

Universidade de Vigo      Faculta de Ciencias

Grao en Ciencias Ambientais

Trabaja Fin de Grao

**Parque Natural Sabinares del Arlanza – La  
Yecla: caracterización climática y  
proyecciones futuras**

Miguel Puente Adrián

Tutora: María Teresa de Castro Rodríguez

Cotutor: Diego Fernández Nóvoa

Departamento de Física Aplicada  
(Environmental Physics Laboratory)



Septiembre 2023

**Dra. María Teresa de Castro Rodríguez**, profesora titular del área de Física de la Tierra, del departamento de Física Aplicada, de la Universidad de Vigo y **Dr. Diego Fernández Novoa**, investigador del área de Física de la Tierra, del departamento de Física Aplicada, de la Universidad de Vigo.

INFORMAN:

Que el trabajo titulado “**Parque Natural Sabinares del Arlanza – La Yecla: caracterización climática y proyecciones futuras**” presentado por D. Miguel Puente Adrián, fue realizado bajo nuestra dirección y autorizamos su presentación como Trabajo de Fin de Grado del Grado de Ciencias Ambientales al considerarlo apto para su defensa.

Ourense, 04 de septiembre de 2023.

Dra. María Teresa de Castro Rodríguez

Dr. Diego Fernández Novoa

## RESUMEN

La actual crisis climática está alterando los sistemas que conforman nuestro planeta, así como las interacciones que existen entre ellos. En este sentido, las proyecciones futuras no son nada halagüeñas, pronosticando un aumento de estos desajustes con una alteración cada vez mayor del sistema climático. En este escenario, las comunidades biológicas van a ser uno de los sistemas que más se van a ver afectados. Por este motivo, el objetivo principal de este estudio es la caracterización climática y el análisis de las proyecciones futuras para la importante y singular región conformada por el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, en Burgos (Castilla y León).

Para realizar este estudio, en primer lugar, se obtuvo la serie histórica, de importantes variables climáticas, de la base de datos Iberia01 para los más de 250 km<sup>2</sup> con los que cuenta el parque. Esta base proporciona datos interpolados de variables climáticas para el conjunto de la Península Ibérica, a partir de datos medidos en estaciones, para el período 1971-2015, que será el analizado. Iberia01 incluye los datos de variables climáticas tan importantes como son la temperatura máxima, la temperatura mínima, la temperatura media y la precipitación. Mediante estos datos se caracterizó el clima de la zona de estudio durante las últimas décadas, así como su evolución durante ese período, tanto de forma estacional como anual.

Los principales resultados obtenidos de la caracterización climática de estas últimas décadas arrojaron cifras significativas que pueden resumir bien el clima de interior cercano al de montaña de esta zona. Así, se obtuvo una temperatura media anual ligeramente superior a los 10°C, variando estacionalmente desde los ligeramente superiores a 4°C del invierno hasta los casi 18°C, en promedio, para el verano. Destaca también una temperatura mínima que alcanza valores ligeramente negativos, en promedio, durante el invierno, y temperaturas máximas que pueden irse por encima de los 25°C, en promedio, durante el verano. La precipitación anual se sitúa entorno a 1,84 mm día<sup>-1</sup>, variando entre el verano, donde la media está ligeramente por debajo de 1 mm día<sup>-1</sup>, hasta el otoño, la estación más lluviosa, acercándose a los 2,4 mm día<sup>-1</sup> en promedio. La tendencia de las temperaturas medias y máximas ha sido al alza durante las últimas décadas, con una temperatura media incrementándose, a escala anual, en 0,20°C dec<sup>-1</sup>, mientras que la tendencia de las temperaturas mínimas y la precipitación son negativas, aunque en el caso de las

precipitaciones el descenso a nivel anual es muy escaso, aunque significativo en verano ( $-0,07 \text{ mm día}^{-1} \text{ dec}^{-1}$ ).

A continuación, para analizar las proyecciones futuras esperadas de estas variables climáticas, se utilizaron las proyecciones proporcionadas por los modelos climáticos del proyecto Euro-CORDEX. Primeramente, se realizó un análisis de fiabilidad para conocer qué modelos climáticos, de todos los que incluye Euro-CORDEX, ofrecían una buena representatividad de las variables climáticas para la zona de estudio. Con los modelos validados, se analizó la evolución esperada, tanto a escala anual como estacional, para cada variable climática para un futuro cercano (2025-2054) y uno lejano (2070-2099), en relación a un período histórico considerado (1990-2019).

Los resultados del análisis de las proyecciones obtenidas constatan, con una alta fiabilidad, un calentamiento general del área y la disminución de la precipitación en las próximas décadas. En concreto, se espera una temperatura media que aumente, en promedio a escala anual, cerca de  $4^{\circ}\text{C}$  en el futuro lejano respecto al período histórico. Este aumento es especialmente intenso en las temperaturas máximas durante el verano, donde se prevé que las temperaturas sean más de  $6^{\circ}\text{C}$  superiores en el futuro lejano para esta estación. De hecho, tanto en las temperaturas medias, como máximas y mínimas, es durante el verano donde se prevé un aumento más intenso de las temperaturas en el futuro. En cuanto a la precipitación, las proyecciones indican en promedio, a escala anual, una disminución en el futuro lejano en el entorno del 15%, descenso que se prevé que sea de aproximadamente el 40% en verano.

Los datos obtenidos en este estudio ponen de manifiesto que las temperaturas, de forma general, han aumentado, al menos desde los años 70, y se prevé que sigan aumentando a lo largo del siglo XXI, acelerándose este calentamiento durante todo el siglo XXI en el Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla. También se constató un descenso de las precipitaciones, que se verá intensificado a medida que avance el siglo XXI. Estos hechos se dan en consonancia con las variaciones climáticas esperadas en las próximas décadas, en promedio, para el conjunto de la España continental, y se espera que puedan comprometer los valores ecológicos del Área Natural bajo análisis, por lo que es de vital importancia su gestión y conservación para mitigar, en la medida de lo posible, los impactos del cambio climático.

# ÍNDICE:

<b>1. Introducción.....</b>	<b>4</b>
1.1. Sistema climático y clima.....	4
1.2. Crisis climática actual y proyecciones futuras.....	4
1.2.1. Variabilidad climática natural.....	4
1.2.2. Cambio climático antropogénico.....	6
1.2.3. Proyecciones climáticas.....	10
1.3. Área del estudio.....	12
1.4. Objetivos.....	15
<b>2. Bases de datos y metodología.....</b>	<b>17</b>
2.1. Bases de datos.....	17
2.1.1. Iberia01.....	17
2.1.2. Simulaciones de CORDEX.....	18
2.2. Metodología.....	21
2.2.1. Obtención de las variables climáticas.....	21
2.2.2. Caracterización y análisis de la evolución del clima reciente.....	22
2.2.3. Selección de los modelos climáticos: test de Perkins o solapamiento.....	22
2.2.4. Cálculo y análisis de tendencias futuras.....	24
<b>3. Resultados y discusión.....</b>	<b>25</b>
3.1. Evolución histórica de las variables climáticas.....	25
3.2. Modelos climáticos y tendencias futuras.....	34
3.2.1. Validación de los modelos climáticos.....	34
3.2.2. Tendencias futuras.....	37
a) Temperaturas Medias.....	38
b) Temperaturas Mínimas.....	40
c) Temperaturas Máximas.....	43
d) Precipitaciones.....	45
<b>4. Conclusiones.....</b>	<b>49</b>
<b>5. Bibliografía.....</b>	<b>51</b>

# 1. Introducción

## 1.1. Sistema climático y clima

El sistema climático se puede definir como una entidad formada por cinco componentes que interactúan entre sí. Cada componente o subsistema tiene unas propiedades físicas propias, interactuando con el resto a través de fuertes interconexiones, actuando, en conjunto, como un todo (Martín-Gomez, 2016; Fernández-Nóvoa et al., 2021). Estos cinco componentes son:

- Criosfera: formada por las masas de agua en estado sólido.
- Hidrosfera: conformada por las masas de agua en estado líquido.
- Atmósfera: corresponde a la capa gaseosa que envuelve el planeta.
- Biosfera: incluye a todos los seres vivos del planeta.
- Litosfera: corresponde a la capa sólida superficial de la tierra, que conforma los continentes y los lechos oceánicos.

El sistema climático es muy dinámico, por lo que un cambio en alguno de los componentes se transfiere al resto de los mismos, y, por tanto, el sistema climático en su conjunto se ve afectado. Estos cambios o variaciones se conocen como forzamientos, y se pueden clasificar en internos y externos o en naturales y antropogénicos. Los forzamientos, como su propio nombre indica, fuerzan al sistema climático a llegar a un nuevo punto de equilibrio, lo que se traduce en un cambio del clima de forma local o incluso a nivel planetario. Se puede concluir, por tanto, que el clima es el resultado de las complejas interacciones físicas (flujos de energía y materia) entre los componentes del sistema climático (Linés-Escardo, 1998).

## 1.2. Crisis climática actual y proyecciones futuras

### 1.2.1. Variabilidad climática natural

El Sistema Climático, tal y como ya se ha introducido, no es un ente inerte, está continuamente expuesto a variaciones de sus subcomponentes de forma natural. Las

variaciones naturales de los componentes del sistema climático se van a traducir en un cambio climático natural, lento pero continuo, existente desde los inicios de la formación de nuestro planeta (Vázquez-Abeledo, 2006). A continuación, se exponen algunos ejemplos de estos cambios o variaciones, a nivel interno, en los componentes del sistema climático:

- La criosfera y la hidrosfera se pueden tratar a la vez, ya que el factor principal de variación natural es el porcentaje de cubierta de hielo o de extensión de los océanos, respectivamente, que afectan directamente al albedo terrestre. Por lo tanto, ejercen un papel muy importante en la radiación solar que nuestro planeta es capaz de retener o no.
- Los cambios ligados a la atmósfera son principalmente cambios en la concentración de gases, alguno de los cuales puede tener un papel importante a nivel climático, destacando especialmente aquellos denominados gases de efecto invernadero (GEI). Entre ellos destacan el dióxido de carbono, el metano, los óxidos de nitrógeno, el vapor de agua y los halocarbonados. De sus concentraciones va a depender el tener una mayor o menor temperatura global planetaria, ya que son capaces de retener parte de la radiación que emite la Tierra y devolverla a la superficie terrestre. De forma natural, estos gases siempre han variado, como consecuencia de explosiones de vida, erupciones volcánicas... de una forma relativamente lenta pero constante. Solo en los periodos proseguidos de extinciones masivas o eventos catastróficos (impacto de meteoritos, erupciones volcánicas masivas), las concentraciones de GEI sufrieron cambios naturales abruptos (Vázquez-Abeledo, 2006), aunque es importante matizar que lejos de las velocidades de cambio que se están dando actualmente (Fernández-Nóvoa et al., 2021).
- Cambios en la biosfera, y más en concreto en comunidades biológicas completas, pueden tener un impacto importante a nivel climático. Así, por ejemplo, la dominancia de unas u otras especies vegetales va a influir en la naturaleza de la cubierta vegetal, y por tanto en sus propiedades físicas (color, densidad de individuos...) y químicas (en relación con las reacciones fisiológicas), lo que interfiere directamente tanto con el albedo como en la

concentración de gases de efecto invernadero en la atmósfera (Martín-Gómez, 2016).

- A nivel climático, la litosfera se relaciona casi de forma exclusiva con la disposición de los continentes en el planeta. Esta distribución afecta a la circulación halotérmica de océanos y mares, y también a la circulación atmosférica. Estas dos circulaciones generales existen principalmente por el calentamiento diferenciado de la superficie terrestre por la radiación solar en función de la latitud, siendo las encargadas de distribuir ese exceso de calor de latitudes tropicales a otras más altas. La mayor o menor cantidad de tierra emergida y su distribución en los hemisferios, han caracterizado la disposición de estas corrientes a lo largo del tiempo, con cambios lentos a lo largo de la evolución de nuestro planeta con influencia sobre el clima (Martín-Gómez, 2016).

Existen otro tipo de variaciones naturales que también pueden influir en los cambios climáticos. Estas son las variaciones externas al sistema climático. Las principales tienen que ver con las variaciones en la emisión de radiación solar, y en la forma en la que esta radiación se distribuye por nuestro planeta, y que han sufrido variaciones desde los inicios del planeta. En particular, los ciclos de Milankovitch hacen referencia a tres movimientos que provocan la variación de la forma en la que esta radiación solar llega a nuestro planeta, afectando al sistema climático. En concreto, respecto a los ciclos de Milankovitch, las variaciones en la excentricidad de la órbita terrestre, en la oblicuidad del eje de la Tierra y en la precesión de los equinoccios, presentan periodicidades propias que van a ir teniendo influencia en el clima. De hecho, es el conjunto de los tres ciclos lo que parece explicar, por ejemplo, la sucesión de periodos glaciares e interglaciares durante el holoceno (Vázquez-Abeledo, 2006)

### *1.2.2. Cambio climático antropogénico*

El cambio climático antropogénico, es decir, debido a la acción del hombre, tiene su inicio con la Revolución Industrial (1760-1840). La quema de carbón al principio, y otros combustibles fósiles, principalmente petróleo y gas natural, después, han generado (y siguen generando) CO<sub>2</sub>, además de otros compuestos, como desecho,



que es liberado a la atmósfera. La ingente quema de estos combustibles durante más de 200 años ha hecho que la concentración de este gas de efecto invernadero en la atmósfera haya aumentado de una forma exponencial, especialmente durante las últimas décadas, hasta superar ampliamente la barrera de las 400 ppm (Martín-Gómez, 2016; Fernández-Nóvoa et al., 2021) (Figura 1.1).

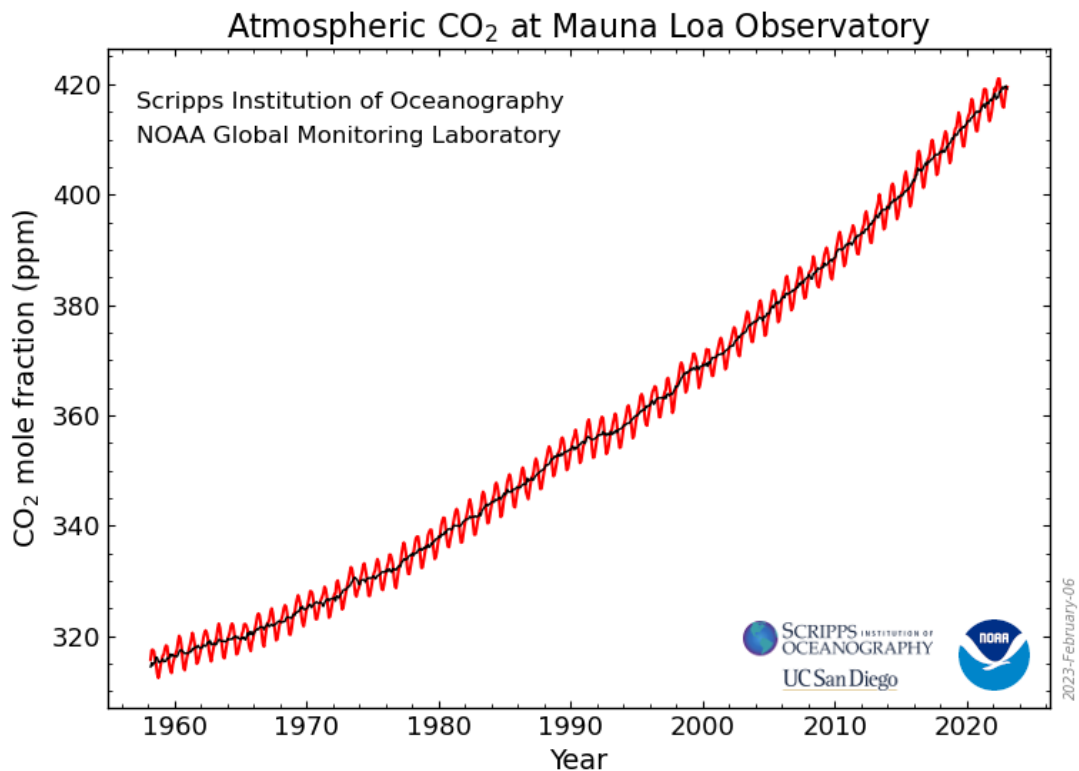


Figura 1.1. Evolución de la concentración de CO<sub>2</sub> (en ppm) en la atmósfera durante las últimas décadas, medido en la estación de Mauna Loa (Hawaii, EEUU). *Fuente: NOAA (National Oceanic Atmospheric Administration).*

Este aumento de CO<sub>2</sub> y, en menor medida, de otros gases, como el metano o los óxidos de nitrógeno, está traduciéndose de una forma directa en el aumento de la temperatura media de la atmósfera. Este hecho se debe a la gran capacidad de estos gases para absorber y devolver a la superficie terrestre una parte de la radiación irradiada por la misma. Este hecho se conoce como efecto invernadero, aunque no sea del todo correcta la utilización de este término ya que, en un invernadero, las mayores temperaturas dentro de la estructura que fuera, se relacionan principalmente

con fenómenos de convección, mientras que en nuestra atmósfera se deben a fenómenos de radiación.

