MIDMACC

Mid-mountain adaptation to climate change

LIFE MIDMACC

Mid-mountain adaptation to climate change

LIFE18 CCA/ES/001099

Start date of the project: 1st July 2019

Duration of project: 5 years

Deliverable 12

Report of the vulnerability assessment of mid-mountain areas in Southern Europe

Análisis de la vulnerabilidad de la media montaña a los impactos del cambio climático

Due date of deliverable: 12-2021

Actual submission date: 05-2022

Beneficiary/ies leading this deliverable: OCCC

Dissemination level: Public

Authors

Gemma Cantos, Joan Muñoz, Diana Pascual, Gabriel Borràs.

Cite as

Cantos G, Muñoz J, Pascual D, Borràs G (2022) Report of the vulnerability assessment of mid-mountain areas in Southern Europe. Deliverable 12. LIFE MIDMACC.

Executive summary

This deliverable details the analysis of the vulnerability of the mid-mountain to the impacts of climate change. The analysis has been elaborated from a first phase of compilation and analysis of bibliography on the impacts and risks of climate change in the mid-mountain, and a second phase of participation of the stakeholders that compose the regional committees of the three study areas (Aragon, Catalonia and La Rioja) in the annual meetings that were held in the first quarter of 2022.

The first part of the document describes and analyses the evolution of temperature and precipitation based on historical databases collected in recent decades. Then, the observed and potential risks produced by climate change in different sectors and systems are analysed, including the following categories: land use changes, hydrological cycle and water resources, natural risks, natural systems, economic sectors and social impacts and demography. Finally, a prioritization of the risks is established, based on the contributions collected in the meetings with the regional committees.

As main conclusions, the abandonment of croplands and pastures was identified as one of the most worrying risks in the mid-mountain. This risk has direct implications on some of the risks identified within the other categories, such as the hydrological cycle, natural systems or social impacts and demography. Other of the most important risks identified in the three regions were the reduction of water availability, the increase in forest fires (which in the case of La Rioja was identified as a potential future risk if land management is not maintained), the changes in some pathologies (diseases and plagues) and the lack of management and maintenance of the territory. This last risk is directly related to the process of depopulation of rural areas that has been observed throughout the entire mid-mountain.

This deliverable is finished with a delay of five months regarding the initial date of delivery (December 2021). The assessment was presented and completed by the RC and the SR-WG, and a delay in the 3rd meeting of both groups was needed to produce a completed document to be presented.

Índice

1. Resumen/Summary 5

2. Metodología 7

3. Datos climáticos observados 8

3.1. Aragón 9

3.2. Catalunya 12

3.3. La Rioja 13

4. Tendencias y previsiones futuras 16

4.1. Aragón 18

4.2. Catalunya 20

4.3. La Rioja 23

5. Análisis de riesgos a los impactos del cambio climático 25

5.1. Cambio en los usos del suelo 26

5.1.1. Abandono de tierras de cultivo y de pastos 26

5.1.2. Colonización vegetal 28

5.1.3. Limitación de los caudales en las cuencas de los ríos 35

5.2. Ciclo hidrológico y recursos hídricos 36

5.2.1. Aumento en la evapotranspiración 37

5.2.2. Reducción de la disponibilidad hídrica 37

5.2.3. Reducción de la escorrentía 42

5.2.4. Afectación en la gestión de los recursos hídricos 42

5.2.5. Reducción de la duración y cantidad de períodos de nieve 43

5.2.6. Modificaciones en las características físicas y químicas del agua generada en los sistemas de media montaña 44

5.2.7. Afectación en la calidad y cantidad de las aguas subterráneas 44

5.3. Riesgos naturales 44

5.3.1. Disminución de la cantidad de sedimento transportado en los cursos fluviales 44

5.3.2. Aumento en la frecuencia y la intensidad de las inundaciones 45

5.3.3. Aumento de la torrencialidad 46

5.3.4. Aumento en la frecuencia de episodios naturales de movimiento de tierras 47

5.4. Sistemas naturales 47

5.4.1. Disminución de la biodiversidad 47

5.4.2. Cambios en la distribución de las especies 48
5.4.3. Cambios fenológicos 50
5.4.4. Incremento de las especies invasoras y especies oportunistas 50
5.4.5. Cambios en algunas patologías (enfermedades y plagas) 50
5.4.6. Aumento de los incendios forestales 50
5.4.7. Incremento de episodios de decaimiento forestal 52
5.4.8. Homogeneización de los ecosistemas 53
5.4.9. Afectación de los servicios ecosistémicos 53
5.5. Sectores económicos 54
5.5.1. Alteración de las actividades económicas agrícolas y ganaderas 55
5.5.2. Disminución de la productividad de los pastos y del rendimiento económico y productivo de los rebaños 56
5.5.3. Reducción del atractivo turístico 57
5.5.4. Afectación sobre los deportes y actividades de invierno relacionados con la nieve 58
5.5.5. Afectación en la producción de energía en las centrales hidroeléctricas 58
5.5.6. Afectación en la producción de energía en las centrales eólicas 58
5.5.7. Afectación en las infraestructuras de producción y transporte de energía 59
5.6. Impactos sociales y demografía 59
5.6.1. Falta de gestión y mantenimiento del territorio 59
5.6.2. Desaparición de los paisajes culturales 61
6. Priorización de los riesgos 61
6.1. Cambios en los usos del suelo 62
6.2. Ciclo hidrológico y recursos hídricos 62
6.3. Riesgos naturales 63
6.4. Sistemas naturales 64
6.5. Sectores económicos 65
6.6. Impactos sociales y demografía 65
7. Referencias bibliográficas 67

1. Resumen/Summary

Resumen

Este informe de análisis de la vulnerabilidad de la media montaña a los impactos del cambio climático se ha elaborado a partir de una primera fase de recopilación y análisis de bibliografía sobre los impactos y riesgos del cambio climático en la media montaña, y de una segunda fase de participación de los actores que componen los comités regionales de las tres áreas de estudio (Aragón, Catalunya y La Rioja) en las reuniones anuales que se realizaron en el primer trimestre del 2022.

En una primera parte del documento se describe y analiza la evolución de la temperatura y la precipitación a partir de bases de datos históricas recogidas en las últimas décadas, así como las futuras proyecciones de estos parámetros a escala mundial, europea y regional (las tres áreas de estudio en el proyecto).

A continuación, se valoran los riesgos observados y potenciales producidos por el cambio climático en distintos sectores y sistemas. Los riesgos a los impactos del cambio climático se han clasificado según las siguientes categorías:

- Cambios en los usos del suelo.
- Ciclo hidrológico y recursos hídricos.
- Riesgos naturales.
- Sistemas naturales.
- Sectores económicos.
- Impactos sociales y demografía.

Finalmente se establece una priorización de los riesgos, a partir de las contribuciones recogidas en las reuniones con los comités regionales.

El abandono de tierras de cultivos y de pastos se identificó como uno de los riesgos más preocupantes en la media montaña. Este riesgo tiene implicaciones directas sobre algunos de los riesgos identificados dentro de las otras categorías como por ejemplo el ciclo hidrológico, los sistemas naturales o los impactos sociales y demografía. Otros de los riesgos más importantes identificados en las tres regiones fueron la reducción de la disponibilidad hídrica, el aumento de los incendios forestales (que en el caso de la Rioja se identificaba como un riesgo potencial a futuro si no se mantiene la gestión del territorio), los cambios en algunas patologías (enfermedades y plagas) y la falta de gestión y mantenimiento del territorio. Este último riesgo está directamente relacionado con el proceso de despoblación de las zonas rurales que viene observándose a lo largo de toda la media montaña.

Summary

This report of analysis of the vulnerability of the mid-mountain to the impacts of climate change has been elaborated from a first phase of compilation and analysis of bibliography on the impacts and risks of climate change in the mid-mountain, and a second phase of participation of the stakeholders that compose the regional committees of the three study areas (Aragon, Catalonia and La Rioja) in the annual meetings that were held in the first quarter of 2022.

The first part of the document describes and analyses the evolution of temperature and precipitation based on historical databases collected in recent decades, as well as future projections of these parameters on a global, European and regional scale (the three areas of study in the project).

Then, the observed and potential risks produced by climate change in different sectors and systems are analysed. The risks to the impacts of climate change have been classified according to the following categories:

- Land use changes.
- Hydrological cycle and water resources.
- Natural risks.
- Natural systems.
- Economic sectors.
- Social impacts and demography.

Finally, a prioritization of the risks is established, based on the contributions collected in the meetings with the regional committees.

The abandonment of croplands and pastures was identified as one of the most worrying risks in the mid-mountain. This risk has direct implications on some of the risks identified within the other categories, such as the hydrological cycle, natural systems or social impacts and demography. Other of the most important risks identified in the three regions were the reduction of water availability, the increase in forest fires (which in the case of La Rioja was identified as a potential future risk if land management is not maintained), the changes in some pathologies (diseases and plagues) and the lack of management and maintenance of the territory. This last risk is directly related to the process of depopulation of rural areas that has been observed throughout the entire mid-mountain.

2. Metodología

La metodología para la elaboración de este informe de análisis sobre la vulnerabilidad ha constado de dos fases: una primera a partir de la recopilación y análisis de bibliografía, y una segunda a partir de la participación de los actores que componen los comités regionales de las tres áreas de estudio (Aragón, Catalunya y La Rioja) en las reuniones anuales que se realizaron en el primer trimestre del 2022. Por tanto, la metodología utilizada se basa en una evaluación cualitativa y participada de la vulnerabilidad de la media montaña a los impactos del cambio climático.

La primera fase se ha articulado y desarrollado a partir de la información bibliográfica recopilada por los socios del proyecto, y citada en el último apartado del texto. Gracias a esta bibliografía se ha podido describir y analizar la problemática del cambio climático a partir de bases de datos históricas recogidas en las últimas décadas, así como de las futuras proyecciones de la temperatura y la precipitación. Una parte significativa de la información se ha extraído de organismos nacionales e internacionales y artículos científicos.

En el apartado de datos climáticos observados se presenta la evolución de las temperaturas y precipitaciones en las últimas décadas del área de estudio. Seguidamente, en el apartado de tendencias y previsiones futuras, se muestran las proyecciones en cuanto a temperaturas y precipitaciones según diversos escenarios futuros propuestos en el quinto informe del IPCC: RCP8.5 es el escenario que representa la situación más pesimista, donde no se alcanza ningún acuerdo en la reducción de las emisiones y, por tanto, las concentraciones de CO_2 a finales de siglo serían muy superiores a las actuales; en el escenario RCP6.0, las emisiones alcanzan su punto máximo alrededor de 2080 y después disminuyen; y el escenario RCP4.5 supone el escenario a alcanzar si se aplicara el Acuerdo de París de 2015, y que implica que el compromiso en el control de las emisiones se formaliza a mediados del siglo XXI y, por tanto, la concentración de CO_2 a finales de siglo es superior a la actual.

El apartado de análisis de riesgos representa el grueso del informe, ya que este bloque se basa en analizar los impactos, observados y potenciales, producidos por el cambio climático en distintos sectores y sistemas. A partir de la información extraída de la bibliografía se han clasificado los riesgos a los impactos del cambio climático según las siguientes categorías:

- **Cambio en los usos del suelo**: La modificación de los usos del suelo en territorios de montaña está produciendo modificaciones primordiales en los ecosistemas y sus servicios, llegando a modificar parte de su configuración.
- **Ciclo hidrológico y recursos hídricos**: El análisis se centra en la problemática actual en cuanto a la escasez de los recursos hídricos como consecuencia del cambio climático.
- **Riesgos naturales**: En este apartado se analizan los riesgos que tienen lugar en el medio natural, así como las consecuencias del cambio climático y de la huella antrópica en el territorio de montaña.
- **Sistemas naturales**: Se analiza como el cambio climático afecta a los ecosistemas y la biodiversidad.
- **Sectores económicos**: El presente apartado se centra en examinar cómo el cambio climático y sus consecuencias afectan a los sectores económicos (sector primario, secundario y terciario).
- **Impactos sociales y demografía**: Se analiza como el cambio climático y el nuevo modelo de sociedad han afectado a los territorios de montaña a nivel social y demográfico.

En una segunda fase del análisis y elaboración de este informe, a partir de un primer borrador que se presentó en cada una de las reuniones anuales realizadas en el primer trimestre del 2022 con los comités regionales de los tres territorios de estudio del proyecto MIDMACC, se procedió a realizar un contraste del análisis de vulnerabilidad de la montaña media, en la que los participantes pudieron proponer nuevos riesgos que no aparecían en este primer borrador. A partir de este primer ejercicio de validación e identificación de riesgos, se procedió a trabajar en la priorización del total de riesgos identificados mediante una votación a través de la aplicación informática Menti. Puesto que algunos riesgos se repitieron en distintas categorías de riesgos, y que a veces en alguna categoría de riesgos los participantes proponían riesgos de otras categorías, a la hora de analizar los resultados previamente se procedió a reclasificar y homogeneizar los riesgos.

Por último, en el apartado final, se encuentran las referencias bibliográficas consultadas a lo largo del documento.

3. Datos climáticos observados

El sexto informe sobre el Cambio Climático del Grupo Intergubernamental de Expertos en Cambio Climático (IPCC) refuerza las evidencias de la influencia antrópica sobre el cambio climático y el calentamiento planetario actual. Afirma que la actividad antrópica, y el modelo de crecimiento asociado, es la causa -con una probabilidad del 90%- del cambio climático, que se manifiesta mediante el aumento de la temperatura, el deshielo de los polos y el incremento del nivel del mar, entre otras consecuencias. Estos cambios en el clima son producidos por el consumo sin precedentes de combustibles fósiles y los múltiples cambios y alteraciones en los usos del suelo. En el informe se proyecta un aumento de la temperatura media anual de 1,5°C para los próximos 20 años, aumento del nivel del mar, deshielos... Estas consecuencias a **nivel planetario** son irreversibles y, aunque se produzca una reducción drástica en la emisión de gases de efecto invernadero (GEI), tardará mucho tiempo en volver a los niveles de siglos anteriores debido a la inercia del sistema climático.

El cambio climático es un fenómeno global que afecta a todas las regiones del planeta: las olas de calor, desde 1950, se producen de forma más frecuente e intensa; los episodios de olas de frío son menos frecuentes y de menor intensidad en los últimos 70 años. En cuanto a las precipitaciones extremas, éstas han aumentado tanto en intensidad como en frecuencia, si bien este aumento no es tan estadísticamente significativo en todo el planeta como sí lo es el incremento de la temperatura. La evapotranspiración, consecuencia del aumento de la temperatura y de los períodos de temperaturas extremas, no hace sino aumentar significativamente, y como consecuencia, también la intensidad y frecuencia de sequías agrícolas y ecológicas en los últimos siete decenios.

En el **contexto europeo**, la incidencia del cambio climático está más presente que nunca, siguiendo la dinámica mundial. Los períodos extremos de calor aumentan en frecuencia e intensidad desde 1950; las zonas más afectadas por las olas de calor se producen en las costas del mar Mediterráneo y en el interior del continente (en menor medida) por el efecto de la “continentalidad” (figura 1) (IPCC, 2021a).

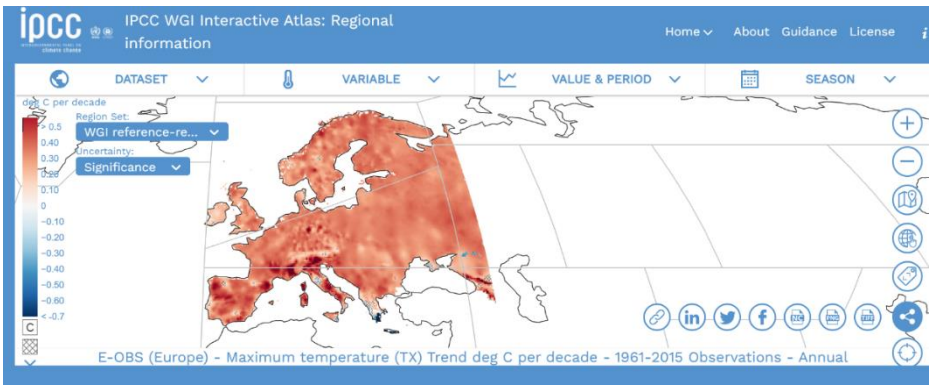


Figura 1. Tendencia de los cambios por decenio en la temperatura máxima (°C) a partir de datos observados para el período 1961-2015. Fuente: [IPCC WGI Interactive Atlas: Regional]

En cuanto a la evolución de los períodos de precipitaciones extremas, cada región del continente tiene unas características específicas y, por lo tanto, no siguen una dinámica generalizada como en el caso de las temperaturas (figura 2). En el centro y norte de Europa se ha observado un aumento significativo de los períodos de precipitaciones extremas, pero en el Mediterráneo este aumento tan significativo no se produce ya que los períodos de sequía han aumentado en la parte occidental y en el centro del continente.

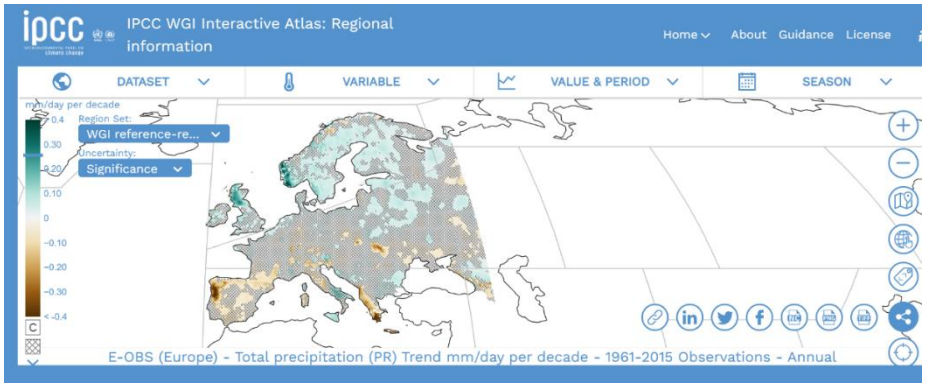


Figura 2. Tendencia de los cambios por decenio en el total de precipitación (mm/día) a partir de datos observados para el período 1961-2015.Fuente: [IPCC WGI Interactive Atlas: Regional]

Por lo que respecta al territorio peninsular se ha observado un aumento significativo en las sequías hídricas, ecológicas y agrícolas. La aridez del clima en el territorio peninsular se ha convertido en habitual en los últimos años. En concreto, en la zona mediterránea encontramos unos inviernos cada vez más suaves y con pocas precipitaciones. El otoño es el período con precipitaciones más abundantes, pero cada vez menos frecuentes. Los períodos estivales son cada vez más calurosos y con cierta humedad por la influencia del mar, pero a la vez con períodos extremos de sequías y de olas de calor frecuentes.

3.1. Aragón

En el territorio aragonés, tal y como se observa en el resto de la Península Ibérica, las temperaturas medias anuales aumentan de forma irregular año tras año hasta la década de los años 80: de la década

de los 50 a la década de los 70 la tendencia ha sido de un aumento generalizado llegando algunos años a una anomalía de 1,7°C. Sin embargo, en la década de los años 70 se observa una ralentización moderada de este aumento en la temperatura media anual, con un máximo de anomalía de -1,4°C (1973). Desde la década de los 80, en la comunidad de Aragón no se ha registrado ninguna anomalía negativa (la última fue en 1984), es decir, que las temperaturas han aumentado respecto a la media anual en comparación con las últimas décadas, con anomalías generalizadas de entre 0,5 y 1,5°C, llegando a una anomalía de más de 2°C en la década de 2010 (figura 3). Estos datos muestran claramente que la tendencia presenta un aumento notable en las temperaturas medias del territorio aragonés (AEMET, 2020).

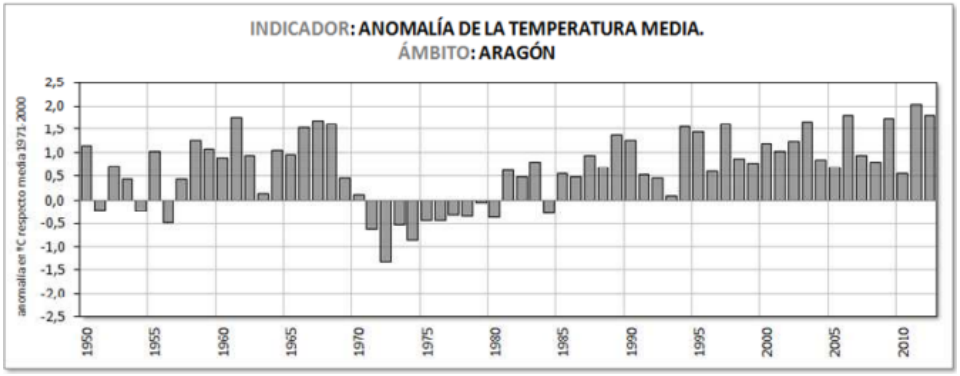


Figura 3. Anomalía de las temperaturas medias en Aragón. Fuente: AEMET (2020a)

En cuanto a la tendencia de las precipitaciones en el territorio aragonés, ésta es más irregular, puesto que en la década de los años 50 era negativa, llegando a -30% de anomalía, pero desde los años 60 hasta los años 90 la tendencia generalizada ha sido de aumento en las precipitaciones anuales, llegando a aumentar en un 40% en 1969. A partir de los años 90, Aragón ha sufrido un cambio generalizado en las dinámicas pluviométricas, ya que las tendencias han sido negativas, llegando a porcentajes próximos al -30% en los últimos años (figura 4). Las tendencias actuales de disminución de las precipitaciones son menos significativas que las tendencias de aumento de las temperaturas medias, pero se espera que la tendencia a la baja de las precipitaciones permanezca en la misma dinámica.

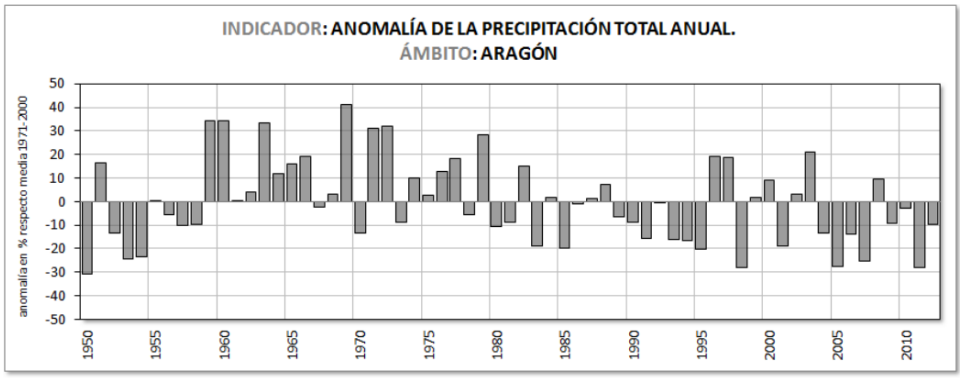


Figura 4. Anomalía de la precipitación total anual de Aragón. Fuente: AEMET (2020a)

Por lo que respecta al Pirineo central (aragonés), la tabla 1 muestra las series de 50 años de precipitaciones y temperaturas medias, temperaturas máximas y mínimas en tres estaciones meteorológicas (Khorchani et al., 2021b). La media anual de precipitaciones oscila entre 1.846 mm en la estación 1 y 824 mm en la estación 3, reflejando un gran gradiente topográfico entre la parte superior y la parte inferior de las cuencas hidrográficas. Las precipitaciones están ampliamente concentradas durante el otoño y la primavera, mientras que los meses de verano son relativamente secos. La gran variación de las precipitaciones en los años analizados (desde un 18% hasta el 25,6% de variación), puede atribuirse principalmente a las grandes variaciones durante las estaciones húmedas. La temperatura máxima del aire oscila entre 13,5°C y 18°C con una variación baja en los años analizados (con un máximo de variación de 8,8% en la estación 1) en comparación con las temperaturas mínimas, cuyo rango de temperatura está alrededor de los 5°C y con una variación de aproximadamente 19%. En la tabla 1 se muestran las diferencias entre temperaturas máximas y mínimas, pudiendo apreciarse que, en un rango de 350 metros, aproximadamente, las temperaturas máximas varían hasta 4,5°C (entre la estación 1 y 3), mientras que las temperaturas mínimas varían solo 1°C (entre la estación 2 y 3).

	Altitude (m)	Rain (mm)	c.v (%)	Tmax (°C)	c.v (%)	Tmin (°C)	c.v (%)
Station 1	1295	1846	18	13.5	8.8	4.8	19.3
Station 2	999	1246	25.6	16.5	4	4.1	19
Station 3	951	824	21.1	18	4.5	5.1	19.4

Tabla 1. Altitud, precipitación media anual (rain), temperatura máxima del aire (Tmax), temperatura mínima del aire (Tmin), coeficiente de variación (c.v). Las 3 estaciones se ubicaron en la cuenca de Estarrún. Fuente: Khorchani et al. (2021b)

La evolución de las temperaturas marca una tendencia representativa en el territorio estudiado (Pirineo central, Aragón) y pueden realizarse proyecciones de temperaturas con los datos de la evolución en décadas anteriores. En la figura 5 se muestra la evolución de las temperaturas y precipitaciones en las últimas décadas en la región pirenaica central.

