



LIFE SORIA
ForestAdapt

INFORME DE BASE CLIMÁTICO DE SORIA Y SUS COMARCAS FORESTALES

DICIEMBRE 2020



CON LA CONTRIBUCIÓN DEL INSTRUMENTO FINANCIERO LIFE DE LA UNIÓN EUROPEA



FSC® F000228



Fundación General de la Universidad de Valladolid



ÍNDICE

0. SUMMARY	3
1. DEFINICIONES	4
2. CONTEXTO EUROPEO	7
2.1 ZONAS DE RIESGO CLIMÁTICO	7
2.2 CAMBIO CLIMÁTICO REGISTRADO	8
2.3 PROYECCIONES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y CLIMA EXTREMO	10
2.4 IMPACTOS REGISTRADOS Y FUTUROS EN SELVICULTURA Y RECURSOS ASOCIADOS	13
3. TENDENCIAS CLIMÁTICAS PARA ESPAÑA EN EL SIGLO XXI Y PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN	19
4. SITUACIÓN Y CLIMA DE LA PROVINCIA DE SORIA.	21
4.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE SORIA	21
4.2 MAPAS CLIMÁTICOS DE LA PROVINCIA DE SORIA	22
4.3 ANÁLISIS CLIMÁTICO DEL PASADO RECIENTE POR COMARCAS FORESTALES	26
4.4 PROYECCIONES CLIMÁTICAS PARA LA PROVINCIA DE SORIA	36
4.5 PROYECCIONES CLIMÁTICAS PARA LAS COMARCAS FORESTALES DE SORIA	38
5. CONCLUSIONES.....	47
6. BIBLIOGRAFÍA	50



0. SUMMARY

Spain, like the rest of Europe, is suffering the effects of climate change, which can be reflected in these climatic trends:

Increase in maximum and minimum temperatures, greater number of hot days, increase in the duration of heat waves, moderate decrease in rainfall, increase in droughts and increase in torrential rains and floods among others.

The province of Soria has some peculiar climatic characteristics that can be summarized as follows:

- The average annual rainfall ranges between 355 mm and 740 mm.
- The average temperature varies between 7^o in the central strip of the province and more than 13^oC in some areas. Likewise, the average maximum temperature ranges between 11^oC in the central zone and up to 20^oC in the rest of the province, and the minimum temperatures vary between 2^oC and 8^oC.

This report has made a study of the climatic variations in the province between 1979 and 2019 and has analyzed the climatic projections in the medium term (2050) and in the long term (2100) and the consequences they may have on Soria's forests and their production.

In the last 40 years, temperatures have risen more than 1^oC in the province of Soria. In line with these data, projections for the next 80 years indicate that a rise of between 3 and 5^oC for average temperatures, between 2 and 6^oC for maximum temperatures and between 1 and 4^oC for minimum temperatures is possible. This may significantly affect the distribution of some forest species since their altitudinal limits are linked to temperatures, and their distribution areas may shift to higher altitudes. Mycological production may be affected since this rise in temperatures may shift the production periods of different species to later periods in autumn or earlier in spring. In addition, the predicted temperature increase may lead to higher average resin yields given the strong correlations of resin production with temperature and radiation.

Annual frost days have seen a significant decrease across the province in recent years. They are projected to decrease by 30-60% by 2100, from more than 80 days per year to about 20-30 per year. Frosts usually occur during the vegetative period of certain species so, by decreasing the number of days, the probability increases that these periods will be altered and these species may sprout early and not resist subsequent frosts. This reduction in the number of frost days can affect truffle production, since this production depends to a large extent on the thermal contrasts between days with frost and days with warmer temperatures.

In terms of hot days, there has been an increase in the annual number of days with maximum temperatures above 25^oC, as well as an increase in the number of heat waves each year. Projections also indicate that the number of hot days will increase by 20-40%, the duration of heat waves will increase by 5-25 days per wave, and hot nights and hot days will increase to almost three times the current values. These values may significantly affect the susceptibility of certain species to pests and diseases whose cycles are favored by high temperatures.

The trend in annual rainfall has been upward, with an increase of about 200 mm per year. Despite this increase in precipitation over the reference period, the precipitation projection predicts a 5-15% decrease in annual precipitation by 2100. If the projected decline in precipitation is confirmed, it could lead to increased mortality in certain forest species at the drier limits of their ranges. Mycological production may also decrease significantly, since most species need considerable moisture to bear fruit.

The number of drought periods has decreased over the last 40 years, although the projected duration of drought periods is expected to increase by 15%. This increase may also affect the vulnerability of forest stands to pests and diseases, which tend to be more virulent during periods of drought. As for resin, above a certain summer drought limit, yields are compromised. In this case, summer rainfall seems to favor resin production.

As the temperature increases, increasing the Potential Evapotranspiration and decreasing precipitation, the amount of water available in the soil for vegetation will be less and less, which may negatively affect the



forest stands, both in a decrease in growth and in the occurrence of extreme drought events and increased vulnerability to pests and diseases, which can cause a considerable increase in the mortality rate.

1. DEFINICIONES

CLIMA

En sentido restringido, el clima se suele definir como el promedio meteorológico o, con un poco más de rigor, como la descripción estadística en términos de promedio y variabilidad cuantitativa relevante durante un periodo de tiempo, que puede abarcar desde meses hasta millones de años. Tal como lo define la Organización Meteorológica Mundial, el periodo clásico para promediar estas variables es de 30 años. Las variables relevantes son casi siempre indicadores en superficie como la temperatura, las precipitaciones y el viento. El clima en un sentido más amplio es el estado del sistema climático, incluyendo su descripción estadística (IPCC, 2014).

CAMBIO CLIMÁTICO

El cambio climático hace referencia al cambio en el estado del clima identificable, por ejemplo, mediante el uso de análisis estadísticos, o mediante los cambios en el promedio y/o la variabilidad de sus propiedades, y que persiste durante un periodo amplio, habitualmente décadas o periodos aún más largos. El cambio climático puede deberse a procesos naturales internos o a forzamientos externos, como las modulaciones de los ciclos solares, las erupciones volcánicas y los cambios antrópicos persistentes en la composición de la atmósfera o los usos de la tierra. Es preciso señalar que, en su Artículo 2, la Convención Marco de Naciones Unidas para el Cambio Climático (UNFCCC, Framework Convention on Climate Change), lo define como «un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables». Por tanto, la UNFCCC establece una distinción entre el cambio climático atribuible a las actividades humanas que alteran la composición de la atmósfera y la variabilidad climática atribuible a causas naturales (IPCC, 2014).

VARIABILIDAD CLIMÁTICA

La variabilidad climática hace referencia a las variaciones del clima en promedio y otras estadísticas (como las desviaciones del estándar, los fenómenos meteorológicos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales más allá de los acontecimientos de las condiciones meteorológicas meramente individuales. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones de forzamientos externos naturales o antrópicos (variabilidad externa) (IPCC, 2014).



FENÓMENO METEOROLÓGICO EXTREMO

Un fenómeno meteorológico extremo es un fenómeno raro en un lugar y momento del año. Las definiciones de raro varían, pero un fenómeno meteorológico extremo sería normalmente un suceso situado por encima o por debajo de los percentiles 90 o 10 respectivamente de una función de densidad de probabilidad elaborada a partir de los datos de observaciones. Por definición, las características de lo que se denomina fenómeno meteorológico extremo pueden variar de un lugar a otro en términos absolutos. Cuando un patrón de clima extremo persiste durante algún tiempo, como toda una estación, se puede clasificar como fenómeno meteorológico extremo, sobre todo si arroja unos promedios o unos datos totales que son en sí mismos extremos (por ejemplo, la sequía o las precipitaciones intensas en una estación del año) (IPCC, 2014).

OLA DE CALOR

Período de tiempo anormalmente caluroso e incómodo. (IPCC, 2014).

PROYECCIÓN

Una proyección es una posible evolución futura de una magnitud o conjunto de magnitudes, calculada generalmente con la ayuda de un modelo. A diferencia de las predicciones, las proyecciones están condicionadas por supuestos relativos, por ejemplo, a eventualidades socioeconómicas y tecnológicas futuras que podrían o no hacerse realidad. Véase también Predicción climática y Proyección climática (IPCC, 2014).

RESILIENCIA

Capacidad de los sistemas sociales, económicos y ambientales de afrontar un suceso, tendencia o perturbación peligrosa respondiendo o reorganizándose de modo que mantengan su función esencial, su identidad y su estructura, y conservando al mismo tiempo la capacidad de adaptación, aprendizaje y transformación (IPCC, 2014).

RIESGO

Potencial de consecuencias en que algo de valor está en peligro con un desenlace incierto, reconociendo la diversidad de valores. A menudo el riesgo se representa como la probabilidad de acaecimiento de sucesos o tendencias peligrosos multiplicada por los impactos en caso de que ocurran tales sucesos o tendencias. Los riesgos resultan de la interacción de la vulnerabilidad, la exposición y el peligro (IPCC, 2014).

VULNERABILIDAD

Propensión o predisposición a ser afectado negativamente. La vulnerabilidad comprende una variedad de conceptos y elementos que incluyen la sensibilidad o susceptibilidad al daño y la falta de capacidad de respuesta y adaptación (IPCC, 2014).



TRAYECTORIAS DE CONCENTRACIÓN REPRESENTATIVAS (RCP, REPRESENTATIVE CONCENTRATION PATHWAYS)

Escenarios que abarcan series temporales de emisiones y concentraciones de la gama completa de gases de efecto invernadero y aerosoles y gases químicamente activos, así como el uso del suelo y la cubierta terrestre (Moss y otros, 2008). La palabra representativa significa que cada trayectoria de representación ofrece uno de los muchos posibles escenarios que conducirían a las características específicas de forzamiento radiativo. La palabra trayectoria hace hincapié en que únicamente son de interés los niveles de concentración a largo plazo, pero también indica el camino seguido a lo largo del tiempo para llegar al resultado en cuestión (Moss y otros, 2010).

Las trayectorias de concentración representativas generalmente hacen referencia a la parte de la trayectoria de concentración hasta 2100, para las cuales los modelos de evaluación integrados han producido los correspondientes escenarios de emisión. Las trayectorias de concentración ampliadas describen ampliaciones de las trayectorias de concentración representativas de 2100 a 2500 calculadas utilizando normas sencillas generadas a partir de las consultas con las partes interesadas y no representan escenarios plenamente coherentes.

En el Último Informe de Evaluación del IPCC se han seleccionado de la literatura publicada las siguientes cuatro trayectorias de concentración representativas elaboradas a partir de modelos de evaluación integrados como base para las predicciones climáticas y las proyecciones climáticas presentadas en los capítulos 11 a 14 del Quinto Informe de Evaluación del Grupo de Trabajo I (WGI AR5):

- RCP 2.6: Trayectoria en la que el forzamiento radiativo alcanza el valor máximo a aproximadamente 3 W/m² antes de 2100 y posteriormente disminuye (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100).
- RCP 4.5 y RCP 6.0: Dos trayectorias de estabilización intermedias en las cuales el forzamiento radiativo se estabiliza aproximadamente a 4,5 W/m² y 6 W/m² después de 2100 (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las concentraciones después de 2150).
- RCP 8.5: Trayectoria alta para la cual el forzamiento radiativo alcanza valores superiores a 8.5 W/m² en 2100 y sigue aumentando durante un lapso de tiempo (la correspondiente trayectoria de concentración ampliada en el supuesto de que sean constantes las emisiones después de 2100 y sean constantes las concentraciones después de 2250).

2. CONTEXTO EUROPEO

2.1 ZONAS DE RIESGO CLIMÁTICO

En la contribución del Grupo de Trabajo II (GTII) al Quinto Informe de Evaluación del IPCC, WGII AR5 (IPCC, 2014), la región europea se divide en cinco sub-regiones: Atlántica, Alpina, Meridional, Continental y Septentrional. Esta división en sub-regiones proviene de la agregación de zonas climáticas realizada por Metzger et al. (2005) y por tanto representa zonas geográficas y ecológicas, más allá de límites administrativos.

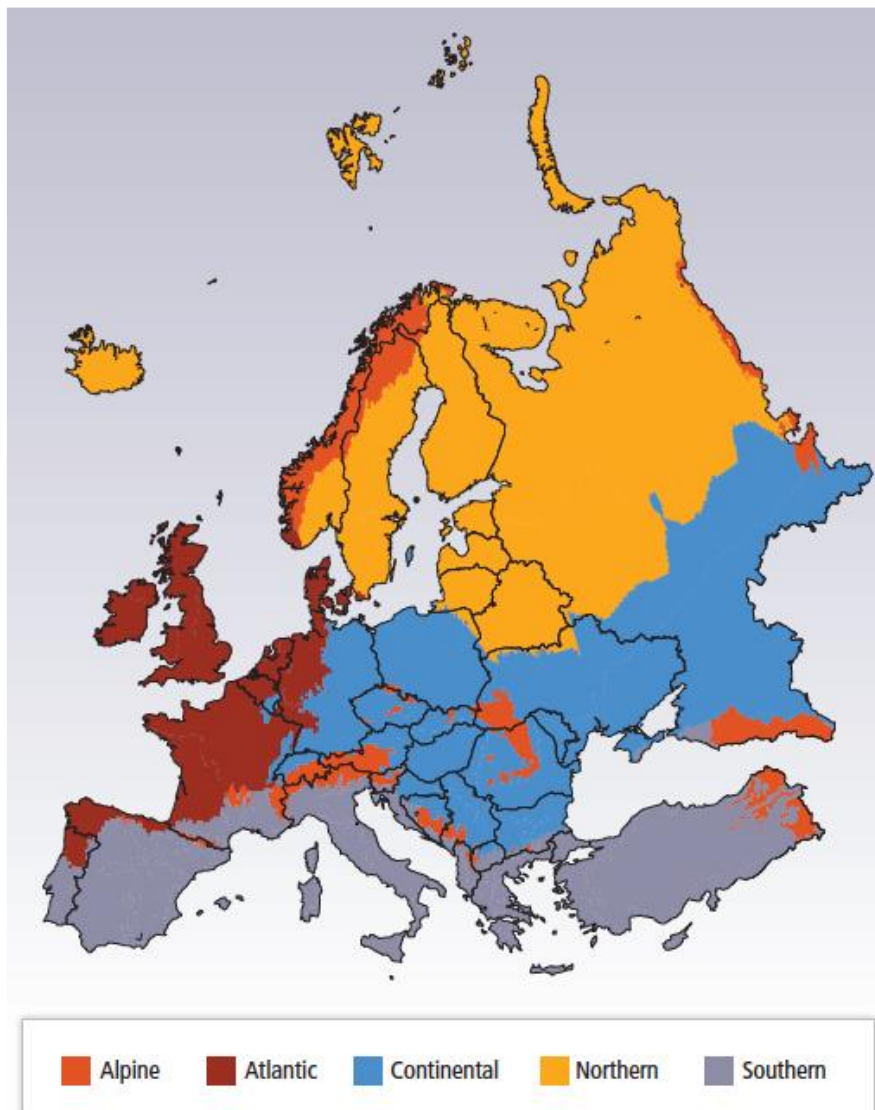


Imagen1. Zonas de Riesgo Climático en Europa (IPCC, 2014)



2.2 CAMBIO CLIMÁTICO REGISTRADO

Las tendencias climáticas observadas y las proyecciones para el futuro señalan en Europa cambios en temperaturas y precipitaciones que varían de una región a otra (nivel de confianza alto), en consonancia con los hallazgos del Cuarto Informe de Evaluación (AR4, Fourth Assessment Report), donde las proyecciones indican un incremento de las temperaturas por toda Europa, un incremento de las precipitaciones en Europa septentrional y una disminución de las precipitaciones en Europa meridional (IPCC, 2014).

La temperatura media en Europa ha seguido aumentando desde la elaboración del AR4 y las diferentes tasas estacionales y regionales son mayores en las latitudes altas de Europa septentrional. Desde la década de 1980, el calentamiento ha sido más acusado en Escandinavia, sobre todo en invierno, mientras que la Península Ibérica sufrió mayor calentamiento sobre todo en verano (IPCC, 2014).

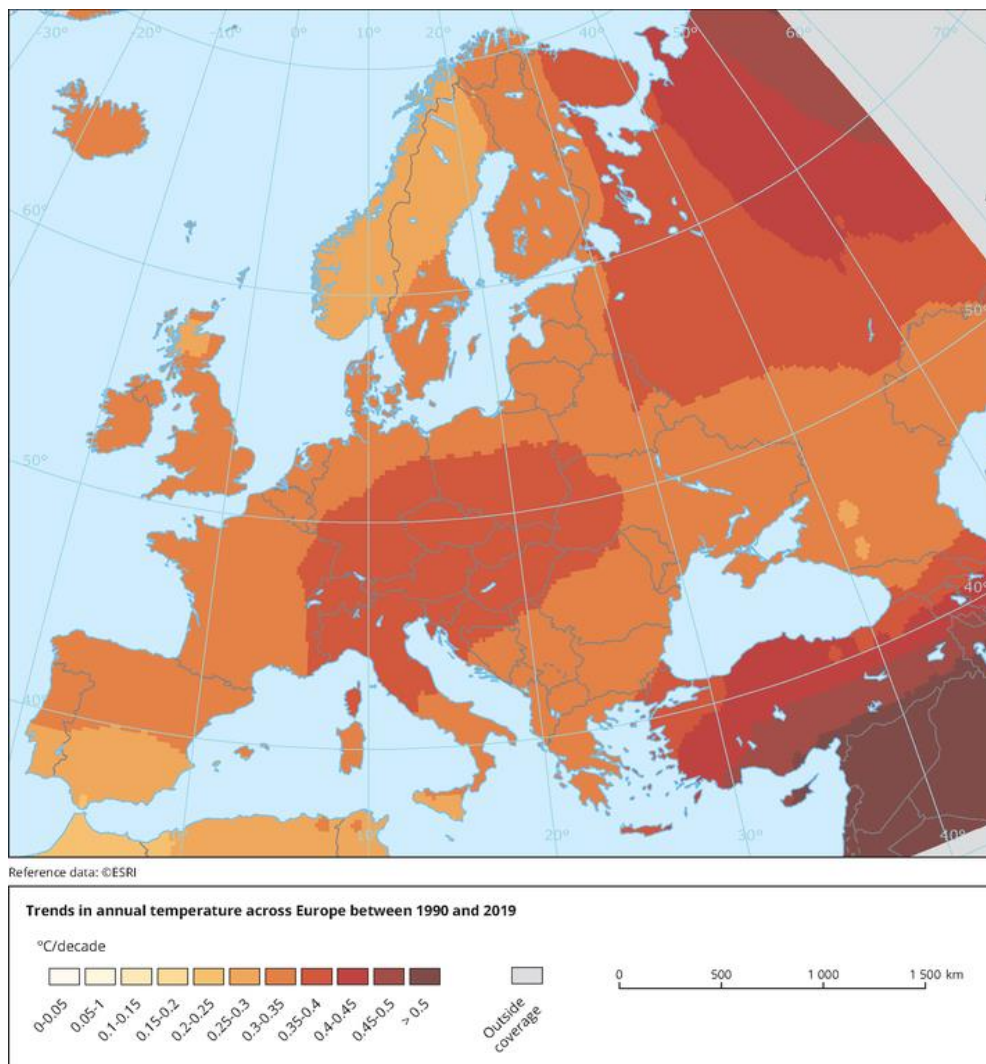


Imagen2. Tendencias de la temperatura anual en Europa entre 1990 y 2019 (EEA, 2020)

Según tres registros diferentes de la temperatura anual global media cerca de la superficie (en tierra y en el océano), la década comprendida entre 2006 y 2015 fue de 0,83 °C a 0,89 °C más cálida que la media anterior a la industrialización. Esto la convierte en la década más cálida registrada hasta la fecha. 15 de los 16 años más cálidos registrados se han producido desde el año 2000 y 2015 fue el año más cálido de todos los registrados: en torno a 1 °C más cálido que el periodo anterior a la industrialización (EEA, 2016). Durante el decenio 2006-2015, la tasa de cambio en la temperatura global media en superficie fue de entre 0,10 y 0,24 °C por década. Esto se aproxima a los límites indicativos de 0,2 °C/década (EEA, 2016).

Para el decenio 2006-2015, la temperatura media anual de la extensión terrestre europea fue de en torno a 1,5 °C por encima del nivel anterior a la industrialización. Esto lo convierte en el decenio más cálido de los registrados. Además, los años 2014 y 2015 fueron el bienio más cálido de Europa desde que comenzaron los registros instrumentales (EEA, 2016).

Desde 1950, las temperaturas extremas altas (días calurosos, noches tropicales y olas de calor) se han vuelto más frecuentes, mientras que las temperaturas extremas bajas (periodos fríos, días de helada) se han vuelto menos frecuentes (IPCC, 2014).

Desde 1880, la duración media de las olas de calor estivales en Europa occidental se ha duplicado y la frecuencia de los días cálidos casi se ha triplicado. Desde 1960, el número de días cálidos (los que superan el umbral del percentil 90 de un periodo de referencia) casi se ha duplicado por toda la extensión terrestre europea (EEA, 2016).