La contribución de estos gases de efecto invernadero en la subida de la temperatura de la atmósfera se cuantifica a través del concepto de forzamiento radiativo. La Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), define el forzamiento radiativo como: “cambios del flujo radiativo neto (descendente menos ascendente) en la tropopausa por efecto del cambio de un factor externo al sistema climático (por ejemplo, un cambio de la concentración de CO<sub>2</sub> o de la energía emitida por el Sol). Se expresa en W/m<sup>2</sup>.” En la Figura 1.2 se puede ver, a nivel global, el Forzamiento Radiativo desglosado por su origen y el total a nivel antropogénico. Forzamientos positivos indican que se absorbe más energía que la que se emite, es decir, contribuyen al aumento de la temperatura.

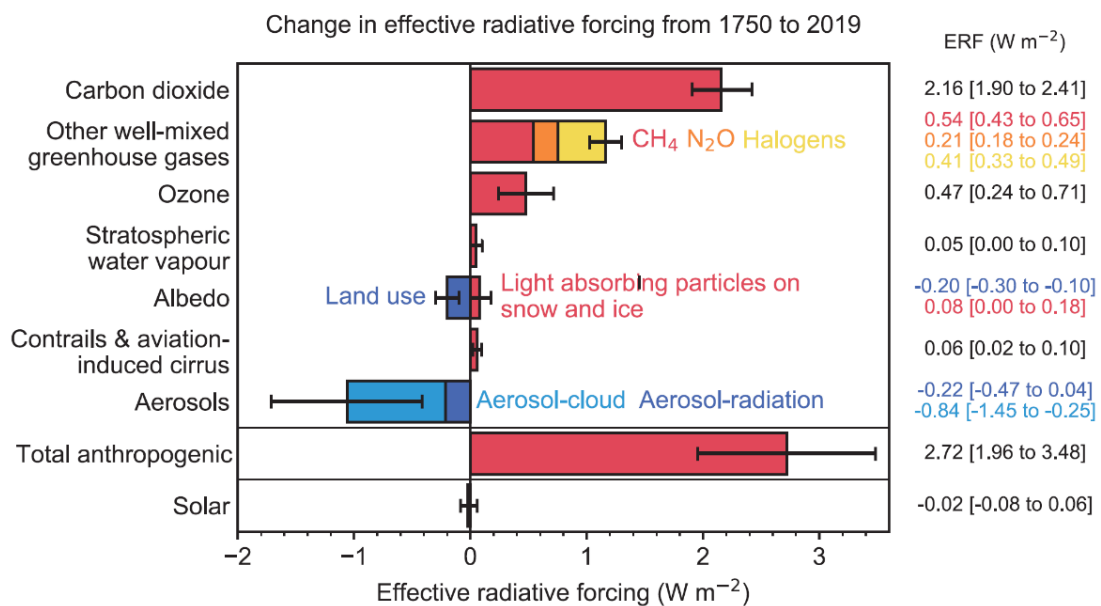


Figura 1.2. Forzamiento radiativo (W/m<sup>2</sup>) promedio mundial en 2019 respecto a los valores de 1750.

Fuente: IPCC, 2021.

Los datos representados en la Figura 1.2, indican claramente que existe un forzamiento radiativo positivo significativo debido en gran medida a causas antropogénicas, que ya alcanza un valor estimado de 2,72 W/m<sup>2</sup> en el año 2019 respecto a 1750, tal y como se expone en el último informe del IPCC (IPCC, 2021). Principalmente se asocia al uso a nivel global, desde la Revolución Industrial, de combustibles fósiles, asociado a la dependencia de las tecnologías y la sociedad en

general a este tipo de combustibles, que liberan principalmente una gran cantidad de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Este aumento positivo del forzamiento radiativo, se relaciona directamente con un aumento medio de las temperaturas globales, como se puede ver en la Figura 1.3:

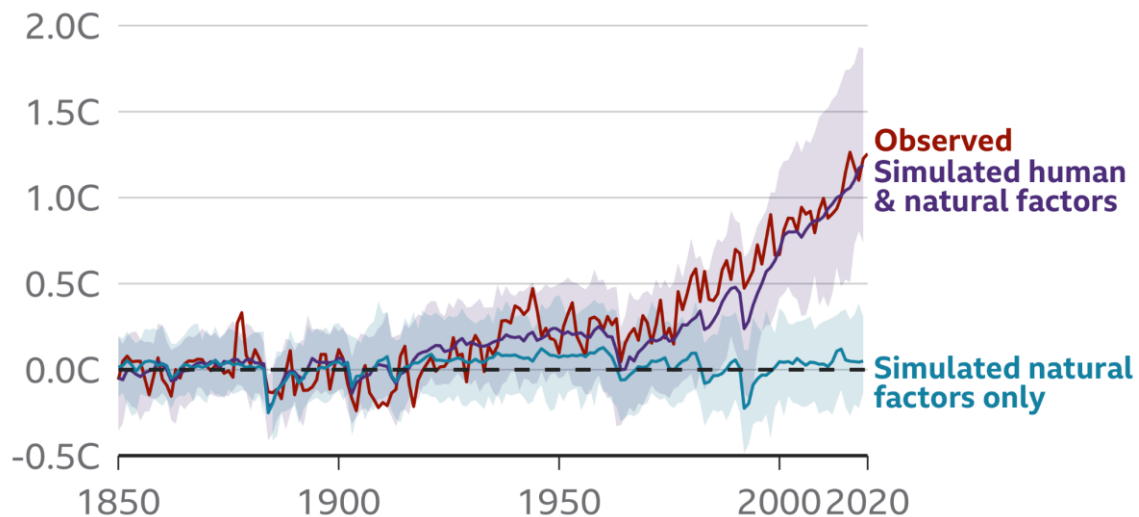


Figura 1.3. Cambio en la temperatura media global (relativo al período 1850-1900), tanto observada como simulada considerando diferentes factores. En azul se indica la temperatura media global esperada incluyendo únicamente la influencia de los factores naturales. En violeta se indica la temperatura media global esperada incluyendo tanto el factor natural como el humano. *Fuente: IPCC, 2021.*

La temperatura media del planeta ha ascendido más de 1°C desde 1850, tal y como se observa en la Figura 1.3, lo que es debido principalmente, tal y como se ha comentado anteriormente, al aumento del CO<sub>2</sub> en la atmósfera (IPCC, 2021). En este sentido, hay que matizar que esta relación entre temperatura y concentración de CO<sub>2</sub> no es perfectamente lineal ya que, como se ha mencionado, el sistema climático es muy complejo y existen multitud de interacciones entre sus componentes. Lo que sí que es evidente, es que este aumento de la temperatura se ha acelerado en las últimas décadas, debido principalmente al incremento del CO<sub>2</sub> emitido a la atmósfera, por lo que existe una clara y unívoca vinculación entre ambos (Fernández-Nóvoa et al., 2021). También es necesario destacar que, en estos últimos años, el aumento de las temperaturas medias ha sido muy similar al modelado por el IPCC en sus primeros

informes, dejando constancia de la gran labor realizada por el organismo internacional y de su veracidad y fiabilidad para predecir escenarios futuros.

Como se ha comentado, los efectos más directos de este aumento del forzamiento radiativo positivo, se dan en el subsistema atmosférico, con una importante subida de las temperaturas medias. Sin embargo, debido a la interconexión entre los subsistemas climáticos, este aumento global de las temperaturas se ve también reflejado en el resto de subsistemas. Algunos ejemplos de estas consecuencias de la subida de la temperatura media del aire son: la subida de las temperaturas de las aguas más superficiales del océano, con especial afección en el funcionamiento de los ecosistemas marinos; la subida del nivel del mar; el aumento de fenómenos extremos como lluvias torrenciales y olas de calor; el aumento del ritmo de deshielo de las masas heladas, tanto de los casquetes polares como de glaciares en latitudes menores; aumento del riesgo de incendios, con una mayor probabilidad de Grandes Incendios Forestales (GIF)...

### *1.2.3. Proyecciones climáticas*

Las proyecciones climáticas son simulaciones modelísticas de la posible evolución futura del clima. Se realizan computacionalmente y deben de incluir el mayor número de elementos climáticos posible para obtener una mejor simulación del clima. Sin embargo, se debe de establecer un equilibrio entre la inclusión de parámetros climáticos y la capacidad computacional disponible, por lo que están limitadas al poder computacional y ligadas al desarrollo de esta tecnología. Desde el año 1998, a través del Proyecto de Inter-comparación de Modelos Acoplados (CMIP por sus siglas en inglés), conformado por las instituciones más importantes a nivel de estudio del clima, se establecieron las bases para realizar, de forma sistemática y bajo ciertos parámetros, estas proyecciones y apoyarse en ellas para realizar los sucesivos informes climáticos. En general, las proyecciones futuras no son nada halagüeñas. En el sexto informe del IPCC (Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático) se incluyen varios posibles escenarios futuros diferentes. Estos escenarios son narrativas que resumen y engloban las distintas vías socioeconómicas futuras posibles (SSP), junto con el valor de forzamiento radiativo asociado. Los distintos

escenarios nos indican todos los posibles futuros a los que puede llegar el planeta, en función de cómo reaccionemos a la problemática del cambio climático; desde el punto de vista más optimista (SSP1-1.9), donde se modere de forma muy importante la emisión de gases de efecto invernadero, hasta el SSP5-8.5, el más pesimista, donde se establece una continuación e incremento de la quema de combustibles fósiles durante las próximas décadas. En la Figura 1.4 observamos la evolución de la temperatura media global esperada para los diferentes escenarios mencionados a lo largo del siglo XXI.

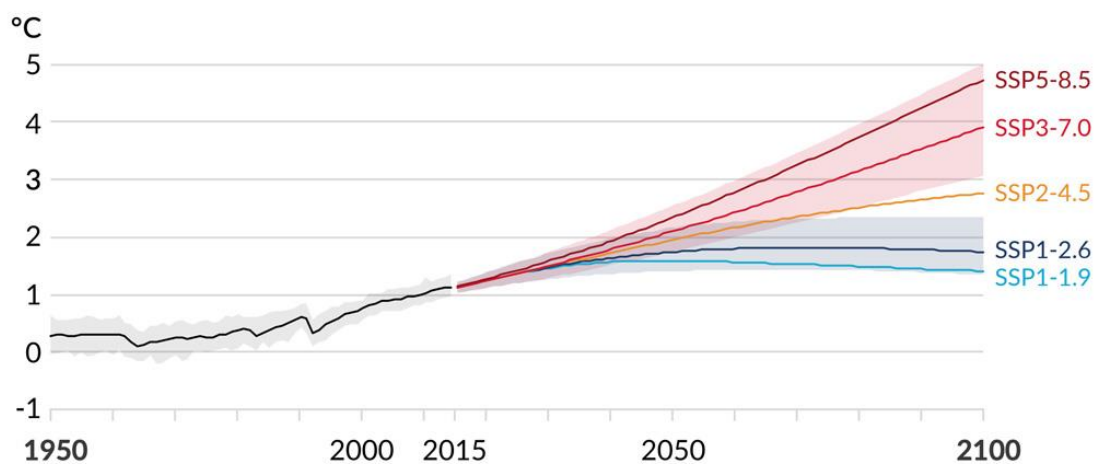


Figura 1.4. Cambio de la temperatura global de la superficie (°C), en relación al período 1850-1900, para diferentes escenarios futuros. Fuente: IPCC, 2021.

Se puede observar que, a corto plazo (2021-2040), la mayoría de escenarios indican un aumento similar de las temperaturas, en torno a 1,5°C más en relación a la temperatura media del período 1850-1900 (con intervalos de probabilidad algo distintos para cada escenario). A medio plazo (2041-2060) se prevé que las temperaturas aumentarán 1,6°C en el escenario más favorable y hasta 2,4°C en el menos favorable. Finalmente, a largo plazo (2081-2100), el SSP1-1.9 modela una anomalía de 1,4°C, es decir, se lograría incluso reducir la anomalía térmica que se prevé a corto plazo. Por el contrario, el SSP5-8.5, pronostica para este período más lejano un aumento de la temperatura de más de 4°C respecto a la media de temperatura planetaria del período 1850-1900.

Hay que tener en cuenta, que estas proyecciones climáticas, como hemos introducido, tienen una escala global y son por lo tanto una media de las temperaturas

de todo el planeta. Por lo tanto, tal y como se destaca en los informes del IPCC, puede haber diferencias importantes a nivel regional. Debido a ello, es fundamental regionalizar estas proyecciones y conocer la variación esperada del clima en áreas o regiones más pequeñas. En este sentido, destaca el proyecto Euro-CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment, <http://www.euro-cordex.net>), que trata de regionalizar estas proyecciones más globales sobre Europa, mejorando la resolución espacial de aquellas proyecciones más globales limitadas computacionalmente. Estos datos permiten abordar diversos análisis en zonas o regiones más pequeñas, con características climáticas propias, donde estos estudios pormenorizados son fundamentales para abordar los retos climáticos futuros (IPCC, 2021).

### 1.3. Área del estudio

Aprovechando los datos de las proyecciones climáticas comentados en la última parte del apartado anterior y su alta resolución, se podrá abordar un estudio a nivel climático sobre una región muy importante y singular de la Península Ibérica como es el área que forma el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla (Figura 1.5), situado en el suroeste de la provincia de Burgos, en la confluencia entre la Meseta Castellana y el Sistema Central (Sierra de la Demanda).

Las 26.055 Ha que forman parte del parque se ubican en los términos de 21 ayuntamientos, con una población total de unos 2500 habitantes, aproximadamente, entre los que destacan Santo Domingo de Silos y Covarrubias. La densidad de población es muy baja y la tendencia a corto y largo plazo muy negativa. Nos encontramos en uno de los desiertos demográficos peninsulares: la Serranía Celtibérica (Burillo-Cuadrado et al., 2013). La principal actividad económica de esta zona burgalesa es la agricultura y la ganadería, muy ligadas a la climatología, aunque el turismo y el sector servicios están ganando protagonismo con el paso de los años, atraídos por el patrimonio histórico y natural de la zona, viéndose reforzado este último con la creación del parque Natural en el año 2020.