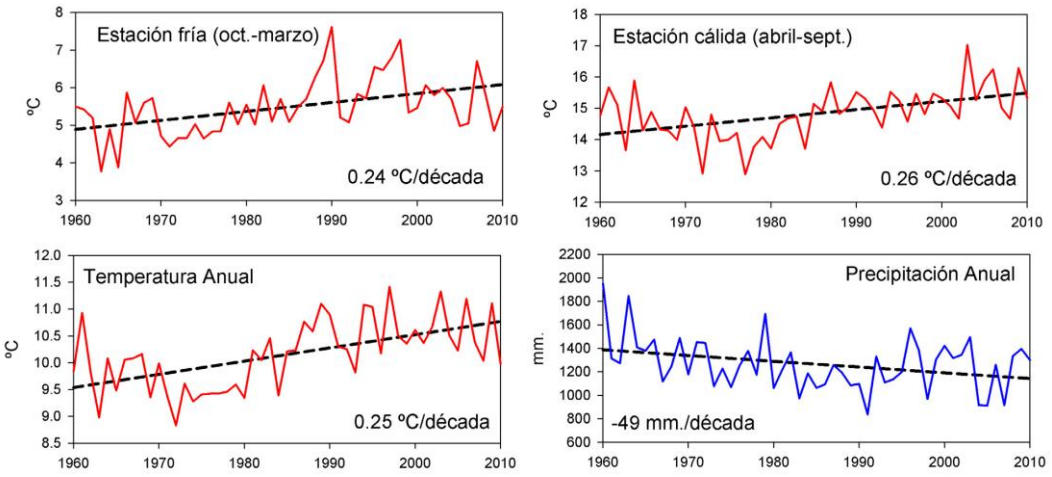


Figura 5: Evolución de la temperatura en las estaciones fría, cálida i anual desde 1960 a 2010 considerando la media de la temperatura en siete observatorios de la comunidad de Aragón (Canfranc, Torla, Ansó, Aratorés, Castiello de Jaca, Biescas y Yésero) y precipitación total anual media desde 1960 a 2010 en los observatorios de Canfranc, Aratorés, El Pueyo de Jaca, Biescas, Boltanya, Parzan, Saravillo, Sesué y Eriste. Fuente: García-Ruiz et al. (2015)

La figura 5 muestra el aumento de la temperatura media anual, con un incremento de 0,25°C por década entre 1960 y 2010. En la estación fría se produce un incremento de 0,24°C por década, y en la estación cálida las temperaturas aumentan en un 0,26°C por década, todos ellos estadísticamente significativos en el umbral de 0,05. Mientras que las precipitaciones anuales disminuyen en 49 mm por década, siendo datos poco representativos. Se cree que esta disminución en las precipitaciones se debe a la heterogeneidad del relieve, por tanto, el patrón de disminución pluviométrico se considera general (García-Ruiz et al., 2015).

3.2. Catalunya

En Catalunya sigue el aumento tanto de las temperaturas medias como de las máximas y mínimas. De acuerdo con el Boletín Anual de Indicadores Climáticos (BAIC) del Servicio Meteorológico de Catalunya, el año 2020 fue el año más cálido desde 1950 con una anomalía de +1,04°C. Es el primer año que en el territorio catalán se registra una anomalía superior a +1, desde 1950, aunque desde 2014 se han registrado anomalías mínimas de + 0,8°C. Como puede apreciarse en el gráfico de la figura 6 sobre la evolución media anual de la temperatura (1950-2020), la anomalía tiene una tendencia a aumentar con el paso de los años. A partir de 1990, la línea de tendencia aumenta significativamente, del orden de hasta 0,26°C por cada 10 años, siendo la última década del orden de 0,40°C.

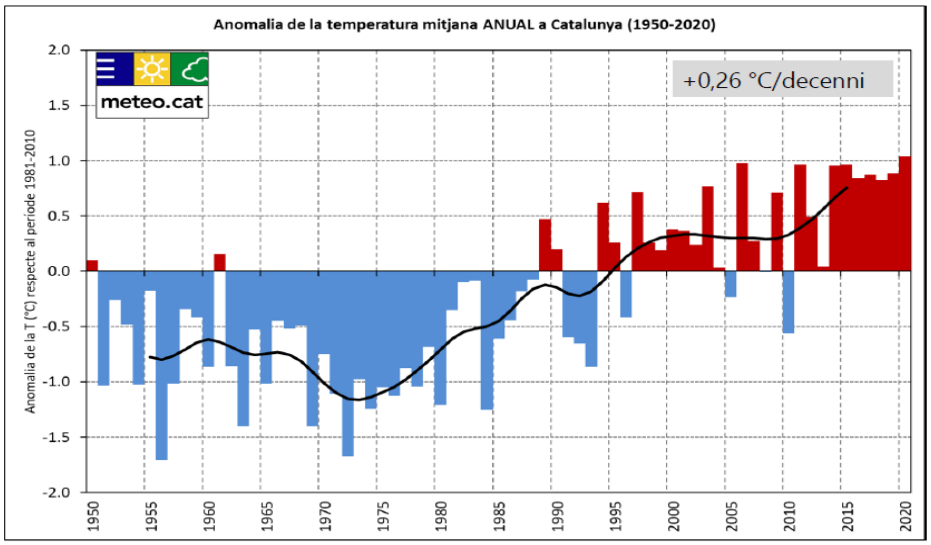


Figura 6. Evolución de la temperatura media actual en Catalunya. Fuente: METEOCAT (2021a)

La figura 7 presenta las anomalías de precipitación media anual de los últimos 70 años, con una tendencia no estadísticamente significativa de -1,2% por decenio. Sí es estadísticamente significativa la reducción de la precipitación en verano, superior en algunas zonas de Catalunya al 5% por decenio. Esto significa que ahora, en verano, hay hasta un 40% menos de precipitación que en la década de 1950, tal y como se ilustra en la figura 8.

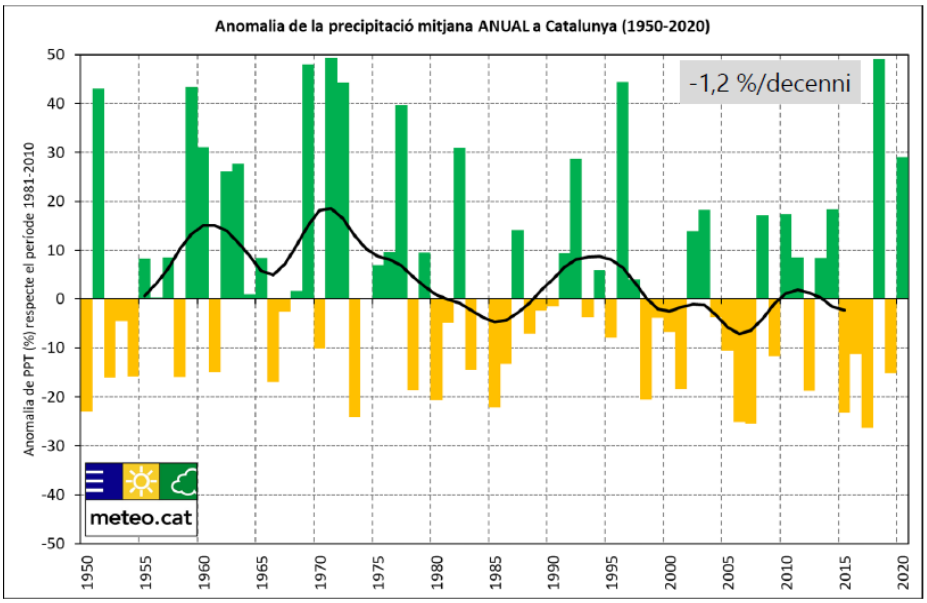


Figura 7. Evolución de la precipitación media actual en Catalunya. Fuente: METEOCAT (2021a)

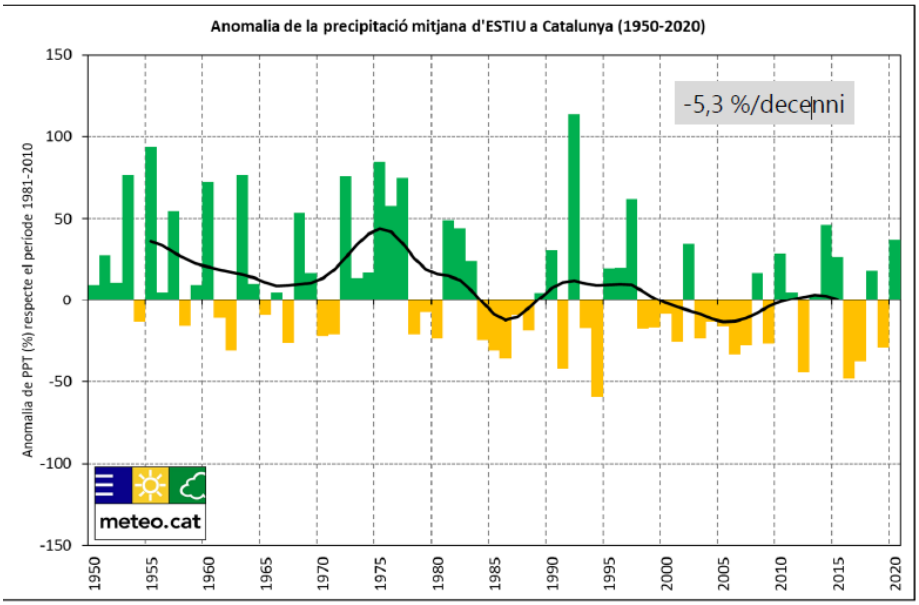


Figura 8. Evolución de la precipitación media de verano en Catalunya. Fuente: METEOCAT (2021a)

3.3. La Rioja

En el territorio riojano, las temperaturas medias anuales muestran una tendencia de crecimiento, sobre todo en las últimas décadas, tal y como se observa también en el resto de la Península Ibérica. La figura 9 muestra cómo el aumento de las temperaturas medias en La Rioja, a partir de la década de los 50, ha sido irregular, ya que en el año 1961 la media de la temperatura llegaba hasta los 13°C mientras que en el 1963 se aproximaba a los 11°C. Esta irregularidad en el aumento de las temperaturas medias se observó hasta la década de los 90, a partir de la cual la línea de tendencia ha

sido claramente de crecimiento. Este aumento producido a partir de 1990, ha supuesto que la media de las temperaturas se situara entre los 13°C y 14°C, con años que superan incluso los 14°C. Con el paso de las décadas la línea de tendencia en La Rioja ha sufrido un crecimiento cada vez más exponencial (Sas Sánchez et al., 2008).

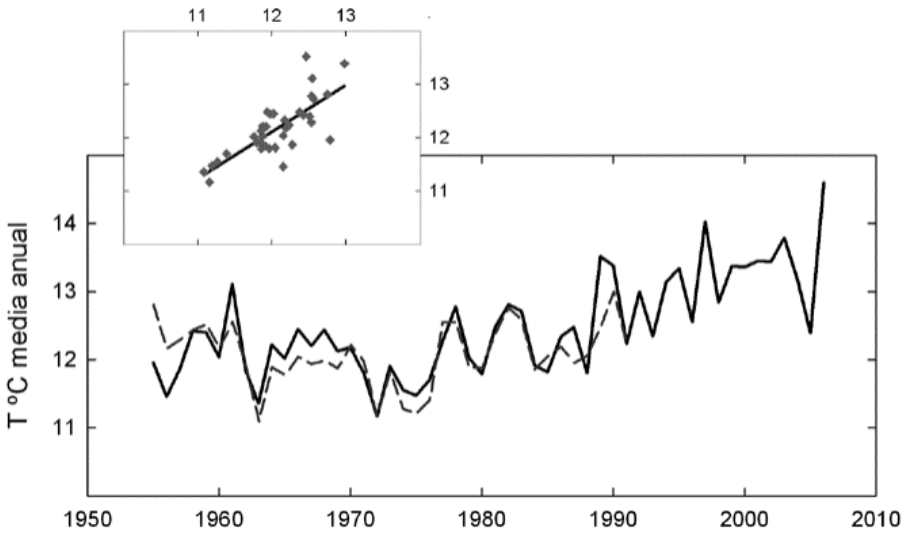


Figura 9: Temperatura media anual para la comunidad autónoma de La Rioja. Fuente: Cuadrat et al. (2008)

A diferencia de la temperatura, la precipitación media anual no ha variado significativamente a lo largo de las últimas seis décadas (entre 1950 y 2012) en la mayor parte del territorio de la Denominación de Origen Calificada Rioja (DOCa Rioja, figura 10). La elevada variabilidad interanual en la precipitación es una de las causas de esta ausencia de variación. Solamente se observa un descenso significativo de la precipitación media anual de entre 60 y 120 mm H_2O en una estrecha franja siguiendo el curso del río Ebro, desde Mendavia hasta Tormantos. Esta franja se amplía hasta los 10 km al sur del río Ebro en la zona de Briones, Haro.

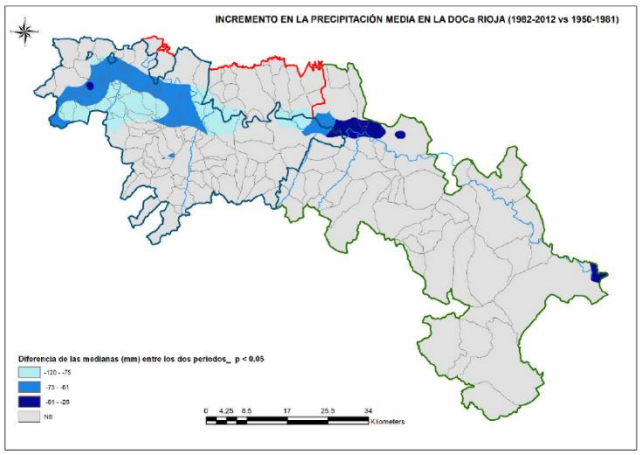


Figura 10: Distribución de las diferencias de los valores de las medianas de la precipitación media anual en la Denominación de Origen Calificada Rioja entre los períodos 1982–2012 respecto 1950–1981. Zonas en gris no mostraron diferencias significativas para p<0.05. Fuente: Diago et al. (2019)

Desde el punto de vista de la estacionalidad, la mayor variabilidad en la precipitación entre los dos subperiodos de 30 años estudiados, 1950-1981 y 1982-2012, se observó en invierno (figura 11) y otoño (figura 12), con una tendencia al descenso de la precipitación, que sin embargo no afectó de forma similar en todo el territorio de la DOCa Rioja, ni derivó en un descenso significativo de la precipitación anual.

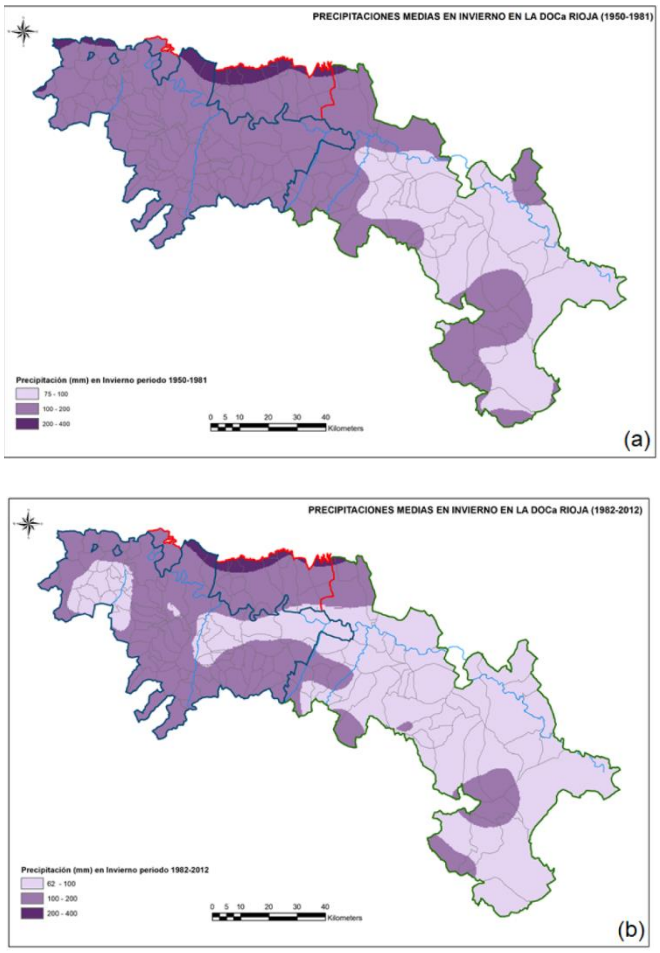


Figura 11: Distribución de la precipitación media en INVIERNO en la Denominación de Origen Calificada Rioja en el período comprendido (a) entre 1950-1981, y (b) entre 1982-2012. Fuente: Diago et al. (2019)

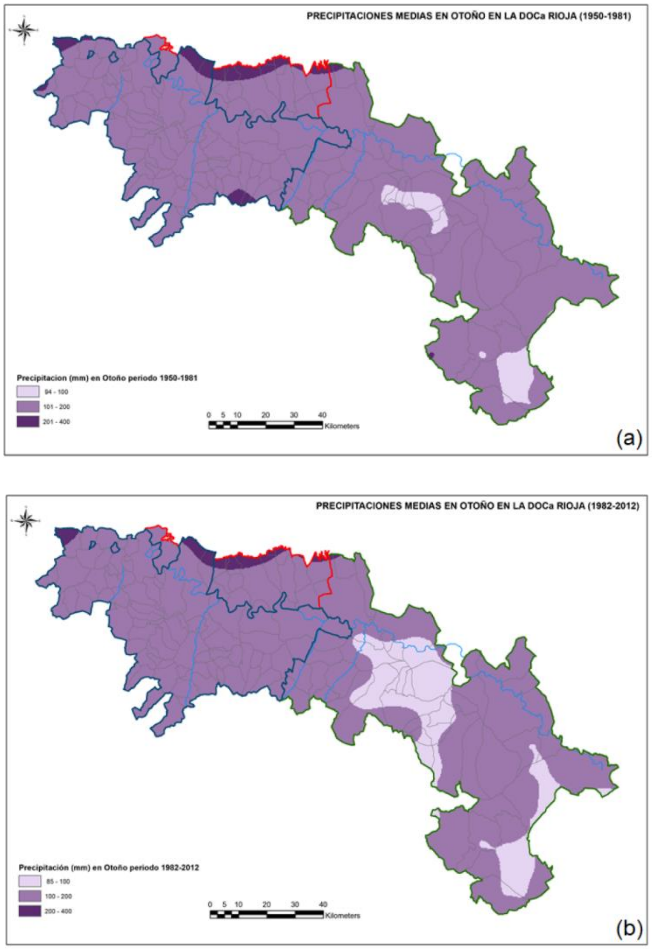


Figura 12: Distribución de la precipitación media en OTOÑO en la Denominación de Origen Calificada Rioja en el período comprendido (a) entre 1950-1981, y (b) entre 1982-2012. Fuente: Diago et al. (2019)

4. Tendencias y previsiones futuras

Según el sexto informe del IPCC, con las políticas actuales de mitigación y con las prácticas de crecimiento actuales, las emisiones, **a nivel mundial**, de los gases de efecto invernadero (GEI) seguirán aumentando en los próximos decenios. Esta emisión continuada de GEI provocará un grado de calentamiento aún mayor (respecto a las anteriores décadas) y cambios que serán permanentes durante mucho tiempo en el sistema climático y sus componentes. Por tanto, aumentará el riesgo y la probabilidad de impactos graves e irreversibles tanto en los ecosistemas como en las personas. Según el IPCC, es vital reducir de forma notable las emisiones de GEI y aplicar una buena adaptación a la situación actual para limitar los riesgos provocados por el cambio climático.

Con cada incremento del calentamiento global, los cambios en la temperatura media regional (figura 13) y la precipitación (figura 14) se hacen mayores, y los cambios en los extremos siguen aumentando. Por ejemplo, cada incremento de 0,5°C adicional provoca aumentos en la intensidad y frecuencia de los extremos cálidos claramente perceptibles, incluidas las olas de calor y las fuertes precipitaciones,

así como sequías agrícolas y ecológicas en algunas regiones. Habrá una ocurrencia cada vez mayor de algunos fenómenos extremos sin precedentes en el registro de observación con calentamiento global adicional, incluso a 1,5 °C de calentamiento global.

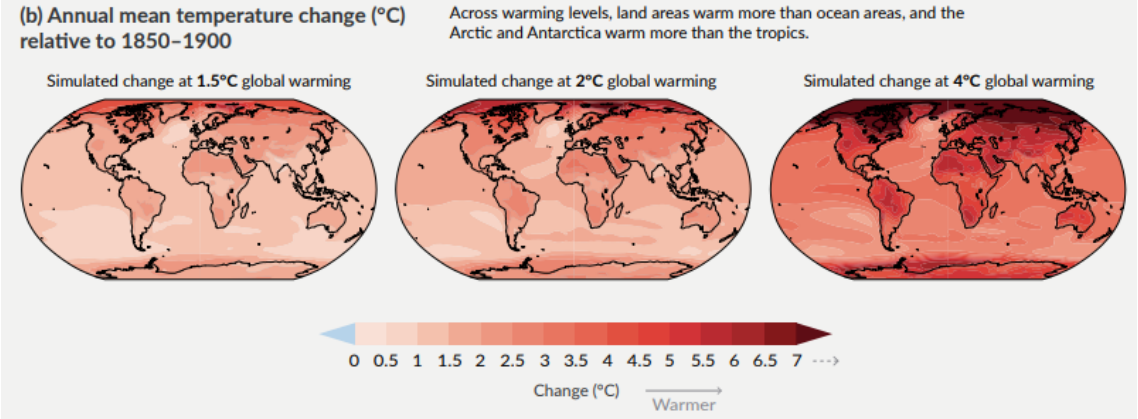


Figura 13. Cambios en la temperatura media anual (°C) en escenarios de calentamiento global de 1,5°C, 2°C y 4°C (cambio de la temperatura media global en superficie en 20 años respecto al período 1850–1900). Fuente: IPCC (2021c)

Los cambios en las precipitaciones en un mundo que se calienta continuamente no serán uniformes. Es muy probable que los fenómenos de fuertes precipitaciones se intensifiquen y se vuelvan más frecuentes en la mayoría de las regiones con calentamiento global adicional. A escala global, se prevé que los fenómenos de precipitaciones diarias extremas se intensifiquen en aproximadamente un 7% por cada 1°C de calentamiento global.

Con un calentamiento global de 2°C y superior, el nivel de confianza y la magnitud del cambio en las sequías y las precipitaciones intensas y medias aumentan en comparación con los de 1,5°C (figura 14). Se prevé que las fuertes precipitaciones y las inundaciones asociadas sean más intensas y frecuentes en las islas del Pacífico y en muchas regiones de América del Norte y Europa. Se prevé que varias regiones de África, América del Sur y Europa experimenten un aumento en la frecuencia y/o gravedad de las sequías agrícolas y ecológicas.

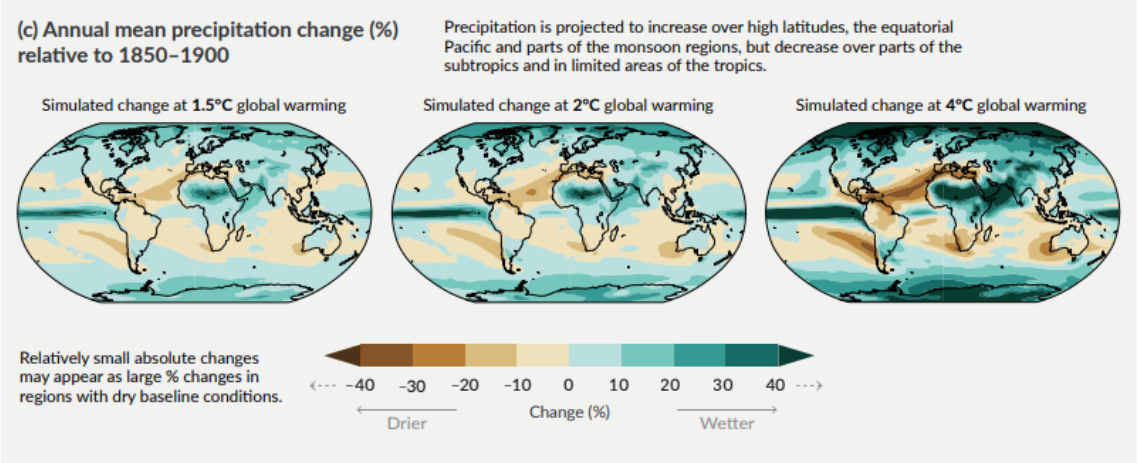


Figura 14. Cambios en la precipitación media anual (%) en escenarios de calentamiento global de 1,5°C, 2°C y 4°C (cambio de la temperatura media global en superficie en 20 años respecto al período 1850–1900). Fuente: IPCC (2021c)

Según el IPCC, la temperatura de **Europa** aumentará a un mayor ritmo que la media global y se espera un aumento significativo en la frecuencia y en la intensidad de las olas de calor (IPCC, 2021b). En cuanto al Mediterráneo, se afirma:

- Un aumento de la aridez y de los incendios.
- Un aumento de les temperaturas medias anuales de un mínimo de 2°C en los próximos 50 años debido a la combinación de las consecuencias del cambio climático (calentamiento global, temperaturas extremas, aumento de la aridez y las sequías, disminución de las precipitaciones, aumento de incendios, niveles medios y extremos del mar, disminución de niveles de nieve y disminución de la velocidad del viento).

Las observaciones extraídas del IPCC a partir de los datos observados ya indicaban que la aridez y las sequías en ámbitos ecológicos, agrícolas e hidrológicos eran una realidad, pero en las proyecciones más actuales esta situación empeorará, incluso en los escenarios más optimistas.

En el Mediterráneo se espera que aumenten las temperaturas a un ritmo superior respecto a la media global, por eso esta región europea se considera un "*hot spot*" (punto caliente) del planeta. Junto a las disminuciones de las precipitaciones, en la zona mediterránea las sequías y la aridez presentan un escenario propicio e idóneo para desarrollar incendios forestales que supondrán un reto, tanto en la gestión de riesgos como en la gestión de recursos hídricos (IPCC, 2021b).

