cual coincide con la primera de las hipótesis iniciales. Un factor que ha podido distorsionar estas medidas es la diferencia del momento en el que se empezaron a tomar

medidas en las distintas Comunidades Autónomas. Destaca el caso de Madrid, donde en el centro Astronómico de Madrid, se comenzaron a tomar medidas en un tiempo tan temprano como 1860.

Geolocalización de los Eventos de Temperatura Extrema, Península Ibérica y Baleares

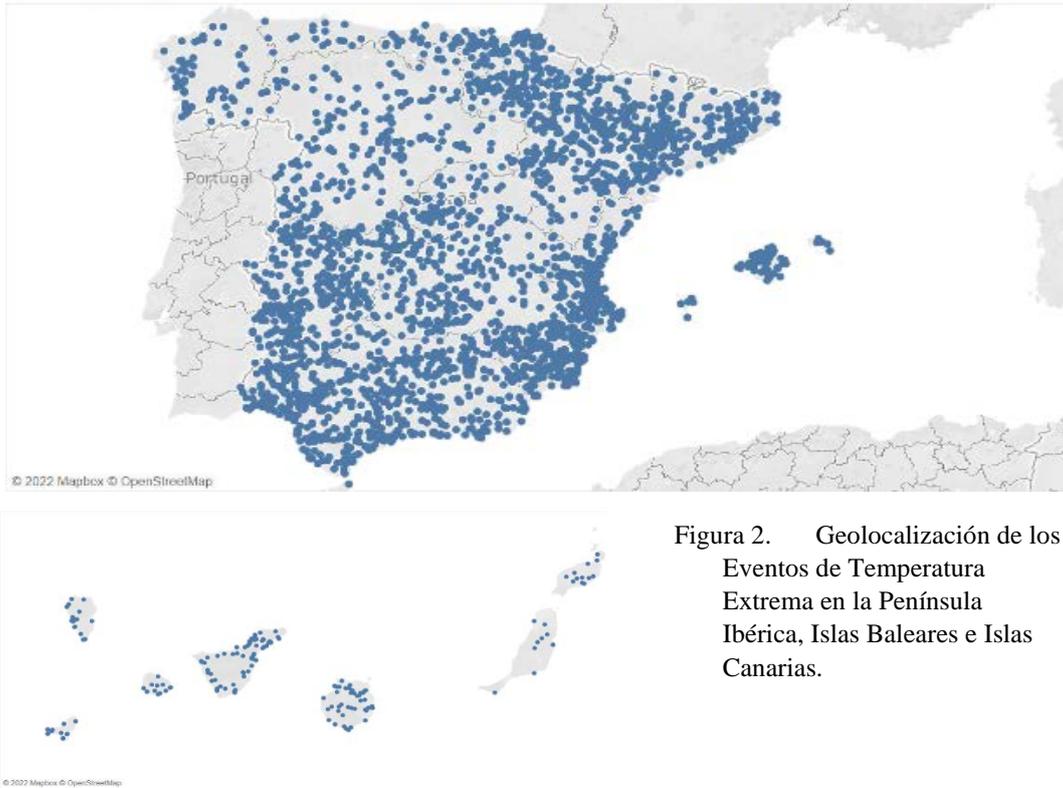


Figura 2. Geolocalización de los Eventos de Temperatura Extrema en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

Una de las variables más interesantes para analizar es el Número de Eventos de Temperatura Extrema que han ocurrido por Comunidad Autónoma.

Nº de Eventos de Temperatura Extrema por Comunidad Autónoma

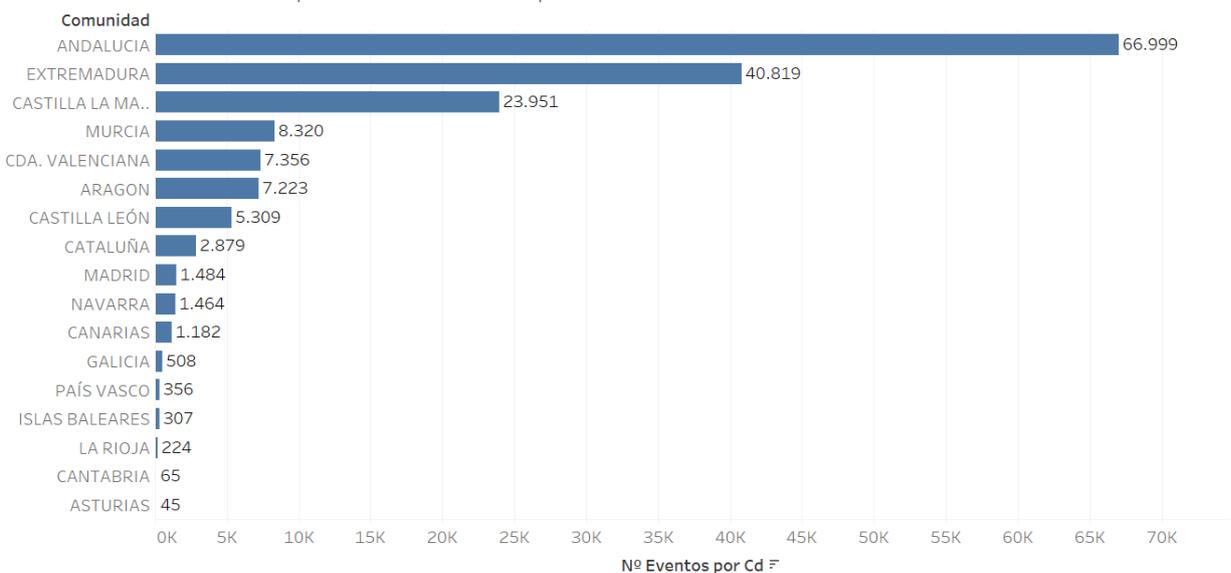


Gráfico 1. Número de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Comunidades Autónomas.

Intercuartílico por encima de Q3 o a por debajo de Q1. En este caso, son los valores superiores a 17.856 eventos e inferiores a 0 eventos, pero como es imposible no habrá outliers por abajo. Las Comunidades Autónoma con valores extremos son las siguientes:

- Andalucía: tiene el máximo número de eventos de temperatura extrema con 66.999.
- Extremadura: se han dado un total de 40.819 eventos, lo cual concuerda con un clima tan duro como lo es la estepa cálida.
- Castilla la Mancha: 23.951 fenómenos. Cifra bastante reseñable, aunque debido a su gran superficie habrá que estudiarla más a fondo en los próximos puntos.
- A primera vista, en la parte norte de España estos fenómenos ocurren con menos frecuencia, ya que Comunidades Autónomas como Asturias o Cantabria tienen menos eventos en su territorio.

Otra medida estadística que nos interesa es la simetría o asimetría de la distribución de datos. Al ser la media (9.911) superior a la mediana (1.484), es decir, por encima de ella en el diagrama de cajas, tenemos un caso de asimetría positiva o a la derecha. Debido a esto, si se utiliza esta variable en algún modelo, puede ser útil tomar logaritmos para trabajar mejor con ella. El coeficiente de variación de Pearson toma un valor de 1,832, el cual es superior a 1. Esto último es poco habitual, pero en algún caso se puede dar.

Por último, se confirma la hipótesis de que Andalucía es la Comunidad Autónoma en la que más eventos de temperatura extrema han ocurrido.

| | |
|-------------------|-------------|
| MÁXIMO | 66.999 |
| BIGOTE SUPERIOR | 8.320 |
| CUARTIL SUPERIOR | 7.356 |
| MEDIANA | 1.484 |
| CUARTIL INFERIOR | 356 |
| BIGOTE INFERIOR | 45 |
| MÍNIMO | 45 |
| MEDIA | 9.911 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 18.161 |
| VARIANZA | 329.813.147 |

Tabla 2. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del N° de Eventos de Temperatura Extrema en España, separados por Comunidades Autónomas.

Estudiar qué Comunidad está sufriendo un mayor número de eventos no siempre representa de manera fiel la realidad. Esto se debe a diversos factores, siendo uno de los principales que a mayor superficie tenga la comunidad, más sencillo es que se produzca un evento en ella. Por ende, se decide estudiar el número de eventos de temperatura extrema por Comunidad Autónoma con relación a su superficie para ver cuál ha sido la más castigada.

Destaca el cambio que aparece en las primeras posiciones de la parrilla por ver qué región es la que tiene un mayor número de eventos de temperaturas extremas. Extremadura pasa a estar en primera posición con un total de 0,9812 eventos por Km cuadrado. También destaca el aumento de la Región de Murcia y de la Comunidad de Madrid. Andalucía

sigue ocupando una posición muy alta, estando esto último en concordancia con su situación climática.

Nº de Eventos de Temperatura Extrema por Comunidad Autónoma en relación a su Superficie

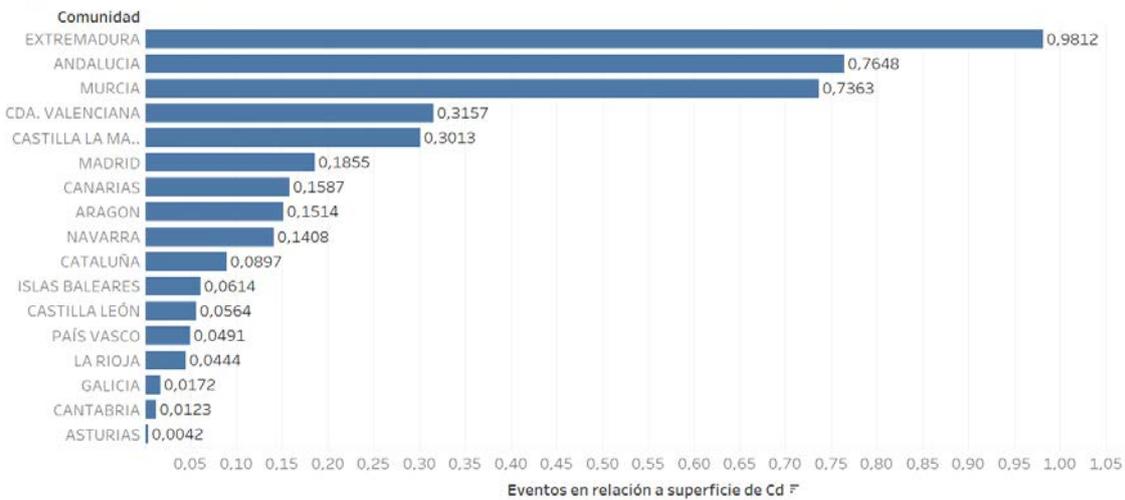


Gráfico 3. Número de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Comunidades Autónomas en relación con su superficie.

La temperatura máxima media diaria en Extremadura entre 1961 y 1990 se sitúa entre 22°C y 23 °C en las zonas más frescas de la Comunidad, y llega a alcanzar los 27 °C en la más calurosa. Además, tras distintos estudios realizados por la Junta de Extremadura, se espera que esta temperatura media aumente entre 2,63°C y 3,63 °C bajo el escenario de emisiones A2; y entre 2,24 °C y 2,54 °C según el criterio de emisiones B”. Estos aumentos en las temperaturas máximas vienen provocados por el cambio climático y la emisión de gases de efecto invernadero. Esto mismo provoca un aumento de los eventos meteorológicos extremos (JUNT11). Esto confirma la afirmación de que Extremadura ha sido y está siendo muy castigada por los eventos meteorológicos extremos.

Diagrama de Cajas de los Eventos de Temperatura Extrema por Cda. en relación a Superficie

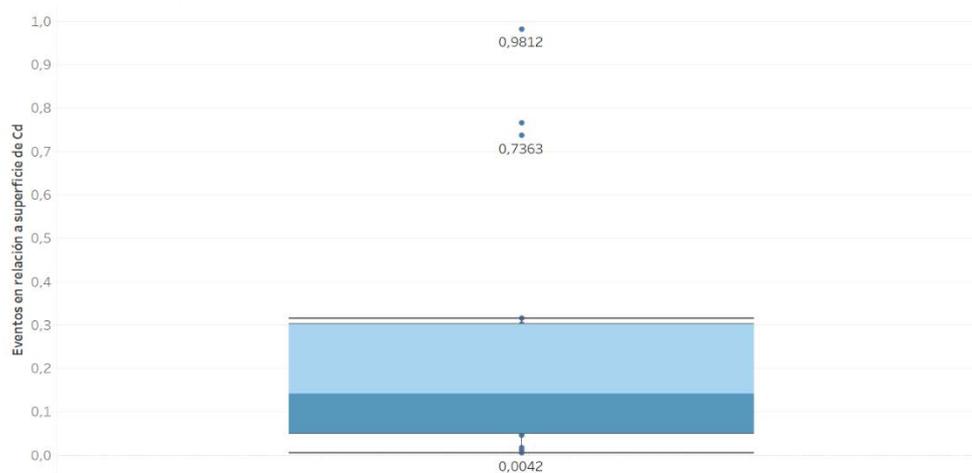


Gráfico 4. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Temperatura Extrema en España desde 1860 hasta 2021 separados por Comunidades Autónomas

Otra vez, los datos presentan asimetría positiva o hacia la derecha ya que el valor de la media (0,2394) es mayor que el de la mediana (0,1408). Con esto llegamos a la misma conclusión en cuanto a tomar logaritmos en la modelización. El coeficiente de variación de Pearson es 1,245. El cuartil superior es 0,3013, y el cuartil inferior 0,0491. Por lo tanto, el recorrido intercuartílico es de 0,2522. Los valores extremos outliers se situarán por encima de 0,6796 eventos extremos por Km. cuadrado. Estos valores extremos son:

- Extremadura: 0,9812 eventos de temperatura extrema por Km. cuadrado.
- Andalucía: 0,7648 eventos de temperatura extrema por Km. cuadrado.
- Región de Murcia: 0,7363 eventos de temperatura extrema por Km. cuadrado.

Se confirma que en estos climas desérticos la densidad de estos eventos es mayor. Además, vuelve a intuirse que la región norte de la Península Ibérica es más fresca.

| | |
|-------------------|--------|
| MÁXIMO | 0,9812 |
| BIGOTE SUPERIOR | 0,3157 |
| CUARTIL SUPERIOR | 0,3013 |
| MEDIANA | 0,1408 |
| CUARTIL INFERIOR | 0,0491 |
| BIGOTE INFERIOR | 0,0042 |
| MÍNIMO | 0,0042 |
| MEDIA | 0,2394 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 0,2987 |
| VARIANZA | 0,0893 |

Tabla 3. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del N° de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Comunidades Autónomas en relación con su superficie.

A continuación, se analiza la evolución temporal por décadas de los eventos de temperatura extrema en España.

Número de Eventos de Temperatura Extrema por Décadas

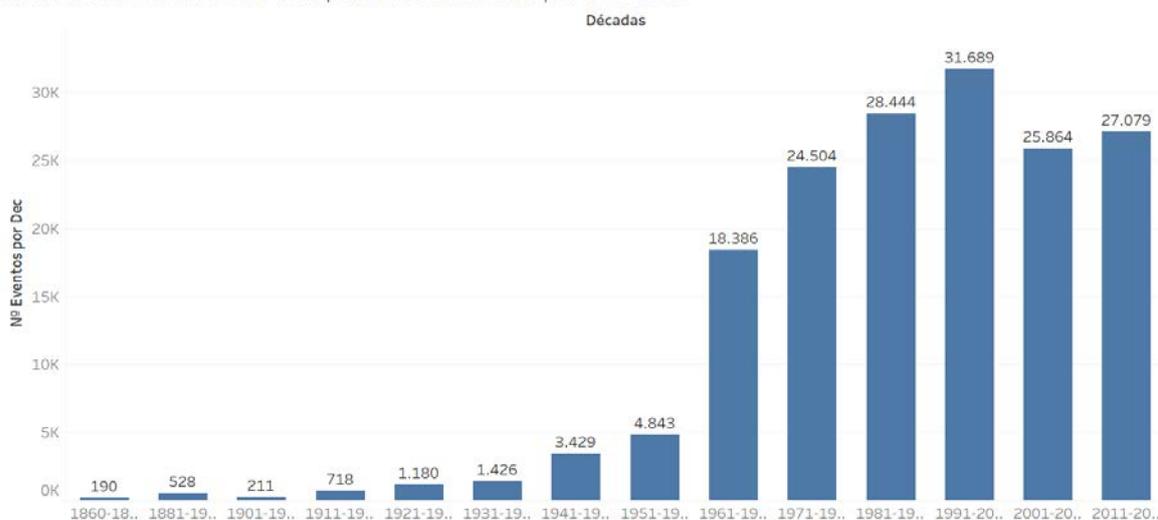


Gráfico 5. Número de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por Décadas.

Es importante destacar que, como ya se ha mencionado antes, con el paso del tiempo se han ido creando más estaciones y subestaciones de medición, por lo que aparecen factores que distorsionan el análisis. Aun así, se sigue atribuyendo el incremento en la frecuencia de los fenómenos meteorológicos extremos a otros determinantes como el cambio climático o el aumento de la población.

Estos cambios en el clima dependen de un conjunto de originantes, pasando de los gases de efecto invernadero a la acción humana (FERN13). Si bien, se puede observar cómo tras alcanzar el pico en el número de eventos en la última década del siglo XX, la tendencia actual tiene pendiente negativa. El Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) fue fundado en 1988 (IPCC22). Este grupo se encarga de estudiar el cambio climático, sus distintas causas, impacto, evolución y posibles soluciones. Desde el momento de su creación han tomado distintas medidas para corregir el rumbo erróneo que lleva el planeta. Entre ellas destacan el protocolo de Kioto. Desde 1990 se han tomado medidas de respuesta contra el cambio climático (IPCC22). Se puede observar en el Gráfico 5, como las medidas tomadas desde entonces han ido teniendo efecto de forma progresiva. Igual no a corto plazo, pero sí a medio y a largo.

Diagrama de Cajas de el Número de Eventos de Temperatura Extrema por Década.

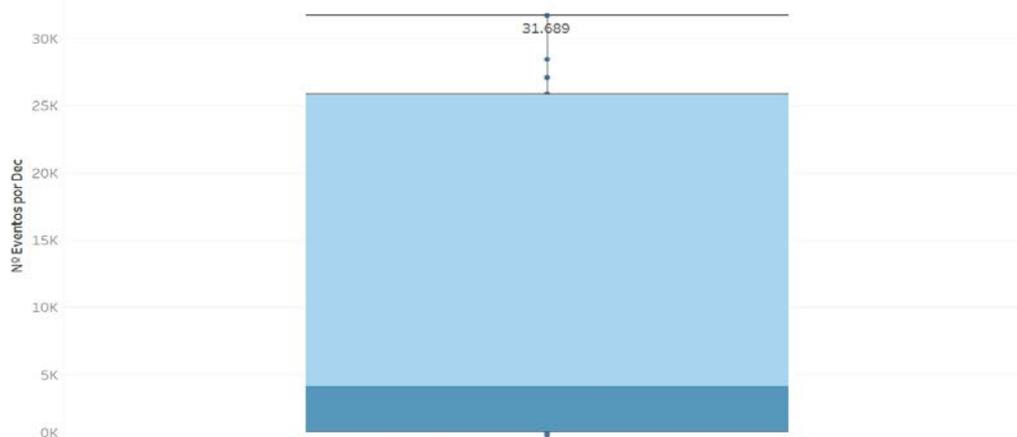


Gráfico 6. Diagrama de Cajas o Bigotes del Nº de Eventos de Temperatura Extrema en España separados por décadas.

Los datos vuelven a tener una media superior a la mediana. En este caso, parece más útil centrarse en los outliers y sus causas antes que en otras características estadísticas. El Q3 tiene un valor de 25.864 eventos de temperatura extrema por década, y el Q1 tiene un valor de 718 eventos de temperatura extrema por década. El recorrido intercuartílico es de 25.146. Debido a esto, no hay eventos o extremos que sean outliers como tal, por lo que estudiaremos los que no se encuentran en el intervalo comprendido por el primer y tercer cuartil.

- Década 2011-2021: en ella se han dado 27.079 eventos de temperatura extrema. Las principales causas son el aumento de la población, la emisión de gases de efecto invernadero y, en los últimos tiempos, el impacto de la pandemia COVID-19 (FERN13).

- Década 2001-2010: en ella se han dado 25.864 eventos, la menor cifra de todas.
- Década 1991-2000: en ella se han dado 31.689 eventos de temperatura extrema. Entre otras consecuencias, en 1995 se dio la peor sequía en España de todo el siglo XX (SAMP95). Esta sequía, que comenzó en 1991 tuvo grandes consecuencias a nivel socio económico en España (SAMP95).
- Década 1981-1990: en ella se han dado 28.444 eventos de temperatura extrema.
- Década 1971-1980: en ella se han dado 24.504 eventos de temperatura extrema.
- Década 1961-1970: en ella se han dado 19.386 eventos de temperatura extrema.
- Década 1951-1960: en ella se han dado 4.843 eventos de temperatura extrema.
- Década 1941-1950: en ella se han dado 3.429 eventos de temperatura extrema.
- Década 1931-1940: en ella se han dado 1.426 eventos de temperatura extrema.
- Década 1921-1930: en ella se han dado 1.180 eventos de temperatura extrema.
- Década 1911-1920: en ella se han dado 718 eventos de temperatura extrema.
- Década 1901-1910: se dieron 211 eventos de temperatura extrema.
- Década 1860-1880: se dieron 190 eventos de temperatura extrema. Se juntan dos décadas debido a la escasez de datos.
- Década 1881-1900: se dieron 528 eventos de temperatura extrema. Otra vez, se juntan dos décadas por la escasez de datos.

Hay que destacar que se estima que el número de fenómenos sería mayor en décadas pretéritas si se tuviese el mismo número de estaciones de medición.

| | |
|-------------------|-------------|
| MÁXIMO | 31.689 |
| BIGOTE SUPERIOR | 31.689 |
| CUARTIL SUPERIOR | 25.864 |
| MEDIANA | 4.136 |
| CUARTIL INFERIOR | 718 |
| BIGOTE INFERIOR | 190 |
| MÍNIMO | 190 |
| MEDIA | 12.035 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 12.907 |
| VARIANZA | 166.590.452 |

Tabla 4. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del N° de Eventos de Temperatura Extrema en España de 1860 a 2021 separados por décadas.

Comparación del Nº de Eventos de Temperatura Extrema entre Norte y Sur

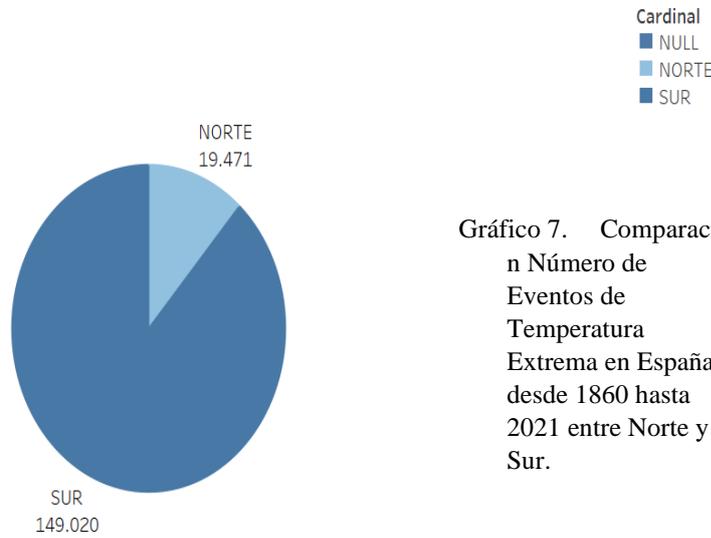


Gráfico 7. Comparación Número de Eventos de Temperatura Extrema en España desde 1860 hasta 2021 entre Norte y Sur.

Para contrastar la hipótesis de que en el sur hay más eventos de temperatura extrema, se estudia el número de fenómenos que se dan en ambas regiones. Para ello se divide España en dos, utilizando el punto de

medio de la Península Ibérica, El Cerro de los Ángeles (PUBL12), para distinguir entre los puntos cardinales. Las regiones con coordenadas inferiores al Cerro de los Ángeles serán sur, y los que tengan coordenadas mayores, norte. Separando todos los datos de fenómenos de temperatura extremos en España desde 1860 a 2021 se obtiene que un 88,44% del total se dan en el sur; y un 11,56 en norte. Por lo tanto, la hipótesis de partida, hay más eventos de temperatura extrema en el sur, queda confirmada.

Número de Eventos de Temperatura Extrema por Estación

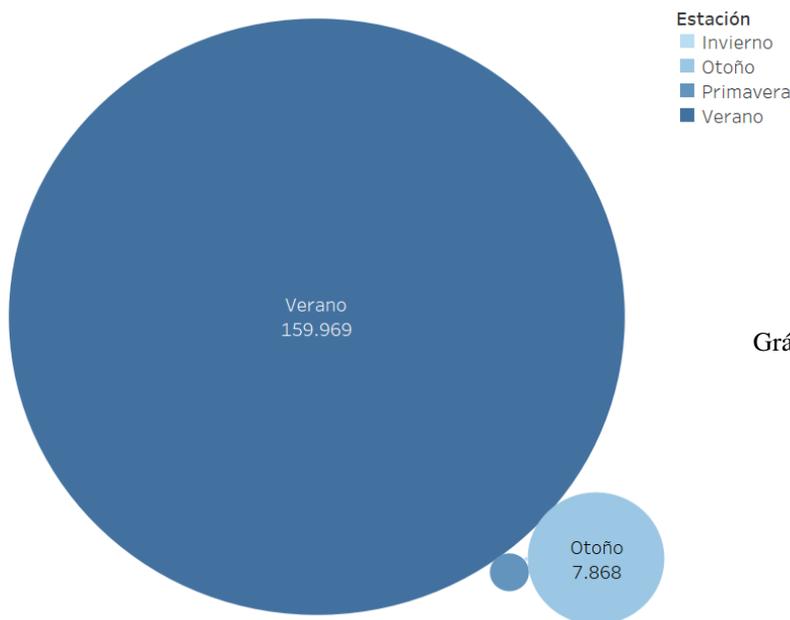


Gráfico 8. Comparación Número de Eventos de Temperatura Extrema en España entre Estaciones.

Como se puede apreciar en el Gráfico 8, el número de eventos es muy superior en verano ante el resto de las estaciones. Hay que aclarar que para simplificar el proceso y la

organización con la que aparece la información en la base de datos, las estaciones se han distribuido por meses de la siguiente manera:

- Invierno: formado por los meses de enero, febrero y diciembre.
- Primavera: formada por los meses de marzo, abril y mayo.
- Verano: formado por los meses de junio, julio y agosto.
- Otoño: formado por los meses de septiembre, octubre y noviembre.

Como ya se ha mencionado anteriormente, en verano es cuando se da un mayor número de estas anomalías. En concreto en verano, en la historia de este país, se han dado 159.969 eventos de temperatura extrema, un 94,94%. En otoño se han dado 7.868 anomalías, un 4,67%. En primavera 648, un 0,38%. Por último, en invierno 6 eventos de temperatura extrema, un 0,0036%. Los fenómenos en invierno se han dado en las Islas Canarias. Debido a la diversidad climática española, era la única región lógica en la que podría suceder.

Número de Repeticiones de los Eventos de Temperatura Extrema en España entre 1860 y 2021

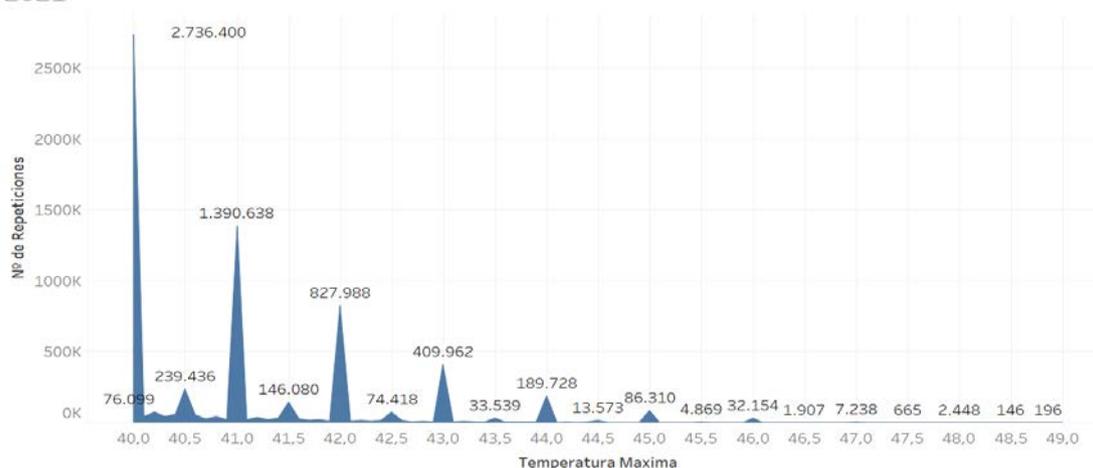


Gráfico 9. Número de Repeticiones de los Eventos de Temperatura Extrema en España entre 1860 y 2021.

La siguiente variable de interés es la temperatura máxima de los eventos extremos en sí misma. Como ya se ha especificado antes, para que un evento sea extremo, la medida de interés tiene que superar un umbral determinado (RICO15). En este caso, la base de datos de eventos de temperatura extremos recoge aquellos que superan los 40 °C centígrados. La variación de temperatura está recogida a la décima, pero en datos más antiguos simplemente por unidades.

La moda en la temperatura es 40 °C, ya que es el valor que más se ha repetido en todo el país de 1860 a 2021. La media tiene un valor de 41,03 °C y la mediana de 41 °C. Al ser la media superior a la mediana la asimetría es positiva o asimetría a la derecha. Por lo tanto, la variable que seguramente sea endógena en nuestros modelos puede ser que aparezca como logaritmos. El primer cuartil, Q1, tiene un valor de 40 °C, y el tercer cuartil, Q3, tiene un valor de 42. El rango intercuartílico es de 2 °C. Los valores extremos anómalos se dan por encima de 45 °C.

Diagrama de Cajas de Temperaturas Máximas

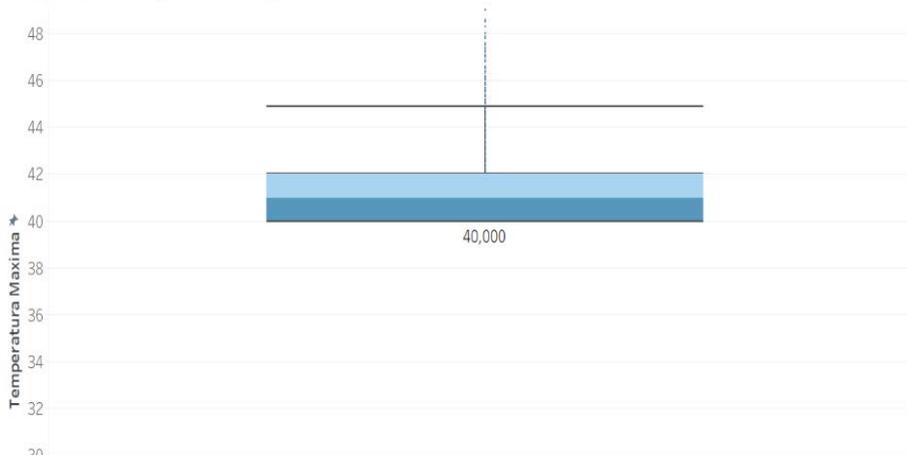


Gráfico 10. Diagrama de Cajas o Bigotes de la Temperatura Máxima de los Eventos de Temperatura Extrema en España.

Por lo tanto, hay bastantes outliers por encima, concretamente se han medido 1.232 eventos de temperatura extrema.

| | |
|-------------------|-------|
| MÁXIMO | 49 |
| BIGOTE SUPERIOR | 44,9 |
| CUARTIL SUPERIOR | 42 |
| MEDIANA | 41 |
| CUARTIL INFERIOR | 40 |
| BIGOTE INFERIOR | 40 |
| MÍNIMO | 40 |
| MEDIA | 41,03 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 1,249 |
| VARIANZA | 1,561 |

Tabla 5. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes de la Temperatura Máxima de los Eventos de Temperatura Extrema en España.

Número de Eventos de Temperatura Extrema por Altitud

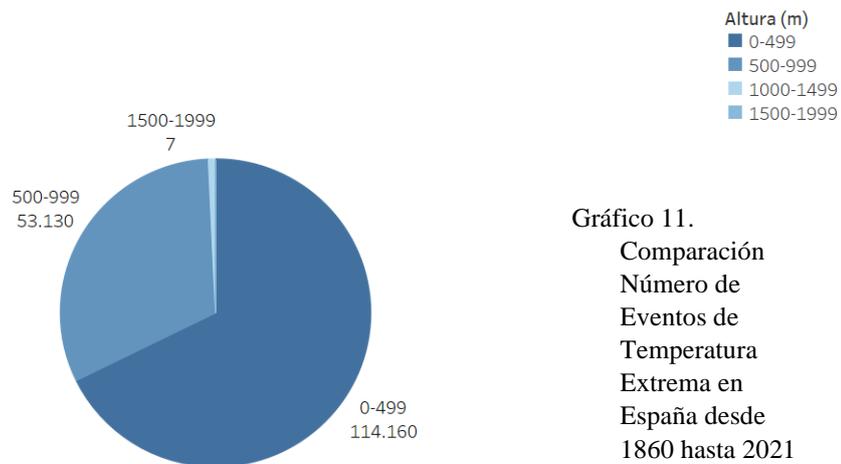


Gráfico 11. Comparación Número de Eventos de Temperatura Extrema en España desde 1860 hasta 2021 entre distintas Alturas.

Por último, se va a analizar la relación que tiene la altitud de las estaciones de medida con su altitud. La hipótesis de partida es que las temperaturas extremas son más frecuentes con menores alturas. El análisis de los datos proporcionados confirma esta hipótesis. Entre 0 y 499 metros de altura se han dado 114.160 eventos de temperatura extrema, es decir un 67,75%. Entre los 500 y 999 metros se han dado 53.130 eventos, un 31,53%. Entre 1000 y 1499 metros 1194, un 0,71%. Entre 1500 y 1999 metros 7 eventos, un 0,0042%. Por encima de estas alturas no hay mediciones. Otra vez cabe recordar que la escasez de estaciones a grandes alturas puede influir en el número de mediciones. Aun así no parece que sea relevante.

La media (42.123), vuelve a ser superior a la mediana (27.162). EL Q1 es 600,5 y el Q3 83.645. Queda un recorrido intercuartílico bastante grande, de 83.044,5. Consecuentemente no se observan outliers.

Diagrama de caja de los Eventos de Temperatura Extremos por Altitud

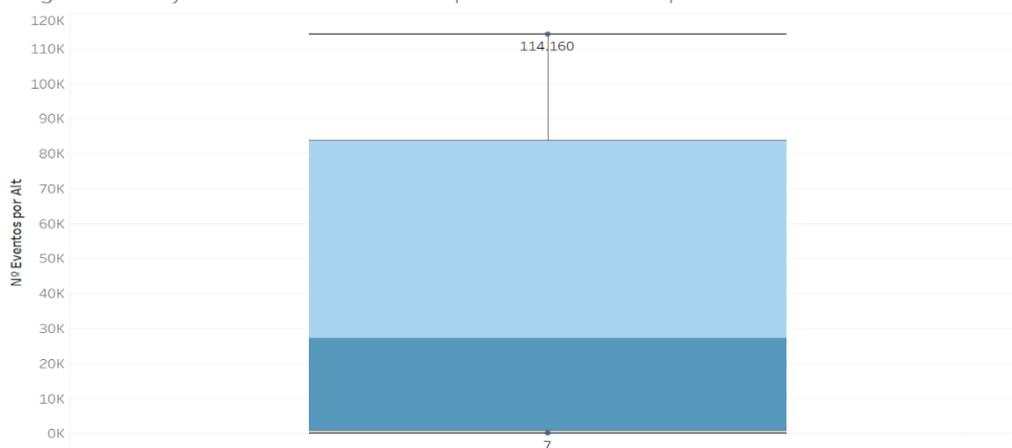


Gráfico 12. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Temperatura Extrema en España entre distintas Alturas.

| | |
|-------------------|---------------|
| MÁXIMO | 114.160 |
| BIGOTE SUPERIOR | 114.160 |
| CUARTIL SUPERIOR | 83.645 |
| MEDIANA | 27.162 |
| CUARTIL INFERIOR | 600,5 |
| BIGOTE INFERIOR | 7 |
| MÍNIMO | 7 |
| MEDIA | 42.123 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 54.035 |
| VARIANZA | 2.919.807.972 |

Tabla 6. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Temperatura Extrema en España entre distintas Alturas.

II. Análisis Estadístico de la Variable Viento.

Algunas de las hipótesis iniciales que se van a intentar comprobar son:

- Ocurren más eventos de Viento Extremo en la zona norte de España que en la sur.
- Con el paso de las décadas, la frecuencia de estos eventos ha aumentado.
- Estos eventos tienen una frecuencia de ocurrencia más o menos constante a lo largo del año, no hay variaciones claras entre estaciones.
- La altitud influye en la ocurrencia de estos Eventos de Viento Extremo, siendo los puntos más altos los que tienen una mayor incidencia.
- Andalucía es la Comunidad Autónoma con un mayor número de eventos de Viento Extremo.
- En relación con su superficie, las Islas Canarias es la Comunidad Autónoma con una mayor incidencia de estos eventos.

* Para separar entre Norte y Sur se ha elegido el Cerro de los Ángeles como punto medio de la península ibérica.

** Ceuta y Melilla han sido incluidos en los datos de Andalucía por su tamaño y proximidad.

Geolocalización de los Eventos Extremos de Viento, Península Ibérica y Baleares



Geolocalización de los Eventos Extremos de Viento, Islas Canarias



Figura 4. Geolocalización de los Eventos de Viento Extremo en la Península Ibérica, Islas Baleares e Islas Canarias.

Al igual que con la variable temperatura, se comienza analizando la distribución geográfica de estos eventos. Como se puede apreciar en la figura 3, estos eventos anómalos están bastante más dispersos que en los fenómenos de temperatura. Entre otras razones, se atribuye esto a que el viento no depende tanto del clima que se da en una zona, por lo que la densidad de eventos es menor. Cabe destacar que en el caso de los eventos de viento extremo no se empezaron a medir hasta la década de 1911-1920, en la que, además, había pocas estaciones con la capacidad para medir estos fenómenos. La estación que recoge datos más antiguos es la de Izaña, en Santa Cruz de Tenerife.

Número de Eventos Extremos de Viento por Comunidad Autónoma

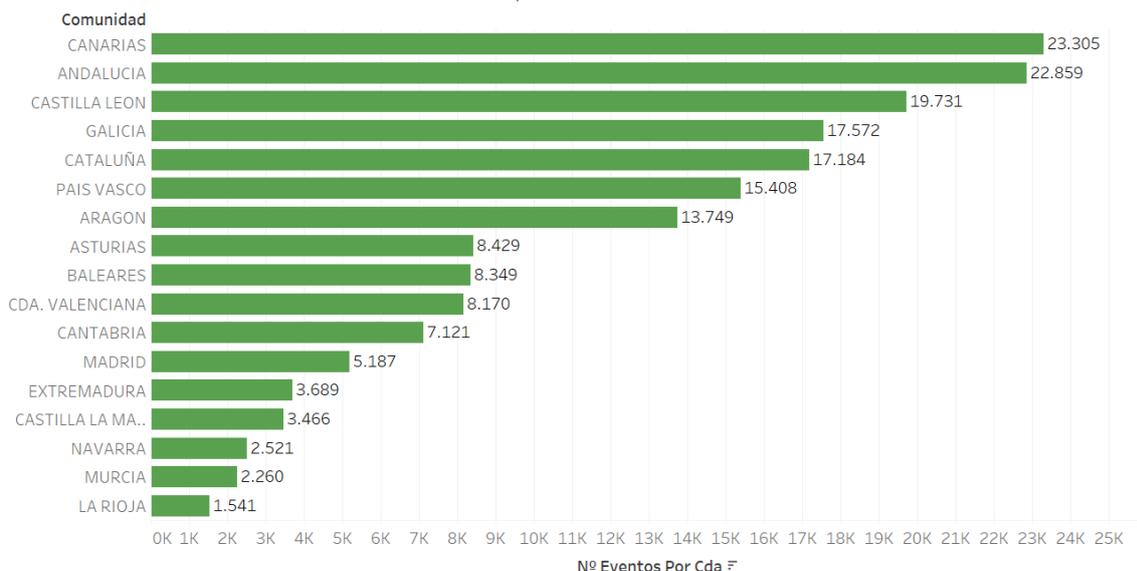


Gráfico 13. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 separados por Comunidades Autónomas.

Se analiza el número de eventos de viento extremo que se han dado en España de 1911 a 2021 por Comunidad Autónoma. Destaca como las Islas Canarias son la comunidad que ha tenido un mayor número de eventos anómalos. Para que un evento de viento sea extremo, la racha de velocidad máxima tiene que superar un determinado umbral. En este caso, se mide en Km/hora. Por lo tanto, en las Islas Canarias se han dado el mayor número de episodios de viento por encima de los 70 Km/hora desde 1911. Con esto, se afirma que la hipótesis inicial de que Andalucía es la Comunidad autónoma con el mayor número de eventos de viento extremos es errónea. En las Islas Canarias la dirección predominante del viento es la norte, siendo los meses de verano en los que estas tienen una mayor intensidad (SUÁR18). La dirección sotavento (vertiente sur) suele presentar menores intensidades que la vertiente barlovento (vertiente norte). Esto se debe a ciertos factores locales como pueden ser los impedimentos geográficos, o la aceleración del viento en las cimas y tras el paso por barrancos y valles (SUÁR18).

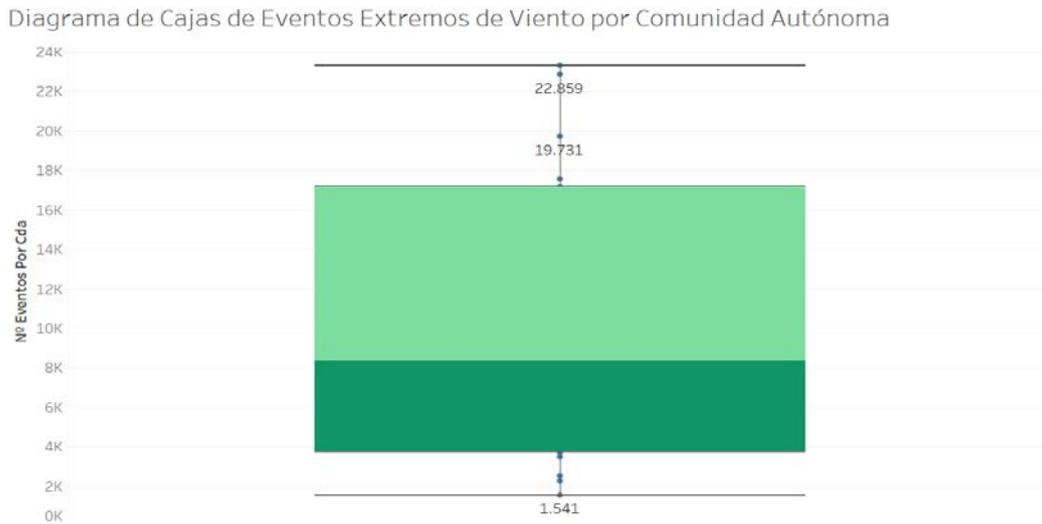


Gráfico 14. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Comunidades Autónomas.