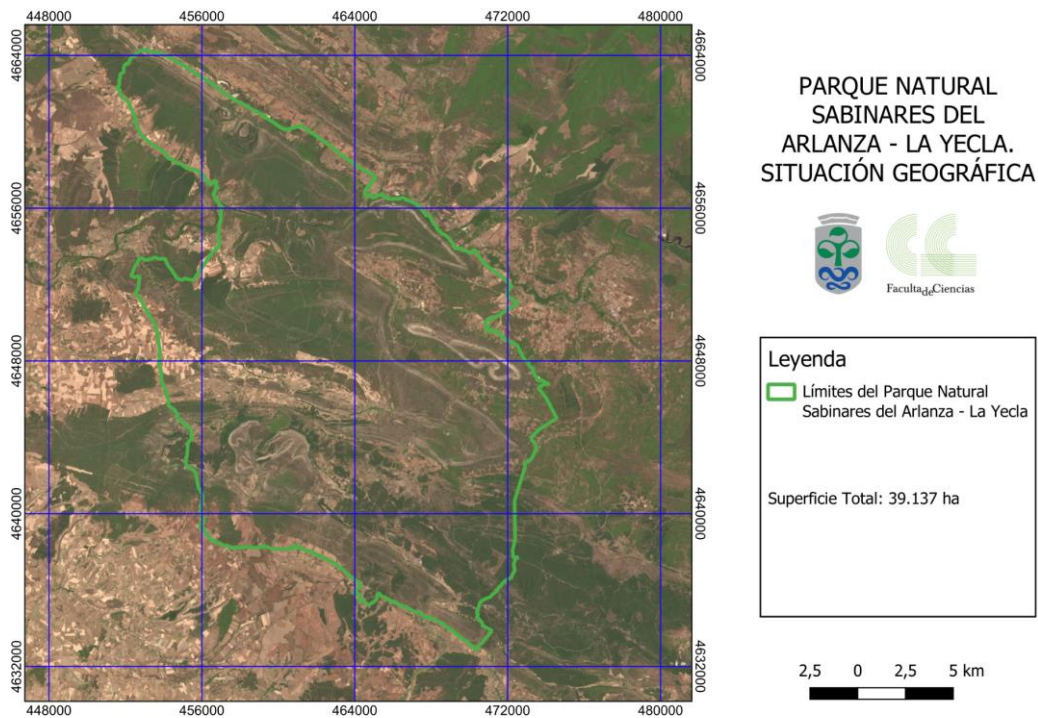


Figura 1.5. Mapa georreferenciado de localización del Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla.

Los valores ecológicos del parque fueron el principal motivo de la creación de esta figura de protección por la Junta de Castilla y León. El sustrato principalmente es silíceo y arcilloso, haciendo el relieve algo abrupto y abriendo cañones y desfiladeros en la zona (Figura 1.6). Debido a este hecho nos encontramos en altitudes entre los 950 y los 1466 msnm de la Peña San Carlos, el techo del parque. Además, en este parque se incluyen diversos lugares de interés geológico, constatando la gran diversidad y calidad de este tipo de patrimonio natural. Entre ellos destacan el Sinclinal Colgado de Peña Carazo; el Desfiladero de la Yecla (Figura 1.6), monumento natural protagonista del parque, o el Cañón del Mataviejas (Fig. 1.7).



Figura 1.6. Desfiladero de la Yecla. Fotografía realizada desde la BU-910 dirección Caleruega. *Elaboración Propia.*



Figura 1.7. Desfiladero de Mataviejas (Ura, Burgos) con la Peña Valdosa al fondo. *Elaboración propia.*



Como consecuencia de esta geología y relieve, la especie arbórea por excelencia es la Sabina Albar (*Juniperus thurifera*), que otorga el nombre al parque, y que conforman en estas tierras uno de los sabinares mejor conservados a nivel mundial. Otras especies de interés ligadas a la topografía del parque son las rapaces como el buitre leonado (*Gyps fulvus*), que nidifican en los cañones y desfiladeros, o el cangrejo de río (*Austropotamobius pallipes*), especie amenazada y en riesgo de extinción según la Lista Roja de la UICN (Decreto 48/2018).

Destacar también que la zona de estudio es muy rica en patrimonio inmaterial. Destacando la Fiesta de los Jefes de la localidad de Santo Domingo de Silos, el Carnaval de Mecerreyes, uno de los dos únicos ejemplos de la tradición de mascaradas en la provincia de Burgos (Ayuntamiento de Mecerreyes, s.f.), o las Carboneras Vegetales repartidas por toda la zona y en especial en la localidad de Retuerta.

Por último, destacar que esta zona del sudeste burgalés, no es ajena al cambio climático y sus impactos. Tal y como se ha detallado en los párrafos anteriores, debido a su gran patrimonio cultural y natural, es de especial interés saber cómo va a variar el clima en esta zona protegida, y por lo tanto, cómo va a afectar al ecosistema y a las actividades humanas, mostrando además un ejemplo de cómo las herramientas globales disponibles a la comunidad científica, tales como la base de Euro-CORDEX anteriormente comentada, permiten abordar los problemas y retos futuros de zonas muy locales, contribuyendo, sin duda, a una mejor adaptación a los impactos del cambio climático y a desarrollar medidas de mitigación adecuadas.

## 1.4. Objetivos

Los objetivos principales de este trabajo se pueden dividir en 2 bloques:

- En primer lugar, se realizará una caracterización climática del área del sudeste burgalés bajo la figura de protección del Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla. Esto se realizará utilizando los datos proporcionados por la base de datos Iberia01 para la zona bajo interés. Esta base de datos interpola los valores observados a lo largo de la Península Ibérica con resolución suficiente

para los objetivos del estudio. Esta caracterización se realizará a nivel de precipitaciones y temperaturas (medias, mínimas y máximas), analizando valores medios y tendencias durante las últimas décadas (1971-2015), tanto a nivel anual como estacional.

- Una vez analizado y caracterizado el clima histórico de la zona en las últimas décadas, se realizará un análisis de las proyecciones futuras esperadas para las variables climáticas comentadas anteriormente. Para ello, primeramente, se seleccionarán los modelos climáticos que representen adecuadamente la zona de estudio, dentro de los incluidos en el proyecto Euro-CORDEX. Una vez seleccionados los modelos válidos, se analizarán las proyecciones futuras y los cambios esperados de las variables bajo interés para un futuro próximo (2025-2054) y un futuro lejano (2070-2099), tanto a escala anual como estacional.

## 2. Bases de datos y metodología

### 2.1. Bases de datos

Para la realización de este estudio se han empleado dos bases de datos diferentes:

- Iberia01: para obtener series climáticas históricas del Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla.
- Euro-CORDEX: para la selección, elaboración y estudio de las proyecciones futuras esperadas para las variables climáticas bajo interés en el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla.

En referencia a los datos utilizados, se debe resaltar que, aunque se hizo una búsqueda pormenorizada, no se encontró durante la realización de este estudio ninguna estación meteorológica, ni pública ni estandarizada, dentro de los límites del parque natural, ni a una distancia asumible para el estudio. Por lo tanto, no ha sido posible trabajar con datos históricos de mediciones *in situ* en la zona entorno al Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla.

#### 2.1.1. Iberia01

Para la realización de la primera parte de este trabajo se han utilizado los datos disponibles en la base de datos Iberia01 (<https://digital.csic.es/handle/10261/183071>; Herrera et al., 2019), para la zona del Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla. Iberia01 ofrece una malla o cuadrícula de datos, que ocupa toda la Península Ibérica, construida a partir de la interpolación de los datos obtenidos de numerosas estaciones de medición, con información de diversas variables climáticas. En concreto, Iberia01 ofrece datos diarios de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación para el periodo 1971–2015, ofreciendo una resolución espacial de cada celda de aproximadamente 0,1°. Este proyecto ha sido realizado a partir de los datos y de la colaboración de la Agencia Estatal de Meteorología Española (AEMET), el Instituto Portugués del Mar y de la Atmósfera (IPMA) y la Agencia Portuguesa del Ambiente (APA) (Herrera et al., 2019). Iberia01

ha supuesto la creación de una nueva base de datos climáticos pública de alta resolución para la Península Ibérica, por lo que es importante para estudios de escala regional o local, como el presente trabajo. Iberia01 es, por lo tanto, una herramienta muy importante para el estudio climático de zonas de la Península Ibérica en las que no haya estaciones meteorológicas o las series de datos de las estaciones estén incompletas o no sean lo suficientemente largas y/o fiables. Estas zonas suelen estar poco pobladas y corresponden principalmente con áreas naturales poco antrópicas, por lo que el conocimiento del clima es vital para el buen manejo y conservación de las mismas.

En el presente trabajo, los datos de las variables climáticas ofrecidos por Iberia01 se han analizado tanto a nivel anual, como de forma estacional, para la mejor comprensión y caracterización del clima del Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla.

### *2.1.2. Simulaciones de CORDEX*

CORDEX (Coordinated Regional Climate Downscaling Experiment) es un proyecto que organiza un marco internacional coordinado cuyo objetivo es la producción de simulaciones y/o proyecciones del cambio climático mejoradas. Estos resultados de las simulaciones son empleados para llevar a cabo, entre otros, estudios de cambio climático, tanto de impacto, como de mitigación y/o adaptación (CORDEX, 2015).

Para este estudio se utilizaron de forma particular los datos del proyecto Euro-CORDEX, la rama europea del proyecto CORDEX, que proporciona simulaciones de alta resolución sobre toda Europa (Figura 2.1), partiendo de los datos climáticos globales del Coupled Model Intercomparison Project Phase 5 (CMIP5). Los datos presentados por los modelos del proyecto Euro-CORDEX tienen una resolución de  $0,11^{\circ} \times 0,11^{\circ}$ , lo que permite su aplicabilidad incluso a un área tan local como el Parque Natural Sabinas del Arlanza – La Yecla.



Figura 2.1. Dominio de Euro-CORDEX. Fuente: <https://cordex.org/domains/cordex-region-euro-cordex/>.

En la Tabla 2.1 se incluyen los modelos utilizados en el presente trabajo, dentro del marco de Euro-CORDEX (disponibles para todas o alguna de las variables bajo estudio). En este caso se asignó un número a cada modelo para facilitar su posterior procesado. Cabe señalar también que todos los modelos que se han utilizado consideran el escenario de emisión RCP8.5. Este es el escenario más pesimista, ya que supone para finales de este siglo (para el año 2100), un forzamiento radiativo de  $8,5 \text{ W/m}^2$ , lo que supondría unas concentraciones de  $\text{CO}_2$  más del doble que las actuales. Este escenario fue seleccionado porque algunos estudios previos han estimado que las emisiones de gases de efecto invernadero efectuadas en los últimos años han seguido muy de cerca las proyectadas por este escenario, por lo que este escenario se indica como muy realista, suponiendo una herramienta muy útil para evaluar el impacto del clima futuro (Schwalm et al., 2020).

**Tabla 2.1.** Modelos de Euro-CORDEX utilizados durante el estudio. Se han numerado los modelos para facilitar el tratamiento de datos.

<b>NÚMERO</b>	<b>MODELO CLIMÁTICO GLOBAL</b>	<b>MODELO CLIMÁTICO REGIONAL</b>
1	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-CCLM4-8-17
2	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN53
3	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	RMIB-UGent-ALARO-0
4	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	SMHI-RCA4
5	ICHEC-EC-EARTH	CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1
6	ICHEC-EC-EARTH	DMI-HIRHAM5
7	ICHEC-EC-EARTH	KNMI-RACMO22E
8	ICHEC-EC-EARTH	SMHI-RCA4
9	IPSL-IPSL-CM5A-MR	DMI-HIRHAM5
10	IPSL-IPSL-CM5A-MR	GERICS-REMO2015
11	IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-INERIS-WRF331F
12	IPSL-IPSL-CM5A-MR	IPSL-WRF381P
13	IPSL-IPSL-CM5A-MR	KNMI-RACMO22E
14	IPSL-IPSL-CM5A-MR	SMHI-RCA4
15	MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-CCLM4-8-17
16	MOHC-HadGEM2-ES	CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1
17	MOHC-HadGEM2-ES	CNRM-ALADIN63
18	MOHC-HadGEM2-ES	ICTP-RegCM4-6
19	MOHC-HadGEM2-ES	IPSL-WRF381P
20	MOHC-HadGEM2-ES	SMHI-RCA4
21	MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-CCLM4-8-17
22	MPI-M-MPI-ESM-LR	CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1
23	MPI-M-MPI-ESM-LR	CNRM-ALADIN63
24	MPI-M-MPI-ESM-LR	MPI-CSC-REMO2009
25	MPI-M-MPI-ESM-LR	SMHI-RCA4
26	NCC-NorESM1-M	CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1
27	NCC-NorESM1-M	CNRM-ALADIN63
28	NCC-NorESM1-M	GERICS-REMO2015
29	NCC-NorESM1-M	ICTP-RegCM4-6
30	NCC-NorESM1-M	IPSL-WRF381P

31	NCC-NorESM1-M	KNMI-RACMO22E
32	NCC-NorESM1-M	SMHI-RCA4
33	MPI-M-MPI-ESM-LR	DMI-HIRHAM5
34	MPI-M-MPI-ESM-LR	ICTP-RegCM4-6
35	MPI-M-MPI-ESM-LR	KNMI-RACMO22E
36	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CNRM-ALADIN63
37	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	GERICS-REMO2015
38	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	DMI-HIRHAM5
39	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	KNMI-RACMO22E
40	NCC-NorESM1-M	DMI-HIRHAM5
41	MOHC-HadGEM2-ES	DMI-HIRHAM5
42	MOHC-HadGEM2-ES	KNMI-RACMO22E
43	MPI-M-MPI-ESM-LR	KNMI-RACMO22E
44	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5	CLMcom-ETH-COSMO-crCLIM-v1-1

## 2.2. Metodología

Todo el procesamiento de datos, tanto del cálculo de la serie histórica del Parque Natural, como las proyecciones futuras, así como la selección de los modelos más adecuados para realizar estas proyecciones, ha sido realizado con el programa MATLAB (<https://www.mathworks.com/>). Este programa informático es un potente software numérico ideado para computación técnica. Su lenguaje de programación facilita la obtención y el tratamiento de datos de todo tipo, así como el cálculo de estadísticos, permitiendo también la creación de figuras, mapas o gráficas que permitan mejorar la comprensión de estos conjuntos de datos.

### 2.2.1. Obtención de las variables climáticas

En primer lugar, se extrajeron los datos de las variables climáticas bajo interés para el área del Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, tanto para la base de Iberia01, como para los modelos climáticos de Euro-CORDEX. Para ello, se

introdujeron los límites de la zona de estudio y se extrajeron, para cada día, los datos de las principales variables climáticas comprendidas dentro de dichos límites, promediando todos los puntos que las bases ofrecen dentro de los límites del parque, obteniendo así un valor promedio por día. Serán estas series extraídas las que se utilicen para los sucesivos análisis. También es importante matizar que, para el análisis estacional, estos datos se agruparán según la estación correspondiente, considerando invierno (enero, febrero y marzo), primavera (abril, mayo y junio), verano (julio, agosto y septiembre) y otoño (octubre, noviembre y diciembre).

### *2.2.2. Caracterización y análisis de la evolución del clima reciente*

Con las series creadas correspondientes a los datos históricos obtenidos de Iberia01 para las diferentes variables climáticas, se calcularon diversos estadísticos, tales como la media y tendencias, para analizar el clima dentro del Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla y su evolución, en las últimas décadas. Así mismo, también se elaboraron gráficas y mapas para dinamizar la visualización de los datos, facilitando su comprensión.