4.1. Aragón

Las temperaturas del territorio aragonés tienden a aumentar, tanto las máximas como las mínimas, tal y como se observa en el resto de la península (AEMET, 2020). Este aumento de la temperatura se da en todos los escenarios propuestos por el IPCC mostrados en la figura 15, desde el escenario RCP4.5 hasta el RCP8.5. En el caso de las temperaturas máximas, puede apreciarse que hasta la década de 2040 los tres escenarios coinciden, generalmente, en un aumento cercano a 2°C. A partir de 2040 el escenario RCP8.5 se dispara, realizando un crecimiento significativamente mayor respecto a los otros dos escenarios, con aumentos de más de 6°C. Los escenarios RCP6.0 y 4.5 mantienen dinámicas similares de aumento moderado, pero en la década de 2080 la tendencia del escenario RCP6.0 llega a un aumento de 3°C, mientras que en el escenario RCP4.5 el aumento es de aproximadamente 2,5°C.

Las temperaturas mínimas siguen un patrón similar a las temperaturas máximas, pero con un aumento generalizado menor. Hasta la década de 2040 los tres escenarios se sitúan en una posición similar, cercana a un aumento de 1,5°C. En los siguientes años el escenario RCP8.5 tiende a alcanzar los 5°C de aumento en el año 2100. A partir del año 2040 y hasta el 2080, los escenarios RCP4.5 y 6.0 seguirán una tendencia similar. A partir de entonces se espera un calentamiento de 3°C y 2°C para los escenarios RCP6.0 y RCP4.5 respectivamente (figura 15).

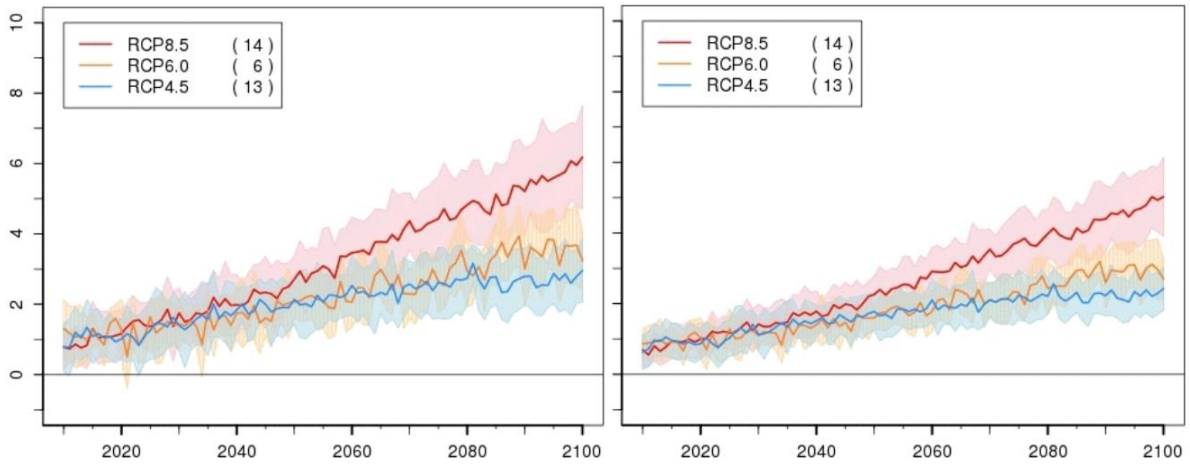


Figura 15. Proyecciones de las temperaturas máximas (gráfica izquierda) y temperaturas mínimas (gráfica derecha), con tres escenarios diferentes propuestos por el IPCC (RCP4.5, RPC6.0, RPC8,5) para Aragón (2020-2100). Fuente: AEMET (2020a)

Las tendencias de las precipitaciones en la comunidad de Aragón muestran una disminución poco representativa a corto y medio plazo, en los tres posibles escenarios propuestos por el IPCC. El rango de cambio de la precipitación hasta 2060 disminuye entre un 0 y 5% en los tres escenarios, mientras que de 2060 hasta 2100, el escenario RCP4.5 se mantiene entre el 0-5% de disminución, y los escenarios RCP6.0 y RCP8.5 siguen patrones de tendencia similar llegando a disminuir sus valores en un máximo de 10% (figura 16). El IPCC afirma que no existe consenso total en cuanto a las proyecciones de precipitación en las cordilleras cercanas a la región mediterránea. La gran irregularidad y variabilidad anual en las precipitaciones hace muy difícil poder realizar unas proyecciones con alto nivel de confianza.

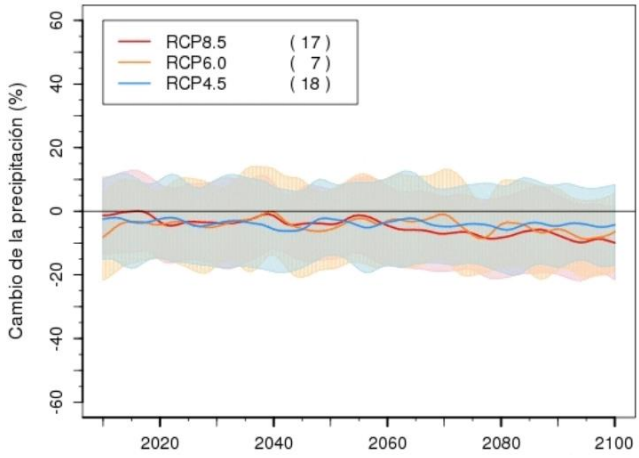


Figura 16. Proyecciones de las precipitaciones anuales según los escenarios propuestos por el IPCC (RCP4.5, RPC6.0, RPC8,5). Fuente: AEMET (2020a)

La figura 17 muestra los cambios proyectados (estacionales y anuales) en la precipitación y temperatura en las cuencas superiores de los ríos aragoneses. El presente modelo indica un aumento generalizado de temperaturas para el período 2021-2050 con relación al período de control (1971-2000). El calentamiento esperado oscila entre el 1,5°C en primavera y los 2,4°C en verano, con una media anual de 1,8°C. Este gráfico indica también una disminución en las precipitaciones medias

relativas de un -10% respecto al período de control, con una mayor disminución en verano (-18%) y una menor disminución en invierno (-4%). Por tanto, la estación más afectada por el cambio climático en las cuencas superiores aragonesas sería el verano, con un aumento de más de 2°C de media, y con una disminución cercana al -20% de las precipitaciones medias. Mientras que las estaciones menos afectadas por el cambio climático serían invierno y primavera (López-Moreno et al., 2014b).

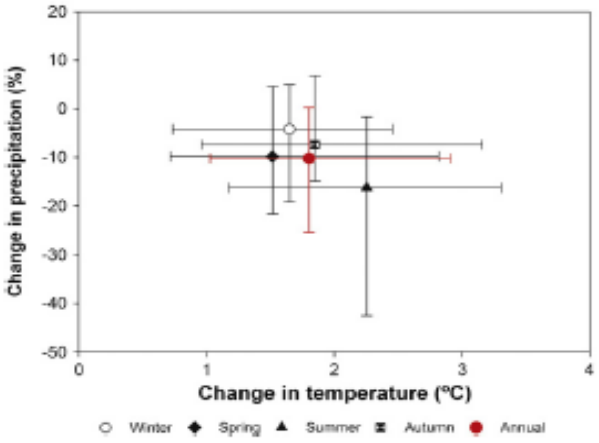


Figura 17. Cambio esperado de temperatura y precipitación estacional y anual en la cuenca del río Aragón (Pirineo Central) para el período 2021-2050 en relación al período de control (1970-2000). Los puntos representan la media entre modelos y las barras superior e inferior, derecha e izquierda indican los percentiles 75 y 25, respectivamente. Fuente: López-Moreno et al. (2014b)

4.2. Catalunya

En el territorio catalán, según las proyecciones realizadas para los próximos decenios por el Servicio Meteorológico de Catalunya, se espera que la temperatura media, mínima y máxima aumenten independientemente del escenario que se presente (optimista o pesimista) de acuerdo con el informe de Escenarios Climáticos Regionalizados en Catalunya (ESCAT, 2020). El aumento de las temperaturas se observa tanto a escala anual como a escala estacional. Estos incrementos de temperatura comportarían que los valores ahora típicamente veraniegos se extenderían hacia finales de la primavera, así como al inicio del otoño. Las temperaturas aumentaran a un ritmo superior al observado durante los últimos decenios. Desde el año 1970 las temperaturas medias han aumentado, llegando a un valor de anomalía de 1°C alrededor del año 2000 (figura 18). Pero a partir de la entrada del nuevo milenio el crecimiento de la temperatura media anual se ha disparado, y la tendencia de los diferentes escenarios indica que en el 2050 el aumento de las temperaturas llegue hasta un valor de 3°C de anomalía.

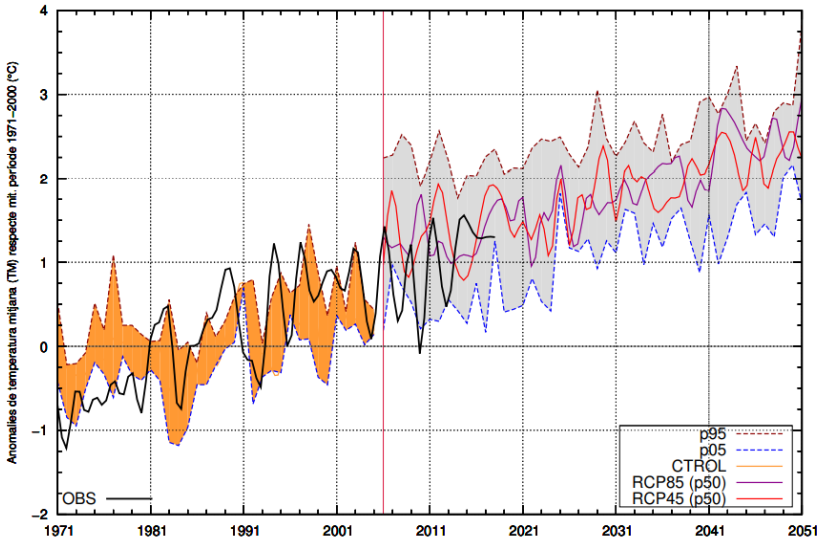
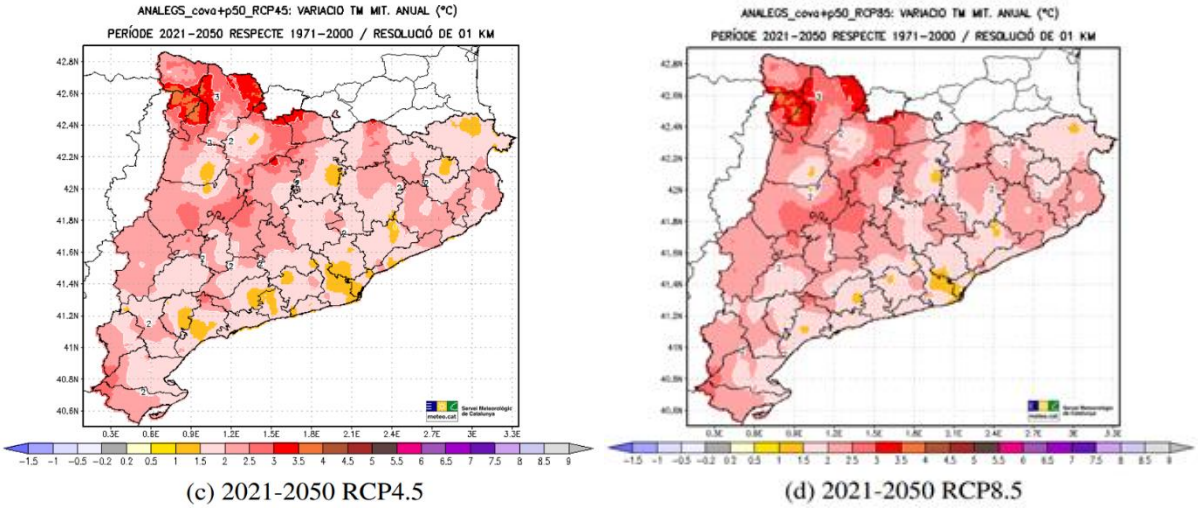


Figura 18. Evolución temporal proyectada (1971-2050) de las anomalías (en °C) medias anuales de temperatura media anual (TMA) para el territorio de Catalunya. Fuente: METEOCAT (2021b)

Se pueden diferenciar tres regiones climáticas en el territorio catalán: Pirineos, zona del interior y zona litoral y prelitoral. La región más afectada por el aumento de temperaturas será la zona pirenaica, con gran incidencia en el Pirineo occidental. En cambio, se espera que la región menos afectada sea la del litoral y prelitoral, puesto que los aumentos proyectados serían del valor de 0,5°C menores respecto al interior del país, y alrededor de 1°C menos en comparación con la zona de los Pirineos. Se espera que el rango de variabilidad sobre las proyecciones de temperatura para la zona de los Pirineos sea mucho mayor respecto a las zonas litorales (y prelitorales) y zonas del interior (METEOCAT, 2021b).

Según el escenario de emisiones más intensivo (RCP8.5), las proyecciones sobre las temperaturas medias anuales (TMA) podrían situarse en torno a los +3,5°C a mediados del siglo XXI para el territorio interior (figura 19). Se prevé que se sitúe cercano a los +3,5°C en las zonas litorales y prelitorales, pero en la zona de los Pirineos se espera que pueda aumentar la temperatura hasta los +4°C, siendo la zona más afectada de Catalunya ante la subida de temperaturas. Las proyecciones hacia el año 2050 de incrementos de la temperatura máxima (+4°C) son mayores que los de la temperatura mínima (+3,5°C) según el escenario de emisiones más intensivo (RCP8.5). Los aumentos proyectados de temperatura a escala anual son estadísticamente significativos, puesto que poseen un nivel de confianza del 99%. Por tanto, se proyecta una temperatura media anual (TMA) con una tendencia continua de +0,13°C cada diez años según el escenario de emisiones RCP4.5, y de +0,41°C cada diez años según el escenario de emisiones más intensivo (RCP8.5). Las temperaturas máximas (TX) medias anuales aumentarán 0,15°C por decenio según RCP4.5, y 0,48°C por decenio según el escenario RCP8.5. Por último, la temperatura

mínima (TN) media anual sufrirá un crecimiento por decenio de 0,11°C según RCP4.5, mientras que según el escenario RCP8.5 aumentará un total de 0,35°C cada 10 años.



(c) 2021-2050 RCP4.5 (d) 2021-2050 RCP8.5

Figura 19. Variación proyectada (en °C) de la Temperatura Media (TM) anual respecto al período de referencia 1971-2000, para el período 2021-2050 y los escenarios de emisiones RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). Fuente: METEOCAT (2021b)

Las proyecciones en cuanto a la precipitación presentan una gran irregularidad y variabilidad anual (figura 20), es decir, en Catalunya se producirán años lluviosos y años muy secos de forma sucesiva, tal y como ha ocurrido hasta ahora. Por tanto, es difícil encontrar una tendencia marcada y que nos permita extraer unas conclusiones robustas. El anterior informe del IPCC menciona que en el Mediterráneo no existe un acuerdo unánime de lo que ocurrirá en cuanto a las precipitaciones debido a las irregularidades en las mismas en los últimos años. La evolución de las precipitaciones (PPT) medias anuales es incierta e irregular, pero parece haber una pequeña tendencia de disminución en la proyección de la precipitación media anual, sobre todo en el escenario RCP8.5.

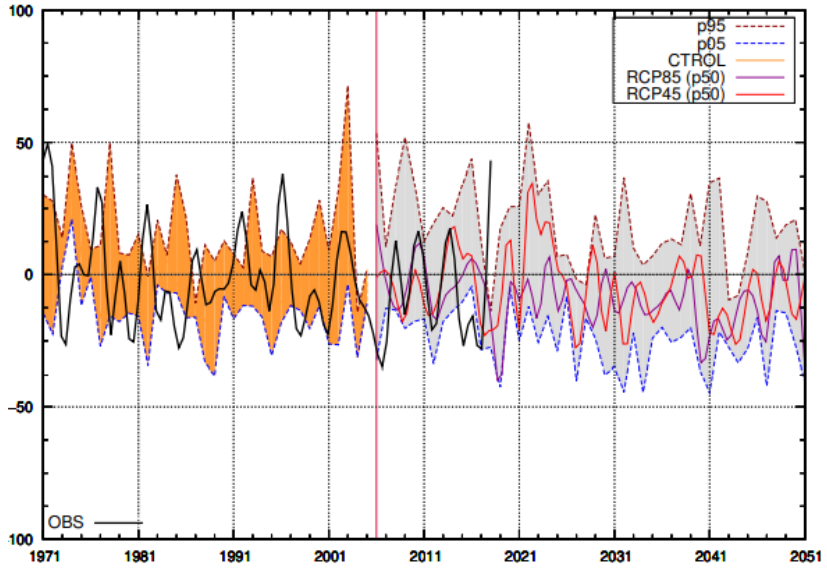


Figura 20. Evolución temporal proyectada (1971-2100) de las anomalías (en %) de la precipitación (PPT) media anual respecto al valor medio del período de control (1971-2000) para el territorio de Catalunya. Fuente: METEOCAT (2021b)

La disminución de las precipitaciones será importante en todo el territorio (figura 21), sobre todo en verano, pero con una incidencia considerable en las zonas litoral y prelitoral en otoño. A mediados de siglo, estas reducciones, según el escenario RCP8.5, podrían obtener valores que lleguen a -40% en todo el territorio. La precipitación media anual en primavera podría alcanzar una reducción del 45%. La estación del año más afectada según las proyecciones del Servicio Meteorológico de Catalunya sería el verano con una reducción de hasta un 75% de las precipitaciones medias anuales.

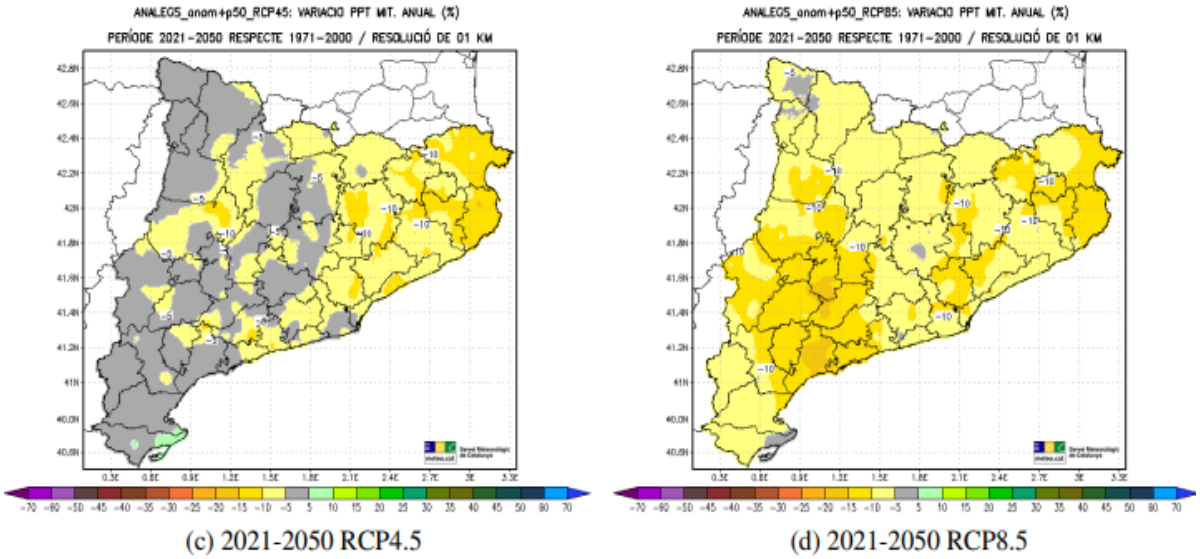


Figura 21. Variación proyectada (en %) de la Precipitación (PPT) media anual respecto al período de referencia 1971-2000, por el período 2021-2050 y los escenarios de emisiones RCP4.5 (izquierda) y RCP8.5 (derecha). Fuente: METEOCAT (2021b)

En el escenario de emisiones moderado (RCP4.5) se observa una línea de tendencia negativa, puesto que los valores son negativos, excepto en el Delta del Ebro. Sin embargo, esta tendencia negativa es regular y continuada sin valores muy extremos. En cambio, en el escenario de emisiones RCP8.5, las zonas donde la tendencia se proyecta entre +5% y -5% es en el Delta del Ebro, el Pirineo occidental y algún punto de la Catalunya central. La tendencia generalizada de las precipitaciones de este escenario comprende entre -5% y -15%, llegando a -20% en puntos de la costa catalana (litoral y prelitoral gerundense) y puntos del centro del país (METEOCAT, 2021b).

4.3. La Rioja

Las temperaturas futuras en la región riojana tenderán a aumentar en los próximos años, tanto las máximas, de forma más pronunciada, como las mínimas, de forma más moderada. El aumento en las temperaturas puede apreciarse en la figura 22 en los tres escenarios climáticos (RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5). En el caso de las temperaturas máximas, la tendencia de los tres escenarios hasta 2040 es similar, con un aumento de entre 1 y 2°C. A partir del año 2040 el escenario RCP8.5 es el que más aumenta, llegando al 2100 a un crecimiento de las temperaturas máximas de aproximadamente 6°C. El escenario RCP6.0 tiene un crecimiento irregular, pero con picos máximos de 4°C en la década de 2090, acercándose más al escenario RCP4.5 que al escenario RCP8.5. En cuanto al escenario RCP4.5, hasta 2040, la tendencia es similar a los otros escenarios, pero en términos generales, va frenando su crecimiento, llegando a 2100 con un aumento de aproximadamente 3°C (AEMET, 2020).

Por otra parte, las temperaturas mínimas sufren crecimientos más moderados, ya que existe una menor diferencia de crecimiento entre los tres escenarios climáticos. Los tres escenarios siguen una evolución similar de crecimiento de alrededor de 1.5°C hasta la década de 2040, donde a partir de este período el escenario RCP8.5 se bifurca del resto. El escenario RCP8.5 es el que sufre mayor aumento, con un crecimiento de 4.5°C en las temperaturas mínimas. El escenario RCP6.0 sigue la misma línea de tendencia que el escenario RCP4.5 hasta, aproximadamente, en el año 2080 donde su crecimiento se ve potenciado respecto al otro escenario, llegando al período 2080-2100 a picos de aumento en las temperaturas mínimas de 3°C. Por último, el escenario RCP4.5 sigue la tendencia general hasta el período de 2040, a partir de ahí el crecimiento es moderado, ya que llega al año 2100 con un aumento de 2°C en las temperaturas mínimas, con picos inferiores en la década de 2090.

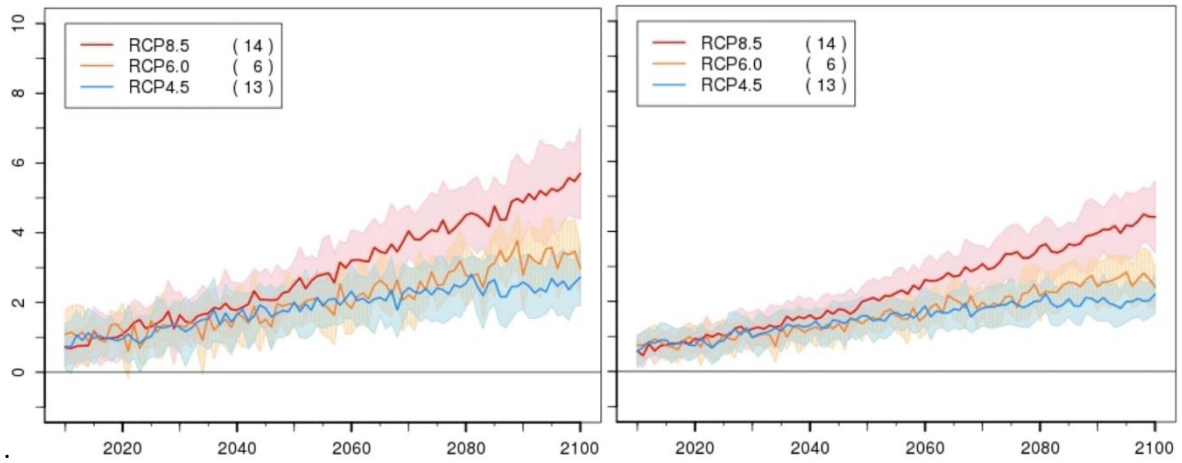


Figura 22. Proyecciones de las temperaturas máximas (gráfico izquierda) y temperaturas mínimas (gráfico derecha) de La Rioja, con 3 escenarios diferentes (RCP8.5, RCP6.0, RCP4.5). Fuente: AEMET (2020b)

Las tendencias futuras en cuanto a la precipitación en la región riojana son de disminuciones moderadas según los tres escenarios propuestos por el IPCC. En la figura 23 se puede apreciar que en los tres escenarios de evolución se observa una ligera disminución de las precipitaciones con el paso de los años. El escenario RCP8.5 es el que muestra una disminución en la precipitación más continuada a partir del año 2011, llegando a disminuir en torno a un 15% entre 2090 y 2100. El escenario RCP6.0 tiene una dinámica similar a la del escenario RCP8.5 pero en el año 2060 su disminución se verá frenada, llegando al año 2100 con una disminución en las precipitaciones de entre un 5-10%. Por último, el escenario RCP4.5 es el más irregular, ya que en 2040 se sitúa en torno a -10%, pero en el período comprendido entre 2060-2080 sufre un crecimiento y decrecimiento irregular en las precipitaciones. Por último, a partir del año 2085 la tendencia será de crecimiento por el escenario RCP4.5, llegando a 2100 con valores cercanos a -5% (AEMET, 2020b).