En cuanto al análisis de los estadísticos principales, destaca que la variación de los eventos de viento extremo por Comunidades Autónomas es menor que en el caso de las temperaturas. La media (10.620) es superior a la mediana (8.349) como viene siendo habitual en el análisis de los datos. Esto parece indicar que presenta una asimetría positiva o asimetría hacia la derecha. El primer cuartil, Q1, se sitúa en 3.689. El tercer cuartil, Q3, se sitúa en 17.184. Consecuentemente, el recorrido intercuartílico tiene un valor de 13.495, por lo que no se encuentran ningún valor extremo u outlier. Esto último tiene sentido, ya que los eventos de viento extremo están muy repartidos entre las distintas regiones de la geografía española. Por último, el valor de la desviación típica es menor que la media, quedando un coeficiente de relación de Pearson de 0,703.

| | |
|-------------------|--------|
| MÁXIMO | 23.305 |
| BIGOTE SUPERIOR | 23.305 |
| CUARTIL SUPERIOR | 17.184 |
| MEDIANA | 8.349 |
| CUARTIL INFERIOR | 3.689 |
| BIGOTE INFERIOR | 1.541 |
| MÍNIMO | 1.541 |
| MEDIA | 10.620 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 7.470 |

Tabla 7. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Comunidades Autónomas.

Número de Eventos Extremos de Viento por Comunidad Autónoma en relación a su superficie

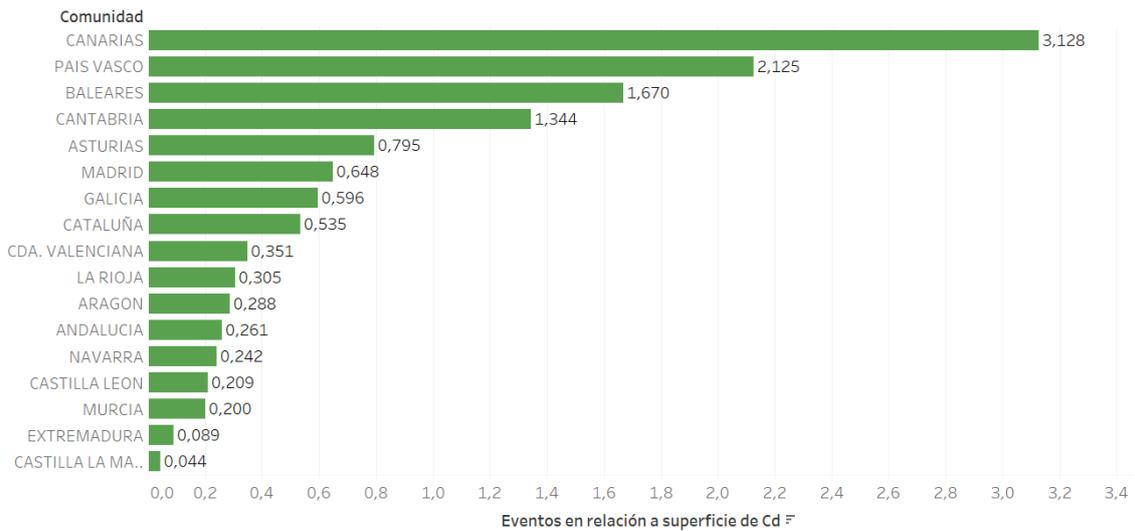


Gráfico 15. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 separados por Comunidades Autónomas con relación a su superficie.

Otra vez, es útil estudiar la distribución geográfica de los datos en relación con la superficie de las Comunidades Autónomas. Destaca como las Islas Canarias desde 1911 han tenido 3,128 rachas de viento extremo por kilómetro cuadrado, lo cual es un valor elevadísimo respecto a otras comunidades. Andalucía era la segunda en cuanto al número de eventos extremos, pero con relación a su superficie cae a las últimas posiciones. Se observa en el Gráfico 15 como son las Comunidades Autónomas del norte las que tienen unos datos bastante importantes respecto a su superficie. Una de las posibles causas son las altas presiones que se dan en el litoral Cantábrico y Atlántico de la Península Ibérica (MOLI15). En definitiva, la presión disminuye de oeste a este en España, lo que parece jugar un papel muy relevante en la ocurrencia de estas anomalías.

Diagrama de Cajas de Eventos Extremos de Viento por Comunidad Autónoma en relación a su Superficie



Gráfico 16. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 separados por Comunidades Autónomas con relación a su superficie.

Cabe destacar los siguientes datos de Comunidades Autónomas:

- Islas Canarias: se han dado 3,128 eventos de viento extremo por kilómetro cuadrado. Es el máximo entre los datos y un outlier muy exagerado.
- País Vasco: se han dado 2,125 eventos de viento extremo por kilómetro cuadrado.
- Islas Baleares: se han dado 1,67 eventos de viento extremo por kilómetro cuadrado.
- Castilla la Mancha: se han dado 0,0436 eventos de viento extremo por kilómetro cuadrado. Destaca lo bajo que es este valor. Es el mínimo de los datos analizados.

En cuanto a los estadísticos principales, la media tiene un valor de 0,7547, la mediana de 0,351 y la desviación típica de 0,8451. El tercer cuartil es 0,795, el cuartil inferior es 0,242 y el recorrido intercuartílico 0,553. Por lo tanto, los valores extremos son los que se encuentran por encima de 1,6245. Los outliers son las Islas Canarias, el País Vasco y las Islas Baleares.

Se confirma la hipótesis de que las Islas Canarias es la Comunidad Autónoma que más eventos de viento extremo tiene en relación con su superficie.

| | |
|-------------------|--------|
| MÁXIMO | 3,128 |
| BIGOTE SUPERIOR | 1,344 |
| CUARTIL SUPERIOR | 0,795 |
| MEDIANA | 0,351 |
| CUARTIL INFERIOR | 0,242 |
| BIGOTE INFERIOR | 0,044 |
| MÍNIMO | 0,044 |
| MEDIA | 0,7547 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 0,8451 |
| VARIANZA | 0,7141 |

Tabla 8. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Comunidades Autónomas con relación a su superficie.

Número de Eventos Extremos de Viento por Décadas

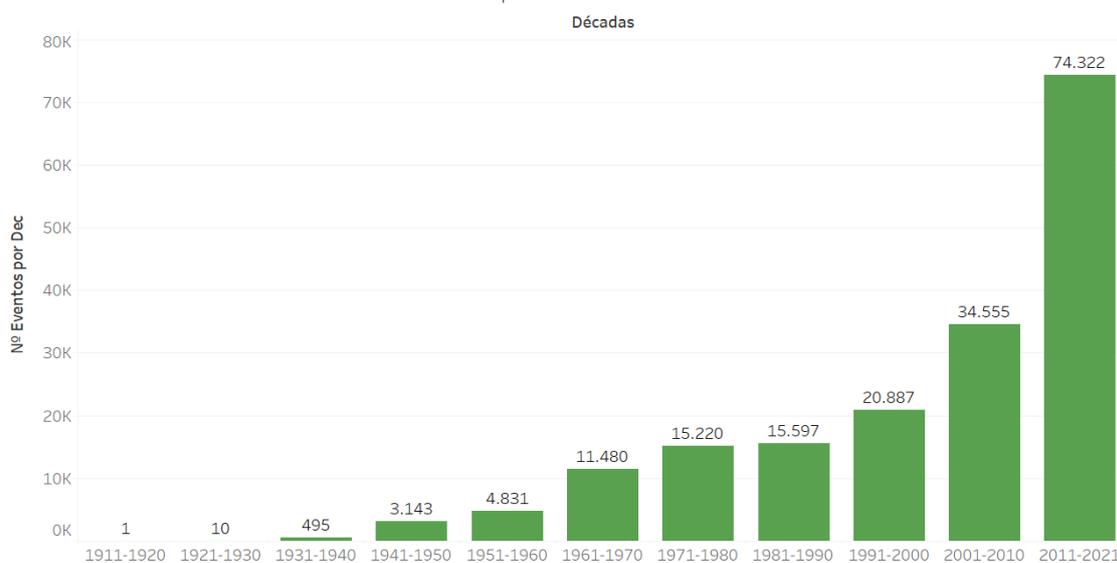


Gráfico 17. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Décadas

A continuación, se estudia la evolución temporal por décadas de los eventos de viento extremo que se han dado en España desde 1911. La hipótesis de partida es que estos eventos han aumentado en frecuencia con el paso del tiempo. Hay que tener en cuenta la escasez de estaciones de medida en las décadas pretéritas, ya que parece muy anómalo

Diagrama de Cajas de Eventos Extremos de Viento por Décadas



Gráfico 18. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Décadas.

que en las últimas décadas la diferencia sea tan grande con las anteriores. Una de las posibles causas del aumento en la frecuencia de ocurrencia de estos eventos de viento extremo puede ser el cambio climático. Sin embargo, no se han encontrado vínculos entre el aumento en la velocidad del

viento y la acción humana en el cambio climático (BBCN19).

En cuanto a los principales estadísticos, destacan los tremendos outliers que aparecen en las décadas más recientes. La media es 16.413 eventos de viento extremo por década y la mediana es 11.480 eventos de viento extremo por década, otra vez presenta asimetría positiva o a la derecha. El cuartil superior, Q1, es 18.242 eventos de viento extremo por década, y el cuartil inferior, Q1, 1.819. El rango intercuartílico alcanza un valor de 16.423 eventos de viento extremo por década. Por lo tanto, los valores extremos se dan a partir de cifras superiores a 42.876 eventos de viento extremo por década. En este caso solo hay un valor extremo. La década de 2011 a 2021 ha tenido un total de 74.322 eventos de viento extremo.

| | |
|-------------------|-------------|
| MÁXIMO | 74.322 |
| BIGOTE SUPERIOR | 34.555 |
| CUARTIL SUPERIOR | 18.242 |
| MEDIANA | 11.480 |
| CUARTIL INFERIOR | 1.819 |
| BIGOTE INFERIOR | 1 |
| MÍNIMO | 1 |
| MEDIA | 16.413 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 21.980 |
| VARIANZA | 483.105.522 |

Tabla 9. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por Décadas.

Comparación del Nº de Eventos de Viento Extremos entre Norte y Sur

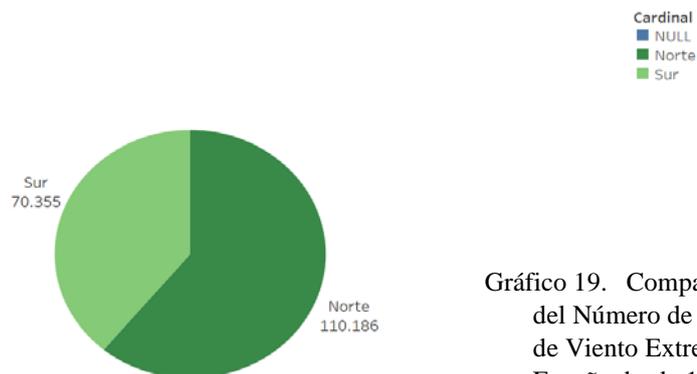


Gráfico 19. Comparación del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 a 2021 entre Norte y Sur.

Una de las hipótesis de partida es que la mayoría de los eventos de viento extremos localizados en España de 1911 a 2021 se han dado en la zona norte este país. Como ya se ha mencionado anteriormente, el Cerro de los Ángeles se ha escogido como centro peninsular y es el punto que separa nuestra clasificación entre norte y sur. En el norte se han dado un total 110.186 eventos de viento extremo, es decir cuyas rachas superan los 70 Km/hora. Esto representa un 61,03% del total. En la zona sur de España se han dado 70.355 eventos de viento extremo, un 38,97% del total. Destaca que, dentro de la zona sur, las Islas Canarias representan alrededor de un 25%, una cifra bastante reseñable. Con toda esta información, se puede confirmar la hipótesis de partida.

Número de Eventos Extremos de Viento por Altitud (m)

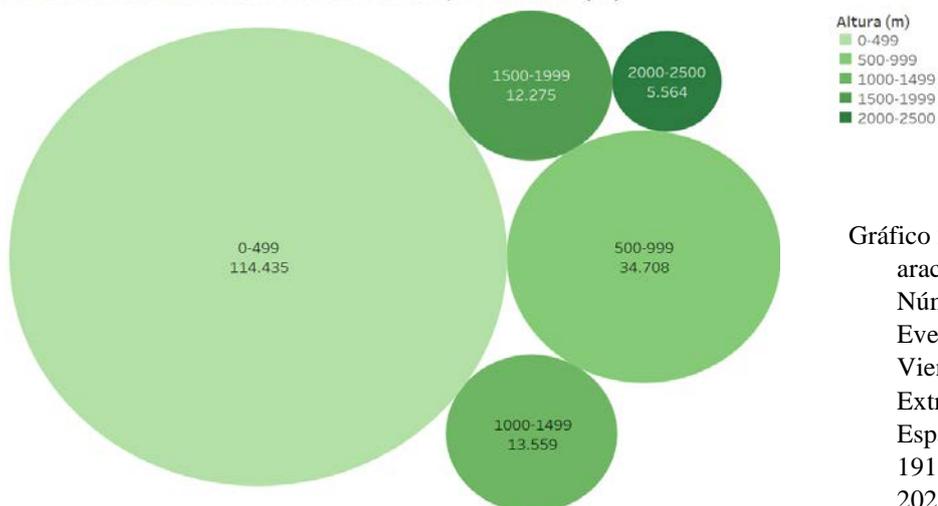


Gráfico 20. Comparación del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 entre distintas Alturas.

La siguiente variable de interés es el número de eventos de viento extremo en función de la altitud de la estación en la que se ha tomado la medida. Esta variable está relacionada

con la hipótesis de que, a mayor altitud, mayor es la frecuencia de las rachas de viento a más de 70 Km/hora. Aquí aparece el problema de que, a mayor altitud, menos estaciones de medida. Los siguientes datos son los obtenidos:

- Entre 0 y 499 metros: 114.435 eventos con rachas de viento superiores a 70 Km/hora. Un 63,38%.
- Entre 500 y 999 metros: 34.708 eventos con rachas de viento superiores a 70 Km/hora. Un 19,22%.
- Entre 1000 y 1499 metros: 13.559 eventos con rachas de viento superiores a 70 Km/hora. Un 7,51%.
- Entre 1500 y 1999 metros: 12.275 eventos con rachas de viento superiores a 70 Km/hora. Un 6,80%.
- Entre 2000 y 2500 metros: 5.564 eventos con rachas de viento superiores a 70 Km/hora. Un 3,08%.

A priori, parece que la hipótesis de partida queda refutada. Lo único que puede defenderla es que cuando subimos en altura, las variaciones porcentuales son menos agudas. Sin embargo, debido a la fricción de los elementos terrestres, la velocidad del viento en la superficie costera y a pocos metros por encima es menor (JARAM13). Aun así, la mayor influencia de los elementos terrestres es hasta los 100 metros de altura (JARAM13). Por lo tanto, la combinación del número de estaciones de medición y la no influencia a partir de esta altura provoca que esta sea la franja con mayor incidencia

Diagrama de Cajas del Número de Eventos Extremos de Viento por Altitud

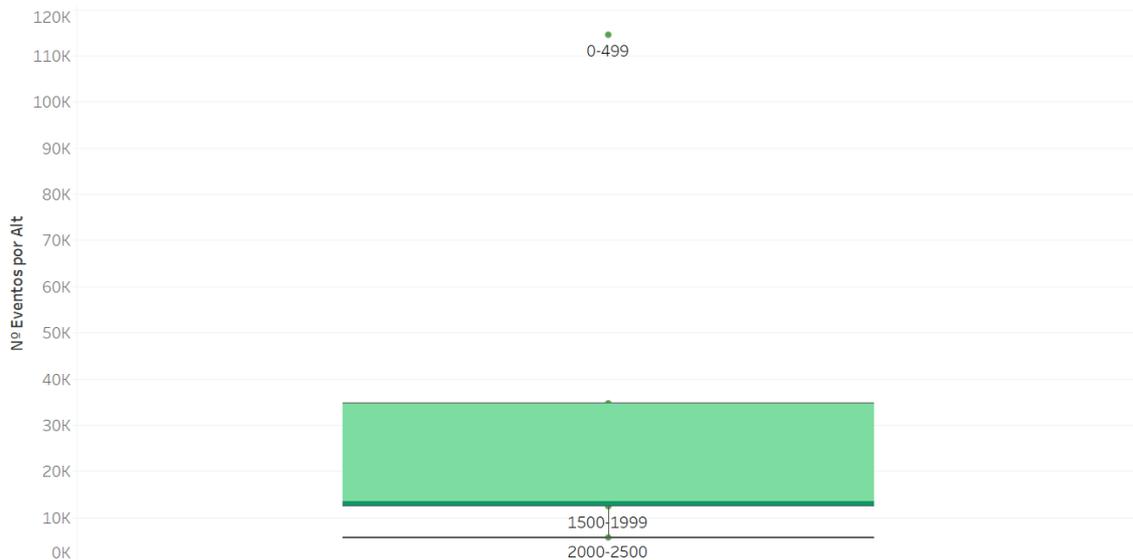


Gráfico 21. Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 entre distintas Alturas.

Como estadísticos principales para este estudio, la media se encuentra en 36.108 eventos de viento extremo, la mediana en 13.559 eventos y la desviación típica en 45.129 eventos de viento extremo. El cuartil superior tiene un valor de 34.708 y el inferior de 12.275, por lo que el recorrido intercuartílico es de 22.433. Por lo tanto, los outliers se situarán por encima de 68.358 eventos de viento extremo. El único que lo supera es el tramo entre 0 y 499 metros con 114.435 eventos.

| | |
|-------------------|---------------|
| MÁXIMO | 114.435 |
| BIGOTE SUPERIOR | 34.708 |
| CUARTIL SUPERIOR | 34.708 |
| MEDIANA | 13.559 |
| CUARTIL INFERIOR | 12.275 |
| BIGOTE INFERIOR | 5.564 |
| MÍNIMO | 5.564 |
| MEDIA | 36.108 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 45.129 |
| VARIANZA | 2.036.621.039 |

Tabla 10. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 entre distintas Alturas.

Lo siguiente que interesa analizar es la influencia del momento del año en el que nos

Número de Eventos Extremos de Viento por Estación

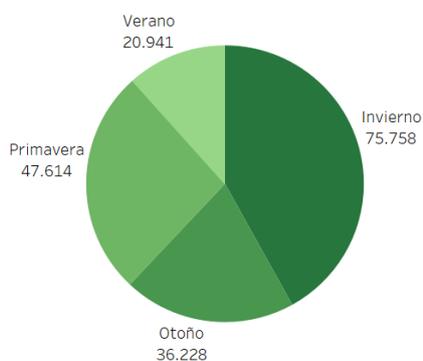


Gráfico 22. Comparación del Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 a 2021 entre Estaciones.

encontramos con la frecuencia de ocurrencia de los eventos de viento extremo. La hipótesis de partida refleja que da igual la estación, que la distribución de estos eventos extremos es más o menos homogénea. Como se puede ver en

el Gráfico 22, la distribución entre estaciones es más igualitaria que con los eventos de temperatura extrema. Los resultados obtenidos son los siguientes:

- Verano: se han dado 20.941 eventos de viento extremo, un 11,60% del total.
- Otoño: se han dado 36.228 eventos de viento extremo, un 20,07% del total.
- Invierno: se han dado 75.758 eventos de viento extremo, un 41,96% del total.
- Primavera: se han dado 47.614 eventos de viento extremo, un 26,37% del total.

Con estos resultados, se puede afirmar que la hipótesis de partida era acertada. Por ponerle un pero, se puede observar cómo hay una pequeña tendencia a que estas anomalías ocurran en los primeros meses del año.

Número de Eventos Extremos de Viento por Velocidad (Km/h)



Gráfico 23. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 a 2021 separados por su clasificación de velocidad.

La principal variable por analizar en los eventos extremos de viento es la velocidad de la racha. Se considera que un evento de viento es extremo cuando su racha máxima supera los 70 Km/hora de velocidad máxima. Dentro de estos fenómenos, se puede realizar la siguiente clasificación (WIND22):

- Temporal: de 62 a 74 Km/hora (WIND22).
- Temporal fuerte: de 75 a 88 Km/hora (WIND22).
- Tormenta fuerte: de 89 a 102 Km/hora (WIND22).
- Temporal muy duro: de 103 a 117 Km/hora (WIND22).
- Temporal huracanado: rachas mayores a 118 Km/hora (WIND22).

Atendiendo a esta clasificación, los resultados obtenidos son los siguientes:

- Temporal: 56.180 eventos de viento extremo, un 31,49% del total.
- Temporal fuerte: 81.661 eventos de viento extremo, un 45,23% del total.
- Tormenta fuerte: 27.789 eventos de viento extremo, un 15,39% del total.
- Temporal muy duro: 9.497 eventos de viento extremo, un 5,26% del total.
- Temporal huracanado: 4.744 eventos de viento extremo, un 2,63% del total.

Como es lógico, la mayoría de los eventos se han producido dentro de las clasificaciones más bajas. Sí que es notorio que no se un simple temporal la categoría más común. Con esto último, se puede hacer una hipótesis de que cuando hay un fenómeno de rachas extremas, suelen ser fuertes.

Repeticiones de los Eventos de Viento Extremos por Velocidad

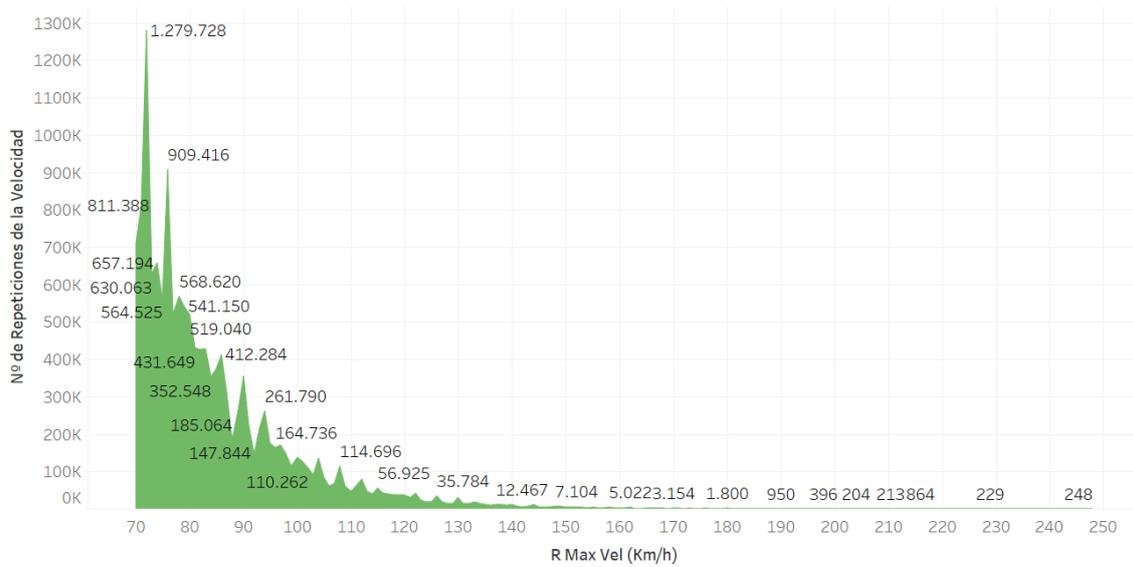


Gráfico 24. Repetición del Número Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por su Velocidad (Km/h).

Como se puede ver en el Gráfico 24 y en el Gráfico 25, la distribución de los eventos de viento extremo respecto a la velocidad máxima de racha presenta una asimetría positiva o a la derecha. La mayoría de estos eventos se sitúan en velocidades entre los 70 y 78 Km/hora. Más concretamente, siendo el cuartil superior, Q3, 87 Km/hora y el cuartil inferior, Q1, 73 Km/hora, podemos afirmar que al menos el 50% de los eventos se encuentran en este rango. El recorrido intercuartílico tiene un valor de 14, por lo que los outliers se dan a partir de 108 Km/hora. En total, 10.025 eventos de viento extremo han superado este umbral. El máximo que se ha registrado en España es una racha de 3248 Km/hora. El coeficiente de Pearson toma un valor de 0,1596.

Diagrama de Cajas de Eventos Extremos de Viento por Racha Velocidad (Km/h)

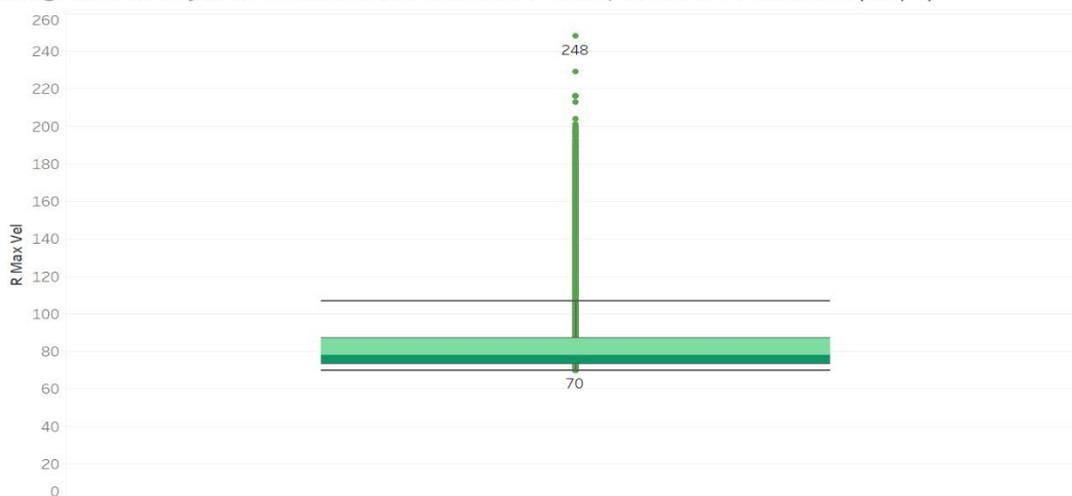


Gráfico 25. Diagrama de Cajas o Bigotes de las Rachas de Velocidad Máxima de los Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021.

| | |
|-------------------|-------|
| MÁXIMO | 248 |
| BIGOTE SUPERIOR | 107 |
| CUARTIL SUPERIOR | 87 |
| MEDIANA | 78 |
| CUARTIL INFERIOR | 73 |
| BIGOTE INFERIOR | 70 |
| MÍNIMO | 70 |
| MEDIA | 82,57 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 13,18 |
| VARIANZA | 173,8 |

Tabla 11. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes de las Rachas de Velocidad Máxima de los Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021.

Por último, se va a estudiar el número de eventos de viento extremo en función de su dirección. Es imprescindible aclarar que, para realizar este estudio, en el Gráfico 26 se han incluido los datos de la base en los que la dirección era 99 (viento variable) u 88 (sin datos de dirección). Sin embargo, para ver cómo se distribuían en función de la dirección se han eliminado ya que distorsionaban el análisis. Esto se debe a que los datos están presentados en decenas de grados, por lo que tener una dirección en la que las rachas de viento apuntan a una dirección de 990 °C ó 880 °C no es viable. Por lo tanto, en el Gráfico 27 y Gráfico 28 no se han incluido, siendo la muestra menor.

Número de Eventos Extremos de Viento por Dirección(9)

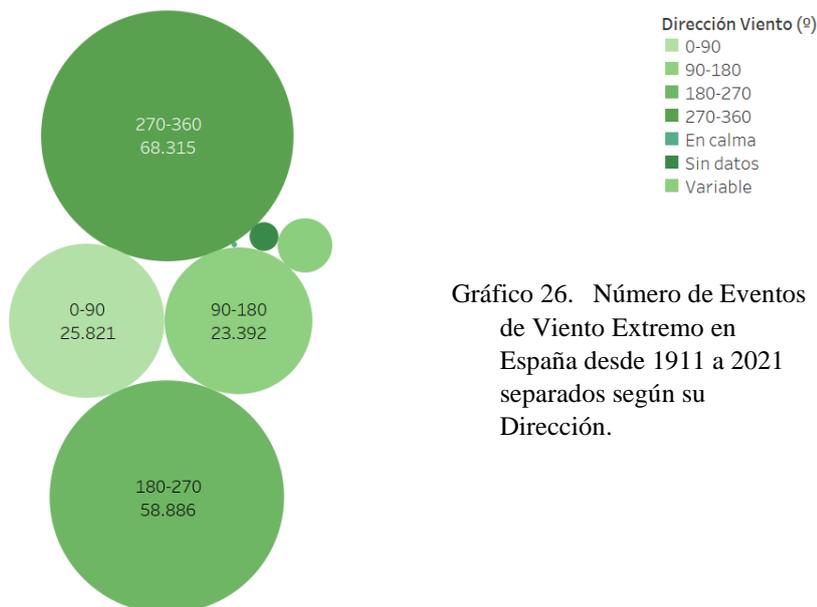


Gráfico 26. Número de Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 a 2021 separados según su Dirección.

Para clasificar la dirección de estas rachas, se atiende el siguiente criterio. Si lleva una dirección entre 0° y 90°, noreste; si lleva una dirección entre 90° y 180°, noroeste; si lleva una dirección entre 180° y 270°, suroeste; si lleva una dirección entre 270° y 360°, sureste (WIND22). Además, se tiene en cuenta que la dirección de las rachas puede ser variable,

estar en calma o no tener datos. Atendiendo a esta clasificación, se han dado los siguientes casos:

- Noreste: se han dado 25.821 casos, un 14,30% del total.
- Noroeste: se han dado 23.393 casos, un 12,96% del total.
- Suroeste: se han dado 58.886 casos, un 32,62% del total.
- Sureste: se han dado 68.315 casos, un 37,84% del total.
- Sin datos: se han dado 898 casos, un 0,49% del total.
- Variable: se han dado 3.195 caos, un 1,77% del total.
- En calma: se han dado 34 casos, un 0,019% del total.

Repeticiones de los Eventos de Viento Extremo por Dirección

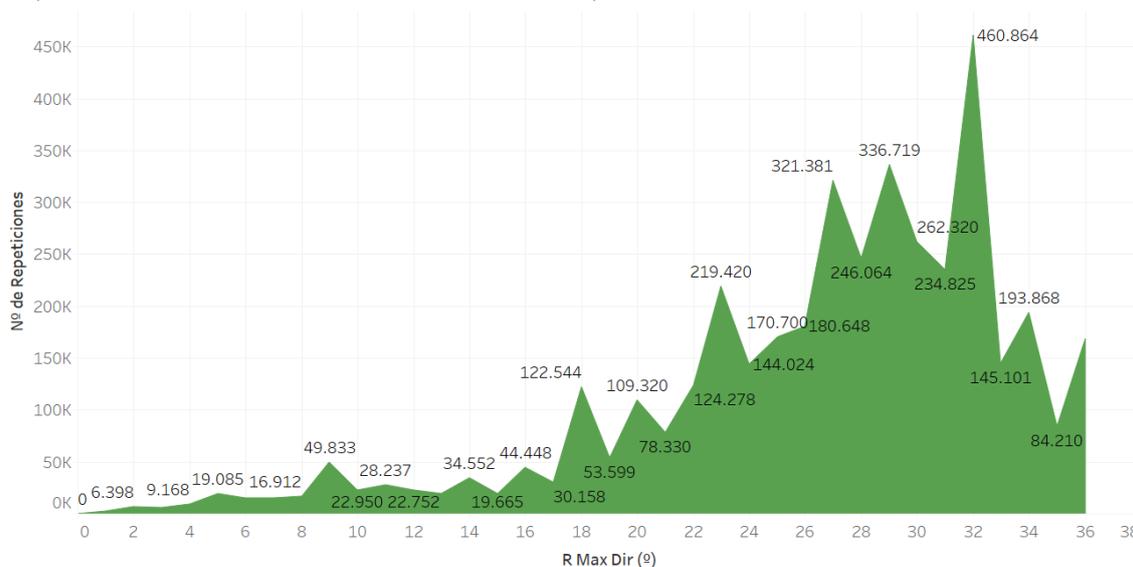


Gráfico 27. Repetición del Número Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 por su Dirección (°).

Se puede observar cómo hay una tendencia a que los eventos de viento extremo ocurran de norte a sur. Más concretamente de noroeste a sureste. Esto se debe principalmente a la influencia del litoral cantábrico y atlántico y las isobaras de presión que se forman por estas zonas (MOLI15).

En cuanto a los principales estadísticos sin contar con los episodios variables o sin datos, la media es de 22,78°, la mediana de 25° y la desviación típica de 9,331°. Al ser la mediana superior a la media y por lo que se puede observar en el Gráfico 27, esta es la primera variable que presenta una asimetría negativa o a la izquierda. Por lo tanto, no parece útil tomar logaritmos con esta variable. El cuartil superior se sitúa en 30° y el cuartil inferior en 18°, por lo que el recorrido intercuartílico es de 12°. Los outliers por encima aparecerán a partir de 48°, por lo que no se va a dar ninguno ya que es imposible. Por abajo, aparecerán a partir de 0°, por lo que también es imposible y no habrá outliers. El coeficiente relación de Pearson toma un valor de 0,409.

Diagrama de Cajas de los Eventos de Viento Extremos por Dirección de la racha (°)

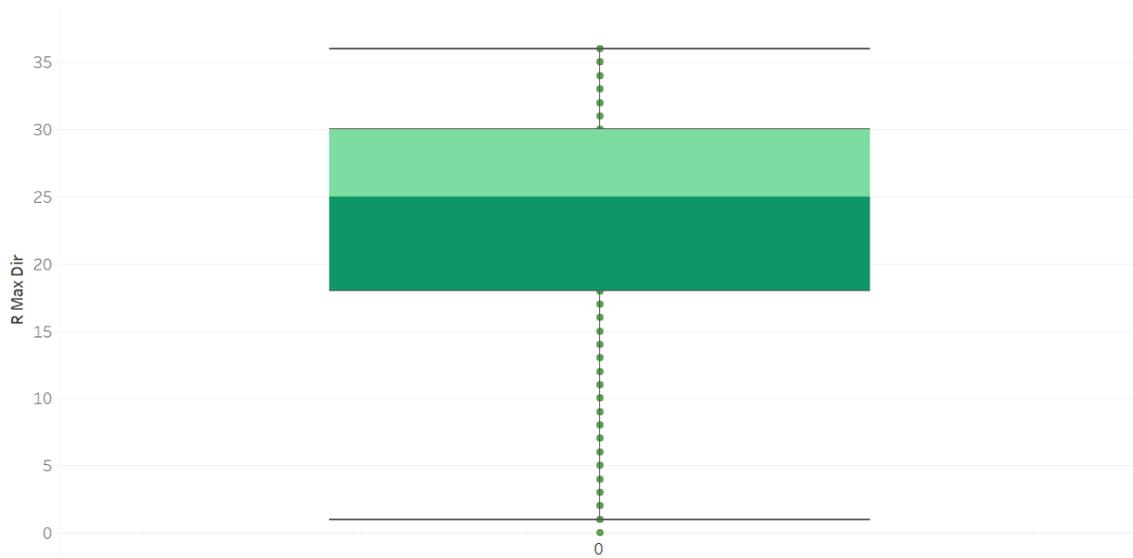


Gráfico 28. Diagrama de Cajas o Bigotes de los Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 según su dirección (°).

| | |
|-------------------|-------|
| MÁXIMO | 36 |
| BIGOTE SUPERIOR | 36 |
| CUARTIL SUPERIOR | 30 |
| MEDIANA | 25 |
| CUARTIL INFERIOR | 18 |
| BIGOTE INFERIOR | 1 |
| MÍNIMO | 0 |
| MEDIA | 22,78 |
| DESVIACIÓN TÍPICA | 9,331 |
| VARIANZA | 87,07 |

Tabla 12. Datos del Diagrama de Cajas o Bigotes de los Eventos de Viento Extremo en España desde 1911 hasta 2021 según su dirección (°).

7. Modelos Econométricos.

Se parte de la premisa de que los modelos estudiados cumplen las “*Hipótesis Básicas del Modelo*”, las cuales, son un conjunto de supuestos que se aplican para simplificar el modelo. A su vez, aportan idoneidad y validez a los métodos usados en el estudio (MART19). Estas hipótesis son:

- Hipótesis sobre las perturbaciones aleatorias (MART19):
 - I. Media Nula: los errores en las observaciones se anulan entre ellos, unos por exceso y otros por defecto. Esto significa que las perturbaciones aleatorias tienen un valor esperado 0 (MART19).
 - II. Homocedasticidad: la variación es constante para todos los individuos. La varianza de las perturbaciones aleatorias es igual para todos. El efecto contrario se denomina heterocedasticidad (MART19).
 - III. Ausencia de Autocorrelación: las perturbaciones aleatorias de los individuos no tienen relación lineal entre sí (MART19).

- Hipótesis sobre las variables explicativas (MART19):
 - IV. Exogeneidad: el valor de las variables explicativas no condiciona el de las perturbaciones aleatorias y viceversa. Esto quiere decir que las covarianzas entre las X's y las u's son 0, que los elementos que aparecen en el modelo y los factores no incluidos no tienen relación. Si no se verifica puede ser que el modelo esté sesgado o sea inconsistente. Puede estar causado debido a la omisión de variables que tienen relevancia en el modelo (MART19).
 - V. Ausencia de multicolinealidad perfecta: similar a la hipótesis básica número III, pero en este caso, no puede existir relación lineal entre las variables explicativas. Ninguna variable independiente puede ser combinación lineal de las otras. Se puede dar este problema debido a la inclusión de variables ficticias (variables redundantes ya que se incluyen todas las modalidades de una variable cualitativa); o por incluir variables que no aportan información. Otro tipo de correlación que se puede dar entre las variables es la multicolinealidad imperfecta grave, que es aquella que se da cuando hay una cierta correlación, no perfecta, entre las variables debido a que no se puede separar el efecto que produce cada una de ellas (MART19).

- Hipótesis sobre la especificación del modelo (MART19):
 - a) Linealidad: los parámetros del modelo son lineales, es decir, no habrá potencias u otras operaciones que comprometan la linealidad del modelo. Sí que podrán aparecer ecuaciones no lineales que se puedan transformar en lineales con alguna operación matemática (MART19).

- b) Ausencia de errores de medida u observación: no ha habido fallos a la hora de tomar las medidas, la estructura del modelo está bien hecha y todas las variables relevantes aparecen (MART19).
- c) Estabilidad estructural: el valor de los parámetros es constante con el paso del tiempo pese a que sea desconocido. Esto obliga a separar los subgrupos que puedan tener parámetros diferentes. Para comprobar la estabilidad estructural se realizará una prueba llamada *Test de Chow* (MART19).
- d) Datos temporales estacionarios o cointegrados: los datos tienen una media y desviación constante en el tiempo, o sí que tienen tendencia, pero a largo plazo hay una relación de equilibrio entre las variables explicativas y la variable endógena (MART19).

Para estimar los valores de los parámetros se utilizará el método de los Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO). Para aplicar este método es necesario entender lo que son los residuos. Estos últimos son la diferencia entre los valores observados y las estimaciones de la variable endógena. En este método, los residuos se elevan al cuadrado para contrarrestar el efecto de anulación de que los residuos puedan ser positivos o negativos. En definitiva, el MCO consiste en hacer mínima la suma de los cuadrados de los valores de los residuos (MART19).

Los parámetros estimados tienen las siguientes propiedades si se cumplen determinadas hipótesis básicas:

- Lineales (MART19).
- Insesgados: la media de todas las estimaciones coincide con el valor real del parámetro (MART19).
- Óptimos: los que son lineales e insesgados tienen una mínima varianza (MART19).
- Consistentes: si la muestra es lo suficientemente grande, es más probable que la estimación se acerque al valor real (MART19).

| Hipótesis Básica | HBI: Media nula | HBII: Homocedasticidad | HBIII: No autocorrelación | HBIV: Exogeneidad | HBV: No colinealidad Perfecta |
|------------------|-----------------|------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Insesgo | √ | | | √ | √ |
| Optimalidad | √ | √ | √ | √ | √ |
| Consistencia | | | | √ | √ |

Tabla 13. Hipótesis que deben verificarse para que los estimadores cumplan las propiedades. (Martínez de Ibarreta Zorita, Borrás Pala, Budría Rodríguez, Curto Gonzalez, & Escobar Torres, 2019)

A continuación, se procederá a realizar un paso básico y esencial, la validación estadística del modelo. En ella, se estudiará si tanto las variables explicativas a nivel individual como el modelo en su conjunto son significativos.

Los contrastes para la validación estadística que se usan en el proyecto son el *Contraste t de significación individual* y el *Contraste F de significación conjunta del modelo*. Los

niveles de confianza habituales con los que se trabajará en los modelos son 1%, 5% y 10%.

El Contraste t de significación individual explica si una variable es significativa o no. Las hipótesis del contraste son las siguientes (MART19):

$$\begin{cases} H_0: \beta_j = 0 \\ H_1: \beta_j \neq 0 \end{cases}$$

Este es un contraste bilateral que como distribución sigue una t-Student. Se rechazará la hipótesis nula a un determinado nivel de confianza, es decir, la variable será significativa, cuando el p-valor sea inferior a este. Lo mismo es que el estadístico t sea lo suficientemente alto (MART19).

El Contraste F de significación conjunta explica si el modelo es significativo en su conjunto o no. En este caso, es un contraste unilateral que sigue una distribución F de Snedecor. Las hipótesis del contraste son las siguientes (MART19):

$$\begin{cases} H_0: \beta_2 = \beta_3 = \beta_4 = \dots = \beta_k = 0 \\ H_1: \beta_j \neq 0 \end{cases}$$

Con esta hipótesis se están añadiendo k-1 restricciones, una por cada variable que aparece en el modelo. En ningún caso se debe incluir el parámetro independiente β_1 en el contraste. De hacerlo, se distorsionaría el contraste, ya que normalmente esto derivaría en rechazar la hipótesis nula cuando no se debería hacer. Con este contraste, otra vez, se rechaza la hipótesis nula para un determinado nivel de confianza cuando el p-valor obtenido sea menor que este (MART19).

Tras realizar la validación del modelo, se pasa a la predicción de valores. Esto solo se hará para el modelo escogido que se ajuste mejor a la muestra. A la hora de realizar una predicción, es necesario distinguir entre una predicción sobre un valor individual y una predicción sobre el valor medio teórico (MART19):

- Predicción sobre un valor individual: simplemente es una predicción para un individuo en concreto. Dentro de ella existe la predicción puntual (se sustituyen los valores de las variables explicativas y se obtiene el valor de la endógena como predicción) y por intervalos (para complementar la puntual) (MART19).
 - Predicción puntual: el error es muy común y es una variable aleatoria hasta que conozcamos el valor real de la endógena. Tiene dos fuentes de incertidumbre: la perturbación aleatoria y el valor estimado para los betas (MART19).
 - Predicción por intervalos: la varianza del error es una estimación. Cuanta más confianza, más ancho es el intervalo. Si aumenta la varianza del error, crece el intervalo (MART19).
- Predicción sobre el valor medio teórico: el proceso es muy parecido al de la predicción sobre un valor individual. En este caso, la media de las perturbaciones aleatorias es nula. Se intenta predecir el valor que tomaría una persona que pertenece a un grupo que tiene características similares (MART19).

