

Análisis de la Evolución futura bajo Escenarios de Cambio Climático de las variables Climáticas y de las variables Derivadas

PARA EL PROYECTO

“ELABORACIÓN DE ESCENARIOS LOCALES Y REGIONALES DE CAMBIO CLIMÁTICO ADAPTADOS AL SEXTO INFORME DEL GRUPO INTERGUBERNAMENTAL DE EXPERTOS SOBRE EL CAMBIO CLIMÁTICO (IPCC) Y SU DIFUSIÓN A TRAVÉS DE LAS TECNOLOGÍAS DE LA INFORMACIÓN Y LA COMUNICACIÓN”

INTRODUCCIÓN	6
COMENTARIOS PREVIOS SOBRE EL ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES	11
1. TEMPERATURA MÁXIMA	14
2. TEMPERATURA MÍNIMA	27
3. PRECIPITACIÓN	39
4. NÚMERO DE HELADAS	52
5. OLAS DE CALOR	54
6. OLAS DE CALOR EXTREMO	56
7. NOCHES TROPICALES	58
8. INTEGRAL TÉRMICA SOBRE 7.5°C	60
9. GRADOS DÍA REFRIGERACIÓN	62
10. GRADOS DÍA CALEFACCIÓN	65
11. PRECIPITACIÓN DE NIEVE	67
12. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA	69
13. BALANCE HÍDRICO	71
14. POTENCIAL FOTOSINTÉTICO	73
15. ÍNDICE DE CONTINENTALIDAD COMPENSADO	75
16. ÍNDICE DE TERMICIDAD	77
17. ÍNDICE DE TERMICIDAD COMPENSADO	79
18. TEMPERATURA MEDIA DEL MES MÁS CÁLIDO	81
19. TEMPERATURA MEDIA DEL MES MÁS FRÍO	83
20. TEMPERATURA MEDIA DE LAS MÍNIMAS DEL MES MÁS FRÍO	85
21. TEMPERATURA MEDIA DE LAS MÁXIMAS DEL MES MÁS CÁLIDO	87
22. INDICE OMBROTÉRMICO	89
23. CCH: VOTO MEDIO ESPERADO DIURNO Y NOCTURNO	92
24. CCH: ÍNDICE DE INSATISFACCIÓN ESPERADO DIURNO Y NOCTURNO	96
25. CCH: HORAS DE INSATISFACCIÓN ESPERADAS (51%) POR CALOR Y POR FRÍO	100
26. UNIDADES BIOCLIMÁTICAS	104
27. PINUS PINEA: DISTRIBUCIÓN	106

28. PINUS PINASTER: DISTRIBUCIÓN	112
29. PINUS HALEPENSIS: DISTRIBUCIÓN	118
30. PINUS SYLVESTRIS: DISTRIBUCIÓN	124
31. PINUS NIGRA: DISTRIBUCIÓN	130
32. QUERCUS SUBER: DISTRIBUCIÓN	136
33. QUERCUS ILEX: DISTRIBUCIÓN	142
34. QUERCUS CANARIENSIS: DISTRIBUCIÓN	148
35. QUERCUS FAGINEA: DISTRIBUCIÓN	154
36. QUERCUS PYRENAICA: DISTRIBUCIÓN	160
37. CERATONIA SILIQUA: DISTRIBUCIÓN	166
38. OLEA EUROPEAE: DISTRIBUCIÓN	172
39. ABIES PINSAPO: DISTRIBUCIÓN	178
40. TEMPERATURA MEDIA	184
41. Nº DE MESES CON BH > 0	186
42. ÍNDICE DE ARIDEZ	188
43. SUPERÁVIT HÍDRICO	190
44. DÉFICIT HÍDRICO	192
45. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL	194
46. DURACIÓN DE LA SEQUÍA	197
48. ÍNDICE HÍDRICO ANUAL	201
49. ÍNDICE DE HUMEDAD ANUAL	203
57. OSCILACIÓN TÉRMICA	205
58. OSCILACIÓN TÉRMICA TOTAL	208
59. CASTANEA SATIVA: DISTRIBUCIÓN	211
60. EUCALYPTUS CAMALDULENSIS: DISTRIBUCIÓN	217
61. EUCALYPTUS GLOBULUS: DISTRIBUCIÓN	223
62. JUNIPERUS OXYCEDRUS: DISTRIBUCIÓN	229
63. JUNIPERUS PHOENICEA: DISTRIBUCIÓN	235
64. ARBUTUS UNEDO: DISTRIBUCIÓN	241
65. CRATAEGUS MONOGYNA: DISTRIBUCIÓN	247

66. ACER OPALUS SUBSP. GRANATENSE: DISTRIBUCIÓN	253
67. ACER MONSPESSULANUM: DISTRIBUCIÓN	259
68. PISTACIA LENTISCUS: DISTRIBUCIÓN	265
69. PISTACIA TEREBINTHUS: DISTRIBUCIÓN	271
70. ROSMARINUS OFFICINALIS: DISTRIBUCIÓN	277
71. VIBURNUM TINUS: DISTRIBUCIÓN	283
72. CELTIS AUSTRALIS: DISTRIBUCIÓN	289
73. FACTOR DE DISPONIBILIDAD FOTOSINTÉTICA	295
74. ÍNDICES DE SEQUÍA: SPI	298
74.1 SPI A 3 MESES	299
74.2 SPI A 6 MESES	300
74.3 SPI A 12 MESES	301
74.4 SPI A 24 MESES	302
74.5 SPI A 60 MESES	303
75. ÍNDICES DE SEQUÍA: SPEI	304
75.1 SPEI A 3 MESES	305
75.2 SPEI A 6 MESES	306
75.3 SPEI A 12 MESES	307
75.4 SPEI A 24 MESES	308
75.5 SPEI A 60 MESES	309
76. ÍNDICES DE ARIDEZ	310
76.1 ÍNDICE DE ARIDEZ DE LANG	310
76.2 ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONNE	312
77. OLAS DE FRÍO: DURACIÓN	314
78. OLAS DE FRÍO: INTENSIDAD MEDIA	316
79. OLAS DE FRÍO: INTENSIDAD MÁXIMA	318
80. OLAS DE CALOR: DURACIÓN	320
81. OLAS DE CALOR: INTENSIDAD MEDIA	322
82. OLAS DE CALOR: INTENSIDAD MÁXIMA	324
83. ÍNDICES BIOCLIM	326

83.1 BIO1: TEMPERATURA MEDIA ANUAL	328
83.2 BIO2: RANGO DIARIO PROMEDIO	329
83.3 BIO3: ISOTERMALIDAD	330
83.4 BIO4: ESTACIONALIDAD DE LA TEMPERATURA	331
83.5 BIO5: TEMPERATURA MÁXIMA DEL MES MÁS CÁLIDO	332
83.6 BIO6: TEMPERATURA MÍNIMA DEL MES MÁS FRÍO	333
83.7 BIO7: RANGO ANUAL DE LA TEMPERATURA	334
83.8 BIO8: TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS HÚMEDO	335
83.9 BIO9: TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS SECO	336
83.10 BIO10: TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS CALUROSO	337
83.11 BIO11: TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS FRÍO	338
83.12 BIO12: PRECIPITACIÓN ANUAL	339
83.13 BIO13: PRECIPITACIÓN DEL MES MÁS HÚMEDO	340
83.14 BIO14: PRECIPITACIÓN DEL MES MÁS SECO	341
83.15 BIO15: ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN	342
83.16 BIO16: PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS HÚMEDO	343
83.17 BIO17: PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS SECO	344
83.18 BIO18: PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS CALUROSO	345
83.19 BIO19: PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS FRÍO	346
84. ÍNDICES VITÍCOLAS	347
84.1 TEMPERATURA MEDIA EN EL PERIODO VEGETATIVO	349
84.2 TEMPERATURA MÍNIMA EN EL PERIODO VEGETATIVO	350
84.3 TEMPERATURA MÁXIMA EN PERIODO VEGETATIVO	351
84.4 ÍNDICE DE FRÍO NOCTURNO	352
84.5 TEMPERATURA MÍNIMA DEL PERIODO DE REPOSO VEGETATIVO	353
84.6 ÍNDICE DE WINKLER	354
84.7 GRADOS-DÍA BIOLÓGICAMENTE EFECTIVOS	356
84.8 ÍNDICE HELIOTÉRMICO DE HUGLIN	358
84.9 ÍNDICE DE BRANAS, BERNON Y LEVADOUX	360
REFERENCIAS	362

INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es el Análisis de la evolución futura bajo escenarios de cambio climático de las variables climáticas y de las variables derivadas para el proyecto “Elaboración de escenarios locales y regionales de cambio climático adaptados al sexto informe del grupo intergubernamental de expertos sobre el cambio climático (IPCC) y su difusión a través de las tecnologías de la información y la comunicación” de la Junta de Andalucía.

Para cada una de las numerosas variables estudiadas en tal proyecto se presenta un estudio de las características de su evolución futura bajo la acción de los diferentes escenarios de cambio climático estudiados. Para todas las variables tal estudio de cambio climático futuro está apoyado en una figura que muestra nueve mapas: uno de ellos muestra el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*) en la imagen superior, y en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Dependiendo de la variable estudiada, se muestra o bien el cambio de la propia variable contra su pasado (contra la simulación *Historical*, en rigor) o los propios valores absolutos de la variable tanto en el pasado como en el futuro, donde lo mostrado es la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

En el caso concreto de la temperatura máxima, la temperatura mínima y la precipitación, y ya que son las variables principales del estudio a partir de las cuales se generan todas las demás, se han añadido figuras que muestran la evolución en el tiempo de tales variables - podemos interpretar que los mapas muestran imágenes estáticas pero con detalle geográfico y estas nuevas figuras muestran la evolución dinámica pero sin ningún detalle geográfico. En tales figuras se muestran líneas sólidas que se corresponden con el cuantil 50 (la mediana) de los valores obtenidos para los 10 modelos climáticos empleados y áreas sombreadas que indican el rango de valores entre los cuantiles 10 y 90 de los valores obtenidos; esas áreas se deben interpretar como el intervalo de confianza de las simulaciones proporcionadas. Aparecen, en gris, azul, verde, amarillo y rojo, los escenarios de cambio climático *Historical*, *SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*. Nótese que, en cada posible punto, los valores corresponden al promedio de los 30 años anteriores (por ejemplo, el dato de 2050 corresponde al promedio de los años 2021 a 2050).

En cuanto a la numeración empleada para cada variable (y por lo tanto el orden en que han sido presentadas), hemos intentado seguir la misma que aparece en el Anexo I del Pliego de Prescripciones Técnicas del presente proyecto, apareciendo al final las variables extra estudiadas por parte de la Fundación para la Investigación del Clima. Sin embargo, y como se puede observar, hay un salto en la numeración entre las variables 49 y 57. Eso se debe a que

1. Las seis variables CCH de confort, definidas en tres grupos de dos variables idénticas pero estudiadas para periodos diurno y nocturno, son presentadas directamente en los tres grupos, mostrándose directamente la diferencia entre diurnas y nocturnas.

2. Las cuatro variables estacionales de precipitación (variables 53 a 56 del pliego) no son mostradas porque su estudio aparece directamente en la propia variable de precipitación.

La tabla 1 muestra el conjunto de variables estudiadas en este proyecto junto con un código o acrónimo con el que son referidas las variables tanto (a veces) en este documento como en los ficheros tiff (rásters geográficos) entregados con los valores de la variable en cuestión para toda Andalucía.

Tabla 1. Código empleado para describir cada una de las variables estudiadas y suministradas.

Código	Variable
PRC	Precipitación acumulada
T_MAX	Temperatura máxima
T_MIN	Temperatura mínima
NDF0	Número de heladas ($T_{\min} \leq 0^{\circ}\text{C}$)
NDC40	Olas de Calor ($T \geq 40^{\circ}\text{C}$)
NDC45	Olas de Calor extremas ($T \geq 45^{\circ}\text{C}$)
NNT22	Noches tropicales ($T_{\min} \geq 22^{\circ}\text{C}$)
IT	Integral térmica sobre 7.5°C
GDR25	Grados día Refrigeración ($T \geq 25^{\circ}\text{C}$)
GDC17	Grados día calefacción ($T \leq 17^{\circ}\text{C}$)
PRCN	Precipitación de nieve
ETO	Evapotranspiración de referencia
BH	Balance Hídrico
PF	Potencial fotosintético
ICC	Índice de Continentalidad
IXT	Índice de Termicidad

IXTC	Índice de Termicidad compensado
TMC	Temperatura Media del mes más Cálido
TMF	Temperatura Media del mes más Frío
TMMF	Temperatura Media de las mínimas del mes más frío
TMMC	Temperatura Media de las máximas del mes más cálido
IO	Indice Ombrotérmico
PMVD	CCH. Voto Medio Esperado Diurno.
PMVN	CCH. Voto Medio Esperado Nocturno.
IIPD	CCH. Índice de Insatisfacción Esperado Diurno.
IIPN	CCH. Índice de Insatisfacción Esperado Nocturno.
HIPC	CCH. Horas de Insatisfacción Esperadas (51%) por calor.
HIPF	CCH. Horas de Insatisfacción Esperadas (51%) por frío.
UNBIO	Unidades bioclimáticas
PPINEA	Especie Pinus pinea
PPINAT	Especie Pinus pinaster
PHALEP	Especie Pinus halepensis
PSYLVS	Especie Pinus sylvestris
PNIGRA	Especie Pinus nigra
QSUBER	Especie Quercus suber
QILEX	Especie Quercus ilex
QCAN	Especie Quercus canariensis
QFAG	Especie Quercus faginea
QPYREN	Especie Quercus pyrenaica
CSILIQ	Especies Ceratonia siliqua
OEUROP	Especie Olea europeae
APINS	Especie Abies pinsapo
T_MED	Temperatura media

BHP	Número de meses con $B_h > 0$
IA	Índice de aridez
SUP	Superávit hídrico
DEF	Déficit hídrico
ETR	Evapotranspiración real
DSQ	Duración de la sequía
ISQ	Intensidad de la sequía
IHD	Índice Hídrico Anual
IHM	Índice de Humedad Anual
PIN	Precipitación de invierno
PPR	Precipitación de primavera
PVE	Precipitación de verano
POT	Precipitación de otoño
OSC	Oscilación Térmica
OST	Oscilación térmica total
CSATIV	Especie <i>Castanea sativa</i>
ECAMAL	Especie <i>Eucalyptus camaldulensis</i>
EGLOBL	Especie <i>Eucalyptus globulus</i>
JOXY	Especie <i>Juniperus oxycedrus</i>
JPHOE	Especie <i>Juniperus phoenicea</i>
AUNED	Especie <i>Arbutus unedo</i>
CMONOG	Especie <i>Crataegus monogyna</i>
AGRANAT	Especie <i>Acer opalus</i> subsp. <i>granatense</i>
AMONS	Especie <i>Acer monspessulanum</i>
PLENT	Especie <i>Pistacia lentiscus</i>
PTEREB	Especie <i>Pistacia terebinthus</i>
ROFFIC	Especie <i>Rosmarinus officinalis</i>

VTINUS	Especie Viburnum tinus
CAUST	Especie Celtis australis
DF	Factor de Disponibilidad Fotosintética
SPI	Sequías: SPI
SPEI	Sequías: SPEI
SEQARID	Sequías: Aridez
OLAFRIODUR	Olas de frío: Duración
OLAFRIOIMED	Olas de frío: Intensidad Media
OLAFRIOIMAX	Olas de frío: Intensidad Máxima
OLACALORDUR	Olas de calor: Duración
OLACALORIMED	Olas de calor: Intensidad Media
OLACALORIMAX	Olas de calor: Intensidad Máxima
BIOCLIM	(Referido a los) 19 Índices Bioclim
VITI	(Referido a los) 10 Índices Viticultura

COMENTARIOS PREVIOS SOBRE EL ESTUDIO DE DISTRIBUCIÓN DE ESPECIES

La modelización de la distribución de especies (MDE), tanto con algoritmos de machine learning como con Autoecología paramétrica, ha mostrado en varias especies resultados que sugieren la conveniencia de estudios más detallados. Los modelos de Autoecología paramétrica (índice de potencialidad y número de variables óptimas) y los MDE realizados a partir de algoritmos machine learning de aprendizaje como GAM parten de bases completamente distintas. En el proceso de entrenamiento de los MDE, los parámetros del algoritmo aprenden de los valores, a partir de los cuales se tiene la capacidad de optimizar una función de pérdida, permitiendo discriminar de la mejor manera posible la variable dependiente. En cambio, Autoecología paramétrica parte de una envolvente ambiental, basada en la fijación de unos umbrales en cada variable a partir de la distribución observada de la especie. La potencialidad se encontrará en aquellos espacios que estén dentro de los umbrales fijados en todas las variables usadas.

Autoecología paramétrica ha mostrado en varias especies sobreestimación de idoneidad en los períodos históricos. Y al contrario, en las proyecciones futuras se ha mostrado excesivamente restrictiva. Esto se explica porque en esta metodología, obedeciendo a la ley Liebig, si una de las variables predictoras se encuentra fuera del rango de la especie, el píxel en concreto es excluido del cálculo de índice de potencialidad y número de variables óptimas. Este descarte de idoneidad puede suceder incluso si esta variable es no significativa para la idoneidad de la especie, y por lo tanto, la distribución de esta. Como en el escenario Historical (la simulación del pasado por parte de los modelos climáticos) las variables suelen mantenerse en los umbrales (definidos en ese periodo), la idoneidad no se infraestima, incluso puede estar sobreestimándose en algunos casos. Pero para las proyecciones futuras, con que una sola variable, incluso aunque no sea significativa, se salga de los umbrales, el modelo proporciona como resultado que la especie no es idónea en ese píxel, lo que lleva en varios casos a una infraestima notable de la idoneidad.

GAM fue entrenado a partir de ausencias procedentes del IFN3. Su uso se llevó a cabo por su probado rendimiento (Gastón A. & García-Viñas J.I., 2011), ya que se aconseja el uso de algoritmos parsimoniosos para proyecciones futuras de cambio climático (Iturbide M. et al., 2018). No obstante, debido a las diferencias entre los resultados de GAM y Autoecología paramétrica, se decidió verificar los resultados de GAM mediante el entrenamiento y proyección a los distintos escenarios de un ensemble de 5 algoritmos de MDE distintos, con los parámetros por defecto: MAXENT, Multivariate Adaptive Regression Spline (MARS), Boosted Regression Trees (BRT), Generalized linear model, y el propio Generalized additive model (GAM). En gran parte de las especies, los resultados entre GAM y el ensamblado fueron muy parecidos y mostraron la misma tendencia, demostrando que la opción inicial elegida (GAM) era solvente.

Sin embargo, unas pocas especies han mostrado tendencias de distribución futuras que no parecen acordes a lo que se podría esperar. Esto, unido a los resultados muy distintos entre

MDE y Autoecología paramétrica, pone de manifiesto que, al menos en algunas especies, resulta necesario hacer estudios más detallados, y que quizá estos resultados deban manejarse con mucha cautela.

Muchas de las especies modelizadas en este proyecto sufren de limitaciones comúnmente destacadas en la literatura (G.Mateo et al., 2011). La primera es la violación de la hipótesis de pseudoequilibrio y representatividad, ya que al generar modelos se asume que la especie está en equilibrio o pseudoequilibrio con las condiciones ambientales. En todas las especies esto no es del todo conocido, ya que a priori ninguna tiene una distribución estable en el tiempo y el espacio. La intervención humana gestionando los recursos naturales desde tiempos históricos no lo ha permitido. En las especies introducidas como el algarrobo, los eucaliptos o incluso el pino piñonero, este problema es aún más importante, ya que las presencias no tienen por qué estar asociadas al clima más adecuado para la especie, sino que se deben a la decisión del ser humano sobre dónde implantarlas, y por tanto, su modelización será más complicada. Este incumplimiento también es marcado con otras especies cuyos registros de presencias pueden deberse a la actividad humana, como el olivo, castaño, cornicabra o romero. Por último, también según G.Mateo et al. (2011), está ampliamente aceptado que los MDE para especies de distribución restringida son más fiables que los realizados con especies de amplia distribución, ya que el rango de las condiciones ambientales están muy claramente definidos en el primer caso. En este sentido, especies como la encina, el romero o el olivo tienen una distribución muy amplia, con lo que su modelización se dificulta.

Los registros de presencias procedentes de la base de datos andaluza y del IFN deberían ser revisados, al no ser concordantes en algunas especies con la distribución natural observada y aceptada según un criterio botánico. Si estos valores atípicos son importantes, pueden alterar el rendimiento de Autoecología paramétrica o los algoritmos de machine learning, sensibles a este tipo de presencias. Se podría asumir que registros procedentes de los inventarios facilitados por la Junta de Andalucía y los extraídos del IFN3 fueron realizados por profesionales, y los errores de identificación por tanto deberían ser mínimos. Esto, unido a la posibilidad de eliminar registros de presencias que representan a pequeñas poblaciones que están adaptadas a las condiciones límite de la distribución de la especie, hace que el estudio de valores atípicos o extraños en la distribución deba ser realizado con cautela y detalle.

Debido al alcance del proyecto y la gran cantidad de especies, se llevaron a cabo modelizaciones semiautomáticas, que dieron en ciertos casos resultados extraños que recomiendan profundizar y abordar la modelización con análisis más detallados. Por ello, para algunas especies, los resultados deben manejarse con cautela, y sería conveniente llevar a cabo distintas metodologías de desarrollo de MDE basadas en técnicas de machine learning. Sería conveniente revisar las metodologías de eliminación de ausencias similares climáticamente a las presencias, la selección de algoritmos y comparación, diferentes modelizaciones de la especie según características poblacionales, nacionales o europeas, y un ensamblado de éstas. Por otro lado, en estos últimos años, la metodología utilizada para Autoecología paramétrica ha sido actualizada, incorporándose nuevas posibilidades para eliminar antiguas debilidades que han afectado a los resultados de este proyecto. La herramienta ModERFoRest (INIA) incorpora nuevas herramientas para la validación de los

modelos de idoneidad aportados por Autoecología paramétrica, usando entre otras cosas el índice de Marginalidad o la curva de Boyce-Hirzel. Por otro lado, el rendimiento de Autoecología paramétrica mejora cuando se llevan a cabo divisiones de los registros por poblaciones homogéneas climáticamente. Sin embargo, para llevar a cabo una óptima caracterización de adaptación a las condiciones ambientales, la incorporación de divisiones genéticas es necesaria (Rodríguez Quilón et al., 2016; Serra-Varela M.J. et al., 2017).

En conclusión, al analizar los resultados de distribución de especies, debe tenerse siempre en mente el alcance de este proyecto, que solo ha permitido la modelización semiautomática. Por ello, estos resultados deben manejarse con suma cautela, ya que existen considerables incertidumbres en los mismos, al menos para algunas especies (por las limitaciones explicadas antes). Sería recomendable, al menos en esos casos, afrontar estudios más detallados para conseguir resultados con un mayor nivel de confianza.

1. TEMPERATURA MÁXIMA

La temperatura máxima a escala **anual** para la mediana de todos los modelos climáticos utilizados y para el período histórico, representa el valor medio de las máximas a lo largo de la Comunidad Autónoma de Andalucía. De forma promediada, el valor más elevado de temperaturas máximas se alcanza en las vegas bajas del Guadalquivir, y en menor medida a lo largo del propio valle, especialmente durante el período estival, mientras que durante el invierno la distribución de las temperaturas máximas más altas corresponde a las regiones litorales. Influye igualmente el comportamiento del viento a mesoescala, de manera que con situaciones de poniente y norte las máximas se alcanzan en la vertiente mediterránea andaluza, mientras que con situaciones de levante es la vertiente atlántica la que muestra episodios cálidos de forma significativa.

A esta escala, la distribución de la media de temperaturas máximas guarda relación con la distancia al mar y especialmente con la altitud, por lo tanto, las máximas a escala anual se dan en la campiña sevillana y cordobesa con aproximadamente 24°C de media, frente a los 22°C de las regiones litorales, descendiendo por debajo de 15°C por encima de los 1000 msnm.

En lo relativo a los escenarios futuros, se observa un calentamiento desigual, siendo más notorio en el interior frente a la costa y de forma más pronunciada en las áreas de montaña, especialmente en las cordilleras Béticas:

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) prevén un ascenso de entre 2 y 4.5°C. Los escenarios con mayores emisiones (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) muestran ascensos de entre 2.5°C en el entorno del Estrecho hasta los 5.5°C de las cordilleras Béticas (por encima de los 2000 msnm en Sierra Nevada, Sierra de Baza y Sierras de Cazorla-Segura y Las Villas).
- Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios más optimistas SSP1-2.6 y SSP2-4.5, muestran ascensos de entre 2 y 5.5°C en el peor de los casos, si bien el escenario SSP1-2.6 proyecta en algunas zonas incluso un ligero enfriamiento respecto al período 2041-2070. Los escenarios (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) por su parte muestran ascensos entre los 4 y los 9.5°C. Esto supondría una temperatura media máxima superior a los 25°C en el litoral (con un elevado índice de humedad o *humidex*) y superiores a los 30°C en las vegas del Guadalquivir, asemejándose esta última a la distribución de temperaturas en Bagdad (Irak) a comienzos del siglo XXI.

A escala **estacional**, el comportamiento de la temperatura máxima varía ligeramente. Por ejemplo, durante la primavera la distribución es similar al comportamiento que la temperatura máxima tiene a escala anual - los valores más elevados se corresponden con la campiña sevillana, y en menor medida con el resto del valle del Guadalquivir, y las cuencas del Andarax y el Almanzora - así:

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran aumentos modestos de temperatura comprendidos entre 1-2 a

3°C, especialmente en las regiones más internas de la cordillera Penibética (interior de Jaén y Granada), siendo más suaves en regiones litorales. Los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) prevén aumentos de entre 2.5°C en regiones litorales y prelitorales tanto en la vertiente atlántica como en la mediterránea, hasta 5°C de regiones montañosas como Sierra Nevada y las sierras de Cazorla-Segura, Baza y Mágina.

- Para finales de siglo (2071-2100) los modelos más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) proyectan aumentos de temperatura de entre 1 y 4°C entre litoral e interior, mientras que los pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) muestran cambios que ascienden entre 4°C en regiones litorales (especialmente Almería, vertiente atlántica, y Estrecho) hasta 10°C en regiones montañosas especialmente de la Sierra de Cazorla y Segura debido al efecto de continentalidad y aislamiento.

De esta forma, puede resumirse que los escenarios más probables (los escenarios intermedios SSP2-4.5 y SSP3-7.0) prevén para finales de siglo máximas en el área del Guadalquivir de 24 a 26°C, de 22 a 24°C en el litoral, mientras que en el interior depende fuertemente de la altitud, pasando de una horquilla de 10-18°C a 15-24°C. El escenario más pesimista eleva estos promedios en 25-28°C, 23-25°C, 16-25°C para las citadas regiones, lo que supone un adelanto significativo del verano especialmente en las regiones con mayor continentalidad.

Durante el verano, a diferencia de otras estaciones como la primavera o el invierno, las temperaturas máximas se dan tradicionalmente en zonas del medio y alto Guadalquivir (>35°C), es decir, en las provincias de Córdoba y Jaén, aunque también en áreas continentales de Sevilla y Huelva, debido al efecto moderador que la brisa tiene sobre las regiones prelitorales y litorales andaluzas.

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran aumentos de temperatura comprendidos en la horquilla de 1.5 a 5.5°C. Los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) por su parte muestran aumentos desde los 3.5°C de regiones litorales hasta los 6.5°C de las serranías Subéticas. En promedio, los escenarios muestran veranos con temperaturas máximas medias en el área del Guadalquivir en el entorno de los 37 a 40°C, de 27-28°C en el litoral y de más de 20°C en áreas de alta montaña.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario sostenible (SSP1-2.6) no estima un calentamiento significativo desde la mitad del siglo, reduciendo incluso la horquilla máxima desde 1.5 a 5°C. El área total con calentamiento inferior a 2°C especialmente en el litoral es sensiblemente superior, no obstante, respecto a la de mediados de siglo. Por su parte, el escenario denominado *mitad de camino* (SSP2-4.5) proyecta una horquilla mayor que la del período 2041-2070, de 3°C a 7°C de aumento. Los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) muestran cambios acusados con respecto a la climatología base, con aumentos que oscilan entre los 5-6°C en regiones litorales hasta aumentos de 12°C en las regiones más elevadas de las Cordilleras Béticas, predominando un aumento de entorno a 8°C para una gran parte de la Andalucía continental. Estos escenarios catastróficos se traducirían en veranos con temperaturas máximas medias en la campiña de más de 40°C (con extremos

superiores a 50°C durante olas de calor), mientras que en las áreas montañosas las medias, mucho más moderadas por su altitud, pasarían de la horquilla 15-20°C a una horquilla de entre 25-30°C y en las zonas de litoral pasarían del entorno de los 26-29°C a medias de 30-33°C, por lo que, considerando el nivel de humedad propio de estas regiones, se alejarían notablemente de los niveles de confort térmico que han tenido en el siglo XX o a comienzos del XXI.

Recapitulando y estimando los escenarios más probables, el escenario *mitad de camino* (SSP2-4.5) prevé ascensos en verano de entre 2.5 a 6°C para el período 2041-2070, y de 3.5 a 7°C para el período 2071-2100. El escenario *rivalidad regional* (SSP3-7.0) plantea una elevación de entre 3.5 a 6.5°C para el período 2041-2070, y de entre 4.5 y 9°C para el período sucesivo 2071-2100.

Durante el otoño las máximas se dan tradicionalmente en la campiña sevillana y por extensión en el bajo Guadalquivir, así como en el litoral mediterráneo debido al calor latente acumulado en el mar durante la estación estival. De esta forma:

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) estiman aumentos de temperatura comprendidos entre 2.5 y 5°C, mientras que los más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) muestran una subida comprendida entre 3 y 5.5°C, lo que implica un retraso sustancial en la finalización del verano, de modo que se superarán los 25°C de media para esta estación en gran parte del litoral y del valle del Guadalquivir.
- Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran ascensos de entre 2-2.5°C en el litoral hasta 6.5°C en las serranías béticas. Las proyecciones más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) calculan un rango de entre 4.5 hasta los 9.5°C lo que implicaría que la temperatura máxima media durante el otoño se aproxima notablemente a la temperatura máxima media actual de los meses estivales.

Si promediamos los escenarios más probables SSP2-4.5 y SSP3-7.0, el rango de temperaturas máximas durante el otoño para mitad de siglo ascendería entre 2 y 5.5°C, mientras que abarcaría el segmento de 3 a 8°C. Por otra parte, el aumento de la temperatura durante esta estación cuenta con una distribución directamente proporcional a la altitud, sin claros desequilibrios entre las cuencas andaluzas.

El invierno en Andalucía se caracteriza por una distribución de temperaturas máximas mayor a lo largo del litoral - tanto atlántico como mediterráneo - por efecto moderador del mar. Durante la climatología de 1961-1990 en las cumbres de Sierra Nevada las temperaturas máximas rondan los 0°C. De esta manera:

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios con menos emisiones (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran ascensos de 1-1.5°C en las regiones litorales a 3.5°C en las regiones más elevadas de la cordillera penibética. Los escenarios con más emisiones (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) se mueven en el segmento de 2 a 4.5°C.

- Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) proyectan ascensos de 1.5 a 4.5°C, por su parte los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) prevén un ascenso de entre 3°C en la región del Estrecho hasta los 8.5°C en las cumbres de Sierra Nevada, alejándose notablemente de los parámetros adecuados para la práctica de los deportes de nieve (podríamos estar hablando de máximas promedio de casi 10°C durante el invierno en el Mulhacén o el Veleta).

Por tanto el promedio más probable - la combinación de los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 - estima un aumento de entre 1.5 y 4°C para mediados de siglo, y de 2 hasta 6.5°C para finales del mismo. Este aumento será más intenso en los sistemas montañosos, y en áreas situadas a sotavento de los regímenes dominantes de viento durante la estación como por ejemplo en la costa del Sol con el viento terral, frente al poniente en la costa gaditana. A pesar de ello se puede decir que el invierno es la estación en la que menos ascenso de temperatura se prevé.

Igualmente, para la temperatura máxima media se ha estimado el cambio en valor absoluto para el conjunto del Andalucía a escala **anual** en función de los cuantiles 10 (valor mínimo esperado), 50 (valor más probable esperado o mediana) y 90 (valor máximo esperado) de los 10 modelos climáticos para analizar la dispersión de los resultados comentados con anterioridad. De esta forma:

- Para el período 2041-2070 las temperaturas máximas medias experimentan un ascenso de entre 1°C y 5°C, con una horquilla intermedia de los escenarios más probables de entre 2 y 4°C. El escenario más optimista SSP1-2.6 remite el ascenso a 1-3°C en su conjunto, mientras que el más pesimista SSP5-8.5 lo eleva a entre 3-5°C.
- Para el período 2071-2100 el escenario más optimista SSP1-2.6 muestra un parón en la subida de la temperatura máxima media, remitiéndose a los valores del período precedente 2041-2070: 1-3°C. El escenario más extremo SSP5-8.5 asciende hasta el segmento comprendido entre los 5 y los 7.5°C. Mientras, los escenarios más probables SSP2-4.5 y SSP3-7.0, prevén un aumento de entre 2.5 y 6°C respecto al período climático precedente.

En cuanto a la escala estacional, durante el verano se comprueba para el período 2041-2070 un aumento de entre 2 y 5.5°C, con unos escenarios intermedios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 proyectando una subida de entre 3 y 4.5°C. Para final de siglo el escenario más optimista SSP1-2.6 limita su ascenso observándose valores equivalentes a los de 2070, entre 2 y 3°C, mientras que el peor escenario SSP5-8.5 estima entre 6 y 8°C de ascenso. Los escenarios intermedios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 por su parte prevén ascensos de entre 3 y 6.5°C. En invierno las temperaturas máximas medias ascienden de forma menos significativa que en otoño o verano. Para el período 2041-2070 los ascensos quedan relegados a un intervalo de entre 1 y 3.5°C, siendo más probable el comprendido entre 1°C y 3°C. Para el año 2100, esta subida otorga una horquilla de entre 0.5°C y 6°C en la cual los escenarios intermedios

SSP2-4.5 y SSP3-7.0 estiman un segmento de entre 1.5 y 5°C. Asimismo, el escenario SSP1-2.6 prevé un posible descenso en su percentil inferior respecto al período anterior. Para la primavera y el primer período, 2041-2070, los aumentos de temperatura se encuentran en el intervalo de 1°C a 4.5°C, con el segmento de los escenarios intermedios entre los 2°C y los 4°C. Para 2100 nos encontramos con unos escenarios que no varían en el supuesto del SSP1-2.6 (0.5°C a 2.5°C), un intervalo de entre 2.5°C a 5.5°C en el caso de los intermedios, hasta 4-7°C en el caso del peor escenario SSP5-8.5. Por último, para otoño, la temperatura máxima media sufre una subida para el primer período 2041-2070, de 1.5°C hasta 5.5°C, con un intervalo en los modelos intermedios SSP2-4.5 SSP3-7.0 de entre 2°C y 4.5°C. Para 2100, este aumento se dispara, no tanto para el escenario más optimista SSP1-2.6, que disminuye incluso su subida hasta los 1.5°C a 2.5°C, como del caso de los intermedios SSP2-4.5 SSP3-7.0 – 3°C hasta 7°C – y más en el caso del SSP5-8.5 que prevé un aumento de entre 5°C y casi 9°C. Es de lejos la estación del año que experimenta un mayor aumento en promedio de temperaturas, al igual que ocurre por ejemplo en el caso de las temperaturas mínimas medias.

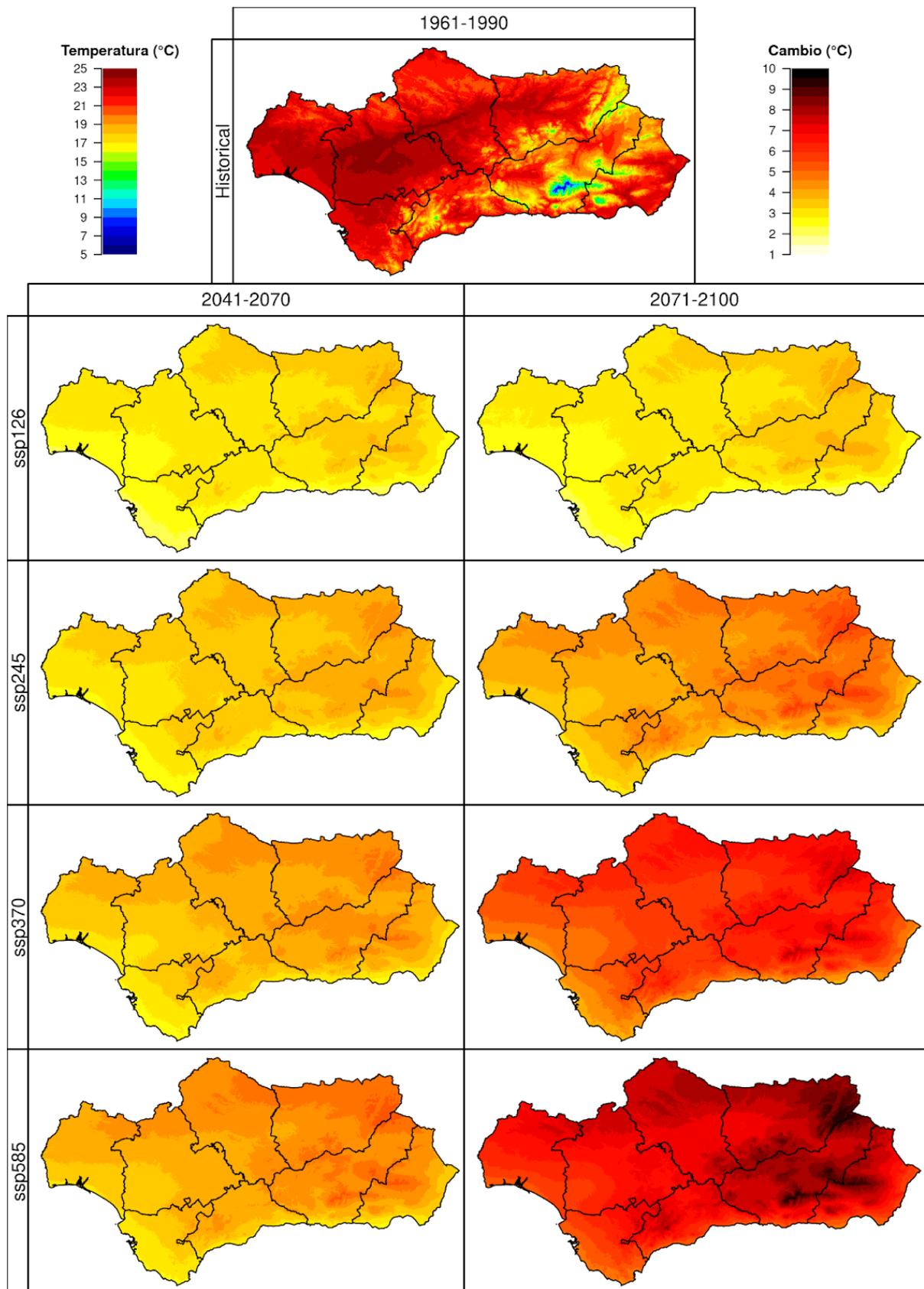


Figura 1.1. Incremento del promedio anual de la temperatura máxima, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

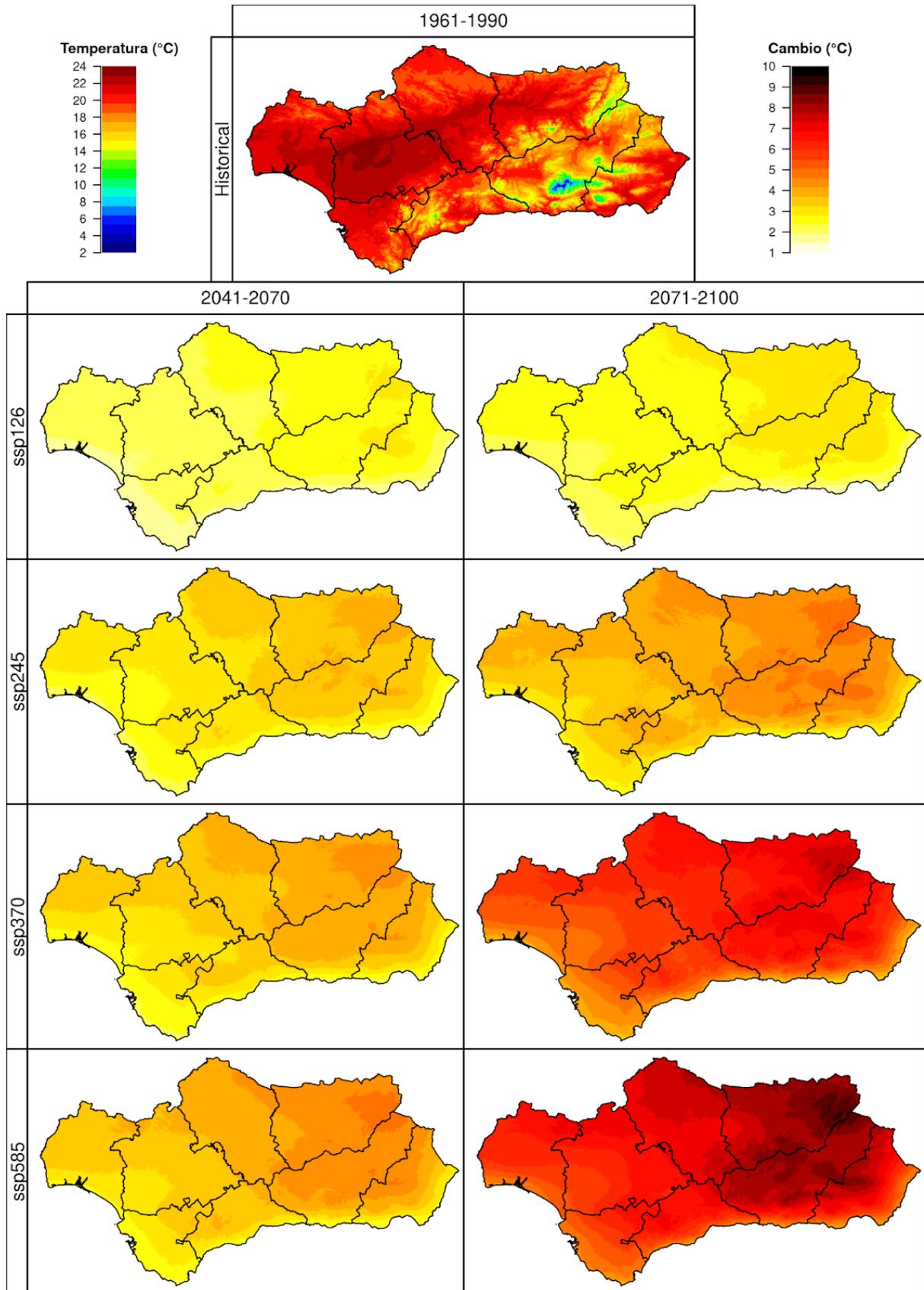


Figura 1.2. Incremento de la temperatura máxima media para la primavera (M-A-M), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

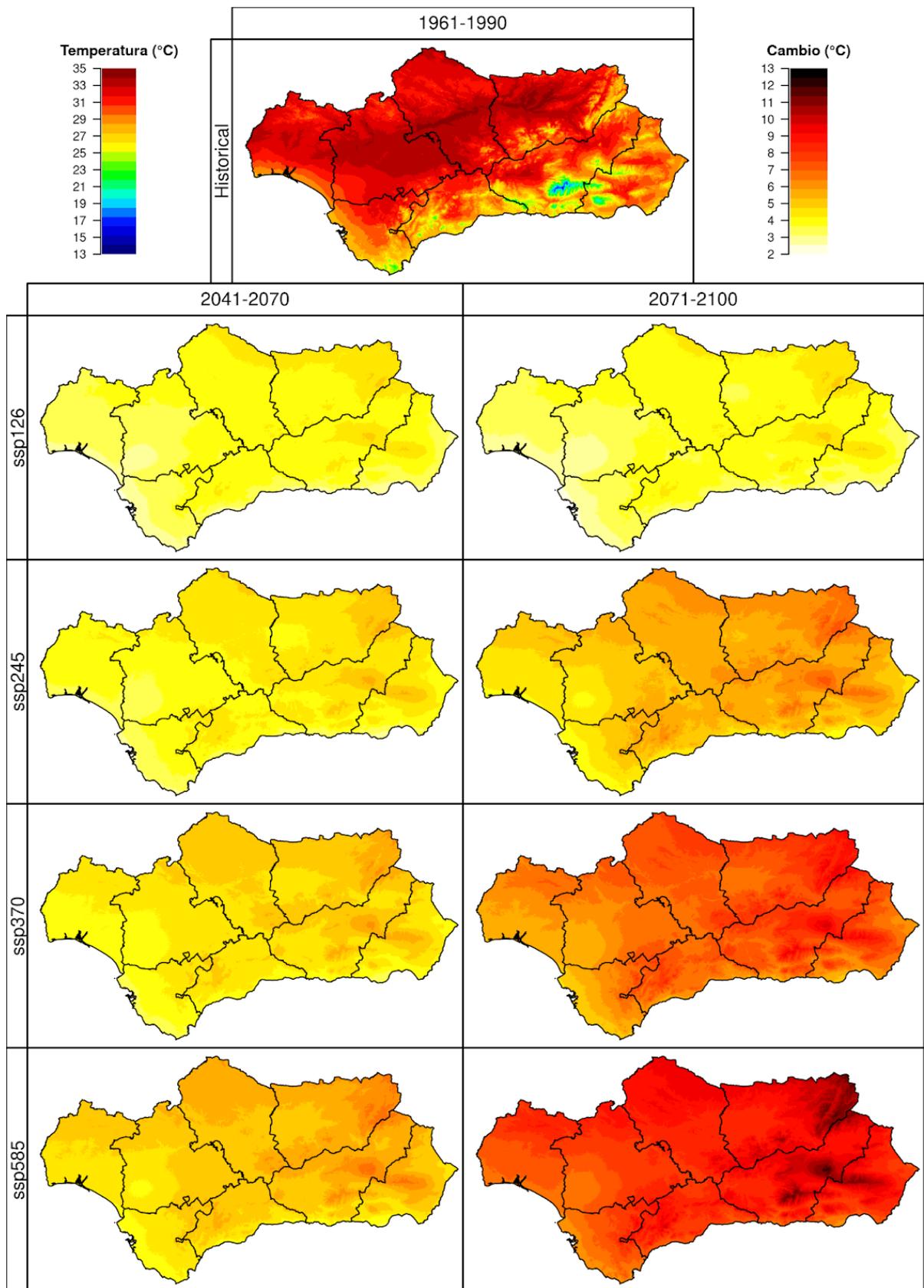


Figura 1.3. Incremento de la temperatura máxima media para el verano (J-J-A), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

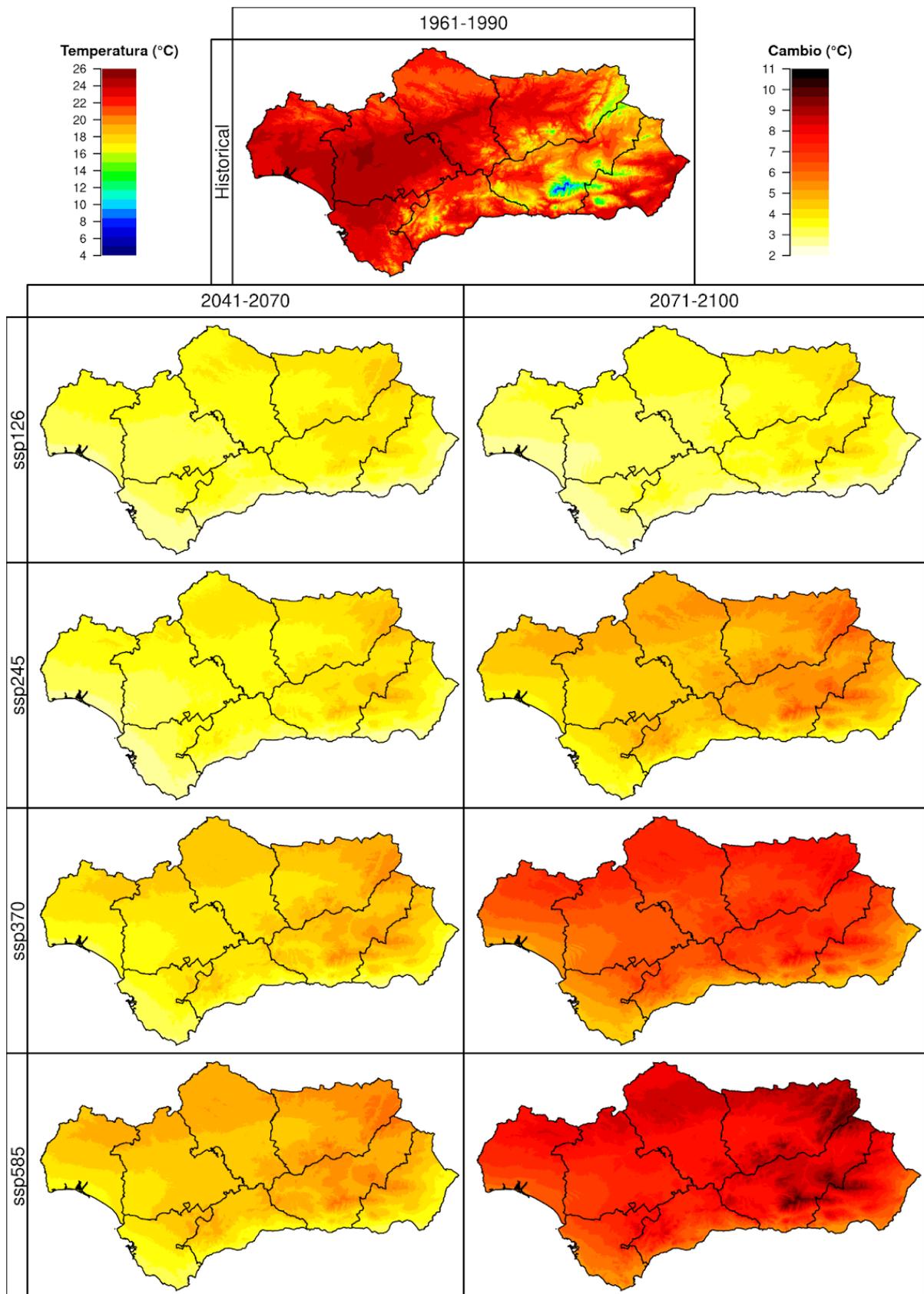


Figura 1.4. Incremento de la temperatura máxima media para el otoño (S-O-N), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

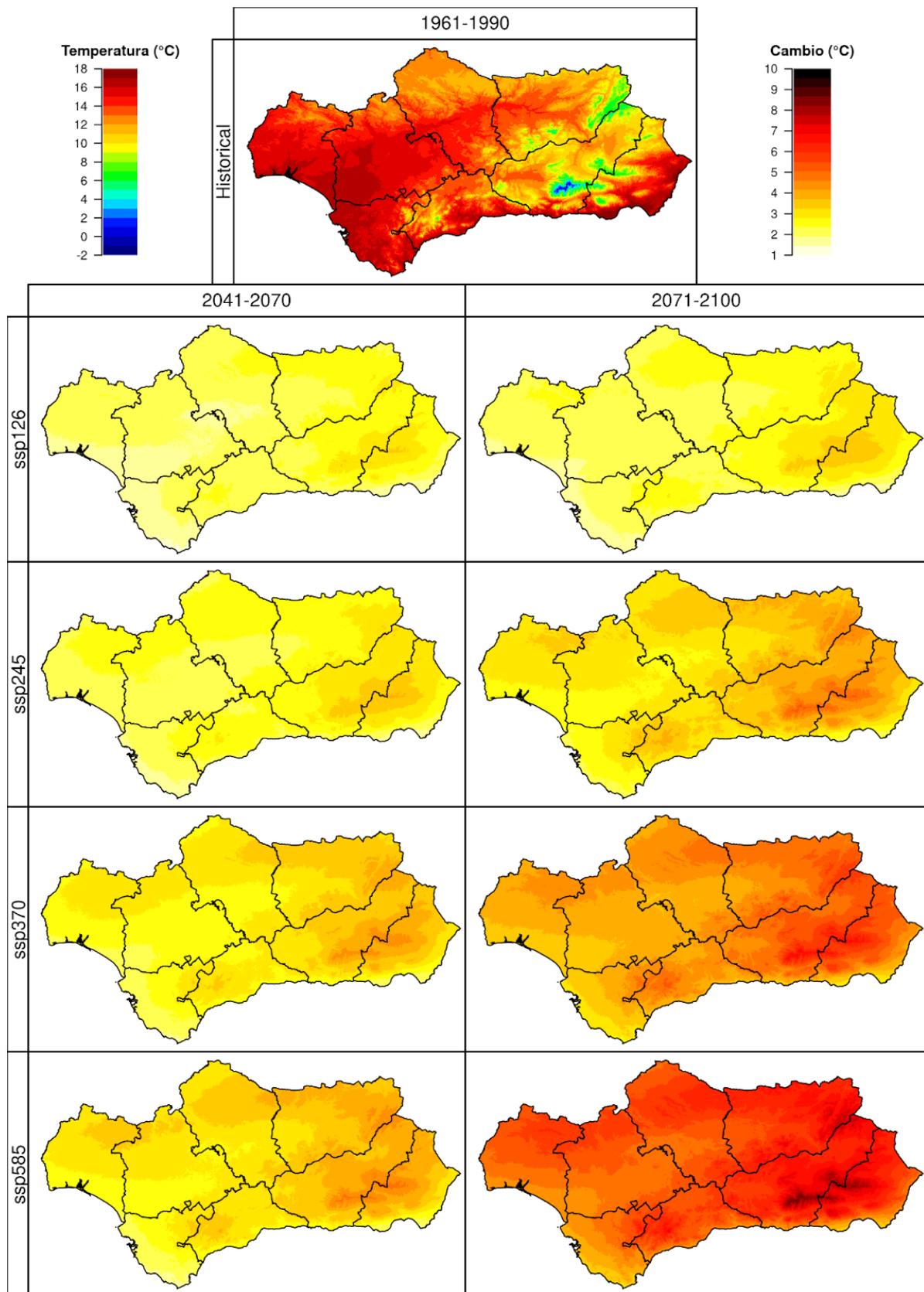


Figura 1.5. Incremento de la temperatura máxima media para el invierno (D-E-F), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

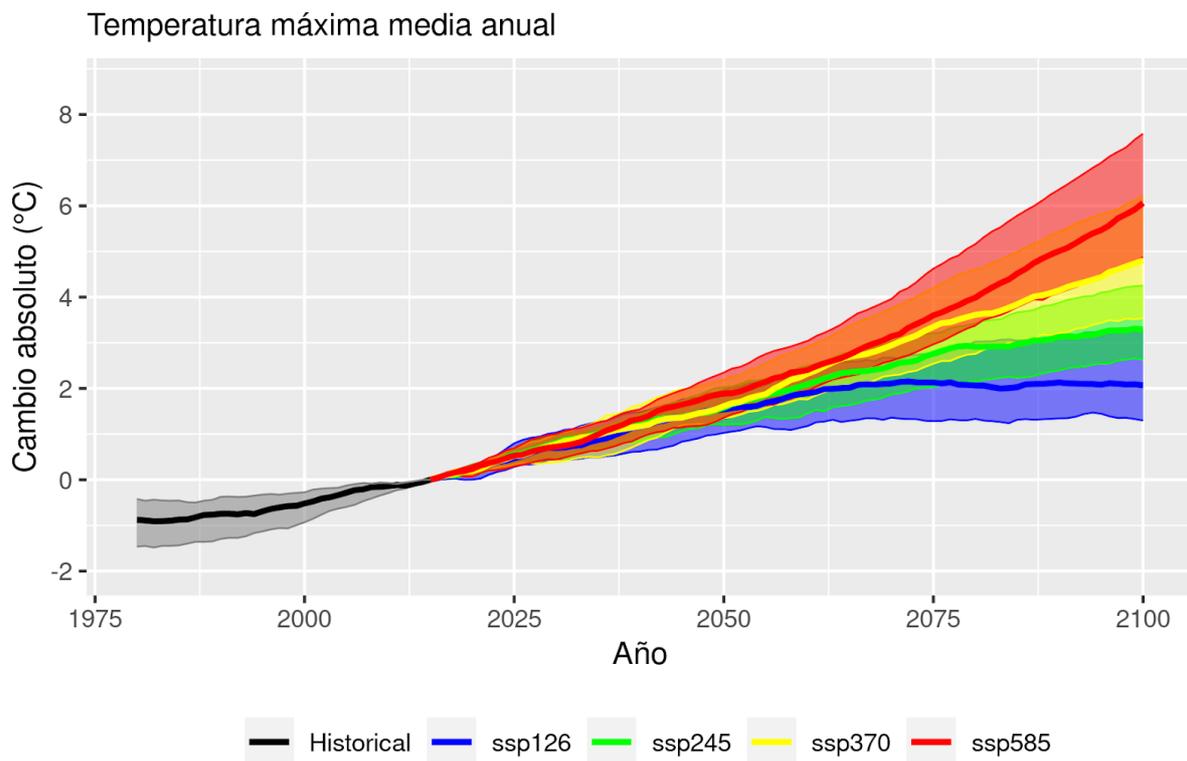


Figura 1.6. Evolución futura de la temperatura máxima media anual expresada como cambio absoluto (en °C) con respecto del valor actual. Las líneas sólidas corresponden al cuantil 50 (mediana) de los valores obtenidos para los 10 modelos climáticos empleados; el sombreado, al rango de valores entre los cuantiles 10 y 90. Se muestran en gris, azul, verde, amarillo y rojo los escenarios *Historical*, *SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*. Los valores corresponden al promedio de los 30 años anteriores (por ejemplo, el dato de 2050 corresponde al promedio de los años 2021 a 2050).

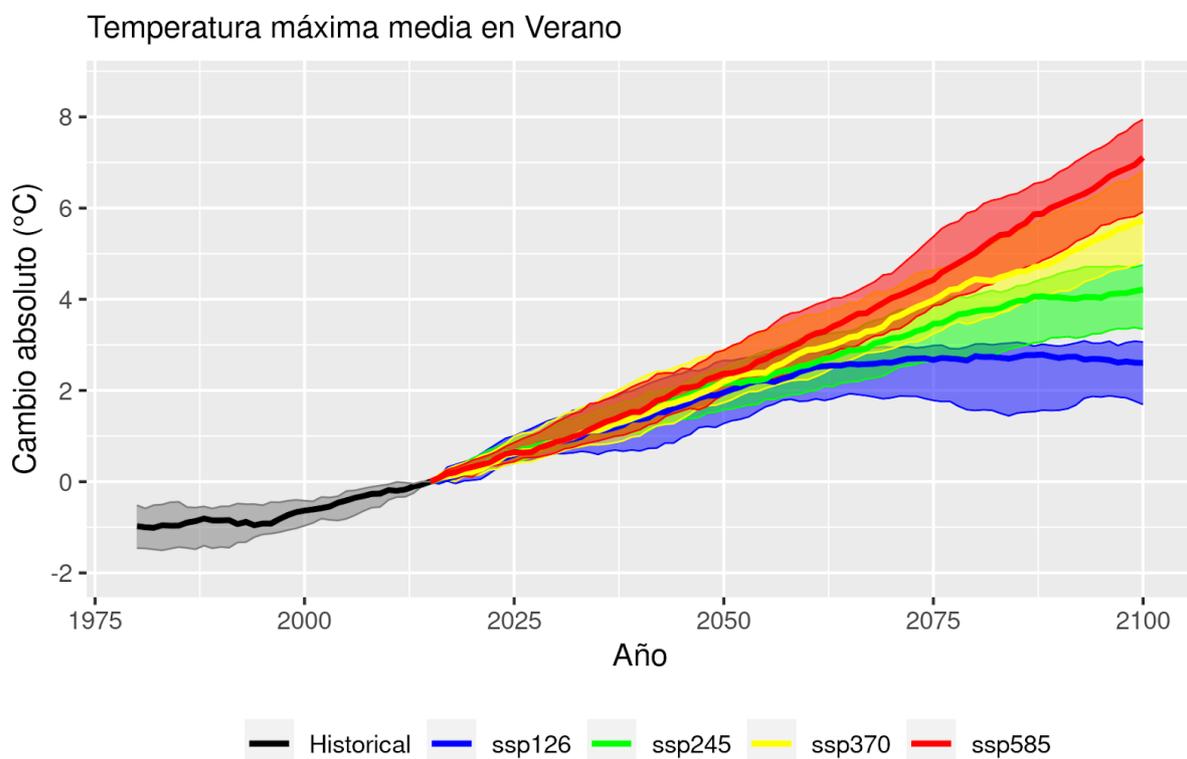


Figura 1.7. Ídem a la figura 1.6 pero acotado para verano.

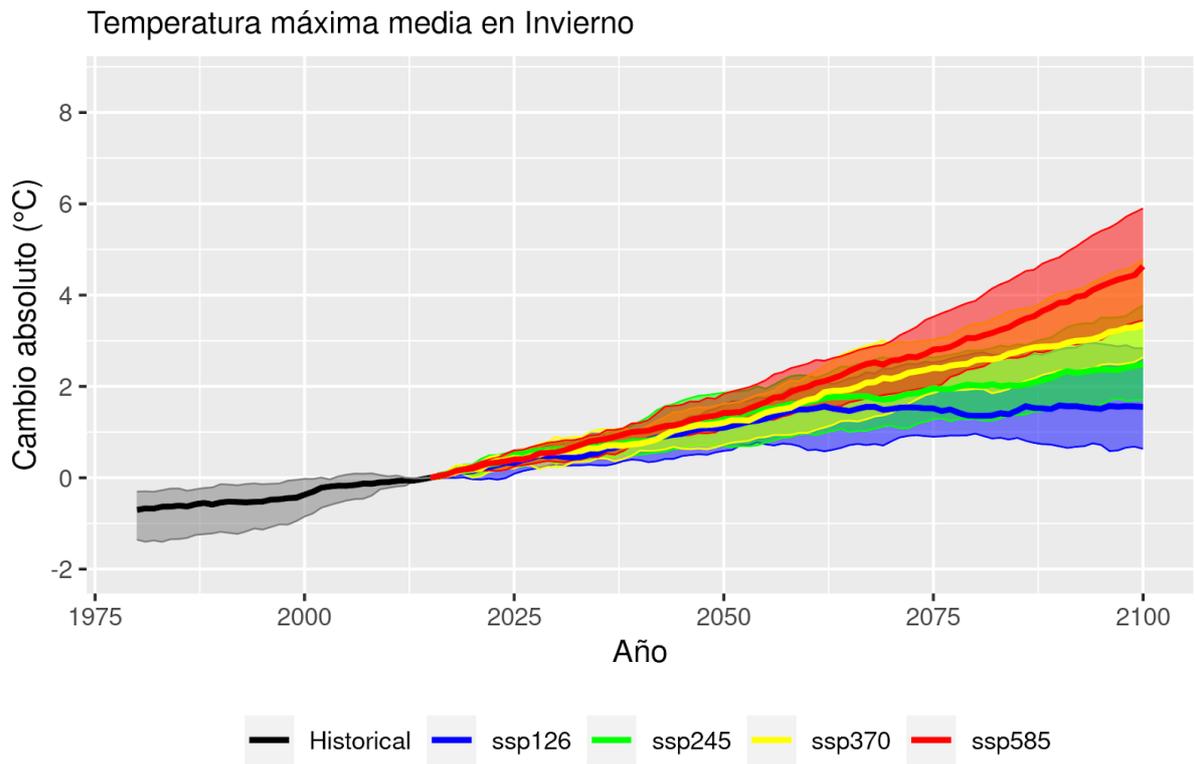


Figura 1.8. Ídem a la figura 1.6 pero acotado para invierno.

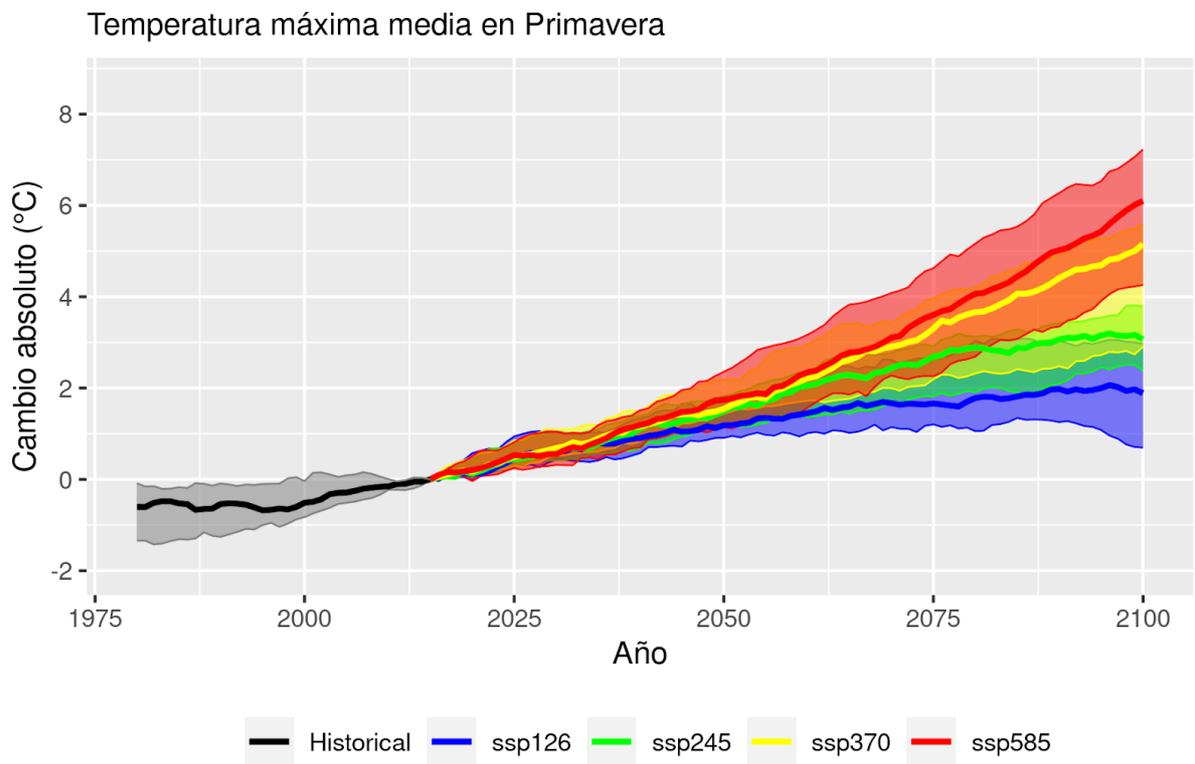


Figura 1.9. Ídem a la figura 1.6 pero acotado para primavera.

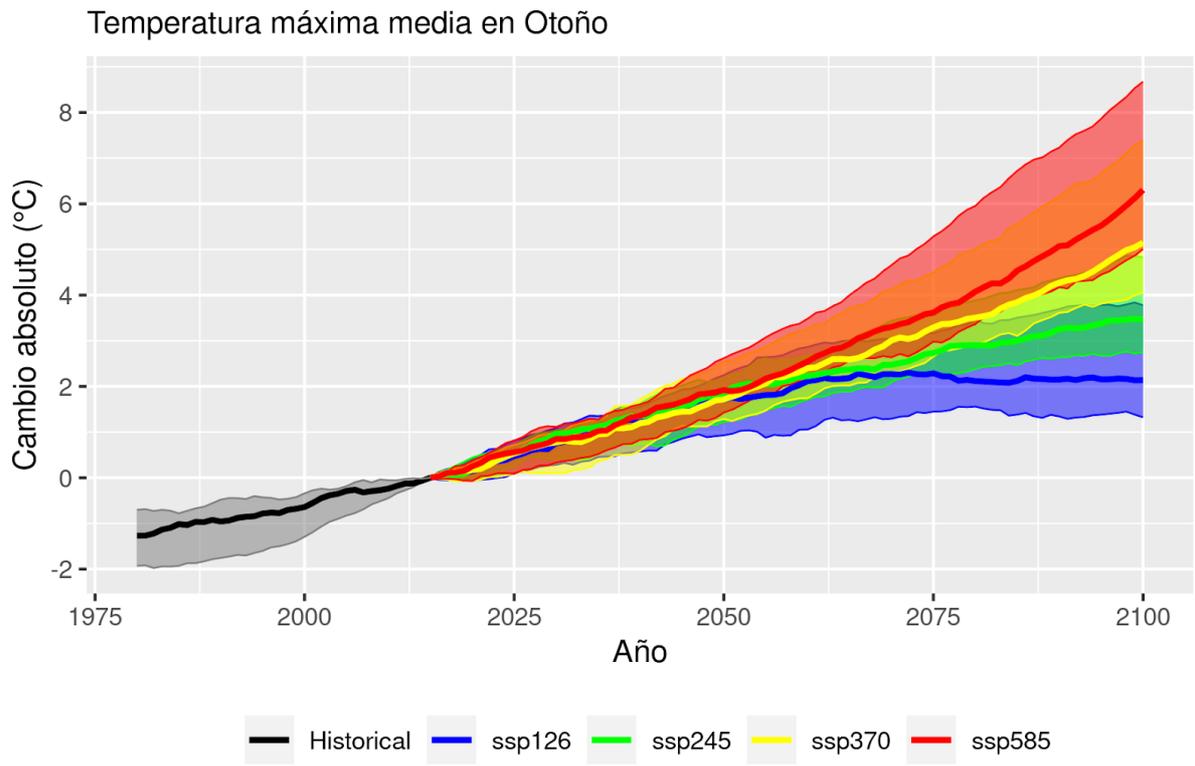


Figura 1.10. Ídem a la figura 1.6 pero acotado para otoño.

2. TEMPERATURA MÍNIMA

La distribución **anual** de temperaturas mínimas en Andalucía se puede explicar por un lado por el efecto moderador del mar Mediterráneo que provoca temperaturas mínimas más elevadas en las costas orientales reforzado por el efecto foehn generado por las cordilleras Béticas, y por un factor local de ausencia de brisas que genera islas de calor localizadas, especialmente durante los meses estivales (Jaén, Córdoba o Huelva). En el resto del territorio tiende a existir un factor inversamente proporcional con la altitud.

Para el conjunto del año, las proyecciones climáticas indican:

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios con mayor sostenibilidad (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran ascensos de entre 2 y 3.5°C. Los escenarios menos favorables (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) prevén ascensos de entre 3 y 4.5°C .
- Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios más optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) proyectan ascensos de entre 2 a 4.5°C. Los escenarios menos sostenibles (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) observan ascensos de entre 4 y 7.5°C.

Estimando un promedio de los escenarios más probables SSP2-4.5 y SSP3-7.0, para mitad de siglo prevén un calentamiento de entre 2.5 y 4°C, mientras que para final del mismo esa horquilla pasaría a ascender entre los 3 y los 6°C.

Por norma general, los modelos observan mayores ascensos de las temperaturas mínimas en las regiones montañosas (de forma análoga a como ocurre en temperatura máxima). Por otra parte, las menores diferencias se aprecian en las regiones litorales y en aquellas regiones con promedios de flujos de barlovento mayor, así como en zonas propicias a inversiones térmicas como ocurre en algunos tramos y afluentes del Guadalquivir, Tinto, Guadiana o Genil entre otros.

A escala **estacional** existen notables diferencias en la distribución de las mínimas a medida que transcurre el año. Aunque existe un gran contraste entre el interior y el litoral, estas diferencias se acrecientan durante los meses de otoño e invierno - con mínimas que distan hasta 22°C entre las serranías y el litoral - y se suavizan durante el verano - con un gradiente que escasamente supera los 10°C y sin diferencias significativas entre gran parte del litoral y del interior hasta cotas medias - las características físicas del mar y los regímenes de viento durante cada estación también influyen en el desigual calentamiento previsto por los modelos climáticos. Durante la primavera la distribución de temperaturas mínimas sigue un patrón ligado a la suavización térmica propiciada por el mar Mediterráneo y por el viento medio, que afecta durante las horas nocturnas con más intensidad al arco litoral que va desde Cádiz hasta Almería. En el interior se mantiene cierta inercia del invierno con ciertas inversiones en la depresión del Guadalquivir, habiendo por lo general una correlación inversa con la altitud.

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) proyectan ascensos de entre 1.5 y 3°C. Los escenarios más alarmantes (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) muestran un incremento de entre 2.5 a 3.5°C. Estos incrementos son más intensos en las cordilleras béticas, y menos intentos en las regiones litorales así como

en la sierra de Aracena y en general el interior de Huelva y Sevilla debido a la predominancia de brisas y vientos ábregos.

- Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) esperan ascensos de entre 1.5 hasta casi 4°C, en cualquier caso siendo superiores a los del período precedente. Los escenarios con mayor calentamiento (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) esperan un incremento de las temperaturas mínimas desde los 4 hasta casi los 7°C, con mínimas que en las regiones montañosas harían disminuir exponencialmente los días de helada.

Si consideramos una media entre los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 para mediados de siglo el ascenso previsto oscila entre 2.5 y 3.5°C. Mientras, para final de siglo, el aumento bascula entre los 3°C y los 6°C, siendo el calentamiento más intenso en las provincias más orientales, especialmente en la región penibética.

Durante el verano, el comportamiento de las temperaturas mínimas se explica en base a diversas causas: por un lado tienden a ser inversamente proporcionales a la altura en las regiones montañosas, especialmente en las cordilleras Béticas, Sierra Morena y Sierra de Aracena, sin embargo las regiones con mayor influencia de brisa marítima, especialmente en la vertiente Atlántica y la provincia de Málaga se benefician del efecto moderador de las corrientes frías - cosa que no ocurre desde el este de Málaga hasta Almería, con las mínimas más elevadas, debido a la ausencia de surgencias frías en el Mediterráneo - mientras, en regiones del Guadalquivir medio como es el caso de Jaén, la ausencia de brisas y aeración contribuye a dar las mínimas continentales más elevadas de Andalucía.

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran ascensos de entre 2 y 4.5°C. Los peores escenarios (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) muestran ascensos de entre 3 y 5°C.
- Para finales de siglo (2071-2100) los mejores escenarios (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) auguran un aumento limitado entre 2°C en regiones litorales y 5.5°C en las regiones béticas. El escenario más optimista (SSP1-2.6) de hecho no sugiere un aumento de las temperaturas, pero sí el denominado *mitad de camino* (SSP2-4.5) . Los escenarios más severos por su parte (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) prevén aumentos de entre 4 hasta 9.5°C.

En general predominan los mayores ascensos en las sierras de Cazorla, Segura y especialmente en Baza, donde el mayor calentamiento del mar Mediterráneo con respecto al Atlántico no favorecerá una amortiguación del cambio climático en cuanto a temperatura. Si actualmente el medio y bajo Guadalquivir sufren de una abundancia de *mínimas tropicales* ($\geq 20^{\circ}\text{C}$), los escenarios intermedios proyectan mínimas medias durante el verano en el entorno de los 25°C - también denominadas popularmente como *mínimas ecuatoriales* - para final de siglo en gran parte de la depresión del Guadalquivir, por lo que cabría esperar también mínimas de más de 30°C durante las olas de calor. Este escenario puede extrapolarse a las costas de Almería, Tropical e incluso del Sol, siendo menor en el Estrecho y en la costa Atlántica.

En el otoño existe un patrón térmico similar al verano, observándose sin embargo una mayor inercia especialmente en la fachada mediterránea.

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) prevén un ascenso de entre 2.5 y 3.5°C. Los escenarios con mayor calentamiento (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) establecen una horquilla de 3.5 a 4.5°C para este período.
- Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) proyectan subidas de entre 2.5 y 4.5°C. Los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) establecen una subida de entre 4.5 y 7.5°C, siendo las regiones menos propensas a la subida el arco mediterráneo, la región del Estrecho y la provincia de Huelva, y las más propensas las montañas Penibéticas.

La combinación más probable (SSP2-4.5 y SSP3-7.0) da como resultado un aumento de entre 2.5 a 4°C para mediados de siglo, mientras que para final del mismo este ascendería al rango de entre 3.5 y 6.5°C, lo que daría lugar a mínimas tropicales de media en gran parte de la costa mediterránea; superiores a los 16°C en gran parte de las depresiones principales y una reducción significativa de los días de helada en la alta montaña, pasando de una media de 3-5°C a 7-9°C - a más de 2000 msnm - durante el otoño para finales de siglo XXI.

Durante el invierno la distribución de las temperaturas mínimas se explica principalmente por la altura (abundantes heladas en las cordilleras Béticas) y por la posición a sotavento de los principales flujos dominantes durante la estación, vientos del tercer y cuarto cuadrante (NW-SW) que condicionan un mayor calentamiento previsto:

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) prevén un ascenso de entre 2 y 3°C. Los peores escenarios (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) para mediados de siglo proyectan aumentos de entre 2.5 y 3.5°C.
- Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) establecen aumentos de entre 2 y 4°C. Los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) por su parte auguran aumentos de entre 3.5 y 6.5°C.

Como resultado estadísticamente más probable, la combinación de SSP2-4.5 y SSP3-7.0 arrojaría un aumento para mediados de siglo de entre 2.5 y 3.5°C, mientras que a final del mismo este rango se elevaría a 3-5°C. Por lo tanto, muchas regiones a cotas medias que tenían temperaturas mínimas próximas o por debajo de 0°C dejarían de registrar un gran número de días de helada. Esto no significa que las heladas dejen de darse en estas altitudes, sino que su aparición será notoriamente más escasa, condicionando la pervivencia de los ecosistemas tanto en las mesetas como en la alta montaña, así como la economía asociada a los deportes invernales.

Estos cambios en la variación de las temperaturas mínimas se explican por el propio calentamiento desigual en la troposfera - mayor a niveles medios - afectando por tanto más a la alta montaña que a cotas bajas o a las regiones marítimas; además tanto el litoral como los valles interiores prevén ascensos más moderados gracias al calentamiento limitado del mar

por un lado y a la existencia de inversiones térmicas que amortigüen los efectos del calentamiento durante los meses de invierno.

Igualmente se ha estimado el cambio en valor absoluto para el conjunto del territorio andaluz a escala **anual** en función de los cuantiles 10 (valor mínimo esperado), 50 (valor más probable esperado o mediana) y 90 (valor máximo esperado) de los 10 modelos climáticos para analizar la dispersión de los resultados comentados anteriormente. Así:

- Para mediados de siglo (período 2041-2070) se observa un aumento de la temperatura mínima media anual de entre 1 y 3.5°C, si bien, si observamos las medianas de cada uno de los escenarios esta diferencia se reduce a una horquilla de entre 2 y 3°C. El escenario más optimista SSP1-2.6 prevé un aumento respecto al período climático precedente de entre 1 y 2.5°C. Los escenarios intermedios (SSP2-4.5 y SSP3-7.0) oscilan entre los 2°C y los 3.5°C. Por su parte el peor escenario SSP5-8.5 estima un aumento de entre 2.5°C y 4°C.
- Para final de siglo (2071-2100) y en el mejor de los escenarios SSP1-2.6 no se estiman cambios respecto al período precedente, gracias al estancamiento en las emisiones de gases de efecto invernadero. Para los escenarios intermedios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 se prevén incrementos continuados, con una horquilla para final de siglo XXI de 2°C a 5°C – de entre 2 y 4°C para el escenario SSP2-4.5 y de entre 3 y 5°C para el escenario SSP3-7.0 – para el conjunto de Andalucía. El escenario SSP5-8.5 a su vez proyecta un aumento de la temperatura mínima de entre 4°C y casi 7°C para el año 2100.

A escala **estacional**, y bajo la misma metodología, se observa durante el verano un aumento similar, esto es, para 2070 un aumento de entre 1.5°C y 4.5°C, siendo más probable una horquilla de entre 2 y 4°C, y para finales de siglo (2100) de entre 1.5°C hasta 7°C, si bien los escenarios más probables prevén un aumento de entre 3 y 6°C, es decir el escenario más optimista es a su vez el menos probable. Sin embargo, durante el invierno las proyecciones estiman calentamientos más modestos por las causas previamente mencionadas. Para 2070 el aumento estimado se encuentra entre 1°C y 4°C, siendo más probable el segmento comprendido entre 1°C y 3°C. Para el año 2100 este aumento podrá variar entre 1°C y 5.5°C, con los escenarios más probables SSP2-4.5 y SSP3-7.0 estimando una horquilla de entre 2 y 5°C. Para la primavera la tendencia hasta 2070 es de un aumento de entre 1 y 3.5°C, mientras que para final de siglo el aumento puede estar comprendido entre 0.5°C y 6°C, con un escenario más probable de entre 2 y 4°C de ascenso. Al igual que el invierno, la primavera es la segunda estación con un aumento más bajo de las temperaturas mínimas medias. Por último, para el otoño se observan aumentos para el primer período de entre 1 y 5°C con unos percentiles intermedios en la horquilla de entre 2 y 3.5°C. Para final de siglo la variación puede comprenderse entre 1°C y los 7.5°C, siendo más probable el segmento existente entre los 2.5°C y los 5°C. En este sentido, el otoño es la estación con un aumento más pronunciado de las temperaturas mínimas medias, seguido del verano, debido en gran medida por el aumento de la temperatura del mar y de la propia extensión temporal del verano.

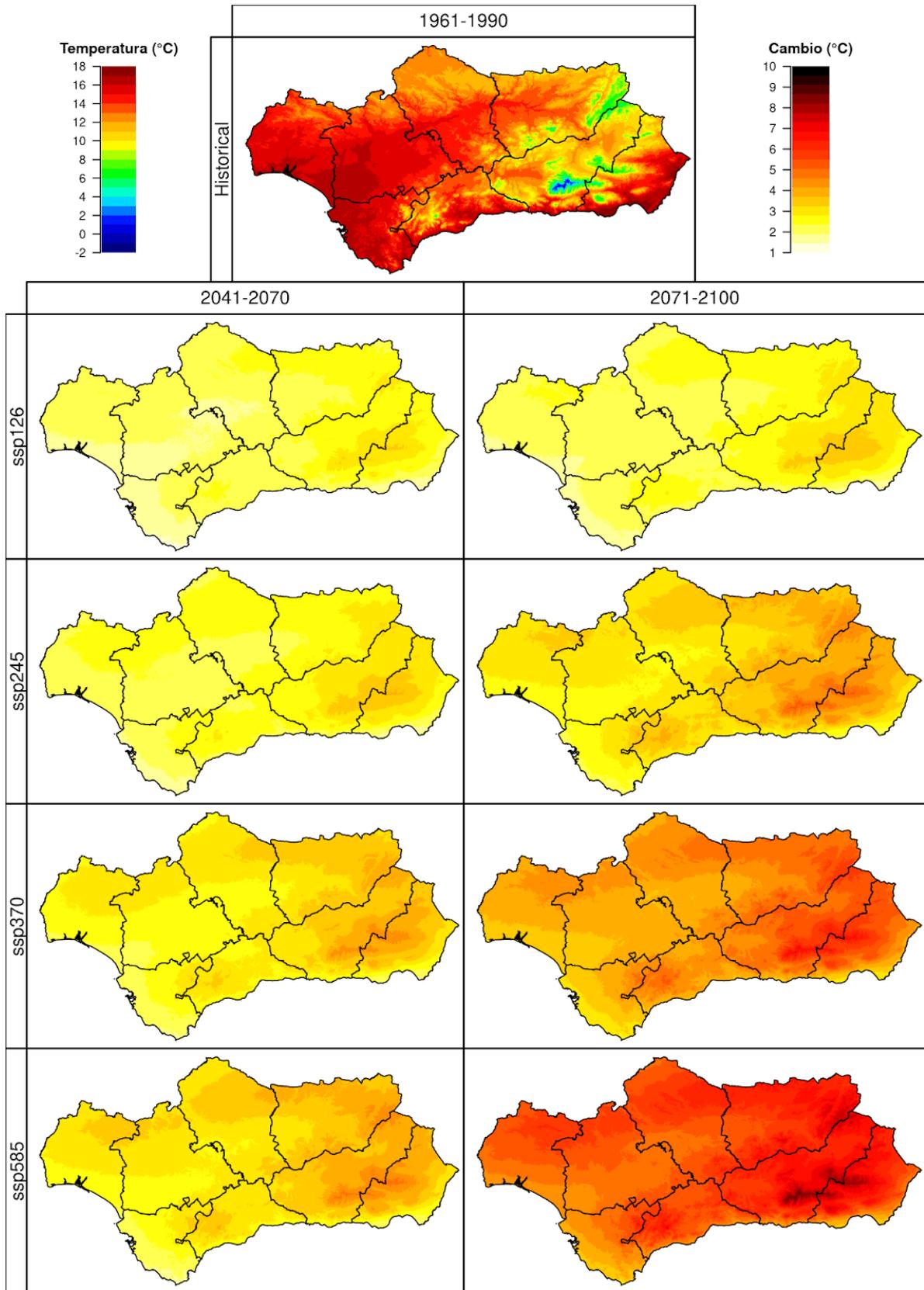


Figura 2.1. Incremento de la temperatura mínima media anual, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

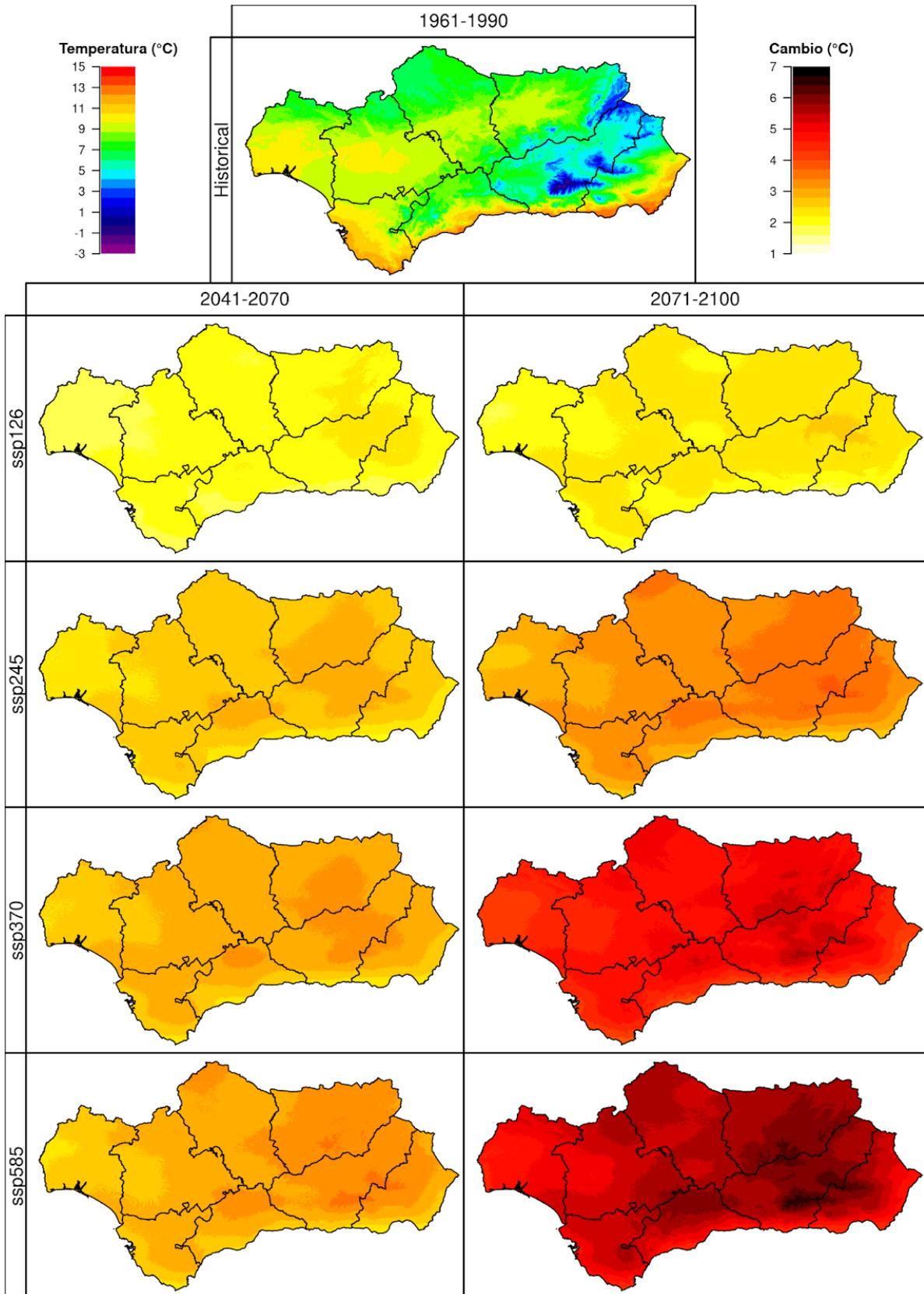


Figura 2.2. Incremento de la temperatura mínima media para la primavera (M-A-M), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

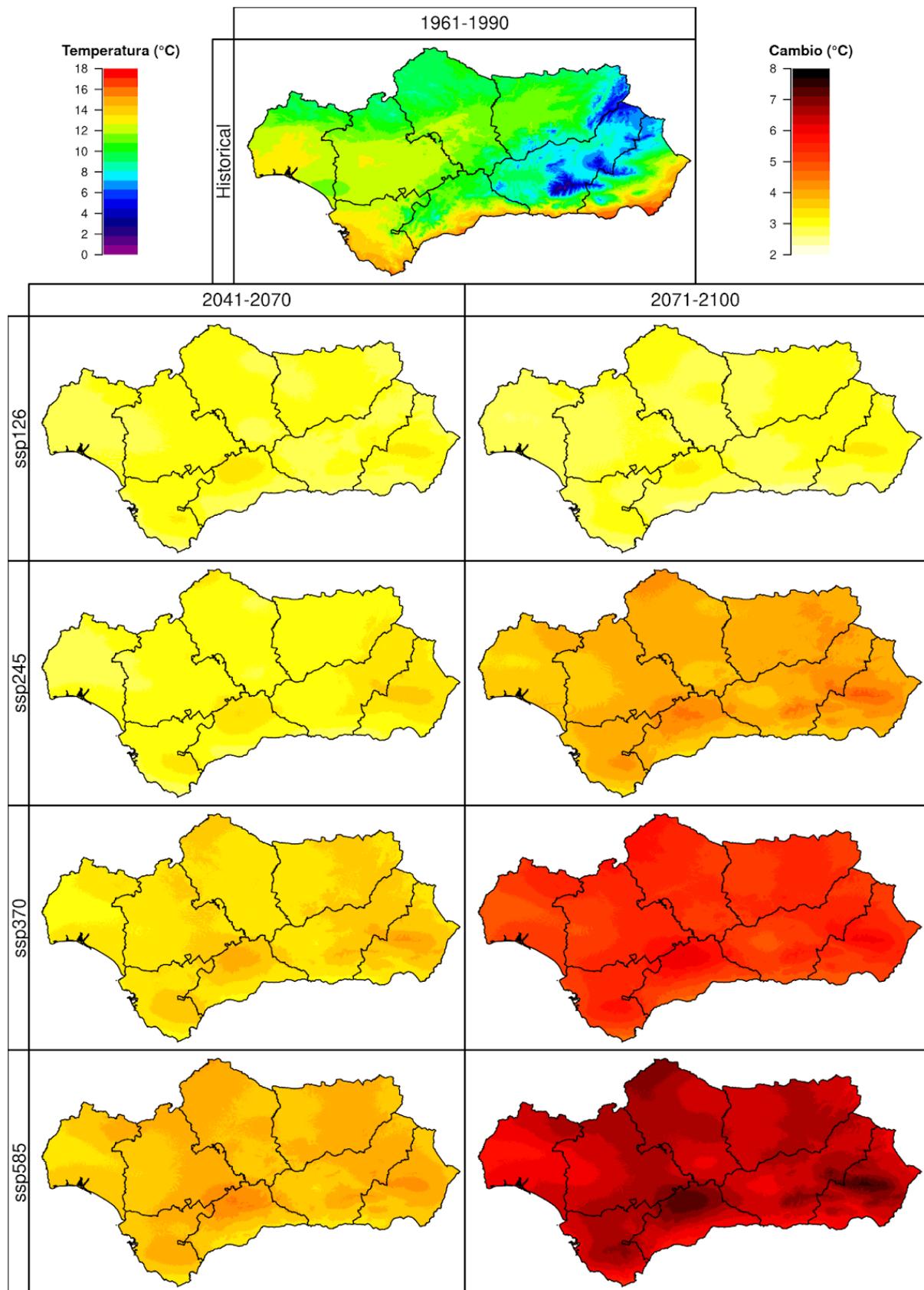


Figura 2.3. Incremento de la temperatura mínima media para el verano (J-J-A), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

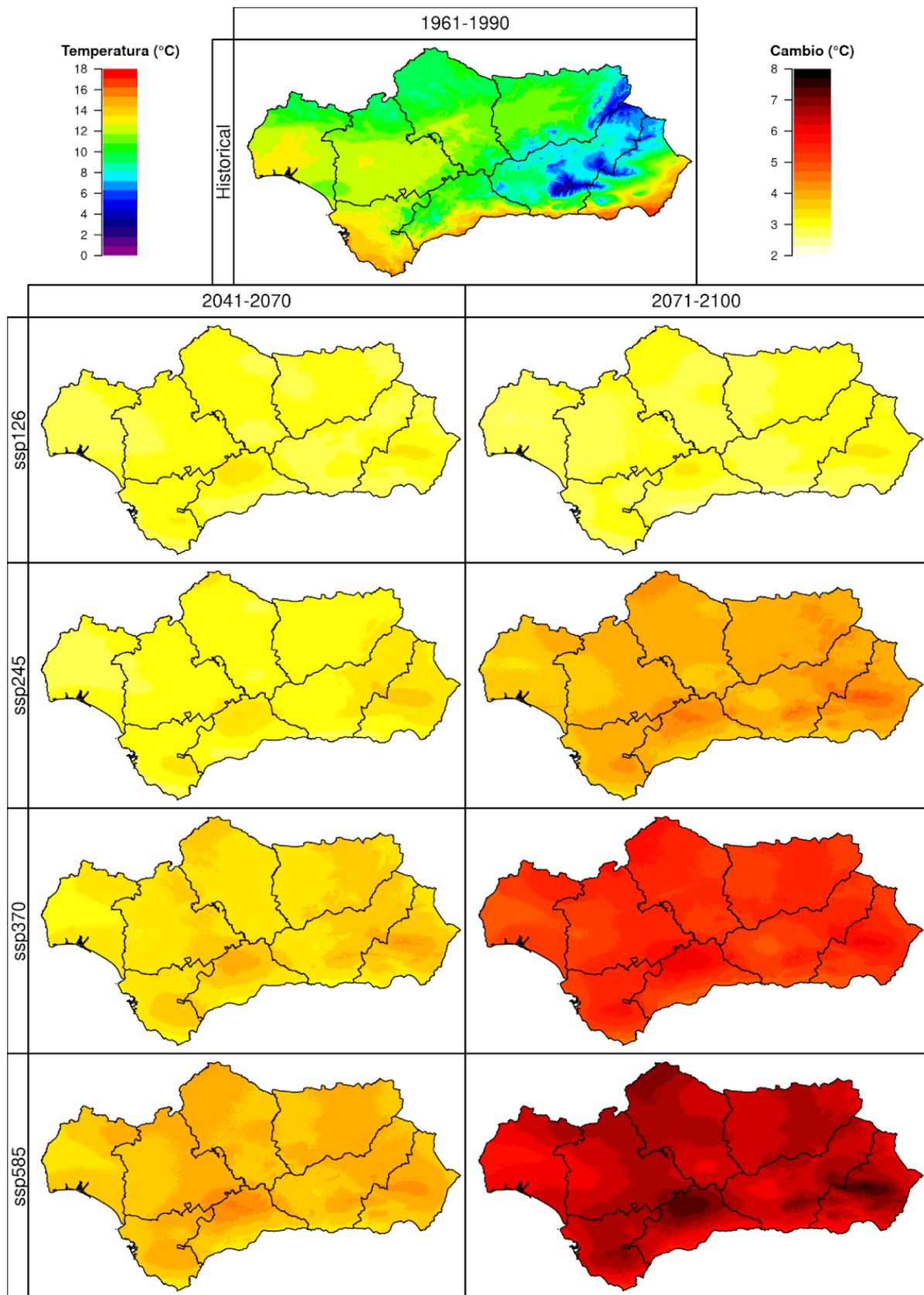


Figura 2.4. Incremento de la temperatura mínima media para el otoño (S-O-N), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

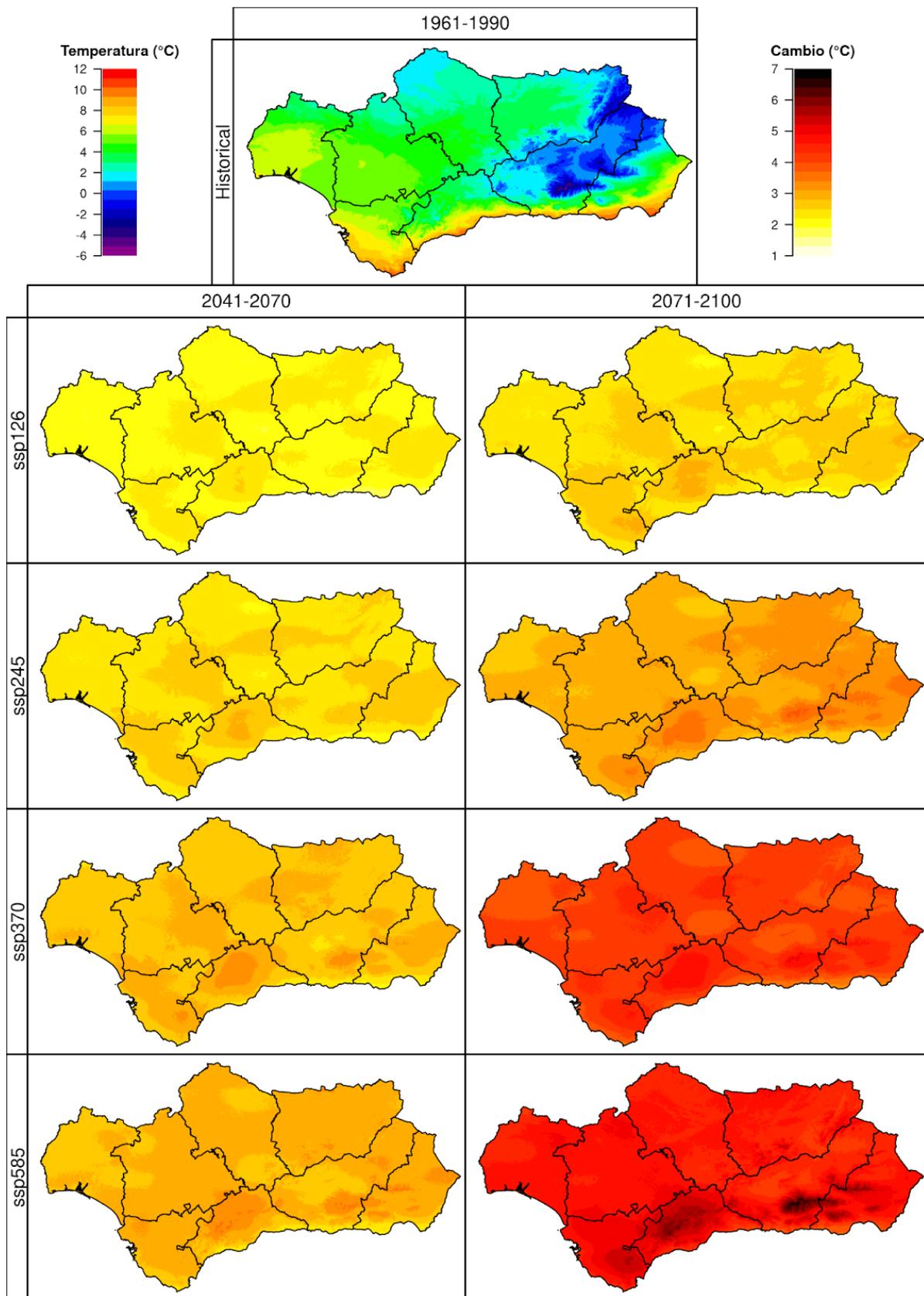


Figura 2.5. Incremento de la temperatura mínima media para el invierno (D-E-F), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

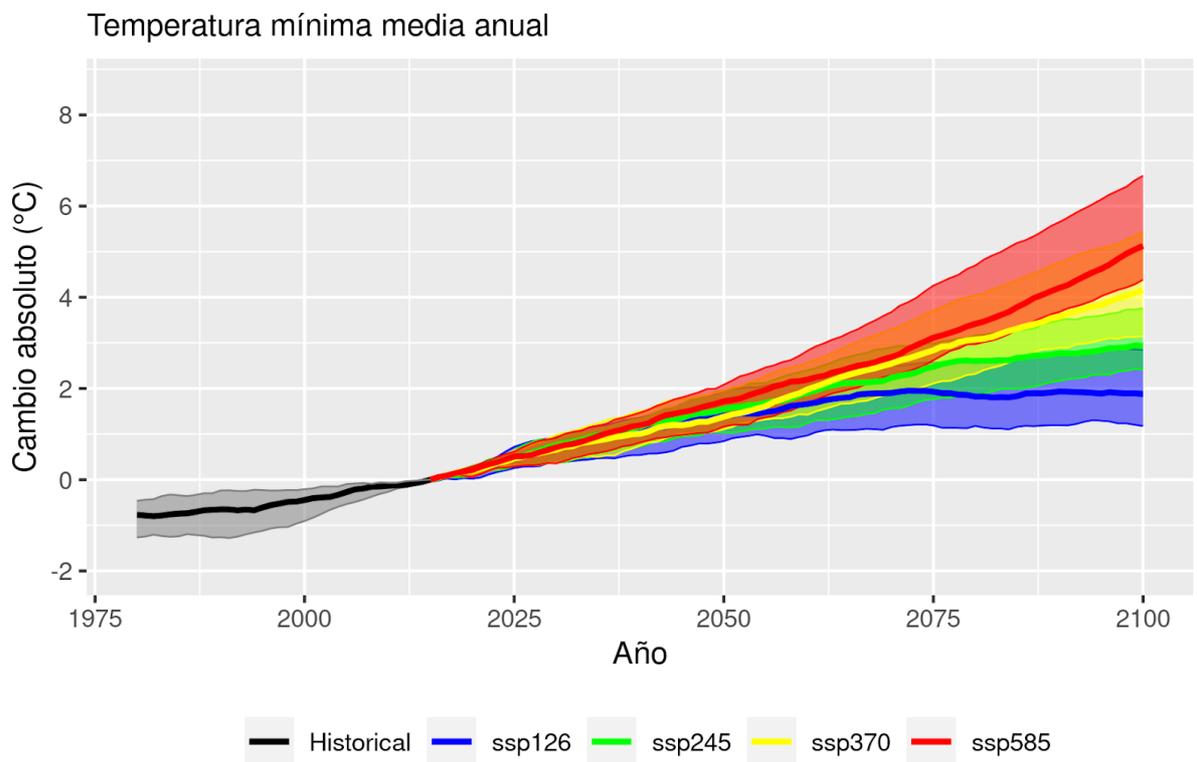


Figura 2.6. Evolución futura de la temperatura mínima media anual expresada como cambio absoluto (en °C) con respecto del valor actual. Las líneas sólidas corresponden al cuantil 50 (mediana) de los valores obtenidos para los 10 modelos climáticos empleados; el sombreado, al rango de valores entre los cuantiles 10 y 90. Se muestran en gris, azul, verde, amarillo y rojo los escenarios *Historical*, *SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5* respectivamente. Los valores corresponden al promedio de los 30 años anteriores (por ejemplo, el dato de 2050 corresponde al promedio de los años 2021 a 2050).

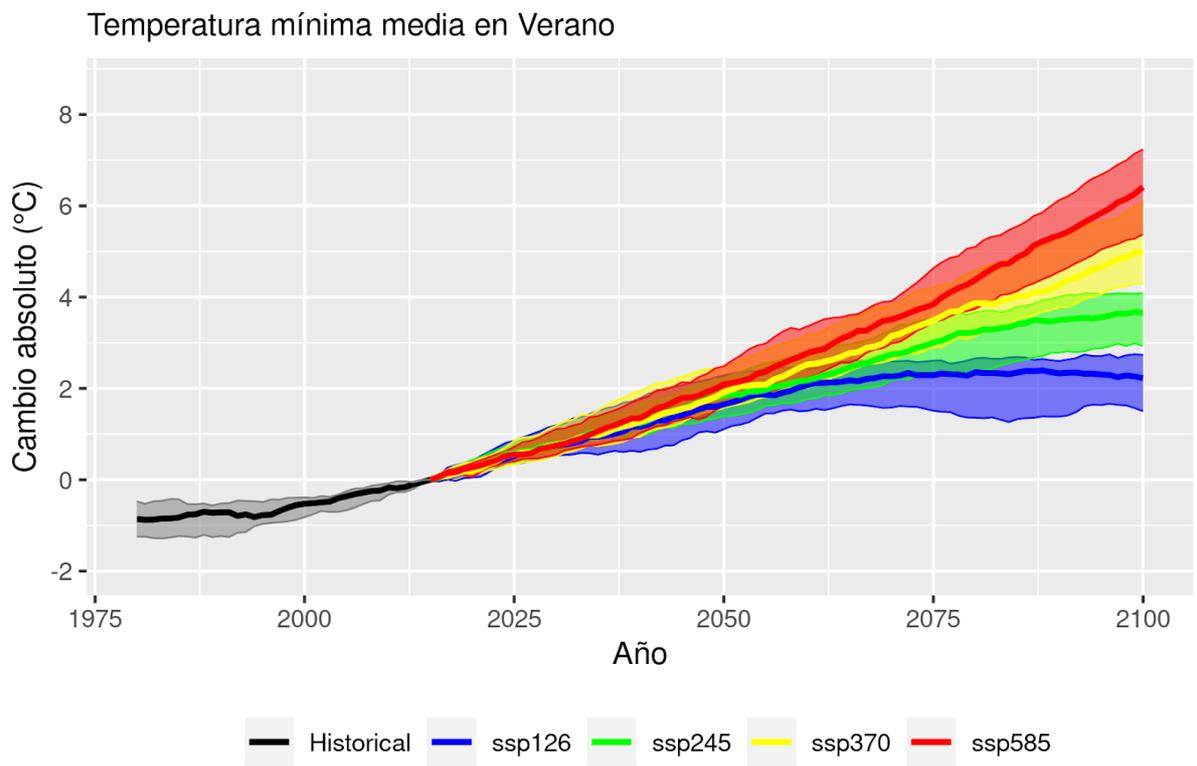


Figura 2.7. Ídem a la figura 2.6 pero acotado para verano.

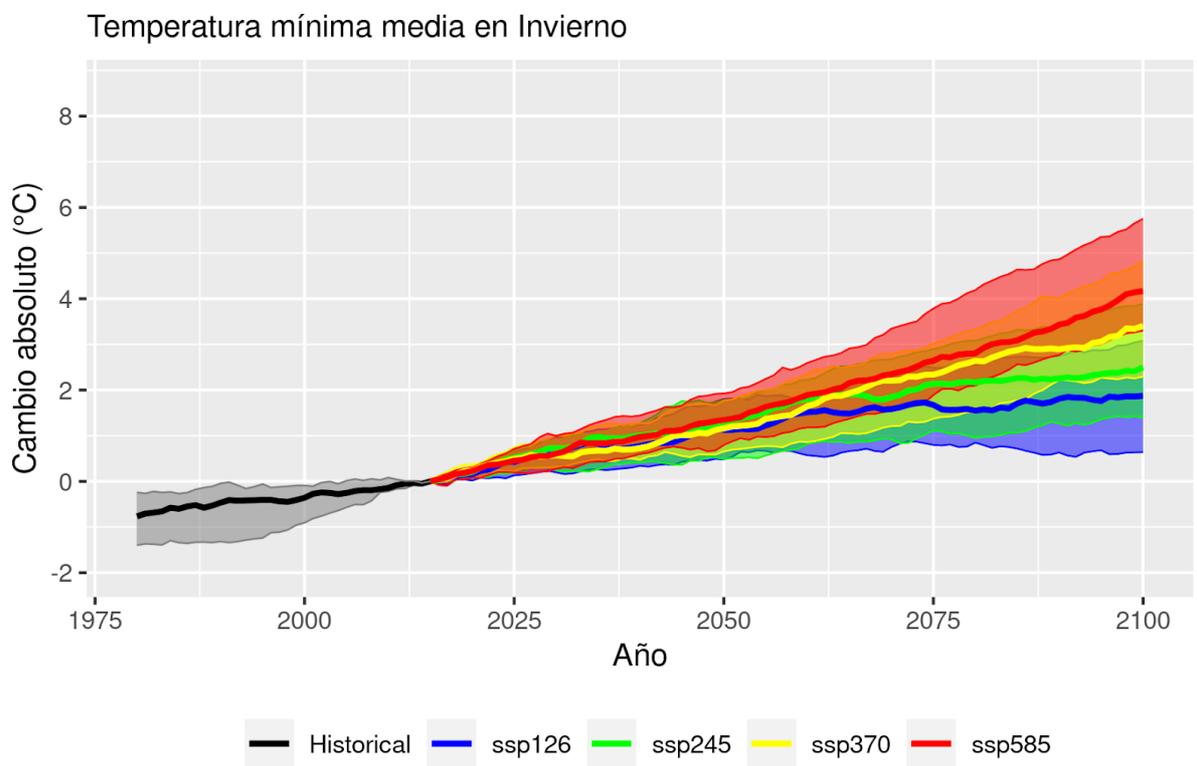


Figura 2.8. Ídem a la figura 2.6 pero acotado para invierno.