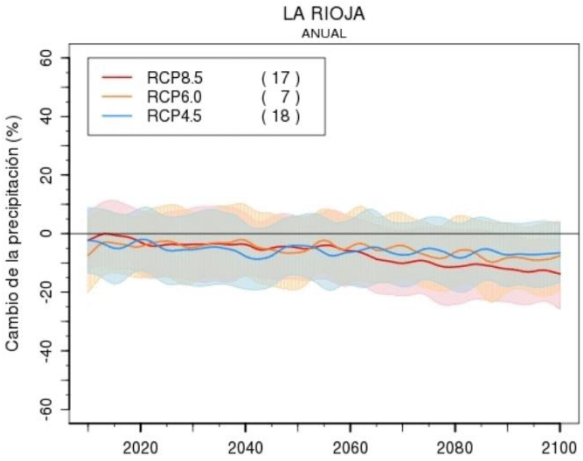


Figura 23. Proyecciones de las precipitaciones según los 3 escenarios propuestos por el IPCC (RPC4.5, RCP6.0, RPC8.5) para la comunidad autónoma de La Rioja (2020-2100). Fuente: AEMET (2020b)

5. Análisis de riesgos a los impactos del cambio climático

El estudio del impacto de las actividades humanas sobre la dinámica del paisaje en el último siglo y medio ha revelado cambios espectaculares en la estructura y distribución del espacio de montaña, tanto en el piso montano como en el subalpino, donde también han experimentado cambios en la generación de escorrentía y en la intensidad de erosión del suelo. El abandono de las tierras de cultivo desde la primera mitad del siglo XX y la disminución de la presión ganadera han favorecido la revegetación de las antiguas áreas de cultivo y pastos, bien por avance de formaciones naturales de matorral y bosque, o bien debido a la reforestación extensa de las laderas, subiendo el límite arbóreo del piso subalpino, en este caso ayudado por el aumento de temperaturas.

La cuenca mediterránea, y regiones próximas, son consideradas un "*hot spot*" a escala global, debido a la escasez de recursos hídricos, consecuencia del cambio climático (aumento de temperaturas, disminución en la acumulación de nieve y mayor demanda en evaporación atmosférica), y la expansión significativa de la cobertura vegetal durante el último siglo. La revegetación debe tenerse muy en cuenta a la hora de realizar un análisis de vulnerabilidad, ya que este proceso tiene un impacto directo en la evapotranspiración, los ríos y su ecosistema, sobre todo por la limitación de suministro de recursos hídricos en las cuencas. Si se produce una abundante revegetación cerca de los ríos, la intercepción de agua de estos vegetales impide que toda el agua llegue a las cuencas. Sin embargo, la magnitud del impacto del cambio de cubierta del suelo sobre la respuesta hidrológica depende de las características de la cuenca, tipos de vegetación, estado de madurez de los bosques e intensidad de los períodos de precipitación.

La demanda de bienes y servicios procedentes de la montaña, por parte de la sociedad actual, es cada vez mayor, teniendo en cuenta que éstos son limitados. Esta situación provocada por el hombre está tensionando el territorio de montaña al que se añade la presión que supone las consecuencias del cambio climático sobre estos espacios naturales. Esta situación provoca que los territorios de montaña

sean más vulnerables a los cambios en los ecosistemas naturales, teniendo un mayor riesgo sobre los sistemas hidrológico, social, económico, natural...

5.1. Cambio en los usos del suelo

Los paisajes y su uso han cambiado a lo largo de los milenios en la cuenca mediterránea, pero la tasa de variación ha aumentado considerablemente a partir de la segunda mitad del siglo XX. Fuera de las zonas urbanas y de las zonas con agricultura intensiva, la invasión forestal y del matorral, como consecuencia del abandono del agropastoralismo, afectan principalmente las tierras marginales y las zonas secas y montañosas, principalmente en el norte (MedECC, 2020).

En algunas zonas del Mediterráneo occidental, el abandono de la agricultura de secano, de las actividades agrícolas en regiones montañosas y/o remotas, y la consecuente forestación modificó los ecosistemas y los servicios prestados. El abandono de terrazas agrícolas en regiones montañosas también ha favorecido en algunos casos procesos de erosión y pérdida de suelo fértil (Mrabet et al., 2020).

5.1.1. Abandono de tierras de cultivo y de pastos

A lo largo del siglo XX buena parte del espacio agrícola de la montaña española se ha ido abandonando y dejando de cultivar de forma progresiva. Inicialmente, se han abandonado los campos en peores condiciones físicas para los pastos (los menos fértiles y con pendientes más pronunciadas), así como los más alejados y de peor accesibilidad. Entre 1940 y 1975 se abandonó un total del 70% del territorio del Pirineo aragonés, y hasta un 98% en el caso de la sierra de Cameros Viejo, en la comunidad riojana.

El diferente comportamiento entre el Pirineo aragonés y Cameros Viejo (La Rioja) hace intuir que, en cuanto a las condiciones de las montañas, en la actualidad existen más límites para la utilización de las tierras de cultivo que en el pasado, no tanto por las características físicas de las montañas, sino por la necesidad de competir con otros territorios. Esto provoca que unas montañas puedan incorporarse a las nuevas exigencias del mercado y de la economía mejor que otras (figura 24). Es el caso del Pirineo, ya que dispone de un clima que favorece el crecimiento de hierba y campos planos que permiten el cultivo de prados y el desarrollo de la ganadería extensiva. Por el contrario, Cameros Viejo tiene pocas posibilidades de desarrollo con recursos propios, debido a la ausencia de espacios planos y las dificultades climáticas para producir grandes cantidades de hierba. La respuesta a este problema se traduce en un abandono masivo del espacio agrícola y una baja presión ganadera en la mayoría de campos, produciendo un proceso de revegetación muy intenso.

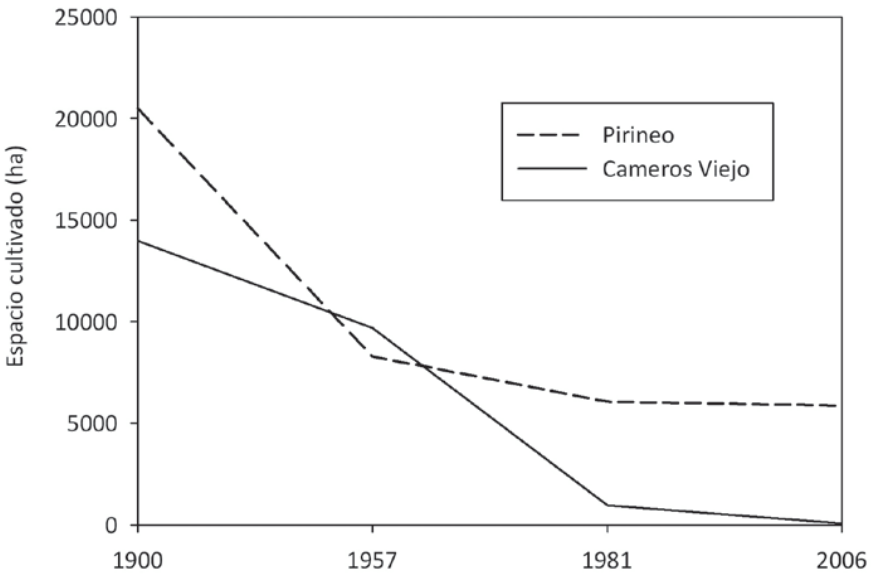


Figura 24. La evolución del espacio cultivado en Cameros Viejo y en el Pirineo aragonés. Fuente: Lasanta Martínez (2014).

Aragón

La pérdida de recursos pastables se ha identificado como un problema bastante generalizable. Se da especialmente en laderas medias y bajas, en antiguos campos de cultivo abandonados, por la creciente matorralización que impide la entrada del ganado. Ej. Valles de Hecho, Ansó, Borau, Aísa y la zona de Ordesa. Se ha constatado la pérdida de recursos pastables supraforestales, causada por el incremento de las líneas arbustivas y el bosque (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

Por otro lado, la disminución del pasto en altura conlleva la pérdida de hábitat de algunas aves subalpinas, ej. tabarilla norteña (Saxicola rubetra) y acentor alpino (Prunella collaris) (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

La Rioja

La figura 25 muestra las modificaciones y la evolución del paisaje agrario de Cameros Viejo, donde se observa la evolución del abandono de las tierras de cultivo del territorio. El espacio cultivado a partir de 1978 representa una ínfima parte del territorio, por tanto, en los últimos años se mantiene una dinámica y evolución negativa en cuanto a creación de nuevos campos de cultivo. El abandono de los espacios agrícolas entre 1956 y 1978 fue un fenómeno frecuente en la parte central y occidental mayoritariamente, pero también con cierta importancia en un sector del este de la región. Por último, se aprecia que los espacios agrícolas abandonados antes de 1956 abundan de una forma irregular, mayoritariamente en la parte oriental del mapa, y en la parte occidental del mismo se observan pequeñas zonas de abandono, principalmente en el sur de la comunidad autónoma.

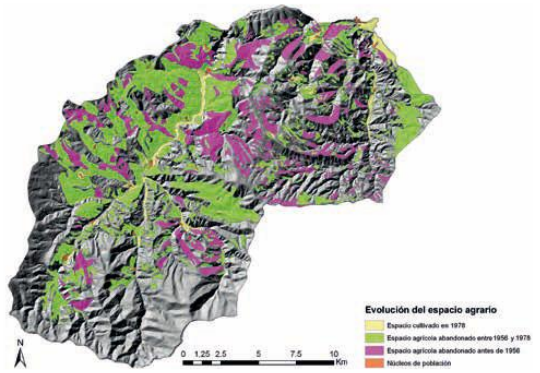


Figura 25. Distribución espacial de campos cultivados y abandonados en 1956 y 1978. Fuente: Lasanta Martínez (2014).

Desde principios del siglo XX, de forma paralela a la pérdida de efectivos demográficos, asistimos a un proceso de contracción del área agrícola, que sólo se ha visto interrumpida mínimamente durante los primeros años después de la guerra civil, en el que se recuperaron algunos campos abandonados, para a continuación reiniciar el proceso de pérdida de presión agrícola. En el año 2006, los cultivos ocupaban 54,3 ha, representando el 0,13% de la superficie total del área de la región, frente al 39,1% que llegó a ocupar en las primeras décadas del siglo XX. La actividad agrícola ha sufrido una notable degradación y se ha convertido en una actividad residual y anecdótica en Cameros Viejo (cordillera riojana), ya que sólo se mantienen pequeños huertos junto a los pueblos y algunas parcelas aisladas de cereal, olivos y almendros. Por el contrario, en 2006 los campos abandonados cubrían un territorio de 15.436,7 ha (el 39% de la superficie total) (tabla 2).

	Antes de 1956	1956	1978	2006
Cultivado (ha)	15.491	10.701	986	54,3
Abandonado (ha)		4.790	14.505	15.436,7

Tabla 2. Evolución del espacio agrícola (cultivado y abandonado) desde antes del año 1956 hasta 2006. Fuente: Lasanta Martínez (2014).

La máxima presión agrícola sobre la cordillera de Cameros Viejo se produjo a mediados del siglo XIX, cuando sus valles alcanzaron el pico demográfico, en un proceso común al resto de montañas españolas y europeas, aunque con matices temporales. El siglo XX comienza con notables descensos poblacionales en esta cordillera, primero lentos y después más acusados, debido a la apertura de un mercado social y económicamente más amplio y dinámico. Sobre el territorio, el descenso poblacional se manifestará en la intensificación del uso de los mejores espacios y en la reducción de la superficie cultivada, aunque en el paisaje y los usos del suelo todavía se mantendrá cierta inercia. En efecto, en 1956, cuando comienzan a operarse los cambios socioeconómicos, y cuando los censos demográficos se han reducido de forma notable respecto a los de finales del siglo XIX, en Cameros Viejo tan sólo se había abandonado el 30,9% del espacio cultivado, porcentaje que incluye las áreas más desfavorables, tanto desde un punto de vista agronómico (pendientes más acusados) como técnico (espacios alejados del núcleo de población). En la segunda mitad del siglo XX, el abandono es masivo e independiente de las condiciones físicas y humanas, alcanzándose la cifra del 99,7% del área agrícola (Lasanta Martínez, 2014).

5.1.2. Colonización vegetal

Como consecuencia del abandono de las tierras agrícolas, de la disminución de la presión ganadera y de las políticas de reforestación, desde los años 50, se expone a las montañas a un intenso proceso de revegetación, con un importante avance de matorrales de sucesión y de bosques naturales. Esta recuperación de la cubierta vegetal por matorrales y bosques tiene algunas ventajas: el incremento temporal de la biodiversidad, la disminución de la erosión del suelo en las vertientes colonizadas por la vegetación, mejora de la calidad de las aguas de escorrentía y minoración del ritmo de aterramiento de los embalses; disminución de la fragmentación del paisaje con expansiones de especies que

necesitan espacios naturales extensos; y la formación de un paisaje más naturalizado con un atractivo importante para la población y los turistas. El abandono de las tierras en el caso de la media montaña implica modificaciones muy importantes en los paisajes, debido a la amplia superficie que ocupan, y por el hecho de que intervienen factores físicos (litología, topografía...) y factores humanos (gestión pasada y reciente del territorio), que condicionan el proceso de sucesión vegetal y, con ello, la estructura del paisaje (Lasanta Martínez, 2014).

El desarrollo de matorrales y, sobre todo, de bosques, provocan modificaciones en los sistemas naturales. Una de las principales modificaciones e impacto por el desarrollo de estas especies son los cambios micro climáticos producidos por estos sistemas vegetales. Estos cambios se producen sobre todo cuando crecen bosques de frondosas y la luz solar no penetra como lo hacía. Por tanto, el espacio de algunos bosques es ligeramente más frío y menos húmedo, ya que también aumenta la intercepción de la lluvia en los bosques de frondosas, debido a la alta densidad en la cobertura vegetal.

En la vertiente sur de los Pirineos, el proceso de sucesión vegetal en zonas con abundantes pendientes está muy avanzado, habiendo alcanzado el estado de bosque. Esto se explica tanto por el hecho de que muchos campos con condiciones climáticas subhúmedas (precipitaciones medias de 1.000 mm/año) han sido abandonados desde hace décadas, como por unas circunstancias que han favorecido un proceso de sucesión vegetal relativamente rápido.

La variabilidad climática y el cambio en las temperaturas, en este contexto, son factores claves para controlar las modificaciones en las dinámicas vegetales e hidrológicas. De hecho, los resultados observados de los efectos del desbroce de matorral en el ciclo hidrológico serían aún mayores sobre condiciones más húmedas, mientras que el efecto del cambio climático podría alterar relativamente y limitar los efectos de la gestión activa del territorio en las mismas áreas. Las condiciones climáticas pueden marcar la diferencia para poder intervenir en el territorio. Por el contrario, comparando cambios en los caudales, evapotranspiración y déficit en saturación del suelo en un escenario pasivo durante un período de 10 años después del desbroce de matorral, se han mostrado resultados interesantes que podrían fortalecer el conocimiento sobre la respuesta de los ecosistemas en los planes de gestión activa a lo largo del tiempo. Además, la recuperación vegetal es un factor clave para determinar la respuesta del ecosistema al desbroce de matorral y las prácticas adecuadas de la gestión activa a aplicar, considerando los factores hidrológicos y económicos (Khorchani et al., 2021).

El desarrollo de las dinámicas vegetales está muy lejos de detenerse, ya que todavía existen amplias zonas agrícolas abandonadas donde los procesos vegetales serán protagonistas en los próximos años. Esto, junto a un aumento de la temperatura y una reducción en la presión ganadera, podrá dar como resultado una colonización vegetal en la media montaña pirenaica.

Aragón

En la figura 26 se muestra la evolución de los usos del suelo en la región pirenaica central, para un período futuro (2021-2050) y con un período de control (1971-2000). Se han realizado divisiones por zonas de 5 ríos: Aragón, Gállego, Cinca, Ésera y Noguera Ribagorzana.

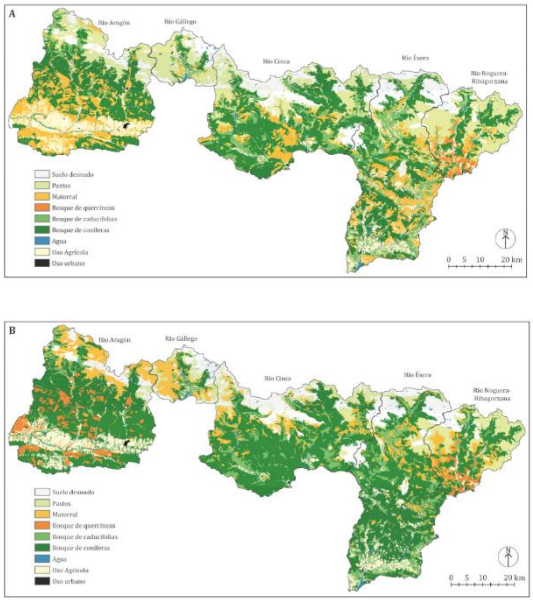


Figura 26. Mapas de usos de suelo utilizados para el período de control (A) y proyección para el futuro que asume diversos procesos de revegetación (B). Fuente: López-Moreno et al. (2014a).

En el primer escenario (1971-2000) se considera que los usos del suelo se mantienen durante las siguientes décadas y se utiliza como período de control para poder observar los cambios en las proyecciones futuras. En el segundo escenario (2021-2050), se observa un gran desarrollo de la vegetación, asumiendo que las zonas actuales donde existen matorrales evolucionarán hacia bosques de coníferas, con una tendencia similar observada en los últimos años en los terrenos abandonados. Esta evolución de los bosques de coníferas puede apreciarse sobre todo en la vertiente del río Aragón (con un aumento del 14,8%) y del río Éssera (con un aumento del 19,7%). Este escenario asume un aumento en el límite altitudinal del bosque como consecuencia de una posible reducción ganadera, y puede verse facilitado por temperaturas cada vez más cálidas. En el río Gállego, concretamente en la vertiente occidental, se espera que los pastos reduzcan su dimensión en un 29,7%, mientras que la superficie de matorrales se espera que aumente en un 25,6%, sobre todo en la zona de pastos subalpinos. Con la aparición de matorrales en el río Gállego, se puede prever que en el futuro esta zona de matorrales se convierta en bosques de coníferas si no existe una gran modificación en el ecosistema (López-Moreno et al., 2014a).

Uno de los mayores impactos en las cabeceras mediterráneas en las décadas recientes han sido las modificaciones en los usos del suelo. En las montañas mediterráneas el cambio más característico ha sido, a grandes rasgos, el aumento de la cubierta vegetal encabezada por matorrales y bosques. Esto ha sucedido a consecuencia del abandono de las tierras agrícolas y ganaderas, junto a las condiciones climáticas existentes.

La figura 27 muestra dos escenarios sobre la cubierta vegetal en la zona del rio Aragón. En el primer escenario no se produjeron cambios en los años siguientes. El segundo escenario está basado en la evolución esperada en la cubierta vegetal, suponiendo que el resto de zona de matorral evolucionarán hacia bosques de hoja perenne, debido a la observación sobre el abandono generalizado de los campos agrícolas desde hace varias décadas. Este escenario también supuso un desplazamiento ascendente de los límites arbóreos, como consecuencia de la disminución de la actividad ganadera, y facilitada por las condiciones climáticas cada vez más cálidas. Cabe destacar el protagonismo y la evolución de cubiertas vegetales de matorral, que en el escenario B ganan importancia en el norte del territorio debido a la poca presencia y abandono de las actividades agrícolas y ganaderas. Según las proyecciones, en el centro del área representada predominarán los bosques de hoja caduca (López-Moreno et al., 2014b).

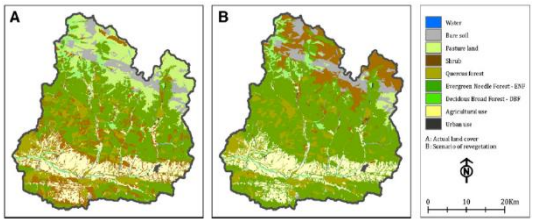


Figura 27. Los escenarios de cobertura del suelo considerados en el estudio. A: cobertura del suelo actual; B: escenario de revegetación posible. Fuente: López-Moreno et al. (2014b).

Con el fin de evaluar la extensión probable de la conversión de pastos a matorral y de matorral a bosque en la cuenca hidrográfica del Estarrún (figura 28), se compararon los patrones espaciales sobre la estimación para tres proyecciones de sucesiones vegetales (VS10, VS20 y VS30) con el inicial (VS0). En la proyección VS10 (10 años vista), no se produciría ninguna conversión de pastos a matorral, pero el 61% de las áreas existentes de matorral han sido modificadas a bosque. En la proyección VS20 (20 años vista), casi todos los matorrales iniciales (98%) serían colonizados por los bosques, mientras que los matorrales se ampliarían en un 19% debido a la colonización de las tierras de pastos abandonados, particularmente en las cotas más altas de las cuencas. Bajo la proyección VS30 (próximos 30 años), el tipo de conversión afectaría en un 35% a las tierras de pastos abandonados y en un 99% al matorral respecto al período de control VS0 (Khorchani et al., 2021b).

Bajo la proyección VS10, los bosques tendrían una cobertura de más del 63% del área estudiada (bosque de coníferas 51% y bosque caducifolio 13%). Este crecimiento en el área forestal continuará, más lentamente, a tal ritmo que después de 30 años de sucesión no gestionada (VS30) el bosque podría cubrir un 72% del área estudiada. Estas nuevas áreas de bosques corresponden a las zonas de matorral convertidas, principalmente en zonas medias y bajas de la cuenca hidrográfica. La tasa de conversión de pastos a matorral es menor que la conversión de matorral a bosque, por tanto, la proliferación de bosques será más rápida y abundante que la de matorral. Así, los resultados estiman que a largo plazo disminuirá el área de matorral hasta el 4,4% del área total de estudio bajo la proyección VS30 (30 años vista), y el abandono de pastos podría disminuir hasta un 8% de la superficie de la cuenca (tabla 3).

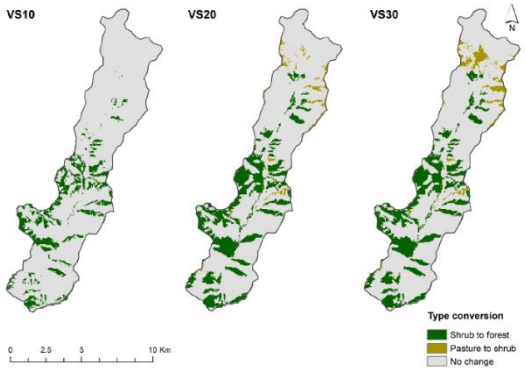


Figura 28. Distribución espacial de la conversión de tipos de uso de suelo como resultado del retraso de gestión. VS10, VS20 y VS30: representan proyecciones de sucesión de vegetación en 10, 20 y 30 años. Fuente: Khorchani et al. (2021b).

	Percentage (%)			
Succession time	VS0	VS10	VS20	VS30
Coniferous forest	38.5	51.3	59.5	59.7
Deciduous forest	12.3	12.3	12.3	12.3
Shrub	21.2	8.4	2.6	4.4
Pasture	12.4	12.4	10.0	8.0
Agriculture	4.7	4.7	4.7	4.7
Bare soil	9.5	9.5	9.5	9.5
Urban and roads	0.6	0.6	0.6	0.6
Water	0.8	0.8	0.8	0.8

Tabla 3. Porcentajes de cobertura del suelo como resultado de las distintas proyecciones de sucesión de vegetación. VS0, VS10, VS20 y VS30: representan proyecciones de sucesión de vegetación. Fuente: Khorchani et al. (2021b).

Catalunya

En la cuenca de la Muga, con una superficie de 758 km², el principal proceso de cambio observado entre el 1970 y 2005 ha sido la forestación, con un aumento de la superficie forestal del 9,5% (71,8 km²) (figura 29). Este cambio se ha producido principalmente a expensas de cultivos (21,5 km²), matorrales (38,9 km²) y prados y pastizales (10 km²) en las zonas altitudinales altas. El segundo proceso de cambio de usos del suelo observado ha sido el abandono de cultivos, con una disminución del 6,7% de la superficie de cultivo (51 km²), ubicados principalmente en zonas de media y baja altitud. Este cambio se ha producido principalmente a partir de la expansión de bosques (21,5 km²), matorrales (15,9 km²) y áreas improductivas (12,1 km²). También se han observado cambios en la distribución espacial de los matorrales: 38,9 km² de matorrales en 1970 han evolucionado a zonas forestales en 2005, mientras que 15,9 km² y 10,3 km² de cultivos y prados-pastizales en 1970 han sido ocupadas por matorrales en el 2005. La superficie de praderas y pastizales se ha reducido en un 3,1% en detrimento de bosques (10 km²), matorrales (10,3 km²) e improductivos (4,4 km²). Sólo las áreas improductivas han aumentado un 2% su superficie (14,8 km²), cubriendo áreas de cultivo (12,1 km²) y prados-pastizales (4,4 km²), principalmente en zonas de media y baja altitud (Vicente-Serrano et al., 2016).

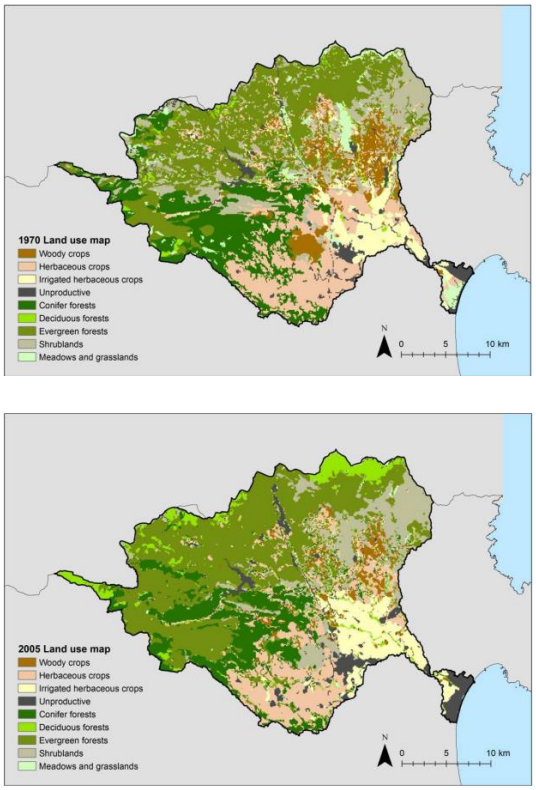


Figura 29. Mapas de usos del suelo de la cuenca de Muga en el 1970 (arriba) y 2005 (abajo). Fuente: Vicente-Serrano et al. (2016).