### *2.2.3. Selección de los modelos climáticos: test de Perkins o solapamiento*

A diferencia de la base de Iberia01, basada en valores reales de estaciones de medición y ofreciendo, por lo tanto, una buena caracterización de las variables climáticas, es necesario hacer una validación de los diversos modelos climáticos, ya que cada uno tiene sus propias parametrizaciones, y puede que no todos ofrezcan una buena representatividad de las variables climáticas del área local bajo estudio, algo que ya se ha visto en estudios recientes (Des et al., 2021; Fernández-Nóvoa et al., 2022). Es por ello que es necesario realizar una validación y seleccionar solamente aquellos modelos que proporcionen una buena representatividad climática de la zona. En este sentido, la metodología que se ha utilizado para la validación de los modelos, se ha basado en el trabajo de Perkins et al. (2007), puesto que ya ha sido previamente validada en otros estudios climáticos (Des et al., 2021; Fernández-



Nóvoa et al., 2022). En concreto, esta metodología consiste en aplicar un test de solapamiento comparando los valores modelados con los valores de la serie histórica, en este caso tomados de Iberia01. Concretamente, la técnica de solapamiento consiste en agrupar los valores obtenidos de cada modelo climático, así como los de Iberia01, en intervalos definidos, y se calcula el porcentaje de probabilidad de cada intervalo. En particular, se suman los valores más bajos de probabilidad de cada intervalo, bien sean del modelo climático o de Iberia01, resultando un valor de 100 en el caso de que sean plenamente coincidentes, es decir, cuanto más se aproxime a 100 ese valor de solapamiento, mejor caracterización ofrece el modelo. Por lo tanto, esta técnica considera una amplia distribución de datos, discrepando de metodologías más clásicas que analizan la precisión de los datos modelados basándose únicamente en estadísticos tales como la media y su desviación estándar. Así, la metodología empleada permite garantizar una mejor representatividad del patrón climático real (Perkins et al., 2007).

Así, en este trabajo se ha comparado mediante este test el grado de solapamiento entre los valores históricos (obtenidos de Iberia01) y los proporcionados por los modelos climáticos para cada variable bajo interés: temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación. Esta comparación se hizo para todo el período de datos disponible, es decir, desde 1971 hasta 2015. Así, aquellos modelos que superasen un grado de solapamiento del 88 % fueron considerados como válidos. En este caso, un modelo puede ser válido para una variable, y no para otra, ya que se ha analizado cada variable de forma independiente. Así, para cada variable se tendrán en cuenta aquellos modelos que superen dicho umbral. En este sentido, cabe decir que, aunque en otros trabajos se consideró un grado de solapamiento superior al 90% para validar los modelos climáticos (Des et al., 2021; Fernández-Nóvoa et al., 2022), en este trabajo se bajó ligeramente esa exigencia ya que, en un análisis previo, se observó cómo a cambio, se incrementó de manera importante el número de modelos válidos, lo que permite incrementar la robustez de los resultados obtenidos.

#### *2.2.4. Cálculo y análisis de tendencias futuras*

Una vez validados los modelos de Euro-CORDEX, es decir, seleccionados aquellos que mejor modelan cada variable climática en el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla, se obtuvieron y analizaron los cambios futuros esperados para las cuatro variables climáticas bajo interés, tanto para el período anual completo como a nivel estacional. Esto se hizo para dos intervalos diferentes de tiempo: futuro cercano (2025-2054) y futuro lejano (2070-2099), y con referencia al período histórico 1990-2019. En este sentido, además de analizar los resultados obtenidos para cada modelo validado para cada variable climática, se aplicó también un enfoque multimodelo calculando los resultados ofrecidos, en promedio, por todos los modelos validados, así como su dispersión correspondiente.

### 3. Resultados y discusión

#### 3.1. Evolución histórica de las variables climáticas

Como se ha comentado anteriormente, el primer objetivo del estudio consistió en caracterizar las variables climáticas para el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, así como analizar sus tendencias en las últimas décadas, incluyendo todo el período disponible en la base de datos Iberia01 (1971-2015). Los principales resultados obtenidos están recogidos en la Tabla 3.1.

**Tabla 3.1.** Valores medios y tendencias de las variables climáticas analizadas, obtenidas a partir de los datos de Iberia01 para el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla para el periodo 1971-2015, tanto para cada estación como a nivel anual.

	<b>T<sub>med</sub></b>		<b>T<sub>max</sub></b>		<b>T<sub>min</sub></b>		<b>Precipitación</b>	
	<i>Media (°C)</i>	<i>Tendencia (°C dec<sup>-1</sup>)</i>	<i>Media (°C)</i>	<i>Tendencia (°C dec<sup>-1</sup>)</i>	<i>Media (°C)</i>	<i>Tendencia (°C dec<sup>-1</sup>)</i>	<i>Media (mm día<sup>-1</sup>)</i>	<i>Tendencia (mm día<sup>-1</sup>dec<sup>-1</sup>)</i>
<b>Primavera</b>	11,86	0,48	17,93	0,98	5,79	-0,02	2,13	-0,06
<b>Verano</b>	17,84	0,12	25,37	0,53	10,31	-0,30	0,98	-0,07
<b>Otoño</b>	6,88	0,10	11,52	0,29	2,24	-0,10	2,37	0,12
<b>Invierno</b>	4,30	0,10	9,05	0,38	-0,44	-0,18	1,91	-0,002
<b>ANUAL</b>	<b>10,25</b>	<b>0,20</b>	<b>15,99</b>	<b>0,55</b>	<b>4,49</b>	<b>-0,15</b>	<b>1,84</b>	<b>-0,005</b>

Los resultados obtenidos indican que la temperatura media anual en el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla es ligeramente superior a los 10°C en promedio para el periodo de estudio (Tabla 3.1), con variaciones importantes entre el invierno (ligeramente por encima de 4°C) y el verano (alcanzando casi los 18°C). La variación espacial a lo largo del área natural parece ser menor, únicamente variando, a escala anual, entre los 10°C en las zonas más altas, hacia el este, y los 10,5°C hacia el oeste (Figura 3.1). Este gradiente espacial se mantiene para las diferentes temperaturas analizadas. La tendencia, a escala anual de la temperatura media durante estos años fue un incremento de aproximadamente 0,2°C dec<sup>-1</sup> (Tabla 3.1 y Figura 3.2). La tendencia positiva de las temperaturas medias se da en todas las estaciones, siendo muy similar, de en torno a la décima de grado por década, en todas las estaciones menos en la primavera, donde la tendencia positiva es de aproximadamente medio grado (Tabla 3.1 y Figura 3.2).

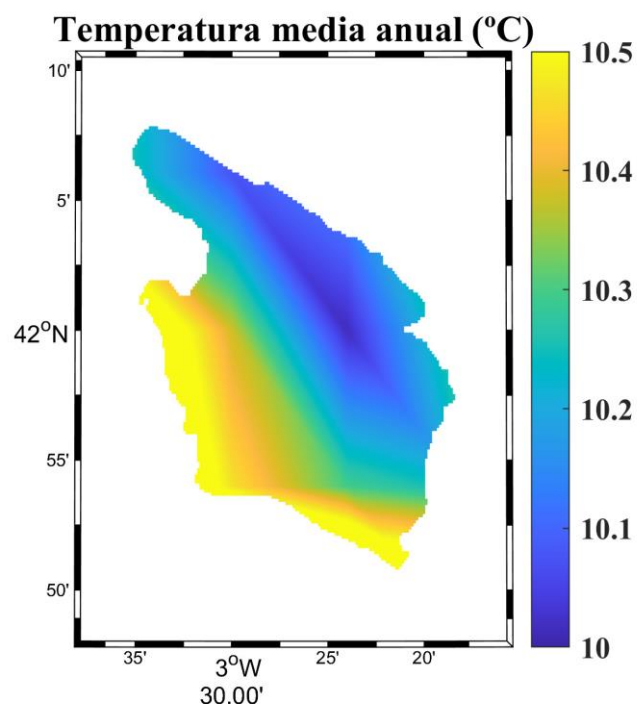


Figura 3.1. Temperatura media anual (°C) para el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla, obtenida de la base Iberia01 para el período 1971-2015.

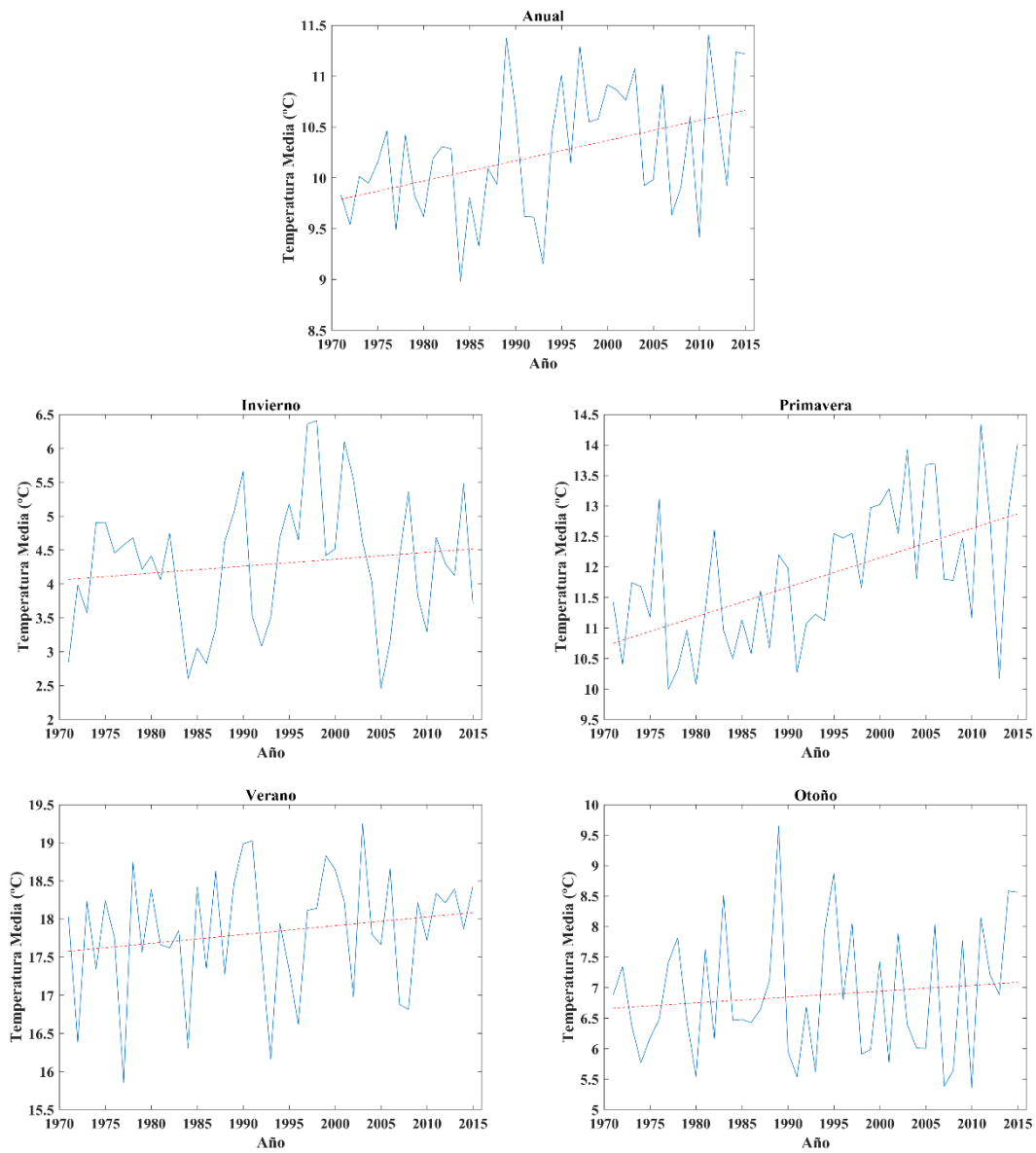


Figura 3.2. Temperatura media (°C) y tendencia (línea roja), a escala anual y estacional, para el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, obtenidas de la base Iberia01 para el período 1971-2015.

La temperatura máxima anual para el período de estudio se sitúa en torno a 16°C (Tabla 3.1 y Figura 3.3). Lo más destacable es que presentó un claro e intenso aumento durante los 45 años bajo análisis, con una tendencia positiva de más de medio grado centígrado por década a escala anual (Tabla 3.1 y Figura 3.4). Desglosado por estaciones, vemos que esta subida de las temperaturas máximas es apreciable en todas ellas, igual que sucedía con las temperaturas medias, destacando especialmente la primavera, donde el incremento en los últimos tiempos se estableció en prácticamente 1°C dec<sup>-1</sup>. Por el contrario, en el otoño esta tendencia positiva se reduce a 0,3°C dec<sup>-1</sup>, constatando una importante variabilidad estacional de estos incrementos.

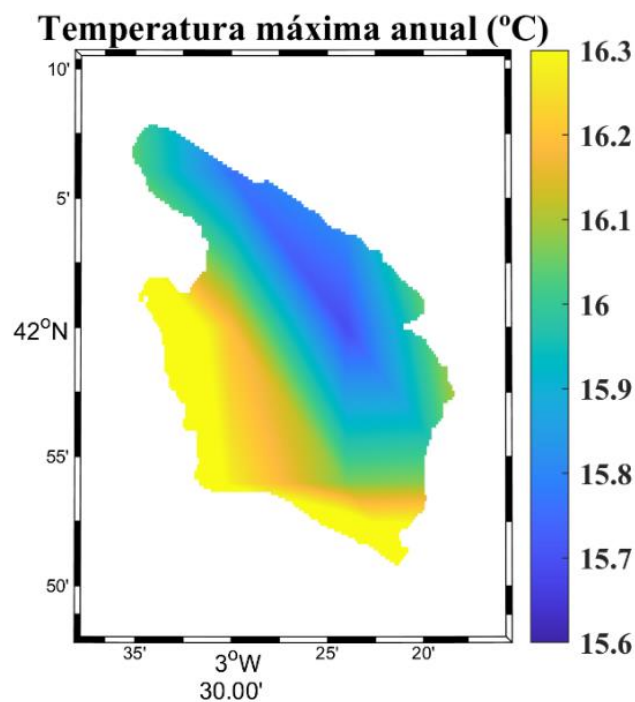


Figura 3.3. Temperatura máxima anual (°C) para el Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla, obtenida de la base Iberia01 para el período 1971-2015.

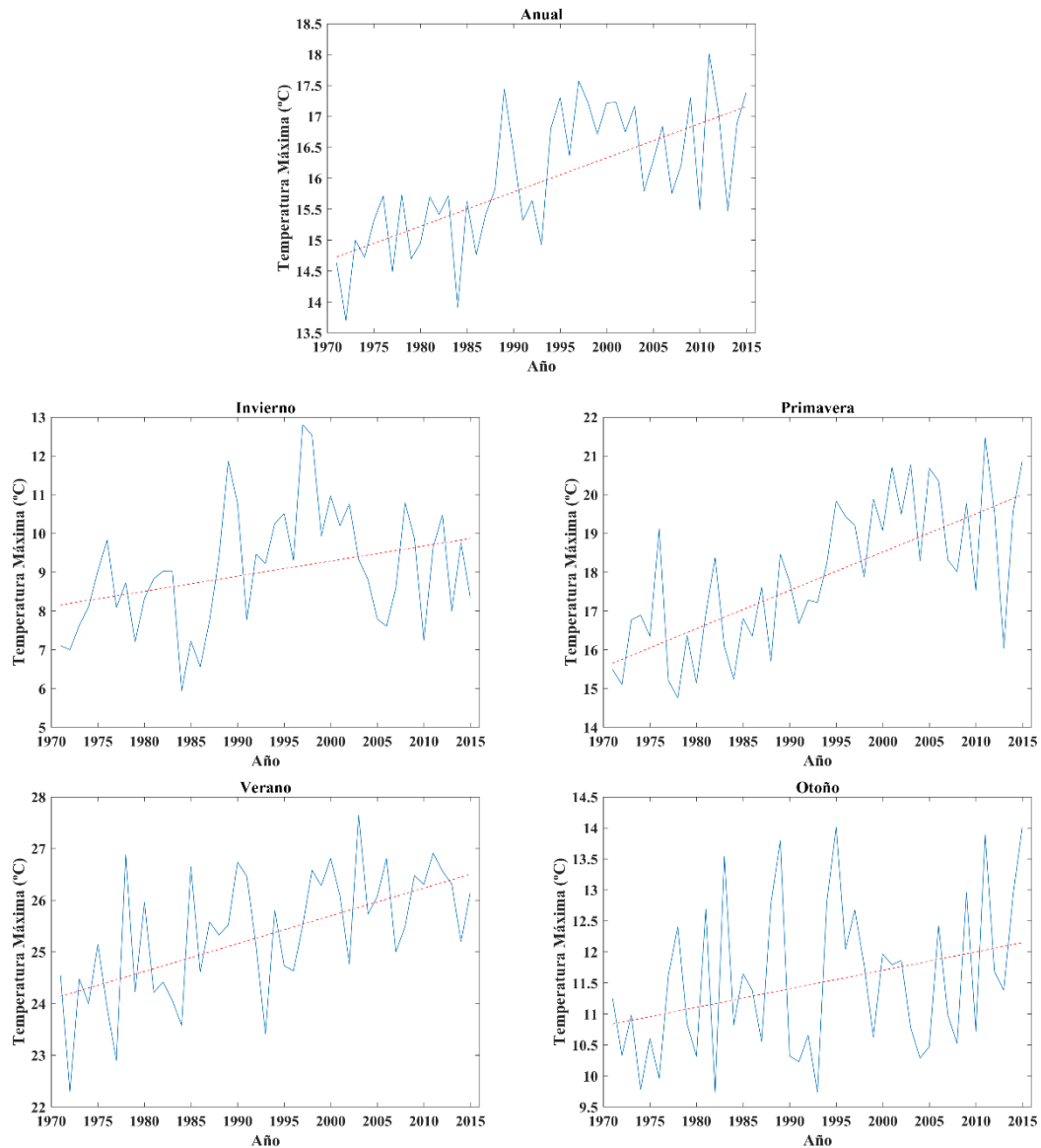


Figura 3.4. Temperatura máxima (°C) y tendencia (línea roja), a escala anual y estacional, para el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, obtenidas de la base Iberia01 para el período 1971-2015.