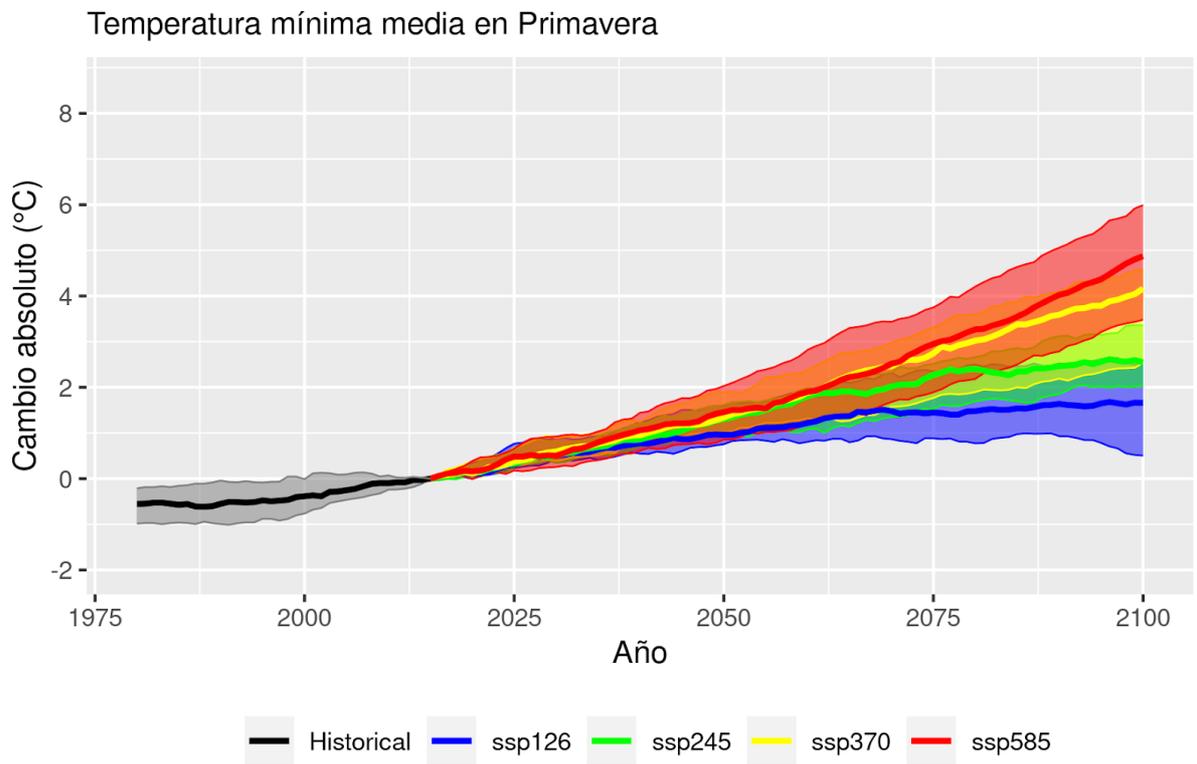


Figura 2.9. Ídem a la figura 2.6 pero acotado para primavera.

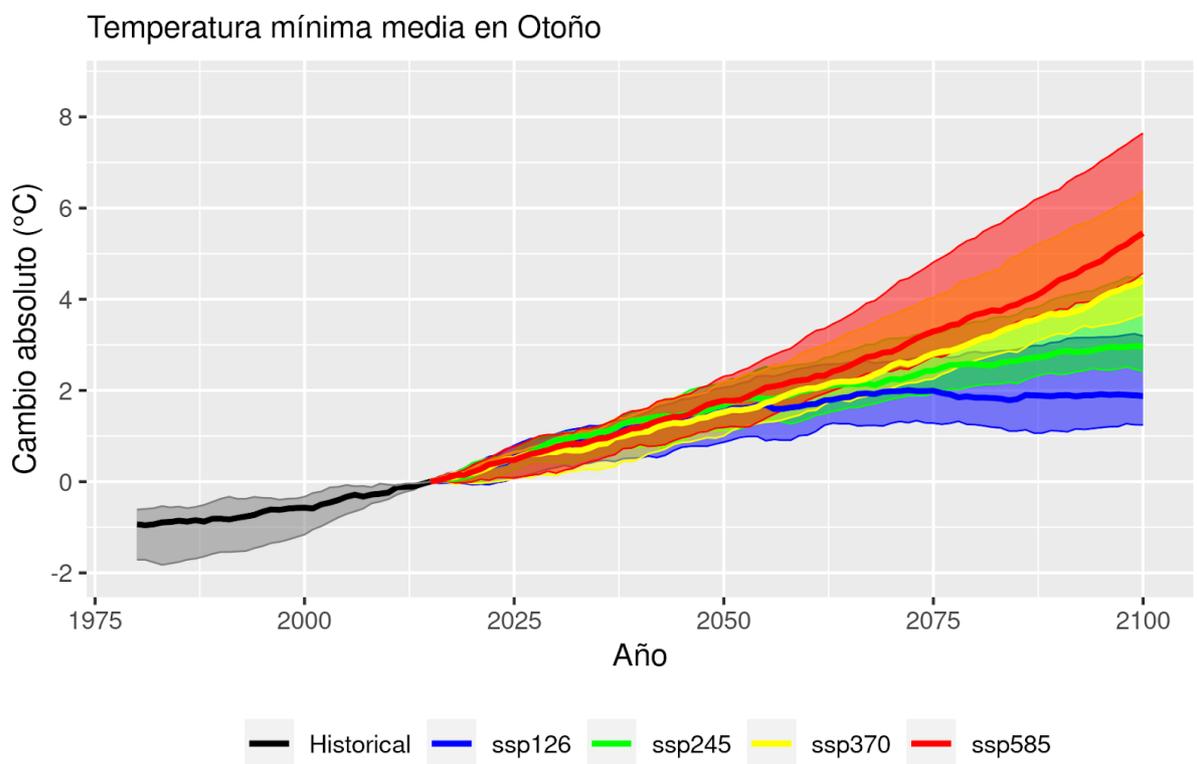


Figura 2.10. Ídem a la figura 2.6 pero acotado para otoño.

3. PRECIPITACIÓN

La precipitación acumulada a escala **anual** para la mediana del Historical indica que los mayores acumulados se encuentran en las regiones geográficas caracterizadas por una mayor precipitación a lo largo de todo el año: la zona de Cádiz-Málaga -Los Alcornocales, la Sierra de Grazalema, la Serranía de Ronda, correspondiendo estas dos últimas con el mayor área con mayor precipitación acumulada y donde se alcanza en varios puntos el valor máximo acumulado para todo el territorio andaluz, superior a 1150 mm-, Sierra Morena -donde destaca la Sierra de Aracena (Huelva)-, Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas (Jaén), Sierra Mágina (Jaén) y Sierra de Cabra (Córdoba), Sierra Nevada (Granada) y Sierras de Alhama, Tejeda y Almijara (frontera Málaga-Granada). Por otro lado, los menores acumulados son alcanzados en la provincia de Almería y parte de la de Granada, siendo la menor precipitación acumulada inferior a 175 mm en gran parte de la comarca Metropolitana de Almería y Alpujarra Almeriense.

En cuanto a las proyecciones futuras de cambios esperados en los milímetros acumulados, se observan diferencias entre los distintos escenarios de cambio, especialmente a finales de siglo, de forma que los escenarios más pesimistas corresponden con un mayor descenso de la precipitación acumulada; en el escenario más optimista (SSP1-2.6) incluso se observan pequeños porcentajes de incremento en zonas muy localizadas. Así:

- Para mediados de siglo (2040-2070), en el primer escenario de emisiones (SSP1-2.6) se estiman moderados incrementos relativos, de entre +0-5% en regiones localizadas, mientras que en el resto del territorio andaluz se observa un descenso de entre -0-5%, siendo este de hasta un -10% en la mitad oriental de la provincia de Almería. Por otro lado, en los demás escenarios (SSP2-4.5 -> SSP5-8.5) se observa una estimación de descensos generalizada que se intensifica gradualmente conforme más pesimista es el escenario futuro. Se obtiene una situación muy similar en los dos escenarios futuros más pesimistas, con un descenso desde el -1% hasta el -15%, pudiendo alcanzar incluso del -15 al -20% muy localmente en el SSP5-8.5.
- Para finales de siglo (2070-2100) se estiman mayores diferencias entre los distintos escenarios de emisiones, con un mayor descenso relativo conforme más pesimista es el escenario futuro. En el primer escenario de emisiones se seguirían observando incrementos relativos aunque ya limitados a zonas muy específicas, de forma que en todo el territorio ya predominaría una situación de descenso en la precipitación acumulada. En los demás escenarios (SSP2-4.5 -> SSP5-8.5) el descenso en los valores acumulados se endurecería progresivamente desde valores de entre -10 y -15% hasta valores de entre -20 y -25% en gran parte del litoral andaluz y en determinadas zonas del interior, con un descenso máximo de entre -25-30% en la costa oriental de Almería en el SSP5-8.5.

En cuanto a la precipitación acumulada a escala **estacional** para la mediana del Historical, se observan importantes diferencias en el patrón de precipitaciones entre primavera, otoño e invierno con respecto del verano. En los tres primeros, las zonas con mayor acumulado corresponde con las de la precipitación acumulada a escala anual aunque con ligeras variaciones entre los núcleos con mayores acumulaciones: durante la estación de primavera las mayores acumulaciones se han dado históricamente en la zona de Cádiz-Málaga y las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas (Jaén), superando los 210 mm en amplias zonas y alcanzando valores máximos superiores a 285 mm en la Sierra de Grazalema; durante el otoño destacan en la zona de Cádiz-Málaga y la Sierra de Aracena, superando los 260 mm en amplias zonas y alcanzando valores máximos superiores a 340 mm en la Sierra de Grazalema; finalmente, durante el invierno destaca la zona de Cádiz-Málaga, donde se superan los 355 mm en amplias zonas, alcanzando el máximo acumulado de todas las estaciones con valores superiores a 505 mm en la Sierra de Grazalema. Cabe destacar que en las tres estaciones mencionadas, los valores mínimos acumulados se dan en la provincia de Almería y la parte centro-oriental de Granada, con acumulados inferiores a 80 mm en amplias zonas; los menores valores acumulados de las tres estaciones en cuestión se dan en la estación de invierno, alcanzando valores de entre 30 y 55 mm. El patrón de valores acumulados en la estación de verano es el que más se diferencia con respecto de los valores anuales. En esta estación las mayores acumulados se han dado históricamente en las Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas y Sierra Nevada, superando en amplias zonas los 45 mm hasta llegar a valores máximos acumulados de 65 mm. Es, con diferencia, la estación en la que se alcanzan los menores valores acumulados en todo el territorio. Los valores mínimos oscilan entre los 5-11 mm y son alcanzados en la costa oriental.

En cuanto a las proyecciones futuras de cambios esperados en los milímetros acumulados se observan importantes diferencias entre las estaciones. En primer lugar, para la primavera, se estiman pequeños incrementos para el escenario menos catastrófico, que desaparecen en los demás escenarios, predominando así un descenso en los valores acumulados. Así:

- Para mediados de siglo (2040-2070), en el SSP1-2.6 se estiman ligeros incrementos relativos de hasta entre un +5 y +10%, principalmente concentrados en el este de la mitad norte; en el resto del territorio andaluz se estiman descensos ligeros de hasta entre un -5 y -10%. En los demás escenarios (SSP2-4.5 -> SSP5-8.5) se observa una estimación de descensos generalizada que se intensifica ligeramente conforme más pesimista es el escenario futuro (siendo la magnitud del descenso más acusada generalmente conforme menor es el acumulado históricamente), alcanzando valores máximos de entre -15 y -25% en el litoral de Cádiz a Almería en el SSP5-8.5.
- Para finales de siglo (2070-2100) se estiman situaciones más secas, especialmente en los dos escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5), en los que se alcanzan valores muy similares aunque ligeramente intensificados en el más pesimista, con descensos máximos de entre -30 y -40% en los litorales de Málaga y Almería en el SSP5-8.5.

Para la estación de verano se estiman los descensos relativos más acusados, siendo estos más intensos conforme avanza el siglo y conforme más catastrófico es el escenario futuro. Así:

- Para mediados de siglo (2040-2070) se estiman descensos en los milímetros acumulados que disminuyen al subir de escenario (SSP1-2.6 -> SSP5-8.5). Los descensos se mueven en una horquilla de -10 a -35% para el SSP1-2.6 (siendo la magnitud del descenso más acusada generalmente conforme menor es el acumulado históricamente) a entre -5 a -40% para el SSP5-8.5. La diferencia no se observa tanto en la magnitud del descenso, si no en el área de la misma: se incrementa progresivamente el área correspondiente a los mayores descensos relativos.
- Para finales de siglo (2070-2100) se estiman mayores diferencias conforme más catastrófico es el escenario futuro, excepto en el escenario SSP3-7.0 en el que incluso los descensos en determinadas regiones no son tan acusados como en el SSP2-4.5. En el escenario más catastrófico los descensos se mueven en una horquilla de -20 a -70%, alcanzando descensos superiores al -50% en prácticamente toda la mitad occidental.

Para la estación de otoño se estiman desde ligeros incrementos en zonas muy concretas hasta descensos moderados generalizados. Así:

- Para mediados de siglo (2040-2070) se estiman ligeros aumentos aunque se encuentra mucha variabilidad en los mismos en función del escenario futuro de emisiones. Estos alcanzan hasta el +15% en el escenario SSP2-4.5, en el que además alcanzan la mayor área. En el resto del territorio andaluz se estiman descensos que alcanzan un valor máximo de hasta el -25% en el escenario SSP3-7.0.
- Para finales de siglo (2070-2100) se estiman pequeños incrementos en los dos escenarios menos catastróficos. En el resto del territorio se estiman descensos que se intensifican al subir de escenario, alcanzando valores de hasta -35% en el SSP5-8.5.

Para la estación de invierno se estiman incrementos generalizados aunque no en todos los casos. Así:

- Para mediados de siglo (2040-2070) se estiman aumentos generalizados de la precipitación acumulada, que alcanzan menores valores y extensiones conforme se sube de escenario, de forma que los valores descendentes van ganando importancia. Así, la horquilla de valores pasa de ser de -10 a +15% a -30 a +15%.
- Para finales de siglo (2070-2100) se estiman mayores diferencias conforme más catastrófico es el escenario futuro; así, la horquilla de valores pasa de ser de -10 a +15%, con los valores de incremento abarcando gran parte de la comunidad andaluza, a -35 a +10%, con los valores de incremento limitados a pequeñas regiones: Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas y una pequeña parte de la comarca de Los Pedroches (Córdoba).

Ahora bien, se analiza la evolución futura de la precipitación media acumulada para todo el territorio andaluz a escala **anual**, expresada tanto en valor absoluto como en valor relativo (porcentaje de cambio), en función de los cuantiles 10 (valor mínimo esperado), 50 (valor más probable esperado o mediana) y 90 (valor máximo esperado) de los 10 modelos climáticos para analizar la dispersión de los resultados comentados anteriormente. Así:

- Como era de esperar, observando los resultados anteriores para mitad de siglo, la incertidumbre más favorable se encuentra en el escenario menos catastrófico, de forma que el valor estimado de cambio más probable de aproximadamente 0 mm en valor absoluto podría llegar a ser de un aumento de aproximadamente +50 mm (aproximadamente +7% en valor relativo); cabe destacar, para ese mismo escenario podría alcanzarse un descenso de -30 mm en valor absoluto (aproximadamente -10%). Por otro lado, la incertidumbre más desfavorable para mitad de siglo la encontramos en el escenario más catastrófico, de forma que el valor estimado de cambio más probable de aproximadamente -25mm en valor absoluto (-10% en relativo) podría llegar a ser de en torno a -100mm (lo que supondría aproximadamente un -23% en valor relativo), mientras que la incertidumbre más favorable en ese escenario supondría un cambio relativo de en torno al 0%.
- Para finales de siglo, en el escenario menos catastrófico se estima que el valor más probable sería de un aumento de +12.5 mm (+7.5%) aunque podría llegar a ser de +50 mm (+7%) en el caso de incertidumbre más favorable y de un descenso de -70 mm (-15%) en el caso más desfavorable. En el escenario más catastrófico el rango de incertidumbre se encontraría entre un descenso de -10 mm (-7%) y -130 mm (casi -30%), siendo el valor más probable de un descenso de -90 mm (-20%).

Considerando los valores análogos a los anteriores pero a nivel **estacional**, llama la atención que para la estación de verano desde mitad de siglo aproximadamente hasta finales del mismo los valores más probables de los tres primeros escenarios coinciden en valores de reducciones muy similares, de forma que a mitad de siglo todos los escenarios indican como valor más probable una reducción de entre un -20 y -25% y a finales de siglo los tres primeros indican una reducción de aproximadamente un -35% y el escenario más pesimista un -45%. Para esta estación, considerando la incertidumbre de cada escenario no se estima ningún aumento; en cualquier caso, para mitad de siglo se oscilaría entre valores de una reducción del -5% y del -45%, mientras que a finales de siglo se daría entre valores de entre el -15 y -50%. Un comportamiento muy similar ocurre para la estación de invierno pero en torno a otros valores, se observa que para mitad de siglo todos los escenarios indican como valor más probable una reducción de aproximadamente entre un 0 y +5% y a finales de siglo los tres primeros indican un cambio de entre un 0 y un 3% y el escenario más pesimista un -10%. En este caso, la incertidumbre se extendería entre un +20 y -20% para mitad de siglo -marcada por el escenario más pesimista, con la mayor incertidumbre a mediados de siglo- y un +25 y -20% para finales de siglo -marcada en este caso por el escenario más optimista, con la mayor incertidumbre-.

Para las estaciones de primavera y otoño se observan mayores diferencias entre los diferentes escenarios. Para la estación de primavera los cambios más probables para cada escenario a mitad de siglo se encuentran entre los valores de -5 y -15%, la incertidumbre más favorable es la proporcionada por el escenario menos catastrófico, pudiendo ser un cambio de en torno al +20% y la menos favorable es la proporcionada por el modelo más catastrófico, pudiendo ser del -20%. Por otro lado, para finales de siglo los cambios relativos más probables serían de entre -5 y -28%, la incertidumbre más favorable es la proporcionada por el primer escenario, pudiendo llegar a un valor de +25%, mientras que la más desfavorable es la proporcionada por el último escenario, indicando casi un -40%. Para otoño, los cambios más probables a mitad de siglo se encuentran entre el -5 y -15% para los escenarios menos y más catastróficos, respectivamente; la incertidumbre más favorable se sitúa en aproximadamente +5% y la más desfavorable en -30%. Para finales de siglo, el cambio más probable es del -5 al -30%; la incertidumbre más favorable sitúa un cambio poco por encima del límite superior del valor más probable, aproximadamente 0%, igual que ocurre con la más desfavorable y el límite inferior, con un cambio del -35%.

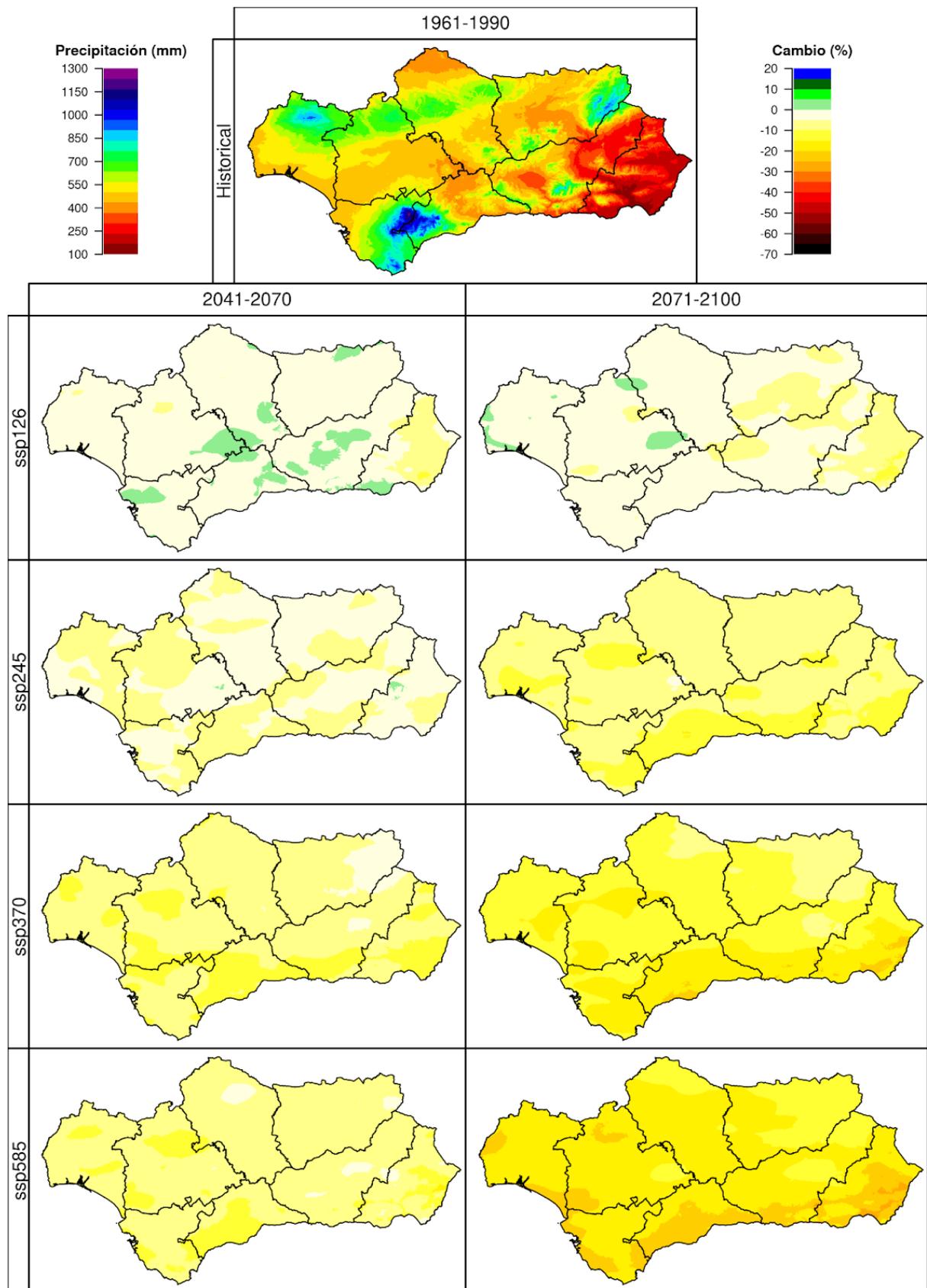


Figura 2.1. Variación del promedio anual de la precipitación acumulada, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

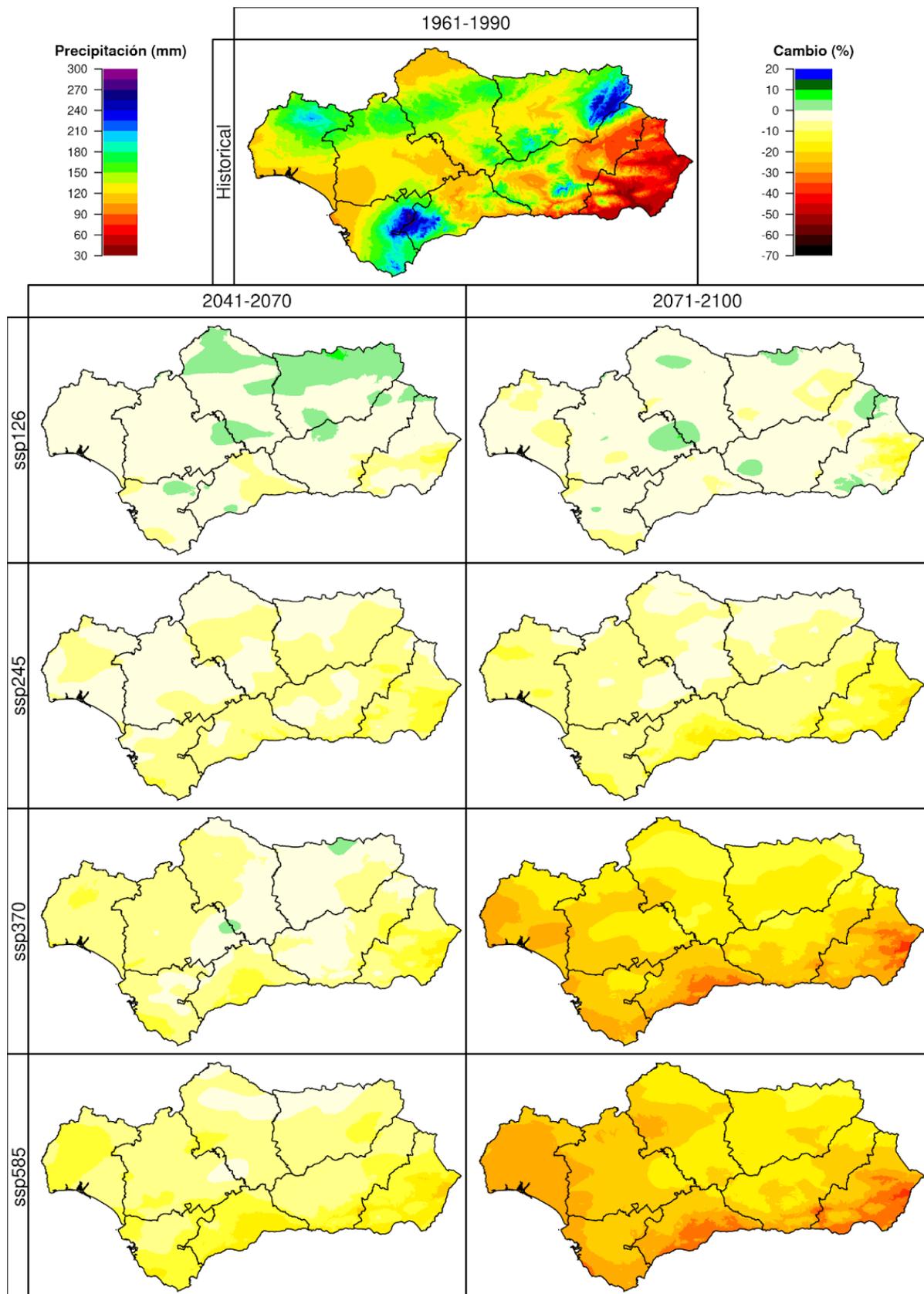


Figura 2.2. Variación del promedio para la estación de primavera de la precipitación acumulada, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

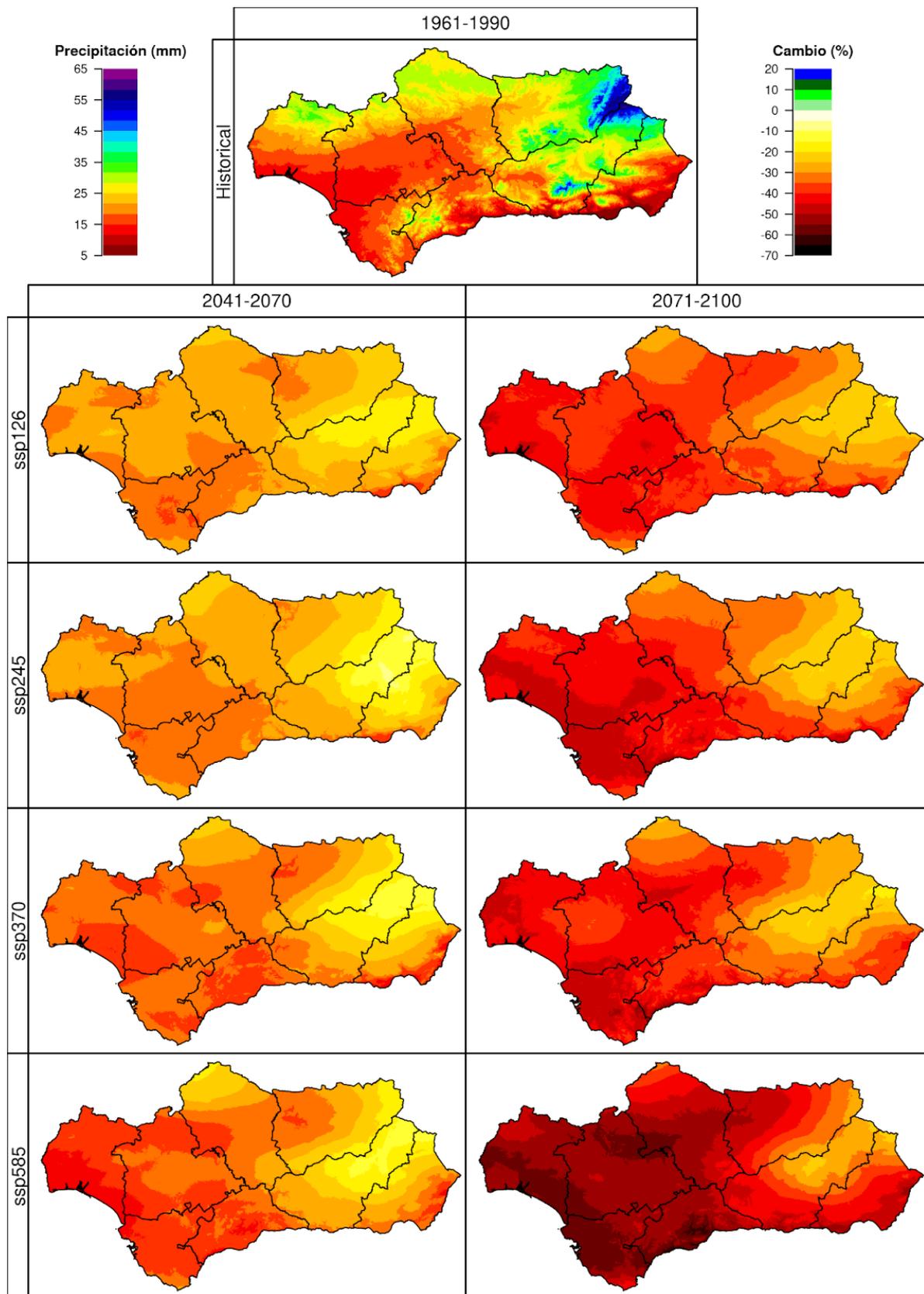


Figura 2.3. Variación del promedio para la estación de verano de la precipitación acumulada, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

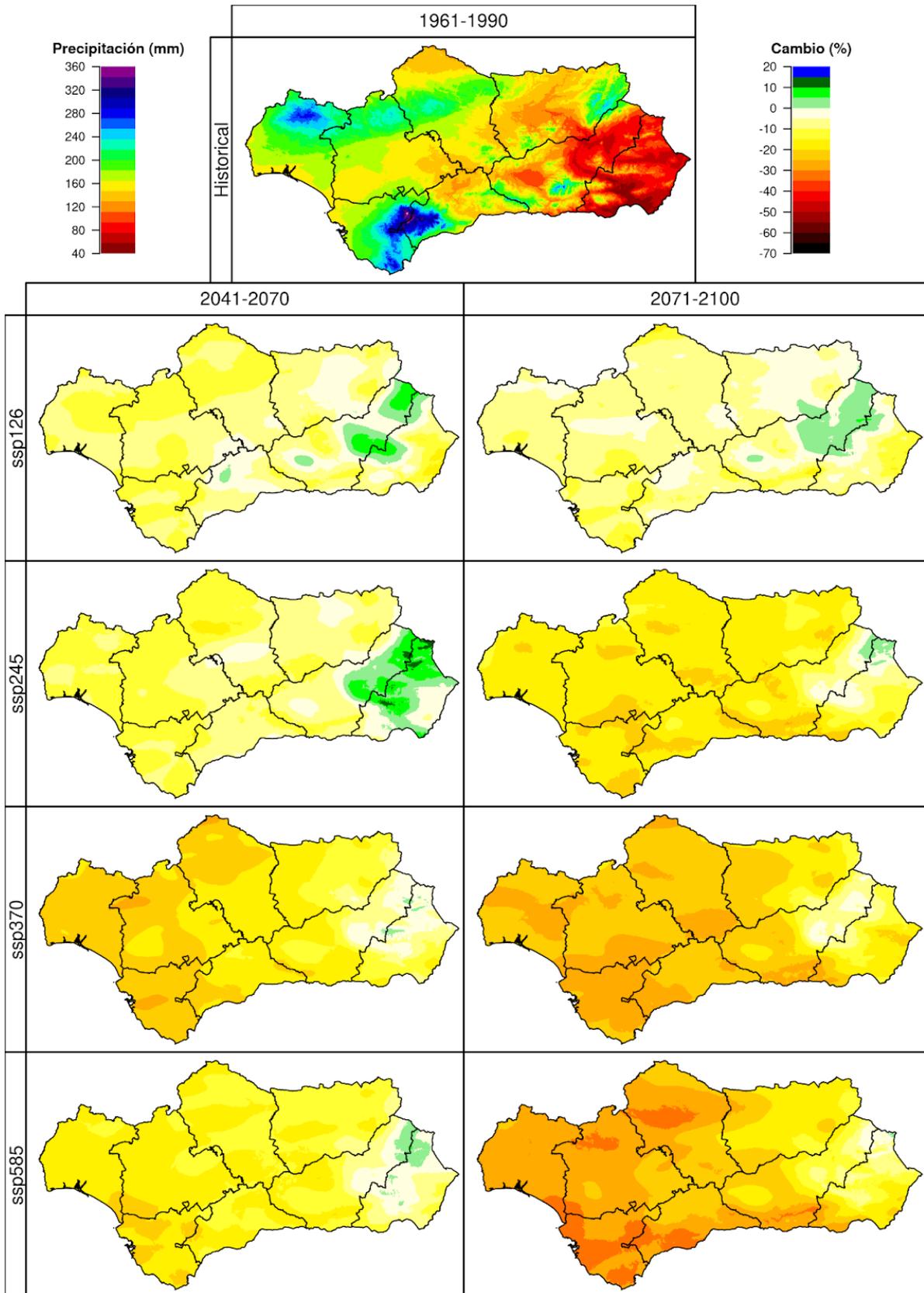


Figura 2.4. Variación del promedio para la estación de otoño de la precipitación acumulada, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

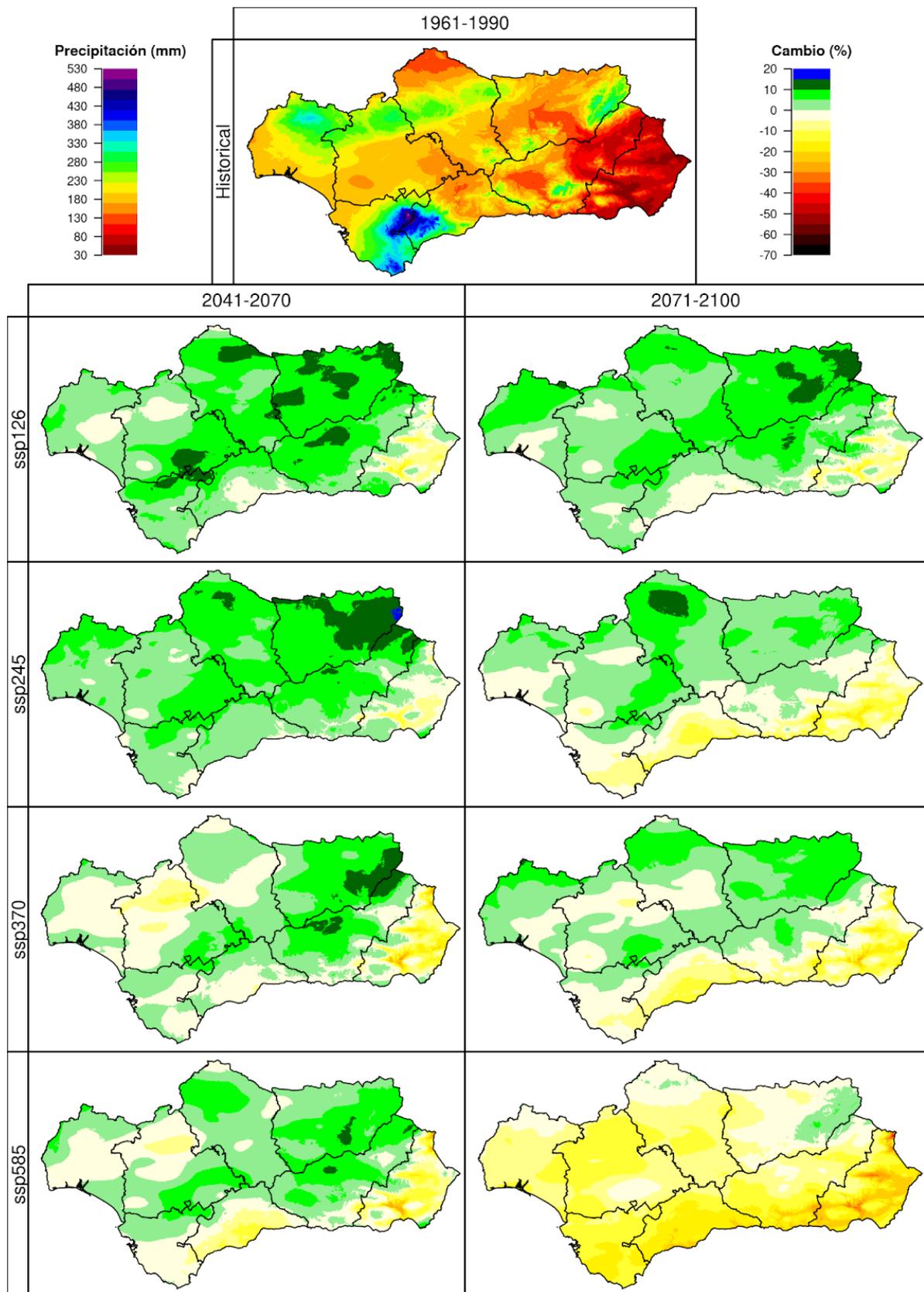


Figura 2.5. Variación del promedio para la estación de invierno de la precipitación acumulada, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

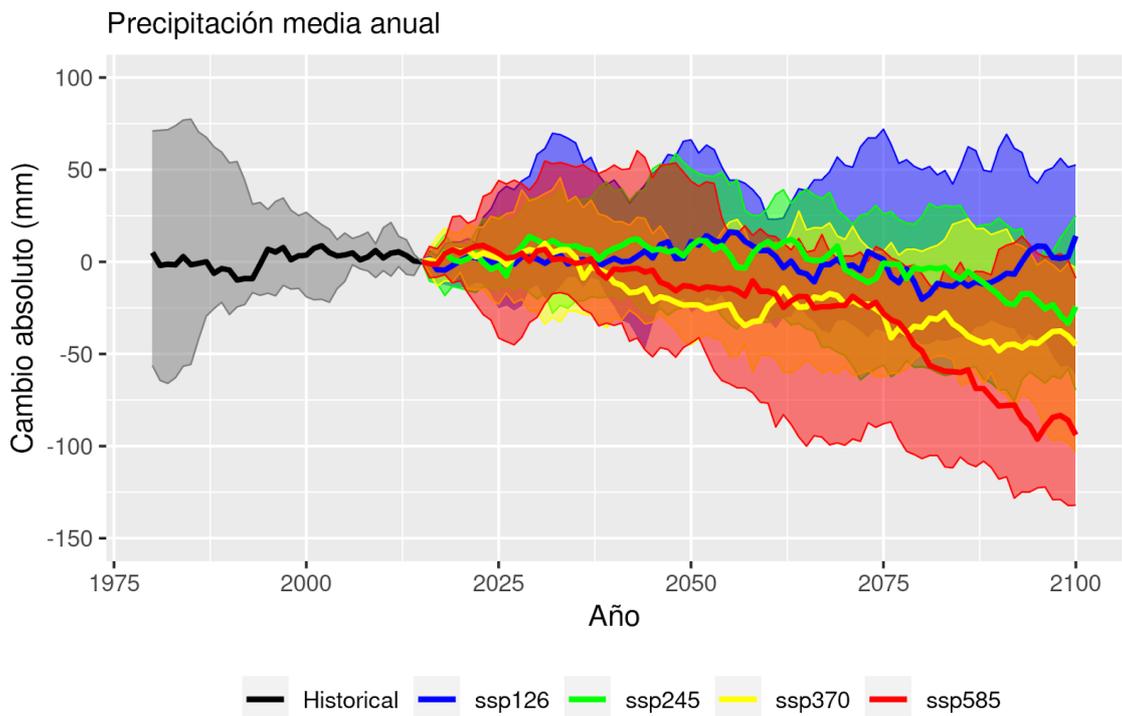


Figura 2.6. Evolución futura de la precipitación media anual expresada como cambio absoluto con respecto del valor actual. Las líneas sólidas corresponden al cuantil 50 (mediana) de los valores obtenidos para los 10 modelos climáticos empleados; el sombreado, al rango de valores entre los cuantiles 10 y 90. Se muestran en gris, azul, verde, amarillo y rojo los escenarios *Historical*, *SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5* respectivamente. Los valores corresponden al promedio de los 30 años anteriores (por ejemplo, el dato de 2050 corresponde al promedio de los años 2021 a 2050).

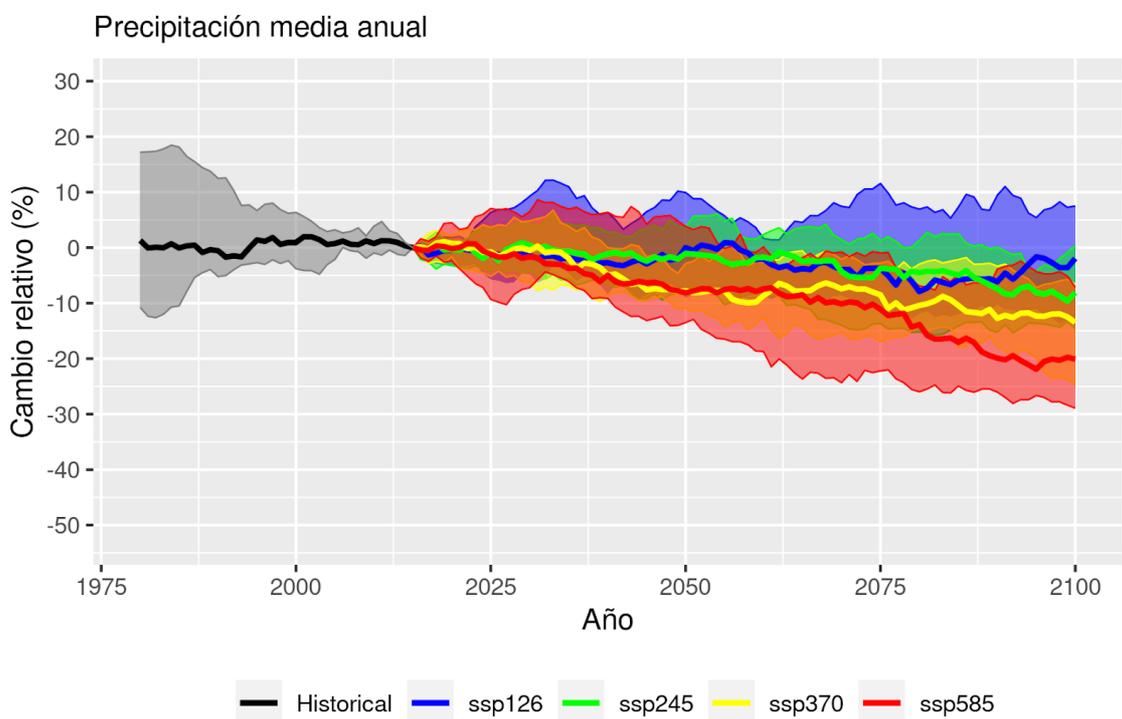


Figura 2.7. Ídem Figura 2.6. para la precipitación media anual pero expresada como cambio relativo (en porcentaje de cambio) con respecto del valor actual.

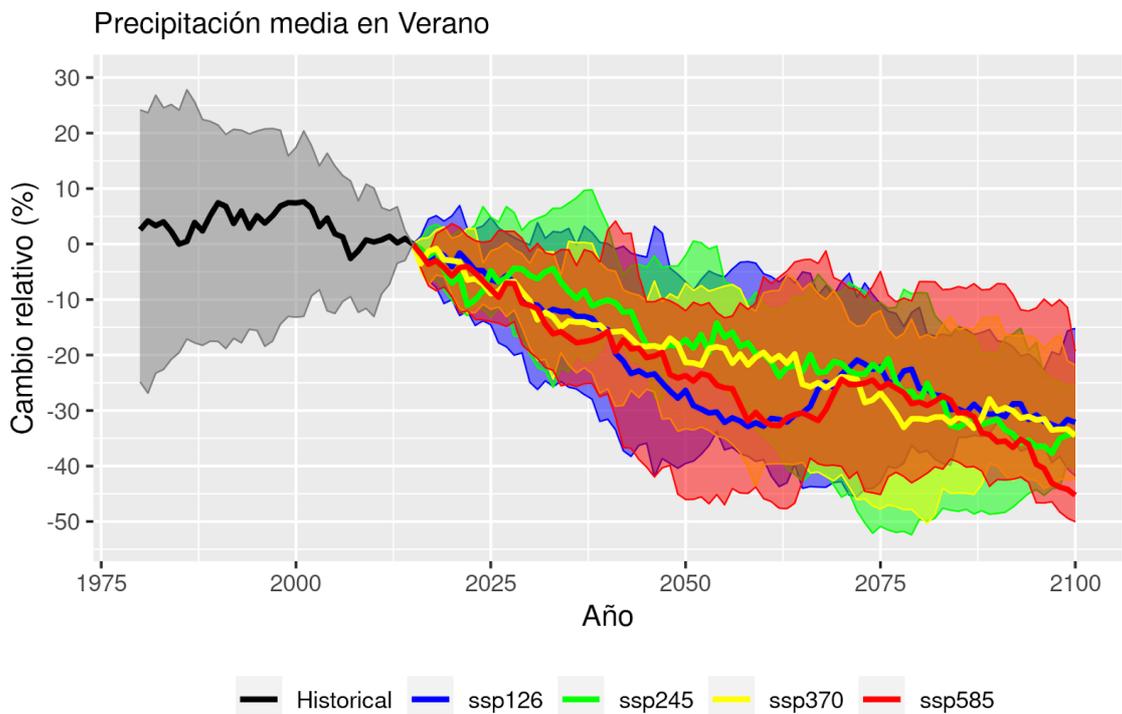


Figura 2.8. Evolución futura de la precipitación media en la estación de verano expresada como cambio relativo (en porcentaje de cambio) con respecto del valor actual. Las líneas sólidas corresponden al cuantil 50 (mediana) de los valores obtenidos para los 10 modelos climáticos empleados; el sombreado, al rango de valores entre los cuantiles 10 y 90. Se muestran en gris, azul, verde, amarillo y rojo los escenarios *Historical*, *SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5* respectivamente. Los valores corresponden al promedio de los 30 años anteriores (por ejemplo, el dato de 2050 corresponde al promedio de los años 2021 a 2050).

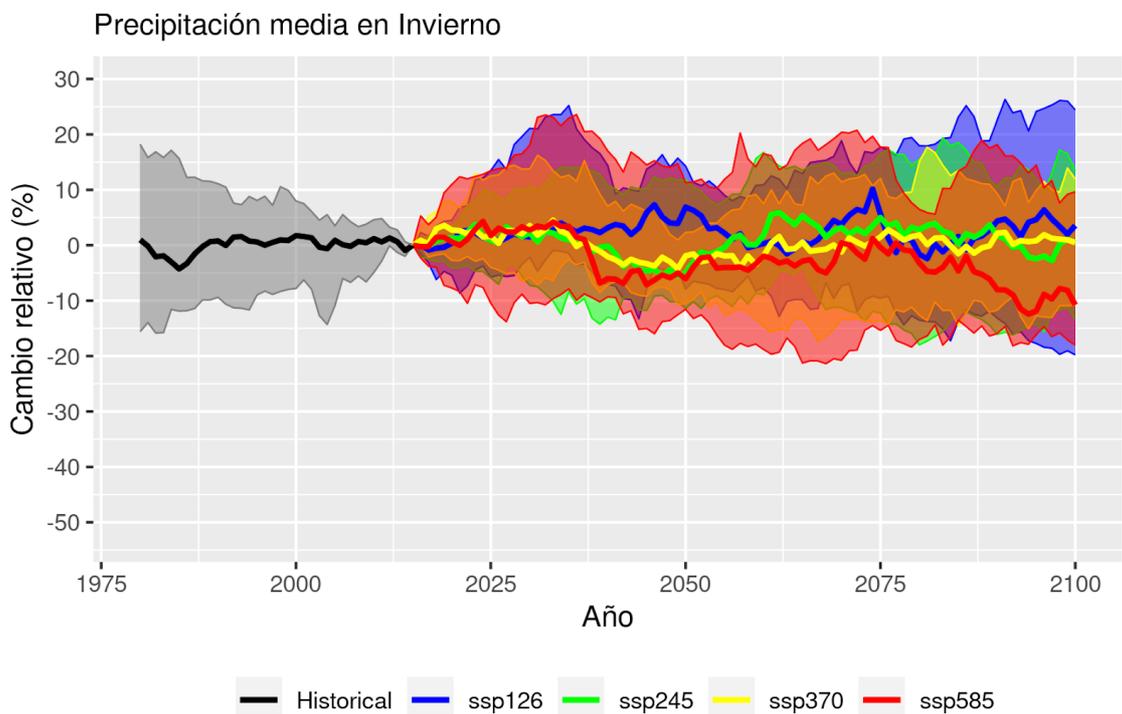


Figura 2.9. Ídem Figura 2.8. pero para la estación de invierno.

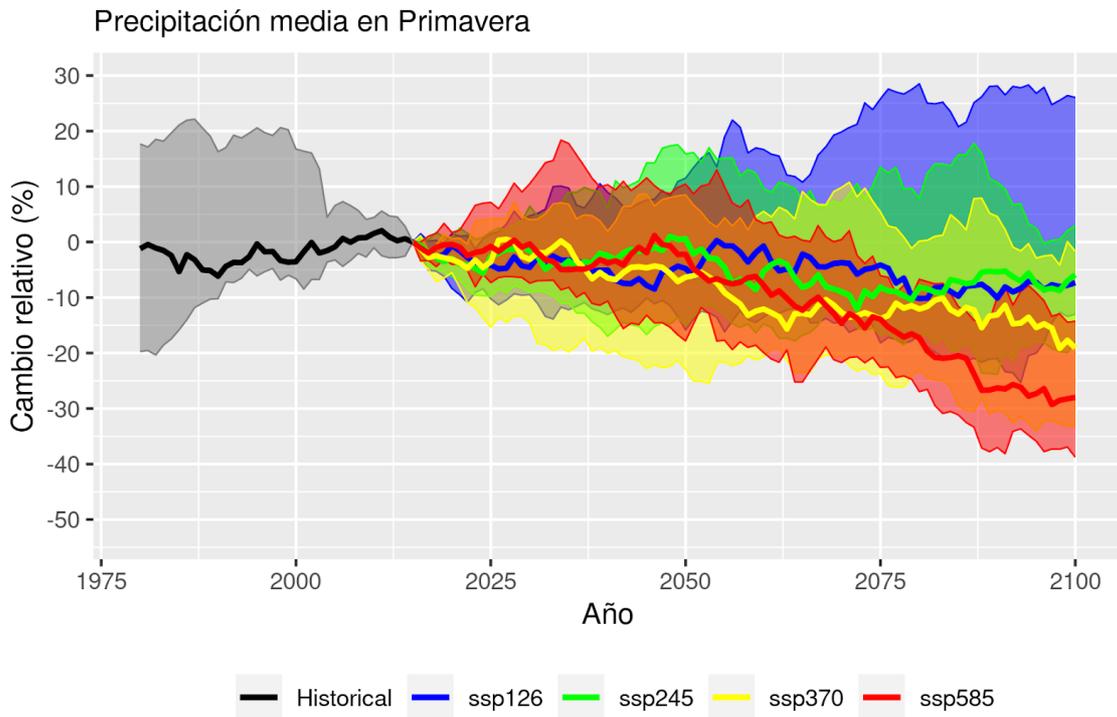


Figura 2.10. Ídem Figura 2.8. pero para la estación de primavera.

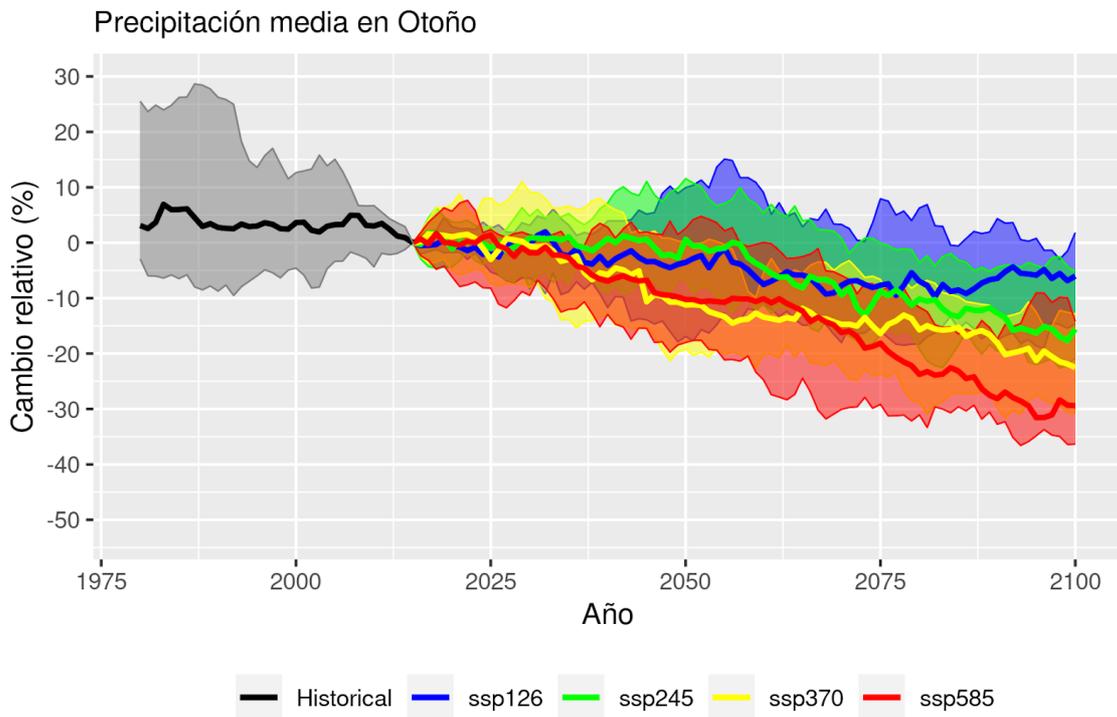


Figura 2.11. Ídem Figura 2.8. pero para la estación de otoño.

4. NÚMERO DE HELADAS

El número de heladas a escala **anual** para la mediana del período histórico representa el valor medio del número de días por año cuyas temperaturas mínimas se sitúan por debajo de 0°C a lo largo de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Se puede observar que, a lo largo de toda la costa y en amplias zonas de las provincias de Huelva y Cádiz el número de días de helada en promedio anual es inferior a 5. A continuación, en la mayor parte de la provincia de Sevilla y en el resto del valle del Guadalquivir, el número de días de helada se sigue situando en valores muy bajos, entre 5 y 15 días. En la sierra de Aracena y en zonas de altitud media de las provincias de Córdoba y Jaén, el número de días de helada asciende a un rango de entre 15 y 30 y en las serranías de Ronda y Grazalema, así como en zonas de Sierra Morena, el rango se sitúa entre 30 y 50 días.

Sin duda, las zonas con el mayor número de heladas son la Sierra de Cazorla, sierras del noroeste de Almería y la provincia de Granada exceptuando su línea de costa: en todas estas zonas, se superan los 50 días de helada anuales. Destacan las cumbres de la sierra de Cazorla, con entre 80 y 100 días anuales de helada y las cumbres de Sierra Nevada, donde el rango de días de helada se sitúa entre 100 y 130 días.

En lo relativo a los escenarios futuros, se observa una disminución generalizada del número de días de helada en todo el territorio, en consonancia con la tendencia general de calentamiento:

- Para mediados de siglo (2041-2070), el denominador común de todos los escenarios es que, en toda la línea de costa, gran parte de la provincia de Huelva, Cádiz y campiña sevillana el número medio de heladas anuales será ya nulo, y en el resto del valle del Guadalquivir quedarán reducidos a unos pocos días al año. En el resto de zonas, se observa una disminución considerable de los días de helada, que puede rondar hasta el 50% respecto al período histórico. En el caso del escenario SSP5-8.5, la disminución es aún mayor.
- Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios más optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran una disminución similar a la que muestran los más pesimistas para mitad de siglo. Los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) únicamente circunscriben los días de helada para este período en zonas elevadas de Sierra Morena, Sierra de Cazorla, Sierra Nevada y Serranía de Ronda. Las disminuciones de días de helada pueden ser superiores al 80% según estos escenarios pesimistas, de manera que en la Sierra de Cazorla los días de helada pueden verse reducidos desde los 80-100 días del período histórico a 15 días, y en Sierra Nevada se pasaría de unos 120 días de helada al año a una media de 20.

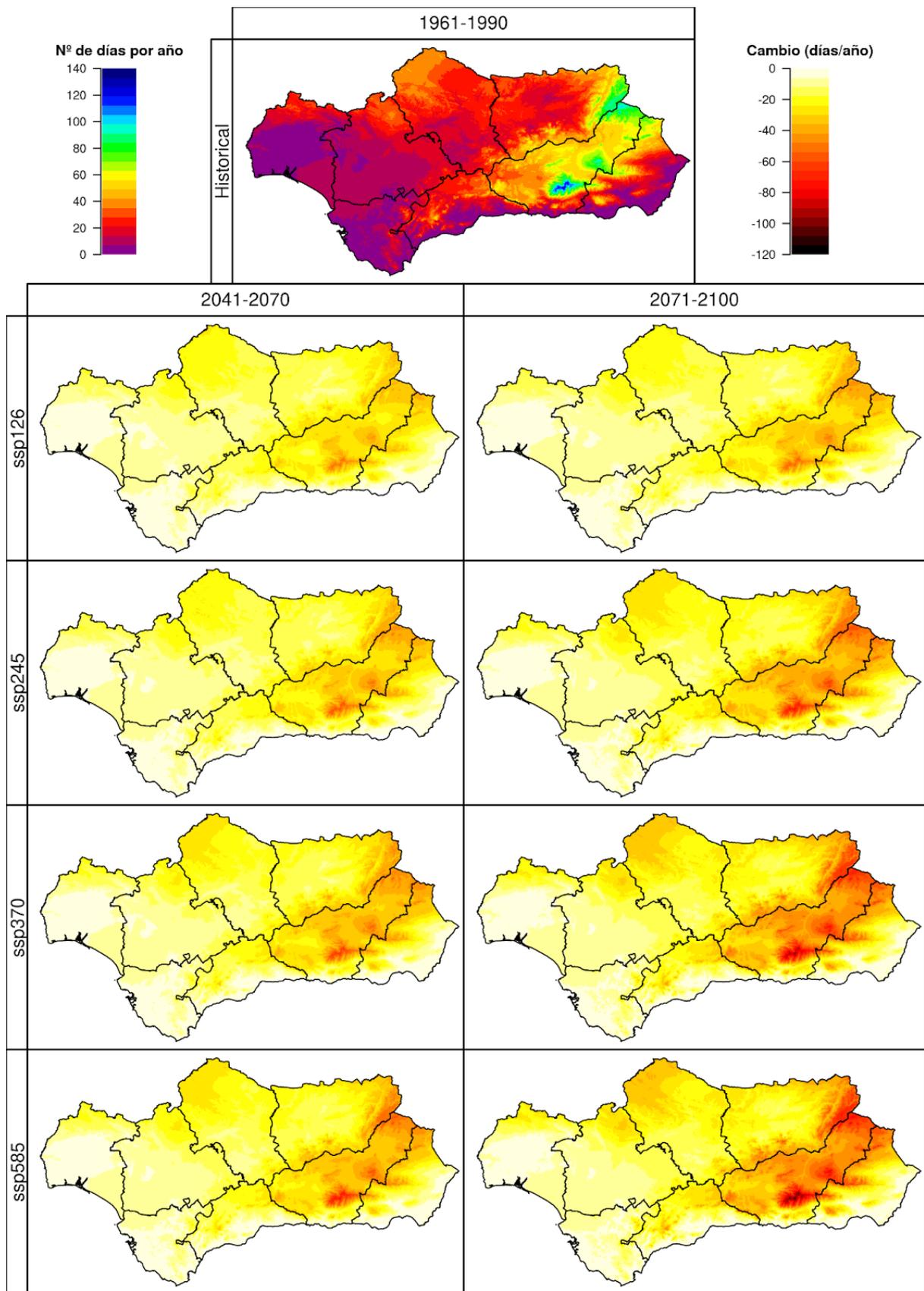


Figura 4.1. Incremento del número medio de días anuales de helada ($T_{min} < 0$), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

5. OLAS DE CALOR

El número de días de ola de calor a escala **anual** para la mediana del período histórico representa en este caso el valor medio del número de días por año cuyas temperaturas máximas se sitúan por encima de los 40°C a lo largo de la Comunidad Autónoma de Andalucía. Se puede observar que, en las provincias de Almería, Granada, Málaga y Cádiz, así como en la línea costera de Huelva y sierras de Cazorla y Grazalema, el número de días con temperatura máxima superior a 40° en promedio anual es inferior a 2. A continuación, la franja central de la provincia de Huelva y la zona de Sierra Morena al norte de la provincia de Córdoba promedian entre 2 y 3 días por año. En el resto de zonas (valle del Guadalquivir y campiña sevillana) la media de días anuales con temperatura máxima superior a 40°C es superior a 3, siendo el valle del Guadalquivir a su paso por las provincias de Córdoba y Jaén la zona donde más días al año se supera dicho umbral en el periodo histórico: entre 5 y 6 días.

En lo relativo a los escenarios futuros, se observa un aumento generalizado del número de días de ola de calor en todo el territorio, en consonancia con la tendencia general de calentamiento:

- Para mediados de siglo (2041-2070), incluso en los escenarios más optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) los aumentos de días de ola de calor superan los 25 días en el valle del Guadalquivir respecto al periodo histórico, mientras que en el resto de zonas, el aumento se sitúa entre 5 y 15 días salvo en la línea de costa, que es inferior a 5 días. En los escenarios más pesimistas, el aumento es ligeramente superior: entre 30 y 40 días en el valle del Guadalquivir, entre 15 y 30 días en el resto de las provincias no costeras y en gran parte de la provincia de Huelva, y la línea de costa se mantiene muy suave con aumentos inferiores a los 5 días.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario SSP1-2.6 muestra un aumento muy similar al mismo escenario de mitad de siglo. En cambio, el aumento de días de ola de calor es muy superior en el resto de escenarios. En estos escenarios más pesimistas, se observa que, exceptuando Sierra Nevada, la costa de Granada y el área de Tarifa, se superarán los 40°C al menos 15 días al año en todo el territorio de la comunidad. La costa de Huelva y del oeste de Cádiz son las zonas costeras que presentan mayores aumentos, entre 15 y 30 días por año. La sierra de Cazorla, que en el periodo histórico no ha superado ese umbral de temperatura, pasará a superarlo entre 15 y 40 días al año. La situación más extrema se dará en el valle del Guadalquivir: los escenarios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 ya muestran aumentos de días de ola de calor superiores a los 50 días, mientras que bajo el escenario más extremo (SSP5-8.5) se proyecta que se superarán los 40°C entre 75 y 90 días al año.

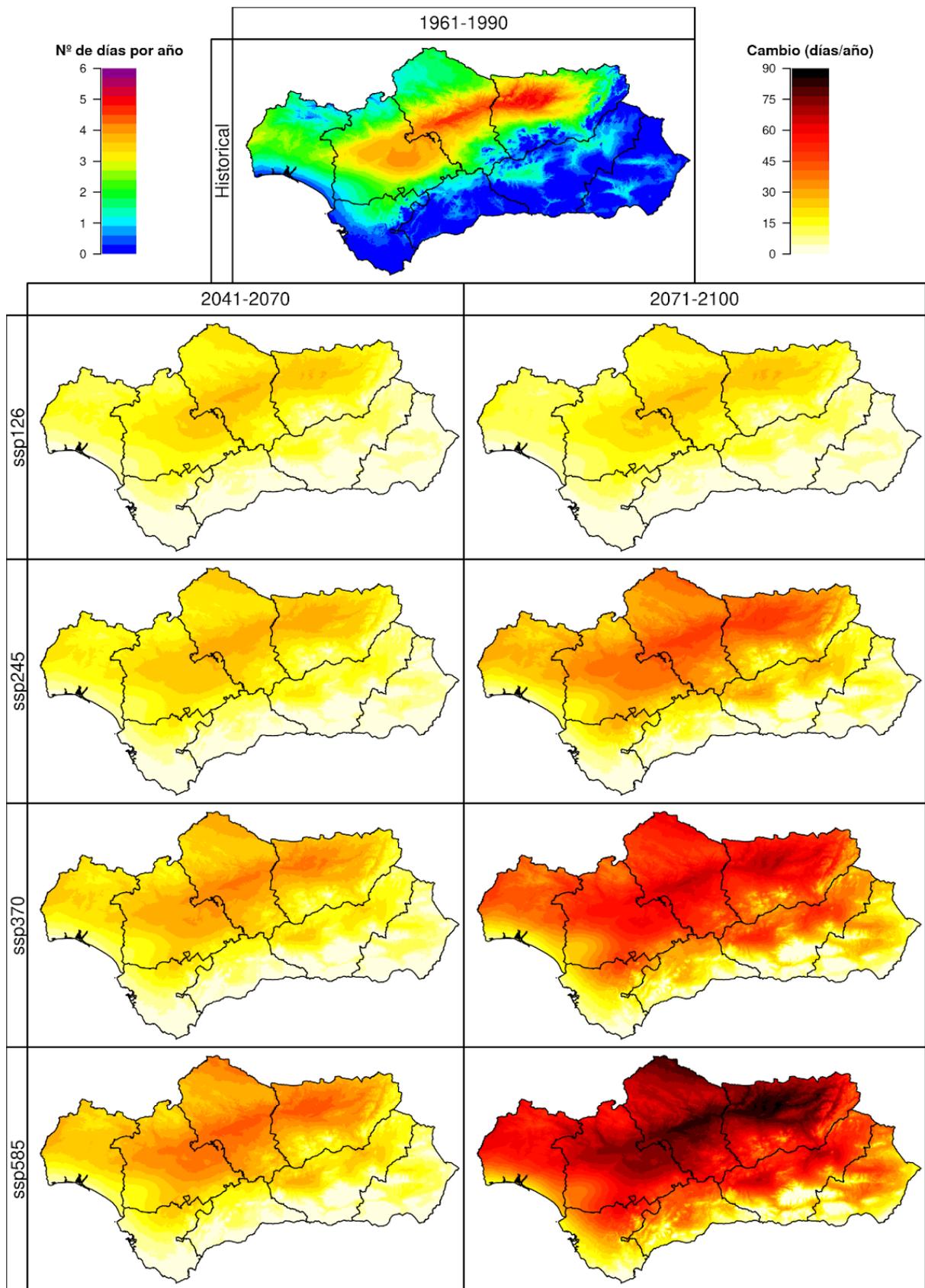


Figura 5.1. Incremento del número medio de días anuales con $T_{max} > 40^{\circ}\text{C}$, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

6. OLAS DE CALOR EXTREMO

El número de días de ola de calor extremo a escala **anual** para la mediana del período histórico representa en este caso el valor medio del número de días por año cuyas temperaturas máximas se sitúan por encima de los 45°C a lo largo de la Comunidad Autónoma de Andalucía. En este caso, en el período histórico 1961-1990 no se ha superado dicho umbral en ningún punto del territorio.

En cuanto a los escenarios futuros, se observa un aumento paulatino del número de días de ola de calor extremo en zonas interiores de la comunidad, en consonancia con la tendencia general de calentamiento:

- Para mediados de siglo (2041-2070), las proyecciones aún muestran aumentos muy limitados de los días de olas de calor extremo. Los escenarios más optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran aumentos muy tímidos de entre 1 y 4 días por año restringidos a zonas del valle del Guadalquivir y campiña sevillana. En el caso de los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5), en todo el territorio de las provincias de Jaén, Córdoba, Sevilla e interior de la provincia de Huelva, habría aumentos de entre 1 y 4 días, y en el valle del Guadalquivir los días con temperatura máxima superior a 45°C ascenderían a entre 4 y 6 días por año.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario SSP1-2.6 muestra un aumento muy similar al mismo escenario de mitad de siglo: aumentos muy tímidos de entre 1 y 4 días en zonas puntuales de las provincias de Córdoba y Jaén. En cambio, el aumento de días de ola de calor extremo es muy superior en el resto de escenarios. El escenario intermedio (SSP2-4.5) ya proyecta que se superarán los 45°C al menos una vez al año en todo el territorio de las provincias de Jaén, Córdoba y Sevilla, además del norte de la provincia de Granada y todo el interior de Huelva. En todo el valle del Guadalquivir se superarían los 3 días por año, y en zonas de Jaén y Córdoba los aumentos ascenderían hasta los 7-10 días por año. Los escenarios más pesimistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) muestran que, a finales de siglo, se superarían los 45°C al menos una vez al año en todo el territorio de Andalucía exceptuando Sierra Nevada, el campo de Gibraltar y la línea costera de Almería, Granada y Málaga. En Huelva, norte de Granada e interior de Almería se superarían los 45°C entre 4 y 7 días por año bajo el escenario SSP3-7.0, mientras que bajo el escenario SSP5-8.5 ocurriría entre 8 y 12 días por año. Las zonas con olas de calor más extremas serán las provincias de Sevilla, Córdoba y Jaén. En general, se superaría este umbral de 45°C 8 días por año en todo el territorio de estas provincias bajo los escenarios más pesimistas, y en la zona del valle del Guadalquivir se podría superar este umbral entre 15 y 20 días al año bajo el escenario SSP3-7.0 y entre 25 y 30 días al año bajo el escenario SSP5-8.5.

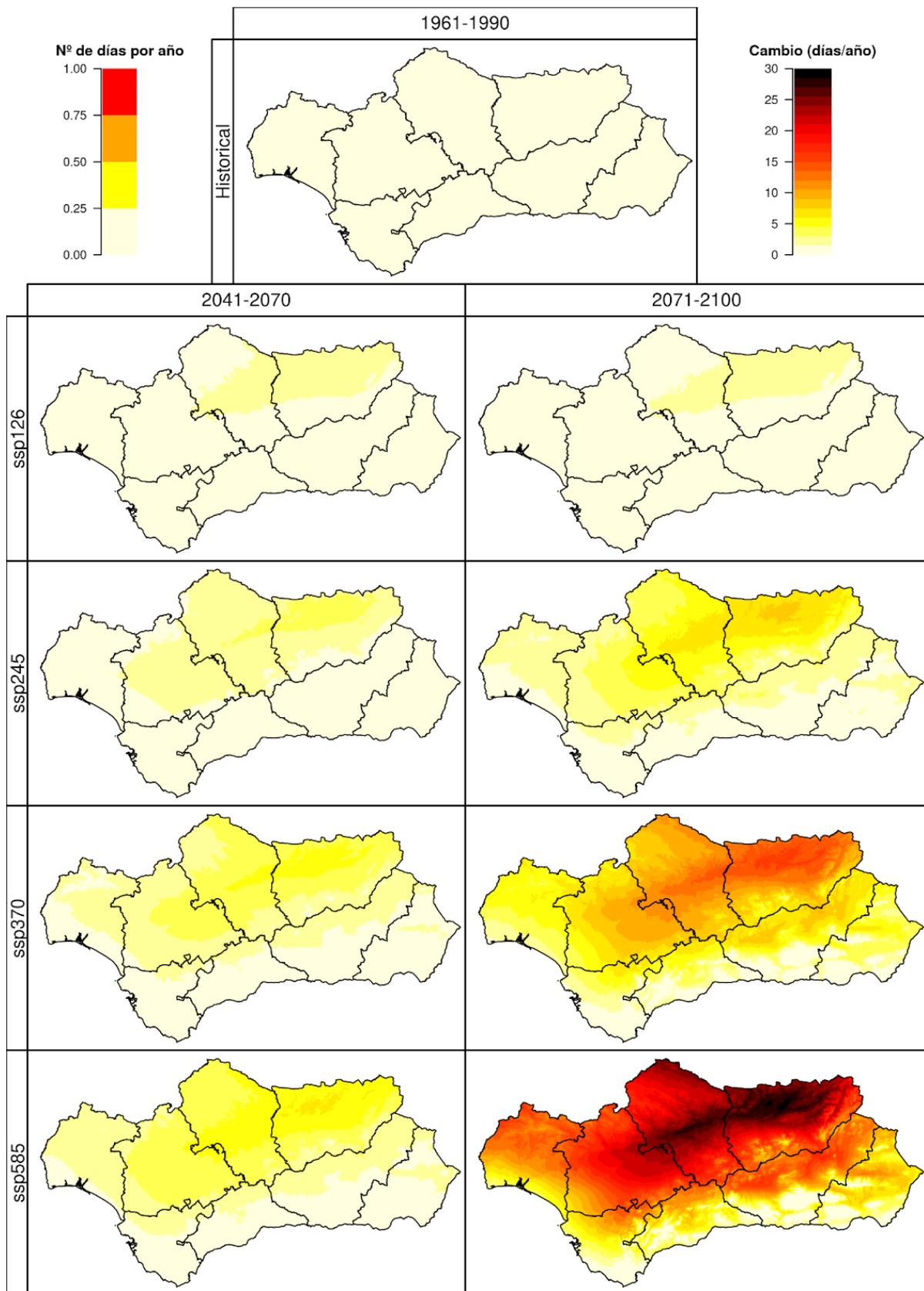


Figura 6.1. Incremento del número medio de días anuales con $T_{max} > 45^{\circ}\text{C}$, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

7. NOCHES TROPICALES

El número de noches tropicales a escala **anual** para la mediana del período histórico representa el valor medio del número de días por año cuyas temperaturas mínimas se sitúan por encima de los 20°C a lo largo de la Comunidad Autónoma de Andalucía. En el período histórico 1961-1990 hay varias zonas que presentan menos de 3 noches tropicales al año: la costa de Huelva, las sierras del norte de Córdoba y Sevilla, la zona de la Sierra de Cazorla, la provincia de Granada exceptuando su zona costera y la zona montañosa del noroeste de la provincia de Almería. En general, en el resto del territorio el rango de noches tropicales en el período histórico se sitúa entre 3 y 8. En el valle del Guadalquivir a su paso por Jaén y en la costa de Cádiz, el número medio anual de noches tropicales asciende a entre 10 y 15, mientras que en la línea costera de Málaga, Granada y Almería se superan las 15. En toda la costa de Almería se superan las 20 noches tropicales por año, y dentro de esta provincia destacan la zona de El Ejido con 30-35 noches tropicales y, sobre todo, la zona de Cabo de Gata y Níjar, dónde las noches tropicales anuales ascienden a unas 45.

En cuanto a los escenarios futuros, se observa un aumento paulatino del número de noches tropicales en todo el territorio, exceptuando zonas muy elevadas, en consonancia con la tendencia general de calentamiento:

- Para mediados de siglo (2041-2070), todas las proyecciones, incluyendo las más optimistas, muestran un aumento general de entre 20 y 30 noches tropicales por año en la mayor parte de la comunidad. El aumento sería aún más significativo en zonas donde actualmente se registran el mayor número de noches tropicales: provincia de Jaén y costa de Málaga, Granada y Almería. En estas zonas, los aumentos pueden llegar hasta los 40-60 días por año. Únicamente las cumbres de Sierra Nevada y las zonas elevadas de Baza-Guadix seguirán sin tener temperaturas mínimas superiores a 20°C en ningún día del año.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario más optimista (SSP1-2.6) muestra un aumento muy similar a lo que proyectan todos los escenarios para mitad de siglo. En cambio, el aumento del número de noches tropicales es muy superior en el resto de escenarios. El escenario intermedio (SSP2-4.5) ya proyecta aumentos generalizados superiores a los 30 días por año exceptuando la provincia de Granada. Bajo el escenario SSP3-7.0, habría aumentos generalizados a los 40 días por año, pudiendo llegar a los 60-70 días por año en todo el valle del Guadalquivir, campiña sevillana, provincias de Cádiz y Málaga, y línea costera de Granada y Almería. Ya empezaría a haber noches tropicales en la zona de Baza y Guadix (unas 15-20 al año). El escenario más extremo (SSP5-8.5) muestra aumentos de 70-90 días al año en la práctica totalidad del territorio, con aumentos de más de 100 días por año en el valle del Guadalquivir y en toda la franja costera. Bajo este escenario, la zona de Cabo de Gata tendría mínimas superiores a los 20°C durante 5 meses al año y empezaría a haber noches tropicales en Sierra Nevada en altitudes superiores a los 2500m.

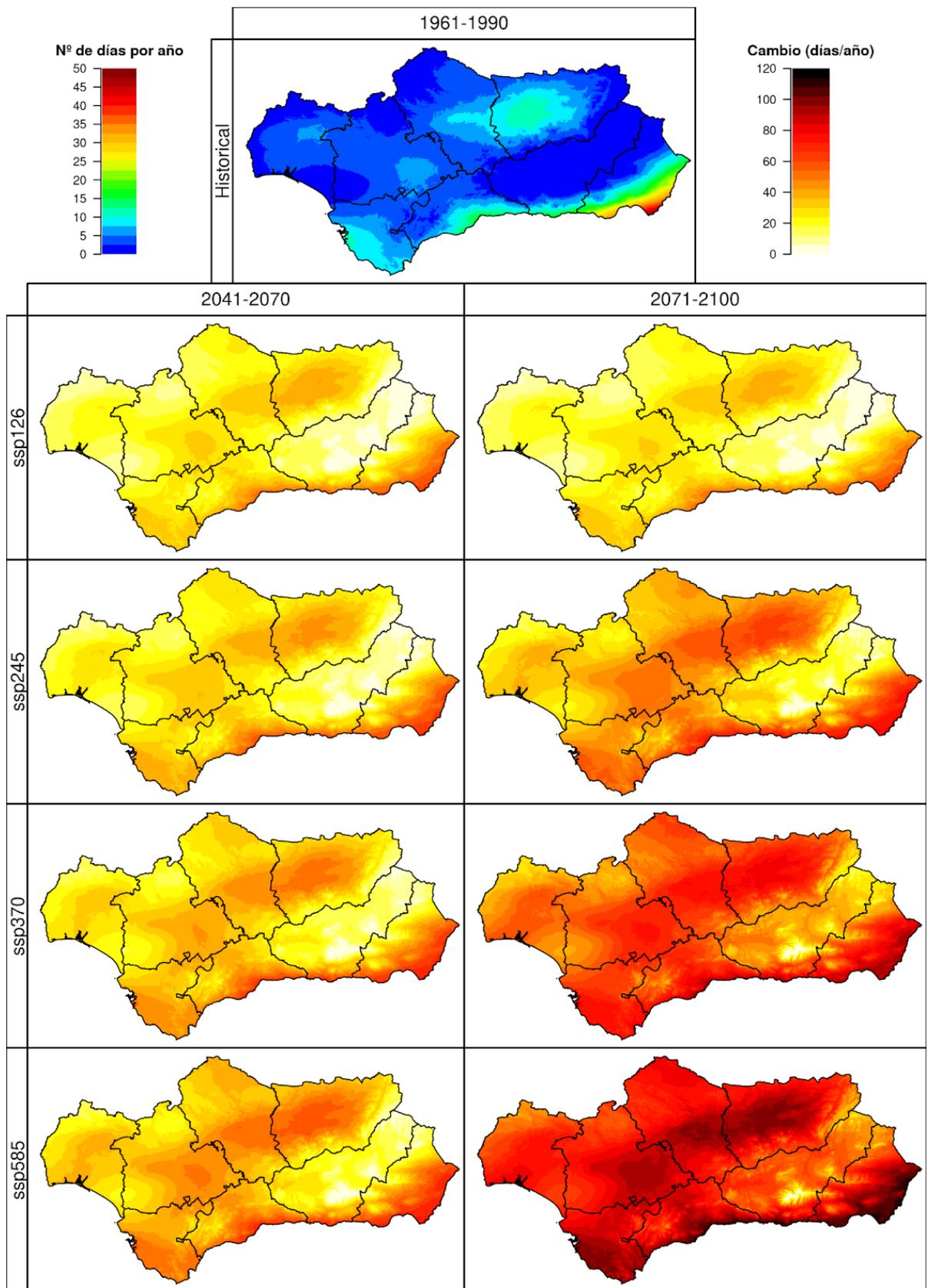


Figura 7.1. Incremento del número medio de días anuales con $T_{min} > 20^{\circ}C$, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

8. INTEGRAL TÉRMICA SOBRE 7.5°C

En cuanto a la Integral Térmica, su definición nos indica que para su cálculo se ha realizado la suma de temperaturas medias de los días que superan el umbral establecido de 7.5°C.

Los resultados obtenidos a escala **anual** para la mediana del Historical muestran que los máximos, que rondan los 4.000°C en total, destacan en aquellas zonas típicamente cálidas a lo largo de todo el año: el Valle del Guadalquivir (especialmente la Campiña sevillana) y zonas costeras, con especial marca en el Valle del Guadalhorce y el Levante Almeriense/Cabo de Gata. Las zonas con los valores más bajos corresponden con los grandes relieves andaluces, zonas donde la abundancia de días fríos ($T_{Media} < 7.5^{\circ}C$) es notoria y se traslada al cálculo. Debido a la semejanza en cotas máximas, los valores son similares en todas las cumbres con la excepción de Sierra Nevada, de un carácter frío más marcado por su altitud.

Moviéndonos ahora a las proyecciones futuras, vemos que hay una gran diferencia entre considerar un escenario de cambio u otro. Acorde con los cambios ya explicados en temperatura máxima y mínima para el futuro (Índices 2 y 3), y que se perfila perfectamente en el de temperatura media (índice 43), los SSP más altos se corresponden con aumentos más bruscos de la temperatura, tanto a mitad como, especialmente, a finales de siglo. La distribución de los aumentos es bastante homogénea temporalmente, concentrándose los mayores en el interior de Andalucía (Sierra Morena, interior del Valle del Guadalquivir) y zonas del interior oriental (Hoyas de Guadix y Baza, y Valle del Almanzora). Así:

- Para el SSP1-2.6 se estiman moderados incrementos en la IT, sobre 700 - 1000 °C, con los máximos en las zonas ya dichas, sin aparente progresión a lo largo del siglo.
- Para los SSP2-4.5 y SSP3-7.0, se esperan incrementos similares para mitad de siglo, en torno a 1000 - 1250 °C donde más. Para finales de siglo sí se aprecia diferencia en la evolución, manteniéndose la distribución espacial, con aumentos de hasta 1500 °C en el SSP2-4.5 y llegando a los 1500 - 2000 °C para el SSP3-7.0. Además, para este SSP se observa cómo se difumina el efecto de las cumbres ya que asociado al aumento de temperaturas se sobrepasaría fácilmente el umbral establecido para la IT ahí.
- Para el SSP5-8.5 tenemos el peor escenario. Se aprecia una ligera diferencia en la distribución de los cambios, que si bien se siguen concentrando en las zonas indicadas, aparece un máximo en el Guadalquivir Jiennense (Andújar-Úbeda), zona característica de máximos térmicos. Así, a mitad de siglo se estiman aumentos de 1250 - 1500°C, mucho más fuertes a final de siglo, llegando a amplios aumentos de máximos >2000°C en las zonas mencionadas, **rozando los 2750°C en su máximo.**

Resumiendo, partiendo de la posición definida en el Historical, tendríamos **aumentos en la zona costera de entre un 25% y 60%** según el escenario en los °C totales, de entre un **33% y un 80% en zonas del interior**, y de entre un **100% y un 200% en zonas de cumbres.**

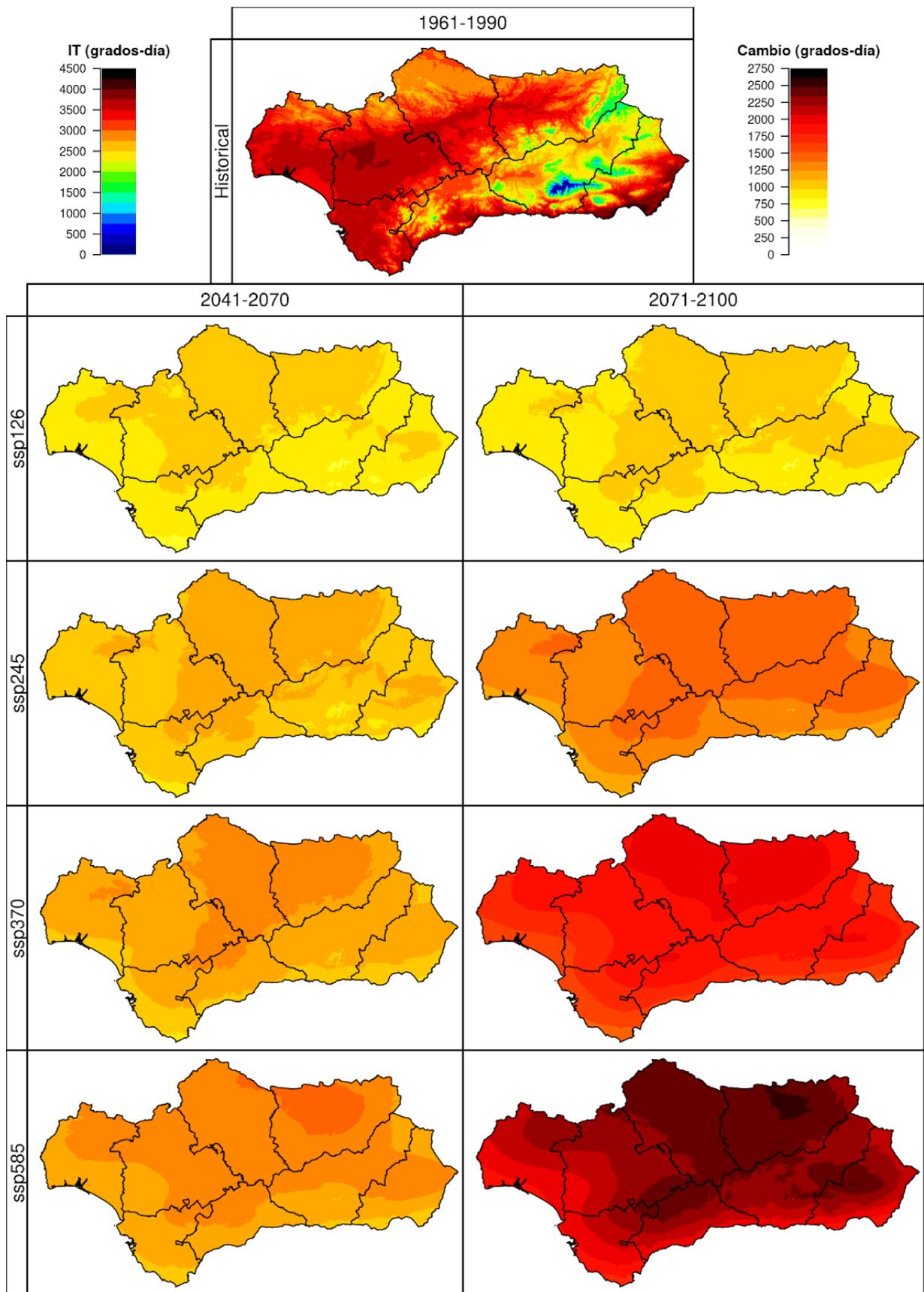


Figura 8.1. Incremento de los valores de la Integral Térmica (7.5°C), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

9. GRADOS DIA REFRIGERACIÓN

Integral térmica cuya definición indica que para su cálculo se opta por tomar de umbral una temperatura media de 25°C. Esto a priori nos indica que el uso de esta variable servirá para determinar aquellas zonas con grandes picos de calor y altas necesidades de refrigeración.

Analizando los resultados de la mediana del Historical, se aprecia que los valores máximos corresponden con aquellas zonas con temperaturas más altas en el periodo estival (rebasando los 25°C de media diaria con facilidad). Son: Campo de Andévalo (Huelva) y el Valle del Guadalquivir, sobrepasando los 100 °C acumulados, especialmente en las conocidas como “ollas”: las Campiñas sevillana (Écija), cordobesa (Montoro) y jiennense, donde se dan los máximos con diferencia, sobrepasando los 200°C en la zona de Andújar-Linares-Bailén, zona que en olas de calor debido a la orografía excede con facilidad los 40°C. Fuera del Guadalquivir se aprecia otra zona de valores destacados (>100 °C) en Almería en Tabernas y Cabo de Gata. Los mínimos evidentemente se ubican en aquellas zonas frías/templadas que no consiguen exceder el umbral, como son las zonas costeras atlánticas y de Málaga/Granada por el efecto de las brisas (50-80°C), y todas las zonas de montaña más destacadas (0-50°C).

En cuanto a las proyecciones de cambio **anual**, se ve una tendencia al aumento en °C acumulados con los escenarios y tiempo al futuro. La distribución espacial de los aumentos se concentra siguiendo un patrón muy similar a la distribución histórica de los valores, con las mayores variaciones en las zonas que presentan actualmente los máximos, lo cual es coherente con los cambios futuros de temperatura y la definición de este índice GDR25. Así:

- Para mediados de siglo (2040-2070) observamos una estimación de incrementos en los grados acumulados muy similar para todos los escenarios, incrementándose ligeramente al subir de escenario (SSP1-2.6 -> SSP5-8.5). Los aumentos se mueven en una horquilla de entre +100 a +350 °C para el SSP1-2.6 (siguiendo la magnitud del aumento la misma distribución histórica) a entre +200 a +450°C para el SSP5-8.5.
- A finales de siglo (2070-2100) sí tenemos un incremento al subir de SSP. Si bien en el SSP1-2.6 tenemos poca variación frente a mediados de siglo (+100 a +350°C), los valores progresan fuertemente hasta una horquilla de **+500 en zonas costeras a +1000°C totales acumulados en las “ollas” del Guadalquivir** para el SSP5-8.5.
- Las zonas de alta montaña se ven poco afectadas por estos cambios para los SSP1-2.6 y SSP2-4.5, ya que hablamos de días con medias >25°C. Sin embargo para los SSP3-7.0 y SSP5-8.5 sí se ve que los cambios cubren gran parte de laderas y cumbres de todos los relieves andaluces (con excepciones en Sierra Nevada, Gádor, Nieves y zonas de Tarifa bajo el efecto del Levante), con aumentos notables de hasta +500°C para el SSP5-8.5.

De forma general estos resultados **equivalen a duplicar en el mejor de los escenarios los valores medidos históricos, y a quintuplicarlos en el peor** de los casos.

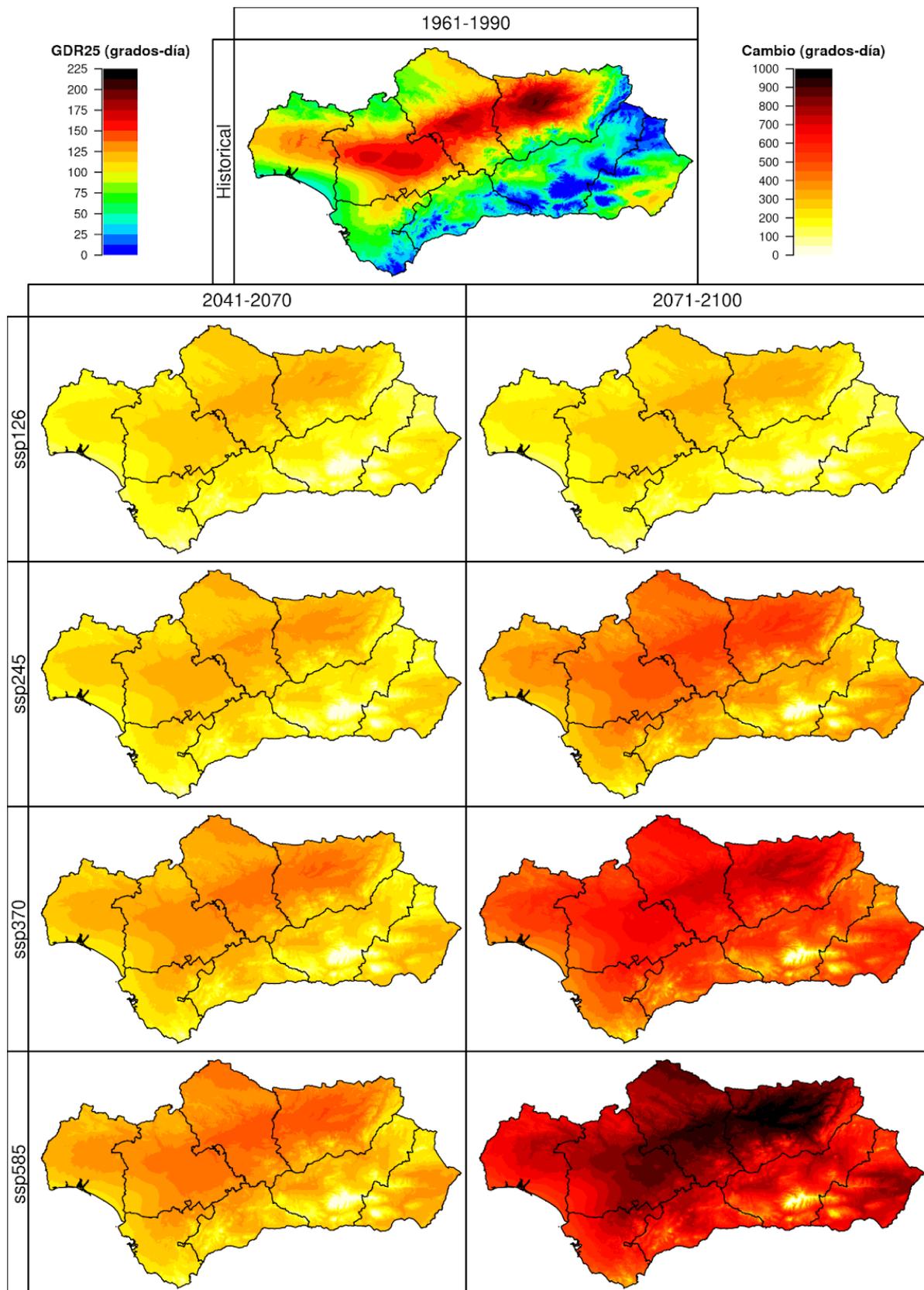


Figura 9.1. Incremento de los valores del índice Grados de Refrigeración (25°C), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

10. GRADOS DÍA CALEFACCIÓN

Integral térmica como la previa, aunque antagonista, marcando en ese caso un umbral superior (no inferior) de temperatura de 17°C; es decir, computa para aquellos días cuya temperatura media no exceda los 17°C. A priori nos indica que el uso de esta variable servirá para determinar aquellas zonas con climas más fríos que experimentan déficits de calor en épocas invernales y, por ende, con necesidades de calefacción para un confort apropiado.

En los resultados de la mediana del Historical hay que destacar que la escala de colores (al ser una variable asociada con frío) incrementa hacia los azules. Podemos apreciar que GDC17 tiene sus máximos, como es lógico, en las cumbres de los relieves andaluces, especialmente aquellos más al interior o con mayor altitud (Gádor, Filabres, Nevada, María-Vélez, Mágina y Cazorla-Segura), excediendo los 3000 °C acumulados de calefacción. En altitudes medias del interior (Sierra Morena y zonas de Andalucía oriental), más pobladas, los valores oscilan los 1750-2500°C. Las zonas costeras y Andalucía occidental (mucho más llana y bajo el influjo del Atlántico) ven valores que difícilmente superan los 1000°C totales.

Respecto a las proyecciones futuras de cambios esperados a escala **anual**, observamos de forma pareja a lo ya comentado una tendencia ligada al aumento de las temperaturas futuras, lo que se traduce en reducciones en el número de °C acumulados con los escenarios y con el tiempo al futuro. La distribución espacial de las reducciones se concentra siguiendo el patrón del GDC17 histórico, con los máximos en las cumbres, ya que por otra parte las zonas de mínimos apenas poseen grados que perder. Así:

- Para mediados de siglo (2040-2070) observamos la predicción de una reducción de grados de calefacción bastante similar para todos los escenarios, incrementándose ligeramente al subir de escenario (SSP1-2.6 -> SSP5-8.5). Sin apenas reducciones significativas (0 ~ -100 °C) en las zonas de mínimos, las reducciones se concentran en zonas de interior a media altitud y alta montaña, con valores de ~ -700°C en Sierra Morena y media altura en Béticas y Subbéticas, y llegando a los -1250°C en cumbres.
- Para finales de siglo (2070-2100) se aprecia más claramente el aumento en los valores de la reducción de GDC17 al desplazarnos hacia el SSP5-8.5 (el más cálido). En zonas de mínimos llegamos a reducciones que cubren el total de los valores históricos casi (~ -500°C), **lo que supondría que al efecto no habría casi días con medias <-17°C**. Para zonas de interior y montaña, las reducciones irían de unos -700 a -1000°C para el SSP1-2.6, incrementándose hasta reducciones de -1250°C a alturas medias y -2000°C o más en zonas de cumbres para el SSP5-8.5.

Como se ha comentado, estos resultados, propios de un clima con clara y fuerte tendencia al calentamiento en el tiempo, son coherentes con los mostrados en otras variables, y representan la transformación de las épocas más frías y necesarias de calefacción del año en otras más benignas, **con la casi desaparición de dicha necesidad en zonas bajas y costeras en el peor de los escenarios, y una reducción >50% en zonas de alta montaña.**

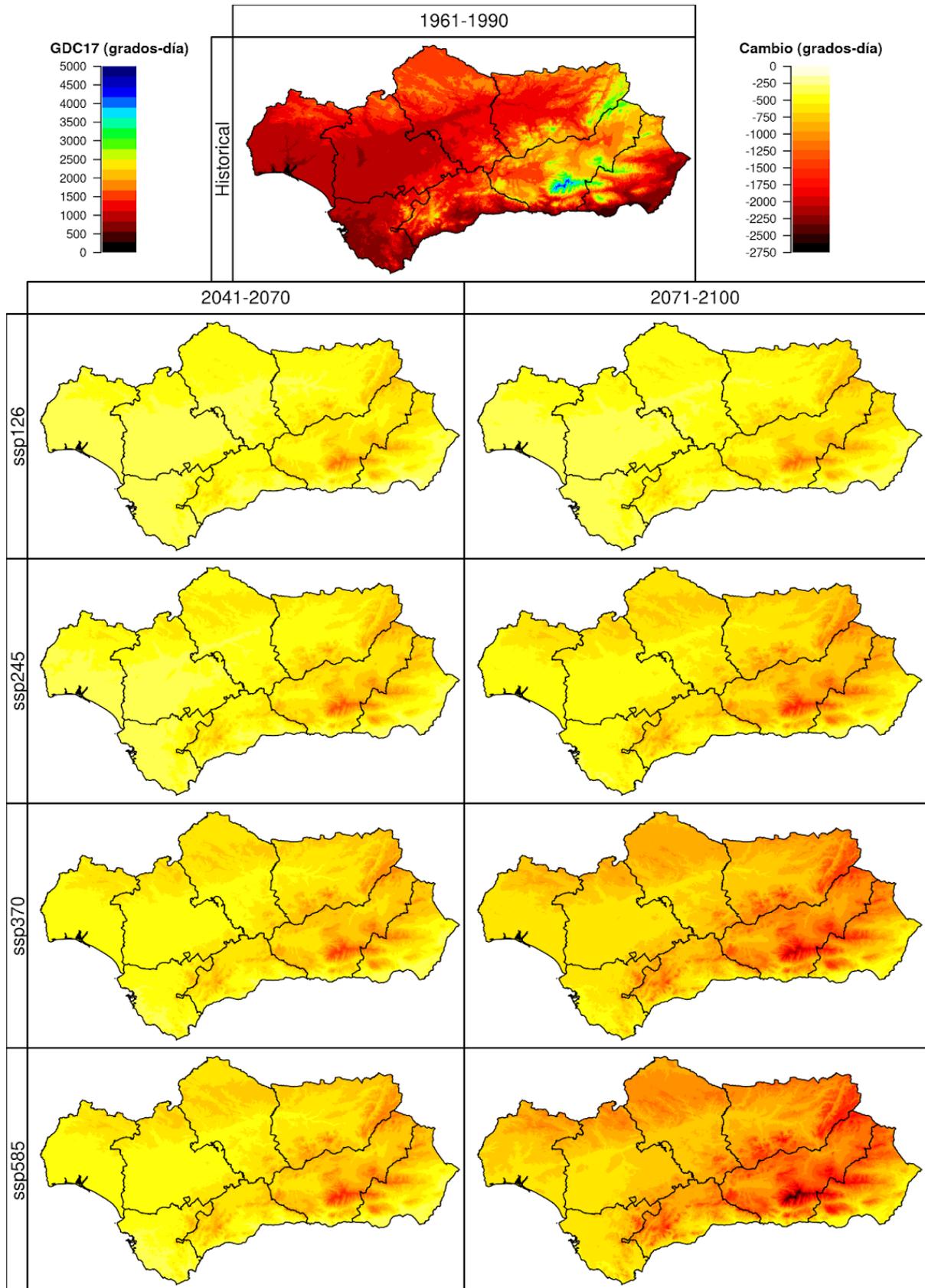


Figura 10.1. Reducción de los valores del índice Grados de Calefacción (17°C), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

11. PRECIPITACIÓN DE NIEVE

A pesar de que hasta un tercio del territorio andaluz tenga más de 1 día de nieve durante el período de referencia (1961-1990) - en general los territorios con una altitud sobre el nivel del mar superior a 700 metros reciben una nevada al año en promedio - a escala climática se aprecian únicamente trazas. Solo los grandes conjuntos montañosos como las partes más elevadas de Sierra Nevada (con medias que sobrepasan los 500 mm en forma de nieve), de las Sierras de Cazorla, Segura y las Villas, y en menor medida en las sierras de Huétar y Baza (en su gran mayoría entre 50 y 100 mm) poseen medias climáticas sustanciales en esta forma de precipitación.

Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) prevén una disminución de las precipitaciones en forma de nieve de entre 250 mm en el mejor de los casos hasta de 400 mm en el peor. Por su parte los menos sostenibles (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) esperan disminuciones de hasta 500 mm. Ambos escenarios supondrían una disminución de las cotas más altas de entre un 50 y un 60% de su precipitación total respecto al período de referencia.

Para finales de siglo (2071-2100) los escenarios más optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) muestran disminuciones de hasta 450 mm. Los escenarios más catastrofistas (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) auguran descensos de entre 500 y 600 mm - en las cumbres de Sierra Nevada por encima de 3000 msnm - en la precipitación anual en forma de nieve.

En general puede extraerse que en las sierras de Cazorla, Segura y las Villas, así como en Huétar y Baza tanto los escenarios más optimistas como los más severos prevén una disminución de la precipitación en forma de nieve de casi el 100% para el período más cercano (2041-2070), así como para final de siglo. Durante el período de 2041-2070 las cotas altas de Sierra Nevada seguirán registrando precipitaciones significativas (entre 200 y 300 mm anuales), reduciéndose no obstante a menos de la mitad de lo registrado en el período 1961-1990. Para final de siglo sin embargo los más optimistas prevén que Sierra Nevada continúe registrando entre 200 y 300 mm anuales, por el contrario los más pesimistas auguran la práctica desaparición de la nieve en la alta montaña andaluza. Si bien estos escenarios no significan que las precipitaciones en forma de nieve vayan a desaparecer por completo, sí disminuirán de forma significativa su ocurrencia y su permanencia (comenzando primero por cotas medias a mediados de siglo, para acabar por las cotas más altas por encima de 2000 metros en el último período) provocando un severo impacto medioambiental en la biodiversidad local y poniendo en peligro la continuidad de ciertas especies de fauna y flora locales así como determinados deportes de invierno.

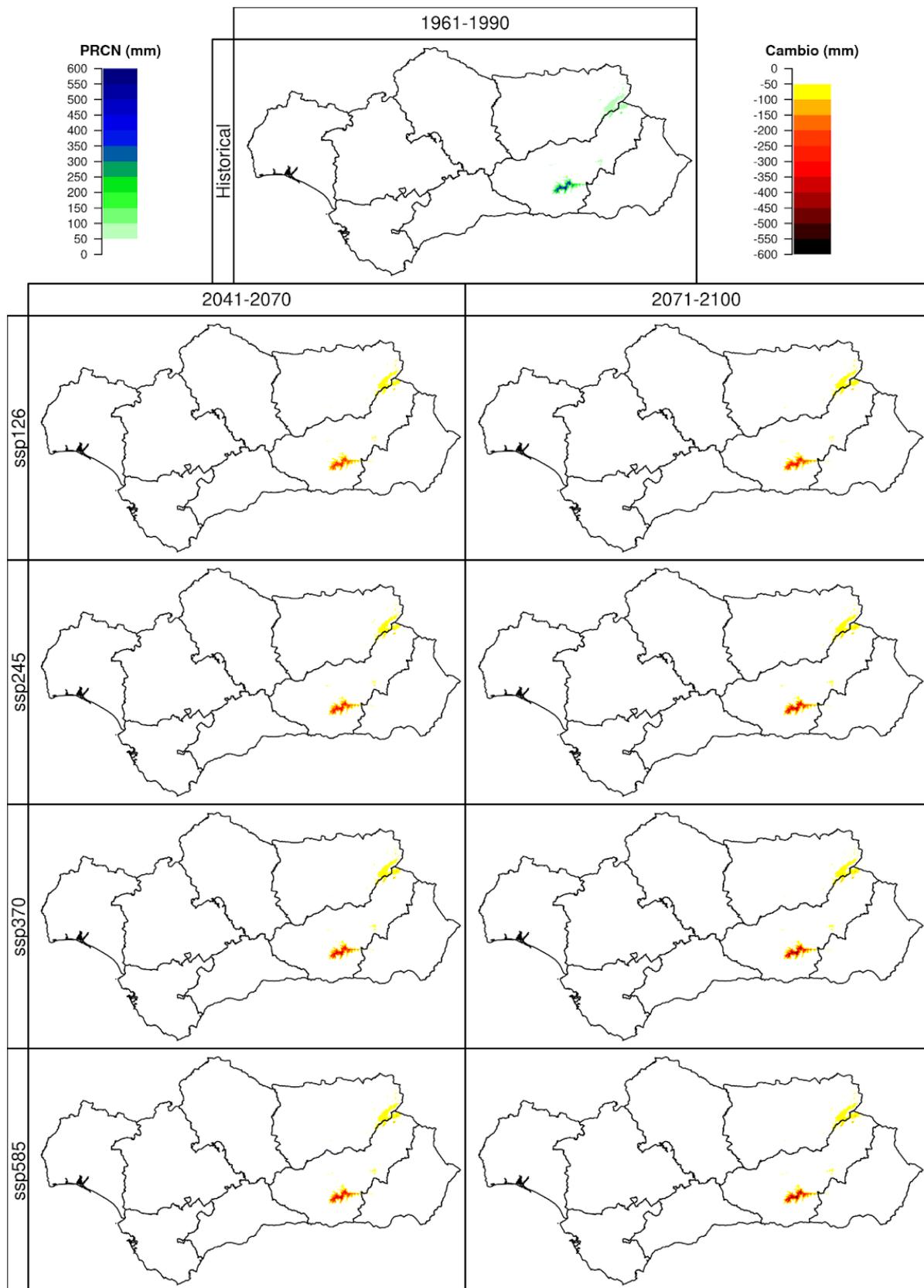


Figura 11.1. Variaciones en la precipitación de nieve anual, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

12. EVAPOTRANSPIRACIÓN DE REFERENCIA

La evapotranspiración de referencia (ET_o) es una variable de amplio uso que estima la pérdida total posible de humedad del suelo y la vegetación a causa de parámetros meteorológicos: lluvia, humedad, temperatura, radiación solar y viento. Su cálculo por el método de Penman-Monteith se ha mejorado incorporando el terreno (pendiente, orientación e insolación resultante), obteniendo un gran detalle de particularidades geográficas.

