

## 4.1 IMPACTOS POTENCIALES DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LAS FORMACIONES FORESTALES ARBÓREAS DE CASTILLA Y LEÓN

Las formaciones forestales arbóreas con presencia natural espontánea en el territorio de Castilla y León son un componente substancial de su patrimonio natural, proveedoras de servicios ecosistémicos especialmente valiosos. Ante la amenaza constatada de un cambio ambiental más o menos próximo (IPCC, 2022), la respuesta no se puede esperar que sea homogénea, haciéndose prioritaria la identificación de aquellas masas forestales para las que se puede prever mayores consecuencias potenciales.

Estas consecuencias o impactos potenciales resultan de las interacciones dinámicas entre la exposición al cambio ambiental y la sensibilidad al mismo que muestra cada comunidad vegetal, aspecto este último que supone un componente principal de su vulnerabilidad frente a dicho cambio (IPCC, 2014; LINDNER et al., 2010). La evaluación de estos dos componentes, exposición y sensibilidad, permite hacer una aproximación a la identificación y localización espacial de los impactos potenciales derivados de posibles escenarios de cambio climático.

La exposición incorpora la predisposición al efecto de las variaciones climáticas y eventos extremos en aquellos lugares que los que una especie o ecosistema podría verse afectado negativamente (IPCC, 2014). Es, por tanto, externa al sistema perturbado, pues supone el contacto entre ese sistema y el clima. Su estimación conlleva la identificación de aquellos lugares en los que una especie o ecosistema podría verse perturbado negativamente en función de los resultados de proyecciones regionalizadas de cambio climático. Estas últimas están basadas en distintos escenarios de emisión, modelos globales y técnicas de regionalización (estadísticas y/o dinámicas). La regionalización constituye un proceso de reducción de escala para adaptar las proyecciones de gran escala, generadas por los modelos climáticos globales, a las características regionales o locales muy influidas por la orografía, la presencia de superficies de agua libre, los usos de suelo, etc. Este es un campo en continua expansión,

que entre sus más recientes aportaciones están Climate Downscaling Tool (ClimateDT<sup>1</sup>), UK Climate Projections 2018 (UKCP18<sup>2</sup>) o ClimateEU (MARCHI et al., 2020).

Para España, la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) ha desarrollado también proyecciones regionalizadas de cambio climático a partir de los resultados del 5º informe (AR5) del Panel Intergubernamental de Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés). Estas son un producto del proyecto, promovido y financiado por la Comisión Europea) y que ha generado proyecciones climáticas probabilísticas para Europa con los últimos modelos climáticos disponibles (VAN DER LINDEN et al., 2009). Todas las simulaciones abarcan temporalmente los períodos 2006-2100 y se han realizado con el escenario de emisiones antropogénicas SRESA1B (IPCC, 2007), un escenario de emisiones medias y que no tiene en cuenta las medidas de mitigación. Puede considerarse equivalente (el más próximo) a la trayectoria de concentración representativa de estabilización RCP6.0 del AR5 (AEMET, 2015; AMBLAR FRANCÉS, 2017).

Esta fuente de información es la que se ha elegido para obtener las proyecciones de cambio climático esperado. Su resolución espacial es de 10 km<sup>2</sup>, por lo que se ha realizado un proceso de “downscaling” que ha posibilitado tener estimaciones con una resolución de 1 km<sup>2</sup> (SAURA et al., 2015). Los valores medios (normales) de diferentes variables de carácter térmico y pluviométrico han sido obtenidos para los períodos temporales 2010-2039 (proyección a corto plazo), 2040-2069 (proyección a medio plazo) y 2070-2099 (proyección a largo plazo).

1 IBBR CNR. 2022. Climate Downscaling Tool (ClimateDT). Accesible en <https://www.ibbr.cnr.it/climate-dt/>

2 Met Office, s.f. An introduction and overview of the UK Climate Projections (UKCP). Accesible en <https://www.metoffice.gov.uk/research/approach/collaboration/ukcp/about/index>

Por otro lado, la vulnerabilidad reúne la propensión o predisposición de una especie o ecosistema a ser afectado negativamente, convergiendo aquí una variedad de conceptos y elementos entre los que se incluyen la sensibilidad y la capacidad de adaptación. El primer concepto es una característica interna del sistema y básicamente se refiere a la susceptibilidad al daño, es decir, el grado en el que una especie o ecosistema resultará afectado, positiva o negativamente, por la exposición a riesgos derivados de la variabilidad o del cambio climático. La capacidad de un individuo o sistema ecológico para desarrollar resiliencia y adaptarse a los riesgos climáticos completa el segundo concepto (IPCC, 2014).