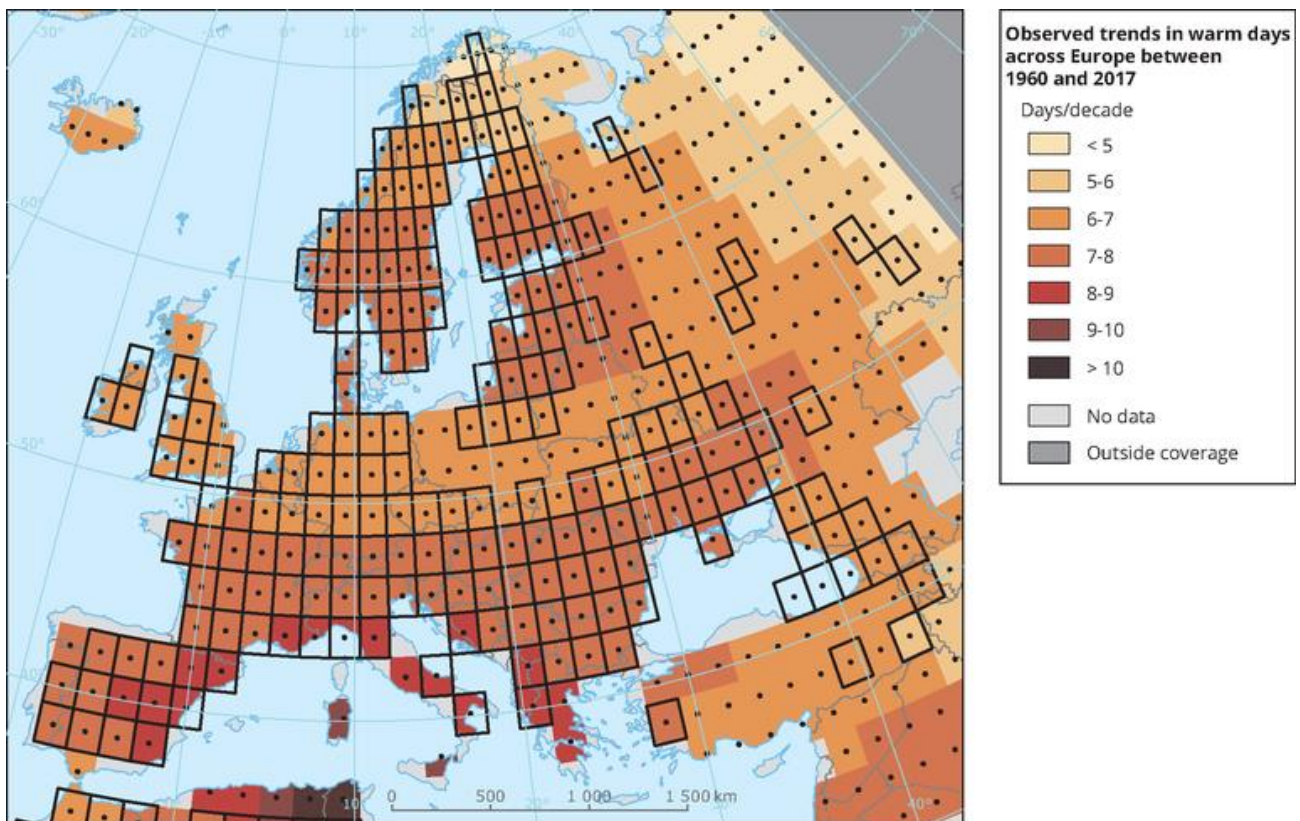


Imagen3. Tendencia observada de días cálidos en toda Europa entre 1960 y 2017 (EEA, 2018)



Desde 1950, las precipitaciones anuales se han incrementado en Europa septentrional (hasta 70 mm por década), y disminuido (hasta 70 mm por década) en zonas de Europa meridional. Las tendencias de precipitaciones estacionales muestran un incremento de las precipitaciones invernales en Europa septentrional y una disminución en Europa meridional, si bien con grandes variaciones interanuales (EEA, 2012). La intensidad de los episodios de precipitaciones intensas en verano e invierno ha aumentado en Europa septentrional y nororiental desde la década de 1960. Diferentes índices muestran tendencias divergentes para Europa suroccidental y suroriental (EEA, 2016).

La extensión del manto de nieve invernal tiene una alta variabilidad interanual y presenta una tendencia negativa no significativa durante el periodo 1967-2007. La extensión del manto de nieve en el Hemisferio Norte ha disminuido un 7% en el mes de marzo y un 11% en el de abril durante las últimas 4 décadas. En invierno y otoño no se han producido cambios significativos (EEA, 2012).

La velocidad media del viento ha descendido en toda Europa a lo largo de las últimas décadas (IPCC, 2014). Durante el siglo pasado, la localización, frecuencia e intensidad de los ventarrones ha mostrado una considerable variabilidad según décadas, de manera que no se aprecia ninguna tendencia significativa a largo plazo (EEA, 2016).

2.3 PROYECCIONES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Y CLIMA EXTREMO

CAMBIO CLIMÁTICO

Los modelos climáticos muestran una coincidencia relevante para todos los escenarios de emisión del calentamiento (magnitud y tasa) en toda Europa, según lo cual se prevé que el mayor calentamiento se producirá en Europa meridional en verano y en Europa septentrional en invierno. Incluso bajo un incremento medio de la temperatura global limitado a 2°C con respecto a la época anterior a la industrialización, las simulaciones muestran que en las próximas décadas el clima de Europa parece apartarse de forma significativa del clima actual (IPCC, 2014).

Los modelos climáticos proyectan más incrementos de la temperatura global media durante el siglo XXI. Para el periodo 2081-2100 (en comparación con el periodo 1986-2005), se estiman incrementos (EEA, 2016) de entre 0,3°C y 1,7°C para el escenario de emisiones más bajas (RCP 2.6) y de entre 2,6°C y 4,8°C para el escenario de emisiones más elevadas (RCP 8.5) (EEA, 2016).

Las proyecciones indican que antes de que termine este siglo (2071-2100, en comparación con el periodo 1971-2000), la temperatura terrestre media anual en Europa se incrementará entre 1°C y 4,5°C según el escenario de emisiones RCP 4.5 y entre 2,5°C y 5,5°C según el escenario de emisiones RCP 8.5. Esto es más del promedio global. Las proyecciones indican asimismo que el calentamiento más acusado se producirá en Europa nororiental y Escandinavia en invierno y en Europa meridional en verano (EEA, 2016).

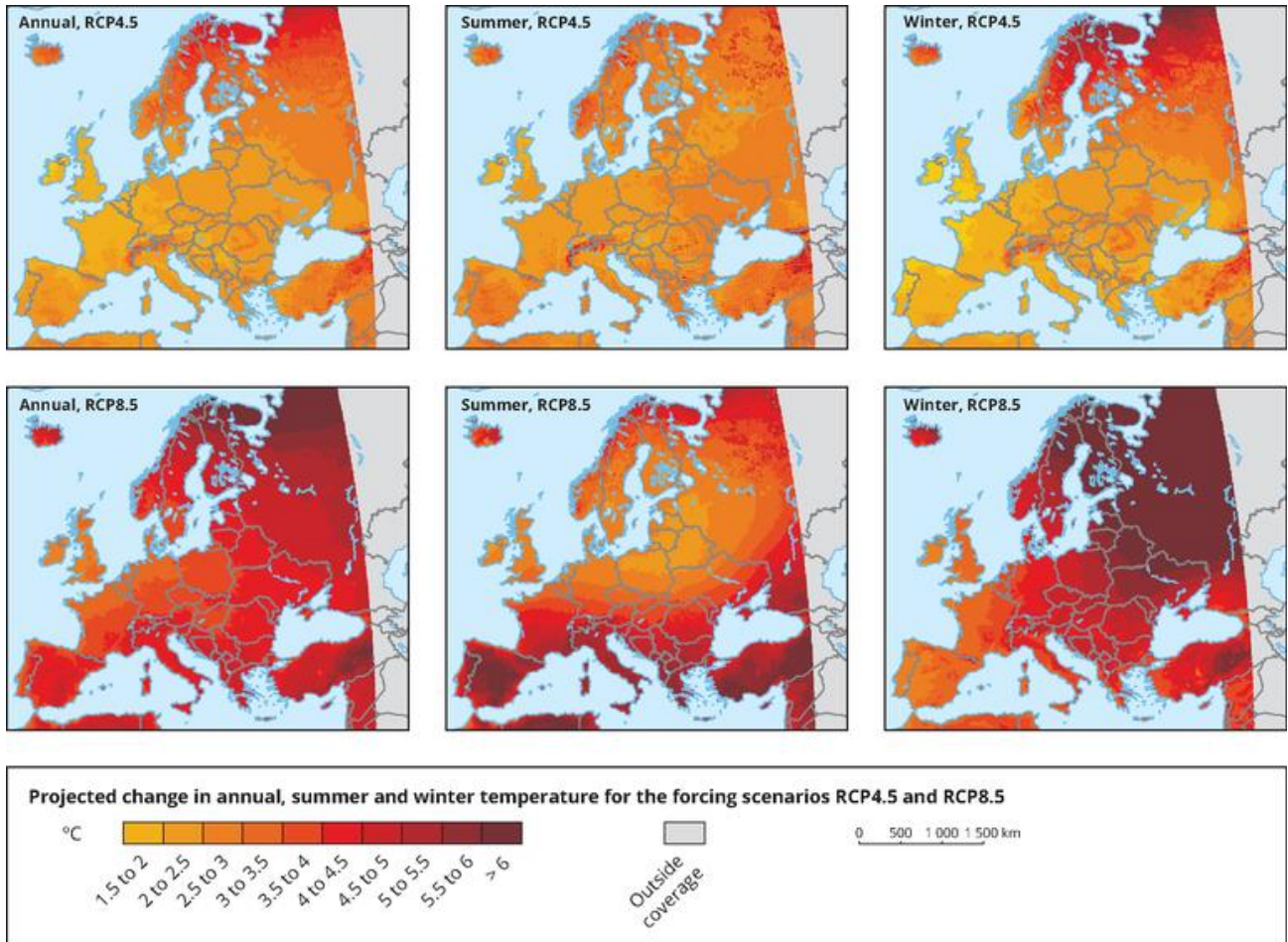


Imagen4. Cambios apuntados por las proyecciones de temperaturas medias anuales, estivales e invernales para los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 (EEA, 2016)

Las señales de precipitación varían según regiones y estaciones. Las tendencias no están tan claras en Europa continental, pero hay coincidencia en que aumentarán en Europa septentrional y disminuirán en Europa meridional (nivel de confianza medio). Las proyecciones indican una disminución en los meses veraniegos que afectarán hasta el sur de Suecia y un incremento en verano, con más lluvia que nieve, en regiones montañosas. Las proyecciones indican que a finales del siglo XXI Europa septentrional experimentará una disminución del banco de nieve medio a largo plazo (aunque seguirá habiendo inviernos con abundancia de nieve). Carecemos de información sobre los cambios pasados y futuros en las granizadas en Europa. La variación de las tendencias de las futuras pautas de circulación de vientos y velocidad media del viento son de signo incierto.

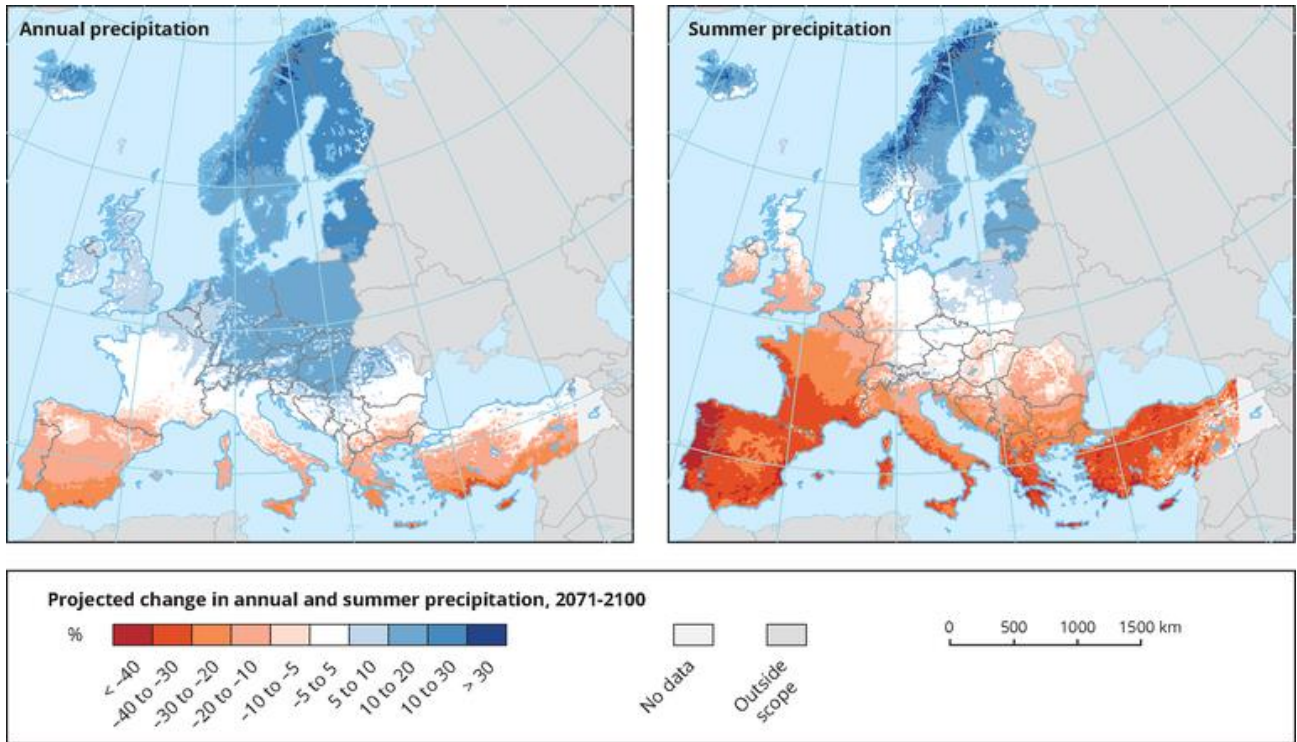


Imagen5. Proyección de los cambios en las temperaturas anuales y estivales (EEA, 2019)

CLIMA EXTREMO

Las proyecciones climáticas muestran un marcado incremento en las altas temperaturas extremas (nivel de confianza alto), las sequías meteorológicas (nivel de confianza medio) y los fenómenos de precipitaciones intensas (nivel de confianza alto), con variaciones en toda Europa y ligeros o inexistentes cambios en las velocidades del viento extremas (nivel de confianza bajo), exceptuando los incrementos de la velocidad del viento extrema en invierno en Europa central y septentrional (nivel de confianza medio) (IPCC, 2014).

Hay un nivel de confianza alto generalizado en relación con los cambios de las temperaturas extremas (incremento de los días cálidos, las noches cálidas y las olas de calor). La proyección indica que en el siglo XXI las altas temperaturas extremas se volverán más frecuentes y durarán más en toda Europa (EEA, 2012).

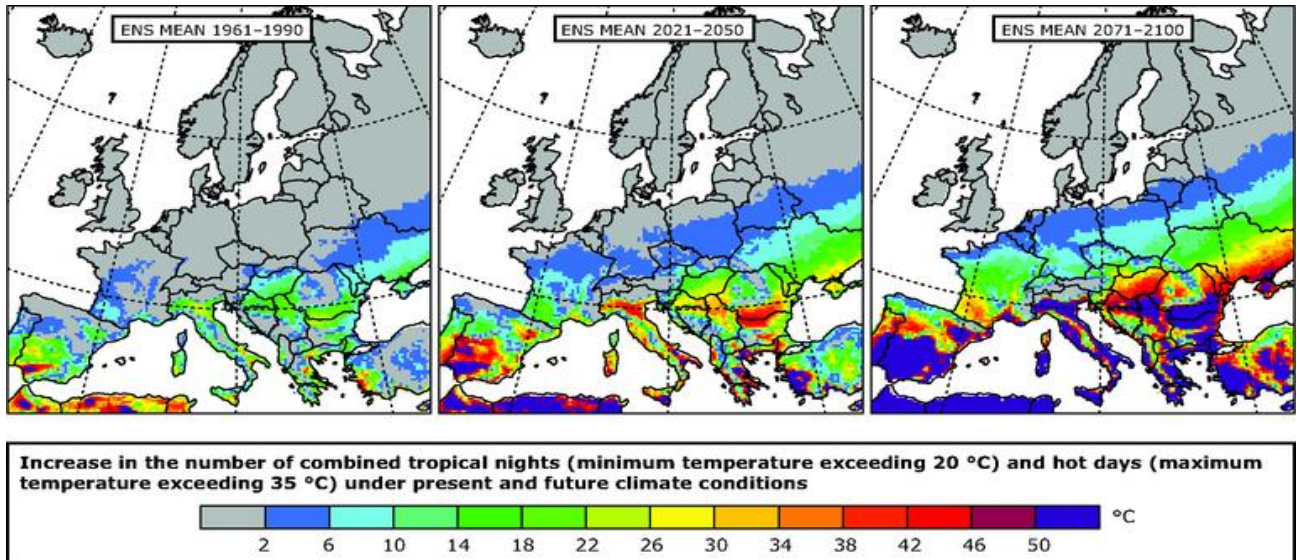


Imagen6. Proyecciones de temperaturas extremas altas (EEA, 2012)

2.4 IMPACTOS REGISTRADOS Y FUTUROS EN SELVICULTURA Y RECURSOS ASOCIADOS

A continuación, se muestra un resumen sobre los impactos registrados y futuros sobre los bosques según el 5º Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático de 2014 (sección Impactos, adaptación y vulnerabilidad, Aspectos regionales).

IMPACTOS EN SELVICULTURA

Entre las respuestas observadas y futuras de los bosques al cambio climático figuran los cambios en las tasas de crecimiento, la fenología, la composición de las comunidades animales y vegetales, el aumento de los daños causados por los incendios y las tormentas, y el aumento de los daños causados por insectos y patógenos. La mortalidad de los árboles y la disminución de los bosques debido a los graves episodios de sequía se han observado en las poblaciones forestales del sur de Europa, así como en Bélgica, Suiza, y los Prealpes en Francia. También se han observado disminuciones en bosques húmedos que normalmente no se consideran en riesgo de sequía. Se ha observado también un aumento de la productividad forestal en la Federación de Rusia, si bien también se observa un aumento del efecto de las sequías.

Las proyecciones futuras muestran que, en la Europa septentrional y atlántica, se espera que el aumento del CO₂ atmosférico y las temperaturas más altas incrementen el crecimiento forestal y la producción de madera, al menos a corto y medio plazo. Por otra parte, en Europa meridional y oriental, el aumento de los riesgos de sequía y de perturbaciones causará efectos adversos y se prevé que la productividad disminuya. Se prevé que para 2100 el cambio climático reducirá el valor económico de las tierras forestales europeas en función de los tipos de interés y del escenario climático, lo que equivale a unos daños potenciales de varios cientos de miles de millones de euros.

En Europa meridional, la frecuencia y la extensión de los incendios forestales aumentaron considerablemente después del decenio de 1970 en comparación con los decenios anteriores como consecuencia de la acumulación de combustible, el cambio climático, y los fenómenos meteorológicos extremos, especialmente en la cuenca del Mediterráneo. Los acontecimientos más graves ocurridos en Francia, Grecia, Italia, Portugal, España y Turquía en 2010 estuvieron asociados a fuertes vientos durante un período seco y caluroso. Los grandes incendios, desencadenados por fenómenos climáticos extremos, han causado máximos históricos de zonas quemadas en algunos países mediterráneos durante los últimos decenios.

Se prevé que en el futuro el riesgo de incendios forestales aumente en el sur de Europa, con un incremento en la ocurrencia de días de alto riesgo de incendios y en la duración de la temporada de incendios. Se prevé que la superficie anual quemada se multiplicará de 3 a 5 en el sur de Europa en comparación con la actual en la hipótesis A2 para 2100. En Europa septentrional, se prevé que los incendios serán menos frecuentes debido al aumento de la humedad. En general, es probable que el aumento previsto de los incendios forestales provoque un aumento significativo de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) debido a la quema de biomasa, aunque a menudo es difícil de cuantificar.