Los resultados aquí mostrados, tanto valores del Historical como los cambios a futuro, están referidos a una escala anual. El mapa de valores del Historical muestra cómo la ET_o toma sus máximos en aquellos sitios donde la atmósfera es más propensa a condiciones desecantes (mayor temperatura media, menor humedad relativa o viento más intenso/sostenido) de forma general, con particularidades donde la orografía determina el papel de la radiación solar. Se encuentran por tanto distribuidos en: Valle del Guadalquivir y zonas bajas de Huelva y Cádiz, Hoyas de Granada, Guadix y Baza, Valle del Almanzora y zonas costeras de Almería, con valores que oscilan entre los 1250 y los 1500 mm. Los mínimos al contrario se encuentran ubicados en todas las cumbres andaluzas (por bajas temperaturas) junto a zonas del Estrecho (por menor radiación y temperatura y alta HR) y algunos valles/laderas con condiciones favorables (baja insolación), con valores tan bajos como 350 mm.

Los cambios esperados a futuro son, como en otras variables, de incrementos asociados al paulatino aumento de la temperatura. La distribución espacial de los cambios sigue un patrón similar a lo largo del siglo independientemente del escenario considerado, con los mayores cambios previstos en zonas costeras (especialmente del Estrecho y Almería), Andalucía Occidental e interior del Valle del Guadalquivir, siendo los cambios menos drásticos en las zonas altas de Andalucía Oriental (especialmente en Sierra Mágina y Sierra Nevada). Así:

- Para mediados de siglo se aprecia cómo el incremento en la ET_o esperado es bastante similar independientemente del escenario (el forzamiento térmico de cada escenario no difiere mucho a, ya ahora, 20-30 años vista contando la inercia que ya sufrimos). Los aumentos estimados rondarían los 200 mm de máximo y con mínimos entre 50 y 100 mm en las zonas ya mencionadas respecto a los resultados del Historical.
- Para finales de siglo los escenarios sí se diferencian más según la intensidad del forzamiento y la señal térmica inducida, con un aumento muy notable en los valores de ET_o esperados entre el SSP1-2.6 y el SSP5-8.5. Si bien el SSP1-2.6 se asemeja a mediados de siglo, la magnitud del incremento evoluciona casi linealmente desde sus 50-200mm hasta el SSP5-8.5, con aumentos mínimos de +300 mm en zonas de cumbre, +450 mm en altitudes medias, +600 mm en el Valle del Guadalquivir y llegando a casi +700 mm en Almería y Estrecho en el peor de los casos.

Considerando la gran importancia e impacto de la evapotranspiración en la flora y recursos hídricos, con estos resultados podríamos experimentar aumentos del **casi 100%** en los peores casos **en zonas sensibles como el Estrecho o serranías**, y del **30 al 50% en gran parte del territorio**, zonas ya de por sí con un marcado carácter árido gran parte del año.

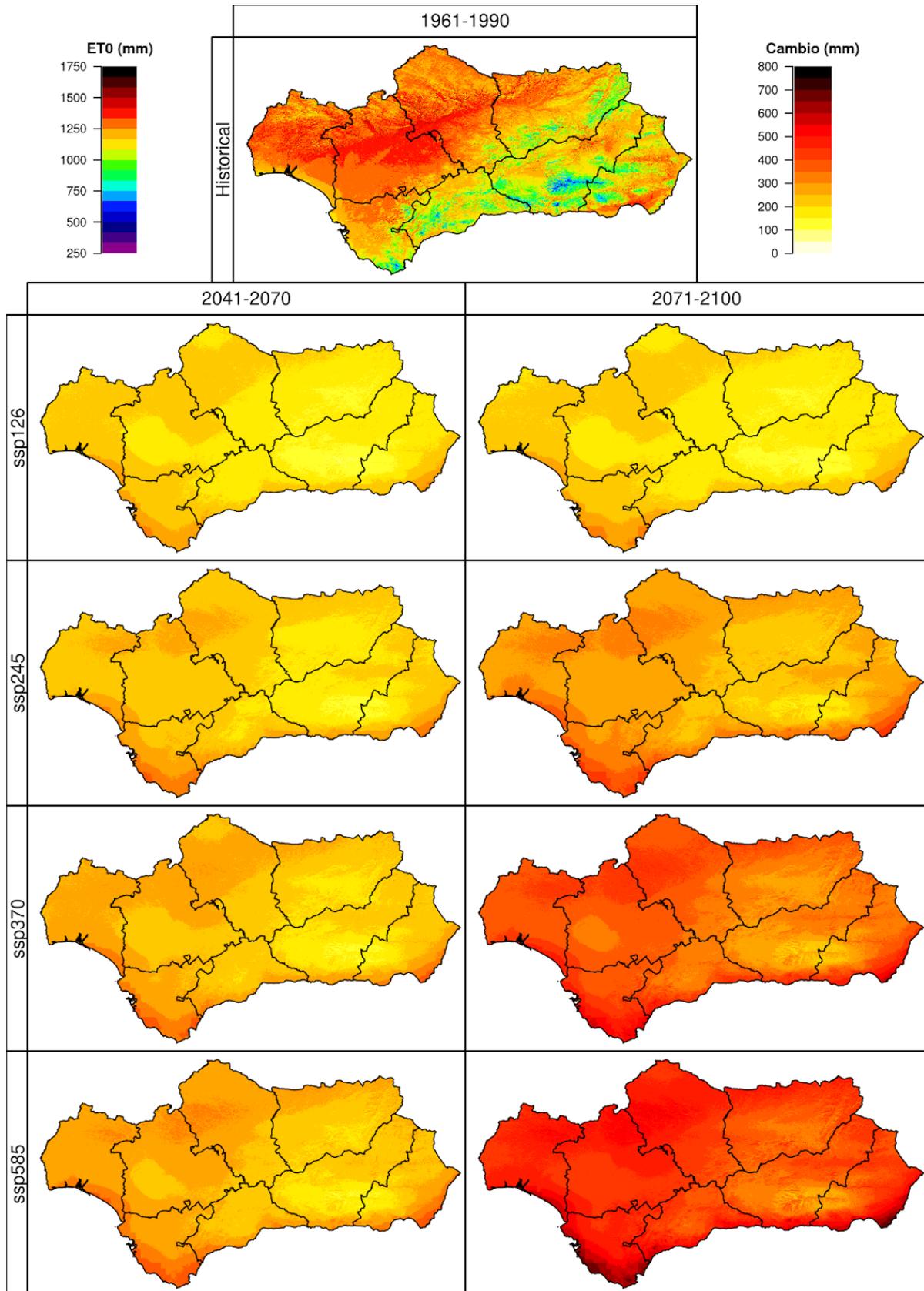


Figura 12.1. Incremento de los valores de la Evapotranspiración de Referencia (ET₀), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

13. BALANCE HÍDRICO

El Balance Hídrico (BH) es una de las variables fundamentales para el estudio del carácter hídrico de una zona, ya que mediante la relación entre la precipitación recogida y la evapotranspiración sufrida en una zona, nos permite identificar la aridez o humedad y las reservas de agua de la misma. Para su cálculo se aproximan las condiciones del suelo, se establece un mes de partida (habitualmente septiembre) donde se considera el suelo totalmente seco ($BH=0$) y se continúa mes a mes tomando en cuenta los valores previos.

De forma similar a la ETo, el BH mostrado aquí refleja primero los valores del BH estimado anual (media de los 12 meses) para el periodo Historical, y los cambios respecto a éste a futuro. De un vistazo el BH anual nos permite identificar aquellas zonas húmedas con un claro peso de la precipitación por encima de la evapotranspiración, principalmente los grandes relieves andaluces (por baja temperatura) donde la precipitación es media-alta (Cazorla-Segura, Sierra Nevada y Sierra Mágina) y otros relieves medios con precipitación abundante (Sierra Morena y Sierra de Aracena), con valores positivos entre los 150 y 300 mm. También la zona del Campo de Gibraltar y Sierras de Grazalema-Ronda-Las Nieves, donde la precipitación tiene sus máximos y la nubosidad, humedad relativa y temperaturas suaves mantienen la ETo a raya, resultando en la zona más húmeda de la región, con picos de BH anual de hasta +600 mm. En el otro extremo tenemos zonas con BH en mínimos, todas aquellas en valles y zonas bajas del interior (costas fuera del Estrecho, Guadalquivir...), e incluso zonas con $BH=0$ (sin exceder la lluvia a la ETo nunca) en gran parte de Almería.

Respecto a futuro, los cambios esperables son reducciones, tanto por la esperable notable disminución de las precipitaciones (Índice 3) como por la ya comentada subida de las temperaturas, lo que deriva el cálculo del BH hacia una clara preponderancia de la ETo sobre la lluvia, y por ende, hacia una mayor aridez. Considerando que son reducciones, los principales cambios se concentran en aquellas zonas húmedas mencionadas anteriormente.

- Para mediados del siglo (2041-2070) se esperan ligeras reducciones, próximas a 0 en las zonas de mínimos y partiendo de -50mm en las húmedas hasta -100 o -150mm en los polos húmedos, siendo más pronunciadas para los SSP3-7.0 y SSP5-8.5, hasta -200mm.
- Hacia finales de siglo (2071-2100) las reducciones se intensifican al empeorar los escenarios (SSP1-2.6 -> SSP5-8.5), con valores próximos a medio siglo en el SSP1-2.6 a reducciones más drásticas, llegando en el peor de los casos (SSP5-8.5) a bajadas de -50mm de forma generalizada (menos Almería donde BH ya era 0), -100 a -150mm de mínimo en zonas húmedas (Aracena, Cazorla o Nevada), y extremos de hasta -350mm en el entorno del Estrecho.

Es esperable por ende reducciones del total del BH medio anual en las zonas de mínimos, dejándolo en valores futuros **próximo al $BH=0$ en casi cualquier zona fuera de los relieves**. En las húmedas, se esperarían **reducciones del 50 al 90% según el relieve/zona y escenario**, lo cual dibuja un futuro tendente a una fuerte aridificación en todo el territorio.

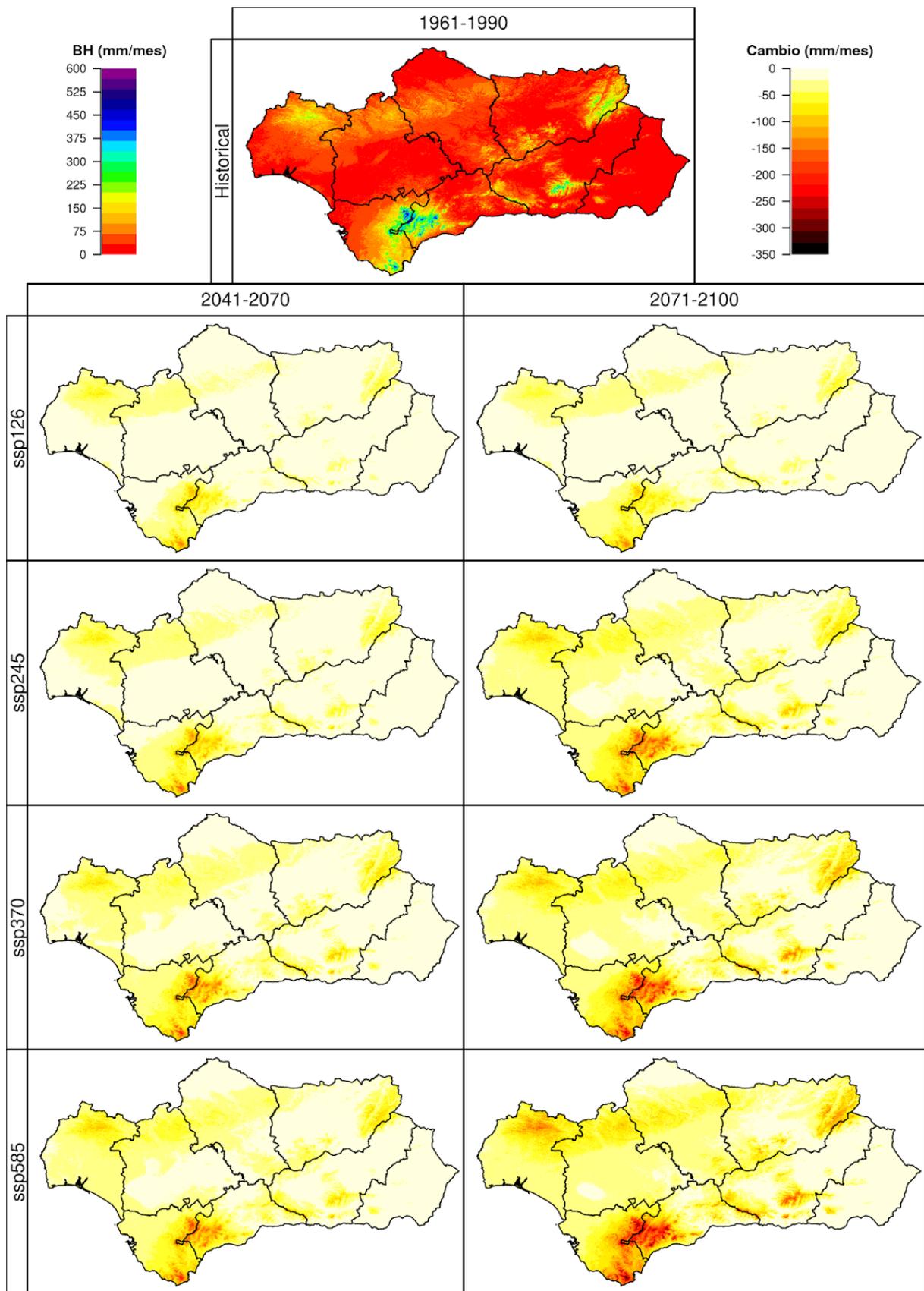


Figura 13.1. Variación de los valores del Balance Hídrico (BH), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

14. POTENCIAL FOTOSINTÉTICO

El Potencial Fotosintético (PF) determina la bondad del entorno para con una planta en su aprovechamiento de la fotosíntesis. El PF se mide en °C (de utilidad), y se obtiene como la integral térmica entre 7.5°C y 35°C (intervalo óptimo) en las horas solares (fotoperiodo) con humedad disponible en el sustrato (relacionando la ETo y la ETr -variable 48-). El PF nos permite reconocer las zonas de gran actividad para la flora (donde la temperatura y humedad lo permiten) y otras donde el entorno se torna hostil al crecimiento y cobertura vegetal.

Los valores del periodo Historical muestran los resultados en todo el territorio andaluz a escala anual; igual que los cambios respecto a estos valores proyectados a futuro. Los valores del Historical muestran que los máximos se relacionan con zonas de precipitaciones muy abundantes (disponibilidad de humedad) y temperaturas contenidas (sin salirnos del intervalo óptimo), llegando a los 2000°C acumulados en la Sierra de Aracena y alcanzando valores de más de 2500°C en el entorno del Estrecho y Sierras de Grazalema-Ronda-Nieves. Otras zonas de valores altos se corresponden con el Valle del Guadalquivir (donde en otoño y primavera las lluvias son abundantes y las temperaturas suaves), y cumbres como Sierra Mágina o Cazorla-Segura. Los mínimos obtenidos, desde los 200°C hasta los 1100°C, se concentran principalmente en Andalucía Oriental (Granada-Almería) donde la escasez de lluvias y las temperaturas mucho más extremas juegan un papel importante en el cálculo.

Los valores futuros tienen aquí una variación en ambos sentidos, con aumentos y descensos en los valores según las zonas. Considerando el fundamento del cálculo del PF, podemos apreciar **incrementos** en los grados acumulados en aquellas zonas donde no se espera fuertes descensos de la precipitación y que el aumento de las temperaturas permita valores dentro del intervalo óptimo más frecuentemente, **principalmente en todos los relieves** (especialmente cumbres) de Málaga y Andalucía Oriental. Por contra, observaremos **descensos** en el PF en zonas donde bien los descensos en la lluvia o el aumento de la temperatura lleve al empeoramiento del indicador, **principalmente el Campo de Gibraltar**. Así:

- Para mediados de siglo no hay mucha diferencia entre escenarios. El SSP1-2.6 no contempla apenas descensos, y aumentos de 200 a 400°C. Hacia el SSP5-8.5 aparecen e intensifican levemente las reducciones en el Estrecho (hasta -300°C), mientras que aumentan los incrementos en las cumbres orientales (hasta +600°C en Sierra Nevada) y en Málaga se restringen a cumbres por el descenso de la precipitación.
- Para finales de siglo se reproduce y refuerza el mismo patrón, con descensos que se extienden por toda la costa andaluza y zonas del Guadalquivir (-200°C), con mínimos de hasta -600°C. Los incrementos se van restringiendo a zonas altas donde siguen aumentando, hasta los +1000°C en cumbres de Sierra Nevada y Cazorla.

Se aprecia cómo la evolución futura del PF representa **dos escenarios diferentes** producto de la interacción de los cambios en el clima y las particularidades orográficas de la región.

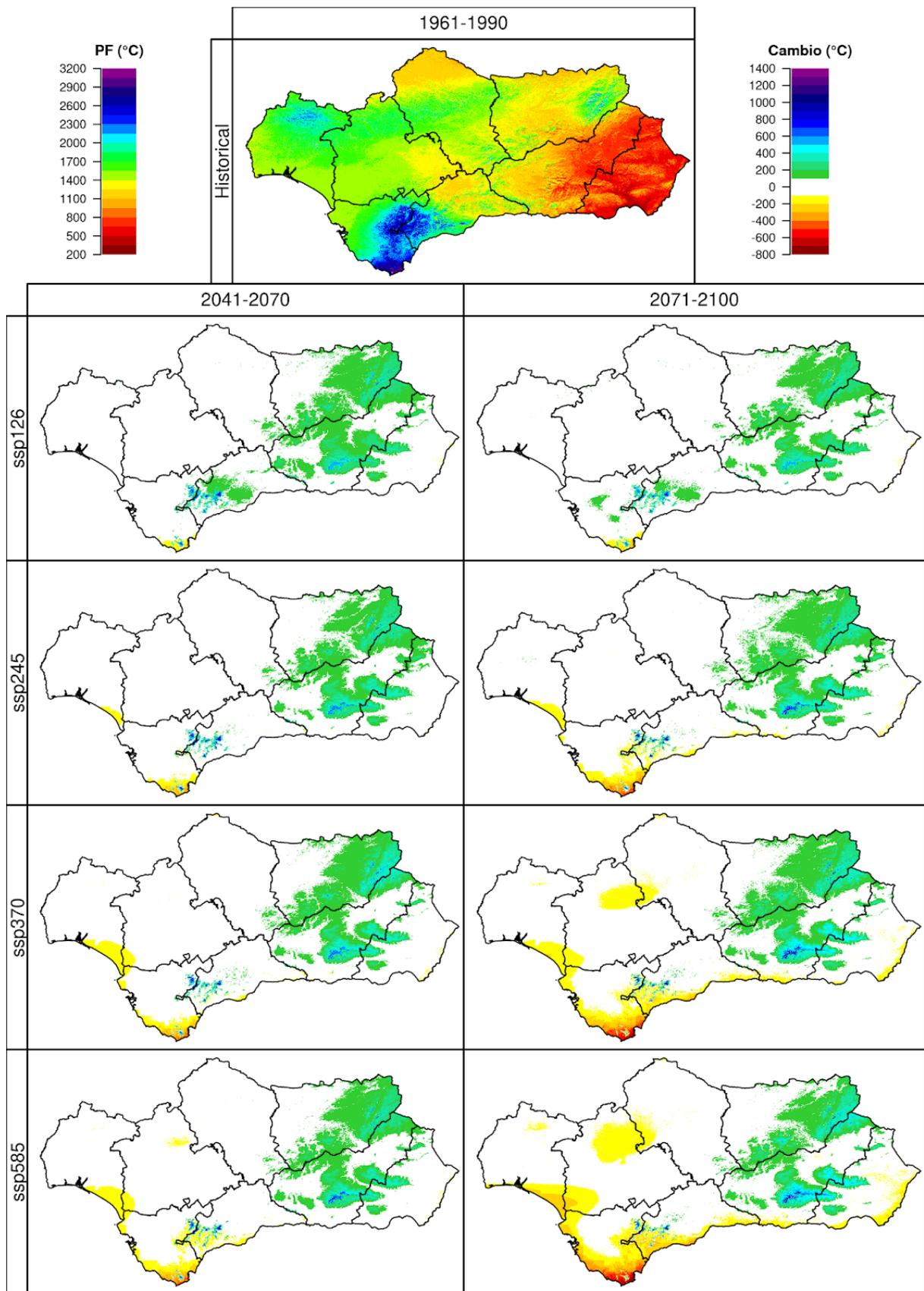


Figura 14.1. Variaciones en los valores del Potencial Fotosintético (PF), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

15. ÍNDICE DE CONTINENTALIDAD COMPENSADO

En índice de continentalidad compensado se define como la diferencia entre la temperatura máxima y la mínima, multiplicado todo ello por un coeficiente de altitud:

$$IC = (T_{max} - T_{min}) * C * Altitud$$

Lo que nos aporta información sobre cómo se comporta la amplitud térmica a lo largo del territorio. Por ende las áreas costeras tienen un índice de continentalidad inferior (de entre 5 y 10°C), frente a una tasa superior en las regiones de interior y montaña (por lo general superando un umbral de 12-15°C hasta aproximarse a 30°C en las cumbres más altas de los sistemas Béticos).

- Para mediados de siglo (2041-2070) el escenario más sostenible (SSP1-2.6) prevé pocas variaciones en las regiones prelitorales, así como en las zonas del bajo Guadalquivir, con ligeros ascensos de hasta 1°C en zonas montañosas (Sierra Morena y Sistemas Béticos) y descensos ligeros la región del Estrecho, el escenario *mitad de camino* (SSP2-4.5) duplica el área de cambio positiva en >+0.5°C en los principales arcos montañosos de la comunidad. En los escenarios más pesimistas existe una notable similitud entre sí (SSP3-7.0 y SSP5-8.5), en ambos la región de Cazorla, Segura y las Villas registra los mayores aumentos, entre 1.25 y 1.75°C. En las zonas litorales y prelitorales, por otro lado, muestran pocas diferencias respecto a los escenarios más sostenibles.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario más sostenible (SSP1-2.6) muestra escasas variaciones con respecto a la proyección de 2041-2070, si bien aumenta ligeramente el área afectada por valores superiores a +0.5°C. El escenario *mitad de camino* (SSP2-4.5) aumenta las variaciones positivas en toda la región interior, alcanzando valores de +1.75°C en la Sierra de Segura. Los escenarios más pesimistas mantienen el patrón espacial de variabilidad, con valores que en el escenario de *rivalidad regional* (SSP3-7.0) alcanzan un cambio de +1.75°C, mientras que en el peor escenario *impulsado por combustibles fósiles* (SSP5-8.5) eleva este cambio hasta los +2.5°C, con amplias regiones de montaña por encima de +1.5°C de cambio. Aunque la práctica totalidad de los escenarios no muestran cambios significativos ni en los prelitorales ni en el litoral, se perciben tendencias a la disminución (en el entorno de -0.5°C) en las costas del Estrecho.

Si empleamos una media de los escenarios más probables SSP2-4.5 y SSP3-7.0, se observa un cambio de entre -0.35 y 1.25°C para mediados de siglo. Para finales de siglo este cambio oscilaría entre los -0.30 y los 2.25°C.

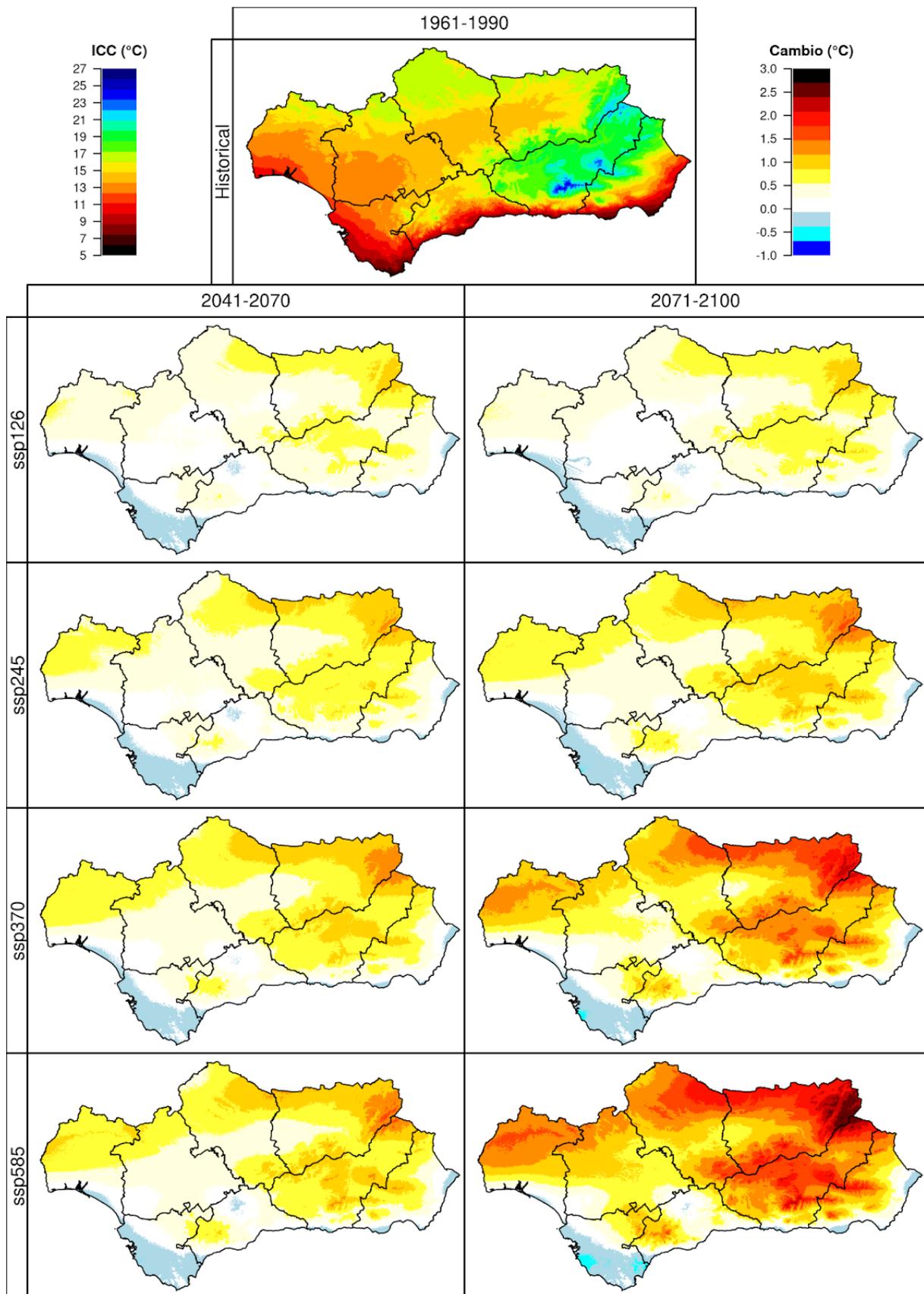


Figura 15.1. Variaciones en el Índice de Continentalidad, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

16. ÍNDICE DE TERMICIDAD

El índice de termicidad representa la suma en décimas de grado de T (la temperatura media anual), de m (la temperatura media de las mínimas del mes más frío) y de M (la temperatura media de las máximas del periodo mensual más frío), de manera que:

$$It = (T + m + M) * 10$$

Lo cual es útil para definir la capacidad que tiene la vegetación de resistir durante los meses invernales, y qué especies pueden soportar el invierno en una determinada región. La campiña sevillana y cordobesa, así como las comarcas de Andévalo y Condado en Huelva son las regiones con mayor índice de termicidad en la comunidad durante el período de referencia, en contraste con las regiones montañosas béticas.

- Para mediados de siglo (2041-2070) el escenario más sostenible (SSP1-2.6) prevé un aumento del índice de termicidad de entre 70 y 125 daC (1 daC= 1°Cx10) y de entre 82 y 125 daC para el escenario *mitad de camino* (SSP2-4.5). Los escenarios más pesimistas se mueven en una horquilla de 82 a 137 daC para el escenario de *rivalidad regional* (SSP3-7.0) y hasta 152 daC en el escenario de combustibles fósiles (SSP5-8.5).
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario más optimista (SSP1-2.6) proyecta un aumento del índice de termicidad similar al de mediados de siglo - entre 70 y 125 daC - mientras que el escenario *mitad de camino* (SSP2-4.5) estima un aumento en el cambio con un segmento de entre 100 y 155 daC. El escenario de *rivalidad regional* (SSP3-7.0) prevé un índice de termicidad de entre 150 y 210 daC. El peor escenario (SSP5-8.5) contempla un cambio en el índice que oscilaría entre los 160 y los 270 daC.

Estimando la media de los escenarios más probables (SSP2-4.5 y SSP3-7.0) para mediados de siglo (2041-2070) se observa un cambio de entre 85 y 125 daC. Para finales de siglo esta horquilla ascendería hasta 120-200 daC.

Los cambios más intensos en el índice de termicidad se dan en las regiones más montañosas (Sierra Nevada, Sierra de Baza y Sierra de Cazorla). Por el contrario, el menor aumento se registra en la franja litoral y en las provincias más occidentales, que a su vez representan las regiones con una temperatura media mayor y una oscilación térmica inferior.

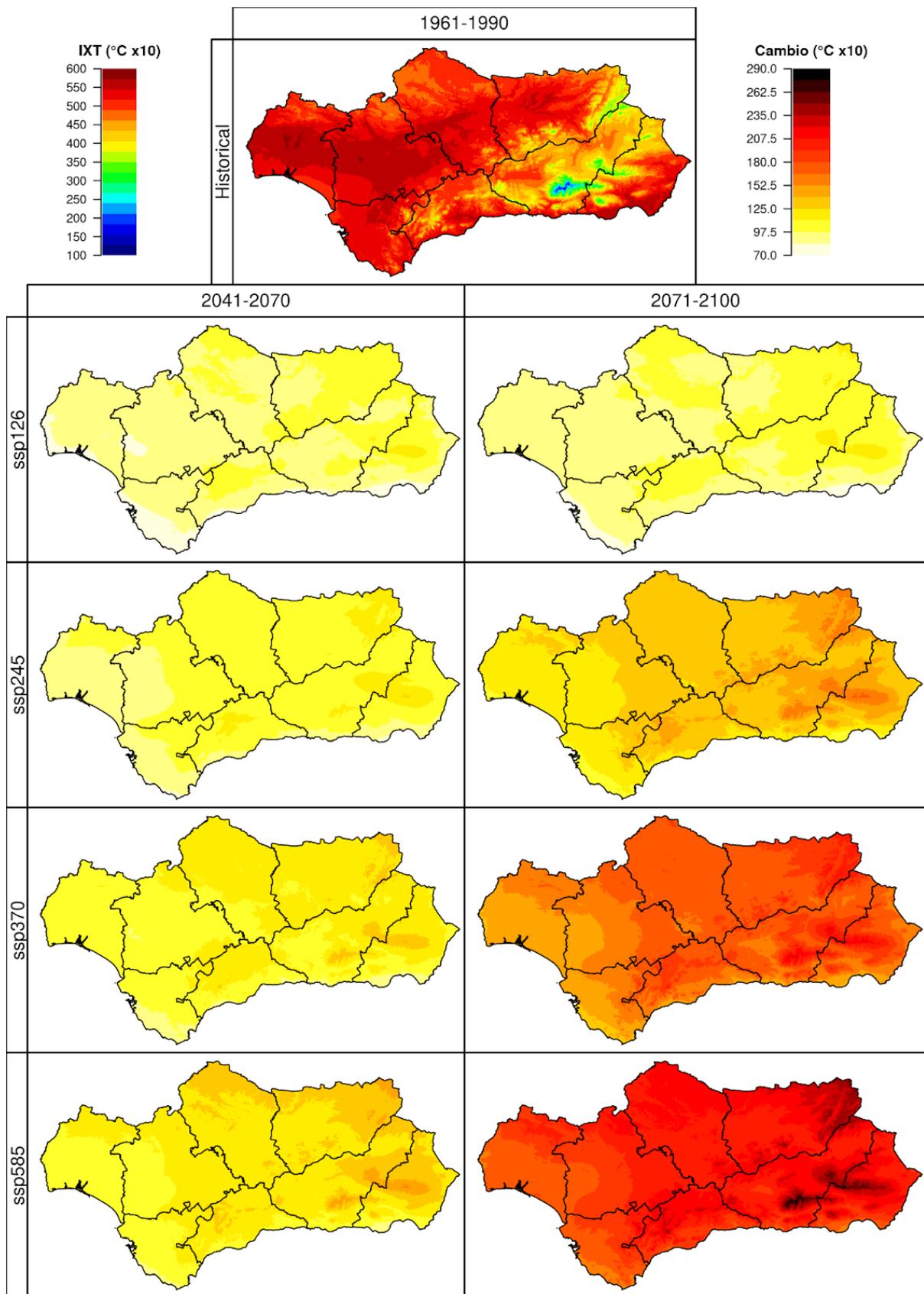


Figura 16.1. Variaciones en el Índice de Termicidad, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

17. ÍNDICE DE TERMICIDAD COMPENSADO

El índice de termicidad compensado se define como el índice de termicidad con un factor de ponderación agregado, ya que en ocasiones el índice de termicidad por sí solo no es capaz de ajustarse bien a climas extratropicales debido a un ‘exceso de frío’ en regiones de latitudes medias o altas. Esta ponderación considera si región de estudio tiene un carácter hipoceánico o continental para efectuar la corrección.

- Para mediados de siglo (2041-2070) los escenarios más sostenibles (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) proyectan aumentos de entre 75 y 125 daC (1 daC= 1°Cx10), mostrando el escenario *mitad de camino* una horquilla de 100 a 125 daC sustancialmente mayor que el primer escenario. Los escenarios más desfavorables proyectan aumentos de entre 100 y 130°daC en el caso del de *rivalidad regional* (SSP3-7.0), y de entre 100 y 150 daC en el caso del escenario *impulsado por combustibles fósiles* (SSP5-8.5).
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario sostenible (SSP1-2.6) prevé ligeros ascensos frente a su propia proyección para mediados de siglo, moviéndose en un rango de entre 75 y 125°daC; el escenario *mitad de camino* (SSP2-4.5) por su parte proyecta un cambio de entre 120 y 190°daC; el escenario de *rivalidad regional* (SSP3-7.0) de entre 130 y 210°daC; por último el escenario más pesimista (SSP5-8.5) muestra un cambio de entre 175 hasta 270°daC.

Si empleamos una combinación de los modelos intermedios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 se observa una tasa de cambio para mediados de siglo de entre 80 y 140 daC, y de entre 125 y 220 daC para finales del mismo.

Al igual que en el índice de termicidad simple, la mayor tasa de cambio se registra en las provincias orientales y en las regiones más montañosas, siendo menor en el litoral y en el tercio oeste, gracias a la influencia y la propia inercia climática del océano Atlántico.

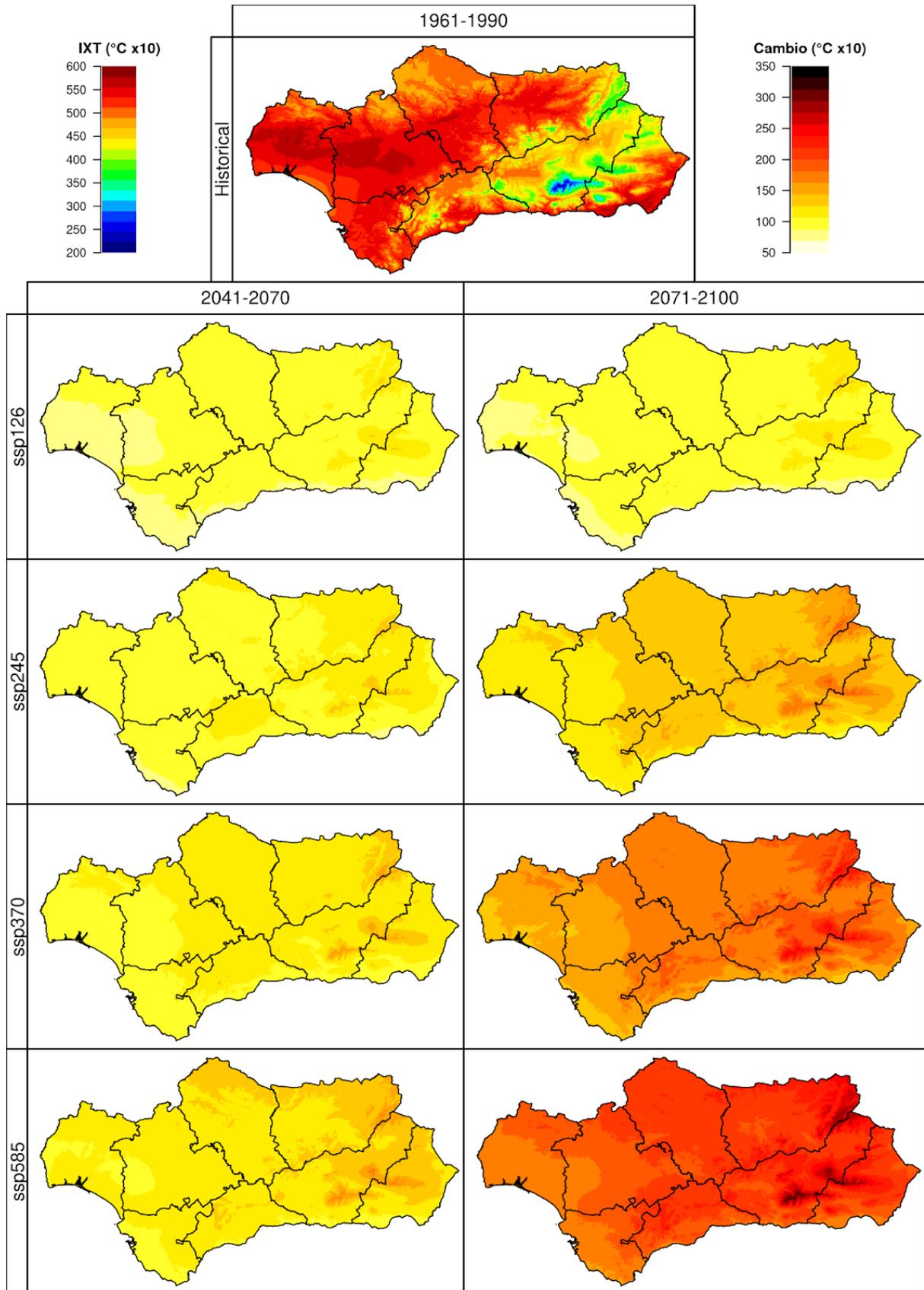


Figura 17.1. Variaciones en el Índice de Termicidad Compensado, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

18. TEMPERATURA MEDIA DEL MES MÁS CÁLIDO

Andalucía es una de las regiones más cálidas de la Europa continental. En este estudio se ha analizado la tendencia de la temperatura media del mes más cálido. Es interesante recordar que en la gran mayoría de la comunidad andaluza ese mes se corresponde con Julio, a excepción de las regiones litorales, especialmente de la vertiente mediterránea y del Estrecho donde Agosto es el más caluroso, pero que así y todo el mes más caluroso dependerá del año considerado (tanto a pasado como a futuro) y del punto en que realizamos el estudio. Las temperaturas medias para el mes canicular - en el período de referencia - superan ampliamente los 25°C en gran parte de la cuenca del Guadalquivir, así como en las comarcas internas onubenses y en los valles prelitorales almerienses, siendo máximo en la campiña de Córdoba y Jaén, con más de 27°C de media. Hay que ascender por encima de los 2000 metros sobre el nivel del mar para encontrar una temperatura media inferior a 20°C.

- Para mediados de siglo (2041-2070) el escenario más sostenible SSP1-2.6 estima un aumento de entre 3 y 5°C de temperatura media para Julio. El escenario SSP2-4.5 aumenta el calentamiento hasta los 5.5°C. El escenario regional SSP3-7.0 comprende un aumento de entre 3.5 hasta los 6°C. Por su parte, el escenario menos optimista prevé aumentos de entre 4 y 7°C.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario SSP1-2.6 no estima un aumento de temperatura con respecto a su misma proyección de mediados de siglo - entre 3 y 5°C frente al período de referencia - por su parte, el escenario mitad de camino SSP2-4.5 prevé aumentos de entre 4 y 7°C, elevándose en el caso del escenario SSP3-7.0 hasta los 9°C. El escenario más catastrófico observa aumentos de entre 6 y 12°C.

Estimando los escenarios intermedios SSP2-4.5 y SSP3-7.0 como los más probables, supondría para mediados de siglo una temperatura media en la horquilla de los 30 a 33°C en el valle del Guadalquivir y regiones interiores de Huelva y Almería; de entre 26 y 28°C en el litoral (mayor en el caso del litoral almeriense), y entre los 18 a 24°C en regiones de montaña que se corresponden con una distribución respectiva entre los 13 y 19°C del período climatológico de referencia (1961-1990). A finales de siglo y considerando los mismos escenarios, dichas áreas pasarían a registrar temperaturas medias de entre 31 y 35°C, 27-31°C y 19-26°C correspondientemente. En este sentido, las temperaturas medias del mes más cálido de la campiña se asemejarían al que podemos encontrar en el interior de Arizona (EE.UU) en Julio; las del litoral a las que podríamos ver en Hanoi (Vietnam) durante el verano, y las de alta montaña - por encima de 1500 msnm - a las que se dan en Madrid, empleando como base de las comparativas sus respectivos climas a comienzos del siglo XXI.

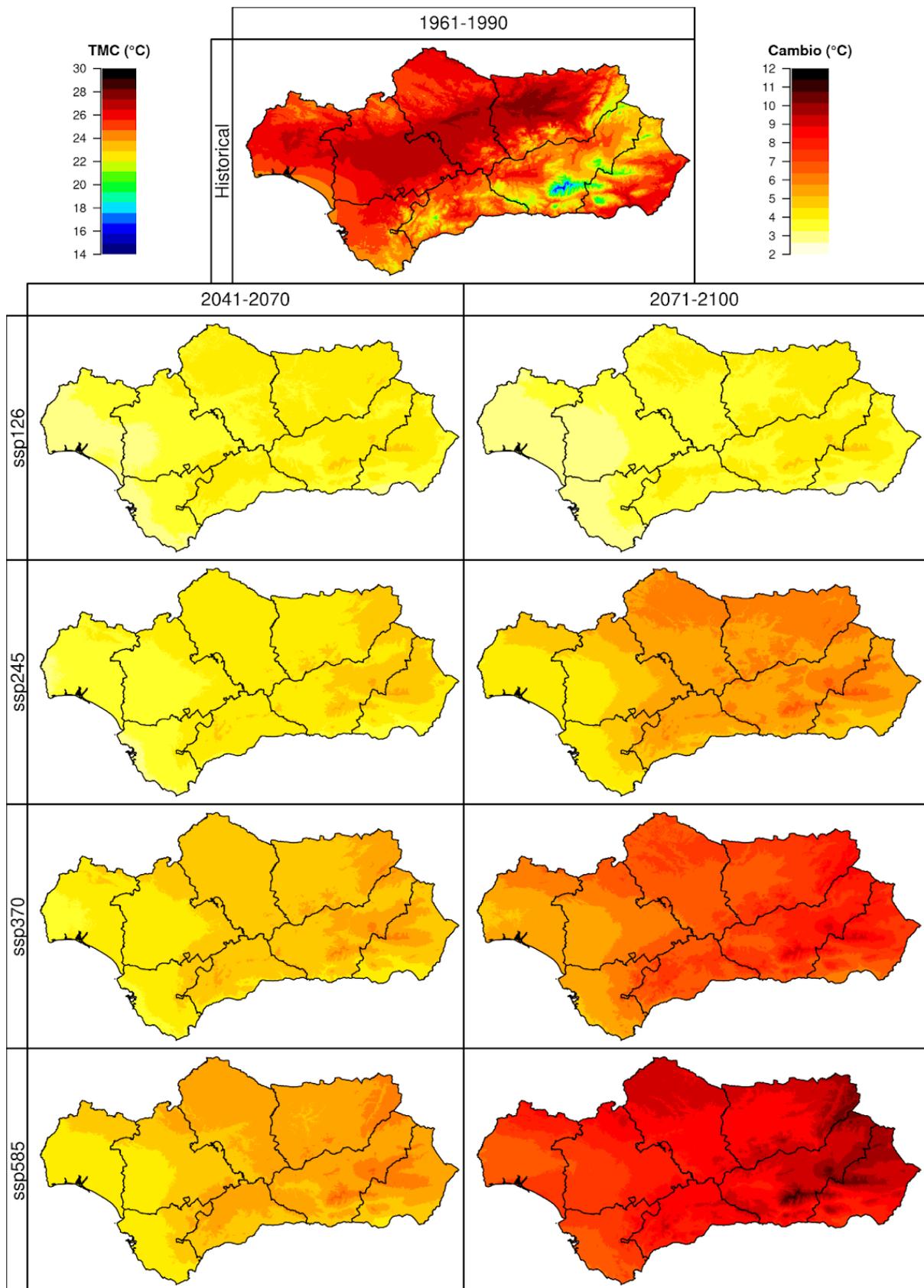


Figura 18.1. Variaciones en la temperatura media del mes más cálido, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

19. TEMPERATURA MEDIA DEL MES MÁS FRÍO

En cuanto a la temperatura media del mes más frío (que en Andalucía suele ser el mes de Enero, aunque dependerá del año considerado, tanto a pasado como a futuro, y del punto en que realizamos el estudio), ésta es mínima en las regiones montañosas de Sierra Nevada, Baza y Cazorla, con medias inferiores a 0°C por encima de los 2000 metros durante el período de referencia. En contraste, el litoral y especialmente el mediterráneo es la región con medias más elevadas (superiores a 11°C) gracias a la dominancia de vientos de poniente durante este mes.

- Para mediados de siglo (2041-2070) el escenario más sostenible proyecta aumentos de entre 2 y 3°C; en el escenario *mitad de camino* de entre 2 y 3.5°C, quedando relegada la subida más baja a la costa gaditana; mientras, los escenarios más pesimistas auguran un ascenso de entre 2.5 y 4°C, llegando a ser más extremo paradójicamente el escenario de *rivalidad regional*, con picos de ascenso en Sierra Nevada y Sierra de Baza superiores al peor escenario, aunque en conjunto este último sería más cálido por extensión.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario más optimista prevé pocos cambios - en el entorno de 0.5°C - respecto a la predicción para mitad de siglo con un calentamiento de entre 2 y 3°C. El escenario *mitad de camino* eleva este cambio al segmento comprendido entre los 2.5 y los 4°C. Los escenarios más desfavorables proyectan variaciones a gran escala de entre 3.5 a 5.5°C, alcanzando localmente los 6 a 7°C en puntos elevados de Sierra Nevada y Baza.

Con estos cambios y suponiendo los escenarios más probables (SSP2-4.5)(SSP3-7.0) se traduciría en finalizar el siglo con temperaturas de 13 a 15°C de media en el litoral; de entre 10 y 15°C en gran parte del interior - no montañoso - y con medias positivas (>0°C) en regiones de alta montaña.

Esto se reflejaría notablemente en los índices bioclimáticos tanto para vegetación como para la fauna local y la capacidad que especies relicto del bioma eurosiberiano que habitan en la alta montaña para poder adaptarse a un clima más cálido y competir contra especies que anteriormente habitaban a menor altitud o en latitudes inferiores.

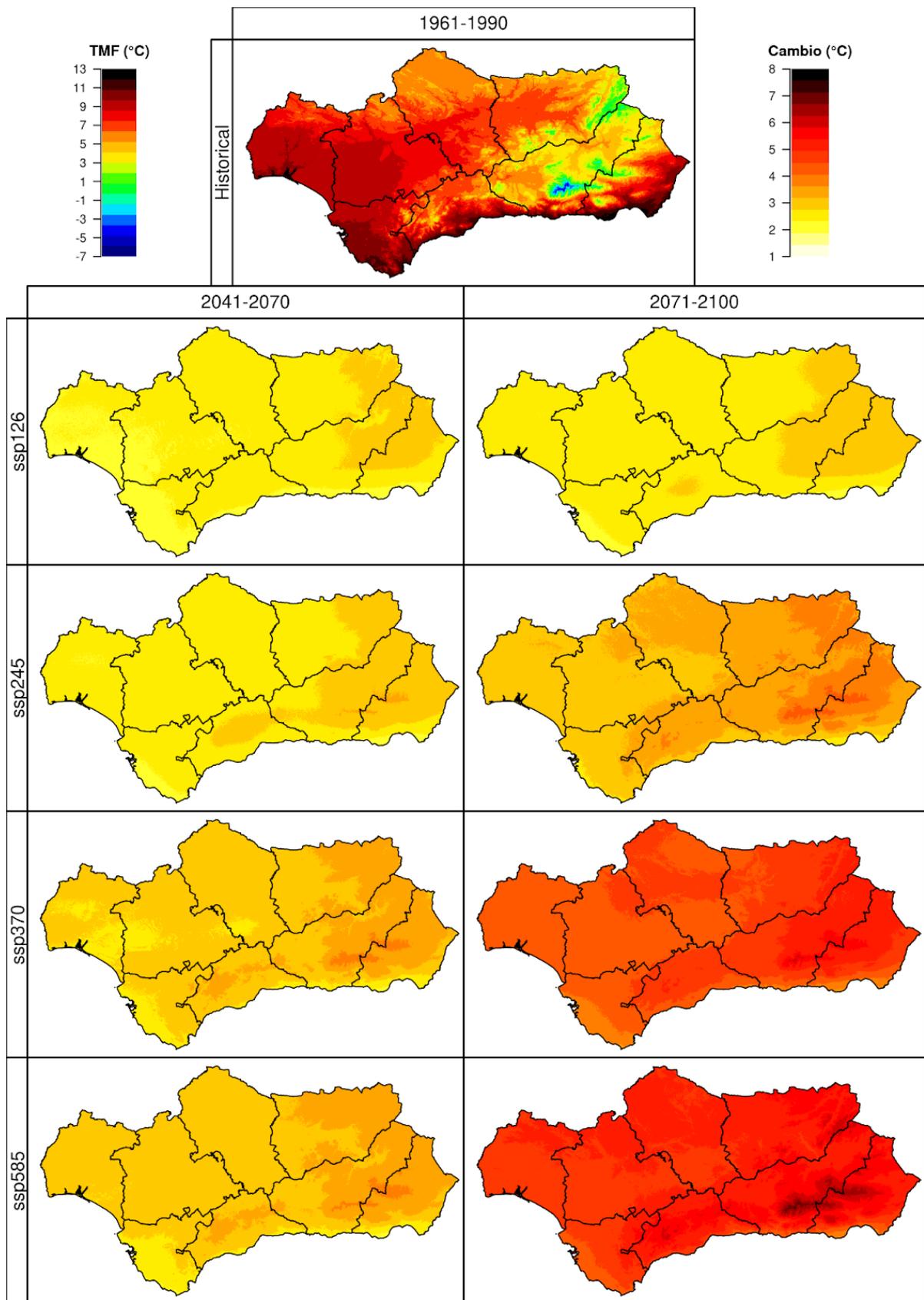


Figura 19.1. Variaciones en la temperatura media del mes más frío, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

20. TEMPERATURA MEDIA DE LAS MÍNIMAS DEL MES MÁS FRÍO

Las temperaturas mínimas del mes más frío suponen un marcador bioclimático para la flora y fauna locales. De esta forma existen índices - como el zonas de rusticidad - que consideran las temperaturas mínimas y/o los grados de frío acumulados por la vegetación, entre otras variables, para determinar si una especie es apta o no para su cultivo en una región dada.

En Andalucía las regiones internas por encima de 500 msnm cuentan con temperaturas mínimas medias por debajo del punto de congelación durante Enero. A medida que descendemos por el valle del Guadalquivir, así como por otras cuencas como las del Tinto, Odiel, Guadalhorce o Andarax encontramos un aumento de las temperaturas mínimas de forma inversamente proporcional a la altura - sin despreciar las inversiones térmicas que puedan existir como en el Parque Nacional de Doñana o que puntualmente puedan darse en condiciones sinópticas en las que exista estabilidad como en el río Guadix o Genil - siendo máxima en la costa mediterránea con más de 7°C en gran parte del litoral, favorecidos por el viento de norte y oeste que sopla durante gran parte del invierno en la región (como por ejemplo el viento terral) y que posee una componente catabática.

- Para mediados de siglo (2041-2070) el escenario más sostenible SSP1-2.6 estima un calentamiento de entre 2 a 2.75°C, el escenario mitad de camino SSP2-4.5 entre 2.5 y 3°C. Los escenarios más duros SSP3-7.0 y SSP5-8.5 prevén un ascenso 2.5 y 3.5°C, siendo el escenario basado en combustibles fósiles más cálido pero menos extremo que el escenario de rivalidad regional, donde se prevé un mayor aumento en las temperaturas de las cordilleras Penibéticas.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario SSP1-2.6 estima una continuidad en el calentamiento, alcanzando el rango de 2.5 a 3°C, el escenario SSP2-4.5 eleva esa horquilla hasta los 2.75 a 4°C. El escenario de *rivalidad regional* SSP3-7.0 por su parte prevé un aumento de entre 3.75 hasta 5.5°C. El escenario más severo SSP5-8.5 establece un calentamiento de entre 3.75 y 6°C.

De esta forma, la región más expuesta al aumento de las temperaturas mínimas durante el mes de Enero es la alta montaña, que alcanza las mayores altitudes en la región penibética, seguido de las serranías como Sierra Morena y áreas de la campiña del Guadalquivir; por el contrario, los menores valores de ascenso se darían en regiones litorales poco expuestas a vientos catabáticos, así como regiones internas propensas a inversiones térmicas especialmente del Surco Intrabético como puede ser la depresión de Granada o las Hoyas de Guadix o Baza. Así pues, considerando los escenarios más probables SSP2-4.5 y SSP3-7.0 para mediados de siglo cabe esperar temperaturas medias mínimas de entre 8 y 11°C en el litoral mediterráneo; entre 4 y 6°C en gran parte de las vegas bajas del Guadalquivir, Tinto-Odiel o Guadalete-Barbate; y entre -3 y 2°C en gran parte de las regiones montañosas por encima de 600 msnm. Para final de siglo dichas áreas pasarían a tener medias mínimas de entre 9°C y 12°C, 5°C a 7°C y -1 a 4°C respectivamente.

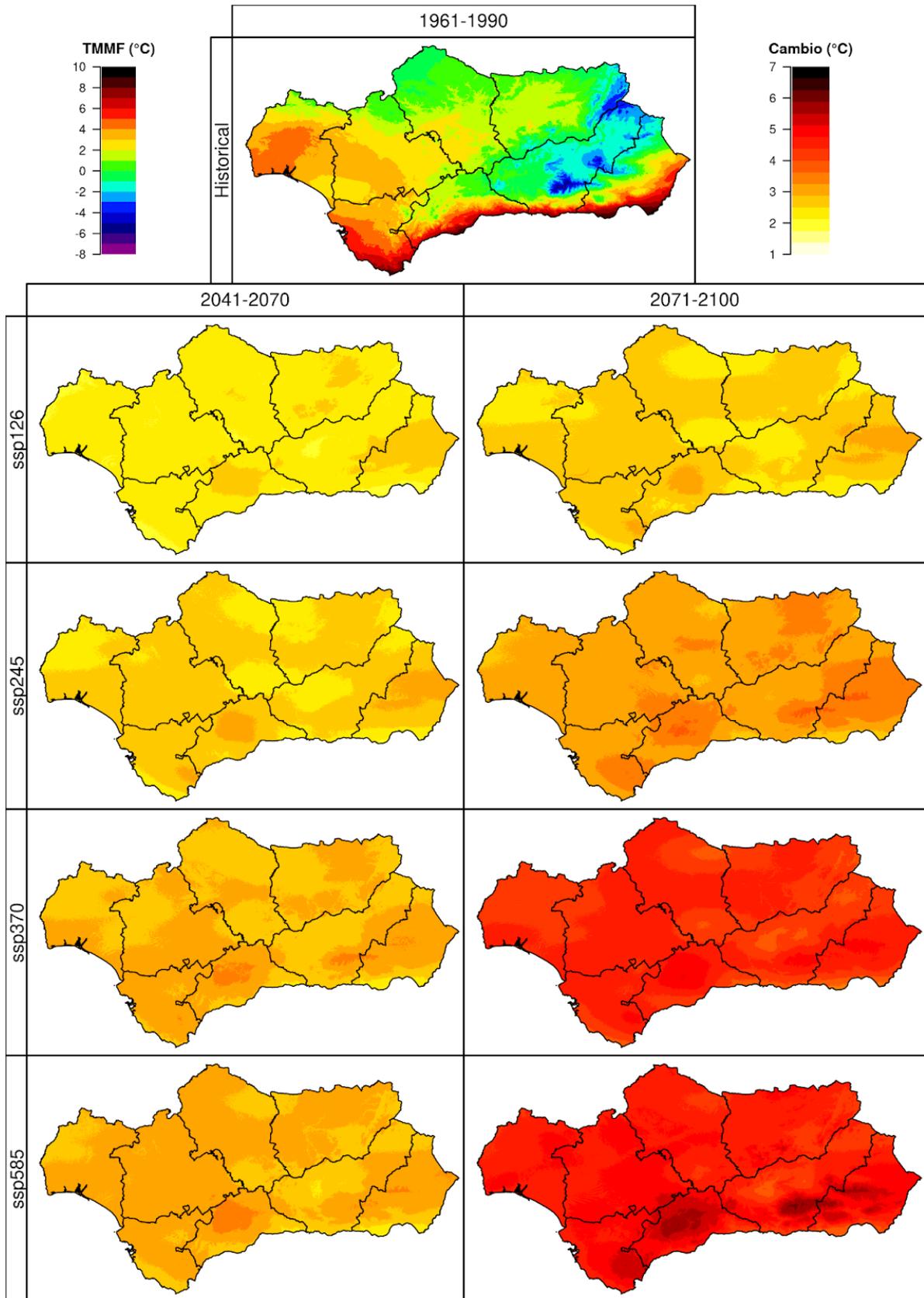


Figura 20.1. Variaciones en la temperatura media de las mínimas del mes más frío, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

21. TEMPERATURA MEDIA DE LAS MÁXIMAS DEL MES MÁS CÁLIDO

De forma análoga a las áreas de rusticidad, la temperatura media de las máximas del mes más cálido - Julio para Andalucía - representa un marcador para determinar junto con otras variables (como son las *horas frío* o la precipitación) la capacidad de adaptación de una especie vegetal a un clima dado.

Como se ha mencionado con anterioridad la distribución de temperaturas máximas sigue un patrón determinado tanto por la altitud como por el aislamiento respecto al mar. De modo que la campiña jienense y cordobesa alcanzan los 36°C de media, frente a los 30°C del litoral onubense y gaditano, los 28°C de gran parte del litoral mediterráneo, o los poco más de 20°C de las cumbres de Sierra Nevada.

- Para mediados de siglo (2041-2070) el escenario más sostenible SSP1-2.6 estima un calentamiento de entre 3 a 5°C; el SSP2-4.5 un aumento comprendido entre los 3 y los 6°C. Por su parte los escenarios más pesimistas pronostican una elevación de entre 4 y 8.5°C en el peor de los casos, para mediados de siglo.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario SSP1-2.6 no prevé un calentamiento con respecto a su propia estimación para mediados de siglo XXI, manteniéndose un cambio de 3 a 5°C frente a la climatología base. El resto de escenarios sin embargo sí proyectan una continuidad en el ascenso de las temperaturas, así el escenario *mitad de camino* establece una subida de entre 4 y 8°C; el SSP3-7.0 de entre 5 y 8°C; el SSP5-8.5 por último pronostica un aumento comprendido entre los 6 y los 13°C.

De esta forma las regiones montañosas y las áreas más alejadas del océano Atlántico son las peor paradas ante la subida de las temperaturas máximas. En este caso, las regiones de Sierra Nevada, sierra de Baza o Cazorla-Segura-Las Villas podrían experimentar temperaturas cercanas a los 25°C (a más de 2000 msnm) a mediados de siglo, y entre 26 y 30°C a final del mismo. Por otro lado, las principales depresiones que en la climatología experimentan máximas de entre 32 y 36°C, alcanzarían a mitad de siglo el rango de 36 a 40°C y a finales de entre 37 y 43°C. El desigual calentamiento del mar implica un aumento más lento en las regiones litoral de la comunidad, especialmente de la cuenca atlántica, a pesar de que las principales surgencias frías se encuentren actualmente en el área del Estrecho, de la costa del sol y tropical, estas sufrirán de acuerdo a la mayoría de escenarios un mayor calentamiento que el golfo de Cádiz. Por tanto la costa atlántica podría pasar de los 30°C de la climatología base a los 33°C de mitad de siglo, y entre los 34 y 37°C a final del mismo. La costa mediterránea cuenta con una distribución de temperaturas más compleja debido a la peculiaridad de la orografía y las corrientes marítimas, sin embargo estimando una temperatura máxima media de 27.5°C en la climatología base, a mediados de siglo los escenarios prevén un ascenso hasta los 30-32°C, alcanzando la horquilla de 31-35°C en el último tercio de siglo.

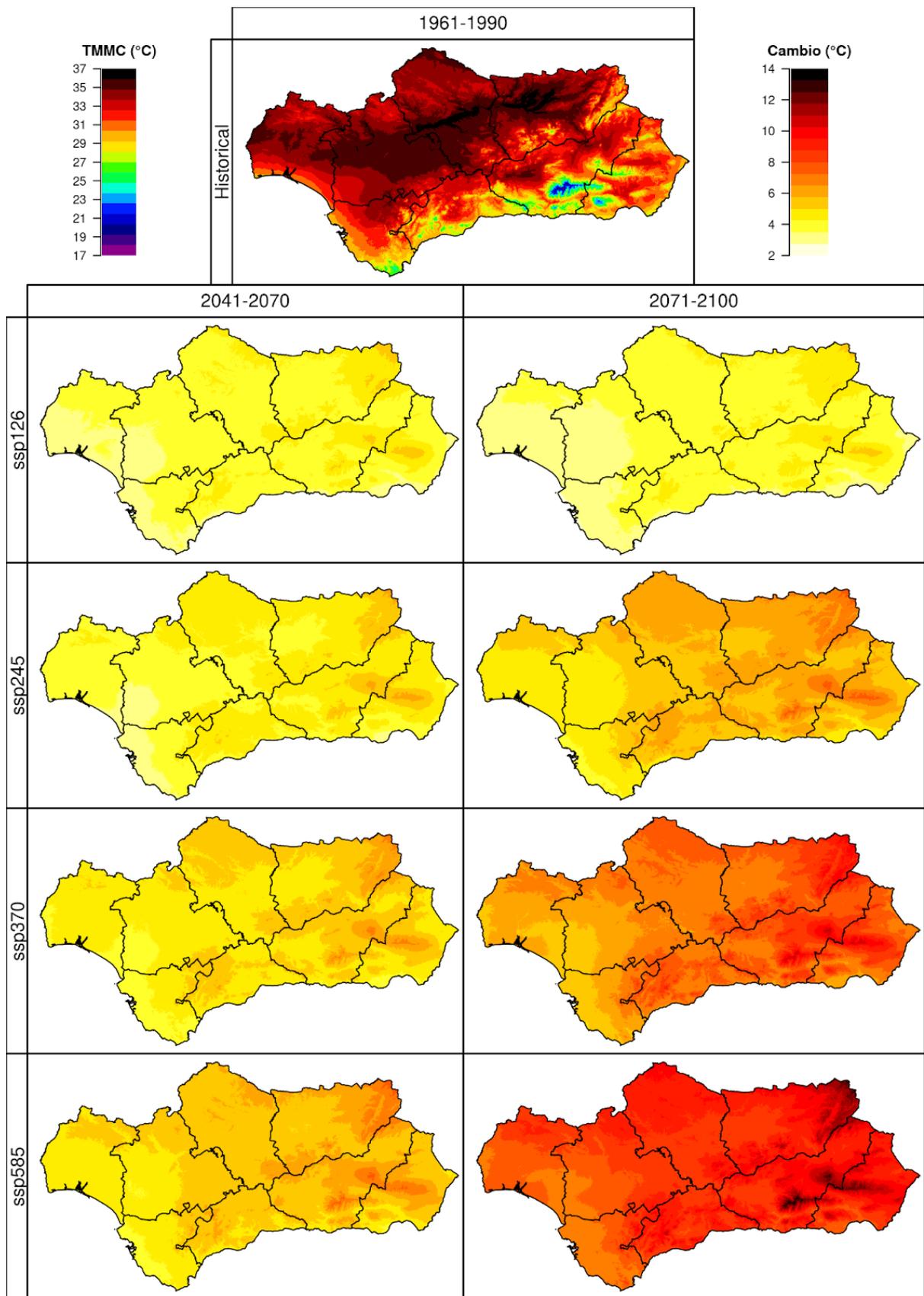


Figura 21.1. Variaciones en la temperatura media de las máximas del mes más cálido, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

22. INDICE OMBROTÉRMICO

El Índice Ombrotérmico (IO) es uno de los muchos indicadores que relacionan parámetros meteorológicos, en este caso precipitación y temperatura, con el fin de ayudar a establecer una relación entre vegetación y clima, una clasificación bioclimática. El IO relaciona la lluvia y la temperatura sólo en aquellos meses donde ambos tienen un valor positivo (>0), creando un escenario propicio para el desarrollo y crecimiento de la vegetación. Se mide en mm/°C y toma valores en Andalucía normalmente entre 0 y 10 (de tipo hiperárido a húmedo).

Los resultados para el periodo Historical muestran claramente aquellas zonas de condiciones húmedas y las que padecen condiciones más áridas. Las zonas de valores más altos, entre **6 y 10** (tipo **húmedo**), se restringen a las cumbres más altas y húmedas (Nevada, Cazorla-Segura, Mágina y Ronda-Nieves), zonas con pocos meses con temperaturas positivas (y bajas), coincidentes con acumulados de lluvia relativamente abundantes (primavera y otoño). Las zonas de valores medios, entre **4 y 6** (tipo **subhúmedo**), se extienden a las laderas de dichos relieves previos, a otros también de entidad como las Sierras de Loja y Tejada, Gádor, Baza o Arana, y a otros de altura media como Sierra Morena (particularmente Aracena y Sierra Norte de Sevilla), Sierra de Cabra, y el Campo de Gibraltar; zonas con precipitaciones abundantes pero con temperaturas medias más elevadas. Las zonas con valores muy bajos, de **0 a 2** (tipo **árido-semiárido**), se extienden por toda la provincia de Almería (salvo cumbres) y las Hoyas de Guadix y Baza, zonas con precipitaciones muy bajas y todo el año con temperaturas positivas, y zonas puntuales de carácter muy cálido, como las campiñas del Guadalquivir. El resto de la región presenta valores bajos, de **2 a 4** (tipo **seco**), resultado de temperaturas medias elevadas todo el año y precipitaciones medias (400-600 mm).

En cuanto a los cambios futuros, referidos a escala anual, muestran de forma predominante **reducciones en el valor del IO en toda la región andaluza**, con débiles incrementos puntuales en cumbres de Sierra Nevada (que pueden estar asociados a la incorporación de más meses al cálculo por la subida de temperaturas, introduciendo meses de alta precipitación a su vez). Las reducciones en el IO concentran sus valores más altos allí donde se hallan las zonas más húmedas: Cazorla-Segura, Sierra Nevada, Ronda-Nieves y otras pequeñas cumbres. **Almería no experimenta cambios por sus ya bajos valores de base**. Así:

- Para mediados de siglo (2041-2070) en los SSP1-2.6 y SSP2-4.5 se esperan reducciones del IO sobre -1/-2 en las zonas de relieve, sin cambios significativos en zonas medias y bajas, y con incrementos de +1 en cumbres de Sierra Nevada. Para los SSP3-7.0 y SSP5-8.5 las reducciones se generalizan a toda la región, llegando a -2 en cumbres.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario SSP1-2.6 se mantiene similar, pero el resto marca reducciones notables, de -1/-1.5 generalizados, llegando a -4 en las zonas más húmedas, lo que equivaldría a pasar de tipos húmedos a subhúmedos o secos.

Se observa que con el avance de los años los tipos bioclimáticos marcados por el IO **tenderán a reducirse a tipos más áridos** asociados a menos lluvias y mayores temperaturas en todo el territorio, siendo el cambio severo en zonas de cumbre en los peores casos.

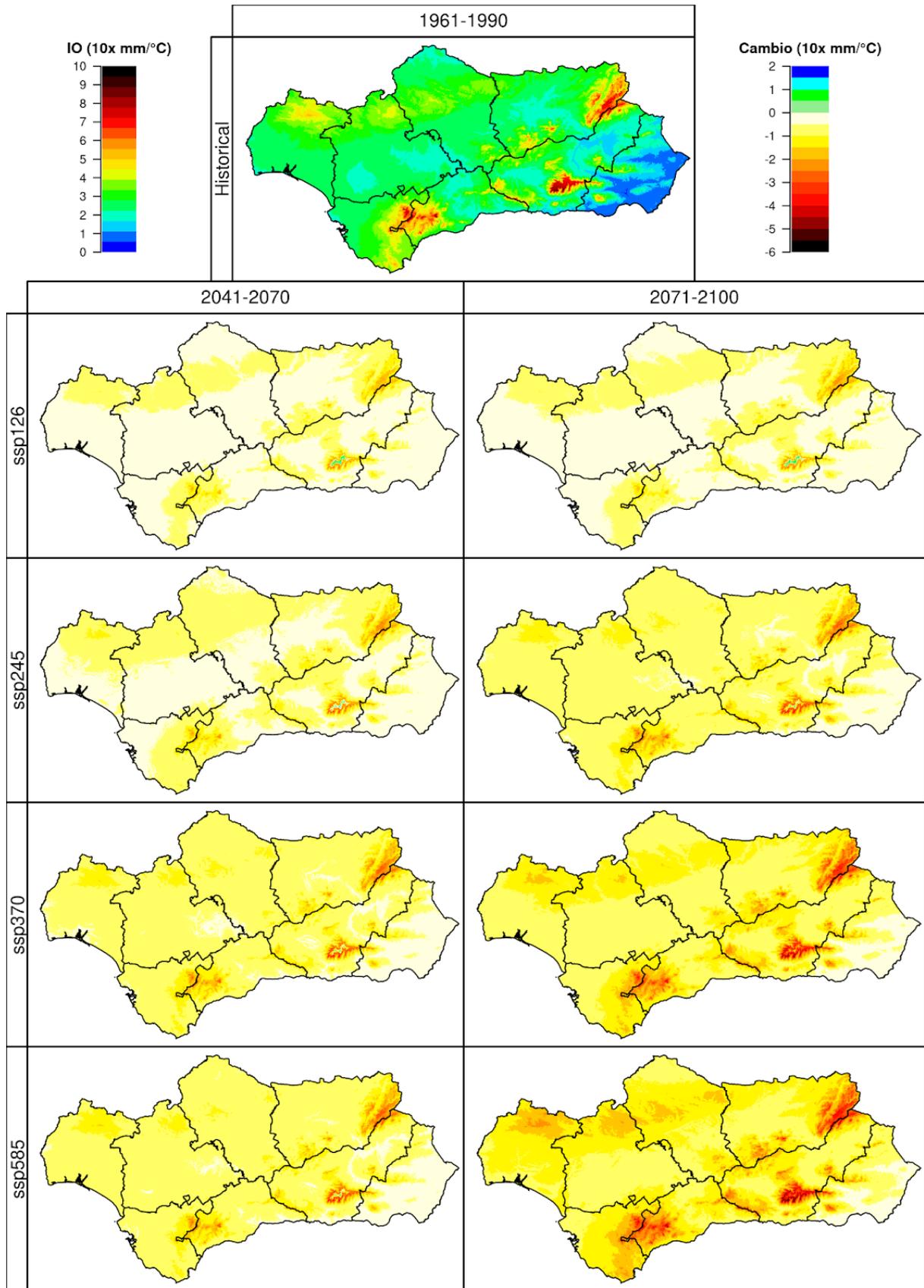


Figura 22.1. Variaciones en los valores del Índice Ombrotérmico (IO), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

23. CCH: VOTO MEDIO ESPERADO DIURNO Y NOCTURNO

El voto medio esperado es un índice que cuantifica el valor medio de los votos emitidos por un grupo numeroso de personas en cuanto a sensación térmica frente a una determinada situación. Este índice se expresa mediante una escala térmica de 7 niveles (desde -3 a +3), según la cual los valores iguales a 0 indican una sensación térmica neutra, por encima de 0 expresan sensación de calor y por debajo sensación de frío; así, cuanto mayor sea la puntuación en términos de valor absoluto, mayor sensación de calor o frío se experimenta.

Los resultados del voto medio esperado tanto diurno como nocturno a escala **anual** para la mediana del Historical indican que en todo el territorio andaluz los valores se encuentran por debajo de 0, expresando así una sensación térmica más bien fría. Debido a este resultado no esperado se ha realizado un estudio específico para identificar la raíz del mismo, encontrando una relación con los valores de dos de las variables de entrada con los que se calculan estos índices, además de que se debe tener en cuenta las limitaciones de aplicabilidad del método empleado, diseñado específicamente para ambientes de interior. Los resultados de este estudio pueden consultarse en el documento de descripción de las variables estudiadas en el que, además, se explica más detalladamente en qué consiste este índice y cómo se ha obtenido.

A pesar de que el rango de valores no es el esperado, pues no tiene sentido que en el territorio andaluz la sensación térmica media anual sea de frío, la distribución geográfica de los valores sí coincide con el resultado esperado, pues los valores más altos son alcanzados en las zonas de menor altitud, llanura y depresión mientras que los valores más bajos son alcanzados en las zonas situadas a mayor altitud. Esto ocurre tanto para los valores diurnos como para los nocturnos. Además, aunque el rango de valores del índice diurno alcance valores más negativos, la sensación térmica general del índice nocturno es más fría, en concordancia con el descenso de temperaturas.

Considerando las proyecciones futuras, en ambas variables se estima una tendencia de aumento para los valores del índice en un futuro, aumentos que corresponden con lo esperado teniendo en cuenta las sensaciones térmicas adecuadas para el periodo histórico en lugar de las obtenidas. Se observa que la tendencia de aumento es más ligera en los escenarios menos pesimistas y más pronunciada conforme más pesimista es el escenario de emisiones futuro y, a su vez, más pronunciada para los valores diurnos que para los nocturnos. Por otro lado, aunque no se observan grandes diferencias entre considerar un escenario de cambio u otro a mitad siglo, a finales del mismo sí se aprecian grandes diferencias entre ellos. Aunque este índice también depende de otras variables, este resultado concuerda con los cambios ya explicados en temperatura máxima y mínima para el futuro (Índices 2 y 3). Cabe destacar que la distribución de los aumentos es bastante homogénea temporalmente. Además, mientras que para el caso nocturno los aumentos se dan de forma generalizada para todo el territorio, para el caso diurno los mayores aumentos se concentran en determinadas zonas de sierra: Sierra

Morena, Sierra de las Nieves, Sierra Nevada, Sierra de Baza y Sierras de Cazorla, Segura y Las Villas. Así:

- A mediados de siglo, para el para el voto medio esperado diurno, se estiman incrementos de entre 0.21.6 y 1, predominando en el escenario menos catastrófico los incrementos de entre 0.4 y 0.6 y en el más catastrófico entre 0.5 y 0.75. Como se ha mencionado anteriormente, con los mayores aumentos en las zonas de sierra. Por otro lado, para el índice nocturno se estiman incrementos de entre 0.25 y 0.75, predominando en el SSP1-2.6 el incremento de entre 0.35 y 0.5 y en el SSP5-8.5 de entre 0.6 y 0.75.
- A finales de siglo, para el índice diurno los incrementos oscilan entre 0.2 y 1.6, de forma que en el escenario menos catastrófico los incrementos predominantes son de entre 0.4 y 0.6 (como a mediados de siglo en el mismo escenario) y de entre 1 y 1.4 para el más catastrófico; de nuevo, con los mayores aumentos localizados en las zonas de sierra en todos los casos. Para el índice nocturno, los aumentos son de entre 0.2 y 1.1, predominando el aumento de entre 0.35 y 0.5 para el SSP1-2.6 (de nuevo como a mediados de siglo en el mismo escenario) y de entre 0.8 y 1 para el SSP5-8.5, con valores superiores a 1 localizados en la región de Almargen-Antequera (Málaga), Sierra Nevada y Sierra de Baza.

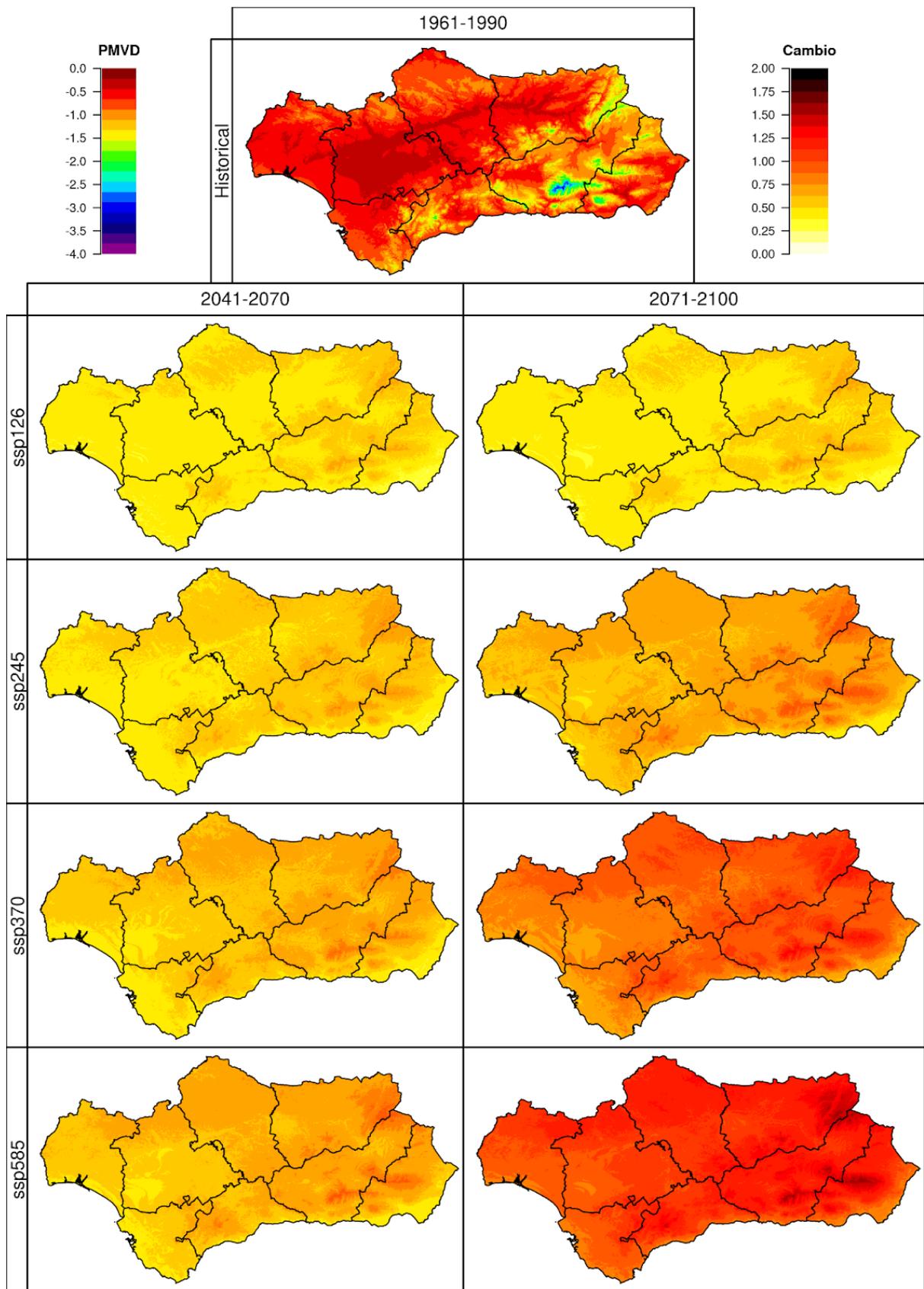


Figura 23.1. Incremento del promedio anual del voto medio esperado diario, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

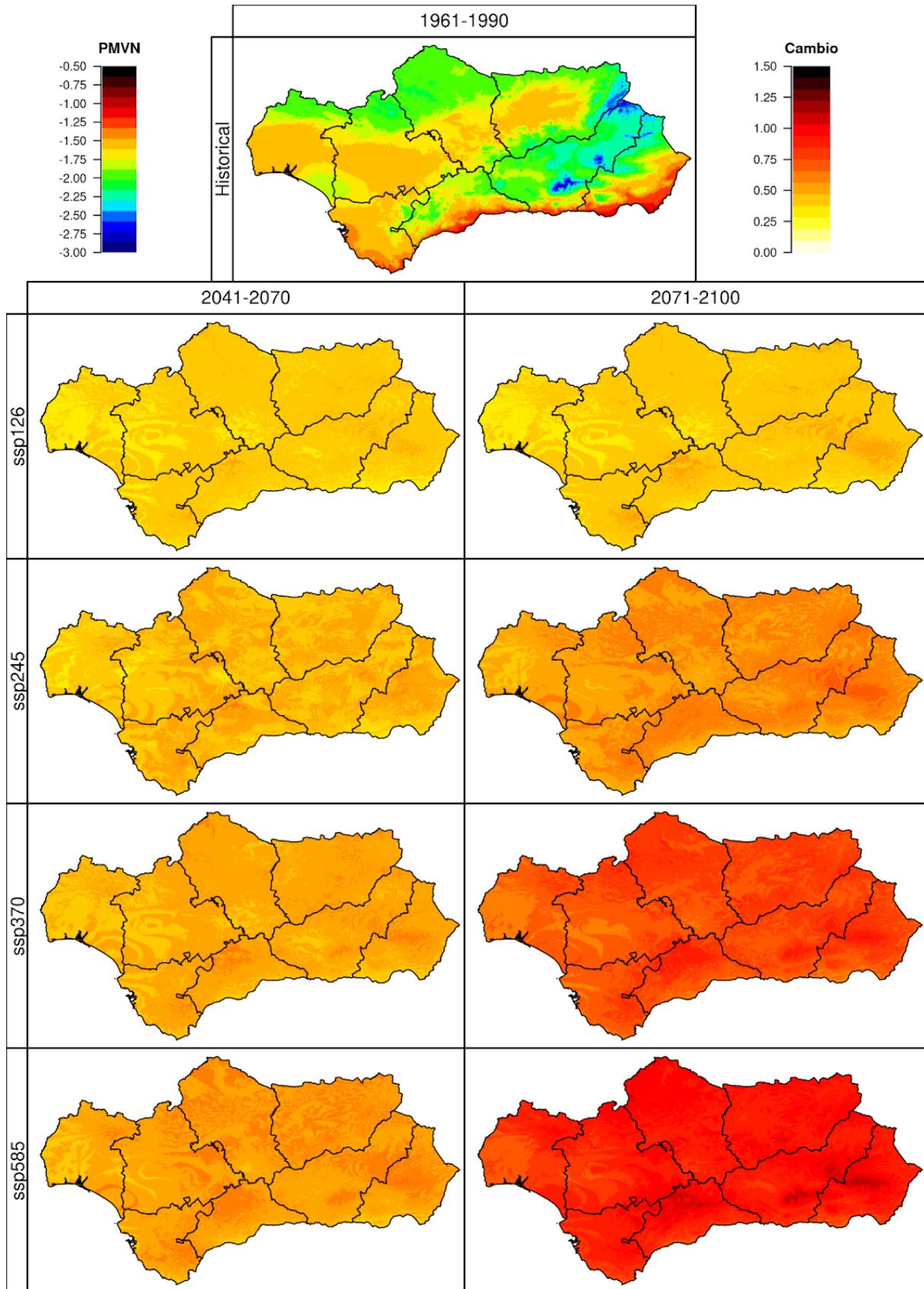


Figura 23.2. Incremento del promedio anual del voto medio esperado nocturno, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

24. CCH: ÍNDICE DE INSATISFACCIÓN ESPERADO DIURNO Y NOCTURNO

El índice de insatisfacción esperado es un índice que corresponde con el porcentaje de personas insatisfechas en el entorno térmico evaluado, es dependiente del voto medio esperado y complementa la información proporcionada por el mismo. Supone siempre un mínimo del 5% de personas insatisfechas.

Los resultados obtenidos para el índice de insatisfacción esperado tanto diurno como nocturno a escala **anual** para la mediana del Historical indican que en todo el territorio andaluz los valores más altos se obtienen por lo general para las localizaciones situadas a mayor altitud, donde las temperaturas son menores que en el resto del territorio. Este resultado no corresponde con lo esperado, pues en un caso realista se obtendrían porcentajes de insatisfacción térmica tanto en las localizaciones donde la temperatura máxima media anual sea mayor -especialmente en el caso del índice diurno, donde la temperatura corresponde con la temperatura máxima diaria- como en las localizaciones donde la temperatura mínima media anual sea menor -especialmente en el caso del índice nocturno, donde la temperatura corresponde con la temperatura mínima diaria-. Así pues, aunque los resultados no cuadran con lo esperado, sí son coherentes con los resultados obtenidos por el voto medio esperado al ser un índice derivado de esa variable: sólo se obtienen sensaciones térmicas correspondientes a una sensación casi neutra o fría en todo el territorio tanto en el caso diurno como en el nocturno, por ello el porcentaje de personas insatisfechas térmicamente sólo muestra porcentajes haciendo referencia a la sensación de frío, siendo además esta sensación de frío exagerada debido a la infraestimación del índice de sensación térmica. Por otro lado y debido a lo comentado, la distribución geográfica de los valores tampoco es la esperada, pues se esperarían porcentajes más altos en las zonas de Andalucía en las que se alcanzan los mayores valores de temperatura de todo el territorio, como por ejemplo la depresión del Guadalquivir. Cabe destacar que los valores máximos alcanzados de porcentaje de insatisfacción son demasiado altos debido a que el voto medio esperado en esas zonas es de valores negativos cercanos o inferiores a -3, indicando una sensación térmica de mucho frío, generando por lo tanto un gran porcentaje de personas insatisfechas.

Considerando las proyecciones futuras, en ambas variables se observan evoluciones distintas para el índice diurno y nocturno. Para el índice diurno se observan regiones en las que hay un incremento en el porcentaje de personas insatisfechas de hasta el 50% y regiones en las que hay un descenso de hasta el -90%. Así:

- A mediados de siglo, se observan ligeras diferencias entre los distintos escenarios, de forma que en el SSP5-8.5 son mayores las áreas de los valores más altos en valor absoluto, tanto en aumento como en disminución del porcentaje de insatisfacción en el momento en el que la temperatura alcanza su valor máximo. En el escenario menos catastrófico la horquilla de valores va desde un aumento de hasta un +20% hasta un descenso de hasta el -50%, mientras que en el más catastrófico desde +20% hasta -70%. El patrón que muestra el resultado es lógico teniendo en cuenta los resultado

obtenidos para el periodo histórico y el aumento esperado en la temperatura máxima, pues en las zonas de valle y climáticamente más cálidas se esperaría un aumento de la insatisfacción por calor, mientras que en las zonas situadas a mayor altitud se esperaría un descenso de la insatisfacción por frío. Cabe mencionar que en el caso realista la insatisfacción térmica aumentaría su porcentaje progresivamente en todo el territorio o incluso podría mantenerse constante en las zonas situadas a mayor altitud.

- A finales de siglo se acentúan las diferencias entre los valores máximos (en valor absoluto) alcanzados dentro de cada escenario. Por su parte, el patrón de aumento/disminución es muy similar al observado a mitad de siglo, con el aumento esperado de valores en los lugares situados a menor altitud y asociados a temperaturas máximas más altas y la disminución esperada en los lugares situados a mayor altitud. En el escenario menos catastrófico la horquilla de valores va desde un aumento de hasta un +20% hasta un descenso de hasta el -60% (con un patrón prácticamente idéntico al obtenido para mitad de siglo), mientras que en el más catastrófico desde +50% hasta -90%. De nuevo, este resultado sería coherente con los resultados obtenidos para el periodo histórico, pero es muy lejano de lo que se espera en realidad: un aumento acusado de la insatisfacción térmica en todo el territorio.

Por otro lado, para el índice nocturno se estima un descenso del porcentaje de personas insatisfechas en todo el territorio, de forma que el descenso es más acusado conforme más desfavorable es el SSP y más avanzado es el periodo futuro. Este resultado sería el esperado teniendo en cuenta los valores históricos obtenidos y la razón por la que estos aparecen, de forma que con el aumento esperado de la temperatura, la sensación térmica ya no será tan fría, si no más bien neutra o algo calurosa, descendiendo así el porcentaje de personas insatisfechas que había históricamente, que eran debidas únicamente a la sensación de frío. En este caso el porcentaje de personas insatisfechas por calor que van apareciendo nunca superaría a las insatisfechas por frío que había previamente, de ahí el descenso estimado. De nuevo, a pesar de resultar coherente con los valores históricos, se esperaría un aumento de la insatisfacción térmica a finales de siglo en las zonas en las que la temperatura mínima alcanza los valores más altos en el territorio andaluz; por otro lado, podrían esperarse disminuciones en aquellas zonas en las que la temperatura mínima alcanza valores muy bajos en el periodo histórico, pero estas serían la minoría.

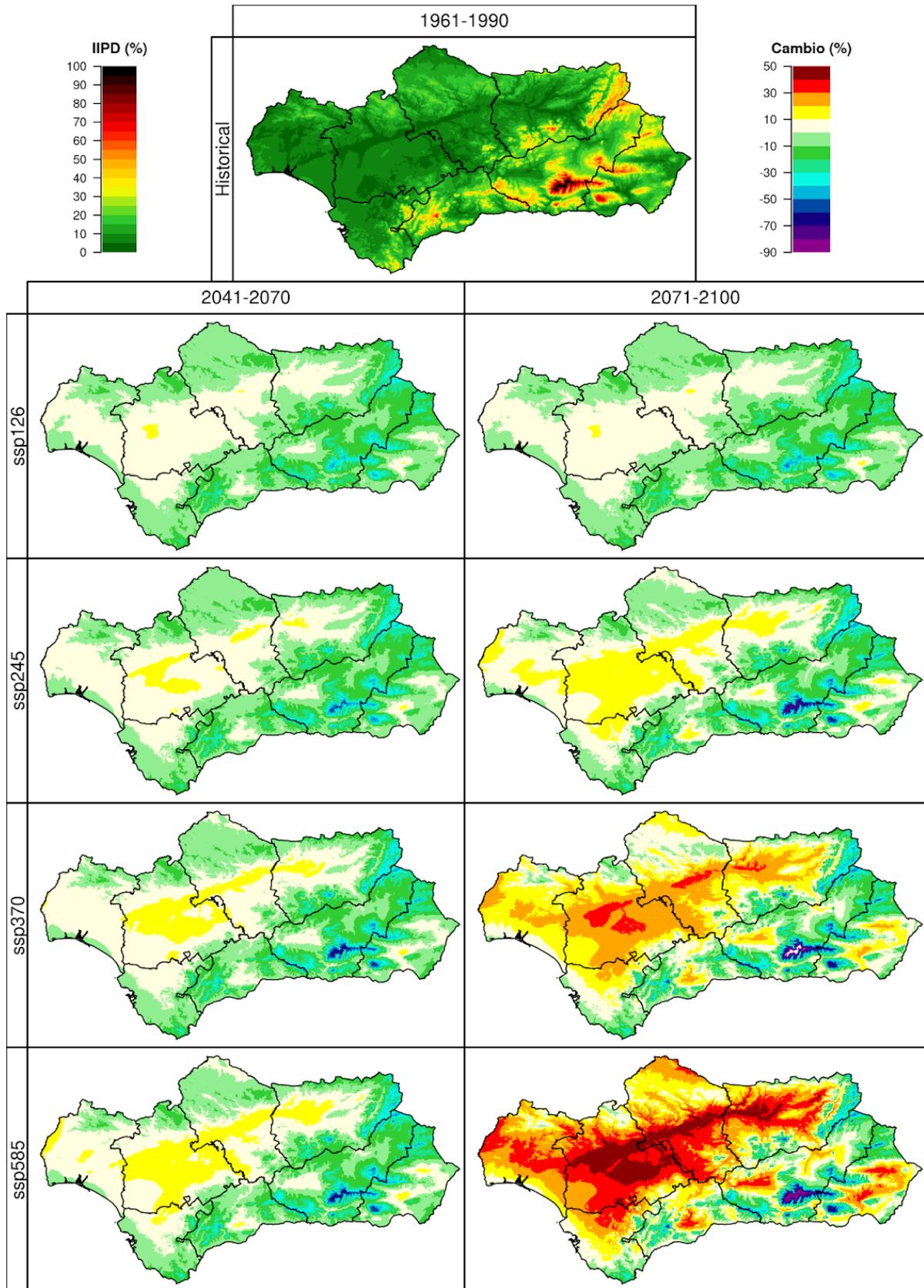


Figura 24.1. Incremento del promedio anual del índice de insatisfacción esperado diario, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

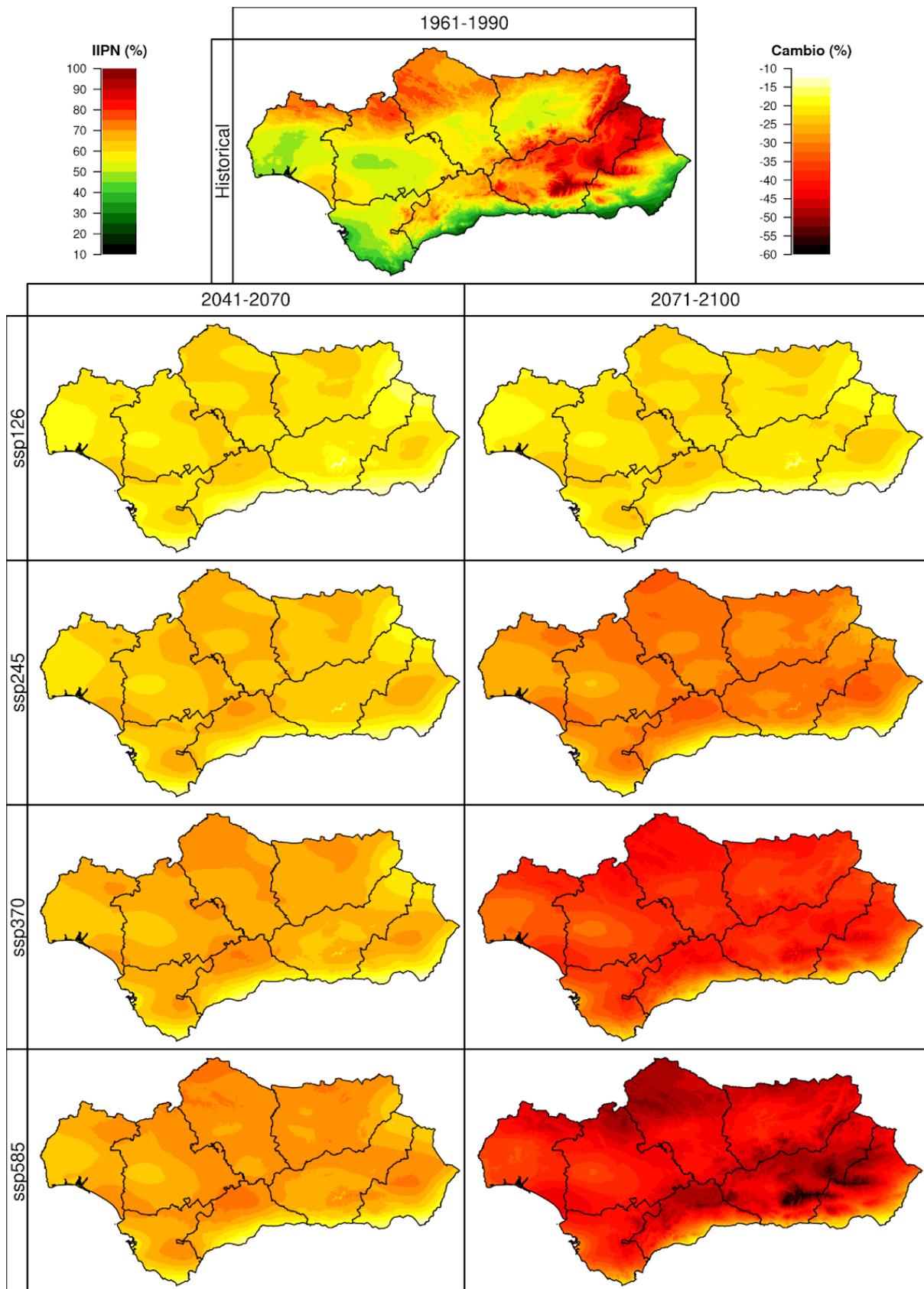


Figura 24.2. Incremento del promedio anual del índice de insatisfacción esperado nocturno, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

25. CCH: HORAS DE INSATISFACCIÓN ESPERADAS (51%) POR CALOR Y POR FRÍO

El índice de Horas de Insatisfacción Esperadas por calor y por frío indica el número de horas al día en las que más de un 51% de las personas se encuentran insatisfechas por sensación térmica de calor o frío. Este índice es obtenido mediante una metodología en desarrollo proporcionada por la Junta de Andalucía y es dependiente de los dos índices anteriores: voto medio esperado e índice de insatisfacción esperado, tanto valores diurnos (referidos a temperatura máxima diaria) como nocturnos (referidos a temperatura mínima diaria).

Los resultados obtenidos para el número de horas de insatisfacción esperadas por calor a escala **anual** para la mediana del Historical indican valores superiores a cero principalmente localizados en la mitad norte de las provincias de Andalucía, alcanzando los máximos valores en la depresión del Guadalquivir antes de alcanzar la desembocadura. También se aprecian valores superiores a cero en la Vega de Granada, la Hoya de Baza y el Campo de Níjar. El valor máximo alcanzado en el periodo histórico representado es de 1 hora diaria; este valor es coherente con los resultados obtenidos en los índices de los que depende, pues hay una importante subestimación en los valores del voto medio estimado, sobreestimando la sensación térmica por frío y, por lo tanto, indicando un porcentaje muy pequeño de personas insatisfechas durante el día (momento en el que se alcanza el valor máximo de temperatura diaria). Por otro lado, aunque el valor del resultado no corresponde con lo esperado -pues se deberían obtener un mayor número de horas de insatisfacción por calor-, la distribución espacial esperada de los valores sí corresponde con la obtenida.

Considerando las proyecciones futuras de esta misma variable, se observa una tendencia generalizada de incremento, siendo éste más acusado conforme más pesimista es el escenario en cuestión, de acuerdo con el aumento de temperaturas esperado para cada uno de ellos. Así:

- A mediados de siglo, el máximo valor de incremento es de hasta 1.75 horas en el escenario menos catastrófico y de hasta 2.25 horas en el más catastrófico. Los incrementos son generalizados por todo el territorio andaluz, de forma que los mayores incrementos coinciden con las regiones en las que climatológicamente los valores son mayores. Por otro lado, los menores incrementos coinciden con las regiones situadas a mayor altitud, donde las temperaturas alcanzan los menores valores.
- A finales de siglo se acentúan las diferencias de incrementos entre los distintos escenarios futuros. En el escenario menos pesimista el resultado es prácticamente idéntico al obtenido para mitad de siglo, con un máximo incremento de hasta 1.75, mientras que en el escenario más pesimista el incremento es de hasta 4 horas al día. Aunque en este caso los incrementos obtenidos son mucho mayores que a mediados de siglo, la distribución geográfica de los mayores y menores incrementos coincide con lo obtenido para mitad de siglo.

Los resultados obtenidos para el número de horas de insatisfacción esperadas por frío a escala **anual** para la mediana del Historical indican valores muy superiores a los obtenidos para la variable análoga para el calor, alcanzando un valor máximo de hasta 24 horas de insatisfacción por frío en Sierra Nevada. Este resultado extremadamente alto es consecuencia, como se ha comentado anteriormente, de la importante subestimación en los valores del voto medio estimado y de los resultados en cadena que estos producen. Aunque el rango de valores debería situar el máximo en un valor mucho menor al obtenido, la distribución espacial esperada sí corresponde con la obtenida, alcanzando los valores más altos en las regiones de sierra situadas a mayor altitud, mientras que en las zonas de grandes llanuras se alcanzan los mínimos.

Considerando las proyecciones futuras de esta misma variable, se observa una tendencia generalizada de descenso, de forma que este descenso es mayor conforme más pesimista es el escenario, de acuerdo con el aumento de temperaturas esperado. Así:

- A mediados de siglo, el máximo valor de descenso es de hasta -10.5 horas en el escenario menos catastrófico y de hasta -13.5 en el escenario más catastrófico. Los descensos son generalizados en todo el territorio andaluz aunque los más acusados coinciden con las zonas en las que los valores climatológicos eran superiores, es decir, con las zonas de sierra.
- A finales de siglo se acentúan los descensos en las zonas de sierra, mientras que en las zonas de llanura los valores se mantienen muy similares a los obtenidos para mitad de siglo. Así, los máximos descensos alcanzan valores de hasta -12 horas en el escenario menos catastrófico y de hasta -21 en el más catastrófico.

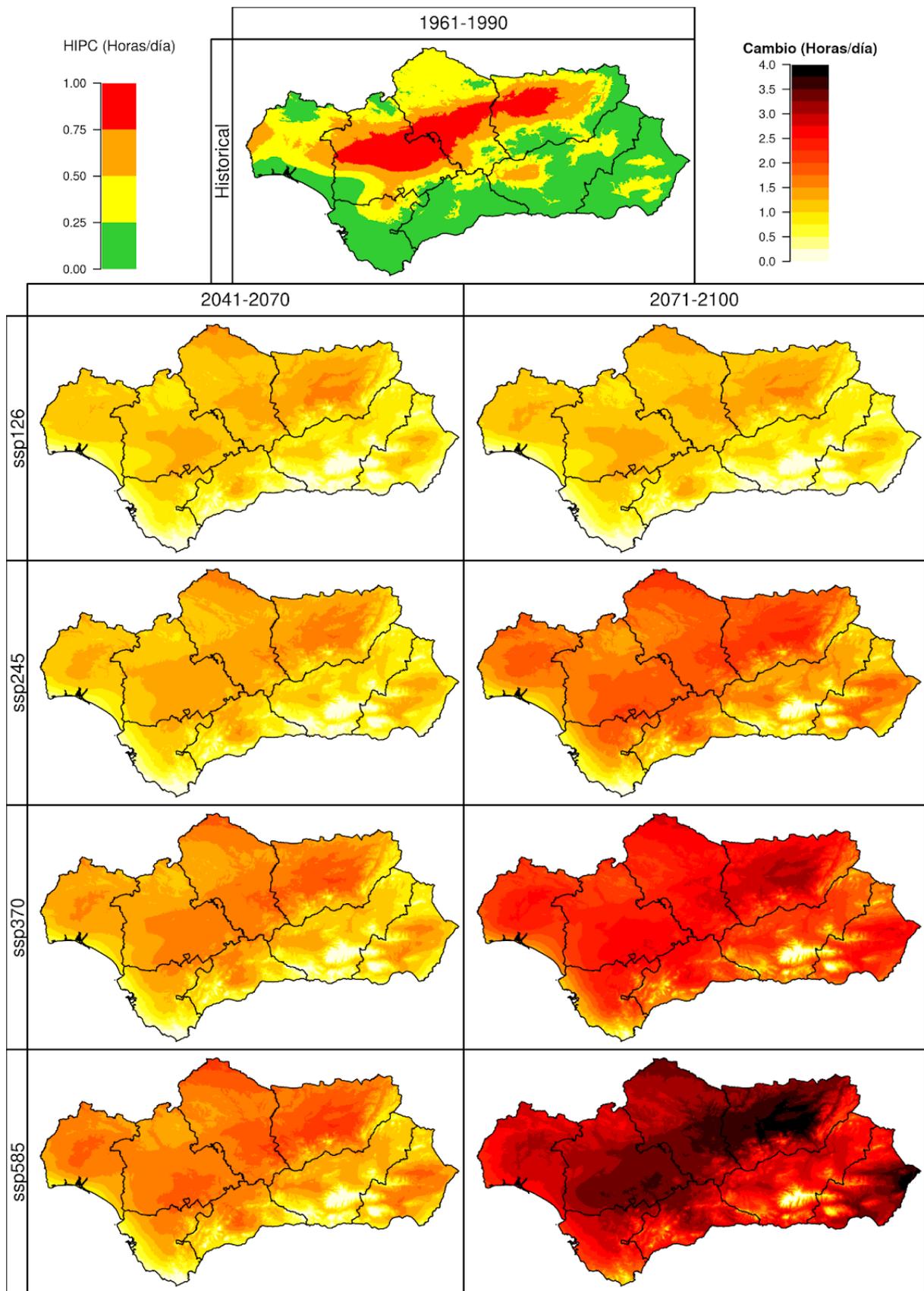


Figura 25.1. Incremento del promedio anual del número de horas de insatisfacción esperadas por calor, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

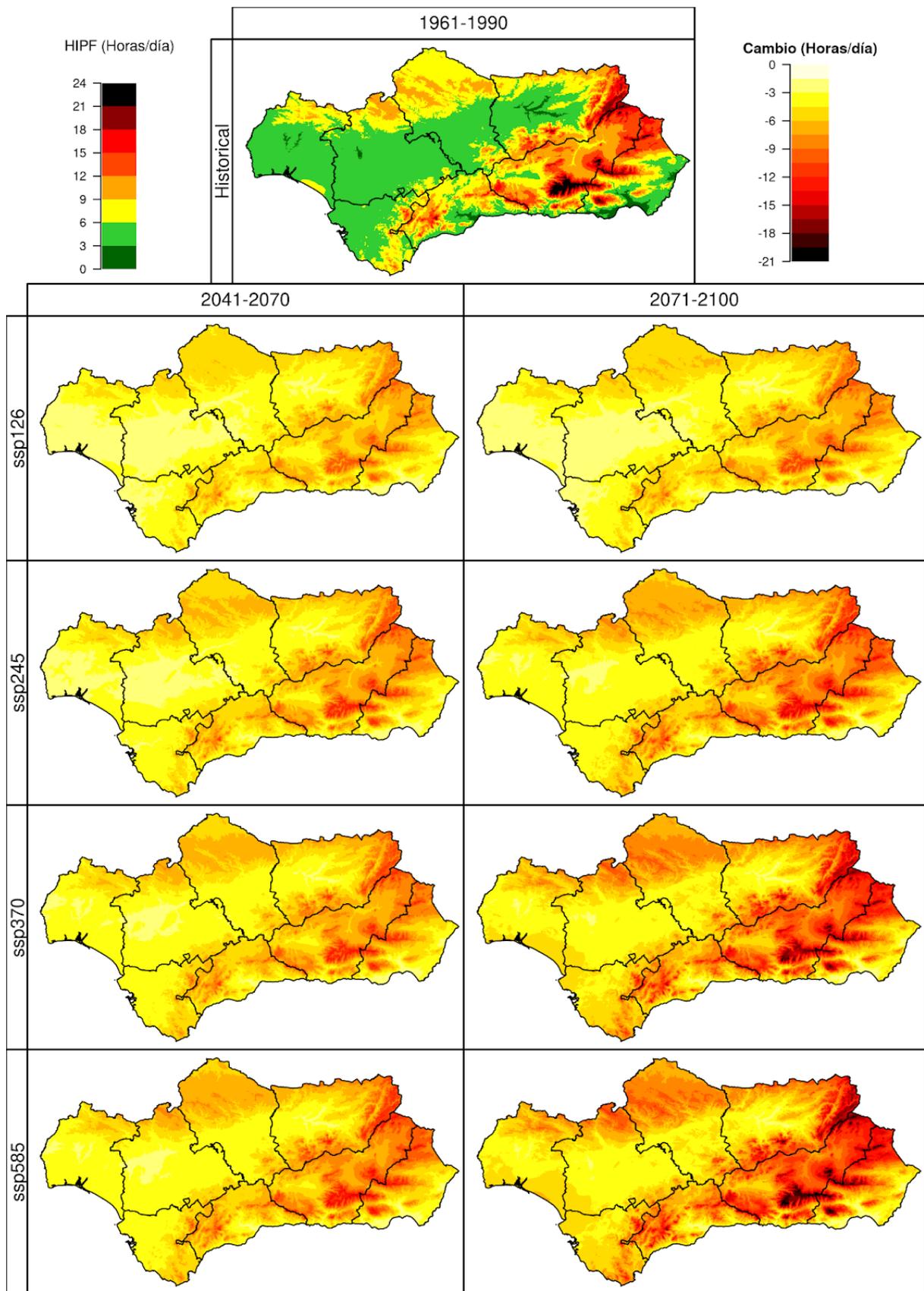


Figura 25.2. Incremento del promedio anual del número de horas de insatisfacción esperadas por frío, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

26. UNIDADES BIOCLIMÁTICAS

Las unidades bioclimáticas de Andalucía tienen como objetivo principal realizar una zonificación climática a partir de criterios fitoclimáticos. A partir de las variables Precipitación acumulada, Potencial fotosintético, temperatura media del mes más cálido y temperatura media del mes más frío, tras un proceso de clusterización con la metodología k-means, se obtuvieron 16 unidades bioclimáticas para la región de Andalucía que según criterio experto se adecuaba con la diversidad bioclimática andaluza.