La sensibilidad de una especie frente a los efectos del cambio climático puede contemplarse desde una óptica autoecológica (relaciones a nivel individual entre las especies y el medio en el que habitan) a partir del concepto de nicho fundamental (HUTCHINSON, 1957). Este recoge los requerimientos ambientales (abióticos) que una especie necesita para mantener una población viable, es decir, subsistir sin inmigración (HIRZEL & LE LAY, 2008), con lo que no incluye otros aspectos que tienen repercusión en la distribución de las especies, como son las interacciones bióticas (la competencia o el mutualismo), las capacidades de dispersión de la especie y el manejo histórico realizado por el hombre de la especie en cuestión (GUISAN & ZIMMERMANN, 2000).

Se asume entonces que los límites fisiológicos que dirigen la capacidad de una especie para persistir en una estación determinada vienen impuestos por las condiciones abióticas de la misma. Su modelización se lleva a cabo a partir de la cuantificación de un conjunto de variables ambientales (parámetros) que lo definen en el área de distribución ocupada por la especie en la actualidad (lo que constituye su nicho efectivo). Supone, por tanto, una modelización empírica del hábitat de una especie (hábitat paramétrico) que da prioridad a la aplicabilidad, dotándola de una dimensión práctica y manejable (GUISAN & ZIMMERMANN, 2000).

De esta forma, muchas de las diferentes herramientas metodológicas que evalúan la homologación ecológica (grado de compatibilidad entre los requerimientos ambientales de una especie y las condiciones del medio físico de una estación) parten frecuentemente de la inferencia del nicho fundamental. Estas herramientas constituyen la base de muchos de los Modelos de Distribución de Especies (MDE) desarrollados. Entre sus posibles aplicaciones, han sido ampliamente usados para identificar modificaciones en el área potencial de las especies debido al cambio climático, señalando qué

especies pueden ver más afectada su distribución actual ante distintos escenarios de cambio (ZAVALA et al, 2015).

Desde mediados del siglo pasado se han ido desarrollando estudios específicos de autoecología paramétrica de los principales taxones forestales arbóreos de amplia extensión en España. El colofón de estos trabajos ha sido el proyecto "Tipificación ecológica selvícola de las principales especies forestales españolas" (RTA2010-00095); coordinado y dirigido por el Dr. Gregorio Montero (MONTERO et al, 2015). En él se recoge información detallada de las condiciones climáticas, fisiográficas, edáficas y selvícolas de desarrollo de masas forestales de las especies siguientes, que se han mostrado ecológicamente estables en un pasado reciente:

- *Castanea sativa*
- *Fagus sylvatica*
- *Juniperus thurifera*
- *Pinus halepensis*
- *Pinus nigra*
- *Pinus pinaster* subsp. *mesogeensis*
- *Pinus pinea*
- *Pinus sylvestris*
- *Pinus uncinata*
- *Quercus faginea*
- *Quercus ilex*
- *Quercus petraea*
- *Quercus pyrenaica*
- *Quercus robur*
- *Quercus suber*

La información recabada resulta muy valiosa desde un punto de vista aplicado, dado que, entre otras cosas, permite hacer evaluaciones de la homologación ecológica tanto de territorios como de estaciones. Para este fin, el modelo EcoMarginal (GÓMEZ-SANZ, 2019) ofrece una aproximación a la marginalidad ambiental de una localización (que no marginalidad geográfica), entendida ésta como la posición de las condiciones ambientales de la misma respecto a los bordes del hipervolumen ambiental que recoge los requerimientos observados de medio físico de cada especie (es decir, de su nicho efectivo o hábitat paramétrico). Aquellas poblaciones (o individuos) instaladas en ambientes físicos (estaciones) cuyas coordenadas ambientales se sitúen más próximas a las fronteras del espacio

ambiental característico de la especie, sufrirán de un grado variable de marginalidad ambiental, que se traduce en restricciones ecofisiológicas que alterarán, en mayor o menor medida, sus tasas de crecimiento y reproducción (PAPUGA et al., 2018).

Cada uno de los ejes del hipervolumen ambiental recoge la variabilidad registrada de una determinada variable física en las estaciones con presencia efectiva de la especie en cuestión, caracterizada por los valores límites (superior e inferior) y umbrales (superior e inferior). El algoritmo diseñado (GÓMEZ-SANZ, 2019) devuelve para cada variable un “indicador de marginalidad” (IM) acotado entre -1 y 1. Ambos valores extremos indican que el valor de la variable en la estación se aleja tanto del valor límite (inferior, si toma signo negativo, o superior, si lo hace positivo) que es asumible un carácter limitante de esa variable para el desarrollo de la especie, lo que excluye la posibilidad de presencia espontánea y ambientalmente estable. Por otro lado, valores de 0 en el indicador significan que el valor de la variable en la estación se sitúa dentro del espectro observado para la especie (concretamente, entre los umbrales inferior y superior), lo cual permite aceptar un carácter no limitante para la instalación, supervivencia y perpetuación de la especie. La marginalidad crece de 0 a 1 en valor absoluto, aumentando con ella el riesgo de inestabilidad ecológica y la posibilidad de decaimiento de la especie.