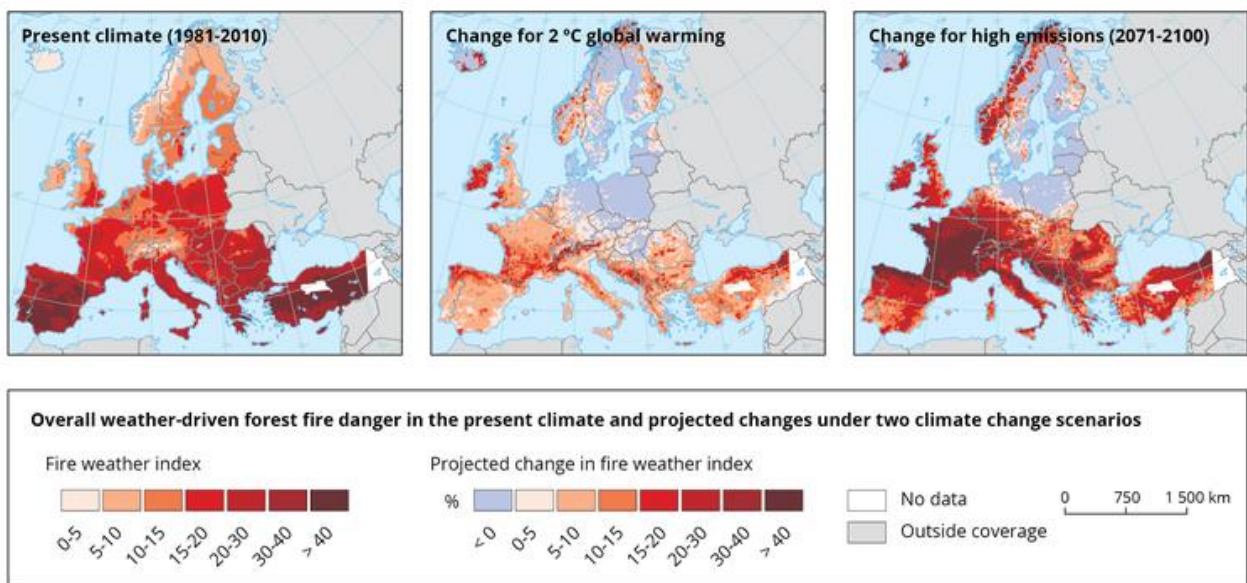


Imagen 7. Riesgo de incendios forestales con el clima actual y cambios proyectados bajo dos escenarios de cambio climático (EEA, 2019)

Los daños de las tormentas de viento en los bosques de Europa han aumentado recientemente. Los bosques boreales serán más vulnerables a los daños causados por las tormentas de otoño y principios de primavera debido a la disminución prevista del período de congelación del suelo. Se prevé un aumento de las pérdidas por tormentas de entre el 8 y el 19% en Alemania occidental para 2060-2100 en comparación con 1960-2000, con los mayores impactos en las regiones montañosas.



Se ha observado un aumento de la incidencia de enfermedades en muchos bosques europeos. En Europa continental, algunas especies de hongos se benefician de inviernos más suaves y otras se propagan durante los períodos de sequía de sur a norte. El aumento previsto del calentamiento a finales del verano favorecerá la difusión del escarabajo de la corteza en Escandinavia, en partes de las tierras bajas de Europa Central y Austria.

Entre los posibles enfoques de respuesta a los impactos del cambio climático en la silvicultura se incluyen estrategias a corto y largo plazo que se centran en el aumento de la resistencia y la resiliencia de los ecosistemas y en la respuesta a los posibles límites a la acumulación de carbono. La fragmentación de la propiedad de los bosques en pequeña escala puede limitar la capacidad de adaptación. La planificación del paisaje y la gestión de la carga de combustible pueden reducir el riesgo de incendios forestales, pero pueden verse limitadas por la mayor inflamabilidad debido a las condiciones más cálidas y secas. Las estrategias para reducir la mortalidad forestal incluyen la preferencia por especies mejor adaptadas a condiciones ambientales relativamente cálidas. La selección de familias y clones tolerantes o resistentes también puede reducir el riesgo de daños por plagas y enfermedades en rodales puros.

IMPACTOS EN LOS RECURSOS HÍDRICOS

Las futuras tendencias proyectadas confirman el aumento de las diferencias de recursos hídricos entre Europa septentrional y meridional que se indican en el Cuarto Informe de Evaluación.

En Europa meridional, el contenido de agua del suelo disminuirá, las condiciones de saturación y drenaje serán cada vez más raras y se limitarán a períodos de invierno y primavera, y la acumulación de nieve y el deshielo cambiarán, especialmente en las zonas de media montaña.

En la mayor parte de Europa septentrional y continental, un aumento de los riesgos de inundación podría aumentar los daños plantasen bosques y en el crecimiento de los árboles, complicar la labor del suelo, las labores de aprovechamiento forestal y aumentar la variabilidad de los rendimientos. La recarga de las aguas subterráneas y/o el nivel de la capa freática se reducirían significativamente para 2100 en el escenario A2 para las cuencas fluviales situadas en el sur de Italia, España, el norte de Francia y Bélgica. La disminución de las precipitaciones en verano y el aumento de las precipitaciones en invierno podrían aumentar la lixiviación de los nitratos, lo que tendría efectos negativos en la calidad del agua. En el sur de Europa podrían requerirse políticas más sólidas de gestión, tarificación y reciclado del agua para garantizar un suministro adecuado de agua en el futuro y evitar tensiones entre los usuarios.

Long term average soil moisture in the growing season, per NUTS3 regions

Increasing and decreasing soil moisture per NUTS3 regions

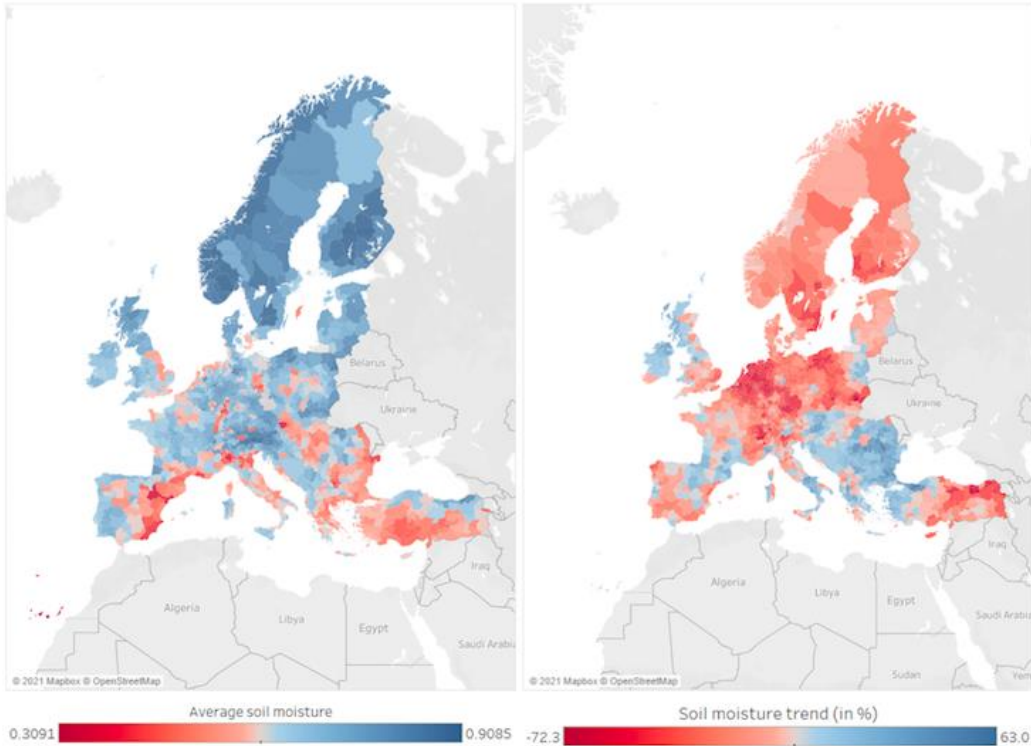


Imagen8. Contenido medio en humedad del suelo a largo plazo durante la época de crecimiento vegetativo y tendencias el año 2000 al 2019 (EEA, 2020)

IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL AGUA

El cambio climático puede afectar a la calidad del agua de varias maneras, con consecuencias para la producción de alimentos y la silvicultura, el funcionamiento de los ecosistemas, la salud humana y animal y el cumplimiento de las normas de calidad ambiental, incluidas las de la Directiva Marco del Agua. En las aguas menos profundas se producirá un aumento de la temperatura más rápido que en las aguas más profundas, ya que el calor se absorbe principalmente en las capas superiores del agua y la mezcla turbulenta se ve truncada por la poca profundidad. Paralelamente, se produce una disminución de las concentraciones de oxígeno saturado. Desde el IE4, hay más pruebas de los efectos adversos causados por los fenómenos meteorológicos extremos: reducción del oxígeno disuelto, floración de algas durante el tiempo caluroso, y contaminación de las aguas superficiales y costeras con aguas residuales y/o productos químicos (plaguicidas) después de las lluvias. La reducción de las precipitaciones puede dar lugar a caudales bajos que aumenten las concentraciones de contaminantes biológicos y químicos. La reducción del drenaje también puede mejorar la sedimentación en los sistemas de drenaje y, por lo tanto, aumentar la retención de fósforo ligado a las partículas y reducir la carga de fósforo en los cursos de agua de orden superior aguas abajo.

La variabilidad de los cambios en las precipitaciones y la escorrentía, así como los aumentos de la temperatura del agua, darán lugar a diferencias en los impactos sobre la calidad del agua por subregión. Se prevé que el cambio climático aumente la carga de nutrientes: En el norte de Europa esto se debe al



aumento de la escorrentía superficial, y en el sur de Europa al aumento de la evapotranspiración y al incremento de las concentraciones debido a la reducción de los volúmenes de los lagos receptores. Los estudios locales confirman en general este patrón.

IMPACTOS EN LA CALIDAD DEL SUELO Y SU DEGRADACIÓN

Se estima que el costo actual de la erosión del suelo, la disminución de la materia orgánica, la salinización, los deslizamientos de tierra y la contaminación es de 38.000 millones de euros anuales para la UE, en forma de daños a las infraestructuras, tratamiento del agua contaminada a través del suelo, eliminación de sedimentos, depreciación de la tierra y costos relacionados con las funciones del ecosistema del suelo. Las proyecciones muestran reducciones significativas de la humedad del suelo en verano en la región mediterránea, y aumentos en la parte nororiental de Europa.

La gestión adaptativa del uso de la tierra puede reducir el impacto del cambio climático mediante métodos de conservación del suelo, como la labranza cero y la conversión de tierras de cultivo en pastizales. En Europa central, en comparación con la labranza convencional, los sistemas de labranza de conservación redujeron las tasas de erosión del suelo modelizadas en los escenarios climáticos futuros entre un 49 y un 87%. La conservación de la vegetación de las tierras altas redujo tanto la erosión como la pérdida de carbono del suelo y favoreció la entrega de un recurso hídrico de alta calidad. El mantenimiento de la capacidad de retención de agua del suelo, por ejemplo, mediante medidas de adaptación, contribuye a reducir los riesgos de inundación, ya que la materia orgánica del suelo absorbe hasta 20 veces su peso en agua.

CAMBIOS OBSERVADOS EN SELVICULTURA

Más y mejores pruebas de calidad desde 2007 apoyan la conclusión del IE4 de que el cambio climático está afectando a los ecosistemas terrestres, de agua dulce y marinos en Europa, y cada vez hay más pruebas de que el cambio climático observado ya está afectando a la productividad forestal.

En relación a la silvicultura y recursos asociados, se han observado con nivel de confianza alto cambios como una contribución positiva al crecimiento de los árboles por una mayor concentración de CO₂ atmosférico en regiones atlántica y septentrional (Amthor, 2001; Long et al., 2006; McGrath and Lobell, 2011), un adelanto en el desborre de yemas y en la producción de fruto (Menzel et al., 2006), y un incremento de las áreas afectadas por incendios forestales (Pereira et al., 2005; Amatulli, 2009; Hoinka et al., 2009; Carvalho et al., 2010; Koutsias et al., 2012; Salis et al., 2013).

Con nivel de confianza medio, se ha observado un incremento en el número de eventos de colonización por especies de flora exóticas invasoras (Walther et al., 2009), así como un incremento en la altitud adecuada para el desarrollo de las especies arbóreas (Gehrig-Fasel et al., 2007; Lenoir et al., 2008).

También se ha observado un aumento de la frecuencia de las inundaciones fluviales y los daños por inundaciones y tormentas de viento anuales en Europa en las últimas décadas, pero este aumento es atribuible principalmente al aumento de la exposición y la contribución del cambio climático observado no está clara (alta confianza; Barredo 2010).

CONSECUENCIAS INESPERADAS DE LA ADAPTACIÓN Y MITIGACIÓN



LIFE SORIA
ForestAdapt

La agricultura y la silvicultura se enfrentan a dos desafíos en el marco del cambio climático, tanto para reducir las emisiones como para adaptarse a un clima cambiante y más variable. El sector agrícola contribuye con alrededor del 10% del total de las emisiones antropogénicas de GEI en la UE27. Las estimaciones de los flujos europeos de CO₂, metano y NO_x entre 2000 y 2005 sugieren que las emisiones de metano del ganado y las emisiones de NO_x de la agricultura se compensan totalmente con el sumidero de CO₂ que proporcionan los bosques y los suelos de los pastizales. Sin embargo, las proyecciones que siguen a la hipótesis de referencia sugieren una disminución significativa (-25 a -40%) del sumidero de carbono forestal de la UE hasta 2030 en comparación con 2010. El uso de la madera para la bioenergía resulta inicialmente en una deuda de carbono debido a la reducción del almacenamiento en los bosques, lo que afecta al balance neto de GEI dependiendo del tipo de energía que se reemplaza y el período de tiempo considerado. La inclusión de objetivos adicionales de bioenergía de los Estados miembros de la UE tiene un efecto en el desarrollo del sumidero de carbono forestal europeo (y en las reservas de carbono), que no se tiene en cuenta en el objetivo de reducción de emisiones de la UE.

Las opciones de ordenación de la tierra también pueden crear sinergias y compensaciones entre la mitigación y la adaptación. Será necesario adaptar cuidadosamente las prácticas de silvicultura y de gestión del suelo para preservar un sumidero de carbono del ecosistema continental en Europa a pesar de la vulnerabilidad de este sumidero a los extremos climáticos y de los primeros indicios de saturación del sumidero de carbono en la biomasa forestal europea. En las zonas vulnerables a los fenómenos extremos (por ejemplo, incendios, tormentas, sequías) o con una elevada demanda de agua, el desarrollo de la producción de bioenergía a partir de cultivos energéticos y de residuos agrícolas podría aumentar aún más las demandas de adaptación. Por el contrario, el aumento de las demandas de mitigación podría ser inducido por la posible expansión de la agricultura en las altas latitudes, que podría liberar grandes cantidades de carbono y nitrógeno de los suelos orgánicos.



3. TENDENCIAS CLIMÁTICAS PARA ESPAÑA EN EL SIGLO XXI Y PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN

En la región Mediterránea tendrá lugar un incremento de temperatura superior a la media global, más pronunciado en los meses estivales que en los invernales. Para el escenario RCP8.5 y para finales del Siglo XXI, la región Mediterránea experimentará incrementos medios de temperatura de 3,8°C y de 6,0°C en los meses invernales y estivales, respectivamente, y reducciones medias de precipitaciones de 12% y 24% en los meses invernales y estivales, respectivamente. Habrá un aumento de los extremos relacionados con las precipitaciones de origen tormentoso (IPCC 2013).

El II Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), aprobado en septiembre de 2020 a propuesta del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, es el actual marco de referencia para el desarrollo de políticas de adaptación en España. El PNACC se configura como un instrumento de planificación básico para promover la acción coordinada y coherente, desde una perspectiva transversal (desde distintos campos), multilateral (por parte de distintos actores) y multinivel (desde distintas escalas territoriales), ante los riesgos y amenazas que presenta el cambio climático en los diferentes ámbitos de la sociedad. Sin perjuicio de las competencias que correspondan a las diversas Administraciones Públicas, el PNACC define objetivos, criterios, ámbitos de aplicación y acciones para construir resiliencia, anticipar y minimizar daños, y definir las orientaciones para los sectores y la sociedad.



Imagen9. *Contenido medio en humedad del suelo a largo plazo durante la época de crecimiento vegetativo y tendencias el año 2000 al 2019 (EEA, 2020)*

Las proyecciones regionalizadas para España, realizadas a partir de los modelos climáticos utilizados en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC, dibujan unas tendencias de futuro que, en lo esencial, suponen una profundización en la evolución ya observada:

- **Aumento de las temperaturas máximas y mínimas:** El aumento es claro y progresivo a lo largo del siglo XXI, mayor en verano y para el escenario de cambio climático más emisivo. Las



temperaturas máximas y mínimas del verano y otoño muestran un incremento más intenso que las del invierno y primavera, siendo el calentamiento mayor en las zonas interiores y del este que en las zonas del norte peninsular.

- **Mayor número de días cálidos:** El número de días cálidos muestra un aumento progresivo a lo largo del siglo XXI para todos los escenarios analizados, tanto en la España peninsular como en Baleares y Canarias. Para finales del siglo XXI, en la España peninsular, se espera que la proporción de días cálidos se incremente en casi un 50 % (con una horquilla entre el 34 % y el 58 %) para el escenario más emisor (RCP8.5), mientras que para el escenario de estabilización RCP4.5, este aumento estará en torno al 24 % (con una horquilla entre el 14 % y el 31 %).
- **Aumento en la duración de las olas de calor:** Las variaciones de este índice no presentan la misma magnitud en todos los lugares de España. Los cambios menores se producirían en Galicia, comunidades de la cornisa cantábrica y La Rioja, y los mayores en las comunidades del levante español, como en la Región de Murcia, en Baleares y especialmente en Canarias.
- **Disminución moderada de las precipitaciones:** Las precipitaciones tienden a disminuir en la mayor parte de España, siendo mayores estos descensos en el cuadrante SO de la Península y en los archipiélagos.
- **Aumento de la evapotranspiración potencial** en toda España, incrementándose más en los escenarios de mayores emisiones y en la medida que se avanza a lo largo del siglo.
- **Disminución de los caudales medios de los ríos:** El estudio proyecta disminuciones para la mayoría de las cuencas, mayores a medida que avanza el siglo y en los escenarios de mayores emisiones. Las proyecciones resultan más desfavorables en las cuencas andaluzas y en las islas Baleares y Canarias.
- **Disminución de la recarga de los acuíferos:** un reciente estudio realizado por la Comisión Europea estima que, para un calentamiento global de 2 °C, la recarga de los acuíferos en nuestro país podría reducirse en 3.272 hm³/año, lo que equivaldría a un 15% de la cantidad del agua que anualmente se extrae para los regadíos desde ríos y acuíferos.
- **Incremento de las sequías:** las proyecciones climáticas muestran un futuro en el que las sequías serían más largas y frecuentes, acusándose ese efecto a medida que avanza el siglo XXI. Las sequías de 2 años de duración serán más y lo mismo ocurre con las sequías de 5 años de duración.
- **Lluvias torrenciales e inundaciones:** de acuerdo con las proyecciones, la reducción de las precipitaciones medias anuales no conllevará necesariamente una disminución de los extremos y, de hecho, se prevé un aumento de episodios de lluvias torrenciales e inundaciones en algunas zonas. Estas precipitaciones torrenciales, debido a su escasa duración, no favorecen la recarga de los acuíferos, lo que reduce su efecto regulador del ciclo hidrológico.



4. SITUACIÓN Y CLIMA DE LA PROVINCIA DE SORIA.

4.1 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE SORIA

La provincia de Soria está situada en el extremo oriental de la cuenca del Duero, en una posición marginal donde la cuenca queda abrazada entre la Cordillera Ibérica y el Sistema Central. La Meseta frena el paso de las masas de aire atlánticas, pero no lo suficiente como para que los vientos de poniente no puedan llegar por el Valle del Duero hasta detenerse en la región del emplazamiento al encontrar la Cordillera Ibérica, que corta el paso hacia la cuenca mediterránea. Esta delimita las dos zonas de influencia, atlántica al oeste y mediterránea al este, estando la provincia en el extremo más alejado de esa influencia atlántica.

Los factores que determinan las características climáticas de la provincia son:

La altitud, da lugar a temperaturas más frías que en el resto de la cuenca del Duero, haciendo más largos los inviernos.

La continentalidad, factor del que participa el resto de la cuenca, que tiende a dar dos estaciones térmicas extremas, invierno y verano; muy acusadas sobre las intermedias que se reducen considerablemente.

La situación de la región entre el Sistema Central y la Cordillera Ibérica hace sentir el efecto Foëhn de los vientos norteños, los cuales llegan casi secos pues han dejado sus precipitaciones en las sierras Ibéricas, antes de llegar al emplazamiento.

La elevada altitud de la meseta, junto a las masas de aire atlántico entrando encajonadas entre la Cordillera Ibérica y el Sistema Central, contribuyen a una constante ventilación y a un nivel medio de precipitaciones. Merced a este encajonamiento, la comarca del Moncayo y Tierras Altas dispone de un alto potencial eólico y ha sido una zona pionera en el aprovechamiento de este recurso a nivel nacional.

En consecuencia, la provincia se ve afectada por los mismos fenómenos generales que la dinámica atmosférica que afectan a la Meseta Norte, pero su altitud y su posición en cuanto al relieve modifican el resultado de la actuación de estos fenómenos, dando al clima de esta región un matiz marginal dentro del clima de la meseta Norte.