Los principales factores que van a influir en la precisión de las predicciones, y por lo tanto, se tendrán en cuenta son: la varianza de las u 's (a más varianza, menos precisión); el tamaño muestral (a más tamaño, más precisión); la variabilidad de las variables explicativas (a más variabilidad, más precisión) (MART19).

Para realizar una buena predicción, hay que distinguir el fin último y el objetivo con el que construimos el modelo. Los modelos pueden tener un fin explicativo (explicar que variables influyen en el resultado) o un fin predictivo (analizar que variable tendrá la Y). Estas son sus características (MART19):

| Características | Fin Explicativo | Fin Predictivo |
|-------------------------------------|-----------------|----------------|
| R2 Elevado | Indiferente | Importante |
| Variables significativas | Importante | Indiferente |
| Alta Colinealidad | Problema | Indiferente |
| Signos de variables coherentes | Importante | Indiferente |
| Endogeneidad por variables omitidas | Problema | Problema |
| Tamaño muestra alto | Importante | Importante |

Tabla 14. Características de los modelos con fines explicativos y predictivos. (Martínez de Ibarreta Zorita, Borrás Pala, Budría Rodríguez, Curto Gonzalez, & Escobar Torres, 2019)

En cuanto a la multicolinealidad, se pondrá especial atención a la multicolinealidad imperfecta grave, ya que es difícil de detectar y corregir. Para su detección se usarán tanto la matriz de covarianzas de las variables explicativas como los VIFs. Pese a que aparezca, los estimadores seguirán siendo óptimos, pero tendrán los siguientes problemas (MART19):

- Imprecisión.
- Inferencia: aumenta la posibilidad de dar la hipótesis nula de que las variables no son significativas cuando sí que lo son (MART19).
- Inestabilidad: con valores cercanos al 0, pequeños cambios provocarán grandes variaciones en las estimaciones (MART19).
- Problemas de Interpretación.

Por último, se revisará si hay problemas de heterocedasticidad, que ocurre cuando la varianza de las perturbaciones aleatorias no es constante. Entre sus posibles causas se encuentran que los datos sean de corte transversal, que haya omisión de una variable importante o por una funcionalidad incorrecta. La forma de detectarla será con los gráficos de los residuos frente a las X 's o con el test de White. En el caso que haya heterocedasticidad, como es un caso práctico y se quieren comparar modelos, se estimará con desviaciones típicas robustas (MART19).

Con todo esto, se realizarán y analizarán distintos modelos para explicar la influencia de distintos factores en la ocurrencia de los eventos de climatológicos extremos en España.

Como nota aclaratoria al análisis de los modelos, parte de la información que se explica de las variables ya ha sido estudiada en el análisis estadístico. Sin embargo, se le vuelve a echar un ojo brevemente ya que es de utilidad para esta sección.

I. Modelos de la variable Temperatura.

Para la estimación de los modelos relacionados con la variable temperatura, se partirá utilizando los datos de España en su conjunto para tener modelos con fin explicativo. Estos modelos, arrojarán información de cómo se comportan los parámetros con relación a la variable endógena. Esto se utilizará para hacer los modelos predictivos, en los cuales ya se han separado los datos del territorio español en noreste, noroeste, sureste y suroeste. La variable endógena que se usará será la temperatura máxima del evento extremo y sus variaciones.

i. Modelo 1.

En primer lugar, se parte de un modelo muy simple en el que se intenta explicar la temperatura en grados centígrados en función de la localización del evento en España. Este modelo simplemente trata de ser un modelo explicativo, para entender como la posición influye en la temperatura. Para partir desde un modelo simple, se limita separar España entre sur y norte.

$$Temperatura = \beta_1 + \beta_2 \times Sur + u$$

- *Temperatura*: variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados.
- β : parámetros del modelo.
- *Sur*: variable explicativa del modelo. Es una variable dicotómica, es decir, puede tomar como valor 0 ó 1. No se incluye la variable *Norte* para evitar que aparezca multicolinealidad perfecta. Se ha distinguido entre norte y sur como se ha explicado anteriormente. Se escoge el Cerro de los Ángeles como centro de la Península Ibérica (PUBL12), y a partir de aquí, las localizaciones con una latitud superior serán norte y con una inferior serán sur.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|-------------|--|----------------------------|----------------|
| Temperatura | Endógena cuantitativa | Grados Centígrados (°C) | + |
| Sur | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |

Tabla 15. Principales datos del modelo 1 de Evento de Temperatura

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|--------------------------|
| Temperatura | 41,03103 | 41 | 40 | 49 | 1,2496 |
| Sur | 0,88444 | 1 | 0 | 1 | 0,31970 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |

| | | | | | |
|-------------|----------|--------|----|------|---|
| Temperatura | 0,030454 | 1,4823 | 40 | 43,6 | 2 |
| Sur | 0,36147 | -2,405 | 0 | 1 | 0 |

Tabla 16. Principales datos del modelo 1 de Evento de Temperatura

Modelo 7: MCO, usando las observaciones 1-168491
 Variable dependiente: TEMPERATURAMAXIMA

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 40.8569 | 0.00894374 | 4568 | 0.0000 | *** |
| SUR | 0.196864 | 0.00951010 | 20.70 | 4.51e-095 | *** |
| Media de la vble. dep. | 41.03103 | D.T. de la vble. dep. | 1.249579 | | |
| Suma de cuad. residuos | 262420.7 | D.T. de la regresión | 1.247996 | | |
| R-cuadrado | 0.002537 | R-cuadrado corregido | 0.002531 | | |
| F(1, 168489) | 428.5090 | Valor p (de F) | 4.51e-95 | | |
| Log-verosimilitud | -276404.7 | Criterio de Akaike | 552813.5 | | |
| Criterio de Schwarz | 552833.6 | Crit. de Hannan-Quinn | 552819.4 | | |

Figura 5. Resultados de la simulación del Modelo 1 de los Eventos de Temperaturas Extremas.

Como se puede observar, la variable explicativa Sur es significativa para los principales niveles de confianza. Esto se debe a que su estadístico t es muy alto con un valor de 20,70. Al seguir una t-student y ser un contraste bilateral el p-valor es aproximadamente 0, lo que provoca que se puede rechazar la hipótesis nula y tomar la variable como significativa casi sin temor a equivocarnos. A su vez, el modelo es significativo en su conjunto. Como ya se ha explicado anteriormente, esta conclusión se obtiene realizando un contraste F de significación conjunta. En este caso, sigue una distribución F de Snedecor, siendo este un contraste unilateral. El valor obtenido para el estadístico F es de 428,509, el cual vuelve a ser muy alto. Con él se obtiene un p-valor que vuelve a estar muy cercano a 0. Por lo tanto, se vuelve a rechazar la hipótesis nula para cualquier nivel de confianza y se puede afirmar que el modelo es significativo en su conjunto.

En cuando a la bondad del ajuste, el R2 del modelo es bajo, con un valor de 0,002537. El R2 corregido, como es lógico, es menor, con un valor de 0,002531.

$$Temperatura = 40,8569 + 0,196864 \times Sur + u$$

ii. Modelo 2.

Este modelo es más complejo, en el cual se añaden más variables. Al añadirse variables, es lógico que el R2 crezca, por lo que no será un buen indicador para ver si el modelo es mejor que el anterior.

$$Temp = \beta_1 + \beta_2 \times Sur + \beta_3 \times Verano + \beta_4 \times Invierno + \beta_5 \times Primavera + u$$

- *Temperatura*: variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados.
- β : parámetros del modelo.
- *Sur*: variable explicativa del modelo. Es una variable dicotómica, es decir, puede tomar como valor 0 ó 1. No se incluye la variable *Norte* para evitar que aparezca multicolinealidad perfecta. Se ha distinguido entre norte y sur como se ha explicado anteriormente. Se escoge el Cerro de los Ángeles como centro de la Península Ibérica (PUBL12), y a partir de aquí, las localizaciones con una latitud superior serán norte y con una inferior serán sur.
- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- ****Otoño*: otoño es la variable que se elige como categoría base para el grupo.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| Temperatura | Endógena cuantitativa | Grados Centígrados (°C) | + |
| Sur | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Verano | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Invierno | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Primavera | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |

Tabla 17. Principales datos del modelo 2 de Evento de Temperatura

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|-------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Temperatura | 41,03103 | 41 | 40 | 49 | 1,2496 |
| Sur | 0,88444 | 1 | 0 | 1 | 0,31970 |
| Verano | 0,94942 | 1 | 0 | 1 | 0,21914 |
| Invierno | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,00597 |
| Primavera | 0,00384 | 0 | 0 | 1 | 0,06189 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |

| | | | | | |
|-------------|----------|---------|----|------|---|
| Temperatura | 0,030454 | 1,4823 | 40 | 43,6 | 2 |
| Sur | 0,36147 | -2,405 | 0 | 1 | 0 |
| Verano | 0,23081 | -4,1018 | 0 | 1 | 0 |
| Invierno | 167,57 | 167,57 | 0 | 0 | 0 |
| Primavera | 16,094 | 16,032 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 18. Principales datos del modelo 2 de Evento de Temperatura

Modelo 24: MCO, usando las observaciones 1-168491
 Variable dependiente: TEMPERATURAMAXIMA
 Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 40.7663 | 0.0160198 | 2545 | 0.0000 | *** |
| SUR | 0.197799 | 0.00881749 | 22.43 | 2.76e-111 | *** |
| VERANO | 0.0950820 | 0.0142677 | 6.664 | 2.67e-011 | *** |
| PRIMAVERA | -0.107877 | 0.0493573 | -2.186 | 0.0288 | ** |
| INVIERNO | -0.964068 | 0.0139481 | -69.12 | 0.0000 | *** |
| Media de la vble. dep. | 41.03103 | D.T. de la vble. dep. | 1.249579 | | |
| Suma de cuad. residuos | 262320.8 | D.T. de la regresión | 1.247770 | | |
| R-cuadrado | 0.002916 | R-cuadrado corregido | 0.002893 | | |
| F(4, 168486) | 28768.14 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | -276372.7 | Criterio de Akaike | 552755.4 | | |
| Criterio de Schwarz | 552805.5 | Crit. de Hannan-Quinn | 552770.2 | | |

Figura 6. Resultados de la simulación del Modelo 2 de los Eventos de Temperaturas Extremas.

Este modelo se ha estimado con desviaciones típicas robustas para corregir los problemas de heterocedasticidad. Como se puede apreciar en la Figura 5, el modelo es significativo en su conjunto para cualquier nivel de confianza. Las variables Sur, Verano, e Invierno también son significativas para cualquier nivel de confianza, al ser el p-valor del Contraste t de significación individual 0 o prácticamente 0. Por otro lado, la variable Primavera es la única que no es significativa para todos los niveles de confianza. Esta lo es para un 10% y 5%, pero no para un α del 1%.

El R2 ha aumentado respecto al modelo 1 como es lógico ya que se han añadido variables. En este caso tiene un valor de 0,002916 y el R2 corregido tiene un valor de 0,002893. En cuanto a la colinealidad, se estudia de dos formas diferentes:

- Matriz de covarianzas de los coeficientes:

| | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Constante | Sur | Verano | Primavera | Invierno | Constante |
| 2,664e-4 | -6,992e-5 | -1,964e-4 | -1,939e-4 | -1,867e-4 | 2,664e-4 |
| | 7,775e-5 | 2,994e-6 | 1,609e-7 | -7,831e-6 | -6,992e-5 |
| | | 2,036e-4 | 1,937e-4 | 1,935e-4 | -1,964e-4 |
| | | | 0,0024 | 1,937e-4 | -1,939e-4 |
| | | | | 1,945e-4 | -1,867e-4 |
| | | | | | 7,775e-5 |
| | | | | | 2,994e-6 |
| | | | | | 1,937e-4 |
| | | | | | 1,935e-4 |
| | | | | | 1,945e-4 |

Tabla 19. Matriz de covarianzas de los coeficientes del modelo 2 de Eventos de Temperatura

Como se puede observar, ningún valor supera el 0,8, más bien son todos muy cercanos al 0. Por lo tanto, se afirma que no hay problemas de multicolinealidad imperfecta grave.

- VIF's de las variables:

| VARIABLE | VIF |
|-----------|-------|
| Sur | 1 |
| Verano | 1,079 |
| Primavera | 1,078 |
| Invierno | 1,001 |

Tabla 20. VIFS del modelo 2 de Evento de Temperatura

Como todos los valores obtenidos son menores que 10, se puede afirmar que no hay problemas de multicolinealidad.

Tras realizar las distintas validaciones del modelo, se obtiene el siguiente resultado con los betas estimados:

$$Temp = 40,7663 + 0,197799 \times Sur + 0,095082 \times Verano - 0,107877 \times Primavera - 0,964068 \times Invierno$$

La interpretación que da a los parámetros estimados es la siguiente:

- Sur: β_2 . Al ser una variable dicotómica mide el efecto diferencial medio. En este caso, si se encuentra en el sur, la temperatura máxima aumentará en 0,197799 grados centígrados.
- Verano: β_3 . Al ser una variable dicotómica mide el efecto diferencial medio. En este caso, si se está en verano, la temperatura máxima aumentará en 0,095082 grados centígrados.
- Primavera: β_4 . Al ser una variable dicotómica mide el efecto diferencial medio. En este caso, si se está en primavera, la temperatura máxima disminuirá en 0,107877 grados centígrados.
- Invierno: β_5 . Al ser una variable dicotómica mide el efecto diferencial medio. En este caso, si se está en invierno, la temperatura máxima disminuirá en 0,964068 grados centígrados.

Este modelo tiene como intención ser explicativo, ya que no cumple algunos de los requisitos para ser predictivo como tener un R2 elevado.

iii. Modelo 3.

Para el siguiente modelo se decide tomar logaritmos de la variable temperatura, ya que en el análisis estadístico se vio que tenía asimetría positiva o a la derecha. Además, para ir completando el modelo, se añade la variable altitud. Esta última también se añade con logaritmo dado su amplio recorrido.

$$\text{Log}(Temp) = \beta_1 + \beta_2 \times \text{Sur} + \beta_3 \times \text{Verano} + \beta_4 \times \text{Invierno} + \beta_5 \times \text{Primavera} + \beta_6 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + u$$

- *Log(Temperatura)*: variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados. Se han añadido logaritmos debido a su simetría a la derecha.
- β : parámetros del modelo.
- *Sur*: variable explicativa del modelo. Es una variable dicotómica, es decir, puede tomar como valor 0 ó 1. No se incluye la variable *Norte* para evitar que aparezca multicolinealidad perfecta. Se ha distinguido entre norte y sur como se ha explicado anteriormente. Se escoge el Cerro de los Ángeles como centro de la Península Ibérica (PUBL12), y a partir de aquí, las localizaciones con una latitud superior serán norte y con una inferior serán sur.
- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- ****Otoño*: otoño es la variable que se elige como categoría base para el grupo.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Se mide en metros. Se han añadido logaritmos debido a su amplio recorrido.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| Log(Temperatura) | Endógena, no lineal, logarítmica | Grados Centígrados (°C) | + |
| Sur | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Verano | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Invierno | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Primavera | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Log(Altitud) | Explicativa, no lineal, logarítmica | Metros (m) | - |

Tabla 21. Principales datos del modelo 3 de Evento de Temperatura

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Temperatura) | 3,7139 | 3,7136 | 3,6889 | 3,8918 | 0,029821 |
| Sur | 0,88444 | 1 | 0 | 1 | 0,31970 |
| Verano | 0,94942 | 1 | 0 | 1 | 0,21914 |
| Invierno | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,00597 |
| Primavera | 0,00384 | 0 | 0 | 1 | 0,06189 |
| Log(Altitud) | 6,6210 | 5,8435 | 0 | 7,4955 | 1,0116 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Temperatura) | 0,0080295 | 1,3914 | 3,6889 | 3,7751 | 0,048790 |
| Sur | 0,36147 | -2,405 | 0 | 1 | 0 |
| Verano | 0,23081 | -4,1018 | 0 | 1 | 0 |
| Invierno | 167,57 | 167,57 | 0 | 0 | 0 |
| Primavera | 16,094 | 16,032 | 0 | 0 | 0 |
| Log(Altitud) | 0,17998 | -1,5592 | 3,4012 | 6,6846 | 1,0491 |

Tabla 22. Principales datos del modelo 3 de Evento de Temperatura

Como se puede observar, se ha corregido el problema de asimetría positiva o a la derecha en la variable endógena. Esto se puede comprobar con la media y la mediana que son prácticamente iguales y solo se diferencian en un 0,0081%. Además, el modelo se vuelve a estimar con desviaciones típicas robustas, ya que es lo más práctico a la hora de corregir la heterocedasticidad.

Modelo 26: MCO, usando las observaciones 1-168491
 Variable dependiente: 1_TEMPERATURAMAXIMA
 Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 3.72004 | 0.000572904 | 6493 | 0.0000 | *** |
| SUR | 0.00404385 | 0.000211636 | 19.11 | 2.67e-081 | *** |
| VERANO | 0.00249254 | 0.000340990 | 7.310 | 2.69e-013 | *** |
| PRIMAVERA | -0.00279486 | 0.00117139 | -2.386 | 0.0170 | ** |
| INVIERNO | -0.0202883 | 0.000356263 | -56.95 | 0.0000 | *** |
| 1_ALTITUD | -0.00215163 | 7.30496e-05 | -29.45 | 3.38e-190 | *** |
| Media de la vble. dep. | 3.713878 | D.T. de la vble. dep. | 0.029821 | | |
| Suma de cuad. residuos | 148.5994 | D.T. de la regresión | 0.029698 | | |
| R-cuadrado | 0.008229 | R-cuadrado corregido | 0.008200 | | |
| F(5, 168485) | 11683.60 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 353452.6 | Criterio de Akaike | -706893.1 | | |
| Criterio de Schwarz | -706832.9 | Crit. de Hannan-Quinn | -706875.3 | | |

Figura 7. Resultados de la simulación del Modelo 3 de los Eventos de Temperaturas Extremas.

Como se ha mencionado anteriormente, el modelo se ha estimado con desviaciones típicas robustas. La variables Sur, Verano, Invierno y Log(Altitud) son significativas

tanto al 1% como al 5% y al 10%. Esto se debe a que al realizar el Contraste t de Student los estadísticos obtenidos son lo suficientemente grandes como para que los p-valor sean 0 o muy cercanos. En cuanto a la significación del modelo en su conjunto, se puede afirmar que el modelo es significativo en su conjunto. Tras realizar el Contraste F se obtiene un Valor p de 0, por lo que el modelo es significativo en su conjunto.

El R2 ha vuelto a aumentar. En este caso tiene un valor de 0,00829 y el R2 corregido tiene un valor de 0,0082. Triplica los valores de los modelos anteriores y solo se ha añadido una variable, cada vez se obtienen mejores modelos para la predicción.

La multicolinealidad se vuelve a estudiar de dos maneras:

- Matriz de Covarianzas de los coeficientes:

| | | | | | | |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|--------------|
| Constante | Sur | Verano | Primavera | Invierno | Log(Altitud) | |
| 3,282e-7 | -4,892e-8 | -1,087e-7 | -1,139e-7 | -6,348e-8 | -3,113e-8 | Constante |
| | 4,479e-8 | 1,537e-9 | 2,281e-10 | -6,538e-9 | 1,539e-9 | Sur |
| | | 1,163e-7 | 1,105e-7 | 1,113e-7 | -6,003e-10 | Verano |
| | | | 1,372e-6 | 1,099e-7 | 5,506e-10 | Primavera |
| | | | | 1,269e-7 | -7,405e-9 | Invierno |
| | | | | | 5,336e-9 | Log(Altitud) |

Tabla 23. Matriz de covarianzas de los coeficientes del modelo 3 de Eventos de Temperatura

Como se puede observar, ningún valor está cerca del 0,8, por lo que no hay problemas de multicolinealidad.

- VIF's de las variables:

| VARIABLE | VIFS |
|--------------|-------|
| Sur | 1,011 |
| Verano | 1,079 |
| Primavera | 1,078 |
| Invierno | 1,001 |
| Log(Altitud) | 1,011 |

Tabla 24. VIFS del modelo 3 de Evento de Temperatura

Otra vez, se puede afirmar que no hay problemas de multicolinealidad perfecta ya que ningún VIF supera el 10.

Tras realizar todos estos análisis, la estimación del modelo queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Log(Temp)} = & 3,72004 + 0,00404385 \times \text{Sur} + 0,00249254 \times \text{Verano} \\ & - 0,00279486 \times \text{Primavera} - 0,0202883 \times \text{Invierno} \\ & - 0,00215163 \times \text{Log(Altitud)} \end{aligned}$$

La interpretación de la estimación de los parámetros procede de la siguiente manera:

- Sur: β_2 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en el Sur, la temperatura máxima aumentará en un 0,404385%.
- Verano: β_3 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en verano, la temperatura máxima aumentará en un 0,249254%.
- Primavera: β_4 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está primavera, la temperatura máxima disminuirá en un 0,279486%.
- Invierno: β_5 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en invierno, la temperatura máxima disminuirá en un 2,02883%.
- Log(Altitud): β_6 . Al ser una interacción logaritmo-logaritmo, la interpretación de la estimación del parámetro se hace a través de la elasticidad. Por lo tanto, as variaciones porcentuales de la variable explicativa provocan variaciones porcentuales en la variable endógena. Si la altitud aumenta o disminuye en un 1%, la temperatura máxima aumentará o disminuirá en un 0,00212163%.

iv. Modelo 4.

El siguiente modelo propone que hay una relación entre el efecto que produce estar en el sur y el estar o no en verano en la temperatura máxima alcanzada. Por ende, en el modelo se introduce el término de interacción entre sur y verano. Se piensa que tiene una relación positiva, es decir, que, si se está en verano y en el sur, es mucho más probable que suba la temperatura máxima de los eventos extremos. Queda el modelo de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Log}(Temp) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Sur} + \beta_3 \times \text{Verano} + \beta_4 \times \text{Invierno} + \beta_5 \times \text{Primavera} \\ & + \beta_6 \times \text{Log(Altitud)} + \beta_7 \times (\text{Verano} * \text{Sur}) + u \end{aligned}$$

- *Log(Temperatura)*: variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados. Se han añadido logaritmos debido a su simetría a la derecha.
- β : parámetros del modelo.
- *Sur*: variable explicativa del modelo. Es una variable dicotómica, es decir, puede tomar como valor 0 ó 1. No se incluye la variable *Norte* para evitar que aparezca multicolinealidad perfecta. Se ha distinguido entre norte y sur como se ha explicado anteriormente. Se escoge el Cerro de los Ángeles como centro de la Península Ibérica (PUBL12), y a partir de aquí, las localizaciones con una latitud superior serán norte y con una inferior serán sur.
- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.

- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- ****Otoño*: otoño es la variable que se elige como categoría base para el grupo.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Se mide en metros. Se han añadido logaritmos debido a su amplio recorrido.
- *Verano*Sur*: variable explicativa. Término de interacción entre el efecto que tiene estar en el sur y que al mismo tiempo sea verano o no.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|------------------|---|-------------------------|----------------|
| Log(Temperatura) | Endógena, no lineal, logarítmica | Grados Centígrados (°C) | + |
| Sur | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Verano | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Invierno | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Primavera | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Log(Altitud) | Explicativa, no lineal, logarítmica | Metros (m) | - |
| Verano*Sur | Explicativa, no lineal, interacción entre dicotómicas | | + |

Tabla 25. Principales datos del modelo 4 de Evento de Temperatura

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Temperatura) | 3,7139 | 3,7136 | 3,6889 | 3,8918 | 0,029821 |
| Sur | 0,88444 | 1 | 0 | 1 | 0,31970 |
| Verano | 0,94942 | 1 | 0 | 1 | 0,21914 |
| Invierno | 0 | 0 | 0 | 1 | 0,00597 |
| Primavera | 0,00384 | 0 | 0 | 1 | 0,06189 |
| Log(Altitud) | 6,6210 | 5,8435 | 0 | 7,4955 | 1,0116 |
| Verano*Sur | 0,83898 | 1 | 0 | 1 | 0,36755 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Temperatura) | 0,0080295 | 1,3914 | 3,6889 | 3,7751 | 0,048790 |
| Sur | 0,36147 | -2,405 | 0 | 1 | 0 |

| | | | | | |
|--------------|---------|---------|--------|--------|--------|
| Verano | 0,23081 | -4,1018 | 0 | 1 | 0 |
| Invierno | 167,57 | 167,57 | 0 | 0 | 0 |
| Primavera | 16,094 | 16,032 | 0 | 0 | 0 |
| Log(Altitud) | 0,17998 | -1,5592 | 3,4012 | 6,6846 | 1,0491 |
| Verano*Sur | 0,43810 | -1,8445 | 0 | 1 | 0 |

Tabla 26. Principales datos del modelo 4 de Evento de Temperatura

Modelo 30: MCO, usando las observaciones 1-168491

Variable dependiente: 1_TEMPERATURAMAXIMA

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|-----------|-------------|--------------|---------------|-----------|-----|
| const | 3.72363 | 0.00109197 | 3410 | 0.0000 | *** |
| VERANO | -0.00125002 | 0.00102614 | -1.218 | 0.2232 | |
| INVIERNO | -0.0198679 | 0.000371120 | -53.54 | 0.0000 | *** |
| PRIMAVERA | -0.00262432 | 0.00117264 | -2.238 | 0.0252 | ** |
| SUR | 4.91486e-05 | 0.00105781 | 0.04646 | 0.9629 | |
| 1_ALTITUD | -0.00215383 | 7.30432e-05 | -29.49 | 1.29e-190 | *** |
| verysur | 0.00418188 | 0.00107927 | 3.875 | 0.0001 | *** |

| | | | |
|------------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| Media de la vble. dep. | 3.713878 | D.T. de la vble. dep. | 0.029821 |
| Suma de cuad. residuos | 148.5864 | D.T. de la regresión | 0.029697 |
| R-cuadrado | 0.008315 | R-cuadrado corregido | 0.008280 |
| F(6, 168484) | 9727.148 | Valor p (de F) | 0.000000 |
| Log-verosimilitud | 353459.9 | Criterio de Akaike | -706905.8 |
| Criterio de Schwarz | -706835.5 | Crit. de Hannan-Quinn | -706884.9 |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 13 (SUR)

Figura 8. Resultados de la simulación del Modelo 4 de los Eventos de Temperaturas Extremas.

Como se puede observar, el añadir la variable interactiva ha provocado que tanto la variable explicativa sur como la variable explicativa verano no sean significativas para los principales niveles de confianza. Aun así, las variables explicativas invierno, Log(Altitud) y la interacción Verano*Sur son significativas para los principales niveles de confianza; la variable Primavera es significativa al 10% y al 5%. Pese a todo esto, el modelo es significativo en su conjunto ya que el p-valor obtenido con el Contraste F de significación conjunta es 0. Esta contradicción se puede deber a un problema de multicolinealidad imperfecta grave. Para comprobar esto último se realizan los siguientes análisis:

- Matriz de Covarianzas de los coeficientes:

| Constante | Verano | Invierno | Primavera | Sur | Log(Altitud) | Verano*Sur | |
|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|--------------|------------|--------------|
| 1,192e-6 | -1,008e-6 | 3,447e-8 | -1,055e-7 | -1,012e-6 | -3,092e-8 | 1,003e-6 | Constante |
| | 1,053e-6 | 9,391e-9 | 1,021e-7 | 1,005e-6 | -8,188e-10 | -1,045e-6 | Verano |
| | | 1,377e-7 | 1,104e-7 | -1,155e-7 | -7,369e-9 | 1,134e-7 | Invierno |
| | | | 1,375e-6 | -9,012e-9 | 5,852e-10 | 9,188e-9 | Primavera |
| | | | | 1,119e-6 | 1,305e-9 | -1,119e-6 | Sur |
| | | | | | 5,335e-9 | 2,535e-10 | Log(Altitud) |
| | | | | | | 1,165e-6 | Verano*Sur |

Tabla 27. Matriz de covarianzas de los coeficientes del modelo 4 de Eventos de Temperatura Extremas

A primera vista, ningún valor de la matriz de covarianzas tiene un valor absoluto cercano a 0,8, lo que no parece indicar multicolinealidad imperfecta grave. Por lo tanto, se requiere de un análisis más profundo para determinar si hay algún problema o no.

- VIF's de las variables:

| VARIABLE | VIF |
|--------------|--------|
| Verano | 9,850 |
| Invierno | 1,001 |
| Primavera | 1,080 |
| Sur | 22,279 |
| Log(Altitud) | 1,011 |
| Verano*Sur | 30,808 |

Tabla 28. VIFS del modelo 4 de Evento de Temperatura

Con el análisis de los VIF's de las variables se puede observar cómo claramente hay problemas de multicolinealidad imperfecta grave. El valor obtenido para Sur y Verano*Sur supera por un margen bastante amplio el umbral de 10, por lo que ya se puede asegurar la existencia del problema en este modelo. Además, la variable Verano no llega a 10, pero se aproxima bastante.

Al existir un problema de multicolinealidad imperfecta grave, este modelo no será utilizado como modelo explicativo. En todo caso, si se termina utilizando, tendrá un fin predictivo, ya que este tipo de modelos no le da importancia a la significación de las variables y a la colinealidad. Por ello, para su corrección, no se hará nada.

v. Modelo 5.

Como se ha podido comprobar en el Modelo 4, la variable interactiva Verano*Sur crea problemas de multicolinealidad perfecta, por lo que se va a eliminar en la estimación de este modelo. Para hacer el modelo más completo que los anteriores, en vez de distinguir entre verano, invierno, primavera y otoño, se va a distinguir por meses. En este caso se tendrá que designar un mes como categoría base. El rasgo característico de la distribución por meses es que no se han dado eventos extremos en España ni en enero ni en diciembre, por lo que hay que omitirlos. Esto se hace para evitar problemas de multicolinealidad perfecta y multicolinealidad imperfecta grave. Añadiendo estas variables se consigue, a priori, aumentar el R2 y el R2 corregido consiguiendo un modelo más afín a un objetivo predictivo. El modelo es el siguiente:

$$\begin{aligned} \text{Log(Temp)} = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Sur} + \beta_3 \times \text{Log(Altitud)} + \beta_4 \times \text{Marzo} + \beta_5 \times \text{Abril} \\ & + \beta_6 \times \text{Mayo} + \beta_7 \times \text{Junio} + \beta_8 \times \text{Julio} + \beta_9 \times \text{Agosto} \\ & + \beta_{10} \times \text{Septiembre} + \beta_{11} \times \text{Octubre} + \beta_{12} \times \text{Noviembre} + u \end{aligned}$$

- Log(Temperatura) : variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados. Se han añadido logaritmos debido a su simetría a la derecha.
- β : parámetros del modelo.

- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Se mide en metros. Se han añadido logaritmos debido a su amplio recorrido.
- *Enero*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en enero y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Febrero*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en febrero y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año. Es la categoría que se escoge como base.
- *Marzo*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en marzo y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Abril*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en abril y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Mayo*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en mayo y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Junio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en junio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Julio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en julio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Agosto*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en agosto y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Septiembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en septiembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Octubre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en octubre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Noviembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en noviembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Diciembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en diciembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.

* Se escoge febrero como categoría base del grupo de variable cualitativas dicotómicas.

** Se omiten las variables enero y diciembre ya que ningún valor ocurre en estos meses. Si se incluyen, lo más probables es que se incurra en problemas de multicolinealidad imperfecta grave, siendo el modelo significativo en su conjunto y las variables no.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|------------------|--------------------------------------|-------------------------|----------------|
| Log(Temperatura) | Endógena, no lineal, logarítmica | Grados Centígrados (°C) | + |
| Sur | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Log(Altitud) | Explicativa, no lineal, logarítmica | Metros (m) | - |
| Marzo | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Abril | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Mayo | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Junio | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Julio | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Agosto | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Septiembre | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Octubre | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Noviembre | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |

Tabla 29. Principales datos del modelo 5 de Evento de Temperatura

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|------------------|----------|---------|--------|--------|-------------------|
| Log(Temperatura) | 3,7139 | 3,7136 | 3,6889 | 3,8918 | 0,029821 |
| Sur | 0,88444 | 1 | 0 | 1 | 0,31970 |
| Log(Altitud) | 6,6210 | 5,8435 | 0 | 7,4955 | 1,0116 |
| Marzo | 0,000148 | 0 | 0 | 1 | 0,01218 |
| Abril | 0,000042 | 0 | 0 | 1 | 0,006445 |
| Mayo | 0,003656 | 0 | 0 | 1 | 0,060354 |
| Junio | 0,099412 | 0 | 0 | 1 | 0,29922 |
| Julio | 0,48255 | 0 | 0 | 1 | 0,4997 |
| Agosto | 0,36746 | 0 | 0 | 1 | 0,48212 |

| | | | | | |
|------------------|-------------|------------------|-----------------|------------------|------------------------------|
| Septiembre | 0,046287 | 0 | 0 | 1 | 0,21011 |
| Octubre | 0,00037391 | 0 | 0 | 1 | 0,019333 |
| Noviembre | 0,0000356 | 0 | 0 | 1 | 0,005967 |
| Variable | | | | | |
| | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Temperatura) | 0,0080295 | 1,3914 | 3,6889 | 3,7751 | 0,048790 |
| Sur | 0,36147 | -2,405 | 0 | 1 | 0 |
| Log(Altitud) | 0,17998 | -1,5592 | 3,4012 | 6,6846 | 1,0491 |
| Marzo | 82,089 | 82,077 | 0 | 0 | 0 |
| Abril | 155,14 | 155,14 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 16,508 | 16,448 | 0 | 0 | 0 |
| Junio | 3,0099 | 2,6776 | 0 | 1 | 0 |
| Julio | 1,0355 | 0,06985 | 0 | 1 | 1 |
| Agosto | 1,312 | 0,54982 | 0 | 1 | 1 |
| Septiembre | 4,5392 | 4,3189 | 0 | 0 | 0 |
| Octubre | 51,706 | 51,686 | 0 | 0 | 0 |
| Noviembre | 167,57 | 167,57 | 0 | 0 | 0 |

Tabla 30. Principales datos del modelo 5 de Evento de Temperatura

Lógicamente, los meses que no pertenecen a verano tienen una media muy baja, una desviación típica cada vez menor y un C.V y constante de asimetría grande y muy similares llegando a ser iguales en algunos meses.

Modelo 38: MCO, usando las observaciones 1-168491
 Variable dependiente: 1_TEMPERATURAMAXIMA
 Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 3.69986 | 0.000572897 | 6458 | 0.0000 | *** |
| SUR | 0.00398490 | 0.000211617 | 18.83 | 5.10e-079 | *** |
| 1_ALTITUD | -0.00215857 | 7.30405e-05 | -29.55 | 1.86e-191 | *** |
| MARZO | 0.0108064 | 0.00392790 | 2.751 | 0.0059 | *** |
| ABRIL | 0.00215345 | 0.00346484 | 0.6215 | 0.5343 | |
| MAYO | 0.0179244 | 0.00117500 | 15.25 | 1.66e-052 | *** |
| JUNIO | 0.0205295 | 0.000247976 | 82.79 | 0.0000 | *** |
| JULIO | 0.0236986 | 0.000160876 | 147.3 | 0.0000 | *** |
| AGOSTO | 0.0221436 | 0.000171626 | 129.0 | 0.0000 | *** |
| SEPTIEMBRE | 0.0203348 | 0.000357797 | 56.83 | 0.0000 | *** |
| OCTUBRE | 0.0142472 | 0.00367484 | 3.877 | 0.0001 | *** |
| NOVIEMBRE | 0.00258365 | 0.00101797 | 2.538 | 0.0111 | ** |
| Media de la vble. dep. | 3.713878 | D.T. de la vble. dep. | 0.029821 | | |
| Suma de cuad. residuos | 148.4139 | D.T. de la regresión | 0.029680 | | |
| R-cuadrado | 0.009467 | R-cuadrado corregido | 0.009402 | | |
| F(11, 168479) | 5307.376 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 353557.8 | Criterio de Akaike | -707091.6 | | |
| Criterio de Schwarz | -706971.2 | Crit. de Hannan-Quinn | -707055.9 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 17 (ABRIL)

Figura 9. Resultados de la simulación del Modelo 4 de los Eventos de Temperaturas Extremas.

Tras la estimación del modelo, se obtiene que las variables que se utilizaron en modelos anteriores, Sur y Log(Altitud) siguen siendo significativas a cualquier nivel de confianza. En cuanto a los meses obtenidos, cabe destacar como Abril, el cual es en el que menos eventos de temperatura extrema se han dado después de febrero, no es significativa a ningún nivel de confianza. Noviembre, que también consta de pocos eventos solo es significativo al 10% y al 5%. En cambio, el resto de los meses sí que son significativos a cualquier nivel de confianza ya que tienen un p-valor en el Contaste t de significación individual de prácticamente 0. En cuanto al modelo en su conjunto, tras realizar el Contraste F de significación conjunta se obtiene un estadístico F de 5.307,376, por lo tanto, el modelo es significativo en su conjunto.

El modelo se ha estimado con desviaciones típicas robustas para corregir los problemas de heterocedasticidad. Como se han añadido muchas variables, lógicamente el R2 y el R2 corregido han aumentado. Se obtiene un R2 de 0,009467 y un R2 corregido de 0,009402. Estos son los más altos hasta el momento, lo que indica que sería el mejor modelo para la predicción. De todas formas, al incluir variables dicotómicas como los meses, es muy posible haber entrado en problemas de multicolinealidad. En este caso, al tener muchas variables, solo se analizarán los VIF's de las variables.

| VARIABLE | VIF |
|--------------|----------|
| Sur | 1,012 |
| Log(Altitud) | 1,012 |
| Marzo | 5,166 |
| Abril | 2,167 |
| Mayo | 103,297 |
| Junio | 2515,215 |
| Julio | 7012,89 |
| Agosto | 6528,258 |
| Septiembre | 1240,716 |
| Octubre | 11,496 |
| Noviembre | 2 |

Tabla 31. VIFS del modelo 5 de Evento de Temperatura

Se han obtenido los resultados esperados. Varias variables tienen unos VIF's muy superiores a 10, por lo que hay problemas de multicolinealidad imperfecta grave. De todas formas, so opta por no hacer nada y tenerlo en cuenta a la hora de extraer conclusiones.

$$\begin{aligned}
 \text{Log(Temp)} = & 3,69986 + 0,0039849 \times \text{Sur} - 0,00215857 \times \text{Log(Altitud)} \\
 & + 0,0108064 \times \text{Marzo} + 0,00215345 \times \text{Abril} + 0,0179244 \times \text{Mayo} \\
 & + 0,0205295 \times \text{Junio} + 0,0236986 \times \text{Julio} + 0,0221436 \times \text{Agosto} \\
 & + 0,0203348 \times \text{Septiembre} + 0,0142472 \times \text{Octubre} \\
 & + 0,00258365 \times \text{Noviembre} + u
 \end{aligned}$$

Tras realizar todos estos modelos, se obtiene que hay problemas de estabilidad estructural en la mayoría. Esto se debe a la gran variación entre zonas que hay en el territorio en el territorio español. Además, en parte debido a esto, se están obteniendo R2 y R2 corregidos

muy bajos para realizar predicciones puntuales o por intervalos. Por ello se decide acotar los datos y dividirlos entre Noreste, Noroeste, Sureste y Suroeste. Esta separación entre este y oeste se ha vuelto a hacer escogiendo el Cerro de los Ángeles como centro de coordenadas (PUBL12). Se comienza a estimar.

vi. Modelos Noreste.

Para la estimación de este modelo se parte de la información obtenida de analizar la variable temperatura en general. Por lo tanto, se comienza con un modelo bastante completo. Ya se tiene en cuenta que hay que añadir logaritmos a la variable temperatura y altitud. Además, se crean variables interactivas entre los meses que forman verano y la variable provincia. Estas interacciones se añaden ya que una de cada tres provincias ha registrado su verano con las temperaturas máximas más altas en los últimos 6 años (OLIV21).

$$\begin{aligned} \text{Log(Temp)} = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log(Altitud)} + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Marzo} + \beta_5 \times \text{Mayo} \\ & + \beta_6 \times \text{Junio} + \beta_7 \times \text{Julio} + \beta_8 \times \text{Agosto} + \beta_9 \times \text{Septiembre} \\ & + \beta_{10} \times \text{Provin} * \text{Junio} + \beta_{11} \times \text{Provin} * \text{Julio} + \beta_{12} \times \text{Provin} * \text{Agosto} \\ & + u \end{aligned}$$

- *Log(Temperatura)*: variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados. Se han añadido logaritmos debido a su simetría a la derecha.
- β : parámetros del modelo.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Se mide en metros. Se han añadido logaritmos debido a su amplio recorrido.
- *Provincia*: variable explicativa. Indica la provincia en la que se encuentra. Es una variable no numérica, pero el propio Gretl les asigna número a las provincias. Por ejemplo, Teruel es un 1, Zaragoza un 2...
- *Marzo*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en marzo y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Mayo*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en mayo y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Junio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en junio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Julio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en julio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Agosto*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en agosto y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.

- *Septiembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en septiembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Octubre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en octubre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año. Se escoge como categoría base.
- *Provin*Junio*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica junio.
- *Provin*Julio*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica julio.
- *Provin*Agosto*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica agosto.

* No se incluyen los meses de Enero, Febrero, Abril, Noviembre y Diciembre ya que no se ha dado ningún evento de temperatura extrema en estos meses en el Noreste de España.

** Se escoge Octubre como categoría base del grupo de variables cualitativas dicotómicas de meses.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Temperatura) | 3,7087 | 3,6939 | 3,6889 | 3,8712 | 0,026507 |
| Log(Altitud) | 5,8329 | 5,8665 | 1,0986 | 7,439 | 0,59951 |
| Marzo | 0,0000716 | 0 | 0 | 1 | 0,0084673 |
| Mayo | 0,0015773 | 0 | 0 | 1 | 0,039685 |
| Junio | 0,13629 | 0 | 0 | 1 | 0,34311 |
| Julio | 0,48552 | 0 | 0 | 1 | 0,49981 |
| Agosto | 0,34865 | 0 | 0 | 1 | 0,47656 |
| Septiembre | 0,027316 | 0 | 0 | 1 | 0,16301 |
| Provin*Junio | 1,0309 | 0 | 0 | 20 | 3,4405 |
| Provin*Julio | 3,377 | 0 | 0 | 20 | 5,2676 |
| Provin*Agosto | 2,6809 | 0 | 0 | 20 | 5,0762 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Temperatura) | 0,0071472 | 1,6488 | 3,6889 | 3,7612 | 0,024693 |
| Log(Altitud) | 0,10278 | -1,1363 | 4,9416 | 6,7405 | 0,72502 |
| Marzo | 118,1 | 118,09 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 25,16 | 25,12 | 0 | 0 | 0 |
| Junio | 2,5175 | 2,1201 | 0 | 1 | 0 |
| Julio | 1,0294 | 0,057954 | 0 | 1 | 1 |
| Agosto | 1,3669 | -1,5965 | 0 | 1 | 1 |
| Septiembre | 5,9675 | 5,7997 | 0 | 0 | 0 |
| Provin*Junio | 3,3374 | 3,7651 | 0 | 11 | 0 |
| Provin*Julio | 1,5598 | 1,5861 | 0 | 17 | 3 |
| Provin*Agosto | 1,8935 | 1,9395 | 0 | 17 | 3 |

Tabla 32. Principales datos del modelo Noreste de Evento de Temperatura Extrema.