En la cuenca del Ter (2.955 km²), el principal proceso observado ha sido también la forestación, con un aumento de la superficie forestal del 6% (176,3 km²) (figura 30). Los bosques han crecido principalmente en las zonas montañosas sobre las anteriores prados-pastizales (106 km²), matorrales (30,8 km²), cultivos (20,3 km²) e improductivos (19,2 km²). Las áreas improductivas en las cabeceras en el 1970 incluyen principalmente suelo forestal desnudo que ha sido colonizado por vegetación natural. En segundo lugar, los prados y pastizales han reducido un 3,9% (115,4 km²) su superficie a expensas de los bosques (106 km²) y matorrales (27,4 km²), pero han ocupado zonas montañosas improductivas (20,1 km²). El abandono de cultivos en la cuenca del Ter es menos relevante que en la Muga, un 1,6% menos, pero afecta a una superficie similar

(48,2 km²). Este cambio se ha producido principalmente a expensas de los bosques (20,3 km²), áreas improductivas (18,7 km²) y matorrales (11,4 km²). En la cuenca del Ter se han reducido las áreas improductivas (1%, 30,7 km²), que han sido colonizadas principalmente por vegetación (prados-pastizales 20,1 km², bosques 19,2 km² y matorrales 10,2 km²). Finalmente, los matorrales han aumentado ligeramente su superficie (0,6%, 18,1 km²), pero se observan cambios en su distribución espacial: 30,8 km² de matorrales en 1970 han evolucionado a zonas forestales en 2005, mientras que 27,4 km² y 11,4 km² de prados-pastizales y cultivos en 1970 han sido ocupados por matorrales en 2005 (Vicente-Serrano et al., 2016).

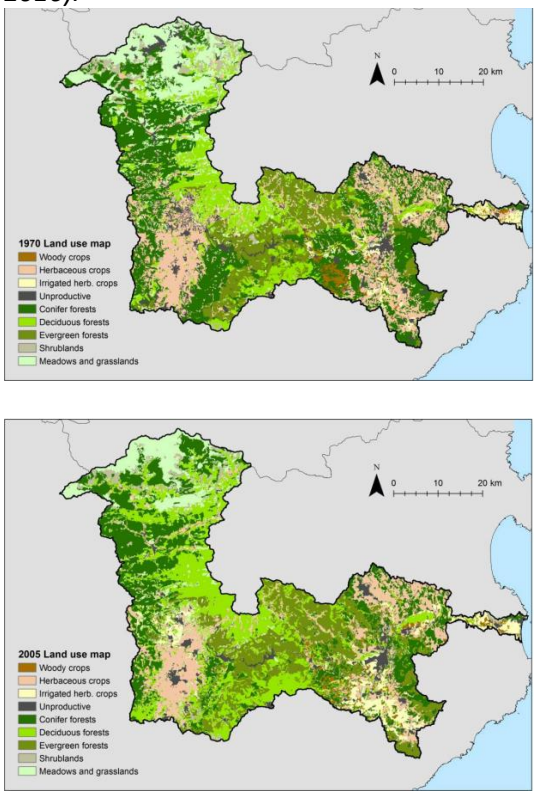


Figure 30. Mapas de usos del suelo de la cuenca del Ter en el 1970 (arriba) y 2005 (abajo). Fuente: Vicente-Serrano et al. (2016).

La cuenca del Segre, con 13.000 km², se puede considerar como una cuenca muy forestada pero también con una gran superficie ocupada por cultivos en su zona meridional. El principal proceso observado en esta cuenca también ha sido la forestación, con un aumento de la superficie forestal del 5,2% (626,5 km²) (figura 31). Los bosques han crecido principalmente en las zonas montañosas sustituyendo a los matorrales (307,0 km²), los prados-pastizales (287,6 km²), los cultivos (17,3 km²) y los improductivos (14,7 km²). Las áreas improductivas de la cabecera en 1970 incluyen principalmente suelo forestal desnudo que ha sido colonizado por vegetación natural. El segundo proceso de cambio de usos del suelo observado ha sido una reducción del 4,8% de la superficie de prados y pastizales (582,8 km²) a expensas de bosques (287,5 km²), matorrales (195,8 km²), improductivos (65,6 km²) y cultivos (34,0 km²) en áreas montañosas. Los matorrales han experimentado una reducción del 2,2% de su superficie, pero con cambios en su distribución espacial: 307,0 km² de matorral en 1970 han evolucionado a zonas forestales en 2005, mientras que 195,8 km² de prados-pastizales en 1970 han sido ocupados por matorral en 2005. Contrariamente a los procesos observados en las cuencas de Muga y Ter, la superficie de cultivos ha aumentado ligeramente en estos 35 años (0,3%, 32,1 km²), principalmente a expensas de matorral (67,8 km²) y prados-pastizales (34,0 km²). Como contrapartida, el abandono de cultivos ha favorecido la expansión de bosques (17,3 km²) y áreas improductivas (52,3 km²). Finalmente, las superficies improductivas han aumentado un 1,5% (185,0 km²) en detrimento de matorrales (81,7 km²), prados-pastizales (66,0 km²) y cultivos (52,3 km²) (Vicente-Serrano et al., 2016).

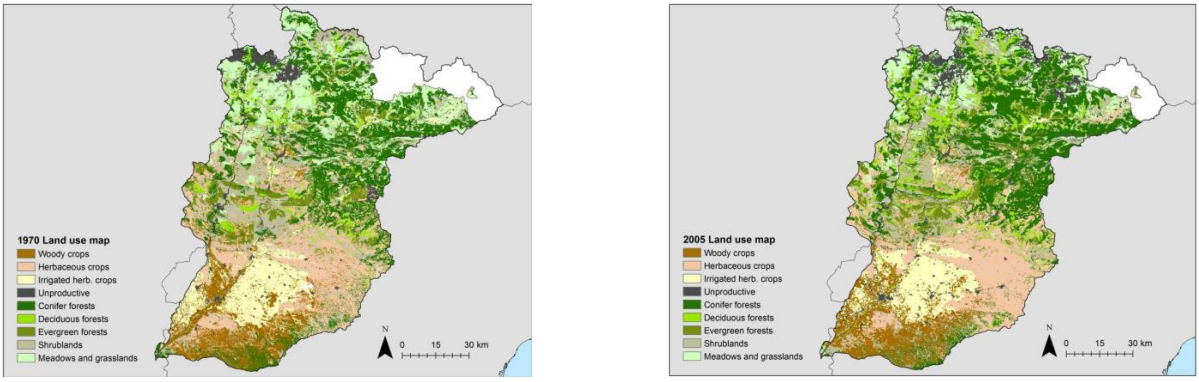


Figura 31. Mapas de usos del suelo de la cuenca del Segre en el 1970 (izquierda) y 2005 (derecha). Fuente: Vicente-Serrano et al. (2016).

La Rioja

Una de las modificaciones más importantes de las últimas décadas en los ecosistemas naturales han sido los cambios en los usos del suelo en las montañas de la Península Ibérica. La media montaña riojana mantiene una dinámica de pérdida de presión ganadera durante el siglo XX, similar a la del resto del país, provocando en el ecosistema una reacción debido a la reducción de los pastos. Dado que la ganadería controlaba la expansión de matorrales, una vez reducida, los matorrales se han expandido de forma continuada.

En la figura 32 se aprecia que entre los años 1956 y 2001 ha desaparecido el espacio reservado para la actividad agrícola en Cameros Viejo, que hasta el año 1956 ocupaba 15.968 ha, de las que 13.543 ha se mantenían en cultivo y 2.425 ha se habían dejado de cultivar antes del año 1956. Los bosques de frondosas aumentaron de 4.434 ha a 11.394 ha a partir del desarrollo y expansión de pequeños bosques que se habían conservado en las cimas y en áreas poco accesibles. Las coníferas se expandieron por las reforestaciones con pinos; entre 1956 y 2001 se pasó de 76 ha a 4.278 ha. Los matorrales incrementaron en superficie, mientras que los pastos y áreas erosionadas se han visto reducidas. Por último, se puede apreciar una notable modificación en el afloramiento de la repoblación forestal en 2001, esta repoblación se distribuyó, en gran parte, en la parte este de territorio y con mayor irregularidad en las zonas del norte y del oeste. En 2001, se aprecian tres usos principales del suelo, que son: matorrales, repoblación forestal y bosques de frondosas.

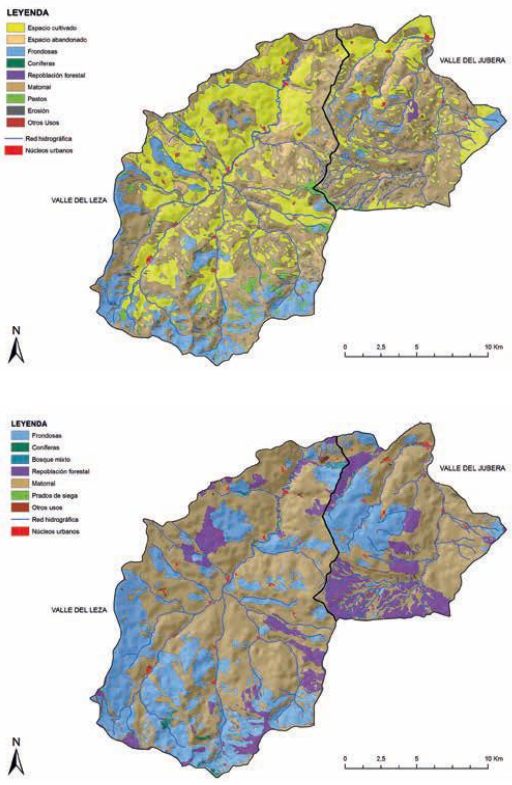


Figura 32. Usos y cubiertas del suelo en Cameros Viejo (1956-2001). Fuente: Lasanta Martínez (2014).

5.1.3. Limitación de los caudales en las cuencas de los ríos

Se estima que durante las próximas tres décadas se producirá un proceso ininterrumpido de revegetación en las cuencas de la media montaña del Pirineo central donde se producirá una conversión de la mayoría de las zonas arbustivas a bosques. Esta sucesión de aumento de la cobertura de bosques también tendrá impactos notables en la hidrología, disminuyendo los caudales (hasta un 19%) y aumentando la evapotranspiración (hasta un 34%) en las próximas tres décadas. El desbroce de matorral puede frenar ese proceso sucesivo, pero aumentando la cobertura de los árboles a medida que avanza la sucesión. Probablemente, limitará las áreas objetivo para el desbroce según criterios actuales y reducirá los efectos del desbroce en los caudales y en la evapotranspiración. Por tanto, el retraso en la gestión de áreas de cultivo abandonadas en los Pirineos centrales pueden limitar la eficacia de la práctica del desbroce de matorral en estas áreas. Estos resultados instan a los responsables de la política ambiental a decidir sobre la gestión de áreas de cultivo abandonadas en las montañas mediterráneas considerado como interés económico, ambiental y social crucial.

Aragón

Para estudiar el efecto del cambio climático en las tendencias del caudal y la transpiración en la cuenca de Arnás (Pirineo Central) se ha utilizado un modelo ecohidrológico. Con el fin de parametrizar el modelo, se han desarrollado tres escenarios de gestión del territorio. Todos los escenarios comienzan desde un escenario inicial que parte del abandono histórico de las tierras antes de 1960 (figura 33). Para definir este estado inicial se ha utilizado una fotografía aérea de la cuenca de Arnás de 1957 y se elaboró un mapa de cobertura de suelo. Después se definieron tres escenarios simulados que representan tres trayectorias teóricas de gestión de la cuenca de Arnás después del abandono (Khorchani et al., 2021a).

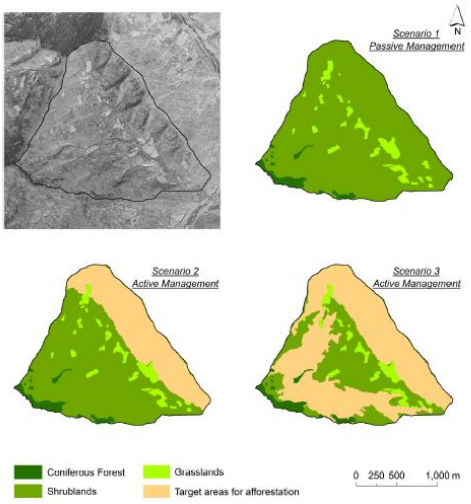


Figura 33. Escenarios teóricos de cobertura del suelo estudiados para la cuenca de Arnás, Pirineo Central. (A) Escenario 1. Gestión pasiva mediante la expansión arbustiva en la mayor parte del área de estudio; (B) Escenario 2. Escenario de gestión activa mediante la forestación de zonas de alto riesgo de erosión en las vertientes orientadas al sur; (C) Escenario 3. Escenario de gestión activa mediante la forestación de zonas de alto riesgo de erosión tanto en vertientes orientadas al norte como al sur. Fuente: Khorchani et al. (2021a).

El escenario 1 representa la gestión pasiva de sucesión permitiendo una revegetación natural de matorral después del abandono. Este escenario es una representación del comienzo del proceso de colonización de las especies arbustivas antes de la entrada a un bosque

secundario. Se observa que la cuenca estudiada se abandonó por etapas, por lo que se produjo una transición de matorral a bosque en distintos momentos y diferentes partes de la cuenca. El escenario 2 representa una gestión activa mediante la repoblación forestal en áreas con riesgo de erosión (>30% de pendiente) en las vertientes orientadas al sur, mientras que el resto de la cuenca se deja experimentar una revegetación natural por el matorral. Las áreas objetivo representan el 30% del área de estudio de este caso. Las pendientes más suaves y los suelos más profundos desarrollados en la vertiente norte de la cuenca potenciarían la lenta regeneración natural de cubierta de árboles sin su gestión. El escenario 3 también representa una gestión activa, pero en este caso, todas las áreas con gran riesgo de erosión en el área de estudio son forestalmente repobladas, mientras el resto de la cuenca se deja a la revegetación natural por matorral. Las áreas objetivo en este escenario representan un 60% del total del área de estudio.

Para estudiar el efecto del cambio climático en las tendencias del caudal y la transpiración, se combinaron estos tres escenarios con un escenario de calentamiento.

A escala anual, los resultados mostraron una alta variabilidad interanual, particularmente para caudales con un coeficiente de variación >37%. Se encontraron diferencias significativas entre los tres escenarios de gestión para el caudal anual y la transpiración anual. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre los escenarios climáticos (con calentamiento frente a sin calentamiento) ni para el caudal ni para la transpiración.

Para el caudal, los promedios anuales sobre el registro climático (50 años), disminuyeron drásticamente en los dos escenarios de forestación en comparación con el escenario de control. Las diferencias entre los escenarios climáticos históricos y de calentamiento mostraron una ligera disminución en el caudal anual debido al aumento de la temperatura; sin embargo, estas diferencias no fueron significativas.

5.2. Ciclo hidrológico y recursos hídricos

Algunos ríos mediterráneos tienen un carácter efímero o intermitente. En las cadenas montañosas de la región mediterránea, la precipitación cae principalmente en forma de nieve en invierno y se almacena hasta finales de la primavera. Durante el deshielo a finales de la primavera, esta agua dulce contribuye a la descarga fluvial de agua dulce en el Mediterráneo. La mayoría de las cadenas montañosas son más húmedas que las regiones de tierras bajas del Mediterráneo y, por lo tanto, una fuente de agua durante todo el año (Fader et al., 2020).

Durante el último siglo las montañas mediterráneas, especialmente las europeas, han experimentado importantes cambios en los usos del suelo debido al despoblamiento y al colapso de las actividades primarias. Las interacciones entre los usos del suelo y el cambio climático, y sus impactos combinados en los recursos hídricos, son de valioso interés para las políticas hidrológicas, particularmente en entornos mediterráneos que cambian rápidamente. Estas modificaciones climáticas provocan alteraciones en los ecosistemas naturales, y, por consiguiente, en las vidas de los seres vivos de la región pirenaica, modificando su modo de vida junto a su territorio.

Los procesos hidrológicos en las montañas son altamente sensibles a los cambios en el clima, tanto la precipitación como la temperatura pueden experimentar cambios notables en cortos períodos de tiempo debido a los gradientes altitudinales y diferentes exposiciones a la radiación y al viento. La

evolución de la precipitación está sujeta a gran incertidumbre y variabilidad. Muchos de los modelos proyectados muestran que la precipitación media anual va a disminuir. En verano se espera que esté sujeto a las tendencias más extremas de calentamiento y sequías del año, y las temperaturas y precipitaciones simuladas del invierno son las menos afectadas por el cambio climático.

El acceso y la garantía de recursos hídricos es fundamental para que una sociedad evolucione y se desarrolle. La gestión de los recursos hídricos es clave para el correcto funcionamiento de la sociedad, sobre todo en los territorios de montaña, donde la mayoría de recursos hidrológicos provienen de los sistemas montañosos y son especialmente sensibles a las consecuencias del cambio climático. Un aumento de la temperatura y una rápida fusión de la nieve provoca alteraciones en el medio natural y también aumenta la dificultad de gestionar estos recursos hídricos, puesto que son cada vez más irregulares y más escasos. En las montañas se genera la mayor parte del caudal de los ríos. Por el contrario, las áreas planas apenas producen recursos hídricos, siendo, además, grandes consumidores de agua (usos urbanos, industriales y agrícolas), dando lugar a fuertes desequilibrios territoriales y no pocas tensiones sociales y políticas.

Las consecuencias más destacadas del cambio climático sobre el ciclo hidrológico han sido: (i) el descenso sostenido del caudal de los ríos pirenaicos desde la década de 1970 debido al aumento de la evapotranspiración; (ii) la contracción espacial de las áreas fuente de sedimento; (iii) la creciente desconexión entre vertientes y cauces; (iv) el peso decreciente de la nieve en el régimen de los ríos pirenaicos, con un avance en la ocurrencia del momento de aguas altas primaverales; (v) los cambios en la dinámica de llenado de los embalses que han obligado a introducir nuevos patrones de gestión de los embalses; y (vi) la incisión de los cauces fluviales en su llanura aluvial.

5.2.1. Aumento en la evapotranspiración

Los continuos cambios en los sistemas naturales, en concreto en los sistemas y cubiertas vegetales, implican un aumento en la evapotranspiración, debido a una mayor densidad vegetal motivada por el abandono de las tierras de cultivo. Este aumento en la evapotranspiración provoca una alteración importante en el ciclo hidrológico, ya que se evaporan una mayor cantidad de recursos hídricos, impidiendo que el agua llegue al suelo y cuencas fluviales.

5.2.2. Reducción de la disponibilidad hídrica

Las áreas de montaña requieren una atención especial, puesto que son los lugares más importantes de todo el mundo para generar recursos hídricos, y particularmente en zonas templadas y semiáridas incluyendo la zona mediterránea. Sin embargo, las zonas de montaña se enfrentan a un aumento de estrés hídrico causado por una combinación de: (1) aumento de temperaturas y disminución de las precipitaciones, superior a la de las tierras bajas; (2) modificación de usos del suelo, incluida la reforestación natural y deliberada de tierras de cultivo, aumentando así la evapotranspiración y el consumo de agua; y, (3) aumento de las presiones sobre los recursos hídricos superficiales y subterráneos, reduciendo así los caudales y la profundidad del nivel freático en las zonas dependientes de las aguas subterráneas.

Los ríos y lagos, así como los manantiales, podrían verse afectados sensiblemente por el cambio climático sobre todo por las variaciones en las aportaciones estacionales y anuales de agua, así como por la modificación en los usos del suelo. El calentamiento global podría generar más cambios en los

caudales estacionales y mensuales de los ríos y lagos, debido al aumento de temperaturas y a una menor innivación, con una reducción de los caudales, llegando incluso a producirse sequías.

La falta de recursos hídricos son una limitación para el desarrollo económico en las cuencas mediterráneas y son un factor esencial para satisfacer las crecientes necesidades de la sociedad, como consecuencia del aumento de la población, urbanización y estándares de vida, el desarrollo de la agricultura de regadío y actividades de cariz turístico e industrial. Los Pirineos juegan un papel clave en la producción y suministro de recursos hídricos, para las poblaciones, cuencas hidrológicas y actividades agrícolas, sobre todo por medio de la escorrentía. Los Pirineos son un buen ejemplo, ya que más del 50% de los caudales de la Cuenca del Ebro proviene de los suministros hídricos de esta cordillera por medio de la escorrentía (directo e indirecto). A su vez, este suministro de los ríos son clave para poder proveer de recursos hídricos a la agricultura, la generación de energía y el uso urbano e industrial. En los últimos años, los expertos y científicos destacaron la problemática de los descensos en los caudales de los ríos de la zona pirenaica. Esta disminución se está dando debido a las modificaciones climáticas actuales y al aumento importante de vegetación, ya que la temperatura media ha aumentado y las precipitaciones medias han tendido a disminuir, aunque en ocasiones de forma no significativa.

La escasez de recursos hídricos, la variabilidad espacial y, sobre todo, la irregularidad temporal de los caudales introduce numerosas limitaciones para el aprovechamiento de los recursos hídricos, exigiendo complejos sistemas de gestión del agua, entre los que se incluye la construcción de embalses, para garantizar el continuo abastecimiento de recursos hídricos de las áreas planas.

Aragón

Si a la presión del cambio climático añadimos el aumento de vegetación, se espera que los cambios derivados por el incremento de temperatura y los cambios en los usos del suelo se traduzcan en una disminución de los caudales de entre el 19% y el 32%, dependiendo de la cuenca analizada. En términos generales, se aprecia una mayor disminución en las estaciones de primavera y verano, sobre todo en el mes de mayo, cuando la disminución de caudal se acerca al 30%. Cabe destacar la pérdida de importancia del pico de caudal de primavera, dejando de ser el único pico importante del año, convirtiéndose en un régimen pluvio-nival con dos picos de caudal en primavera y otoño. De noviembre a febrero es el período en el que los caudales se ven menos afectados por las proyecciones del cambio climático con reducciones de menos del 10% y en algunos casos se aprecia un aumento marcado (figura 34).

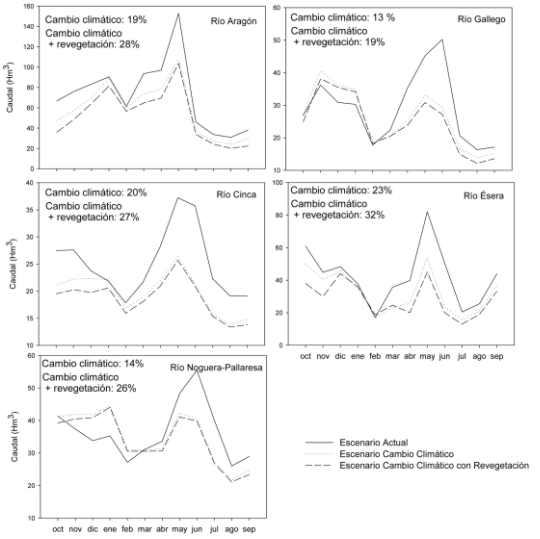


Figura 34. Caudal simulado bajo las condiciones ambientales actuales, asumiendo cambio climático y el efecto combinado entre el cambio climático y los usos del suelo en cinco cuencas aragonesas. Fuente: López-Moreno et al. (2014a).

Particularmente, los cambios debidos a la evolución de la cubierta vegetal afectan con mayor intensidad a los caudales de finales de invierno y principios de primavera (sobre todo en marzo) y en otoño. A mitad de primavera, la vegetación consume una gran cantidad de recursos hídricos, pero presenta un porcentaje menor que en meses anteriores. Se produce una disminución de picos de caudales primaverales debido a una menor acumulación de nieve, puesto que la fusión se ha producido más temprano. En invierno, el efecto de revegetación es menor debido a que la cantidad de agua consumida disminuye ya que se trata de un período de latencia para la vegetación, reduciéndose el consumo de agua notablemente. En verano el consumo de agua por parte de los ecosistemas vegetales disminuye debido al bajo nivel de disponibilidad de agua en el suelo, por tanto, la vegetación debe adaptarse anatómica y fisiológicamente.

La figura 35 muestra los cambios anuales y mensuales en el rendimiento del agua a escala de la cuenca del río Aragón, Pirineo Central, entre las condiciones actuales y los usos del suelo, para simulaciones de 20 años (período de observación 1986-2006) con dos modelos ecohidrológicos diferentes (SWAT y RHESSys).

Escenario de usos del suelo

SWAT ***RHESSys***

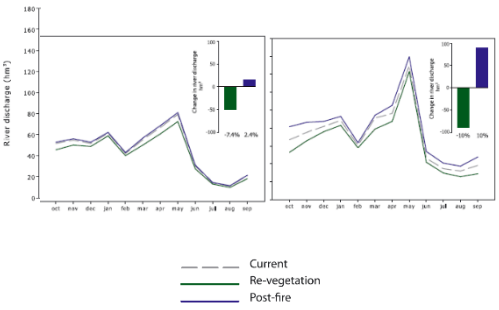


Figura 35. Cambios en caudales fluviales entre las condiciones actuales y los usos del suelo, para simulaciones de 20 años. Los gráficos de barras muestran el cambio anual en términos absolutos (tamaño de la barra) y relativos (valor porcentual). RHESSys, Sistema Regional de Simulación Hidroecológica; SWAT, Herramienta de evaluación de suelos y aguas. Fuente: Morán-Tejeda et al. (2015).