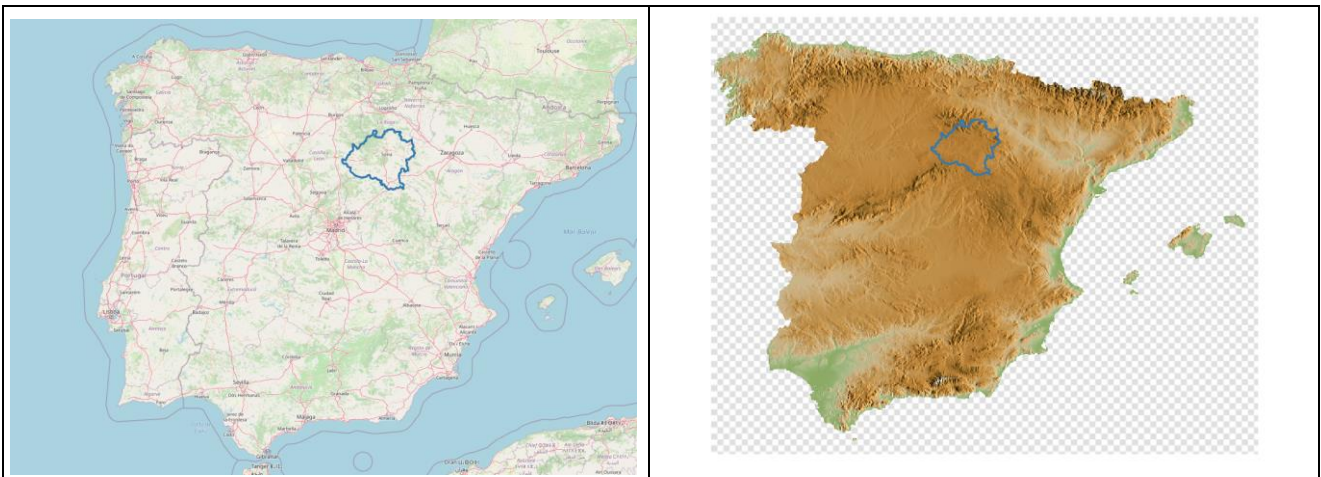


Imagen10.

Situación de la provincia de Soria en la Península Ibérica

4.2 MAPAS CLIMÁTICOS DE LA PROVINCIA DE SORIA

A continuación se muestran mapas con la distribución provincial de las medias de Precipitación, Temperatura media, Temperatura máxima y Temperatura mínima para la serie de años desde 1951 hasta 2015, tomados del estudio realizado para toda España "España02/Iberia01: Un conjunto de datos de precipitación y temperatura en cuadrícula" (<http://www.meteo.unican.es/datasets/spain02>¹)

PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL

Existe una amplia variación dentro de la provincia de Soria, la precipitación anual media oscila entre unos 355 mm anuales en la zona sureste de la provincia y de la Sección comarcal 4ª y los 740 mm en el noroeste (Sección 1ª)

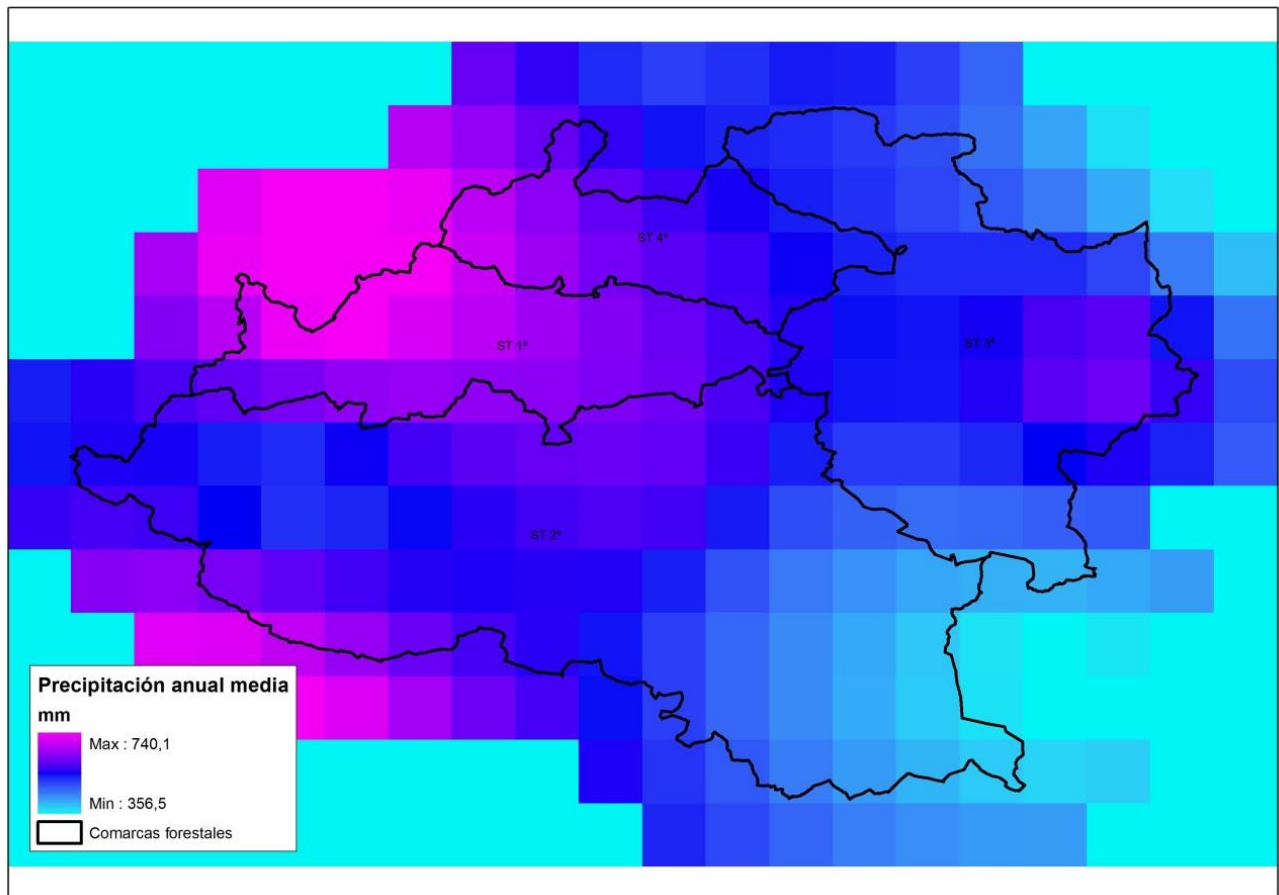


Imagen11. Precipitación anual media en la provincia de Soria (1951 – 2015)

¹ Spain02 es una serie de conjuntos de datos de alta resolución de precipitaciones diarias y temperaturas (máximas y mínimas) en forma de cuadrícula desarrollada para la España peninsular y las islas Baleares. Se seleccionó una densa red de ~2500 estaciones de calidad controlada (~250 para las temperaturas) para el período 1950-2007 de la Agencia Meteorológica Española (AEMET) con el fin de construir los productos de la cuadrícula para las diferentes versiones. La última versión (Spain02 v5) proporciona datos diarios tanto de temperatura como de precipitación desde 1951 hasta 2015 en una cuadrícula regular de 0,1º (~10km).

TEMPERATURA MEDIA ANUAL

La temperatura media en la provincia presenta dos bandas más cálidas al este y al oeste de la provincia, asociada a una disminución de altitudes con más de 13°C de temperatura media y una franja central más fría que llega a ser menor de 7° en algunas zonas.

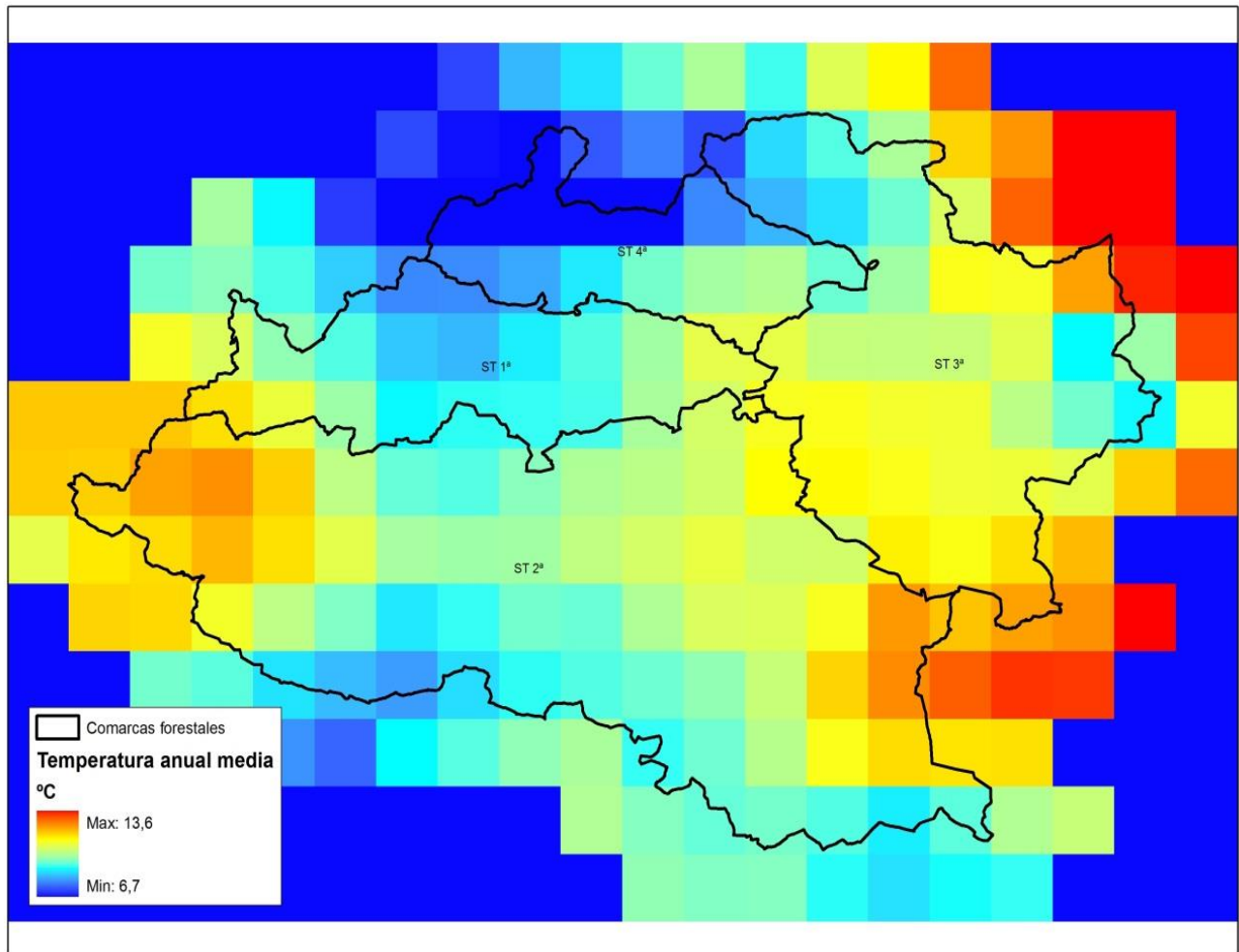


Imagen12. Temperatura anual media en la provincia de Soria (1951 – 2015)



TEMPERATURA MÁXIMA MEDIA ANUAL

De forma similar a la temperatura media, las temperaturas máximas más elevadas se dan también en las franjas oriental y occidental donde llegan a ser de casi 20°C, mientras que las menores temperaturas se dan en el centro-oeste de la provincia, asociadas a las zonas de mayor altitud, con zonas que apenas superan los 11°C.

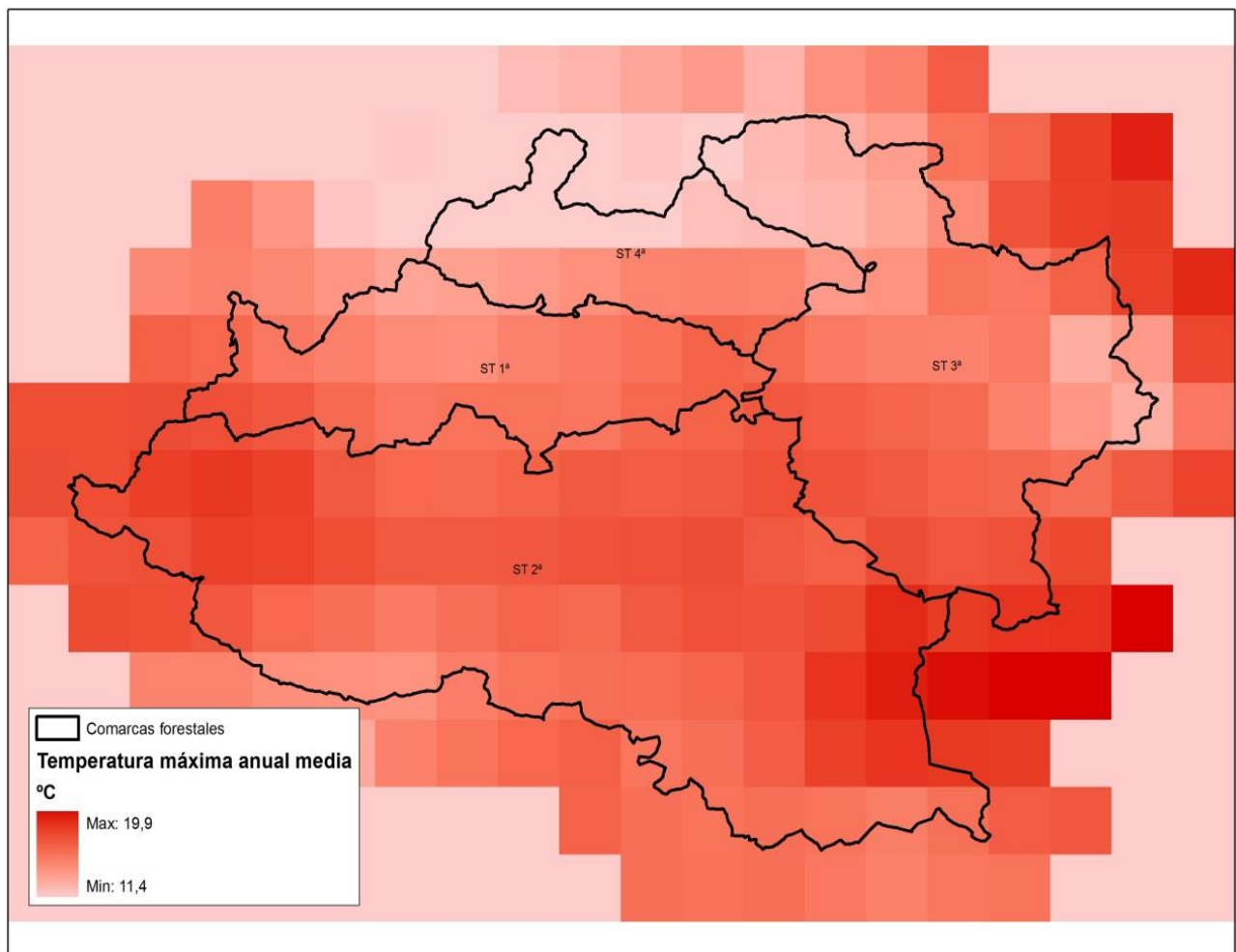


Imagen13. Temperatura máxima anual media en la provincia de Soria (1951 – 2015)



TEMPERATURA MÍNIMA MEDIA ANUAL

Este patrón espacial de distribución de las temperaturas se mantiene para las temperaturas mínimas anuales, que oscilan entre los 2 °C de las zonas más elevadas del Sistema Ibérico y los 8°C de las zonas enclavadas en las inmediaciones del Valle del Ebro.

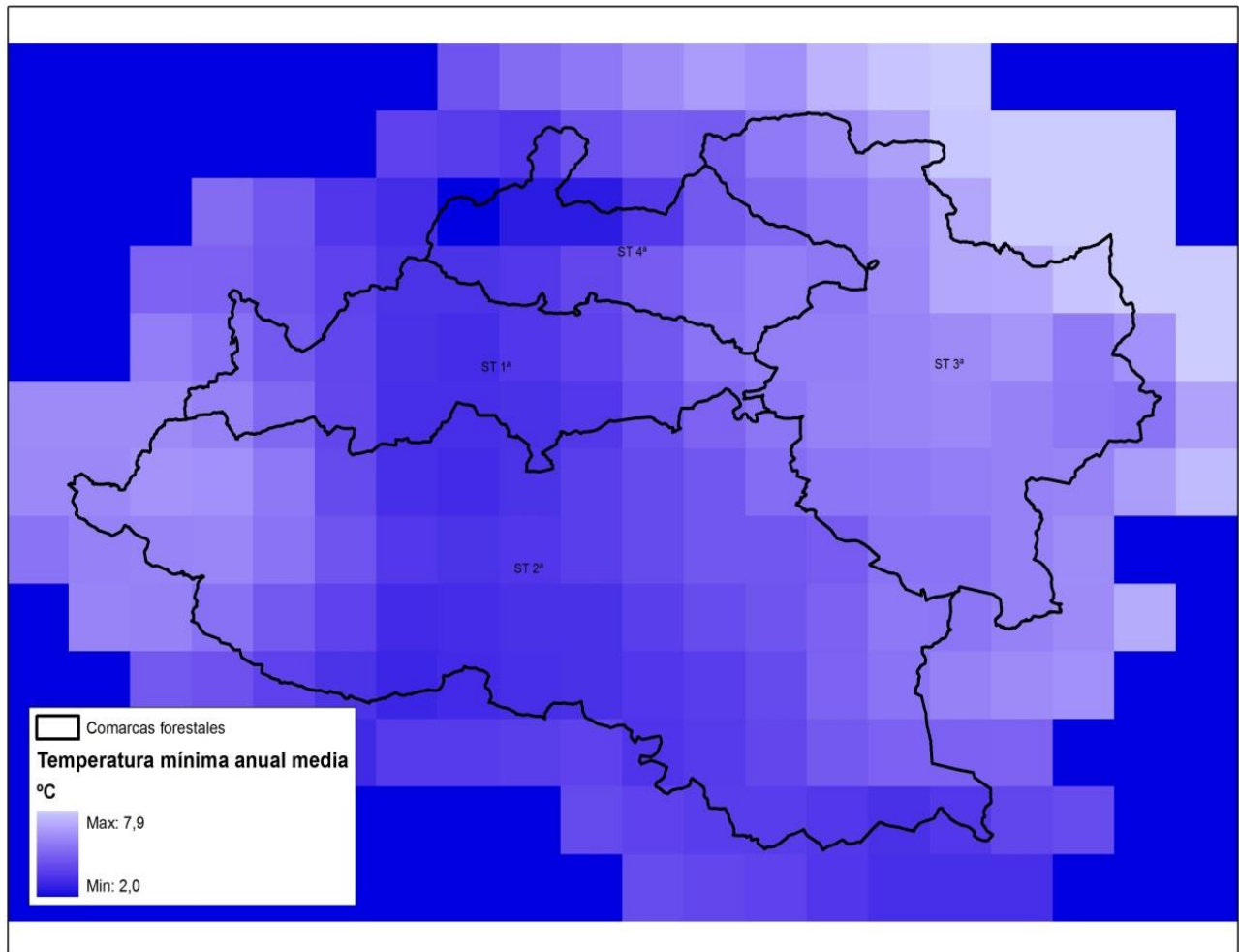


Imagen14. Temperatura mínima anual media en la provincia de Soria (1951 – 2015)



4.3 ANÁLISIS CLIMÁTICO DEL PASADO RECIENTE POR COMARCAS FORESTALES

La provincia de Soria está dividida en cuatro Comarcas Forestales, también llamadas Secciones Territoriales, de las que se van a analizar las variables climáticas más importantes con datos recogidos a través del Portal de Recursos Agri4Cast en la ventana temporal 1979 – 2019. Este portal ofrece datos Agro-Meteorológicos diarios de estaciones meteorológicas interpolados por cuadrículas de 25 x 25 Km, recogiendo las siguientes variables climáticas:

- Temperatura del aire máxima, mínima y media (° C).
- Velocidad media del viento a 10m (m/s).
- Presión de vapor media (hPa).
- Suma de las precipitaciones (mm/día).
- Evaporación potencial en cubierta del cultivo (ET₀, mm/día)
- Radiación global total (KJ/m²/día)

Una vez obtenidos estos datos climáticos por cuadrícula, se introducen en la Herramienta de Adaptación AgriAdapt (LIFE15 CCA/DE/000072 AgriAdapt) de forma que se pueden obtener datos históricos ajustados a los siguientes parámetros:

- Precipitación anual (mm)
- Evapotranspiración potencial y diferencia con precipitaciones (ETP y P-ETP; mm)
- T media anual (° C)
- N° de días de helada
- N° de días con temperatura máxima superior 25° C
- N° de días con temperatura mínima inferior a 4° C
- N° de periodos de sequía (10 o más días consecutivos sin lluvia)
- N° de olas de calor (10 o más días consecutivos con temperaturas por encima de 25° C)
- N° de días con lluvia (P > 1 mm)
- N° de días con precipitaciones intensas (P > 15 mm)

Sin embargo, los datos obtenidos hasta ahora están referidos a cuadrículas de 25 x 25 Km individuales y no a cada una de las cuatro comarcas. Para ello, se han interpolado los datos de las cuadrículas que componen cada comarca atendiendo al porcentaje de superficie que ocupa cada una de ellas, de forma que se obtienen los parámetros ajustados al área de interés.