Se ha estimado el modelo con desviaciones típicas robustas para corregir los problemas de heterocedasticidad.

```

Modelo 3: MCO, usando las observaciones 1-13948
Variable dependiente: 1_TEMPERATURAMAXIMA
Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

-----
                coeficiente   Desv. típica   Estadístico t   valor p
-----
const           3.74281         0.0122257      306.1           0.0000   ***
1_ALTITUD      -0.00197815         0.000378104    -5.232          1.70e-07   ***
PROVINCIA      -0.000316235         0.000209867    -1.507           0.1319
MARZO          -0.0382651          0.0120054      -3.187           0.0014   ***
MAYO           -0.0288525          0.0124959      -2.309           0.0210   **
JUNIO          -0.0228730          0.0120680      -1.895           0.0581   *
JULIO          -0.0198752          0.0120470      -1.650           0.0990   *
AGOSTO         -0.0233123          0.0120481      -1.935           0.0530   *
SEPTIEMBRE    -0.0178150          0.0120164      -1.483           0.1382
JunioProvin   0.000248076         0.000229523     1.081           0.2798
JulioProvin   9.28132e-05         0.000217364     0.4270          0.6694
AgostoProvin 0.000209108         0.000217303     0.9623          0.3359

Media de la vble. dep.  3.708654   D.T. de la vble. dep.  0.026507
Suma de cuad. residuos  9.739073   D.T. de la regresión   0.026436
R-cuadrado           0.006129   R-cuadrado corregido   0.005345
F(11, 13936)         716.9473   Valor p (de F)         0.000000
Log-verosimilitud    30888.32   Criterio de Akaike     -61752.65
Criterio de Schwarz  -61662.13   Crit. de Hannan-Quinn  -61722.51

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 35 (JulioProvin)

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a PRIMAVERA -
Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]
Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(2) = 4.52018
con valor p = 0.104341
    
```

Figura 10. Resultados de la simulación del Modelo Noreste de los Eventos de Temperaturas Extremas.

Tras estimar el modelo, se obtiene que este es significativo en su conjunto, ya que el p_valor obtenido al realizar el Contraste F de significación conjunta es 0. Sin embargo, solo las variables Log(Altitud) y Marzo son significativas a cualquier nivel de confianza. Mayo lo es al 5% y al 10% y Junio, Julio y Agosto al 10%. Esto se debe a la inclusión de los términos interactivos, que genera problemas de colinealidad como se puede ver a continuación:

- VIF's:

| VARIABLE | VIF |
|---------------|---------|
| Log(Altitud) | 1,014 |
| Provincia | 32,332 |
| Marzo | 1,129 |
| Mayo | 3,76 |
| Junio | 212,849 |
| Julio | 448,305 |
| Agosto | 408,135 |
| Septiembre | 47,345 |
| Junio*Provin | 13,457 |
| Julio*Provin | 27,849 |
| Agosto*Provin | 26,306 |

Tabla 33. VIFS del modelo Noreste de Evento de Temperatura

Como se puede observar, muchas variables tienen VIF's superiores a 10, por lo que crean multicolinealidad imperfecta grave. Otro síntoma de esto es que el modelo es significativo en su conjunto, pero muchas variables no lo son. Como este modelo tiene un fin predictivo, se decide no hacer nada y tenerlo en cuenta a la hora de interpretar los resultados.

En cuanto a la estabilidad estructural, se realiza el test de Chow para contrastarla. Para realizarlo, se ha añadido una variable dummy, Primavera, que indica si el evento de temperatura extrema ha ocurrido en primavera o no (1 sí, 0 no). Se obtiene un p-valor de 0,1044, por lo que no se puede rechazar la hipótesis nula de que hay estabilidad estructural al 1%, al 5% y al 10%.

El R2 y el R2 corregido son aproximadamente 10 veces mayores que en los modelos en los que se analizaba España en su conjunto. Aun así, siguen teniendo un valor muy bajo, siendo el R2 0,006129 y el R2 corregido 0,005354.

$$\begin{aligned} \text{Log(Temp)} = & 3,47281 - 0,00197815 \times \text{Log(Altitud)} - 0,000316235 \times \text{Provincia} \\ & - 0,0382651 \times \text{Marzo} - 0,0288525 \times \text{Mayo} - 0,022873 \times \text{Junio} \\ & - 0,0198752 \times \text{Julio} - 0,0233123 \times \text{Agosto} - 0,0178150 \times \text{Septiembre} \\ & + 0,000248076 \times \text{Provin} * \text{Junio} + 0,0000928132 \times \text{Provin} * \text{Julio} \\ & + 0,000209108 \times \text{Provin} * \text{Agosto} + u \end{aligned}$$

MODELO ALTERNATIVO AÑADIENDO VARIABLE AÑO

Por último, se analiza el mismo modelo, incluyendo la variable año. Además, se piensa que esta tiene un efecto cuadrático: pendiente creciente hasta finales de la década de los 2000-2010. Por esto se añade tanto la variable Año como su cuadrado.

$$\begin{aligned} \text{Log(Temp)} = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log(Altitud)} + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Marzo} + \beta_5 \times \text{Mayo} \\ & + \beta_6 \times \text{Junio} + \beta_7 \times \text{Julio} + \beta_8 \times \text{Agosto} + \beta_9 \times \text{Septiembre} \\ & + \beta_{10} \times \text{Provin} * \text{Junio} + \beta_{11} \times \text{Provin} * \text{Julio} + \beta_{12} \times \text{Provin} * \text{Agosto} \\ & + \beta_{13} \times \text{Año} + \beta_{14} \times \text{Año}^2 + u \end{aligned}$$

- Año: variable explicativa y cuantitativa. Mide el año en el que se produce el efecto y su relación con la temperatura.
- Año cuadrado: variable explicativa. Es la variable año elevada a la segunda potencia ya que se espera que la tendencia cambie de signo con el paso de los años.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Año | 1.985,9 | 1.986 | 1.892 | 2.020 | 20,128 |
| Año^2 | 3.944.200 | 3.944.200 | 3.579.700 | 4.080.400 | 79.816 |

| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Inter cuartílico |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|
| Año | 0,010135 | -0,31957 | 1950 | 2019 | 30 |
| Año^2 | 0,020236 | -0,28590 | 3.802.500 | 4.076.400 | 119.160 |

Tabla 34. Principales datos del modelo Noreste de Evento de Temperatura Extrema variable

A continuación, aparece un problema. Si se trata de estimar el modelo anterior añadiendo las nuevas variables y manteniendo desviaciones típicas robustas se obtiene que hay un problema de estabilidad estructural. Sin embargo, si se omiten las desviaciones típicas robustas esta estabilidad se sigue manteniendo. Ocurre también con distintos modelos anidados con los que se había tratado de solucionar. Si falta uno de los dos, la estimación ya no será óptima.

- Manteniendo la homocedasticidad: desviaciones típicas robustas.

```

Modelo 19: MCO, usando las observaciones 1-13948
Variable dependiente: 1_TEMPERATURAMAXIMA
Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

-----
                coeficiente   Desv. típica   Estadístico t   valor p
-----
const           1.42804           1.36101           1.049           0.2941
1_ALTITUD      -0.00196163          0.000376879       -5.205          1.97e-07 ***
PROVINCIA      -0.000306064          0.000209101       -1.464           0.1433
ANO            0.00241870           0.00137376         1.761           0.0783 *
sq_ANO        -6.31327e-07          3.46535e-07       -1.822           0.0685 *
MARZO         -0.0386549           0.0122635         -3.152           0.0016 ***
MAYO          -0.0284202           0.0127191         -2.234           0.0255 **
JUNIO         -0.0206257           0.0122908         -1.678           0.0933 *
JULIO         -0.0185642           0.0122706         -1.513           0.1303
AGOSTO        -0.0218706           0.0122705         -1.782           0.0747 *
SEPTIEMBRE   -0.0172163           0.0122595         -1.404           0.1602
JunioProvin   0.000260379          0.000229245         1.136           0.2561
JulioProvin   6.91150e-05          0.000216541         0.3192          0.7496
AgostoProvin 0.000208125          0.000216507         0.9613          0.3364

Media de la vble. dep.  3.708654   D.T. de la vble. dep.  0.026507
Suma de cuad. residuos 9.698972   D.T. de la regresión   0.026383
R-cuadrado           0.010222   R-cuadrado corregido   0.009298
F(13, 13934)         619.9792   Valor p (de F)         0.000000
Log-verosimilitud    30917.10   Criterio de Akaike     -61806.20
Criterio de Schwarz  -61700.59   Crit. de Hannan-Quinn  -61771.03

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 35 (JulioProvin)

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a PRIMAVERA -
Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]
Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(4) = 12.2194
con valor p = 0.0157923
    
```

Figura 11. Resultados de la simulación del Modelo Noreste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año.

Este modelo es homocedástico. Además, mantiene la estabilidad estructural al menos al 1%. El R2 es de 0,010222 y el R2 corregido de 0,009298. Han aumentado respecto a cuando no se añade la variable año.

Destaca que en este caso la constante no es significativa. Solo son significativas a cualquier nivel de confianza las variables Log(Altitud) y Marzo. Esto se atribuye a que

se han introduce interacciones entre variables y términos cuadráticos de las variables. El modelo es significativo en su conjunto.

Cabe destacar que la variable cuadrática de año tiene un parámetro negativo, lo que concuerda con la hipótesis de partida, la tendencia de la temperatura máxima cambia de sentido con el paso de los años. Aun así, es muy cercana a 0 y quizás el efecto no sea drástico.

$$\begin{aligned}
 \text{Log(Temp)} = & 1,42804 - 0,0019613 \times \text{Log(Altitud)} - 0,000306064 \times \text{Provincia} \\
 & - 0,0386549 \times \text{Marzo} - 0,0284202 \times \text{Mayo} - 0,0206257 \times \text{Junio} \\
 & - 0,0185642 \times \text{Julio} - 0,0218706 \times \text{Agosto} - 0,0172163 \times \text{Septiembre} \\
 & + 0,000260379 \times \text{Provin} * \text{Junio} + 0,000069225 \times \text{Provin} * \text{Julio} \\
 & + 0,000208125 \times \text{Provin} * \text{Agosto} + 0,0024187 \times \text{Año} \\
 & - 0,000000631327 \times \text{Año}^2 + u
 \end{aligned}$$

- Manteniendo estabilidad estructural: sin desviaciones típicas robustas.

Modelo 21: MCO, usando las observaciones 1-13948
 Variable dependiente: 1_TEMPERATURAMAXIMA

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------|----------|-----|
| const | 1.42808 | 1.49310 | 0.9565 | 0.3389 | |
| 1_ALTITUD | -0.00196163 | 0.000375517 | -5.224 | 1.78e-07 | *** |
| PROVINCIA | -0.000306064 | 0.000216841 | -1.411 | 0.1581 | |
| ANO | 0.00241866 | 0.00150681 | 1.605 | 0.1085 | |
| sq_ANO | -6.31317e-07 | 3.80096e-07 | -1.661 | 0.0967 | * |
| MARZO | -0.0386549 | 0.0280384 | -1.379 | 0.1680 | |
| MAYO | -0.0284202 | 0.0109162 | -2.603 | 0.0092 | *** |
| JUNIO | -0.0206257 | 0.00950447 | -2.170 | 0.0300 | ** |
| JULIO | -0.0185642 | 0.00946775 | -1.961 | 0.0499 | ** |
| AGOSTO | -0.0218706 | 0.00947375 | -2.309 | 0.0210 | ** |
| SEPTIEMBRE | -0.0172163 | 0.00943347 | -1.825 | 0.0680 | * |
| JunioProvin | 0.000260379 | 0.000238204 | 1.093 | 0.2744 | |
| JulioProvin | 6.91151e-05 | 0.000223861 | 0.3087 | 0.7575 | |
| AgostoProvin | 0.000208125 | 0.000225766 | 0.9219 | 0.3566 | |
| Media de la vble. dep. | 3.708654 | D.T. de la vble. dep. | 0.026507 | | |
| Suma de cuad. residuos | 9.698972 | D.T. de la regresión | 0.026383 | | |
| R-cuadrado | 0.010222 | R-cuadrado corregido | 0.009298 | | |
| F(13, 13934) | 11.06905 | Valor p (de F) | 4.77e-24 | | |
| Log-verosimilitud | 30917.10 | Criterio de Akaike | -61806.20 | | |
| Criterio de Schwarz | -61700.59 | Crit. de Hannan-Quinn | -61771.03 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 35 (JulioProvin)

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a PRIMAVERA -
 Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]
 Estadístico de contraste: F(4, 13930) = 0.282795
 con valor p = P(F(4, 13930) > 0.282795) = 0.889288

Figura 12. Resultados de la simulación del Modelo Noreste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año.

Al realizar el Test de Chow con una variable dummy “Primavera”, se obtiene un p-valor de 0,8893, por lo que se puede afirmar a los principales niveles de confianza que el modelo mantiene la estabilidad estructural. El R2 tiene un valor de 0,010222 y el R2 corregido de 0,009298.

La únicas variables que son significativas en su conjunto son el $\text{Log}(\text{Altitud})$ y *Mayo*. El modelo es significativo en su conjunto. Otra vez el efecto de la variable Año^2 es negativo, por lo que la hipótesis de partida es la adecuada.

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{Temp}) = & 1,42808 - 0,00196163 \times \text{Log}(\text{Altitud}) - 0,000306064 \times \text{Provincia} \\ & - 0,0386549 \times \text{Marzo} - 0,0284202 \times \text{Mayo} - 0,020657 \times \text{Junio} \\ & - 0,0186542 \times \text{Julio} - 0,0218706 \times \text{Agosto} - 0,0172163 \times \text{Septiembre} \\ & + 0,000260379 \times \text{Provin} * \text{Junio} + 0,0000691151 \times \text{Provin} * \text{Julio} \\ & + 0,0002081 \times \text{Provin} * \text{Agosto} + 0,00241866 \times \text{Año} \\ & - 0,00000631317 \times \text{Año}^2 + u \end{aligned}$$

vii. Modelos Noroeste.

En este caso solo se utilizan los datos de los eventos de temperatura extrema que han ocurrido en el noroeste del territorio español. Al igual que en el caso de los eventos del noreste, se toman logaritmos en altitud y temperatura, y se añaden las mismas interacciones.

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{Temp}) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Mayo} + \beta_5 \times \text{Junio} \\ & + \beta_6 \times \text{Julio} + \beta_7 \times \text{Agosto} + \beta_8 \times \text{Septiembre} + \beta_9 \times \text{Provin} * \text{Junio} \\ & + \beta_{10} \times \text{Provin} * \text{Julio} + \beta_{11} \times \text{Provin} * \text{Agosto} + u \end{aligned}$$

- $\text{Log}(\text{Temperatura})$: variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados. Se han añadido logaritmos debido a su simetría a la derecha.
- β : parámetros del modelo.
- $\text{Log}(\text{Altitud})$: variable explicativa. Se mide en metros. Se han añadido logaritmos debido a su amplio recorrido.
- *Provincia*: variable explicativa. Indica la provincia en la que se encuentra. Es una variable no numérica, pero el propio Gretl les asigna número a las provincias. Por ejemplo, Asturias es un 1, Cantabria un 2...
- *Abril*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en abril y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año. Se escoge como categoría base.
- *Mayo*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en mayo y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Junio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en junio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Julio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en julio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.

- *Agosto*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en agosto y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Septiembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en septiembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Provin*Junio*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica junio.
- *Provin*Julio*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica julio.
- *Provin*Agosto*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica agosto.

* No se incluyen los meses de Enero, Febrero, Marzo, Octubre, Noviembre y Diciembre ya que no se ha dado ningún evento de temperatura extrema en estos meses en el Noreste de España.

** Se escoge Abril como categoría base del grupo de variables cualitativas dicotómicas de meses.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|------------------|------------|-----------|----------|-----------|------------------------|
| Log(Temperatura) | 3,7123 | 3,7062 | 3,6889 | 3,8501 | 0,029199 |
| Log(Altitud) | 6,1116 | 6,4846 | 1,6094 | 7,3065 | 0,80107 |
| Abril | 0,00018106 | 0 | 0 | 1 | 0,013456 |
| Mayo | 0,002897 | 0 | 0 | 1 | 0,05375 |
| Junio | 0,099946 | 0 | 0 | 1 | 0,29995 |
| Julio | 0,46786 | 0 | 0 | 1 | 0,49901 |
| Agosto | 0,35072 | 0 | 0 | 1 | 0,47724 |
| Septiembre | 0,078399 | 0 | 0 | 1 | 0,26882 |
| Provin*Junio | 0,91182 | 0 | 0 | 16 | 2,9255 |
| Provin*Julio | 4,5381 | 0 | 0 | 16 | 5,4095 |
| Provin*Agosto | 3,4304 | 0 | 0 | 16 | 5,1578 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Inter cuartílico |
| Log(Temperatura) | 0,0078655 | 1,4664 | 3,6889 | 3,7728 | 0,036814 |
| Log(Altitud) | 0,13107 | -1,2942 | 4,7536 | 6,8265 | 0,91499 |
| Abril | 74,317 | 7,297 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 18,554 | 18,498 | 0 | 0 | 0 |
| Junio | 3,0012 | 2,6677 | 0 | 1 | 0 |
| Julio | 1,0666 | 0,12882 | 0 | 1 | 1 |
| Agosto | 1,3608 | 0,62568 | 0 | 1 | 1 |
| Septiembre | 3,4289 | 3,1369 | 0 | 1 | 0 |
| Provin*Junio | 3,2084 | 3,2032 | 0 | 10 | 0 |
| Provin*Julio | 1,192 | 0,6484 | 0 | 15 | 10 |
| Provin*Agosto | 1,5036 | 1,1094 | 0 | 15 | 10 |

Tabla 35. Principales datos del modelo Noroeste de Evento de Temperatura Extrema.

Como viene a ser costumbre, se ha estimado el modelo con desviaciones típicas robustas para corregir los problemas de heterocedasticidad.

```

Modelo 5: MCO, usando las observaciones 1-5523
Modelo 5: MCO, usando las observaciones 1-5523
Variable dependiente: l_TEMPERATURAMAXIMA
Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

```

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 3.70951 | 0.00630378 | 588.5 | 0.0000 | *** |
| l_ALTITUD | -0.00440454 | 0.000526811 | -8.361 | 7.81e-017 | *** |
| PROVINCIA | 0.000433719 | 0.000322036 | 1.347 | 0.1781 | |
| MAYO | 0.0127425 | 0.00510054 | 2.498 | 0.0125 | ** |
| JUNIO | 0.0336291 | 0.00634529 | 5.300 | 1.20e-07 | *** |
| JULIO | 0.0295136 | 0.00535300 | 5.513 | 3.68e-08 | *** |
| AGOSTO | 0.0259491 | 0.00536654 | 4.835 | 1.37e-06 | *** |
| SEPTIEMBRE | 0.0239640 | 0.00268624 | 8.921 | 6.18e-019 | *** |
| ProvinJunio | -0.00107236 | 0.000484565 | -2.213 | 0.0269 | ** |
| ProvinJulio | -0.000254107 | 0.000353018 | -0.7198 | 0.4717 | |
| ProvinAgosto | -0.000148141 | 0.000352656 | -0.4201 | 0.6744 | |
| Media de la vble. dep. | 3.712329 | D.T. de la vble. dep. | 0.029199 | | |
| Suma de cuad. residuos | 4.616555 | D.T. de la regresión | 0.028940 | | |
| R-cuadrado | 0.019428 | R-cuadrado corregido | 0.017649 | | |
| F(10, 5512) | 364.9537 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 11734.03 | Criterio de Akaike | -23446.06 | | |
| Criterio de Schwarz | -23373.28 | Crit. de Hannan-Quinn | -23420.68 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 35 (ProvinAgosto)

Figura 13. Resultados de la simulación del Modelo Noroeste de los Eventos de Temperaturas Extremas.

En este caso sí que se obtienen más variables significativas. El modelo es significativo en su conjunto. Al realizar el Contraste F de significación conjunta, se obtiene un estadístico F de 364,9537, por lo que el p-valor es de 0 y se rechaza la hipótesis de que el modelo no es significativo en su conjunto. Analizando las variables, las únicas que no son significativas a ningún nivel de confianza son Provincia, Provin*Julio y Provin*Agosto. Esto se atribuye a la inclusión de los términos interactivos, ya que se multiplica el valor de la provincia por 0 ó 1. En cambio, tras realizar el Contraste t de significación individual, Mayo y Provin*Junio son significativos al 10% y al 5%, y Log(Altitud), Junio, Julio, Agosto y Septiembre son significativos al 10%, 5% y 1%. A continuación, se estudia la colinealidad:

- VIF's

| VARIABLES | VIFS |
|---------------|----------|
| Log(Altitud) | 1,048 |
| Provincia | 14,435 |
| Mayo | 17,055 |
| Junio | 530,960 |
| Julio | 1452,245 |
| Agosto | 1329,296 |
| Septiembre | 403,327 |
| Provin*Junio | 17,748 |
| Provin*Julio | 38,328 |
| Provin*Agosto | 35,813 |

Tabla 36. VIFS del modelo Noroeste de Evento de Temperatura Extrema.

Todas las variables menos Log(Altitud) tienen VIF's por encima de 10, por lo que todas ellas generan problemas de multicolinealidad imperfecta grave. Como la estimación del modelo sigue siendo posible, y este tiene finalidad predictiva, se opta por no hacer nada y tenerlo en cuenta a la hora de derivar cualquier tipo de conclusión.

Este modelo es estable estructuralmente hablando a cualquier nivel de confianza. Tras realizar el test de Chow con una variable dummy "Primavera", se obtiene un p-valor de 0,1267, el cual es lo suficientemente grande para no rechazar la hipótesis nula de que este modelo es estable al 1%, al 5% y al 10%.

Como se ha mencionado anteriormente, este modelo tiene finalidad predictiva. Para ello es adecuada que conste con un R2 y R2 corregido elevados. Sin embargo, aunque se han aumentado dos órdenes de magnitud respecto a los modelos de España en general, los valores obtenidos son un R2 de 0,019428 y un R2 corregido de 0,017649.

$$\begin{aligned} \text{Log(Temp)} = & 3,70951 - 0,0044054 \times \text{Log(Altitud)} + 0,000433719 \times \text{Provincia} \\ & + 0,0127425 \times \text{Mayo} + 0,0336291 \times \text{Junio} + 0,0295136 \times \text{Julio} \\ & + 0,0259491 \times \text{Agosto} + 0,023964 \times \text{Septiembre} \\ & - 0,00107236 \times \text{Provin} * \text{Junio} - 0,000254107 \times \text{Provin} * \text{Julio} \\ & - 0,000148141 \times \text{Provin} * \text{Agosto} + u \end{aligned}$$

MODELO ALTERNATIVO AÑADIENDO VARIABLE AÑO

Otra vez, se vuelve a estimar un modelo añadiendo la variable año y su variación no lineal en forma de cuadrado. Se piensa que esta tiene el mismo efecto.

$$\begin{aligned} \text{Log(Temp)} = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log(Altitud)} + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Mayo} + \beta_5 \times \text{Junio} \\ & + \beta_6 \times \text{Julio} + \beta_7 \times \text{Agosto} + \beta_8 \times \text{Septiembre} + \beta_9 \times \text{Provin} * \text{Junio} \\ & + \beta_{10} \times \text{Provin} * \text{Julio} + \beta_{11} \times \text{Provin} * \text{Agosto} + \beta_{12} \times \text{Año} \\ & + \beta_{13} \times \text{Año}^2 + u \end{aligned}$$

- Año: variable explicativa y cuantitativa. Mide el año en el que se produce el efecto y su relación con la temperatura.
- Año cuadrado: variable explicativa. Es la variable año elevada a la segunda potencia ya que se espera que la tendencia cambie de signo con el paso de los años.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Año | 1.979,5 | 1981 | 1860 | 2020 | 19,95 |
| Año^2 | 3.918.800 | 3.024.400 | 3.459.600 | 4.080.400 | 78.302 |
| | | | | | |

| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Inter cuartílico |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|------------------------|
| Año | 0,010078 | -1,7275 | 1.955 | 2.008 | 20 |
| Año^2 | 0,019981 | -1,6332 | 3.822.000 | 4.032.100 | 79.200 |

Tabla 37. Principales datos del modelo Noroeste de Evento de Temperatura Extrema variable

Modelo 5: MCO, usando las observaciones 1-5523

Variable dependiente: l_TEMPERATURAMAXIMA

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | -7.37046 | 1.39939 | -5.267 | 1.44e-07 | *** |
| l_ALTITUD | -0.00485564 | 0.000531521 | -9.135 | 8.98e-020 | *** |
| PROVINCIA | 0.000611378 | 0.000321471 | 1.902 | 0.0572 | * |
| MAYO | 0.0125045 | 0.00538077 | 2.324 | 0.0202 | ** |
| JUNIO | 0.0354438 | 0.00628490 | 5.640 | 1.79e-08 | *** |
| JULIO | 0.0303313 | 0.00532316 | 5.698 | 1.28e-08 | *** |
| AGOSTO | 0.0284327 | 0.00535629 | 5.308 | 1.15e-07 | *** |
| SEPTIEMBRE | 0.0244595 | 0.00265272 | 9.221 | 4.12e-020 | *** |
| ANO | 0.0114088 | 0.00142176 | 8.024 | 1.24e-015 | *** |
| sq_ANO | -2.93541e-06 | 3.61306e-07 | -8.124 | 5.50e-016 | *** |
| ProvinJunio | -0.00116996 | 0.000478845 | -2.443 | 0.0146 | ** |
| ProvinJulio | -0.000296688 | 0.000351598 | -0.8438 | 0.3988 | |
| ProvinAgosto | -0.000284816 | 0.000354111 | -0.8043 | 0.4213 | |
| Media de la vble. dep. | 3.712329 | D.T. de la vble. dep. | 0.029199 | | |
| Suma de cuad. residuos | 4.544866 | D.T. de la regresión | 0.028720 | | |
| R-cuadrado | 0.034655 | R-cuadrado corregido | 0.032552 | | |
| F(12, 5510) | 310.8441 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 11777.25 | Criterio de Akaike | -23528.50 | | |
| Criterio de Schwarz | -23442.48 | Crit. de Hannan-Quinn | -23498.50 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 35 (ProvinAgosto)

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a PRIMAVERA -

Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]

Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(4) = 8.53185

con valor p = 0.0739277

Figura 14. Resultados de la simulación del Modelo Noroeste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año.

El modelo se ha estimado con desviaciones típicas robustas para corregir la heterocedasticidad. Tras realizar el contraste F de Snedecor se obtiene que el modelo es significativo en su conjunto. En este caso la constante, Log(Altitud), Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Año y Año^2 son significativas a cualquier nivel de confianza.

El modelo mantiene estabilidad estructural al 1% y al 5%, pero no al 10% de confianza. Esto es porque al hacer el Test de Chow se ha obtenido un p-valor del 7,939277%, por lo que podemos no rechazar la hipótesis nula al 1% y al 5%, pero al 10% debemos rechazarla. El R2 tiene un valor de 0,034655 y el R2 corregido de 0,032552. El efecto que tiene la variable Año^2 es el esperado.

$$\begin{aligned}
\text{Log}(Temp) = & -7,37046 - 0,00485564 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + 0,000611378 \times \text{Provincia} \\
& + 0,0125045 \times \text{Mayo} + 0,0354438 \times \text{Junio} + 0,0303313 \times \text{Julio} \\
& + 0,0284327 \times \text{Agosto} + 0,0244595 \times \text{Septiembre} \\
& - 0,00116996 \times \text{Provin} * \text{Junio} - 0,000296688 \times \text{Provin} * \text{Julio} \\
& - 0,000284816 \times \text{Provin} * \text{Agosto} + 0,0114088 \times \text{Año} \\
& - 0,00000293541 \times \text{Año}^2 + u
\end{aligned}$$

viii. Modelo Sureste

Se sigue la misma metodología de trabajo de los dos modelos anteriores. Esto es, se toman logaritmos de temperatura máxima y altitud, y se añaden términos interactivos entre los meses de verano y la provincia. Además, se espera que las interacciones tengan un efecto más notorio, ya que la región sureste de España fue la zona del Mediterráneo con las olas de calor más intensas en los últimos años (BUI22).

$$\begin{aligned}
\text{Log}(Temp) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Febrero} + \beta_5 \times \text{Marzo} \\
& + \beta_6 \times \text{Abril} + \beta_7 \times \text{Mayo} + \beta_8 \times \text{Junio} + \beta_9 \times \text{Julio} \\
& + \beta_{10} \times \text{Agosto} + \beta_{11} \times \text{Septiembre} + \beta_{12} \times \text{Octubre} \\
& + \beta_{13} \times \text{Noviembre} + \beta_{14} \times \text{Provin} * \text{Junio} + \beta_{15} \times \text{Provin} * \text{Julio} \\
& + \beta_{16} \times \text{Provin} * \text{Agosto} + u
\end{aligned}$$

- *Log(Temperatura)*: variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados. Se han añadido logaritmos debido a su simetría a la derecha.
- β : parámetros del modelo.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Se mide en metros. Se han añadido logaritmos debido a su amplio recorrido.
- *Provincia*: variable explicativa. Indica la provincia en la que se encuentra. Es una variable no numérica, pero el propio Gretl les asigna número a las provincias. Por ejemplo, Teruel es un 1, Zaragoza un 2...
- *Febrero*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en febrero y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Marzo*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en marzo y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Mayo*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en mayo y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Junio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en junio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Julio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en julio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.

- *Agosto*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en agosto y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Septiembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en septiembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Octubre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en octubre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Noviembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en noviembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Diciembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en diciembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año. Se escoge como categoría base.
- *Provin*Junio*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica junio.
- *Provin*Julio*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica julio.
- *Provin*Agosto*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica agosto.

* No se incluyen el mes de Enero, ya que no se ha dado ningún evento de temperatura extrema en estos meses en el Noreste de España.

** Se escoge Diciembre como categoría base del grupo de variables cualitativas dicotómicas de meses.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|------------------|-------------|---------|--------|--------|-------------------|
| Log(Temperatura) | 3,712 | 3,7013 | 3,6889 | 3,8918 | 0,02941 |
| Log(Altitud) | 5,9654 | 6,3835 | 0 | 7,4955 | 0,97952 |
| Febrero | 0,00012668 | 0 | 0 | 1 | 0,011254 |
| Marzo | 0,00060804 | 0 | 0 | 1 | 0,024651 |
| Abril | 0,000076005 | 0 | 0 | 1 | 0,0087179 |
| Mayo | 0,0060551 | 0 | 0 | 1 | 0,077579 |
| Junio | 0,08771 | 0 | 0 | 1 | 0,28228 |
| Julio | 0,51195 | 0 | 0 | 1 | 0,49986 |
| Agosto | 0,36052 | 0 | 0 | 1 | 0,48016 |
| Septiembre | 0,032682 | 0 | 0 | 1 | 0,17781 |
| Octubre | 0,00012668 | 0 | 0 | 1 | 0,011254 |
| Noviembre | 0,00012668 | 0 | 0 | 1 | 0,011254 |
| Provin*Junio | 0,75384 | 0 | 0 | 16 | 2,9016 |
| Provin*Julio | 4,5848 | 1 | 0 | 16 | 5,8952 |
| Provin*Agosto | 3,2652 | 0 | 0 | 16 | 5,4529 |

| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
|------------------|-----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Temperatura) | 0,0079228 | 1,5303 | 3,6889 | 3,7728 | 0,036814 |
| Log(Altitud) | 0,1642 | -1,8284 | 3,8501 | 6,8427 | 0,88239 |
| Febrero | 88,845 | 88,832 | 0 | 0 | 0 |
| Marzo | 40,542 | 40,517 | 0 | 0 | 0 |
| Abril | 114,7 | 114,69 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 12,812 | 12,734 | 0 | 0 | 0 |
| Junio | 3,2251 | 2,915 | 0 | 1 | 0 |
| Julio | 0,9764 | -0,047796 | 0 | 1 | 1 |
| Agosto | 1,3319 | 0,58099 | 0 | 1 | 1 |
| Septiembre | 5,4404 | 5,2566 | 0 | 0 | 0 |
| Octubre | 88,845 | 88,832 | 0 | 0 | 0 |
| Noviembre | 88,845 | 88,832 | 0 | 0 | 0 |
| Provin*Junio | 3,8491 | 4,0201 | 0 | 9 | 0 |
| Provin*Julio | 1,2858 | 0,81783 | 0 | 16 | 10 |
| Provin*Agosto | 1,67 | 1,3523 | 0 | 16 | 6 |

Tabla 38. Principales datos del modelo Sureste de Evento de Temperatura

Debido a los problemas de heterocedasticidad se estima el modelo con desviaciones típicas robustas. Esto garantiza cumplir una de las hipótesis básicas de los modelos.

Modelo 2: MCO, usando las observaciones 1-39471

Variable dependiente: l_TEMPERATURAMAXIMA

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 3.70737 | 0.00118687 | 3124 | 0.0000 | *** |
| l_ALTITUD | -0.00273093 | 0.000168207 | -16.24 | 4.40e-059 | *** |
| PROVINCIA | -3.77672e-05 | 0.000138474 | -0.2727 | 0.7851 | |
| FEBRERO | 0.000660009 | 0.000146334 | 4.510 | 6.49e-06 | *** |
| MARZO | 0.0118102 | 0.00407824 | 2.896 | 0.0038 | *** |
| ABRIL | 0.00854550 | 0.00573545 | 1.490 | 0.1362 | |
| MAYO | 0.0222743 | 0.00241965 | 9.206 | 3.56e-020 | *** |
| JUNIO | 0.0229172 | 0.000949870 | 24.13 | 1.11e-127 | *** |
| JULIO | 0.0236632 | 0.000498797 | 47.44 | 0.0000 | *** |
| AGOSTO | 0.0224841 | 0.000539447 | 41.68 | 0.0000 | *** |
| SEPTIEMBRE | 0.0176228 | 0.00114449 | 15.40 | 2.42e-053 | *** |
| OCTUBRE | 0.00724279 | 0.00429711 | 1.686 | 0.0919 | * |
| NOVIEMBRE | 0.00365253 | 0.00110269 | 3.312 | 0.0009 | *** |
| ProvinJunio | -0.000440741 | 0.000163010 | -2.704 | 0.0069 | *** |
| ProvinJulio | -0.000100895 | 0.000143899 | -0.7011 | 0.4832 | |
| ProvinAgosto | -0.000269188 | 0.000144600 | -1.862 | 0.0627 | * |
| Media de la vble. dep. | 3.712017 | D.T. de la vble. dep. | 0.029410 | | |
| Suma de cuad. residuos | 33.77898 | D.T. de la regresión | 0.029260 | | |
| R-cuadrado | 0.010531 | R-cuadrado corregido | 0.010154 | | |
| F(15, 39455) | 1648.750 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 83394.44 | Criterio de Akaike | -166756.9 | | |
| Criterio de Schwarz | -166619.6 | Crit. de Hannan-Quinn | -166713.4 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 5 (PROVINCIA)

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a PRIMAVERA -

Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]

Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(2) = 2.39271

con valor p = 0.302294

Figura 15. Resultados de la simulación del Modelo Sureste de los Eventos de Temperaturas Extremas.

Se obtiene un buen resultado en cuanto a la significación de las variables. Tras realizar el Contraste t de significación individual, se extraen los siguientes resultados para las variables:

- Log(Altitud), Febrero, Marzo, Mayo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre, Noviembre y Provin*Junio son significativas al 10%, 5% y 1 %.
- Octubre y Provin*Agosto: son significativas al 10%.
- Provincia y Provin*Julio no son significativas a ningún nivel de confianza.

Los casos en los que las variables no son significativas se atribuyen al efecto que tienen en la colinealidad las variables interactivas. Para estudiar la significación del modelo en su conjunto se realiza un Contraste F de significación conjunta. Los resultados obtenidos arrojan un p-valor del 0%, por lo que se puede afirmar con rotundidad que el modelo es significativo en su conjunto. A continuación, se estudia la colinealidad del modelo:

- VIF's:

| VARIABLES | VIFS |
|---------------|-----------|
| Log(Altitud) | 1,153 |
| Provincia | 28,054 |
| Febrero | 5,999 |
| Marzo | 24,987 |
| Abril | 4,002 |
| Mayo | 238,969 |
| Junio | 3.161,938 |
| Julio | 9.864,956 |
| Agosto | 9.103,129 |
| Septiembre | 1.250,072 |
| Octubre | 5,999 |
| Noviembre | 5,999 |
| Provin*Junio | 11,412 |
| Provin*Julio | 35,609 |
| Provin*Agosto | 31,191 |

Tabla 39. VIFS del modelo Sureste de Evento de Temperatura

Como viene siendo habitual, se obtienen para muchas variables VIF's por encima de 10. Se aplica la misma medida que en los casos anteriores, no hacer nada ya que es un modelo predictivo.

Por último, se realiza el Test de Chow para comprobar la estabilidad estructural. Para ello se crea una variable dummy "Primavera", la cual toma valor 1 si el evento ha ocurrido en primavera y 0 de cualquier otra manera. De esta forma, se obtiene un p-valor de 0,3023. Por ende, no se puede rechazar la hipótesis nula de que hay estabilidad a los principales niveles de confianza.

El R2 tiene un valor de 0,010531 y el R2 corregido un valor de 0,010154.

$$\begin{aligned} \text{Log}(Temp) = & 3,70737 - 0,00273093 \times \text{Log}(\text{Altitud}) - 0,0000377672 \times \text{Provincia} \\ & + 0,00066001 \times \text{Febrero} + 0,0118102 \times \text{Marzo} + 0,0085455 \times \text{Abril} \\ & + 0,0222743 \times \text{Mayo} + 0,0229172 \times \text{Junio} + 0,0236632 \times \text{Julio} \\ & + 0,000440741 \times \text{Provin} * \text{Junio} - 0,000100895 \times \text{Provin} * \text{Julio} \\ & - 0,000269188 \times \text{Provin} * \text{Agosto} + u \end{aligned}$$

MODELO ALTERNATIVO AÑADIENDO VARIABLE AÑO

Se analiza cómo influye la variable Año y su cuadrático en el modelo. Se espera que el segundo tenga el efecto que refleja la distribución de frecuencias, una parábola invertida.

$$\begin{aligned} \text{Log}(Temp) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Febrero} \\ & + \beta_5 \times \text{Marzo} + \beta_6 \times \text{Abril} + \beta_7 \times \text{Mayo} + \beta_8 \times \text{Junio} + \beta_9 \times \text{Julio} \\ & + \beta_{10} \times \text{Agosto} + \beta_{11} \times \text{Septiembre} \\ & + \beta_{12} \times \text{Octubre} + \beta_{13} \times \text{Noviembre} + \beta_{14} \times \text{Provin} * \text{Junio} \\ & + \beta_{15} \times \text{Provin} * \text{Julio} + \beta_{16} \times \text{Provin} * \text{Agosto} + \beta_{17} \times \text{Año} \\ & + \beta_{18} \times \text{Año}^2 + u \end{aligned}$$

- Año: variable explicativa y cuantitativa. Mide el año en el que se produce el efecto y su relación con la temperatura.
- Año cuadrado: variable explicativa. Es la variable año elevada a la segunda potencia ya que se espera que la tendencia cambie de signo con el paso de los años.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| Año | 1.986,6 | 1.989 | 1.863 | 2.020 | 22,672 |
| Año^2 | 3.947.000 | 3.956.100 | 3.470.800 | 4.080.400 | 89.716 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Año | 0,011412 | -0,71234 | 1.947 | 2.017 | 35 |
| Año^2 | 0,02273 | -0,67406 | 3.790.800 | 4.068.300 | 139.130 |

Tabla 40. Principales datos del modelo Sureste de Evento de Temperatura Extrema variable

Modelo 16: MCO, usando las observaciones 1-39471
 Variable dependiente: l_TEMPERATURAMAXIMA
 Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 5.17942 | 0.825056 | 6.278 | 3.47e-010 | *** |
| l_ALTITUD | -0.00273410 | 0.000168241 | -16.25 | 3.42e-059 | *** |
| PROVINCIA | -5.08488e-05 | 0.000138870 | -0.3662 | 0.7142 | |
| ANO | -0.00144223 | 0.000833123 | -1.731 | 0.0834 | * |
| sq_ANO | 3.52880e-07 | 2.10333e-07 | 1.678 | 0.0934 | * |
| MARZO | 0.0105224 | 0.00407175 | 2.584 | 0.0098 | *** |
| ABRIL | 0.00658064 | 0.00639806 | 1.029 | 0.3037 | |
| MAYO | 0.0227457 | 0.00241847 | 9.405 | 5.47e-021 | *** |
| JUNIO | 0.0234895 | 0.000971431 | 24.18 | 3.09e-128 | *** |
| JULIO | 0.0242199 | 0.000525162 | 46.12 | 0.0000 | *** |
| AGOSTO | 0.0229297 | 0.000564413 | 40.63 | 0.0000 | *** |
| SEPTIEMBRE | 0.0178139 | 0.00114607 | 15.54 | 2.55e-054 | *** |
| OCTUBRE | 0.00617755 | 0.00478923 | 1.290 | 0.1971 | |
| NOVIEMBRE | 0.00198778 | 0.00114288 | 1.739 | 0.0820 | * |
| FEBRERO | -0.000737934 | 0.000283799 | -2.600 | 0.0093 | *** |
| ProvinJunio | -0.000444317 | 0.000163216 | -2.722 | 0.0065 | *** |
| ProvinJulio | -0.000121424 | 0.000144231 | -0.8419 | 0.3999 | |
| ProvinAgosto | -0.000279873 | 0.000144961 | -1.931 | 0.0535 | * |
| Media de la vble. dep. | 3.712017 | D.T. de la vble. dep. | 0.029410 | | |
| Suma de cuad. residuos | 33.73454 | D.T. de la regresión | 0.029241 | | |
| R-cuadrado | 0.011832 | R-cuadrado corregido | 0.011406 | | |
| F(17, 39453) | 1474.297 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 83420.42 | Criterio de Akaike | -166804.8 | | |
| Criterio de Schwarz | -166650.3 | Crit. de Hannan-Quinn | -166755.9 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 5 (PROVINCIA)

Figura 16. Resultados de la simulación del Modelo Sureste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año.