Podemos observar, en la figura 35, que ambas proyecciones, tanto SWAT como RHESSys, tienen picos similares en los meses de abril, mayo y junio, pero la proyección RHESSys presenta un pico mayor, con una carga del río mayor que en la proyección SWAT (llegando a valores de 160 hm^3, mientras que el escenario SWAT alcanza alrededor de 100 hm^3), y esta proyección es más sensible en los meses de verano con valores significativamente bajos. En el escenario de revegetación (aumento del límite del bosque hasta 2.200 m), se estima una disminución anual en las escorrentías de un 7,4% en la proyección SWAT, con valores más bajos que el resto de escenarios entre los meses de febrero y mayo, y un 10% en la proyección RHESSys, con una mayor disminución en los meses de otoño y primavera. Por el contrario, cuando consideramos un escenario donde el bosque es sustituido por arbustos y matorrales (vegetación post incendio) en la parte oeste de la cuenca, se observa un aumento de los flujos de los ríos, con crecidas mayores en la proyección RHESSys (con un 10%) que en la proyección SWAT (con un 2,4%) (Morán-Tejeda et al., 2015).

Bajo las condiciones de cambio climático (aumento de temperaturas y disminución de precipitaciones), los caudales del río Aragón sufrirán reducciones (hasta el 30%) y se verán afectados los máximos (adelanto de la fusión de nieve en 15-30 días), conduciendo a un cambio significativo en la forma y magnitud de los hidrogramas en los próximos años. Las proyecciones de la disponibilidad futura de los recursos hídricos contienen un gran número de incertidumbres. Pero parece probable que los recursos hídricos en la región Mediterránea disminuirán en las próximas décadas como consecuencia de los cambios de los usos del suelo y del cambio climático, aunque es difícil determinar de forma precisa la magnitud de este cambio. Las implicaciones hidrológicas del cambio de vegetación producido después del abandono de tierras de cultivo han sido extensamente examinadas en todo el mundo, observándose un efecto directo sobre el incremento de la densidad vegetal. Este crecimiento en la densidad vegetal después del abandono está generalmente asociado con una disminución de la escorrentía y, por tanto, una disminución en la infiltración debido a tasas de intercepción muy elevadas. Muchos estudios sobre el efecto de la gestión forestal han dado como resultado un aumento en los coeficientes de escorrentía.

Catalunya

Respecto al ciclo del agua de tres cuencas (la Muga, el Ter y el Segre), en las últimas décadas se ha observado un descenso generalizado de los caudales. Estos descensos varían en función del tramo del río y de la parte de la cuenca. En las cabeceras se observan reducciones de caudal más severas que las atribuibles sólo a factores climáticos y, por lo tanto, los cambios de usos del suelo como la expansión del bosque han podido tener un papel relevante (en la Muga y el Ter) (figura 36). En los tramos bajos los caudales se ven fuertemente condicionados por el régimen de gestión de los embalses.

La evaluación de los impactos del cambio climático sobre el ciclo del agua prevé reducciones generalizadas del caudal de las tres cuencas durante la primera mitad del siglo XXI. En 2050 se prevé una disminución del caudal de entre 9,5-32,0% en las cabeceras y de entre 12,3-36,0% en los tramos bajos, en comparación con el período 2002-2011 (Pla et al., 2018). La cuenca del Ter muestra las reducciones de caudal más significativas, tanto en cabecera como en la desembocadura. También se prevén reducciones notables en la desembocadura de la Muga. La cuenca del Segre presenta un comportamiento hidrológico diferente, con reducciones más intensas en las cabeceras que en la desembocadura (figura 37).

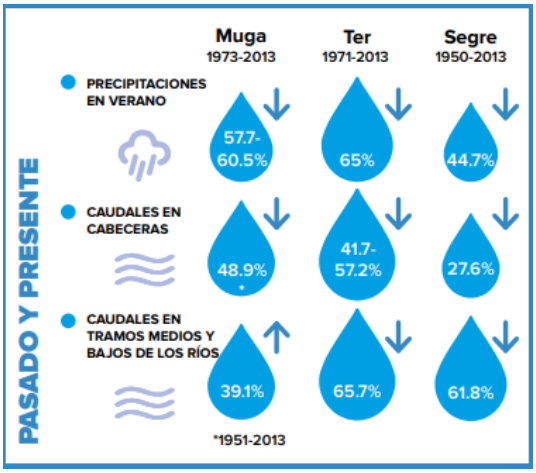


Figura 36. Principales cambios observados en las últimas décadas en el clima y en los caudales de tres cuencas: la Muga, el Ter y el Segre. Fuente: Pla et al. (2018).

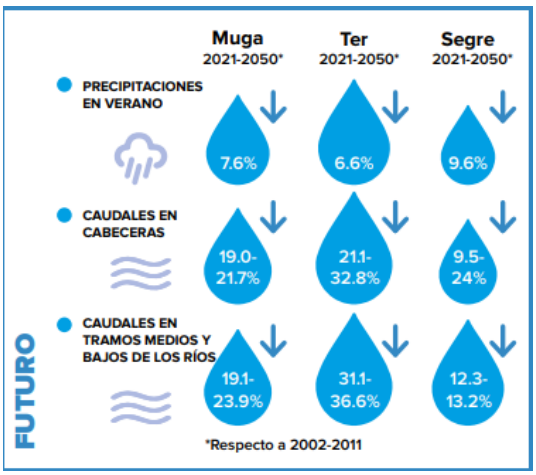


Figura 37 Evaluación de los impactos del cambio climático sobre el ciclo del agua en los caudales de tres cuencas: la Muga, el Ter y el Segre, durante la primera mitad del siglo XXI. Fuente: Pla et al. (2018).

La Rioja

En la figura 38 se muestra la influencia y la importancia que tiene la cuenca de un río para la población, puesto que gran parte de los recursos hídricos consumidos por la mayor parte de los municipios de La Rioja son extraídos de los afluentes del río Ebro.

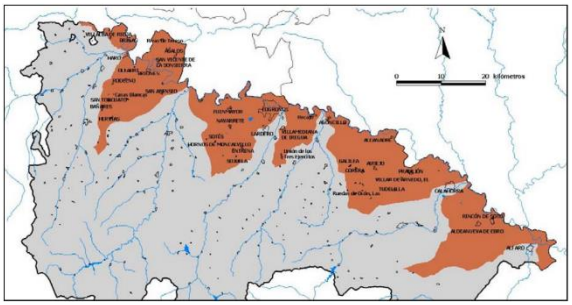


Figura 38. Núcleos de población de la cuenca del Ebro en su paso por La Rioja. Fuente: Gobierno de La Rioja (2008).

La demanda de agua en el tramo del río Ebro que pasa por La Rioja es muy elevada, son muchas las tomas por el regadío y la producción de energía eléctrica. En especial destaca, por su volumen de extracción, el canal de Lodosa en la presa de los Mártires, que recorre el margen derecho del Ebro a lo largo de 127 km. La superficie de regadío dentro de la comunidad riojana es de 15.672 ha. Un 70% de la población riojana se sitúa cerca de los márgenes del río Ebro, soportando una población cerca de 220.000 habitantes, y núcleos industriales tan importantes como Logroño, Calahorra o Haro en el margen riojano (Gobierno de La Rioja, 2008).

La evolución de los caudales está controlada por dos grupos de factores variables en el tiempo: el clima y la cubierta vegetal. Los cambios en los elementos del clima o en la composición y densidad de la cubierta vegetal se reflejan en aumentos o disminuciones del caudal, modificaciones en la distribución estacional (régimen fluvial), en la magnitud y frecuencia de las avenidas y, en definitiva, en la cantidad y la calidad del agua que fluye por los ríos, fruto de la aportación hídrica por medio de las escorrentías. Cualquier cambio en la cubierta del suelo en las montañas es una amenaza para el delicado equilibrio entre la disponibilidad de recursos hídricos, la gestión de embalses, los caudales ecológicos y el uso del agua en tierras bajas.

5.2.3. Reducción de la escorrentía

La expansión de la cubierta vegetal después del abandono de la tierra tiene una influencia directa en el ciclo hidrológico, condicionando la intercepción, infiltración, generación de escorrentía y conectividad de las vertientes con los cursos fluviales.

En función de la densidad, del tipo de vegetación, del estado de sucesión vegetal o del tipo de bosque, la cubierta forestal, especialmente la arbórea y en menor medida la de matorrales, aumenta los índices de evapotranspiración y desempeña un papel amortiguador que, a través de los procesos de partición de la lluvia, reduce de forma considerable la cantidad de precipitación que llega al suelo, potenciando, con ello, la aridez y la falta de recursos hídricos en el suelo.

Por otro lado, el abandono de las tierras de cultivo implica una clara disminución de los coeficientes de escorrentía respecto a la fase de cultivo. Esta disminución es paralela al proceso de sucesión vegetal, por lo que los coeficientes son más elevados cuando domina una cubierta de herbáceas (primeros años de abandono) que cuando el matorral va cubriendo la parcela, puesto que el estrato de matorral se superpone sobre el de herbáceas, lo que favorece la infiltración del agua y la disminución de la escorrentía, y por lo tanto hay más recarga de los acuíferos.

Aragón

Se han simulado los caudales de cinco cabeceras de ríos en los Pirineos centrales españoles, considerando diferentes escenarios de cambio climático y de uso del suelo. Los caudales fueron simulados utilizando el modelo hidroecológico RHESSys (Regional Hydro-Ecologic Simulation System). Si se tiene en cuenta únicamente los impactos del cambio climático, el caudal anual de las cuencas observadas disminuiría entre un 13% y un 23%. El aumento de la vegetación en las partes superiores de las montañas junto con la expansión de los bosques y matorrales, reduce la escorrentía de manera notable, ya que esta vegetación intercepta los recursos hídricos, sobre todo en las cabeceras de los ríos. Sin embargo, los impactos del cambio climático en la cobertura vegetal sobre la respuesta hidrológica dependen de las características físicas de la cuenca, el tipo de vegetación, intensidad en las precipitaciones, etc. (López-Moreno et al., 2014a).

5.2.4. Afectación en la gestión de los recursos hídricos

La gestión de recursos hídricos se ve notablemente afectada por las modificaciones climáticas en un territorio tan sensible a los impactos del cambio climático como es la media montaña. Cada vez es más difícil gestionar los recursos hídricos, puesto que a los evidentes impactos del cambio climático se han sumado los impactos del abandono de las tierras agrícolas y la consiguiente invasión de paisajes de matorrales y bosques, en el sitio de prados y espacios idóneos para los pastos, donde las aportaciones de recursos hídricos a los ríos eran notables.

Aragón

La garantía de abastecimiento de algunas zonas de la media montaña aragonesa se puede ver comprometida, de manera que en un futuro no muy lejano pueden pasar a ser

deficitarias (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

Gestores de la tierra y científicos del mundo han tomado diferentes posiciones sobre cómo tratar y actuar frente a los cambios de usos del suelo. Algunos están a favor de la gestión activa (Active Management – AM), mientras que otros apoyan la gestión pasiva (Passive Management – PS). Se pretende investigar las implicaciones de la gestión activa y pasiva sobre las dinámicas hidrológicas y de vegetación bajo las distintas trayectorias climáticas en una cuenca representativa de cultivo abandonada del Pirineo central español. Para estimar la respuesta posterior a: la gestión del caudal del río (STR), evapotranspiración (ET), déficit de saturación del suelo (SD) y carbono vegetal (PC) después del desbroce de matorral, se utiliza un modelo eco-hidrológico ensamblado.

Para el modelo estático (sin crecimiento de vegetación) se presenta un diagrama de cajas sobre el total anual de las tres variables (caudal, evapotranspiración y déficit de saturación) durante el primer año después del desbroce de matorral, bajo los dos principales escenarios de gestión del territorio y cambio climático (Khorchani et al., 2020). Los valores corresponden a los primeros años posteriores al tratamiento durante las 15 fechas de inicio seleccionadas (2002-2016). En la figura 39 puede apreciarse que los escenarios proyectados son clave, ya que con una gestión más activa (CS y CSW) del territorio los caudales de los ríos aumentarían respecto a una gestión pasiva (BS y BSW). También disminuiría la evapotranspiración con una gestión activa del territorio respecto a los valores de una gestión pasiva. Por último, el déficit de saturación del suelo se potencia con una gestión pasiva del territorio, sin embargo, con una gestión activa los valores bajarían. Los diagramas de cajas y el coeficiente de variación muestran la gran variabilidad interanual bajo los dos escenarios de gestión territorial y climática. Cabe destacar que el coeficiente del caudal anual y del déficit de saturación sean mucho mayores que el de evapotranspiración. Esta variabilidad refleja el impacto de la gran variabilidad de lluvias interanuales (20,1%).

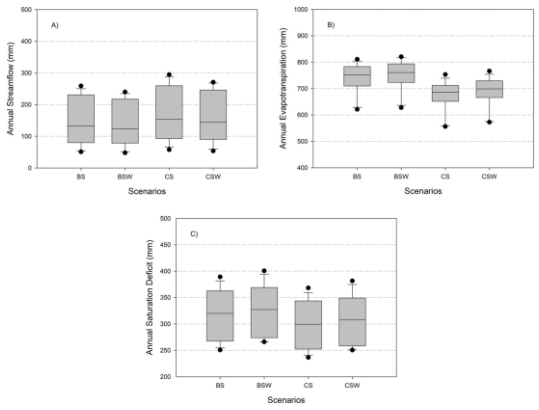


Figura 39. Efecto de los escenarios de desbroce de matorral y escenarios del cambio climático sobre A) Caudal anual, B) evapotranspiración anual y C) déficit en la saturación del suelo durante el primer año después del tratamiento. BS: base sin calentamiento, BSW: Base con calentamiento, CS: media de la intensidad de desbroce bajo el no calentamiento, CSW: media de la intensidad de desbroce bajo el calentamiento (modo estático). Fuente: Khorchani et al. (2020).

5.2.5. Reducción de la duración y cantidad de períodos de nieve

La duración y cantidad de períodos de nieve han disminuido considerablemente, provocando una alteración de los regímenes fluviales de los ríos pirenaicos con picos invernales relativamente más altos y un pico primaveral con menor intensidad. Las perspectivas de futuro indican que las tendencias observadas pueden continuar e incluso se pueden acelerar debido al alto grado de afectación del cambio climático en las montañas como en los Pirineos. Varios estudios afirman que muchos escenarios de cambio climático apuntan a un notable descenso de los caudales de las cuencas hidrográficas situadas en el Pirineo en los próximos años. Estas nuevas condiciones provocan un nuevo

contexto, ya que el aumento de temperatura afecta directamente a los glaciares, reduciendo su tamaño, incluso hasta hacerlos desaparecer.

5.2.6. Modificaciones en las características físicas y químicas del agua generada en los sistemas de media montaña

A los aspectos cuantitativos cabe añadir que los cambios en el ciclo hidrológico y el aumento de las temperaturas pueden provocar grandes modificaciones en las características físicas y químicas en las aguas generadas en los sistemas de media montaña, influyendo en su calidad. Las sequías y fuertes estiajes provocan que la aportación de agua de los ríos sea menor y, por tanto, aumentará la concentración de contaminantes por el menor efecto de dilución.

El empeoramiento de la calidad del agua se puede producir por la menor disponibilidad del recurso, pero también por cambios en el balance de minerales en su composición, ej. aparición de contaminantes emergentes en lagos de montaña (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

5.2.7. Afectación en la calidad y cantidad de las aguas subterráneas

Las consecuencias del cambio climático también podrían afectar sensiblemente a la calidad y cantidad de las aguas subterráneas, llevando a un incremento de la explotación de los acuíferos (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

Catalunya

Posiblemente, las modificaciones en el balance hídrico afectarán notablemente a las aguas subterráneas, sobre todo en la aportación, ej.: acuífero de Carme-Capellades (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022), llegando a disminuir la recarga de algunos acuíferos en un 20% a mediados de siglo.

5.3. Riesgos naturales

5.3.1. Disminución de la cantidad de sedimento transportado en los cursos fluviales

Las aguas fluviales constituyen un agente erosivo de primera magnitud. El agua continental fluye, en gran parte, en forma de ríos que discurren sobre la superficie, o de corrientes subterráneas, desgastando los materiales que hay por donde pasan y arrastrando los sedimentos en dirección hacia las partes más bajas del relieve, y de esta manera modelando el paisaje. El abandono de tierras de cultivo y su posterior revegetación provoca una disminución en la erosión del suelo y del transporte fluvial de los sedimentos.

Aragón

A largo plazo, los sedimentos de los embalses reducen su tiempo de vida y crean crecientes problemas para la gestión del agua en el futuro, particularmente en áreas semiáridas, donde la erosión es el principal problema. Sin embargo, se ha detectado una disminución en la tasa de sedimentación en algunos embalses debido al declive en la erosión del suelo y del transporte relacionado con el abandono de tierras de cultivo y la ampliación forestal. Este fenómeno se ha observado en el embalse de Yesa (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

5.3.2. Aumento en la frecuencia y la intensidad de las inundaciones

Incremento del riesgo de inundaciones debido, entre otras razones, a la reducción del sedimento transportado por los cursos fluviales que hace más incisivo el avance del agua, y al incremento de la intensidad de las precipitaciones (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

Aragón

Incremento de la exposición de la población a eventos extremos como las inundaciones, en parte debido al cambio climático (tormentas más intensas) y en parte debido a la ocupación del espacio fluvial que antiguamente pertenecía al río, ej. impacto del río Aragón, a su paso por Castiello de Jaca en la avenida de 2012, que se llevó por delante varias casas ubicadas en zona de policía (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

Los cambios en la intensidad de las inundaciones y su distribución estacional, son en su mayoría consecuencia de las construcciones de embalses. Sin embargo, es importante mencionar que la efectividad de los embalses en la protección contra inundaciones depende principalmente de una combinación de intensidad en el flujo máximo, el estado de llenado del embalse cuando aparece la inundación, y la gestión del embalse. Un análisis de la distribución estacional de las inundaciones antes y después de la construcción del embalse de Yesa (figura 40) demuestra que las inundaciones en otoño se vieron muy atenuadas por la gestión del embalse, debido a la necesidad de reponer el almacenamiento de agua después de la campaña de riego de verano. Las inundaciones de primavera también se han reducido en número e intensidad, permitiendo el llenado completo del embalse antes del verano. Sin embargo, las inundaciones de invierno han sido afectadas porque los gestores del embalse tienden a liberar el agua resultante para mantener un margen de seguridad y recibir las riadas por deshielo de nieve en primavera.

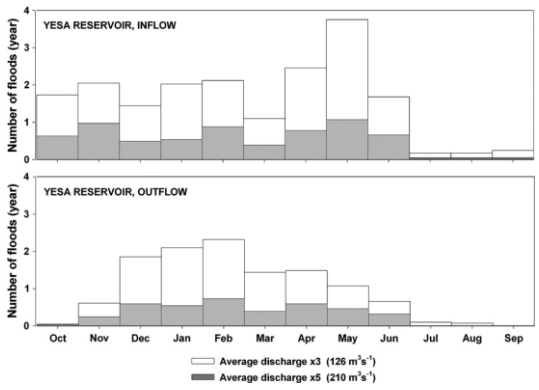


Figura 40. Número de inundaciones que superan en tres y cinco veces el promedio anual de escorrentía aguas arriba y aguas abajo del embalse de Yesa. Fuente: García-Ruiz et al. (2011).

Catalunya

Por regla general, las proyecciones del cambio climático en la media montaña de Catalunya señalan tanto un aumento de fenómenos meteorológicos extremos, como un aumento en la frecuencia y la intensidad de las inundaciones y de las crecidas de los cursos fluviales. El cambio de calendario del deshielo y el cambio de régimen de períodos extremos de las precipitaciones puede potenciar el exceso de carga de agua en algunos períodos de lluvias intensas y aumentar la frecuencia de desastres naturales por crecidas e inundaciones.

5.3.3. Aumento de la torrencialidad

La dinámica hidrológica y geomorfológica de las vertientes se transmite finalmente a los ríos, cuyo funcionamiento está muy relacionado con la cantidad de agua y sedimento que llega desde las vertientes. Cambios en la cubierta vegetal o de las características de la precipitación introducen alteraciones en la generación de escorrentía, la erosión del suelo y la conectividad entre laderas y caudales. También se incrementa el riesgo de torrencialidad cuando se eliminan elementos del paisaje que contribuyen a estabilizar el suelo o a favorecer la infiltración (como los muros de piedra seca o los bancales) (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022; 3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022).

Aragón

Un estudio realizado en el Pirineo central español muestra como la mayor parte del territorio se explotó intensamente en el momento de máxima presión demográfica, con el cultivo en vertientes de fuerte pendiente y presencia frecuente del fuego en áreas de pastos (García-Ruiz et al., 2015). La erosión debía de ser muy alta, así como la capacidad para generar escorrentía en las vertientes, dando lugar a una elevada torrencialidad en los caudales fluviales. Muy probablemente allí donde la presencia humana era más constante, los ríos evolucionaron hacia caudales de tipo trenzado, con un barrido de cantos y bloques en toda la llanura aluvial, y varios canales inestables que cambiaban de posición durante cada avenida (fotografía 1).

Fotografía 1. El río Aurín en su curso inferior, mostrando todavía algunos rasgos de torrencialidad a pesar del descenso de aportaciones sedimentarias desde las vertientes como consecuencia de la reforestación. Fuente: García-Ruiz et al. (2015).

La Rioja

El desmantelamiento de paisajes aterrazados en varios puntos de la Rioja acelera los procesos de erosión y la pérdida de calidad paisajística, ej. Valles de Cidacos y del Leza-Jubera (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

5.3.4. Aumento en la frecuencia de episodios naturales de movimiento de tierras

Es muy probable que en décadas futuras aumente la frecuencia de episodios naturales de movimiento de tierras por factores meteorológicos y climáticos, debido al estrés producido sobre el material. El aumento de temperaturas y las olas de calor han provocado un aumento de fenómenos de deslizamiento de rocas y movimiento de tierra, entre otros (OPCC, 2019). Pero todavía es complicado definir con exactitud la relación entre la reducción de las precipitaciones o el aumento de las temperaturas con el incremento de la frecuencia de episodios naturales de movimiento de tierras.

Aragón

En Biescas se está trabajando en la búsqueda de soluciones basadas en la naturaleza para evitar las consecuencias de las avalanchas, caídas de bloques y deslizamientos de terreno sobre carreteras (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

5.4. Sistemas naturales

Los cambios en la biodiversidad terrestre en la cuenca mediterránea durante los últimos 40 años se han producido con más rapidez y extensión que en la mayoría de las otras regiones del mundo. La urbanización y la pérdida de pastos son factores clave en la degradación de los ecosistemas en toda la región. Desde 1990, el abandono agrícola ha provocado un aumento general de la superficie boscosa del 0,67% año^{-1} en toda la cuenca, con variaciones significativas entre las costas norte y sur del Mediterráneo (MedECC, 2020).

Los territorios de montaña son especialmente sensibles a las consecuencias del cambio climático ya que por un lado reciben unos impactos directos, y por otro, muchas personas y especies vegetales y animales dependen de estos territorios. El impacto del cambio climático crea determinados desequilibrios ambientales que provocan diversas modificaciones tanto en los paisajes como en los ecosistemas naturales, así como sus configuraciones. Si a estos impactos le sumamos la alta tasa de abandono de las tierras agrícolas y de cultivo, tenemos como resultado un territorio modificado, tanto externa como internamente, provocando grandes impactos naturales en el mismo ecosistema y en la vida que le rodea.

5.4.1. Disminución de la biodiversidad

Las mayores temperaturas y la menor disponibilidad de oxígeno disuelto en el agua tienen un impacto significativo sobre los ecosistemas y hábitats de zonas húmedas. Cambios en la geomorfología de los cursos fluviales y alteraciones en el transporte de sedimentos también tienen impacto sobre el refugio y los hábitats de algunas especies de macro y microinvertebrados vinculados al sistema fluvial (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

También disminuye la variabilidad de la sucesión vegetativa, lo que conlleva una disminución de la variabilidad de especies y, por lo tanto, de la biodiversidad en general (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

Catalunya

En Catalunya se ha constatado una disminución del 57% de las especies de mariposas en espacios abiertos forestales que han sido colonizados por el bosque, y del 17% de especies de aves (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

5.4.2. Cambios en la distribución de las especies

Ante el calentamiento general del planeta, las especies responden modificando su distribución y posición, desplazándose a territorios más idóneos (aumentando su altitud) para poder desarrollarse y vivir mejor, lo que provoca un desequilibrio notable en el ecosistema.

Así como la fauna se moviliza para encontrar unas mejores condiciones de vida, la flora también lo hace. Con la combinación de la acción antrópica y el cambio climático se está alterando la distribución y composición de la vegetación, así como su diversidad. Este desplazamiento por parte de la flora y la fauna en busca de unas condiciones climáticas más adecuadas para vivir podría influir en la conectividad entre los espacios naturales del paisaje montañoso medio, ya que es probable que algunas áreas protegidas e interconectadas se aíslen en beneficio de especies puntuales que mejor se adapten a las nuevas condiciones climáticas de estas áreas. Los factores climáticos y antrópicos pueden poner en peligro la salud de la flora ya que, con la alteración de los ciclos de vida y modificación de los usos del suelo, entre otros, se generan alteraciones en los ecosistemas, poniendo en peligro la salud y el bienestar del ecosistema.

El bosque es uno de los ecosistemas más afectados por la combinación de la acción antrópica y el cambio en las condiciones climáticas. El calentamiento global y los cambios en los usos del suelo en ecosistemas naturales provocan la modificación y diversidad de muchas comunidades vegetales y especies forestales en la montaña. La combinación entre el cambio climático y el abandono de las actividades agrícolas y de pasto en la montaña está provocando una alteración de la composición de los bosques de media montaña.

Aragón

Algunas especies alpinas como el abeto y otras especies de fauna asociadas, hoy presentes en algunas zonas de la media montaña, están desapareciendo ya que migran a cotas de mayor altitud, ej. urogallos y pájaros carpintero asociados al abetal.