Los motivos de utilizar al Portal de Recursos Agri4Cast son: 1) ofrece datos de evapotranspiración de los que carecen otras plataformas, 2) ofrece datos actualizados hasta 2019 (quedándose otros portales de recursos bastantes años más atrás), y 3) los datos son exportables a la Herramienta de Adaptación AgriAdapt.

En la *Imagen 15*, se muestran las 4 comarcas forestales de Soria, las estaciones meteorológicas automáticas existentes en cada una de ellas y las cuadrículas de 25x25 Km consideradas en los cálculos con los datos climáticos históricos.

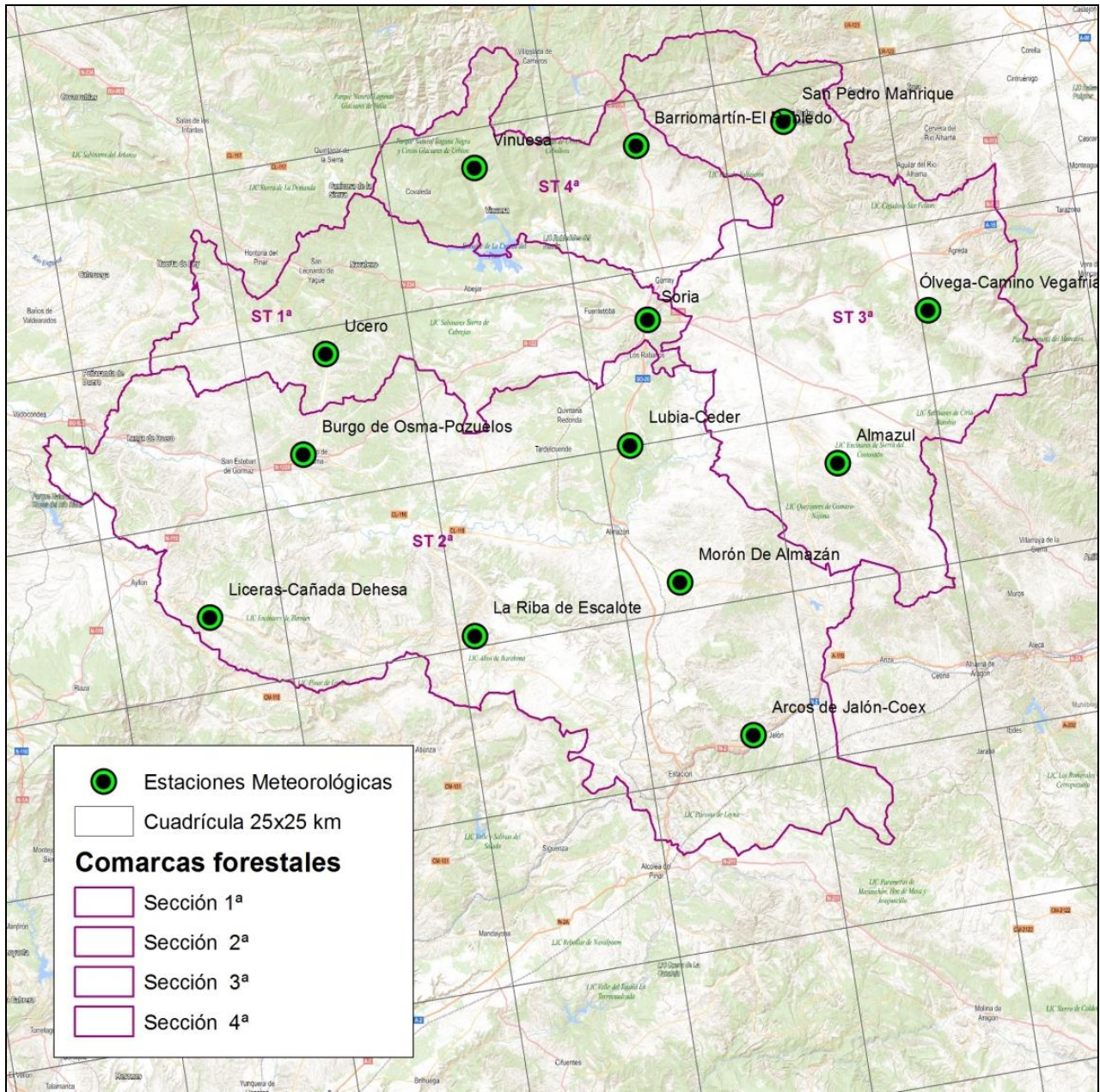


Imagen15. Mapa de las comarcas forestales y las estaciones meteorológicas de la provincia de Soria



A continuación, se analizan las series históricas de distintas variables climáticas para las cuatro comarcas forestales de Soria desde 1979 hasta 2020:

4.3.1. TENDENCIA DE LA TEMPERATURA MEDIA ANUAL

Las cuatro comarcas muestran una tendencia similar con el aumento de más de 1°C de la temperatura media en estos más de 40 años.

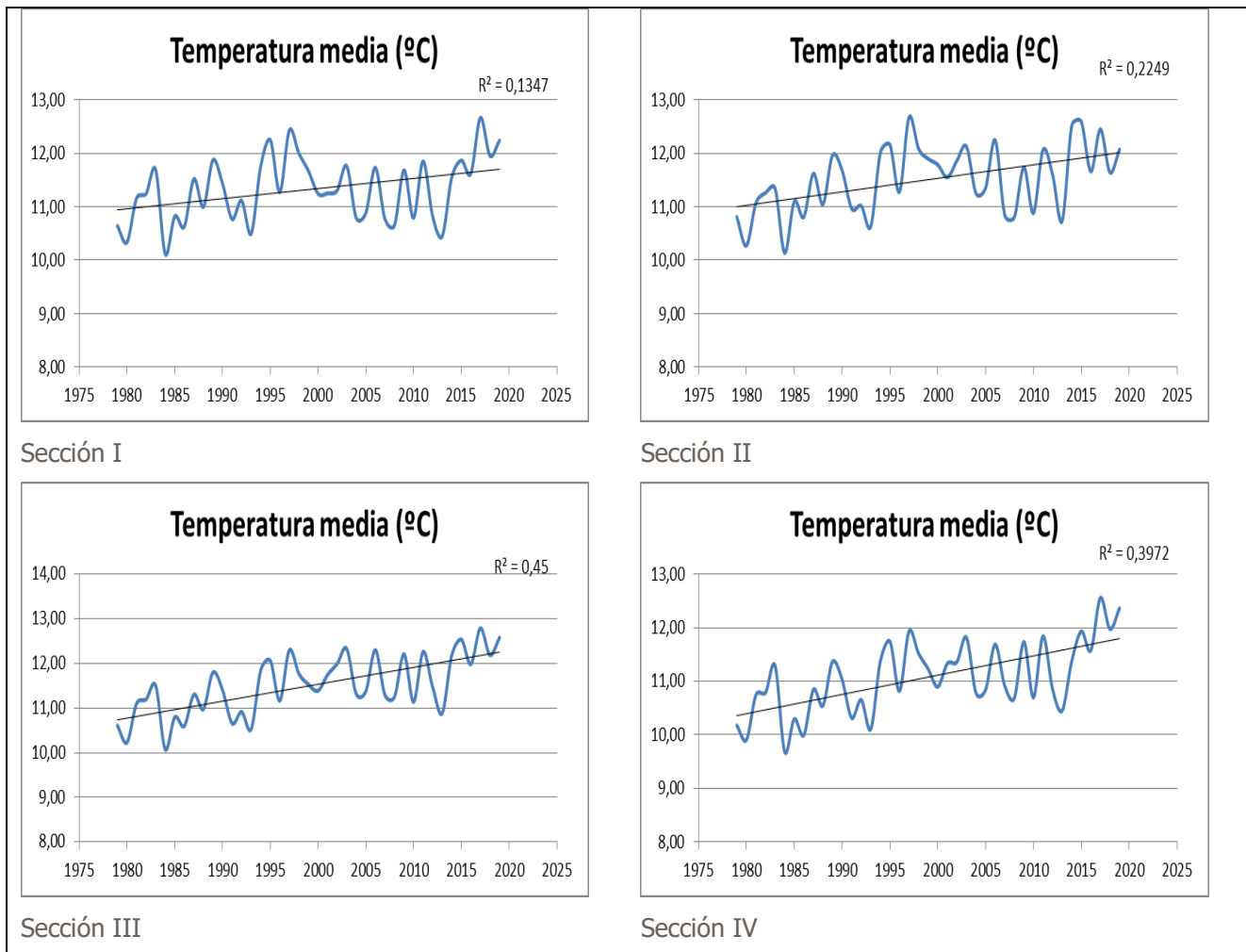


Imagen16. Evolución de la Temperatura media anual para las 4 comarcas forestales en el período 1979 -2019



4.3.2. TENDENCIA DE LAS PRECIPITACIONES

Durante el período de estudio, la tendencia de las precipitaciones en todas las comarcas ha sido al alza, observándose un aumento en la línea de tendencia de unos 200 mm anuales en las secciones 1ª, 2ª y 4ª y de unos 100 mm en la sección 3ª (la más seca de las tres)

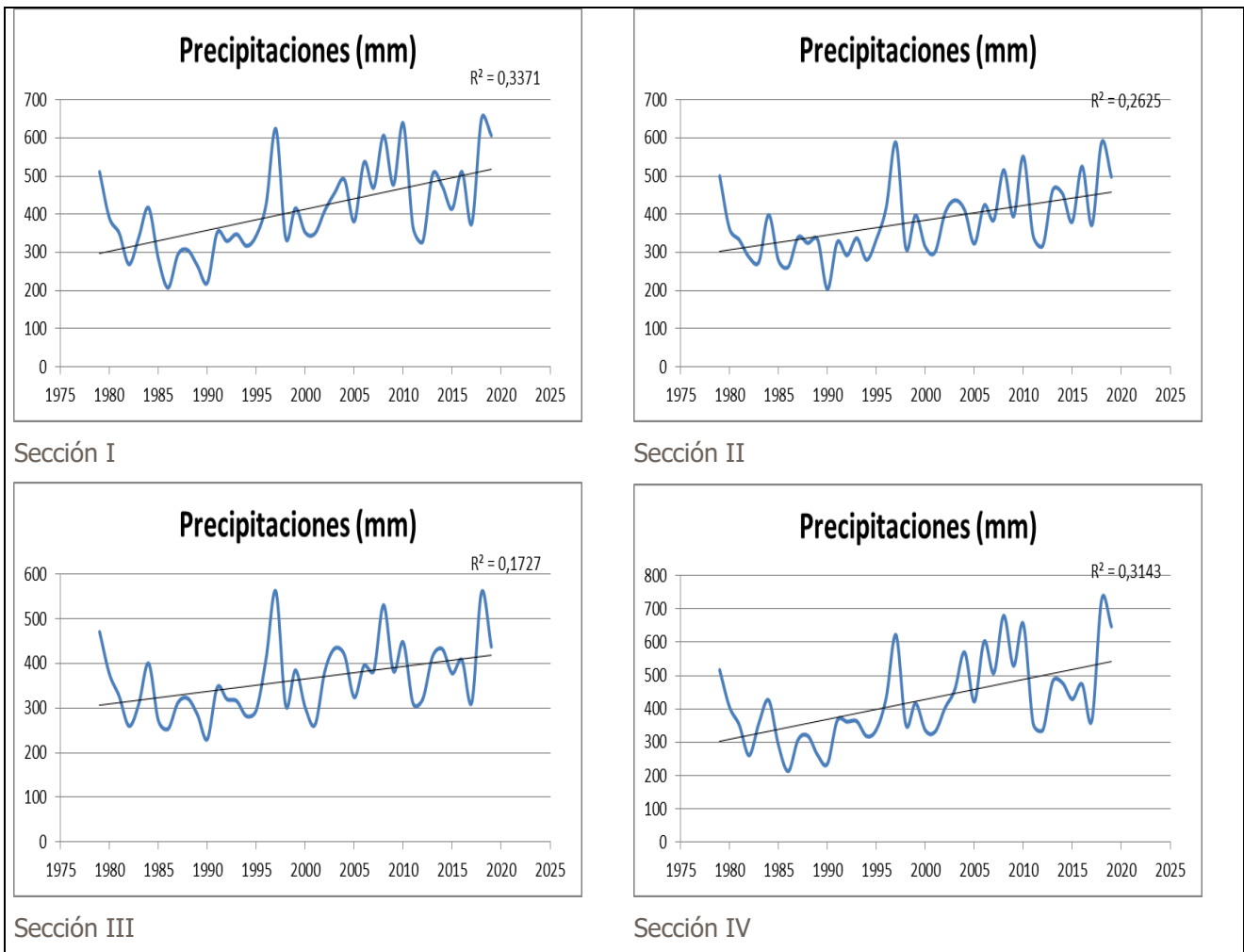


Imagen17. Evolución de la Precipitación anual para las 4 comarcas forestales en el período 1979 -2019

4.3.3. NÚMERO DE DÍAS DE HELADA ANUALES

Los días de helada anuales (días en los que se registran temperaturas por debajo de 0°C) registran un descenso significativo en todas las comarcas excepto en la Sección 1ª donde la tendencia es estable aunque existe una gran variabilidad interanual. En las Secciones tercera y cuarta, el descenso es mucho más acusado llegando a ser de más de un 20% en el número total de días de helada al año.

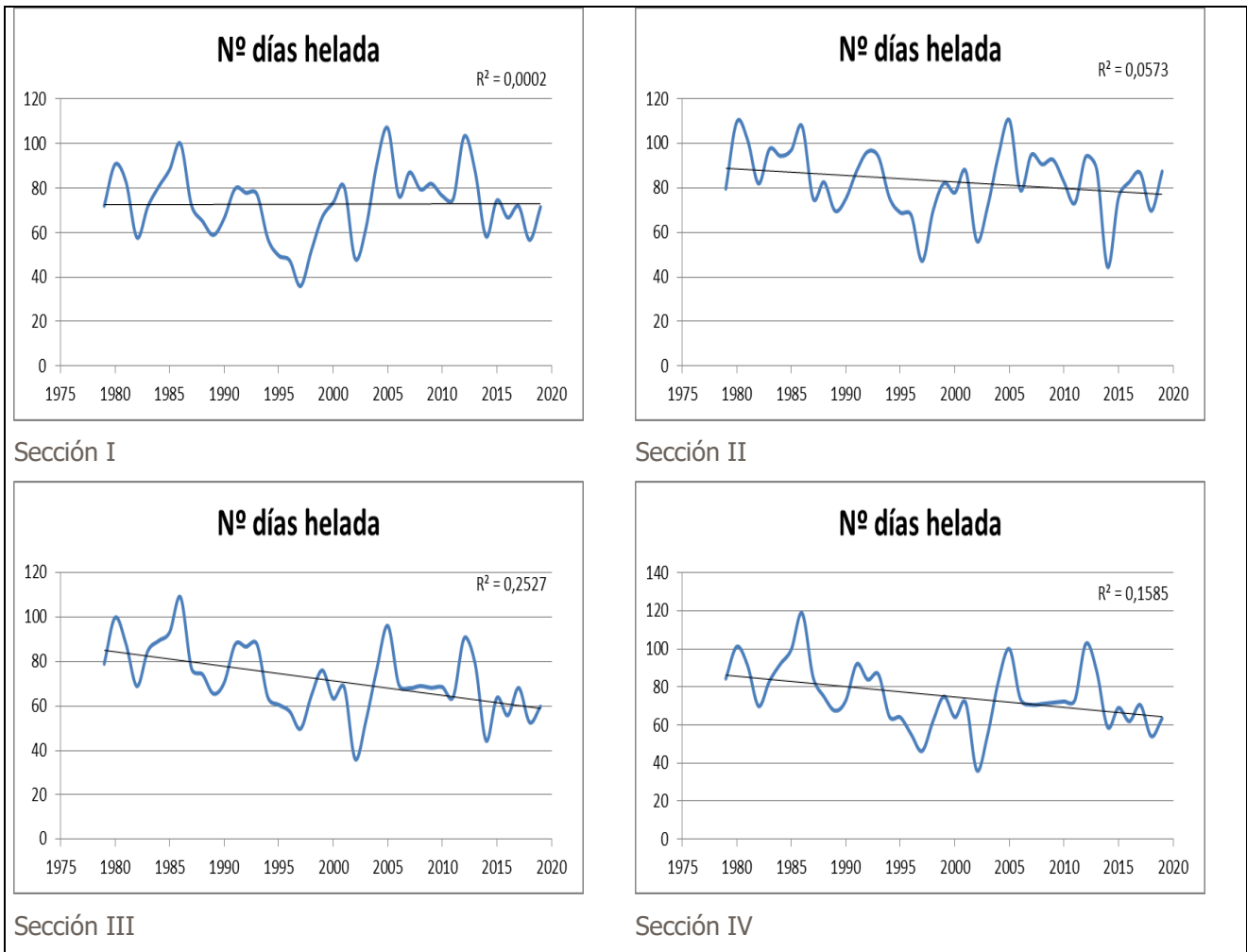


Imagen18. Evolución de número de días de helada al año para las 4 comarcas forestales en el período 1979 -2019



4.3.4. NÚMERO DE DÍAS CON TEMPERATURAS MÁXIMAS SUPERIORES A LOS 25° C

El total de días anuales con temperatura máxima superior a 25°C ha aumentado considerablemente en todas las comarcas en torno a un 20%, aunque la variabilidad interanual es bastante elevada

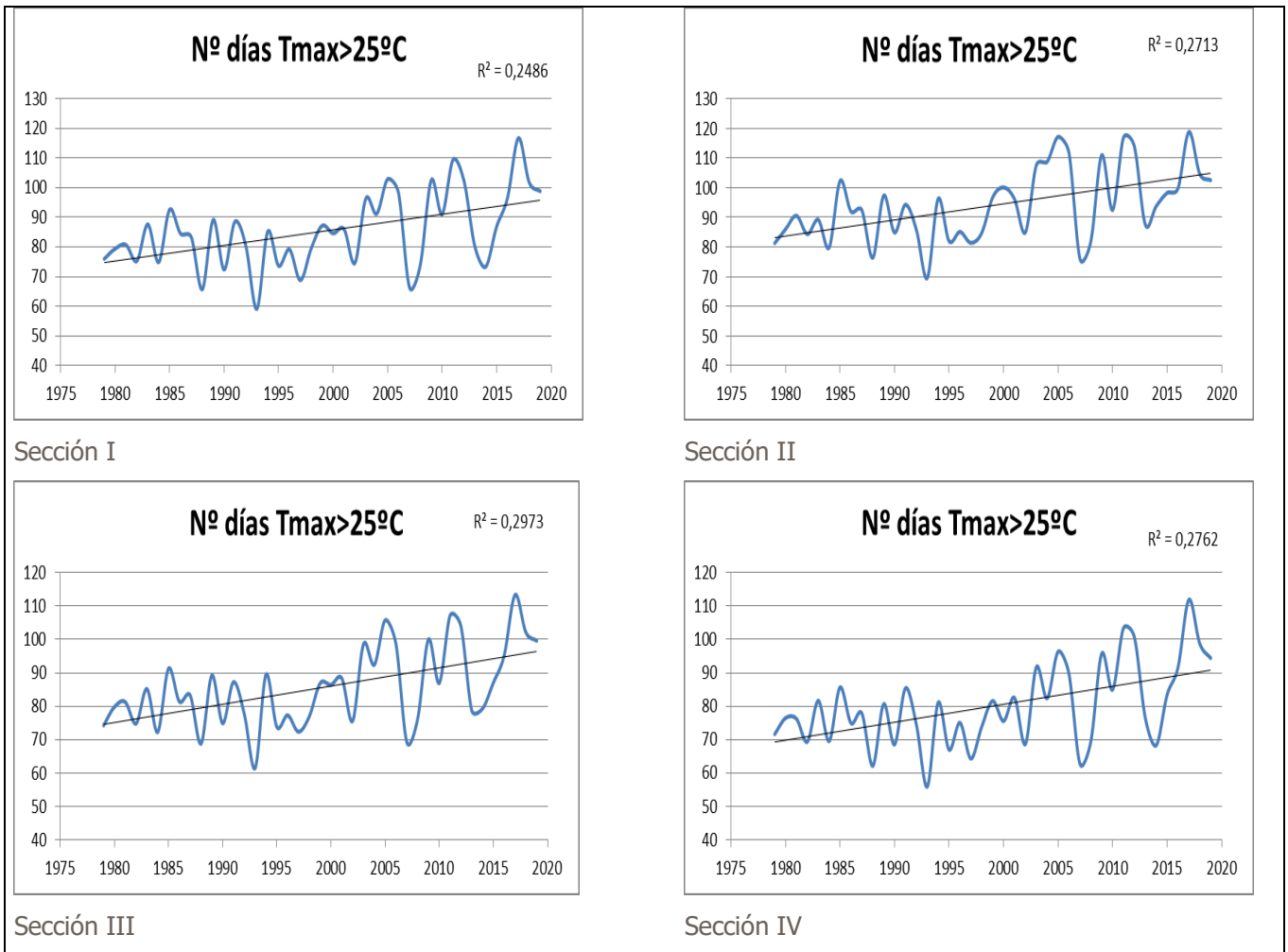


Imagen19. Evolución de número de días al año con $T_{máx} > 25^{\circ}\text{C}$ para las 4 comarcas forestales en el período 1979 -2019



4.3.5. NÚMERO DE DÍAS CON TEMPERATURAS MÍNIMAS INFERIORES A 4º C

El número de días al año con temperaturas inferiores a -4ºC también presenta una gran variabilidad interanual, con marcada tendencia a disminuir en todas las comarcas excepto en la Sección 1ª en la que se mantiene más o menos estable.