En este caso, la variable Año² tiene el efecto contrario al esperado, ya que su parámetro es mayor que 0. El modelo es significativo en su conjunto, ya que en el Contraste F de significación conjunta se ha obtenido un p-valor de 0. La constante, Log(Altitud), Febrero, Marzo, Junio, Julio, Agosto, Septiembre y Provin*Junio son significativas a los principales niveles de confianza.

El modelo se ha estimado con desviaciones típicas robustas para corregir la heterocedasticidad. Sin embargo, no se consigue estabilidad estructural ni con este modelo ni con ninguno anidado.

Se decide optar por el siguiente modelo, más sencillo. Se cambian las variables de los meses por la de las estaciones.

$$\begin{aligned}
 \text{Log(Temp)} = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log(Altitud)} + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Año} + \beta_5 \times \text{Año}^2 \\
 & + \beta_6 \times \text{Verano} + \beta_7 \times \text{Otoño} + \beta_8 \times \text{Primavera} + \beta_5 \times \text{Verano} \\
 & * \text{Provin} + u
 \end{aligned}$$

- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño

y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.

- *Otoño*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Verano*Provin*: variable explicativa. Resulta de la interacción entre Verano y la Provincia en la que se produzca el evento.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|---------------|-----------|---------|--------|--------|-------------------|
| Verano | 0,96017 | 1 | 0 | 1 | 0,19555 |
| Otoño | 0,032936 | 0 | 0 | 1 | 0,17847 |
| Primavera | 0,0067391 | 0 | 0 | 1 | 0,081816 |
| Provin*Verano | 8,6039 | 10 | 0 | 16 | 5,5793 |

| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
|---------------|---------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Verano | 0,20367 | -4,7064 | 1 | 1 | 0 |
| Otoño | 5,4188 | 5,2342 | 0 | 0 | 0 |
| Primavera | 12,14 | 12,058 | 0 | 0 | 0 |
| Provin*Verano | 0,64847 | -0,20429 | 1 | 16 | 10 |

Tabla 41. Principales datos del modelo Sureste de Evento de Temperatura Extrema variable

Se ha añadido la variable interactiva Verano*Provincia por la misma razón de antes con los meses. Nos encontramos otra vez con el problema de que, si se mantiene la homocedasticidad, el modelo carece de estabilidad estructural y viceversa.

- Corrigiendo la heterocedasticidad:

```

Modelo 17: MCO, usando las observaciones 1-39471
Variable dependiente: l_TEMPERATURAMAXIMA
Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCL

```

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p |
|--------------|--------------|--------------|---------------|---------------|
| const | 4.64783 | 0.821752 | 5.656 | 1.56e-08 *** |
| l_ALTITUD | -0.00268451 | 0.000167945 | -15.98 | 2.48e-057 *** |
| PROVINCIA | 2.06237e-05 | 0.000136269 | 0.1513 | 0.8797 |
| ANO | -0.000904038 | 0.000829896 | -1.089 | 0.2760 |
| sq_ANO | 2.16374e-07 | 2.09507e-07 | 1.033 | 0.3017 |
| VERANO | 0.0245647 | 0.000573465 | 42.84 | 0.0000 *** |
| OTONO | 0.0180357 | 0.00107924 | 16.71 | 1.77e-062 *** |
| PRIMAVERA | 0.0217543 | 0.00216415 | 10.05 | 9.60e-024 *** |
| ProvinVerano | -0.000278726 | 0.000138693 | -2.010 | 0.0445 ** |

| | | | |
|------------------------|-----------|-----------------------|-----------|
| Media de la vble. dep. | 3.712017 | D.T. de la vble. dep. | 0.029410 |
| Suma de cuad. residuos | 33.83166 | D.T. de la regresión | 0.029280 |
| R-cuadrado | 0.008988 | R-cuadrado corregido | 0.008787 |
| F(8, 39462) | 1910.417 | Valor p (de F) | 0.000000 |
| Log-verosimilitud | 83363.69 | Criterio de Akaike | -166709.4 |
| Criterio de Schwarz | -166632.1 | Crit. de Hannan-Quinn | -166684.9 |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 5 (PROVINCIA)

Figura 17. Resultados de la simulación del Modelo Sureste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año.

El modelo es significativo en su conjunto. Las variables constante, Log(Altitud), Verano, Otoño y Primavera son significativas a los principales niveles de confianza. El R2 es de 0,0089888 y el R2 corregido de 0,008787.

El modelo carece de estabilidad estructural al 10%, pero al 1% y al 5% sí que la mantiene. Esto se debe a que al hacer el Test de Chow con una variable dummy “Junio”, se obtiene un p-valor de 0,053. La variable Año^2 vuelve a no tener el efecto esperado.

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(Temp) = & 4,464783 - 0,00268451 \times \text{Log}(\text{Altitud}) \\
 & + 0,0000206237 \times \text{Provincia} - 0,00090438 \times \text{Año} \\
 & + 0,000000216374 \times \text{Año}^2 + 0,0245647 \times \text{Verano} \\
 & + 0,0180357 \times \text{Otoño} + 0,0217543 \times \text{Primavera} \\
 & - 0,000278726 \times \text{Verano} * \text{Provin} + u
 \end{aligned}$$

- Corrigiendo la estabilidad estructural:

Modelo 18: MCO, usando las observaciones 1-39471
 Variable dependiente: l_TEMPERATURAMAXIMA

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 4.64782 | 0.751835 | 6.182 | 6.39e-010 | *** |
| l_ALTITUD | -0.00268451 | 0.000161227 | -16.65 | 4.89e-062 | *** |
| PROVINCIA | 2.06239e-05 | 0.000142600 | 0.1446 | 0.8850 | |
| ANO | -0.000904022 | 0.000759883 | -1.190 | 0.2342 | |
| sq_ANO | 2.16369e-07 | 1.92013e-07 | 1.127 | 0.2598 | |
| VERANO | 0.0245647 | 0.0119667 | 2.053 | 0.0401 | ** |
| OTONO | 0.0180357 | 0.0120090 | 1.502 | 0.1331 | |
| PRIMAVERA | 0.0217543 | 0.0121315 | 1.793 | 0.0729 | * |
| ProvinVerano | -0.000278726 | 0.000144819 | -1.925 | 0.0543 | * |
| Media de la vble. dep. | 3.712017 | D.T. de la vble. dep. | 0.029410 | | |
| Suma de cuad. residuos | 33.83166 | D.T. de la regresión | 0.029280 | | |
| R-cuadrado | 0.008988 | R-cuadrado corregido | 0.008787 | | |
| F(8, 39462) | 44.73518 | Valor p (de F) | 4.10e-72 | | |
| Log-verosimilitud | 83363.69 | Criterio de Akaike | -166709.4 | | |
| Criterio de Schwarz | -166632.1 | Crit. de Hannan-Quinn | -166684.9 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 5 (PROVINCIA)

Figura 18. Resultados de la simulación del Modelo Sureste de los Eventos de Temperaturas Extremas variable Año.

En este caso, solo la constante y Log(Altitud) son significativas al 1%. El modelo es significativo en su conjunto. El R2 se mantiene en 0,008988 y el R2 corregido en 0,008787.

El modelo tiene heterocedasticidad ya que no se ha estimado con desviaciones típicas robustas. En cuanto a la estabilidad estructural, al hacer el Test de Chow con la variable dummy “Marzo”, se obtiene un p-valor de 0,4188841, el cual es suficientemente grande para no rechazar la hipótesis nula de que hay estabilidad estructural.

$$\begin{aligned}
\text{Log}(\text{Temp}) = & 4,64782 - 0,00268451 \times \text{Log}(\text{Altitud}) \\
& + 0,0000206239 \times \text{Provincia} - 0,000904022 \times \text{Año} \\
& + 0,00000021639 \times \text{Año}^2 + 0,0245647 \times \text{Verano} \\
& + 0,0180357 \times \text{Otoño} + 0,0217543 \times \text{Primavera} \\
& - 0,000278726 \times \text{Verano} * \text{Provin} + u
\end{aligned}$$

ix. Modelo Suroeste.

Este modelo sigue la línea que se ha seguido con el resto de los modelos de temperatura. Se toman logaritmos de la temperatura máxima y de altitud y se añaden las variables interactivas mencionada en los modelos anteriores.

$$\begin{aligned}
\text{Log}(\text{Temp}) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Abril} + \beta_5 \times \text{Mayo} \\
& + \beta_6 \times \text{Junio} + \beta_7 \times \text{Julio} \\
& + \beta_8 \times \text{Agosto} + \beta_9 \times \text{Septiembre} + \beta_{10} \times \text{Octubre} + \beta_{11} \times \text{Provin} \\
& * \text{Junio} + \beta_{12} \times \text{Provin} * \text{Julio} + \beta_{13} \times \text{Provin} * \text{Agosto} + u
\end{aligned}$$

- *Log(Temperatura)*: variable endógena del modelo. Esta se mide en grados centígrados. Se han añadido logaritmos debido a su simetría a la derecha.
- β : parámetros del modelo.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Se mide en metros. Se han añadido logaritmos debido a su amplio recorrido.
- *Provincia*: variable explicativa. Indica la provincia en la que se encuentra. Es una variable no numérica, pero el propio Gretl les asigna número a las provincias. Por ejemplo, Teruel es un 1, Zaragoza un 2...
- *Abril*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en abril y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Mayo*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en mayo y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Junio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en junio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Julio*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en julio y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Agosto*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en agosto y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Septiembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en septiembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.

- *Octubre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en octubre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año.
- *Noviembre*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que toma valor 1 si el evento de temperatura extrema es en noviembre y 0 de cualquier otra manera. Pertenece al grupo de variables cualitativas formado por todos los meses del año. Se escoge como categoría base.
- *Provin*Junio*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica junio.
- *Provin*Julio*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica julio.
- *Provin*Agosto*: variable explicativa. Es la interacción entre la variable provincia y la dicotómica agosto.

* No se incluyen los meses de Enero, Febrero, Marzo y Diciembre ya que no se ha dado ningún evento de temperatura extrema en estos meses en el Noreste de España.

** Se escoge Noviembre como categoría base del grupo de variables cualitativas dicotómicas de meses.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|------------------|-------------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Temperatura) | 3,7153 | 3,7136 | 3,6889 | 3,8918 | 0,030279 |
| Log(Altitud) | 5,4452 | 5,7333 | 0 | 7,1349 | 1,029 |
| Abril | 0,000027385 | 0 | 0 | 1 | 0,005233 |
| Mayo | 0,0030945 | 0 | 0 | 1 | 0,055542 |
| Junio | 0,098906 | 0 | 0 | 1 | 0,29854 |
| Julio | 0,47232 | 0 | 0 | 1 | 0,49924 |
| Agosto | 0,3732 | 0 | 0 | 1 | 0,48366 |
| Septiembre | 0,051986 | 0 | 0 | 1 | 0,222 |
| Octubre | 0,00045642 | 0 | 0 | 1 | 0,021359 |
| Provin*Junio | 0,89082 | 0 | 0 | 17 | 3,3142 |
| Provin*Julio | 4,0823 | 0 | 0 | 17 | 6,016 |
| Provin*Agosto | 3,2162 | 0 | 0 | 17 | 5,5931 |
| | | | | | |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Temperatura) | 0,0081499 | 1,3129 | 3,6889 | 3,7842 | 0,04879 |
| Log(Altitud) | 0,18897 | -1,5521 | 2,9957 | 6,5177 | 0,98368 |
| Abril | 191,09 | 191,08 | 0 | 0 | 0 |
| Mayo | 17,949 | 17,893 | 0 | 0 | 0 |
| Junio | 3,0184 | 2,6871 | 0 | 1 | 0 |
| Julio | 1,0570 | 0,1109 | 0 | 1 | 1 |
| Agosto | 1,296 | 0,52433 | 0 | 1 | 1 |
| Septiembre | 4,2704 | 4,0362 | 0 | 1 | 0 |
| Octubre | 46,797 | 46,776 | 0 | 0 | 0 |
| Provin*Junio | 3,7205 | 3,8937 | 0 | 11 | 0 |
| Provin*Julio | 1,4737 | 1,1547 | 0 | 16 | 7 |
| Provin*Agosto | 1,7391 | 1,5204 | 0 | 16 | 3 |

Tabla 42. Principales datos del modelo Suroeste de Evento de Temperatura

Se estima el modelo con desviaciones típicas robustas para corregir la heterocedasticidad.

```

Modelo 4: MCO, usando las observaciones 1-109549
Variable dependiente: l_TEMPERATURAMAXIMA
Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

-----
                coeficiente   Desv. típica   Estadístico t   valor p
-----
const           3.70273         0.000720867     5136            0.0000   ***
l_ALTITUD       -0.00144342        9.79895e-05     -14.73          4.59e-049 ***
PROVINCIA       -0.000210382       6.16308e-05     -3.414          0.0006   ***
ABRIL           -0.00474675        0.00181554      -2.615          0.0089   ***
MAYO            0.0142744         0.00143590       9.941          2.82e-023 ***
JUNIO           0.0188760         0.000782145     24.13          2.40e-128 ***
JULIO           0.0233542         0.000665921     35.07          5.88e-268 ***
AGOSTO          0.0206412         0.000669467     30.83          7.55e-208 ***
SEPTIEMBRE      0.0195955         0.000396228     49.46          0.0000   ***
OCTUBRE         0.00861943        0.00390305       2.208          0.0272   **
ProvinJunio     0.000120294       7.49689e-05     1.605          0.1086
ProvinJulio     -2.11612e-05      6.50905e-05     -0.3251        0.7451
ProvinAgosto    0.000174740       6.57143e-05     2.659          0.0078   ***

Media de la vble. dep.  3.715292   D.T. de la vble. dep.  0.030279
Suma de cuad. residuos  99.77299   D.T. de la regresión   0.030181
R-cuadrado            0.006614   R-cuadrado corregido   0.006505
F(12, 109536)         4610.845   Valor p (de F)         0.000000
Log-verosimilitud     228045.6   Criterio de Akaike     -456065.1
Criterio de Schwarz   -455940.3   Crit. de Hannan-Quinn  -456027.4

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 34 (ProvinJulio)

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a OTONO -
Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]
Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(2) = 6.97831
con valor p = 0.0305267
    
```

Figura 19. Resultados de la simulación del Modelo Suroeste de los Eventos de Temperaturas Extremas.

El modelo es significativo en su conjunto. Esto se debe a que al realizar el Contraste F de significación conjunta se ha obtenido un p-valor de 0. A continuación, se analiza la significación de las variables.

- Log(Altitud), Provincia, Abril, Mayo, Julio, Agosto, Septiembre y Provin*Agosto son significativas a cualquier nivel de confianza.
- Octubre es significativa al 10% y al 5%.
- Provin*Junio y Provin*Julio no son significativas a los niveles de confianza estándar.

El que algunas variables no sean significativas se atribuye a algún problema de colinealidad por incluir términos interactivos.

- VIF's:

| VARIABLES | VIFS |
|--------------|---------|
| Log(Altitud) | 1,234 |
| Provincias | 18,209 |
| Abril | 4 |
| Mayo | 338,952 |

| | |
|---------------|------------|
| Junio | 9.770,566 |
| Julio | 27.317,117 |
| Agosto | 25.639,297 |
| Septiembre | 5.399,947 |
| Octubre | 50,983 |
| Provin*Junio | 8,21 |
| Provin*Julio | 19,47 |
| Provin*Agosto | 17,298 |

Tabla 43. VIFS del modelo Suroeste de Evento de Temperatura

Otra vez, los VIF's obtenidos son bastante superiores a 10, lo que indica multicolinealidad imperfecta grave.

Por otro lado, la estabilidad estructural no es segura en todos los casos. Para comprobarla se ha realizado el Test de Chow con una variable dummy "Otoño", la cual asigna un 1 si el evento de temperatura extrema se da en otoño y 0 de cualquier otra manera. Con esto se ha obtenido un p-valor de 0,0305, por lo que solo al 1% se puede no rechazar la hipótesis nula de que hay estabilidad estructural. En cambio, al 5% y al 10% no se puede no rechazar.

El R2 tiene un valor de 0,006614 y el R2 corregido de 0,006505. Estos vuelven a ser bastante bajos.

MODELO ALTERNATIVO AÑADIENDO VARIABLE AÑO

Para esta última clasificación, se vuelve a estimar el modelo con Año y Año². Otra vez, se espera que Año² tenga el efecto de cambiar la pendiente de año de positivo a negativo, es decir, ser una parábola invertida.

$$\begin{aligned} \text{Log}(Temp) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(Altitud) + \beta_3 \times \text{Provincia} + \beta_4 \times \text{Abril} + \beta_5 \times \text{Mayo} \\ & + \beta_6 \times \text{Junio} + \beta_7 \times \text{Julio} + \beta_8 \times \text{Agosto} + \beta_9 \times \text{Septiembre} \\ & + \beta_{10} \times \text{Octubre} + \beta_{11} \times \text{Provin} * \text{Junio} + \beta_{12} \times \text{Provin} * \text{Julio} \\ & + \beta_{13} \times \text{Provin} * \text{Agosto} + \beta_{14} \times \text{Año} + \beta_{15} \times \text{Año}^2 + u \end{aligned}$$

- Año: variable explicativa y cuantitativa. Mide el año en el que se produce el efecto y su relación con la temperatura.
- Año cuadrado: variable explicativa. Es la variable año elevada a la segunda potencia ya que se espera que la tendencia cambie de signo con el paso de los años.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|
| Año | 1.989,9 | 1.991 | 1.864 | 2.020 | 20,532 |
| Año ² | 3.960.100 | 3.964.100 | 3.474.500 | 4.080.400 | 81.196 |
| | | | | | |

| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| Año | 0,010318 | -1,2371 | 1.958 | 2.017 | 27 |
| Año^2 | 0,020503 | -1,1773 | 3.833.800 | 4.068.300 | 107.540 |

Tabla 44. Principales datos del modelo Suroeste de Evento de Temperatura Extrema variable

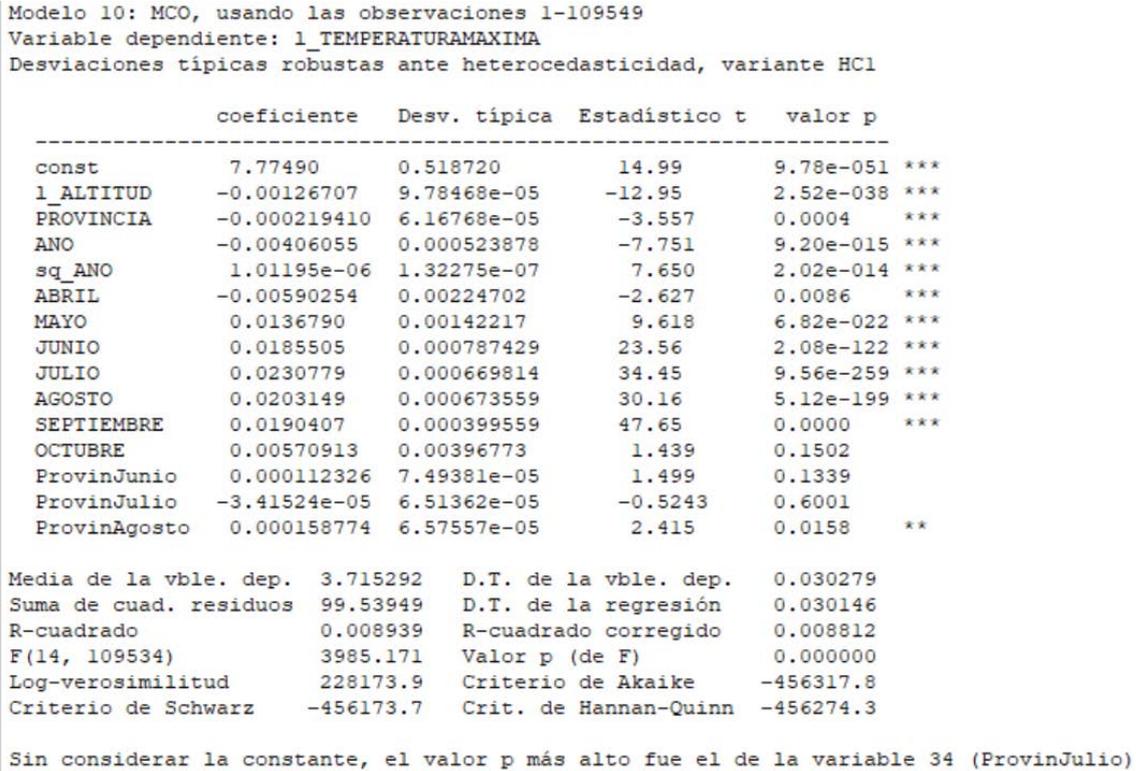


Figura 20. Resultados de la simulación del Modelo Suroeste de los Eventos de Temperaturas Extremas, Variable Año.

En este caso no se puede garantizar la estabilidad estructural de ninguna manera. Esto se atribuye a la gran variedad que hay entre años, por lo que ya no es óptimo el modelo. El modelo está estimado con desviaciones típicas robustas para corregir la heterocedasticidad. El R2 tiene un valor de 0,008939 y el R2 corregido de 0,008812.

El modelo es significativo en su conjunto. Todas las variables menos Septiembre, Octubre, Provin*Junio, Provin*Julio y Provin*Agosto son significativas a cualquier nivel de confianza estándar.

El efecto de la variable Año^2 es el contrario al esperado, ya que tiene un beta positivo, y entonces una forma de parábola.

$$\begin{aligned}
\text{Log}(\text{Temp}) = & 7.7749 - 0,001260707 \times \text{Log}(\text{Altitud}) - 0,00021941 \times \text{Provincia} \\
& - 0,00590254 \times \text{Abril} + 0,013679 \times \text{Mayo} + 0,0185505 \times \text{Junio} \\
& + 0,0230779 \times \text{Julio} + 0,0203149 \times \text{Agosto} + 0,0190407 \times \text{Septiembre} \\
& + 0,00570913 \times \text{Octubre} + 0,000112326 \times \text{Provin} * \text{Junio} \\
& - 0,0000341524 \times \text{Provin} * \text{Julio} + 0,000159774 \times \text{Provin} * \text{Agosto} \\
& - 0,00406055 \times \text{Año} + 0,00000101195 \times \text{Año}^2 + u
\end{aligned}$$

II. Modelos de la variable Viento.

Para la estimación de los modelos relacionados con los eventos de viento extremo se toma de ejemplo lo ya hecho con los eventos extremos de temperatura. En vez de hacer muchos modelos con los datos de España en su conjunto, se estimarán unos pocos con fin explicativo para entender la relación de los parámetros con la variable endógena y posteriormente ya se dividirá el territorio español en noreste, noroeste, sureste y suroeste. La variable endógena que se utilizará será la velocidad de la racha máxima de viento y sus variaciones.

Para estos modelos hay eventos en los que la dirección es variable o no se tienen datos. Para evitar que distorsionen los resultados, se han eliminado ya que al ser muy pocos no son relevantes.

i. Modelo 1.

El primer modelo es el más sencillo de todos. En este modelo se trata de explicar la velocidad de la racha máxima en los eventos de viento extremo en función de la localización del evento en España (norte o sur), de la dirección que lleva la racha y de la estación en la que nos encontramos. Para ello se crea el siguiente modelo:

$$\begin{aligned}
\text{Velocidad} = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Norte} + \beta_3 \times \text{Dirección} + \beta_4 \times \text{Verano} + \beta_5 \times \text{Invierno} \\
& + \beta_6 \times \text{Otoño} + u
\end{aligned}$$

- *Velocidad*: variable endógena. Esta variable mide la velocidad de la racha máxima del evento de viento extremo en Km/hora. Estas velocidades son las que superan el umbral de los 70 Km/hora.
- β : parámetros del modelo.
- *Norte*: variable explicativa. Pertenece al grupo de variables cualitativas dicotómicas que indica la posición del evento en España. Al ser dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Para separar entre norte y sur, se escoge el Cerro de los Ángeles como centro de la península ibérica (PUBL12).
- *Sur*: variable explicativa. Pertenece al grupo de variables cualitativas dicotómicas que indica la posición del evento en España. Se ha escogido como categoría base para evitar problemas de colinealidad. Al ser dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Para separar entre norte y sur, se escoge el Cerro de los Ángeles como centro de la península ibérica (PUBL12).

- *Dirección*: variable explicativa. Esta variable recoge los datos de la dirección que lleva la racha máxima de viento extremo en decenas de grados °. Lógicamente puede ir de 0° a 36°.
- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Otoño*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|-----------|--------------------------------------|---------------------|----------------|
| Velocidad | Endógena cuantitativa | Km/hora | + |
| Norte | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Dirección | Explicativa, cuantitativa | Decenas de grados ° | + |
| Verano | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Invierno | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Otoño | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |

Tabla 45. Principales datos del modelo 1 de Evento de Viento

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|-----------|---------|---------|--------|--------|-------------------|
| Velocidad | 82,566 | 78 | 70 | 248 | 13,184 |
| Norte | 0,61031 | 1 | 0 | 1 | 0,48768 |
| Dirección | 22,823 | 25 | 0 | 36 | 9,2299 |
| Verano | 0,11599 | 0 | 0 | 1 | 0,32021 |
| Invierno | 0,41962 | 0 | 0 | 1 | 0,4935 |
| Otoño | 0,20066 | 0 | 0 | 1 | 0,4005 |

| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
|-----------|---------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Velocidad | 0,15968 | 2,1503 | 70 | 108 | 14 |
| Norte | 0,79907 | -0,45239 | 0 | 1 | 1 |
| Dirección | 0,40442 | -0,79945 | 4 | 34 | 12 |
| Verano | 2,7607 | 2,3985 | 0 | 1 | 0 |
| Invierno | 1,1761 | 0,32577 | 0 | 1 | 1 |
| Otoño | 1,9959 | 1,4948 | 0 | 1 | 0 |

Tabla 46. Principales datos del modelo 1 de Evento de Viento

Cabe destacar la asimetría a la derecha que tiene la variable velocidad y su gran rango, yendo desde 70 a 248. Parece indicar que en modelos futuros se tomarán logaritmos. El modelo se estima con desviaciones típicas robustas para corregir la heterocedasticidad.

```

Modelo 1: MCO, usando las observaciones 1-180541
Variable dependiente: R_MAX_VEL
Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HC1

```

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|-----------|-------------|--------------|---------------|-----------|-----|
| const | 79.3665 | 0.0901909 | 880.0 | 0.0000 | *** |
| NORTE | 1.76443 | 0.0636159 | 27.74 | 5.90e-169 | *** |
| R_MAX_DIR | 0.0522317 | 0.00326275 | 16.01 | 1.22e-057 | *** |
| VERANO | -2.04038 | 0.0871128 | -23.42 | 3.84e-121 | *** |
| INVIERNO | 2.40167 | 0.0763499 | 31.46 | 1.34e-216 | *** |
| OTONO | 0.793021 | 0.0878286 | 9.029 | 1.75e-019 | *** |

| | | | |
|------------------------|-----------|-----------------------|----------|
| Media de la vble. dep. | 82.56561 | D.T. de la vble. dep. | 13.18366 |
| Suma de cuad. residuos | 30699915 | D.T. de la regresión | 13.04031 |
| R-cuadrado | 0.021656 | R-cuadrado corregido | 0.021629 |
| F(5, 180535) | 990.2017 | Valor p (de F) | 0.000000 |
| Log-verosimilitud | -719811.0 | Criterio de Akaike | 1439634 |
| Criterio de Schwarz | 1439695 | Crit. de Hannan-Quinn | 1439652 |

Figura 21. Resultados de la estimación del Modelo 1 de los Eventos de Viento Extremo.

Todas las variables resultan ser significativas. Tras realizar el Contraste t de significación individual, se han obtenido estadísticos t lo suficientemente grandes como para que los p-valor sean 0 o muy cercanos 0. Con esto se puede rechazar la hipótesis nula de que no son significativas. En cuanto a la significación del modelo en su conjunto, tras pasar la estimación del modelo por el Contraste F de significación conjunta, se obtiene un p-valor de 0. Por ende, se puede volver a rechazar la hipótesis nula de que el modelo no es significativo en su conjunto.

El R2 tiene un valor de 0,021656 y el R2 corregido de 0,021629. Aunque sean muy bajos no es preocupante, ya que el modelo tiene una finalidad explicativa. Para estudiar la colinealidad se utilizan los VIF's:

| VARIABLE | VIF |
|-----------|-------|
| Norte | 1,045 |
| Dirección | 1,061 |
| Verano | 1,297 |
| Invierno | 1,509 |
| Otoño | 1,41 |

Tabla 47. VIFS del modelo 1 de Evento de

Como se puede observar en la tabla 47, ningún VIF de las variables supera o se acerca a 10, por lo que se puede afirmar con rotundidad que no existen problemas de multicolinealidad imperfecta grave. Esto se debe al haber escogido ciertas variables como categoría base.

Al realizar el Test de Chow con la variable dummy “Febrero”, se obtiene un p-valor de 0,48. Con este resultado, se deriva a que no se puede rechazar la hipótesis nula de que hay estabilidad estructural a los principales niveles de confianza. El modelo queda de la siguiente manera:

$$\begin{aligned} \text{Velocidad} = & 79,3665 + 1,76443 \times \text{Norte} + 0,0522317 \times \text{Dirección} \\ & - 2,04038 \times \text{Verano} + 2,40167 \times \text{Invierno} + 0,793021 \times \text{Otoño} + u \end{aligned}$$

La interpretación de los parámetros de las variables es la siguiente:

- Norte: β_2 . Al ser una variable dicotómica mide el efecto diferencial medio. En este caso, si se encuentra en el norte, la velocidad máxima aumentará en 1,76443 kilómetros por hora.
- Dirección: β_3 . Al ser una variable cuantitativa mide el efecto marginal, es decir, lo que varía la Y en función de la X en términos medios y *caeteris paribus* (MART19). En este caso, la velocidad aumenta en 0,0522317 por cada decena de grado que aumenta la dirección.
- Verano: β_4 . Al ser una variable dicotómica mide el efecto diferencial medio. En este caso, si se está en verano, la velocidad máxima disminuirá en 2,0438 kilómetros por horas.
- Invierno: β_5 . Al ser una variable dicotómica mide el efecto diferencial medio. En este caso, si se está en invierno, la velocidad máxima aumentará en 2,40167 kilómetros por hora.
- Otoño: β_6 . Al ser una variable dicotómica mide el efecto diferencial medio. En este caso, si se está en otoño, la temperatura máxima aumentará en 0,793021 kilómetros por hora.

ii. Modelo 2.

Este segundo modelo es un poco más completo. En el modelo 1 se había visto que podía ser interesante tomar logaritmos de la variable endógena, por lo que se ha procedido a ello. Además, se ha añadido la altitud como variable explicativa.

$$\begin{aligned} \text{Log(Vel)} = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Norte} + \beta_3 \times \text{Direccion} + \beta_4 \times \text{Verano} + \beta_5 \times \text{Invierno} \\ & + \beta_6 \times \text{Otono} + \beta_7 * \text{Altitud} + u \end{aligned}$$

- *Log(Velocidad)*: variable endógena. Esta variable mide la velocidad de la racha máxima del evento de viento extremo en Km/hora. Estas velocidades son las que superan el umbral de los 70 Km/hora. Se han tomado logaritmos de la variable debido a la asimetría a la derecha o positiva que presentaba.
- β : parámetros del modelo.
- *Norte*: variable explicativa. Pertenece al grupo de variables cualitativas dicotómicas que indica la posición del evento en España. Al ser dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Para separar entre norte y sur, se escoge el Cerro de los Ángeles como centro de la península ibérica (PUBL12).
- *Sur*: variable explicativa. Pertenece al grupo de variables cualitativas dicotómicas que indica la posición del evento en España. Se ha escogido como categoría base para evitar problemas de colinealidad. Al ser dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Para separar entre norte y sur, se escoge el Cerro de los Ángeles como centro de la península ibérica (PUBL12).
- *Dirección*: variable explicativa. Esta variable recoge los datos de la dirección que lleva la racha máxima de viento extremo en decenas de grados °. Lógicamente puede ir de 0° a 36°.
- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Otoño*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Altitud*: variable explicativa. Es una variable cuantitativa que recoge la altitud en la que se ha hecho la medida del evento de viento extremo. Recoge los datos en metros (m).
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|----------------|--------------------------------------|---------------------|----------------|
| Log(Velocidad) | Endógena, no lineal, logarítmica | Km/hora | + |
| Norte | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Dirección | Explicativa, cuantitativa | Decenas de grados ° | + |

| | | | |
|----------|--------------------------------------|-----------|---|
| Verano | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Invierno | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Otoño | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Altitud | Explicativa, cuantitativa | Metros(m) | + |

Tabla 48. Principales datos del modelo 2 de Evento de Viento

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------------|---------|---------|--------|--------|-------------------|
| Log(Velocidad) | 4,4027 | 4,3567 | 4,2485 | 5,5134 | 0,14214 |
| Norte | 0,61031 | 1 | 0 | 1 | 0,48768 |
| Dirección | 22,823 | 25 | 0 | 36 | 9,2299 |
| Verano | 0,11599 | 0 | 0 | 1 | 0,32021 |
| Invierno | 0,41962 | 0 | 0 | 1 | 0,4935 |
| Otoño | 0,20066 | 0 | 0 | 1 | 0,4005 |
| Altitud | 494,18 | 249 | 1 | 2.467 | 591,5 |

| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
|----------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Velocidad) | 0,032285 | 1,4827 | 4,2485 | 4,6821 | 0,127545 |
| Norte | 0,79907 | -0,45239 | 0 | 1 | 1 |
| Dirección | 0,40442 | -0,79945 | 4 | 34 | 12 |
| Verano | 2,7607 | 2,3985 | 0 | 1 | 0 |
| Invierno | 1,1761 | 0,32577 | 0 | 1 | 1 |
| Otoño | 1,9959 | 1,4948 | 0 | 1 | 0 |
| Altitud | 1,1969 | 1,4855 | 6 | 1.798 | 734 |

Tabla 49. Principales datos del modelo 2 de Evento de Viento

Parece ser que tomar logaritmos en la variable endógena ha ayudado a corregir en cierta medida su asimetría positiva o a la derecha. Se puede comprobar con el coeficiente de asimetría, el cual casi se ha reducido a la mitad, y en la menor diferencia entre media y mediana. Además, se observa que la altitud tiene un rango enorme, por lo que también va a ser útil tomar logaritmos de esta variable como se vio en los modelos de temperatura. Se estima el modelo con desviaciones típicas robustas para corregir la heterocedasticidad.

Modelo 2: MCO, usando las observaciones 1-180541

Variable dependiente: l_R_MAX_VEL

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 4.35842 | 0.00100328 | 4344 | 0.0000 | *** |
| NORTE | 0.0174731 | 0.000687985 | 25.40 | 4.78e-142 | *** |
| R_MAX_DIR | 0.000559789 | 3.50600e-05 | 15.97 | 2.39e-057 | *** |
| VERANO | -0.0218125 | 0.000981385 | -22.23 | 2.69e-109 | *** |
| INVIERNO | 0.0259722 | 0.000820260 | 31.66 | 1.99e-219 | *** |
| OTONO | 0.00766520 | 0.000952644 | 8.046 | 8.59e-016 | *** |
| ALTITUD | 2.21863e-05 | 6.77728e-07 | 32.74 | 2.33e-234 | *** |
| Media de la vble. dep. | 4.402733 | D.T. de la vble. dep. | 0.142141 | | |
| Suma de cuad. residuos | 3534.241 | D.T. de la regresión | 0.139916 | | |
| R-cuadrado | 0.031086 | R-cuadrado corregido | 0.031054 | | |
| F(6, 180534) | 1017.426 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 98898.75 | Criterio de Akaike | -197783.5 | | |
| Criterio de Schwarz | -197712.8 | Crit. de Hannan-Quinn | -197762.6 | | |

Figura 22. Resultados de la estimación del Modelo 2 de los Eventos de Viento Extremo.

El modelo 2 es significativo en su conjunto. Como viene a ser costumbre, se ha realizado el Contraste F de significación conjunta que arroja un p-valor de 0, por lo que se rechaza la hipótesis nula que afirma que el modelo no es significativo en su conjunto. Además, tras la realización del Contraste t de significación individual, se obtiene que todas las variables son significativas al 10%, 5% y 1%.

Por otro lado, los valores del R2 y R2 corregido han aumentado respecto al modelo anterior. Concretamente, el primero alcanza un valor de 0,031086 y el segundo de 0,031054. Aun así, siguen siendo bajos para una predicción, pero el modelo tiene fin explicativo. No parece que haya problemas de multicolinealidad, pero se estudian los VIF's de las variables para comprobarlo:

| VARIABLE | VIF |
|-----------|-------|
| Norte | 1,052 |
| Dirección | 1,062 |
| Verano | 1,297 |
| Invierno | 1,509 |
| Otoño | 1,41 |
| Altitud | 1,01 |

Tabla 50. VIFS del modelo 2 de Evento de

Otra vez, los VIF's son muy lejanos al 10, por lo que no parece que haya problemas de colinealidad. Sin embargo, el modelo carece de estabilidad estructural. Se atribuye esto último a la gran variación y diferencia que hay entre las altitudes y los distintos puntos del territorio español.

$\text{Log}(\text{Velocidad})$

$$= 4,35842 + 0,0174731 \times \text{Norte} + 0,000559789 \times \text{Dirección} \\ - 0,0218125 \times \text{Verano} + 0,0259722 \times \text{Invierno} + 0,0076652 \times \text{Otoño} \\ + 0,0000221863 \times \text{Altitud} + u$$

La interpretación de los parámetros de la estimación del modelo es la siguiente:

- Norte: β_2 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en el Norte, la velocidad máxima aumentará en un 1,74731%.
- Dirección: β_3 . Es una interacción logaritmo-nivel. Por lo tanto, se interpreta a través de la semielasticidad. Si aumenta en 1 el valor de la dirección, el de la velocidad máxima lo hará en un 0,0559789%.
- Verano: β_4 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en verano, la velocidad máxima disminuirá en un 2,18125%.
- Invierno: β_5 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en invierno, la velocidad máxima aumentará en un 2,59722%.
- Otoño: β_6 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en otoño, la velocidad máxima aumentará en un 0,76652%.
- Altitud: β_7 . Es una interacción logaritmo-nivel. Por lo tanto, se interpreta a través de la semielasticidad. Si aumenta en 1 metro el valor de la altitud, el de la velocidad máxima lo hará en un 0,00221863 %.

iii. Modelo 3.

El modelo 3 tiene como novedad que, como se había podido intuir anteriormente, se toman logaritmos en la variable altitud debido a que tiene un recorrido muy amplio. Además, ya no se hace la distinción entre norte y sur, sino que se introduce la variable Provincias. Esta última variable no es numérica por lo que el propio Gretl les asigna números a las provincias. Por ejemplo, Córdoba es 1, Jaén 2... Se añade una variable interactiva entre las provincias y la dirección del viento. Esto se debe al efecto que tienen las diferencias en las isobaras de presión en las distintas regiones del territorio español. Estas no son iguales en el Cantábrico que en el Mediterráneo, por lo tanto, hay diferencias entre las provincias (MOLI15). Se cree e hipotetiza que influye en la velocidad de las rachas máximas.

$$\text{Log}(\text{Vel}) = \beta_1 + \beta_2 \times \text{Direccion} + \beta_3 \times \text{Verano} + \beta_4 \times \text{Invierno} + \beta_5 \times \text{Otono} + \beta_6 * \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_7 \times \text{Provincia} + \beta_8 \times \text{Provin} * \text{Direcc} + u$$

- *Log(Velocidad)*: variable endógena. Esta variable mide la velocidad de la racha máxima del evento de viento extremo en Km/hora. Estas velocidades son las que superan el umbral de los 70 Km/hora. Se han tomado logaritmos de la variable debido a la asimetría a la derecha o positiva que presentaba.
- β : parámetros del modelo.
- *Dirección*: variable explicativa. Esta variable recoge los datos de la dirección que lleva la racha máxima de viento extremo en decenas de grados °. Lógicamente puede ir de 0° a 36°.
- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Otoño*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Es una variable cuantitativa que recoge la altitud en la que se ha hecho la medida del evento de viento extremo. Recoge los datos en metros (m). Se han tomado logaritmos de la variable original por el gran recorrido que tiene.
- *Provincia*: variable explicativa y cualitativa. Es una variable no numérica a la que el propio programa de estimación asigna números. Por ejemplo, Córdoba es un 1, Jaén un 2...
- *Provin*Direcc*: variable explicativa. Representa la interacción entre las variables Provincia y Dirección.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|----------------|--------------------------------------|---------------------|----------------|
| Log(Velocidad) | Endógena, no lineal, logarítmica | Km/hora | + |
| Norte | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Dirección | Explicativa, cuantitativa | Decenas de grados ° | + |

| | | | |
|--------------|--------------------------------------|-----------|---|
| Verano | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Invierno | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Otoño | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | + |
| Log(Altitud) | Explicativa, no lineal, logarítmica | Metros(m) | + |
| Provincia | Explicativa. cualitativa | | + |
| Provin*Direc | Explicativa, no lineal, interactiva | | + |

Tabla 51. Principales datos del modelo 3 de Evento de Viento

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Velocidad) | 4,4027 | 4,3567 | 4,2485 | 5,5134 | 0,14214 |
| Norte | 0,61031 | 1 | 0 | 1 | 0,48768 |
| Dirección | 22,823 | 25 | 0 | 36 | 9,2299 |
| Verano | 0,11599 | 0 | 0 | 1 | 0,32021 |
| Invierno | 0,41962 | 0 | 0 | 1 | 0,4935 |
| Otoño | 0,20066 | 0 | 0 | 1 | 0,4005 |
| Log(Altitud) | 5,1462 | 5,5175 | 0 | 7,8108 | 1,7736 |
| Provincia | 27,616 | 27 | 1 | 52 | 14,83 |
| Provin*Direcc | 644,85 | 529 | 0 | 1872 | 452,18 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Velocidad) | 0,032285 | 1,4827 | 4,2485 | 4,6821 | 0,127545 |
| Norte | 0,79907 | -0,45239 | 0 | 1 | 1 |
| Dirección | 0,40442 | -0,79945 | 4 | 34 | 12 |
| Verano | 2,7607 | 2,3985 | 0 | 1 | 0 |
| Invierno | 1,1761 | 0,32577 | 0 | 1 | 1 |
| Otoño | 1,9959 | 1,4948 | 0 | 1 | 0 |
| Log(Altitud) | 0,34464 | -0,5454 | 1,7918 | 7,4944 | 2,7907 |
| Provincia | 0,53702 | 0,10627 | 7 | 50 | 27 |
| Provin*Direcc | 0,70121 | 0,49601 | 63 | 1500 | 725 |

Tabla 52. Principales datos del modelo 3 de Evento de Viento

Se puede observar claramente como el rango intercuartílico de la variable Altitud ha disminuido en enorme medida tras tomar logaritmo. Además, la interacción entre Provincia y Dirección parece tener un recorrido bastante amplio también.