Las variables de estudio seleccionadas han sido la precipitación acumulada anual (mm; PA) y la temperatura media anual (°C; TA). Estas variables son las que se han mostrado predominantemente más explicativas de la respuesta observada para el conjunto de especies analizadas en los mencionados estudios de autoecología paramétrica, realizados para el total del territorio español. Así mismo, obtienen valores de importancia relativa entre los más elevados, especialmente la termométrica, para todo el conjunto de especies arbóreas incluidas en el MDE desarrollado para toda Europa por MAURI et al. (2022).

No se ha contemplado el uso de variables fisiográficas ni edáficas. Reconociendo su elevada trascendencia en la respuesta vegetal (modulan, entre otras funciones, las consecuencias de las condiciones climáticas regionales), sus elevados tiempos de cambio (en el caso de variables edáficas, cientos de años) hacen incompatible su uso en un trabajo de

este tipo. Sin obviar que la enorme variabilidad espacial en un estudio a escala de toda Castilla y León hace inabordable su caracterización y consideración en el proceso de modelización.

El período base de referencia del comportamiento de las variables de estudio ha sido el comprendido entre los años 1971 y 2000. Estos treinta años son los que han marcado el desarrollo último (pasado reciente) de las formaciones de las especies analizadas. Los valores normales (medios) para este intervalo temporal se han obtenido del Atlas Climático Ibérico (AEMET, 2011), con una resolución espacial de 1 km<sup>2</sup> para todo el territorio de Castilla y León.

Con esta resolución espacial se ha calculado el IM de cada variable correspondiente a cada especie y ámbito temporal (pasado reciente, corto plazo, medio plazo y largo plazo). A partir de estos valores, y con el objetivo de evaluar el grado de marginalidad conjunta asociado a una localización, en relación a los requerimientos de una determinada especie, se ha construido una nueva variable discreta y ordinal que se ha denominado “Marginalidad Termoplumiométrica” (MT). Para ello, las hipótesis de base son que las condiciones de disponibilidad hídrica son las más determinantes respecto de la posible inestabilidad de las masas de una especie, sobre todo en ámbitos de marcado carácter mediterráneo (FRANKLIN et al., 1987).

De esta forma, el incremento de la aridez de carácter pluviométrico (marginalidad inferior por reducción en las precipitaciones anuales normales) lleva asociado inestabilidad ecológica de las masas que lo sufren, que se potencia si a su vez convergen valores termométricos elevados (marginalidades térmicas superiores). Una reducción sostenida, que se hace estructural, en la entrada de agua por precipitación desde la atmósfera (que debe diferenciarse de la sequía o anomalía natural, suficientemente prolongada pero transitoria, de reducción en el régimen normal de precipitaciones) lleva inevitablemente a un incremento de las condiciones de aridez. La tabla 1 resume el proceso de construcción de la variable MT.




		TA					
		IM = -1	-1 < IM < -0,5	-0,5 ≤ IM ≤ 0,5	0,5 < IM < 1	IM = 1	
PA	IM = 1	4	3	2	5	6	
	0,5 < IM < 1			1			
	-0,5 ≤ IM ≤ 0,5			7			
	-1 < IM < -0,5			8			9
	IM = -1						
Donde: TA, temperatura media del aire anual; PA, precipitación media anual; IM, índice de marginalidad							
			Limitaciones térmicas y/o pluviométricas incompatibles con la presencia de poblaciones estables de la especie				
			Limitaciones severas térmicas y/o pluviométricas para el desarrollo de poblaciones estables de la especie				
			Sin limitaciones, tanto térmicas como pluviométricas, para la existencia de poblaciones estables de la especie				
MT	Descripción						
1	Localizaciones que no presentan restricciones pluviométricas ni térmicas para la especie (no se identifica marginalidad o ésta es ligera).						
2	Localizaciones con precipitación más elevada de lo observado para la especie (marginalidad superior notoria de PA) y sin restricciones térmicas.						
3	Localizaciones con restricciones severas por frío para la especie (acusada marginalidad inferior de TA) sin carencias pluviométricas (PA no marginal o marginal superior).						
4	Localizaciones con condiciones incompatibles por frío para la especie (marginalidad inferior de TA muy acusada), sin carencias pluviométricas (PA no marginal o marginal superior).						
5	Localizaciones con restricciones severas por calor para la especie (acusada marginalidad superior de TA) sin carencias pluviométricas (PA no marginal o marginal superior)						
6	Localizaciones con condiciones incompatibles por calor para la especie (marginalidad inferior de TA muy acusada) sin carencias pluviométricas (PA no marginal o marginal superior)						
7	Localizaciones con limitaciones pluviométricas severas (notable marginalidad inferior de PA), aunque las condiciones térmicas no sean del todo incompatibles para la especie. Las condiciones de aridez dimatólógica son notables, lo que conlleva condiciones de inestabilidad ambiental manifiestas.						
8	Localizaciones con insuficiencias pluviométricas severas (marginalidad inferior de PA muy elevada), a la vez que restricciones por frío para la especie (notable marginalidad inferior de PA). Las condiciones de aridez climática y de frío intensas comprometen seriamente la estabilidad ambiental de las poblaciones de la especie.						
9	Localizaciones con limitaciones pluviométricas severas (marginalidad inferior de PA muy elevada), junto a restricciones por calor (acusada marginalidad superior de PA) para la especie. Esto se traduce en unas condiciones de aridez climatológica extrema, incompatibles con la presencia estable de poblaciones de la especie.						