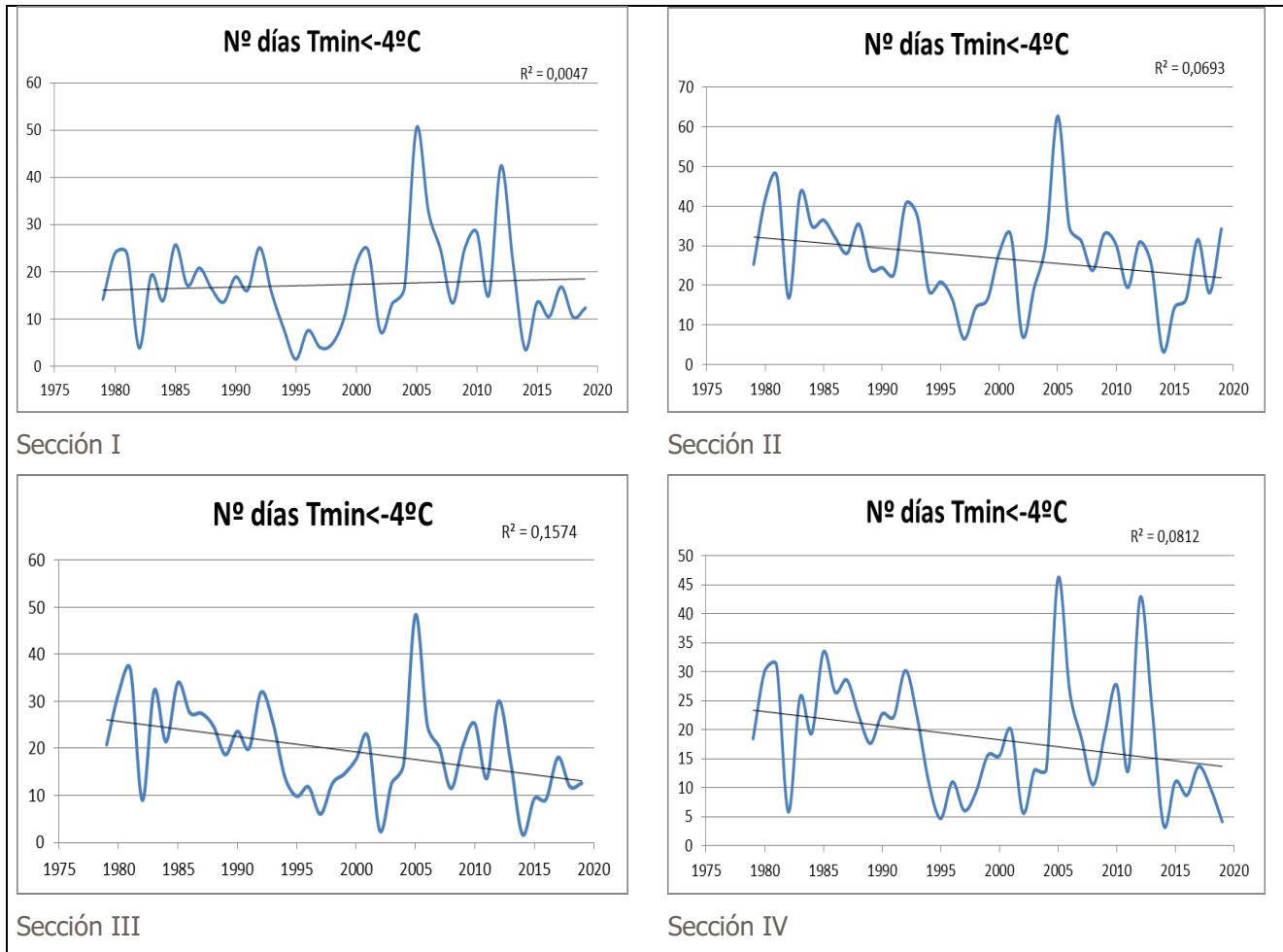


Imagen20.

Evolución de número de días al año con Tmin < -4ºC para las 4 comarcas forestales en el período 1979-2019

4.3.6. NÚMERO DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN SUPERIOR A 1 Y 15 MM

El número de días de lluvia (precipitación > 1mm) ha aumentado en todas las comarcas de una forma similar, con un aumento mayor de 30 días al año. Sin embargo, el número de días al año con una precipitación superior a 15mm se mantiene bastante estable en todas las comarcas y con unos valores relativamente bajos exceptuando picos ocasionales.

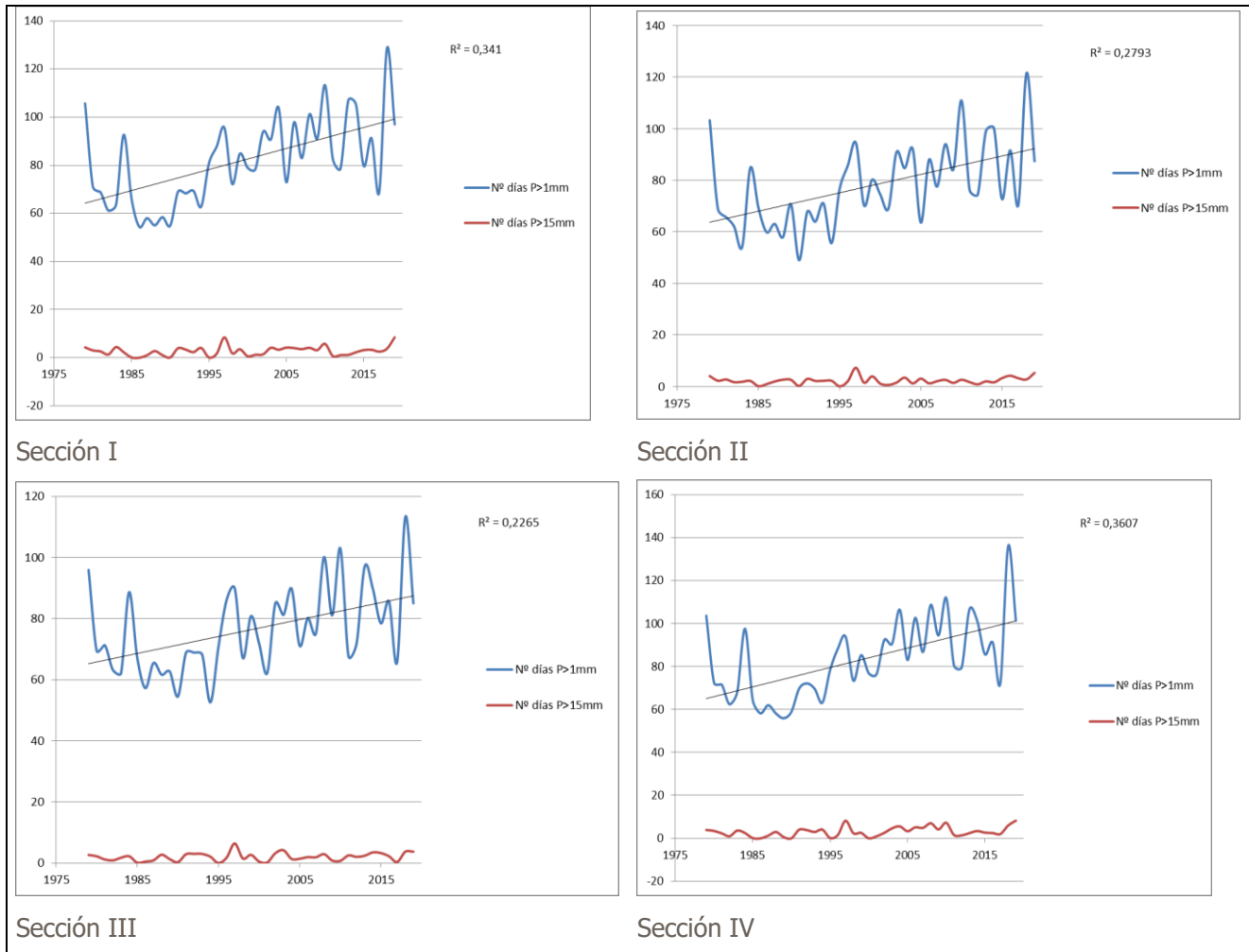


Imagen21. Evolución del número de días al año con Precipitación superior a 1mm y a 15mm para las 4 comarcas forestales en el período 1979 -2019



4.3.7. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (ETP) Y DIFERENCIA ENTRE PRECIPITACIÓN Y EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL (P – ETP)

La ETP se define como la máxima cantidad de agua que puede evaporarse desde un suelo completamente cubierto de vegetación, que se desarrolla en óptimas condiciones, y en el supuesto caso de no existir limitaciones en la disponibilidad de agua. La tendencia de la ETP es más o menos estable en todas las comarcas.

La diferencia entre P y ETP, representa el balance entre la demanda evapotranspirativa y la disponibilidad hídrica, siendo muy relevante para comprender la respuesta de la vegetación a los cambios en precipitación y temperatura. Los valores son negativos, como corresponde a un clima mediterráneo. Resulta interesante comprobar que el balance se vuelve menos negativo en todas las comarcas.

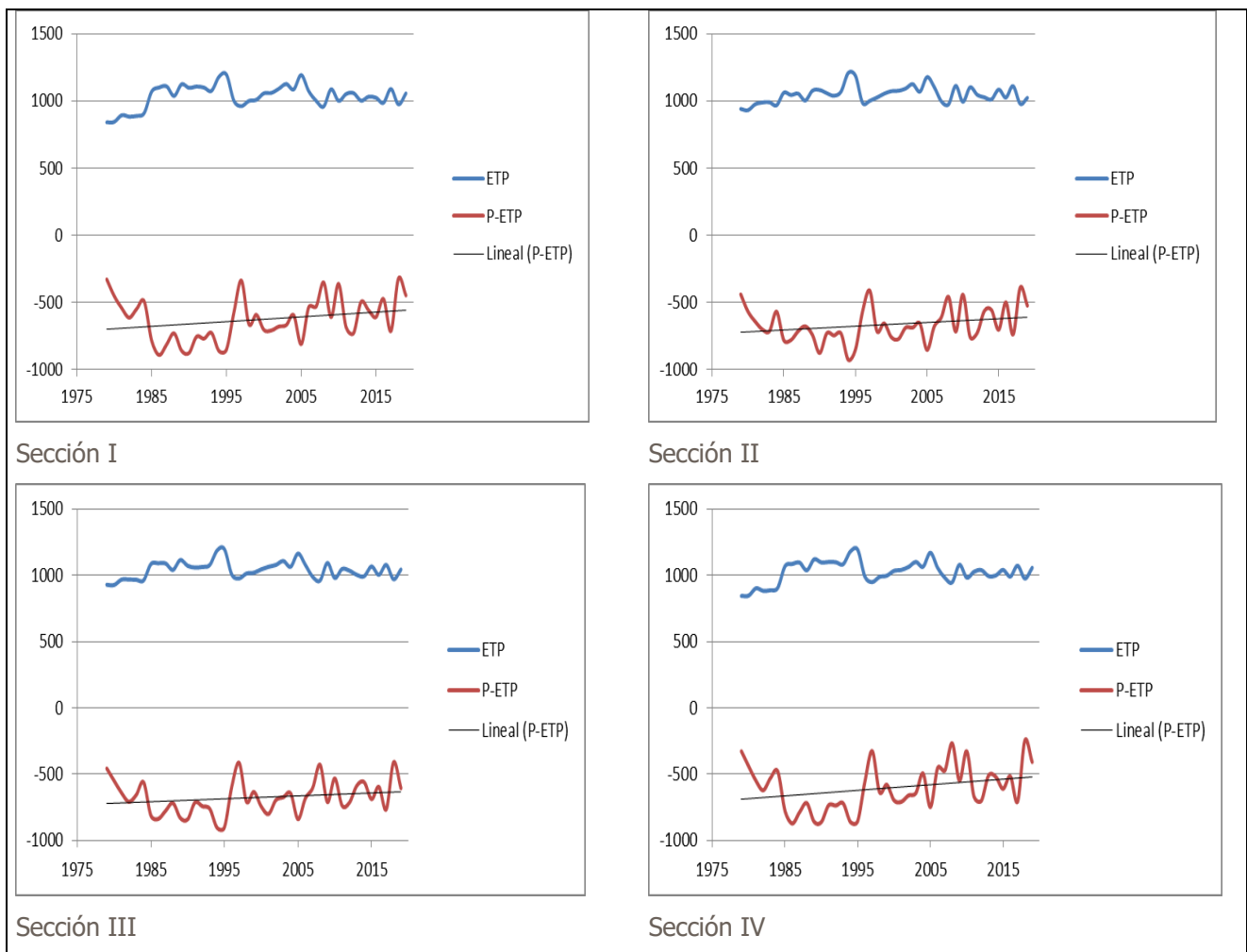


Imagen22. Evolución de la ETP y de P-ETP para las 4 comarcas forestales en el período 1979 -2019



4.3.8. Nº DE PERIODOS DE SEQUÍA (10 DÍAS CONSECUTIVOS SIN LLUVIA) Y Nº DE OLAS DE CALOR (10 DÍAS CONSECUTIVOS CON TEMPERATURAS SUPERIORES S LOS 25º C):

En consonancia con el aumento de temperatura y precipitaciones, las cuatro comarcas muestran un claro aumento en el número de olas de calor anuales y un claro descenso en los períodos de sequía, si bien ambos parámetros tienen una gran variabilidad interanual.

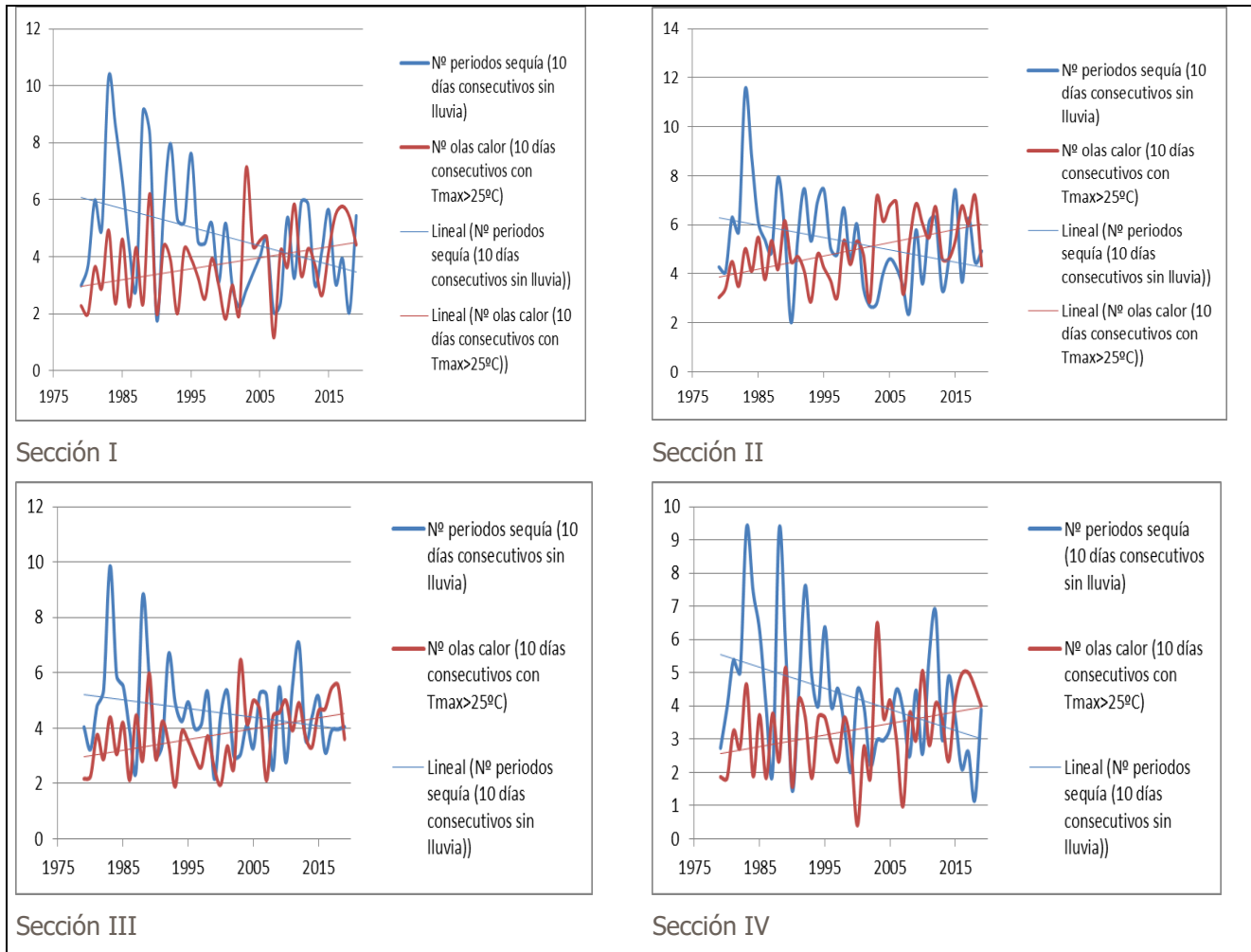


Imagen23. Evolución de número de períodos de sequía y de olas de calor anuales para las 4 comarcas forestales en el período 1979 -2019



4.4 PROYECCIONES CLIMÁTICAS PARA LA PROVINCIA DE SORIA

Los modelos climáticos constituyen la mejor herramienta actualmente disponible para estimar cómo afectarán los cambios de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) en el clima. A medida que mejora el conocimiento de los procesos que tienen lugar en el sistema climático, mejora igualmente la habilidad para predecir los cambios climáticos que probablemente tendrán lugar.

La utilización de conjuntos de evoluciones (ensamble multimodelo) permite estimar las incertidumbres asociadas tanto con la evolución proporcionada por los modelos globales como por la regionalización calculada con los modelos regionales anidados.

En los resultados gráficos que se presentan a continuación, los cambios esperados de las variables se refieren al periodo de referencia 1961-1990 en la provincia de Soria. Proviene de la Regionalización AR5-IPCC, gráficos de evolución, regionalización estadística análogos, Castilla y León: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos

Se van a analizar los resultados de estas proyecciones tanto a medio plazo (2050) como a largo plazo (2100).

4.4.1. PROYECCIONES RELACIONADAS CON LA TEMPERATURA

En todos los escenarios contemplados (RCP4.5, RCP6.0 y RCP 8.5) las proyecciones sobre las variables relacionadas con la temperatura prevén un aumento considerable en los próximos 80 años:

- La temperatura máxima aumentará entre 2 y 3°C para 2050 y entre 2,5 y 6°C para 2100
- La temperatura mínima aumentará entre 1 y 1,8°C para 2050 y entre 1,5 y 4°C para 2100
- El número de días cálidos aumentará entre un 10 y un 20% para 2050 y entre un 20 y un 40% para 2100
- El número de días de helada disminuirá entre un 30 y un 40% para 2050 y entre un 40 y un 60% para 2100
- La duración de las olas de calor aumentará entre 5 y 10 días por ola para 2050 y entre 8 y 25 días por ola para 2100
- Las noches cálidas (noches en las que en algún momento se supera el umbral de los 20°C) pasarán del 8% actual, al 15% en 2050 y al 45% en 2100.