Modelo 8: MCO, usando las observaciones 1-180541
 Variable dependiente: l_R_MAX_VEL
 Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 4.35267 | 0.00175017 | 2487 | 0.0000 | *** |
| R_MAX_DIR | 0.000195032 | 6.65079e-05 | 2.932 | 0.0034 | *** |
| VERANO | -0.0228093 | 0.000983492 | -23.19 | 8.17e-119 | *** |
| INVIERNO | 0.0258281 | 0.000823810 | 31.35 | 3.47e-215 | *** |
| OTONO | 0.00867346 | 0.000955563 | 9.077 | 1.13e-019 | *** |
| l_ALTITUD | 0.00439585 | 0.000188226 | 23.35 | 1.89e-120 | *** |
| PROVINCIA | 7.49283e-05 | 5.56306e-05 | 1.347 | 0.1780 | |
| ProvinDirec | 1.70406e-05 | 2.33120e-06 | 7.310 | 2.69e-013 | *** |
| Media de la vble. dep. | 4.402733 | D.T. de la vble. dep. | 0.142141 | | |
| Suma de cuad. residuos | 3561.209 | D.T. de la regresión | 0.140450 | | |
| R-cuadrado | 0.023692 | R-cuadrado corregido | 0.023655 | | |
| F(7, 180533) | 718.5630 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 98212.56 | Criterio de Akaike | -196409.1 | | |
| Criterio de Schwarz | -196328.3 | Crit. de Hannan-Quinn | -196385.2 | | |

Figura 23. Resultados de la estimación del Modelo 3 de los Eventos de Viento Extremo.

En este caso no todas las variables son significativas a cualquier nivel de confianza. Se ha realizado el Contraste t de significación individual y se han obtenido los siguientes resultados:

- Provincia: esta variable no es significativa para ningún nivel de confianza. Su estadístico t es de 1,347, quedando un p-valor tras el contraste bilateral de 0,178. Por lo tanto, no es significativa a los niveles de confianza estándar. Puede ser un problema causado por la colinealidad, se comprobará más adelante.
- Dirección, Verano, Invierno, Otoño, Log(Altitud) y Provin*Direcc: son significativas al 10%, 5% y 1%. Al hacer el Contraste t de significación individual se obtiene un p-valor muy cercano al 0 para cada una de ellas.

El modelo es significativo en su conjunto. El contraste F de significación conjunta da un estadístico F mayor a 718, quedando un p-valor de 0. Por tanto, se afirma con seguridad que el modelo es significativo en su conjunto.

El R2 del modelo es 0,023692 y el R2 corregido de 0,023655. Siguen siendo bajos, pero el modelo tiene finalidad explicativa. Tras hacer el test de Chow con diversas variables dummy, se obtiene que no tiene estabilidad estructural. En cuanto a la colinealidad, se estudian los VIF's:

| VARIABLE | VIF |
|-----------|-------|
| Dirección | 4,368 |
| Verano | 1,303 |

| | |
|---------------|-------|
| Invierno | 1,51 |
| Otoño | 1,409 |
| Log(Altitud) | 1,025 |
| Provincia | 7,313 |
| Provin*Direcc | 11,48 |

Tabla 53. VIFS del modelo 3 de Evento de

El VIF de la variable Provin*Direcc es mayor a 10, lo que indica multicolinealidad imperfecta grave. Esto es normal y se podía intuir, ya que se ha añadido un término de interacción entre variables. Se decide no hacer nada.

$$\begin{aligned} \text{Log}(Vel) = & 4,35267 + 0,000195032 \times \text{Direccion} - 0,0228093 \times \text{Verano} \\ & + 0,0258281 \times \text{Invierno} + 0,00867346 \times \text{Otono} \\ & + 0,00439585 \times \text{Log(Altitud)} + 0,0000749283 \times \text{Provincia} \\ & + 0,0000170406 \times \text{Provin} * \text{Direcc} + u \end{aligned}$$

- Dirección: β_2 . Es una interacción logaritmo-nivel. Por lo tanto, se interpreta a través de la semielasticidad. Si aumenta en 1 el valor de la dirección, el de la velocidad máxima lo hará en un $(0,0195032+0,00170406)\%$. Habría que añadir la ayuda de la interacción. Se ha añadido la interacción
- Verano: β_3 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en verano, la velocidad máxima disminuirá en un 2,28093%.
- Invierno: β_4 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en invierno, la velocidad máxima aumentará en un 2,58281 %.
- Otoño: β_5 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en otoño, la velocidad máxima aumentará en un 0,867346 %.
- Log(Altitud): β_6 . Es una interacción logaritmo-logaritmo, por lo que la interpretación se entiende desde la elasticidad. Un cambio en un 1% en la altitud, equivale a un cambio en un 0,0044% en la velocidad del viento.
- Provincia: β_7 . Es una interacción logaritmo-nivel. Por lo tanto, se interpreta a través de la semielasticidad. Si aumenta en 1 el valor de la provincia, el de la velocidad máxima lo hará en un $(0,007449283+0,00170406)\%$. Se ha añadido la interacción.

iv. Modelo 4.

Modelo muy parecido al resto. Sin embargo, para hacerlo más completo, se han sustituido las estaciones por los meses del año. También se añade la variable Año para ver cómo evoluciona con el paso del tiempo. No se añade su término cuadrático ya que no se cree que cambie la tendencia con el paso del tiempo.

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{Vel}) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Alt}) + \beta_3 \times \text{Dirección} + \beta_4 \times \text{Provincia} + \beta_5 \times \text{Año} \\ & + \beta_6 \times \text{Provincia} * \text{Dirección} + \beta_7 \times \text{Enero} + \beta_8 \times \text{Febrero} \\ & + \beta_9 \times \text{Marzo} + \beta_{10} \times \text{Abril} + \beta_{11} \times \text{Mayo} + \beta_{12} \times \text{Junio} \\ & + \beta_{13} \times \text{Julio} + \beta_{14} \times \text{Agosto} + \beta_{15} \times \text{Septiembre} + \beta_{16} \times \text{Octubre} \\ & + \beta_{17} \times \text{Noviembre} + u \end{aligned}$$

- *Log(Velocidad)*: variable endógena. Esta variable mide la velocidad de la racha máxima del evento de viento extremo en Km/hora. Estas velocidades son las que superan el umbral de los 70 Km/hora. Se han tomado logaritmos de la variable debido a la asimetría a la derecha o positiva que presentaba.
- β : parámetros del modelo.
- *Dirección*: variable explicativa. Esta variable recoge los datos de la dirección que lleva la racha máxima de viento extremo en decenas de grados °. Lógicamente puede ir de 0° a 36°.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Es una variable cuantitativa que recoge la altitud en la que se ha hecho la medida del evento de viento extremo. Recoge los datos en metros (m). Se han tomado logaritmos de la variable original por el gran recorrido que tiene.
- *Provincia*: variable explicativa y cualitativa. Es una variable no numérica a la que el propio programa de estimación asigna números. Por ejemplo, Córdoba es un 1, Jaén un 2...
- *Provin*Direcc*: variable explicativa. Representa la interacción entre las variables Provincia y Dirección.
- *Año*: variable explicativa. Representa el año en el que se produce el evento de viento extremo.
- *Enero*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Febrero*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Marzo*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Abril*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Mayo*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Junio*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.

- *Julio*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Agosto*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Septiembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Octubre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Noviembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Diciembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base para evitar que aparezcan problemas de colinealidad.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Tipo | Unidades | Signo Esperado |
|----------------|--------------------------------------|------------------------|----------------|
| Log(Velocidad) | Endógena, no lineal, logarítmica | Km/hora | + |
| Dirección | Explicativa, cuantitativa | Decenas de grados ° | + |
| Enero | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Febrero | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Marzo | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Abril | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Mayo | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Junio | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Julio | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |

| | | | |
|--------------|--------------------------------------|-----------|---|
| Agosto | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Septiembre | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Octubre | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Noviembre | Explicativa, cualitativa, Dicotómica | | - |
| Log(Altitud) | Explicativa, no lineal, logarítmica | Metros(m) | + |
| Provincia | Explicativa. cualitativa | | - |
| Provin*Direc | Explicativa, no lineal, interactiva | | + |
| Año | Explicativa. | | - |

Tabla 54. Principales datos del modelo 4 de Evento de Viento

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Velocidad) | 4,4027 | 4,3567 | 4,2485 | 5,5134 | 0,14214 |
| Log(Altitud) | 5,1462 | 5,5175 | 0 | 7,8108 | 1,7736 |
| Enero | 0,1384 | 0 | 0 | 1 | 0,34532 |
| Febrero | 0,14983 | 0 | 0 | 1 | 0,3562 |
| Marzo | 0,13111 | 0 | 0 | 1 | 0,33752 |
| Abril | 0,077722 | 0 | 0 | 1 | 0,26773 |
| Mayo | 0,054902 | 0 | 0 | 1 | 0,22779 |
| Junio | 0,037415 | 0 | 0 | 1 | 0,18978 |
| Julio | 0,041824 | 0 | 0 | 1 | 0,20019 |
| Agosto | 0,036751 | 0 | 0 | 1 | 0,18815 |
| Septiembre | 0,035992 | 0 | 0 | 1 | 0,18627 |
| Octubre | 0,066328 | 0 | 0 | 1 | 0,24886 |
| Noviembre | 0,098343 | 0 | 0 | 1 | 0,29778 |
| Año | 1.999,6 | 2.008 | 1.916 | 2.020 | 19,497 |
| Dirección | 27,616 | 27 | 1 | 52 | 14,83 |
| Provin*Direcc | 644,85 | 529 | 0 | 1.872 | 452,18 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Velocidad) | 0,032285 | 1,4827 | 4,2485 | 4,6821 | 0,127545 |
| Log(Altitud) | 0,34464 | -0,5454 | 1,7918 | 7,4944 | 2,7907 |
| Enero | 2,4951 | 2,0943 | 0 | 1 | 0 |
| Febrero | 2,3905 | 1,9722 | 0 | 1 | 0 |
| Marzo | 2,5744 | 2,1859 | 0 | 1 | 0 |
| Abril | 3,4448 | 3,1545 | 0 | 1 | 0 |

| | | | | | |
|---------------|-----------|---------|------|------|-----|
| Mayo | 4,149 | 3,908 | 0 | 1 | 0 |
| Junio | 5,0722 | 4,875 | 0 | 0 | 0 |
| Julio | 4,7864 | 4,5775 | 0 | 0 | 0 |
| Agosto | 5,1196 | 4,9243 | 0 | 0 | 0 |
| Septiembre | 5,1753 | 4,9821 | 0 | 0 | 0 |
| Octubre | 3,7519 | 3,4853 | 0 | 1 | 0 |
| Noviembre | 3,028 | 2,6977 | 0 | 1 | 0 |
| Año | 0,0097503 | -1,0231 | 1961 | 2020 | 28 |
| Dirección | 0,53702 | 0,10627 | 7 | 50 | 27 |
| Provin*Direcc | 0,70121 | 0,49601 | 63 | 1500 | 725 |

Tabla 55. Principales datos del modelo 4 de Evento de Viento

Modelo 4: MCO, usando las observaciones 1-180541
 Variable dependiente: l_R_MAX_VEL
 Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 5.95458 | 0.0372016 | 160.1 | 0.0000 | *** |
| ENERO | -0.00188196 | 0.00136725 | -1.376 | 0.1687 | |
| FEBRERO | -8.12473e-05 | 0.00134709 | -0.06031 | 0.9519 | |
| MARZO | -0.0167479 | 0.00133216 | -12.57 | 3.12e-036 | *** |
| ABRIL | -0.0342731 | 0.00145543 | -23.55 | 1.99e-122 | *** |
| MAYO | -0.0440728 | 0.00154589 | -28.51 | 2.22e-178 | *** |
| JUNIO | -0.0497393 | 0.00167025 | -29.78 | 2.13e-194 | *** |
| JULIO | -0.0506865 | 0.00159548 | -31.77 | 7.13e-221 | *** |
| AGOSTO | -0.0534203 | 0.00167446 | -31.90 | 1.01e-222 | *** |
| SEPTIEMBRE | -0.0407466 | 0.00180478 | -22.58 | 1.04e-112 | *** |
| OCTUBRE | -0.0183575 | 0.00162097 | -11.33 | 1.01e-029 | *** |
| NOVIEMBRE | -0.0130126 | 0.00145482 | -8.944 | 3.77e-019 | *** |
| R_MAX_DIR | -3.48252e-05 | 6.62386e-05 | -0.5258 | 0.5991 | |
| l_ALTITUD | 0.00531537 | 0.000189848 | 28.00 | 4.02e-172 | *** |
| ProvinDirec | 1.95433e-05 | 2.31403e-06 | 8.446 | 3.05e-017 | *** |
| PROVINCIA | -2.98830e-05 | 5.51963e-05 | -0.5414 | 0.5882 | |
| ANO | -0.000786520 | 1.85901e-05 | -42.31 | 0.0000 | *** |
| Media de la vble. dep. | 4.402733 | D.T. de la vble. dep. | 0.142141 | | |
| Suma de cuad. residuos | 3511.905 | D.T. de la regresión | 0.139477 | | |
| R-cuadrado | 0.037209 | R-cuadrado corregido | 0.037124 | | |
| F(16, 180524) | 445.0392 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 99471.07 | Criterio de Akaike | -198908.1 | | |
| Criterio de Schwarz | -198736.4 | Crit. de Hannan-Quinn | -198857.4 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 8 (FEBRERO)

Figura 24. Resultados de la estimación del Modelo 4 de los Eventos de Viento Extremo.

El modelo se ha simulado con desviaciones típicas robustas para corregir los problemas de heterocedasticidad. El R2 del modelo es de 0,037209 y el R2 corregido tiene un valor de 0,037124, ambos son de los más altos hasta ahora.

El modelo es significativo en su conjunto. Tras realizar el contraste F de significación conjunta se obtiene un p-valor de 0, por lo que se puede rechazar la hipótesis nula a cualquier nivel de confianza. En cuanto a las variables, al realizar el contraste t de significación individual, se obtiene que todas las variables son significativas al 10%, 5% y 1%, menos Enero, Febrero, Noviembre y Provincia, que no lo son para ninguno.

En cuanto a la colinealidad, se estudian los VIF's de las variables:

| VARIABLE | VIF |
|---------------|--------|
| Dirección | 4,389 |
| Log(Altitud) | 1,039 |
| Provincia | 7,329 |
| Provin*Direcc | 11,492 |
| Año | 1,026 |
| Enero | 1,764 |
| Febrero | 1,811 |
| Marzo | 1,736 |
| Abril | 1,468 |
| Mayo | 1,343 |
| Junio | 1,247 |
| Julio | 1,285 |
| Agosto | 1,25 |
| Septiembre | 1,231 |
| Octubre | 1,405 |
| Noviembre | 1,572 |

Tabla 56. VIFS del modelo 4 de Evento de

Se obtiene que la variable Provin*Direcc tiene un VIF por encima de 10, lo que indica un problema de multicolinealidad imperfecta grave. Se atribuye esto a que es un término interactivo de otras dos variables del modelo. Se decide no hacer nada y tenerlo en cuenta a la hora de tomar decisiones.

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(\text{Vel}) = & 5,95458 + 0,00531537 \times \text{Log}(\text{Alt}) - 0,0000348252 \times \text{Dirección} \\
 & - 0,0000298830 \times \text{Provincia} - 0,00078652 \times \text{Año} \\
 & + 0,0000195433 \times \text{Provincia} * \text{Dirección}. 0,00188196 \times \text{Enero} \\
 & - 0,0000812473 \times \text{Febrero} - 0,0167479 \times \text{Marzo} \\
 & - 0,0342731 \times \text{Abril} - 0,0440728 \times \text{Mayo} - 0,0497393 \times \text{Junio} \\
 & - 0,0506865 \times \text{Julio} - 0,0534203 \times \text{Agosto} \\
 & - 0,0407466 \times \text{Septiembre} - 0,0183575 \times \text{Octubre} \\
 & - 0,0130126 \times \text{Noviembre} + u
 \end{aligned}$$

La interpretación de las variables es la siguiente:

- Log(Altitud): β_2 . Es una interacción logaritmo-logaritmo, por lo que la interpretación se entiende desde la elasticidad. Un cambio en un 1% en la altitud, equivale a un cambio en un 0,00531537% en la velocidad del viento.
- Dirección: β_3 . Es una interacción logaritmo-nivel. Por lo tanto, se interpreta a través de la semielasticidad. Si disminuye en 1 el valor de la dirección, el de la velocidad máxima lo hará en un (0,00348252-0,00195433)%. Se ha añadido lo que aporta la interacción.
- Provincia: β_4 . Es una interacción logaritmo-nivel. Por lo tanto, se interpreta a través de la semielasticidad. Si disminuye en 1 el valor de la provincia, el de la velocidad máxima lo hará en un (0,0029883-0,00195433)%. Se ha añadido lo que aporta la interacción.

- Año: β_5 . Es una interacción logaritmo-nivel. Por lo tanto, se interpreta a través de la semielasticidad. Si disminuye en 1 el valor del año, el de la velocidad máxima lo hará en un 0,078652%.
- Enero: β_6 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en enero, la velocidad máxima disminuirá en un 0,188196%.
- Febrero: β_7 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en febrero, la velocidad máxima disminuirá en un 0,00812473%.
- Marzo: β_8 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en marzo, la velocidad máxima disminuirá en un 1,67479%.
- Abril: β_9 . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en abril, la velocidad máxima disminuirá en un 2,42731%.
- Mayo: β_{10} . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en mayo, la velocidad máxima disminuirá en un 4,40728%.
- Junio: β_{11} . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en junio, la velocidad máxima disminuirá en un 4,97393%.
- Julio: β_{12} . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en julio, la velocidad máxima disminuirá en un 5,06865%.
- Agosto: β_{13} . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en agosto, la velocidad máxima disminuirá en un 5,34203%.
- Septiembre: β_{14} . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en septiembre, la velocidad máxima disminuirá en un 4,07466%.
- Octubre: β_{15} . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en octubre, la velocidad máxima disminuirá en un 1,83575%.
- Noviembre: β_{16} . Al ser una variable dicotómica y la endógena una logarítmica, la interpretación de la estimación del parámetro es a través de la semielasticidad. Si se está en noviembre, la velocidad máxima disminuirá en un 1,301126%.

v. Modelo Noreste.

Tras la estimación de los modelos explicativos, se comienza con los que tienen una finalidad predictiva. Como conclusión de la estimación de los anteriores modelos, en estos se va a tener en cuenta la estación en la que se encuentra, la provincia, dirección de la racha, altitud y las posibles interacciones o no linealidades que haya. Se diferencia con

los modelos de temperatura en que, en este caso, no se separa en meses ya que afecta a la estabilidad estructural de la estimación y el modelo.

$$\text{Log}(\text{Vel}) = \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_3 \times \text{Verano} + \beta_4 \times \text{Invierno} + \beta_5 \times \text{Otoño} \\ + \beta_6 \times \text{Provincia} + \beta_7 \times \text{Direccion} + \beta_8 \times \text{Provin} * \text{Direcc} + u$$

- *Log(Velocidad)*: variable endógena. Esta variable mide la velocidad de la racha máxima del evento de viento extremo en Km/hora. Estas velocidades son las que superan el umbral de los 70 Km/hora. Se han tomado logaritmos de la variable debido a la asimetría a la derecha o positiva que presentaba.
- β : parámetros del modelo.
- *Dirección*: variable explicativa. Esta variable recoge los datos de la dirección que lleva la racha máxima de viento extremo en decenas de grados °. Lógicamente puede ir de 0° a 36°.
- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Otoño*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Es una variable cuantitativa que recoge la altitud en la que se ha hecho la medida del evento de viento extremo. Recoge los datos en metros (m). Se han tomado logaritmos de la variable original por el gran recorrido que tiene.
- *Provincia*: variable explicativa y cualitativa. Es una variable no numérica a la que el propio programa de estimación asigna números. Por ejemplo, Teruel es un 1, Huesca un 2...
- *Provin*Direcc*: variable explicativa. Representa la interacción entre las variables Provincia y Dirección.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------------|--------|---------|--------|--------|-------------------|
| Log(Velocidad) | 4,4114 | 4,3694 | 4,2485 | 5,2283 | 0,14749 |
| Log(Altitud) | 5,4475 | 5,5255 | 0 | 7,8108 | 1,5701 |

| | | | | | |
|-----------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Verano | 0,10058 | 0 | 0 | 1 | 0,30077 |
| Invierno | 0,42744 | 0 | 0 | 1 | 0,49471 |
| Otoño | 0,20648 | 0 | 0 | 1 | 0,40478 |
| Dirección | 23,993 | 27 | 0 | 36 | 10,948 |
| Provin*Direcc | 273,34 | 272 | 0 | 513 | 187,67 |
| Variable | | | | | |
| | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Velocidad) | 0,033433 | 1,4082 | 4,2627 | 4,7095 | 0,19818 |
| Log(Altitud) | 0,28823 | -0,90644 | 2,4849 | 7,4419 | 2,2095 |
| Verano | 2,9904 | 2,656 | 0 | 1 | 0 |
| Invierno | 1,1574 | 0,29337 | 0 | 1 | 1 |
| Otoño | 1,9604 | 1,4503 | 0 | 1 | 0 |
| Dirección | 0,47967 | 2,885 | 6 | 34 | 10 |
| Provin*Direcc | 0,75975 | 2,0968 | 28 | 420 | 214 |

Tabla 57. Principales datos del modelo Noreste de Evento de Viento

Modelo 15: MCO, usando las observaciones 1-60718
 Variable dependiente: l_R_MAX_VEL
 Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCL

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|--------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 4.35597 | 0.00382592 | 1139 | 0.0000 | *** |
| l_ALTITUD | 0.00481444 | 0.000411877 | 11.69 | 1.57e-031 | *** |
| VERANO | -0.0246098 | 0.00188166 | -13.08 | 4.92e-039 | *** |
| INVIERNO | 0.0281225 | 0.00145388 | 19.34 | 4.16e-083 | *** |
| OTONO | 0.00991296 | 0.00168746 | 5.874 | 4.26e-09 | *** |
| PROVINCIA | 0.00159242 | 0.000234025 | 6.805 | 1.02e-011 | *** |
| R_MAX_DIR | -0.000267240 | 8.93012e-05 | -2.993 | 0.0028 | *** |
| ProvinDirec | 3.06414e-05 | 7.89409e-06 | 3.882 | 0.0001 | *** |
| Media de la vble. dep. | 4.411375 | D.T. de la vble. dep. | 0.147487 | | |
| Suma de cuad. residuos | 1291.540 | D.T. de la regresión | 0.145856 | | |
| R-cuadrado | 0.022108 | R-cuadrado corregido | 0.021996 | | |
| F(7, 60710) | 209.7509 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 30739.34 | Criterio de Akaike | -61462.68 | | |
| Criterio de Schwarz | -61390.57 | Crit. de Hannan-Quinn | -61440.30 | | |

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a ENERO -
 Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]
 Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(5) = 2.8521
 con valor p = 0.722775

Figura 25. Resultados de la estimación del Modelo Noreste de los Eventos de Viento Extremo.

Tras la estimación de los modelos explicativos se extraen conclusiones que se han puesto en práctica en esta estimación. La elección de las variables ayuda a que si se hace un Test de Chow se obtenga que hay estabilidad estructural. Esto es porque en el contraste Chi-cuadrado con una variable dummy “Enero” (1 si el evento de viento extremo es en enero, 0 si no) se ha obtenido un p-valor de 0,722775. Con esto no se puede rechazar la hipótesis nula de que hay estabilidad estructural a los principales niveles de confianza.

El modelo es significativo en su conjunto. Como se lleva haciendo a lo largo de la estimación de los modelos, se utiliza el Contraste F de significación conjunta y se obtiene un p-valor de 0, por lo que se puede rechazar la hipótesis nula de que el modelo no es significativo. En cuanto a la significación de las variables, todas son significativas tanto al 10%, al 5% como al 1%. A continuación, se estudia la colinealidad de las variables:

| VARIABLE | VIF |
|---------------|-------|
| Log(Altitud) | 1,119 |
| Verano | 1,244 |
| Invierno | 1,495 |
| Otoño | 1,414 |
| Provincia | 6,404 |
| Dirección | 5,151 |
| Provin*Direcc | 9,766 |

Tabla 58. VIFS del modelo Noreste de Evento de

Sorprendentemente, no hay problemas de multicolinealidad imperfecta grave. En todos los modelos estimados hasta ahora con interacción entre variables ha habido problemas de multicolinealidad imperfecta grave. En este caso no la hay, ya que ningún VIF de las variables llega a 10, aunque alguno se acerca. El R2 del modelo es 0,022108 y el R2 corregido es 0,021996.

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{Vel}) = & 4,35597 + 0,00481444 \times \text{Log}(\text{Altitud}) - 0,0246098 \times \text{Verano} \\ & + 0,0281225 \times \text{Invierno} + 0,00991296 \times \text{Otoño} \\ & + 0,00159242 \times \text{Provincia} - 0,00026724 \times \text{Direccion} \\ & + 0,0000306414 \times \text{Provin} * \text{Direcc} + u \end{aligned}$$

vi. Modelo Noroeste.

Se prosigue con el mismo esquema de modelo que se ha utilizado para el modelo de evento extremo de viento en el noreste de España, pero en vez de dividir por estaciones se divide por meses. Esto es porque a través de los modelos explicativos se ha obtenido que es el que más se ajusta a la variable endógena y en este caso no hay tantos problemas de estabilidad estructural.

$$\begin{aligned} \text{Log}(\text{Vel}) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_3 \times \text{Enero} + \beta_4 \times \text{Febrero} + \beta_5 \times \text{Marzo} \\ & + \beta_6 \times \text{Abril} + \beta_7 \times \text{Mayo} + \beta_8 \times \text{Junio} + \beta_9 \times \text{Julio} \\ & + \beta_{10} \times \text{Agosto} + \beta_{11} \times \text{Octubre} + \beta_{12} \times \text{Noviembre} \\ & + \beta_{13} \times \text{Diciembre} + \beta_{14} \times \text{Direccion} + \beta_{15} \times \text{Provincia} \\ & + \beta_{13} \times \text{Provin} * \text{Direc} + u \end{aligned}$$

- *Log(Velocidad)*: variable endógena. Esta variable mide la velocidad de la racha máxima del evento de viento extremo en Km/hora. Estas velocidades son las que

superan el umbral de los 70 Km/hora. Se han tomado logaritmos de la variable debido a la asimetría a la derecha o positiva que presentaba.

- β : parámetros del modelo.
- *Dirección*: variable explicativa. Esta variable recoge los datos de la dirección que lleva la racha máxima de viento extremo en decenas de grados °. Lógicamente puede ir de 0° a 36°.
- *Enero*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Febrero*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Marzo*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Abril*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Mayo*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Junio*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Julio*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Agosto*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Septiembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base para evitar problemas de colinealidad.
- *Octubre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Noviembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Diciembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Es una variable cuantitativa que recoge la altitud en la que se ha hecho la medida del evento de viento extremo. Recoge los

datos en metros (m). Se han tomado logaritmos de la variable original por el gran recorrido que tiene.

- *Provincia*: variable explicativa y cualitativa. Es una variable no numérica a la que el propio programa de estimación asigna números. Por ejemplo, Asturias es un 1, Cantabria un 2...
- *Provin*Direcc*: variable explicativa. Representa la interacción entre las variables Provincia y Dirección.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Velocidad) | 4,4139 | 4,3694 | 4,2485 | 5,4337 | 0,14748 |
| Log(Altitud) | 5,5241 | 5,8171 | 1,0986 | 7,5807 | 1,5649 |
| Enero | 0,15066 | 0 | 0 | 1 | 0,35772 |
| Febrero | 0,1563 | 0 | 0 | 1 | 0,36315 |
| Marzo | 0,12742 | 0 | 0 | 1 | 0,33344 |
| Abril | 0,074614 | 0 | 0 | 1 | 0,26277 |
| Mayo | 0,047768 | 0 | 0 | 1 | 0,21328 |
| Junio | 0,027715 | 0 | 0 | 1 | 0,16416 |
| Julio | 0,02163 | 0 | 0 | 1 | 0,14547 |
| Agosto | 0,023086 | 0 | 0 | 1 | 0,15018 |
| Septiembre | 0,03287 | 0 | 0 | 1 | 0,1783 |
| Octubre | 0,079405 | 0 | 0 | 1 | 0,27037 |
| Noviembre | 0,1105 | 0 | 0 | 1 | 0,31308 |
| Diciembre | 0,14838 | 0 | 0 | 1 | 0,35548 |
| Dirección | 22,606 | 24 | 0 | 36 | 7,4879 |
| Provin*Direcc | 174,37 | 154 | 0 | 576 | 137,14 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Velocidad) | 0,033413 | 1,3317 | 4,2485 | 4,7095 | 0,18457 |
| Log(Altitud) | 0,28329 | -0,81436 | 2,6391 | 7,4085 | 2,3911 |
| Enero | 2,3743 | 1,9531 | 0 | 1 | 0 |
| Febrero | 2,3233 | 1,8929 | 0 | 1 | 0 |
| Marzo | 2,617 | 2,2348 | 0 | 1 | 0 |
| Abril | 3,5217 | 3,2377 | 0 | 1 | 0 |
| Mayo | 4,4648 | 4,2408 | 0 | 0 | 0 |
| Junio | 5,9230 | 5,7541 | 0 | 0 | 0 |
| Julio | 6,7255 | 6,5768 | 0 | 0 | 0 |
| Agosto | 6,052 | 6,3514 | 0 | 0 | 0 |
| Septiembre | 5,4244 | 5,24 | 0 | 0 | 0 |
| Octubre | 3,405 | 3,1113 | 0 | 1 | 0 |
| Noviembre | 2,8423 | 2,4904 | 0 | 1 | 0 |
| Diciembre | 2,3958 | 1,9783 | 0 | 1 | 0 |
| Dirección | 0,33124 | -0,9235 | 5 | 32 | 9 |
| Provin*Direcc | 0,78649 | 0,57052 | 20 | 420 | 234 |

Tabla 59. Principales datos del modelo Noroeste de Evento de Viento

Se estima el modelo con desviaciones típicas robustas para evitar problemas de heterocedasticidad.

Modelo 8: MCO, usando las observaciones 1-49468
Variable dependiente: l_R_MAX_VEL
Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 4.37970 | 0.00590428 | 741.8 | 0.0000 | *** |
| l_ALTITUD | -0.00351719 | 0.000411056 | -8.556 | 1.20e-017 | *** |
| PROVINCIA | 0.000292178 | 0.000382684 | 0.7635 | 0.4452 | |
| R_MAX_DIR | 0.00109405 | 0.000171564 | 6.377 | 1.82e-010 | *** |
| ProvinDirec | 6.27833e-06 | 1.60558e-05 | 0.3910 | 0.6958 | |
| ENERO | 0.0412860 | 0.00366515 | 11.26 | 2.13e-029 | *** |
| FEBRERO | 0.0427158 | 0.00368375 | 11.60 | 4.75e-031 | *** |
| MARZO | 0.0226466 | 0.00367127 | 6.169 | 6.94e-010 | *** |
| ABRIL | 0.00415172 | 0.00382090 | 1.087 | 0.2772 | |
| MAYO | -0.00892851 | 0.00407062 | -2.193 | 0.0283 | ** |
| JUNIO | -0.0129199 | 0.00446761 | -2.892 | 0.0038 | *** |
| JULIO | -0.0239202 | 0.00445657 | -5.367 | 8.02e-08 | *** |
| AGOSTO | -0.0152658 | 0.00453262 | -3.368 | 0.0008 | *** |
| OCTUBRE | 0.0239279 | 0.00395340 | 6.052 | 1.44e-09 | *** |
| NOVIEMBRE | 0.0227344 | 0.00375222 | 6.059 | 1.38e-09 | *** |
| DICIEMBRE | 0.0443386 | 0.00368416 | 12.03 | 2.59e-033 | *** |
| Media de la vble. dep. | 4.413874 | D.T. de la vble. dep. | 0.147483 | | |
| Suma de cuad. residuos | 1049.784 | D.T. de la regresión | 0.145700 | | |
| R-cuadrado | 0.024334 | R-cuadrado corregido | 0.024038 | | |
| F(15, 49452) | 102.6614 | Valor p (de F) | 0.000000 | | |
| Log-verosimilitud | 25101.65 | Criterio de Akaike | -50171.29 | | |
| Criterio de Schwarz | -50030.35 | Crit. de Hannan-Quinn | -50127.12 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 34 (ProvinDirec)

Figura 26. Resultados de la estimación del Modelo Noroeste de los Eventos de Viento Extremo.

El modelo es significativo en su conjunto. Tras realizar el Contraste F de significación conjunta se obtiene un estadístico F de 102,6614, el cual es lo suficientemente grande para que en el contraste unilateral F de Snedecor quede un p-valor de 0. Por esto, se puede rechazar la hipótesis nula a los principales niveles de confianza. El análisis de la significación individual de las variables es el siguiente:

- Log(Altitud), Dirección, Enero, Febrero, Marzo, Junio, Julio, Agosto, Octubre, Noviembre y Diciembre: tienen un p-valor muy cercano a 0, por lo son significativas a cualquier nivel de confianza.
- Mayo: tras realizar el Contraste t de significación individual se obtiene un p-valor de 0,0283, por lo que esta variable es significativa al 10% y al 5%.
- Provincia, Provin*Direcc y Abril: todas tienen un p-valor superior a 0,1, por lo que no son significativas para los niveles de confianza estándar.

El R² tiene un valor de 0,024334 y el R² corregido de 0,024038. En cuanto a la estabilidad estructural del modelo, se ha realizado un Test de Chow. Se ha obtenido un p-valor de 0,073, por lo que se puede no rechazar la hipótesis nula de que el modelo es estable al 1% y al 5%. En cuanto a la colinealidad, se estudian los VIF's:

| VARIABLE | VIF |
|--------------|-------|
| Log(Altitud) | 1,03 |
| Provincia | 11,47 |

| | |
|---------------|--------|
| Dirección | 4,208 |
| Provin*Direcc | 12,473 |
| Enero | 4,756 |
| Febrero | 4,876 |
| Marzo | 4,266 |
| Abril | 3,027 |
| Mayo | 2,337 |
| Junio | 1,793 |
| Julio | 1,628 |
| Agosto | 1,665 |
| Octubre | 3,15 |
| Noviembre | 3,882 |
| Diciembre | 4,709 |

Tabla 60. VIFS del modelo Noroeste de Evento de

Como se puede observar, solo los VIF de Provincia y Provin*Direcc superan el valor de 10. Por lo tanto, hay problemas de multicolinealidad imperfecta grave, pero se decide no hacer nada y tener en cuenta a la hora de estudiar los resultados.

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(\text{Vel}) = & 4,3797 - 0,00351719 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + 0,041286 \times \text{Enero} \\
 & + 0,0427158 \times \text{Febrero} + 0,0226466 \times \text{Marzo} \\
 & + 0,00415172 \times \text{Abril} - 0,00982851 \times \text{Mayo} - 0,0129199 \times \text{Junio} \\
 & - 0,0239202 \times \text{Julio} - 0,0152658 \times \text{Agosto} \\
 & + 0,0239279 \times \text{Octubre} + 0,0227344 \times \text{Noviembre} \\
 & + 0,0443386 \times \text{Diciembre} + 0,00109405 \times \text{Direccion} \\
 & + 0,000292178 \times \text{Provincia} + 0,00000627833 \times \text{Provin} * \text{Direc} \\
 & + u
 \end{aligned}$$

vii. Modelo Sureste.

Al igual que en el modelo anterior, en este no se encuentran problemas de estabilidad estructural, por lo que se vuelve a estimar con los meses como variable endógena en vez de las estaciones. Se utiliza el mismo modelo con las mismas variables que el modelo para eventos en el noroeste.

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(\text{Vel}) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_3 \times \text{Enero} + \beta_4 \times \text{Febrero} + \beta_5 \times \text{Marzo} \\
 & + \beta_6 \times \text{Abril} + \beta_7 \times \text{Mayo} + \beta_8 \times \text{Junio} + \beta_9 \times \text{Julio} \\
 & + \beta_{10} \times \text{Agosto} + \beta_{11} \times \text{Octubre} + \beta_{12} \times \text{Noviembre} \\
 & + \beta_{13} \times \text{Diciembre} + \beta_{14} \times \text{Direccion} + \beta_{15} \times \text{Provincia} \\
 & + \beta_{13} \times \text{Provin} * \text{Direc} + u
 \end{aligned}$$

- *Log(Velocidad)*: variable endógena. Esta variable mide la velocidad de la racha máxima del evento de viento extremo en Km/hora. Estas velocidades son las que

superan el umbral de los 70 Km/hora. Se han tomado logaritmos de la variable debido a la asimetría a la derecha o positiva que presentaba.

- β : parámetros del modelo.
- *Dirección*: variable explicativa. Esta variable recoge los datos de la dirección que lleva la racha máxima de viento extremo en decenas de grados °. Lógicamente puede ir de 0° a 36°.
- *Enero*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Febrero*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Marzo*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Abril*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Mayo*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Junio*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Julio*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Agosto*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Septiembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base para evitar problemas de colinealidad.
- *Octubre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Noviembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Diciembre*: Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por los meses del año. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Es una variable cuantitativa que recoge la altitud en la que se ha hecho la medida del evento de viento extremo. Recoge los

datos en metros (m). Se han tomado logaritmos de la variable original por el gran recorrido que tiene.

- *Provincia*: variable explicativa y cualitativa. Es una variable no numérica a la que el propio programa de estimación asigna números. Por ejemplo, Asturias es un 1, Cantabria un 2...
- *Provin*Direcc*: variable explicativa. Representa la interacción entre las variables Provincia y Dirección.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------------|----------|-----------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Velocidad) | 4,3929 | 4,3567 | 4,2485 | 5,2781 | 0,13201 |
| Log(Altitud) | 4,478 | 4,0943 | 0 | 7,6497 | 1,8279 |
| Enero | 0,16151 | 0 | 0 | 1 | 0,36801 |
| Febrero | 0,16442 | 0 | 0 | 1 | 0,37066 |
| Marzo | 0,14935 | 0 | 0 | 1 | 0,35644 |
| Abril | 0,080735 | 0 | 0 | 1 | 0,27243 |
| Mayo | 0,047845 | 0 | 0 | 1 | 0,21344 |
| Junio | 0,03084 | 0 | 0 | 1 | 0,17289 |
| Julio | 0,024799 | 0 | 0 | 1 | 0,15551 |
| Agosto | 0,024053 | 0 | 0 | 1 | 0,15322 |
| Octubre | 0,052842 | 0 | 0 | 1 | 0,22372 |
| Noviembre | 0,098896 | 0 | 0 | 1 | 0,29853 |
| Diciembre | 0,13526 | 0 | 0 | 1 | 0,342 |
| Dirección | 24,058 | 27 | 0 | 36 | 9,9363 |
| Provin*Direcc | 246,47 | 261 | 0 | 576 | 163,1 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Velocidad) | 0,03005 | 1,4764 | 4,2485 | 4,654 | 0,16389 |
| Log(Altitud) | 0,40819 | -0,15946 | 1,3863 | 6,9373 | 3,2426 |
| Enero | 2,2786 | 1,8396 | 0 | 1 | 0 |
| Febrero | 2,2544 | 1,8108 | 0 | 1 | 0 |
| Marzo | 2,3866 | 1,9675 | 0 | 1 | 0 |
| Abril | 3,3744 | 3,078 | 0 | 1 | 0 |
| Mayo | 4,4622 | 4,2369 | 0 | 0 | 0 |
| Junio | 5,606 | 5,4275 | 0 | 0 | 0 |
| Julio | 6,2711 | 6,1115 | 0 | 0 | 0 |
| Agosto | 6,37 | 6,2129 | 0 | 0 | 0 |
| Octubre | 4,2338 | 3,9975 | 0 | 1 | 0 |
| Noviembre | 3,0186 | 2,6873 | 0 | 1 | 0 |
| Diciembre | 2,5286 | 2,133 | 0 | 1 | 0 |
| Dirección | 0,41302 | -1,1221 | 3 | 35 | 9 |
| Provin*Direcc | 0,66175 | 0,073138 | 24 | 490 | 296 |

Tabla 61. Principales datos del modelo Sureste de Evento de Viento

```

Modelo 4: MCO, usando las observaciones 1-26816
Variable dependiente: l_R_MAX_VEL
Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

      coeficiente   Desv. típica  Estadístico t   valor p
-----
const      4.32217      0.00669333      645.7          0.0000    ***
l_ALTITUD  0.00673704     0.000456743     14.75          4.78e-049  ***
R_MAX_DIR  0.000810255    0.000201668     4.018          5.89e-05   ***
PROVINCIA  0.00116503     0.000445859     2.613          0.0090    ***
ProvinDirec -3.12457e-05   1.77506e-05     -1.760         0.0784    *
ENERO      0.0303116     0.00475816      6.370          1.92e-010  ***
FEBRERO    0.0276174     0.00474083      5.825          5.76e-09   ***
MARZO      0.0163727     0.00471309      3.474          0.0005    ***
ABRIL      0.00790651    0.00503321      1.571          0.1162
MAYO      -0.0113935    0.00527671     -2.159         0.0308    **
JUNIO     -0.0176927    0.00549290     -3.221         0.0013    ***
JULIO     -0.0179048    0.00586940     -3.051         0.0023    ***
AGOSTO    -0.00590837   0.00619351     -0.9540        0.3401
OCTUBRE    0.0150977     0.00544811      2.771          0.0056    ***
NOVIEMBRE  0.0186412     0.00497120      3.750          0.0002    ***
DICIEMBRE  0.0252948     0.00482437      5.243          1.59e-07   ***

Media de la vble. dep.  4.392853  D.T. de la vble. dep.  0.132007
Suma de cuad. residuos  456.1967  D.T. de la regresión  0.130469
R-cuadrado              0.023712  R-cuadrado corregido  0.023165
F(15, 26800)           46.81006  Valor p (de F)        5.0e-138
Log-verosimilitud      16571.66  Criterio de Akaike    -33111.31
Criterio de Schwarz    -32980.16  Crit. de Hannan-Quinn -33069.00

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 15 (AGOSTO)

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a VERANO -
Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]
Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(4) = 2.43851
con valor p = 0.655678
    
```

Figura 27. Resultados de la estimación del Modelo Sureste de los Eventos de Viento Extremo.