En el período Historical es destacable observar que para cada una de las grandes regiones geográficas andaluzas (depresión del Guadalquivir, Sierra Morena, las cordilleras Béticas, el litoral atlántico y el litoral mediterráneo) se han caracterizado varias unidades bioclimáticas. Esta abundancia de diferentes unidades en las distintas regiones en el período Historical es destacable, al poder observarse a partir de las proyecciones que habrá un proceso marcado de homogeneización y reducción de diversidad en el futuro.

A mediados de siglo el cambio es notorio tanto en el número futuro de unidades bioclimáticas existentes como en su distribución espacial. Se puede observar en los diferentes horizontes temporales y escenarios, cómo en la cordillera Bética y en Sierra Morena se producirá una reducción drástica del espacio ocupado por los distintos tipos de unidades bioclimáticas propios de esa zona, manteniéndose reductos en zonas de alta montaña. A su vez, las unidades bioclimáticas pertenecientes al litoral atlántico y mediterráneo, experimentan también una reducción drástica de su distribución, siendo muy marcado el caso de la unidad del litoral atlántico, el cual desaparece. La única unidad bioclimática de litoral que no experimenta un retroceso marcado, sino al revés, tiene un proceso de expansión, es la que caracteriza la zona árida del sudeste de Andalucía. Como consecuencia del retroceso tanto de las unidades bioclimáticas de montañas y de litoral, los climas de la depresión Guadalquivir se expanden de manera marcada espacialmente. La drástica reducción de unidades bioclimáticas y homogeneización del territorio es marcada en todos los posibles escenarios.

A finales de siglo varía poco las unidades bioclimáticas con respecto a mediados, si bien destaca que en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 a finales de siglo son casi inexistentes los climas de montaña, incluso en las zonas de cotas más altas de la comunidad.

Es evidente la reducción en el número de unidades bioclimáticas y la expansión de aquellas pertenecientes al clima desértico del sudeste y a los del valle del Guadalquivir, en detrimento de aquellas pertenecientes a las zonas montañas y de litoral.

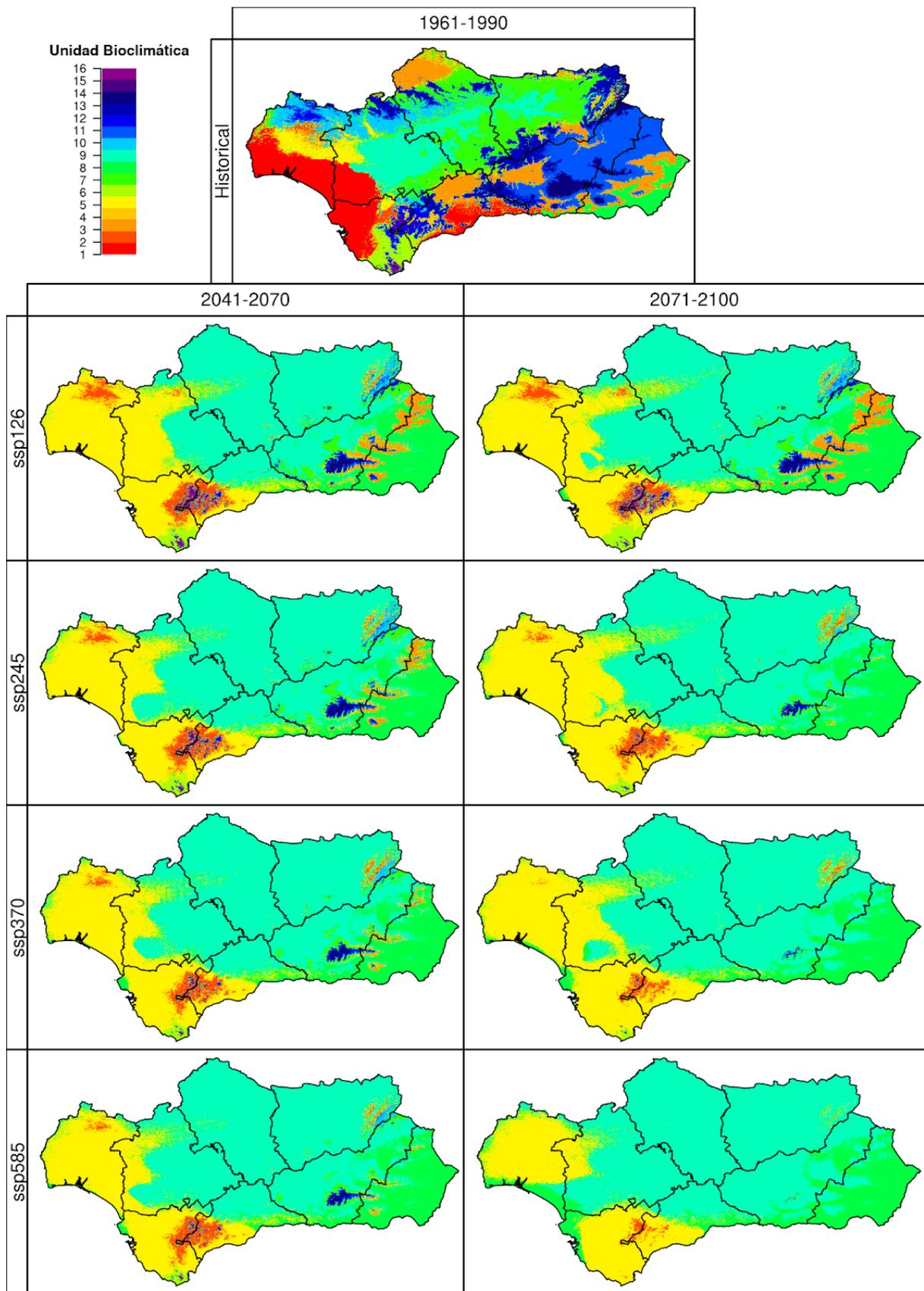


Figura 26.1. Evolución de las unidades bioclimáticas (UNBIO), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra el voto mayoritario de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

27. PINUS PINEA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Pinus pinea* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período Historical se puede observar que según Autoecología paramétrica, la potencialidad del *Pinus pinea* está muy extendida por toda la comunidad, estando restringida en zonas montañosas altas de las cordilleras Béticas y en zonas áridas. GAM regularizado muestra también un territorio extenso con idoneidad de presencia, estando restringida también en terrenos de climas áridos, en zonas montanas de las cordilleras Béticas y de la Serranía de Ronda. Ambas metodologías se adecúan a la distribución observada de la especie, si bien GAM ajusta como no idóneas reducidas poblaciones de las cordilleras Béticas.

A mitad de siglo, Autoecología paramétrica presenta la desaparición de idoneidad en las zonas bajas de Andalucía, refugiándose en las zonas montanas. En cambio GAM mantiene su idoneidad en toda la comunidad, además de expandirse a espacios de mayor altitud según el escenario.

A final de siglo, Autoecología paramétrica presenta una disminución de idoneidad en la cordillera Penibética, casi desapareciendo en el resto de espacios montanos. Al contrario, GAM mantiene gran parte de su idoneidad en la comunidad, disminuyendo según el escenario en el valle del Guadalquivir y en el litoral, y aumentando en las partes altas de la cordillera Subbética.

La metodología ensemble presenta amplias manchas del territorio donde no hay consenso de idoneidad entre algoritmos, tanto en territorios montanos como en el litoral.

Autoecología paramétrica muestra una tendencia de reducción del territorio altamente idóneo para la planta, mientras que GAM presenta el mantenimiento de áreas idóneas en el futuro, dándose una expansión en zonas montanas de las cordilleras Béticas y un retroceso a finales de siglo en el litoral. Según lo mostrado por todos las metodologías, parece mantenerse *Pinus pinea* en una extensa parte del territorio montano, si bien existe incertidumbre en los resultados obtenidos, por lo que sería necesario un estudio en mayor profundidad de la planta.

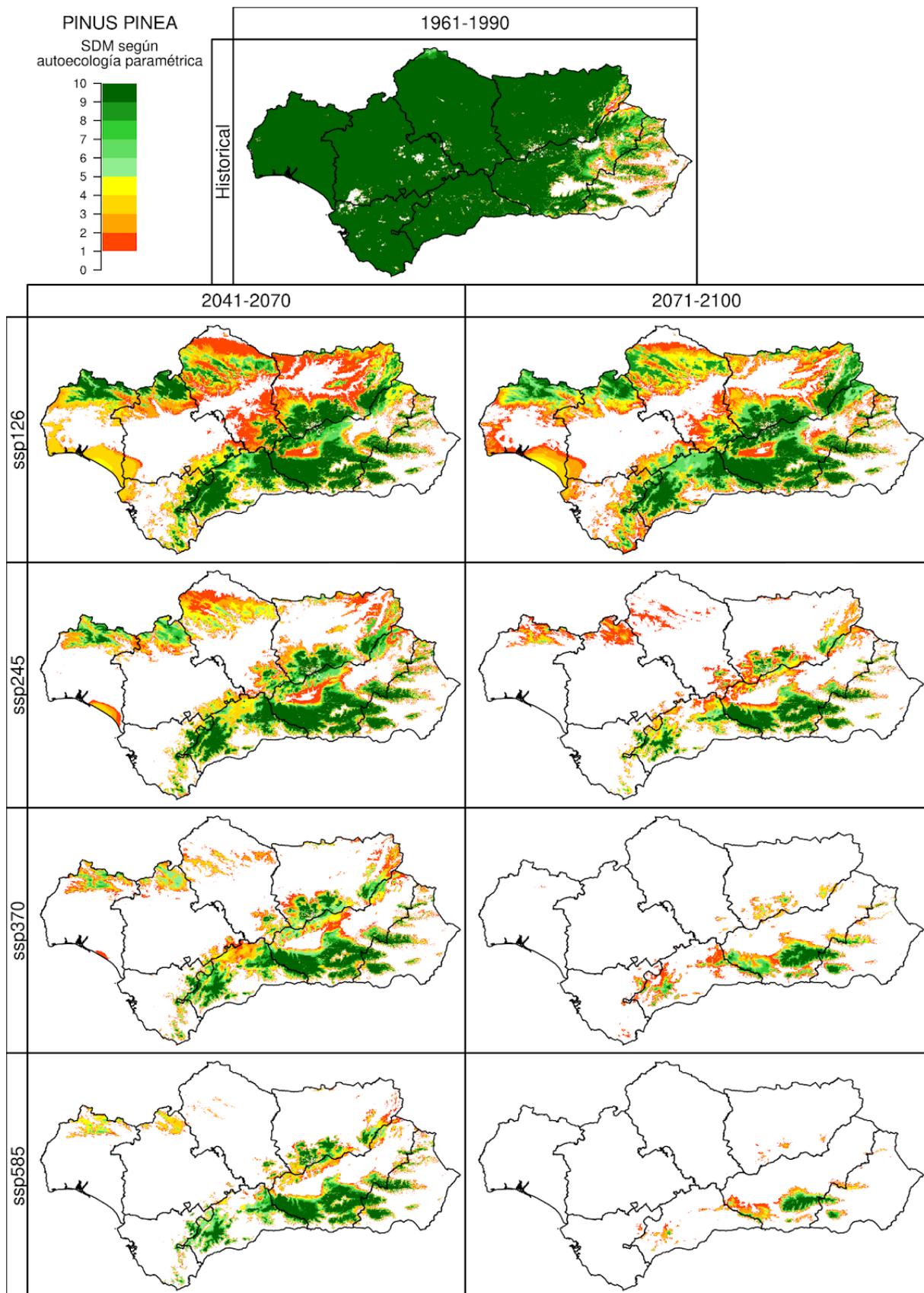


Figura 27.1. Índice de potencialidad de *Pinus pinea* (PPINEA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

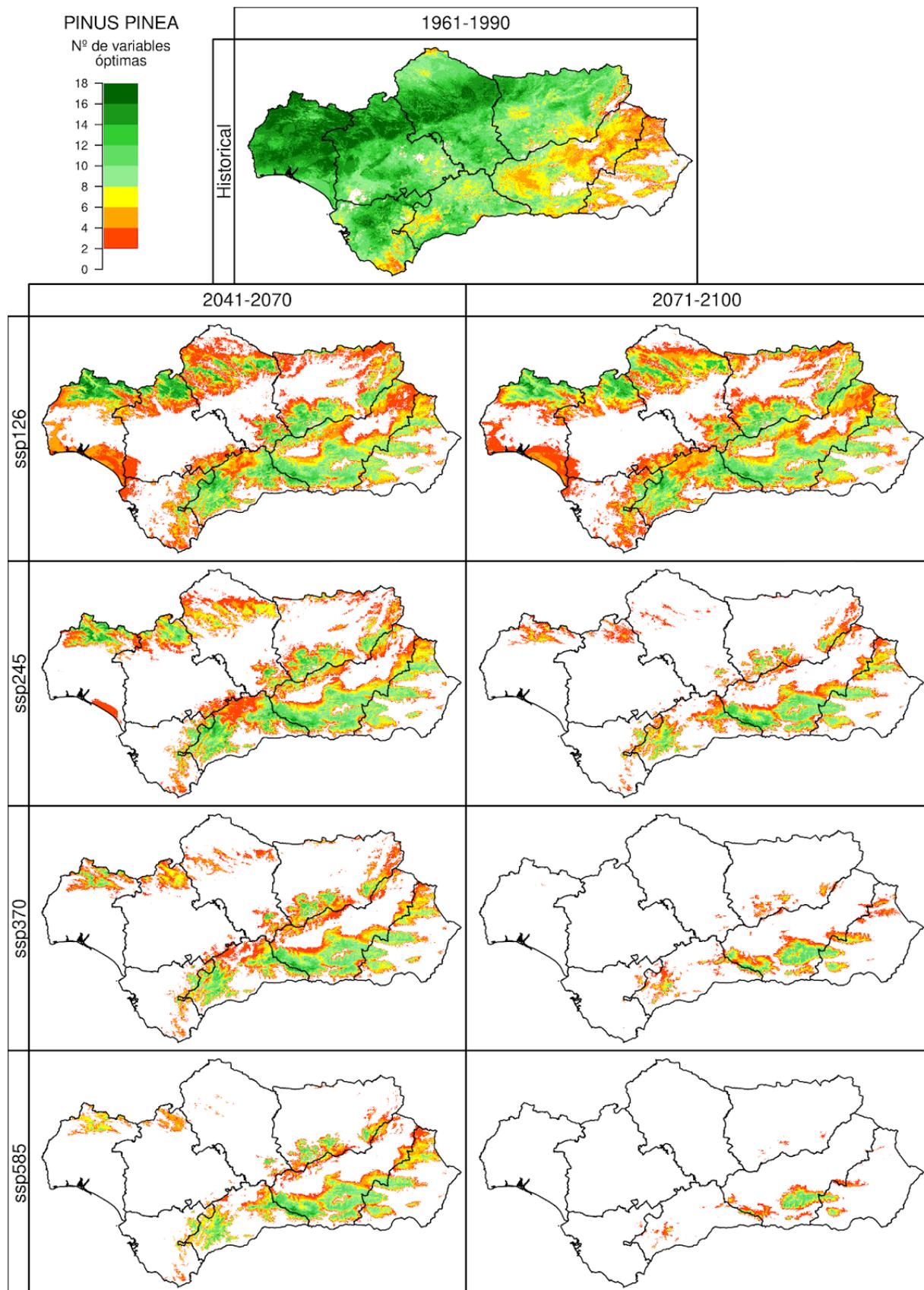


Figura 27.2. Número de variables óptimas de *Pinus pinea* (PPINEA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

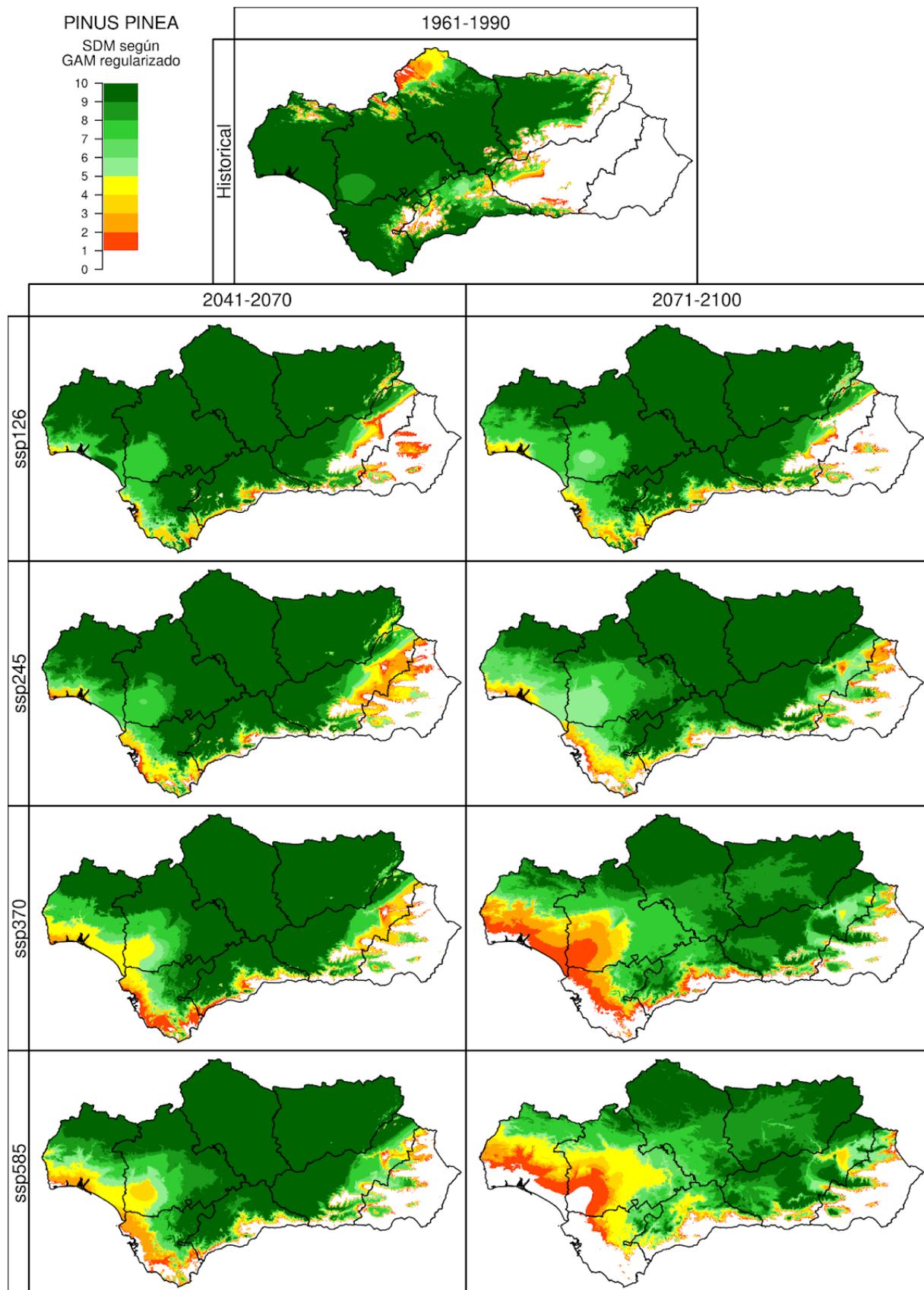


Figura 27.3. Idoneidad del territorio de *Pinus pinea* (PPINEA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

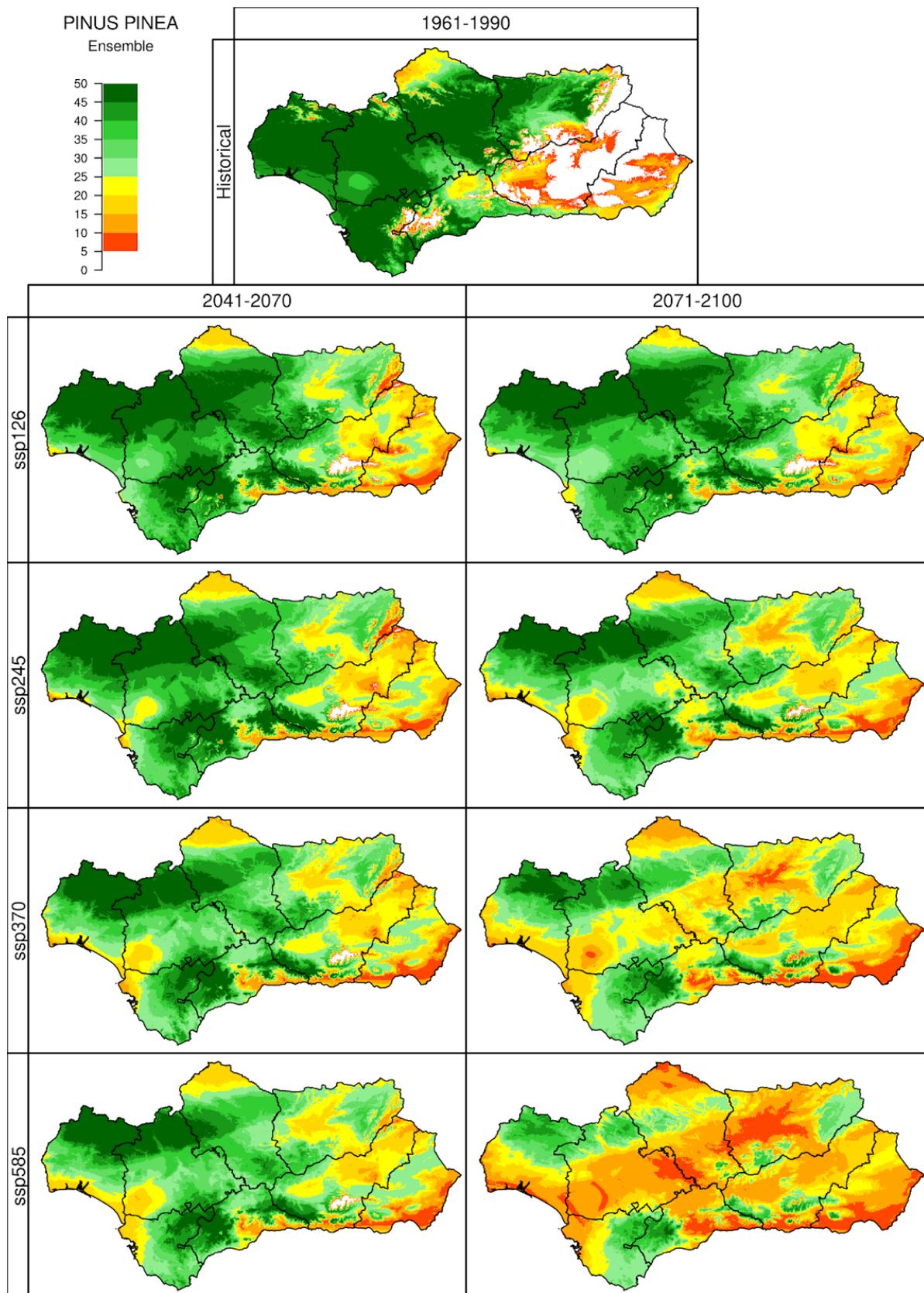


Figura 27.4. Idoneidad del territorio de *Pinus pinea* (PPINEA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

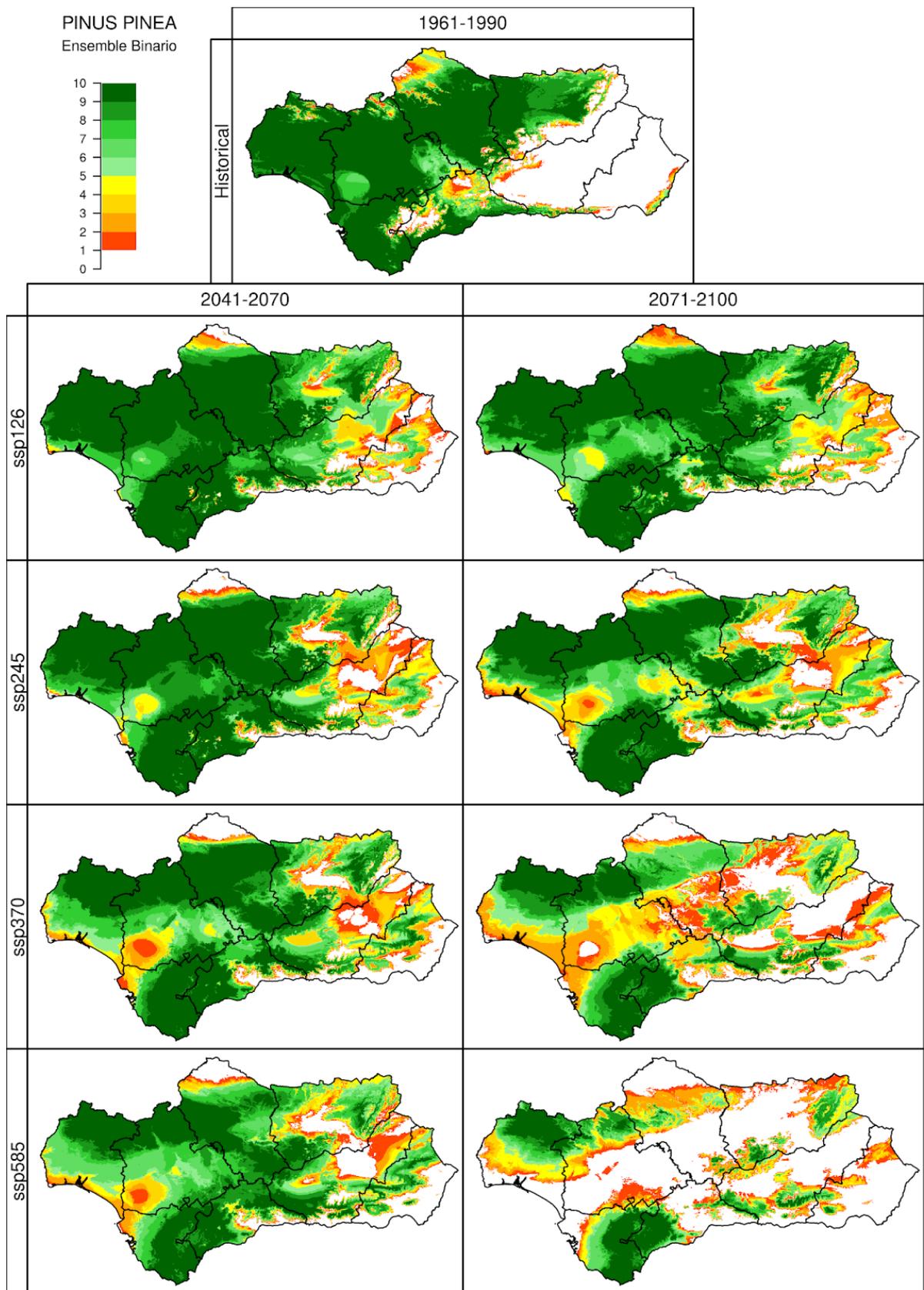


Figura 27.5. Idoneidad del territorio de *Pinus pinea* (PPINEA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

28. PINUS PINASTER: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Pinus pinaster* Ait. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período Historical se puede observar que según Autoecología paramétrica, la potencialidad del *Pinus pinaster* está extendida casi en la totalidad de la comunidad autónoma. En cambio, GAM muestra idoneidad en las zonas de sierra y alrededores. Ambas metodologías se ajustan correctamente a la distribución observada de la especie, si bien Autoecología paramétrica puede estar sobre-estimando extensos territorios como idóneos habiendo en ellos muy pocas observaciones, como por ejemplo el valle del Guadalquivir.

A mitad de siglo, Autoecología paramétrica muestra mayor territorio idóneo que GAM en la cordillera Penibética, mientras que GAM presenta alta idoneidad en territorios dispersos de Sierra Morena y en Sierra de Segura en el escenario SSP1-2.6. En el resto de escenarios, GAM presenta incierta idoneidad en los sitios anteriormente mencionados.

A finales de siglo el *Pinus pinaster*, a excepción del SSP1-2.6, desaparece en Sierra Morena para ambos modelos. Sierra de Segura es idónea climáticamente para GAM, mientras que Autoecología paramétrica predice más espacios como idóneos en la cordillera Penibética.

La metodología ensemble se ajusta de manera adecuada a la distribución observada. En los escenarios futuros, ensemble se asemeja a GAM en aquellos territorios donde los 5 algoritmos coincidieron en idoneidad. En el mapa ensemble se puede ver que en los territorios donde no coincide en idoneidad con GAM, presenta valores entre 20-30, mostrando incertidumbre con respecto a la idoneidad.

Aquellos espacios donde GAM ha categorizado como no idóneos pero por Autoecología sí, deberían ser considerados cautelosamente como idóneos a pesar de que se encuentren dentro del rango. Por último, en Sierra de Segura GAM parece indicar que variables importantes para la distribución de la especie se encuentran en valores óptimos que hacen posible su idoneidad en los escenarios futuros. Sería conveniente realizar una investigación más detallada.

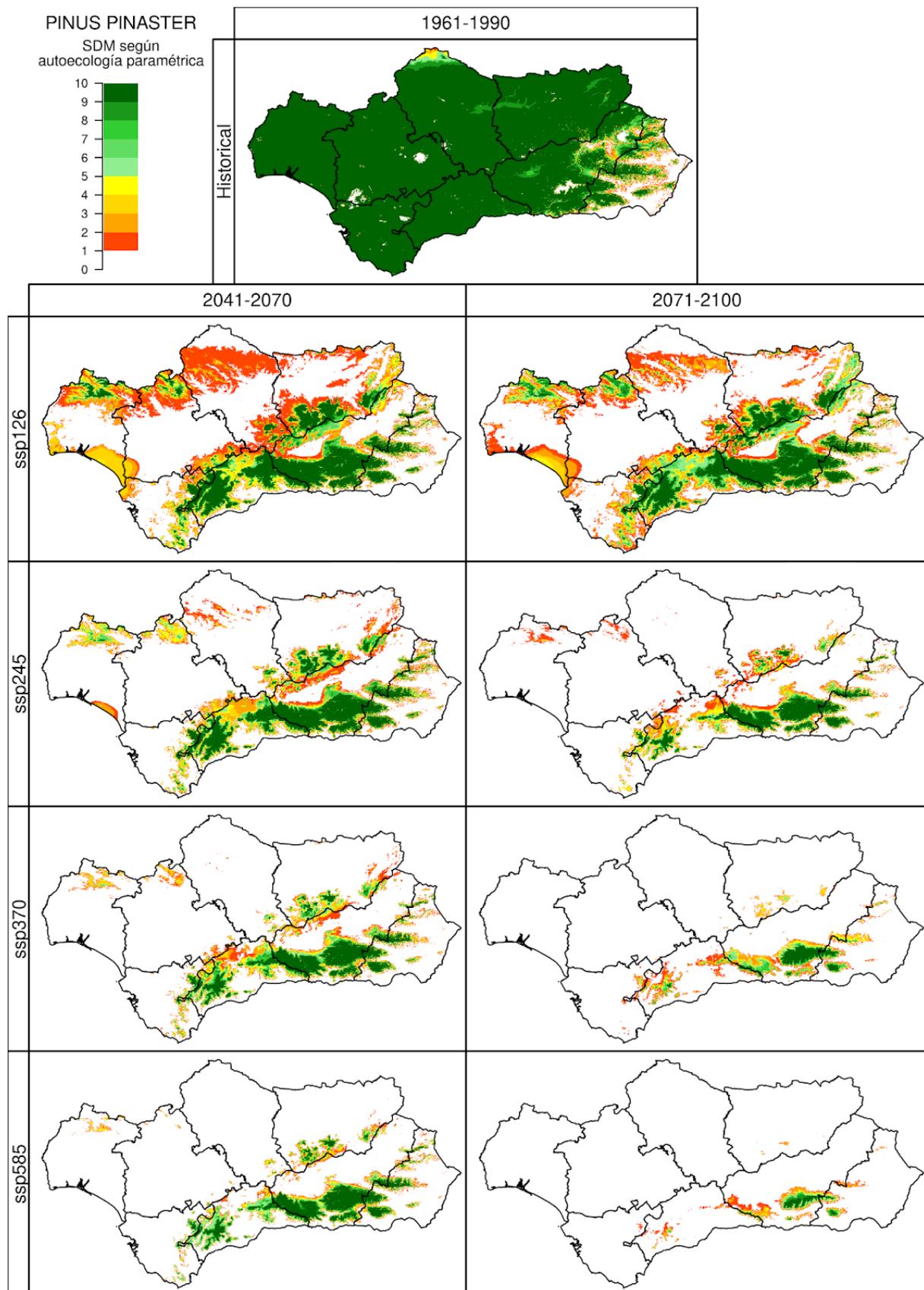


Figura 28.1. Índice de potencialidad de *Pinus pinaster* (PPINAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

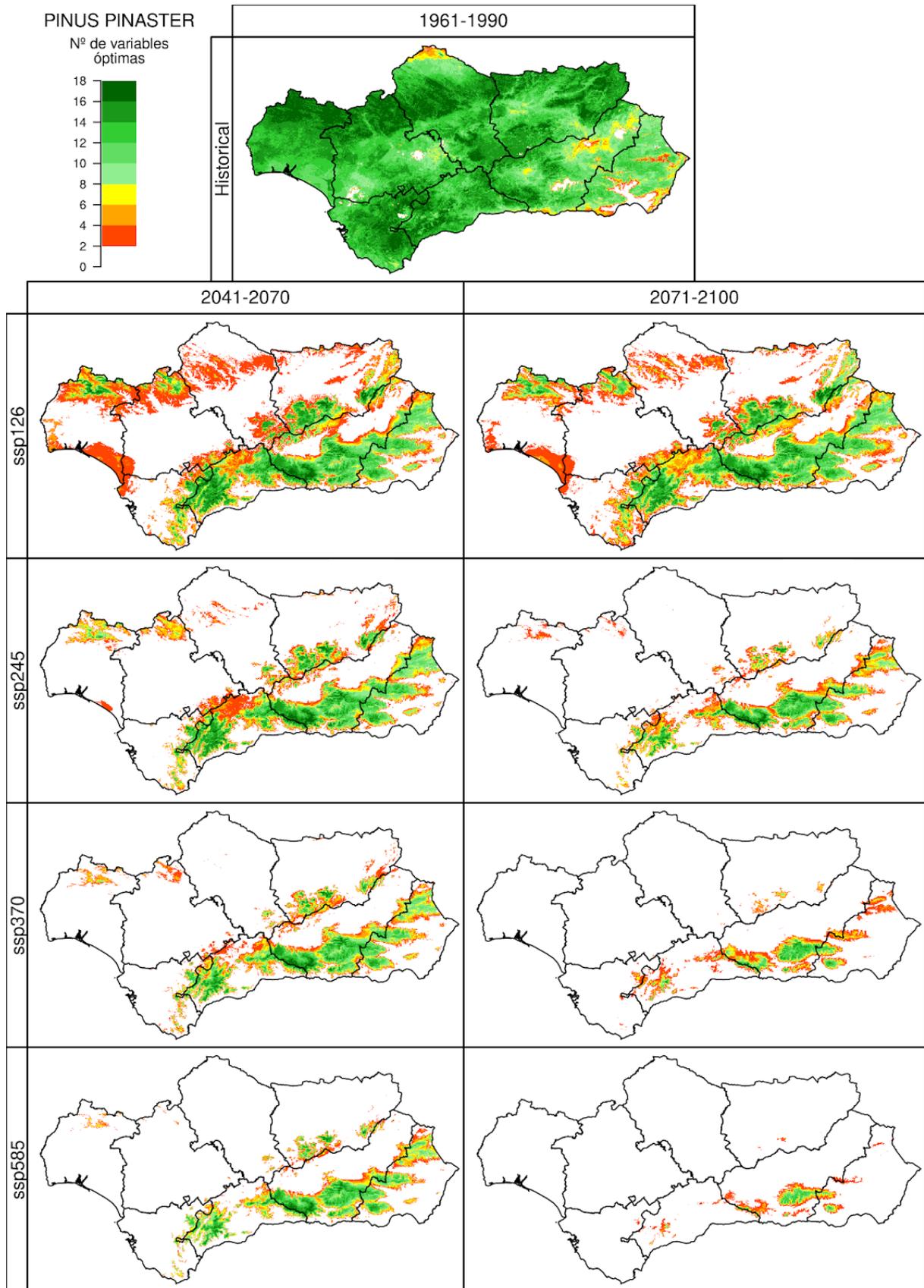


Figura 28.2. Número de variables óptimas de *Pinus pinaster* (PPINAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

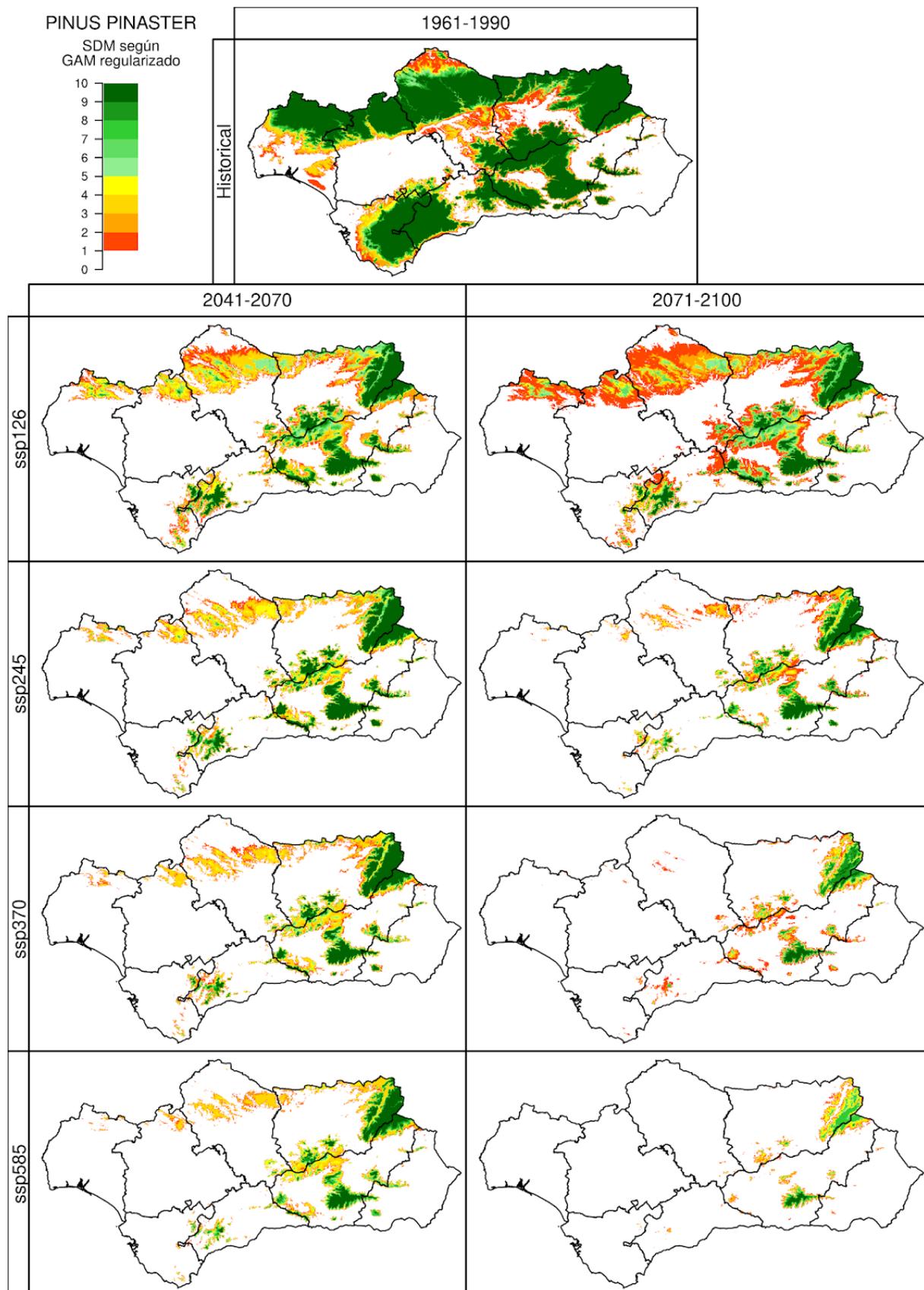


Figura 28.3. Idoneidad del territorio de *Pinus pinaster* (PPINAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

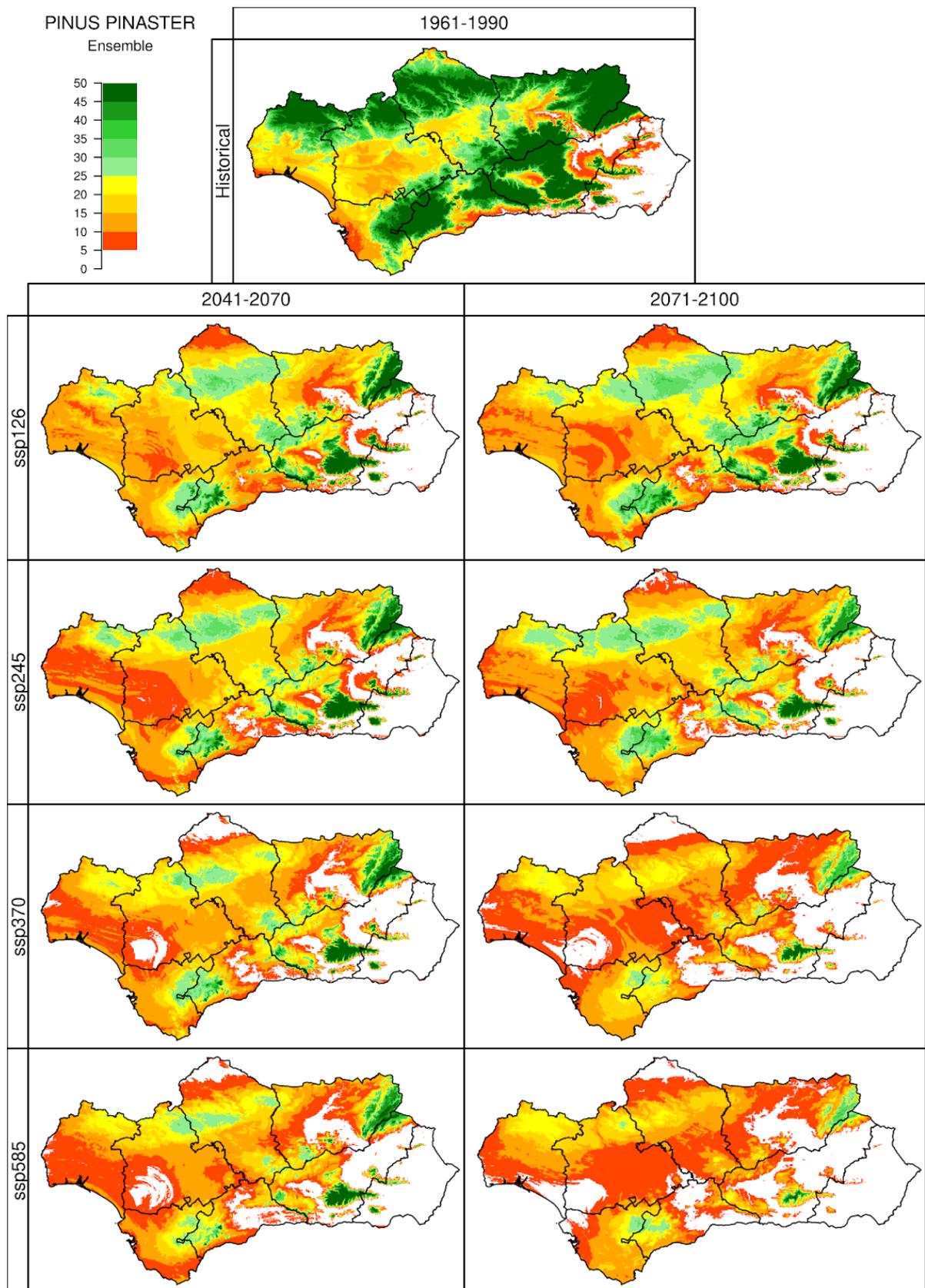


Figura 28.4. Idoneidad del territorio de *Pinus pinaster* (PPINAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

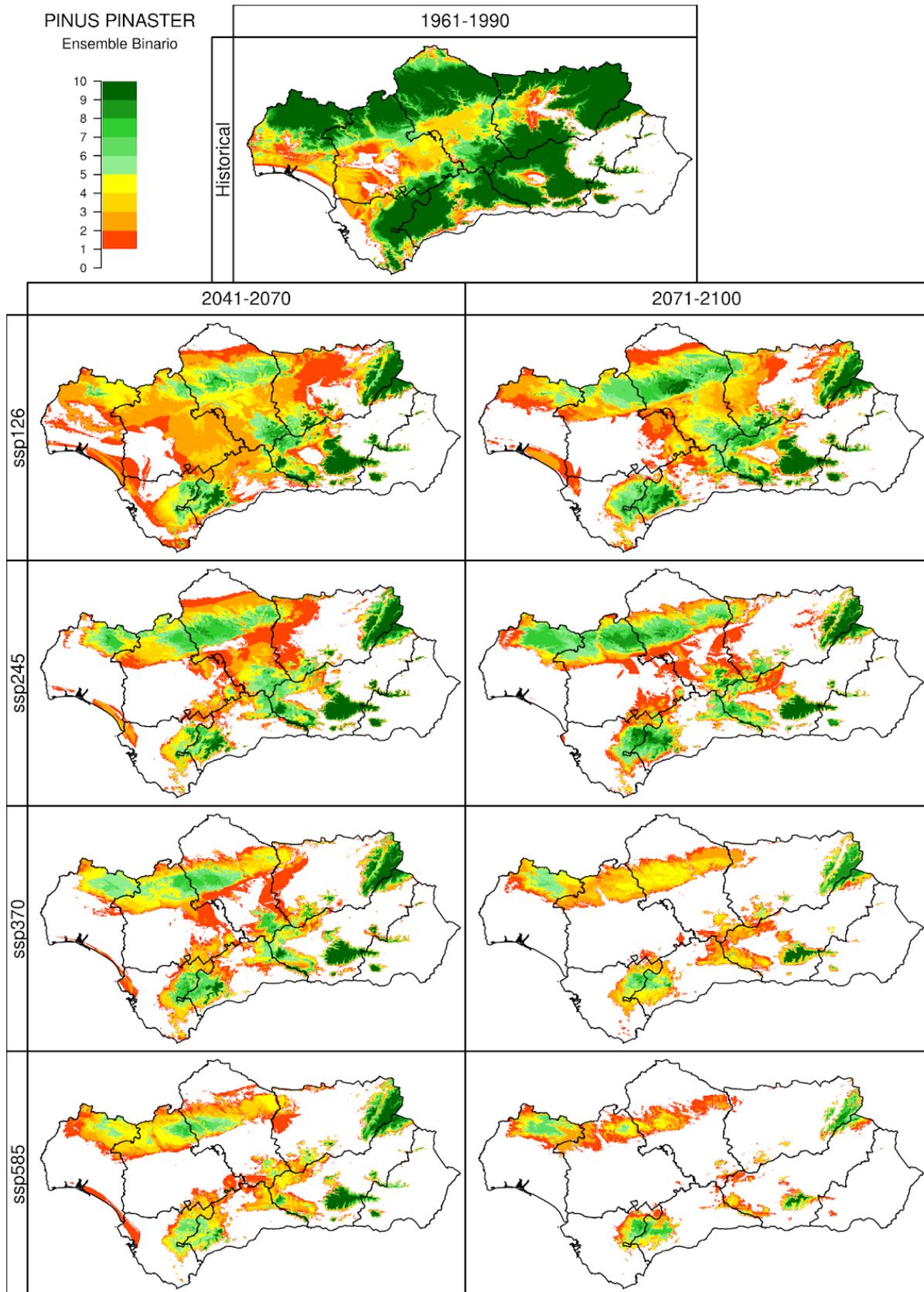


Figura 28.5. Idoneidad del territorio de *Pinus pinaster* (PPINAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

29. PINUS HALEPENSIS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Pinus halepensis* Mill. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período Historical se puede observar que según Autoecología paramétrica y el número de variables óptimas, la potencialidad del *Pinus halepensis* está extendida casi en la totalidad de la comunidad autónoma. GAM a su vez señala gran parte del territorio andaluz como idóneo, si bien parece excluir el valle del Guadalquivir. GAM muestra como idóneo en su totalidad Sierra Nevada, lo que parece indicar que el modelo no ha sido capaz de captar como limitante las temperaturas extremas frías, factor importante en una especie termófila como *Pinus halepensis*. Con respecto al clima extremo de aridez, tanto Autoecología paramétrica como GAM catalogan como idóneas las zonas áridas, al ser *Pinus halepensis* la especie más xerófila dentro de los pinos.

A mitades de siglo, ambos modelos(a excepción de SSP1-2.6) reducen en gran manera la idoneidad de la especie en Sierra Morena, quedando únicamente enclaves dispersos según Autoecología paramétrica. Ambos modelos indican bastante territorio del lado sudeste y este como idóneo para la especie, si bien es cierto que mientras Autoecología paramétrica indica bastante territorio de las cordilleras Béticas como idóneo, GAM indica menos territorio en la Cordillera Subbética y presenta mayor terreno idóneo en la Penibética y en la costa mediterránea. Según la gravedad del escenario, GAM desaparece en zonas interiores de la provincia de Almería.

En el final de siglo los modelos, según se consideran escenarios climáticos de mayor gravedad, la idoneidad marcada por ambos modelos es restringida a la cordillera Penibética. GAM indica que existen territorios idóneos para la especie en zonas dispersas del litoral mediterráneo, desapareciendo en todas las zonas bajas que no sean costeras.

La metodología ensemble se ajusta de manera adecuada a la distribución observada, pero presenta bastante territorio donde no hay distribución observada con incertidumbre de idoneidad. En los escenarios futuros, la alta idoneidad de GAM se asemeja a los territorios en los que los 5 algoritmos del ensemble se encontraban bastante de acuerdo. Sin embargo, siguiendo la tendencia presentada en el Historical, ensemble presenta extensos territorios como idoneidad dudosa con valores entre 30-20.

En este caso ambos modelos indican tendencias y territorios similares. Su distribución se restringirá a las cordilleras Béticas, reduciéndose en escenarios de mayor gravedad a la cordillera penibética. GAM sugiere que en espacios cercanos a la costa mediterránea, hay variables importantes para la distribución de la planta según el algoritmo que se encontrarán en rangos óptimos y por lo tanto, serán idóneos para la especie.

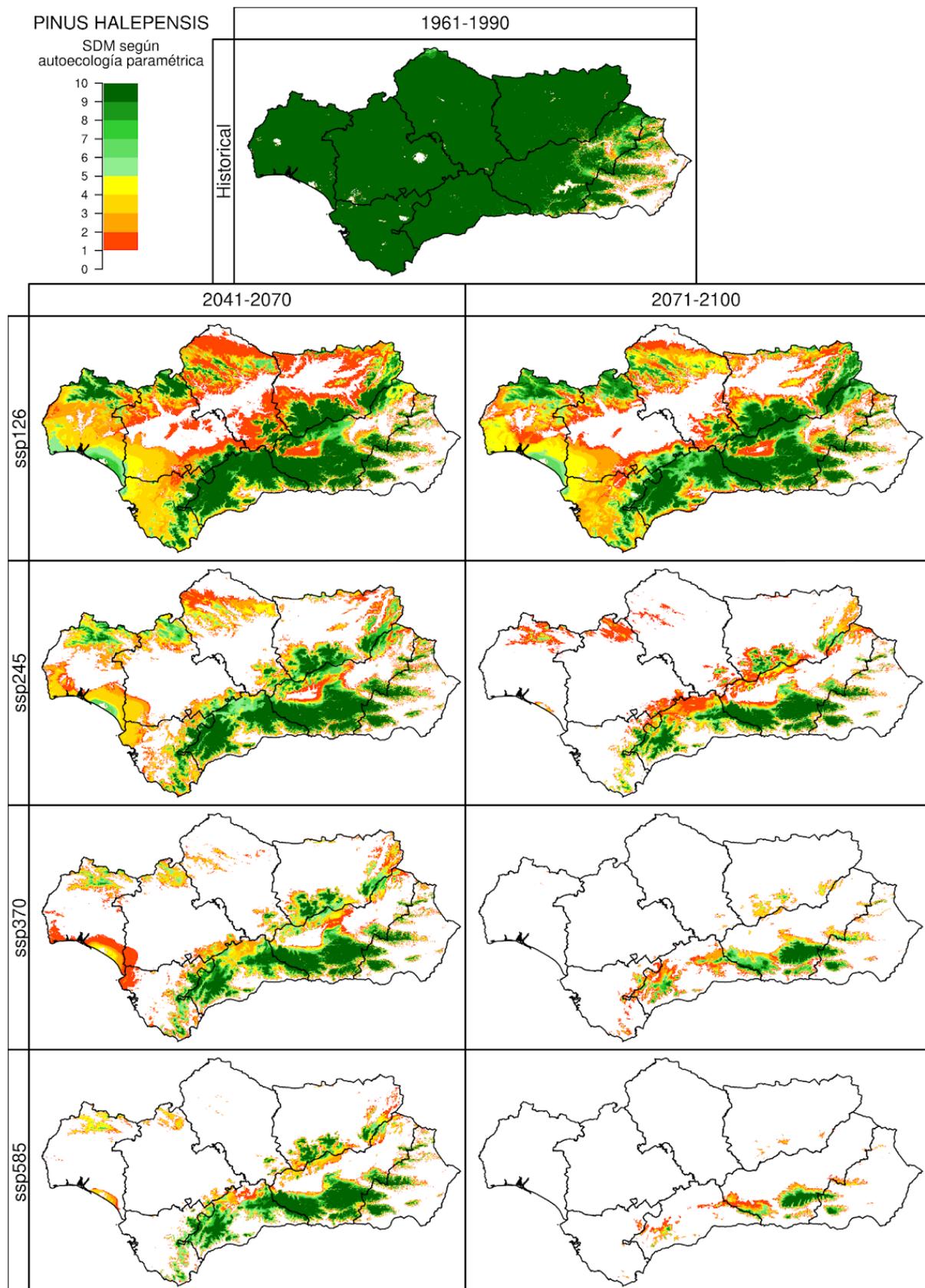


Figura 29.1. Índice de potencialidad de *Pinus halepensis* (PHALEP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

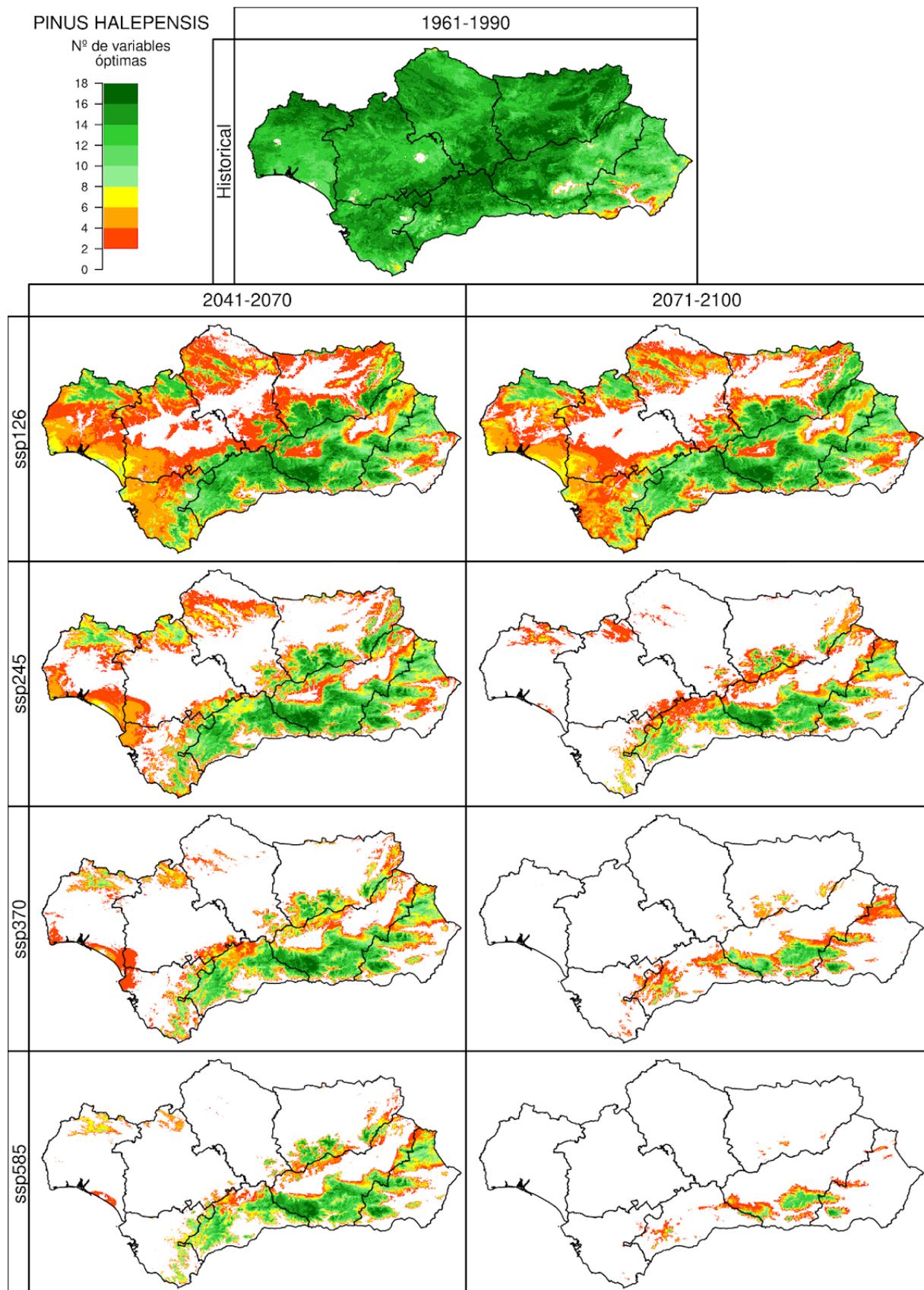


Figura 29.2. Número de variables óptimas de *Pinus halepensis* (PHALEP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

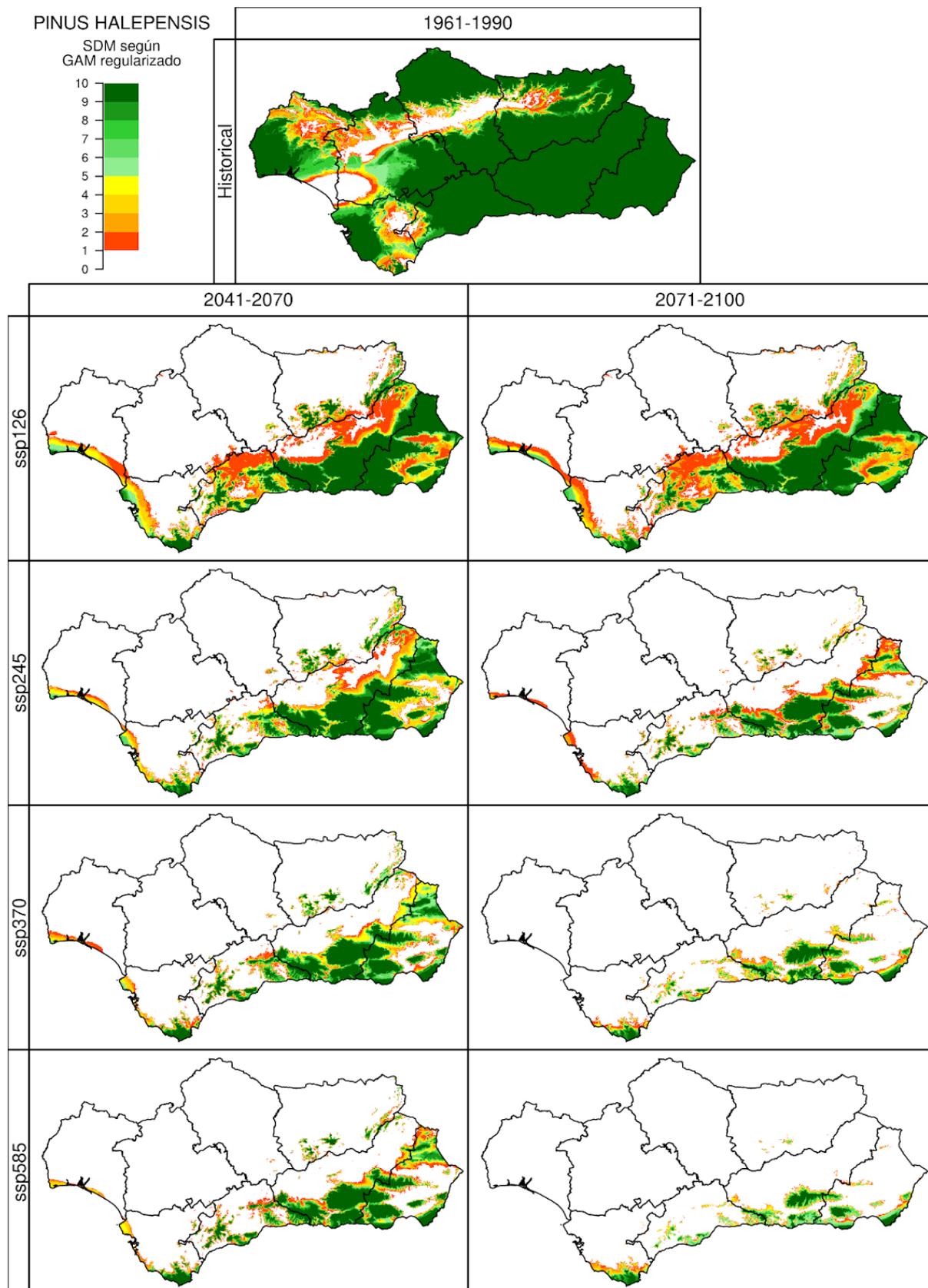


Figura 29.3. Idoneidad del territorio de *Pinus halepensis* (PHALEP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

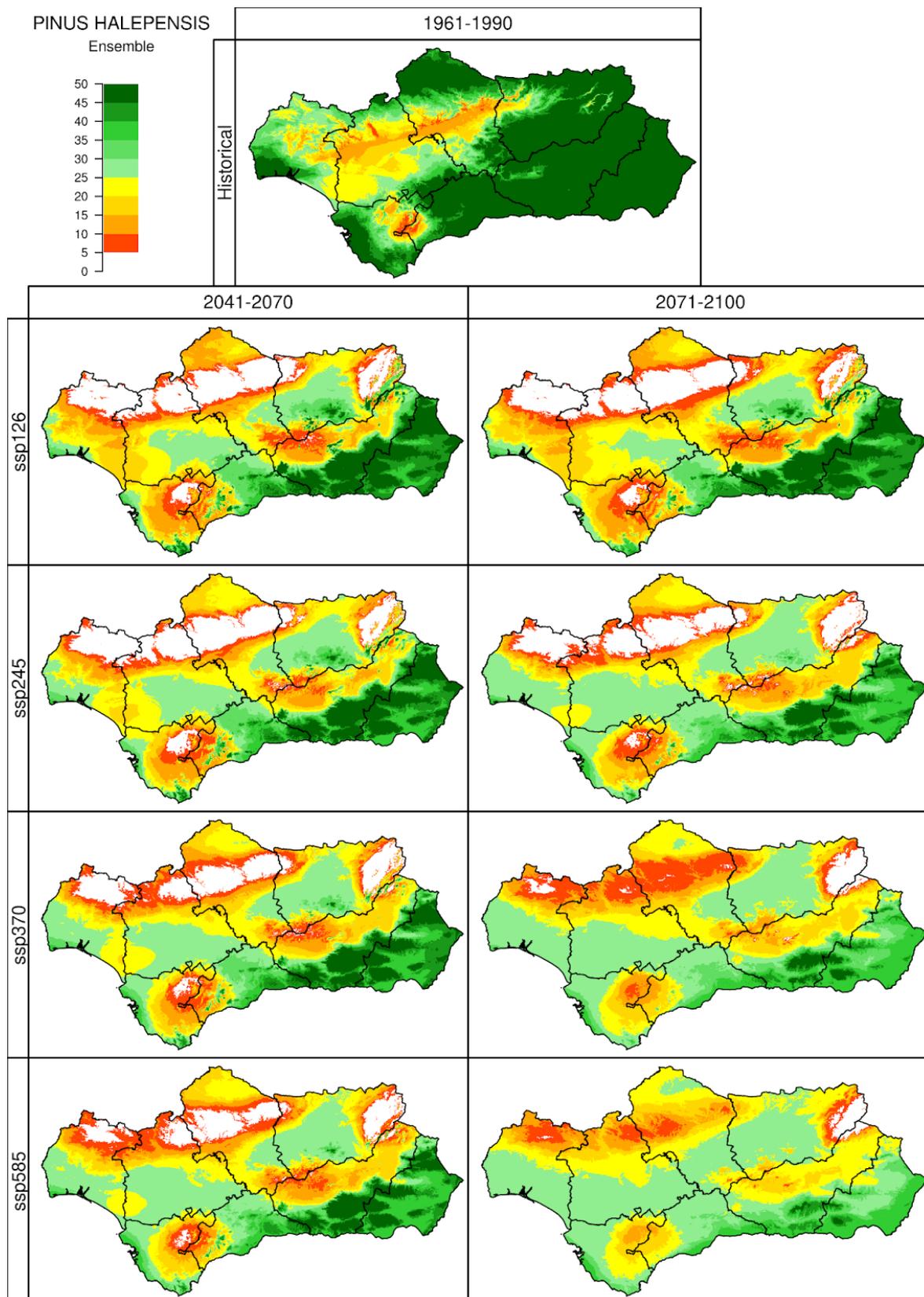


Figura 29.4. Idoneidad del territorio de *Pinus halepensis* (PHALEP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

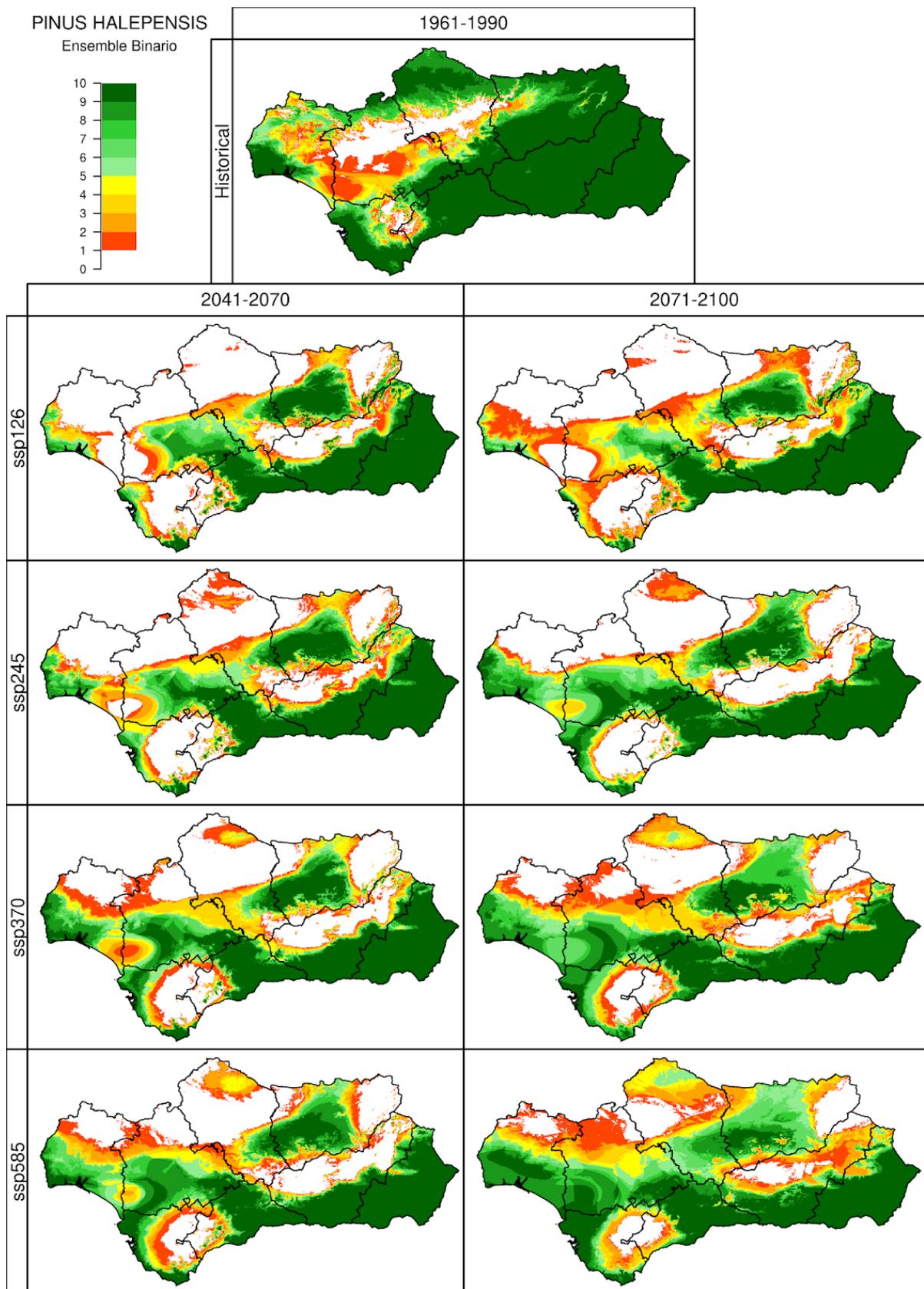


Figura 29.5. Idoneidad del territorio de *Pinus halepensis* (PHALEP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

30. PINUS SYLVESTRIS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Pinus sylvestris* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período Historical se puede observar que según Autoecología paramétrica y el número de variables óptimas, la potencialidad del *Pinus sylvestris* está tanto extendida por las cordilleras Béticas y Sierra Morena. GAM indica únicamente como idóneo terrenos de las cordilleras Béticas, señalando residualmente pequeños espacios de Sierra Morena. Observando la distribución observada de *Pinus sylvestris*, parece existir una sobreestimación de territorio idóneo por parte de Gandullo, y que en este caso GAM se está ajustando mejor a la distribución observada de la especie.

A mediados de siglo ambos modelos indican la desaparición de la idoneidad en la comunidad autónoma a excepción de las cordilleras Béticas. Este terreno idóneo se encuentra casi en su totalidad en la cordillera Penibética, siendo la Subbética idónea en ciertos espacios reducidos. Este hecho se da en todos los escenarios climáticos. Mientras que GAM señala como idóneo casi en exclusiva Sierra Nevada y Sierra de Baza, Autoecología paramétrica marca como idóneo otras sierras de la cordillera Penibética como Sierra de Almirajara, Sierra de Contraviesa o Sierra de Gádor.

En el final de siglo, en los escenarios más graves según Autoecología paramétrica la idoneidad del pino silvestre se ve reducido a las partes más altas de Sierra Nevada, mientras que en los dos escenarios más positivos puede habitar diversas zonas de la Cordillera Penibética principalmente. Para GAM, en todos los escenarios posibles de finales de siglo el Pino Silvestre se ve reducido a Sierra Nevada. Destaca que ambas metodologías señalan que a finales de siglo en el escenario más grave, es dudosa la presencia de Pino sylvestris incluso en los espacios más altos de la Sierra Nevada.

La distribución de idoneidad a pasado y futuro presentada por el ensemble es muy parecida a la señalada por GAM.

En este caso GAM y Autoecología paramétrica indican tendencias y territorios parecidos a futuro. Su distribución se restringirá principalmente a las Cordilleras penibéticas, reduciéndose a Sierra Nevada en escenarios de mayor gravedad y más tardíos. En esta especie parece que GAM sugiere con mayor seguridad los espacios idóneos, y que Gandullo podría sugerir con incertidumbre otros espacios idóneos.

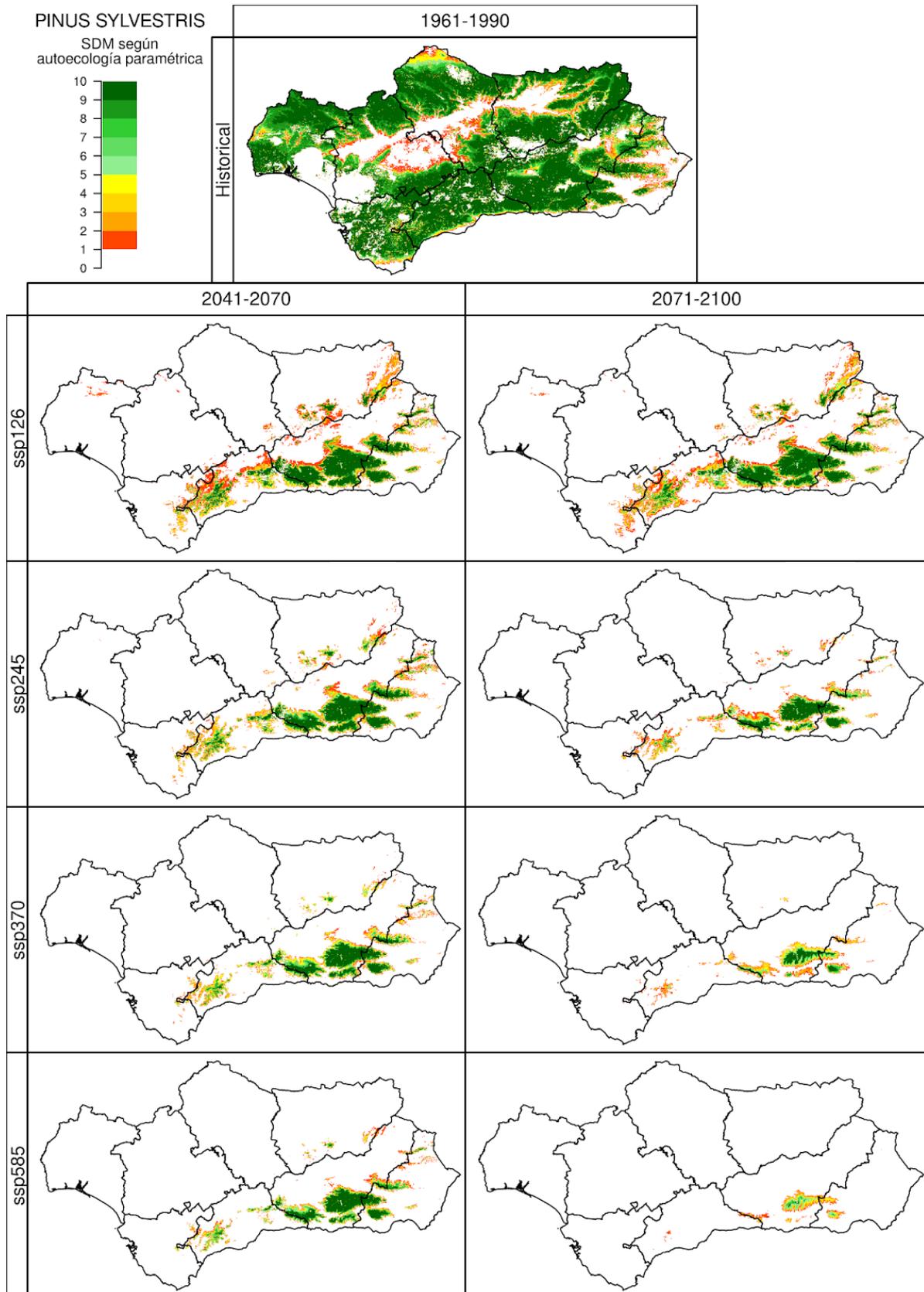


Figura 30.1. Índice de potencialidad de *Pinus sylvestris* (PSYLVS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

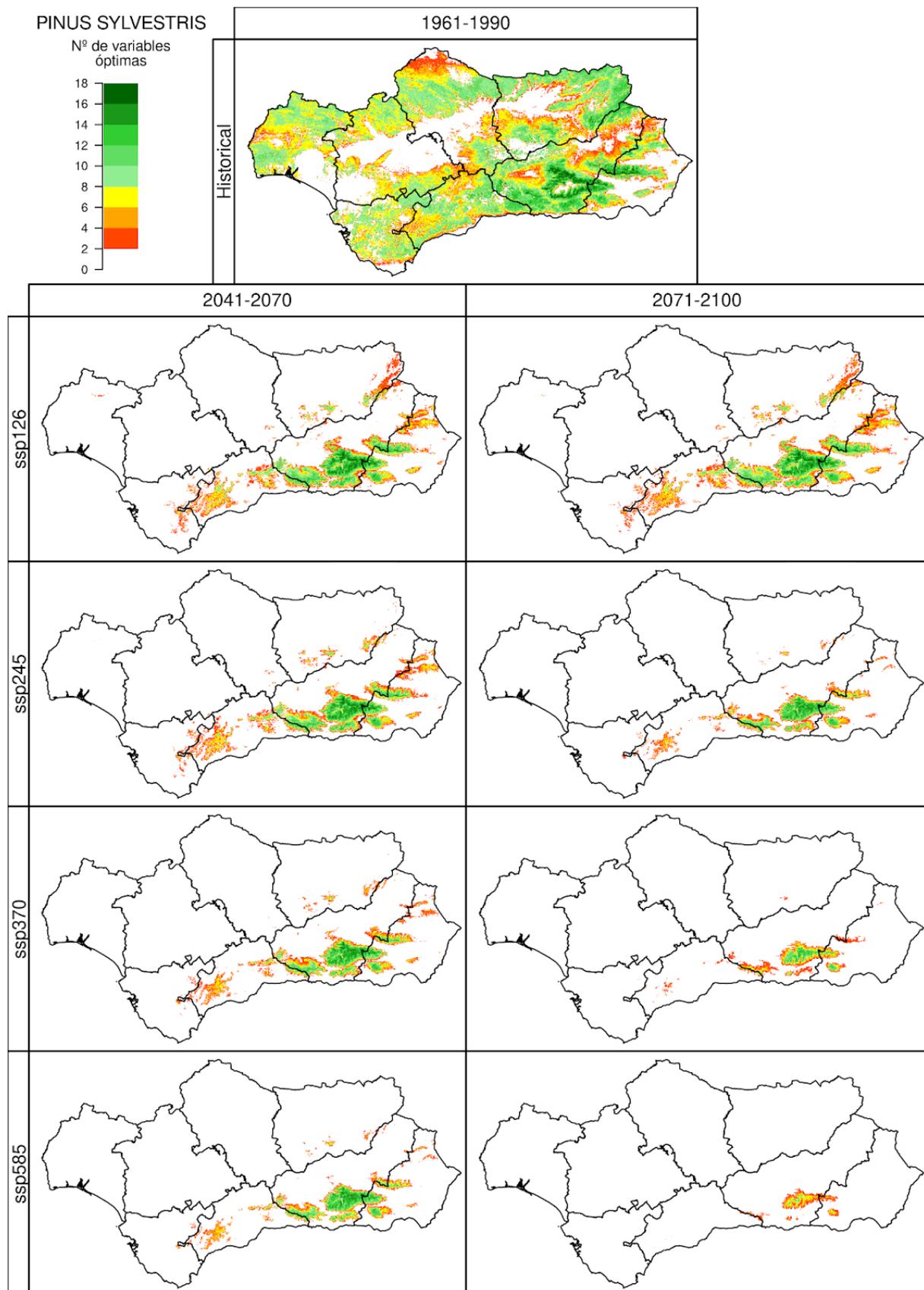


Figura 30.2. Número de variables óptimas de *Pinus sylvestris* (PSYLVS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

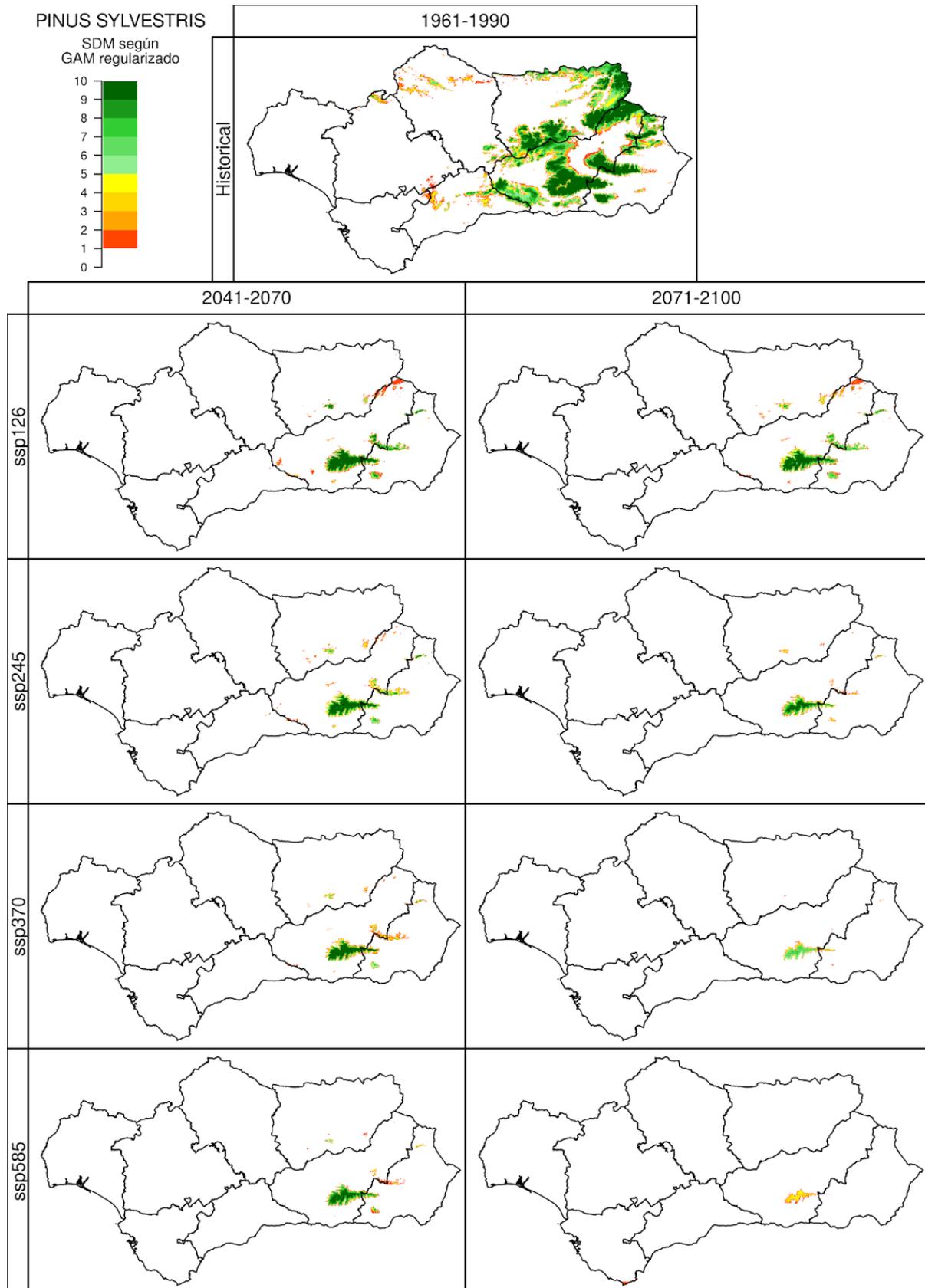


Figura 30.3. Idoneidad del territorio de *Pinus sylvestris* (PSYLVS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

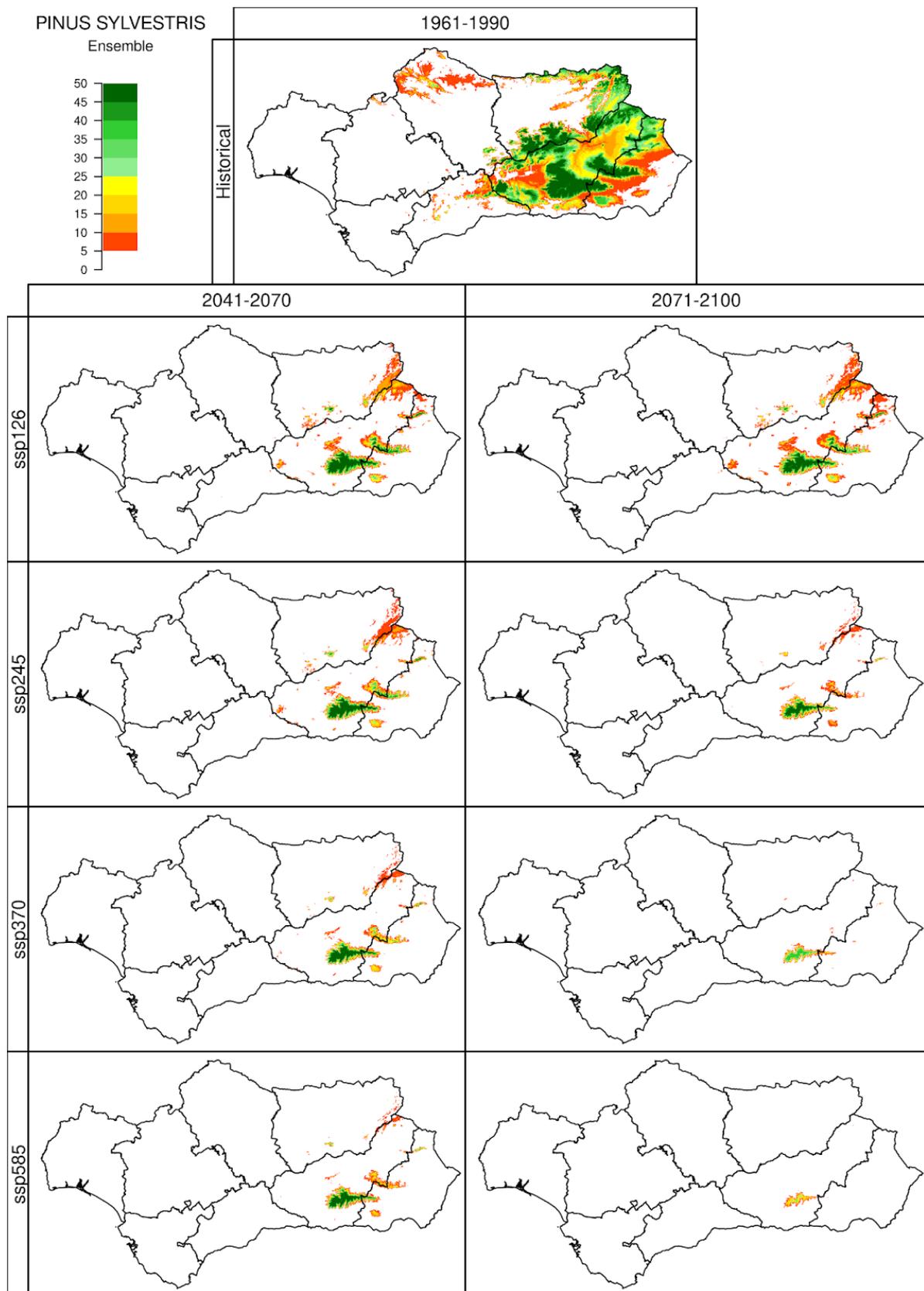


Figura 30.4. Idoneidad del territorio de *Pinus sylvestris* (PSYLVS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

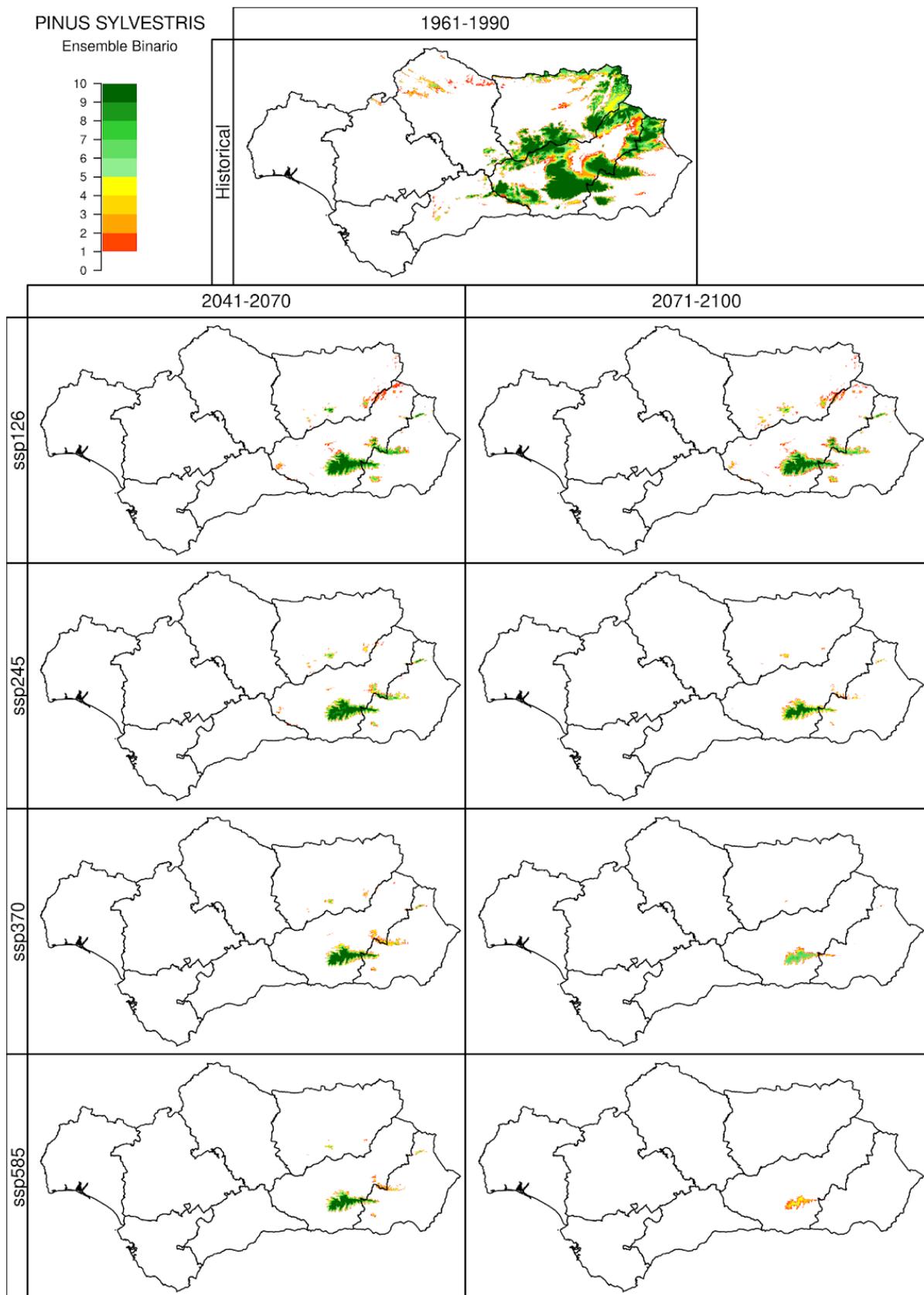


Figura 30.5. Idoneidad del territorio de *Pinus sylvestris* (PSYLVS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

31. PINUS NIGRA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Pinus nigra* J.F. Arnold subsp. *salzmannii* (Dunal) Franco los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período Historical se puede observar que según Autoecología paramétrica y el número de variables óptimas, la potencialidad del *Pinus nigra* está extendida casi en la totalidad de la comunidad autónoma. Esta idoneidad difiere en gran medida de la distribución observada de la especie, mucho más restringida a las cordilleras Béticas. A diferencia de esto, GAM se ajustó correctamente a la distribución observada de la especie. Esto podría indicar que Autoecología paramétrica está sobreestimando terreno como idóneo.

En las proyecciones futuras GAM ha mostrado un desempeño incorrecto al indicar en todos los escenarios y tanto a mitades como a finales de siglo la desaparición de *Pinus nigra*. Esto contrasta con el mantenimiento futuro en las regiones montañas de la especie de *Pinus sylvestris*, que es menos termófila y más higrófila que *Pinus nigra*. En esta especie GAM ha mostrado un desempeño inadecuado.

A mitades de siglo, Autoecología paramétrica reduce su distribución idónea a las cordilleras Béticas, tanto en la Penibética como en la Subbética. En el escenario climático más optimista existen ciertos espacios en Sierra Morena residuales, si bien según se avanza en gravedad de escenarios estos desaparecen. Según aumenta la gravedad, el terreno idóneo para la especie se reduce en la cordillera Bética, siendo menor el terreno idóneo en la cordillera Subbética en comparación con la Penibética.

En el final de siglo se muestra la misma tendencia señalada para mediados de siglo, pero con mayor reducción del terreno. Destaca que en el escenario SSP1-2.6 la distribución se estabiliza, mientras que en el resto la idoneidad se limita prácticamente a la cordillera Penibética.

La distribución de idoneidad a pasado y futuro presentada por el ensemble es muy parecida a la señalada por GAM. Ambas presentan un mal desempeño.

En esta especie la distribución a usar es la de Autoecología paramétrica, si bien está sobreestimando el terreno marcado como idóneo observando lo indicado en el período Historical. *Pinus nigra* suele ser la especie que sigue a *Pinus sylvestris* en cotas más bajas, tendencia que parece mostrar la idoneidad futura señalada por Autoecología paramétrica, indicando esto que el factor de sobreestimación puede ser bajo en las proyecciones futuras. Para la caracterización de idoneidad de la especie sería necesario una investigación más profunda.

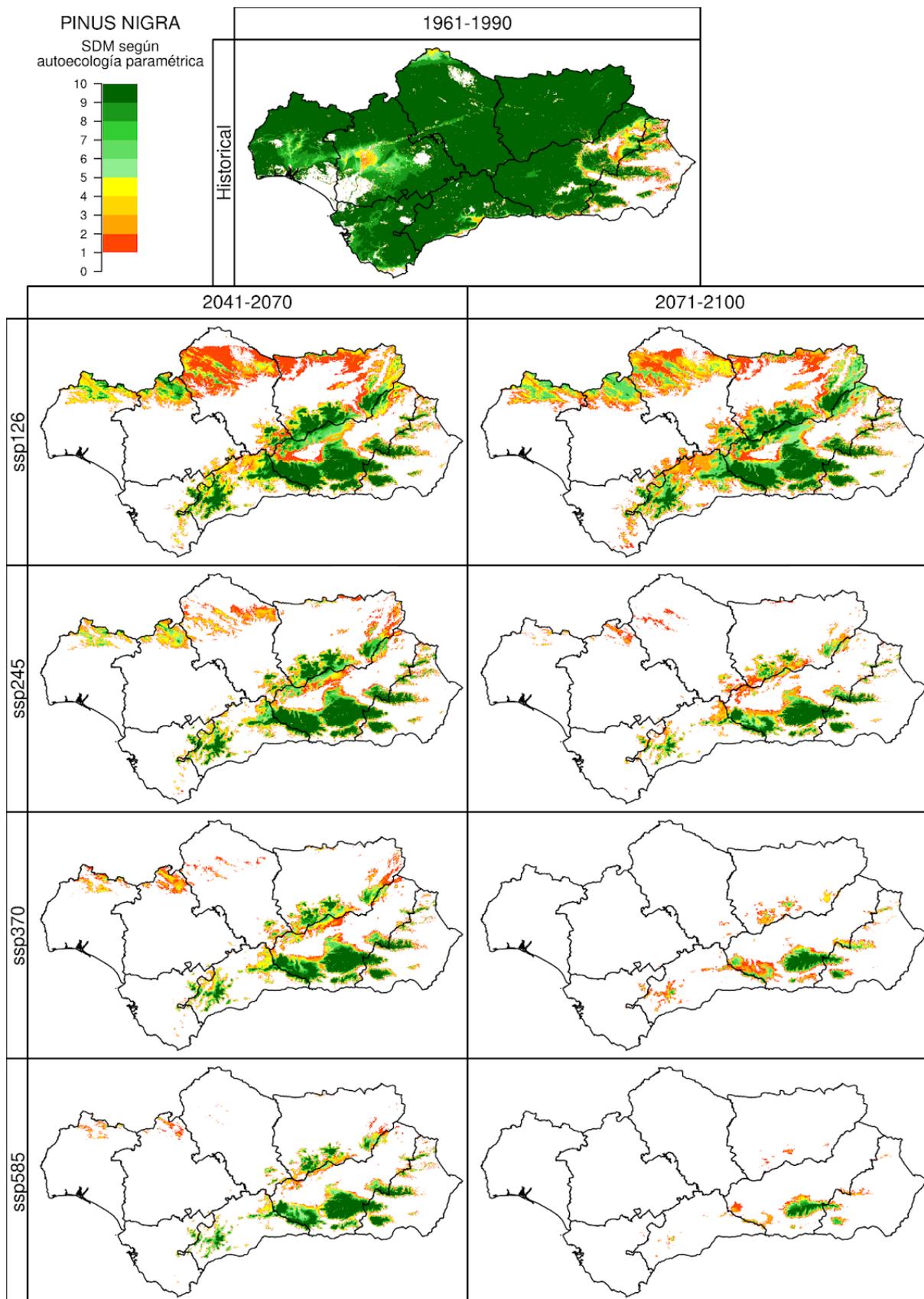


Figura 31.1. Índice de potencialidad de *Pinus nigra* (PNIGRA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

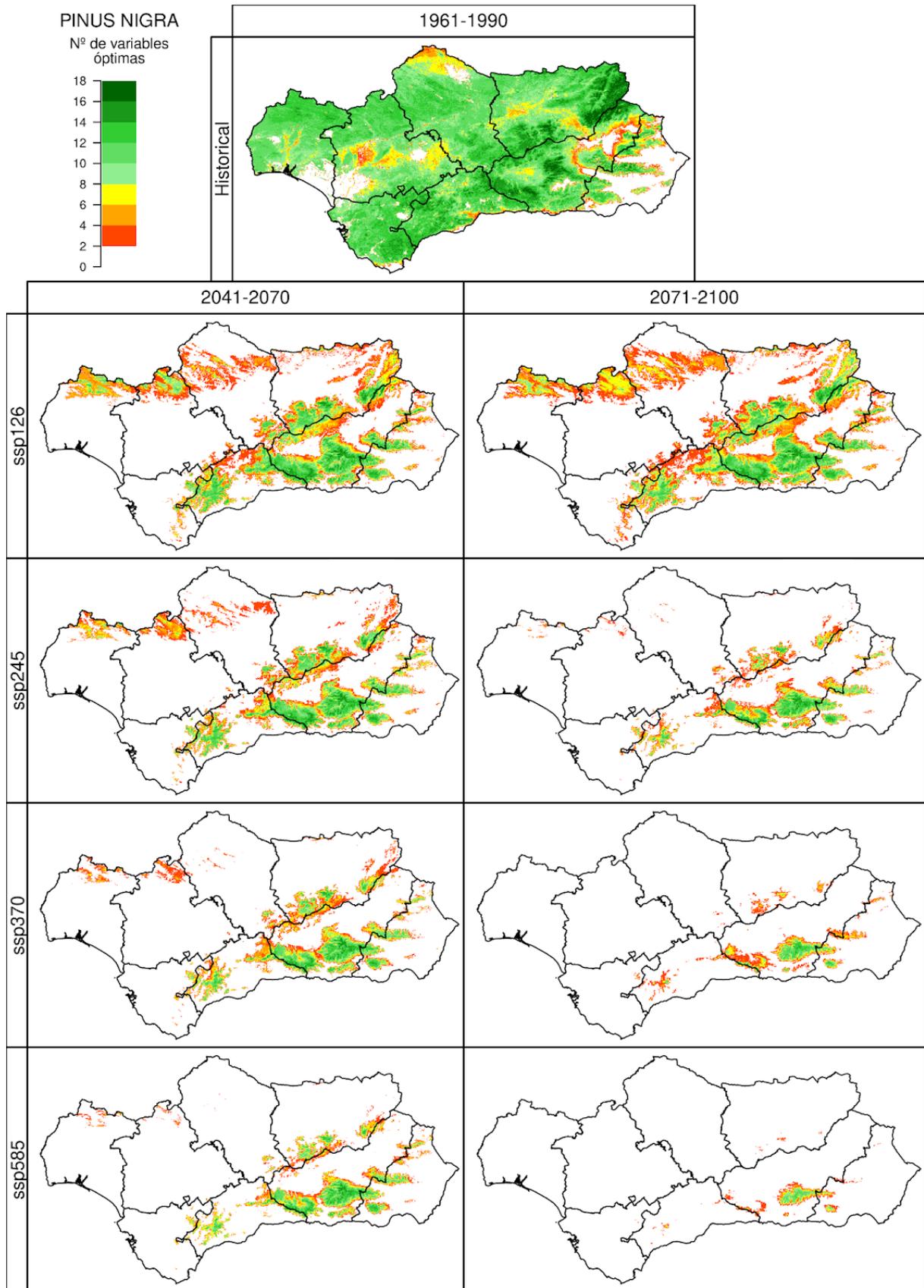


Figura 31.2. Número de variables óptimas de *Pinus nigra* (PNIGRA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

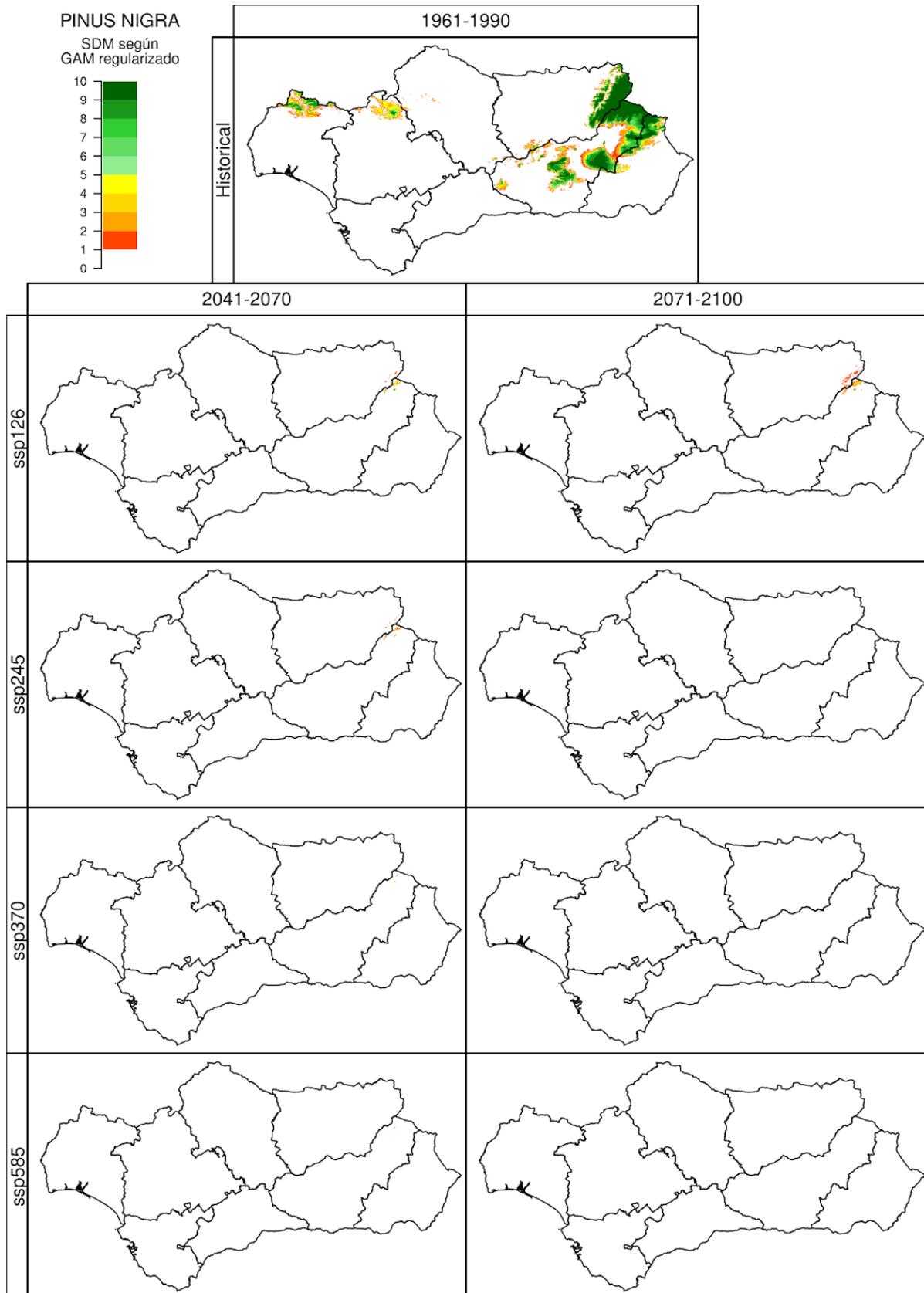


Figura 31.3. Idoneidad del territorio de *Pinus nigra* (PNIGRA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

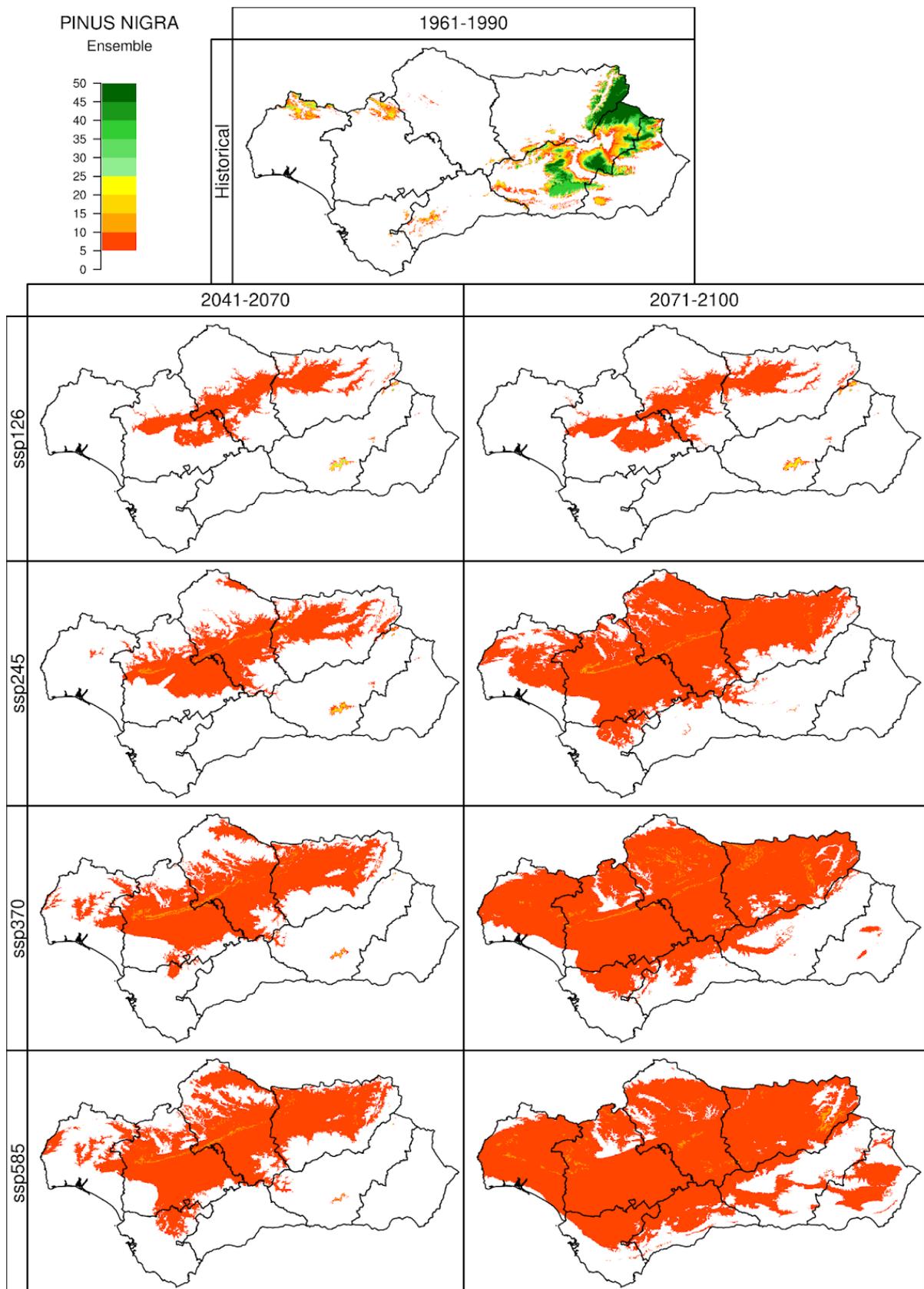


Figura 31.4. Idoneidad del territorio de *Pinus nigra* (PNIGRA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

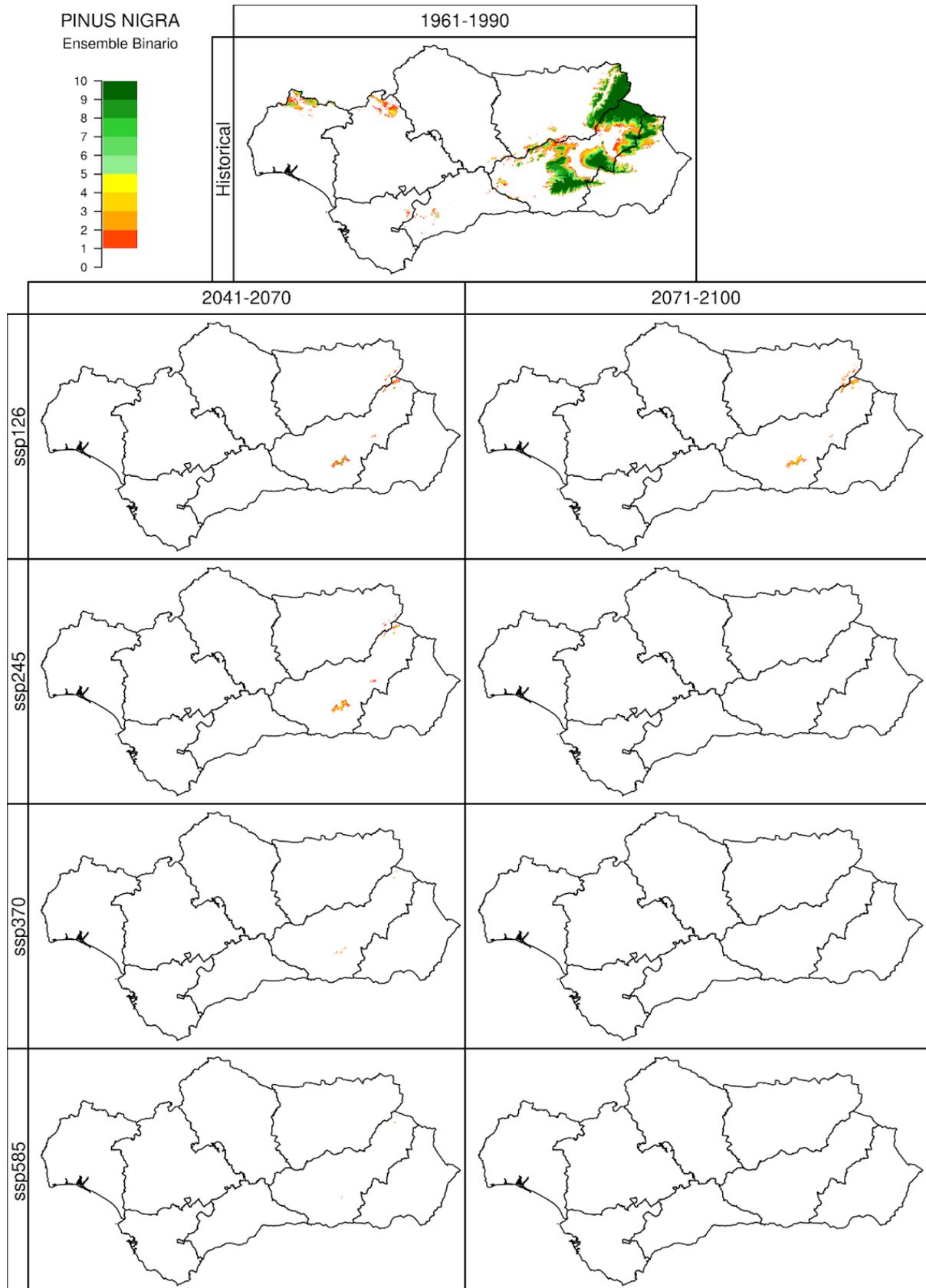


Figura 31.5. Idoneidad del territorio de *Pinus nigra* (PNIGRA), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

32. QUERCUS SUBER: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Quercus Suber* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período Historical se puede observar que según Autoecología paramétrica la potencialidad de *Quercus suber* está extendida casi en la totalidad de la comunidad autónoma a excepción de las regiones áridas del sudeste andaluz. En cambio, GAM se limita a caracterizar como idóneo principalmente Sierra Morena, la Serranía de Ronda y la parte baja y media del Valle del Guadalquivir. *Quercus suber* es una especie termófila e higrófila. Valorando estos caracteres conocidos y la distribución observada que tiene en la comunidad autónoma, se podría afirmar que Gandullo probablemente no esté caracterizando adecuadamente el carácter higrófilo de la especie al incluir gran parte del territorio andaluz como idóneo, considerando que parte de estos territorios tienen bajas precipitaciones anuales. En cambio, GAM parece que sí es capaz de distinguir su carácter al marcar especialmente como idóneos espacios tales como Sierra Morena y la Serranía de Ronda. Tanto GAM como Autoecología paramétrica (en especial Autoecología paramétrica) parecen no recoger bien el carácter termófilo del alcornoque, al marcar como idóneos espacios fríos que se encuentran en Sierra Nevada.