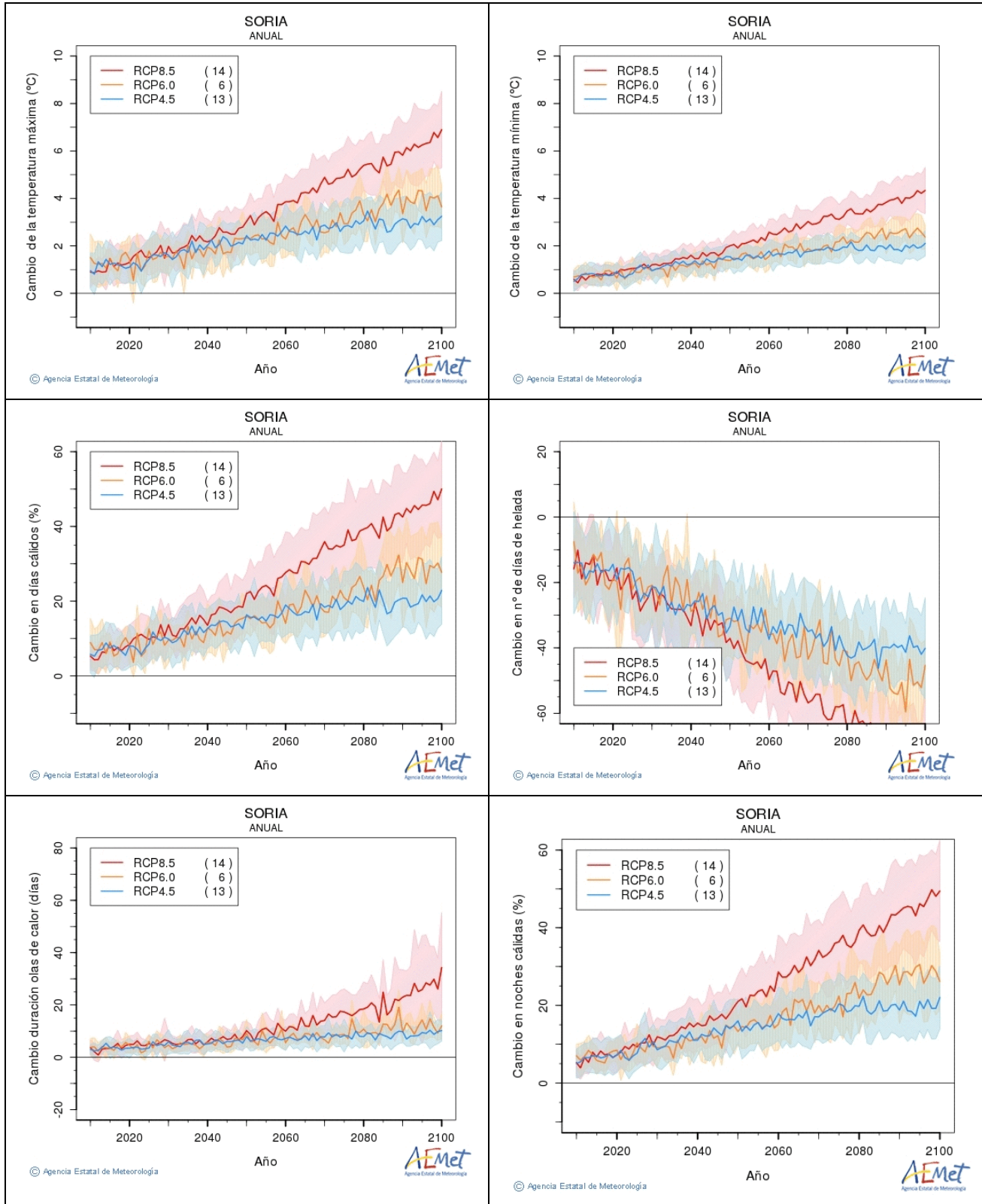


Imagen24. Proyecciones hasta 2100 de las variables relacionadas con la temperatura según los tres escenarios



4.4.2. PROYECCIONES RELACIONADAS CON LA PRECIPITACIÓN

En todos los escenarios contemplados (RCP4.5, RCP6.0 y RCP 8.5) las proyecciones sobre las variables relacionadas con la precipitación prevén un ligero descenso de lluvia en los próximos 80 años:

- La precipitación total disminuirá un 2,5% para 2050 y entre un 5 y un 15% para 2100
- El número de días de lluvia disminuirá aproximadamente en unos 3 días para 2050 y unos 10 días para 2100.
- La duración del periodo seco se mantendrá estable o con un aumento ligero de uno o dos días para 2100
- Las precipitaciones intensas disminuirán en torno a un 1,5% en 2050 y un 3% para 2100, lo cual supone un gran contraste con el análisis anterior, que indica una tendencia a la baja de las precipitaciones.

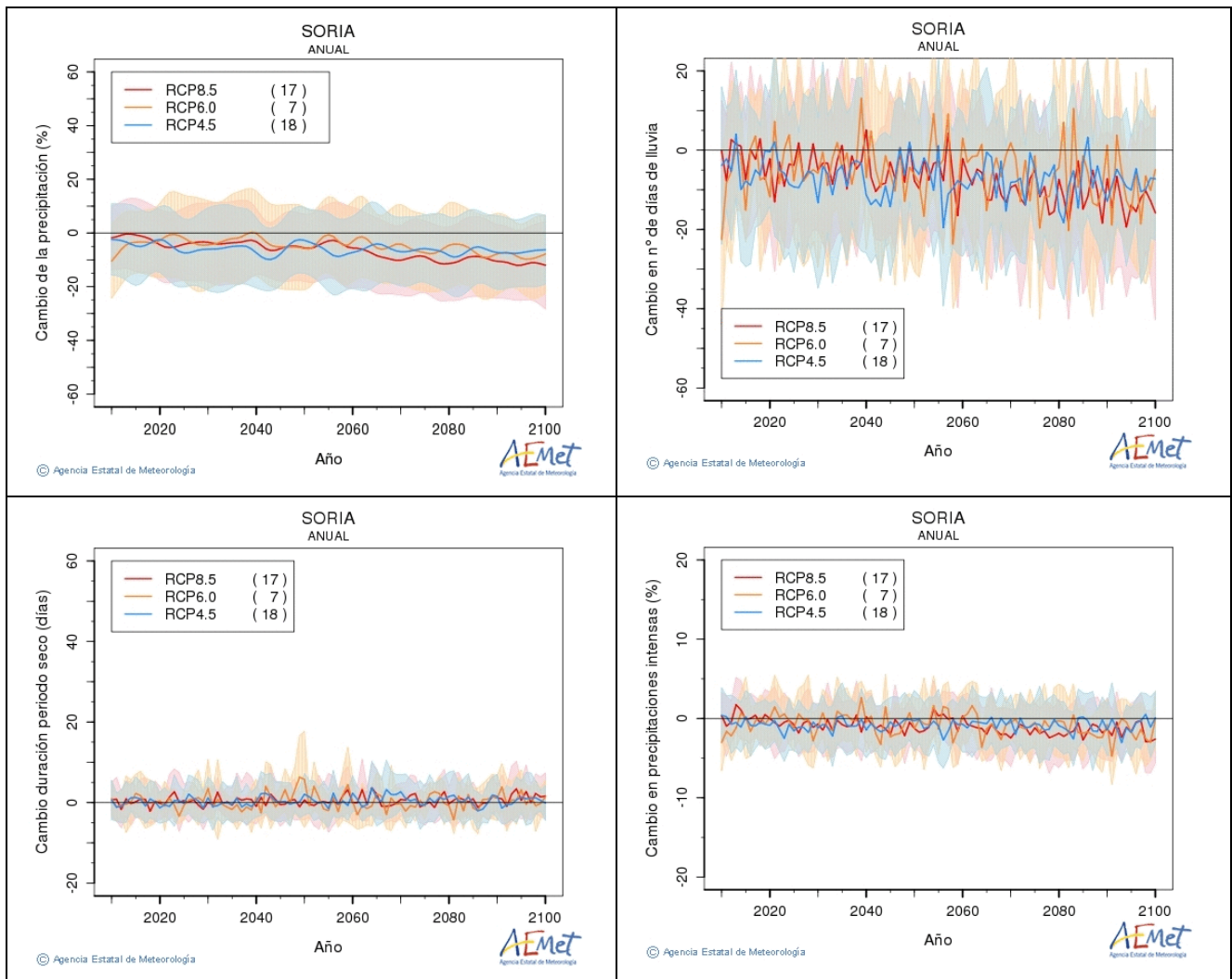


Imagen25. Proyecciones hasta 2100 de las variables relacionadas con la precipitación según los tres escenarios

4.5 PROYECCIONES CLIMÁTICAS PARA LAS COMARCAS FORESTALES DE SORIA



En España, hay que destacar como fuente de información la Plataforma sobre Adaptación al Cambio Climático AdapteCCa. Su Visor de Escenarios de Cambio Climático, es una herramienta para la visualización y la descarga de datos relativos al clima futuro de España, donde se pueden consultar las proyecciones regionalizadas de cambio climático para España realizadas a partir de las proyecciones globales del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático) en el marco de la iniciativa [Escenarios PNACC](#) y concretamente, de la [nueva colección de Escenarios PNACC 2017](#).

Los datos disponibles se nutren principalmente de dos fuentes: proyecciones puntuales de la [Agencia Estatal de Meteorología \(AEMET\)](#) y proyecciones en rejilla procedentes de la iniciativa internacional [Euro-CORDEX](#). Debido a la gran cantidad de parámetros climáticos que es capaz de calcular, a la posibilidad de generar datos interpolados para todos los municipios que componen las comarcas forestales, y a los numerosos modelos climáticos que integra en los cálculos a futuro (16 modelos), esta plataforma se ha utilizado para representar las proyecciones climáticas futuras en el escenario RCP 8.5 para el horizonte temporal 2100. El periodo de referencia utilizado para proyectar la evolución climática es 1971 – 2000.

Los parámetros climáticos analizados son:

- T mínima media y extrema y temperatura máxima media y extrema (° C)
- Nº de días de helada
- Nº de días con temperatura mínima por encima de los 20° C
- Nº noches cálidas (nº de noches con temperatura mínima superior al percentil 90 del periodo de referencia)
- Nº días cálidos (nº de días con temperatura máxima superior al percentil 90 del periodo de referencia)
- Duración máxima de olas de calor (nº de días de la ola de calor (OC) más larga, definiéndose una OC como al menos 5 días consecutivos con temperatura máxima superior al percentil 90 del periodo de referencia. Los cambios se expresan en días respecto al periodo de referencia)
- Amplitud térmica en °C
- Precipitación (mm/día)
- Nº de días sin lluvia ($P < 1$ mm)
- Precipitación máxima en 24 horas
- Máximo número de días consecutivos sin lluvia
- Nº días de lluvia (Cambio en el nº de días con precipitación total igual o superior a 1 mm. Los cambios se expresan en días respecto al periodo de referencia)
- Evapotranspiración potencial (mm/mes)

A continuación, se muestran las proyecciones climáticas para las comarcas forestales de la provincia de Soria a medio plazo (2050) y largo plazo (2100).



4.5.1. PROYECCIONES RELACIONADAS CON LA TEMPERATURA

Temperaturas medias y extremas:

- Se prevé una subida de las temperaturas medias máximas de unos 2°C para 2050 y de unos 4,5°C para 2100. Las temperaturas medias mínimas subirán poco más de 1°C para 2050 y algo más de 3°C para 2100
- Las temperaturas extremas, tanto máximas como mínimas también subirán en este período en todas las comarcas. La subida será de aproximadamente de 0,5°C para 2050 y de 1°C para 2100 en las máximas extremas y en torno a 0,2°C para 2050 y 3,5°C para 2100 en las mínimas extremas.

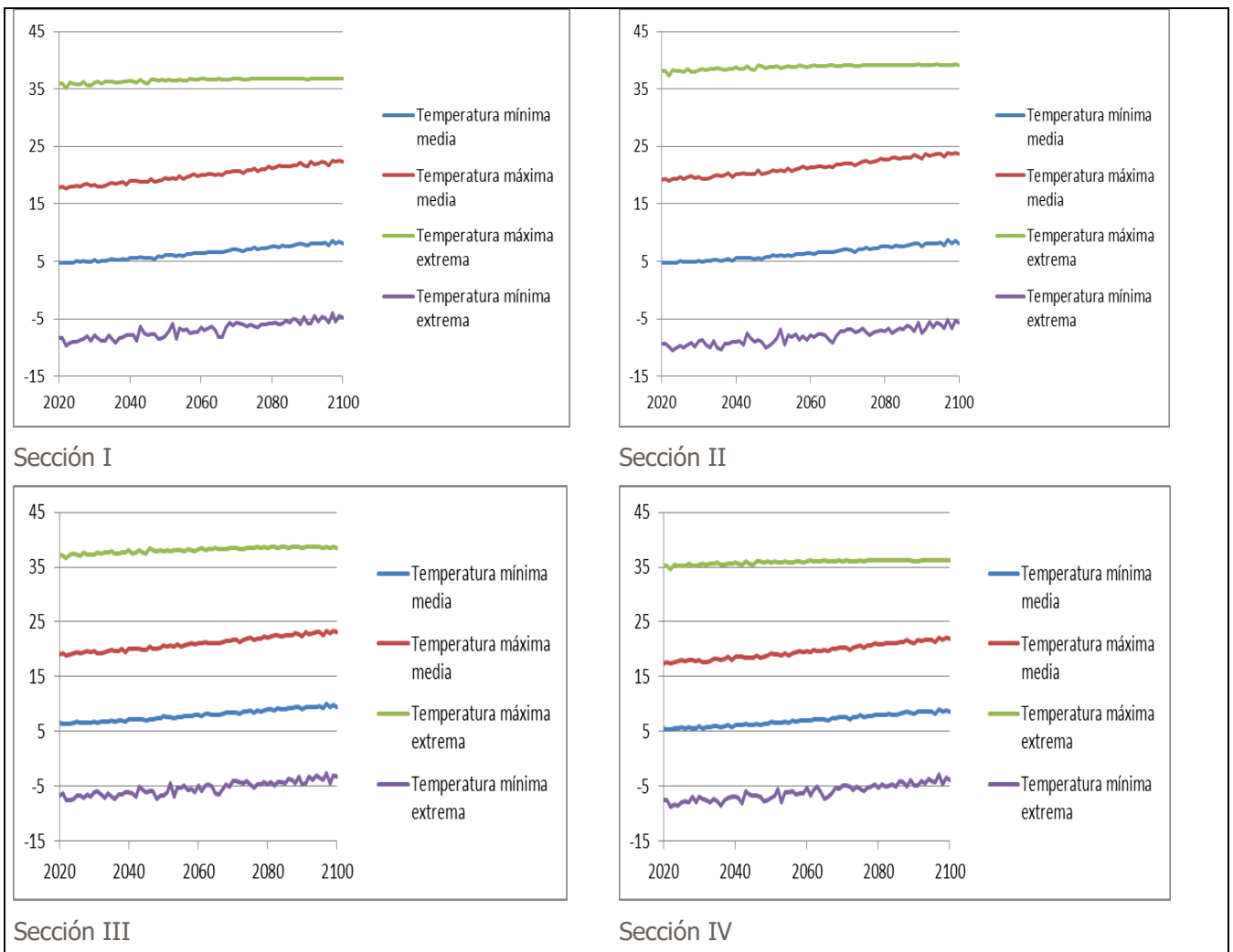


Imagen26. Proyecciones hasta 2100 de las temperaturas medias y extremas para las comarcas forestales.



Días de helada y noches y días cálidos:

- Las noches cálidas (número de noches con temperatura mínima superior al percentil 90 del período de referencia) aumentarán, según las proyecciones, a casi triple de los valores actuales, pasando en ambos casos de 50 noches anuales a unas 80 en 2050 y a más de 110 en 2100
- Los días cálidos (número de días con temperatura máxima superior al percentil 90 del período de referencia) aumentarán de los 50 días cálidos actuales a unos 70 días cálidos anuales para 2050 y a 100 días para 2100.
- Los días de helada (días con temperatura mínima menor de 0°C) disminuirán desde más de 80 al año a unos 60 para 2050 y 35 para 2100 en las secciones I y II con una disminución un poco menos acusada en las secciones III y IV.

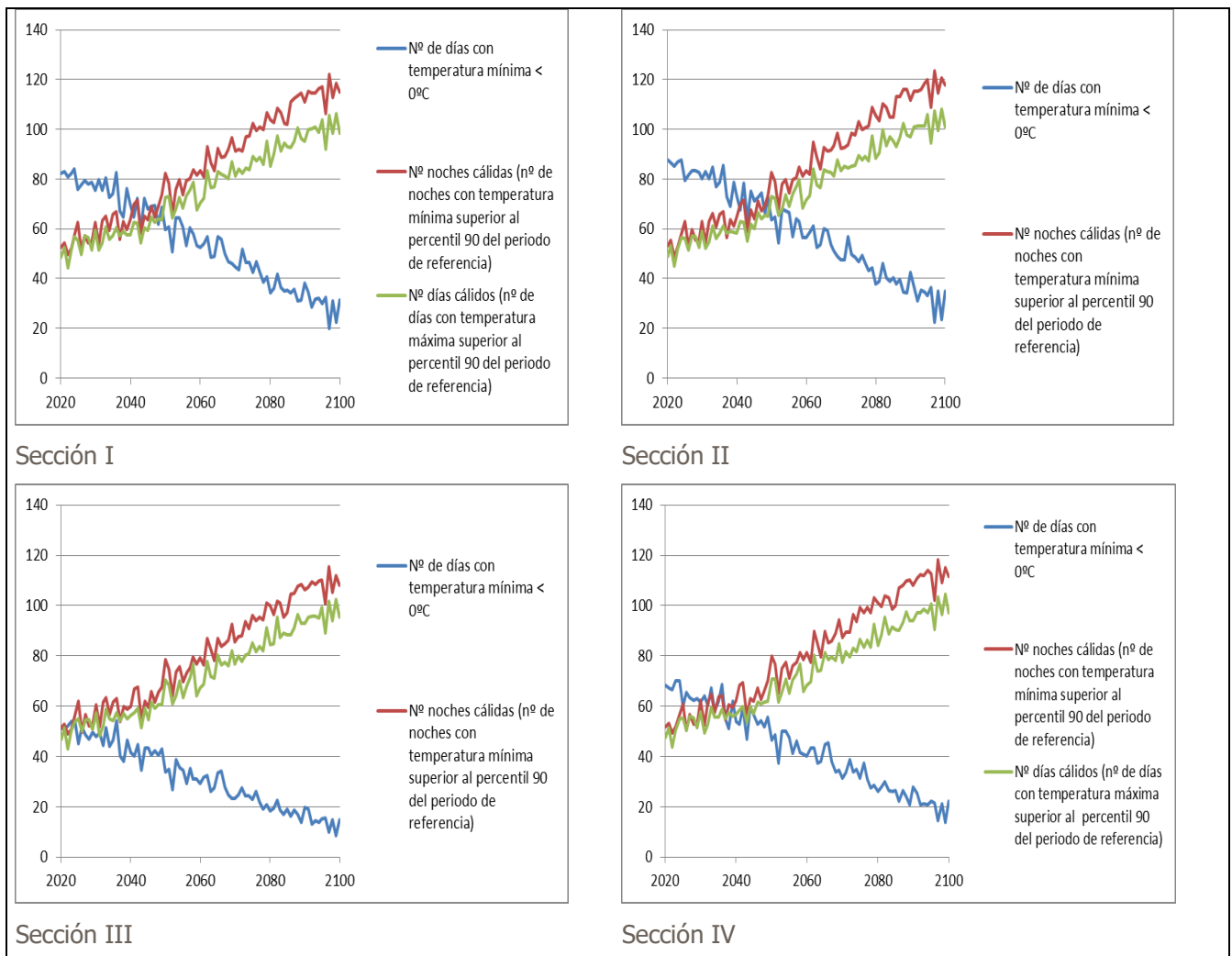


Imagen27. Proyecciones hasta 2100 de los días de helada y noches y días cálidos para las comarcas forestales



Resumen de proyecciones relacionadas con la temperatura

Sección	Año	Temperatura mínima media (°C)	Temperatura máxima media (°C)	Temperatura máxima extrema (°C)	Temperatura mínima extrema (°C)	Nº de días de helada (°C)	Nº noches cálidas	Nº días cálidos	Duración máxima de olas de calor (días)
Sección I	2020	4,8	17,8	36,0	-8,3	82,4	52,6	48,6	12,6
	2050	6,2	19,6	36,5	-8,0	59,8	82,3	72,7	22,0
	2100	8,1	22,3	36,8	-4,8	31,3	115,1	98,5	48,6
Sección II	2020	4,7	19,1	38,2	-9,3	87,6	53,4	49,0	13,3
	2050	6,1	20,9	38,8	-9,2	63,5	82,5	73,1	22,7
	2100	8,1	23,7	39,2	-5,6	35,0	117,8	101,1	49,2
Sección III	2020	6,5	19,1	37,3	-6,7	51,2	51,5	46,9	11,7
	2050	7,7	20,7	37,8	-6,6	33,9	78,4	70,3	20,3
	2100	9,5	23,1	38,5	-3,3	14,8	107,9	95,5	36,3
Sección IV	2020	5,5	17,5	35,3	-7,6	68,3	51,9	47,7	11,9
	2050	6,8	19,2	35,8	-7,2	46,4	79,9	70,9	20,4
	2100	8,6	21,8	36,2	-3,8	22,3	111,5	97,1	35,3

Tabla 1: Resumen de las proyecciones a medio y largo plazo de las variables relacionadas con la temperatura



4.5.2. PROYECCIONES RELACIONADAS CON LA PRECIPITACIÓN

Precipitación anual y máxima diaria:

- En las 4 comarcas forestales se prevé un ligero descenso de las precipitaciones para 2050 (en torno a un 2%) y un descenso más acusado, de más de 100 mm anuales en la precipitación total para 2100 (en torno a un 25%).
- La precipitación máxima en 24h se mantendrá más o menos estable en todas las comarcas para ambos períodos.