En cuanto a la temperatura mínima, se obtuvo una media anual de poco más de 4°C en el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla para el período bajo análisis (Tabla 3.1 y Figura 3.5), contrastando entre las mínimas ligeramente negativas de media en invierno y las veraniegas que sobrepasan los 10°C (Tabla 3.1). Estas bajas temperaturas se explican debido a que, al estar el Parque Natural a una altura media de unos 1000 metros sobre el nivel del mar, el aire es menos denso que a cotas inferiores, y por lo tanto la presión también resulta menor resultando en una menor

temperatura. La distancia al mar también es un factor fundamental para el registro de estas mínimas.

En cuanto a la tendencia, al contrario que ocurre con las temperaturas medias y máximas, la temperatura mínima anual presenta una tendencia negativa en los últimos tiempos con un decrecimiento de aproximadamente  $-0,15^{\circ}\text{C dec}^{-1}$  (Tabla 3.1 y Figura 3.6). Esta tendencia a la baja de las mínimas es relevante debido a que se mantiene en todas las estaciones, por lo que existe una uniformidad negativa de la tendencia, algo que, a priori, podría resultar inesperado partiendo de la premisa del aumento general de las temperaturas en que estamos enmarcados, particularmente dentro de la Península Ibérica (Mestre et al., 2015). El mayor descenso de las mínimas se da en invierno y en verano, con valores de  $-0,18^{\circ}\text{C dec}^{-1}$  y  $-0,30^{\circ}\text{C dec}^{-1}$  respectivamente, mientras que en primavera la tendencia es prácticamente nula, presentando un valor muy próximo al 0.

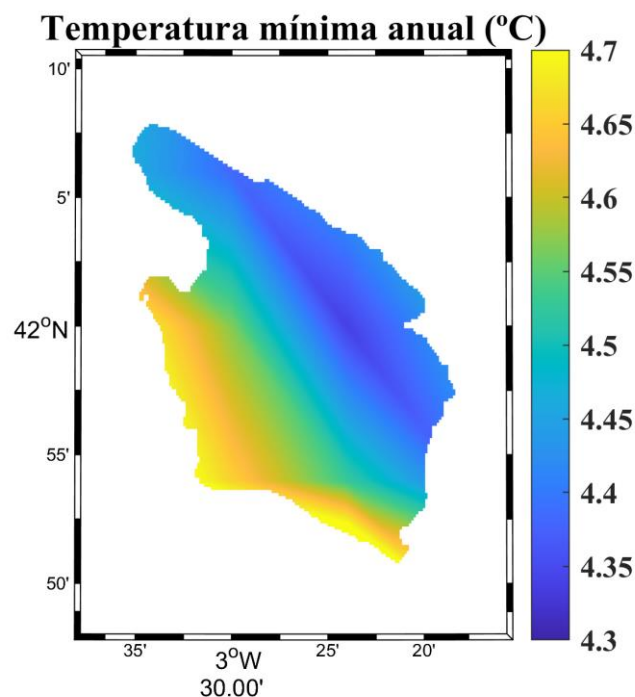
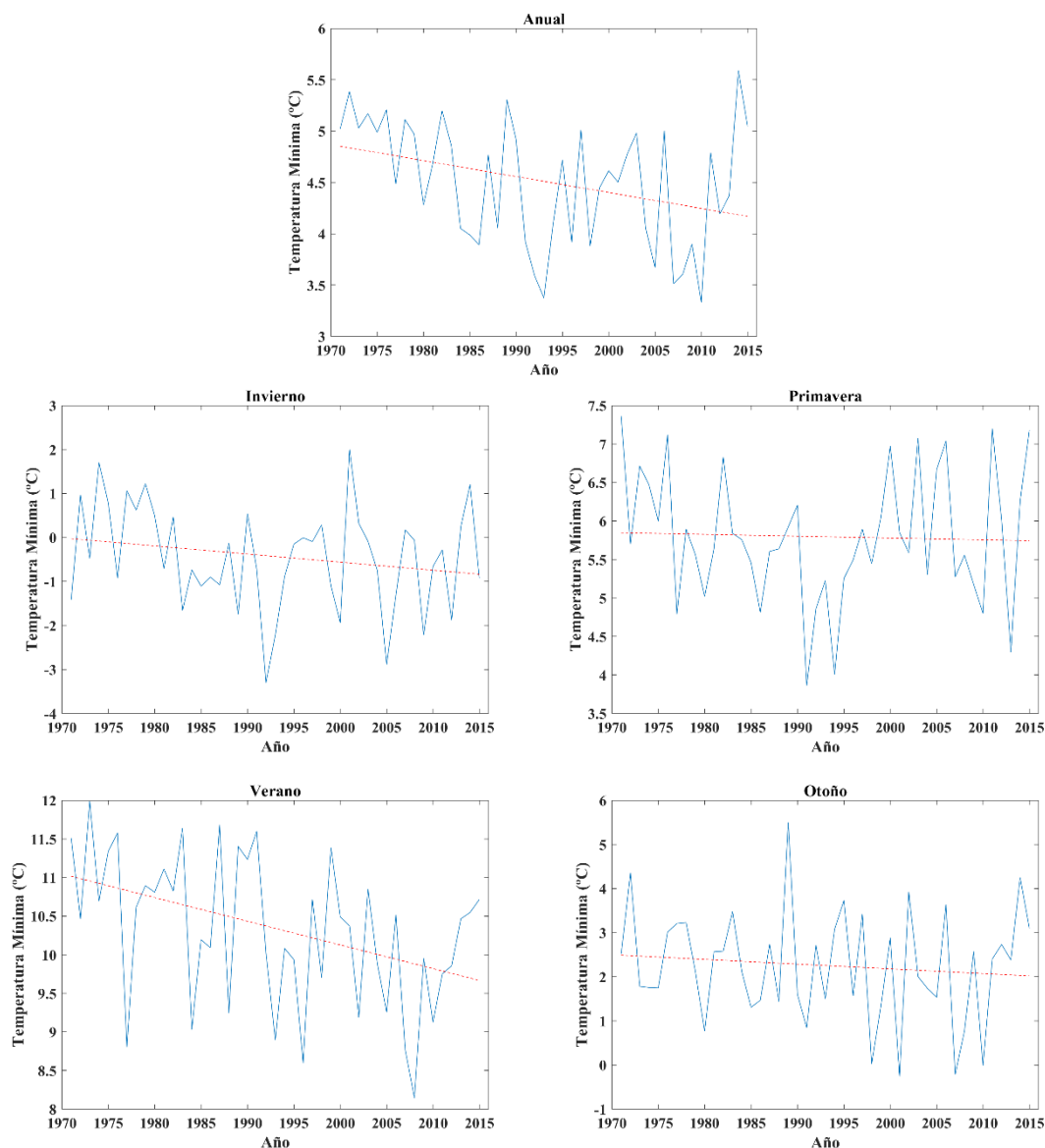


Figura 3.5. Temperatura mínima anual ( $^{\circ}\text{C}$ ) para el Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla, obtenida de la base Iberia01 para el período 1971-2015.





**Figura 3.6.** Temperatura mínima (°C) y tendencia (línea roja), a escala anual y estacional, para el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, obtenidas de la base Iberia01 para el período 1971-2015.

Los dos primeros hechos observados en el análisis de las temperaturas, es decir, el aumento de las temperaturas medias y máximas (tanto a nivel anual como en todas las estaciones) del Parque Natural bajo estudio, se explican en el contexto de crisis climática y el aumento de temperaturas que acarrea, como se presentó en la introducción. Estos resultados se arrojan críticos ya que conllevan un aumento de situaciones extremas tales como olas de calor o incendios (Morata et al., 2014; Lorenzo y Álvarez, 2022), que pueden poner en riesgo tanto a la población como a las especies animales y vegetales del Parque Natural. Trabajos previos, realizados

de forma más general para regiones de España, también detectaron este aumento de las temperaturas, en promedio para la España peninsular, en las últimas décadas (Luna et al., 2011; Mestre et al., 2015). En contraposición, se ha detectado que las temperaturas mínimas en el área del Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla presentan una tendencia negativa en las últimas décadas, por lo que estudios futuros pormenorizados serán necesarios para determinar las principales causas y factores que lo provocan.

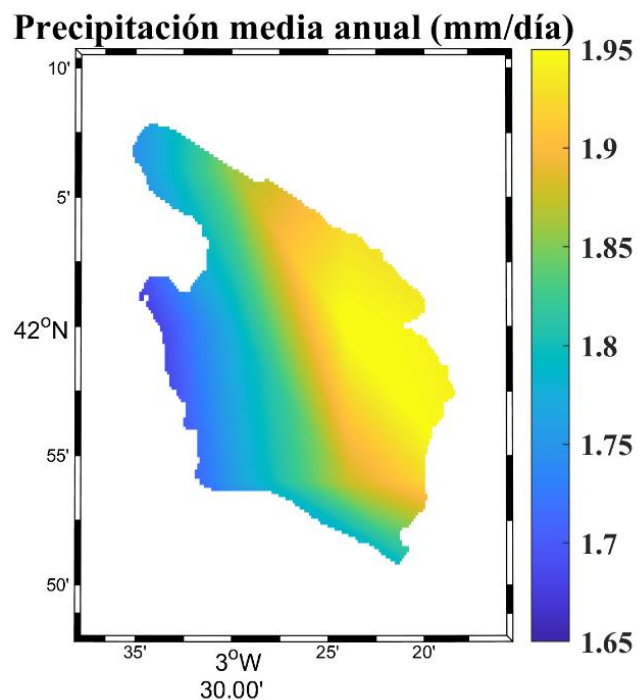
En cuanto a la precipitación, el valor medio para el periodo anual dentro del Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, es de  $1,84 \text{ mm día}^{-1}$ , lo que se corresponde con una precipitación acumulada a lo largo del año de aproximadamente 670 mm (Tabla 3.1). En cuanto a la precipitación estacional, se presentan variaciones entre los  $0,98 \text{ mm día}^{-1}$  en verano y los  $2,37 \text{ mm día}^{-1}$  en otoño (Tabla 3.1). En cuanto a la variabilidad espacial, la zona más montañosa, situada al este, presenta valores medios anuales de precipitación en el entorno de los  $2 \text{ mm día}^{-1}$  de media a lo largo del año, disminuyendo a medias de aproximadamente  $1,65 \text{ mm día}^{-1}$  en la parte situada más al oeste del Parque Natural (Figura 3.7). Esto se explica al aumentar el relieve y la altura hacia el este, donde comienza la Sierra de la Demanda, la cual es muy eficiente recogiendo la humedad de los vientos ábregos (efecto Foehn) durante invierno y otoño, o en la que los fenómenos convectivos son más habituales (en primavera y verano).

La precipitación es la única variable estudiada para la que los resultados obtenidos arrojan diferentes tendencias en las diferentes estaciones (Tabla 3.1 y Figura 3.8). En promedio, resulta una tendencia anual decreciente de la precipitación en los últimos tiempos, aunque con un valor prácticamente despreciable ( $-0,005 \text{ mm día}^{-1} \text{ dec}^{-1}$ ). Las estaciones que presentan una tendencia negativa son primavera, verano e invierno, destacando el verano con una disminución de la precipitación de  $-0,07 \text{ mm día}^{-1} \text{ dec}^{-1}$ , mientras que en el otoño existe una tendencia positiva en la precipitación de más de  $0,1 \text{ mm día}^{-1} \text{ dec}^{-1}$ .

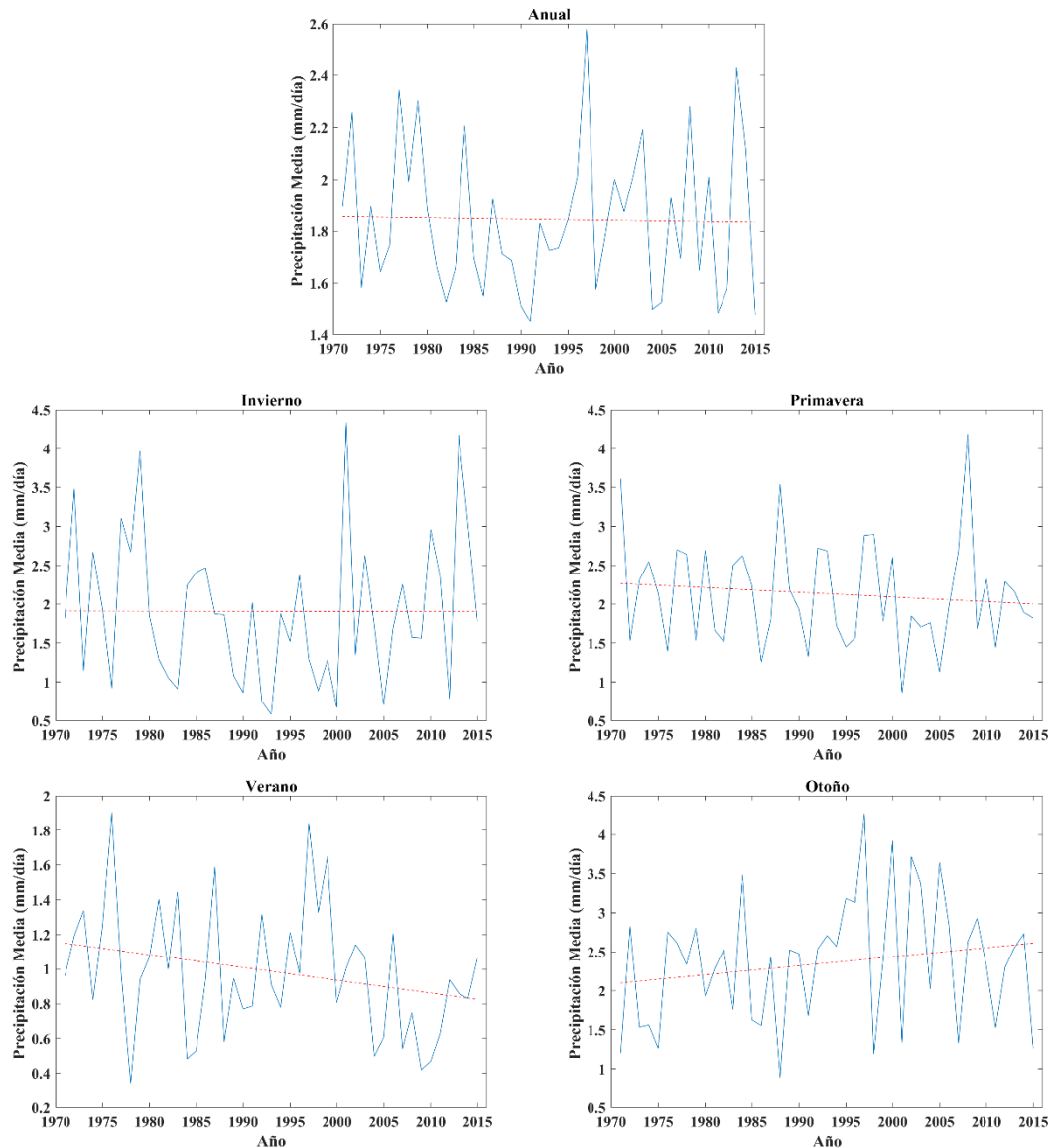
Los resultados obtenidos indican que, aunque la precipitación media no tuvo apenas cambios, la situación se está volviendo cada vez más crítica, puesto que en verano la disminución está siendo más acusada, de ahí la importancia de hacer también el

análisis a nivel estacional. De hecho, si extendemos la tendencia obtenida en verano a todo el período de estudio (1971-2015), las pérdidas se pueden contabilizar en más de  $0,3 \text{ mm día}^{-1}$  en esta estación, lo que unido a que el verano es la estación que presenta una menor media de precipitación ( $0,98 \text{ mm día}^{-1}$ ), hace que las situaciones de sequía se estén convirtiendo en cada vez más recurrentes, con las implicaciones negativas que esto conlleva.