Por otro lado, al incrementar la vegetación en la media montaña, se espera que aparezca fauna de mayor tamaño (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

Catalunya

Se han observado alteraciones en las dinámicas poblacionales de la fauna salvaje, ej. los jabalíes y los corzos están afectando a la biodiversidad de los bosques y tienen un **Aumento de altitud de la línea natural arbórea** *impacto significativo sobre la agricultura y la ganadería (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022).*

En todas las regiones montañosas mediterráneas, las especies subalpinas se mueven a cotas más altas siempre que es posible. Para la mayoría de ecosistemas, existen opciones de gestión que pueden mejorar la resiliencia ante los cambios ambientales. La promoción de la "conectividad climáticamente inteligente" mediante la permeabilidad de los paisajes y la conservación o la creación de corredores de dispersión y redes de hábitats pueden facilitar la migración ascendente de especies de las tierras bajas en las montañas para adaptarse a las nuevas condiciones del cambio climático (MedECC, 2020).

El aumento continuo de temperaturas y de las largas temporadas con escasez de nieve tienen como consecuencia el desplazamiento ascendente de la línea de árboles. Estas nuevas condiciones permiten a algunas especies vegetales desarrollarse y sobrevivir en zonas donde antes no era posible su estancia, puesto que la presión ganadera ha disminuido con el transcurso del tiempo en el siglo XX. Por ello, con la reducción del ganado, la línea del bosque se ha visto notablemente afectada. El cambio climático obliga a muchas especies de fauna y flora a adaptar su ciclo de vida a otro territorio donde las condiciones vitales sean favorables para estas especies (Claramunt, 2021).

Aragón

Hay que tener en cuenta que, en algunos casos, el reciente ascenso del límite arbóreo actual muy probablemente tenga más que ver con el calentamiento global que con el descenso de la presión ganadera. Esto sólo se puede probar allí donde el límite arbóreo se encuentra muy cerca del límite natural, como se ha demostrado en la cabecera del valle de Esquaín, dentro del Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. En la zona llamada Foratarruego, a una altitud cercana a los 2.300 m, se descubrió la presencia de numerosos árboles adultos muertos, fruto de la última glaciación, al tiempo que el ascenso de un elevado número de pinos negros (Pinus uncinata) jóvenes, más jóvenes cuanto mayor era la altitud. En estos momentos el límite superior del bosque habría descendido unos 100 metros, causando la muerte de los pinos que quedaron atrapados en este cinturón crítico. Desde la segunda mitad del siglo XX, el calentamiento global habría favorecido la recuperación del pinar hacia cotas más elevadas, al subir de nuevo el límite superior del bosque (en 50 metros aproximadamente), al igual que lo han hecho numerosas especies termófilas (figura 41). Con un aumento continuo de las temperaturas, la biodiversidad pirenaica se ve notablemente afectada, la línea de bosque tiende a ascender para poder adaptarse a unas condiciones ideales para el desarrollo de la especie. Este ascenso en la línea de bosque se produce en espacios donde antes sólo estaban ocupados por prados, afectando directamente a los pueblos y núcleos de población de un tamaño reducido.

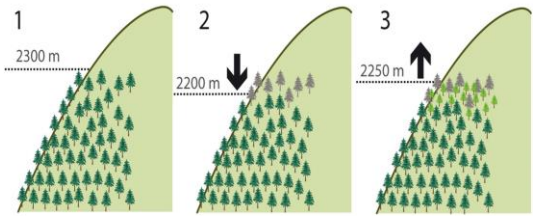


Figura 41: Esquema de cambios en el límite superior del bosque en Foratarruego, cabecera del Valle de Esquaín, Parque Nacional de Ordesa y Monte Perdido. La Pequeña Edad del Hielo forzó el descenso del límite del bosque, dando lugar a la muerte de numerosos árboles (infografía 2). Por el contrario, el calentamiento global a lo largo del siglo XX ha propiciado la recuperación del bosque y el ascenso altitudinal del límite superior (infografía 3). Fuente: García-Ruiz et al. (2015).

5.4.3. Cambios fenológicos

El cambio climático está provocando variaciones notables dentro de los ecosistemas naturales, incluso podría llegar a provocar notables alteraciones en el ciclo de vida de las distintas especies existentes, así como las relaciones e interacciones entre las mismas. Con el aumento de temperaturas también se ha alterado el ciclo de vida de la fauna, ya que se está modificando el calendario de sus eventos vitales, como la migración, en la que se han observado anticipos en las fechas de los primeros avistamientos de determinadas especies en las últimas décadas, o la reproducción (OPCC, 2019).

Los desajustes entre diferentes especies, como los insectos polinizadores y las plantas de las que dependen, o los depredadores y sus presas, pueden afectar notablemente a la salud del ecosistema de media montaña.

5.4.4. Incremento de las especies invasoras y especies oportunistas

Se ha observado la expansión de especies invasoras como la avispa asiática (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022) y el cangrejo de río americano (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022).

5.4.5. Cambios en algunas patologías (enfermedades y plagas)

Los cambios fenológicos, la homogenización del paisaje, así como la ocurrencia de episodios de sequía más frecuentes alteran los ciclos biológicos de algunas especies plaga e incrementan la vulnerabilidad de algunas plantas huésped. Se ha observado que los fenómenos de decaimiento de masas forestales por estrés hídrico favorecen el ataque de plagas. Ej. Procesionaria del pino (*Thaumetopoea pityocampa*) en los pinares densos (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022; 3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022; 3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

Por otra parte, posiblemente la menor ocurrencia de heladas favorezca la presencia de más inóculo que antes se inactivaba con las temperaturas más bajas, ej. aparición de nuevas plagas como la *Lobesia brotana* (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022).

5.4.6. Aumento de los incendios forestales

Los impactos del cambio climático como el aumento de temperatura (que provoca un incremento en la evapotranspiración), la reducción de las precipitaciones, el aumento de la frecuencia e intensidad de sequías, etc., hacen que la disponibilidad de agua sea menor y sea mayor el riesgo de incendios forestales en los bosques.

En los últimos años se ha producido una disminución de las tierras de cultivo y un aumento de los bosques y matorrales debido a la bajada de la presión ganadera y los cambios de tipo climático. Esta evolución produce alteraciones en el ecosistema ya que la expansión de una cubierta densa de matorral conduce a una notable reducción de la escorrentía superficial y, consecuentemente, de la

erosión del suelo frente a la gran cantidad de agua y sedimentos producidos desde las parcelas cultivadas (García-Ruiz et al., 2015).

La monitorización de las cuencas experimentales ha servido para demostrar que un cambio de la escala de estudio mantenía la misma tendencia que las parcelas experimentales: el abandono de tierras de cultivo favorecía una rápida expansión de la colonización vegetal (ciertamente más rápida en laderas de pendiente más suave y mejor conservadas, más lenta en laderas con mucha pendiente y con pocas estructuras de conservación), y una contracción de las áreas de escorrentía y sedimento (García-Ruiz et al., 2015).

El aumento en las temperaturas y en la aridez explica el incremento de los incendios y de la superficie quemada, sobre todo en las estaciones de primavera y verano, donde las temperaturas son más altas y la escasez de recursos hídricos aumenta. Otro factor clave para entender el aumento en el número de incendios sería el abandono de las tierras agrícolas y de cultivo y el desaprovechamiento de los recursos forestales y ganaderos. Esta situación lleva a un escenario de revegetación, donde predominan matorrales y bosques, que junto a unas condiciones climáticas cada vez más áridas y calientes, aumentan las posibilidades de que se produzca un incendio, respecto a las condiciones (climáticas y diversidad vegetal) de anteriores décadas. Especialmente en la Península Ibérica, los incendios han experimentado un aumento significativo desde la década de los 70, y esto se debe a los cambios del clima y usos del suelo. Los incendios forestales son responsables de la degradación del paisaje, pudiendo también modificar sus dinámicas, como resultado de su efecto en las propiedades del suelo y de la vegetación.

En cualquier caso, existe un amplio consenso en que sin gestión activa del monte se incrementan los riesgos de incendios en escenarios de cambio climático (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

La Rioja

En el caso de La Rioja, desde 1986 se están impulsando políticas de desbroces asociados a la entrada posterior de ganado para su mantenimiento, que están funcionando muy bien para reducir el riesgo de incendios forestales, hasta el punto que en este territorio nunca se han producido grandes incendios. Es necesario mantener estas actuaciones de prevención para mantener a raya los incendios (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

No obstante, se percibe un aumento del riesgo de incendios forestales relacionado con la no gestión de muchas repoblaciones forestales que se encuentran en zonas de pendiente y en entornos de accesos complicados, que se impulsaron hace años en un contexto climático y social diferente al actual, ej. el Cañón del Leza y Alto Najerilla. También se percibe la simplificación del paisaje como uno de los principales riesgos, ej. Cabecera de Rabanera, Vadillos y Leza (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

Fotografía 2. Incendio forestal en Ezcaray. Fuente: larioja.com

5.4.7. Incremento de episodios de decaimiento forestal

El debilitamiento de los bosques de ribera debido a las sequías puede desestabilizar los márgenes e incrementar la erosión de la cuenca (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022). Como consecuencia de episodios extremos, los ejemplares más viejos se debilitan y son los pies más jóvenes los que acaban colonizando. Por tanto, se produce una dificultad de maduración de los bosques debido a que hay un rejuvenecimiento continuado (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022).

Catalunya

En Catalunya se ha observado un incremento en la frecuencia de períodos de decaimiento, ej. bosques de les Gavarres y del Montseny (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022).

Según el informe anual del DeBosCat, la red de monitorización del Decaimiento de los Bosques de Cataluña que tiene datos de decaimiento desde el año 2012, el 2021 fue un año excepcionalmente seco en todo el territorio catalán, exceptuando la mitad sur (figura 42). Empezó con un invierno con registros pluviométricos inferiores a lo habitual por la época y sufrió un verano donde el agua sólo hizo acto de presencia en el sur de Cataluña y, mayoritariamente, de forma torrencial.

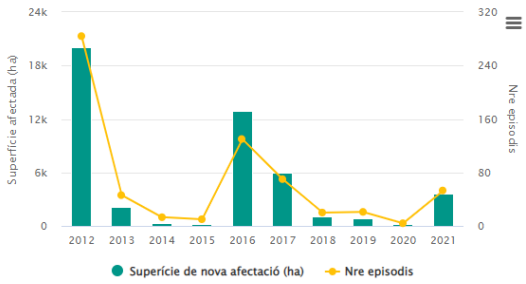


Figura 42: Evolución de la superficie y número de episodios de nueva afectación entre los años 2012 y 2021. Debido a los cambios de protocolo, la superficie de 2012 es aproximada y no ha sido posible determinar el número de episodios nuevos. Fuente: CREAF (2021).

En 2012 representó un incremento muy notable en el número de episodios y la superficie afectada, y en 2016, después del descenso de episodios debido a las cicatrizaciones del año 2015, también registró un incremento destacable de nuevos episodios. En 2017 y 2018 se registró una cantidad muy similar de episodios, con 387 y 385 respectivamente. En 2019 muestra un importante descenso de la afectación tanto en número de episodios como

en superficie. Por último, la campaña de 2020, después de un invierno y primavera especialmente lluviosos, es la que ha registrado menor superficie y número de episodios de la serie.

5.4.8. Homogeneización de los ecosistemas

La diversidad biológica es un valioso parámetro para valorar el interés ecológico de un territorio y para orientar las posibles políticas de conservación de la naturaleza. Se estima que aproximadamente el 50% de las especies de flora y fauna europeas dependen de los hábitats agrícolas (Grashof-Bokdam et al., 2004). Es necesario, por tanto, tener muy en cuenta el abandono de tierras agrícolas, ya que sin estos espacios un grueso muy importante de la biodiversidad se verá afectada gravemente. Los campos abandonados poseen algunas características que los hacen especialmente sensibles para la evolución de la biodiversidad: amplia extensión, dinámica espacial y temporal, localización en áreas de suelo pobres e inestables geomorfológicamente, espacio abierto rodeado de masas boscosas, cese de la gestión antrópica, modificación del modo y lugar de vida de la fauna y flora como consecuencia del cambio climático. En los territorios de montaña se están produciendo transiciones continuas, ya que el abandono de tierras por parte de actividades agrícolas ha provocado desequilibrios, y el territorio debe responder a ellos. Con el abandono de las tierras de cultivo, las zonas arbustivas como los matorrales ocupan estas zonas en desuso agrícola, en primer término, y los bosques, en segundo término, ganando terreno a los antiguos pastos. Esta situación homogeneiza el territorio, provocando una gran pérdida de la biodiversidad de los territorios de la media montaña a gran escala.

La Rioja

En La Rioja se está observando la densificación de algunas dehesas por falta de presión ganadera, ej. Terroba, Santa María (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

5.4.9. Afectación de los servicios ecosistémicos

El aumento en la presión humana foránea, como consecuencia del turismo, la subida en las temperaturas y la disminución de la disponibilidad de recursos hídricos provocan un nuevo contexto en las zonas de montaña. El equilibrio entre disfrutar de los beneficios de la naturaleza y perjudicarla con la presencia humana es inestable, ya que a menudo falta una regulación específica. Los humanos somos actores claves para entender el contexto en las zonas de montaña, puesto que las presiones que ejercemos sobre este territorio provocan alteraciones en sus ecosistemas, así como sus estructuras y funciones. Como consecuencia de estos impactos, se ven afectados los servicios básicos para el desarrollo sostenible y bienestar de la sociedad rural y urbana (Claramunt, 2021).

El cambio climático y la estructura del bosque (resultante de la gestión) pueden afectar a la productividad de los bosques y los servicios ecosistémicos forestales tales como la capacidad de fijación del dióxido de carbono de la atmósfera a través de la fotosíntesis, o bien la generación de agua azul (escorrentía). Si bien la concentración de dióxido de carbono tiene un efecto fertilizante sobre los bosques, esto es así siempre que exista disponibilidad de agua.

Los bosques también juegan un papel clave en cuanto a la protección de la población de algunos riesgos naturales (avenidas, desprendimientos o aludes), por tanto, con el aumento de riesgos esta capacidad protectora de los bosques se verá notablemente limitada.

Las tierras abandonadas generalmente sufren un proceso de sucesión vegetal, lo que tiene implicaciones para los servicios de los ecosistemas, como es el caso del aprovisionamiento de agua. Durante las últimas décadas, la gestión de estas áreas abandonadas se ha convertido en un objetivo de los responsables políticos para asegurar la sostenibilidad de los servicios de los ecosistemas. Éste es un proceso muy complejo, ya que depende de múltiples factores climáticos, naturales y biofísicos, así como factores humanos y sociales.

Aragón

Trabajos de campo realizados por el IPE en Bestué confirmaron que los pastos son unos grandes captadores de carbono. También en Borau, en Las Blancas, se ha demostrado la mayor capacidad de secuestro de carbono de los pastos subalpinos frente a las zonas en fase de matorralización (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

En algunas explotaciones aisladas abandonadas, con una pendiente de menos de un 30%, buena accesibilidad y riesgo bajo de erosión, el matorral fue eliminado, respetando las zonas más escarpadas y los límites de los viejos campos, que actúan como canales ecológicos. El resultado de estas condiciones ha sido un paisaje en mosaico, pequeños trozos de bosque y matorral, y grandes extensiones de bosque interrumpidas por campos desbrozados abandonados (figura 43). Los efectos del desbroce de matorral son muy positivos para controlar el fuego, generar pastos y para la estructura del paisaje y su biodiversidad.

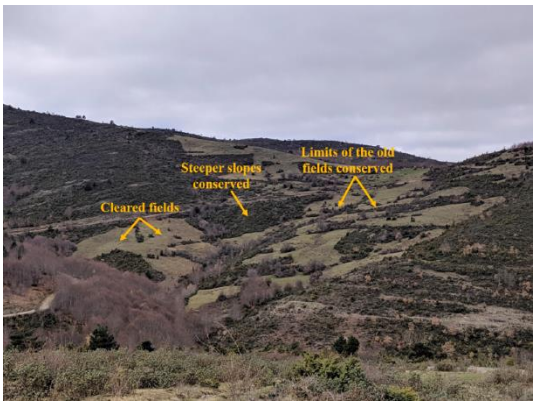


Figura 43. Paisaje en mosaico después del desbroce de matorral. Fuente: Khorchani et al. (2021b).

5.5. Sectores económicos

Los recursos hídricos escasean cada vez más y son fundamentales para desarrollar las actividades económicas y abastecer a la población que ejercen estas actividades (fotografía 3).

Fotografía 3. Imagen del pantano de Pajares (valle del Iregua) con escasa agua embalsada como consecuencia de una sequía y la excesiva revegetación de las laderas. El ganado vacuno complementa su alimentación con paja comprada fuera del valle. Fuente: Gobierno de La Rioja (2008).

Sector agrícola y ganadero

5.5.1. Alteración de las actividades económicas agrícolas y ganaderas

Las consecuencias del cambio climático pueden afectar negativamente a las tierras de cultivo y al sector agrícola y ganadero, ya que con una disminución de la disponibilidad del agua se dificulta la práctica agrícola, sobre todo la de los cultivos de secano, y el acceso al agua del ganado.

La tierra que deja de cultivarse se incorpora, generalmente, al espacio de uso ganadero. Los campos abandonados pasan a formar parte de los itinerarios de pastoreo. Su mayor o menor aporte a la alimentación del ganado depende mucho de las condiciones ambientales de cada campo: fertilidad del suelo, clima y litología; esta última determina la composición de la cubierta vegetal, con especies de distinto valor ganadero. Sin embargo, existe un factor que condiciona totalmente la productividad y la duración temporal del uso ganadero de los campos abandonados; se trata de la relación entre sucesión vegetal y gestión ganadera, que se enmarca en la interacción pasto-herbívoro. Las modificaciones en las condiciones climáticas también pueden afectar a las actividades económicas dependientes de la tierra o de las propias condiciones ambientales. Con la alteración de estas condiciones las actividades económicas, sobre todo la ganadería, se ven afectadas, ya que las características fisiológicas del territorio están en continuo cambio debido a esta situación tan sensible.

Por otro lado, también se considera que, si disminuyen las ayudas de la PAC[1], las pequeñas y medianas explotaciones, predominantes en la media montaña, verán comprometida su viabilidad en un futuro inmediato y esto se traducirá en un abandono del entorno rural (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

[1] Política Agrícola Común.

Catalunya

Los impactos del cambio climático pueden provocar una alta variabilidad cuantitativa y cualitativa de las cosechas, afectando a los diversos cultivos. En el caso de la viña se pueden producir reducciones en la producción, en la acidez y taninos verdes, en el tamaño de la uva, paradas fenológicas, etc. Ej.: en el Penedès ya se está constatando la necesidad de buscar nuevas variedades que requieran menos agua para adaptarse a los nuevos escenarios climáticos y mantener las viñas en los mismos lugares (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022).

La Rioja

Los cambios sociales, económicos, demográficos y culturales que ha experimentado la montaña desde mediados del siglo XX llevaron al éxodo rural y al abandono de las actividades primarias, con el consiguiente abandono de las tierras donde se ejercían estas actividades. El sector de la agricultura, la ganadería y la pesca, junto con la industria manufacturera, son las actividades productivas de La Rioja que más despuntan como consecuencia de la combinación de una alta productividad y mayor especialización que la media del país.

Según los índices de Winkler, la zona de viñedo riojana ya ha cambiado a más cálida. La zona baja ha pasado a ser más árida y la zona más fresca es ahora más cálida. En definitiva, la viticultura de la zona sur de La Rioja se va pareciendo más a la de Castilla La Mancha que a la del Norte de España. Esta situación vinculada a más horas de insolación, puede comportar cambios en la calidad de los vinos, por ejemplo, a nivel de acidez. No obstante, este cambio en zonas de media montaña no tiene que ser necesariamente una mala noticia. Este tipo de cultivo que antes se veía limitado por el riesgo de heladas puede ahora ir a cotas más altas. Por lo tanto, el cambio climático puede ser una oportunidad para ampliar la superficie de viñedos hacia la media montaña (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

En la media montaña riojana, entre 700 y 900 m de altitud, es posible que sea necesario optar por variedades de blanco en vez de tinto, o poner cavas, pero en todo caso ya se dispone de variedades adaptadas a un régimen en el que haya más riesgo de heladas (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

No obstante, se constata que en la media montaña faltan infraestructuras de reserva de agua (balsas, pequeñas presas) necesarias en el caso de los viñedos con riego (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

5.5.2. Disminución de la productividad de los pastos y del rendimiento económico y productivo de los rebaños

Las olas de calor y el aumento de las temperaturas afectan de forma directa al estado de salud de los animales que pastan, así como las nuevas condiciones climáticas pueden influir y condicionar la productividad y la calidad de los pastos, haciendo menos deseables y digeribles los pastos para el ganado. El aumento de temperatura afecta directamente a los animales, ya que reducen la ingesta de alimento y, por tanto, podría afectar al rendimiento económico y productivo de los rebaños. Además, es muy probable que la escasez de agua, el cambio de calendario de los cultivos y el incremento de la

vulnerabilidad frente a fenómenos climáticos extremos provoquen una disminución de la productividad de los pastos de media montaña. Las nuevas condiciones climáticas pueden afectar a la productividad, ya que después de sequías intensas en épocas estivales es muy difícil la recuperación de los pastos de cara al otoño. La alteración de los hábitats florísticos en las comunidades donde se hace pastoreo puede afectar a la calidad de estos pastos, ya que la composición florística no es la misma y la alimentación del ganado se ve notablemente afectada.

La reducción de la productividad de los pastos puede afectar a la actividad ganadera ya que los ganaderos deberán suplementar la dieta de sus animales con piensos y otros productos comprados fuera de su explotación. Además, la trashumancia y la transtermitancia pueden verse alteradas por el cambio climático y sus consecuencias en la productividad de los pastos (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022). Sin embargo, en algunos aspectos el cambio climático puede tener un impacto positivo en la ganadería. Una mayor bonanza de las temperaturas puede disminuir el tiempo de estabulación del ganado y contribuir a tener menos costes en la explotación. Si los pastos supraforestales están menos tiempo cubiertos de nieve se alargará el período para su aprovechamiento (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022).

Sector turístico

5.5.3. Reducción del atractivo turístico

Cada vez más, el cambio climático está afectando notablemente al sector terciario, y en particular al turismo. Las consecuencias del cambio climático, como el aumento de temperaturas y la disminución moderada de la precipitación, provocan modificaciones en los paisajes, entre otros. Estas modificaciones pueden provocar una disminución del atractivo turístico, y si el sector turístico se ve afectado, el sector terciario en general también.

Catalunya

Si bien la nieve es un meteoro ocasional en la media montaña catalana, uno de los riesgos para el turismo tiene que ver con los cambios irreversibles de los paisajes o elementos icónicos en montaña. Los cambios en la distribución y composición de la flora y la fauna de los ecosistemas de la media montaña pueden afectar negativamente a la atracción visual de los paisajes pirenaicos.

La Rioja

Además del cambio climático, el abandono de las tierras de cultivo provoca una visión de un paisaje deshumanizado con una notable degradación del territorio debido a la disminución de la actividad del sector primario (agrario y ganadero), afectando a la media montaña de La Rioja.

5.5.4. Afectación sobre los deportes y actividades de invierno relacionados con la nieve

El cambio climático está alterando la duración de la temporada de nieve, tanto en altura como en grosor y permanencia, con un impacto evidente en las estaciones de esquí, principalmente, que se están reconvirtiendo en estaciones de montaña. Por otra parte, los deportes y actividades de invierno relacionados con la nieve se ven notablemente afectados por la disminución continuada de las temporadas de nieve, afectando notablemente a una parte de la economía de los territorios de montaña (Claramunt, 2021).

La Rioja

Como consecuencia directa del cambio climático, la temporada de esquí en La Rioja se ve afectada debido a un aumento en las temperaturas y la prematura fusión de la nieve. Las estaciones de esquí, como la de Valdezcaray, se están viendo afectadas por una apertura tardía de la temporada de nieve por los aumentos de las temperaturas, y por un acortamiento del final de la temporada debido a la rápida fusión de la nieve en territorios montañosos.

Sector energético

El desarrollo de proyectos relacionados con las energías renovables (huertos solares, molinos de viento) pueden generar conflictos en la media montaña. Por un lado, algunos de estos proyectos pueden entrar en competencia por el uso de la tierra para actividades agrícolas y ganaderas. Por otro lado, por el impacto paisajístico de algunas de estas instalaciones, especialmente las grandes con todos sus accesos, que disminuyen el atractivo turístico de la zona (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

5.5.5. Afectación en la producción de energía en las centrales hidroeléctricas

Es uno de los ámbitos socioeconómicos en los que la montaña media se ve más notablemente afectada. El impacto del cambio climático en el ciclo hidrológico puede afectar a la aportación de agua a las centrales hidroeléctricas para producir energía, sobre todo en períodos de sequía, olas de calor y precipitación escasa. La modificación y disminución del calendario del deshielo limitan la capacidad de acumulación de agua en los embalses para la producción de electricidad.

5.5.6. Afectación en la producción de energía en las centrales eólicas

Otra energía que puede verse perjudicada es la energía eólica, ya que se prevé que haya menos viento en las cordilleras. Los cambios que se esperan en la velocidad media del viento en superficie podrían reducir la producción potencial de energía eólica, con unas reducciones previstas de 1 MWh/día durante el transcurso del siglo, respecto a los valores actuales (OPCC, 2019).

5.5.7. Afectación en las infraestructuras de producción y transporte de energía

Las infraestructuras de producción y transporte pueden verse afectadas por el cambio climático, ya que se espera que los riesgos naturales aumenten (deslizamientos, temporales, etc.). La variación de la demanda estacional de energía provoca una alteración en la producción y distribución de la misma.

Debido a las modificaciones climáticas se prevé que se produzcan unos picos de demanda importantes en verano, la cual podría coincidir con una escasez de producción energética debido a las sequías del período estival y la demanda de agua para otros usos.