Tabla 1. Esquema de integración de las condiciones anuales de marginalidad pluviométrica (PA) y térmica (TA) para la obtención de valores de la variable conjunta de marginalidad termopluviométrica (MT).

Con este planteamiento, se ha procedido al cálculo para cada especie de los valores de IM de TA y PA, y derivado de ellos, de MT en cada uno de los momentos temporales considerados: pasado reciente (1971-2000), corto plazo (2010-2039), medio plazo (2040-2069) y largo plazo (2070-99).

A partir de los resultados obtenidos, la evolución temporal que sigue la marginalidad

termoplumiométrica en los distintos períodos de cambio evaluados (proyecciones futuras a corto, medio y largo plazo) respecto de período de referencia (pasado reciente) ha permitido identificar distintas categorías de cambio esperado (tabla 2), lo que puede asimilarse a impactos potenciales inducidos por el cambio climático para una especie y en una estación concreta.

		MT en proyección futura								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	2	I		VIII		IX		X		
3	4	V		II		IX				
5	6			V		VI		III		
7	8	VI		VII				IV		
9	VI			VII		IV				

Tabla 2. Impactos potenciales - categorías de cambio esperado en las condiciones de marginalidad termoplumiométrica (MT) para una determinada especie.

Se describen a continuación los distintos tipos de cambio definidos. Proyectados sobre un determinado territorio, permiten identificar las localizaciones en las que la evolución termoplumiométrica futura, consecuencia del cambio climático, puede modificar el estatus de marginalidad del sitio para la especie, de acuerdo con la sensibilidad de esta frente a la tasa de cambio esperado.

I. Sin cambio trascendente. Las condiciones de marginalidad térmica y/o pluviométrica continúan siendo ligeras o nulas para la especie (la variable MT se mantiene en los rangos 1 o 2).

II. Sin cambio trascendente. Las condiciones de frío continúan siendo incompatibles con la presencia de poblaciones viables de la especie (la variable MT se mantiene en rangos 3 o 4).

III. Sin cambio trascendente. Las condiciones de calor siguen resultando incompatibles con la presencia de poblaciones viables de la especie (la variable MT se mantiene en rango 5 o 6).

IV. Sin cambio trascendente. Se mantienen condiciones de aridez climática (PA reducidas) incompatibles con la presencia de poblaciones viables de la especie (la variable MT persiste en los rangos 7, 8 o 9).

V. Cambio positivo por evolución a condiciones de marginalidad termoplumiométrica ligera o nula para la especie (rango 1 o 2 de MT) desde cualquier situación previa de marginalidad trascendente (rangos superiores a 2 de MT en pasado reciente).

VI. Cambio por evolución a marginalidad por frío para la especie (rango 3 o 4 de MT) desde situaciones de marginalidad por calor o aridez (rangos de MT superiores a 4 de MT en pasado reciente). Las condiciones de frío se vuelven incompatibles con la presencia de poblaciones viables de la especie.

VII. Cambio por evolución a marginalidad por calor para la especie (rango 5 o 6 de MT) desde situaciones de marginalidad por aridez (rangos de MT superiores a 6 en pasado reciente). Las condiciones de calor se hacen incompatibles con la pervivencia de poblaciones estables de la especie.

VIII. Cambio negativo por evolución a marginalidad severa o incompatible por frío (rango 3 o 4 de MT) desde situaciones de ausencia de marginalidad trascendente (rangos 1 o 2 en pasado reciente). La presencia de poblaciones viables de la especie se ve imposibilitada por el destacado descenso térmico.

IX. Cambio negativo por evolución a marginalidad severa o incompatible por calor (rango 5 o 6 de

MT) desde situaciones con ausencia de marginalidad o con marginalidad por frío (rangos de MT inferiores a 5 en pasado reciente). La persistencia de poblaciones estables de la especie se ve comprometida consecuencia del elevado aumento térmico.

X. Cambio negativo por evolución a marginalidad severa o incompatible por aridez (rango 7, 8 ó 9 de MT) desde cualquier situación previa (rangos de MT inferiores en pasado reciente). Las condiciones de aridez se hacen dominantes y se vuelven incompatibles con la presencia de poblaciones viables de la especie.

El método descrito se ha aplicado a todo el territorio de Castilla y León y no sólo al área con presencia de cada una de las especies que han sido evaluadas. De esta forma, la tabla 3 recoge los valores, en porcentaje respecto de la superficie total de Castilla y León, de los diferentes impactos potenciales, organizados por especies y por período temporal de la proyección considerado (a corto, medio y largo plazo).

Las proyecciones de cambio en las variables de estudio (PA y TA) arrojan tendencias temporales y rangos de variación coincidentes con las aportadas por otros estudios (LINDNER et al., 2010; VAUTARD et al., 2014) y por las predicciones elaboradas por el IPCC (AEMET, 2022; IPCC, 2022). Esto conlleva que no se identifiquen impactos potenciales de categoría VI y VIII (supondrían escenarios de descenso notorio de las temperaturas, algo que está prácticamente descartado) y de categoría VII (pues no se contempla tampoco un aumento de la precipitación coincidente con un incremento de los valores termométricos).

La tendencia general proyectada del clima es la de una progresiva potenciación de las condiciones de mediterraneidad en los valles abiertos, páramos y campiñas del centro de Castilla y León (a partir del incremento en la aridez, por descenso de la precipitación anual y aumento de la temperatura media anual), que centrífugamente se amortigua hacia los límites de su territorio (consecuencia del efecto del incremento altitudinal), en el conjunto de sistemas montañosos que lo enmarcan.

Tabla 3. Tasas superficiales (%) de las categorías de impacto potencial según especies y rangos temporales.

Especie	Rangos temporales	Impacto potencial									
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
PSY	Corto plazo	46,1	0,3	3,0	30,4	0,9	0,0	0,0	0,0	4,2	15,2
	Medio plazo	34,1	0,0	3,0	30,4	1,1	0,0	0,0	0,0	12,0	19,4
	Largo plazo	17,6	0,0	2,2	30,4	1,2	0,0	0,0	0,0	11,2	37,4
PPTM	Corto plazo	88,0	7,1	0,0	0,0	4,7	0,0	0,0	0,0	0,2	0,0
	Medio plazo	87,3	3,2	0,0	0,0	8,7	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0
	Largo plazo	79,2	1,1	0,0	0,0	10,7	0,0	0,0	0,0	1,9	7,0
PPN	Corto plazo	48,0	20,6	0,0	3,9	16,8	0,0	0,0	0,0	0,0	10,7
	Medio plazo	44,4	9,6	0,0	3,9	27,7	0,0	0,0	0,0	0,1	14,4
	Largo plazo	18,6	5,2	0,0	3,9	27,4	0,0	0,0	0,0	0,7	44,2
PNG	Corto plazo	50,2	5,2	1,4	20,6	3,7	0,0	0,0	0,0	2,4	16,5
	Medio plazo	38,8	2,0	1,4	20,6	6,8	0,0	0,0	0,0	9,1	21,2
	Largo plazo	17,9	0,5	1,2	20,6	8,2	0,0	0,0	0,0	9,1	42,5
PHP	Corto plazo	39,9	31,0	0,0	0,0	29,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Medio plazo	39,4	13,9	0,0	0,0	46,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,2
	Largo plazo	30,3	7,5	0,0	0,0	49,9	0,0	0,0	0,0	1,1	11,2
PUN	Corto plazo	7,5	0,0	19,6	60,6	0,0	0,0	0,0	0,0	4,6	7,7
	Medio plazo	3,4	0,0	16,4	60,6	0,0	0,0	0,0	0,0	8,2	11,3
	Largo plazo	1,2	0,0	8,6	60,6	0,0	0,0	0,0	0,0	7,6	21,9
JTH	Corto plazo	84,0	2,4	1,8	0,3	2,4	0,0	0,0	0,0	4,6	4,5
	Medio plazo	56,7	0,5	1,8	0,3	4,2	0,0	0,0	0,0	30,0	6,5
	Largo plazo	24,3	0,1	1,7	0,3	4,6	0,0	0,0	0,0	33,7	35,3
QIX	Corto plazo	92,5	1,7	0,0	0,1	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	3,6
	Medio plazo	90,5	0,3	0,0	0,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,2	5,3
	Largo plazo	62,5	0,1	0,0	0,1	3,8	0,0	0,0	0,0	0,8	32,7
QPY	Corto plazo	53,8	1,7	0,2	25,6	2,1	0,0	0,0	0,0	0,5	16,1
	Medio plazo	48,1	0,3	0,2	25,6	3,5	0,0	0,0	0,0	1,5	20,9
	Largo plazo	27,2	0,1	0,2	25,6	3,8	0,0	0,0	0,0	3,1	40,1
QFG	Corto plazo	62,0	4,8	0,8	12,6	3,6	0,0	0,0	0,0	0,7	15,4
	Medio plazo	53,0	1,9	0,8	12,6	6,5	0,0	0,0	0,0	4,7	20,4
	Largo plazo	25,6	0,4	0,8	12,6	7,9	0,0	0,0	0,0	7,1	45,6
QRB	Corto plazo	11,3	2,7	0,7	77,4	2,4	0,0	0,0	0,0	0,4	5,1
	Medio plazo	8,5	0,7	0,7	77,4	4,1	0,0	0,0	0,0	1,1	7,6
	Largo plazo	4,3	0,1	0,3	77,4	3,9	0,0	0,0	0,0	1,2	12,8
QPT	Corto plazo	21,3	0,7	1,3	67,9	1,4	0,0	0,0	0,0	0,8	6,6
	Medio plazo	15,5	0,1	1,3	67,9	2,0	0,0	0,0	0,0	3,1	10,2
	Largo plazo	8,1	0,0	0,9	67,9	1,9	0,0	0,0	0,0	2,8	18,4
QSB	Corto plazo	35,1	20,6	0,0	12,7	16,1	0,0	0,0	0,0	0,0	15,4
	Medio plazo	30,9	9,6	0,0	12,7	26,3	0,0	0,0	0,0	0,1	20,4
	Largo plazo	12,4	5,2	0,0	12,7	23,5	0,0	0,0	0,0	0,6	45,5
FSY	Corto plazo	39,0	0,0	5,5	36,8	0,1	0,0	0,0	0,0	5,3	13,2
	Medio plazo	24,9	0,0	5,3	36,8	0,2	0,0	0,0	0,0	15,3	17,4
	Largo plazo	12,2	0,0	3,0	36,8	0,2	0,0	0,0	0,0	14,0	33,8
CST	Corto plazo	77,4	6,7	0,0	2,6	4,5	0,0	0,0	0,0	0,4	8,5
	Medio plazo	73,3	2,9	0,0	2,6	8,2	0,0	0,0	0,0	1,1	11,9
	Largo plazo	41,6	1,0	0,0	2,6	10,1	0,0	0,0	0,0	2,7	42,0

Especies: PSY, *Pinus sylvestris*; PPTM, *Pinus pinaster* subsp. *mesogeensis*; PPN, *Pinus pinea*; PNG, *Pinus nigra*; PHP, *Pinus halepensis*; PUN, *Pinus uncinata*; JTH, *Juniperus thurifera*; QIX, *Quercus ilex*; QPY, *Quercus pyrenaica*; QFG, *Quercus faginea*; QRB, *Quercus robur*; QPT, *Quercus petraea*; QSB, *Quercus suber*; FSY, *Fagus sylvatica*; CST, *Castanea sativa*

Rangos temporales: corto plazo (1971-2000 a 2010-2039), medio plazo (1971-2000 a 2040-2069) y largo plazo (1971-2000 a 2070-2099).

Impactos potenciales: I, Sin cambio - Mantenimiento de condiciones de ligera o nula marginalidad térmica y pluviométrica para la especie; II, Sin cambio - Mantenimiento de condiciones marginalidad térmica por frío para la especie; III, Sin cambio - Mantenimiento de condiciones marginalidad térmica por calor para la especie; IV, Sin cambio - Mantenimiento de condiciones marginalidad por aridez (precipitación anual reducida) para la especie, con posible marginalidad térmica por frío/calor; V, Cambio positivo - Reducción a nula o ligera la marginalidad térmica y/o pluviométrica; VI, Cambio - Evolución a marginalidad por frío severa o incompatible; VII, Cambio - Evolución a marginalidad por calor severa o incompatible; VIII, Cambio negativo - Evolución a marginalidad severa o incompatible por frío; IX, Cambio negativo - Evolución a marginalidad severa o incompatible por calor; X, Cambio negativo - Evolución a marginalidad severa o incompatible por aridez (precipitación anual reducida)

## REFERENCIAS

- AEMET. 2011. ATLAS CLIMÁTICO IBÉRICO. MINISTERIO DE MEDIO AMBIENTE Y MEDIO RURAL Y MARINO. MADRID. 80 PP. [HTTPS://WWW.AEMET.ES/DOCUMENTOS/ES/CONOCERMAS/RECURSOS\\_EN\\_LINEA/PUBLICACIONES\\_Y\\_ESTUDIOS/PUBLICACIONES/ATLAS-CLIMATOLOGICO/ATLAS.PDF](https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/atlas-climatologico/atlas.pdf)
- AEMET. 2015. ESCENARIOS-PNACC DATOS MENSUALES. NUEVA COLECCIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO REGIONALIZADOS DEL PLAN NACIONAL DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO (PNACC) DATOS MENSUALES. GUÍA DE USUARIO. VERSIÓN FEBRERO 2015. [HTTPS://WWW.AEMET.ES/DOCUMENTOS/ES/SERVICIOS-CLIMATICOS/CAMBIO\\_CLIMAT/DATOS\\_MENSUALES/GUIA\\_DE\\_USUARIO\\_ESCENARIOS\\_PNACC\\_DATOS\\_MENSUALES.PDF](https://www.aemet.es/documentos/es/servicios-climaticos/cambio_climat/datos_mensuales/guia_de_usuario_escenarios_pnacc_datos_mensuales.pdf)
- AEMET. 2022. NUEVOS ESCENARIOS DE EMISIÓN: RCPS. [HTTP://WWW.OSCC.GOB.ES/ES/GENERAL/SALUD\\_CAMBIO\\_CLIMATICO/NUEVOS\\_ESCENARIOS\\_EMISION\\_RCPS.HTM](http://www.oscc.gob.es/es/general/salud_cambio_climatico/nuevos_escenarios_emision_rcps.htm)
- AMBLAR FRANCES, P., CASADO CALLE, M.J., PASTOR SAAVEDRA, A., RAMOS CALZADO, P. & RODRÍGUEZ CAMINO, E. 2017. GUÍA DE ESCENARIOS REGIONALIZADOS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN ESPAÑA. A PARTIR DE LOS RESULTADOS DEL IPCC-AR5. AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. MADRID. [HTTPS://DOI.ORG/10.31978/014-17-010-8](https://doi.org/10.31978/014-17-010-8)
- BENITO GARZÓN, M., SÁNCHEZ DE DIOS, R. & SAINZ OLLERO, H. 2008. EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE DISTRIBUTION OF IBERIAN TREE SPECIES. *APPLIED VEGETATION SCIENCE* 11(2): 169-178. [HTTPS://DOI.ORG/10.3170/2008-7-18348](https://doi.org/10.3170/2008-7-18348)
- FRANKLIN JF, SHUGART HH, HARMON ME, 1987. TREE DEATH AS AN ECOLOGICAL PROCESS. *BIOSCIENCE* 27, 259–288. [HTTP://WWW.JSTOR.ORG/STABLE/1310665](http://www.jstor.org/stable/1310665)
- GÓMEZ-SANZ, V. 2019. SITE-SCALE ECOLOGICAL-MARGINALITY: EVALUATION MODEL AND APPLICATION TO A CASE STUDY. *ECOLOGICAL MODELLING*, 411, 108798. [HTTPS://DOI.ORG/HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.ECOLMODEL.2019.108739](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2019.108739)
- GUI SAN, A. & ZIMMERMANN, N.E. 2000. PREDICTIVE HABITAT DISTRIBUTION MODELS IN ECOLOGY. *ECOL. MODEL.* 135, 147–186. [HTTPS://WWW.SCIENCEDIRECT.COM/SCIENCE/ARTICLE/PII/S0304380000003549?VIA%3DIHUB](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304380000003549?via%3DIHUB)
- HIRZEL, A.H. & LAY, G.L. 2008. HABITAT SUITABILITY MODELING AND NICHE THEORY. *JOURNAL OF APPLIED ECOLOGY* 45, 1372-1381. [HTTPS://BESJOURNALS.ONLINELIBRARY.WILEY.COM/DOI/10.1111/J.1365-2664.2008.01524.X](https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2664.2008.01524.x)



- HUTCHINSON, G.E. 1957. CONCLUDING REMARKS. COLD SPRING HARBOR SYMPOSIA ON QUANTITATIVE BIOLOGY, 22, 415-427. [HTTP://DX.DOI.ORG/10.1101/SQB.1957.022.01.039](http://dx.doi.org/10.1101/SQB.1957.022.01.039)
- IPCC. 2007. CLIMATE CHANGE 2007: THE PHYSICAL SCIENCE BASIS. CONTRIBUTION OF WORKING GROUP I TO THE FOURTH ASSESSMENT REPORT OF THE INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. CAMBRIDGE UNIVERSITY PRESS, NEW YORK. [HTTPS://WWW.SLVWD.COM/SITES/G/FILES/VYHLIF1176/F/UPLOADS/ITEM\\_10B\\_4.PDF](https://www.slvwd.com/sites/g/files/vyhlif1176/f/uploads/item_10b_4.pdf)
- IPCC. 2014. FIFTH ASSESSMENT REPORT. [HTTPS://WWW.IPCC.CH/ASSESSMENT-REPORT/AR5/](https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar5/).
- IPCC. 2022. SIXTH ASSESSMENT REPORT. [HTTPS://WWW.IPCC.CH/ASSESSMENT-REPORT/AR6/](https://www.ipcc.ch/assessment-report/ar6/).
- LINDNER, M., MAROSCHEK, M., NETHERER, S., KREMER, A., BARBATI, A., GARCIA-GONZALO, J., SEIDL, R., DELZON, S., CORONA, P., KOLSTRÖM, M., LEXER, M. J., & MARCHETTI, M. 2010. CLIMATE CHANGE IMPACTS, ADAPTIVE CAPACITY, AND VULNERABILITY OF EUROPEAN FOREST ECOSYSTEMS. FOREST ECOLOGY & MANAGEMENT, 259, 698–709. [HTTPS://DOI.ORG/HTTPS://DOI.ORG/10.1016/J.FORECO.2009.09.023](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.023)
- MARCHI, M., CASTELLANOS-ACUÑA, D., HAMANN, A., WANG, T., RAY, D., & MENZEL, A. 2020. CLIMATE EU, SCALE-FREE CLIMATE NORMALS, HISTORICAL TIME SERIES, AND FUTURE PROJECTIONS FOR EUROPE. SCIENTIFIC DATA 7:428. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41597-020-00763-0](https://doi.org/10.1038/s41597-020-00763-0)
- MAURI, A., GIRARDELLO, M., STRONA, G., BECK, P.S.A., FORZIERI, G., CAUDULLO, G., MANCA, F. & CESCATTI, A., 2022. EU-TREES4F, A DATASET ON THE FUTURE DISTRIBUTION OF EUROPEAN TREE SPECIES. SCIENTIFIC DATA 9:37. [HTTPS://DOI.ORG/10.1038/S41597-022-01128-5](https://doi.org/10.1038/s41597-022-01128-5)
- MONTERO, G. 2015. INFORME FINAL DEL PROYECTO RTA2010-0095. TIPIFICACIÓN ECOLÓGICA SELVÍCOLA DE LAS PRINCIPALES ESPECIES FORESTALES ESPAÑOLAS.
- PAPUGA, G., GAUTHIER, P., PONS, V., FARRIS, E. & THOMPSON, J.D. 2018. ECOLOGICAL NICHE DIFFERENTIATION IN PERIPHERAL POPULATIONS: A COMPARATIVE ANALYSIS OF ELEVEN MEDITERRANEAN PLANT SPECIES. ECOGEOGRAPHY 41, 1-15. [HTTPS://ONLINELIBRARY.WILEY.COM/DOI/10.1111/ECOG.03331](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/ecog.03331)
- SAURA, S., ESTREGUIL, C., & CAUDULLO, G. 2015. PILOT ANALYSIS OF THE CONNECTIVITY OF THE NATURA 2000 FOREST SITES TO GUIDE FOREST CONSERVATION AND RESTORATION. FINAL REPORT OF SC16 CONTRACT IN 2ND FRAMEWORK SERVICE CONTRACT FOR THE PROVISION OF FOREST DATA AND SERVICES IN SUPPORT TO THE EUROPEAN FOREST DATA CENTRE (REFERENCE: 2012/ S 78-127532). [HTTP://739UQ.W4YSERVER.AT/INDEX.PHP/PROJECTS](http://739uq.w4yserver.at/index.php/projects)
- VAN DER LINDEN, P., & MITCHELL, J.F.B. 2009. ENSEMBLES: CLIMATE CHANGE AND ITS IMPACTS: SUMMARY OF RESEARCH AND RESULTS FROM THE ENSEMBLES PROJECT. MET OFFICE HADLEY CENTRE, FITZROY ROAD, EXETER EX1 3PB, UK. 160 PP. [HTTPS://ENSEMBLES-EU.METOFFICE.COM/DOCS/ENSEMBLES\\_FINAL\\_REPORT\\_NOV09.PDF](https://ensembles-eu.metoffice.com/docs/ensembles_final_report_nov09.pdf)
- VAUTARD, R., GOBIET, A., SOBOLOWSKI, S., KJELLSTRÖM, E., STEGEHUIS, A., WATKISS, P., MENDLIK, T., LANDGREN, O., NIKULIN, G., TEICHMANN, C. & JACOB, D. 2014. THE EUROPEAN CLIMATE UNDER A 2 °C GLOBAL WARMING. ENVIRON. RES. LETT. 9 034006 (11PP). [HTTPS://DOI.ORG/10.1088/1748-9326/9/3/034006](https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/3/034006)
- ZAVALA, M. A., RUÍZ-BENITO, P., BENITO-GARZÓN, M., & GARCÍA-VALDÉS, R. 2015. APLICACIÓN DE LOS MODELOS DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES (MDE) PARA EL ANÁLISIS DE LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS BOSQUES IBÉRICOS. EN: LOS BOSQUES Y LA BIODIVERSIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO: IMPACTOS, VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN EN ESPAÑA. MINISTERIO DE AGRICULTURA, ALIMENTACIÓN Y MEDIO AMBIENTE. MADRID. [HTTPS://WWW.MITECO.GOB.ES/ES/CAMBIO-CLIMATICO/TEMAS/IMPACTOS-VULNERABILIDAD-Y-ADAPTACION/PLAN-NACIONAL-ADAPTACION-CAMBIO-CLIMATICO/BIODIVERSIDAD.ASPX](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/plan-nacional-adaptacion-cambio-climatico/biodiversidad.aspx)