Estudios previos realizados de forma más general a lo largo de la España peninsular, también detectaron esta divergencia en las precipitaciones en las últimas décadas (Luna et al., 2011; Mestre et al., 2015). En concreto, estos estudios también detectaron, en promedio para la España peninsular, disminuciones en todas las estaciones salvo en el otoño, acorde con lo que está ocurriendo en las últimas décadas en el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla.



**Figura 3.7.** Precipitación media anual ( $\text{mm día}^{-1}$ ) para el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, obtenida de la base Iberia01 para el período 1971-2015.



**Figura 3.8.** Precipitación ( $\text{mm día}^{-1}$ ) y tendencia (línea roja), a escala anual y estacional, para el Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla, obtenidas de la base Iberia01 para el período 1971-2015.

## 3.2 Modelos climáticos y tendencias futuras

### 3.2.1. Validación de los modelos climáticos

Para la selección de los modelos que proporcionan una adecuada representatividad de la zona bajo estudio, se hizo una comparación de las variables climáticas bajo análisis ofrecidas por los modelos del proyecto Euro-CORDEX, con los datos

obtenidos de Iberia01 para la zona del Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla. La comparación se realizó para el período común 1971-2015 mediante la herramienta estadística del test de Perkins, tal y como se detalló en la sección 2.2.3. *Selección de los modelos climáticos: test de Perkins o de solapamiento.*

El test de Perkins analiza el grado de solapamiento entre dos conjuntos de datos (en este caso los de Iberia01 estimados a través de la interpolación de datos reales, y los modelados del proyecto Euro-CORDEX), generando un valor, que se indica en una escala del 0 al 100, y que da muestra de la similitud de los patrones de dichas series (el valor 100 sería una similitud total). Tal y como se explicó en la sección 2.2.3. *Selección de los modelos climáticos: test de Perkins o de solapamiento*, aquellos modelos que presenten un valor de solapamiento superior a 88 serán considerados como válidos.

Este test ha sido realizado para cada variable incluida en este trabajo: precipitación y temperaturas media, mínima y máxima, arrojando los siguientes resultados organizados en la Tabla 3.2:

**Tabla 3.2.** Resultados del test de Perkins o Solapamiento aplicado a los modelos climáticos de Euro-CORDEX, para cada variable climática bajo consideración, indicando si son válidos (test > 88) o no.

MODELOS	PRECIPITACIÓN	TEMPERATURA MEDIA	TEMPERATURA MÍNIMA	TEMPERATURA MÁXIMA
1	Aceptable	Aceptable	No	No
2	No	No	No	No
3	No	No	No	No
4	No	No	No	No
5	Aceptable	No	No	Aceptable
6	Aceptable	No	Aceptable	No
7	Aceptable	No	No	No
8	Aceptable	No	No	No
9	Aceptable	No	Aceptable	No
10	Aceptable	Aceptable	No	Aceptable
11	Aceptable	No	Aceptable	No

12	No	No	No	No
13	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
14	Acceptable	Acceptable	No	Acceptable
15	Acceptable	Acceptable	No	No
16	Acceptable	Acceptable	No	Acceptable
17	Acceptable	Acceptable	No	Acceptable
18	No	Acceptable	No	Acceptable
19	No	Acceptable	No	Acceptable
20	Acceptable	Acceptable	No	Acceptable
21	Acceptable	Acceptable	No	No
22	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
23	Acceptable	No	No	Acceptable
24	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
25	No	Acceptable	No	Acceptable
26	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
27	Acceptable	No	No	Acceptable
28	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
29	No	No	No	No
30	Acceptable	Acceptable	No	No
31	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable
32	No	Acceptable	No	Acceptable
33	No	Acceptable	Acceptable	No
34	No	Acceptable	No	No
35	Acceptable	No	Acceptable	No
36	No	No	No	No
37	No	Acceptable	No	No
38	No	No	No	No
39	No	No	No	No
40	No	Acceptable	No	No
41	No	Acceptable	No	No
42	No	Acceptable	No	Acceptable
43	No	Acceptable	No	No
44	No	No	Acceptable	No

Es destacable que, para todas las variables, hay más de 10 modelos de los incluidos en Euro-CORDEX, que son capaces de reproducir con un grado muy alto de confianza el patrón principal de las variables climáticas del Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla. Este hecho ha aportado al trabajo una gran robustez a la hora de estimar las proyecciones futuras.

La temperatura mínima es la variable para la que menos modelos han obtenido un valor del test de solapamiento mayor de 88, con 12 modelos válidos. Por su parte, la temperatura media cuenta con 26 modelos que superan el umbral considerado, siendo la variable estudiada con mayor número de modelos aceptables de Euro-CORDEX para la zona de estudio. La temperatura máxima ha sido modelada satisfactoriamente por 19 modelos, mientras que, en cuanto a la precipitación, 24 modelos proporcionan una buena reproducibilidad. Por lo tanto, van a ser estos modelos validados los utilizados para obtener y analizar las tendencias futuras esperadas para cada variable climática.

### 3.2.2. *Tendencias futuras*

Conociendo los modelos que más se ajustan a cada variable, se ha analizado el cambio futuro esperado, considerando tanto un futuro cercano (2025-2054) como un futuro más lejano (2070-2099), en relación al período histórico (1990-2019) ofrecido por los modelos climáticos. Para el análisis se ha considerado cada una de las variables climáticas objeto de estudio, así como una diferenciación por estaciones además del análisis a escala anual. Para obtener los cambios esperados en el futuro, se analizarán las diferencias entre los valores medios del futuro respecto a los valores medios históricos proporcionados por cada modelo válido. El cambio en las temperaturas se analizará teniendo en cuenta valores absolutos mientras que la precipitación se analizará en términos del porcentaje de cambio, tal y como se especifica en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Cambio en las Temperaturas (}^{\circ}\text{C)} = \text{Valor medio futuro} - \text{Valor medio histórico}$$

$$\text{Cambio en la Precipitaciones (\%)} = 100 * \frac{\text{Valor medio futuro} - \text{Valor medio histórico}}{\text{Valor medio histórico}}$$

**a) Temperaturas Medias**

Todos los modelos, tanto en el análisis anual como estacional, así como para los dos futuros analizados, arrojan un aumento de la temperatura media (Tabla 3.3). No hay ningún modelo que vaticine una disminución de las temperaturas. Vistos estos resultados, se puede afirmar con gran robustez que las temperaturas medias cada vez van a ser más elevadas en el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla. A escala anual, tomando el promedio de todos los modelos válidos, se espera un aumento de 1,30°C de las temperaturas medias para un futuro cercano, que se incrementará notablemente hasta alcanzar casi 4°C de aumento en las temperaturas medias para el futuro más lejano. La homogeneidad en los valores de cambio es muy alta para ambos futuros, por lo que podemos afirmar que la robustez de estas proyecciones es muy alta.

A nivel estacional, tomando el promedio de todos los modelos válidos, los aumentos esperados en las temperaturas medias primaverales son ligeramente inferiores que, para el periodo anual, tanto para el futuro cercano (aumento medio de 1,28°C) como para el futuro lejano (aumento medio de 3,71°C), existiendo además una ligera mayor dispersión entre modelos. Para los meses de verano, el cambio de las temperaturas medias es el más elevado, con incrementos esperados de 1,83°C y 5,35°C para el futuro cercano y el lejano, respectivamente. La poca dispersión entre modelos ( $\pm 0,46^\circ\text{C}$  y  $\pm 1,04^\circ\text{C}$ , respectivamente), en relación a los valores resultantes, indica una gran robustez y confianza en los resultados obtenidos. En los otoños futuros la temperatura media también va a ser superior que la actual. Concretamente, los resultados indican que en el futuro cercano los otoños van a ver incrementada su temperatura media en alrededor de 1,20°C, mientras que para el futuro lejano se estiman temperaturas casi 3,5°C mayores que las actuales. Nuevamente la dispersión de datos entre los diferentes modelos no es muy elevada, lo que da robustez a los resultados obtenidos ( $\pm 0,33^\circ\text{C}$  y  $\pm 0,78^\circ\text{C}$ , respectivamente). Finalmente, las temperaturas medias invernales también verán incrementado su valor, aunque de forma más modesta. Para el futuro cercano, se espera un incremento en las temperaturas medias del invierno de 0,87°C, mientras que para el futuro lejano este valor asciende a 2,73°C de aumento.



Los valores obtenidos en el caso particular del Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla, están en consonancia con estudios previos, desarrollados en conjunto con la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que también analizaron tendencias a lo largo del siglo XXI sobre regiones más amplias de España por medio de modelos de regionalización estadística y dinámica (Morata et al., 2014). Así, Morata et al. (2014) también detectaron aumentos claros de la temperatura media para la España peninsular a medida que avance el siglo XXI, que serán especialmente acusados el verano, siendo también el invierno la estación donde este aumento será más moderado.

**Tabla 3.3.** Cambio esperado (°C) para el futuro cercano (2025-2054) y lejano (2070-2099) de las temperaturas media a nivel anual y estacional para el Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla, para los modelos validados de Euro-CORDEX, en referencia al período histórico (1990-2019). En rojo (azul) se indican incrementos (disminuciones). En la última fila se indica la media de todos los modelos con su correspondiente desviación estándar.

<b>TEMPERATURA MEDIA (°C)</b>										
<b>MODELO</b>	<b>ANUAL</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERANO</b>		<b>OTOÑO</b>		<b>INVIERNO</b>	
	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>
<b>1</b>	1,07	3,37	1,35	3,44	1,14	3,78	0,95	3,47	0,85	2,80
<b>10</b>	1,30	4,11	0,88	3,56	2,17	6,24	1,26	3,62	0,89	2,99
<b>13</b>	1,23	4,29	0,81	4,08	1,81	5,86	1,20	3,59	1,11	3,63
<b>14</b>	1,38	4,29	1,17	4,26	2,37	6,40	1,14	3,41	0,82	3,05
<b>15</b>	1,97	5,16	2,18	5,30	2,78	7,03	1,89	5,06	1,04	3,26
<b>16</b>	1,66	4,69	1,65	4,68	2,34	6,59	1,73	4,54	0,93	2,97
<b>17</b>	1,74	4,75	2,02	4,69	2,32	6,74	1,58	4,53	1,03	3,00
<b>18</b>	1,68	4,49	1,94	4,38	2,30	6,10	1,42	4,43	1,00	3,03
<b>19</b>	1,30	3,69	1,49	3,23	1,54	4,41	1,44	4,07	0,74	3,01
<b>20</b>	1,68	4,62	1,87	4,59	2,22	6,33	1,46	4,37	1,17	3,18
<b>21</b>	1,14	3,56	0,94	3,05	1,93	5,77	1,02	3,16	0,65	2,23
<b>22</b>	0,94	3,06	0,51	2,46	1,71	4,88	0,88	2,75	0,67	2,13

24	1,03	3,29	0,75	2,74	1,61	4,94	0,88	2,99	0,86	2,46
25	1,04	3,53	0,80	3,28	1,77	5,54	1,01	3,04	0,56	2,23
26	1,16	3,11	1,20	3,46	1,60	4,45	1,13	2,64	0,69	1,88
28	1,10	3,29	1,17	3,53	1,39	4,45	1,07	2,86	0,75	2,32
30	0,97	2,99	0,97	3,05	1,09	3,80	1,09	2,93	0,73	2,18
31	1,20	3,40	1,30	3,82	1,71	4,61	0,99	2,84	0,84	2,30
32	1,12	3,20	1,15	3,60	1,81	4,76	0,82	2,45	0,70	1,98
33	1,14	3,44	0,93	2,96	1,85	5,12	0,96	3,09	0,81	2,56
34	0,96	3,25	0,86	3,05	1,38	4,83	0,91	2,83	0,66	2,26
37	0,83	3,17	0,97	3,16	0,82	3,26	0,61	3,18	0,94	3,08
40	1,20	3,44	1,35	3,86	1,53	4,48	1,03	2,99	0,87	2,39
41	1,94	5,20	2,15	4,81	2,54	7,23	1,85	5,16	1,22	3,63
42	1,77	4,73	2,02	4,50	2,13	5,98	1,69	4,73	1,24	3,69
43	1,11	3,65	0,77	3,06	1,69	5,46	1,13	3,33	0,85	2,75
<b>MEDIA</b>	<b>1,30</b> <b>±0,32</b>	<b>3,84</b> <b>±0,68</b>	<b>1,28</b> <b>±0,48</b>	<b>3,71</b> <b>±0,72</b>	<b>1,83</b> <b>±0,46</b>	<b>5,35</b> <b>±1,04</b>	<b>1,20</b> <b>±0,33</b>	<b>3,54</b> <b>±0,78</b>	<b>0,87</b> <b>±0,18</b>	<b>2,73</b> <b>±0,52</b>

### **b) Temperaturas Mínimas**

Nuevamente, cabe primeramente destacar que todos los modelos, tanto a nivel anual como estacional, así como para los dos futuros analizados, arrojan un aumento de las temperaturas mínimas, lo que da muestra de la fiabilidad de ese incremento en las próximas décadas. En particular, los resultados obtenidos a escala anual, analizando el promedio arrojado por todos los modelos válidos, indican un aumento de casi 1°C en un futuro cercano, mientras que en el futuro lejano se espera un incremento superior a los 3°C (Tabla 3.4). La dispersión entre los modelos es muy baja en ambos periodos de tiempo ( $\pm 0,18^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 0,49^{\circ}\text{C}$ , respectivamente), constatando la confianza en el aumento de las mínimas esperable a lo largo de todo el ciclo anual. Por estaciones la tendencia es igualmente positiva, aunque presenta variaciones debido a la distinta naturaleza de cada estación climática. Así, en primavera, el aumento de las temperaturas mínimas es menor que para el conjunto del año, concretamente de  $0,73^{\circ}\text{C}$  y de  $2,85^{\circ}\text{C}$  para el futuro cercano y lejano, respectivamente. Los valores de

dispersión relativamente bajos constatan la robustez de la predicción del aumento de las mínimas primaverales. El estío, nuevamente, es la estación en la que más aumentarán las temperaturas mínimas para ambos futuros: 1,36°C para un futuro cercano, y más de 4°C para el futuro lejano. La dispersión, de nuevo, es baja para ambos futuros ( $\pm 0,42^{\circ}\text{C}$  y  $\pm 0,90^{\circ}\text{C}$ , respectivamente), mostrando la robustez de los resultados obtenidos. En otoño, se constata la tendencia del aumento de las mínimas para el futuro cercano, en torno a 0,9°C, así como para el futuro lejano, en el entorno de los 2,8°C. La robustez de los datos es también muy grande, evidenciando la tendencia positiva tan marcada de estas temperaturas mínimas. Finalmente, el invierno, de nuevo, es la estación en la que menos aumentan las temperaturas mínimas. El aumento se estima de aproximadamente 0,7°C en un futuro próximo, valor que aumenta hasta casi los 2,5°C para el futuro lejano. La robustez de nuevo es muy grande, con dispersiones únicamente de  $\pm 0,17$  y de  $\pm 0,59^{\circ}\text{C}$  para ambos futuros, respectivamente. En este caso, es importante comentar que, aunque el invierno sea la estación en la que el cambio presente para ambos futuros es menor, este efecto puede tener implicaciones importantes debido a la naturaleza tan baja de las mínimas en invierno en el Parque Natural, resultando por ejemplo en el impacto sobre valores bioclimáticos tan importantes como la reducción de los días de helada. Este hecho puede inferir en consecuencias en un principio positivas, como la extensión del cultivo de la vid a esta zona burgalesa, que en la actualidad está limitada a zonas por debajo de los 1000 msnm.