En la mitad de siglo GAM experimenta un retroceso en el Valle del Guadalquivir y en Sierra Morena, expandiéndose en el litoral atlántico, las Sierras de Cazorla, Segura y en parte de las cordilleras Béticas. Autoecología paramétrica muestra unas tendencias espaciales de expansión y extensión parecidas en algunos aspectos. Según este último modelo se mantiene como idónea en espacios de la cordillera Penibética y Subbética, se reduce al igual que GAM en Sierra Morena si bien en Autoecología paramétrica desaparece casi en su totalidad, y toda la costa atlántica no es idónea para la especie.

A finales de siglo, en Autoecología paramétrica la distribución de la especie se ve reducida a las cordilleras Béticas, disminuyendo el terreno caracterizado como idóneo según la gravedad del escenario. GAM indica esta cordillera también como idónea, si bien lo hace en menor medida, y señala como espacios especialmente idóneos la Sierra de Ronda, la costa litoral atlántica y la Sierra de Cazorla y de Segura.

La distribución de idoneidad a pasado y futuro presentada por el ensemble es muy parecida a la señalada por GAM, en aquellos espacios donde los 5 algoritmos están de acuerdo. El ensemble presenta grandes espacios con incertidumbre de idoneidad.

Autoecología marca que la idoneidad va a tender a desplazarse hacia la cordillera Penibética, mientras que GAM marca otros sitios idóneos como la costa atlántica o la Serranía de Ronda o Sierra de Cazorla y de Segura.

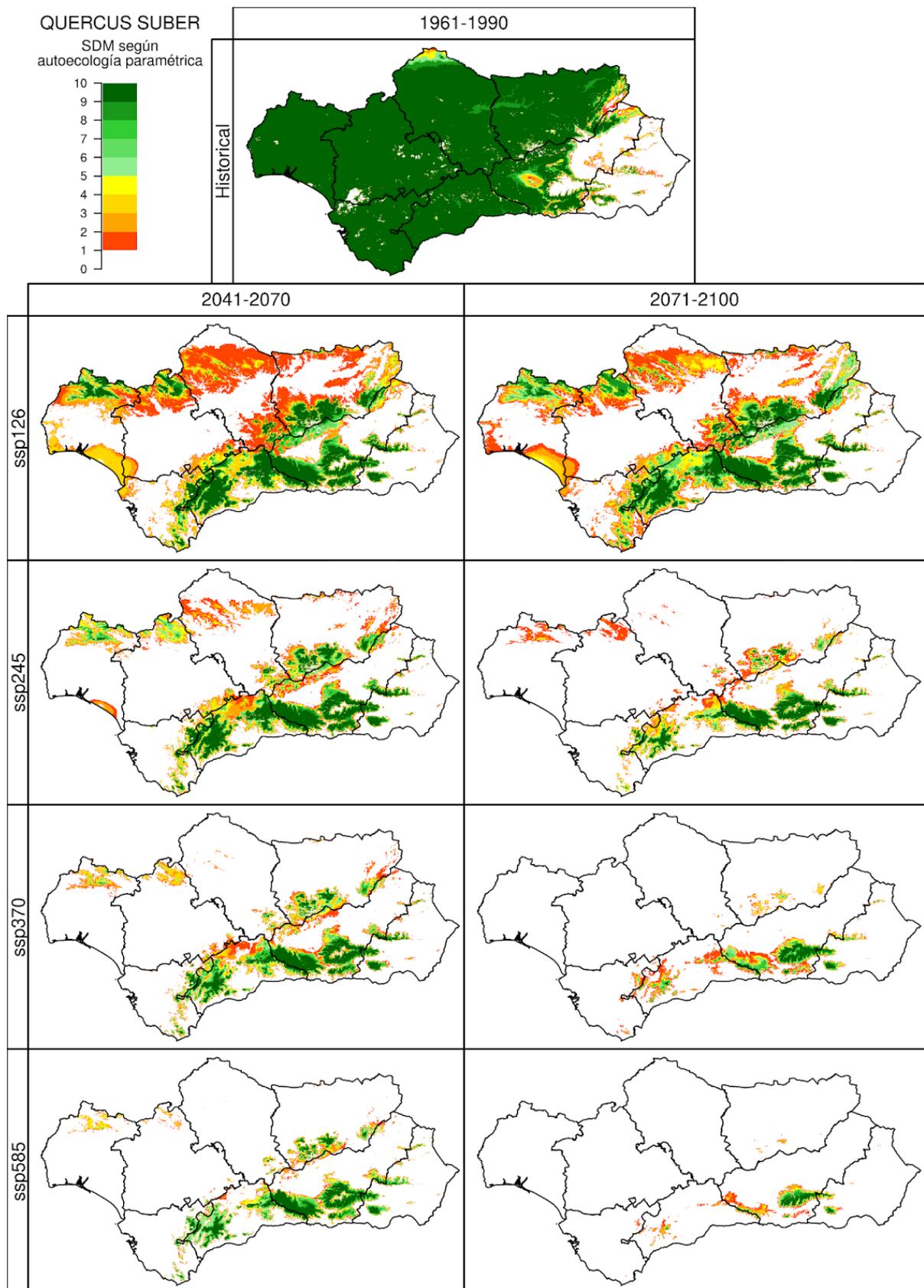


Figura 32.1. Índice de potencialidad de *Quercus suber* (QSUBER), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

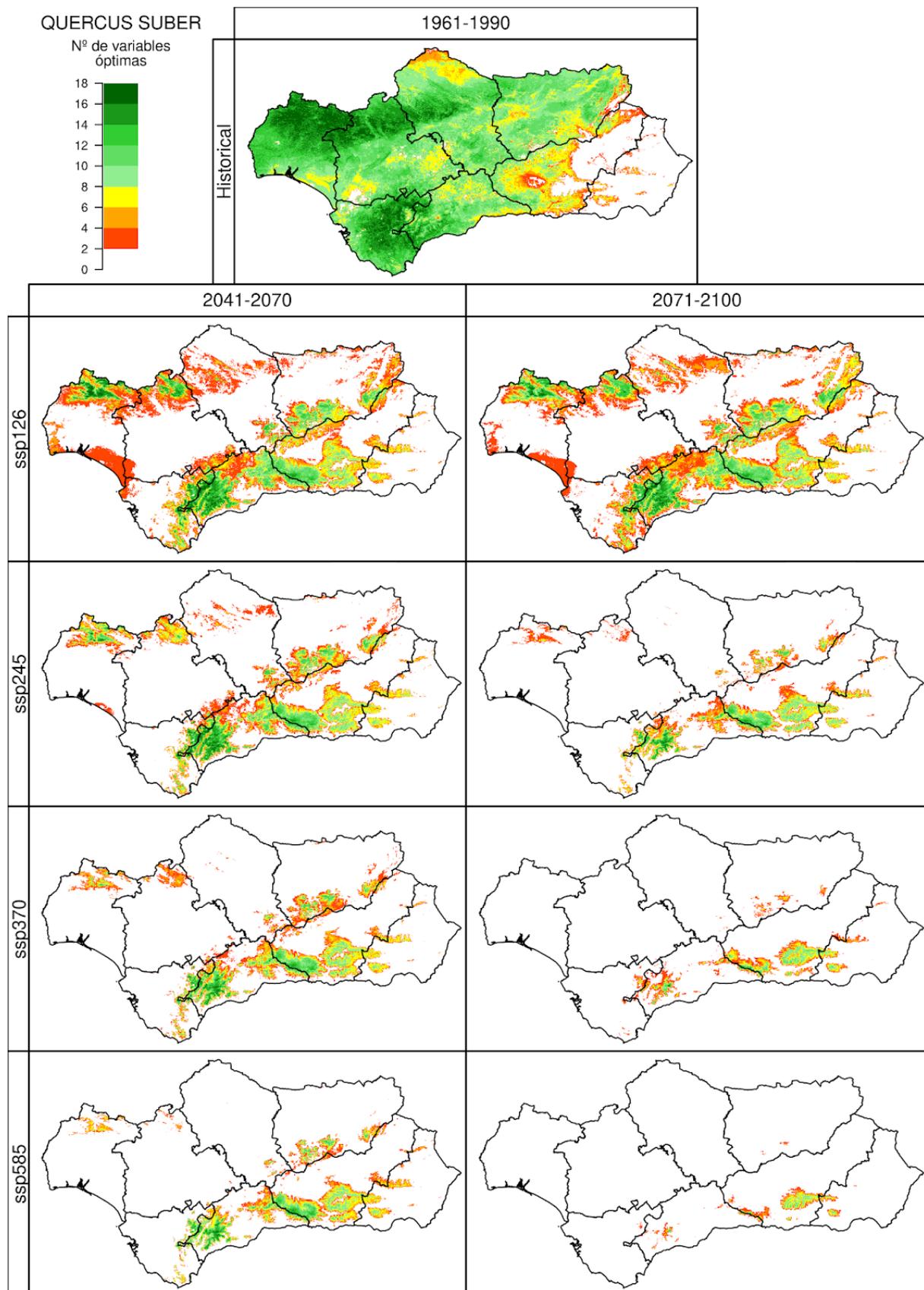


Figura 32.2. Número de variables óptimas de *Quercus suber* (QSUBER), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

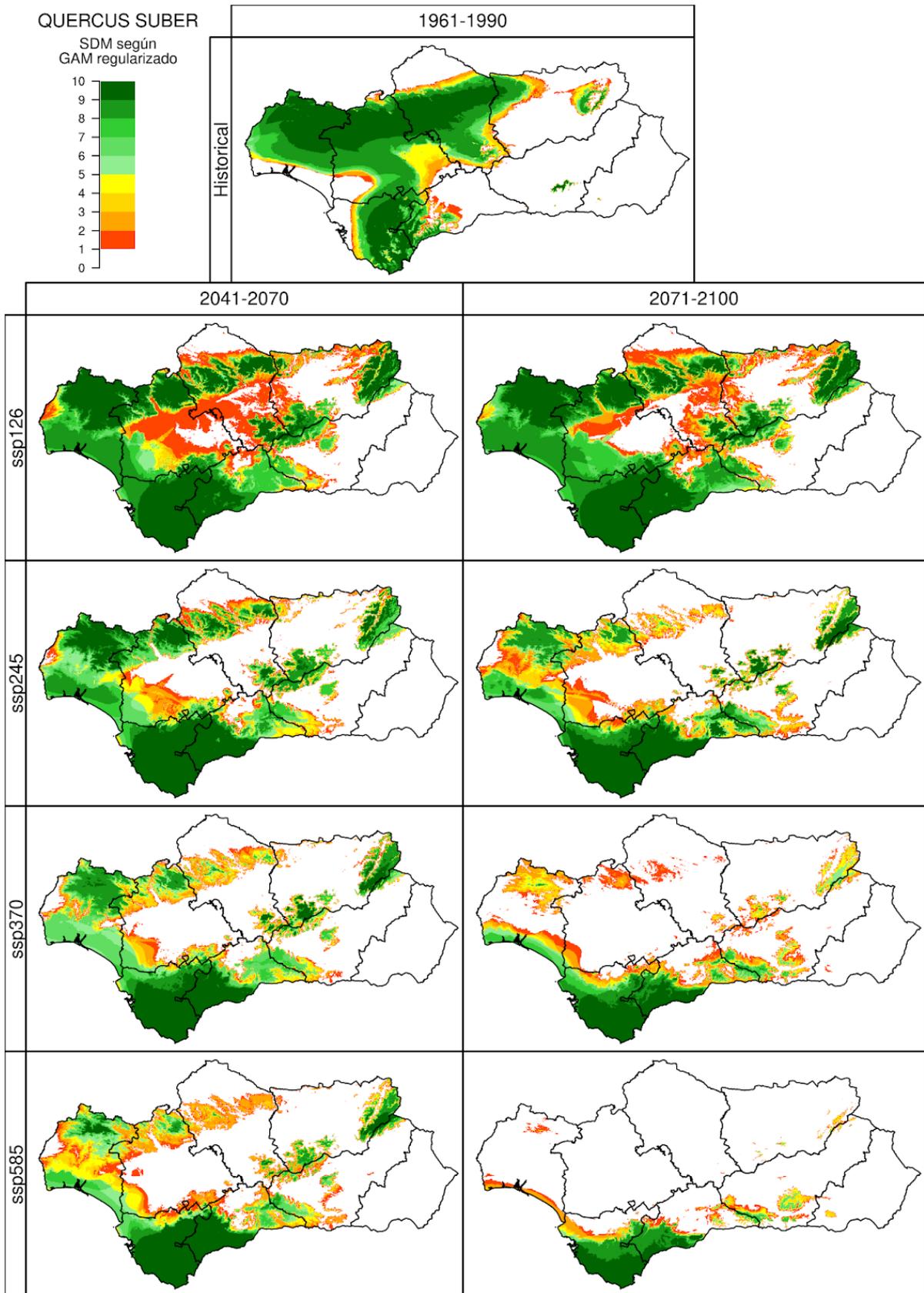


Figura 32.3. Idoneidad del territorio de *Quercus suber* (QSUBER), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

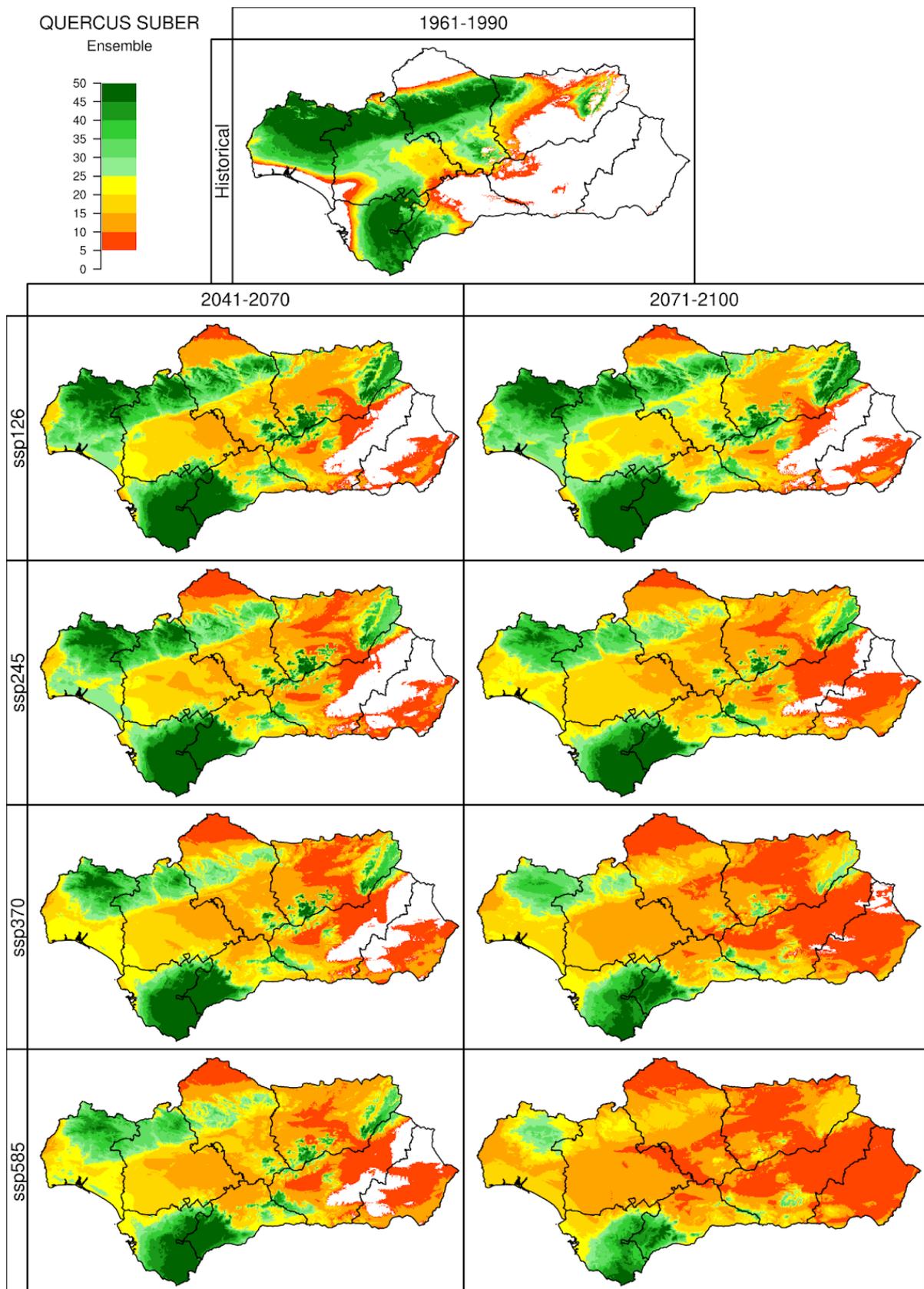


Figura 32.4. Idoneidad del territorio de *Quercus suber* (QSUBER), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

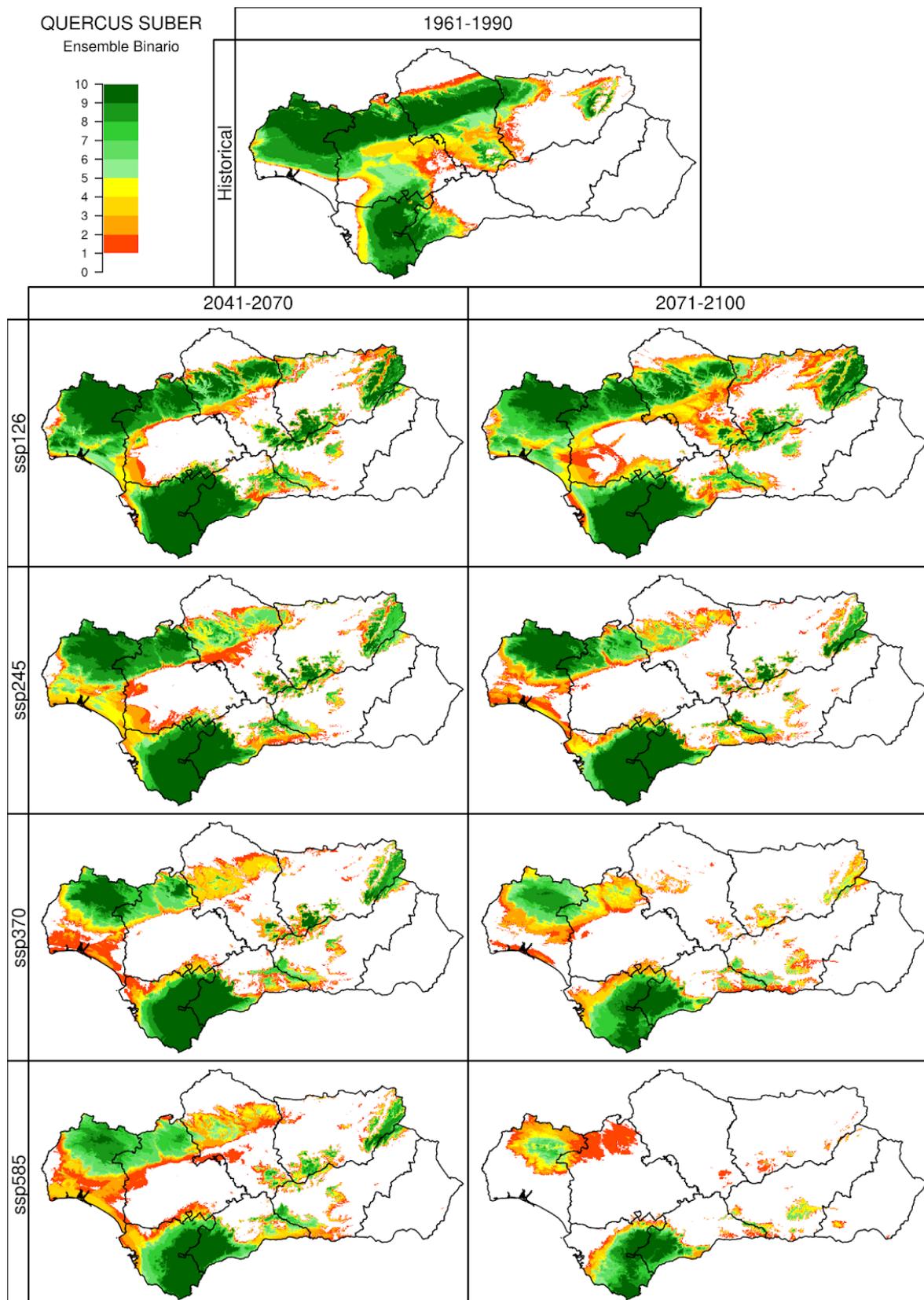


Figura 32.5. Idoneidad del territorio de *Quercus suber* (QSUBER), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

33. QUERCUS ILEX: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Quercus ilex* L. subsp. *ballota* (Desf.) Samp. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período Historical se puede observar que según Autoecología paramétrica y GAM la potencialidad del *Quercus ilex* está extendida casi en la totalidad de la comunidad autónoma. GAM parece no captar enteramente las temperaturas extremas frías como limitante de la especie, al incluir las cumbres de Sierra Nevada como idóneas. A su vez, Gandulló no parece reconocer que en las zonas costeras cálidas andaluzas la encina no es idónea, en detrimento de otras especies como el palmito o el algarrobo.

A mediados de siglo ambos tipos de modelizaciones muestran tendencias de reducción distintas. En Sierra Morena, GAM indica que la idoneidad de la especie se mantiene en todos los escenarios, si bien se reduce ligeramente según la gravedad del escenario en algunas partes de la sierra. Sin embargo, según Autoecología paramétrica la especie conserva manchas de idoneidad en el SSP1-2.6, pero en el resto de escenarios disminuye hasta conservar únicamente unos pocos y reducidos refugios. En cuanto a las Cordilleras Béticas, ambos modelos indican una alta idoneidad en las partes de media y alta montaña. Sin embargo, a diferencia de Autoecología paramétrica, GAM no muestra idoneidad ni en las partes bajas de las cordilleras ni en los espacios entre Cordillera Bética y Subbética. Por último, en el valle del Guadalquivir Autoecología paramétrica muestra con toda seguridad la desaparición de idoneidad en todo el valle del Guadalquivir, mientras que GAM presenta la misma tendencia a excepción del escenario SSP1-2.6, donde mantiene la idoneidad en la parte media del valle.

A finales de siglo, a parte del escenario SSP1-2.6, en todos los escenarios según Autoecología paramétrica dejará de existir territorio idóneo en Sierra Morena. En cambio, según GAM este territorio se mantiene como idóneo y sólo se reduce casi hasta desaparecer en el escenario SSP5-8.5. Por último, en los SSP1-2.6 y SSP2-4.5 ambos modelos presentan idoneidad en las cordilleras Béticas, mientras que en los SSP3-7.0 y SSP5-8.5 para Autoecología paramétrica la idoneidad se presenta únicamente en la cordillera Penibética.

El algoritmo ensemble predice con incertidumbre zonas áridas de Almería en el Historical. Tanto a presente como a futuro coincide GAM con los espacios donde la gran mayoría de algoritmos del ensemble están de acuerdo. Sin embargo, el ensemble marca en los SSP más graves, amplios terrenos como idóneos con valores entre 35-25, donde GAM señala como no idóneo.

El período Historical parecía mostrar que ambos modelos habían podido captar la capacidad de soportar fuertes sequías y calores extremos de la encina. En la encina GAM parece haber captado mejor la capacidad de adaptación de la especie a distintos ambientes. Sin embargo, la metodología ensemble señala con poca certeza amplios espacios idóneos. Esta especie merecería un estudio más profundo por su amplia distribución y capacidad de adaptación.

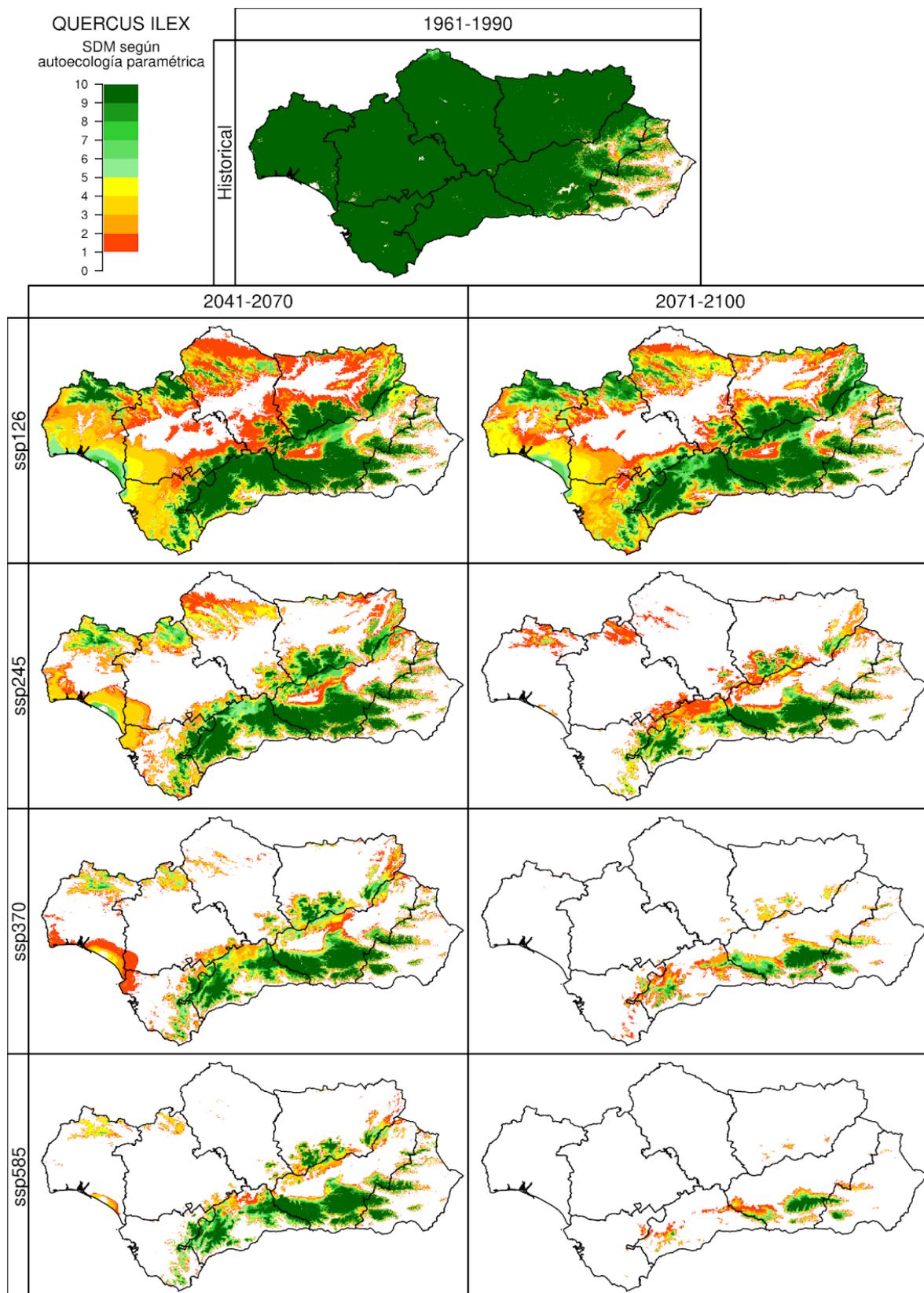


Figura 33.1. Índice de potencialidad de *Quercus ilex* (QILEX), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

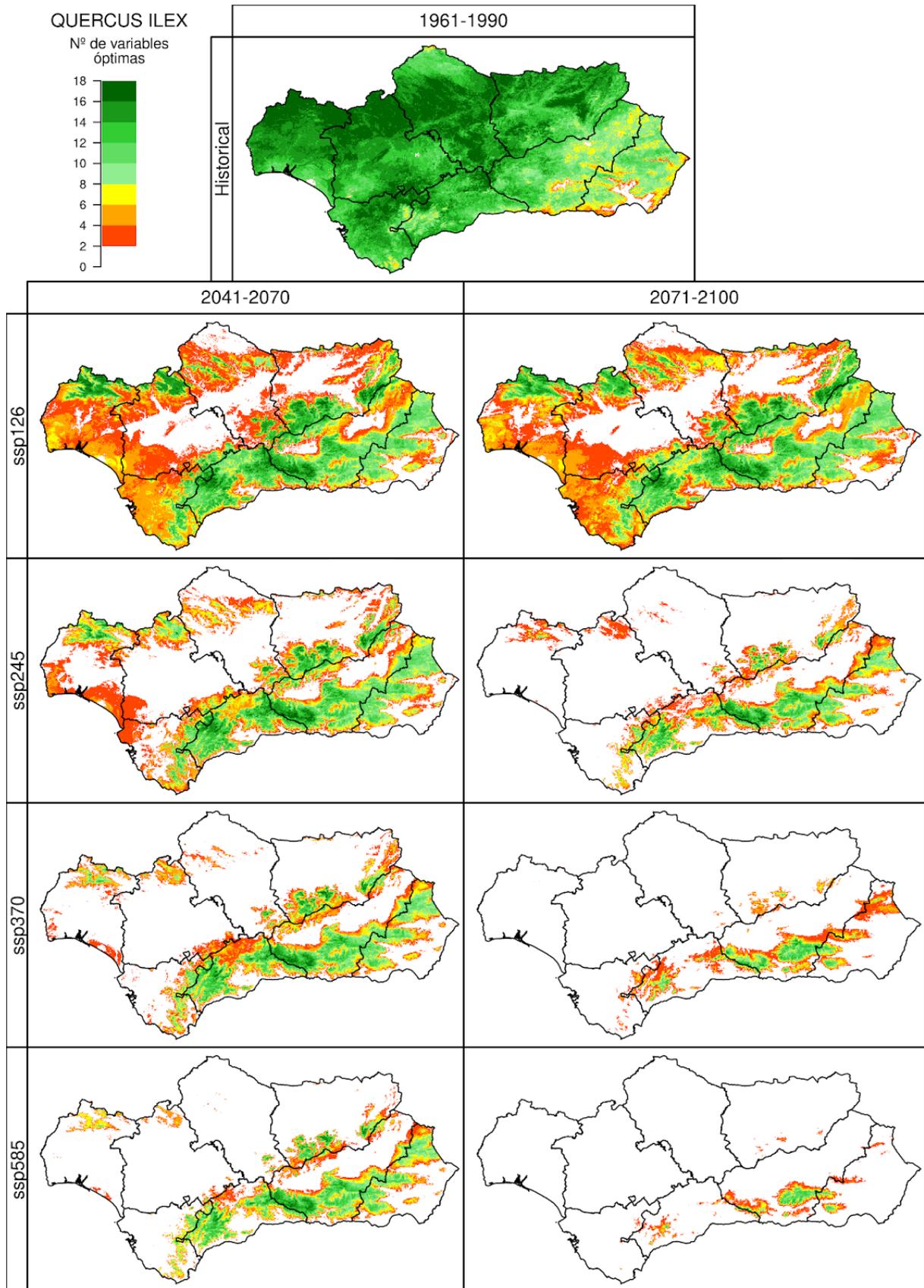


Figura 33.2. Número de variables óptimas de *Quercus ilex* (QILEX), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

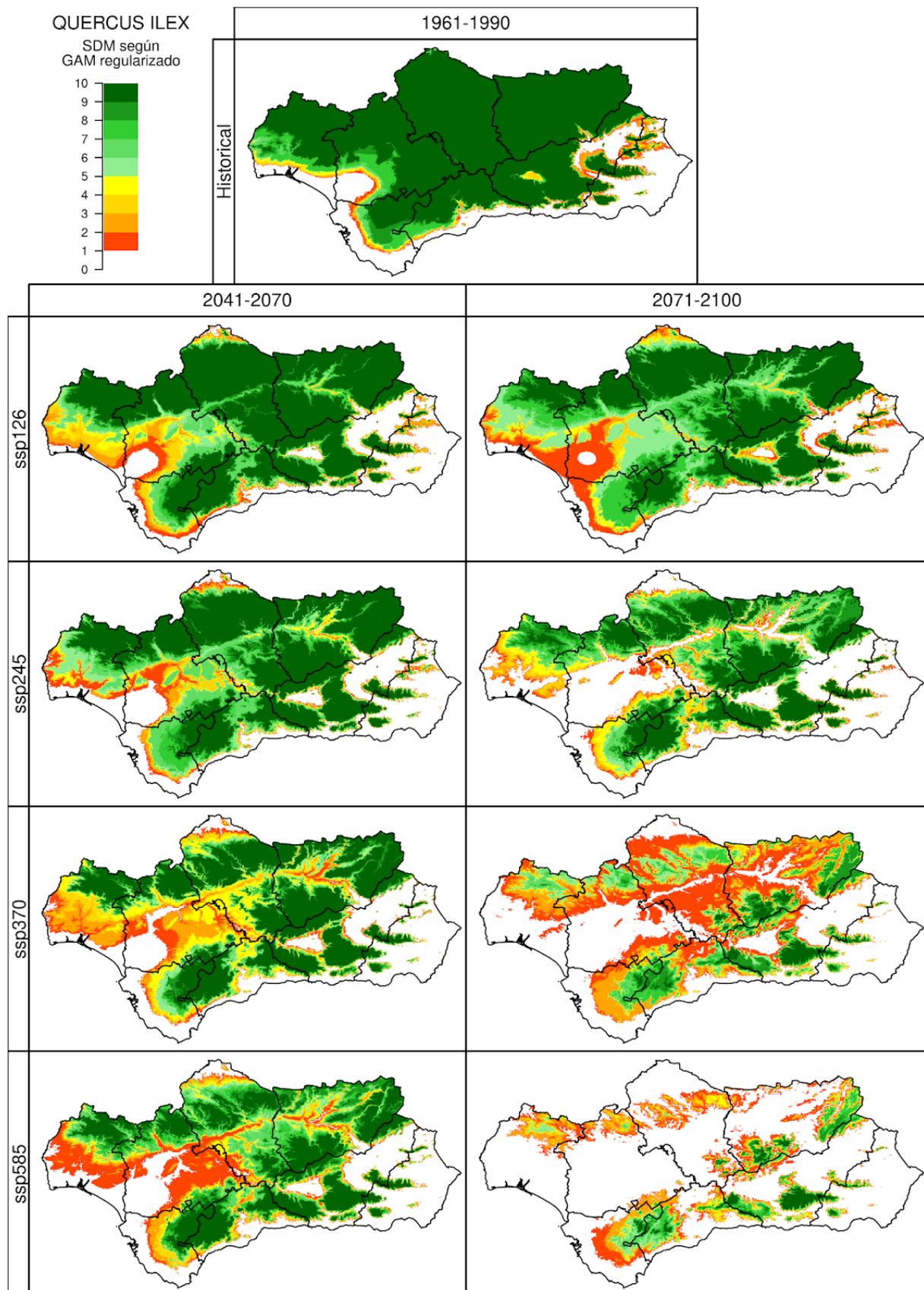


Figura 33.3. Idoneidad del territorio de *Quercus ilex* (QILEX), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

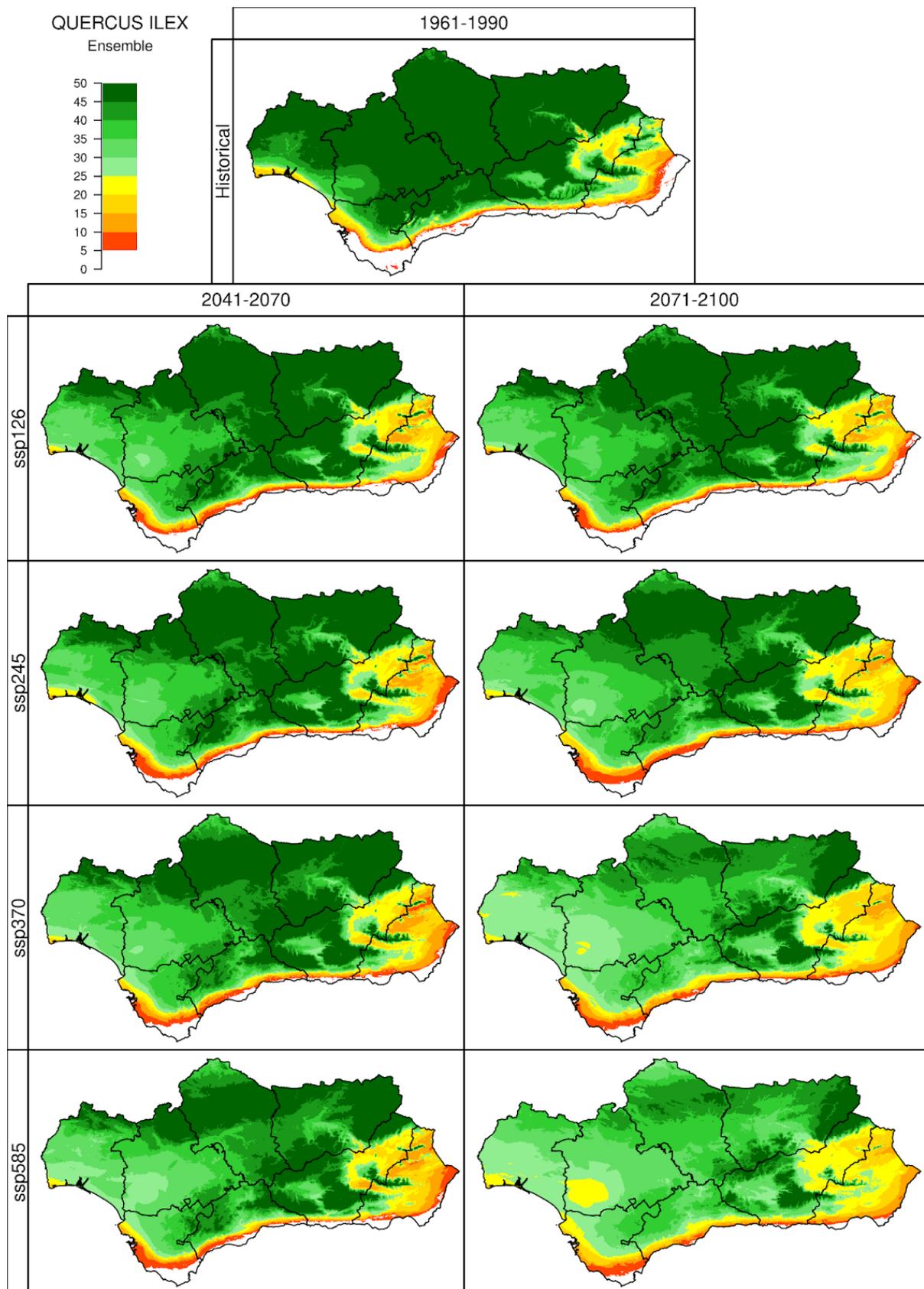


Figura 33.4. Idoneidad del territorio de *Quercus ilex* (QILEX), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

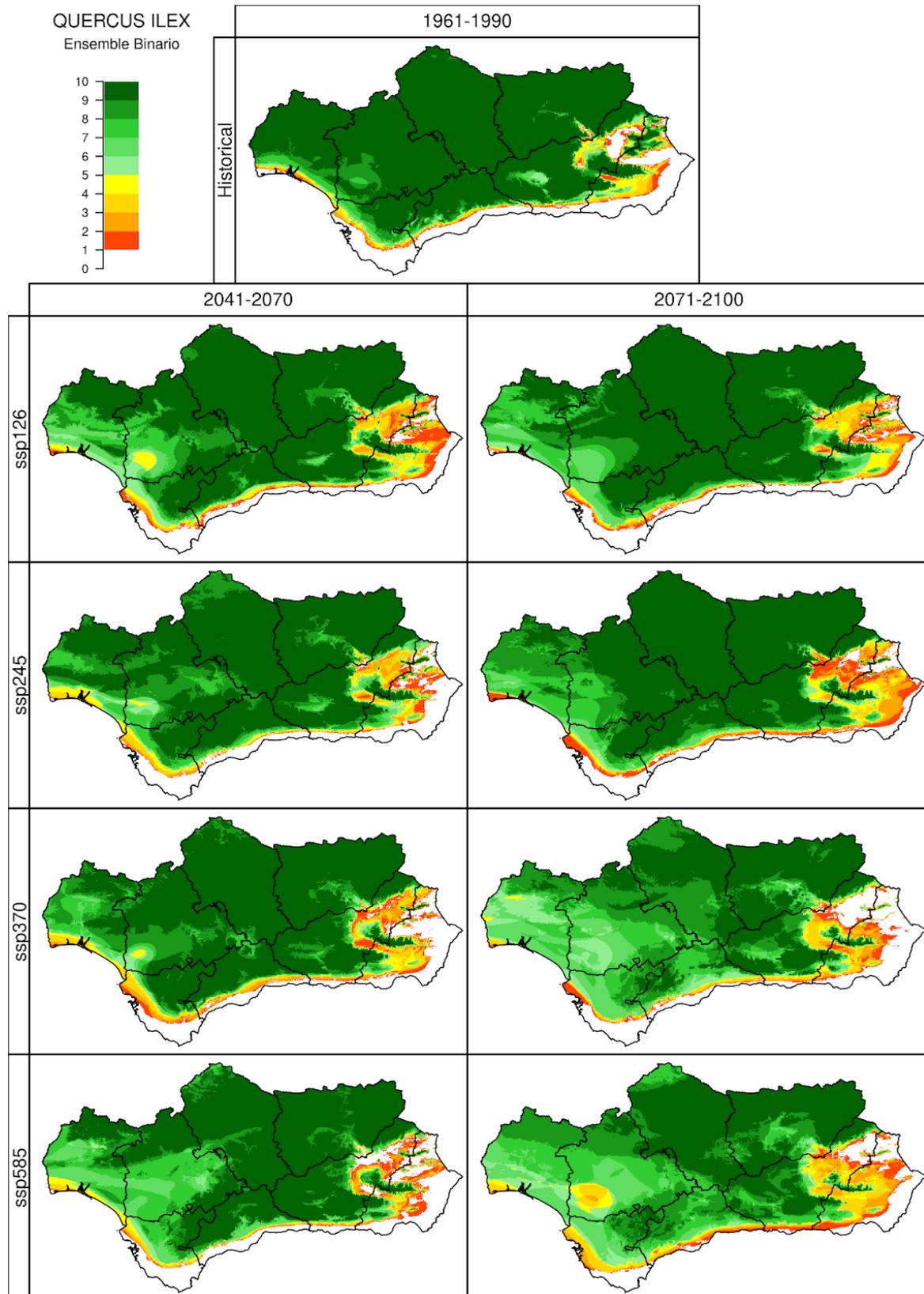


Figura 33.5. Idoneidad del territorio de *Quercus ilex* (QILEX), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

34. QUERCUS CANARIENSIS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Quercus canariensis* Willd. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

La distribución de *Quercus canariensis* es restringida y se encuentran sus poblaciones más importantes en las Sierras de Cádiz y Málaga. Sin embargo, también tiene pequeñas poblaciones dispersas por otras provincias como Huelva o Sevilla. Esto se ve reflejado en el período Historical, donde GAM ha caracterizado la idoneidad de las poblaciones de Cádiz y Málaga, mientras que Autoecología paramétrica, debido a esas pequeñas poblaciones dispersas, caracterizó como idónea una gran parte del sudeste andaluz. Esta especie es termófila e higrófila con una distribución muy restringida, por lo que a priori parece ser que no ha sido bien caracterizada por parte de Autoecología paramétrica.

A mitad de siglo la idoneidad marcada por Autoecología paramétrica para todo el sudeste andaluz se ve restringida a sierras de la cordillera Penibética y a las de Cádiz y Málaga. Según GAM, la idoneidad en las sierras de estas dos últimas provincias se reduce pero se mantiene en algunos espacios en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5, mientras que en los dos escenarios más graves la idoneidad es restringida a espacios muy restringidos.

En el final de siglo, según GAM en el escenario SSP1-2.6 la reducción de idoneidad disminuye hasta casi una estabilización, manteniéndose terreno idóneo. En el resto de escenarios, la idoneidad para esta especie casi desaparece manteniéndose manchas en rojo por algunos modelos climáticos en los que sigue siendo idóneo. Autoecología paramétrica sigue una trayectoria parcialmente distinta, al indicar idoneidad en el oeste de Málaga al igual que GAM, pero también en las zonas de Sierra de Almirajara en los escenarios menos graves. En los otros dos escenarios la idoneidad desaparece al igual que GAM.

Ensemble presenta mapas de idoneidad muy parecidos a GAM.

Autoecología paramétrica parece no captar bien el carácter higrófilo y termófilo de la especie, si bien es cierto que esto se debe a las presencias existentes en las provincias de Huelva y Sevilla. Esto puede deberse a que estas poblaciones están más adaptadas a condiciones algo más extremas. Pese a todo esto, ambos modelos señalan que las poblaciones importantes de Cádiz y Málaga se encuentran en riesgo a partir de mitad de siglo y en casi todos los escenarios posibles.

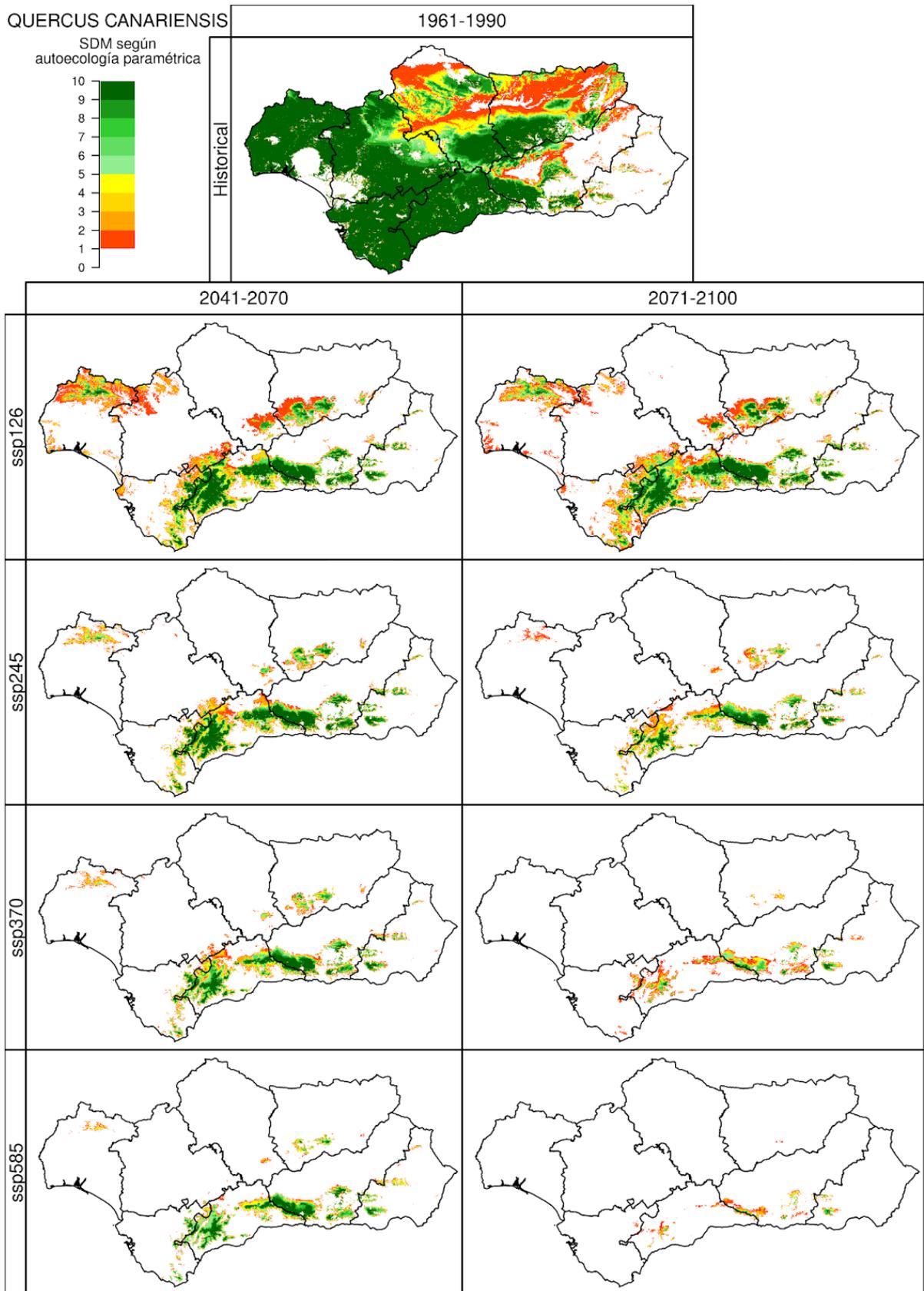


Figura 34.1. Índice de potencialidad de *Quercus canariensis* (QCAN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

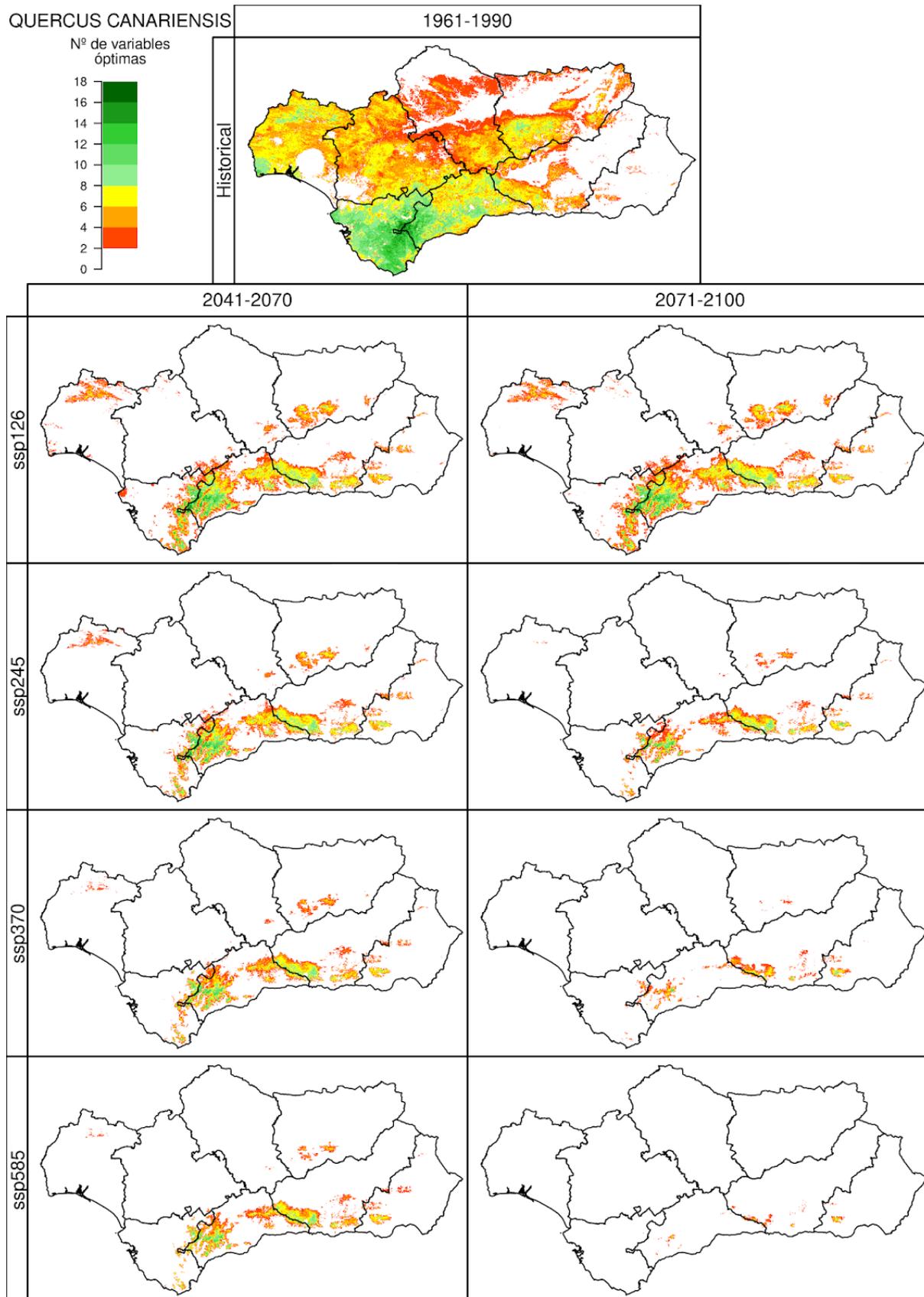


Figura 34.2. Número de variables óptimas de *Quercus canariensis*(QCAN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

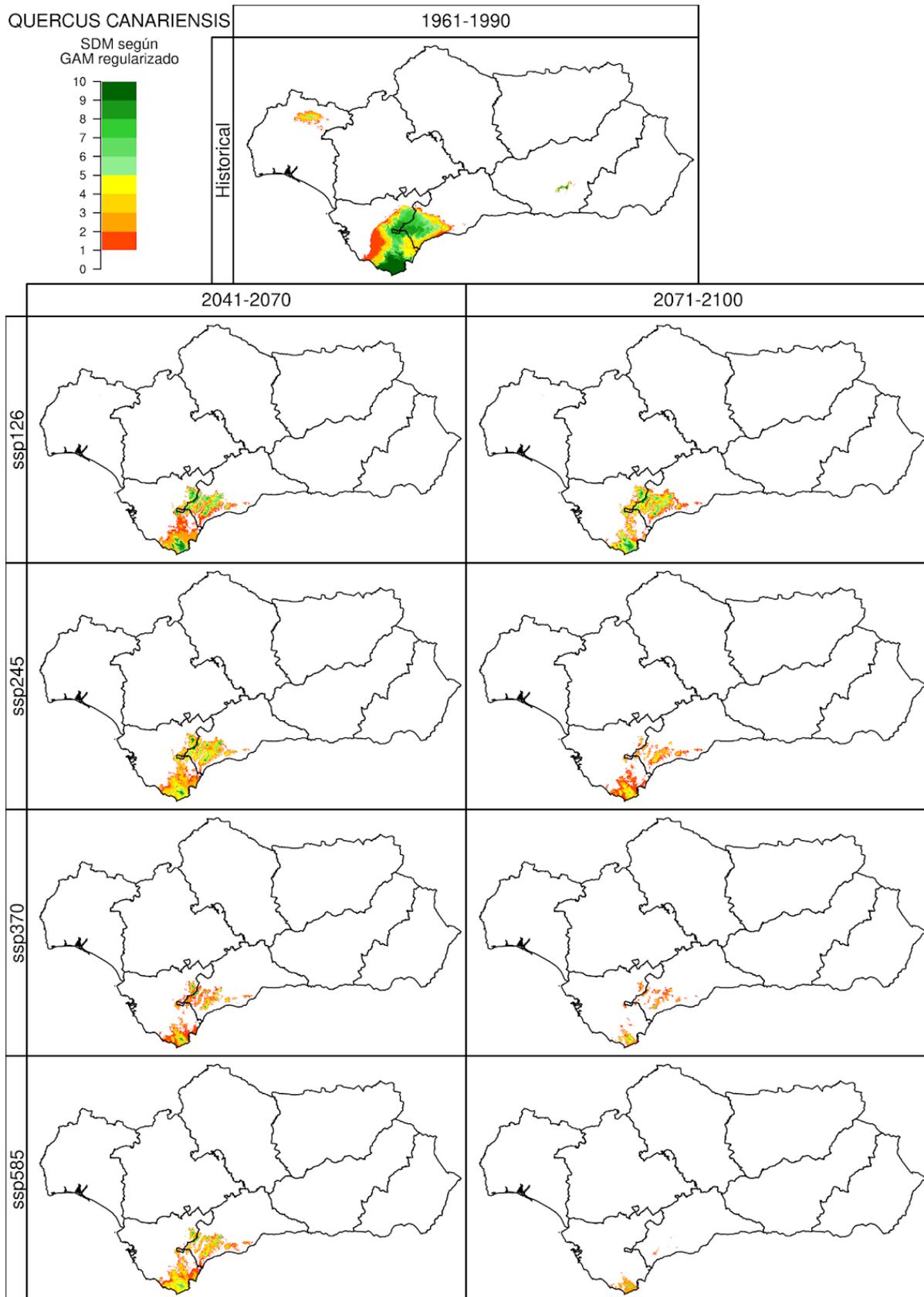


Figura 34.3. Idoneidad del territorio de *Quercus canariensis* (QCAN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

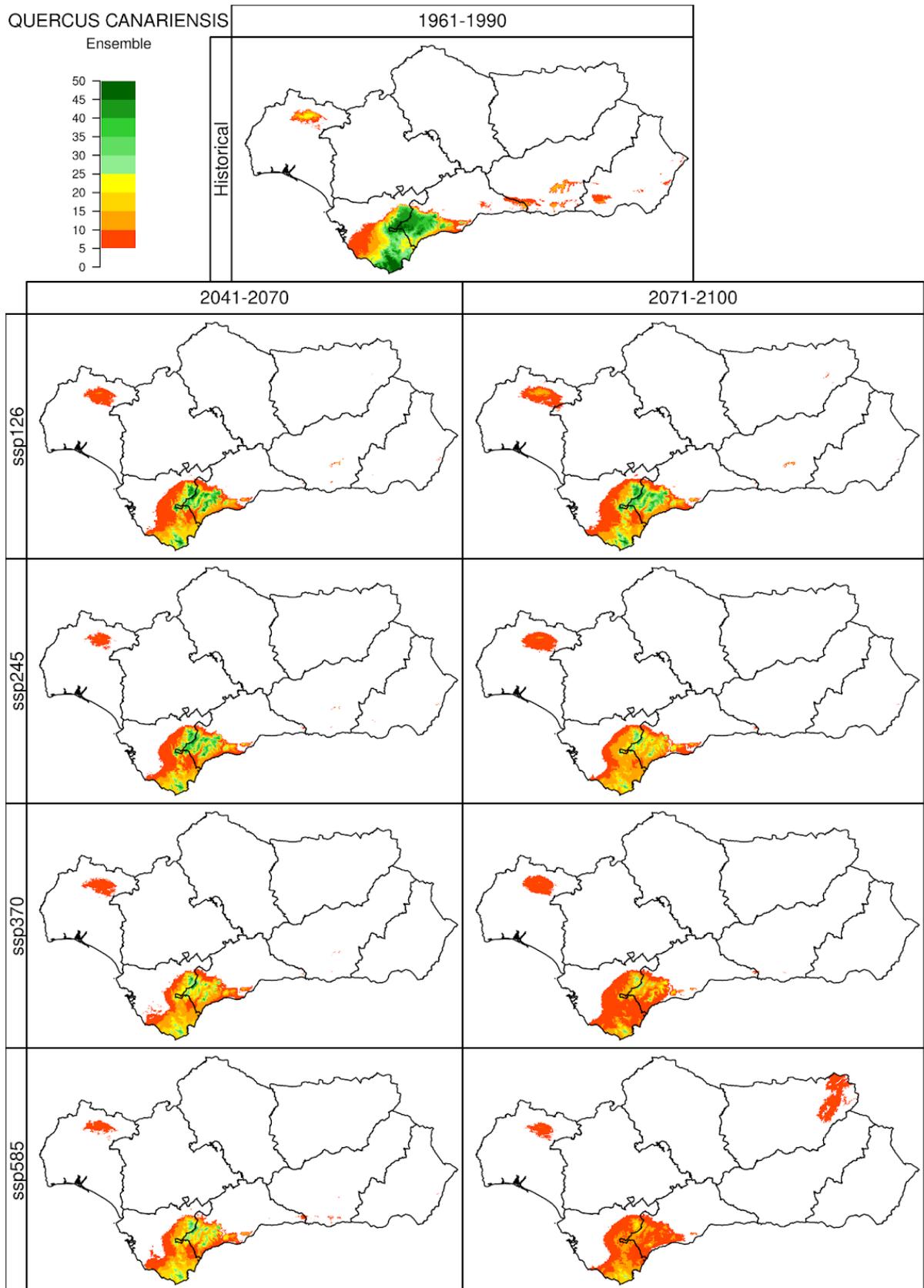


Figura 34.4. Idoneidad del territorio de *Quercus canariensis* (QCAN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

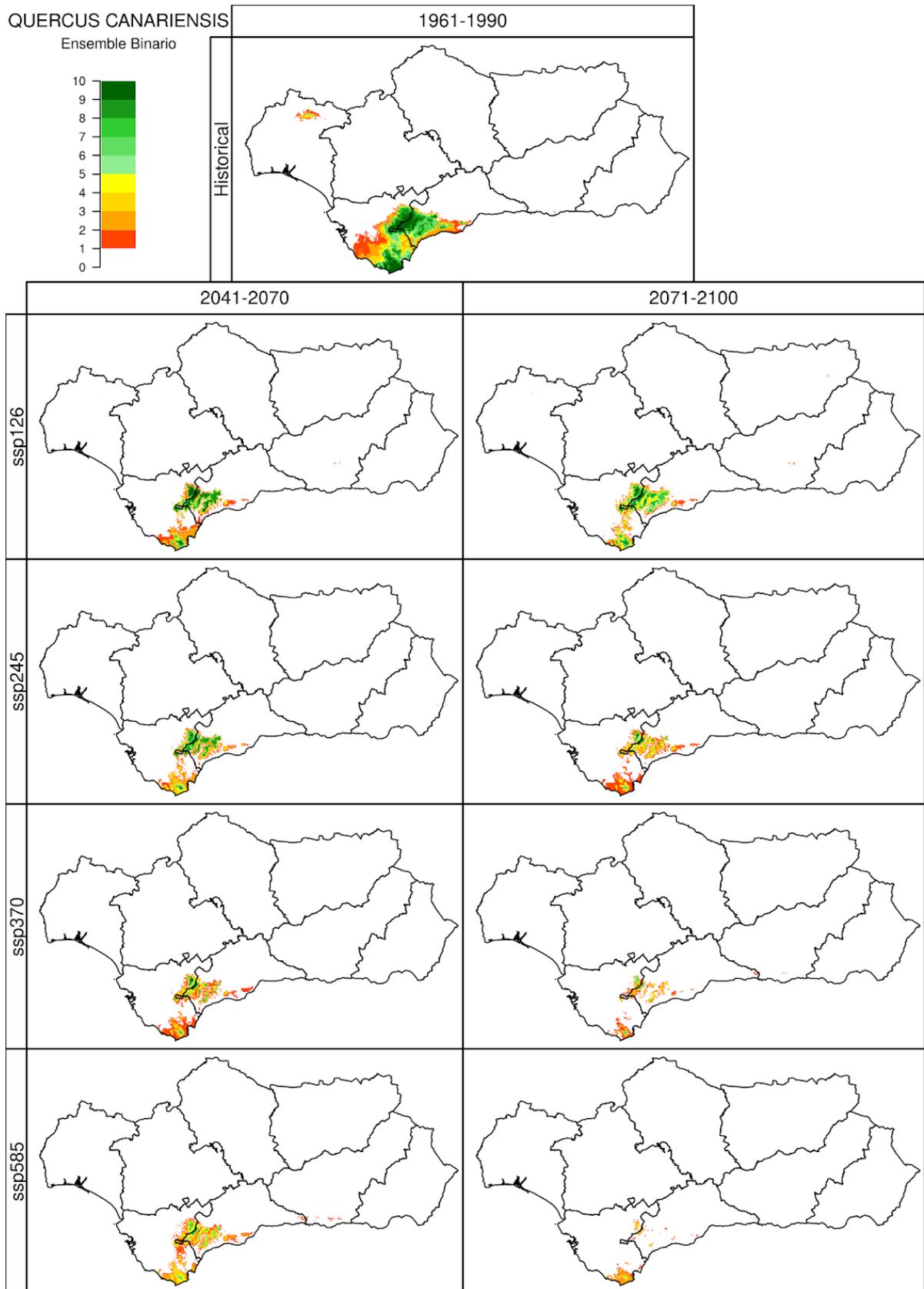


Figura 34.5. Idoneidad del territorio de *Quercus canariensis* (QCAN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

35. QUERCUS FAGINEA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Quercus faginea* Lam. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble. Especie también de difícil modelización, por su amplia distribución y capacidad de adaptación, sumado esto que se divide en dos subespecies en la Península Ibérica.

En el período histórico, Autoecología paramétrica estima como idóneo gran parte del territorio andaluz, a excepción de las zonas áridas del sudeste. Mientras, GAM se ajusta a la distribución observada de la especie, marcando como idónea Sierra Morena y las cordilleras Béticas. Autoecología parece sobreestimar la idoneidad de *Quercus faginea*, mientras que GAM clasifica erróneamente como ausencias algunas poblaciones existentes entre Granada y Málaga en la cordillera Penibética.

A mitad de siglo la idoneidad climática se reduce de gran manera en todos los escenarios posibles. Según Autoecología paramétrica, el territorio idóneo para la especie desaparece en Sierra Morena, disminuye de gran manera en la cordillera Subbética y se mantiene mayoritariamente en la cordillera Penibética. GAM señala una desaparición de la especie en Sierra Morena al igual que Autoecología paramétrica, si bien al contrario que este último modelo, indica el mantenimiento de la especie en las sierras de Cazorla y Segura, y la desaparición en la cordillera Penibético (a excepción de Sierra Nevada y algunas montañas de Málaga).

En el final de siglo, en el escenario SSP1-2.6 según ambos modelos la situación se estabiliza. GAM muestra manchas de idoneidad en Sierra Nevada, y sobre todo en las Sierras de Cazorla y Segura. Autoecología paramétrica señala también como idóneo Sierra Nevada, pero indica también partes de la cordillera Penibética.

Ensemble presenta mapas de idoneidad parecidos a los presentados por GAM.

Ambos modelos muestran una reducción importante de la potencialidad de la especie. GAM se ajustó bien a la distribución observada de la especie, y Autoecología paramétrica mostró mucho terreno idóneo para *Quercus faginea*, algo a priori plausible con una especie con tanta valencia ecológica. Por lo tanto, se podría considerar ambas proyecciones como válidas pese a divergir, concluyendo en líneas generales que la distribución de la especie estará restringida a partes de la cordillera Penibética y de las sierras de Cazorla y Segura.

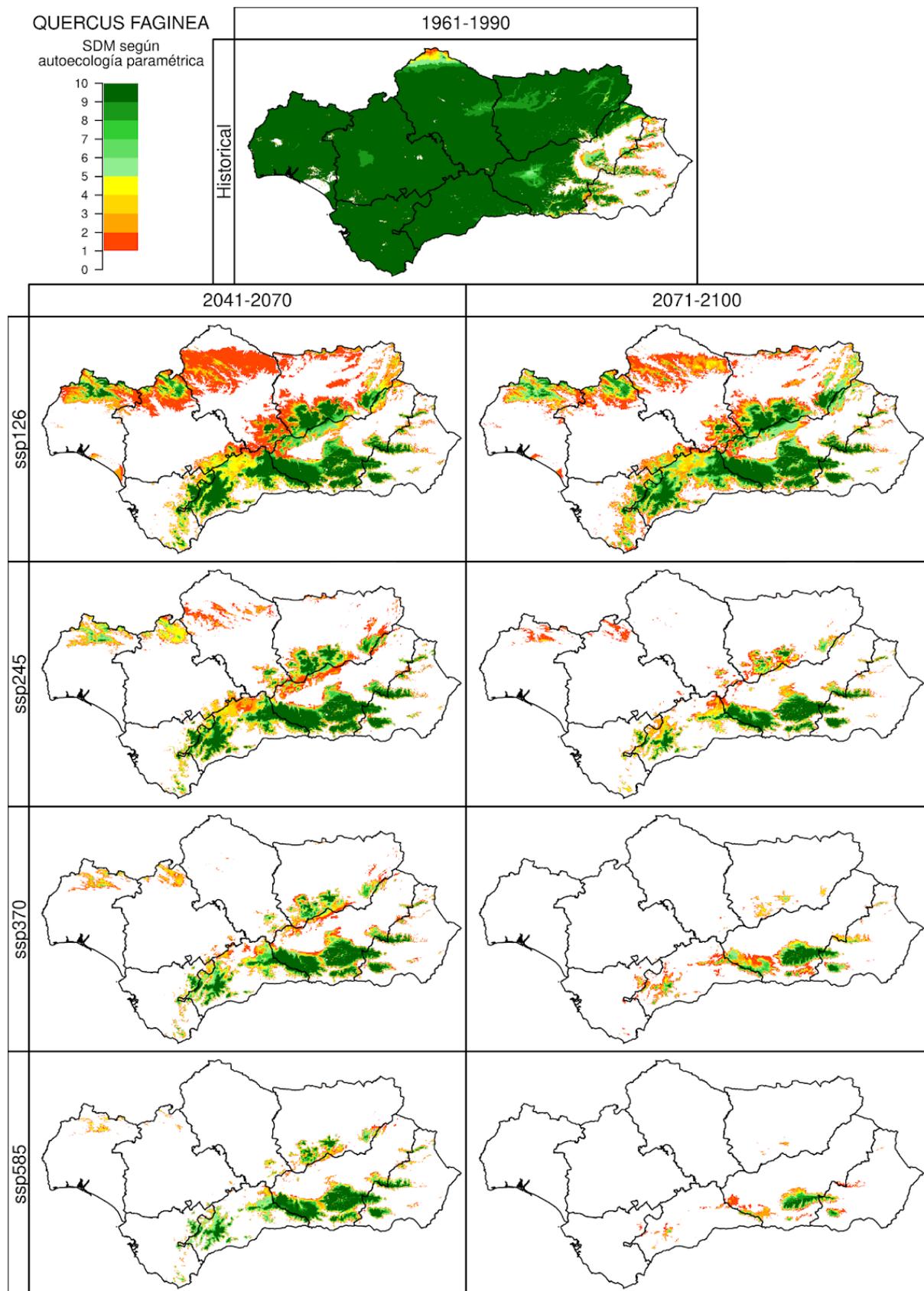


Figura 35.1. Índice de potencialidad de *Quercus faginea* (QFAG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

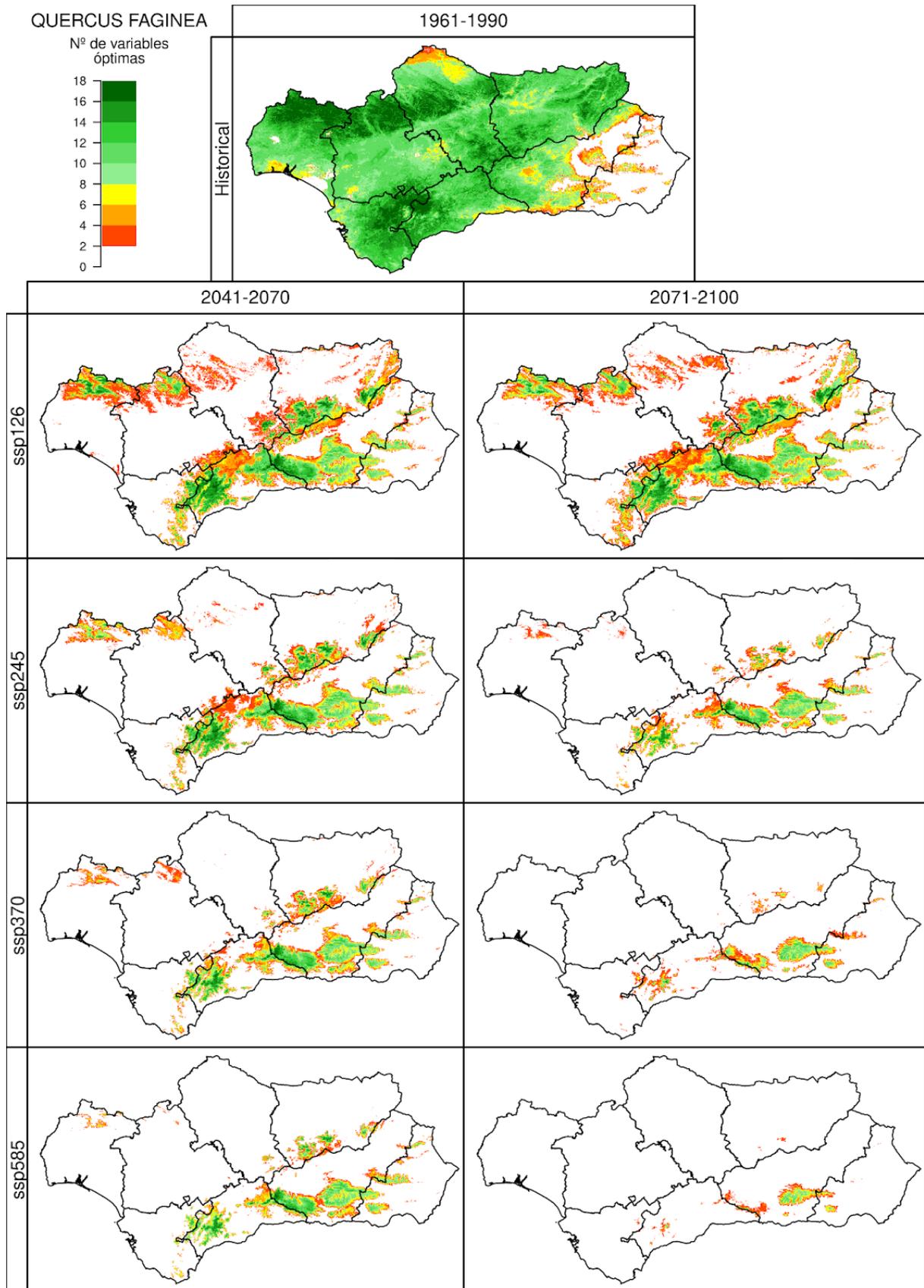


Figura 35.2. Número de variables óptimas de *Quercus faginea* (QFAG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

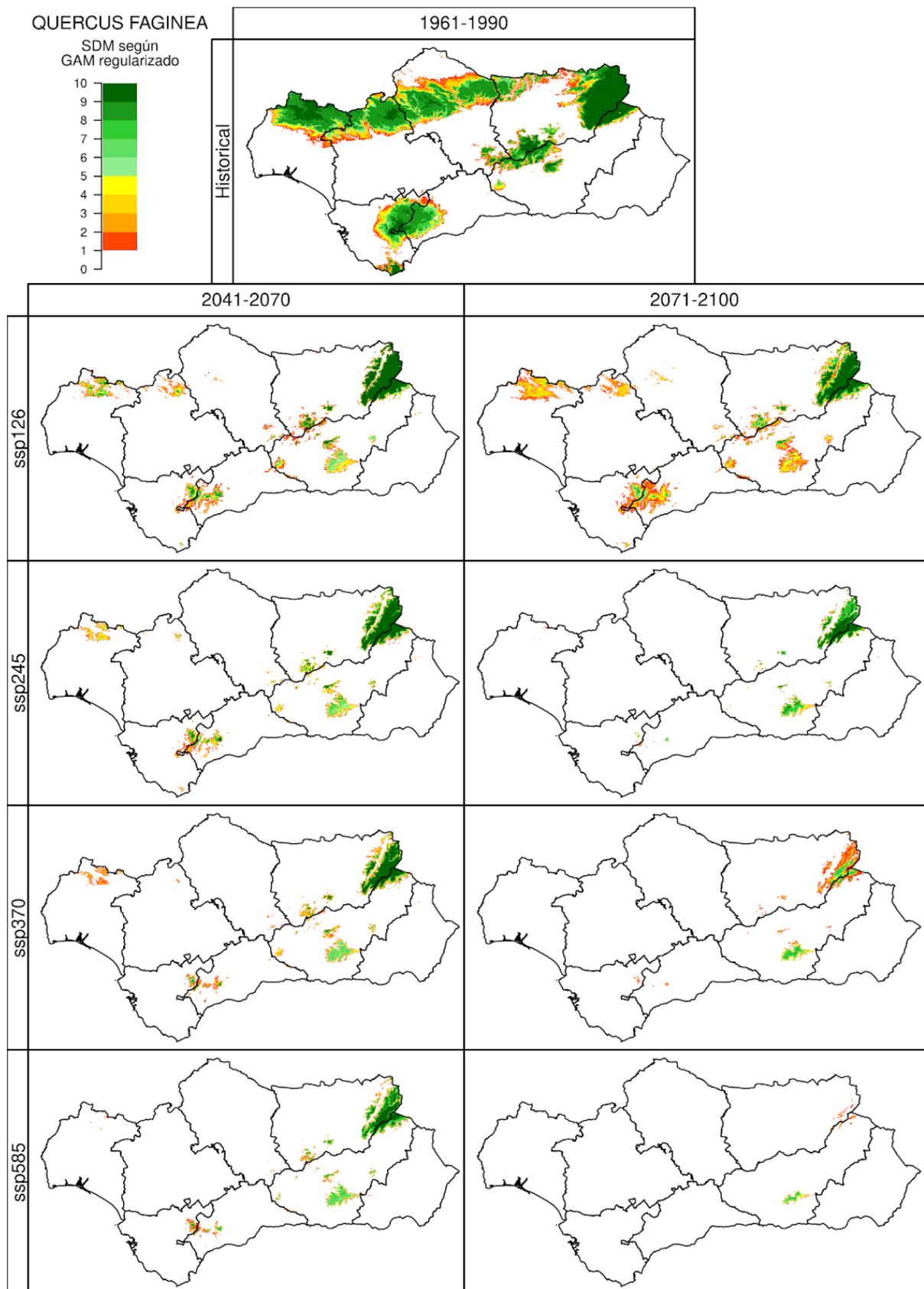


Figura 35.3. Idoneidad del territorio de *Quercus faginea* (QFAG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

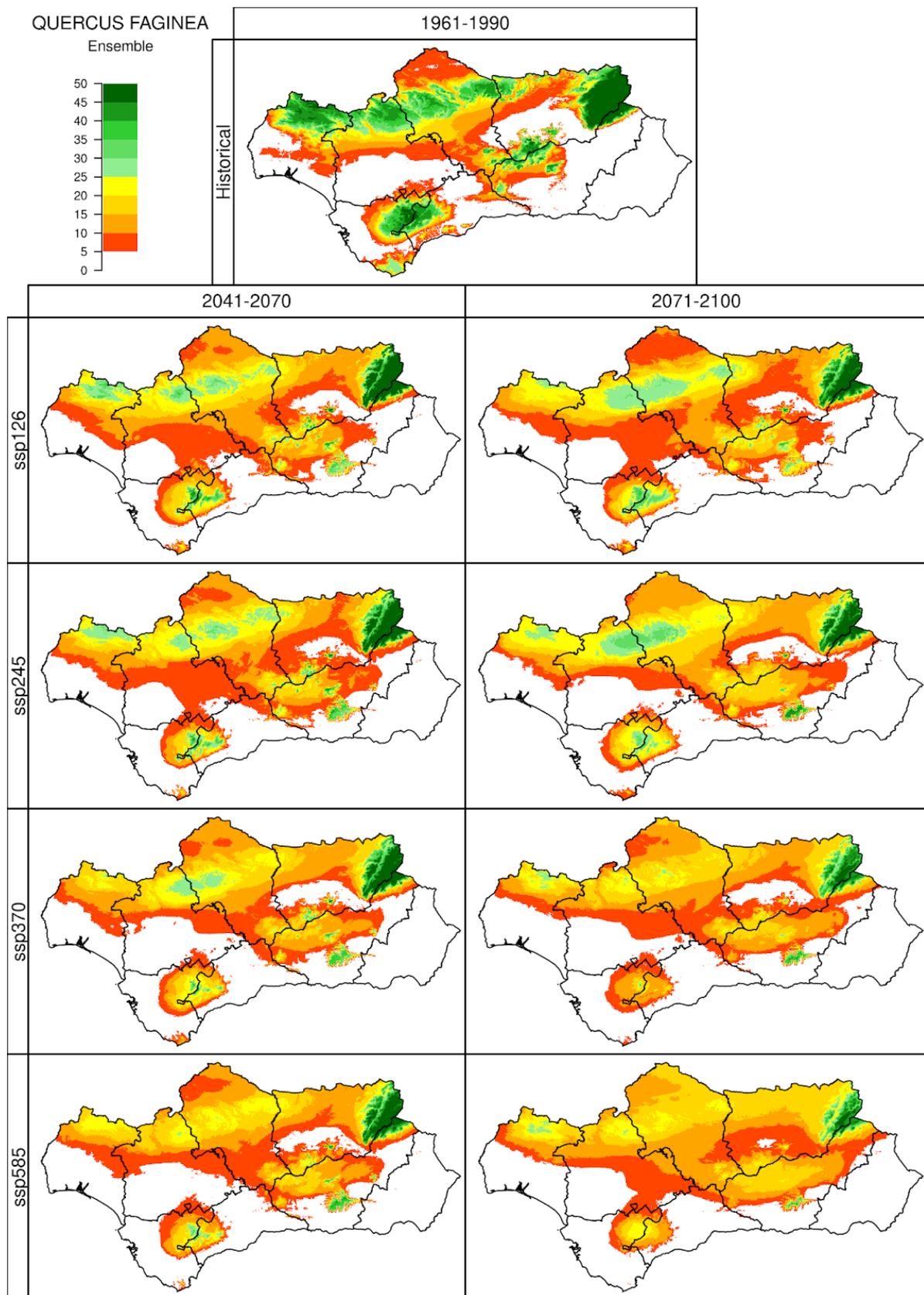


Figura 35.4. Idoneidad del territorio de *Quercus faginea* (QFAG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

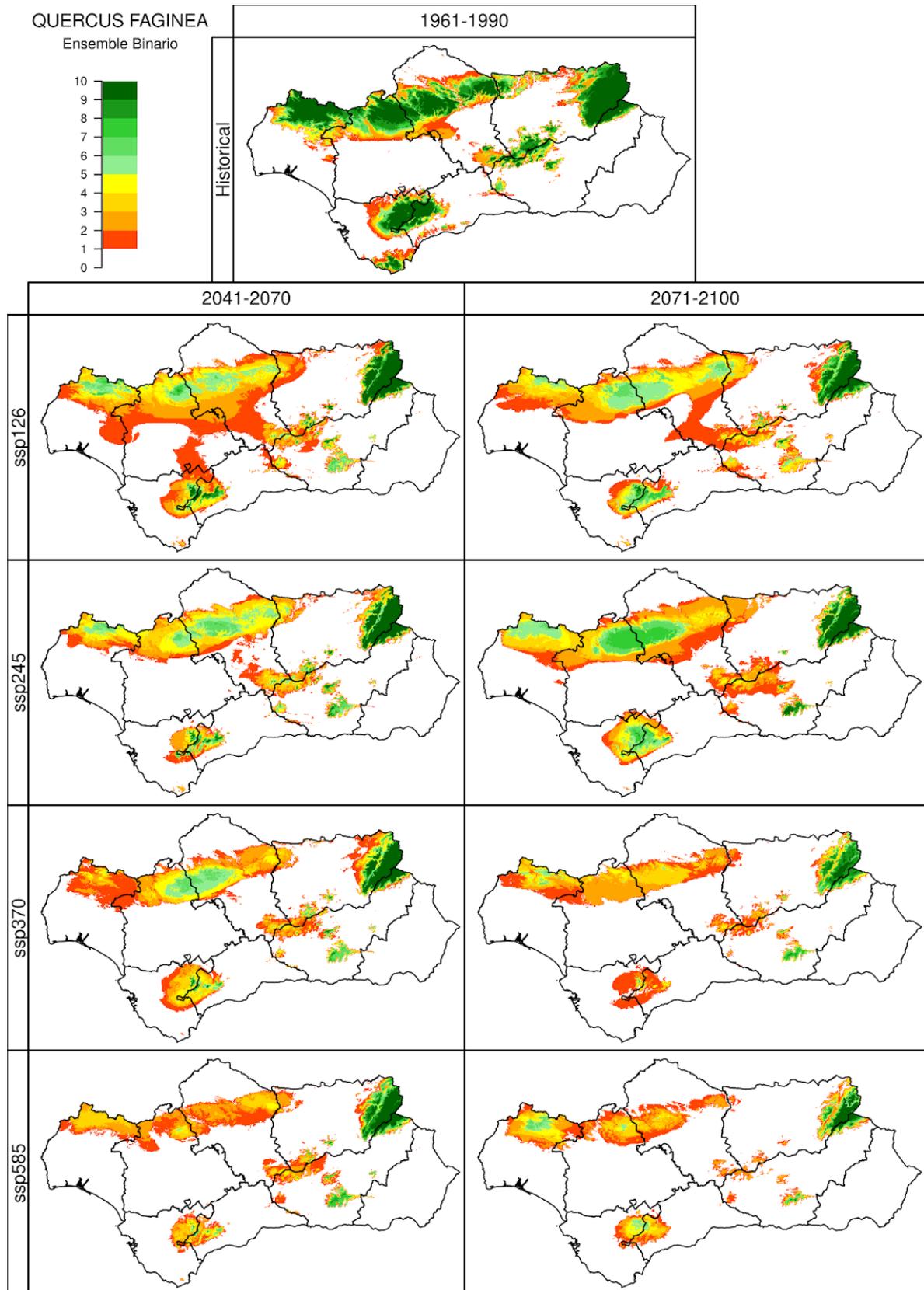


Figura 35.5. Idoneidad del territorio de *Quercus faginea* (QFAG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

36. QUERCUS PYRENAICA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Quercus pyrenaica* Willd. los resultados obtenidos del índice de potencialidad, el número de variables óptimas y la idoneidad según GAM regularizado.

En el período histórico Autoecología paramétrica muestra grandes manchas dispersas por toda la comunidad. Mientras, GAM se ajusta a la distribución observada de la especie, marcando como idónea Sierra Morena y las cordilleras Béticas. Teniendo en cuenta el carácter higrófilo del rebollo, parece que su aguante a humedades bajas está sobreestimado por Autoecología paramétrica. Por otro lado, GAM parece que está realizando el papel contrario, al marcar muy poca parte de Sierra Morena como idónea, cuando existen registros de poblaciones de esta especie en este territorio, sobreestimando el carácter higrófilo de la especie. Se puede observar que GAM no capta bien las temperaturas frías como aspecto limitante, al mostrar como idóneas la parte más alta de Sierra Nevada. Autoecología paramétrica en el escenario Historical también presentaba idoneidad en cotas bastante altas, pero sin llegar a las cimas.

A mitad de siglo la idoneidad climática se reduce de gran manera en todos los escenarios posibles. Según Autoecología paramétrica, el territorio idóneo para la especie desaparece en Sierra Morena, manteniéndose en las sierras húmedas de Cazorla y Segura y las partes altas de la Cordillera Penibética. GAM presenta una idoneidad más restringida, estando en las sierras de Cazorla y Segura, además de las cumbres de Sierra Nevada.

En el final de siglo, en el escenario SSP1-2.6 según ambos modelos la situación se estabiliza. En el resto de escenarios, Autoecología paramétrica y GAM marcan la reducción de idoneidad en las cumbres de Sierra Nevada, desapareciendo de las montañas de la cordillera Subbética.

Ensemble presenta una distribución parecida a GAM regularizado.

Autoecología paramétrica y GAM muestran una reducción importante de la potencialidad de la especie, reduciéndose en un futuro la idoneidad a zonas de montaña muy húmedas. GAM realiza propuestas más conservadoras mientras que Autoecología paramétrica puede ser más laxo con respecto al carácter higrófilo de la especie.

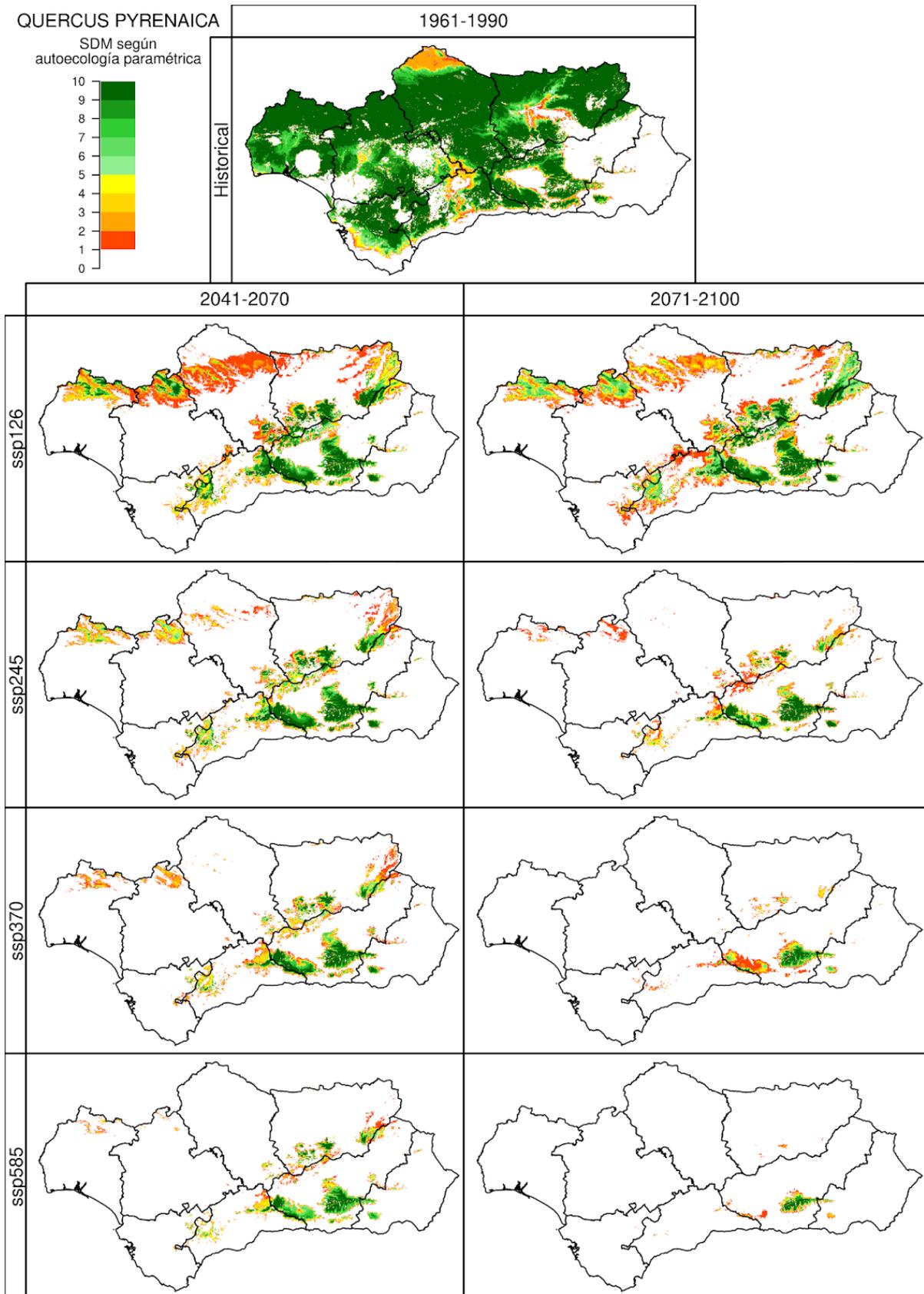


Figura 36.1. Índice de potencialidad de *Quercus pyrenaica* (QPYREN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

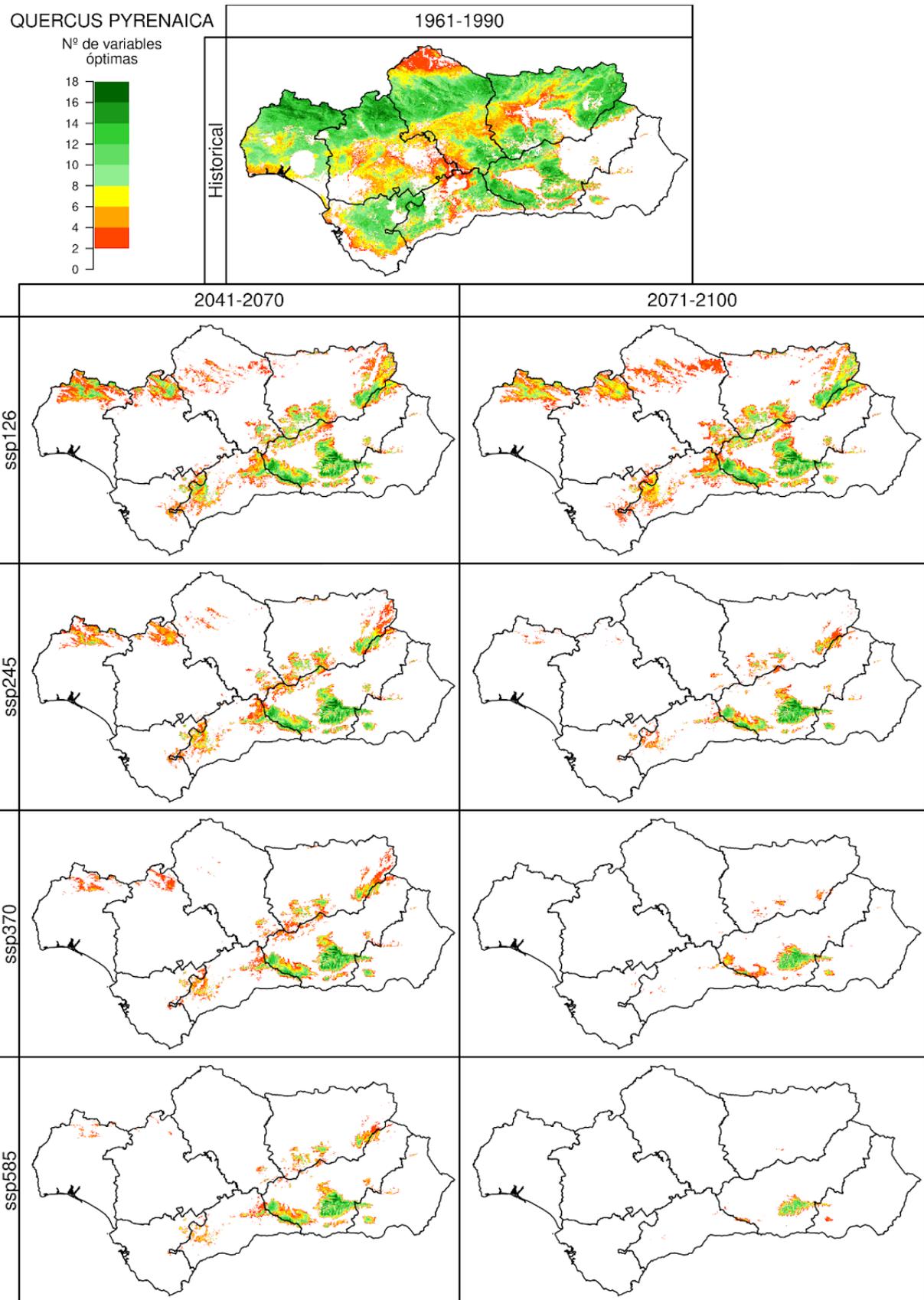


Figura 36.2. Número de variables óptimas de *Quercus pyrenaica* (QPYREN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

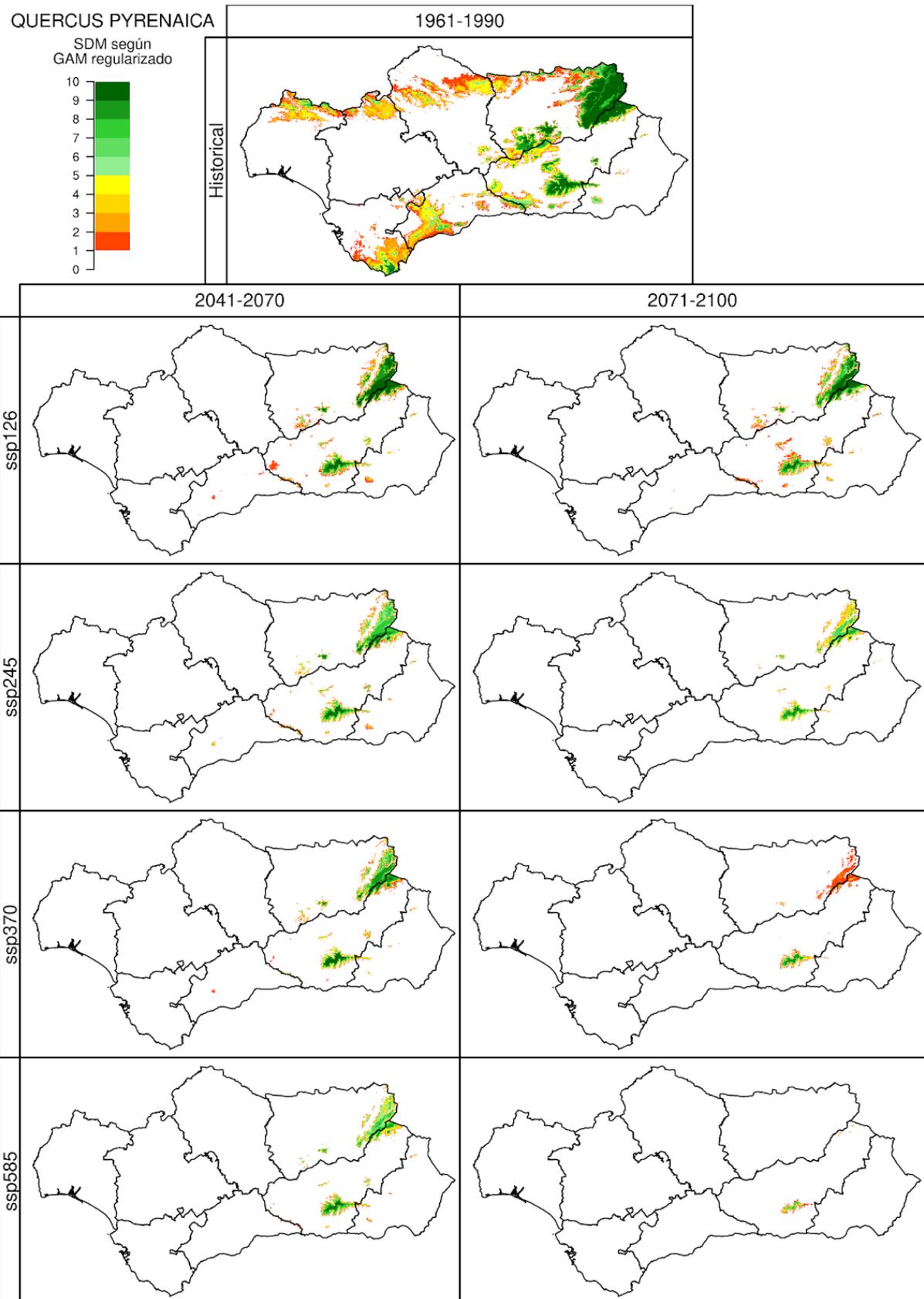


Figura 36.3. Idoneidad del territorio de *Quercus pyrenaica* (QPYREN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

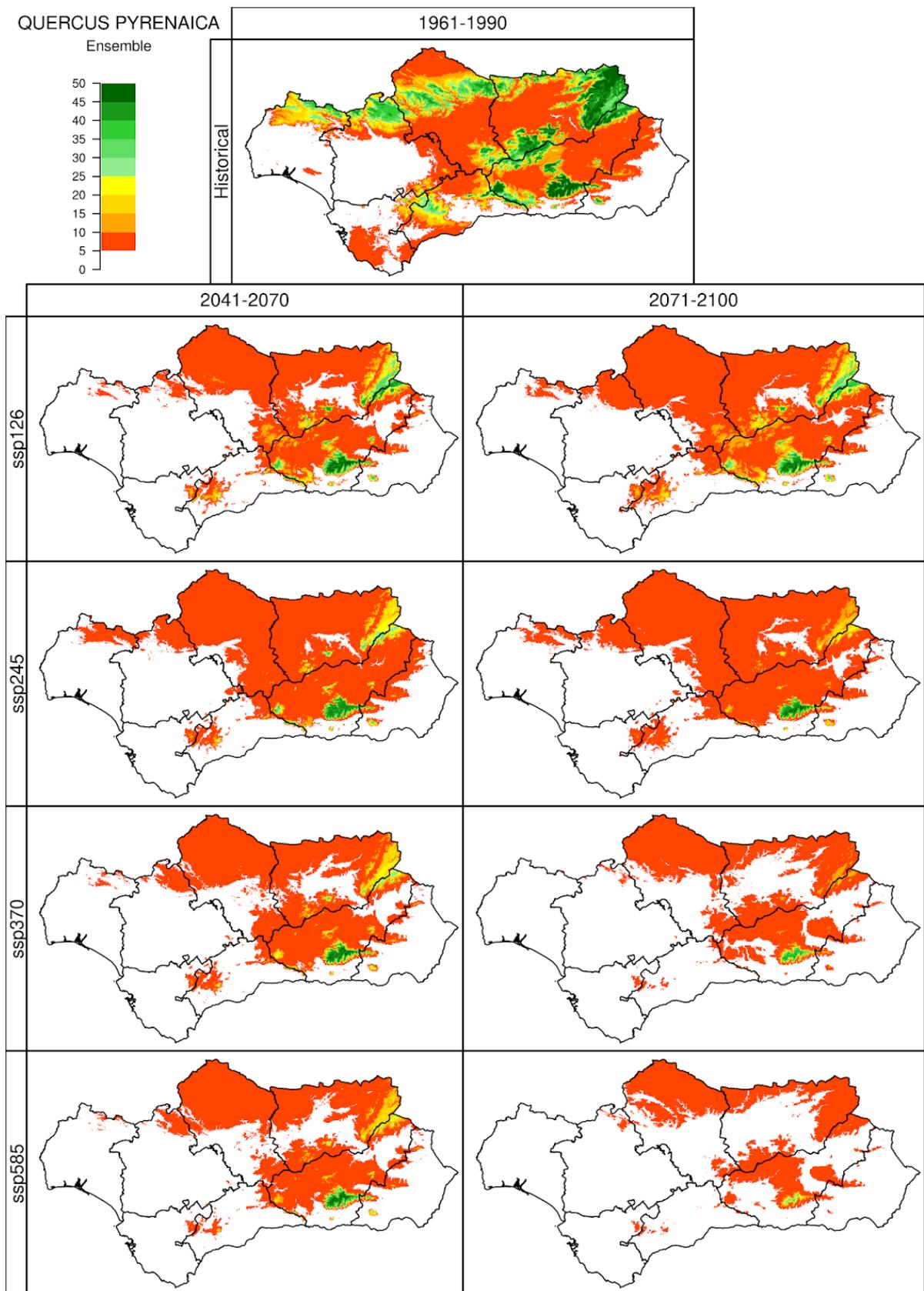


Figura 36.4. Idoneidad del territorio de *Quercus pyrenaica* (QPYREN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

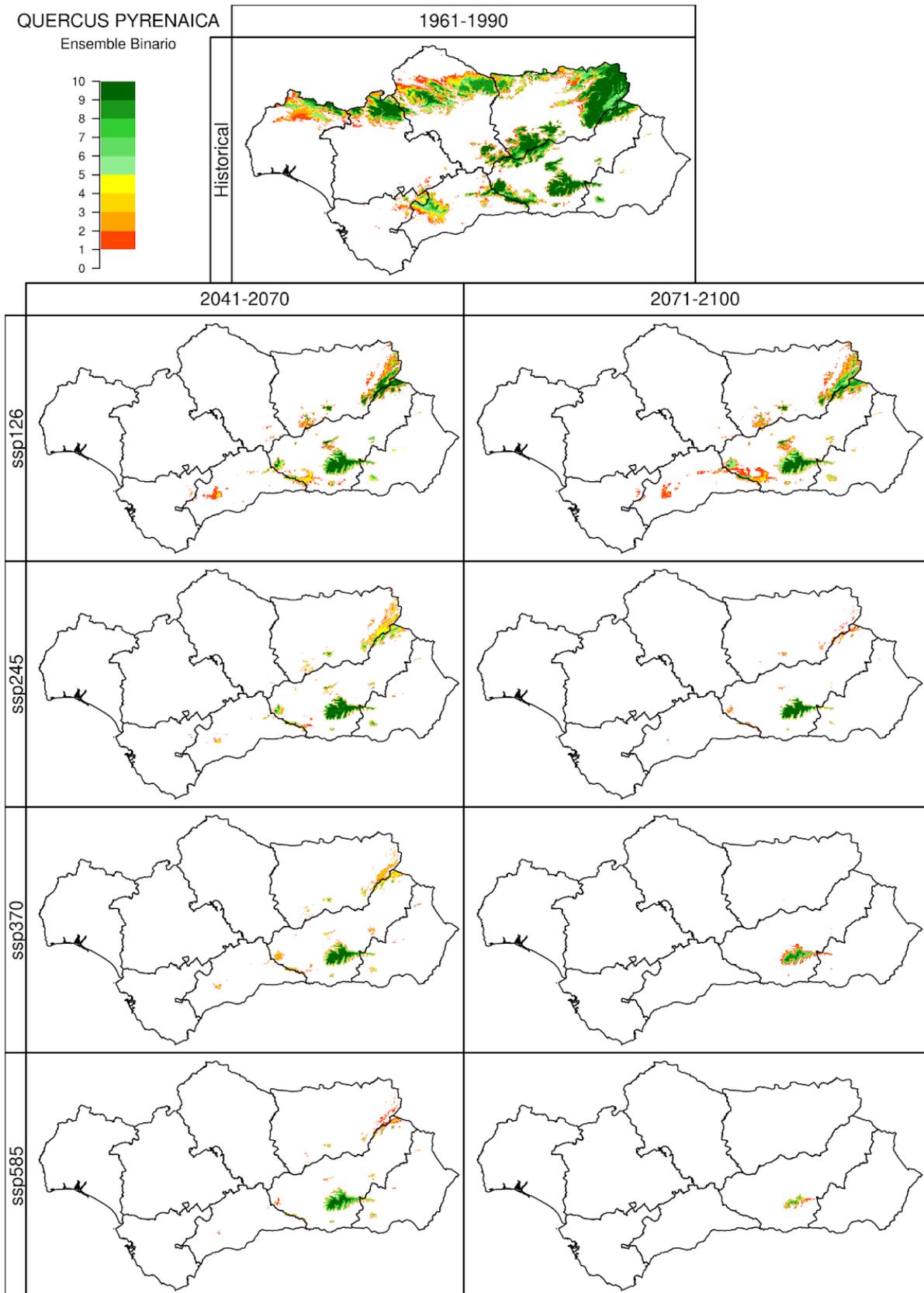


Figura 36.5. Idoneidad del territorio de *Quercus pyrenaica* (QPYREN), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

37. CERATONIA SILIQUA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Ceratonia siliqua* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble. Se hipotetiza que esta especie es originaria de Arabia y Siria según *Flora Mayor*, lo cual complica la modelización.