Se ha estimado con desviaciones típicas robustas para corregir la heterocedasticidad. El modelo es significativo en su conjunto. El p-valor obtenido con el Contraste F de significación conjunta es prácticamente 0, por lo que se rechaza la hipótesis nula de que el modelo no es significativo. La significación de las variables es la siguiente:

- Log(Altitud), Dirección, Provincia, Enero, Febrero, Marzo, Junio, Julio, Octubre, Noviembre y Diciembre: son significativas al 10%, al 5% y al 1%.
- Mayo: es significativa al 10% y al 5% como niveles de confianza.
- Provin*Direcc: es significativa solo al 10% de los niveles de confianza estándar.
- Marzo y Agosto: no son significativas para ningún nivel de confianza estándar,

El R2 del modelo es 0,023712 y el R2 corregido 0,023165. El modelo tiene estabilidad estructural Al realizar el Test de Chow con una variable dummy “Verano” (1 si el evento se produce en verano, 0 de cualquier otra forma) se obtiene un p-valor para el contraste unilateral de 0,655678. Por esto podemos no rechazar la hipótesis nula del contraste a los principales niveles de confianza. Los VIF’s de las variables del modelo para analizar la colinealidad son los siguientes:

| VARIABLE | VIF |
|--------------|-------|
| Log(Altitud) | 1,011 |
| Provincia | 7,034 |

| | |
|---------------|-------|
| Dirección | 7,28 |
| Provin*Direcc | 13,82 |
| Enero | 5,463 |
| Febrero | 5,532 |
| Marzo | 5,176 |
| Abril | 3,443 |
| Mayo | 2,504 |
| Junio | 1,991 |
| Julio | 1,806 |
| Agosto | 1,78 |
| Octubre | 2,649 |
| Noviembre | 3,936 |
| Diciembre | 4,859 |

Tabla 62. VIFS del modelo Sureste de Evento de

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(\text{Vel}) = & 4,32217 + 0,00673704 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + 0,0303116 \times \text{Enero} \\
 & + 0,0276174 \times \text{Febrero} + 0,0163727 \times \text{Marzo} \\
 & + 0,00790651 \times \text{Abril} - 0,0113935 \times \text{Mayo} - 0,0176927 \times \text{Junio} \\
 & - 0,0179048 \times \text{Julio} - 0,00590837 \times \text{Agosto} \\
 & + 0,0150977 \times \text{Octubre} + 0,0186412 \times \text{Noviembre} \\
 & + 0,0252948 \times \text{Diciembre} + 0,000810255 \times \text{Direccion} \\
 & + 0,00116503 \times \text{Provincia} \pm 0,0000312457 \times \text{Provin} * \text{Direc} + u
 \end{aligned}$$

viii. Modelo Suroeste.

Tras probar a estimar muchos modelos, la mayoría aparentan tener problemas de estabilidad estructural. Para encontrar uno que la tenga, hay que volver al modelo que se utilizó para los eventos de viento en el noroeste de España. Esto es, no se divide en función de los meses del año, sino simplemente en estaciones: verano, otoño, invierno, primavera.

$$\begin{aligned}
 \text{Log}(\text{Vel}) = & \beta_1 + \beta_2 \times \text{Log}(\text{Altitud}) + \beta_3 \times \text{Verano} + \beta_4 \times \text{Invierno} + \beta_5 \times \text{Otoño} \\
 & + \beta_6 \times \text{Provincia} + \beta_7 \times \text{Direccion} + \beta_8 \times \text{Provin} * \text{Direcc} + u
 \end{aligned}$$

- *Log(Velocidad)*: variable endógena. Esta variable mide la velocidad de la racha máxima del evento de viento extremo en Km/hora. Estas velocidades son las que superan el umbral de los 70 Km/hora. Se han tomado logaritmos de la variable debido a la asimetría a la derecha o positiva que presentaba.
- β : parámetros del modelo.
- *Dirección*: variable explicativa. Esta variable recoge los datos de la dirección que lleva la racha máxima de viento extremo en decenas de grados °. Lógicamente puede ir de 0° a 36°.

- *Verano*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Invierno*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1.
- *Otoño*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Primavera*: variable explicativa. Es una variable dicotómica que pertenece a un grupo de variables nominales o cualitativas formado por Verano, Invierno, Otoño y Primavera. Al ser una variable dicotómica puede tomar como valor 0 ó 1. Se escoge como categoría base.
- *Log(Altitud)*: variable explicativa. Es una variable cuantitativa que recoge la altitud en la que se ha hecho la medida del evento de viento extremo. Recoge los datos en metros (m). Se han tomado logaritmos de la variable original por el gran recorrido que tiene.
- *Provincia*: variable explicativa y cualitativa. Es una variable no numérica a la que el propio programa de estimación asigna números. Por ejemplo, Córdoba es un 1, Huelva un 2...
- *Provin*Direcc*: variable explicativa. Representa la interacción entre las variables Provincia y Dirección.
- *u*: perturbación aleatoria.

| Variable | Media | Mediana | Mínimo | Máximo | Desviación Típica |
|----------------|----------|------------|----------|-----------|-----------------------|
| Log(Velocidad) | 4,3841 | 4,3438 | 4,2485 | 5,5134 | 0,13171 |
| Log(Altitud) | 4,7082 | 4,5218 | 0 | 7,7711 | 2,0025 |
| Verano | 0,20922 | 0 | 0 | 1 | 0,40683 |
| Invierno | 0,34252 | 0 | 0 | 1 | 0,47456 |
| Otoño | 0,17982 | 0 | 0 | 1 | 0,38404 |
| Dirección | 18,527 | 20 | 0 | 36 | 10,482 |
| Provin*Direcc | 170,42 | 138 | 0 | 612 | 123,51 |
| Variable | C.V. | Asimetría | Perc. 5% | Perc. 95% | Rango Intercuartílico |
| Log(Velocidad) | 0,030042 | 1,7903 | 4,2485 | 4,6444 | 0,16599 |
| Log(Altitud) | 0,42532 | -0,034702 | 1,6094 | 7,7711 | 3,0445 |
| Verano | 1,9435 | 1,4290 | 0 | 1 | 0 |
| Invierno | 1,3855 | 0,6637 | 0 | 1 | 1 |
| Otoño | 2,1357 | 1,6675 | 0 | 1 | 0 |
| Dirección | 0,56573 | -0,0061579 | 3 | 34 | 19 |
| Provin*Direcc | 0,72479 | 0,64621 | 20 | 384 | 217 |

Tabla 63. Principales datos del modelo Suroeste de Evento de Viento

Modelo 6: MCO, usando las observaciones 1-43539

Variable dependiente: l_R_MAX_VEL

Desviaciones típicas robustas ante heterocedasticidad, variante HCl

| | coeficiente | Desv. típica | Estadístico t | valor p | |
|------------------------|-------------|-----------------------|---------------|-----------|-----|
| const | 4.41923 | 0.00535165 | 825.8 | 0.0000 | *** |
| l_ALTITUD | 0.00904183 | 0.000364985 | 24.77 | 1.50e-134 | *** |
| PROVINCIA | -0.0101195 | 0.000585736 | -17.28 | 1.18e-066 | *** |
| R_MAX_DIR | -0.00255834 | 0.000235395 | -10.87 | 1.77e-027 | *** |
| ProvinDirec | 0.000335737 | 2.48537e-05 | 13.51 | 1.69e-041 | *** |
| VERANO | -0.0160051 | 0.00159601 | -10.03 | 1.22e-023 | *** |
| INVIERNO | 0.0183951 | 0.00165979 | 11.08 | 1.66e-028 | *** |
| OTONO | 0.00284347 | 0.00189857 | 1.498 | 0.1342 | |
| Media de la vble. dep. | 4.384110 | D.T. de la vble. dep. | 0.131708 | | |
| Suma de cuad. residuos | 728.2869 | D.T. de la regresión | 0.129346 | | |
| R-cuadrado | 0.035707 | R-cuadrado corregido | 0.035552 | | |
| F(7, 43531) | 201.9186 | Valor p (de F) | 3.3e-296 | | |
| Log-verosimilitud | 27273.70 | Criterio de Akaike | -54531.41 | | |
| Criterio de Schwarz | -54461.96 | Crit. de Hannan-Quinn | -54509.51 | | |

Sin considerar la constante, el valor p más alto fue el de la variable 23 (OTONO)

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a OCTUBRE -

Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]

Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(5) = 7.39411

con valor p = 0.192941

Contraste de Chow de diferencia estructural con respecto a ABRIL -

Hipótesis nula: [No hay diferencia estructural]

Estadístico de contraste asintótico: Chi-cuadrado(5) = 23.0955

con valor p = 0.000323668

Figura 28. Resultados de la estimación del Modelo Sureste de los Eventos de Viento Extremo.

Como ya se ha mencionado antes, se ha escogido este modelo para evitar problemas de estabilidad estructural. Al realizar el Test de Chow para comprobarlo, se obtiene un p-valor de 0,1929 mediante el método de Chi-Cuadrado y 0,1930 mediante F de Snedecor. Por lo tanto, no hay evidencia para rechazar la hipótesis nula de que hay estabilidad estructural al 10%, 5% y 1% como niveles de confianza.

Para corregir los problemas de heterocedasticidad, el modelo se ha estimado con desviaciones típicas robustas. Además, se ha contrastado la significación conjunta del modelo. Para ello se ha realizado el Contraste F de significación conjunta y se ha obtenido un p-valor prácticamente nulo. Entonces, se puede afirmar que el modelo es significativo en su conjunto. Por otro lado, se ha estudiado la significación de las variables. Tras realizar el contraste t de significación individual se obtiene que todas las variables menos otoño son significativas a los principales niveles de confianza ya que tienen un p-valor muy cercano a 0. Otoño, sin embargo, tiene un estadístico t más pequeño. Este es 1,498, lo que provoca que al hacer el contraste bilateral quede un p-valor de 0,1342. Por lo tanto, ni al 10%, 5% ni 1% esta variable es significativa.

El R2 tiene un valor de 0,035707. El R2 corregido tiene un valor de 0,035552. Por último, se analiza la colinealidad del modelo. Para ello se presta atención a los VIF's de las variables:

| VARIABLE | VIF |
|---------------|--------|
| Log(Altitud) | 1,222 |
| Provincia | 8,782 |
| Dirección | 17,952 |
| Provin*Direcc | 27,911 |
| Verano | 1,44 |
| Invierno | 1,508 |
| Otoño | 1,374 |

Tabla 64. VIFS del modelo Suroeste de Evento de

Como se puede observar, solo los VIF's de las variables Dirección y Provin*Direcc superan el valor de 10. Por lo tanto, se puede afirmar que el modelo no arrastra problemas graves de colinealidad. Esta multicolinealidad imperfecta grave aparece debido a la inclusión del término interactivo entre las variables Dirección y Provincia. Se decide no hacer nada y tenerlo en cuenta a la hora de tomar decisiones.

$$\begin{aligned} \text{Log}(Vel) = & 4,41923 + 0,00904183 \times \text{Log}(\text{Altitud}) - 0,010051 \times \text{Verano} + \\ & 0,0183951 \times \text{Invierno} + 0,00284347 \times \text{Otoño} - 0,0101195 \times \text{Provincia} - \\ & 0,00255834 \times \text{Direccion} + 0,000335737 \times \text{Provin} * \text{Direcc} + u \end{aligned}$$

III. Análisis Clúster.

El análisis clúster o de conglomerados consiste en agrupar las observaciones de la muestra en función de las características que comparten, utilizando técnicas multivariantes del tipo descriptivo-no inferencial (ESTAM20). A diferencia del análisis discriminante, en el análisis de conglomerados, los grupos no están determinados previamente (ESTAM20). Las aglomeraciones deben tener homogeneidad interna y heterogeneidad externa (ESTAM20). Es decir, Ser muy similares entre los casos del mismo grupo, y estos grupos ser distinguibles entre ellos. Existen tres tipos de análisis clúster: análisis jerárquico, análisis k-mean y análisis bi-etápico (ESTAM20).

En este proyecto, debido al gran tamaño muestral de las dos variables, se va a trabajar con el análisis K-MEAN. Este es un método de clasificación no jerárquico en el que previamente se han definido el número de grupos que se van a formar (ESTAM20). Solo se puede utilizar con variables cuantitativas y es adecuado para tamaños muestrales grandes (ESTAM20). Para asignar los casos a un clúster, se basa en minimizar la distancia del caso al centro del grupo (ESTAM20).

i. Variable Temperatura.

Se decide agrupar las variables en 5 clústeres. Para ello, se decide iterar el número máximo que permite SPSS, el cual es 999 veces. Como se ha mencionado antes, solo se

pueden analizar con este método las variables cuantitativas. Por ello se incluyen en el proceso las variables Temperatura, Mes (del 1 al 12), Año, Altitud, Latitud y Longitud.

La latitud y longitud se incluyen para controlar la variable espacial y geográfica de los casos, la cual se cree que puede jugar un papel importante. La variable año para tener en cuenta el efecto que tiene la tendencia en la temperatura del paso del tiempo; y la variable Mes para tener en cuenta la estación en la que se ha dado el fenómeno.

Al realizar el análisis se llega a la convergencia en la iteración número 26, por lo que no es necesario seguir iterando. Los resultados obtenidos son los siguientes:

Centros de clústeres finales

| | Clúster | | | | |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| LATITUD | 38,01001152922 | 39,0582115761 | 38,9494456609 | 38,8593288098 | 38,67145029795 |
| LONGITUD | -4,75998839259 | -4,67044918708 | -3,75199377047 | -4,60100575928 | -3,36192756438 |
| ALTITUD | 103 | 308 | 686 | 499 | 916 |
| TEMPERATURA MAXIMA | 41,2 | 41,1 | 40,9 | 41,0 | 40,8 |
| ANO | 1988 | 1990 | 1988 | 1989 | 1984 |
| MES | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 |

Número de casos en cada clúster

| Clúster | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|----------|------------|-----------|-----------|-----------|----------|
| | 46187,000 | 50921,000 | 28315,000 | 34659,000 | 8409,000 |
| Válidos | 168491,000 | | | | |
| Perdidos | ,000 | | | | |

Distancias entre centros de clústeres finales

| Clúster | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|---------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 1 | | 205,281 | 582,754 | 395,881 | 813,076 |
| 2 | 205,281 | | 377,495 | 190,618 | 607,835 |
| 3 | 582,754 | 377,495 | | 186,879 | 230,351 |
| 4 | 395,881 | 190,618 | 186,879 | | 417,220 |
| 5 | 813,076 | 607,835 | 230,351 | 417,220 | |

Tabla 65. Resultados del Análisis Clúster de los Eventos de Temperatura Extrema.

Como se puede observar no hay casos perdidos en la asignación de los eventos a los grupos. A su vez es importante destacar como las distancias entre los centros de los clústeres es muy grande, lo cual garantiza que se mantiene la heterogeneidad entre los grupos.

Como cabía esperar, el centro de los clúster en cuanto a los meses es julio. Esto tiene sentido ya que la gran mayoría de los eventos de temperatura extremos se dan en este mes. Los centros de los grupos en cuanto a latitud, longitud y temperatura no difieren en exceso. Esto quiere decir que la media de los casos de cada conglomerado es muy similar entre los grupos, por lo que no parecen variables determinantes a la hora realizar la clasificación. Sin embargo, las medias de las variables altitud y año se diferencian más, lo que da a entender que tienen un rol predominante en la agrupación de los eventos.

Al obtener las agrupaciones se decide volver a estimar los modelos. Esto se hace ya que al agruparse entre casos similares con menos variación es posible que se obtenga una mejor estabilidad estructural y un R2 y R2 corregido mayor. Sin embargo, la estimación de los modelos para que tengan finalidad predictiva sigue sin ser satisfactoria, ya que el R2 es muy bajo.

ii. Variable Viento.

Esta vez se decide agrupar en 6 clústeres, ya que hay más casos. Se sigue el mismo procedimiento realizando, a priori, unas 999 iteraciones. En este caso se han añadido las siguientes variables: Velocidad, Mes (del 1 al 12), Año, Altitud, Latitud, Longitud y Dirección.

Los motivos para añadir las variables comunes entre temperatura y viento son los mencionados anteriormente. La única diferencia es que se añade la variable dirección, ya que se cree que influencia la posible agrupación.

Al realizar el análisis se alcanza la convergencia en la iteración número 8.

Centros de clústeres finales

| | Clúster | | | | | |
|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| LONGITUD DEC | -1,8530008949 | -4,2493193420 | -15,132219176 | -4,4412095553 | -4,6132312444 | -4,3939719671 |
| LATITUD DEC | 41,536856138 | 40,866652226 | 29,090679916 | 39,899084969 | 38,780094047 | 39,944668081 |
| ALTITUD | 1765 | 326 | 2357 | 805 | 50 | 1320 |
| ANO | 1998 | 1997 | 1982 | 2006 | 1998 | 2012 |
| MES | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 | 6 |
| R_MAX_DIR | 21 | 24 | 25 | 23 | 22 | 23 |
| R_MAX_VEL | 91 | 83 | 89 | 81 | 82 | 83 |

Número de casos en cada clúster

| Clúster | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|----------|------------|---|---|---|---|---|
| 1 | 8380,000 | | | | | |
| 2 | 38262,000 | | | | | |
| 3 | 5564,000 | | | | | |
| 4 | 36109,000 | | | | | |
| 5 | 80246,000 | | | | | |
| 6 | 11980,000 | | | | | |
| Válidos | 180541,000 | | | | | |
| Perdidos | ,000 | | | | | |

Distancias entre centros de clústeres finales

| Clúster | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
|---------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | | 1439,107 | 592,660 | 959,652 | 1715,001 | 444,700 |
| 2 | 1439,107 | | 2031,347 | 479,602 | 275,911 | 994,768 |
| 3 | 592,660 | 2031,347 | | 1551,983 | 2307,223 | 1037,108 |
| 4 | 959,652 | 479,602 | 1551,983 | | 755,458 | 515,183 |
| 5 | 1715,001 | 275,911 | 2307,223 | 755,458 | | 1270,635 |
| 6 | 444,700 | 994,768 | 1037,108 | 515,183 | 1270,635 | |

Tabla 66. Resultados del Análisis Clúster de los Eventos de Viento Extremo.

No hay casos perdidos. Otra vez se puede observar como la distancia entre los centros de los clústeres finales es muy grande, por lo que no hay problemas de heterogeneidad. En este análisis de conglomerados sí que aparece una mayor diferencia entre las medias de los grupos.

- Longitud: destaca la gran diferencia del clúster 3, el cual tiene la media en $-15,132219176^\circ$. El resto alrededor de -4° ó -1° .
- Latitud: destaca el clúster 3 otra vez. Tiene la media en $29,090679916^\circ$. El resto están centrados alrededor de 40° .
- Altitud: todos varían, no presentan cercanía.
- Año: los grupos 1, 2 y 5 está centrados al final del siglo XX. Sin embargo, el valor medio para el año de los grupos 3, 4 y 6 cambia bastante.
- Mes: todos están centrados en torno a junio.
- Dirección: todos están centrados entre 20° y 25° .
- Velocidad: todos están centrados entre 81 kilómetros por hora y 91 kilómetros por hora.

Esta variación entre medias se atribuye a los eventos de viento extremo están más distribuidos tanto temporalmente como espacialmente. Como se ha visto anteriormente, no se concentran en exceso en ninguna zona (salvo las Islas Canarias) ni son anormalmente frecuentes en una determinada estación del año.

En este caso el organizarlos por clústeres tampoco soluciona los problemas para obtener unos modelos predictivos potentes. No se consigue elevar el R2 lo suficiente.

8. Vulnerabilidad y Evaluación del Riesgo, Mitigación y Prevención.

La siguiente sección del proyecto es el análisis de la vulnerabilidad de España y la evaluación del riesgo de los eventos de temperatura extrema y los eventos de viento extremo.

La vulnerabilidad es la predisposición que tiene el país de verse afectado de manera negativa por diversos fenómenos. Engloba diversos factores como la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la incapacidad para adaptarse (FIEL14).

El riesgo recoge las principales consecuencias potenciales cuando algo de valor está en juego y no se conocen los resultados finales que se van a obtener. Normalmente se representa como la probabilidad de ocurrencia de los eventos extremos multiplicada por el impacto de estos eventos (FIEL14).

$$\text{Riesgo} = \text{Impacto} \times \text{Probabilidad de ocurrencia}$$

Para valorar el impacto y la probabilidad de ocurrencia se siguen los criterios que aparecen a continuación:

| VALORACIÓN DEL IMPACTO | | Consecuencia |
|------------------------|----|--|
| Catastrófico | 10 | Cuando se produce una pérdida generalizada de bienes ambientales, un daño ambiental irreversible o una gran pérdida de vidas o daños a las personas. |
| Mayor | 5 | Cuando se produce un deterioro generalizado de los servicios y calidad de vida con daños aislados graves o pérdida de vidas humanas. |
| Moderado | 2 | Cuando se producen casos aislados pero significativos de daño ambiental, que podría ser revertido con esfuerzos intensivos, o un número reducido de daños a seres humanos. |
| Menor | 1 | Cuando se producen daños aislados en áreas importantes, pero de bajo impacto económico, ambiental o con pequeños daños a las personas. |

| | | |
|--------------|---|--|
| Despreciable | 0 | Cuando existe una amenaza real, pero sin que produzca un daño directo en el medio ambiente, las personas o los activos económicos. |
|--------------|---|--|

Tabla 67. Valoración de la magnitud del impacto de los eventos. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Tabla 4.

| VALORACIÓN DE POSIBILIDAD OCURRENCIA | | IMPACTO RECURRENTE | SUCESO ÚNICO | DEFINICIÓN PCC |
|--------------------------------------|---|--|---|---|
| Casi Seguro | 5 | Varias veces al año. | Probabilidad de que suceda del 50%. | Muy probable (nivel de certeza entre 90-99%). |
| Probable | 4 | Al menos una vez al año, menos de 10 años. | Probabilidad de que suceda del 50%. | Probable (nivel de certeza entre 66-90%). |
| Posible | 3 | Una vez cada 10 años | Probabilidad de que suceda inferior al 50%, pero alta. | Probabilidad moderada (nivel de certeza entre 33-66%) |
| Improbable | 2 | Una vez cada 10-25 años. | Probabilidad de que suceda baja, peor no despreciable. No tiene probabilidad 0. | Improbable (nivel de certeza entre 10-33%) |
| Raro | 0 | Improbable en los próximos 25 años. | Probabilidad de que suceda cercana al 0. | Muy poco probable (nivel de certeza entre 1-10%) |

Tabla 68. Valoración de la probabilidad de ocurrencia de los eventos. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Tabla 5.

| | | IMPACTO | | | | | |
|--------------|----------------|------------------|-----------|-----------|--------------|-----------|------------------|
| | | CATASTRÓFI CO | MAYO R | MEDI O | MODERA DO | MENO R | DESPRECI ABLE |
| | | 10 | 5 | 3 | 2 | 1 | 0 |
| PROBABILIDAD | CASI SEGURO | 50 | 25 | 15 | 10 | 5 | 0 |
| | PROBABLE | 40 | 20 | 12 | 8 | 4 | 0 |
| | POSIBLE | 30 | 15 | 9 | 6 | 3 | 0 |
| | IMPROBAB LE | 20 | 10 | 6 | 4 | 2 | 0 |
| | RARO | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | |
|-----------------|-----------------------------|
| MUY ALTO | IR >= 20 |
| ALTO | 10 <= IR <= 19 |
| MEDIO | 6 <= IR <= 9 |
| BAJO | IR <= 5 |

Tabla 69. Valoración del índice de riesgo. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Tabla 6.

ÍNDICES DE RIESGO (IR)

Muy Alto: Riesgo que demanda de atención e intervención urgente al más alto nivel.

Alto: Riesgo que demanda atención prioritaria e intervención a corto plazo.

Medio: Riesgo que demanda de atención rutinaria e intervención a medio plazo y debe ser vigilado ante posibles cambios.

Bajo: Sin riesgo apreciable. No requiere ninguna respuesta.

Uno de los principales eventos asociados a los eventos de temperatura extrema son las olas de calor. Además, como se va a explicar posteriormente, son uno de los fenómenos más graves y con más consecuencias negativas.

Una ola de calor, pese a que no hay una definición exacta, es el evento en el que se supera una temperatura umbral durante unos determinados días consecutivos (RODR12). Para este trabajo, se ha fijado la temperatura umbral en 40 grados centígrados. Además, se escoge como tres el número de días consecutivos que se tienen que dar estos fenómenos. Lo más probable es que las olas de calor se hagan más frecuentes en el futuro (BERN07). Es de interés estudiarlo, ya que tiene graves consecuencias, ya que crea problemas de salud y aumenta el riesgo de incendios en zonas naturales (BERN07).

El aumento en las temperaturas máximas y la ocurrencia de olas de calor es muy probable (BERN07). Esto derivaría en importantes problemas en diversos sectores:

- Agricultura, silvicultura y ecosistemas: reducción de los rendimientos en las regiones más cálidas debido al estrés térmico; aumento del peligro de incendios forestales y sequías (BERN07).
- Recursos hídricos: mayor demanda de agua; problemas en la calidad del agua; sequías (BERN07).
- Salud humana: aumento en el riesgo de la mortalidad relacionada con el calor, especialmente para personas ancianas, enfermos crónicos, recién nacidos y personas aisladas (BERN07).

- **Industria, asentamientos y sociedad:** reducción en la calidad de vida de las personas que habitan en zonas calidad sin viviendas apropiadas; impacto en los ancianos, jóvenes y pobres (BERN07).

A estas, se les suman los siguientes riesgos recogidos en el Quinto Informe del IPCC del 2015 (FIEL14):

- Reducción significativa en el acceso al agua superficial y subterránea. Incremento en las restricciones de uso de los recursos hídricos. Todo esto combinado con un aumento en la demanda de agua, como puede ser en los cultivos, industria energética o uso doméstico. Reducción del drenaje y escorrentía como resultado a una mayor demanda de evaporación en el sur de Europa. Todo esto a un alto nivel de confianza (FIEL14).
- Pérdidas económicas e impacto en la vida humana debido a los eventos de calor extremo. Impacto en la salud y bienestar, en la productividad laboral, producción de los cultivos, calidad del aire, peligro de incendios. A un nivel de confianza medio (FIEL14).

Assessment Box SPM.2 Table 1 (continued)

Continued next page →

| Europe | | | | |
|--|--|---|---------------------------|---------------------------------|
| Key risk | Adaptation issues & prospects | Climatic drivers | Timeframe | Risk & potential for adaptation |
| Increased economic losses and people affected by flooding in river basins and coasts, driven by increasing urbanization, increasing sea levels, coastal erosion, and peak river discharges (<i>high confidence</i>) [23.2-3, 23.7] | Adaptation can prevent most of the projected damages (<i>high confidence</i>). • Significant experience in hard flood-protection technologies and increasing experience with restoring wetlands • High costs for increasing flood protection • Potential barriers to implementation: demand for land in Europe and environmental and landscape concerns |  | | Very low Medium Very high |
| | | | Present | |
| | | | Near term (2030–2040) | |
| | | | Long term 2°C (2080–2100) | |
| | | | 4°C | |
| Increased water restrictions. Significant reduction in water availability from river abstraction and from groundwater resources, combined with increased water demand (e.g., for irrigation, energy and industry, domestic use) and with reduced water drainage and runoff as a result of increased evaporative demand, particularly in southern Europe (<i>high confidence</i>) [23.4, 23.7] | • Proven adaptation potential from adoption of more water-efficient technologies and of water-saving strategies (e.g., for irrigation, crop species, land cover, industries, domestic use) • Implementation of best practices and governance instruments in river basin management plans and integrated water management |  | | Very low Medium Very high |
| | | | Present | |
| | | | Near term (2030–2040) | |
| | | | Long term 2°C (2080–2100) | |
| | | | 4°C | |
| Increased economic losses and people affected by extreme heat events: impacts on health and well-being, labor productivity, crop production, air quality, and increasing risk of wildfires in southern Europe and in Russian boreal region (<i>medium confidence</i>) [23.3-7, Table 23-1] | • Implementation of warning systems • Adaptation of dwellings and workplaces and of transport and energy infrastructure • Reductions in emissions to improve air quality • Improved wildfire management • Development of insurance products against weather-related yield variations |  | | Very low Medium Very high |
| | | | Present | |
| | | | Near term (2030–2040) | |
| | | | Long term 2°C (2080–2100) | |
| | | | 4°C | |

Figura 29. Riesgos clave para el continente europeo identificados en el quinto informe del IPCC. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp. Assessment Box SPM.2 Table 1

A su vez, además de las olas de calor y temperatura extrema, se estudiarán el riesgo e impacto de los eventos de viento extremo. El efecto destructivo de estos eventos puede causar graves destrozos en distintos sectores o ámbitos como puede ser el medio ambiente, las infraestructuras o ecosistemas (AYUN21):

- Bienestar e Infraestructura: los eventos de viento extremo pueden provocar desprendimientos en infraestructuras. No tiene mucha incidencia en la vida humana de la población humana. Daños en viviendas, naves y cualquier construcción (AYUN21).
- Medio Ambiente: los ecosistemas se ven afectados en gran medida. La vegetación y fauna sufren ante estos fenómenos violentos de este tipo de riesgo (AYUN21).
- Agricultura y Ganadería: está relacionado con la infraestructura. Daños en corrales, cultivos e invernaderos (AYUN21).

| EVALUACIÓN DEL RIESGO | | | | |
|-----------------------|----------|--------------|---------|----|
| EVENTO | ZONA | PROBABILIDAD | IMPACTO | IR |
| Temperatura Extrema | Noreste | 5 | 5 | 25 |
| Temperatura Extrema | Noroeste | 4 | 5 | 20 |
| Temperatura Extrema | Sureste | 5 | 5 | 25 |
| Temperatura Extrema | Suroeste | 5 | 5 | 25 |
| Viento Extremo | Noreste | 5 | 3 | 15 |
| Viento Extremo | Noroeste | 5 | 3 | 15 |
| Viento Extremo | Sureste | 4 | 3 | 12 |
| Viento Extremo | Suroeste | 5 | 3 | 15 |
| Ola de Calor | Noreste | 5 | 5 | 25 |
| Ola de Calor | Noroeste | 3 | 5 | 15 |
| Ola de Calor | Sureste | 5 | 5 | 25 |
| Ola de Calor | Suroeste | 5 | 5 | 25 |

Tabla 70. Evaluación del Riesgo de distintos Eventos en

También se puede realizar un análisis más completo y concienzudo del riesgo. En este se introducen nuevos conceptos y se estudia un riesgo más específico que el general. (AYUN21).

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} \times \text{PIR}$$

- La vulnerabilidad tiene las siguientes categorías (AYUN21):
 - Vidas: la población en general (AYUN21).
 - Bienes: infraestructura, bienes privados y público, patrimonio (AYUN21).
 - Medioambiente: agua, aire, suelos, hábitats y ecosistemas (AYUN21).

| VALOR | DESCRIPCIÓN |
|-------|---|
| 10 | Daños muy graves y elevadas defunciones. |
| 5 | Daños importantes con posibles defunciones. |
| 4 | Daños importantes sin defunciones. |
| 2 | Pequeños daños con posibles personas afectadas. |
| 1 | Pequeños daños sin personas afectadas. |
| 0 | Ni daños ni personas afectadas. |

Tabla 71. Valoración del índice de vulnerabilidad. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Tabla 8.

Dentro de la vulnerabilidad se encuentra la vulnerabilidad teórica, la cual mide los efectos sin tener en cuenta la capacidad de adaptación y mitigación de los fenómenos anómalos (AYUN21).

$$Vul. Teó. = \frac{Vulnerabilidad_{vidas} + Vulnerabilidad_{ambiente} + Vulnerabilidad_{bienes}}{3}$$

- El Poder Intrínseco del Riesgo (PIR) pone en relación y conjunta el efecto del propio riesgo con el Índice de Probabilidad (IP) (AYUN21). Tiene en cuenta los siguientes factores:
 - Efecto Destructivo (ED). Se puntúa del 0 al 3. Es la potencia energética del evento anómalo (AYUN21).
 - Efecto Multiplicador (EM). Se puntúa del 0 al 3. Es la sinergia del evento anómalo (AYUN21).
 - Efecto o Cobertura Espacial (CE). Se puntúa del 0 a 3 (AYUN21).

| VALOR | DESCRIPCIÓN |
|-------|--|
| 5 | Ocurre varias veces al año. |
| 3 | Ocurre cada 10 años o menos. |
| 2 | Ocurre entre intervalos de 10 a 30 años. |
| 1 | Ocurre cada más de 30 años. |
| 0 | No hay riesgo de que ocurra. |

Tabla 72. Valoración del Índice de Probabilidad (IP). Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Tabla 8.

$$PIR = \frac{(ED + EC + CE) \times IP}{9}$$

Una vez se tiene el PIR y la vulnerabilidad definidos, se puede calcular el Índice de Riesgo Potencial (IRP).

| | | Índice de Vulnerabilidad | | | | | |
|-----|---|--------------------------|----|----|----|---|---|
| | | 10 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| PIR | 5 | 50 | 25 | 20 | 10 | 5 | 0 |
| | 4 | 40 | 20 | 16 | 8 | 4 | 0 |
| | 3 | 30 | 15 | 12 | 6 | 3 | 0 |
| | 2 | 20 | 10 | 8 | 4 | 2 | 0 |
| | 1 | 10 | 5 | 4 | 2 | 1 | 0 |
| | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 |

| | |
|-----------------|----------------------------|
| MUY ALTO | IR >= 20 |
| ALTO | 10 <= IR < 20 |
| MEDIO | 5 <= IR < 10 |
| BAJO | IR < 5 |

ÍNDICES DE RIESGO POTENCIAL (IRP)

Muy Alto: Riesgo que demanda de atención e intervención urgente al más alto nivel.

Alto: Riesgo que demanda atención prioritaria e intervención a corto plazo.

Medio: Riesgo que demanda de atención rutinaria e intervención a medio plazo y debe ser vigilado ante posibles cambios.

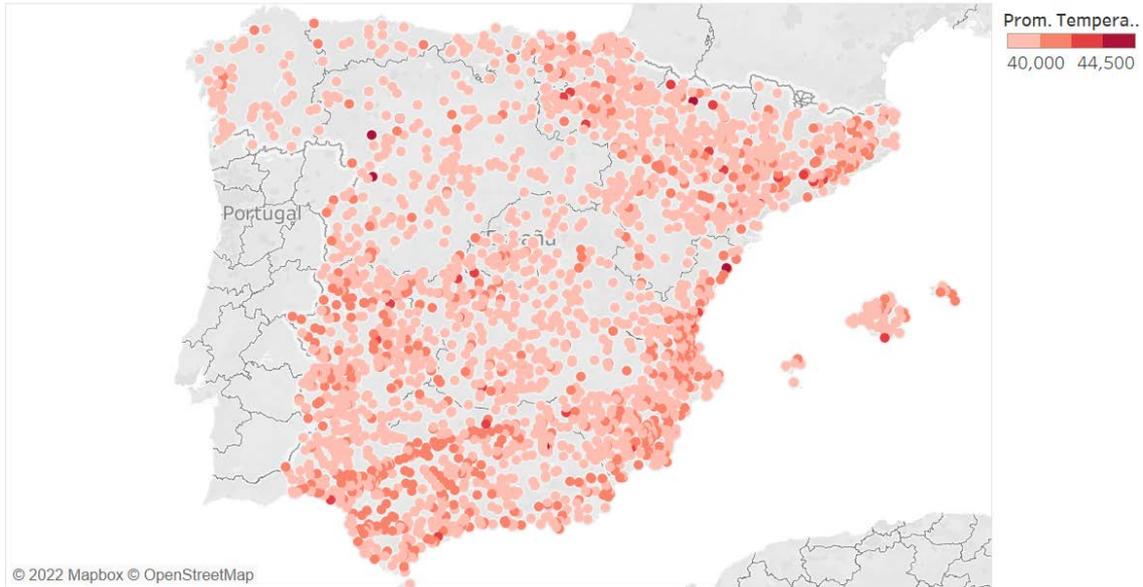
Bajo: Sin riesgo apreciable. No requiere ninguna respuesta.

Tabla 73. Valoración del índice de riesgo potencial. Adaptado de: Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Tabla 10.

I. Eventos de Temperaturas Extremas.

ALTO

Mapa de Riesgo de los Eventos de Temperatura Extrema en la Península Ibérica y Baleares



Mapa de Riesgo de los Eventos de Temperatura Extrema en las Islas Canarias



Figura 30. Mapa de riesgo de ocurrencia de Eventos de Temperatura Extrema en España.

Se comienza analizando el Poder Intrínseco del Riesgo:

- Efecto Destructivo (ED): el efecto destructivo de la ocurrencia de eventos de temperaturas extremas no es muy importante en cuanto a infraestructuras se refiere (AYUN21). Sin embargo, sí que afecta a los recursos hidrológicos y a la agricultura. en el sur se disponen de 20.662 hm/año de recursos hídricos naturales, un 18,76% del total que hay en el territorio español (MINI__). Por lo tanto, el riesgo en cuanto a recursos hídricos en el sur de España es elevado. En esta zona, sobre toda en la Región de Murcia y Almería, los recursos hídricos son escasos, dependiendo en gran manera de los recursos subterráneos (MINI__). Además, el uso del regadío en la región austral española es mayor que en la septentrional (MINI__).

En cambio, en el norte de la Península Ibérica, almacena 89.476 hm/año de los recursos hídricos, un 81,24% del total (MINI__). Por ende, no es un problema tan grave en la zona septentrional de España. En esta zona además no se utiliza tanto el regadío y las lluvias son más frecuentes.

Como ya se ha especificado antes, un aumento de las temperaturas provocaría un aumento de la demanda, lo que dañaría los recursos hídricos de esta zona. En conclusión, se le otorga un 1 sobre 3 al Efecto Destructivo. Esto es porque dentro de esta categoría solo tiene poder destructivo con relación a los recursos hídricos.

- Efecto Multiplicador (EM): el Efecto Multiplicador de los eventos de temperatura extrema es bastante grave. Esto se debe a que afecta a diversos campos de forma indirecta como puede ser que favorezca los incendios forestales, afecta a la salud de las personas, potencia las sequías (AYUN21) ... Además, la combinación de eventos de temperatura extrema con las rachas extremas de viento ha provocado un gran número de incendios forestales en la historia de España (AYUN21). Los efectos de viento combinado con las temperaturas extremas son más peligrosos en las Islas Canarias y en Zonas montañosas, ya que es donde se concentran el mayor número de eventos de rachas extremas. En definitiva, se le da un valor de 3 sobre 3 debido a la peligrosidad de los derivados.
- Cobertura Espacial (CE): los eventos de temperatura extrema se dan en la gran mayoría del sur español, concentrándose en la época de verano. Las Comunidades Autónomas más afectadas son la Región de Murcia, Andalucía y Extremadura. En estos casos, debido a las características climáticas, es de suma importancia. Tanto en gran parte de la Región de Murcia, Almería como de Alicante, el clima predominante es el desierto cálido (AEME11). Este clima tiene como característica principal que es árido. Las temperaturas extremas pueden provocar que este clima seco se expanda (NATG10). Se le da un valor de 3 sobre 3 a la Cobertura Espacial.

Con los datos estudiados a lo largo del trabajo, se puede afirmar con seguridad que se van a dar eventos de temperatura extrema varias veces al año en todas las provincias del sur de España. Es más, estas han ido reduciendo su frecuencia con el paso del tiempo. Por lo tanto, se le da el máximo Índice de Probabilidad posible en la escala, un 5.

Por lo tanto, ya se puede calcular el PIR, que toma un valor de 3,889.

También se analizan los principales campos de la vulnerabilidad:

- Vida de las personas: el efecto de las temperaturas extremas en las personas es bastante notorio. No solo afectan a la salud de los ciudadanos, sino también a su bienestar y día a día. El descanso nocturno se ve perturbado cuando las temperaturas superan los 20 °C (PASC2016). Además, a partir de los 36 °C las actividades físicas se vuelven un peligro para la salud (PASC2016). Esto último es bastante reseñable, ya que se están analizando los eventos de temperatura que superan los 40°C. En esta situación los golpes de calor son frecuentes, y en el

colectivo de gente determinado en el momento preciso pueden llegar a darse defunciones (PASC2016). Se asocian también con las temperaturas extremas aumentos en la mortalidad y morbilidad por estrés térmico, enfermedades cardiovasculares y respiratorias y agravios de enfermedades crónicas (SANZ20). No se encuentra variación entre distintas zonas de España.

- Medio Ambiente: hay que resaltar la vulnerabilidad de los recursos hídricos de los que disponemos. Su uso está regulado, pero a la vez es muy intenso (SANZ20). Como ya se ha mencionado antes, el aumento en la frecuencia de ocurrencia de eventos de temperatura extrema favorece los incendios. Esto es muy perjudicial para cualquier ecosistema (SANZ20). Teniendo en cuenta que en el sur hay parques naturales como Sierra Espuña o el Parque de Doñana esto es muy relevante. En cuanto a la vegetación y flora, con el aumento de las temperaturas extremas hay un aumento de las tasas de mortalidad (SANZ20). También se produce un incremento de defoliación (SANZ20). Las altas temperaturas pueden afectar a especies vulnerables y favorecer las plagas (SANZ20).
- Bienes: en los bienes se consideran también la ganadería y agricultura. En el sur de España predomina la agricultura como sector primario, por lo que los riesgos derivados de las temperaturas extremas como sequías e incendios son muy graves.

Por lo tanto, a la vulnerabilidad se le va a otorgar un valor de 4 en la escala, ya que con la información recabada se estima que haya daños importantes con personas de determinados sectores muy afectadas.

Utilizando los valores dados a la vulnerabilidad y PIR, se calcula el Índice de Riesgo Potencial. En este caso toma un valor de 15,556, clasificando como **ALTO**.

MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN

Para mitigar el impacto de los eventos de temperatura extrema es adecuado tomar unas medidas preventivas. Como dice el refranero español, “más vale prevenir que curar”. Estas medidas no son solo para la mitigación de los eventos de temperatura extremos, sino que también actúan contra los eventos relacionados como los incendios forestales o el impacto en recursos hídricos o el impacto que tienen en las personas.

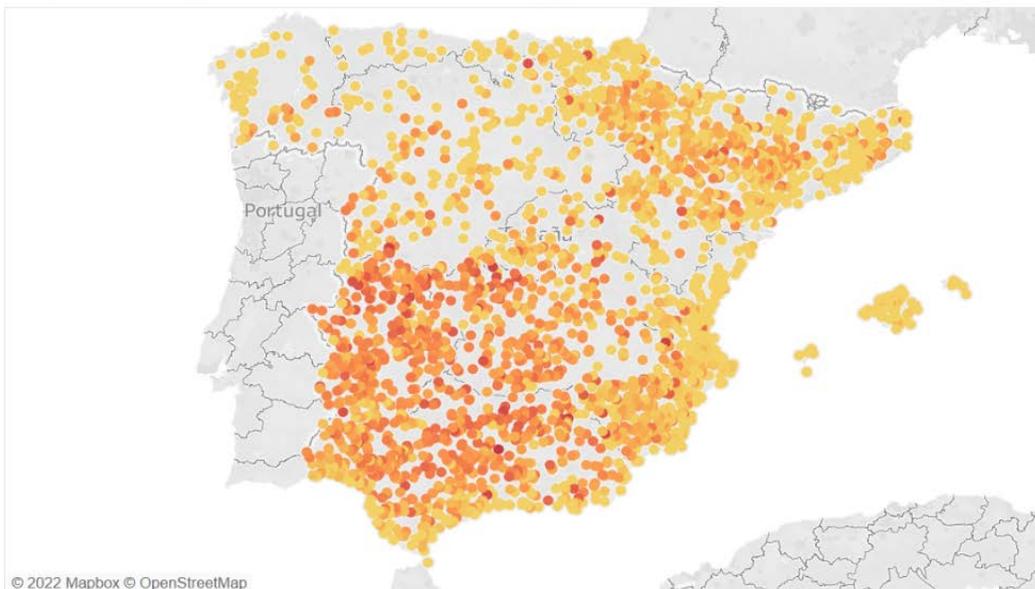
- Implementar sistemas de alarma para que la población esté preparada para tomar las medidas necesarias para responder ante el posible peligro (FIEL14).
- Disponer de la información meteorológica y predicciones con el tiempo suficiente para que las autoridades tomen las medidas oportunas a estos eventos (AYUN21).
- Adaptar los edificios, asentamientos, métodos de transporte público e infraestructuras para que la temperatura extrema no afecte de manera aguda a las personas (FIEL14).
- Las autoridades pertinentes deben realizar campañas de concienciación para que los ciudadanos estén informados de cómo actuar y que medidas sanitarias y de autoprotección deben tomar (AYUN21).
- Realizar un estudio de la situación del protocolo que se tiene en contra de incendios forestales y, en caso de que fuera necesario, mejorarlo (FIEL14).