Es importante destacar que, en el caso de las temperaturas mínimas, las proyecciones obtenidas para el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla, indican una ruptura con la tendencia negativa que se obtuvo para la serie histórica resultante de los datos de Iberia01, cambiando la tendencia observada en las últimas décadas, con un esperable incremento de sus valores en las próximas décadas.

Estas proyecciones, de nuevo, guardan una estrecha relación y naturaleza con las proyectadas para el conjunto de la España peninsular, donde estudios previos también estimaron una tendencia positiva en el futuro para la temperatura mínima, con los mayores cambios en la estación veraniega (Morata et al., 2014). En particular, en este estudio previo se detectó un aumento de las temperaturas mínimas hacia finales de siglo en el entorno de los 3-4 °C a escala anual, por lo que lo obtenido en este estudio para el caso concreto del Parque Natural Sabinares del Arlanza – La

Yecla se enmarca dentro de lo esperable para el conjunto de España. Este estudio también detectó una clara disminución a lo largo del siglo XXI de los días de helada, como se comentó anteriormente.

**Tabla 3.4.** Cambio esperado (°C) para el futuro cercano (2025-2054) y lejano (2070-2099) de las temperaturas mínimas a nivel anual y estacional para el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla, para los modelos validados de Euro-CORDEX, en referencia al período histórico (1990-2019). En rojo (azul) se indican incrementos (disminuciones). En la última fila se indica la media de todos los modelos con su correspondiente desviación estándar.

<b>TEMPERATURA MÍNIMA (°C)</b>										
<b>MODELO</b>	<b>ANUAL</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERANO</b>		<b>OTOÑO</b>		<b>INVIERNO</b>	
	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>
<b>6</b>	0,90	3,01	0,78	2,87	1,35	3,84	1,01	3,15	0,37	2,17
<b>9</b>	1,10	3,85	0,64	3,52	1,81	5,19	1,20	3,42	0,72	3,23
<b>11</b>	0,47	2,68	0,20	2,52	0,35	2,80	0,70	2,56	0,62	2,84
<b>13</b>	1,09	4,18	0,59	3,74	1,67	5,66	0,99	3,48	1,11	3,82
<b>22</b>	0,78	2,68	0,27	2,03	1,50	4,15	0,78	2,53	0,59	1,99
<b>24</b>	0,84	2,89	0,57	2,40	1,47	4,50	0,69	2,56	0,62	2,05
<b>26</b>	1,03	2,56	1,22	2,94	1,28	3,40	0,97	2,19	0,63	1,71
<b>28</b>	0,92	2,71	1,13	3,03	1,23	3,81	0,79	2,18	0,55	1,79
<b>31</b>	1,12	3,14	1,25	3,41	1,68	4,44	0,76	2,49	0,76	2,19
<b>33</b>	1,02	3,23	0,78	2,63	1,73	4,47	0,91	3,04	0,66	2,44
<b>35</b>	1,04	3,53	0,68	2,77	1,62	5,25	1,12	3,32	0,72	2,73
<b>44</b>	0,67	2,64	0,60	2,39	0,65	2,73	0,59	2,86	0,83	2,59
<b>MEDIA</b>	<b>0,92</b> <b>±0,18</b>	<b>3,09</b> <b>±0,49</b>	<b>0,73</b> <b>±0,32</b>	<b>2,85</b> <b>±0,48</b>	<b>1,36</b> <b>±0,42</b>	<b>4,19</b> <b>±0,90</b>	<b>0,88</b> <b>±0,18</b>	<b>2,82</b> <b>±0,44</b>	<b>0,68</b> <b>±0,17</b>	<b>2,46</b> <b>±0,59</b>

### c) **Temperaturas Máximas**

Las proyecciones futuras de las temperaturas máximas de todos los modelos validados de nuevo arrojan tendencias al alza para todas las estaciones, así como para ambos periodos futuros estimados (Tabla 3.5). En particular, tomando el promedio para todos los modelos, a escala anual, se estima un aumento de 1,52°C y de 4,36°C para el futuro cercano y lejano, respectivamente. En cuanto al análisis estacional, en primavera este aumento es prácticamente igual que la media anual. Para verano, el aumento de las temperaturas máximas se maximiza: de más de 2°C para el futuro cercano y de más de 6°C en el futuro lejano. Además, la dispersión de los datos entre los modelos para la estación veraniega es baja, de  $\pm 0,33^\circ\text{C}$  y de  $\pm 0,84^\circ\text{C}$  respectivamente, aportando una gran confianza en estas proyecciones. En otoño las temperaturas máximas también van a aumentar, en el entorno de 1,5°C en un futuro cercano y en 4°C para el futuro lejano, con unas bajas dispersiones de  $\pm 0,34$  y  $\pm 0,77^\circ\text{C}$ , respectivamente. Finalmente, para el invierno las temperaturas máximas también se espera que aumenten, aunque de forma más discreta en comparación con el resto de estaciones climáticas: cerca de 1°C y 3°C para el futuro cercano y lejano, respectivamente.

El aumento generalizado esperable de las temperaturas máximas en el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla, será especialmente acusado en verano, donde se estima que se puedan superar los 6°C de diferencia a finales del siglo XXI respecto al período histórico considerado, lo que supone la proyección más alta de cambio de todo el estudio. Esto se prevé que tenga una implicación directa en el aumento de situaciones mucho más críticas que afectan principalmente durante el estío, tales como olas de calor o incendios (IPCC, 2013; Morata et al., 2014; Lorenzo y Álvarez, 2022). Se debe destacar también que los incrementos de temperatura máxima obtenidos para el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla se encuentran dentro del rango esperado que ha sido detectado en estudios previos más generales para el conjunto de España durante el siglo XXI (Morata et al., 2014), donde también se destaca ese incremento especialmente acuciante en el verano en la España continental. En concreto, Morata et al. (2014) obtuvieron un incremento de entre 3-5°C en la temperatura máxima a escala anual a finales de siglo para España, estando los 4,36°C obtenidos para el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla en el presente trabajo, dentro del rango esperable para la España peninsular.

**Tabla 3.5.** Cambio esperado (°C) para el futuro cercano (2025-2054) y lejano (2070-2099) de las temperaturas máximas a nivel anual y estacional para el Parque Natural Sabinares del Arlanza - La Yecla, para los modelos validados de Euro-CORDEX, en referencia al período histórico (1990-2019). En rojo (azul) se indican incrementos (disminuciones). En la última fila se indica la media de todos los modelos con su correspondiente desviación estándar.

<b>TEMPERATURA MÁXIMA (°C)</b>										
<b>MODELO</b>	<b>ANUAL</b>		<b>PRIMAVERA</b>		<b>VERANO</b>		<b>OTOÑO</b>		<b>INVIERNO</b>	
	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>	<i>Cambio Futuro Cercano</i>	<i>Cambio Futuro Lejano</i>
<b>5</b>	0,96	3,43	0,75	3,21	1,83	5,23	0,96	3,35	0,28	1,91
<b>10</b>	1,64	4,62	1,12	3,94	2,54	7,05	1,61	4,13	1,29	3,31
<b>13</b>	1,40	4,50	0,95	4,42	1,91	6,11	1,43	3,79	1,31	3,65
<b>14</b>	1,69	4,77	1,60	5,03	2,58	6,75	1,51	3,94	1,07	3,32
<b>16</b>	1,94	5,67	1,91	5,94	2,84	8,18	2,05	5,30	0,97	3,26
<b>17</b>	1,99	5,32	2,37	5,35	2,51	7,36	2,00	5,18	1,07	3,38
<b>18</b>	1,82	4,86	2,17	4,93	2,34	6,36	1,71	4,80	1,00	3,31
<b>19</b>	1,46	4,08	1,69	3,47	1,73	4,89	1,75	4,66	0,66	3,25
<b>20</b>	1,98	5,26	2,24	5,50	2,30	6,67	1,97	5,03	1,40	3,86
<b>22</b>	1,13	3,49	0,65	2,84	2,04	5,89	1,00	2,95	0,83	2,24
<b>23</b>	1,52	4,20	1,39	4,26	2,53	6,62	1,22	3,54	0,95	2,34
<b>24</b>	1,27	3,71	0,85	2,96	1,82	5,58	1,12	3,39	1,28	2,88
<b>25</b>	1,30	4,02	0,98	3,93	2,14	6,16	1,15	3,31	0,91	2,64
<b>26</b>	1,37	3,90	1,27	4,20	2,07	6,05	1,37	3,25	0,77	2,04
<b>27</b>	1,47	4,28	1,63	5,18	1,93	5,77	1,44	3,64	0,85	2,48
<b>28</b>	1,30	4,05	1,26	4,13	1,57	5,33	1,43	3,80	0,94	2,90
<b>31</b>	1,34	3,74	1,35	4,27	1,75	4,84	1,37	3,44	0,86	2,40
<b>32</b>	1,35	3,79	1,37	4,47	1,97	5,13	1,26	3,18	0,81	2,36
<b>42</b>	1,89	5,07	2,19	4,87	2,19	6,09	2,10	5,32	1,09	4,00
<b>MEDIA</b>	<b>1,52</b> <b>±0,29</b>	<b>4,36</b> <b>±0,63</b>	<b>1,46</b> <b>±0,51</b>	<b>4,36</b> <b>±0,83</b>	<b>2,14</b> <b>±0,33</b>	<b>6,11</b> <b>±0,84</b>	<b>1,50</b> <b>±0,34</b>	<b>4,00</b> <b>±0,77</b>	<b>0,97</b> <b>±0,25</b>	<b>2,92</b> <b>±0,60</b>

#### **d) Precipitaciones**

Se han obtenido unos resultados de proyecciones bastante homogéneos entre los diferentes modelos acerca de los cambios esperados en la precipitación, aunque no tan rotundos como ocurría con las temperaturas. Así, de forma anual, todos los modelos vaticinan valores negativos en el porcentaje de cambio, lo que significa una reducción de las precipitaciones, tanto en un futuro cercano como en el lejano. Analizando la media de todos los modelos, se estima una reducción cercana al 9% en la precipitación media anual para el futuro cercano respecto a las precipitaciones medias históricas, porcentaje de disminución que se incrementará hasta cerca de un 17% para el futuro lejano, resultando en un clima más seco en el futuro en el Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla (Tabla 3.6). Cabe comentar también que, para ambos futuros estudiados, la dispersión entre los modelos no es muy alta ( $\pm 3,33\%$  y  $\pm 7,19\%$  respectivamente, en promedio, para el futuro cercano y lejano). Esto indica una alta confianza en esta disminución general del agua disponible en el futuro. Desglosando por estaciones las proyecciones de precipitación, obtenemos también resultados de interés al conocer cómo es la distribución de las precipitaciones a lo largo del año, y en qué estaciones se va a ver más alterado el patrón de las lluvias. Esto es fundamental ya que no solamente importa lo que sucederá con la precipitación a nivel anual, sino que es fundamental conocer cómo esos cambios se distribuirán a lo largo del año. Así, en primavera, de nuevo todos los modelos indican una disminución de las precipitaciones para el futuro lejano. Sin embargo, para el futuro cercano hay 3 modelos de los 24 (el 12,5%) que vaticinan un aumento de estas precipitaciones primaverales, aunque al ser únicamente 3 modelos, hay una elevada confianza en la disminución de la precipitación primaveral. Así, en el futuro cercano, se modela en promedio una disminución ligeramente superior al 10% en las precipitaciones, mientras que en el futuro lejano esta pérdida de lluvia en primavera en el Parque Natural se estima en casi un 30% respecto a lo que llueve en el período histórico durante esta época (Tabla 3.6). Para el periodo estival, primero de todo, debemos de tener en cuenta que ya de por si las precipitaciones son bajas, como se ha obtenido en el apartado de la caracterización climática. Por lo tanto, las variaciones porcentuales de estas precipitaciones estivales, van tender a ser mayores. Para el futuro cercano 23 de los 24 modelos arrojan una disminución de las precipitaciones, obteniendo de media de alrededor de un 18% menos de precipitación en comparación

con el período histórico. La dispersión de los modelos para las precipitaciones veraniegas sí es considerable, oscilando los valores individuales de los modelos entre -35% y el 1%, generando mayor incertidumbre para este futuro más cercano en cuanto a la intensidad del descenso. En cuanto al futuro lejano, todos los modelos indican una disminución de la precipitación, con casi todos los valores de los modelos oscilando entre el -25% y el -65% de cambio, arrojando una media de disminución de la precipitación de alrededor del 40%. Por lo tanto, es esperable, con una alta fiabilidad, que haya cerca de la mitad de la cantidad de lluvia estival para este rango temporal más lejano. De nuevo todos los modelos, tanto para el futuro lejano como para el cercano, determinan otoños más secos para Sabinas del Arlanza. En un futuro cercano, se estiman disminuciones de las precipitaciones en el entorno del 8% en promedio para los modelos considerados, con poca variación entre los diferentes modelos (dispersión de  $\pm 4,30\%$ ). En un futuro lejano, las precipitaciones se reducirán de media cerca de un 15% ( $\pm 10,03\%$  de dispersión). Como se introdujo, al ser las precipitaciones mayores en los otoños, los porcentajes de cambio van a ser menores en comparación a otras estaciones por la estadística. Finalmente, para el invierno, las precipitaciones también se estima que van a descender. Para el periodo invernal, es para el que más modelos dan valores positivos en el porcentaje de cambio, tanto para el futuro cercano (8 de 24 modelos) como para el lejano (13 de 24), demostrando una mayor incertidumbre, aunque la media para ambos, teniendo en cuenta todos los modelos, sea negativa. Es destacable la alta dispersión de los datos, que resultan en los porcentajes de cambio medio más bajos, aunque indicando disminuciones: en el entorno del 4% menos de lluvia para el futuro cercano y del 1% para el futuro lejano, pero con grandes dispersiones respectivas, en comparación con los valores de cambio, de  $\pm 6,74\%$  y  $\pm 11,29\%$ , respectivamente. Es también la única estación en la que el porcentaje de disminución es mayor para el futuro cercano que en el lejano. En este último, se puede decir que las precipitaciones se van a mantener prácticamente iguales a las actuales durante el invierno. Tal y como se desprende de las elevadas dispersiones obtenidas, existe una gran incertidumbre en cuanto a la evolución de la precipitación invernal en el futuro.