En el período histórico Autoecología paramétrica y GAM presentan diferencias de idoneidad. Autoecología paramétrica indica como idónea casi toda la comunidad autónoma a excepción del territorio árido almeriense y las cumbres de Sierra Nevada, mientras que GAM indica como idónea la zona costera y valle del Guadalquivir. Juan Ruiz de la Torre en *Flora Mayor* indica que es una especie que prefiere clima mediterráneo templado, con ausentes o raras y cortas heladas y con humedad ambiental superior al 65%, pudiendo calificarse como termohigrófilo. Los registros de presencia del algarrobo se encuentran por toda la costa andaluza (desde la costa árida almeriense hasta las sierras occidentales con altas precipitaciones de la cordillera penibética), teniendo una amplia valencia ecológica con respecto a las precipitaciones totales anuales. Por esta razón, GAM parece caracterizar como mayor aspecto limitante el carácter termófilo de la especie, dando muy poco peso al carácter higrófilo. Este modelo indica como idóneo todo el territorio árido almeriense, por lo que probablemente esté sobreestimando la capacidad de la especie en el aguante de aridez.

A mediados de siglo los modelos indican evoluciones distintas. Autoecología paramétrica presenta una reducción de la idoneidad ,quedando restringida la especie a zonas de las cordilleras béticas. Sin embargo, GAM presenta una expansión de idoneidad a la zona alta del valle del Guadalquivir y subida de cotas en Sierra Morena.

A finales del siglo XXI esta incursión marcada por el modelo GAM se estabilizará según los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5. Los otros dos modelos, más graves, marcan la desaparición de idoneidad en todo el valle del Guadalquivir y las montañas de Cádiz. Autoecología paramétrica mantiene la idoneidad en gran parte de las sierras andaluzas en el escenario SSP1-2.6, descendiendo su extensión de manera drástica según la gravedad de los escenarios.

El modelo ensemble marca una tendencia más parecida a GAM que al método de Autoecología paramétrica. Son muy parecidos en el período histórico. Con respecto a los períodos futuros, Autoecología paramétrica presenta incertidumbre de idoneidad en los espacios donde GAM lo muestra también, pero está más extendida por el territorio.

Los dos modelos caracterizan a la especie de diferentes maneras. GAM propone una expansión de la especie a mitades de siglo, seguida de una desaparición en diferentes espacios. Ensemble presenta diferencias con respecto a GAM, mostrando bastante incertidumbre en lugares donde GAM marca idoneidad y no idoneidad. Mientras, Autoecología paramétrica señala la reducción de idoneidad de la especie en el futuro. Sería necesaria una investigación más profunda de la especie.

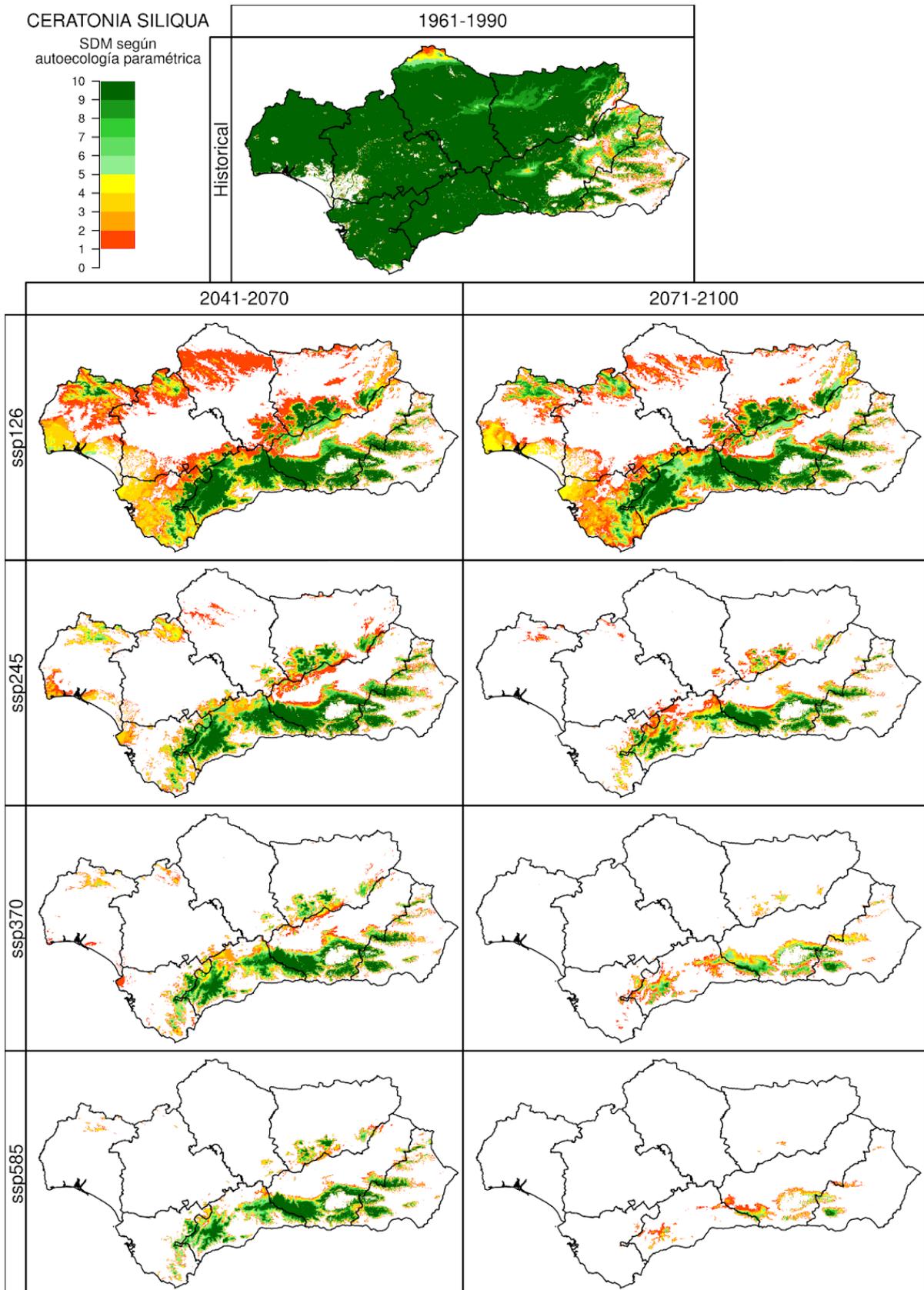


Figura 37.1. Índice de potencialidad de *Ceratonia siliqua* (CSILIQ), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

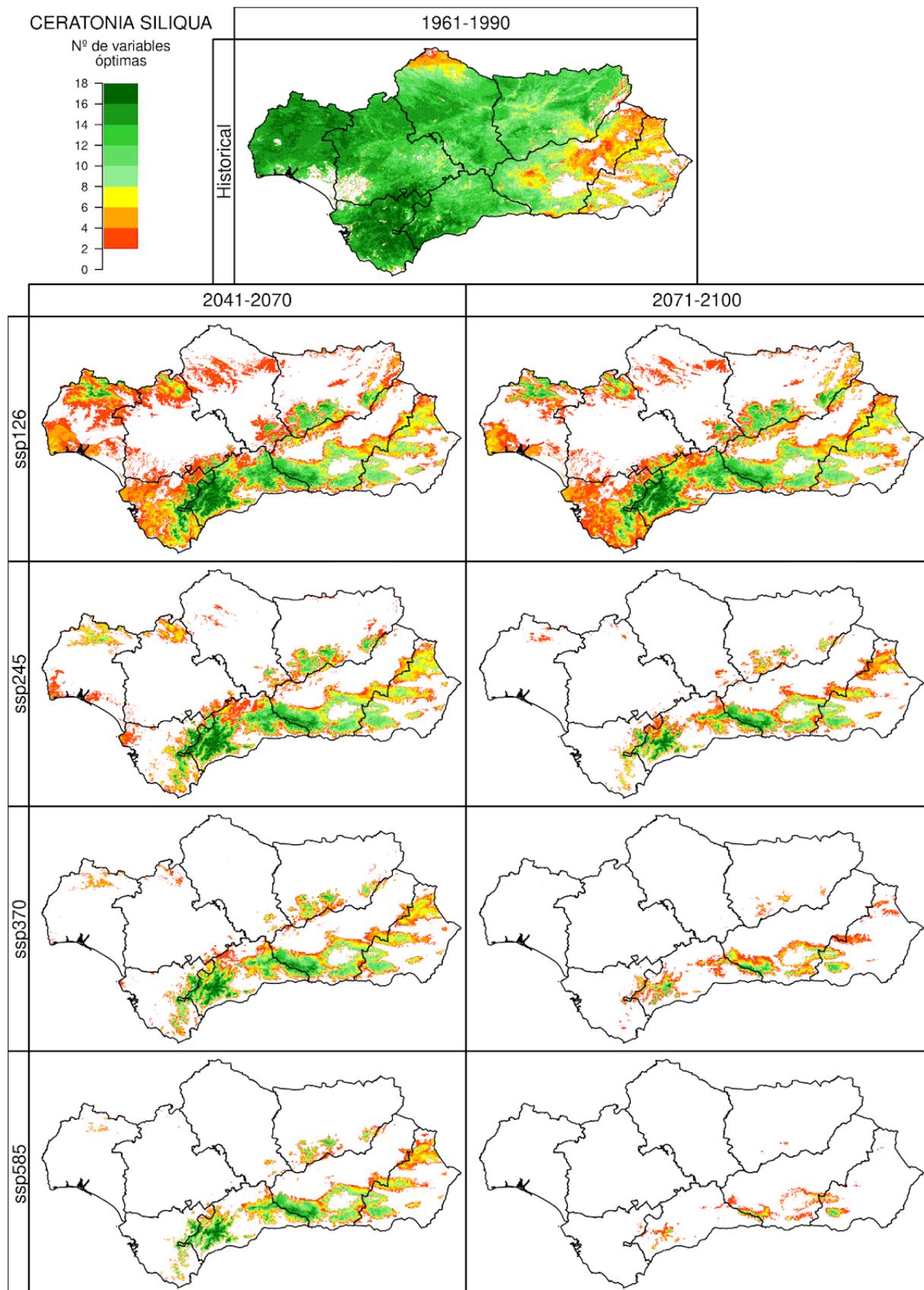


Figura 37.2. Número de variables óptimas de *Ceratonia siliqua* (CSILIQ), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

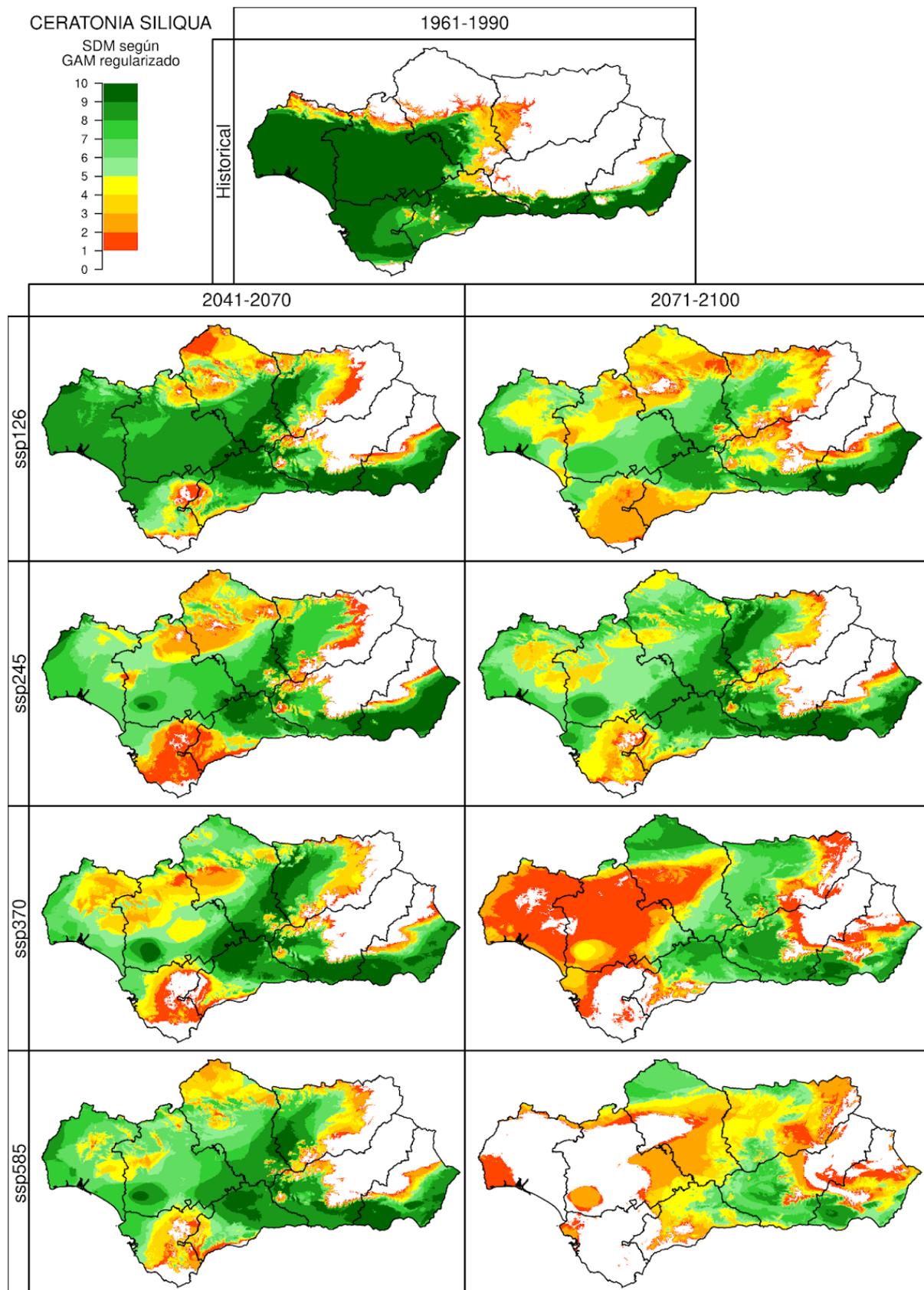


Figura 37.3. Idoneidad del territorio de *Ceratonia siliqua* (CSILIQ), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

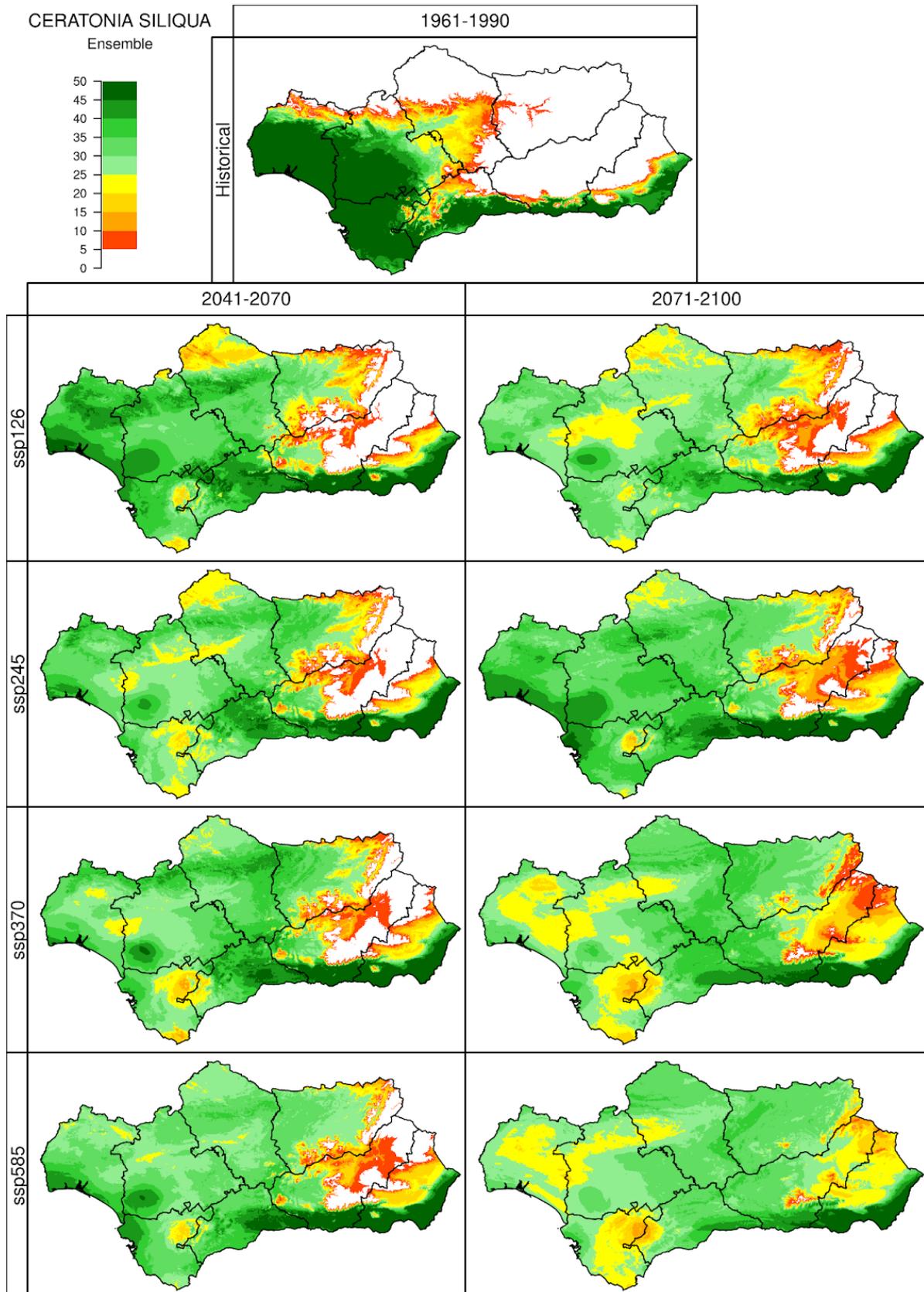


Figura 37.4. Idoneidad del territorio de *Ceratonia siliqua* (CSILIQ), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

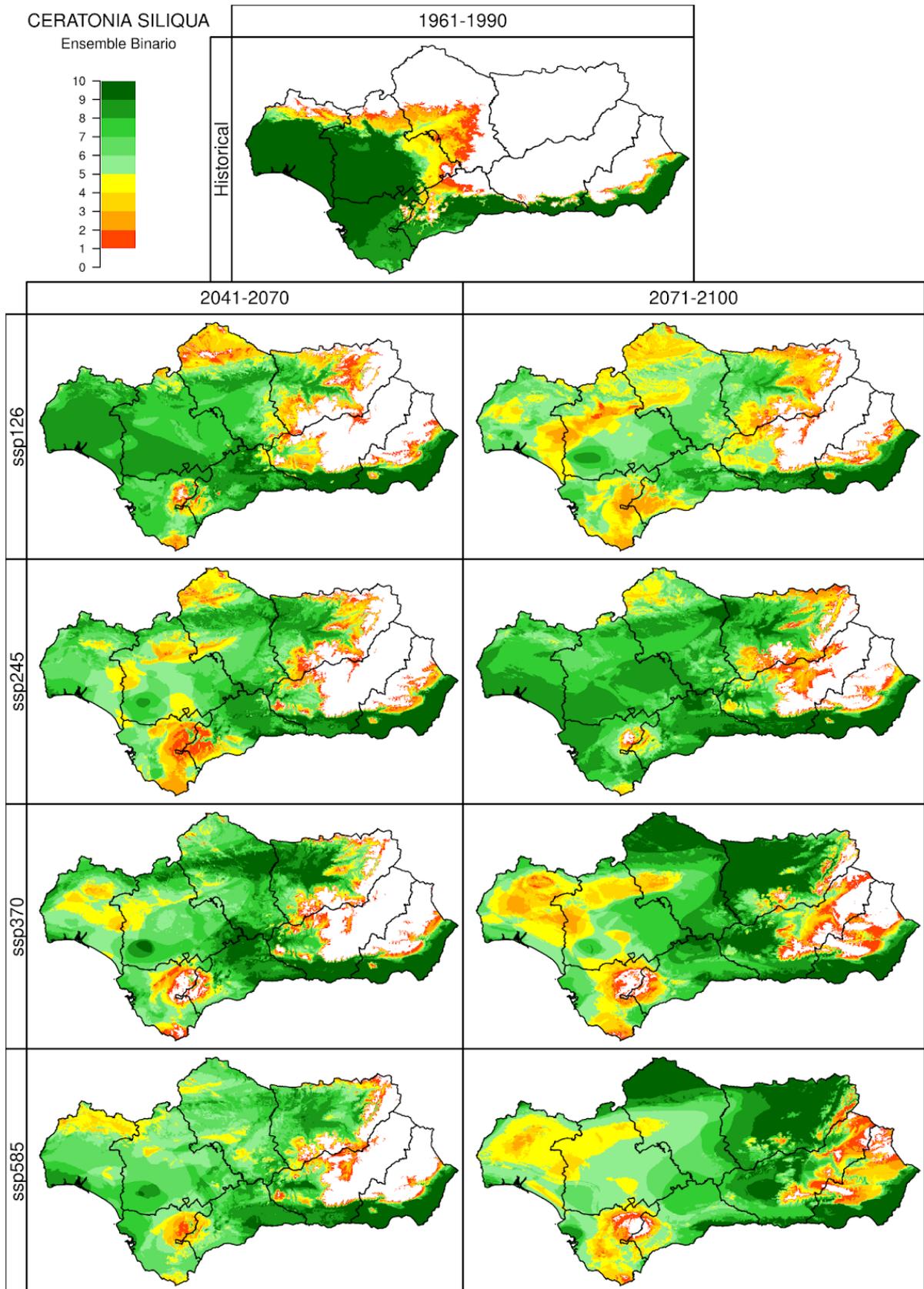


Figura 37.5. Idoneidad del territorio de *Ceratonia siliqua* (CSILIQ), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

38. OLEA EUROPAEA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Olea europaea* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble. *Olea europaea* es una especie de difícil modelización debido a la posible existencia de mezcla entre registros silvestres y no silvestres (y por lo tanto con soporte humano), sumado a su amplia distribución.

En el período histórico ambos modelos presentan diferencias. GAM calculó como no idóneo gran parte de las Cordilleras Béticas y de Sierra Morena. Gran parte de este territorio, pese a no ser los lugares con mayores poblaciones existentes, sí presentan una cantidad importante de sujetos de esta especie. Por ello, probablemente debido a la extensa distribución de la especie, GAM no ha sido capaz de discriminar correctamente las ausencias y presencias. En cuanto a Autoecología paramétrica, este presenta idoneidad para casi todo el territorio andaluz, faltando únicamente en zonas áridas de Almería y en las cumbres de Sierra Nevada.

A mitad de siglo la idoneidad climática se reduce de gran manera en todos los escenarios posibles según Autoecología paramétrica. Se mantiene como idónea en gran parte de las cordilleras Béticas, Sierra de Aracena y Sierra del Viento; desapareciendo su idoneidad en bastante parte de Sierra Morena y en todo el valle del Guadalquivir.

En el final de siglo, según el escenario SSP1-2.6 la situación se estabiliza. En el resto de escenarios, Autoecología paramétrica muestra que la idoneidad climática se ve restringida aún más, manteniéndose únicamente en la Cordillera Penibética.

Ensemble marcó una idoneidad parecida a GAM en el período histórico, sin embargo a futuro presentan tendencias distintas. Ensemble marca como idóneas las zonas áridas de Almería tanto en el pasado como en el futuro, por lo que se podría pensar que esta metodología está sobreprediciendo la capacidad de adaptación del olivo silvestre al clima árido.

En Autoecología paramétrica la distribución de la especie se ve reducida en gran manera, siendo semejante su distribución futura a otras especies más higrófilas. GAM pese no haber caracterizado aparentemente de manera correcta la especie, sí captó una frontera ecológica limitante en aridez (no marcó como idónea zonas muy secas de Almería) y condiciones frías (no marcó como idóneas ni las sierras béticas y ni sierra Morena). Según este modelo, en un futuro la especie se ve desplazada a las sierras andaluzas, donde mantendrá una distribución amplia en Sierra Morena y la Cordillera subbética. Es necesario un estudio con mayor profundidad de esta especie, si bien podría decirse que según los dos modelos su idoneidad en se reducirá ampliamente pese a su carácter rústico.

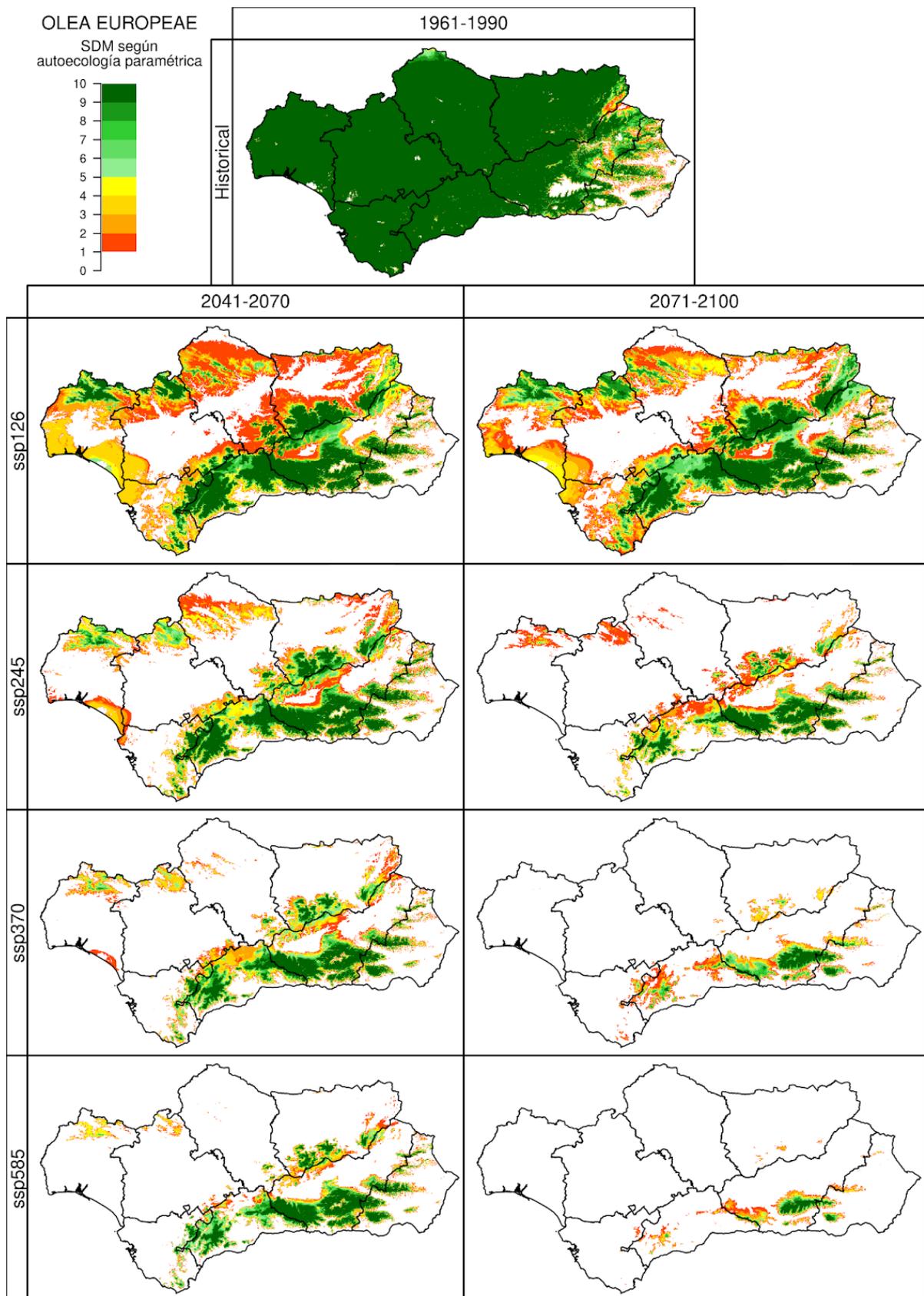


Figura 38.1. Índice de potencialidad de *Olea europaea* (OEUEP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

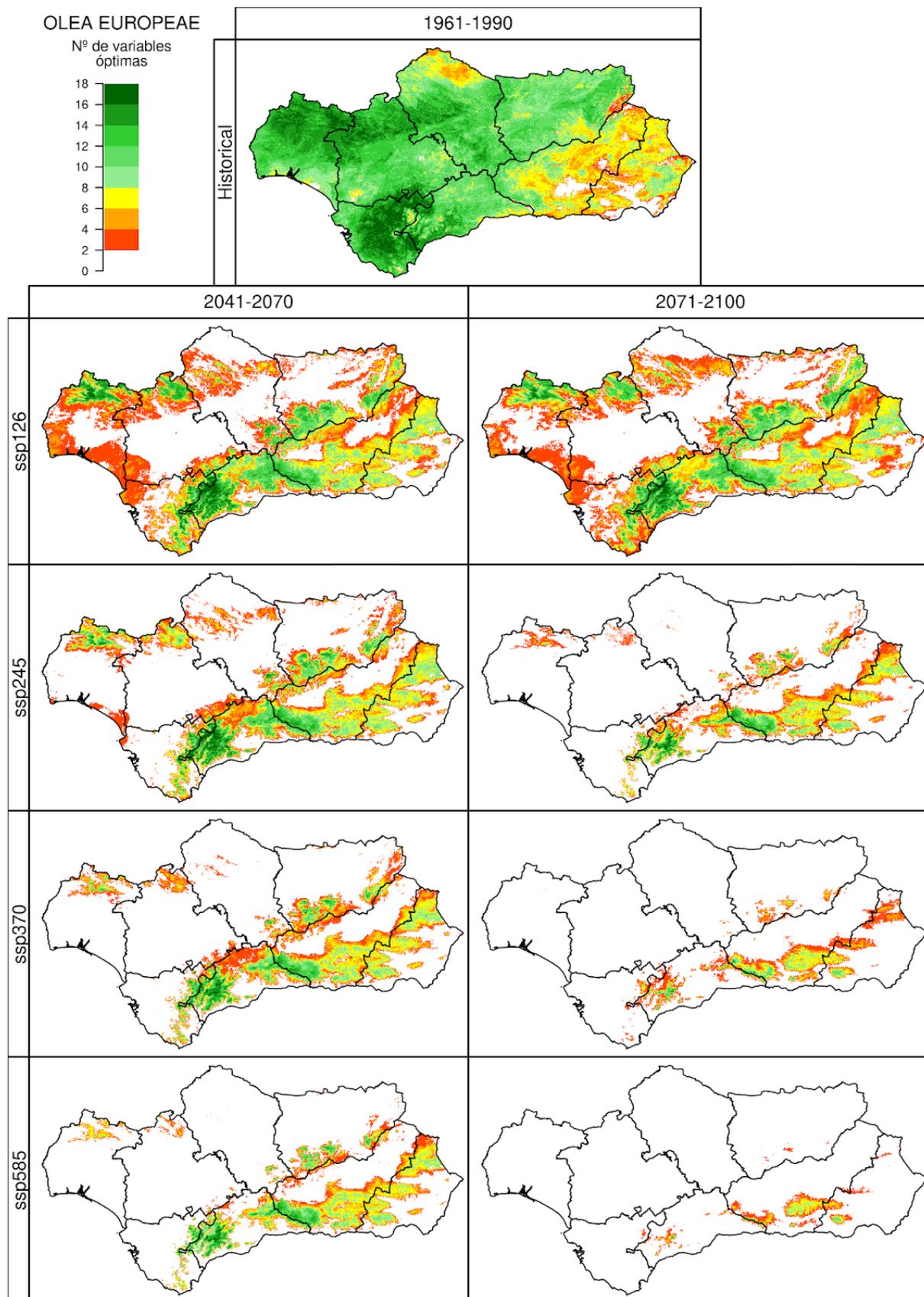


Figura 38.2. Número de variables óptimas de *Olea europaea* (OEUROP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

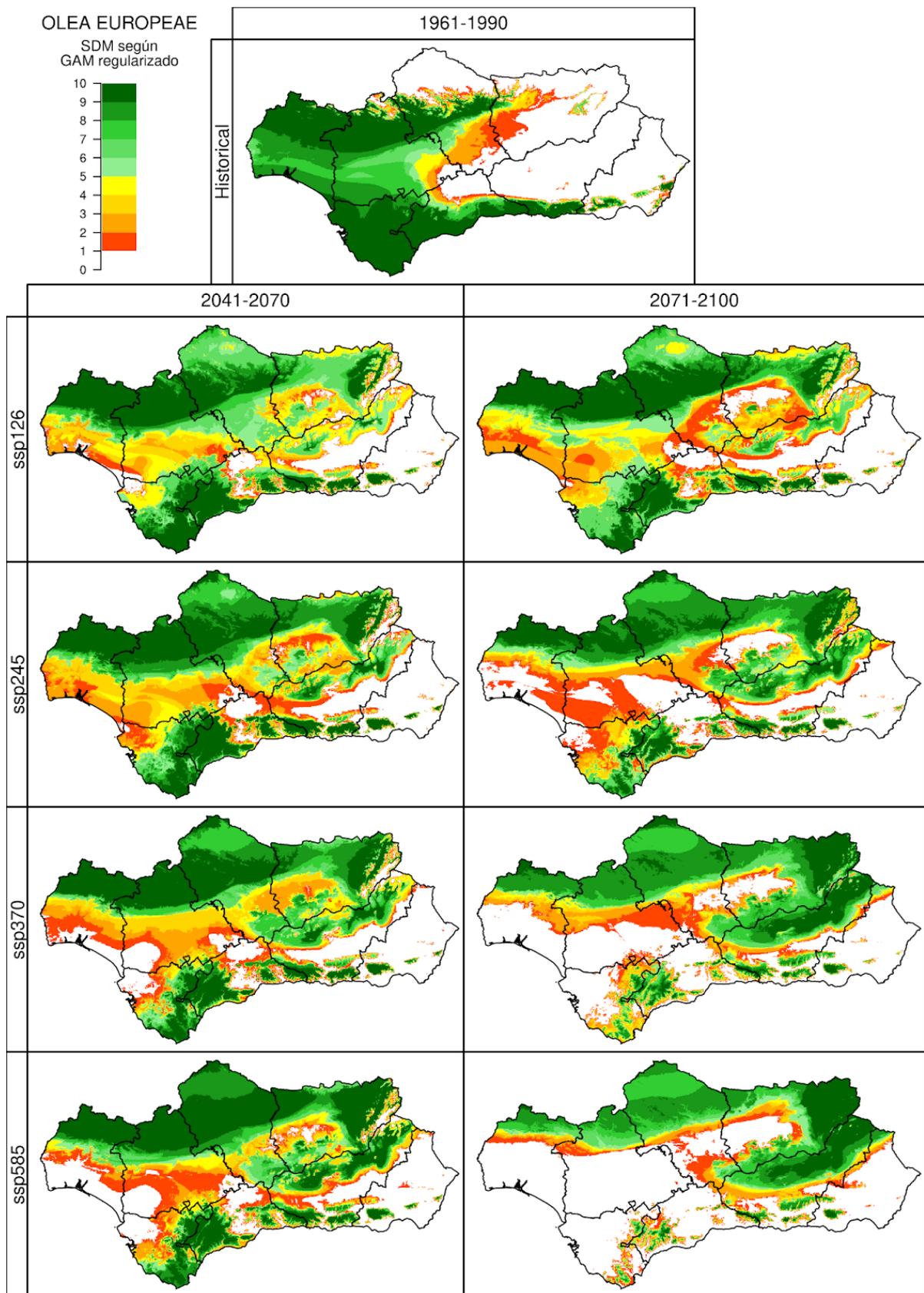


Figura 38.3. Idoneidad del territorio de *Olea europaea* (OEUROP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

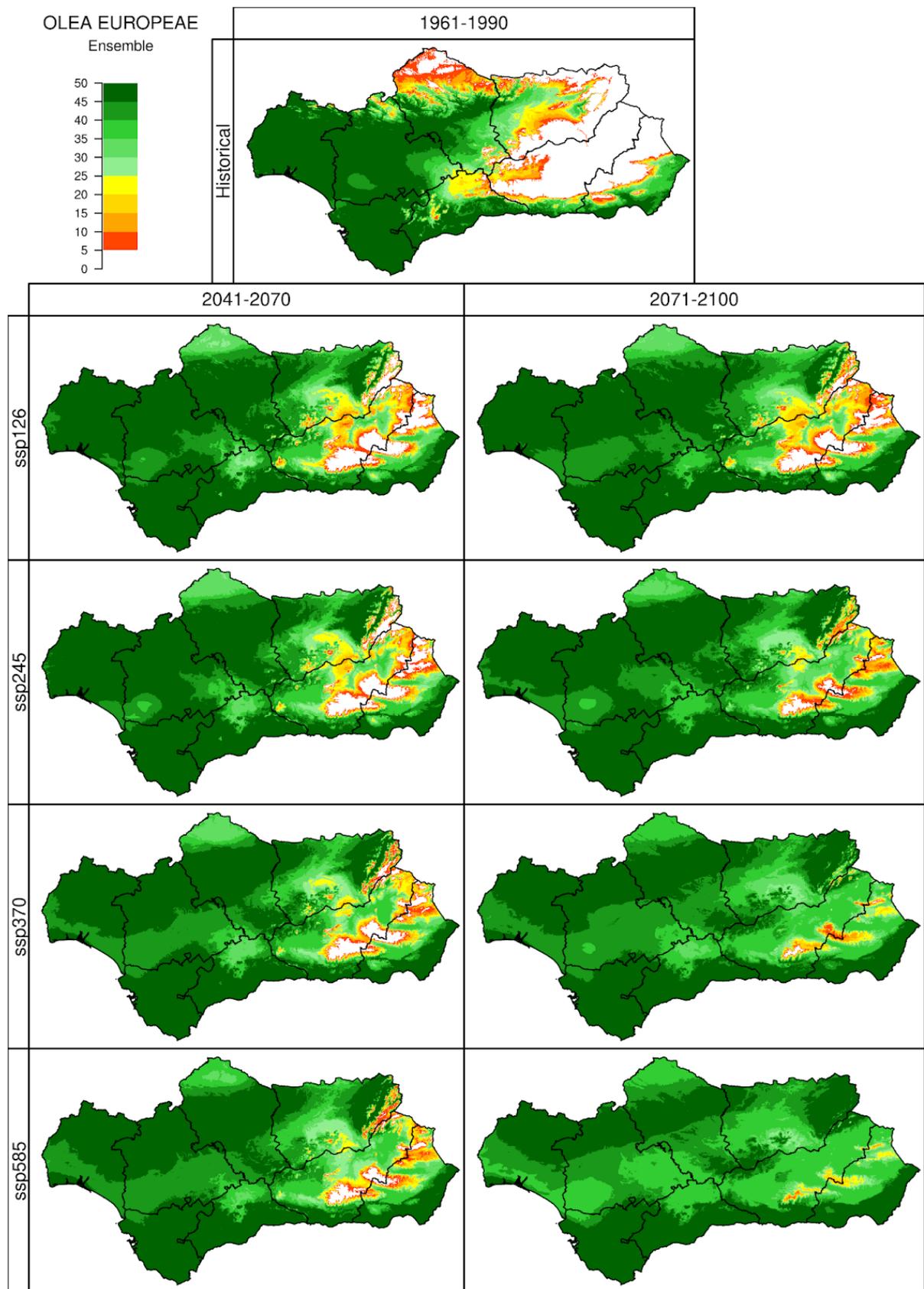


Figura 38.4. Idoneidad del territorio de *Olea europaea* (OEUROP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

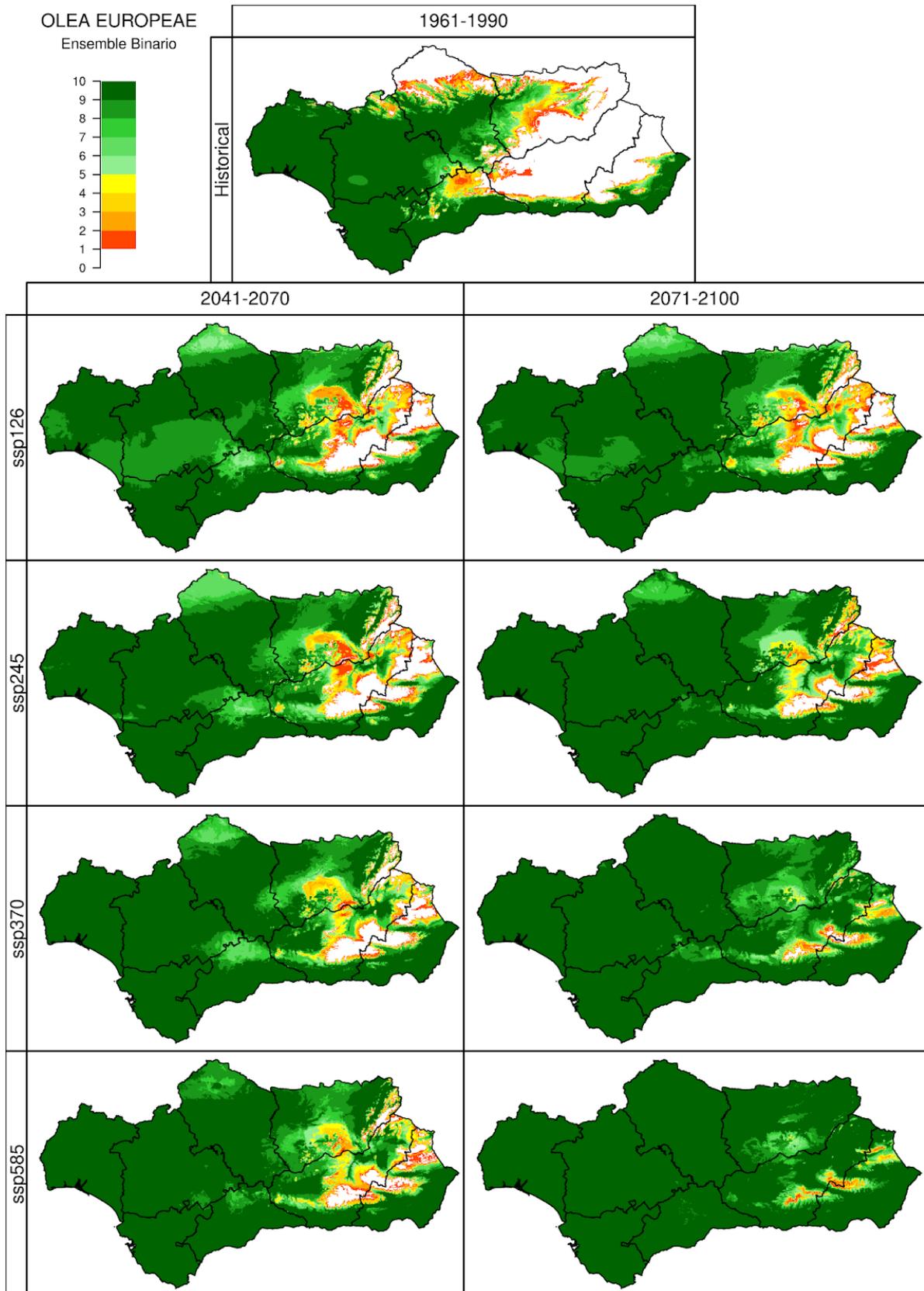


Figura 38.5. Idoneidad del territorio de *Olea europaea* (OEUROP), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

39. ABIES PINSAPO: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Abies pinsapo* Boiss. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período histórico ambos modelos muestran una distribución de idoneidad muy reducida de acuerdo a la distribución observada de la especie. Ambos modelos muestran como idónea Sierra de las Nieves y Sierra del Pinar, donde existen importantes poblaciones, y otros espacios con alta precipitación como Serranía de Ronda, Sierra de Aracena o la ladera sudoeste de Sierra Nevada (esta última solo GAM). Parece ligeramente más restrictivo el modelo GAM que el de Autoecología paramétrica.

A mitad de siglo en cualquier escenario con ambos modelos la idoneidad climática se ve restringida casi en su totalidad a la Serranía de Ronda o Sierra de Aracena. Según GAM, la incertidumbre de idoneidad en Sierra Nevada en el Historical disminuye en este período. Con respecto a la Serranía de Ronda y Sierra de Aracena, si bien mantienen territorios como idóneos, estos se reducen de manera preocupante.

A finales de siglo según el modelo SSP1-2.6 la situación se estabiliza en ambas metodologías. Sin embargo, ambos modelos a finales de siglo en cualquier otro SSP muestran que la idoneidad del *Abies pinsapo* desaparece de la Serranía de Ronda y Sierra de Aracena. A excepción del SSP2-4.5, el territorio marcado como idóneo en Sierra Nevada también desaparece en el resto de escenarios.

Ensemble presenta una predicción muy parecida a GAM.

Las predicciones señalan la desaparición de la idoneidad de *Abies pinsapo* a finales de siglo, presentando además la reducción de idoneidad de manera severa a mediados de siglo.

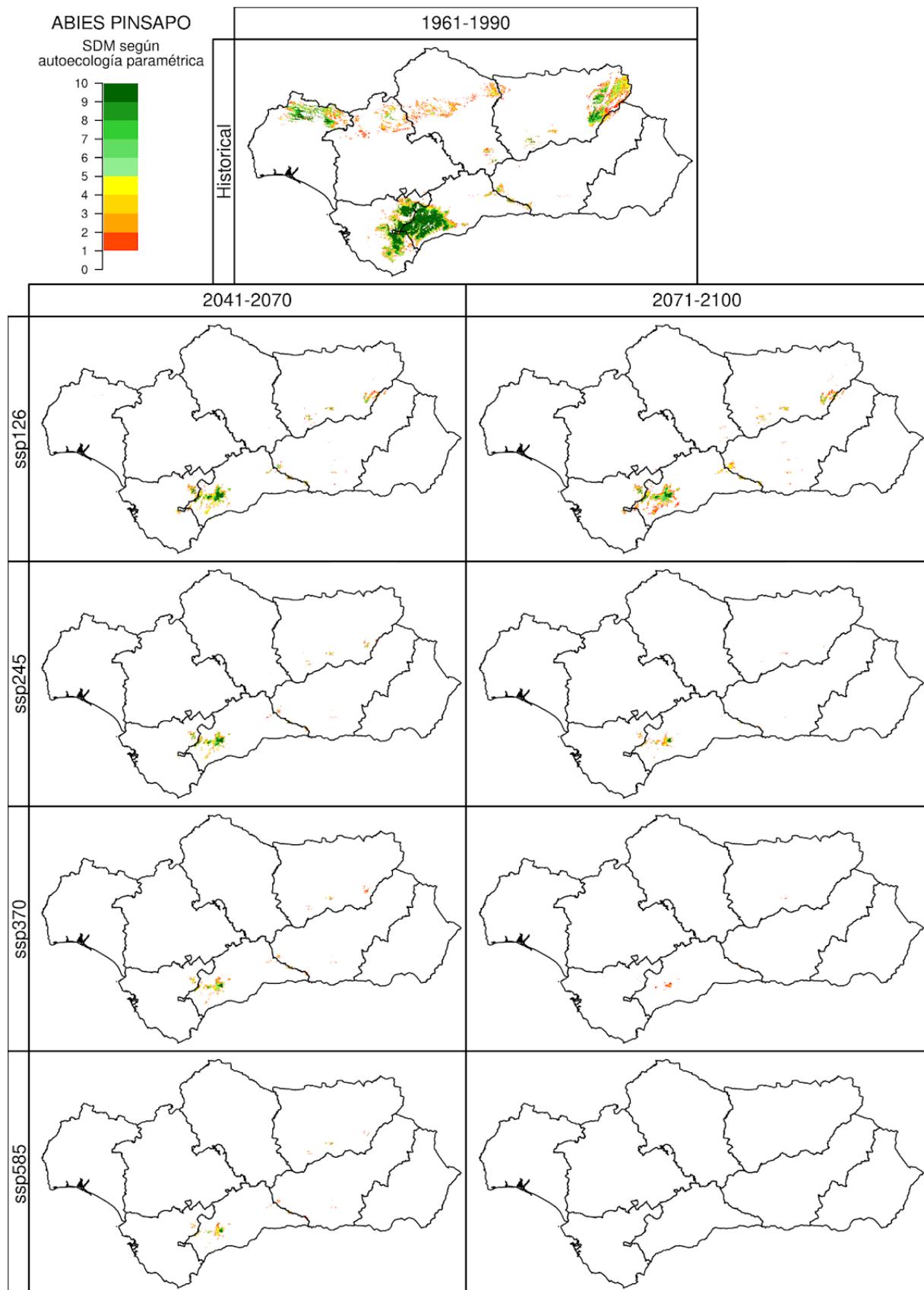


Figura 39.1. Índice de potencialidad de *Abies pinsapo* (APINS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

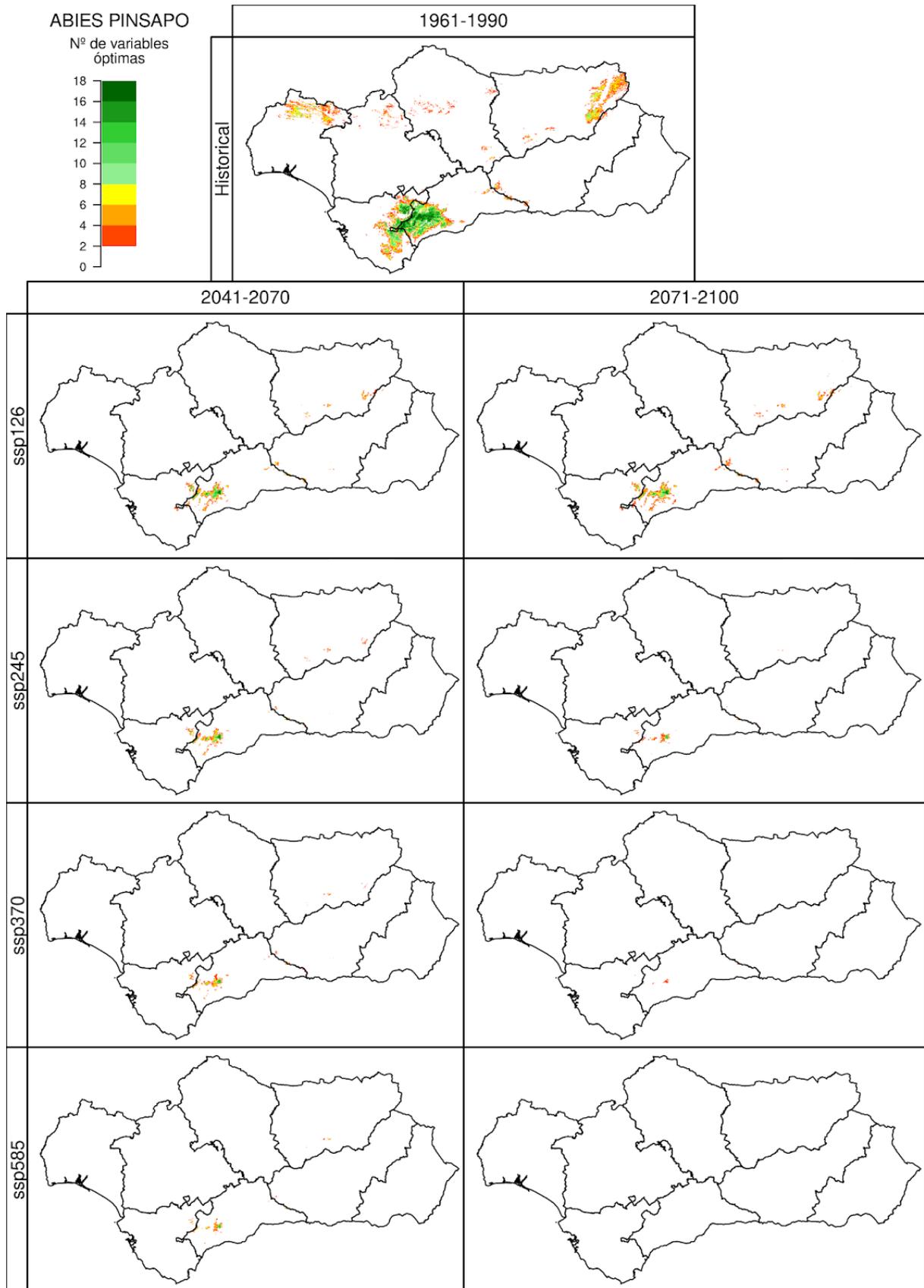


Figura 39.2. Número de variables óptimas de *Abies pinsapo* (APINS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

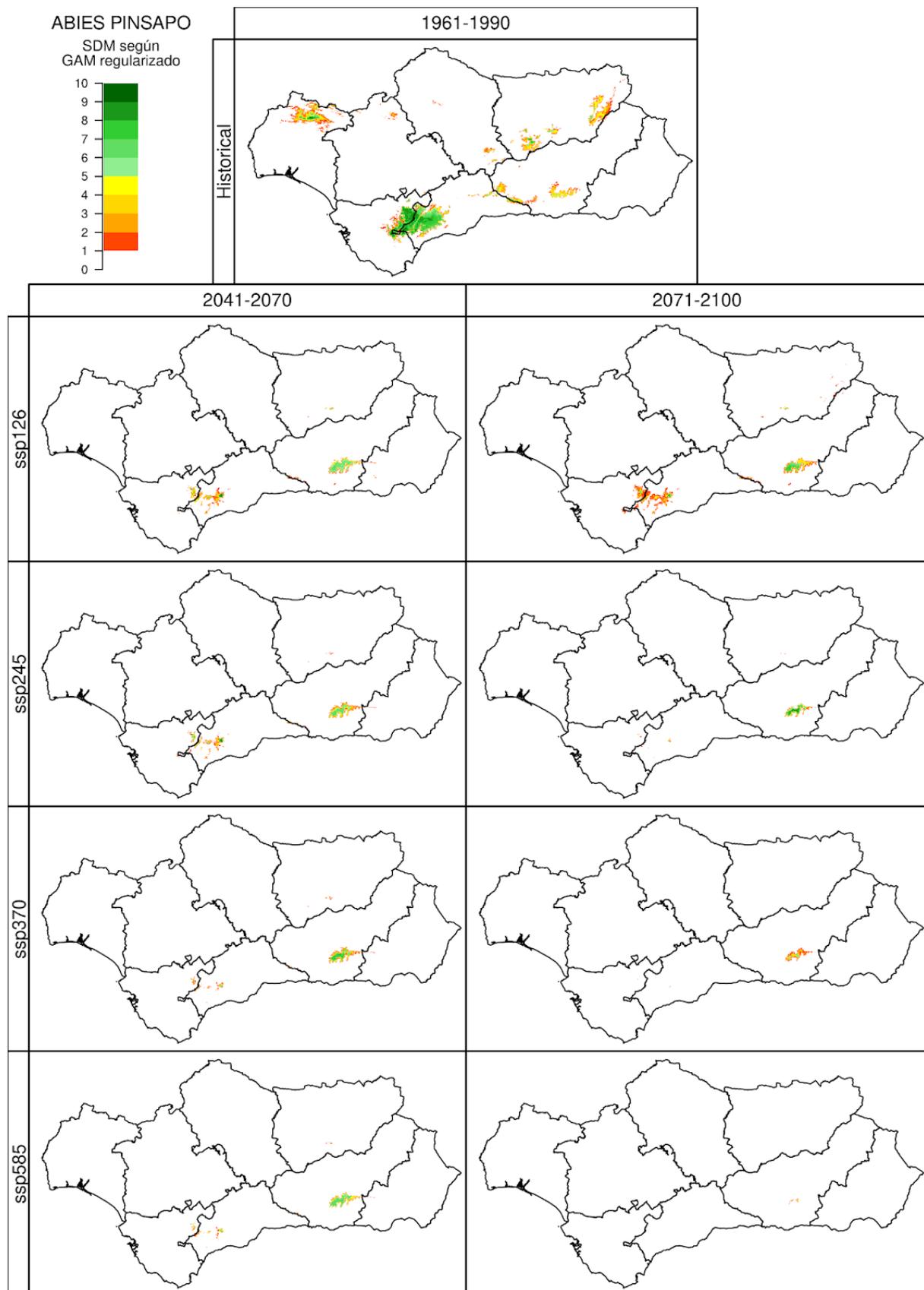


Figura 39.3. Idoneidad del territorio de *Abies pinsapo* (APINS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

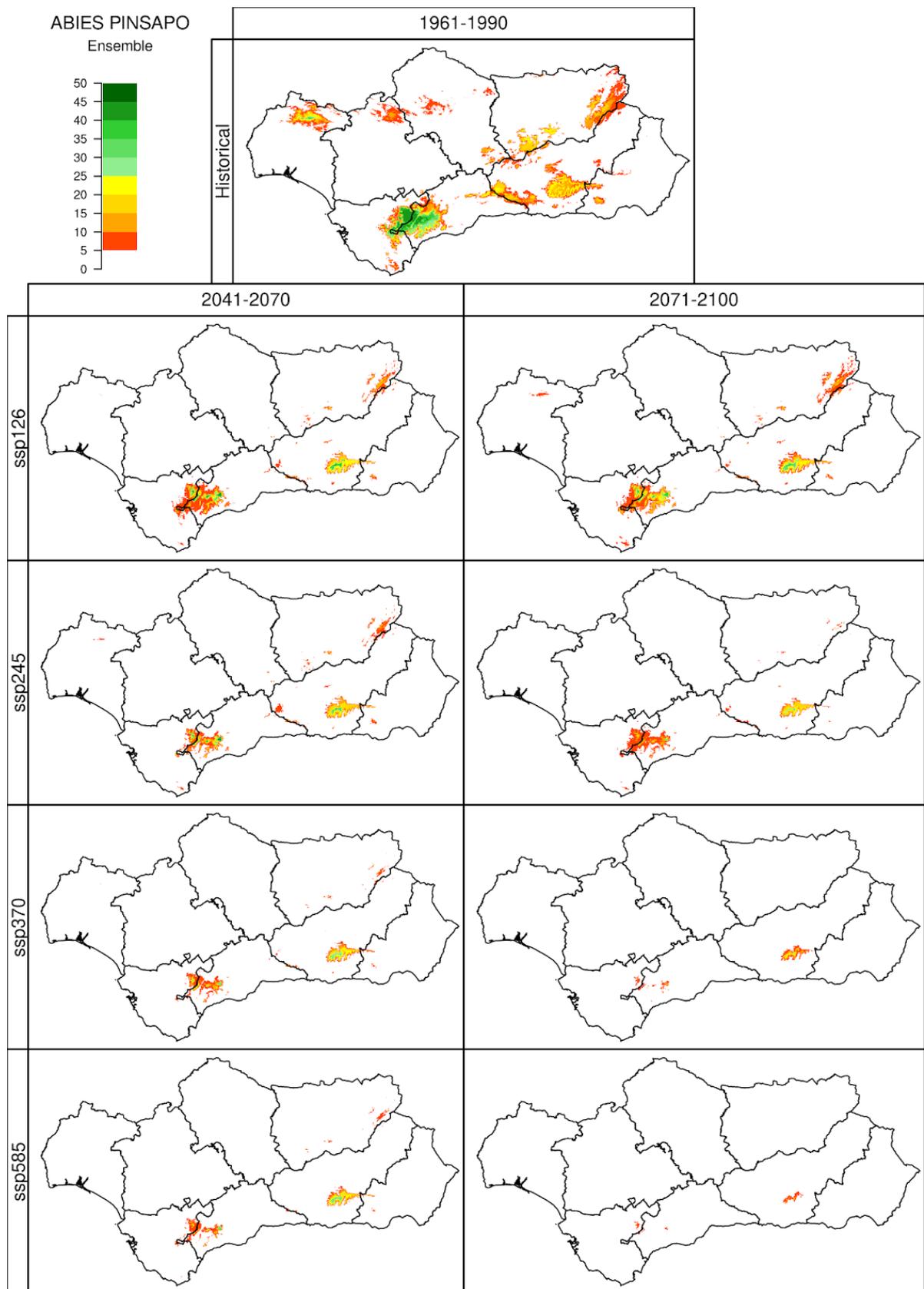


Figura 39.4. Idoneidad del territorio de *Abies pinsapo* (APINS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

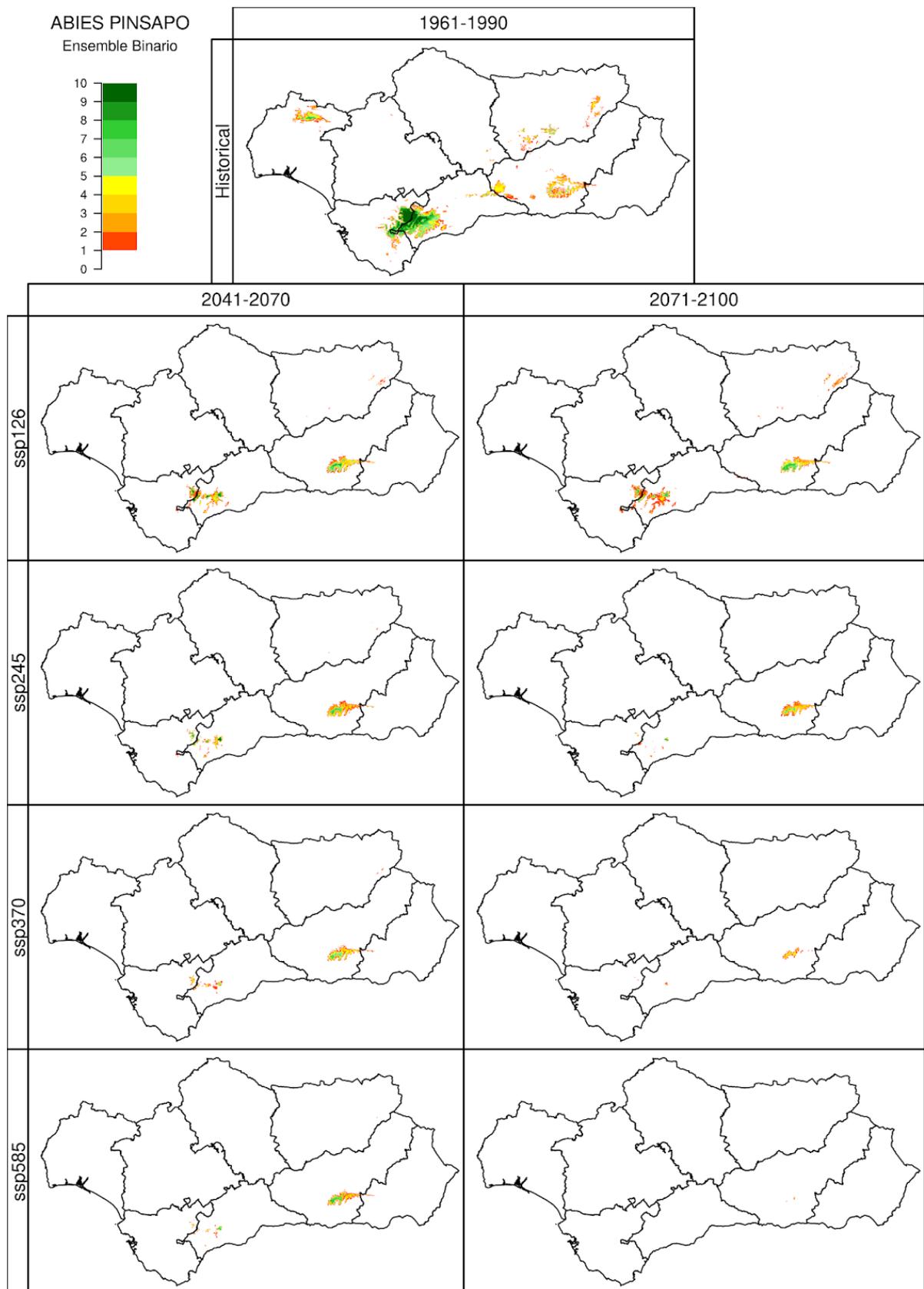


Figura 39.5. Idoneidad del territorio de *Abies pinsapo* (APINS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

40. TEMPERATURA MEDIA

La temperatura media de Andalucía es aproximadamente de 17°C durante el período de referencia (1961-1990). La localización geográfica al sur de la península Ibérica, su proximidad a África y las condiciones sinópticas que propician el situarse al este del océano Atlántico - con la consecuente dominancia del anticiclón subtropical - determinan en gran medida su climatología, con tres grandes conjuntos climáticos principales: clima mediterráneo dominando gran parte del centro y oeste, y climas estepario y desértico en el tercio este. Esto resulta en unas temperaturas que, de acorde a su latitud, son sensiblemente superiores a otras regiones de Europa, Asia y Norteamérica.

De esta forma la máxima temperatura media anual se alcanza a lo largo de la costa mediterránea, especialmente desde San Juan de los Terreros hasta Málaga (~19°C), debido principalmente a la debilidad de las surgencias frías en comparación a las corrientes que existen en el Estrecho o en el golfo de Cádiz (~17°C). El valle del Guadalquivir y más concretamente Sevilla (~19°C), debido a su isla de calor urbana es otro de los puntos más cálidos de la comunidad. En el extremo opuesto se sitúa Sierra Nevada, con menos de 8°C de temperatura media por encima de los 2000 msnm.

- Para mediados de siglo (2041-2070) el escenario SSP1-2.6 estima ascensos en la temperatura media de entre 2 y 3°C; el escenario intermedio *mitad de camino* SSP2-4.5 de 2.5 a 4°C; el escenario *rivalidad regional* SSP3-7.0 entre 2.5 y 4.5°C, y finalmente el escenario SSP5-8.5 basado en el *uso de combustibles fósiles* entre 2.5 y 5°C.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario sostenible SSP1-2.6 no predice un cambio sustancial respecto a mitad de siglo, quedando relegado el aumento entre 2 y 3°C respecto a la segunda mitad del siglo XX. El escenario SSP2-4.5 estima un aumento de entre 3 y 5°C; por su parte el escenario SSP3-7.0 predice una elevación de 4 a 7°C, el más catastrófico, el escenario SSP5-8.5 eleva este aumento al segmento de 4.5-9°C.

La temperatura media anual de acuerdo a los escenarios más probables (SSP2-4.5 y SSP3-7.0) para mediados de siglo en el litoral andaluz, así como en gran parte del valle del Guadalquivir y de las cuencas bajas onubenses oscilará entre los 19 y los 21°C de media, por encima de los 500 msnm entre los 17-18°C, por encima de 1000 msnm entre 14 y 15°C, y por encima de los 2000 msnm entre 12 y 14°C. Para final de siglo dichas regiones podrían alcanzar los 20-23°C, 18-21°C, 16-19°C, y más 16°C respectivamente.

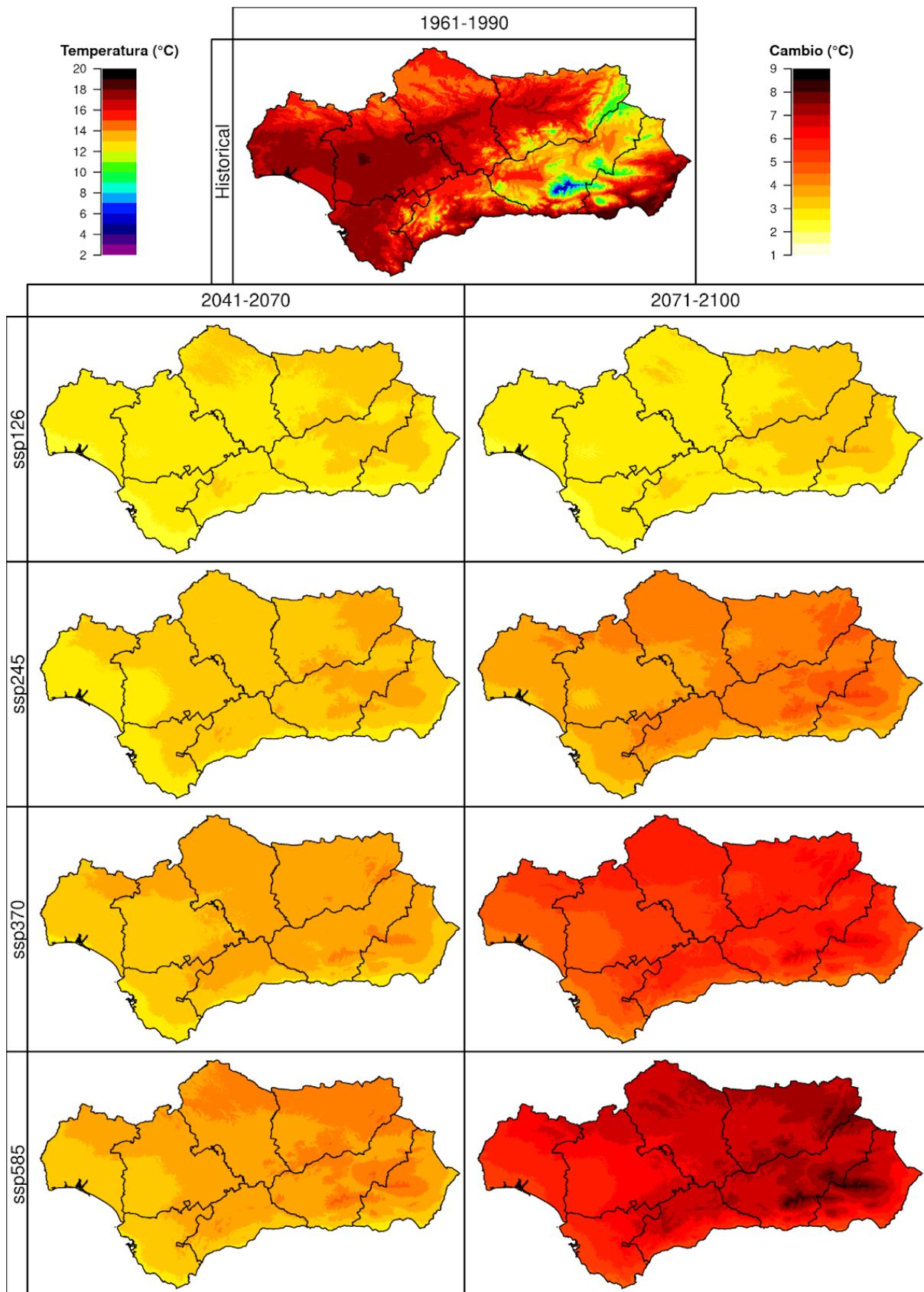


Figura 40.1. Variaciones en la temperatura media anual, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

41. N° DE MESES CON BH > 0

Esta variable, una de las muchas variables derivadas del cálculo del Balance Hídrico (BH, variable 13), representa el total de meses sobre el año completo en el que un punto experimenta un BH positivo, es decir, que su suelo alberga reservas de agua de lluvia aún no evapotranspirada por el entorno. Esta variable no muestra la magnitud del agua almacenada, sino solamente que su valor es mayor que cero.

Los valores del Historical anual representan bien las zonas con un carácter más húmedo, diferenciándolas de otras más secas. Las zonas más húmedas se reflejan en aquellas regiones donde la precipitación hace que la humedad del suelo consiga mantenerse más tiempo, bien por precipitaciones totales abundantes o por una muy baja ETo que elimine poca humedad. Así, estos máximos vemos cómo se distribuyen principalmente por toda Sierra Morena y el resto de cordilleras de las Subbéticas y Penibéticas, incluyendo todo el entorno del Estrecho, con valores por encima de los 7 meses generalizados y máximos de hasta 11 meses en las cumbres de Sierra Nevada, Grazalema-Ronda-Nieves y Campo de Gibraltar. El resto de la región oscila entre los 4 y 6 meses, salvo por las costas e interiores de Andalucía Oriental (Almería y costas y altiplano de Granada), zonas áridas con valores por debajo de los 3 meses.

Considerando los escenarios ya explicados de temperatura y precipitación futura, los cambios previstos a futuro se resumen en reducciones de este número de meses con BH>0. El patrón de reducción es muy similar a aquel visto en la ETo, con los mayores descensos en toda la costa asociados al aumento brusco de la ETo en estas zonas. Almería con sus valores de base no sufre cambios significativos. Así:

- Para mediados de siglo las reducciones se sitúan en torno a -1/-2 mes(es) sobre las zonas de altura media/alta de la región y la costa sur, y de -1 en el interior para los SSP más altos. Los máximos llegan a -3 meses en la costa sur en zonas como el Guadalhorce, la Axarquía o la Bahía de Cádiz.
- Para finales de siglo las reducciones se refuerzan, siguiendo el mismo patrón espacial, llegando los máximos en los peores escenarios (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) a -2/-3 en todo el interior de la región, y de -4/-5 en toda la costa sur, con los máximos yendo por toda la costa desde Doñana hasta la Axarquía malagueña.

Los cambios previstos siguen la tendencia coherente con los aumentos de temperatura a escenarios más áridos en toda la región. En los peores casos, como en la costa sur, estaríamos en escenarios con zonas con reducciones desde el 30 al 50% (Campo de Gibraltar) a del 50 al 90% en áreas como Doñana, Axarquía o cumbres de Granada y Almería.

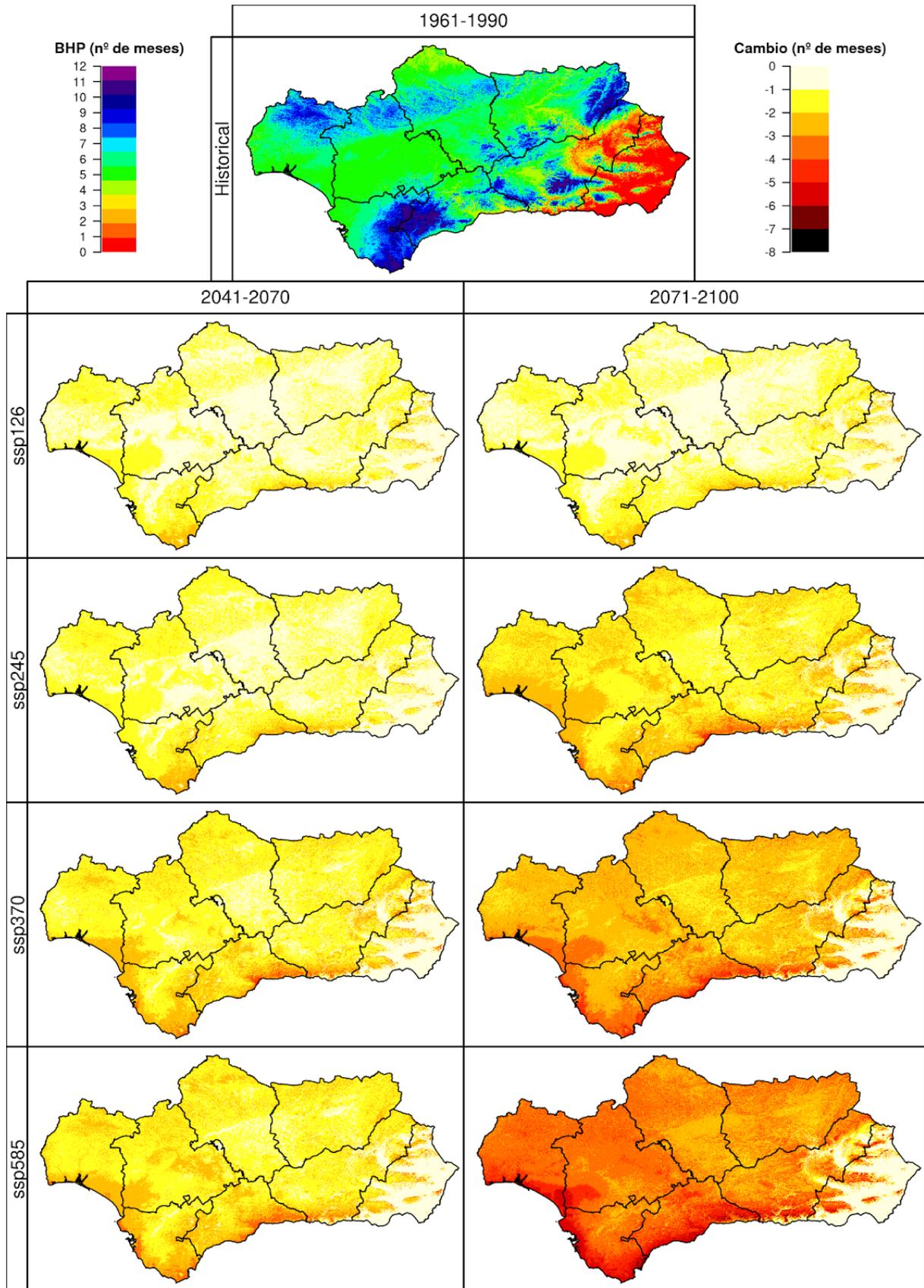


Figura 41.1. Reducciones en los valores del índice Meses con Balance Hídrico Positivo (BH>0), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

42. ÍNDICE DE ARIDEZ

Como su propio nombre indica, el Índice de Aridez (IA) es otro índice para estudiar las características hídricas de una zona relacionando la precipitación y la ETo propias del lugar, obteniendo así una caracterización de la aridez del área. En este caso el IA se obtiene de dividir la precipitación total por la ETo.

Los resultados obtenidos para la ventana del Historical, mostrados a una escala anual, replican en patrón a prácticamente todos los demás índices de aridez obtenidos a partir de la ETo y la precipitación. Los valores en Andalucía se ubican entre 0 y 1,6, con los valores más altos ($IA > 1$) representando un mayor peso de la lluvia frente a la ETo, y observables en las regiones características: los relieves más relevantes de las Subbéticas y Penibéticas (Ronda-Nieves, Nevada, Cazorla, Loja...), Sierra Morena (especialmente Aracena) y Campo de Gibraltar. Las zonas con el menor IA ($IA < 0,5$) corresponden a las zonas bajas de Andalucía Oriental (especialmente Almería, Hoya de Guadix y altiplano de Granada), también visibles en partes de la campiña sevillana, jiennense y en Los Pedroches de Córdoba.

Los cambios obtenidos a futuro son todos descensos en el valor del IA, otra vez, coherentemente con las proyecciones de temperatura y precipitación futuras. Los cambios previstos son generales, con reducciones más drásticas en aquellas zonas de valores mayores (zonas húmedas) mencionadas ya. Así:

- Para mediados de siglo se esperan reducciones leves en el índice, alrededor de -0.2 en toda la región, a excepción de cumbres de Sierra Nevada, Cazorla o serranías de Cádiz y Málaga, zonas con mayor IA donde la reducción puede llegar a -0.6.
- Para finales de siglo las reducciones se estima que se agraven, con -0.3 en la práctica totalidad de la región (allí donde la IA base lo permite), y reducciones mínimas de -0.5 en las zonas más húmedas, llegando a -0.9 o -1 en las cumbres más húmedas del entorno del Estrecho.

Aunque de base los cambios no parecen altos, hay que contar con los valores de IA con los que partimos de base, lo que nos lleva a ver que para **mediados de siglo** ya se estiman **reducciones del 25-30%** en los valores de IA, y para finales de siglo en el peor de los casos tendríamos valores de IA de 0,1-0,2 en gran parte de la región y de 0,4-0,8 en las zonas más húmedas, equivaliendo a **reducciones del -50 a -75% sobre los valores del Historical**, evidenciando una vez más un futuro tendente a escenarios mucho más áridos que los actuales.

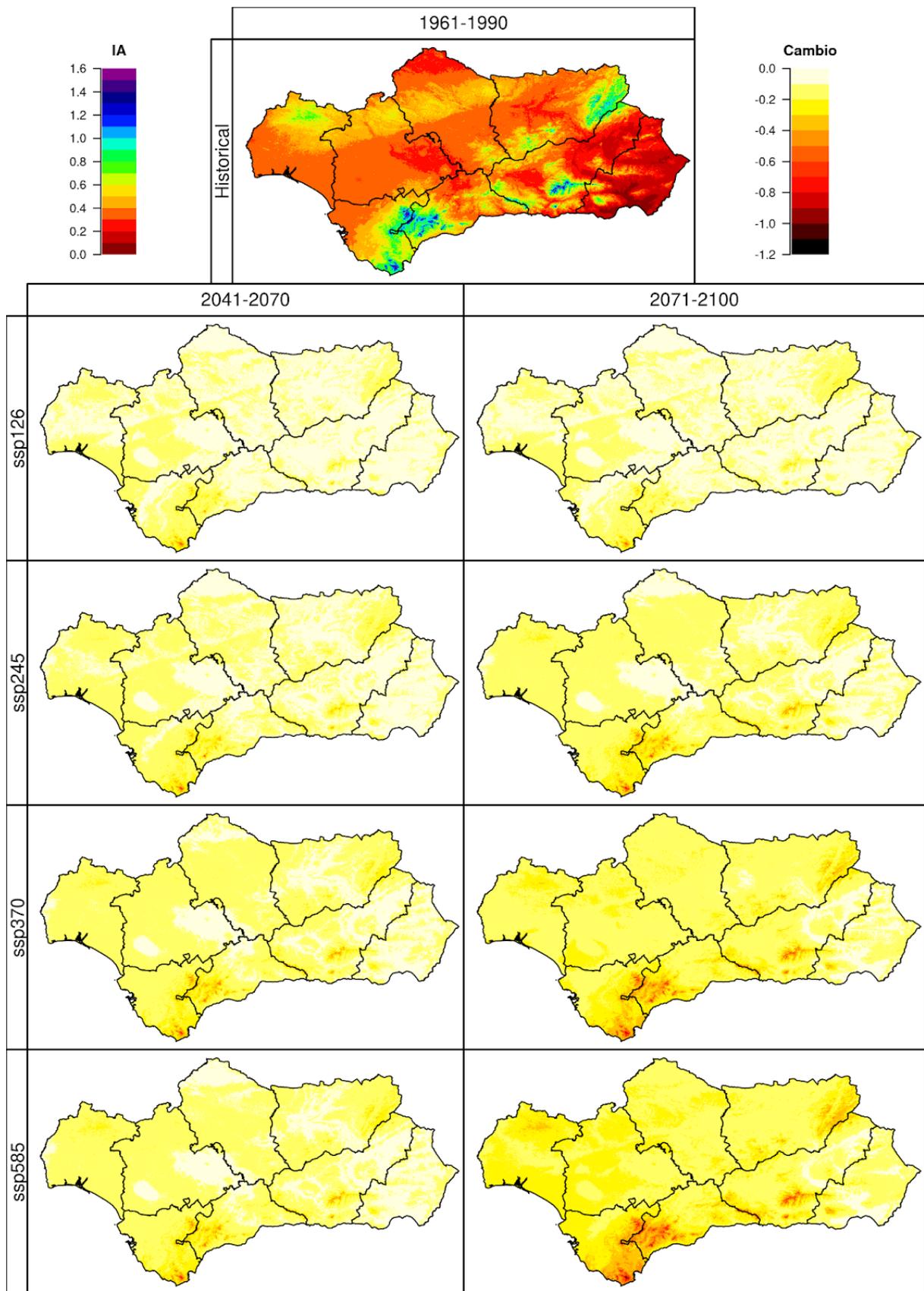


Figura 42.1. Reducciones en los valores del Índice de Aridez (IA), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

43. SUPERÁVIT HÍDRICO

Otra variable derivada del cálculo del BH. En este caso su cálculo se realiza computando la diferencia entre la precipitación y la ETo de cada mes; si la diferencia cae a favor de la precipitación ($PR > ETo$) se contabiliza como superávit. El valor anual, mostrado y discutido aquí, es la suma de todos los meses, y se mide en mm. El superávit nos permite visualizar el total de agua en exceso que se almacena en el suelo en las épocas húmedas del año.

El análisis de los resultados del Historical nos permiten ver rápidamente, al igual que con otras variables, cuáles son las zonas más húmedas de toda Andalucía. Los valores del superávit en la región van desde valores próximos a 0 mm, principalmente cubriendo todas las zonas bajas de Almería y las costas y altiplano de Granada, a otros superiores a 700-800 mm repartidos por las cumbres de Cazorla-Segura, Sierra Nevada y, mayormente, Campo de Gibraltar y Sierras de Grazalema-Ronda-Nieves. Se aprecian otras zonas con valores relativamente elevados (400-600 mm) en otras cumbres importantes como Sierra Mágina, Arana, Loja o, más marcadamente, Sierra de Aracena por su influencia atlántica.

Tratando ahora los valores futuros, y siguiendo las tendencias ya tratadas de precipitación, los cambios que se estiman se reducen todos a disminuciones en el total del valor del superávit. Las reducciones más significativas se dan, como es evidente, en las zonas que poseen mayores valores en el periodo Historical, mientras que las zonas en mínimos (Almería y Granada) no disponen de margen para empeorar. Así:

- Para mediados de siglo se esperan reducciones similares entre todos los escenarios, algo más acusadas en los SSP3-7.0 y SSP5-8.5. Los valores oscilan entre -50/-75mm en las zonas bajas y de interior con menores valores históricos, incrementándose los valores hasta -100/-150 mm de media en las zonas más húmedas, con picos de hasta -200mm en zonas de cumbre.
- Para finales de siglo los valores sufren fuertes reducciones a partir del SSP2-4.5, con descensos en los valores de superávit muy marcados. De forma general se estiman reducciones de entre -100/-150 mm en las zonas de mínimos, valores que suben hasta -150/-200 mm de base en todas las zonas húmedas (incluso -200/-250 mm en el SSP5-8.5), con picos que llegan fácilmente hasta los -250mm, incluso en el peor de los escenarios rozando los -400 mm en zonas como Gibraltar o la Serranía de Ronda.

Analizando de forma general los resultados a futuro, vemos cómo contando los escenarios más halagüeños o medios, se esperarían **reducciones del 25% de forma general**, pudiendo llegar esos descensos **hasta el 50 o 70% en el peor de los casos**, siendo otra vez una clara señal de la tendencia futura a la desertificación de la región andaluza con el cambio climático.

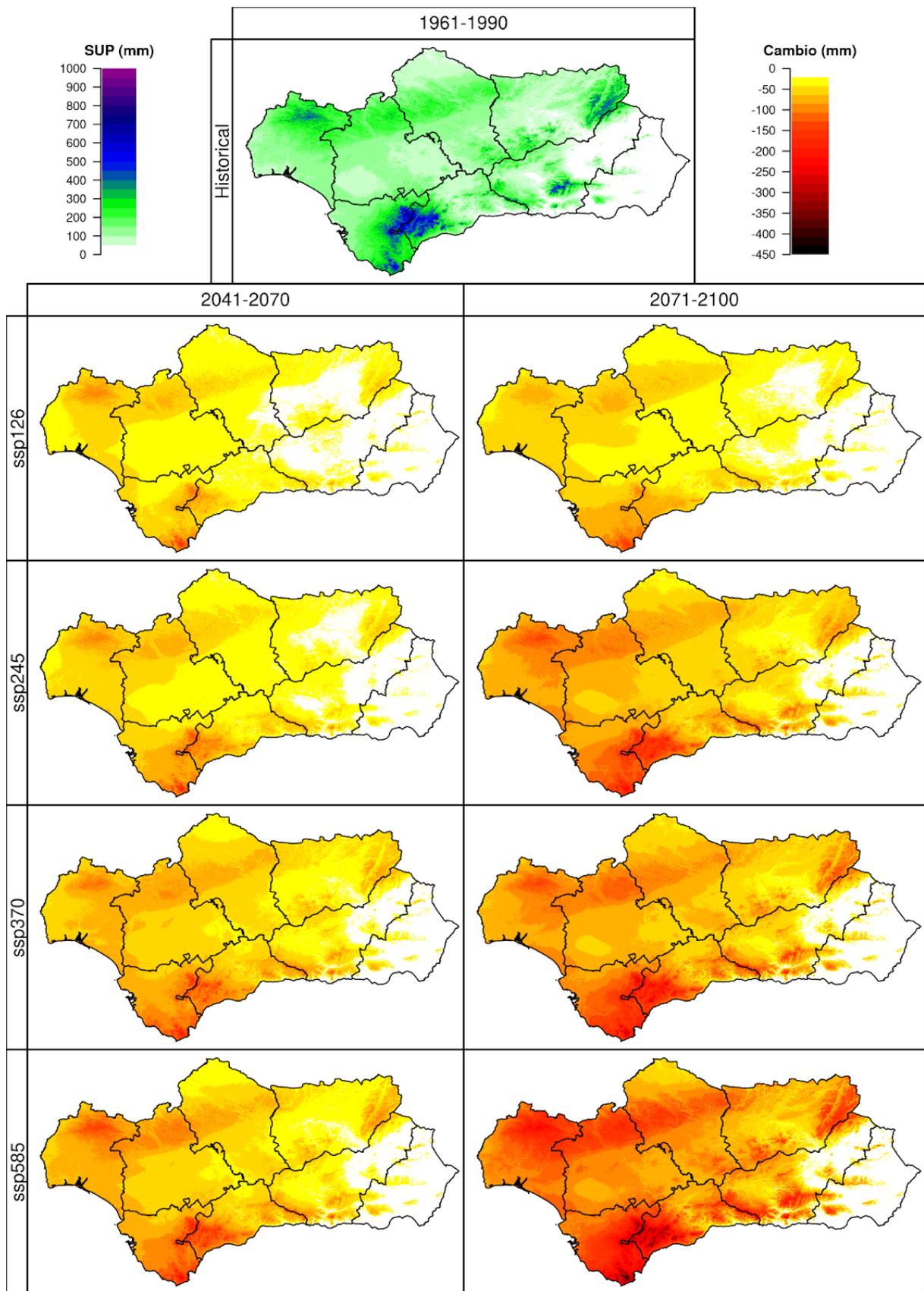


Figura 43.1. Reducciones en los valores del Superávit Hídrico (SUP), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

44. DÉFICIT HÍDRICO

El Déficit Hídrico es otra variable derivada del cálculo del BH. De forma opuesta al superávit, su cálculo se realiza computando la diferencia entre la precipitación y la ETo de cada mes, pero computando si la diferencia cae a favor de la ETo ($PR < ETo$). El valor anual, mostrado y discutido aquí, es la suma de todos los meses. El déficit nos permite visualizar todo el agua por encima de la que precipita que potencialmente sería capaz de evapotranspirar la ETo a lo largo del año, dándonos una idea del déficit hídrico del clima de cada zona.

Los valores correspondientes al periodo Historical obtenidos del análisis del índice muestran resultados bastante interesantes, y esperables viendo la naturaleza de la variable. Recordando que es el exceso de ETo por encima de la precipitación, los valores mínimos se ubican en aquellas áreas más húmedas y/o frías, donde la precipitación es alta o la ETo es pequeña; zonas correspondientes principalmente a todos los grandes relieves andaluces de las Subbéticas y Penibéticas, además de las partes más costeras de Cádiz y Málaga. Aquí los valores oscilan alrededor de los 100-300mm. Los máximos se concentran en las zonas con menores precipitaciones y más alta ETo, que son todas las zonas bajas de Almería (costa e interior), altiplano de Granada y Hoyas de Guadix y Baza, además de partes como la Campiña sevillana; zonas con valores que oscilan entre los 1000 a 1400 mm de déficit.

Los resultados futuros arrojan valores que van parejos a los ya vistos en la evolución esperada de la ETo, con incrementos generalizados en todo el territorio, dándose los mínimos esperados en el interior de Andalucía y cumbres de Andalucía Oriental, y los máximos en toda la zona costera, especialmente en el Cabo de Gata y toda la costa de Andalucía Occidental y la Costa del Sol. Así:

- Para el periodo de 2041-2070 los cambios esperables son similares a través de los 4 escenarios, algo más acentuados para los SSP3-7.0 y SSP5-8.5. Los incrementos en el déficit se mueven entre los +100/200 mm de mínimo en cumbres, unos +200/250mm de forma más generalizada en el interior, y llegando a unos +300/+350 mm de máximo en las zonas costeras ya mencionadas.
- Para los años 2071-2100, los SSP1-2.6 y SSP2-4.5 son bastante similares a los extremos de la horquilla para mediados de siglo, pero para los SSP3-7.0 y SSP5-8.5 las variaciones esperadas aumentan drásticamente al movernos hacia los peores escenarios. Los incrementos aumentan y generalizan por el interior, dejando los mínimos en cumbres (Sierra Nevada principalmente) sobre los +250 mm, de forma general moviéndonos sobre los +350/400 mm y llegando los peores valores en las zonas costeras hasta los +500/600 mm, con el máximo en Cabo de Gata rozando los +800 mm.

Siguiendo con la tónica general, los cambios estimados apuntan hacia **una mayor aridez y desertificación** del territorio andaluz, con incrementos muy notables en el déficit hídrico que vendrían a aumentar el estrés hídrico sobre la vegetación en muchas zonas, con **incrementos medios generales del 25-35%** en toda la región, llegando incluso en el peor de los casos a incrementos **superiores al 50%**.

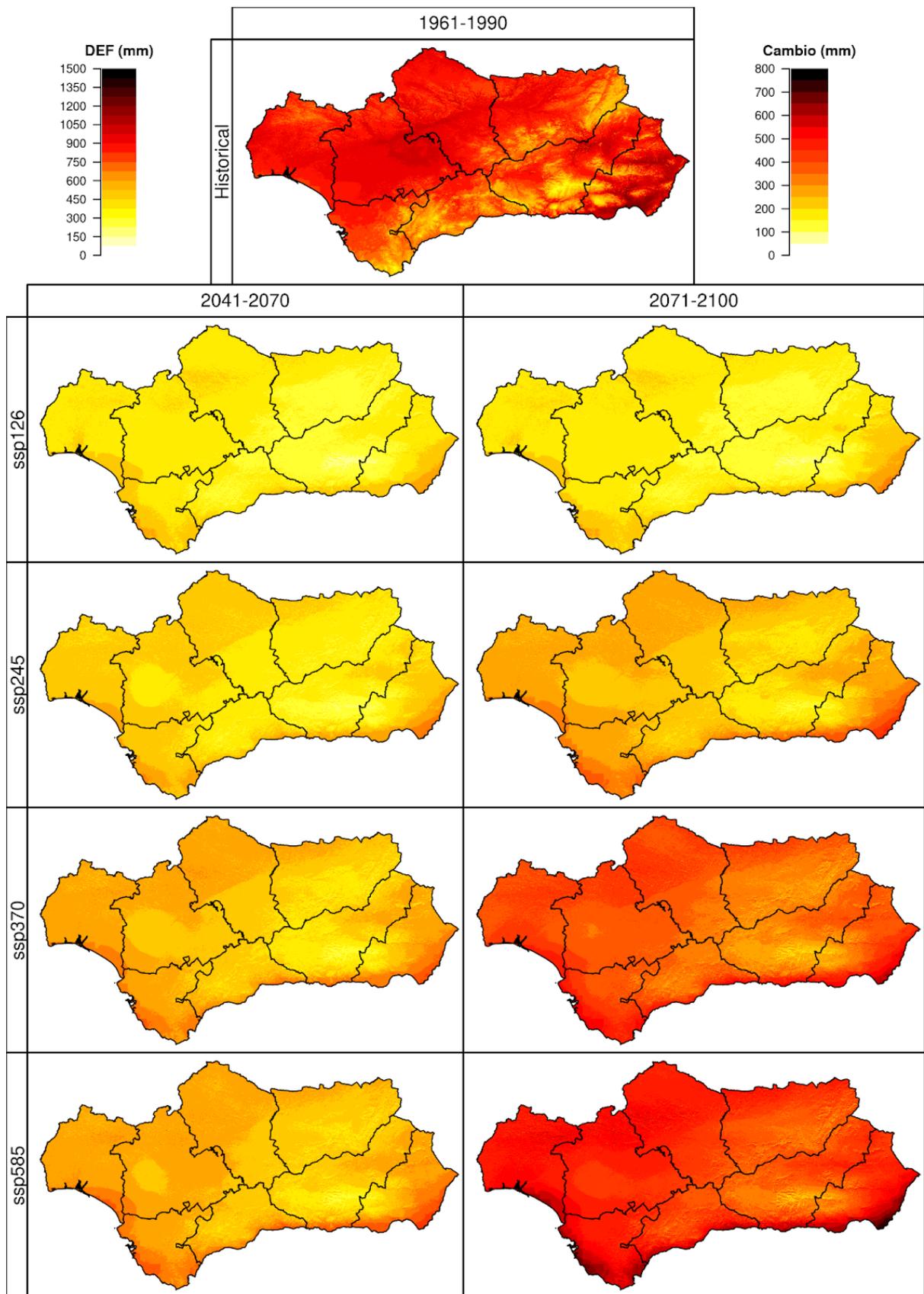


Figura 44.1. Incrementos en los valores del Déficit Hídrico (DEF), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

45. EVAPOTRANSPIRACIÓN REAL

La Evapotranspiración Real (ETr), a diferencia de la Evapotranspiración de Referencia (ETo) que marcaba la máxima cantidad de humedad que la atmósfera sería capaz de extraer del suelo y vegetación considerando el clima de la zona, la ETr hace referencia a la humedad real que llega a evaporarse tomando en cuenta el contenido de agua existente en el suelo en cada momento. De haber humedad suficiente, la $ETr = ETo$, pero de estar limitada, la ETr sería siempre menor, evaporando sólo el agua disponible.

Así, sabiendo que los valores de la ETr van a venir condicionados por la humedad disponible por debajo, y la ETo por arriba, los valores que observamos en la imagen del Historical nos da una idea por un lado de aquellas zonas con gran contenido de agua disponible y alta ETo asociada, que serán los máximos; y de aquellas zonas donde no hay prácticamente agua en el suelo, que darán los mínimos. El patrón de distribución de valores es muy similar a otros como el del Superávit Hídrico o el del Índice de Aridez, ya que la ETr es otro producto de la relación entre la ETo y el BH. Los máximos, con valores de ETr superiores a los 600 mm, se distribuyen por las ya conocidas zonas húmedas de Andalucía: Sierra Morena (destacando Aracena), grandes relieves de Andalucía Oriental fuera de Almería (Cazorla-Segura, Mágina, Loja, Nevada) y entorno del Estrecho y sierras de Cádiz y Málaga donde están los máximos (hasta 1100 mm, menores a la precipitación anual). Los mínimos evidentemente se ubican en las zonas caracterizadas por la ausencia de precipitaciones: todas las zonas bajas de Almería, altiplano de Granada y Hoyas de Guadix y Baza, con valores que oscilan entre los 100 y 300 mm evaporados al año, la práctica totalidad de lo que precipita en estas zonas cada año.

Los valores futuros presentan **descensos casi generalizados** de los valores de ETr asociados a la reducción esperada en las precipitaciones, pero **también incrementos marcados en las cumbres** de las zonas más húmedas (Estrecho, Grazalema-Ronda-Nieves y Sierra Nevada) debido a que la ETo no llega a evaporar la humedad total por las bajas temperaturas, y el aumento de las mismas permite aumentar la evaporación efectiva en estas zonas. Así:

- A mediados de siglo para los SSP1-2.6 y SSP2-4.5 sólo se aprecian aumentos en la ETr en las cumbres mencionadas, sin reducciones fuera de estas zonas. Para los otros dos escenarios se siguen apreciando dichos incrementos en cumbres, alrededor de +150/300 mm, pero también ligeras reducciones en el resto de Andalucía, leves, entre -50/100 mm, principalmente en Sierra Morena y la Costa del Sol e interior de Málaga.
- Para finales de siglo, los SSP1-2.6 y SSP2-4.5 no muestran cambios respecto a mediados, pero sí los SSP3-7.0 y SSP5-8.5, con un fuerte incremento en los valores de las reducciones de la ETr, de -50/100 mm generalizados, con máximos de -150/175 mm en Sierra Morena y de hasta -225 mm en Grazalema. Las zonas de incrementos se mantienen en cumbres en todos los escenarios, más restringidas cuanto peor el escenario.

Salvo la peculiaridad de los incrementos en cumbres, vemos como la conclusión coincide con las previas, indicando una **disminución de la disponibilidad hídrica** con esas reducciones amplias de la ETr en el futuro.

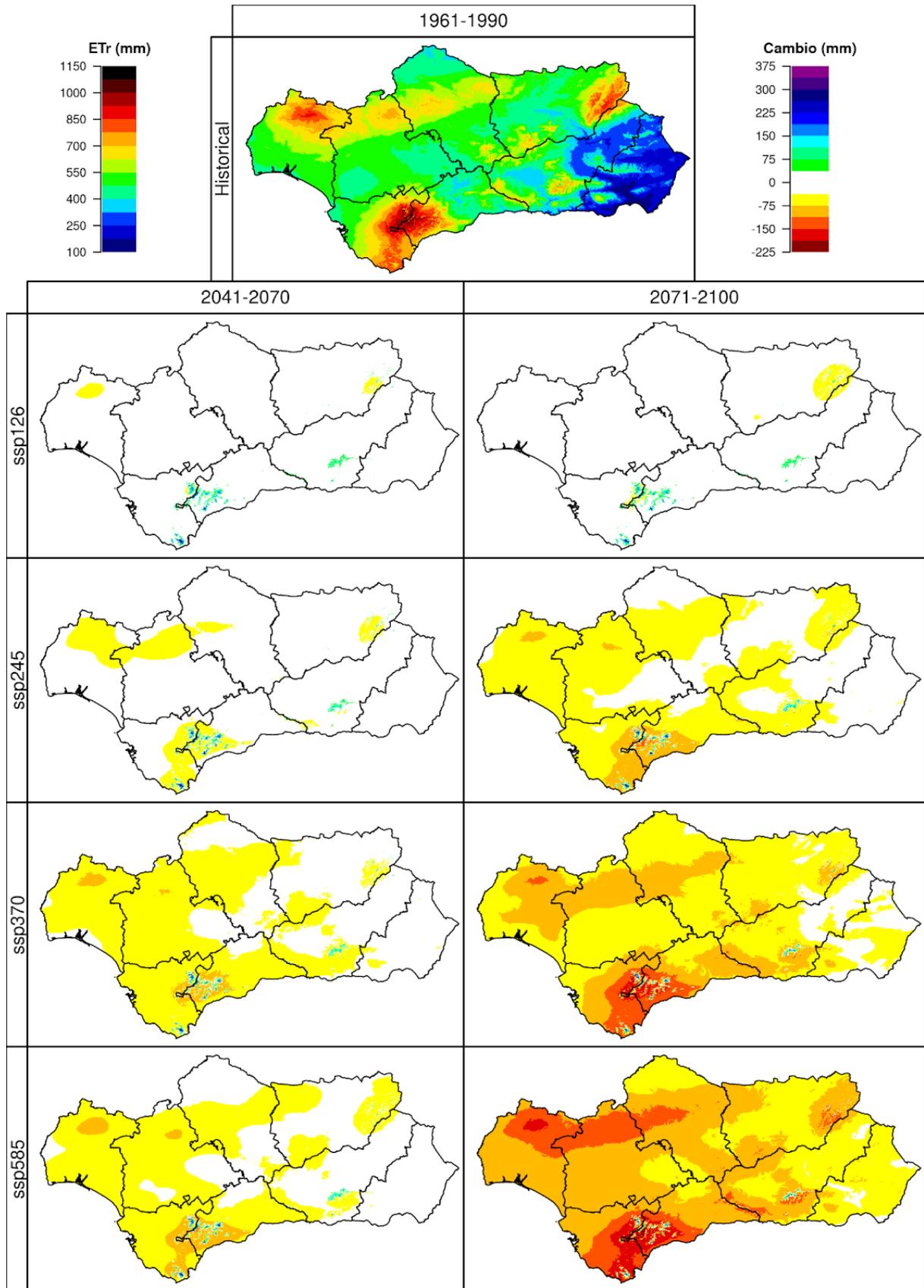


Figura 45.1. Variaciones en los valores de la Evapotranspiración Real (ETr), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

46. DURACIÓN DE LA SEQUÍA

Esta variable es otra de las varias que hemos obtenido derivadas del cálculo del Balance Hídrico (BH). En este caso concreto **la Duración de la Sequía es la variable opuesta y complementaria a la ya mencionada de Meses con Balance Hídrico Positivo** (variable 41). Si la previa representaba el total de meses sobre el año completo en el que un punto experimenta un BH positivo, ésta computa justo el valor contrario, es decir, el total de meses donde el $BH = 0$. Por lo tanto, **los resultados obtenidos y la interpretación de los mismos es idéntica (pero de sentido contrario)** a todo lo ya comentado previamente en la variable 41.