5.6. Impactos sociales y demografía

Las montañas son territorios muy sensibles a los efectos del cambio climático. Los factores sociales también deben tenerse en cuenta ya que según cómo evolucione la sociedad, la población se comportará de una u otra manera.

Las continuas presiones antrópicas sobre los ecosistemas naturales, junto a las consecuencias e impactos del cambio climático (aumento de temperaturas y escasez de recursos hídricos) han constatado un nuevo contexto social en las zonas de montaña. Mantener un equilibrio entre disfrutar de los beneficios que provee la naturaleza y llevar a cabo acciones que le afectan negativamente es un objetivo poco realista, ya que la presión antrópica aumenta y el estado no brinda una protección clara. La presión antrópica sobre los diferentes ecosistemas naturales y la biodiversidad provoca alteraciones notables en las estructuras y funciones del territorio, afectando severamente al correcto funcionamiento de los servicios básicos de subsistencia para la población rural y urbana, así como al desarrollo sostenible de la sociedad.

5.6.1. Falta de gestión y mantenimiento del territorio

La montaña se ha convertido en un espacio de uso personal para una parte importante de la población, puesto que se concibe el paisaje como un bien colectivo. A este factor se le añade la emigración y abandono de las tierras de cultivo que ha tenido lugar en las áreas de montaña y como consecuencia, un cambio de percepción de la sociedad. Estos abandonos también originan impactos de carácter ambiental, paisajístico, económico y social, que no sólo afectan a los habitantes locales, sino a la sociedad completa, ya que las montañas son las principales proveedoras de algunos recursos y servicios básicos para el desarrollo y subsistencia de la sociedad.

La disminución de la carga humana asentada en la media montaña tiene como consecuencia la pérdida de infraestructura y servicios a la población (3ª reunión del Comité de actores de Aragón, 2022). La despoblación rural ha comportado también la pérdida de conocimientos tradicionales vinculados a la gestión del territorio, como aquellos relacionados con el mundo ganadero (sobre los tipos de pastoreo o sobre cómo se aprovechan tradicionalmente los pastos y se manejan las capacidades de carga ganadera en las unidades de pastoreo), la recuperación de variedades frutales tradicionales propias de la zona, etc. (3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, 2022).

Aragón

Un factor clave para entender la falta de gestión y mantenimiento del territorio es la despoblación producida entre los siglos XIX y XX en los Pirineos (y, generalmente, en los territorios montañosos occidentales). El poder de gestión y administración son menores en territorios de montaña con una baja ocupación demográfica. En consecuencia, las problemáticas en estos espacios no obtienen la importancia que merecen debido a que no es mucha la gente que vive en las montañas.

La mayor parte de los asentamientos pirenaicos alcanzaron su máximo demográfico en la segunda mitad del siglo XIX. Desde entonces se produjo un progresivo descenso en los censos de población, de forma muy lenta hasta los primeros años del siglo XX, para acelerarse progresivamente hasta 1980. A partir de entonces la tendencia decreciente se suavizó o, incluso, se llegó a invertir. En muchos municipios la despoblación ha sido tan intensa que muchos pueblos han quedado despoblados o con un número tan pequeño de habitantes que pueden considerarse inviables a medio plazo si no cambian las circunstancias sociales y económicas.

Este proceso de despoblación ha afectado incluso a algunos núcleos de población tradicionalmente importantes, debido al desplome de las bases económicas sobre las que se sustentaba su fuerza. Es el caso de Ansó, después de la crisis ganadera (1.977 habitantes en 1842; 523 en 2001); también es el caso del Valle de Hecho (3.400 habitantes en 1887; 644 en 2001) (figura 44). En los casos de Campo, Torla y Montanuy la despoblación no ha sido tan potente ya que no ha habido ningún pico de población realmente fuerte, pero los tres municipios tienen menos de 500 habitantes, y los municipios de Torla y Montanuy han tenido períodos con menos de 1.000 habitantes, por tanto, han reducido su población a la mitad respecto al período con población máxima. Esto sugiere que el turismo, por sí solo, no es un factor capaz de invertir la tendencia demográfica negativa del Pirineo Central, excepto en el caso de un turismo de invierno y verano que estabilice o incremente los censos demográficos, pero que compita con fuerza con las actividades tradicionales a las que deja en una posición marginal (García-Ruiz et al., 2015).

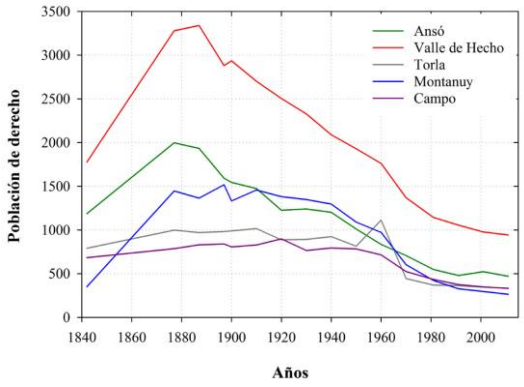


Figura 44: Evolución demográfica regresiva en una selección de municipios de Aragón (pirenaicos). Fuente: García-Ruiz et al. (2015).

La Rioja

En términos demográficos, La Rioja no se benefició de la expansión demográfica experimentada en España en las décadas de los 50, 60 y 70, ya que entre estas décadas la población riojana sólo creció un 2,1% frente al 20,8% del conjunto del estado. El desarrollo de Logroño no fue suficiente para equilibrar la evolución demográfica de la comunidad autónoma entera derivada del gran éxodo rural y la salida de los habitantes de La Rioja a otras regiones. De hecho, sin tener en cuenta la capital riojana, el resto de municipios de la

región perdieron un 16,6% de sus habitantes. El gran crecimiento demográfico de La Rioja se aplazó al último cuarto de siglo XX, después de tres décadas de estancamiento y de éxodo rural (figura 45).

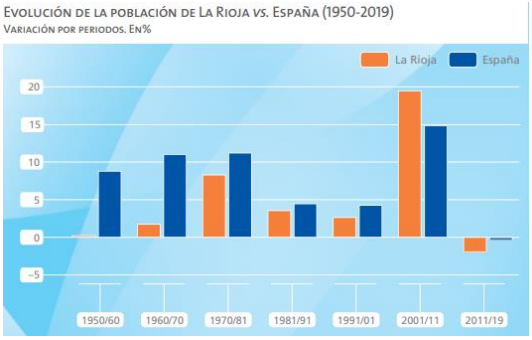


Figura 45. Evolución de la población de La Rioja y España en el periodo de 1950-2019 (en %). Fuente: CaixaBank (2020)

A pesar del estancamiento demográfico de La Rioja a mediados del siglo XX, a partir de los años 70, la modernización de las actividades agrícolas, el impulso industrial, el desarrollo de los transportes y la integración del territorio en el eje del río Ebro impulsaron el desarrollo demográfico regional. De esta forma, del débil aumento de la población en los años 60 (1,8%), se pasó al notable crecimiento entre 1970 y 1981 del 8,3%, acercándose al incremento medio español. La población residente en La Rioja aumentó un 15,2% entre 1970 y 2001, por debajo de la media española (21,2%), pero dejó atrás la parálisis demográfica de las décadas precedentes, escapando del declive sufrido por otras regiones españolas del interior. La Rioja se posiciona entre las regiones líderes de la expansión sociodemográfica de principios del siglo XXI. Las décadas de éxodo rural y emigración, unido a los cambios sociales y al proceso de envejecimiento de la población, han debilitado la capacidad de crecimiento natural de la población riojana (INE, 2020).

5.6.2. Desaparición de los paisajes culturales

El cambio climático está teniendo un impacto sobre el paisaje, que es uno de los elementos icónicos que actúa como reclamo al turismo. Este cambio en el paisaje va asociado también a una pérdida progresiva del patrimonio cultural e inmaterial, ej. deterioro de los muros de piedra seca, uno de los patrimonios más destacados de la media montaña mediterránea (3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, 2022).

La continua desaparición de los paisajes culturales y de sus rasgos característicos provoca un notable impacto social, ya que las personas se identifican con un paisaje que cada vez se está degradando más debido a las alteraciones climáticas y a los movimientos sociales, entre otros. Que las características del paisaje se modifiquen, provoca ciertos cambios en la percepción del mismo por parte de la población, que en muchos casos ha crecido con una determinada visión del paisaje. En las últimas décadas se está modificando este paisaje, por tanto, el atractivo para continuar con el tradicional sector primario en las tierras degradadas y modificadas puede verse afectado notablemente. Con la presente y continua pérdida de diversidad del paisaje se está favoreciendo una evolución y progresión hacia paisajes cerrados.

6. Priorización de los riesgos

En las reuniones anuales realizadas en el primer trimestre del 2022 con los comités regionales de los tres territorios de estudio del proyecto MIDMACC, se realizó un contraste del análisis de vulnerabilidad

de la montaña media a partir de un primer borrador que se presentó en cada una de las reuniones. Con posterioridad a un primer ejercicio de validación e identificación de riesgos que no aparecían en este primer borrador, se procedió a trabajar en la priorización del total de riesgos identificados a partir de una votación a través de la aplicación informática Menti. Puesto que algunos riesgos se repitieron en distintas categorías de riesgos, y que a veces en alguna categoría de riesgos los participantes proponían riesgos de otras categorías, a la hora de analizar los resultados previamente se procedió a reclasificar y homogeneizar los riesgos. A continuación, se exponen los principales resultados obtenidos por cada una de las regiones de estudio según las diferentes categorías de impacto trabajadas.

6.1. Cambios en los usos del suelo

Aragón

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Limitación de los caudales en las cuencas de los ríos: 12 votos.
- Abandono de tierras de cultivo y de pastos: 11 votos.

Catalunya

En el caso del comité regional de Catalunya, no se trató específicamente la categoría de riesgos que afectan a los cambios de usos del suelo. Sin embargo, a lo largo del trabajo en grupos se identificó el siguiente riesgo:

- Abandono de tierras de cultivo y de pastos: 4 votos.

La Rioja

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Abandono de tierras de cultivo y de pastos: 7 votos.
- Colonización vegetal: 7 votos.

A partir del ejercicio de priorización realizado en las reuniones de los comités regionales, y posterior homogeneización y análisis de los riesgos trabajados, se puede observar que el riesgo que ha obtenido más votos en las tres regiones de estudio, y por lo tanto más consenso, ha sido el de *Abandono de tierras de cultivos y de pastos*. Por otra parte, este riesgo tiene implicaciones directas sobre algunos de los riesgos identificados dentro de las otras categorías como por ejemplo el ciclo hidrológico, los sistemas naturales o los impactos sociales y demografía.

6.2. Ciclo hidrológico y recursos hídricos

Aragón

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Afectación en la calidad y cantidad de las aguas subterráneas: 8 votos.

- Reducción de la disponibilidad hídrica: 7 votos.
- Reducción de la duración y cantidad de períodos de nieve: 7 votos.
- Reducción de la escorrentía: 5 votos.
- Modificaciones de las características físicas y químicas del agua generada en los sistemas de media montaña: 5 votos.

Catalunya

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Reducción de la disponibilidad hídrica: 12 votos.
- Afectación en la calidad y cantidad de las aguas subterráneas: 7 votos.

La Rioja

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Reducción de la disponibilidad hídrica: 12 votos.
- Afectación en la gestión de los recursos hídricos: 10 votos.

A partir del ejercicio de priorización realizado en las reuniones de los comités regionales, y posterior homogeneización y análisis de los riesgos trabajados, se puede observar que el riesgo que ha obtenido más votos en las tres regiones de estudio, y por lo tanto más consenso, ha sido el de *Reducción de la disponibilidad hídrica*. Este riesgo va en consonancia con los diversos estudios nacionales e internacionales de los impactos del cambio climático en la zona del Mediterráneo.

Por otra parte, la *Afectación en la calidad y cantidad de las aguas subterráneas* ha sido uno de los riesgos más prioritarios en Aragón y en Catalunya.

6.3. Riesgos naturales

Aragón

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Aumento de la torrencialidad: 8 votos.
- Aumento en la frecuencia y la intensidad de las inundaciones: 7 votos.

Catalunya

El riesgo que obtuvo mayor puntuación fue:

- Aumento en la frecuencia y la intensidad de las inundaciones: 11 votos.

La Rioja

El riesgo que obtuvo mayor puntuación fue:

- Aumento de la torrencialidad: 5 votos.

En la categoría de los riesgos naturales no ha habido coincidencia entre los riesgos más priorizados en las tres regiones. Sin embargo, en Catalunya y Aragón se observa una alta preocupación por el riesgo de *Aumento en la frecuencia y la intensidad de las inundaciones*, y en Aragón y la Rioja por el riesgo a un *Aumento de la torrencialidad*, el cual está muy relacionado con el anterior.

6.4. Sistemas naturales

Aragón

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Aumento de los incendios forestales: 13 votos.
- Afectación de los servicios ecosistémicos: 11 votos.
- Disminución de la biodiversidad: 10 votos.
- Cambios en la distribución de especies: 10 votos.
- Cambios en algunas patologías (enfermedades y plagas): 10 votos.
- Incremento de las especies invasoras y especies oportunistas: 9 votos.

Catalunya

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Aumento de los incendios forestales: 13 votos.
- Afectación de los servicios ecosistémicos: 10 votos.
- Disminución de la biodiversidad: 8 votos.
- Cambios fenológicos: 8 votos.
- Cambios en algunas patologías (enfermedades y plagas): 8 votos.

La Rioja

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Homogeneización de los ecosistemas: 11 votos.
- Aumento de los incendios forestales: 10 votos.
- Cambios en la distribución de especies: 7 votos.
- Cambios en algunas patologías (enfermedades y plagas): 7 votos.

La categoría de sistemas naturales ha sido en la que se han identificado más riesgos derivados del cambio climático. A partir del ejercicio de priorización realizado en las reuniones de los comités regionales, y posterior homogeneización y análisis de los riesgos trabajados, se puede observar que uno de los riesgos que ha obtenido más votos en las tres regiones de estudio, y por lo tanto más consenso, ha sido el del *Aumento de los incendios forestales*. Sin embargo, en el caso de La Rioja se percibe más como un riesgo potencial a futuro que un problema actual, ya que en esta región ya se están impulsando políticas de desbroces asociados a la entrada posterior de ganado para su mantenimiento, que están funcionando muy bien para reducir el riesgo de incendios forestales (ver

apartado 4.4.6). Otro riesgo que ha obtenido amplio consenso, aunque con menos votos en todas las regiones, ha sido el de *Cambios en algunas patologías (enfermedades y plagas)*.

En los comités de Aragón y de Catalunya, la *Afectación de los sistemas ecosistémicos* y la *Disminución de la biodiversidad* han coincidido en su valoración como riesgos más importantes. Y en Aragón y La Rioja han coincidido como riesgo importante los *Cambios en la distribución de especies*, el cual incluye el aumento de altitud de la línea natural arbórea.

6.5. Sectores económicos

Aragón

En el caso del comité regional de Aragón, no se trató específicamente la categoría de riesgos que afectan a los sectores económicos. Sin embargo, a lo largo del trabajo en grupos se identificó el siguiente riesgo:

- Afectación sobre los deportes y actividades de invierno relacionados con la nieve: 5 votos.

Catalunya

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Alteración de actividades económicas agrícolas y ganaderas: 10 votos.
- Afectación en la producción de energía en las centrales hidroeléctricas: 7 votos.

La Rioja

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Alteración de actividades económicas agrícolas y ganaderas: 11 votos.
- Disminución de la productividad de los pastos y del rendimiento económico y productivo de los rebaños: 7 votos.

En la categoría de los riesgos relacionados con los sistemas económicos no ha habido coincidencia entre los riesgos más priorizados en las tres regiones, en gran parte porque en el caso de Aragón, no se trató específicamente la categoría de riesgos que afectan a los sectores económicos. Sin embargo, en La Rioja y Catalunya se observa una alta preocupación por el riesgo de *Alteración de actividades económicas agrícolas y ganaderas*, en el sector agrícola y ganadero.

Por ahora no se ha detectado una preocupación tan importante en los riesgos relacionados con el sector turístico y el energético. Esto puede ser debido a que hubo una casi nula representación de los participantes del sector turístico, y no hubo ningún representante del sector energético.

6.6. Impactos sociales y demografía

Aragón

El riesgo que obtuvo mayor puntuación fue:

- Falta de gestión y mantenimiento del territorio: 10 votos.

Catalunya

En el caso del comité regional de Catalunya, no se trató específicamente la categoría de riesgos que afectan a los impactos sociales y demografía. Sin embargo, a lo largo del trabajo en grupos se identificaron los siguientes riesgos:

- Falta de gestión y mantenimiento del territorio: 6 votos.
- Desaparición de los paisajes culturales: 3 votos.

La Rioja

Los riesgos que obtuvieron mayor puntuación, ordenados de mayor a menor puntuación, fueron:

- Desaparición de los paisajes culturales: 8 votos.
- Falta de gestión y mantenimiento del territorio: 7 votos.

En la categoría de los riesgos relacionados con los impactos sociales y demografía, sólo se identificaron y analizaron dos riesgos. Sin embargo, hubo coincidencia en las tres regiones como riesgo importante el de la *Falta de gestión y mantenimiento del territorio*. Este riesgo está directamente relacionado con el proceso de despoblación de las zonas rurales que viene observándose a lo largo de toda la media montaña.

7. Referencias bibliográficas

AEMET. (2020a). Recuperado el Novembre de 2021, de Regionalización AR4-IPCC. Gráficos de evolución. Regionalización estadística regresión. Aragón: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos?w=1&opc1=arn&opc2=Tx&opc3=Anual&opc4=0&opc6=1

AEMET. (2020b). Agencia Estatal de Meteorologia. Consultado en diciembre/2021, a Regionalización AR5-IPCC. Gráficos de evolución. Regionalización estadística análogos. La Rioja: http://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/result_graficos?w=0&opc1=26&opc2=Tm&opc3=Anual&opc4=0&opc6=0

CaixaBank. (2020). La economía de la Comunidad Autónoma de La Rioja: Diagnóstico estratégico. *CaixaBank Researh*, 08-22.

Claramunt, B. (2021). *CREAF*. Consultado en diciembre/2021, a Les 12 conseqüències del canvi global a les muntanyes: http://blog.creaf.cat/noticies/12-consequencies-canvi-global-a-les-muntanyes/

CREAF (2021). Informe DeBosCat 2021.

Cuadrat, J. M., & Vicente-Serrano, S. M. (2008). Características espaciales del clima en La Rioja modelizadas a partir de sistemas de información greográficas. Zubía Monográfico, 20, 119-142.

Diago, M.P., Andrés, S., Arpón, L., Pascual, N., Giró, J., Tardáguila, J., Bengoechea, C., Zúñiga, J. (2019). Evaluación del impacto del cambio climático en la producción vitivinícola de la DOCa Rioja. Aspectos técnicos, culturales, socioeconómicos y medioambientales. Adaptación y mitigación.

Fader M., Giupponi C., Burak S., Dakhlaoui H., Koutroulis A., Lange MA., Llasat MC., Pulido-Velazquez D., Sanz-Cobeña A. (2020) Water. In: Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report [Cramer W, Guiot J, Marini K (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, pp. 181-236.

García-Ruiz, J. M., López-Moreno, J. I., Lasanta, T., Vicente-Serrano, S. M., González-Sampériz, P., Valero-Garcés, B. L. ,Sanjuán, Y., Beguería, S., Nadal-Romero, E., Lana-Renault, N. y Gómez-Villar, A. (2015). Los efectos geológicos del cambio global en el Pirineo central español: Una revision a distintas escalas espaciales y temporales. *Pirineos, 170*.

García-Ruiz, J. M., López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S. M., Lasanta–Martínez, Teodoro, & Beguería, S. (2011). Mediterranean water resources in a global change scenario. *Earth-Science Reviews, 105*, 121-139.

Gobierno de La Rioja (2008). Desarrollo de los trabajos sobre la evaluación y mejora del estado de las masas de agua superficiales de la comunidad autónoma de La Rioja segun la directiva marco del agua. *Gobierno de La Rioja*, 04-19.

Grashof-Bokdam, C., & Van Langevelde, F. (2004). Green veining: landscape determinats of biodiversity in European agricultural landscapes. *Landscape Ecology, 20*, 417-439.

INE. (2020). *Instituto Nacional de Estadística*. Consultado en diciembre/2020, a Cifras oficiales de población resultantes de la revisión del Padrón municipal a 1 de enero: https://www.ine.es/jaxiT3/Tabla.htm?t=2879&L=0

IPCC. (2021a). Regional fact sheet - Europe. Sixth assentment report, Working Group I – The Physical Science Basis.

IPCC. (2021b). Regional fact sheet - Mountains. *Sixth assentment report, Working Group I – The Physical Science Basis*.

IPCC. (2021c). *Sixth Assessment Report*. Summary for Policymakers: https://www.ipcc.ch/report/ar6/wg1/downloads/report/IPCC_AR6_WGI_SPM_final.pdf

Khorchani, M., Nadal-Romero, E., & Lasanta, T. (2021a). Natural revegetation and afforestation in abandoned cropland areas: Hydrological trends and changes in Mediterranean mountains. *Wiley, 35*, 02-18.

Khorchani, M., Nadal-Romero, E., Tague, C., T. Lasanta, J. Z., Lana-Renault, N., Domínguez-Castro, F., & Choate, J. (2020). Effects of active and passive land use management after cropland abandonment on water and vegetation dynamics in the Central Spanish Pyrenees. *Science of the Total Environment, 717*, 02-14.

Khorchani, M., Romero, N., & T. Lasanta, C. T. (2021b). Effects of vegetation succession and shrub clearing after land abandonment on the hydrological dynamics in the Central Spanish Pyrenees. *Catena, 204* , 02-11.

Lasanta Martínez, T. (2014). El paisaje de campos abandonados en Cameros Viejo (Sistema Ibérico, La Rioja). *Ciencias de la tierra, 32*, Logroño.

Life MIDMACC (2022). 3ª reunión del Comité de actores de Aragón, Resumen de las aportaciones.

Life MIDMACC (2022). 3ª reunió del Comitè d'actors de Catalunya, Resum de les aportacions.

Life MIDMACC (2022). 3ª reunión del Comité de actores de La Rioja, Resumen de las aportaciones.

López-Moreno, J. L., Vicente-Serrano, S., Zabalza, J., Revuelto, J., Gilaberte, M., & Azorín-Molina, C. (2014a). Respuesta hidrologica del pirineo central al cambio ambiental proyectado para el siglo XXI. *Pirineos, 169*, 01-11.

López-Moreno, J., Zabalza, J., Vicente-Serrano, S., Revuelto, J., Gilaberte, M., & Azorin-Molina, C. (2014b). Impact of climate and land use change onwater availability and reservoir. *Science of the Total Environment management: Scenarios in the Upper Aragón River, Spanish Pyrenees, 493*, 1222-1231.

MedECC (2020). Resumen de MedECC 2020 para los responsables de la formulación de políticas. En: Cambio climático y ambiental en la cuenca mediterránea: situación actual y riesgos para el futuro. Primer informe de evaluación del Mediterráneo [Cramer W, J Guiot, Marini K (eds.)] Unión para el Mediterráneo, Plan Bleu, PNUMA/PAM, Marsella, Francia, 34 pp.

METEOCAT (2021a). Butlletí anual d'indicadors climàtics 2020.

METEOCAT (2021b). Escenaris climàtics regionalitzats a Catalunya (ESCAT-2020). Projeccions estadístiques regionalitzades a 1 km de resolució espacial, 09-28.

Morán-Tejeda, E., Zabalza, J., Rahman, K., Gago-Silva, A., López-Moreno, J. I., Vicente-Serrano, S., & Lehmann, A. (2015). Hydrological impacts of climate and land-use changes in a mountain watershed: uncertainty estimation based on model comparison. *Wiley, 8*, 1396–1416.

Mrabet, R., Savé R., Toreti, A., Caiola, N., Chentouf, M., Llasat, MC., Mohamed, AAA., Santeramo, FG., Sanz-Cobena, A., Tsikliras, A. (2020) Food. In: Climate and Environmental Change in the Mediterranean Basin – Current Situation and Risks for the Future. First Mediterranean Assessment Report [Cramer W, Guiot J, Marini K (eds.)] Union for the Mediterranean, Plan Bleu, UNEP/MAP, Marseille, France, pp. 237-264.

OPCC. (2019). El cambio climático en los Pirineos: impactos, vulnerabilidades y adaptación. *Bases de conocimiento para la futura estrategia de adaptación al cambio climático en los Pirineos*, 11-29.

Pla, E., Pascual, D., Borràs, G., Cantos, G., Zabalza Martínez, J., Vicente-Serrano, S.M., de Herralde, F., Funes, I., Savé, R., Aranda, X., Biel, C. (2018). Layman's Report. Proyecto Life MEDACC.

Sas Sánchez, M.A. & Creus Novau, J. (2008). El cambio climático en La Rioja: Ecolución reiente de la temperatura media anual en el contexto de los ultimos 600 años. *Zubía Monográfico, 20*, 30-67.

Vicente-Serrano, S., Pascual, D., Pla, E., Zabalza-Martínez, J., Borràs, G., Cantos, G., Savé, R., Biel, C., and Funes, I. (2016). Historical trends in climate, land use and water demands. Deliverable 12. MEDACC.

Vicente-Serrano, S., Zabalza-Martínez, J., b, G. B., López-Moreno, J., Pla, E., Pascual, D., & Savéd, R. (2017). Effect of reservoirs on streamflow and river regimes in a heavily regulated river basin of Northeast Spain. *Catena, 149*, 727-741.

Vicente-Serrano, S., Zabalza-Martínez, J., Borràs, G., López-Moreno, J., & Savéd, R. (2017). Extreme hydrological events and the influence of reservoirs in a highly regulated river basin of northeastern Spain. *Journal of Hydrology: Regional Studies, 12*, 13-32.