Entre todos los datos obtenidos, es especialmente destacable, por sus implicaciones, la acusada disminución porcentual futura que se espera de la lluvia en verano, de la que ya se vislumbraban signos analizando los datos de las últimas décadas pasadas



obtenidos de Iberia01. Esta disminución proyectada, unida a la futura pérdida de agua también durante los meses adyacentes de primavera y otoño, indican claramente cómo los problemas de sequías se verán muy agudizados en el futuro. En el caso particular que nos ocupa, la proyectada reducción de las precipitaciones durante gran parte del año, puede comprometer a muchas poblaciones sobre todo vegetales, al aumentar el estrés hídrico sobre ellas, alterando la cadena trófica y por tanto el equilibrio existente. En este sentido, entre algunas otras especies del Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla sensibles a esta reducción de las precipitaciones, el roble rebollo (*Quercus pyrenaica*), típico en el Parque Natural sobre todo en las laderas con orientación norte por ser más umbrías y húmedas, podría ser sustituido por especies más agrestes como la encina (*Quercus ilex*).

Trabajos previos, realizados a escala más global, también detectaron esta situación crítica con una esperada disminución de la precipitación en la España peninsular a lo largo del siglo XXI, siendo especialmente acusada la disminución en verano, seguida de la primavera y otoño (Morata et al., 2014; Inundaciones y cambio climático, 2018), resultados que concuerdan con lo esperado para la zona bajo estudio, que sigue una tendencia similar a la del conjunto de la España peninsular.

**Tabla 3.6.** Cambio esperado (%) para el futuro cercano (2025-2054) y lejano (2070-2099) de las precipitaciones a nivel anual y estacional para el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla, para los modelos validados de Euro-CORDEX, en referencia al período histórico (1990-2019). En rojo (azul) se indican incrementos (disminuciones). En la última fila se indica la media de todos los modelos con su correspondiente desviación estándar.

PRECIPITACIÓN (%)										
MODELO	ANUAL		PRIMAVERA		VERANO		OTOÑO		INVIERNO	
	Cambio Futuro Cercano	Cambio Futuro Lejano	Cambio Futuro Cercano	Cambio Futuro Lejano	Cambio Futuro Cercano	Cambio Futuro Lejano	Cambio Futuro Cercano	Cambio Futuro Lejano	Cambio Futuro Cercano	Cambio Futuro Lejano
1	-8,32	-15,77	-14,80	-28,14	0,94	-8,96	-8,11	-4,84	-6,59	-19,45
5	-5,36	-10,96	-10,31	-27,13	-11,66	-29,02	-5,52	-7,41	2,09	8,12
6	-5,43	-15,59	-6,79	-26,77	-14,42	-38,49	-7,12	-14,51	0,32	-0,64
7	-2,10	-9,17	-7,96	-27,50	-9,46	-22,11	-2,85	-2,38	7,12	5,65
8	-3,17	-6,09	-6,92	-23,98	-3,48	-12,73	-9,12	-0,94	7,08	11,20

<b>9</b>	-9,93	-15,01	-19,75	-31,01	-23,63	-64,86	-3,96	-19,13	-9,36	<b>2,88</b>
<b>10</b>	-13,45	-18,12	-18,61	-34,37	-35,16	-69,38	-5,09	-11,01	-10,99	<b>0,03</b>
<b>11</b>	-13,83	-12,39	-18,55	-21,29	-34,71	-43,30	-4,19	-10,12	-8,33	<b>8,24</b>
<b>13</b>	-9,89	-13,57	-13,77	-31,35	-30,68	-58,72	-3,25	-12,85	-7,95	<b>7,49</b>
<b>14</b>	-12,42	-15,15	-17,19	-32,79	-25,76	-51,40	-3,69	-14,32	-12,61	<b>7,13</b>
<b>15</b>	-6,13	-25,44	-16,56	-41,03	-23,22	-63,77	-5,84	-24,29	<b>6,95</b>	-4,27
<b>16</b>	-11,21	-32,76	-15,28	-42,22	-34,97	-65,14	-11,37	-29,27	<b>0,82</b>	-16,39
<b>17</b>	-9,99	-19,03	-17,85	-26,11	-23,69	-40,44	-13,84	-20,04	<b>9,70</b>	-0,75
<b>20</b>	-8,26	-18,69	-10,47	-21,89	-0,11	-19,15	-17,39	-21,68	<b>0,46</b>	-11,31
<b>21</b>	-11,24	-12,39	-10,92	-36,03	-26,12	-42,35	-11,52	-4,70	-5,75	<b>9,23</b>
<b>22</b>	-10,35	-9,17	-9,36	-29,99	-20,37	-35,54	-11,77	-5,91	-5,28	<b>16,30</b>
<b>23</b>	-11,97	-9,90	-14,14	-29,02	-29,96	-53,84	-7,17	-0,35	-9,21	<b>9,01</b>
<b>24</b>	-12,91	-11,39	-13,65	-31,34	-11,15	-30,02	-17,50	-7,88	-8,81	<b>4,93</b>
<b>26</b>	-9,14	-31,24	-2,39	-34,03	-14,37	-42,22	-7,27	-33,65	-14,98	-21,71
<b>27</b>	-5,21	-25,24	<b>0,11</b>	-38,63	-18,12	-42,76	-7,06	-25,82	-4,92	-11,31
<b>28</b>	-3,63	-26,84	<b>6,41</b>	-22,33	-14,44	-44,27	-2,54	-26,48	-7,95	-21,83
<b>30</b>	-5,60	-17,31	<b>4,99</b>	-13,59	-6,28	-23,49	-13,37	-26,24	-9,62	-8,25
<b>31</b>	-6,65	-24,06	-4,63	-29,87	-9,93	-27,52	-5,35	-26,43	-8,55	-16,18
<b>35</b>	-8,91	-8,47	-4,89	-25,43	-18,51	-35,36	-10,63	-1,90	-6,35	<b>6,86</b>
<b>MEDIA</b>	<b>-8,55</b> <b>±3,33</b>	<b>-16,82</b> <b>±7,19</b>	<b>-10,14</b> <b>±7,15</b>	<b>-29,41</b> <b>±6,43</b>	<b>-18,30</b> <b>±10,56</b>	<b>-40,20</b> <b>±16,52</b>	<b>-8,15</b> <b>±4,30</b>	<b>-14,67</b> <b>±10,03</b>	<b>-4,28</b> <b>±6,74</b>	<b>-1,46</b> <b>±11,29</b>

## 4. Conclusiones

En el presente trabajo, se ha analizado el clima histórico y las proyecciones futuras del Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla (Burgos, Castilla y León), a través del análisis de importantes variables climáticas, incluyendo temperatura (media, mínima y máxima) y precipitaciones. Para el análisis histórico se han utilizado datos de la base Iberia01 (1971-2015), mientras que para analizar las proyecciones futuras se han utilizado los datos proporcionados por los modelos climáticos disponibles en la base de Euro-CORDEX, comparando un futuro cercano (2025-2054) y uno lejano (2070-2099) con los valores de referencia de un período histórico (1990-2019).

En cuanto al análisis del clima histórico y su evolución (1971-2015), cabe destacar que las temperaturas y precipitaciones en el Parque Natural Sabinas del Arlanza - La Yecla han seguido un patrón general durante las últimas décadas muy próximo al detectado, en su conjunto, para la Península Ibérica, con una tendencia hacia el incremento general de las temperaturas medias y máximas y ligeros descensos en la precipitación. El único contraste se encuentra en las temperaturas mínimas, en las cuales se ha detectado un descenso en el Parque Natural durante las últimas décadas mientras que el patrón promedio de la España peninsular es hacia el aumento. En particular, se ha detectado que las temperaturas medias, a escala anual, presentaron un valor promedio de 10,25°C, aumentado a un ritmo de 0,20°C dec<sup>-1</sup> durante el período de estudio. Las temperaturas máximas, con un valor medio anual de 15,99°C en el Parque Natural, han visto incrementado su valor, a escala anual, a un ritmo de 0,55°C dec<sup>-1</sup>. En ambos casos, temperaturas medias y máximas, la mayor tendencia al aumento se da en la primavera y el verano. Como contraste, las temperaturas mínimas, con un valor anual promedio de 4,49°C, han visto disminuido su valor, a escala anual, a un ritmo de -0,15°C dec<sup>-1</sup> durante del periodo de análisis. En cuanto a las precipitaciones, que presentan un valor medio, a escala anual, de 1,84 mm día<sup>-1</sup> para el período 1975-2015, su tendencia durante estos años ha sido hacia una reducción a escala anual, aunque de forma muy ligera, con un descenso de apenas -0,005 mm día<sup>-1</sup> dec<sup>-1</sup>, aunque en el verano este descenso es más acusado, con una tasa de -0,07 mm día<sup>-1</sup> dec<sup>-1</sup>.

En cuanto a las proyecciones futuras a lo largo del siglo XXI, en este caso hay un claro consenso en cuanto a las tendencias futuras, con claros aumentos de las temperaturas (tanto medias, como mínimas y máximas) y claros descensos en la lluvia, dirigiéndonos, de forma clara y robusta, hacia un clima más cálido y con menos precipitaciones en el Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla, siguiendo en este caso todas las variables un patrón muy similar al detectado en estudios previos, en promedio, para la España peninsular. En particular, la temperatura media se estima que aumente, a escala anual, en más de 1°C en un futuro cercano y que este aumento llegue hasta casi los 4° C para el futuro lejano. En cuanto a las temperaturas mínimas, a escala anual se esperan incrementos en el entorno de 1°C y 3°C para el futuro cercano y lejano, respectivamente. Las proyecciones también indican aumentos en las temperaturas máximas superiores a 1,5°C y 4°C respectivamente para el futuro cercano y lejano a escala anual. Tanto las temperaturas medias, como las mínimas y máximas presentan incrementos tanto a escala anual, como estacional, como para ambos períodos futuros considerados, lo que da buena muestra de la robustez de las tendencias. Además, es durante el verano donde en todos los casos se producen los mayores incrementos, destacando las temperaturas máximas con incrementos en la estación estival que pueden superar los 2°C y 6°C, respectivamente, en el futuro cercano y lejano. Acerca del cambio en las precipitaciones, se puede concluir, con un alto grado de fiabilidad, que se espera que, a escala anual, llueva menos en el futuro (aproximadamente un 17% menos de lluvia a finales de siglo). La situación será especialmente crítica durante el verano, donde se espera que caiga un 40% menos de lluvia en el futuro lejano.

Por lo tanto, a la vista de los resultados de este estudio, se puede concluir que en el Parque Natural Sabinars del Arlanza - La Yecla tanto la fauna, flora, como la población humana, muy ligada al sector primario, van a verse afectados por un cambio climático que ya se ha notado durante finales del siglo XX y principios del siglo XXI, y que cuyo impacto será incluso más intenso a medida que siga avanzando el siglo XXI. Por lo tanto, se hace necesario tomar las medidas de mitigación y adaptación necesarias, pudiendo servir el análisis desarrollado en el presente trabajo como base para actuaciones y estudios futuros.

## 5. Bibliografía

Ayuntamiento de Mecerreyes. Fiestas y tradiciones. *El Gallo de Carnaval*. (s.f.).

Extraído de [https://www.mecerreyes.com/mece/?page\\_id=138](https://www.mecerreyes.com/mece/?page_id=138)

Burillo, M. P., Burillo, F., y Ruiz, E. (2013). Serranía Celtibérica (España). Un proyecto de desarrollo rural para la Laponia del Mediterráneo. *Teruel: Instituto Celtiberia de Investigación y Desarrollo Rural, Campus de Teruel*. Universidad de Zaragoza. Extraído de <https://www.celtiberica.es/documentos/Serrania.pdf>

CORDEX (2015). CORDEX domains for model integrations. Disponible en: [https://cordex.org/wp-content/uploads/2012/11/CORDEX-domain-description\\_231015.pdf](https://cordex.org/wp-content/uploads/2012/11/CORDEX-domain-description_231015.pdf)

Decreto 48/2018, de 29 de noviembre, por el que se aprueba el Plan de Ordenación de los Recursos Naturales del Espacio Natural «Sabinares del Arlanza - La Yecla» (Burgos). *Boletín Oficial de Castilla y León*, 233, de 3 de diciembre de 2018. <https://agalsa.es/wp-content/uploads/2020/06/2.1.-Decreto-48-2018-PORN-Sabinares-del-Arlanza.-C.-Leo%CC%81n.pdf>

Des, M., Fernández-Nóvoa, D., deCastro, M., Gómez-Gesteira, J. L., Sousa, M. C., y Gómez-Gesteira, M. (2021). Modeling salinity drop in estuarine areas under extreme precipitation events within a context of climate change: effect on bivalve mortality in Galician Rías Baixas. *Science of the Total Environment*, 790, 148147.

Fernández-Nóvoa, D., García-Feal, O., González-Cao, J., deCastro, M., y Gómez-Gesteira, M. (2022). Multiscale flood risk assessment under climate change: the case of the Miño River in the city of Ourense, Spain. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 22(12), 3957-3972.

Fernández-Nóvoa, D., Des Villanueva, M. y Gómez-Gesteira, M. (2021). *O Cambio Climático*. Esenciais. Breviarios de divulgación do Saber. Universidade de Vigo.

- Herrera, S., Cardoso, R. M., Soares, P. M., Espírito-Santo, F., Viterbo, P., y Gutiérrez, J. M. (2019). Iberia01: A new gridded dataset of daily precipitation and temperatures over Iberia. *Earth System Science Data*, 11(4), 1947-1956.
- Inundaciones y cambio climático (2018). *Ministerio para la Transición Ecológica*. Madrid, 105.
- IPCC (2021). *Climate change 2021: The Physical Science Basis*. Working Group I Contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pirani, A., Connors, S. L., Péan, C., Berger, S., Huang, M., Yelekçi, O., Yu, R., Zhou, B., Lonnoy, E., Maycock, T. K., Waterfield, T., Leitzell, K. y Caud., N. (eds.)]. Cambridge University Press.
- IPCC (2013). *Cambio climático 2013: Bases físicas*. Contribución del grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M.M.B., Allen S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. y Midgley P. M. (eds.)]. Cambridge University Press.
- Linés Escardó, A. (1998). Contribución al concepto de clima. Disponible en [http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/territoris/index/assoc/Territor/is\\_1998v01p203.dir/Territoris\\_1998v01p203.pdf](http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/territoris/index/assoc/Territor/is_1998v01p203.dir/Territoris_1998v01p203.pdf)
- Lorenzo, M. N., y Alvarez, I. (2022). Future changes of hot extremes in Spain: towards warmer conditions. *Natural Hazards*, 113(1), 383-402.
- Luna, M. Y., López, J. A., y Guijarro, J. A. (2011). Tendencias observadas en España en precipitación y temperatura. *Revista Española de Física*, 26(2), 12-17.
- Martín-Gomez, V. (2016). El Sistema Climático de la Tierra. Facultad de Ciencias de la Universidad de Montevideo, Uruguay. Disponible en <https://xdoc.mx/preview/tema-1-unidad-de-ciencias-de-la-atmosfera-5db9ef161e6aa>
- Mestre Guillén, I., Casado Calle, M. J., y Rodríguez Camino, E. (2015). Tendencias observadas y proyecciones de cambio climático sobre España. Disponible en

[https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/11786/1/Tendencias\\_Observadas\\_Mestre.pdf](https://repositorio.aemet.es/bitstream/20.500.11765/11786/1/Tendencias_Observadas_Mestre.pdf)

Morata, A. (2014). Guía de escenarios regionalizados de cambio climático sobre España a partir de los resultados del IPCC-AR4. *Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente*, 197.

Perkins, S. E., Pitman, A. J., Holbrook, N. J., y McAneney, J. (2007). Evaluation of the AR4 climate models' simulated daily maximum temperature, minimum temperature, and precipitation over Australia using probability density functions. *Journal of climate*, 20(17), 4356-4376.

Schwalm, C. R., Glendon, S., y Duffy, P. B. (2020). RCP8.5 tracks cumulative CO2 emissions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 117(33), 19656-19657.

Vázquez Abeledo, M. (2006). *La historia del Sol y el Cambio climático*. Madrid, España. McGraw-Hill.