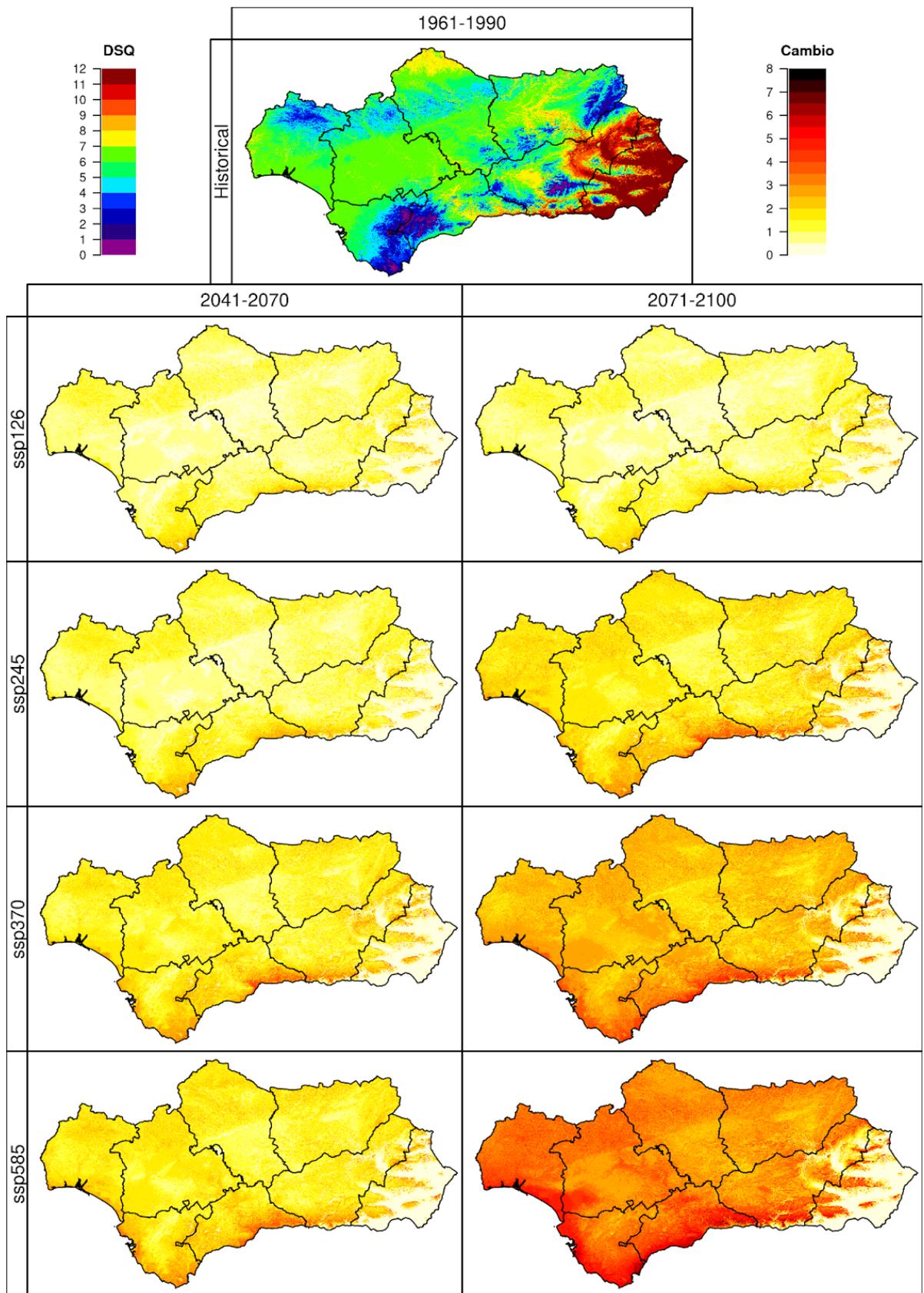


Figura 46.1. Incrementos en los valores del índice de Duración de la Sequía (DSQ), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

47. INTENSIDAD DE LA SEQUÍA

El índice de Intensidad de la Sequía (ISQ) es otro de los muchos índices que se han obtenido para caracterizar diferentes aspectos del clima y determinar la aridez de cada una de las zonas de Andalucía. En este caso, el ISQ se obtiene restando la precipitación de la zona y su temperatura media, y sólo tomando (y agregando anualmente) los valores negativos; es decir, el ISQ sólo computa cuando $Pr-TMed < 0$, sólo en valores negativos. Se mide en (mm-°C).

Como es esperable viendo la descripción del índice, los resultados anuales del ISQ para el periodo Historical nos muestran aquellas zonas de máximos (negativos) correspondientes con valores de precipitación muy bajos y/o temperaturas medias muy altas, mientras que los mínimos serán al contrario zonas muy húmedas y/o muy frías. Los valores obtenidos oscilan entre 0 y -110 mm-°C, con los valores más altos (<-60) ocupando todo el Valle del Guadalquivir, la Vega de Granada y la costa de toda la región andaluza (sin pasar los -70), con los máximos centrados en Almería, principalmente la costa y Cabo de Gata, Desierto de Tabernas (valle del Andarax) y Levante. Los valores más próximos a 0 se ubican en todo el altiplano de la Sierra del Segura y las cumbres de Sierra de las Nieves, Sierra Mágina, Sierra Nevada, Sierra de Gádor y ladera norte (más húmeda) de la Sierra de Filabres y Baza.

Las variaciones a futuro obtenidas muestran incrementos en el ISQ generalizados (contando con que hablamos siempre de valores negativos, alejándonos del cero). El patrón de incrementos se distribuye siguiendo el visual del Historical, con los mayores incrementos propagándose arriba por el Valle del Guadalquivir y cubriendo también todas las áreas bajas de Almería. Así:

- Para mediados de siglo las variaciones son mínimas para los SSP1-2.6 y SSP2-4.5, con aumentos -20/-30 en toda la región. Para los SSP3-7.0 y SSP5-8.5 los cambios se acrecientan, con -30/-40 cubriendo el Guadalquivir y Almería, y máximos de -50 en Tabernas.
- Para finales de siglo el SSP1-2.6 no muestra evolución, pero sí los otros tres escenarios, con una fuerte tendencia al incremento en los valores del ISQ siguiendo la misma distribución que a mediados, con incrementos medio-altos (-30/-50) generalizados, notables (-40/-60) en el Guadalquivir y los máximos de nuevo en Almería, llegando en el Valle del Almanzora y del Andarax a valores de hasta -110 mm-°C.

Así, vemos que siguiendo la tendencia de incrementos en las temperaturas futuras, y agravado en ciertas zonas por la ya presente carestía de precipitaciones que irá a más, se aprecia cómo el ISQ representa un futuro tendente a una **mayor aridez** en todo el territorio.

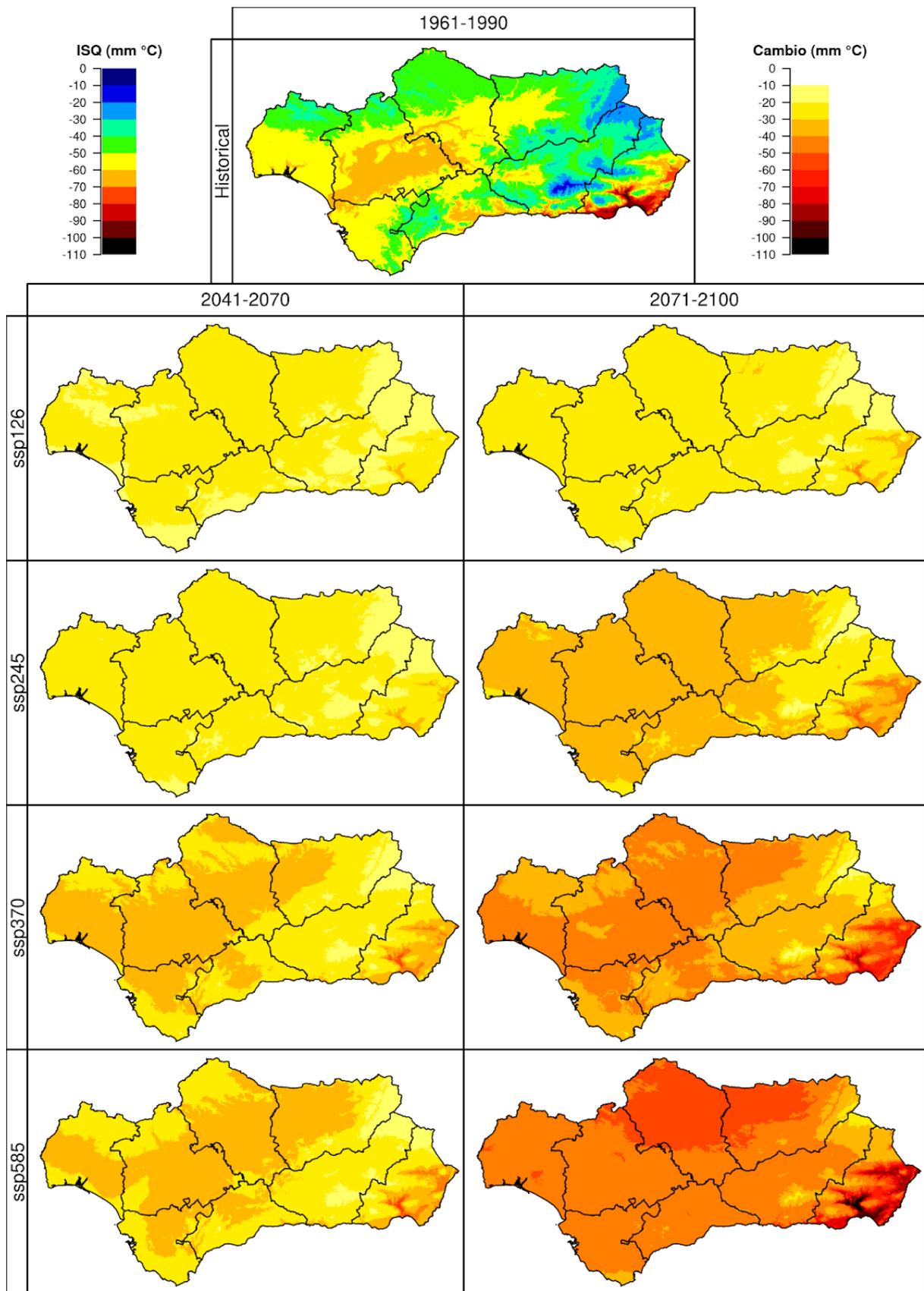


Figura 47.1. Variaciones en los valores del índice de Intensidad de la Sequía (ISQ), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

48. ÍNDICE HÍDRICO ANUAL

El Índice Hídrico Anual (IHD) es uno más de los índices empleados para caracterizar la aridez/humedad de un clima, una vez más mediante el empleo de la ETo y el BH, en este caso relacionando la diferencia entre el Déficit Hídrico (índice 44) y el Superávit Hídrico (índice 43) frente al valor total de la ETo. Así, de forma similar a otros índices, obtendremos según si prima el Superávit sobre el Déficit valores positivos indicando, normalizado sobre la ETo (sin unidades), las zonas con prevalencia húmeda (y de forma opuesta si prima el Déficit).

En la imagen obtenida para el Historical, de valores anuales, podemos observar para el IHD cómo los valores positivos, aquellos propios de zonas “húmedas”, se distribuyen en las zonas ya muchas veces mencionadas: principales relieves (cumbres) de las Béticas (Sierra Nevada, Cazorla, Tejeda, Ronda-Nieves...) y entorno del Estrecho. También se vislumbran pequeñas zonas positivas en la Sierra de Aracena. Los máximos, superando el valor de 60 están principalmente en las cumbres de Grazalema y Ronda. Las zonas negativas de mínimos (<-40) se ubican en las depresiones y costas de las provincias de Granada y Almería, ubicación natural como ya hemos visto en otras variables. El resto de la región concentra el resto de valores negativos, entre 0 y -40, ampliamente distribuidos por las costas atlánticas, Los Pedroches y el Valle del Guadalquivir.

Los cambios estimados para el futuro en cuanto al IHD son reducciones, en línea con otros índices, lo cual implica mayor sequedad del terreno. Las mayores reducciones se concentran en las zonas ya descritas como más húmedas, patrón espacial que se mantiene en todos los escenarios. Así:

- Para mediados del siglo esperamos reducciones muy similares entre todos los escenarios, con valores algo más destacados cuanto mayor sea el SSP en cuestión. La mayoría de la región andaluza no experimentaría cambios significativos, mientras que las zonas con algo de altitud (Sierra Morena y otros relieves medios) verían reducciones de -10/-20 como mucho, llegando ya en cumbres de las zonas húmedas a -30/-40 en el SSP5-8.5, principalmente en Grazalema y Estrecho.
- Para finales de siglo los SSP1-2.6 y SSP2-4.5 no empeoran demasiado respecto a los valores ya estimados a mediados. Los SSP3-7.0 y SSP5-8.5 sí muestran reducciones más drásticas, abarcando (salvo por las zonas de mínimos ya muy áridas) la práctica totalidad de la región, donde las reducciones se moverían entre -10/-20. Las zonas de relieves medios podrían llegar a -30, mientras que las cumbres más húmedas verían reducciones muy agravadas, con cumbres de Sierra Nevada, Nieves o el Estrecho rozando los -80.

Las conclusiones siguen las evidencias ya tenidas en el clima cambiante actual y van alineadas con las expectativas futuras, un clima con tendencia a la desertificación asociada a temperaturas cada vez más elevadas en todo el territorio.

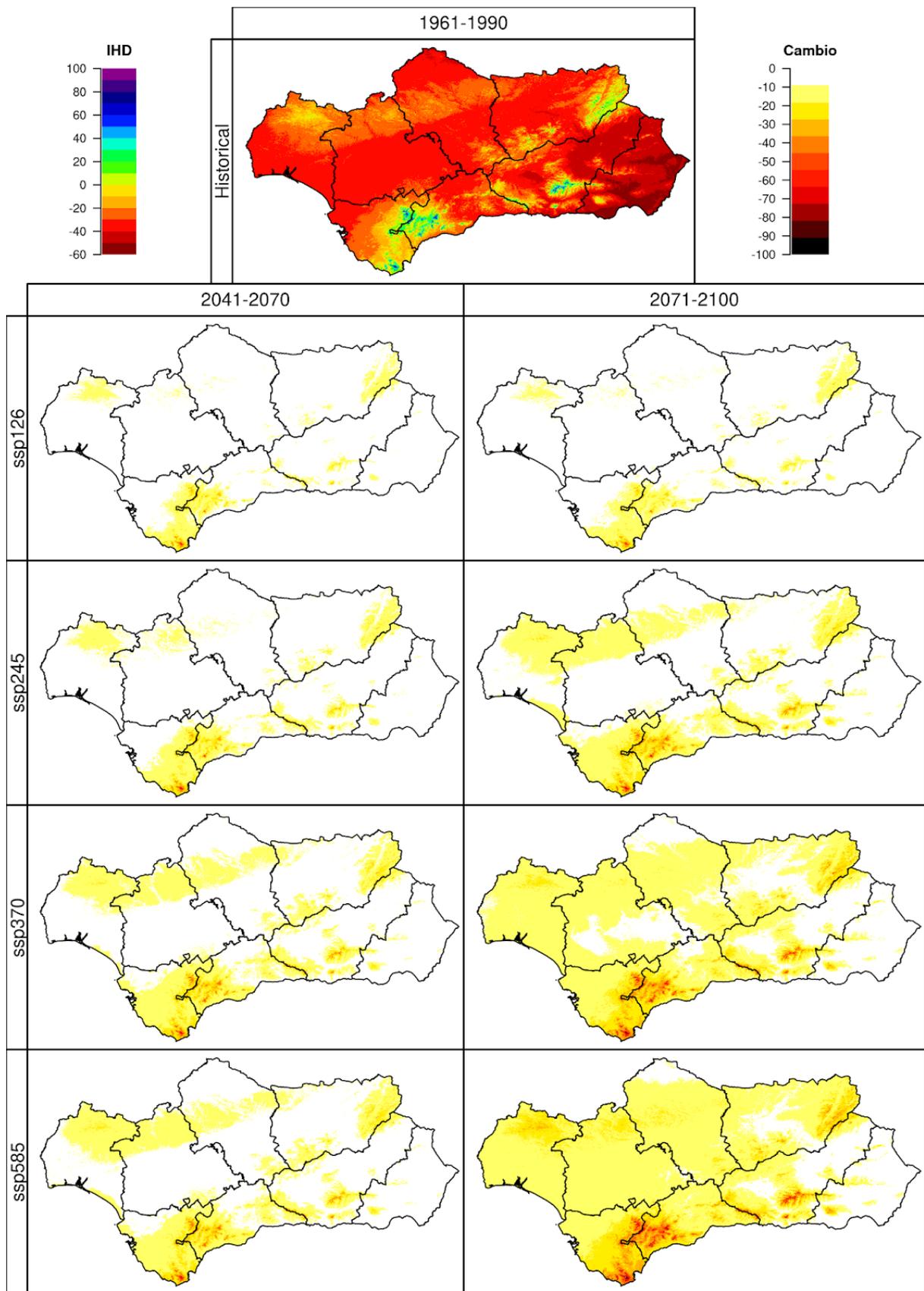


Figura 48.1. Reducciones en los valores del Índice Hídrico Anual (IHD), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

49. ÍNDICE DE HUMEDAD ANUAL

El Índice de Humedad Anual (IHM) es uno más de los índices empleados para caracterizar la aridez/humedad de un clima, esta vez relacionando directamente la ETo y la Precipitación en el periodo escogido, normalizando frente a la ETo la resta de ambas y representándola en forma de porcentaje ($IHM = 100 \cdot [Pr - ETo] / ETo$). Así, de forma similar a otros índices, obtendremos según si prima la Precipitación sobre la ETo valores positivos indicando las zonas con prevalencia húmeda (y de forma opuesta si prima la ETo).

En la imagen obtenida para el Historical, de valores anuales, podemos observar para el IHA cómo los valores positivos, aquellos propios de zonas “húmedas”, se distribuyen en las zonas ya muchas veces mencionadas: principales relieves (cumbres) de las Béticas (Sierra Nevada, Cazorla, Tejeda, Ronda-Nieves...) y entorno del Estrecho. También se vislumbran pequeñas zonas positivas en la Sierra de Aracena. Los máximos, algo por encima del 30%, están principalmente en las cumbres de Grazalema y Ronda. Las zonas negativas de mínimos (<-80%) se ubican en las depresiones y costas de las provincias de Granada y Almería, ubicación natural como ya hemos visto en otras variables. El resto de la región concentra el resto de valores negativos, entre 0 y -60%, ampliamente distribuidos por las costas atlánticas, Los Pedroches y el Valle del Guadalquivir.

Los cambios estimados para el futuro en cuanto al IHM son reducciones, en línea con otros índices, lo cual implica mayor sequedad del terreno. Las mayores reducciones se concentran en las zonas ya descritas como más húmedas, patrón espacial que se mantiene en todos los escenarios. Así:

- Para mediados del siglo esperamos reducciones muy similares entre todos los escenarios, con valores algo más destacados cuanto mayor sea el SSP en cuestión. La mayoría de la región andaluza no experimentaría cambios significativos, mientras que las zonas con algo de altitud (Sierra Morena y otros relieves medios) verían reducciones de -10/-20% como mucho, llegando ya en cumbres de las zonas húmedas a -30/-40% en el SSP5-8.5, principalmente en Grazalema y Estrecho.
- Para finales de siglo los SSP1-2.6 y SSP2-4.5 no empeoran demasiado respecto a los valores ya estimados a mediados. Los SSP3-7.0 y SSP5-8.5 sí muestran reducciones más drásticas, abarcando (salvo por las zonas de mínimos ya muy áridas) la práctica totalidad de la región, donde las reducciones se moverían entre -10/-20%. Las zonas de relieves medios llegarían a -30%, mientras que las cumbres más húmedas verían reducciones muy agravadas, con cumbres de Sierra Nevada, Nieves o el Estrecho rozando los -80%.

Las conclusiones siguen las evidencias ya tenidas en el clima cambiante actual y van alineadas con las expectativas futuras, un clima con tendencia a la desertificación asociada a temperaturas cada vez más elevadas en todo el territorio.

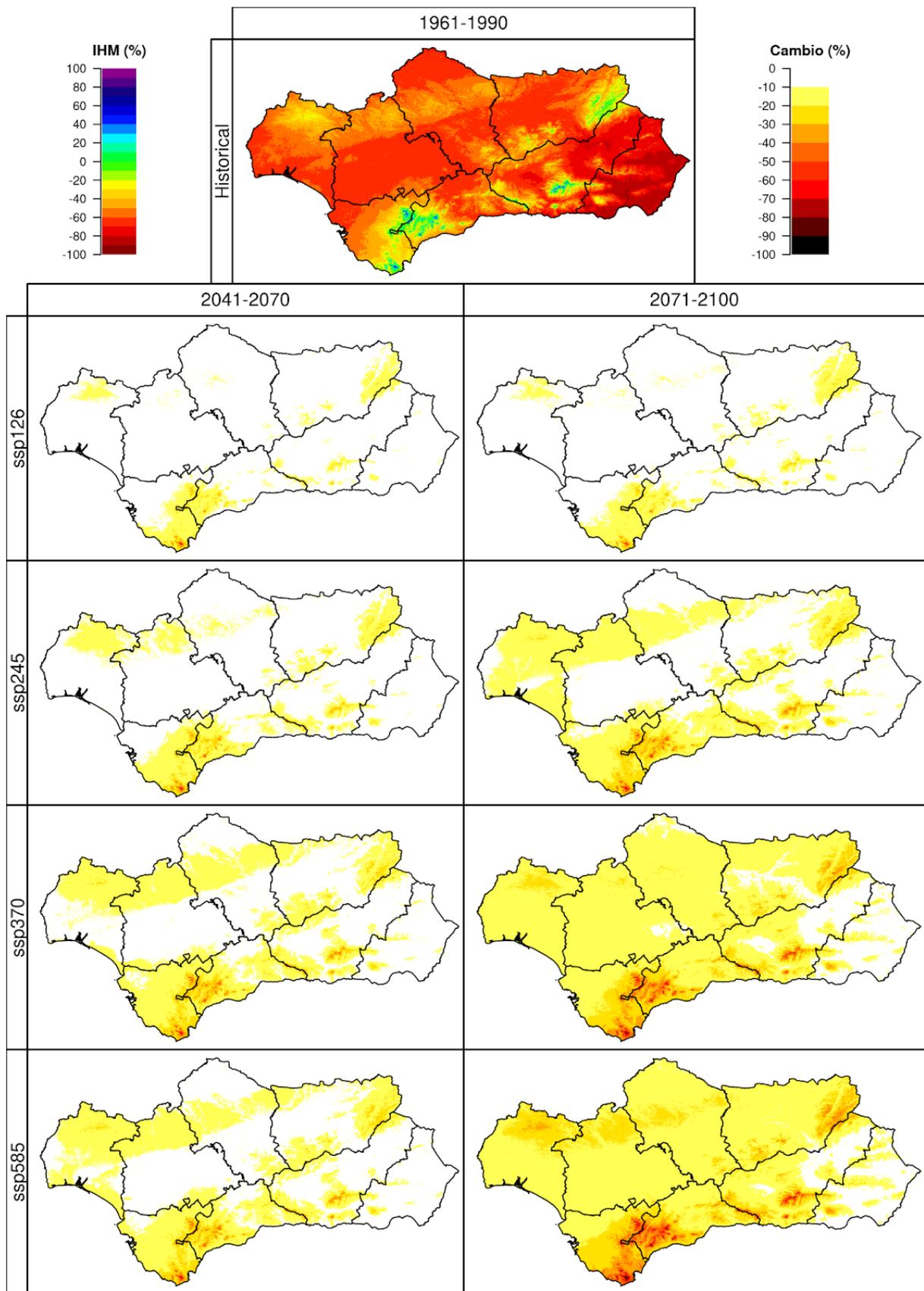


Figura 49.1. Reducciones en los valores del Índice de Humedad Anual (IHM), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

57. OSCILACIÓN TÉRMICA

La Oscilación Térmica es un indicador muy utilizado en la meteorología para caracterizar la continentalidad del clima de una región y lo extremo de su carácter térmico. Se puede obtener a diferentes escalas temporales, pero la aquí tratada a discutir es anual, y se obtiene como la diferencia entre las temperaturas medias del mes más cálido y del más frío. Se mide en °C y nos da una impresión de lo atemperado/contenido del carácter térmico de una zona (aquellas con temperaturas más constantes durante el año) o de lo variable de otra, con las estaciones marcadas y grandes diferencias entre verano/invierno.

La representación de los valores obtenidos para la mediana del periodo Historical deja ver muy visualmente la gran diferencia entre el carácter térmico de las zonas de costa andaluzas, con una clara influencia reguladora de las masas oceánicas, y las del interior, alejadas de las mismas.

- Las zonas con menor oscilación térmica se distribuyen a lo largo de toda la costa de Andalucía, con los valores mínimos alrededor de los 12°C justo en el Campo de Gibraltar, zona donde los vientos de Poniente y Levante azotan casi sin descanso desde un mar que no sufre grandes variaciones de temperatura, manteniendo las temperaturas muy contenidas todo el año. Los valores se ubican en torno a los 13°C en el resto de la costa gaditana y mediterránea, donde el Atlántico o las surgencias frías del Mar de Alborán en verano potencian las brisas y regulan efectivamente las temperaturas. La costa onubense muestra valores de 14°C por su ubicación menos efectiva a los vientos, y de 16°C en el Levante almeriense, donde las altas temperaturas del mar en verano reducen el papel de las brisas esos meses.
- Las zonas de valores más elevados se concentran en el interior de la región, con un gradiente pausado ascendiendo el Valle del Guadalquivir (según se va perdiendo la influencia del Atlántico) y una frontera mucho más marcada en los relieves de Andalucía Oriental y Mediterránea por la separación física que estas montañas ejercen frente al mar. Los valores más altos se ubican en el alto Guadalquivir, especialmente Jaén, llegando a los 22°C en cumbres de Cazorla o Sierra Mágina, con inviernos muy crudos y veranos con alta insolación y calor. En zonas de valle también se dan altos valores, de 20°C, al igual que en Los Pedroches (más continentalizado ya en la meseta), en la cuenca del Río Genil o la Hoya de Guadix, todas zonas con veranos tórridos e inviernos fríos. El resto del Guadalquivir oscila alrededor de los 16-19°C.

En cuanto a los valores futuros, los modelos estiman incrementos generalizados en la región. Las variaciones menos significativas se ubican en Andalucía Occidental, especialmente Huelva, y también en la Alpujarra y Tabernas de Almería, mientras que los mayores incrementos se dan en todo el interior, principalmente provincias de Córdoba y Jaén:

- A mediados del siglo se ve una progresión clara en las estimaciones de incrementos desde el SSP1-2.6 al SSP5-8.5. Desde variaciones de apenas 0.5°C en Huelva hasta 1.5°C en Cazorla y Filabres, a incrementos en el SSP5-8.5 de 1°C llegando a los 2.5°C en las mismas zonas.

- Para finales de siglo estos incrementos apenas cambian para el SSP1-2.6, pero sufren una progresión mucho más agresiva al avanzar hasta el SSP5-8.5. En el peor de los escenarios observamos aumentos cubriendo casi toda Andalucía de 2.5-3°C, salvo por Huelva que se mantiene alrededor de 1°C. Los peores valores llegan a superar los 4°C en Cazorla y Pedroches.

Recordemos que estamos hablando de la Oscilación Térmica, que está calculada con temperaturas medias. Es decir, incrementos de 1-2°C pueden llevar asociados por ejemplo pocas variaciones en las mínimas y grandes aumentos en las máximas, o viceversa, lo que tendría impactos muy diferentes. Para tener un mejor detalle de aspectos así se ha calculado también la siguiente variable, la Oscilación Térmica Total. Pese a esto, los resultados siguen mostrando un escenario tendente a fuertes aumentos de temperatura en toda la región.

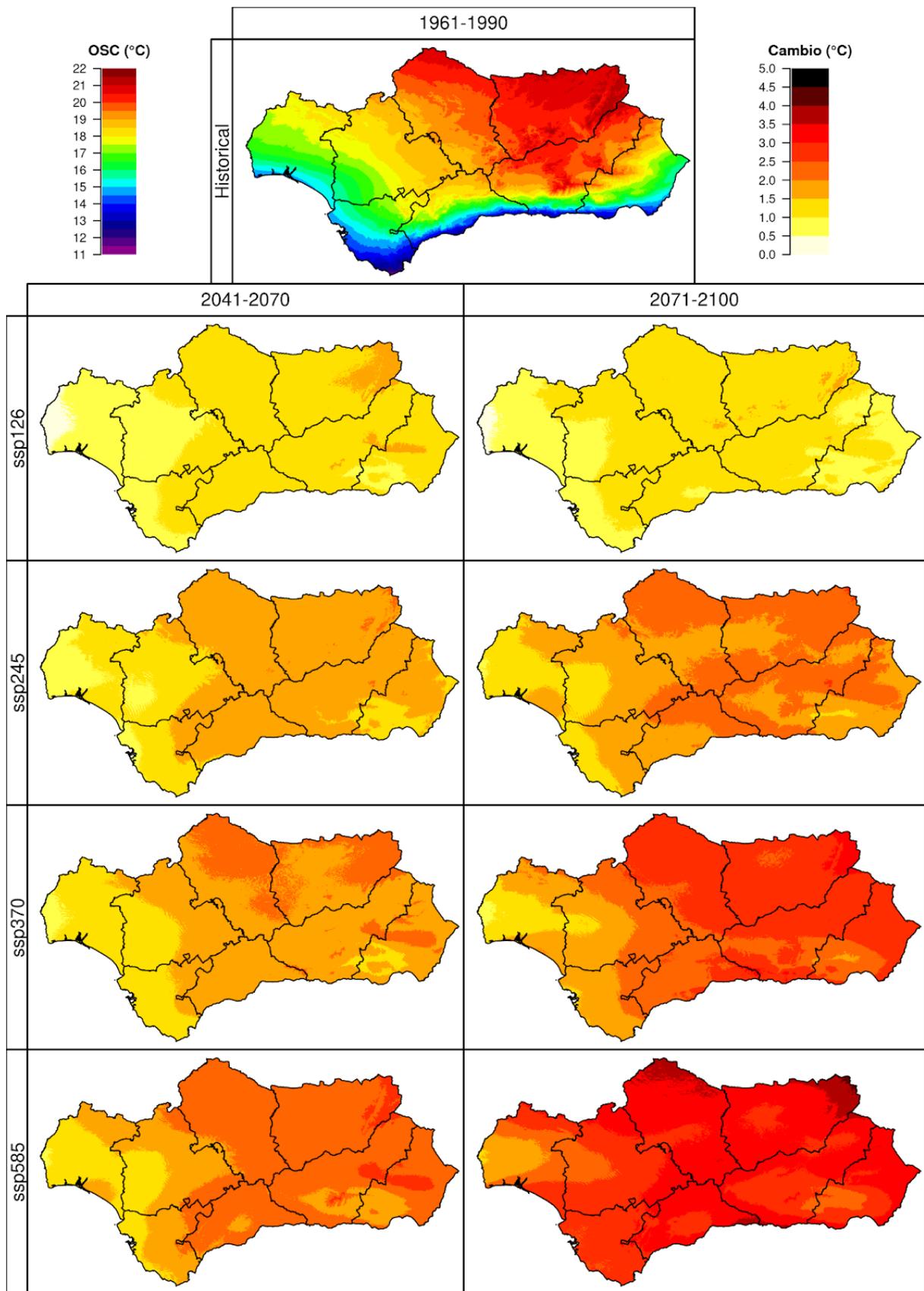


Figura 57.1. Cambios en los valores de la Oscilación Térmica (OSC), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

58. OSCILACIÓN TÉRMICA TOTAL

Como recién se mencionó en la Oscilación Térmica previa, la variable a tratar ahora, Oscilación Térmica Total, es una variación en la que en su cálculo se consideran otros parámetros, a saber: media de las temperaturas mínimas del mes más frío, y media de las temperaturas máximas del mes más cálido. Al no tratar ahora sólo con la media global del mes, sino con la parte más fría del mes frío y la cálida del cálido, podemos tener en cuenta aspectos como zonas con fuertes inversiones térmicas en invierno (y mínimas muy bajas) que se desdibujaban al computar la máxima diaria, o verdaderas sartenes de calor en verano en zonas rurales donde a la noche refresca. Esto nos permite conocer la oscilación térmica total del año en cada punto, lo que es un valor muy útil para la continentalidad de un área.

El resultado para el Historical no difiere a grandes rasgos del de la Oscilación Térmica previa, pero sí si bajamos al detalle. De entrada la horquilla previa iba de 11 a 22°C, mientras que ahora nos movemos entre 17 y 37°C. La distribución espacial muestra el mismo patrón, con los mínimos ubicados a lo largo de toda la costa y los máximos en el interior:

- El mínimo, con 17°C, se halla en el Estrecho, por las mismas razones que ya mencionamos antes, igual que las que explican los valores costeros mediterráneos y de Cádiz, alrededor de 19 y 24°C. El prelitoral y la costa onubense, zonas con menor presencia de brisas y más calentamiento veraniego, pero con temperaturas invernales contenidas, se mueve entre los 25 y 29°C.
- Los valores más altos se siguen ubicando en el interior. Todo el interior pasa los 30°C de oscilación, pero en este caso los máximos no están en cumbres, sino en aquellas zonas continentales con fuertes heladas invernales y tórridas temperaturas veraniegas, pasando los 35°C de oscilación: alto Guadalquivir, Pedroches y cuenca del Genil y Hoya de Guadix-Baza. Las cumbres muestran valores algo menores.

Las variaciones de los valores para el futuro se resumen en sólo incrementos. La distribución de los cambios tiene las mayores variaciones en zonas de relieve y las mínimas en Andalucía Occidental, y con el patrón constante con los SSPs. Así:

- Para mediados de siglo se observa una progresión moderada en los incrementos esperados a través de los SSPs. Los cambios menores se ubican alrededor de los 0 a 1°C en el curso bajo del Guadalquivir y costas de Cádiz y Huelva para el SSP1-2.6, aumentando hasta los 1-2°C en el SSP5-8.5. Los mayores incrementos se distribuyen en relieves medios y altos, con los máximos en las sierras de Cazorla-Segura, Filabres y Nevada, al igual que en la Hoya de Baza, yendo de 2-2.5°C en el SSP1-2.6 hasta 3-4°C.
- Para finales tenemos pocas variaciones respecto a mediados para los SSP1-2.6 y SSP2-4.5, pero aumentos notables en los otros dos. Los mínimos ascienden a 2-3°C, el resto de la región a 3-4°C mientras que las zonas de máximos escalan hasta los 6-9°C.

En este caso, al tratarse de una variable que mide la diferencia entre mínimas y máximas, cabe destacar que los incrementos esperados están asociados principalmente a los aumentos notables esperados en las máximas de los meses más cálidos.

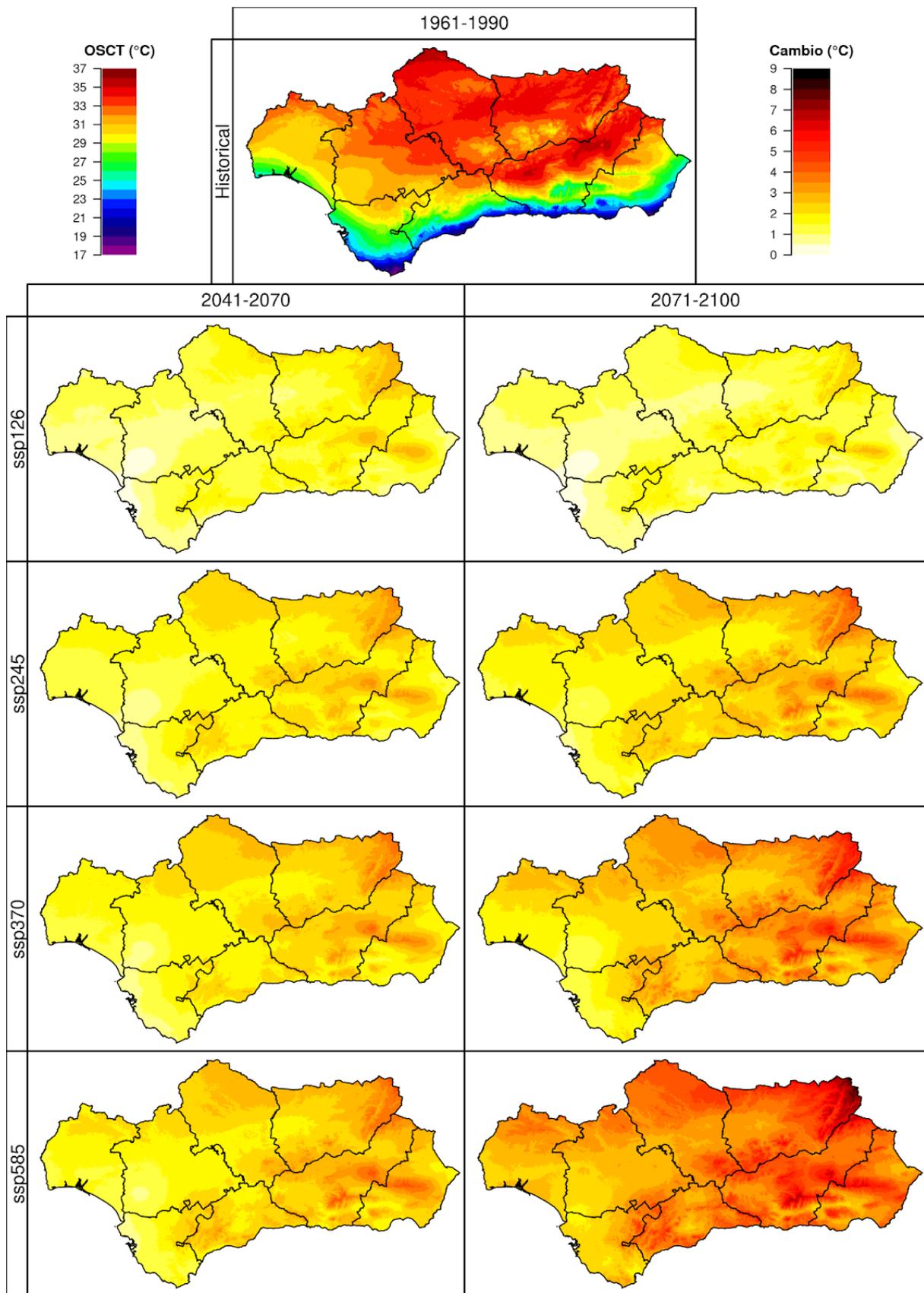


Figura 58.1. Cambios en los valores de la Oscilación Térmica Total (OSCT), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

59. CASTANEA SATIVA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Castanea sativa* Mill. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período histórico Autoecología paramétrica muestra una amplia distribución potencial en Andalucía, mientras que GAM está más restringida a los espacios montanos de Sierra de Aracena, las sierras oeste de Málaga y Sierra Nevada. El castaño es una especie mesoterma, higrófila y orófila, por lo que a priori no parece adecuada la amplia idoneidad que marca Autoecología en toda la comunidad autónoma, como partes del valle del Guadalquivir. GAM parece haberse adaptado mejor a la distribución observada de la especie, si bien parece no captar el umbral de temperaturas frías mínimas a partir de la cual el castaño no es capaz de sobrevivir.

A mitad de siglo GAM muestra una reducción alarmante del territorio idóneo, manteniéndose únicamente un poco de idoneidad en la parte occidental de la cordillera Penibética. En cambio, Autoecología paramétrica presenta una reducción menor de los espacios idóneos para la planta, manteniéndose bastantes espacios del sistema Penibético y parte del Subbético. La tendencia mostrada por GAM a mediados de siglo parece indicar que este algoritmo subestima la capacidad de resistencia a la sequedad y temperaturas cálidas del castaño. Por lo tanto, el modelo de distribución de especies puede ser el punto medio entre el modelo que sobreestima (Autoecología paramétrica) y subestima (GAM). En lo que están de acuerdo ambos modelos es en la desaparición de idoneidad de las poblaciones existentes en Sierra Morena.

A finales de siglo, si bien todos los escenarios muestran un descenso de territorio con respecto a mediados, en Autoecología paramétrica existe a diferencia de otras especies una ligera estabilización de la especie, manteniéndose manchas de idoneidad o de espacios dudosos de ella. GAM muestra la desaparición de la especie de la región andaluza.

Ensemble muestra una distribución muy parecida a GAM.

Ambos modelos muestran una reducción del terreno idóneo de la especie. Autoecología paramétrica parecía exagerar el terreno idóneo de la especie según lo observado en el histórico, mientras que GAM parece subestimar por su desarrollo en los futuros escenarios, por lo que probablemente el modelo correcto se encuentre en un punto intermedio, con una reducción de la especie fuerte y su reducción al sistema Penibético.

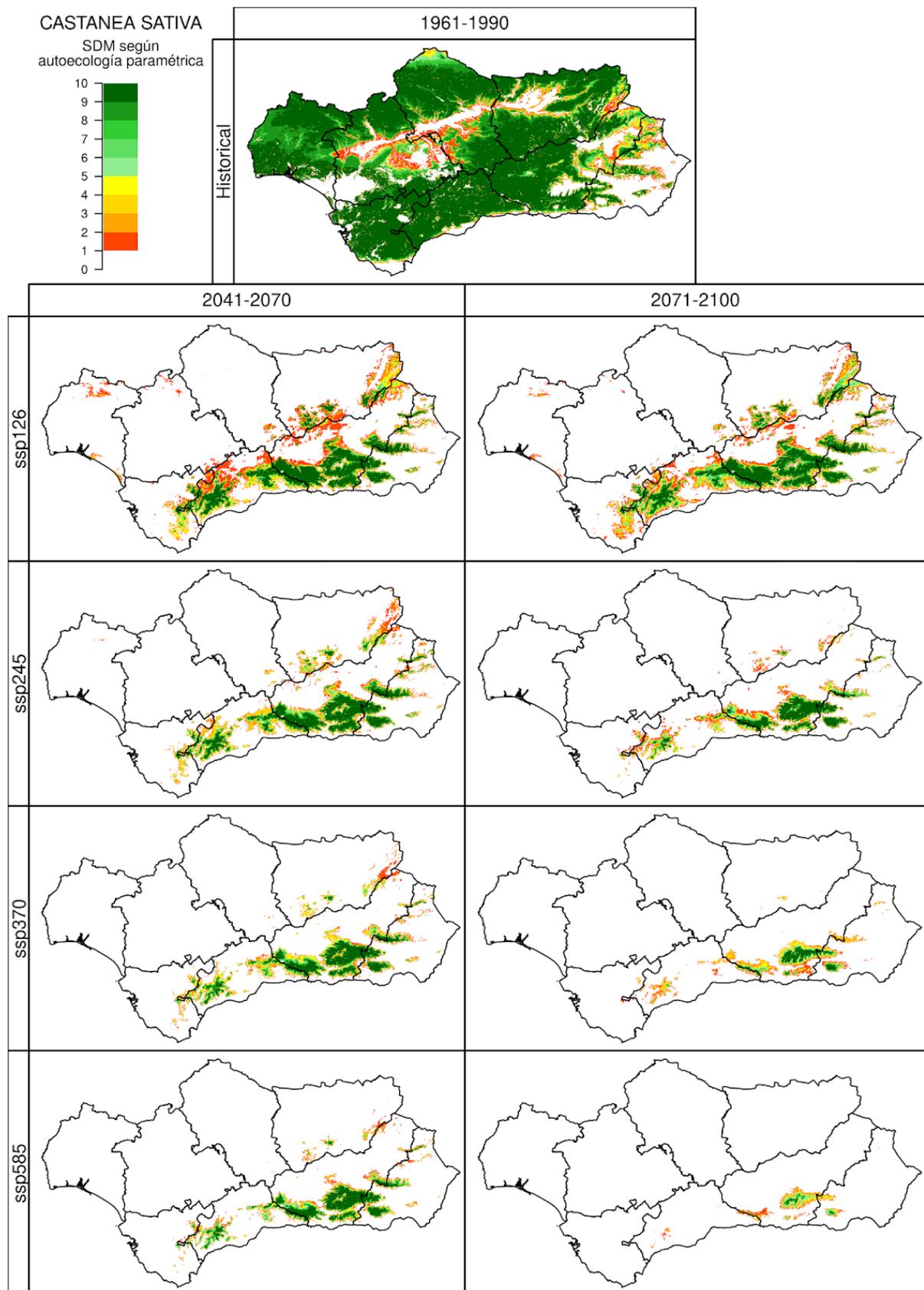


Figura 59.1. Índice de potencialidad de *Castanea sativa* (CSATIV), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

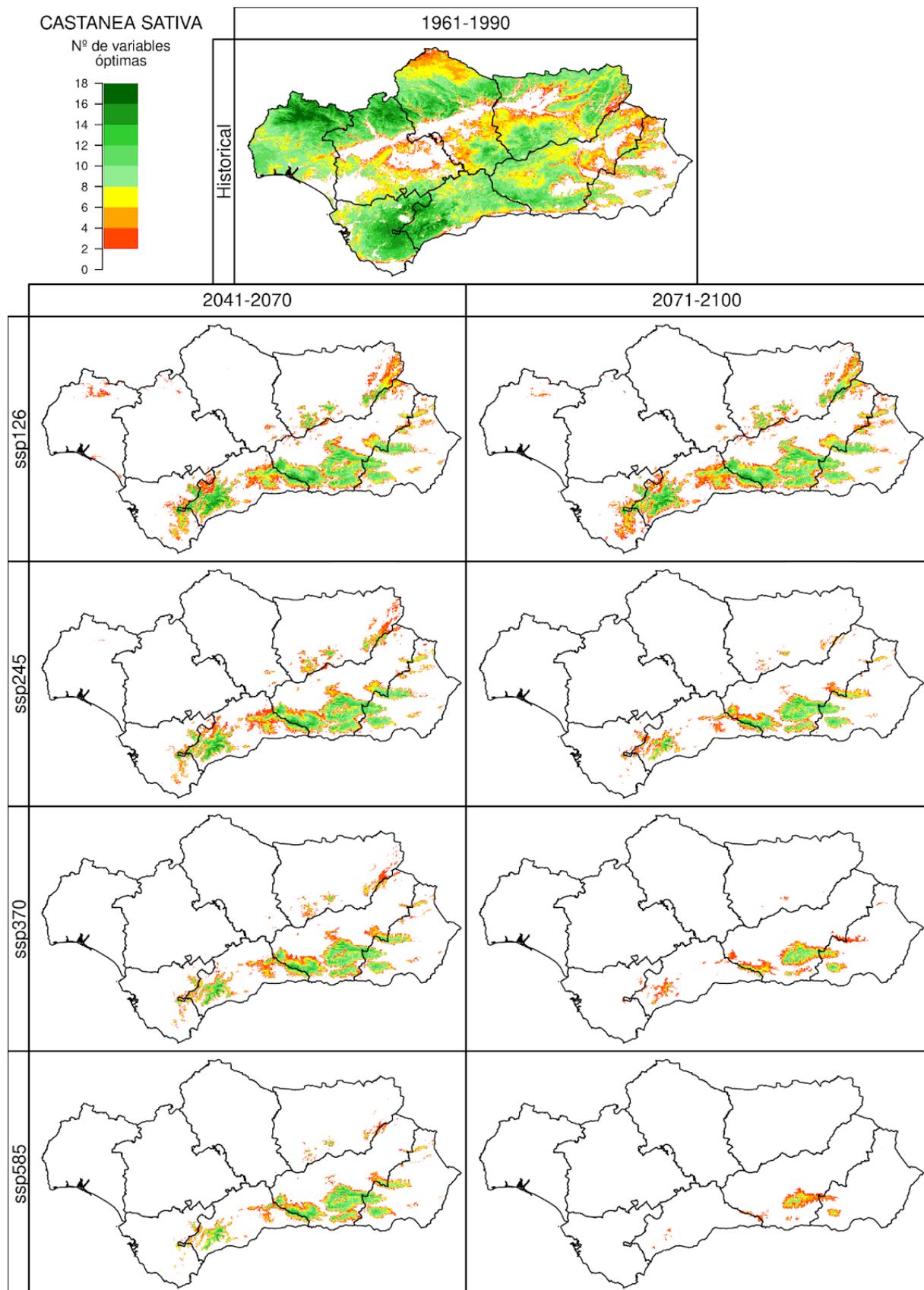


Figura 59.2. Número de variables óptimas de *Castanea sativa* (CSATIV), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

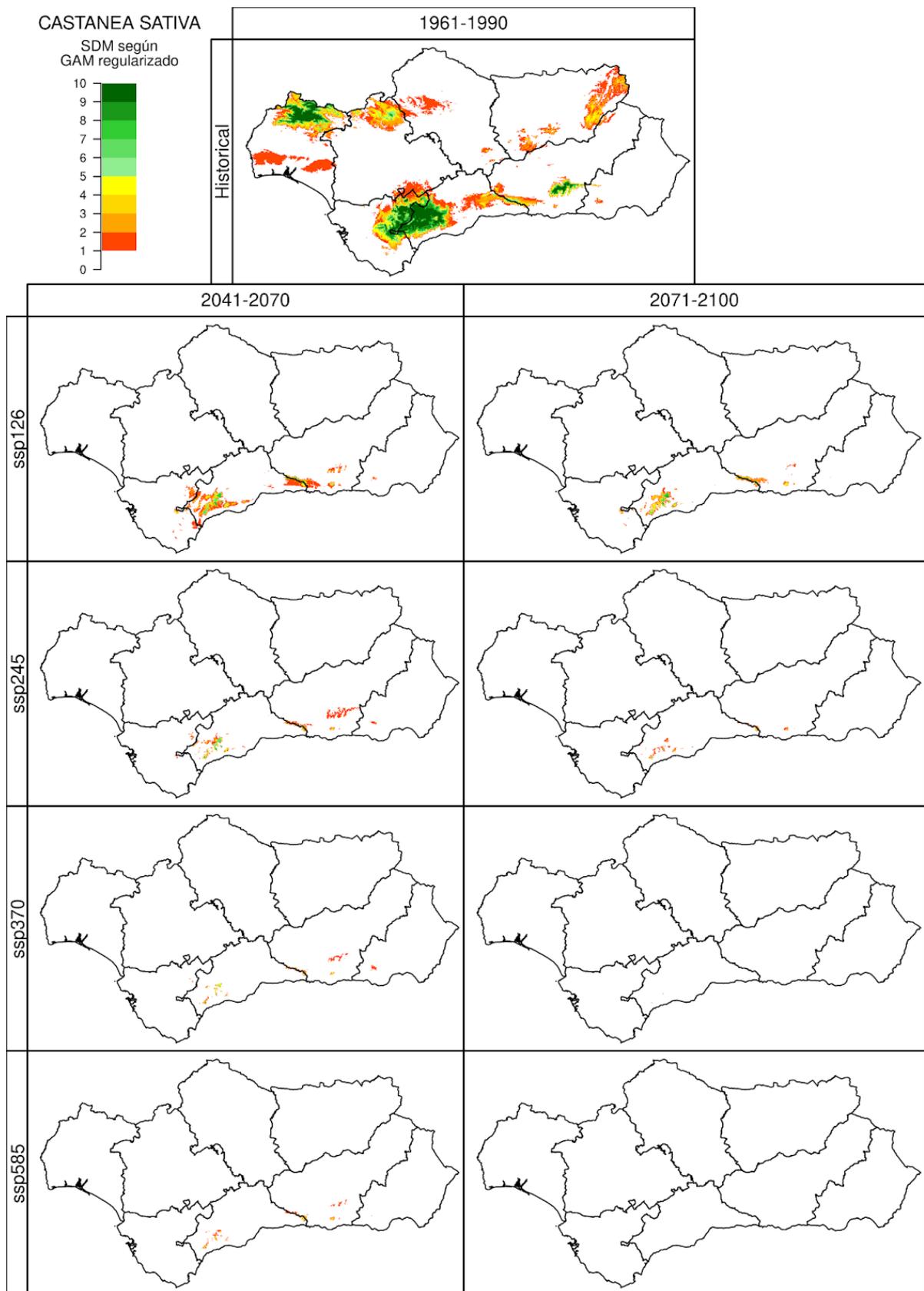


Figura 59.3. Idoneidad del territorio de *Castanea sativa* (CSATIV), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

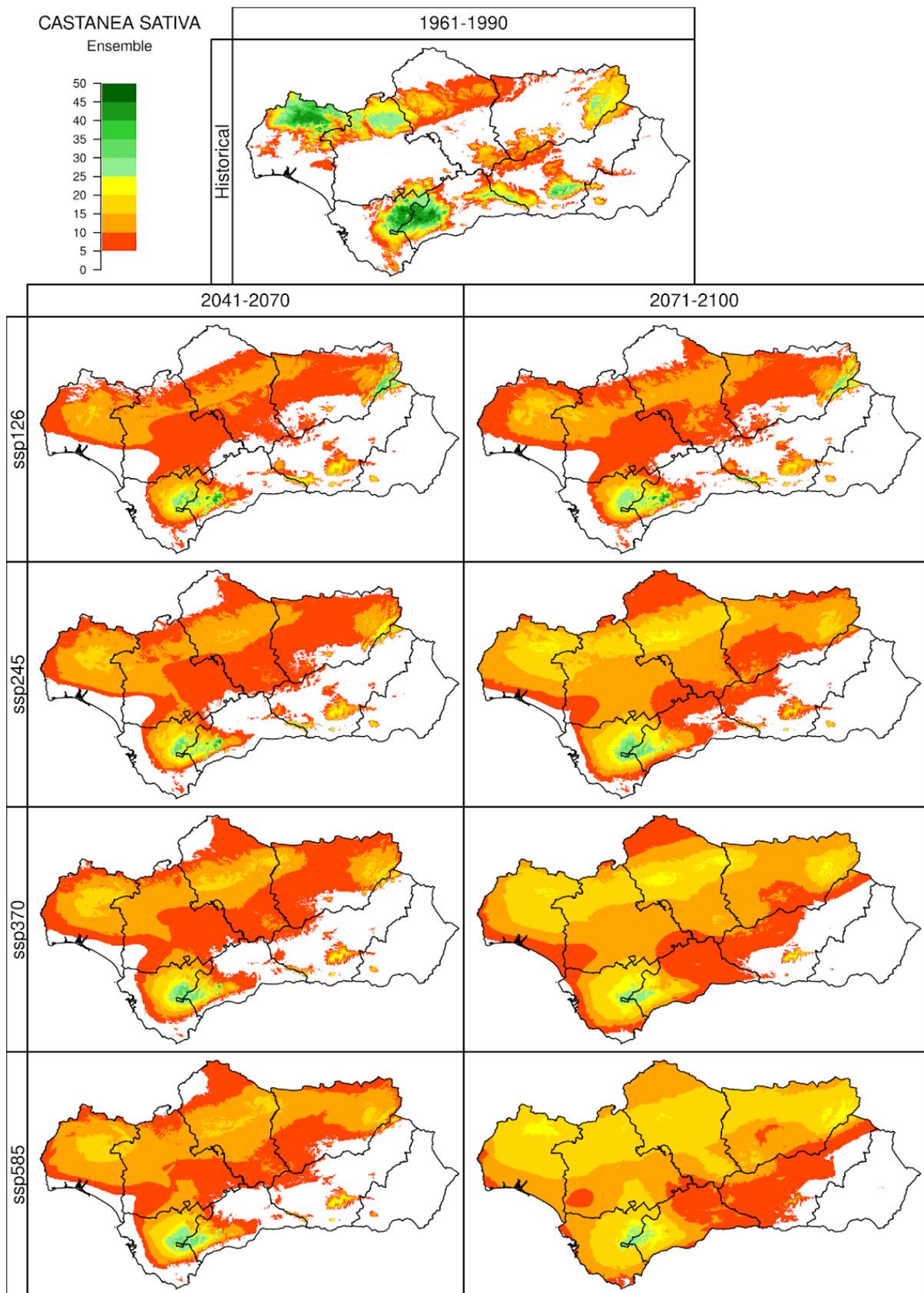


Figura 59.4. Idoneidad del territorio de *Castanea sativa* (CSATIV), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

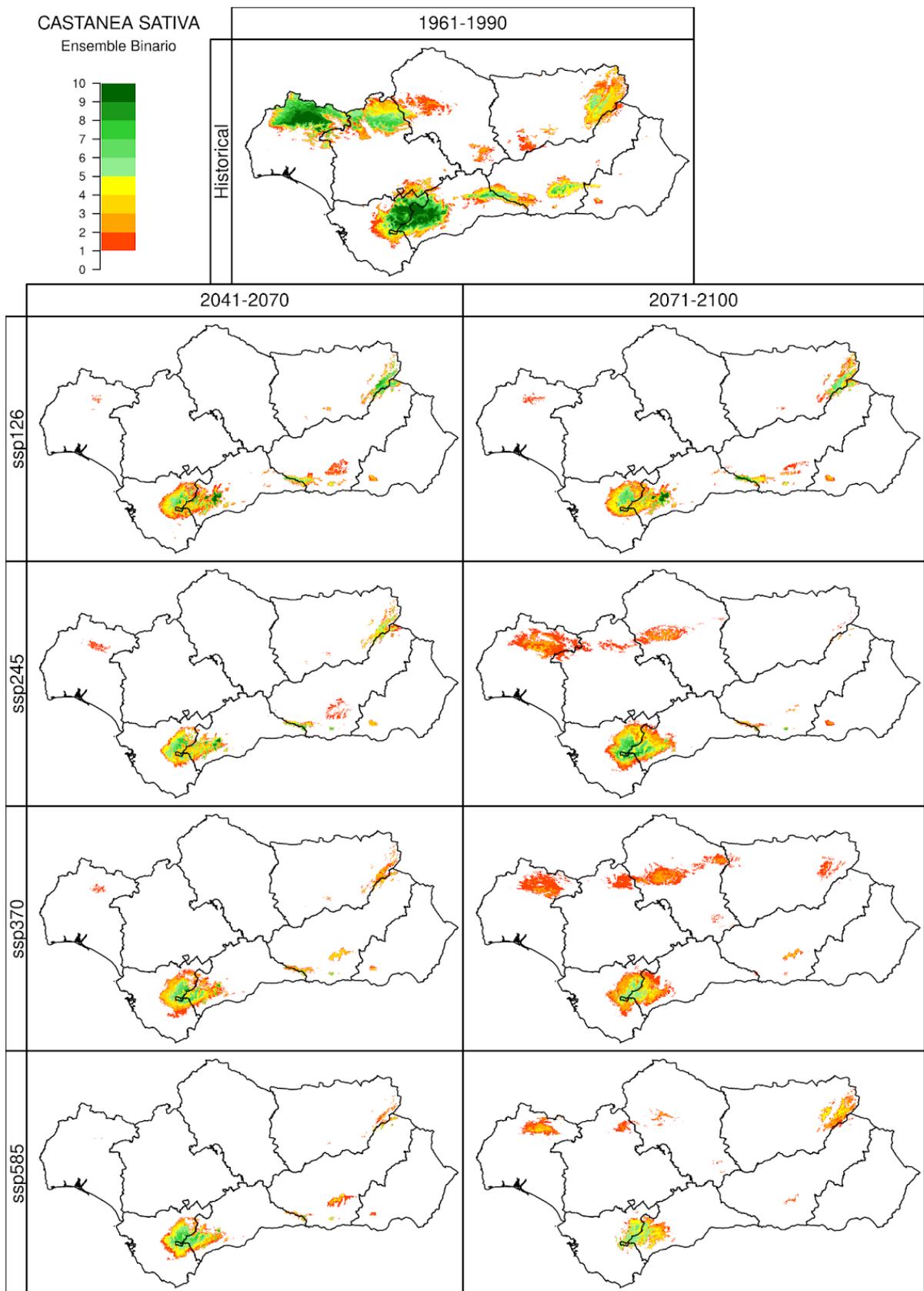


Figura 59.5. Idoneidad del territorio de *Castanea sativa* (CSATIV), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

60. EUCALYPTUS CAMALDULENSIS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble. Esta especie ha sido introducida y es procedente de otro continente, por lo que su modelización es complicada.

En el período histórico ambas metodologías muestran una distribución potencial similar, excluyendo principalmente las regiones montañas de la cordillera Bética. Autoecología paramétrica parece estar sobreestimando la capacidad de supervivencia de eucalyptus camaldulensis a temperaturas extremadamente bajas (presenta idoneidad en cotas muy elevadas), mientras que GAM parece estar sobreestimando a la capacidad de soportar aridez (idoneidad en toda la costa almeriense). Juan Ruiz de la Torre, en *Flora mayor*, afirma que vive en localidades con diferentes regímenes de precipitaciones, viviendo en municipios con 250 mm de precipitación: soporta temperaturas invernales de -5° y estivales de hasta 40° y su factor limitante son las temperaturas mínimas. En la figura 83.12 se puede apreciar que bastante parte del territorio árido almeriense presenta precipitaciones del orden de 200 mm/anuales, cerca del umbral mencionado por Juan Ruiz de la Torre. Por todo esto, se podría plantear que GAM no está sobreestimando en exceso la capacidad de resistencia al clima árido de esta planta.

A mitad de siglo Autoecología paramétrica muestra una reducción del territorio marcado como idóneo. Su idoneidad casi desaparece en las partes bajas de la Almería árida, en la costa atlántica y en el valle del Guadalquivir. Se reduce pero se mantiene en algunos espacios de Sierra Morena y se mantiene en las cordilleras Béticas. GAM presenta un avance de idoneidad en las partes altas de Andalucía, ascendiendo a ocupar casi en su totalidad Sierra Morena, y ocupando gran parte de las cordilleras béticas, a excepción de las cumbres.

A finales de siglo, según el escenario SSP1-2.6 la situación se estabiliza. En el resto de escenarios, Autoecología paramétrica muestra que la idoneidad desaparece completamente de Sierra Morena y de la cordillera Subbética. Según GAM, la idoneidad se mantiene en toda Andalucía e incluso se expande a cotas superiores en la cordillera penibética.

Ensemble presenta la misma evolución y disposición espacial que GAM en cuanto a idoneidad, si bien ensemble presente en las partes de oeste de Sierra Morena y cordillera Subbética algo de incertidumbre.

Su capacidad de supervivencia en entornos secos, con temperaturas cálidas y las presencias registradas en la actualidad en almería son muestra de ello. La distribución propuesta por GAM es más acorde a la posible distribución de la especie, siendo posible que en entornos extremadamente áridos esté sobreestimando su idoneidad.

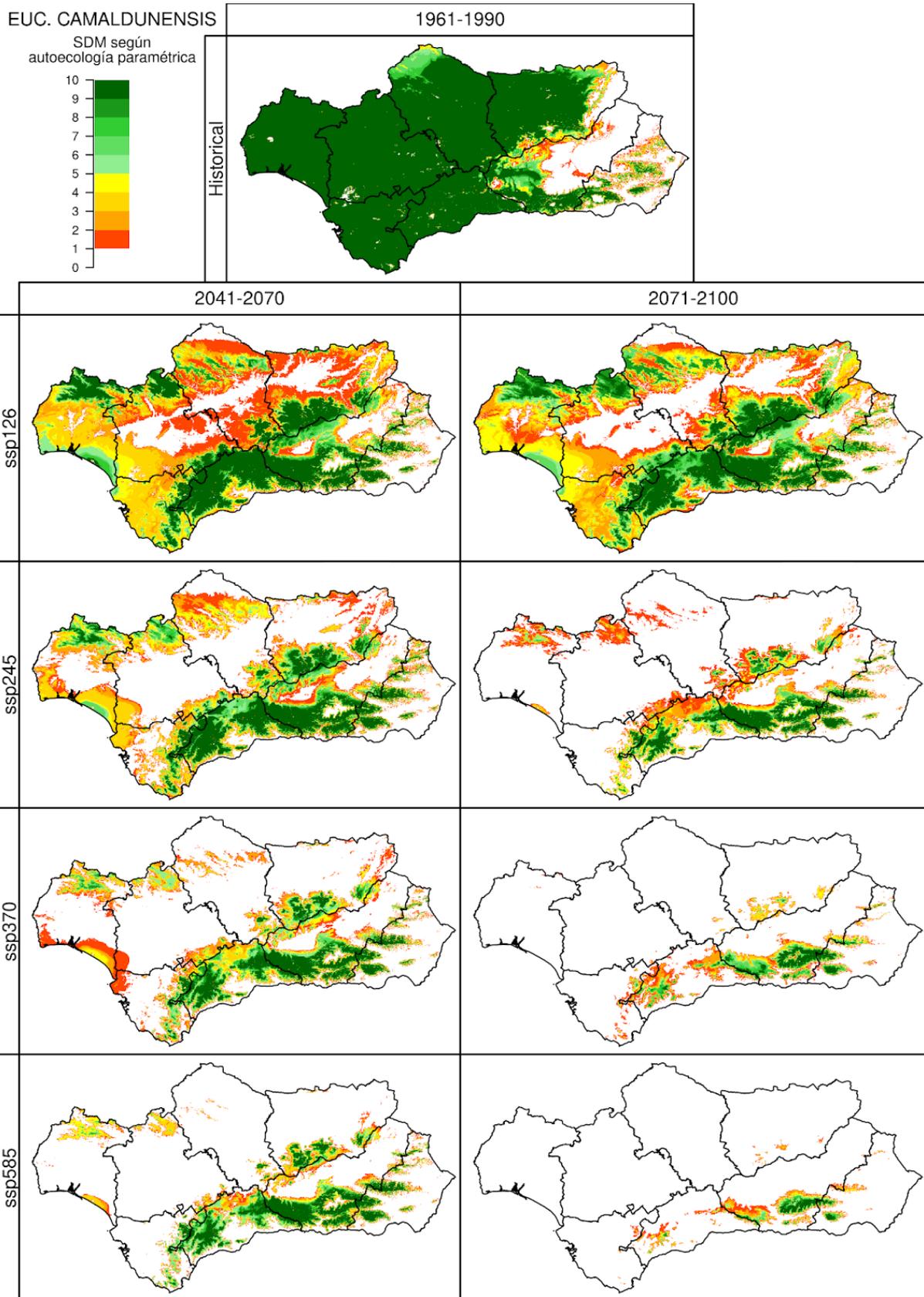


Figura 60.1. Índice de potencialidad de *Eucalyptus camaldulensis* (ECAMAL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

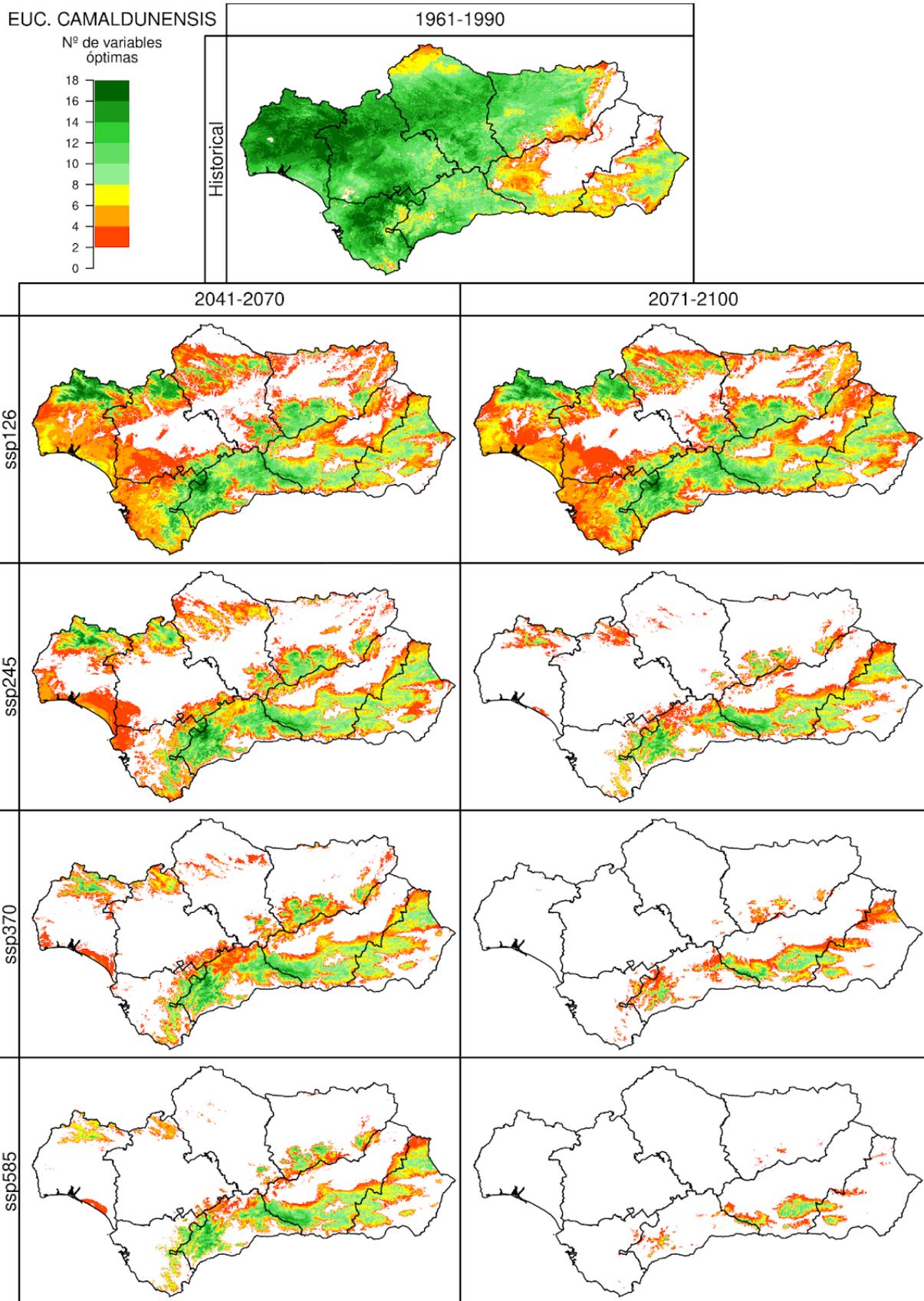


Figura 60.2. Número de variables óptimas de *Eucalyptus camaldulensis* (ECAMAL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

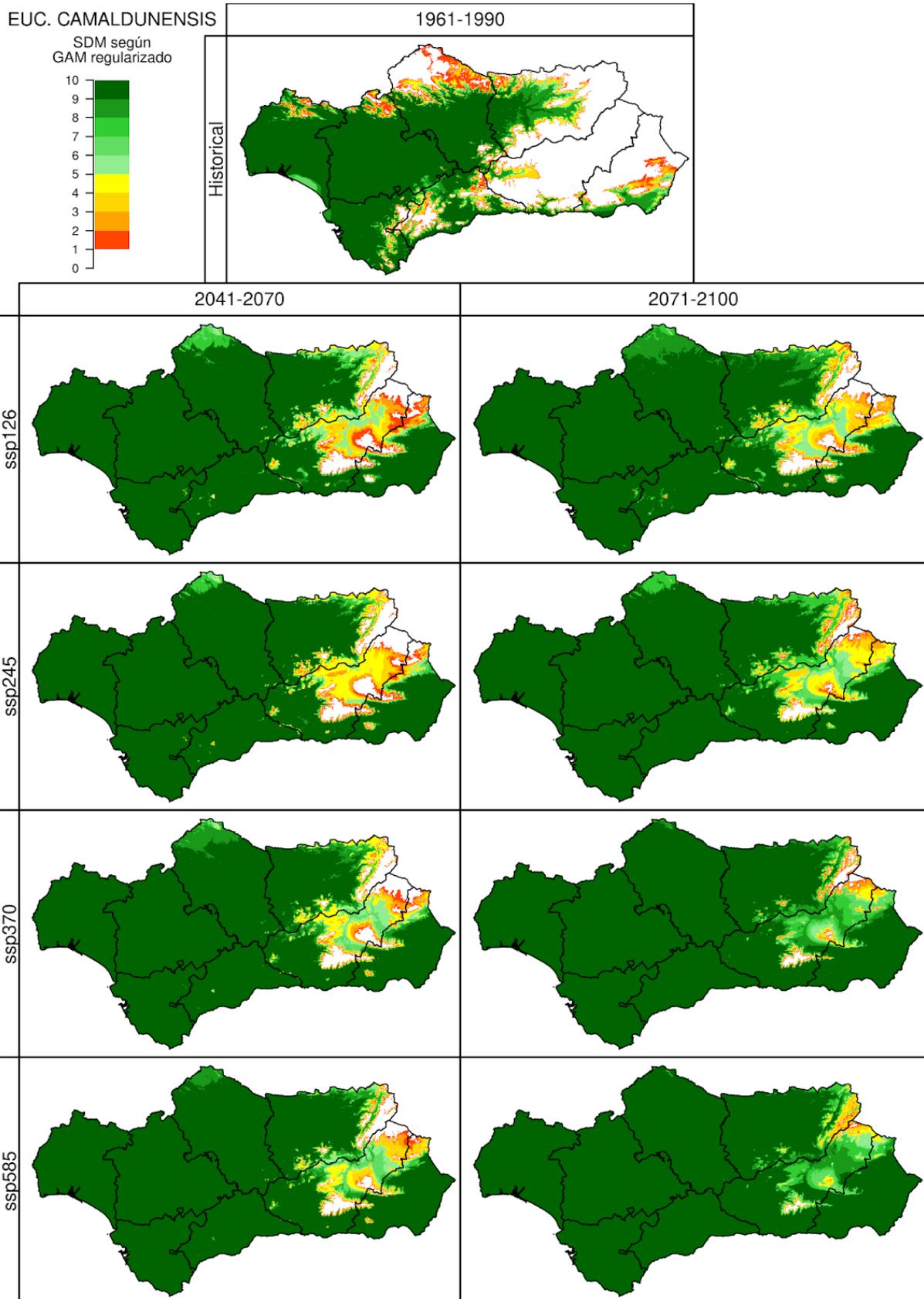


Figura 60.3. Idoneidad del territorio de *Eucalyptus camaldulensis* (ECAMAL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

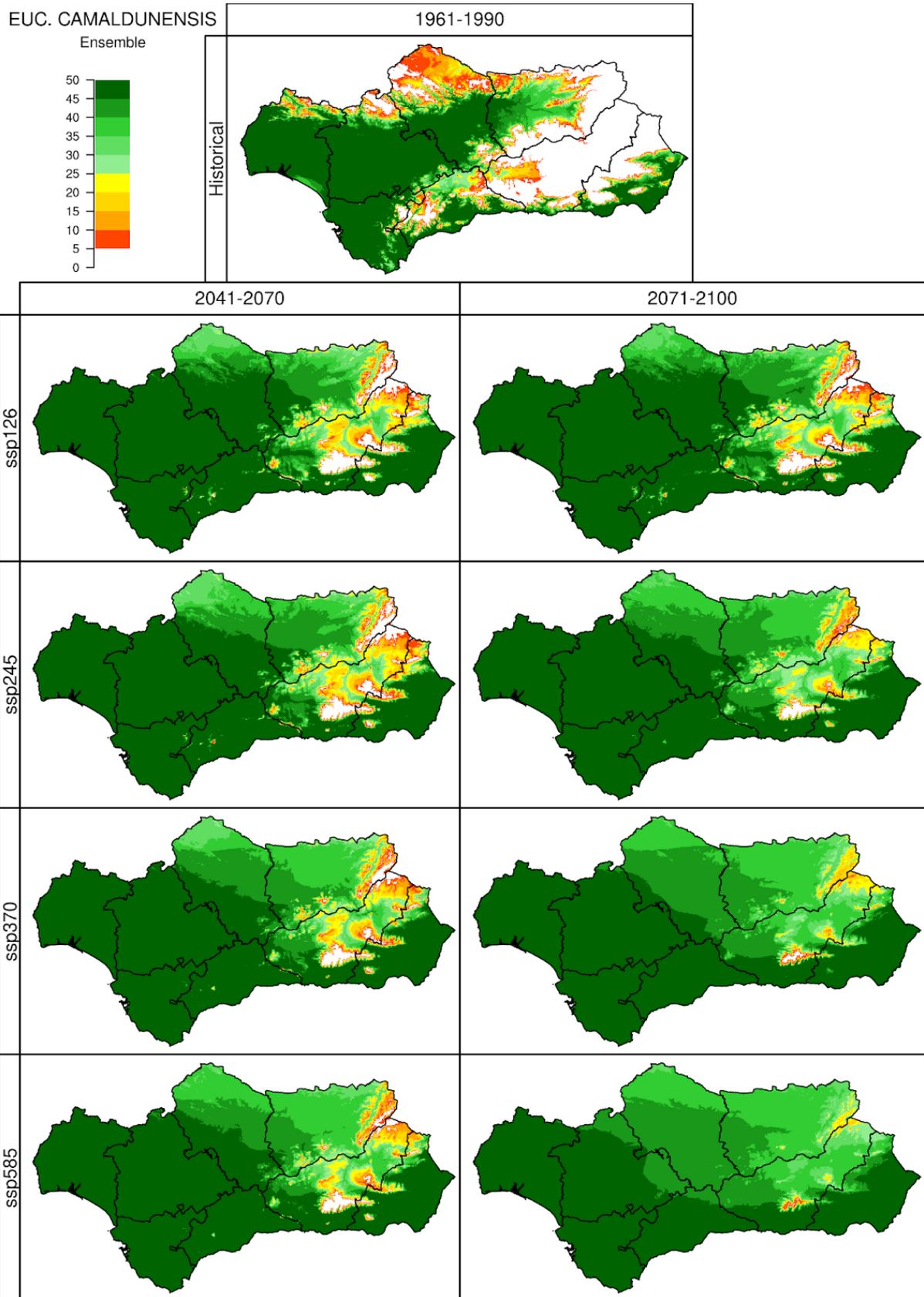


Figura 60.4. Idoneidad del territorio de *Eucalyptus camaldulensis* (ECAMAL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

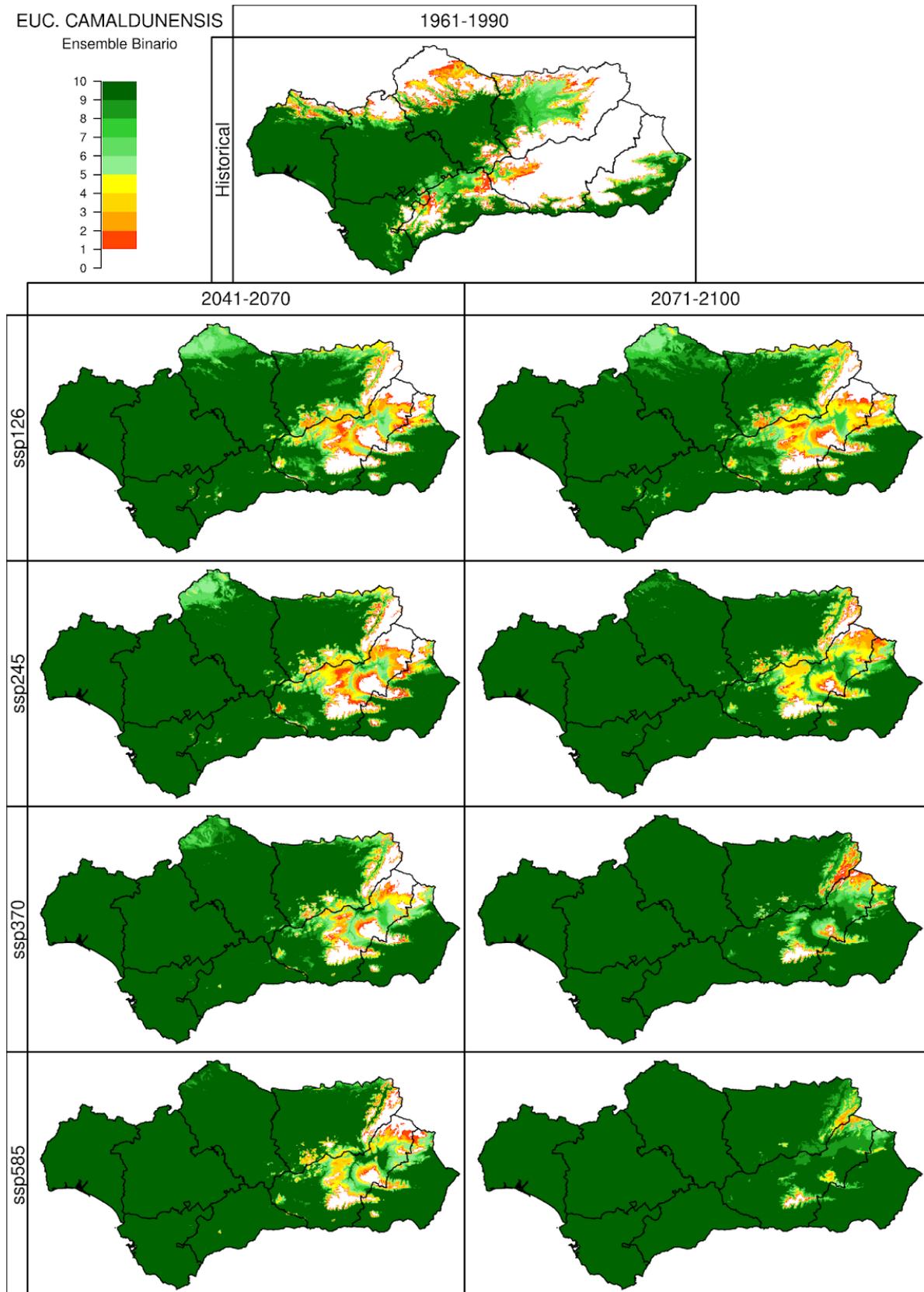


Figura 60.5. Idoneidad del territorio de *Eucalyptus camaldulensis* (ECAMAL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

61. EUCALYPTUS GLOBULUS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Eucalyptus globulus* Labill. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble. Esta especie ha sido introducida y es procedente de otro continente, por lo que su modelización es complicada.

En el período histórico Autoecología muestra una amplia idoneidad en Andalucía, con idoneidad en Sierra Morena, el valle del Guadalquivir y en gran parte de la cordillera Penibética. Por otra parte, GAM es más restrictivo, presentando idoneidad en las zonas de valle de Huelva y Sevilla. Según *Flora mayor*, esta especie manifiesta una relativa plasticidad en cuanto al régimen de temperaturas, siendo en estado juvenil susceptibles a las heladas. No le van bien los climas de altura, con fríos continentales y secos, tan extendidos en la Península. Existen poblaciones dispersas por las sierras de Andalucía. Mientras Autoecología paramétrica ha incluido en su caracterización estas poblaciones, GAM ha priorizado calibrar la caracterización de idoneidad a partir de las importantes poblaciones de Huelva y Sevilla.

En mitad de siglo GAM presenta una expansión de idoneidad a lo largo de todo el litoral andaluz, incluyendo las sierras cercanas a la costa, como la Sierra de Contraviesa y Sierra de Gador. También indica una expansión por la zona árida de Almería. Autoecología paramétrica indica el retroceso de la especie a partes de Sierra Morena y el lado occidental de la Cordillera Penibética.

A finales de siglo GAM pierde idoneidad en los terrenos áridos de Almería y espacios del Valle del Guadalquivir en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5, es incierta su idoneidad en el SSP3-7.0 y desaparece en el SSP5-8.5. Por otro lado, Autoecología paramétrica indica la desaparición de idoneidad en parte de la comunidad autónoma, manteniendo espacios residuales en la cordillera penibética y en sierra morena.

La metodología ensemble presenta una tendencia de distribución a futuro distinta a GAM. Pese a que un espacio considerable es idoneidad con una incertidumbre, ensemble muestra una expansión de idoneidad a todo el valle del Guadalquivir, parte de Sierra Morena y de la cordillera Penibética.

Autoecología paramétrica y GAM muestran tendencias distintas. Ensemble también presenta una evolución distinta. Sería necesario un estudio más profundo de la especie.

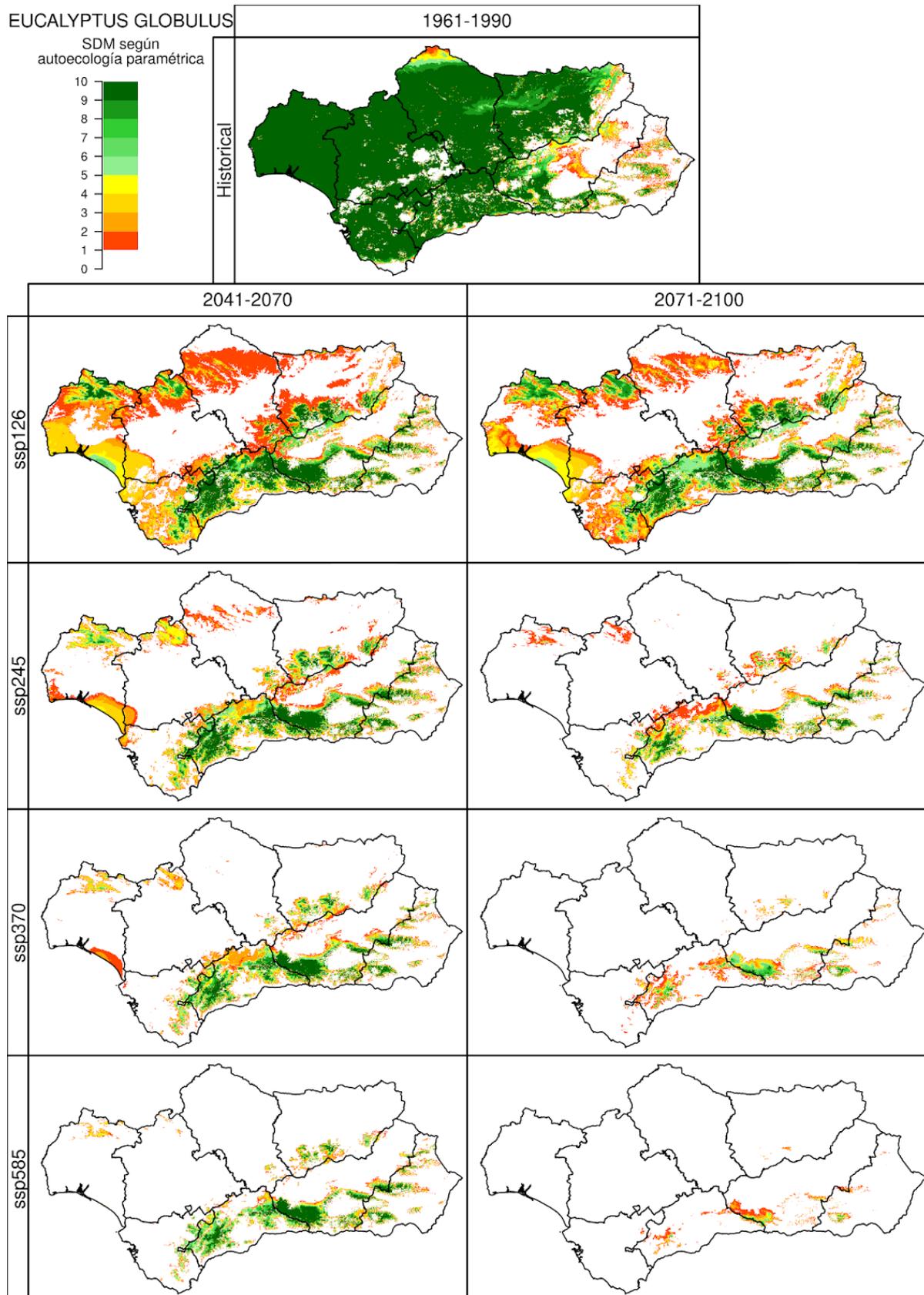


Figura 61.1. Índice de potencialidad de *Eucalyptus globulus* (EGLOBL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

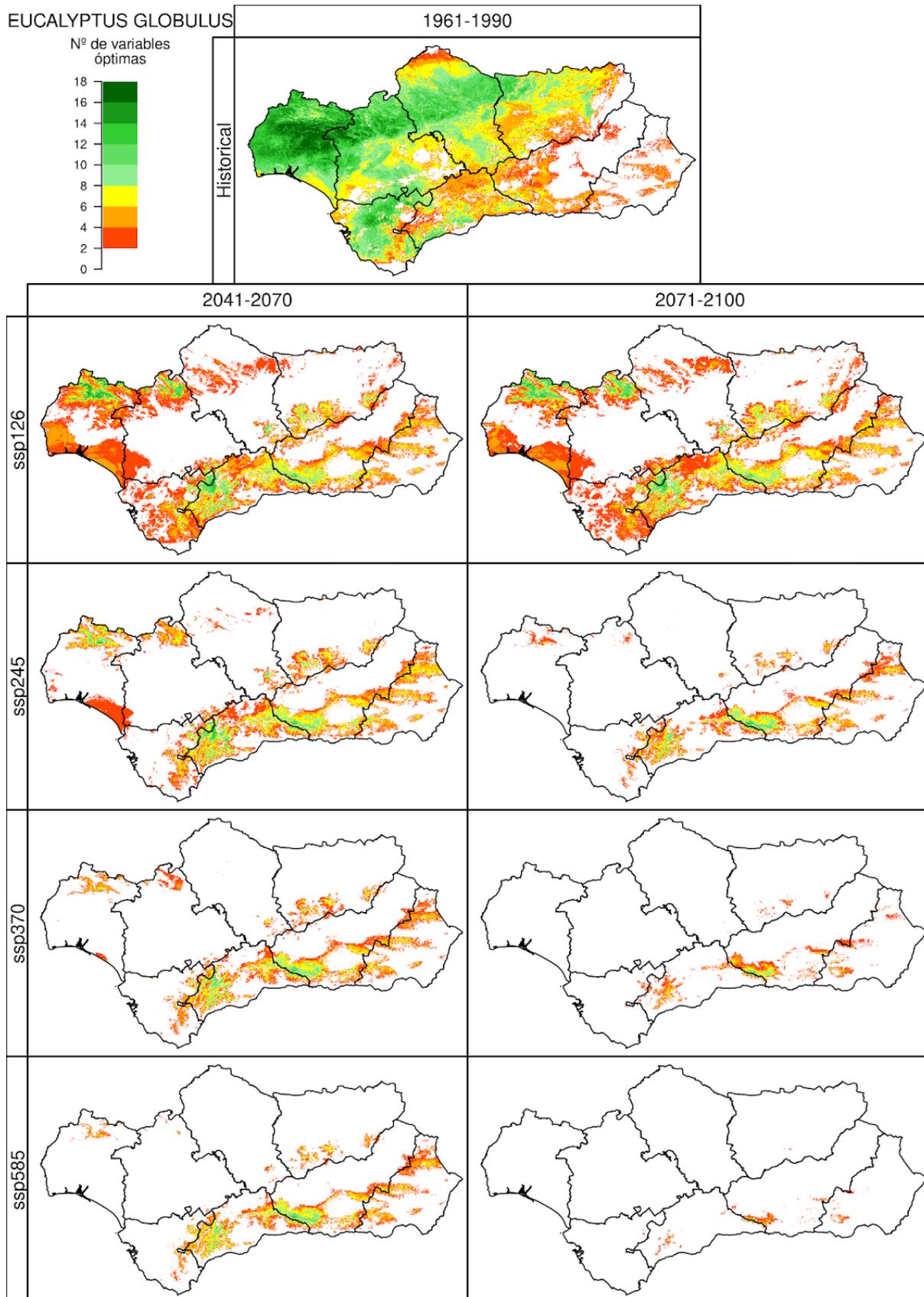


Figura 61.2. Número de variables óptimas de *Eucalyptus globulus* (EGLOBL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

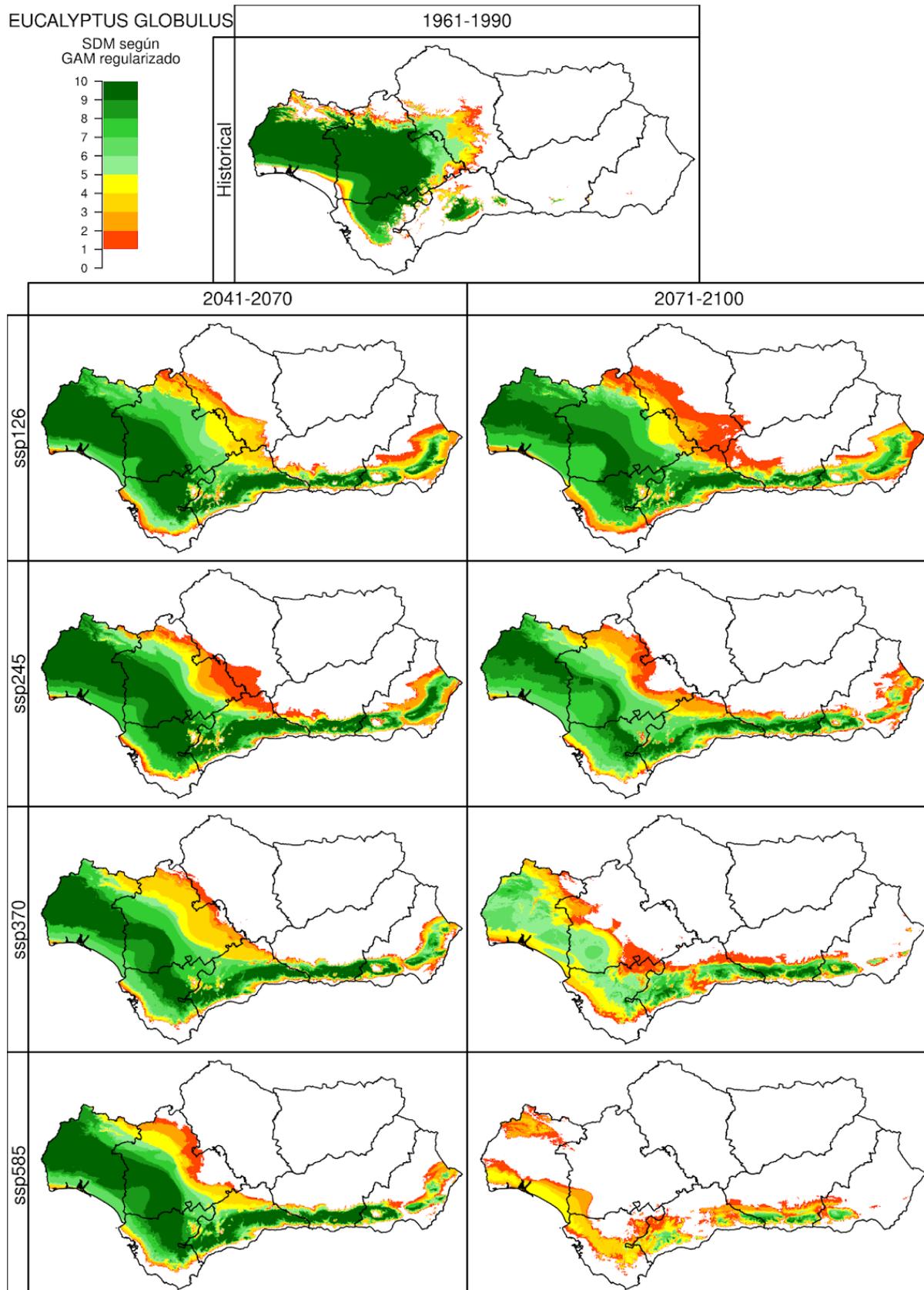


Figura 61.3. Idoneidad del territorio de *Eucalyptus globulus* (EGLOBL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

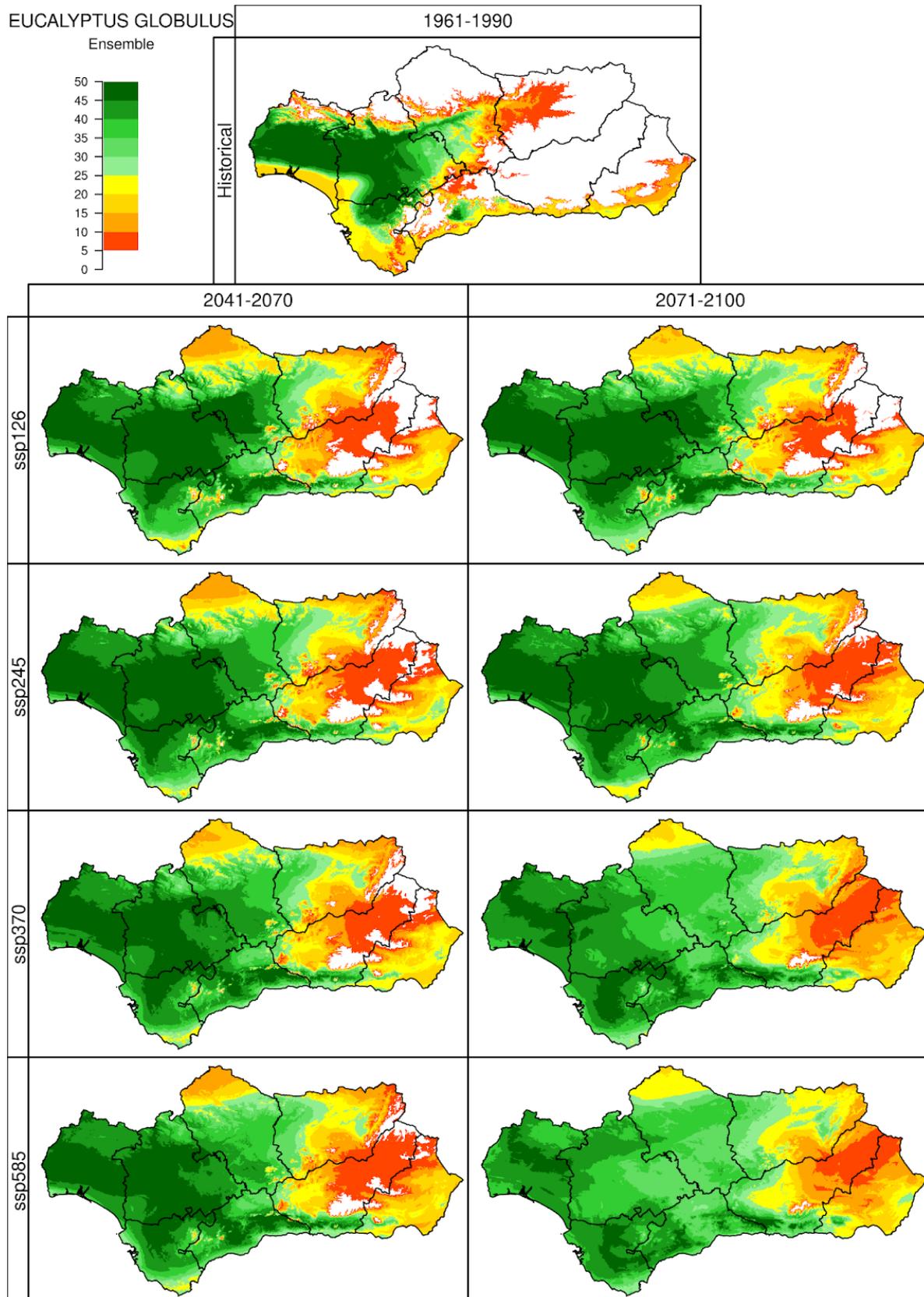


Figura 61.4. Idoneidad del territorio de *Eucalyptus globulus* (EGLOBL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

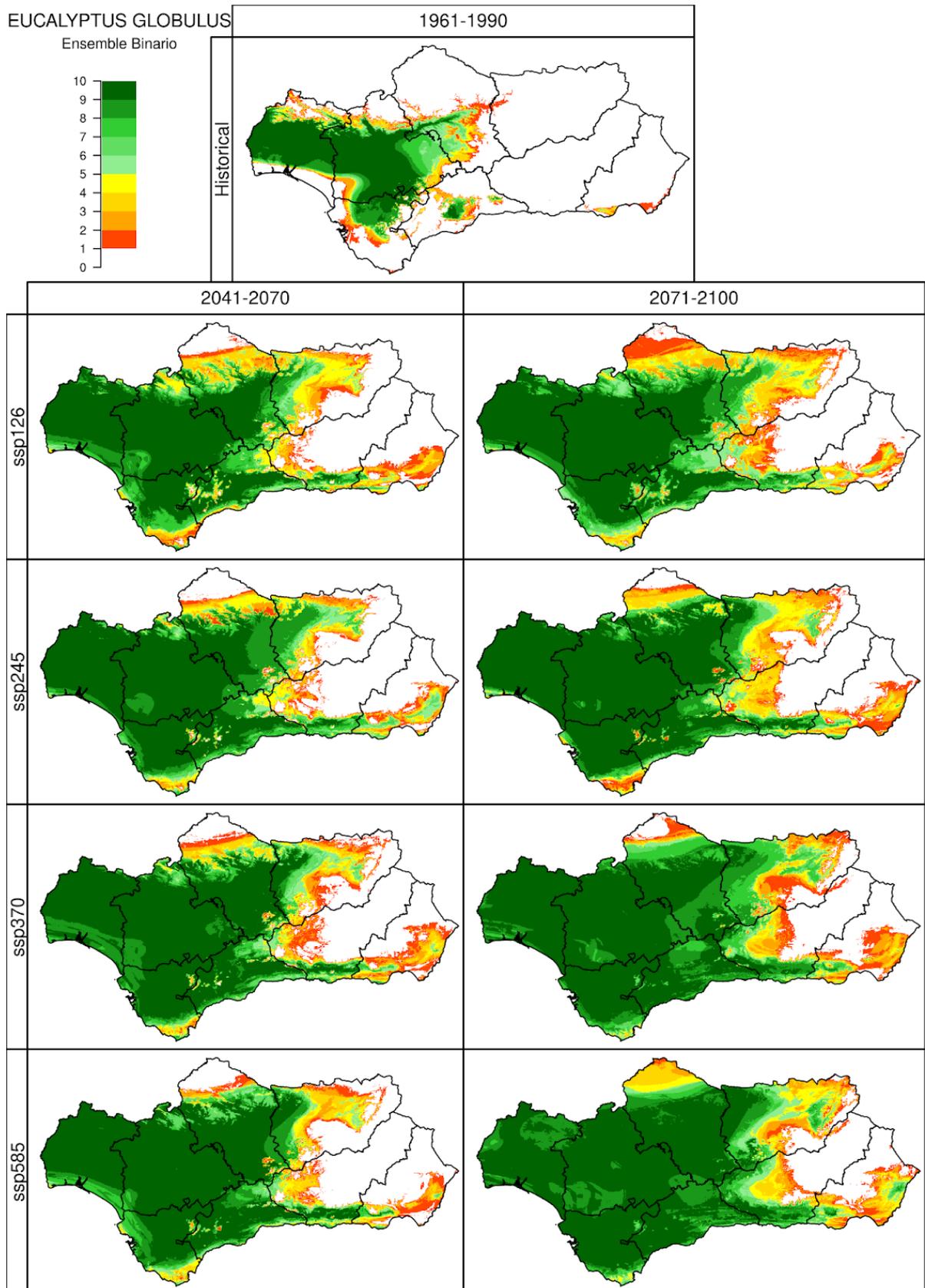


Figura 61.5. Idoneidad del territorio de *Eucalyptus globulus* (EGLOBL), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

62. JUNIPERUS OXYCEDRUS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Juniperus oxycedrus* L. los resultados obtenidos del índice de potencialidad, el número de variables óptimas y la idoneidad según GAM regularizado.

En *Flora Mayor* se le describe como muy resistente al frío y a la sequía, viviendo en España entre los 0 y 1500 metros, escaseando a partir de los 1000. Mayoritariamente la distribución observada se encuentra en sierras, si bien parece presentar poblaciones en la costa como la cercana al Parque nacional de Doñana. GAM parece ajustarse mejor a la distribución observada de la especie que Autoecología paramétrica, ya que esta última muestra casi todo Andalucía como idóneo.

En mitad de siglo la idoneidad en Sierra Morena según ambos modelos disminuye significativamente, desapareciendo en los escenarios más negativos. Con respecto a las cordilleras Béticas, GAM presenta una disminución muy elevada del territorio calculado como idóneo, reduciéndose casi únicamente a territorios cercanos a Sierra Nevada y Sierra Segura. Autoecología paramétrica mientras presenta grandes manchas de idoneidad en las cordilleras Béticas.

A finales de siglo ambos modelos presentan mapas distintos. GAM sigue mostrando muy bajas idoneidades en las cordilleras Béticas, llegando a casi desaparecer en los dos escenarios más graves. Autoecología paramétrica presenta también en este período temporal una reducción de idoneidad, pero sigue presentando manchas de idoneidad considerables en el escenario SSP1-2.6 y SSP2-4.5.

Ensemble coincide en idoneidad con GAM en aquellos territorios en que la gran mayoría de algoritmos están de acuerdo. Sin embargo, en los períodos futuros muestra incertidumbre acerca de la idoneidad en la gran mayoría del territorio andaluz.

GAM se ajustaba de manera correcta a la distribución observada de la especie, mientras que Autoecología paramétrica sobreestimaba la idoneidad, y por lo tanto ,su capacidad de adaptación a diferentes ambientes. Sin embargo, ambas apuntan a una reducción importante del territorio de esta planta, si bien es cierto que Autoecología paramétrica en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5 apunta a que las regiones montanas serán un buen refugio para esta especie (como se mencionó anteriormente, puede estar pecando este modelo de sobreestimación de idoneidad). En *Flora Mayor* se enuncia que esta especie tiene poblaciones en África, extendiéndose por Marruecos, Argelia y Túnez hasta el confín del Sahara, por lo que adaptaciones de esta especie a condiciones áridas de este nivel pueden ser posibles. Además, ensemble muestra incertidumbre en bastante parte del territorio, indicando la posibilidad de que GAM esté infravalorando su capacidad de idoneidad en climas áridos. Parece la distribución de Autoecología paramétrica la más fiable, si bien debería ser estudiada con más profundidad la especie.