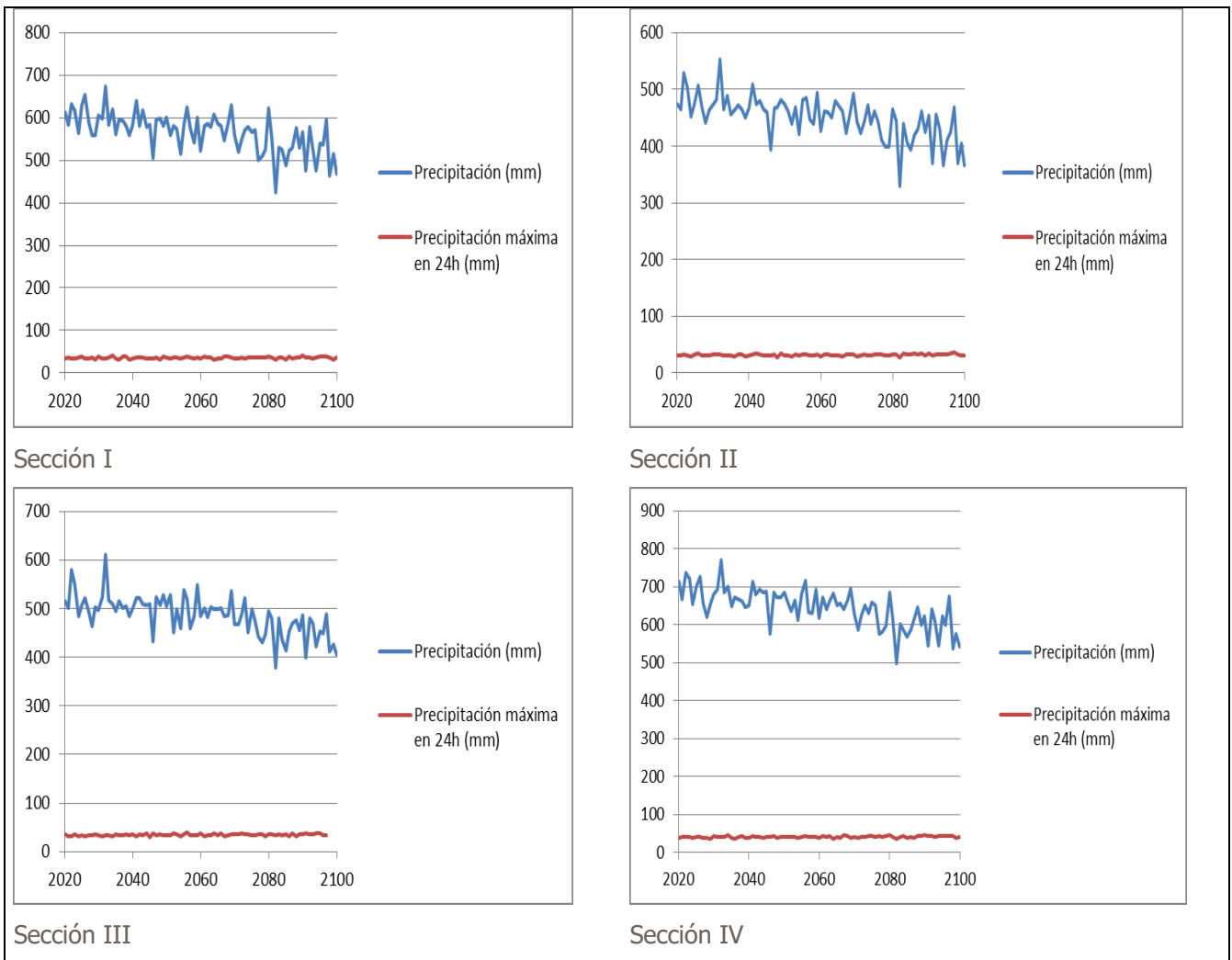


Imagen28. Proyecciones hasta 2100 de la precipitación anual y máxima diaria para las comarcas forestales.



Días de lluvia, días sin lluvia y número de días consecutivos sin lluvia:

- Los días sin lluvia (días con precipitación menor de 1mm) aumentarán considerablemente, en torno a un 2% en todas las comarcas para 2050 y cerca de un 10% para 2100. La duración máxima de los períodos de sequía (máximo número de días consecutivos sin lluvia) se mantendrá en los valores actuales para 2050 y aumentará más de un 30% (superando los 40 días en todas las comarcas) para 2100
- El número de días de lluvia (número de días con precipitación total igual o superior a 1 mm) disminuirá más de un 6% para 2050 y más de un 25% hasta 2100 en las cuatro comarcas forestales.

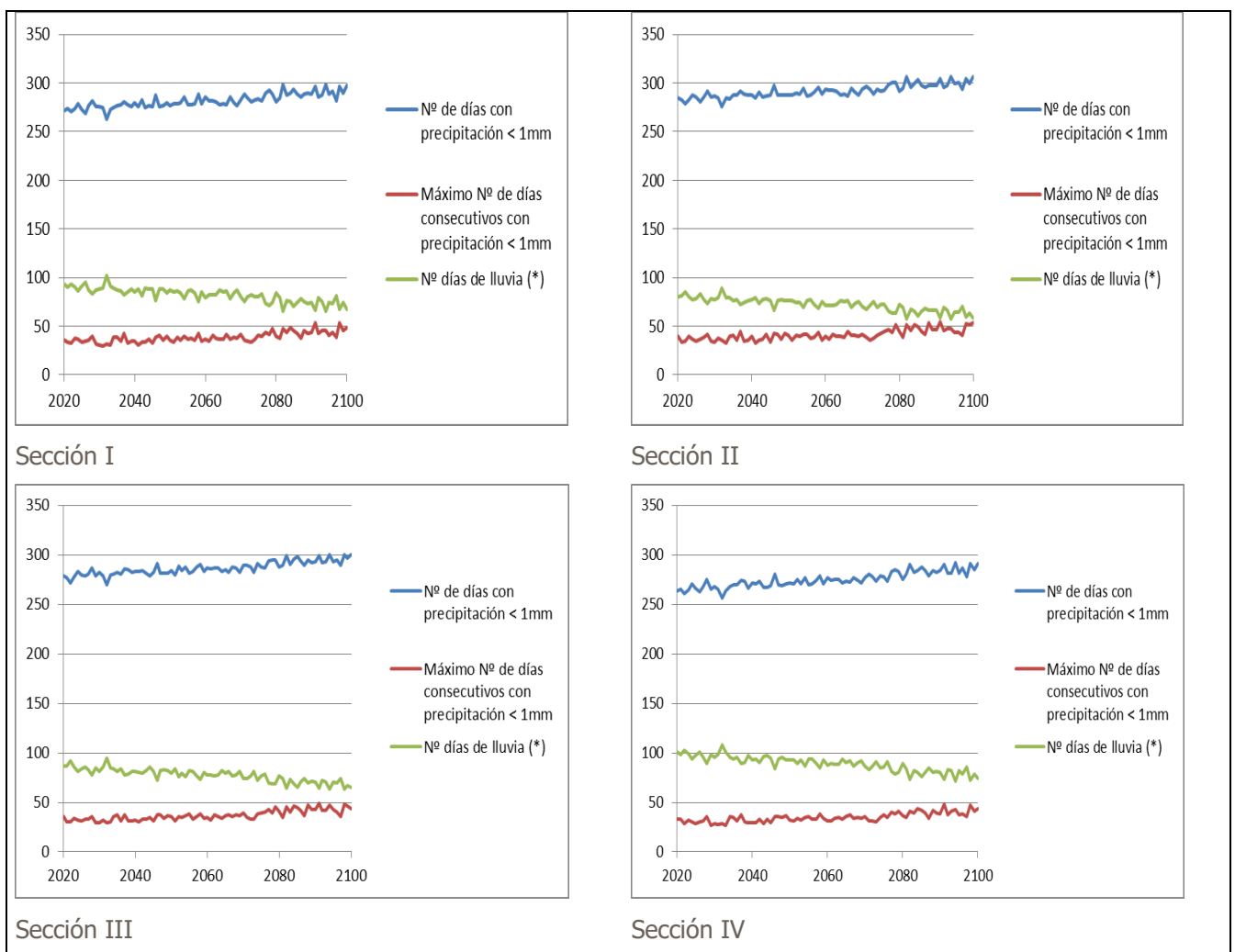


Imagen29.

Proyecciones hasta 2100 de los días de lluvia, días sin lluvia y número de días consecutivos sin lluvia para las comarcas forestales.



4.5.3. PROYECCIONES RELACIONADAS CON EL ESTRÉS HÍDRICO

Evapotranspiración potencial (ETP) y Precipitación - Evapotranspiración potencial (P-ETP):

- Como consecuencia de la disminución de las precipitaciones y del aumento de las temperaturas, la ETP sufrirá un aumento considerable, en torno a un 10% para 2050 y a un 30% para 2100 en las cuatro comarcas forestales.
- Asimismo, la disponibilidad de agua en el suelo será mucho menor, disminuyendo en torno a 90 mm para 2050 y cerca de 400 mm para 2100.

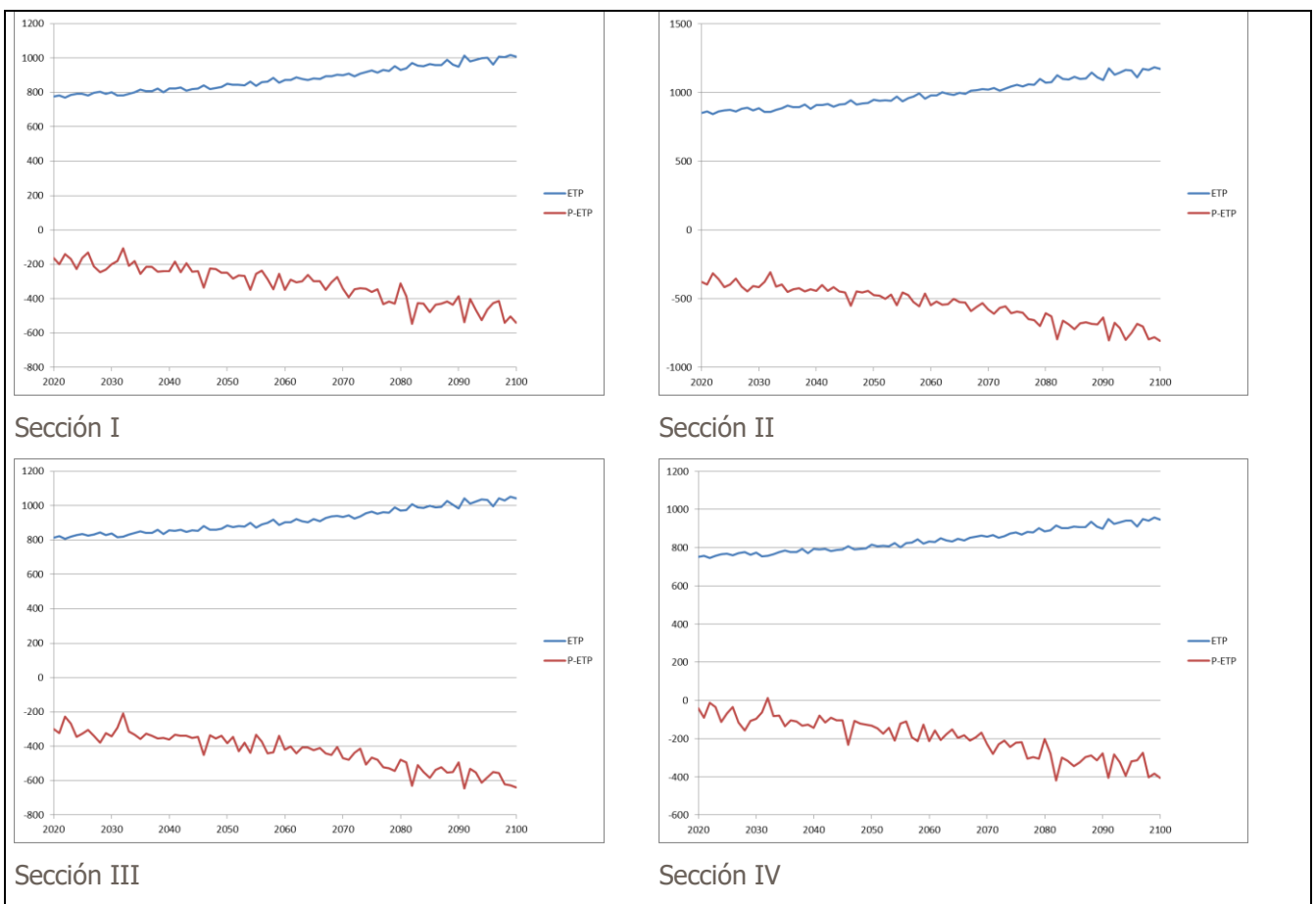


Imagen30.

Proyecciones hasta 2100 de la Evapotranspiración potencial (ETP) y Precipitación - Evapotranspiración potencial (P-ETP) para las comarcas forestales



Resumen de proyecciones relacionadas con la precipitación y el estrés hídrico

Sección	Año	Precipitación (mm)	Precipitación máxima en 24h (mm)	Nº de días con precipitación < 1mm	Máximo Nº de días consecutivos con precipitación < 1mm	Nº días de lluvia	ETP	P-ETP
Sección I	2020	613,6	33,2	271,9	35,4	92,7	775,7	-162,1
	2050	599,1	35,7	276,8	35,4	86,8	849,3	-250,2
	2100	468,9	36,8	297,6	48,5	67,4	1008,2	-539,4
Sección II	2020	474,0	31,2	284,3	39,2	80,3	850,3	-376,4
	2050	473,5	31,5	287,6	40,7	76,1	946,6	-473,1
	2100	365,9	30,2	306,6	53,6	58,4	1172,1	-806,2
Sección III	2020	514,8	35,2	278,4	36,0	86,2	814,4	-299,7
	2050	504,3	34,3	284,4	35,5	79,3	885,2	-380,9
	2100	404,5		299,7	43,6	65,3	1043,6	-639,1
Sección IV	2020	713,2	38,8	263,4	33,1	101,3	752,4	-39,2
	2050	683,5	41,6	271,1	32,5	92,6	815,2	-131,7
	2100	542,2	41,8	290,8	43,8	74,3	947,1	-404,8

Tabla 2: Resumen de las proyecciones a medio y largo plazo de las variables relacionadas con la precipitación y el estrés hídrico



5. CONCLUSIONES

CAMBIOS DE TEMPERATURA

- En los últimos 40 años, las **temperaturas medias** han subido más de 1°C en la provincia de Soria. También las temperaturas máximas y mínimas han experimentado subidas similares. En consonancia con estos datos, las proyecciones para los próximos 80 años indican que es posible una subida de entre 3 y 5°C para las temperaturas medias, de entre 2 y 6°C para las máximas y de entre 1 y 4°C para las mínimas. Esto puede afectar significativamente la distribución de algunas especies forestales ya que sus límites altitudinales están ligados a las temperaturas, pudiéndose desplazar sus áreas de distribución hacia cotas más altas. La producción micológica puede verse afectada puesto que esta subida de temperaturas puede desplazar los períodos de producción de diferentes especies a épocas más tardías en otoño o más tempranas en primavera. Además, el incremento de la temperatura (medias, mínimas y máximas) previsto puede conducir a mayores producciones medias de resina dadas las fuertes correlaciones de esta producción con la temperatura y la radiación.
- Los **días de helada** anuales han registrado un descenso significativo en toda la provincia en los últimos años. La proyección es que disminuyan entre un 30 y un 60% para 2100, pasando de más de 80 días al año a unos 20 o 30 anuales. Las heladas se suelen producir en el periodo vegetativo de ciertas especies por lo que, al disminuir el número de días, aumenta la probabilidad de que estos períodos se vean alterados y estas especies puedan brotar antes de tiempo y no resistir heladas posteriores. Esta disminución de días de helada puede afectar a la producción trufera, ya que esta producción depende en gran medida de los contrastes térmicos entre días de heladas y días con temperaturas más cálidas.
- En cuanto a los **días cálidos**, se ha registrado un aumento de los días anuales con temperatura máxima superior a 25° C, así como un aumento en el número de olas de calor cada año. Las proyecciones también indican que el número de días cálidos aumentará entre un 20 y un 40%, la duración de las olas de calor aumentará entre 5 y 25 días por ola y las noches cálidas y los días cálidos aumentarán a casi el triple de los valores actuales. Estos valores pueden afectar significativamente la afección de ciertas especies a plagas y enfermedades cuyos ciclos se ven favorecidos por las temperaturas altas.



CAMBIOS EN LAS PRECIPITACIONES

- Durante el período de estudio, la tendencia de las **precipitaciones anuales** ha sido ascendente, observándose un aumento de unos 200 mm anuales en todas las comarcas forestales excepto en la Sección tercera en la que, al ser más seca, sólo se ha registrado un aumento de unos 100 mm al año. Pese a este aumento de las precipitaciones en el periodo de referencia, la proyección de las precipitaciones augura un descenso entre el 5 y el 15% de la precipitación anual para 2100. Una comparación similar se puede observar en el número de días de lluvia anuales que, aunque ha aumentado considerablemente, su proyección para 2100 es de un descenso apreciable. Si se confirma el descenso de las precipitaciones proyectado, podría suponer una mayor mortalidad en ciertas especies forestales que estén en los límites más secos de sus áreas de distribución. Si se confirma esta proyección con disminución de precipitación, la producción micológica puede disminuir notablemente ya que la mayoría de especies necesitan bastante humedad para fructificar.
- El número de **períodos de sequía** ha disminuido en los últimos 40 años, aunque la proyección de la duración de los mismos prevé que aumentará un 15%. Este aumento también puede afectar a la vulnerabilidad de las masas forestales hacia las plagas y enfermedades, que suelen ser más virulentas en los períodos de sequía. En cuanto a la resina, por encima de cierto límite de sequía estival las producciones se ven comprometidas. En este caso las precipitaciones de verano parecen favorecer la producción de resina.

CAMBIOS EN EL ESTRÉS HÍDRICO

- Aunque la tendencia de la Evapotranspiración potencial (ETP) es más o menos estable en los últimos 40 años, la proyección es que aumente en torno a un 20% para finales de siglo. Esta disparidad se debe a la ya comentada diferencia entre la tendencia de los últimos años de las precipitaciones (al alza) y la proyección de las mismas para final de siglo (bastante descendente). Como ya se ha comentado, la diferencia entre precipitación y ETP representa el balance entre la demanda evapotranspirativa y la disponibilidad hídrica, siendo muy relevante para comprender la respuesta de la vegetación a los cambios en precipitación y temperatura. Los valores son negativos, como corresponde a un clima mediterráneo. Al aumentar la temperatura, incrementándose la ETP y disminuir la precipitación, los valores son cada vez menores, lo que implica que la cantidad de agua disponible en el suelo para la vegetación cada vez será menor pudiendo afectar negativamente a las masas forestales, tanto en una disminución de su crecimiento, como en la aparición de eventos extremos de sequía y en una mayor vulnerabilidad a las plagas y enfermedades, lo que puede provocar un aumento considerable de la tasa de mortalidad.



- La disminución de las precipitaciones e incremento de la ETP podrían suponer reducciones de la producción de resina, principalmente si estos comportamientos se dan en los meses de verano. Las variaciones interanuales en la producción se encuentran relacionadas positivamente con incrementos en la ETP y el déficit hídrico en primavera.



Imagen31. Hayedo en la provincia de Soria.



LIFE SORIA
ForestAdapt

6. BIBLIOGRAFÍA

Agriadapt, 2017: Adaptación sostenible de sistemas agrarios europeos al cambio climático. Informe de referencia

European Environment Agency, 2020: <https://www.eea.europa.eu/>

IPCC, 2014: Cambio climático 2014: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. Ginebra, Suiza: IPCC. Recuperado de <http://www.ipcc.ch/index.htm>.

Moss, R. et al, 2008: Towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts and response strategies. Informe de la reunión de expertos del IPCC celebrada del 19 al 21 de septiembre de 2007 en Noordwijkerhout (Países Bajos), Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, Ginebra, Suiza, 132 págs.

Moss, R. et al, 2010: The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature*, 463, 747–756.



LIFE SORIA

ForestAdapt

www.soriaforestadapt.es
info@soriaforestadapt.es



CON LA CONTRIBUCIÓN DEL INSTRUMENTO FINANCIERO LIFE DE LA UNIÓN EUROPEA



Con el apoyo de:

