

Tabla 2. Evolución de la superficie (en hectáreas) ocupada por eucaliptos entre 1966 y 1974 y hasta la actualidad (2018) cuantificando la superficie actual de eucalipto como porcentaje de la superficie arbolada total (CLCw) según la clasificación Corine Land Cover 2018 (CLC2018).

	Galicia			Asturias	Cantabria	Euskadi			Total	
	Po	C	Lu	Ou	As	Ca	A	Vi		Gui
E _{IFN1}	8182	15371	4086	0	25507	29697	0	1480	0	84323
E _{IFN2}	11085	27040	8367	0	32824	32824	0	7675	0	86993
E _{IFN3}	73779	17520	70995	860	71836	42968	36	9384	243	445067
E _{IFN4}	66887	214313	75190	565	69713	41184	147	9772	353	477774
EG _{IFN4.5}	50846	169907	65835	579	56559	34956	0	9936	411	389033
EN _{IFN4.5}	1693	33799	22562	100	410	212	700	5166	171	64818
E _{IFN4.5}	52540	20370	88398	680	56970	35168	700	15103	582	453851
CLCf	290255	501619	647208	547022	745239	350047	175504	155206	140951	3553056
CLCw	193307	379619	426715	205980	365911	179568	136002	128965	119671	2135743
%EG _{IFN4.5}	26,30	44,76	15,43	0,28	15,46	19,47	0,00	7,70	0,34	18,22
%E _{IFN4.5}	27,18	53,66	20,72	0,33	15,57	19,59	0,52	11,71	0,49	21,25

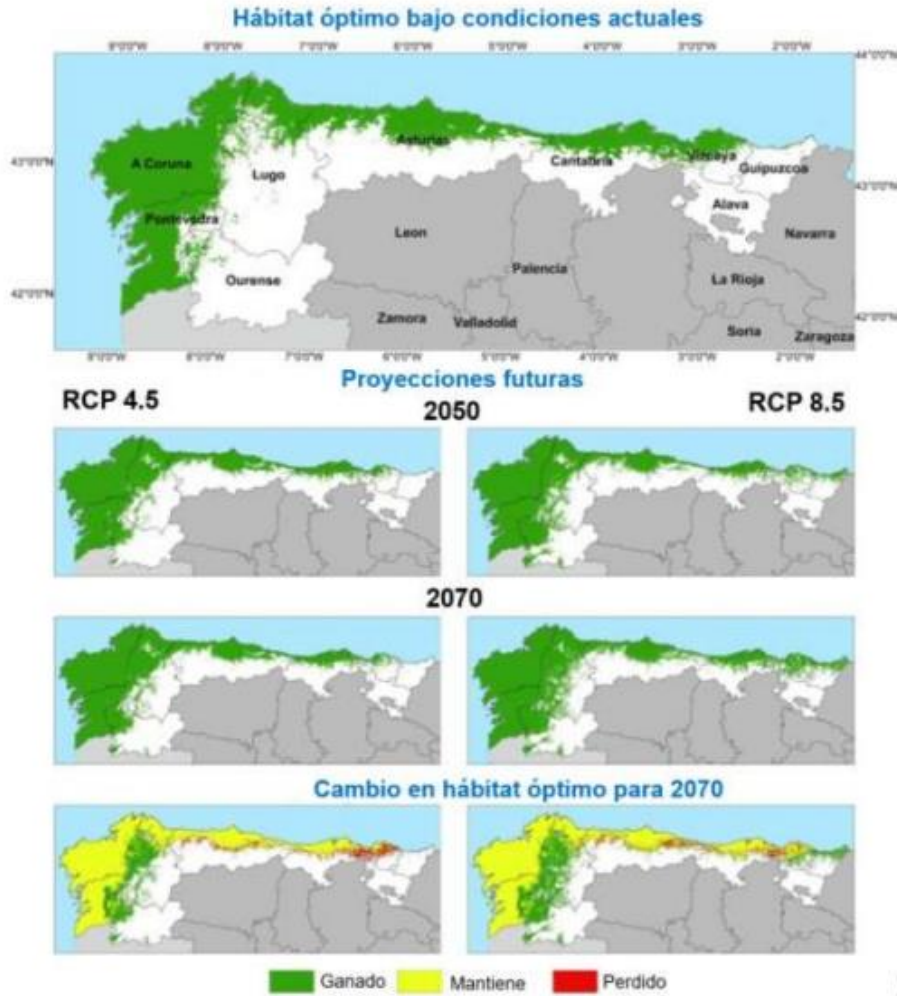


Figura 1. Predicciones del modelo de hábitat óptimo para las condiciones actuales y para condiciones futuras bajo dos escenarios de cambio climático diferentes (RCP 4.5 y RCP 8.5) y para los horizontes temporales de 2050 y 2070.

Tabla 3. Superficie (en ha) ocupada por diferentes tipos de coberturas de vegetación incluidas en el hábitat óptimo de eucalipto según el SDM ajustado y proyecciones futuras bajo dos escenarios climáticos futuros diferentes (RCP 4.5 y RCP 8.5) para el año 2050 y 2070.

		Galicia				Asturias	Cantabria	Euskadi			Total
Provincia		Po	C	Lu	Ou	As	C	A	Vi	Gui	
ACTUAL 2018	CLCf	290255	501620	647209	547023	745240	350048	175504	155207	140952	3553056
	CLCw	193307	379619	426715	205981	365911	179569	136003	128966	119672	2135743
	SH _{NBF}	66034	82945	28763	7679	69180	27730	39	13563	425	296357

	SH _{FSA}	122349	220676	45384	13619	79017	22193	315	29962	1014	534529
	EG _{IFN4.5}	48925	166241	61198	179	54584	33347	0	8386	13	372871
	SH _{NET}	237307	469862	135345	21476	202780	83270	354	51911	1452	1203756
2050 RCP 4.5	SH _{NBF}	+15%	+3%	+149%	+319%	-20%	-21%	-98%	-56%	-55%	+18%
	SH _{FSA}	+21%	+4%	+175%	+428%	-21%	-40%	-92%	-73%	-35%	+23%
	SH _{NET}	+15%	+3%	+92%	+387%	-16%	-23%	-93%	-63%	-41%	+14%
2050 RCP 8.5	SH _{NBF}	+16%	+3%	+172%	+552%	-31%	-33%	-82%	-52%	+2072%	+26%
	SH _{FSA}	+25%	+5%	+203%	+767%	-26%	-48%	-41%	-36%	+1028%	+39%
	SH _{NET}	+17%	+3%	+106%	+685%	-23%	-33%	-46%	-41%	+1337%	+22%
2070 RCP 4.5	SH _{NBF}	+15%	+3%	+162%	+386%	-16%	-26%	-100%	-62%	-20%	+21%
	SH _{FSA}	+23%	+5%	+201%	+542%	-16%	-42%	-93%	-71%	-32%	+30%
	SH _{NET}	+16%	+3%	+104%	+483%	-13%	-26%	-94%	-64%	-29%	+18%
2070 RCP 8.5	SH _{NBF}	+17%	+3%	+232%	+542%	-16%	-12%	+411%	-17%	+2990%	+40%
	SH _{FSA}	+25%	+5%	+290%	+729%	-9%	-15%	+548%	+57%	+1759%	+56%
	SH _{NET}	+18%	+3%	+148%	+658%	-11%	-13%	+533%	+26%	+2121%	+34%

Variables de IFN4.5: **EG_{IFN4.5}**: área actualmente ocupada por plantaciones de *E. globulus*. **Variables de Corine Land Cover (CLC2018):** **CLCf**: área total de la provincia cubierta por terrenos forestales y seminaturales. **CLCw**: área total en la provincia ocupada por bosque. **Variables obtenidas en las áreas CLC2018, SNFI4.5 y SDM:** **SH_{NBF}**: superficie de expansión potencial de eucalipto en el bosque frondosas autóctonas (CLC2018 código 311 (bosque frondosas) menos EG_{IFN4.5}, menos EN_{IFN4.5} y menos superficie de *Acacia* sp.). **SH_{FSA}**: superficie de expansión potencial en otras áreas naturales y seminaturales. **SH_{NET}**: superficie de CLCf incluida en el hábitat óptimo, $SH_{NET} = E_{IFN4.5} + SH_{NBF} + SH_{FSA}$.

Tabla 4. Superficie (ha) ocupada actualmente por eucalipto dentro de Espacios Naturales Protegidos (ENP) y predicciones futuras para los horizontes temporales 2050 y 2070 bajo dos escenarios diferentes de cambio climático.

	Provincia	Galicia			Asturias Cantabria		Euskadi			Total	
		Po	C	Lu	Ou	As	C	A	Vi		Gui
ACTUAL (2018)	EG _{IFN4.5}	48925	166241	61198	179	54584	33347	0	8386	13	372871
	EG _{ENP}	161	3278	1585	8	340	1149	0	1293	26	7840
	%EG _{ENP}	0%	2%	2%	1%	1%	3%	0%	13%	6%	2%
	SH _{ENP}	13862	39109	12350	2515	3185	22548	0	16834	25	110429
2050 RCP 4.5	%SH _{ENP}	+43%	+12%	+94%	+218%	-13%	-6%	0%	-64%	+164%	+14%
2050 RCP 8.5	%SH _{ENP}	+55%	+13%	+77%	+1484%	-15%	-7%	0%	-47%	+8373%	+47%
2070 RCP 4.5	%SH _{ENP}	+51%	+13%	+101%	+620%	-14%	-9%	0%	-63%	+109%	+25%
2050 RCP 8.5	%SH _{ENP}	+53%	+13%	+138%	+993%	-5%	0%	0%	2%	+16379%	+53%

EG_{IFN4.5}: área total ocupada por *E. globulus*. **EG_{ENP}**: área ocupada por *E. globulus* en ENP. **%EG_{ENP}**: porcentaje de *E. globulus* en ENP en relación con EG_{IFN4.5}. **SH_{ENP}**: área actual de hábitat óptimo de *E. globulus* en ENP. **%SH_{ENP}**: porcentaje de incremento o disminución de hábitat óptimo de *E. globulus*.

5. Discusión

5.1. Modelo de distribución de especies y efectos del cambio climático en el hábitat óptimo

Random Forest fue seleccionada como la mejor técnica para modelizar el hábitat óptimo para *E. globulus* en el norte de España. El éxito de la técnica se basa en el uso de numerosos árboles, desarrollados con diferentes variables independientes que se seleccionan aleatoriamente del conjunto original completo de características, y ha sido recomendado como una técnica adecuada para aplicaciones de modelización ecológica y de distribución de especies (PRASAD et al., 2006, ARAUJO & LUOTO, 2007). Además, también ha demostrado ser la mejor técnica en análisis comparativos llevados a cabo en la modelización del hábitat óptimo de otras especies forestales (e.g., SERRA-VARELA et al., 2017, BARRIO-ANTA et al., 2020) y también ha sido seleccionada como la técnica utilizada para modelizar y cartografiar el hábitat óptimo de las principales formaciones forestales europeas (CASALEGNO et al., 2011).

Aunque existe gran superficie ocupada actualmente por *E. globulus* en el norte de España, según el SDM desarrollado, existe hábitat potencial adecuado para que la superficie ocupada por la especie siga aumentando. Así, el SDM ajustado predice una expansión sustancial del hábitat óptimo de *E. globulus* en Galicia, tanto para el escenario de cambio climático moderado como para el pesimista. Por el contrario, no se prevé ningún cambio o una reducción de leve a moderada para las otras tres comunidades autónomas del norte de España (Asturias, Cantabria y Euskadi). Estas proyecciones son similares a las llevadas a cabo para toda la Península Ibérica por DEUS et al. (2018).

5.2. Cambios históricos en la superficie ocupada por eucalipto, cobertura actual y expansión potencial futura

Después del establecimiento inicial de plantaciones comerciales de eucalipto en Galicia entorno a 1850 (LAMA GUTIÉRREZ, 1976, SILVA-PANDO & PINO-PÉREZ, 2016), y similar a lo señalado para Portugal (ALEGRIA et al., 2020), las plantaciones se expandieron rápidamente en toda la costa norte de España debido principalmente a factores económicos. La notable plasticidad de la especie en relación al suelo y al clima facilitó su adaptación (JACOBS, 1981; BEAN & RUSSO, 1989), por lo que no ha habido restricciones ambientales apreciables para la supervivencia y crecimiento de *E. globulus* en el área de estudio (LAMA GUTIÉRREZ, 1976; JACOBS, 1981). El rápido aumento en el área ocupada por *E. globulus* ha ido acompañado de un aumento de las existencias de biomasa y de la fijación de carbono. Por ejemplo, en Galicia, el stock de biomasa de *E. globulus* se multiplicó por 5,8 en el período 1972-2009. De hecho, los rodales de *E. globulus* representan actualmente las reservas máximas de carbono sobre el suelo en esta comunidad autónoma (GÓMEZ-GARCÍA, 2020).

Aunque prohibido por las leyes forestales regionales, la sustitución del bosque autóctono por plantaciones de eucalipto ha ocurrido con cierta frecuencia. La principal razón es la enorme diferencia en la tasa de crecimiento y las edades de corta en comparación con la mayoría de las especies de frondosa autóctona. Por ejemplo, la edad media de corta de *E. globulus* en Galicia es de 12 a 16 años (VIERA et al., 2016), muy inferior a los 110-145 años necesarios para maximizar la producción en volumen en el caraballo (*Quercus robur* L.) (GÓMEZ-GARCÍA et al., 2015). Además, las autoridades forestales disponen de recursos bastante limitados para llevar a cabo un control efectivo que evite el establecimiento de plantaciones de eucalipto tras la corta de masas autóctonas. Para proteger y potenciar estos bosques, algunas comunidades autónomas, como Galicia, han establecido una base de datos de bosques autóctonos con superficies superiores a 15 ha. Los propietarios de estas áreas serán elegibles para beneficios fiscales y se les dará prioridad para recibir subvenciones públicas para la gestión sostenible y la conservación (DOG, 2020).