- Limitar la circulación de personas por zonas de riesgo (AYUN21).
- Adoptar un uso inteligente y política ahorradora de los recursos hídricos en distintas industrias como la ganadera, agrícola y energética (FIEL14).
- Implementar mejores prácticas y protocolos en la administración de las cuencas hídricas del país (FIEL14).
- Disponer de instalaciones para que las personas que lo necesiten puedan alojarse en caso de que hayan perdido su vivienda por un incendio u otro evento. (AYUN21).

II. Olas de Calor.

MUY ALTO

Mapa de Riesgo de Olas de Calor en la España Peninsular y Baleares



Mapa de Riesgo de Olas de Calor en las Islas Canarias



Figura 31. Mapa de riesgo de ocurrencia de Olas de Calor en España.

El efecto que tienen las olas de calor en el territorio y sociedad española es similar al que tienen los eventos de temperatura extrema. Se comienza otra vez analizando el Poder Intrínseco del Riesgo:

- Efecto Destructivo (ED): el efecto destructivo es similar al de las temperaturas extremas, pero este se ve agravado debido a la repetición de los eventos. Al ser más relevante, se decide aumentar su valor y darle un 2 sobre 3.
- Efecto Multiplicador (EM): otra vez, el efecto multiplicador está relacionado con las temperaturas extremas. El aumento de las olas de calor tiene un efecto indirecto en el turismo. Sobre todo, en las zonas del sur de España que es donde se concentran una mayor cantidad de olas de calor y en el que el turismo es el sector principal de la economía (SANZ20). Los incendios forestales son mucho más frecuentes en episodios de olas de calor (AYUN21). A su vez hay un riesgo asociado en la pérdida de producción en la agricultura y ganadería (SANZ20). Debido a la gravedad del impacto y eventos derivados de las olas de calor, se le da un valor de 3 sobre 3.
- Cobertura Espacial (CE): las olas de calor se dan en España a lo largo de todo su territorio. Estas se concentran en el período estival. Además, estas son mucho más frecuentes en la zona sur del país. Los efectos en los distintos climas son muy similares a los especificados para los eventos de temperaturas extremas. Se decide darle un valor de 3 sobre 3.

La frecuencia de las olas de calor es menor que la de los eventos de temperatura extrema. Aun así, siguen ocurriendo varias veces al año, aunque mucho más concentradas en los meses veraniegos. Esto debe a la naturaleza que se les ha dado a estos eventos en el trabajo, son la consecución de varios días seguidos con eventos de temperatura extrema. Se le da un Índice de Probabilidad de 5.

Con estos datos, se obtiene un PIR de 4,444.

A continuación, se estudia la vulnerabilidad:

- Vidas Humanas: otra vez, los efectos de las olas de calor son muy parecidos entre las distintas zonas del territorio español. De todas formas, el efecto de las olas de calor los agrava. Provoca un aumento en la morbilidad y mortalidad relacionada con el estrés térmico, sobre todo en las personas ancianas y niños (SANZ20). Además, agravan enfermedades respiratorias y cardiovasculares como el asma (SANZ20). También crecen los casos de golpes de calor o insolaciones que pueden llegar a ser mortales. En cuanto al bienestar de las personas, se repiten los efectos de las temperaturas extremas de evitar que las personas concilien el sueño o puedan hacer actividades físicas al aire libre. A esto se suma que, debido al incremento de ocurrencia de las olas de calor, las compañías de seguros aumenten el precio de sus pólizas (SANZ20). Las áreas urbanas son las más sensibles debido a que se produce el efecto “isla de calor”, que hay una gran densidad de población y de gente de riesgo (SANZ20).
- Medioambiente: dentro del medioambiente, si se considera la ganadería y agricultura en este sector, se observa que ha habido daño fenológico en las distintas especies que predominan en el sector ganadero español (SANZ20). Además, con el aumento de la frecuencia en las olas de calor se produce un mayor estrés hídrico y menor supervivencia de la flora debido a la inferior cantidad de nutrientes en el suelo (SANZ20).

- Bienes: grandes daños en distintos cultivos y sectores agrarios debido a los incendios que derivan de las olas de calor. Además, pueden existir problemas de abastecimientos (SANZ20).

Con el estudio realizado, se le decide otorgar a la vulnerabilidad un valor de 5 en la escala.

En definitiva, el Índice de Riesgo Potencial alcanza un valor de 22,222. Este valor se coloca en la categoría **MUY ALTO**.

MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN

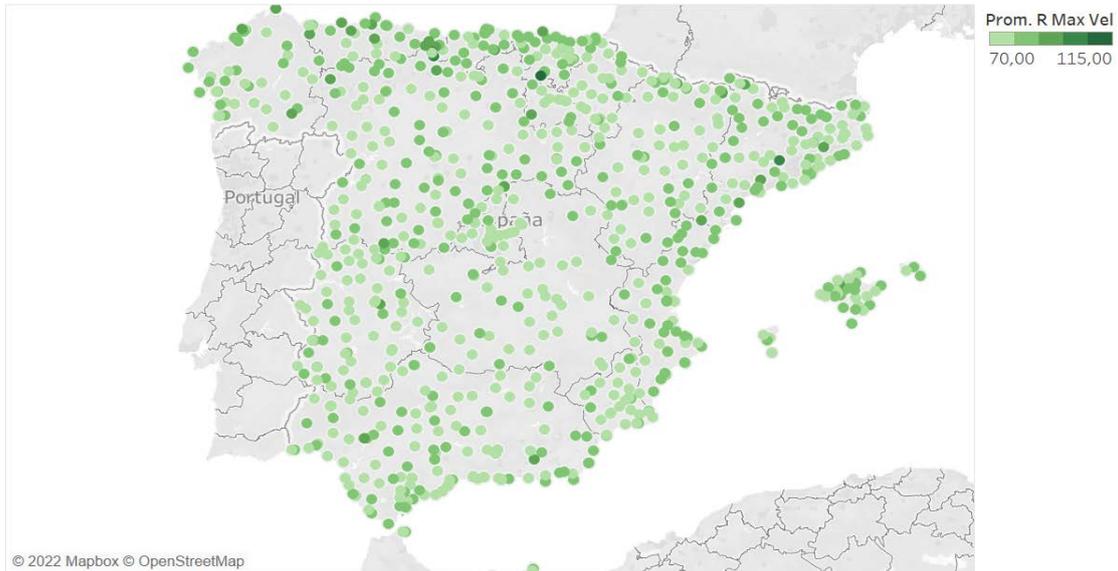
Para la adaptación ante y mitigación de las olas de calor las medidas recomendables a tomar son muy similares a las de los eventos de temperatura extrema. Las que se han mencionado para los fenómenos de temperatura anómalos se mantienen.

- Implementar sistemas de alarma para que la población esté preparada para tomar las medidas necesarias para responder ante el posible peligro (FIEL14).
- Disponer de la información meteorológica y predicciones con el tiempo suficiente para que las autoridades tomen las medidas oportunas a estos eventos (AYUN21).
- Adaptar los edificios, asentamientos, métodos de transporte público e infraestructuras para que la temperatura extrema no afecte de manera aguda a las personas (FIEL14).
- Las autoridades pertinentes deben realizar campañas de concienciación para que los ciudadanos estén informados de cómo actuar y que medidas sanitarias y de autoprotección deben tomar (AYUN21).
- Realizar un estudio de la situación del protocolo que se tiene en contra de incendios forestales y, en caso de que fuera necesario, mejorarlo (FIEL14).
- Limitar la circulación de personas por zonas de riesgo (AYUN21).
- Adoptar un uso inteligente y política ahorradora de los recursos hídricos en distintas industrias como la ganadera, agrícola y energética (FIEL14).
- Implementar mejores prácticas y protocolos en la administración de las cuencas hídricas del país (FIEL14).
- Disponer de instalaciones para que las personas que lo necesiten puedan alojarse en caso de que hayan perdido su vivienda por un incendio u otro evento. (AYUN21).
- Tener al personal sanitario preparado y bien formado ante los posibles problemas que pueda haber (AYUN21).
- Establecer una línea telefónica para la asistencia al ciudadano (PASC21).
- Cancelar eventos deportivos y culturales si la ola de calor es lo suficientemente intensa (PASC21).
- Las autoridades pertinentes deben concienciar acerca de la hidratación necesaria durante estos eventos (PASC21).

III. Eventos de Viento Extremo.

ALTO

Mapa de Riesgo de los Eventos de Viento Extremo



Mapa de Riesgo de Enetos de Viento Extrmo en las Islas Canarias



Figura 32. Mapa de riesgo de ocurrencia de Eventos de Viento Extremo en España.

Por último, se van a analizar el riesgo y vulnerabilidad derivados de los eventos de viento extremo en el territorio español. Otra vez se comienza con el Poder Intrínseco del Riesgo:

- Efecto de Destructivo (ED): los eventos de viento extremo son los más destructivos de los estudiados en este trabajo. Aun así, en España no se dan de una magnitud tal que sean un asunto extremadamente preocupante. De todas formas, es muy preocupante ya que puede causar destrozos en todo tipo de infraestructuras y medioambiente si llega a la intensidad necesaria (AYUN21). El mayor poder destructivo viene con eventos de más intensidad. Acorde a la siguiente clasificación:

| TIPO DE RACHA | VELOCIDAD (Km/hora) |
|---------------------|---------------------|
| Temporal | 62-74 |
| Temporal Fuerte | 75-88 |
| Tormenta Fuerte | 89-102 |
| Temporal muy Duro | 103-117 |
| Temporal Huracanado | >=118 |

Tabla 74. Clasificación de las distintas rachas de viento según su velocidad. Adaptado de: Wind speed units & wind directions converter - Windfinder. (2022).

A partir de temporal fuerte las consecuencias son graves. Llegando en Temporal Huracanado a ser desastrosas. Debido a este gran efecto destructivo se le va a dar un 3 sobre 3.

- Efecto Multiplicador (EM): está relacionado con las temperaturas. El efecto combinado de los eventos de temperatura extrema u olas de calor y los eventos de viento extremos pueden provocar un agravio en los incendios y su magnitud (AYUN21). Como ya se ha mencionado anteriormente, esto último es de especial importancia en zonas montañosas y en las Islas Canarias. El viento extremo provoca eventos derivados en las zonas de litoral español. Esto se debe al efecto que produce en el mar. Cuando alcanza determinadas velocidades, embravece de tal manera el océano que es un gran peligro para embarcaciones, personas e incluso edificaciones costeras (AYUN21). Se le da un valor de 2 sobre 3 al efecto multiplicador. Esto es porque, aunque comparte varios efectos derivados con los eventos de temperatura extrema y olas de calor,
- Cobertura Espacial (CE): los eventos de viento extremo se reparten a lo largo del año por toda la geografía española. Hay que destacar la intensidad y frecuencia de estos eventos sobre todo en las Islas Canarias. También, como se puede ver en el mapa de riesgo de los eventos de viento extremo, en zonas montañosas y regiones del norte como el País Vasco y Cantabria. Como se ha mencionado anteriormente, esto, entre otras cosas, se debe a las diferencias en las isobaras de presión que hay en el litoral español (MOLI15). Pese a ello, en la zona interior de la meseta están más repartidas y son menos intensas. Por todo ello, se le da un 2 sobre 3 a la cobertura espacial.

Otra vez, los eventos de rachas extremas de viento se dan varias veces todos los años en la mayoría del territorio español. En este caso no hay mucha variabilidad entre estaciones, aunque hay cierta tendencia a que se den un mayor número de eventos en invierno. Por esto, se le da un Índice de Probabilidad de 5.

Con esto se calcula el PIR, que tiene un valor de 4,444.

A continuación, se analiza la vulnerabilidad de los eventos de viento extremo:

- Vidas humanas: no hay diferencias en el efecto que tienen en las vidas humanas en función de las regiones de España. El principal efecto que tiene viene derivado de su efecto destructivo y la vulnerabilidad de las infraestructuras, ya que se pueden tener accidentes con desprendimientos de cornisas u otros elementos de los edificios (AYUN21). También puede ser que afecte al bienestar de las personas al impedir que se realicen algunas actividades al aire libre.

- Medioambiente: los eventos violentos de viento afectan a vegetación y fauna a lo largo de los ecosistemas en España (AYUN21). No es una preocupación demasiado importante, pero si llegan a cierta intensidad y violencia, estos eventos pueden llegar a destruir ecosistemas. Como se ha mencionado anteriormente, los eventos extremos de viento embravecen el mar, lo que daña los ecosistemas marinos y costeros. Aunque este sector ya ha sido estudiado concienzudamente y tiene planes de adaptación, sigue teniendo un papel importante (SANZ20). Mencionar las inundaciones costeras, que principalmente son causadas por los eventos extremos de viento (SANZ20).
- Bienes: quizás es el apartado de la vulnerabilidad que más sufre ante los fenómenos extremos de viento. Los Eventos de viento extremo afectan a cualquier tipo de construcción, desde cultivos a invernaderos o edificios (AYUN21). En las Islas Canarias, principal zona en el estudio de los eventos de viento extremo, el sector económico principal es el turismo (CEOE20), por lo que necesita una infraestructura potente que se puede ver afectada. Las redes de transporte como son las portuarias o aeroportuarias también se ven afectadas (SANZ20). Además, se observa un aumento en la inversión en el mantenimiento de la red eléctrica y de telecomunicaciones debido a estas rachas anormales (SANZ20).

En definitiva, se le otorga a la vulnerabilidad un valor de 4.

Con los datos y asignaciones realizadas, se puede calcular el Índice de Riesgo Potencial. Toma un valor de 15,556, que lo coloca en la categoría de **ALTO**.

MITIGACIÓN Y ADAPTACIÓN

Como ya se ha mencionado, los eventos de viento extremo no tienen un impacto tan grave en las personas, pero sí en las edificaciones, cultivos y distintas infraestructuras. Por lo tanto, las medidas de prevención que se deben tomar tienen que estar adaptadas a ello. Algunas posibles medidas son:

- Implementar sistemas de alarma para que la población esté preparada para tomar las medidas necesarias para responder ante el posible peligro (FIEL14).
- Disponer de la información meteorológica y predicciones con el tiempo suficiente para que las autoridades tomen las medidas oportunas a estos eventos (AYUN21).
- Informar con antelación para que los ciudadanos no tomen riesgos innecesarios, como puede ser acercarse a la costa ante un temporal (AYUN21).
- Limitar la circulación de personas por zonas de riesgo (AYUN21).
- Disponer de instalaciones para que las personas que lo necesiten puedan alojarse en caso de que hayan perdido su vivienda por un incendio u otro evento. (AYUN21).
- Cierre de la actividad portuaria en el caso que fuese necesario (AYUN21).
- Cierre de la actividad aeroportuaria en el caso que fuese necesario (AYUN21).
- Ayudas económicas para costear los accidentes y desprendimientos en infraestructuras (FIEL14).
- Remodelación y adaptación de edificaciones para prevenir desprendimientos.

9. Conclusiones.

Como se ha mencionado anteriormente, a lo largo del trabajo se ha realizado un análisis estadístico de las variables temperatura y viento. La primera es la protagonista de los eventos de temperatura extremos y la segunda de los eventos de viento extremo.

También se han estimado diversos modelos, tanto explicativos como de predicción, para analizar y estudiar el comportamiento de las variables. En estos modelos se ha conseguido establecer una relación coherente entre las variables explicativas y la variable endógena, pero a la hora de realizar los modelos de predicción no se ha conseguido obtener un R2 lo suficientemente elevado para que sean útiles.

Las principales conclusiones extraídas, en el territorio español, son las siguientes:

- **Análisis Estadístico:**

Gran parte de las conclusiones está relacionada con la confirmación de las hipótesis propuestas en el análisis estadístico. Además, en este apartado de las conclusiones se intenta dar respuesta a los dos primeros objetivos del proyecto: hacer un análisis estadístico tanto de la variable temperatura como de la variable viento.

- **Eventos de Temperatura Extrema:**

- Como era de esperar, los eventos de temperatura extrema son más frecuentes en la zona sur de España. Especialmente en Comunidades Autónomas como Andalucía, Región de Murcia y Extremadura. Las condiciones climáticas que tienen, así como su posición geográfica provocan que los eventos de temperatura extremos sean más frecuentes que en el norte. Por lo tanto, las medidas a tomar deben ser más concienzudas en el sur.
- Extremadura es la comunidad con una mayor incidencia de eventos de temperatura extrema con relación a su superficie. Con 0,9812 eventos por kilómetro cuadrado, corren el riesgo de que su clima actual de estepa calidad pase a ser desierto cálido debido a la desertificación.
- La altitud tiene un efecto inversamente proporcional a la frecuencia de ocurrencia e intensidad de eventos de temperatura extrema. Por ende, la mayoría de los eventos se dan a altitudes cercanas al nivel de mar, en la zona costera española.
- Como es lógico, el mayor número de eventos de temperatura extrema se han dado en verano. Concretamente, un 94,94% se han dado en verano, un 4,67% en otoño, un 0,38% en primavera y un 0,0036% en invierno. Por lo tanto, se tendrá que prestar especial atención a la hora de tomar medidas en la época estival.
- Durante todo el siglo XX el número de eventos extremos de temperatura fue subiendo década a década. Lo que es más grave, la pendiente con la que evoluciona tiene un crecimiento exponencial. El máximo número de eventos se alcanza en la última década del siglo XX con un total de 31.089 eventos. A partir de aquí los datos mejoran, dándose 25.864 eventos entre el 2001 y el 2010 y 27.079 entre 2011 y 2020. Esta mejoría y estabilización se atribuye a acciones del

pasado que están teniendo efecto a medio-largo plazo. Un ejemplo puede ser el Protocolo de Kioto.

- La acción humana provoca que se agrave el cambio climático, lo que está directamente relacionado con la magnitud, intensidad y frecuencia de los eventos de temperatura extrema.
- Eventos de Viento Extremo:
- Los eventos de viento están más dispersos en España que los eventos de temperatura. Se concentran con un poco más de intensidad en la costa, quedando más libre la zona de la meseta interior. Los protocolos de prevención y actuación deberían ser más exhaustivos en zonas cercanas al mar.
 - Las Islas Canarias tienen el mayor número de eventos de viento. También se mantienen en el número 1 si se estudia esta variable con relación a su superficie. En total, se han dado 23.305 eventos de viento extremo, lo que equivale a 3.128 eventos por kilómetro cuadrado. Se atribuye a esto a su posición en el Océano Atlántico y ser un archipiélago. Esto último es por las diferencias de presiones que se producen entre costas y las corrientes de aire que llegan desde el océano. Esto se ve ratificado en que el otro archipiélago español, las Islas Baleares, ocupa la tercera posición en eventos de viento extremo por kilómetro cuadrado con 1,67.
 - Destaca también la zona norte de España. En el País Vasco se han dado 15.408 eventos, 2,125 eventos por kilómetro cuadrado. En Cantabria 7.121 eventos, que son 1.344 por kilómetro cuadrado. En definitiva, los eventos de rachas de viento extremas son más frecuentes e intensos en zonas costeras.
 - La dirección predominante en las rachas de viento es sureste. El número de eventos que llevan una dirección entre 270° y 360° es 68.315, un 37,84% del total. En cambio, en el resto de las direcciones la cantidad es inferior. En la dirección Noreste (0°-90°) se han dado 25.821 casos, un 14,30% del total; en la dirección Noroeste (90°-180°) se han dado 23.393 casos, un 12,96% del total; y en la dirección Suroeste (180°-270°) se han dado 58.886 casos, un 32,62% del total. Como conclusión, se producen un mayor número de rachas de viento desde el norte al sur de España. Esto se debe a la acción del litoral Atlántico y Cantábrico.
 - Los fenómenos de rachas de viento que superan los 70 kilómetros por hora es más usual en invierno. Sin embargo, no hay ninguna estación en la que no haya mucha incidencia. En invierno se han dado 75.758 casos, un 41,96% del total; en verano se han dado 20.941 casos, un 11,60% del total; en otoño se dan 36.228 casos, un 20,07% del total; y en primavera se han dado 47.614 casos, un 26,37% del total. Con estos datos se puede concluir que los protocolos de actuación y prevención se deben potenciar de cara al invierno y en invierno.
 - La mayoría de los eventos de viento extremo se han dado en el norte del territorio español. Pese a que el sur cuenta con la Comunidad Autónoma con mayor número de anomalías, la cuenca sureste del mediterráneo, Andalucía y la meseta sur de España son más tranquilas. En cambio, en el norte hay Comunidades Autónomas como el País Vasco, Cantabria o Asturias donde la concentración de eventos es

muy alta. Se deben tomar más medidas para protegerse del impacto en la región septentrional española.

- Pese a que la hipótesis de partida era que se daban más eventos a una altitud no cercana al nivel del mar, la mayoría de las anomalías se han concentrado por debajo de los 500 metros de altura. Esta hipótesis se había realizado teniendo en cuenta el efecto de la corteza terrestre y distintos obstáculos en la intensidad del viento. Esto se atribuye a que los efectos considerados no eran tan importantes y a que todas las medidas se toman con el mismo estándar, es decir, evitando obstáculos.
- El número de eventos de viento extremo por década crece exponencialmente con el paso del tiempo. Además, debido a la aguda pendiente positiva que lleva no tiene pinta de que vaya a cambiar en un futuro a corto-medio plazo. Esto puede ser un problema grave ya que estos fenómenos tienen un relevante en edificaciones y ecosistemas.

- **Modelos Econométricos:**

Las conclusiones de los modelos econométricos también están relacionadas con los objetivos 1 y 2. Esto se debe a que el motivo principal de estimar los modelos es encontrar relaciones entre variables y tener una forma de predecir comportamientos futuros.

- **Eventos de Temperatura Extrema:**

- Modelos Explicativos: los modelos explicativos estimados para los eventos de temperatura extrema cumplen su función. Pese a no tener R² muy elevados, en la mayoría se consigue mantener la significación de las variables a cualquier nivel de confianza y tener pocos problemas de colinealidad.

En la mayoría, el efecto que tiene la variable Sur en la Temperatura máxima alcanzada es positivo, es decir, si se está en el sur la temperatura máxima aumenta. También se corroboran algunas hipótesis iniciales. El efecto de la variable Verano en la temperatura máxima es positivo, mientras que el del resto de estaciones, Primavera, Otoño e Invierno, es negativo. Se comprueba como la Altitud, o en su defecto Log(Altitud), tienen un parámetro negativo. Lo que al ser una variable cuantitativa, cuando aumenta la altitud disminuye la temperatura. A su vez se analiza como la variable Año tiene un efecto cuadrático. En concreto de parábola invertida ya que el parámetro es negativo. Esto concuerda con las gráficas y distribuciones de frecuencia, ya que se puede observar como a partir de la década de los 90 cambio la tendencia en la ocurrencia de eventos de temperatura extrema.

- Modelos Predictivos: debido a la gran variación en las condiciones de las distintas regiones de España, los datos han de separarse por zonas. En este caso se ha hecho por Noreste, Noroeste, Sureste y Suroeste. Sin embargo el R² obtenido no es lo suficientemente cercano a 1 como para utilizar los modelos para realizar

predicciones. Esto se achaca a la variación de los datos. El no poder tratarlos como una serie temporal y no encontrar más material útil ha tenido mucho peso.

○ Eventos de Viento Extremo:

- Modelos Explicativos: los modelos explicativos estimados para los eventos de viento extremo cumplen su función. Pese a no tener R² muy elevados, en la mayoría se consigue mantener la significación de las variables a cualquier nivel de confianza y tener pocos problemas de colinealidad.

En los modelos de estimación de la variable viento, se intuye una contradicción respecto a la altitud, ya que se apreciaba que había más eventos cerca del nivel del mar. Sin embargo, al ser la variable endógena la velocidad de la racha y no el número de eventos, el efecto que tiene la altitud es positivo. Es decir, a más altitud más velocidad. En cuanto a las estaciones, se observa como que el evento suceda en Invierno o en Otoño favorece a que la velocidad de la racha sea mayor. En cambio, la variable Dirección tiene parámetros muy cercanos a 0 por lo que no parece que tenga mucha influencia en la velocidad de la racha.

- Modelos Predictivos: debido a la gran variación en las condiciones de las distintas regiones de España, los datos han de separarse por zonas. En este caso se ha hecho por Noreste, Noroeste, Sureste y Suroeste. Sin embargo el R² obtenido no es lo suficientemente cercano a 1 como para utilizar los modelos para realizar predicciones. Esto se achaca a la variación de los datos. El no poder tratarlos como una serie temporal y no encontrar más material útil ha tenido mucho peso.

○ Análisis Clúster:

Con la técnica del análisis clúster o de conglomerados se consigue agrupar los casos tanto de los eventos de temperatura como de viento de manera óptima. Con ello se debería poder corregir los problemas de estabilidad estructural y de finalidad predictiva. Sin embargo, esto no es así, ya que no se alcanza un R² ni un R² corregido lo suficientemente elevados.

• **Evaluación de Riesgos y Medidas de Prevención y Mitigación:**

En este caso, la relación principal con los objetivos se encuentra con el número 3. Este objetivo se basa en evaluar los riesgos y, a partir de ahí, ofrecer un conjunto de medidas para prevenir, mitigar y adaptarse a estos riesgos. Esto mismo es lo que se hace en el apartado, añadiendo el estudio de los riesgos indirectos y combinados de los eventos extremos.

○ Eventos de Temperatura Extrema:

- Los eventos de temperatura extrema quedan con un Índice de Riesgo Potencial de 15,556, lo que los coloca dentro de la escala en **ALTO**. Esto significa que los eventos de temperatura extrema dentro del territorio español conllevan un riesgo que demanda atención prioritaria e intervención a corto plazo. Esto se debe a, entre otras cosas, que se considera que los efectos derivados de estos fenómenos pueden causar daños importantes a diversos niveles y provocar en casos extremos alguna defunción. A su vez juegan un papel importante los riesgos asociados como los incendios forestales.
 - Los eventos de temperaturas extremas juegan un papel muy importante en la frecuencia y gravedad de los incendios forestales. Esto combinado con los eventos extremos de viento puede tener un impacto devastador. Conviene tomar medidas para prevención de los incendios forestales, como realizar un estudio del protocolo de actuación y prevención ante ellos y mejorarlo si fuese necesario; o que las autoridades pertinentes cuenten con la información meteorológica e informes con el suficiente tiempo de antelación para tomar medidas de prevención. En el caso de que se dé un incendio forestal se debería proteger a toda costa al ciudadano. Una opción para realizar es implementar un sistema de alarma para que la población esté preparada. En el caso de que sus viviendas se vean destruidas, se debería contar con instalaciones para que las personas se puedan alojar temporalmente,
 - Los eventos de temperaturas extremas juegan un papel muy importante en la disponibilidad y demanda de los recursos hídricos. Para prevenir que haya problemas con el abastecimiento de agua en cultivos, población y demás sectores, se debería adoptar un uso inteligente con una política ahorradora en distintas industrias como la ganadera, agrícola y energética. Para ello el Gobierno podría establecer alguna legislación al respecto. También se deberían implementar mejores prácticas y protocolos en la administración de cuencas hídricas del país. Por último, para prevenir que la demanda por parte de la ciudadanía sea excesiva, se debería hacer campaña para concienciar a la gente de que deben seguir una conducta eficiente y ahorradora con el agua.
- Olas de Calor:
- Los eventos de olas de calor quedan con un Índice Potencial de Riesgo de 22,222, lo que dentro de la escala los coloca en un riesgo potencial **MUY ALTO**. Esto significa que los riesgos derivados de las olas de calor conllevan daños y graves y pueden causar múltiples defunciones en la población. Estos eventos demandan atención e intervención urgente al más alto nivel. El impacto que tienen en el medioambiente y algunos sectores como la agricultura y ganadería es parecido al de los eventos de temperatura extrema, pero se es más grave al ser días consecutivos con temperaturas anómalas. Además, el mayor impacto que tienen en las vidas humanas juega un papel clave a la hora de darle un nivel de riesgo u otro.
 - Las olas de calor tienen efectos muy perjudiciales para la salud del ser humano. Debido a la intensidad y duración de estos fenómenos, los casos de golpes de calor

e insolaciones son muy frecuentes. Estas pueden llegar a ser letales en personas ancianas, infantes o personas con enfermedades crónicas. Es necesario tomar fuertes medidas de prevención y mitigación del impacto de las olas de calor en la salud humana. Primero, se debería contar con suficiente personal sanitario para tratar todos los casos. Además, estos deben estar preparados y tener conocimiento de cómo tratar estas dolencias. Las autoridades deben concienciar sobre lo importante que es la hidratación durante los días que dura una ola de calor. Para ayudar a reducir el número de casos de insolaciones y golpes de calor es útil tener acondicionados el transporte y edificios públicos. Para atender al ciudadano se debe establecer una línea telefónica para que este pueda resolver sus dudas. Por último, si fuese necesario deberían prohibirse los eventos deportivos y culturales, así como restringir el acceso a las zonas más afectadas. También se deben llevar a cabo campañas para que el ciudadano esté informado acerca de que medidas de autoprotección tomar.

- La evaluación y mitigación de riesgo en cuanto a los incendios forestales es muy similar a la de los eventos de temperatura extrema.
- La evaluación y mitigación de riesgo en cuanto a los recursos hídricos es muy similar a la de los eventos de temperatura extrema.

o Eventos de Viento Extremo:

- Los eventos de viento extremo quedan con un Índice de Riesgo Potencial de 15,556, lo que los coloca dentro de la escala en **ALTO**. Esto significa que los eventos de viento extremo dentro del territorio español conllevan un riesgo que demanda atención prioritaria e intervención a corto plazo. La principal razón para darle un nivel de riesgo alto es su gran poder destructivo. Los eventos de rachas extremas de viento provocan desperfectos no solo en infraestructuras y edificios, sino que también afectan a distintos hábitats. Por lo tanto, se deben tomar las medidas pertinentes para paliar sus efectos.
- En caso de que los temporales sean suficientemente intensos se debe cesar la actividad en puertos y aeropuertos para evitar accidentes.
- Las personas se pueden ver afectadas por los desprendimientos de las edificaciones. El impacto de uno de ellos puede ser letal. Para prevenirlo, se debe realizar una remodelación de las edificaciones que lo necesiten. También es conveniente restringir el acceso a zonas en las que se puedan producir estos accidentes. A nivel económico, las autoridades deben proporcionar ayudas para reformar las infraestructuras en caso de que hayan sufrido daños.
- Otras medidas que se deben tomar son las mismas que con los eventos de temperatura extremos y olas de calor. Estas, entre otras, incluyen: informar a los ciudadanos de la situación, contar con información meteorológica e informes con un tiempo suficiente para dar una respuesta o contar con un sistema de alarma para informar a la población.

- **Concienciación sobre Eventos Meteorológicos Extremos y Cambio Climático:**

Esta conclusión corresponde con el objetivo número 4 del proyecto. Como se ha mencionado anteriormente la mayoría de la población vive acostumbrada a los eventos meteorológicos extremos. Como conclusión, durante el trabajo se ha podido ver como estos fenómenos anómalos tienen consecuencias graves, por lo que es de interés que las autoridades pertinentes realicen alguna campaña de concienciación entre los ciudadanos. Además, estos eventos en muchas ocasiones están provocados por el cambio climático, por lo que este trabajo trata de concienciar al lector sobre ambos, los eventos extremos y el cambio climático.

10. Referencias.

Para las citas en texto se siguen las especificaciones del Anexo E: (XXXXYY). Siendo las X las cuatro primeras letras del apellido del autor y las Y los dos últimos dígitos del año de publicación.

(AEME11) Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) & Instituto de Meteorología (Portugal). (2011). *Atlas climático ibérico - Iberian climate atlas. Agencia Estatal de Meteorología - AEMET. Gobierno de España*. Recuperado 14 de junio de 2022, de https://www.aemet.es/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/detalles/Atlas-climatologico

(AYUN21) Ayuntamiento Puerto de la Cruz. (2021). *Anexo 2. Evaluación de Riesgos y Vulnerabilidades del Cambio Climático en el Puerto de la Cruz*. Puerto de la Cruz. Retrieved from: <http://www.puertodelacruz.es/sitecontent/uploads/2020/12/Evaluacion-de-riesgos-y-vulnerabilidades.pdf>

(BBCN19) BBC News Mundo. (2019). Por qué está aumentando la velocidad de los vientos en la Tierra (y cómo nos puede afectar). Retrieved from <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50489716>

(BERN07) Bernstein, L., Bosch, P., Canziani, O., Chen, Z., Christ, R., & Riahi, K. (2008). IPCC, 2007: climate change 2007: synthesis report. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

(BIEL09) Bielza, M., Conte, C., Dittmann, C., Gallego, J., & Stroblmair, J. (2009). *Experiencias de gestion de riesgos y crisis en la Union Europea* (No. 1102-2016-90904, pp. 127-150).

https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C44&as_vis=1&q=union+europa+eventos+meteorol%C3%B3gicos&oq=union+europa+eventos+me#d=gs_cit&t=1652490400962&u=%2Fscholar%3Fq%3Dinfo%3AVsPLZ603i9cJ%3Ascholar.google.com%2F%26output%3Dcite%26scirp%3D0%26hl%3Des

(BUIT22) Buitrago, M. (2022). El satélite europeo Copernicus sitúa a la Región en riesgo por el cambio climático. *La Verdad*. Retrieved from

<https://www.laverdad.es/murcia/informe-copernicus-revela-20220422004306-ntvo.html>

(CEOE20) CEOE, 2020, *La economía canaria en gráficos*. (2020). Retrieved 30 June 2022, from

<https://ceoe-tenerife.com/wp-content/uploads/2021/05/2020-La-Economia-Canaria-en-graficos.pdf>

(CHRI07) Christensen, J. H., & Christensen, O. B. (2007). A summary of the PRUDENCE model projections of changes in European climate by the end of this century. *Climatic change*, 81(1), 7-30.

<https://link.springer.com/content/pdf/10.1007/s10584-006-9210-7.pdf>

(ENES18) Entidad Estatal de Seguros Agrarios. OA. (ENESA). (2018). *40 Años. Sistema Español de Seguros Agrarios*. Madrid. Retrieved from

https://agroseguro.es/fileadmin/proprietario/Publicaciones/7_4_OTRAS_PUBLICACIONES/ENESA_40aniversario_libro_LR_A4.pdf

(EPDA22) Incendios forestales, en datos, estadísticas y cifras. (2022). Retrieved 30 June 2022, from

<https://www.epdata.es/datos/incendios-forestales-datos-estadisticas-cifras/267>

(ESTAM20) ESTAMÁTICA. (2020). *Análisis de Conglomerados - ESTAMÁTICA*. Retrieved 7 July 2022, from

<https://estamatica.net/analisis-de-conglomerados/>

(FERN13) Fernández, J. L. U. (2013). El cambio climático: sus causas y efectos medioambientales. *Anales de la real academia de medicina y cirugía de Valladolid*, (50), 71-98.

<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4817473.pdf>

(FIEL12) Field, C. B., Barros, V., Stocker, T. F., & Dahe, Q. (Eds.). (2012). *Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate change adaptation: special report of the intergovernmental panel on climate change*. Cambridge University Press.

https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/srex/SREX_Full_Report.pdf

(FIEL14) 2014: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Field, C.B., V.R. Barros, D.J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T.E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y.O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L. White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1132 pp

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WGIIAR5-PartA_FINAL.pdf

(GRAS01) Gras, J. A. (Ed.). (2001). *Diseños de series temporales: técnicas de análisis* (Vol. 46). Edicions Universitat Barcelona.

https://books.google.com/books?hl=es&lr=&id=lGptN_0cXMwC&oi=fnd&pg=PA15&dq=series+temporales+&ots=Sc5hWSbEKl&sig=hXmZFEWBU7BmlpyYn_cEDcvDOg#v=onepage&q=series%20temporales&f=false

(IBER12) Fenómenos meteorológicos extremos: causas y ejemplos - Iberdrola. (2022). Obtenido el 12 Mayo 2022, de

<https://www.iberdrola.com/sostenibilidad/fenomenos-meteorologicos-extremos#:~:text=Los%20fen%C3%B3menos%20meteorol%C3%B3gicos%20extremos%20aumentan,a%20consecuencia%20del%20cambio%20clim%C3%A1tico>

(IPCC22) Español — IPCC. (2022). Retrieved 15 June 2022, from

<https://www.ipcc.ch/languages-2/spanish/>

(JARAM13) Jaramillo Salgado, Dr. Ó (2013). *ENERGÍA EÓLICA TEORÍA Y CONCEPTOS*. Presentation, Temixco, Morelos, México. Retrieved from

https://www.ier.unam.mx/~ojs/pub/CursoOladeEolica/Sesion_2_Septiembre%204%20de%202013.pdf

(JUNT11) Junta de Extremadura. (2011). *Mapa de Impactos del Cambio Climático en Extremadura*. Extremadura: Consejería de Industria, Energía y Medio Ambiente. Junta de Extremadura.

http://extremambiente.juntaex.es/files/biblioteca_digital/Mapa%20de%20Impactos%20del%20Cambio%20Climatico%20en%20Extremadura%20web.pdf

(MAUR07) Mauricio, J. A. (2007). Análisis de series temporales. *Universidad Complutense de Madrid*.

(MART19) Martínez de Ibarreta Zorita, C., Álvarez Fernández, C., Borrás Pala, F., Budría Rodríguez, S., Curto Gonzalez, T., & Escobar Torres, L., (2019) *Modelos cuantitativos para la Economía y la Empresa en 101 ejemplos*. EV Services.

(MINI__) Ministerio de Medioambiente. *Evaluación Ambiental Estratégica del Plan Hidrológico Nacional, Situación de los recursos hídricos en España: efectos ambientales de los problemas de escasez*. Retrieved from

<https://www.chsegura.es/export/sites/chs/descargas/planificacionydma/planhidrologiconacional/evaluacionambientalestrategica/docsdescarga/2.pdf>

(MOLI15) Molina, C. (2015). La presión atmosférica y los vientos en la Península Ibérica. Reflexiones sobre el Monzón Ibérico. *NIMBUS n° 4*, 4(4), 5-60.

<http://repositorio.ual.es/bitstream/handle/10835/1476/199697.pdf?sequence=1>

(NATG10) Riesgos para los desiertos. (2010). Retrieved 29 June 2022, from

<https://www.nationalgeographic.es/medio-ambiente/riesgos-para-los-desiertos>

(OLIV21) Oliveres, V., & Rejón, R. (2021). Una de cada tres provincias ha registrado su verano con las temperaturas máximas más altas entre 2015 y 2020. *Eldiario*. Retrieved from

https://www.eldiario.es/datos/provincias-calentamiento-global-verano-calido-2015-2020_1_8174524.html

(ONU_15) La Agenda para el Desarrollo Sostenible - Desarrollo Sostenible. (2015). Obtenido el 12 Mayo 2022, de

<https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/objetivos-de-desarrollo-sostenible/>

(PACH07) IPCC, 2007: Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 104 pp.

https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

(PASC12) Pascual, Á., Subías Díaz-Blanco, Á., Martín Pérez, M. L., Valero Rodríguez, F., García, A., Sebastián, L. I., ... & Morata Gasca, A. (2012). Predicción de velocidad media y rachas máximas diarias de viento en la Península Ibérica mediante metodología de análogos. *Publicaciones de la Asociación Española de Climatología. Serie A*; 8.

https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/8321/1/0055_VIII-2012-A-_PASCUAL.pdf

(PASC2016) Pascual Berghaenel, R. (2016). Fenómenos meteorológicos adversos. *Revista AME 2016-2020*, (2340-6631), 44-47. Retrieved from

<http://hdl.handle.net/20.500.11765/9591>

(PASC21) Pascal, M., Lagarrigue, R., Tabai, A., Bonmarin, I., Camail, S., Laaidi, K., ... & Denys, S. (2021). Evolving heat waves characteristics challenge heat warning systems and prevention plans. *International journal of biometeorology*, 65(10), 1683-1694.

(PUBL12) Público. (2015, 26 de septiembre). *El centro geográfico de España, pendiente de Catalunya*. Obtenido 2022, 9 de julio

<https://www.publico.es/politica/centro-geografico-espana-pendiente-catalunya.html#:~:text=El%20Cerro%20de%20los%20Ángeles,%20en%20Getafe,%20al%20sur%20de,incluyendo%20tanto%20Portugal%20como%20Catalunya.>

(RICO15) Rico, M. T. (2015). *Análisis de extremos de temperatura y precipitación en la Península Ibérica en escenarios de cambio climático* (Doctoral dissertation, Universidad Complutense de Madrid).

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/dctes?codigo=129105>

(RODR12) Rodríguez Ballesteros, C. (2012). Olas de Calor y de Frío en España desde 1975.

http://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/2533/1/olacalor75_cal2013.pdf

(SAMP95) Sampedro, J. (1995). La peor sequía del siglo provoca que ocho millones de personas sufran restricciones. *El País*. Retrieve 15 June 2022, from

https://elpais.com/diario/1995/09/02/espana/809992807_850215.html

(SANZ20) Sanz, M.J. y Galán, E. (editoras), 2020. Impactos y riesgos derivados del cambio climático en España. Oficina Española de Cambio Climático. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, Madrid. Obtenido de

https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informeimpactosriesgosccespana_tcm30-518210.pdf

(SUÁR18) Suárez Molina, D., Fernández Monistrol, J., & Uriel González, A. (2018). *CATÁLOGO-GUÍA DE FENÓMENOS METEOROLÓGICOS ADVERSOS QUE AFECTAN A LA ISLA DE GRAN CANARIA* (pp. 19-23). Madrid: Agencia Estatal de Meteorología, AEMET. Retrieved from

http://www.aemet.es/documentos/es/conocerlas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/Catalogo_FMA_Gran_Canaria/Catalogo_FMA_GranCanaria.pdf

(VINC12) Vincenti, S. S., Zuleta, D., Moscoso, V., Jácome, P., Palacios, E., & Villacís, M. (2012). *Análisis estadístico de datos meteorológicos mensuales y diarios para la determinación de variabilidad climática y cambio climático en el Distrito Metropolitano de Quito. La Granja, 16(2), 23-47.*

<https://lagranja.ups.edu.ec/index.php/granja/article/download/16.2012.03/232>

(WIND22) Wind speed units & wind directions converter - Windfinder. (2022). Retrieved 17 June 2022, from

<https://es.windfinder.com/wind/windspeed.htm>