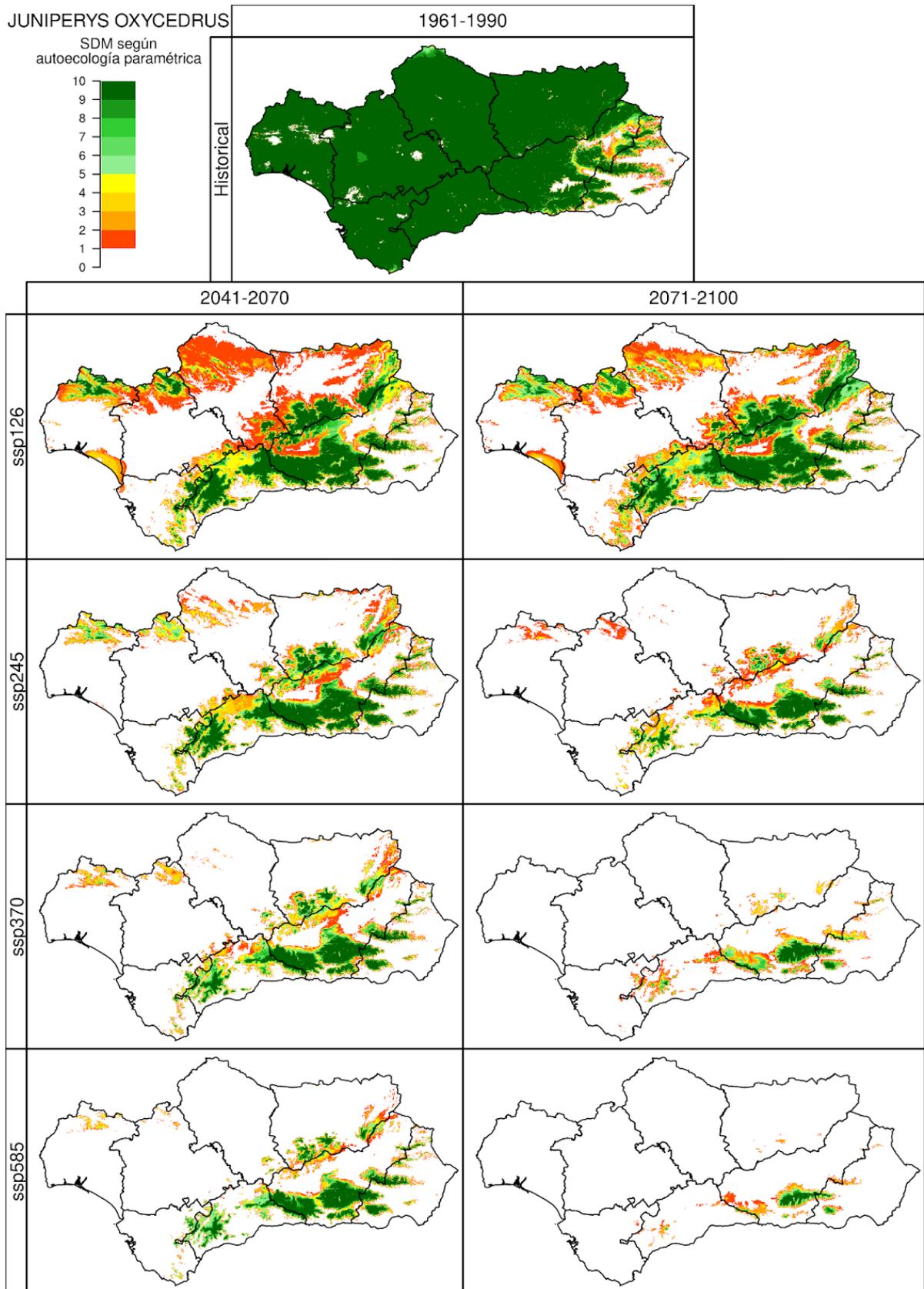


Figura 62.1. Índice de potencialidad de *Juniperus oxycedrus* (JOXY), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

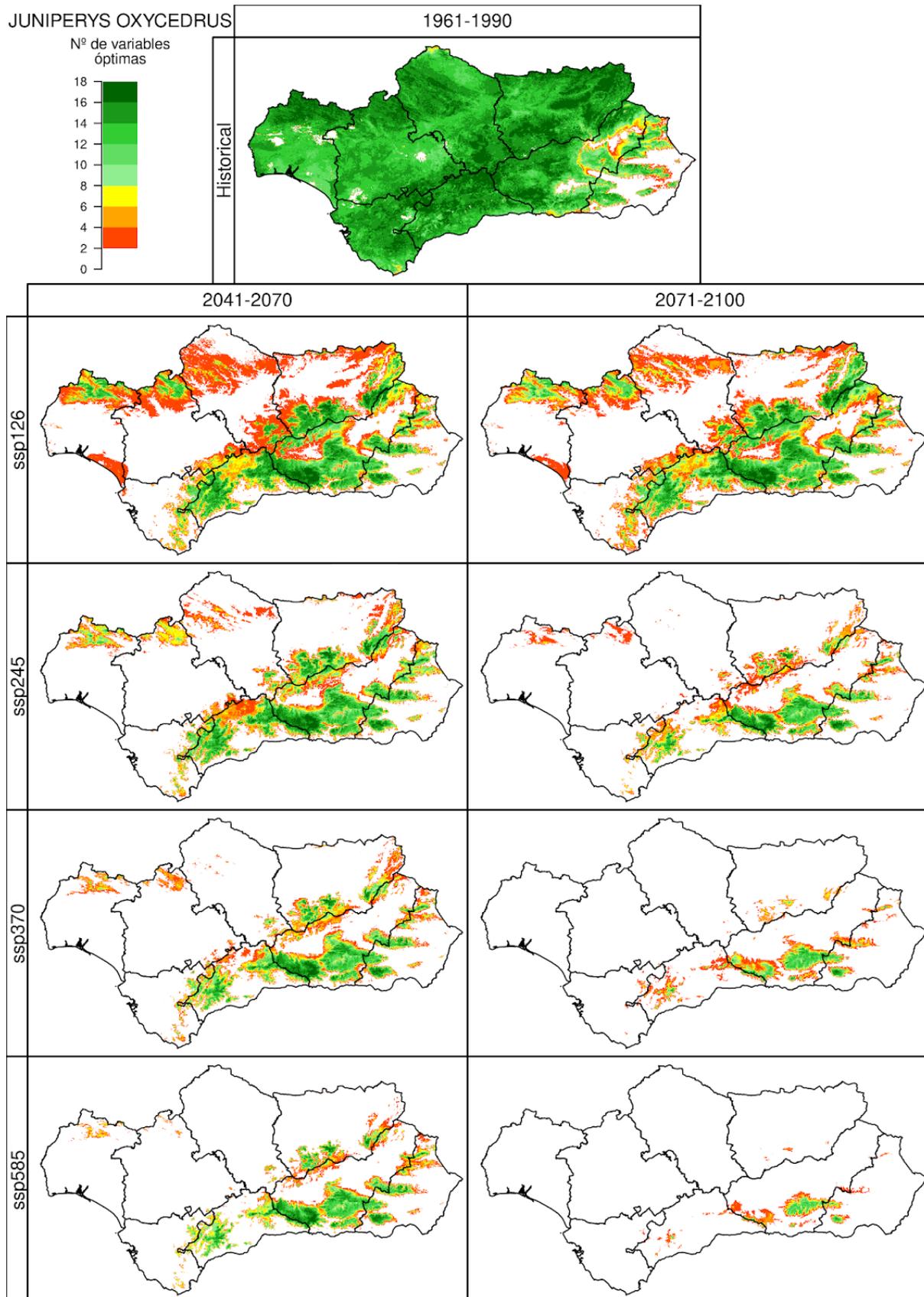


Figura 62.2. Número de variables óptimas de *Juniperus oxycedrus* (JOXY), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

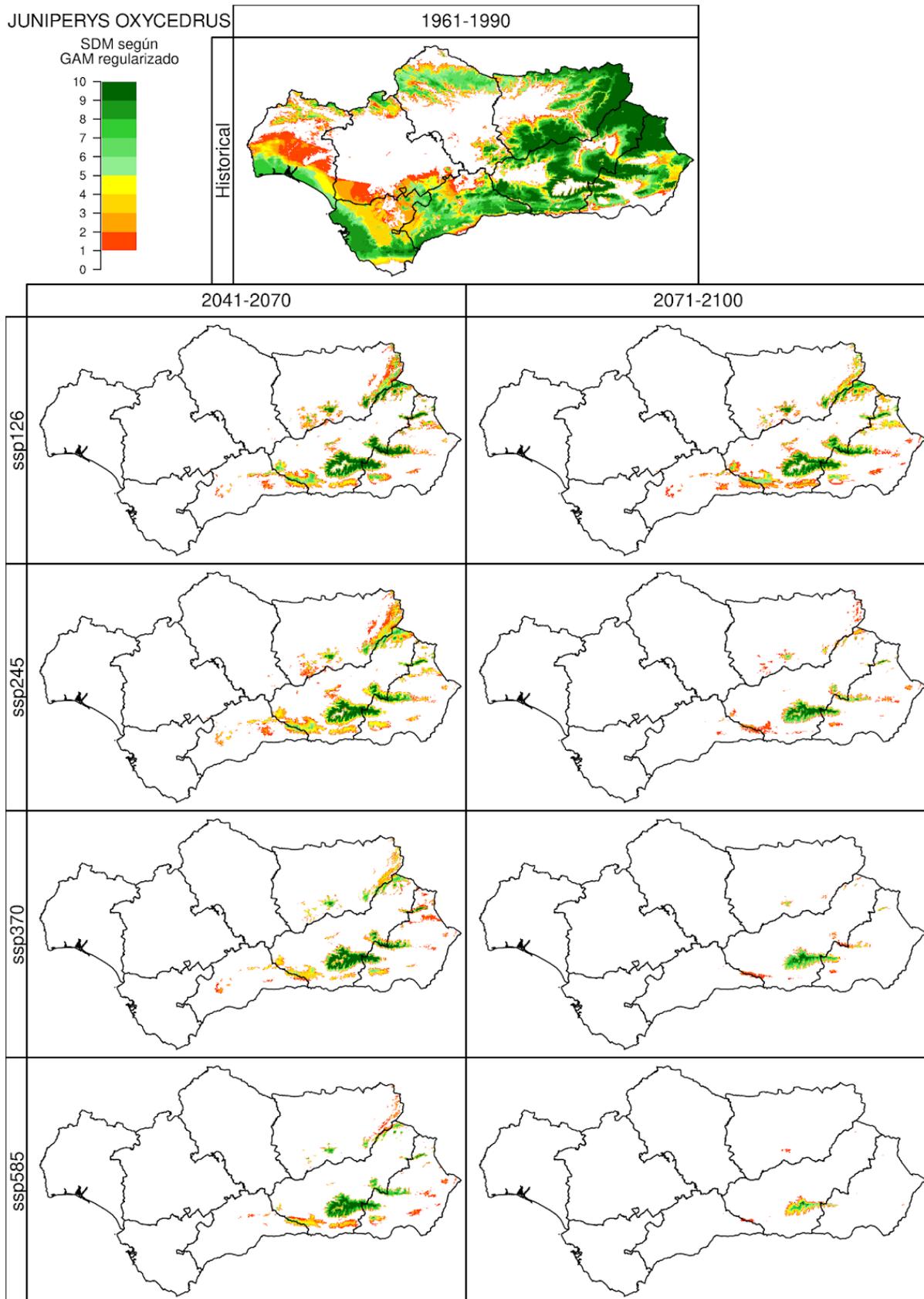


Figura 62.3. Idoneidad del territorio de *Juniperus oxycedrus* (JOXY), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

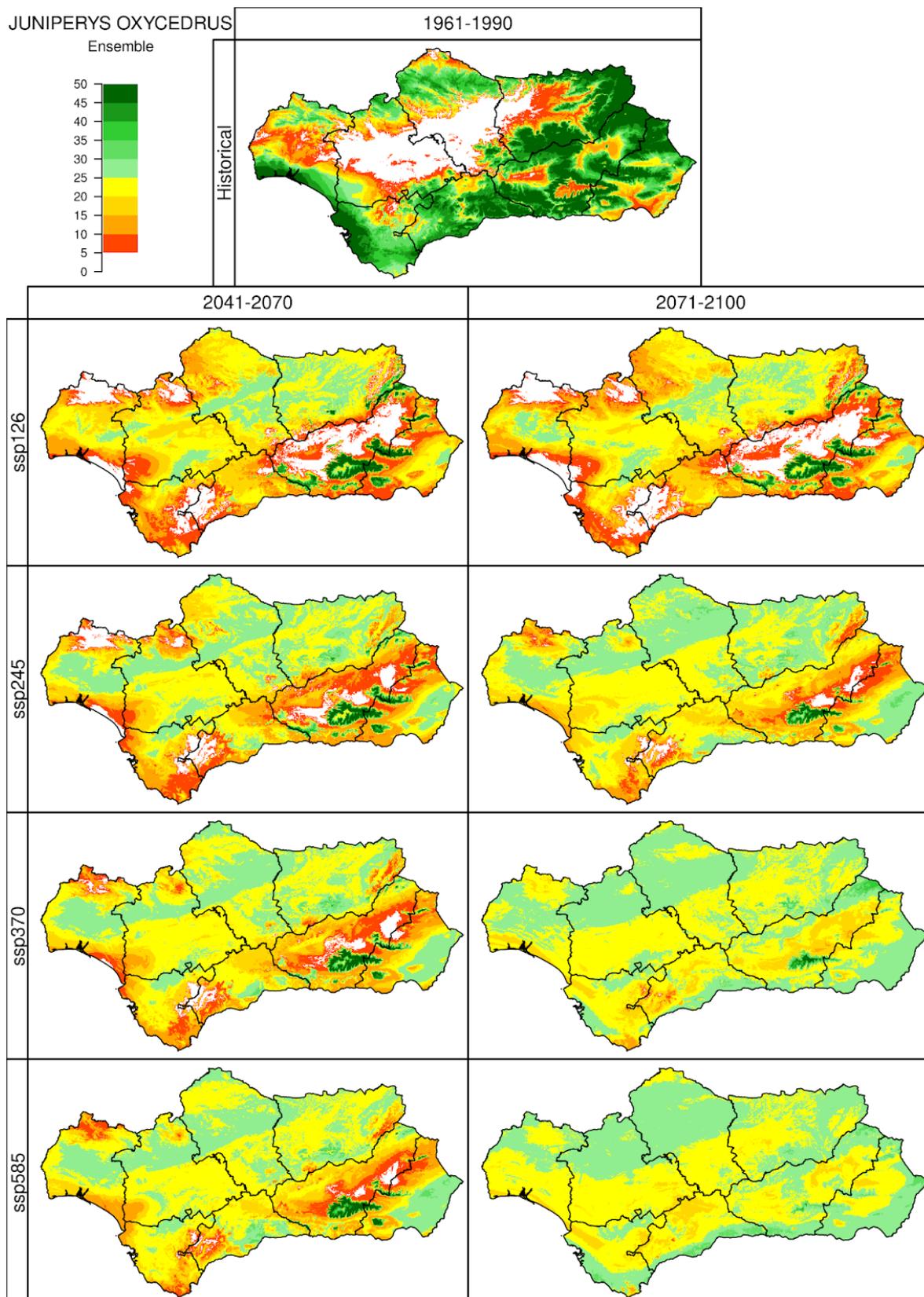


Figura 62.4. Idoneidad del territorio de *Juniperus oxycedrus* (JOXY), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

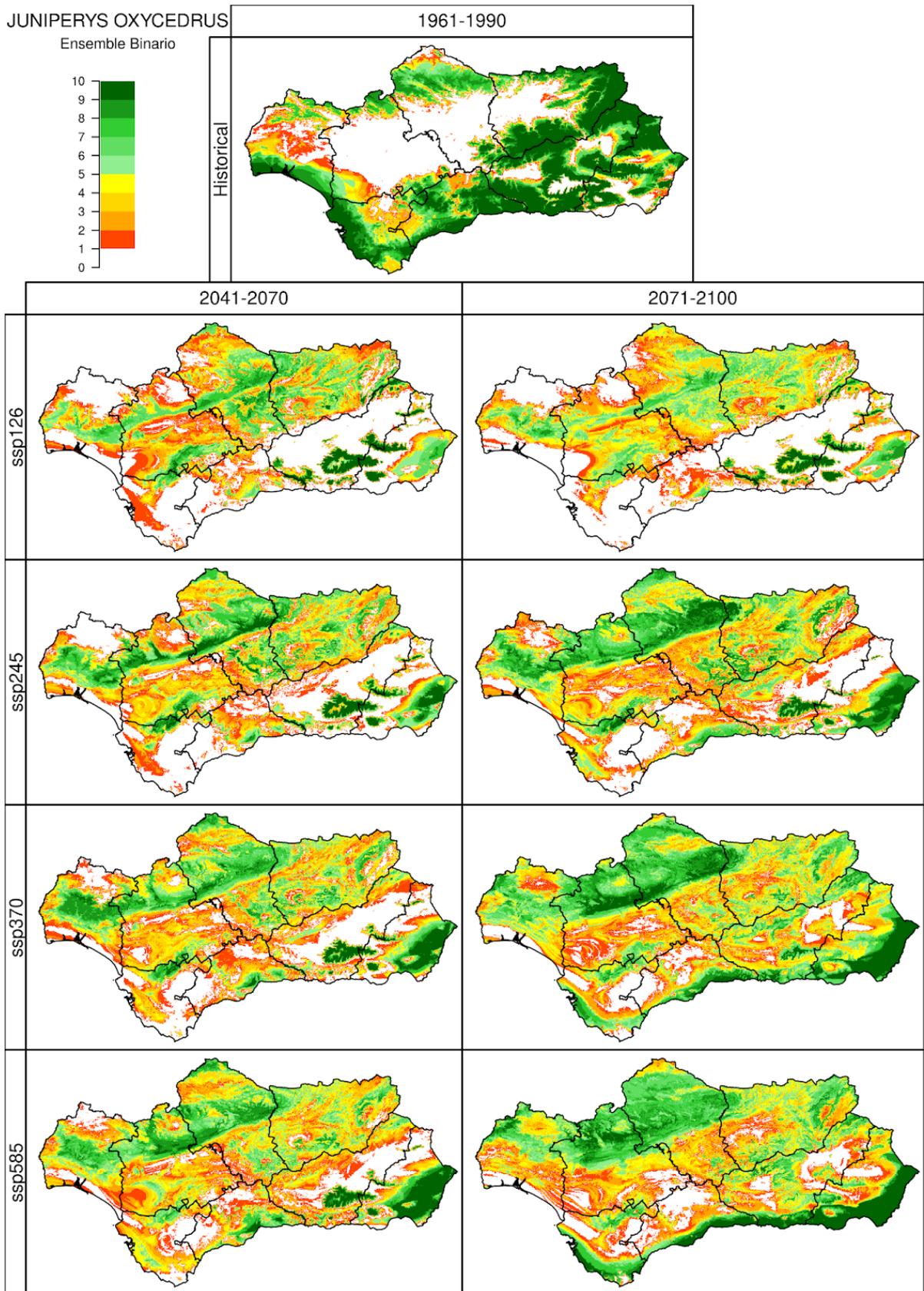


Figura 62.5. Idoneidad del territorio de *Juniperus oxycedrus* (JOXY), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

63. JUNIPERUS PHOENICEA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Juniperus phoenicea* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período histórico Autoecología paramétrica indica idoneidad en toda la comunidad autónoma, mientras que GAM lo presenta también en gran parte de Andalucía a excepción del valle del Guadalquivir y la parte árida almeriense. Ambos modelos indican como idóneo correctamente la distribución observada de la especie, si bien Autoecología paramétrica parece estimar demasiado terreno como idóneo. Según *Flora Mayor*, su distribución está regulada por la pluviosidad y humedad de ambiente ya que, al igual que para los sustratos, tiene una gran plasticidad en cuanto a las temperaturas, soportando ardientes veranos y grandes fríos invernales. Ambos modelos muestran como idóneo sierra Morena cuando no existen poblaciones en esta cadena montañosa .

A mitad de siglo Autoecología paramétrica ambos modelos muestran una reducción del territorio marcado como idóneo. Autoecología paramétrica indica una desaparición de idoneidad en Sierra Morena, el valle del Guadalquivir, la costa atlántica y reducción en la cordillera Subbética según la gravedad del escenario; manteniendo gran territorio idóneo en la cordillera Penibética. La idoneidad se reduce en GAM a territorios dispersos y reducidos de la cordillera Penibética, manteniéndose principalmente alrededor de Sierra Nevada.

A finales de siglo, según el escenario SSP1-2.6 la situación se estabiliza. En el resto de escenarios, GAM presenta una reducción en el que la idoneidad se mantiene únicamente en Sierra Nevada. Autoecología paramétrica presenta más territorios de las cordilleras Béticas a parte de Sierra Nevada, a diferencia de GAM.

Los MDE calculados por ensemble se parecen a los presentados por GAM.

Si bien parece que Autoecología paramétrica sobreestima la capacidad de idoneidad de esta especie en el período histórico, es la que muestra mayor coherencia en las proyecciones a futuro. El carácter netamente mediterráneo de esta especie no cuadra con una reducción tan extrema como indica GAM ni ensemble.

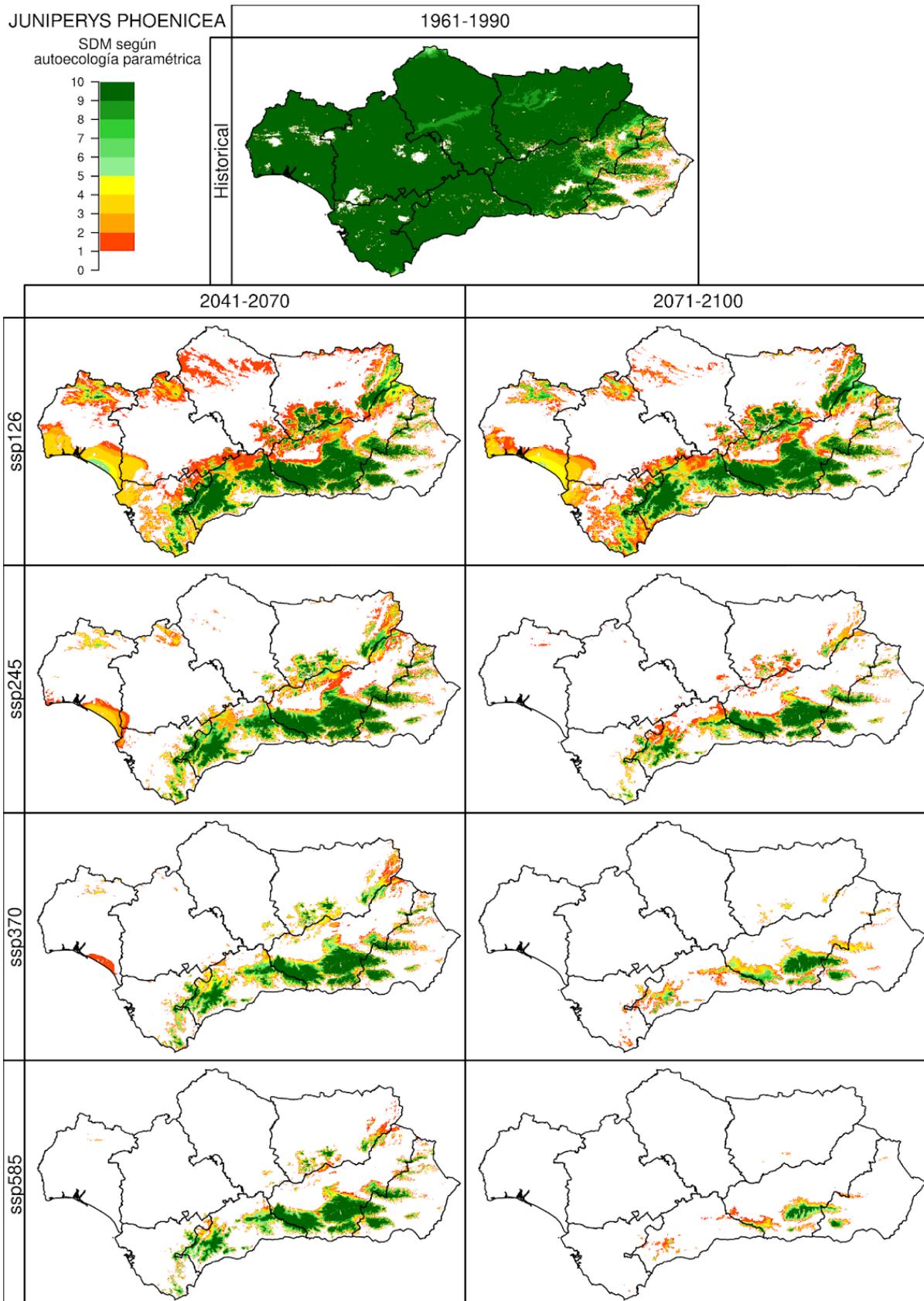


Figura 63.1. Índice de potencialidad de *Juniperus phoenicea* (JPHOE), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

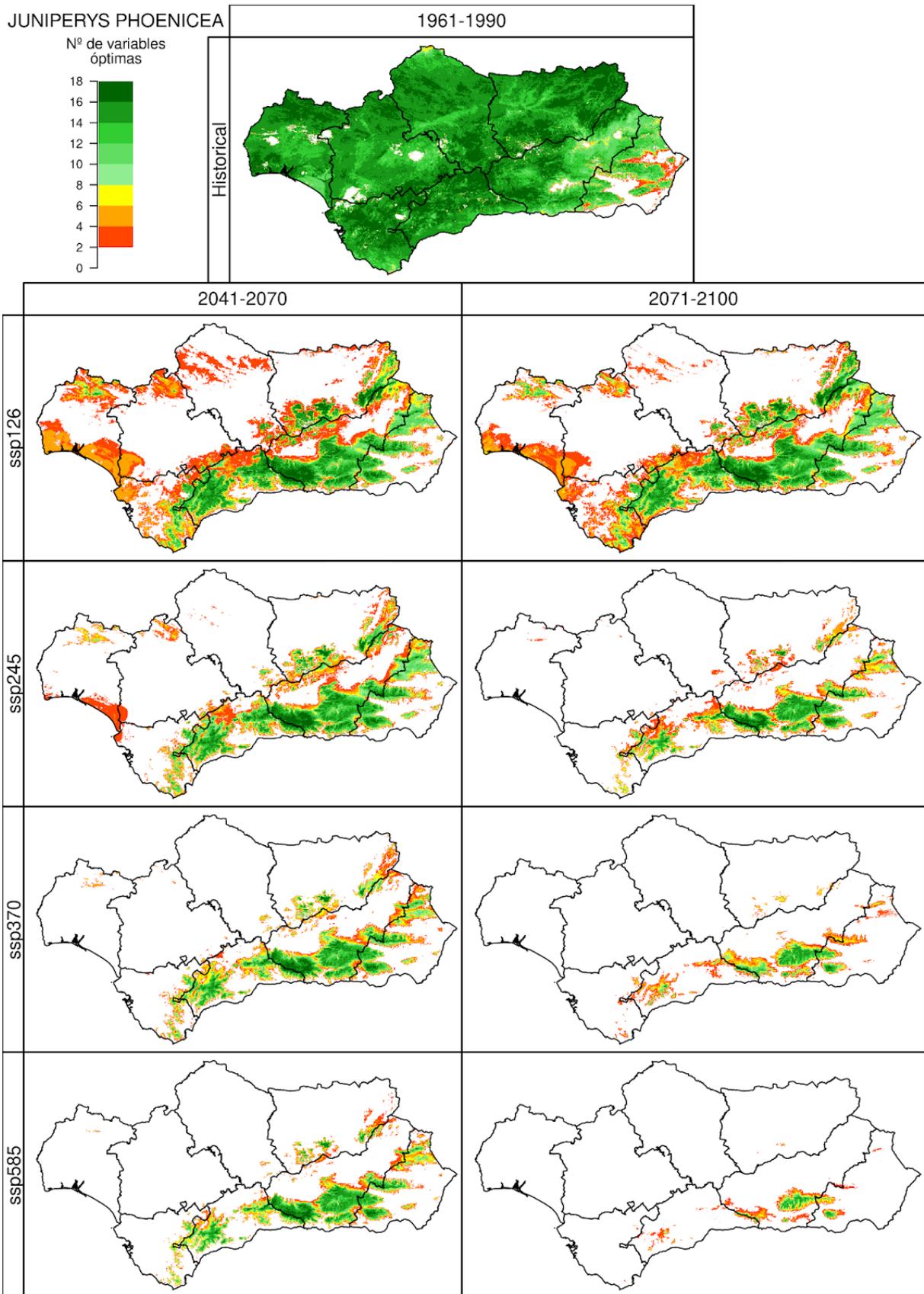


Figura 63.2. Número de variables óptimas de *Juniperus phoenicea* (JPHOE), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

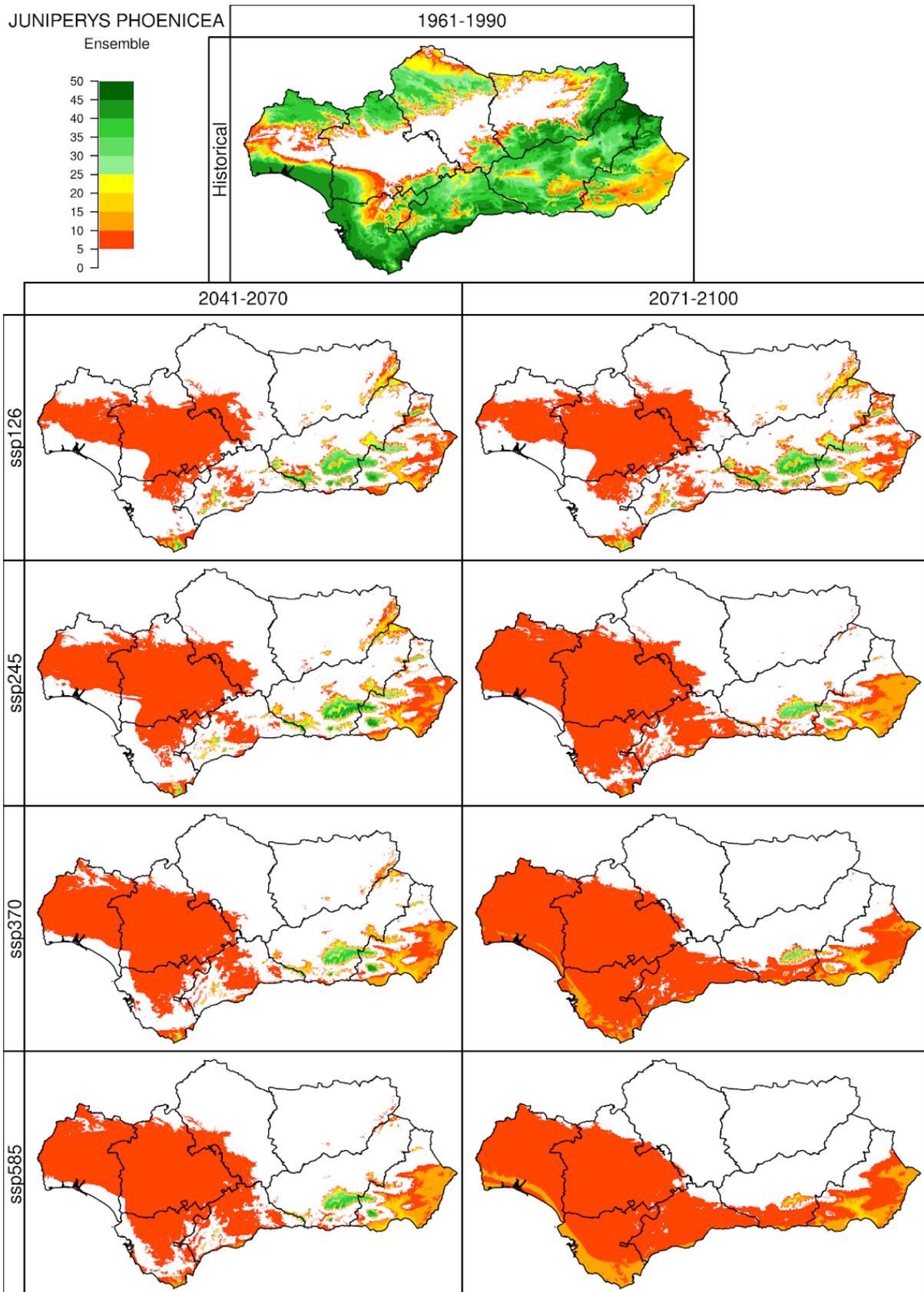


Figura 63.3. Idoneidad del territorio de *Juniperus phoenicea* (JPHOE), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

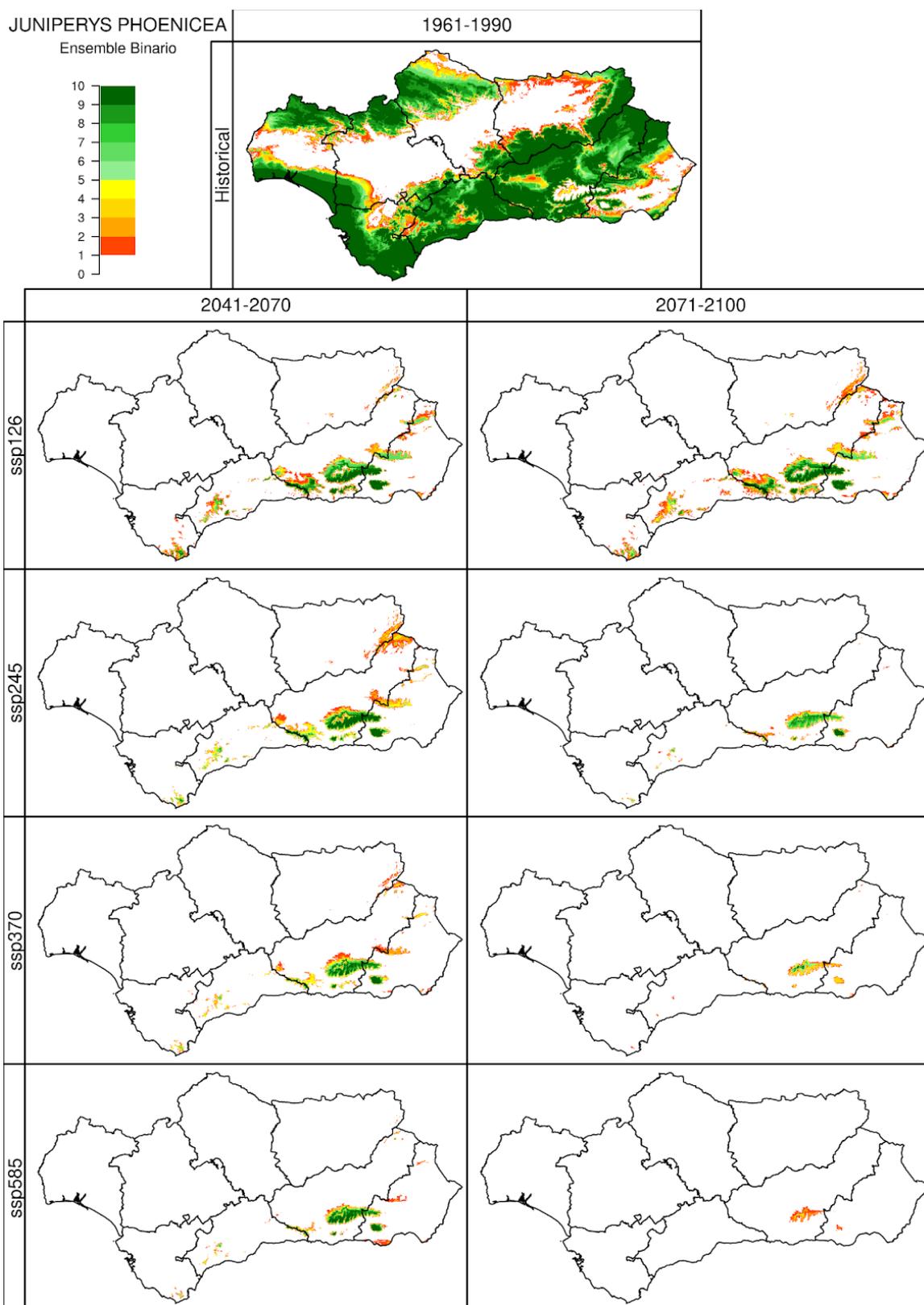


Figura 63.4. Idoneidad del territorio de *Juniperus phoenicea* (JPHOE), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

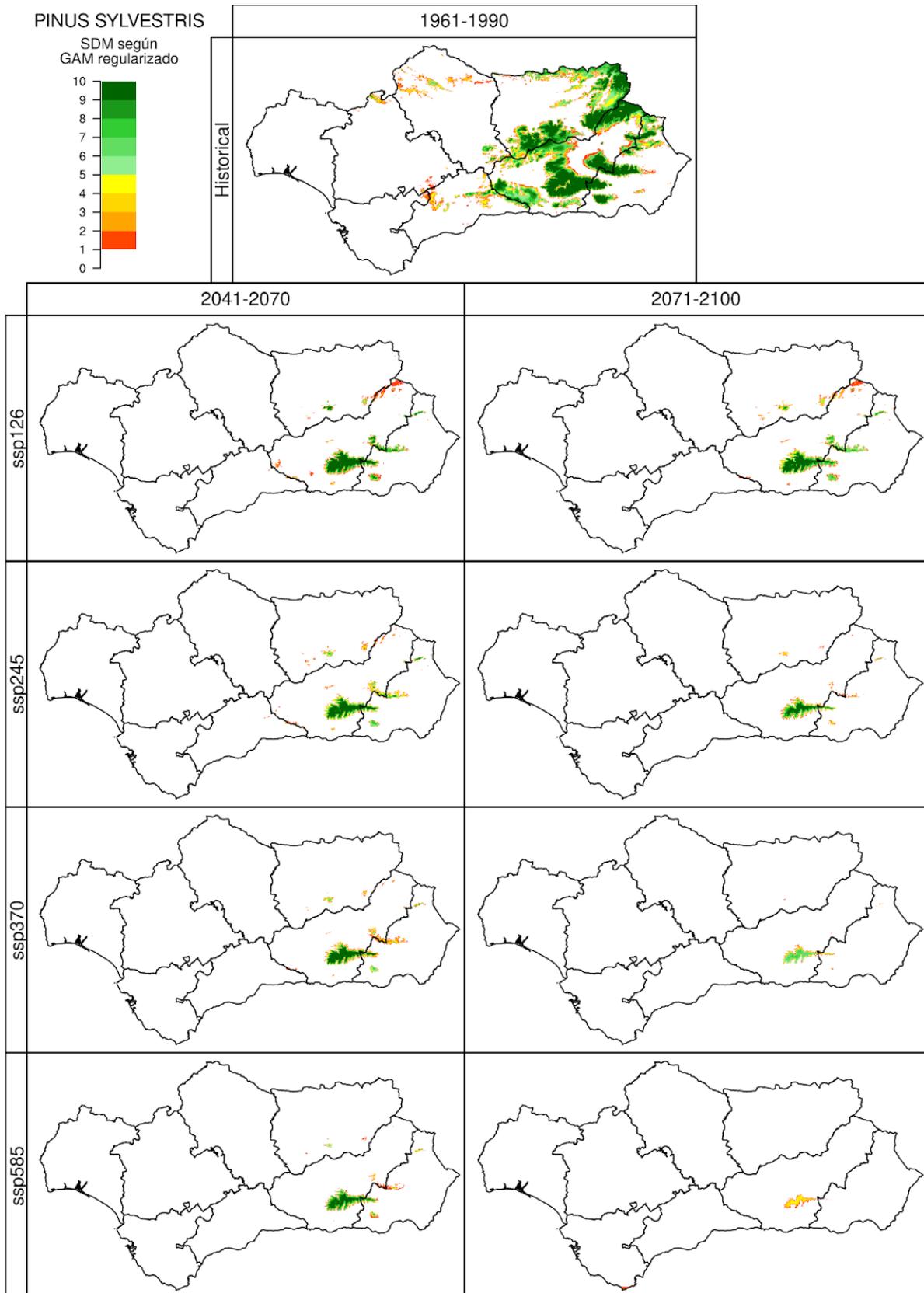


Figura 63.5. Idoneidad del territorio de *Juniperus phoenicea* (JPHOE), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

64. ARBUTUS UNEDO: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Arbutus unedo* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período histórico, Autoecología paramétrica presenta idoneidad en gran parte de Andalucía. GAM en cambio se ajusta a las poblaciones más importantes de *Arbutus unedo* en las regiones montañas de Andalucía. Existen registros dispersos en el valle del Guadalquivir que probablemente causen que Autoecología paramétrica muestre una amplia idoneidad.

A mitad de siglo ambos modelos presentan dinámicas parecidas pero en zonas distintas. Ambos modelos presentan la reducción de idoneidad de esta especie a las zonas de montaña, desapareciendo en cotas bajas. Mientras que Autoecología paramétrica restringe esta idoneidad a gran parte de las cordilleras Béticas, GAM señala que la idoneidad se encontrará en este período en Sierra Morena y parte de la cordillera Subbética.

Ensemble calcula una distribución de idoneidad parecida a GAM. Sin embargo, destaca que la incertidumbre acerca de esta idoneidad es elevada en gran parte del territorio marcado como idóneo por GAM.

A finales de siglo la idoneidad en GAM sube en cota manteniéndose la especie en Sierra Morena y cordillera Subbética, pero aumentando el territorio marcado como dudoso. Por su parte, Autoecología paramétrica, y según la gravedad del escenario, se ve más restringida en espacio. Ensemble presenta la misma tendencia que GAM, si bien presentan resultados con bastante incertidumbre. Sería necesario un estudio más detenido acerca de esta especie.

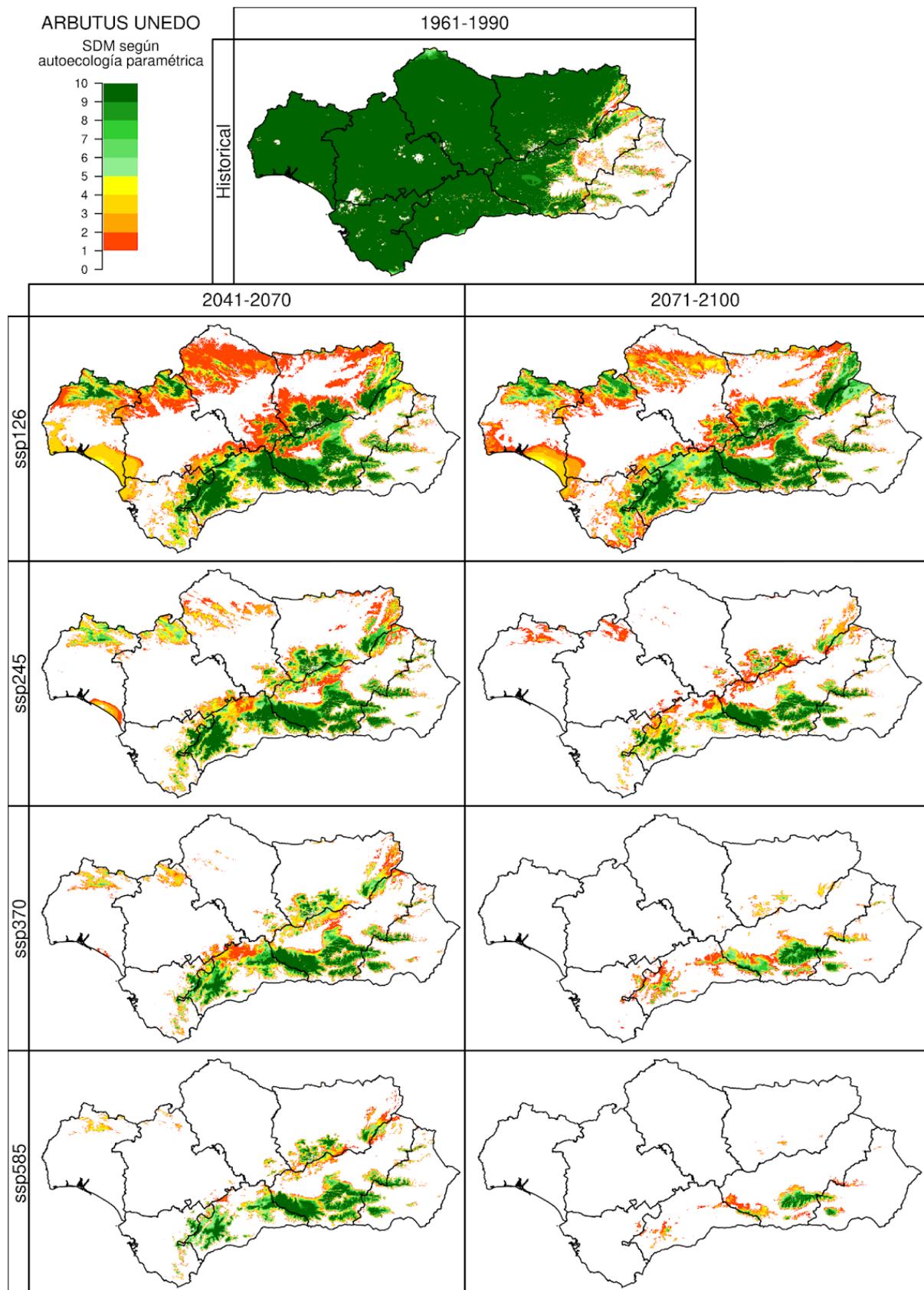


Figura 64.1. Índice de potencialidad de *Arbutus unedo* (AUNED), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

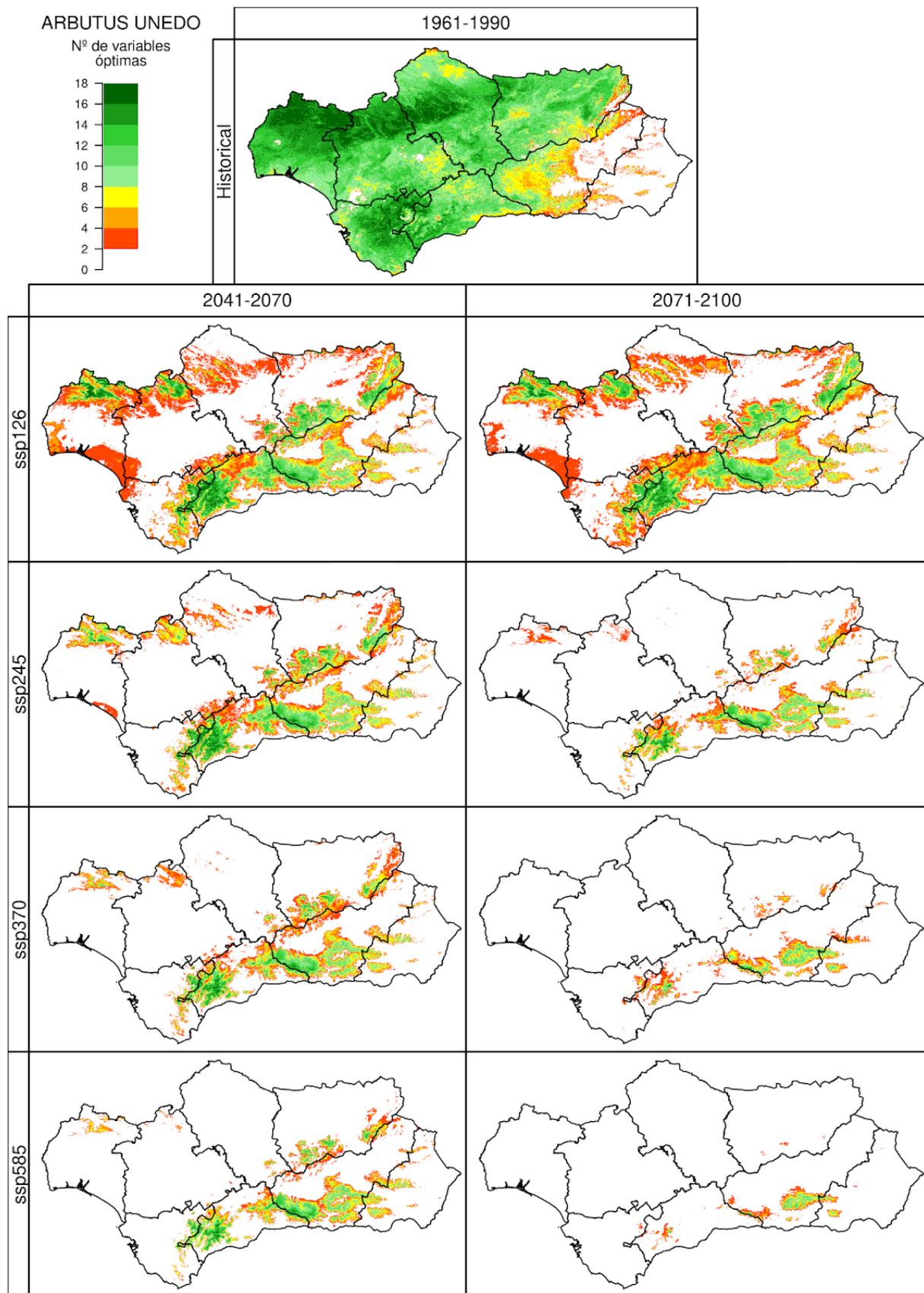


Figura 64.2. Número de variables óptimas de *Arbutus unedo* (AUNED), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

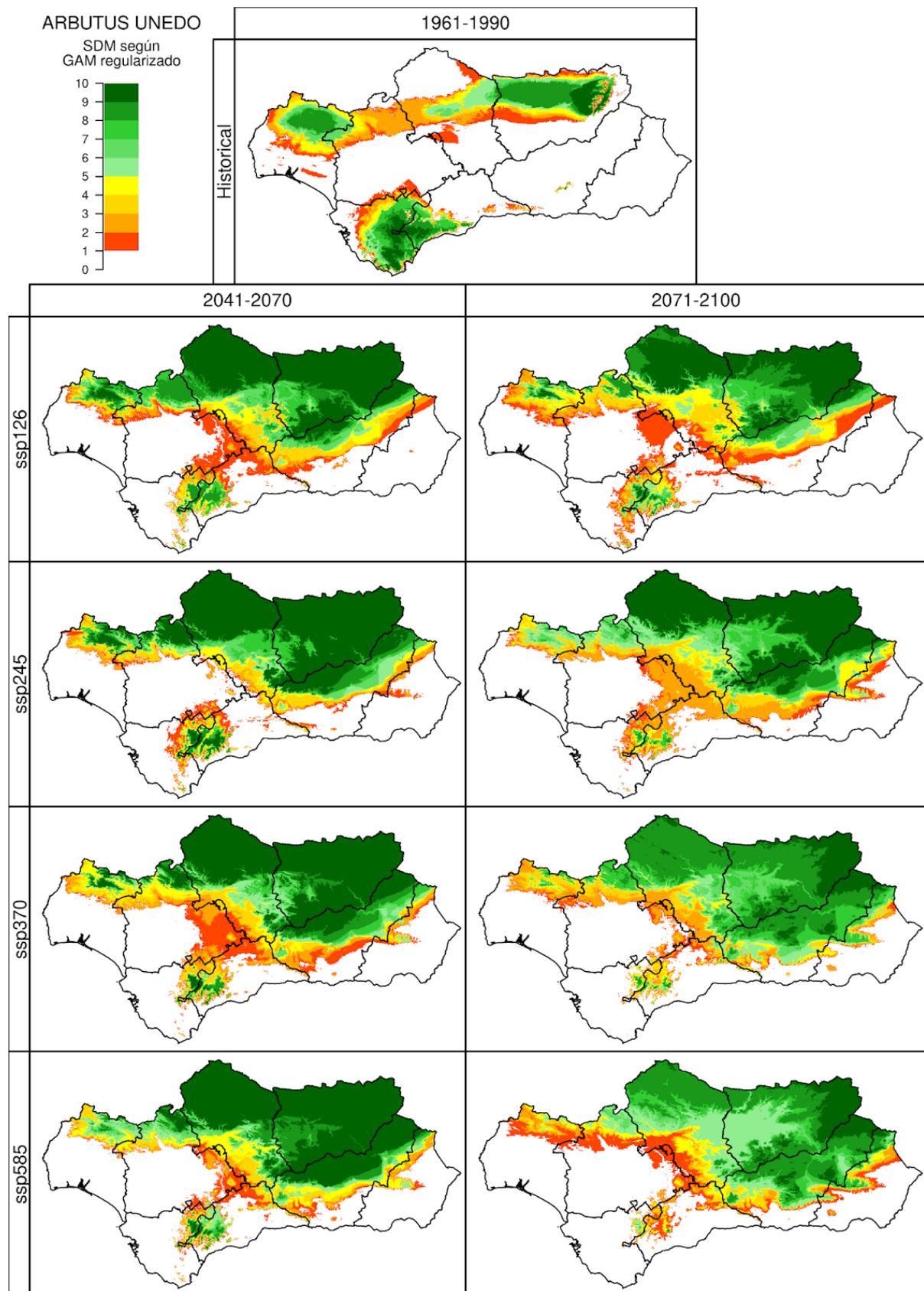


Figura 64.3. Idoneidad del territorio de *Arbutus unedo* (AUNED), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

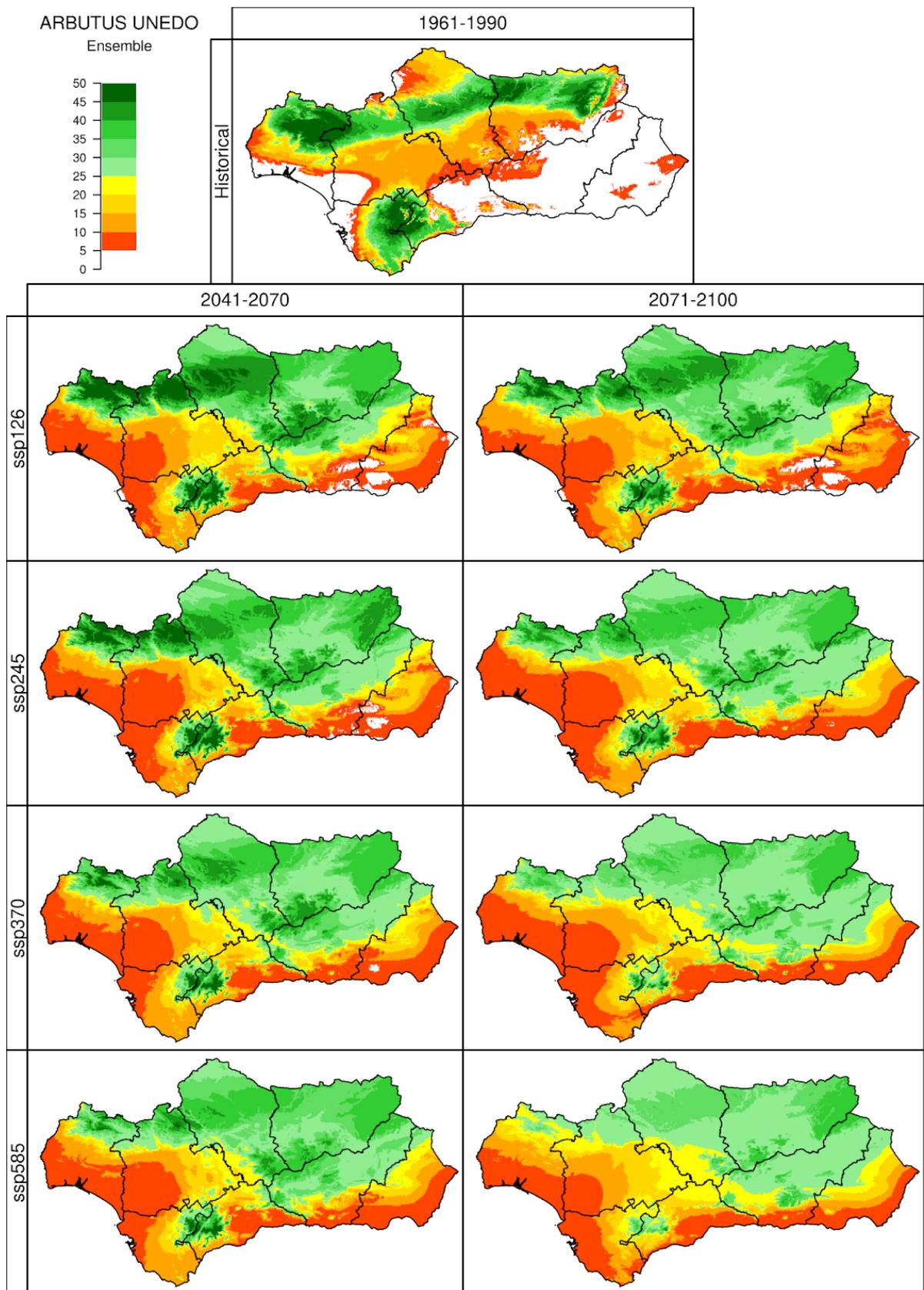


Figura 64.4. Idoneidad del territorio de *Arbutus unedo* (AUNED), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

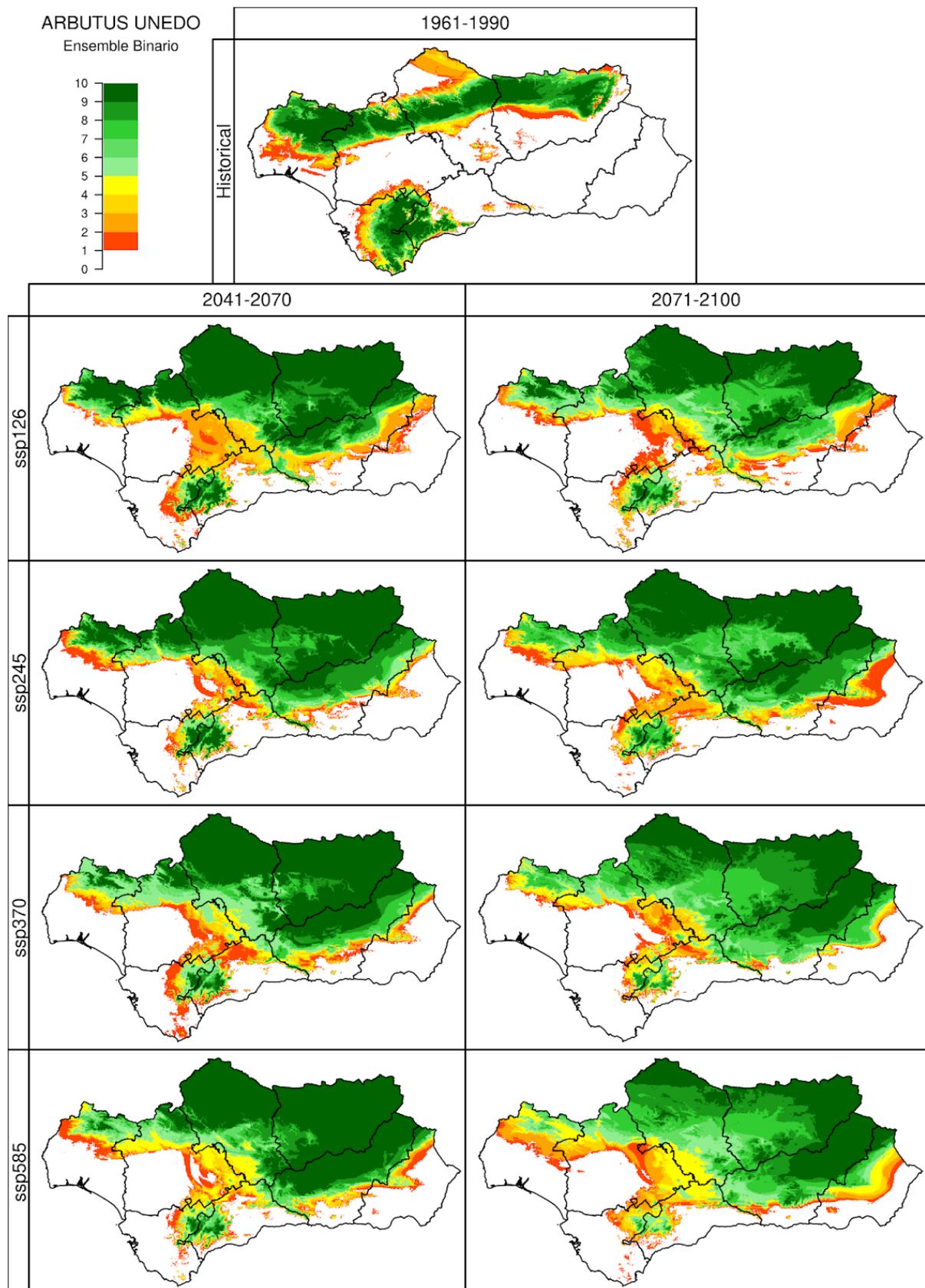


Figura 64.5. Idoneidad del territorio de *Arbutus unedo* (AUNED), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

65. CRATAEGUS MONOGYNA: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Crataegus monogyna* Jacq. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.. Esta especie tiene una amplia capacidad de adaptación a diversos ambientes por lo que su modelización es complicada.

En el período histórico, Autoecología paramétrica presenta idoneidad en gran parte de Andalucía. GAM en cambio se ajusta de mejor manera a las poblaciones más importantes de *Crataegus monogyna*, las cuales se encuentran en las regiones montañas de Andalucía. En *Flora Mayor* se enuncia que en la Península Ibérica se encuentra por todas las regiones, con abundancia variable, siendo al sur más frecuente en montañas, enrareciéndose en las zonas semiáridas para faltar en las áridas. Autoecología paramétrica ha captado el espectro ecológico de las pequeñas poblaciones existentes fuera de los entornos montanos, mientras que GAM parece haber caracterizado principalmente la idoneidad de las grandes poblaciones de montaña. Así pues, es probable que GAM sea más restrictivo y subestime la idoneidad de *Crataegus monogyna* en ambientes no montanos.

A mitad de siglo, Autoecología paramétrica muestra una reducción de idoneidad en toda la parte baja de Andalucía, reduciéndose a las zonas montañas de Andalucía. El territorio idóneo en Sierra Morena se reduce según la gravedad de los escenarios, desapareciendo en el escenario SSP5-8.5. Según GAM en cualquier escenario la idoneidad en Sierra Morena también desaparece. En comparación con Autoecología paramétrica, la desaparición de idoneidad en la cordillera Bética es muy alta, manteniéndose esta idoneidad únicamente en la Serranía de Ronda, Sierra Nevada y la Sierra de Segura.

A final de siglo la idoneidad sigue reduciéndose. En Autoecología paramétrica la idoneidad casi desaparece en todos los escenarios (excepto en SSP1-2.6) de la cordillera Subbética. En GAM se da la misma situación, sólo que según este último algoritmo la idoneidad de *Crataegus monogyna* se refugia únicamente en Sierra Nevada.

Ensemble presenta la misma tendencia que GAM, diferenciándose en que el primero predice como idóneo algo más de territorio que el último.

Crataegus monogyna reduce en gran manera su idoneidad climática en el futuro. Probablemente GAM esté subestimando la extensión de idoneidad de *Crataegus monogyna* según lo mostrado por ensemble, siendo más confiable Autoecología paramétrica.

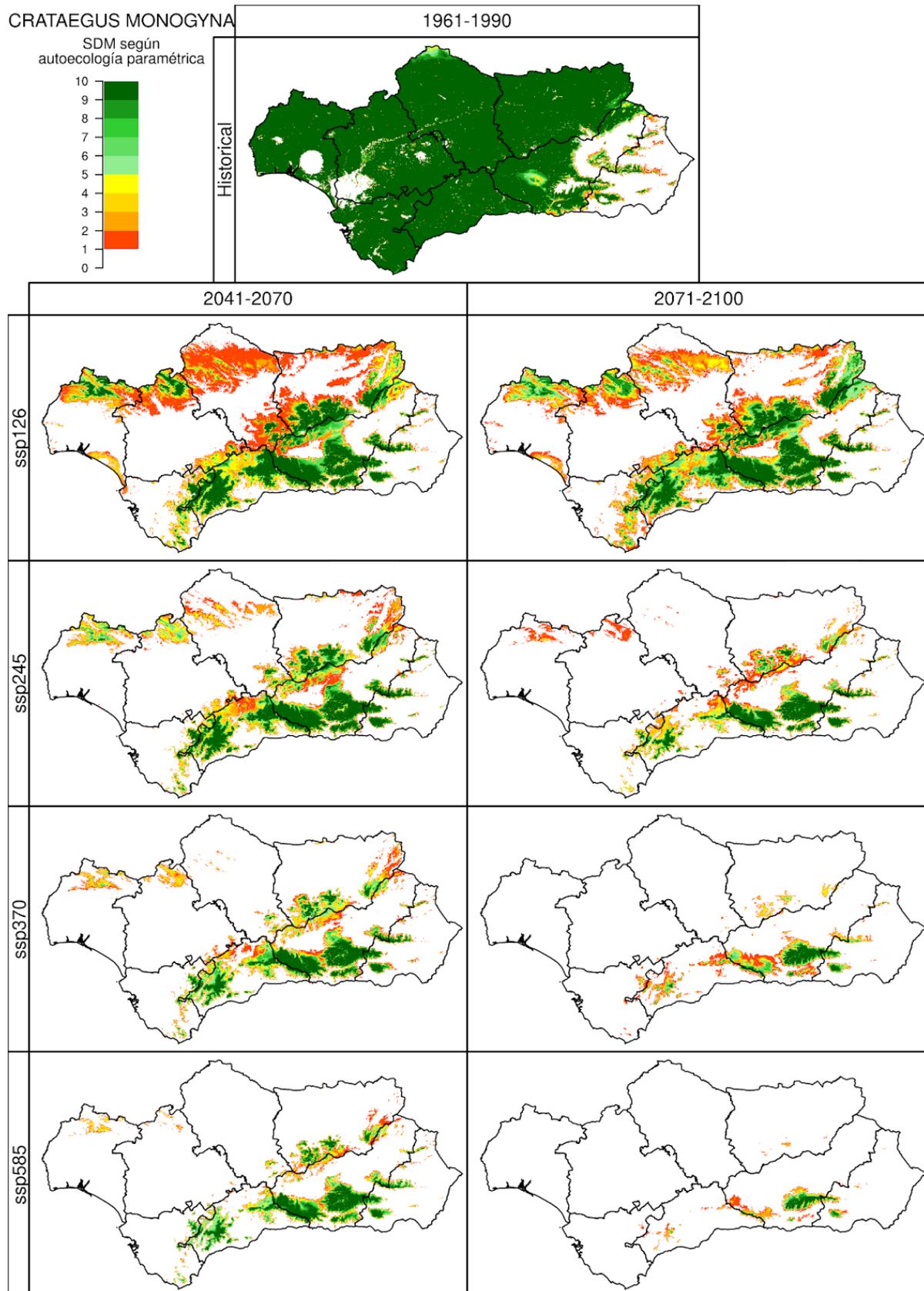


Figura 65.1. Índice de potencialidad de *Crataegus monogyna* (CMONOG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

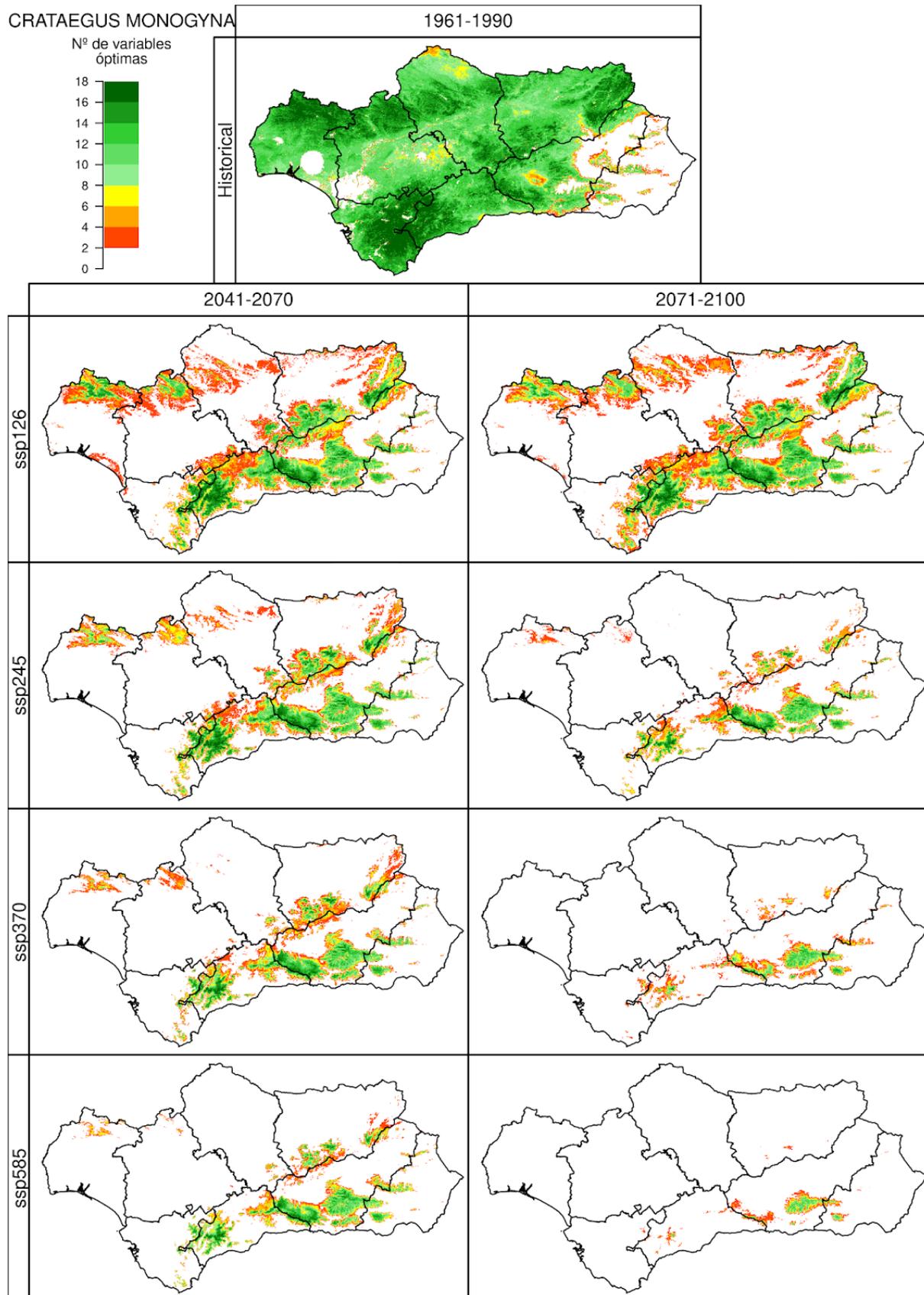


Figura 65.2. Número de variables óptimas de *Crataegus monogyna* (CMONOG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

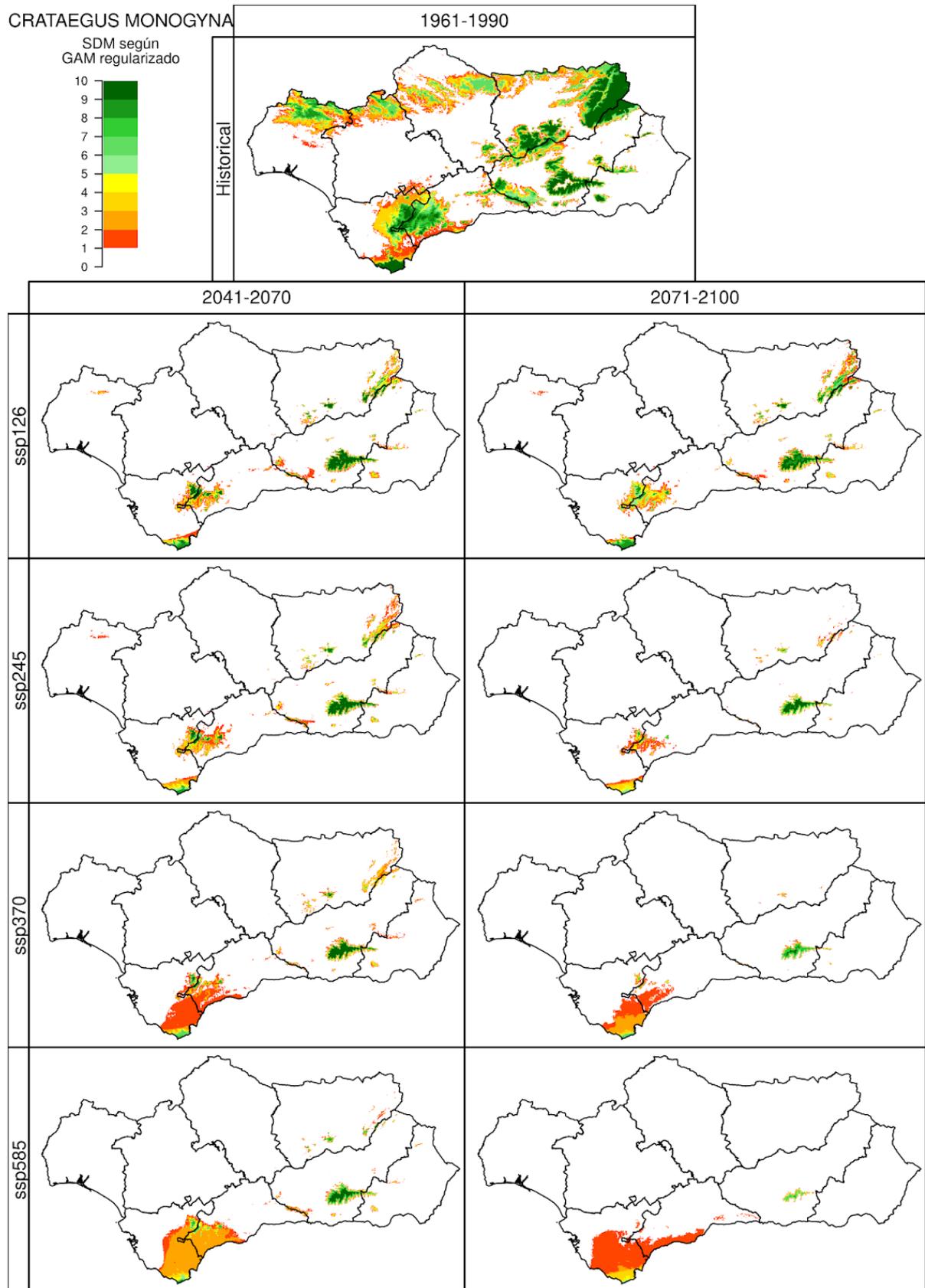


Figura 65.3. Idoneidad del territorio de *Crataegus monogyna* (CMONOG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

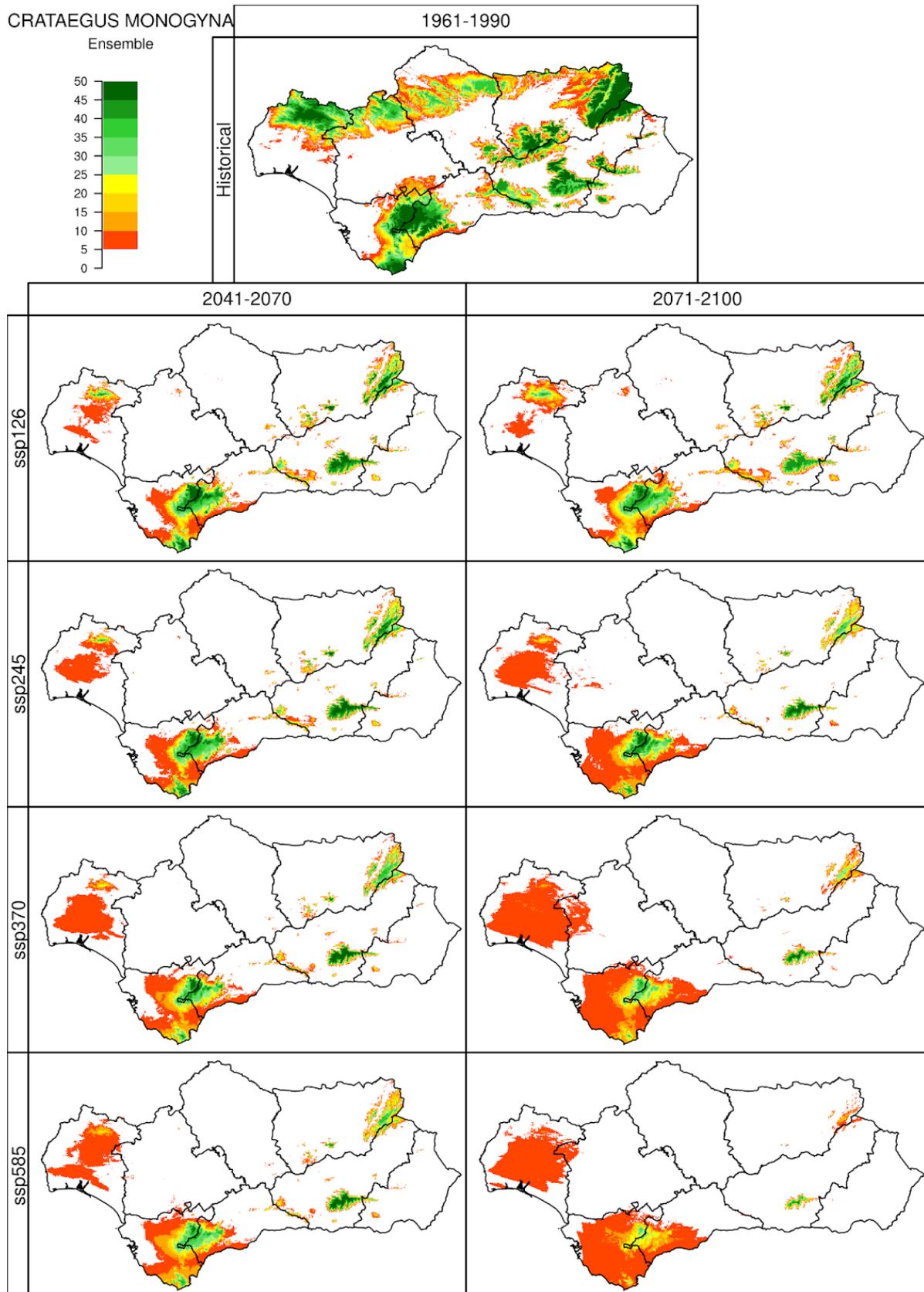


Figura 65.4. Idoneidad del territorio de *Crataegus monogyna* (CMONOG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

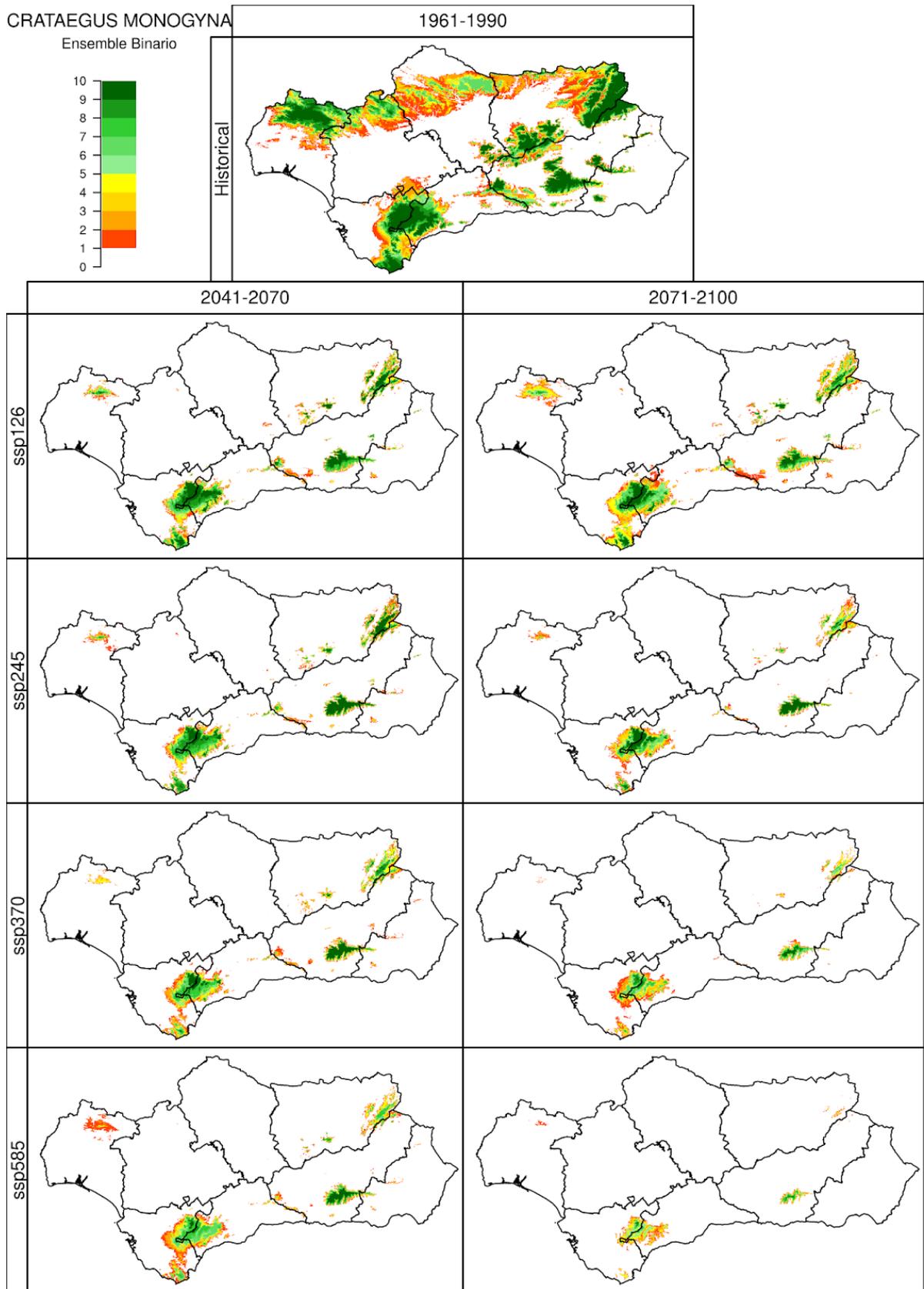


Figura 65.5. Idoneidad del territorio de *Crataegus monogyna* (CMONOG), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

66. ACER OPALUS SUBSP. GRANATENSE: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Acer opalus* subsp. *granatense* (Boiss.) Font Quer & Rothm. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

Su distribución observada en Andalucía está reducida a espacios montanos de las cordilleras béticas como la sierra de Gádor o Sierra de Segura. Ambos modelos en el período histórico se ajustan de manera adecuada a la distribución de la especie, si bien GAM predice mayor cantidad de espacio como idóneo que Autoecología paramétrica.

A mitad de siglo ambos modelos reducen la idoneidad a Sierra Nevada, mostrando además pequeñas manchas dispersas por las cordilleras béticas.

A finales de siglo, en los escenarios SSP1-2.7 y SSP2-4.5 en ambos modelos la idoneidad se reduce espacialmente pero se mantiene en algunos puntos, mientras que en los otros dos escenarios la idoneidad casi desaparece de Andalucía. GAM presenta las cumbres más altas de Sierra Nevada como idóneas en un futuro para la especie (aunque luego vuelve a desaparecer), a diferencia de Autoecología paramétrica, en la cual la idoneidad del arce nunca alcanza las cotas más altas de Sierra Nevada.

Ambos modelos muestran la casi desaparición de idoneidad de la especie en Andalucía, mostrando la vulnerabilidad de esta subespecie al cambio climático.

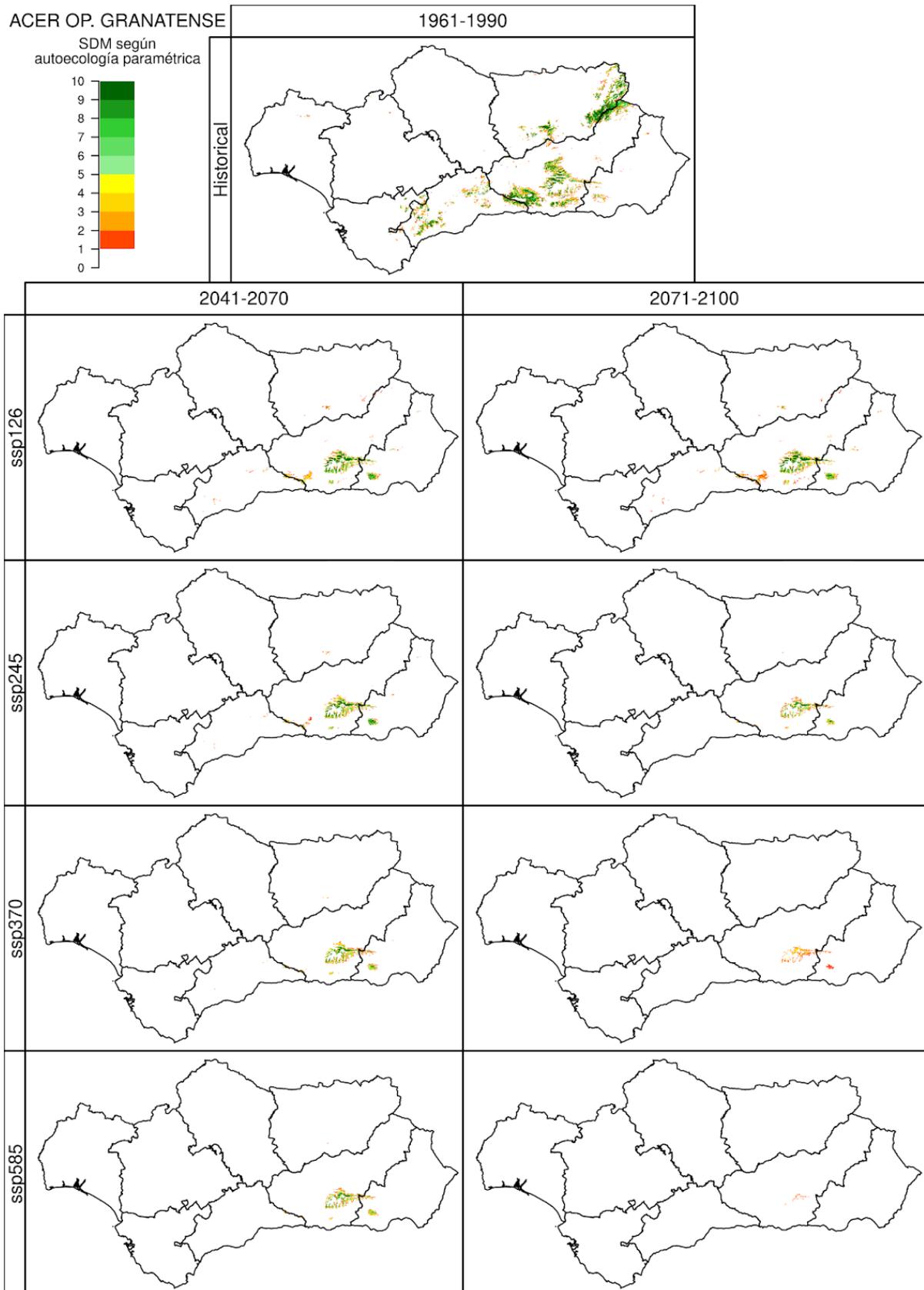


Figura 66.1. Índice de potencialidad de *Acer opalus* subsp. *granatense* (AGRANAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

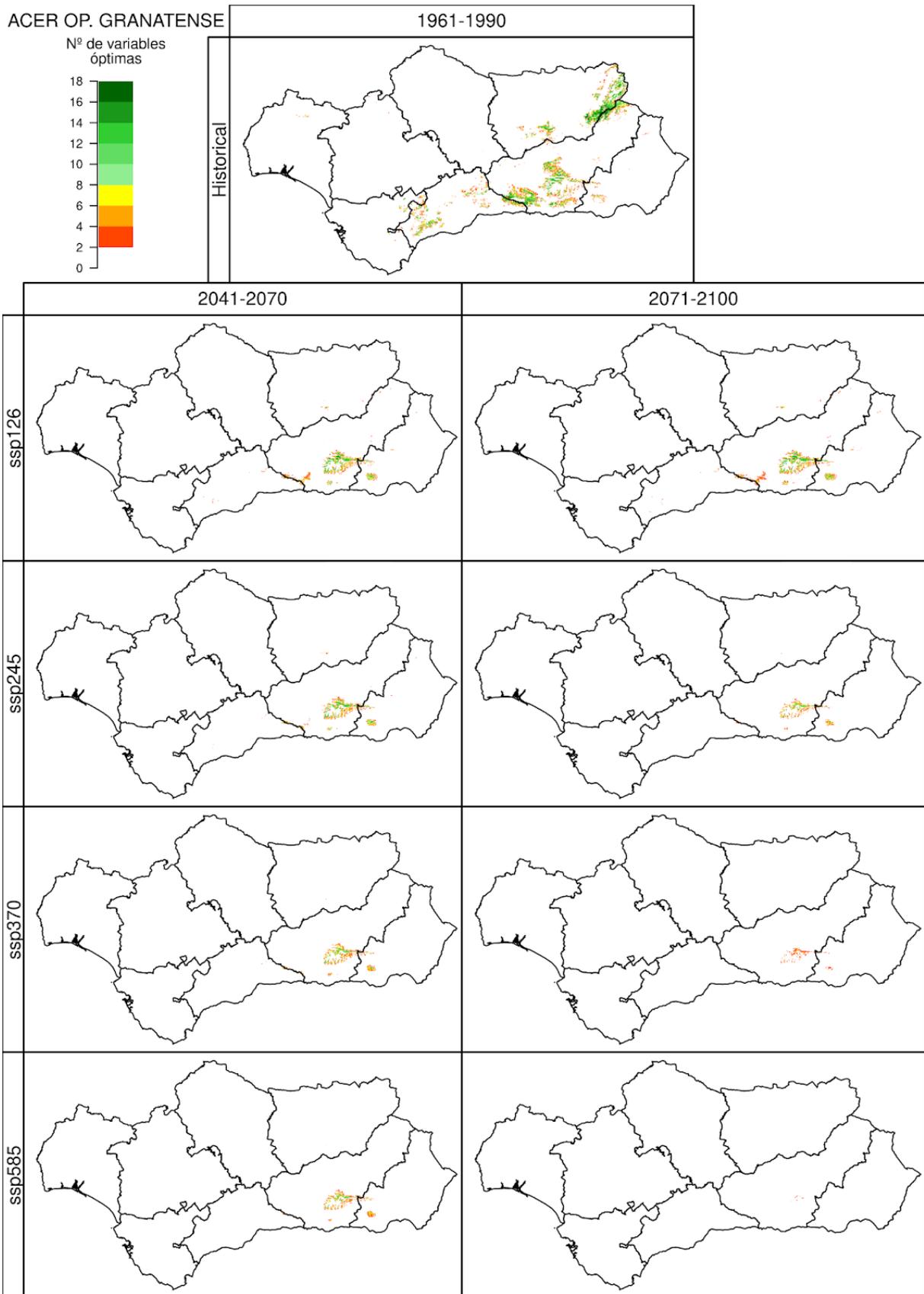


Figura 66.2. Número de variables óptimas de *Acer opalus* subsp. *granatense* (AGRANAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

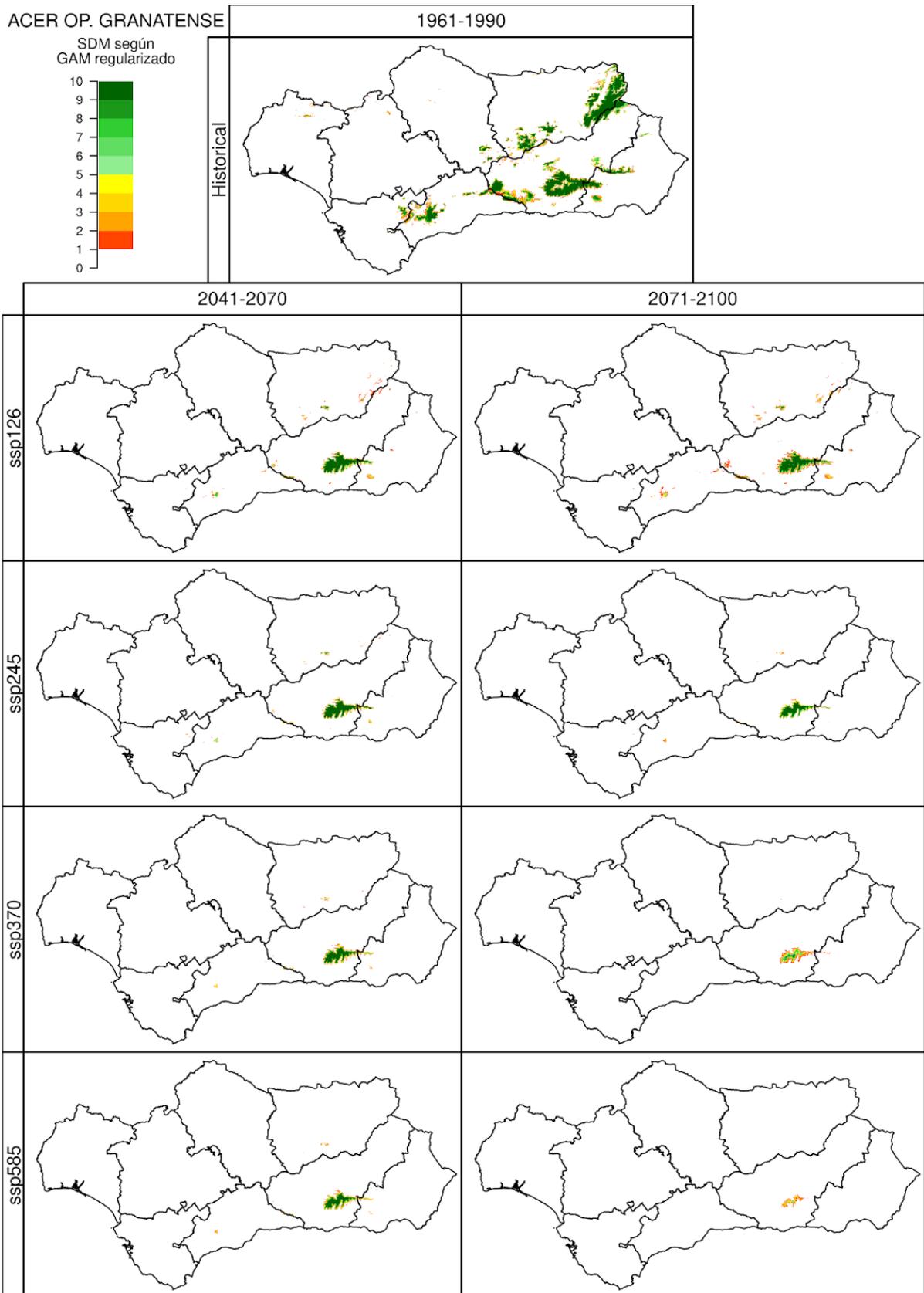


Figura 66.3. Idoneidad del territorio de *Acer opalus* subsp. *granatense* (AGRANAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

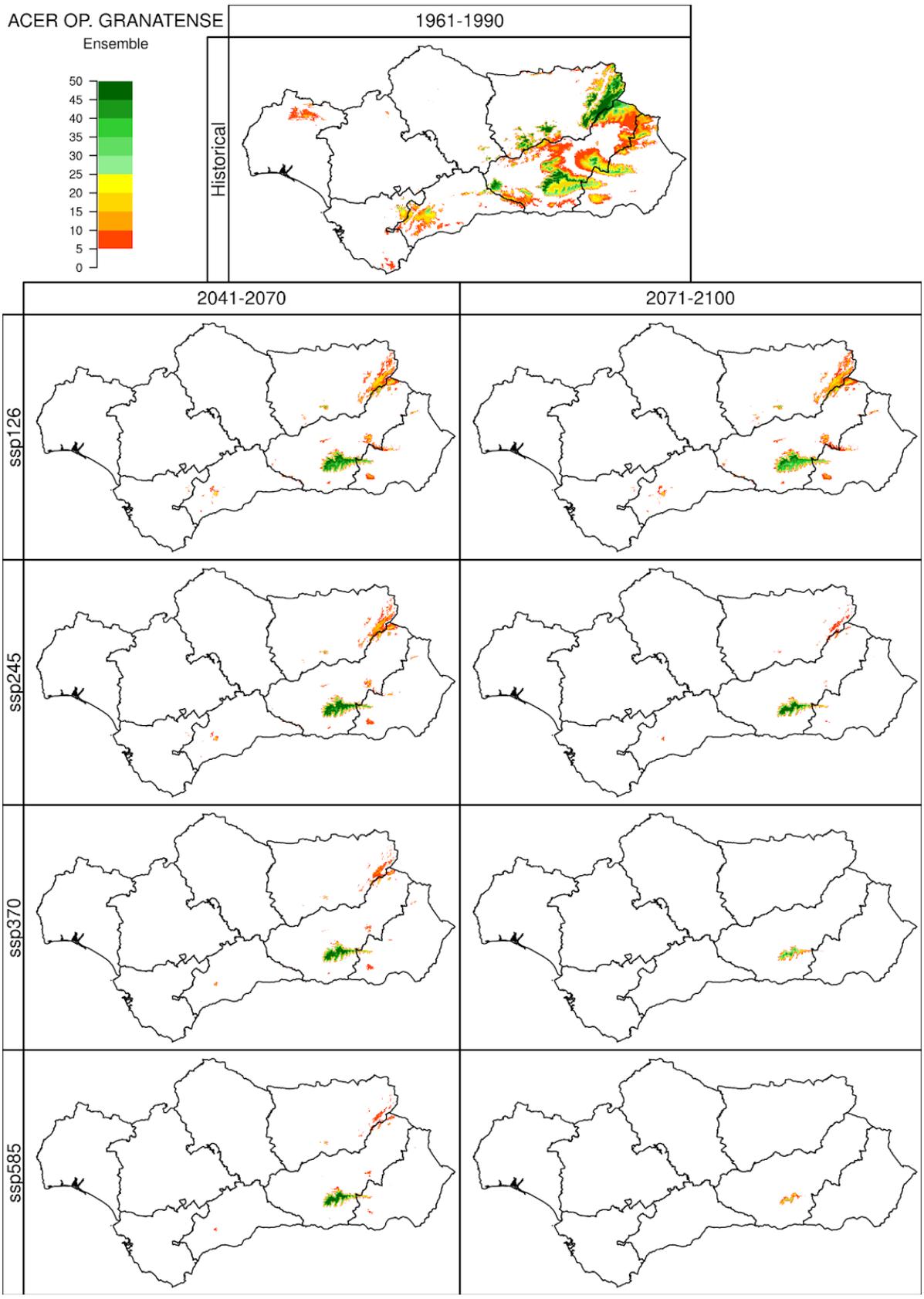


Figura 66.4. Idoneidad del territorio de *Acer opalus* subsp. *granatense* (AGRANAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

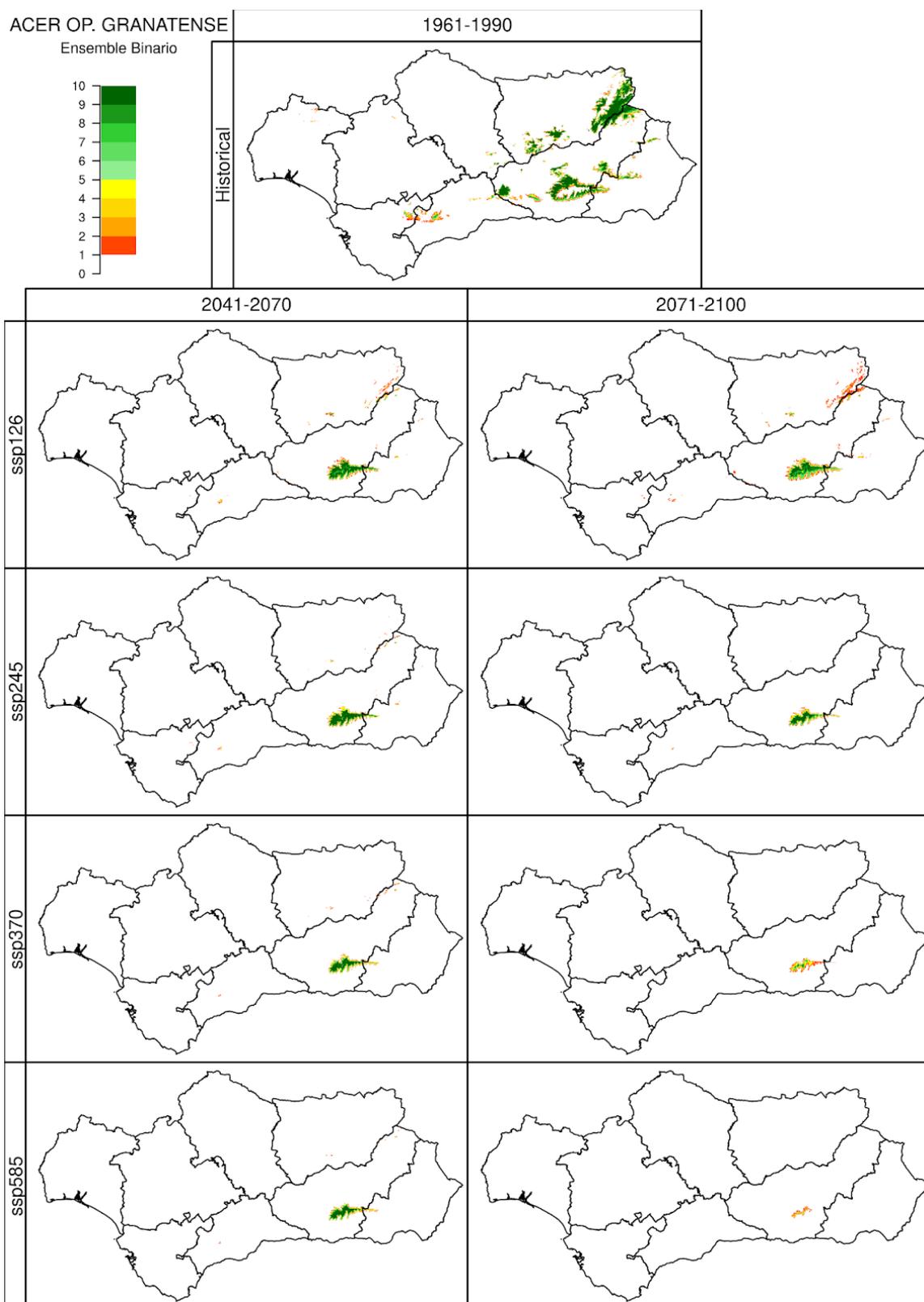


Figura 66.5. Idoneidad del territorio de *Acer opalus* subsp. *granatense* (AGRANAT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

67. ACER MONSPESSULANUM: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Acer monspessulanum* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período histórico ambos se asemejan a la distribución observada de la especie, siendo más restrictiva Autoecología paramétrica. Según *Flora mayor* esta especie se encuentra salpicado en bosques y matorrales del piso montano de la mitad norte; escaseando en Andalucía y Extremadura. Su distribución es bastante reducida por lo que parece más correcta la distribución propuesta por Autoecología paramétrica.

A mitad de siglo GAM muestra una expansión en idoneidad del arce en cuestión. Esta expansión no encaja con los requerimientos de la especie, implicando que el modelo no captó de manera correcta su distribución a futuro, siendo no operativo. Autoecología paramétrica presenta una reducción importante de idoneidad, desapareciendo en Sierra Morena, y reduciendo su presencia en la Cordillera Bética.

En el final de siglo en todos los escenarios desaparece la idoneidad en Sierra Morena, manteniendo manchas en las cordilleras Béticas y desapareciendo en el escenario ssp 370 y 585.

Ensemble presenta también unos MDE desacordes con la naturaleza de la especie, siendo no operativa.

Autoecología paramétrica muestra una reducción continua de la idoneidad de la especie hasta su desaparición a finales de siglo. Sería necesario un estudio en profundidad de la especie.

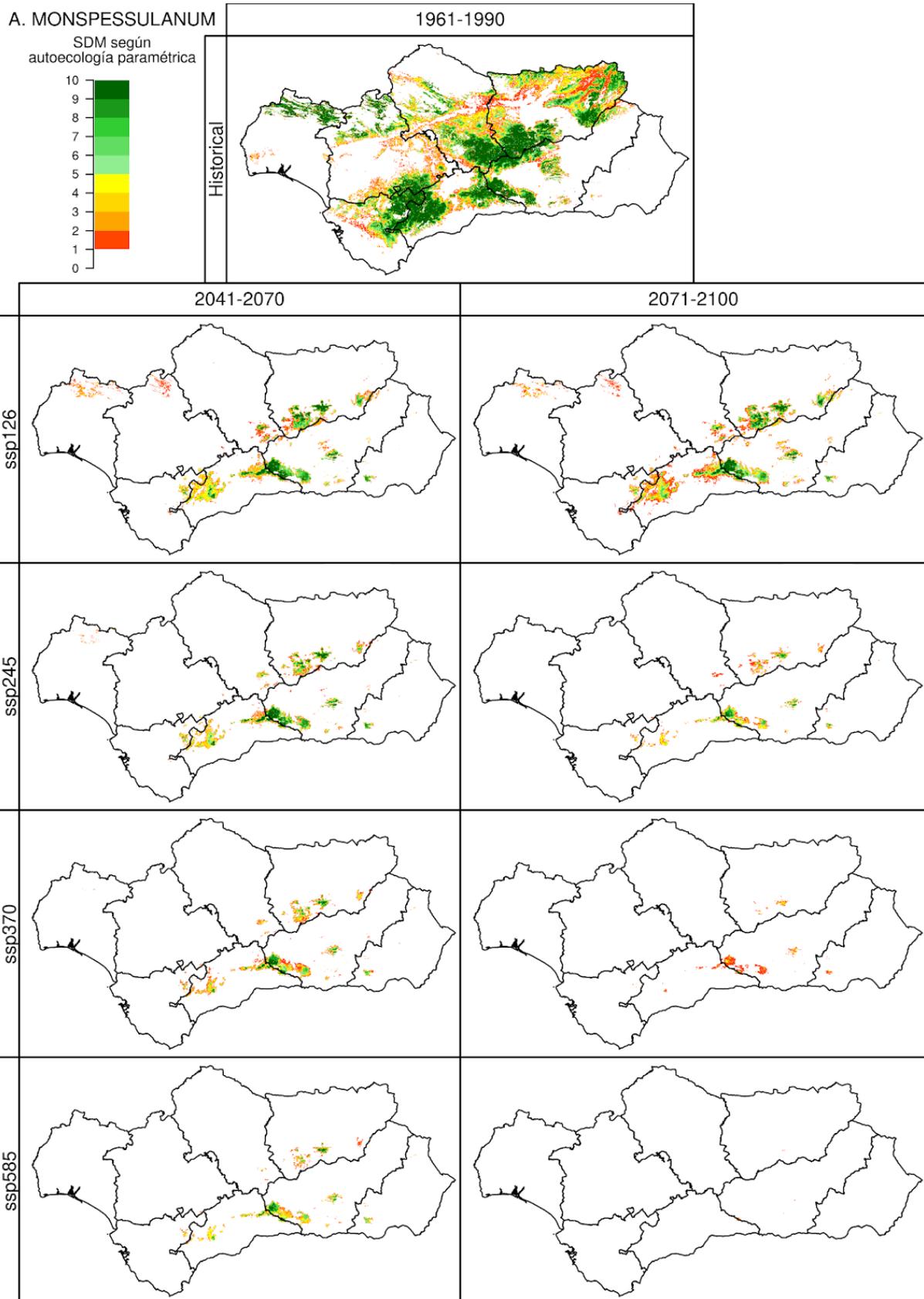


Figura 67.1. Índice de potencialidad de *Acer monspessulanum* L. (AMONS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

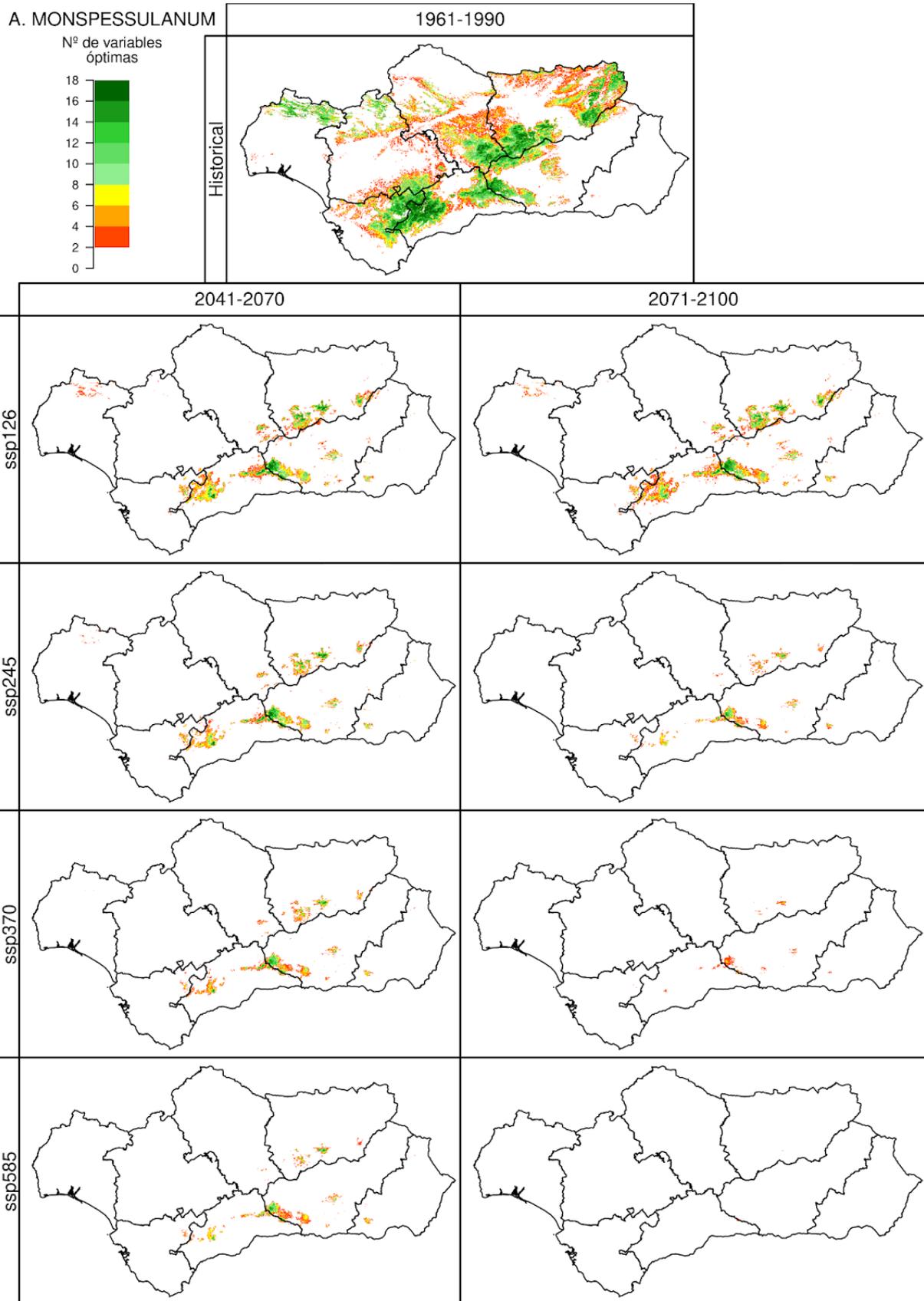


Figura 67.2. Número de variables óptimas de *Acer monspessulanum* L. (AMONS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

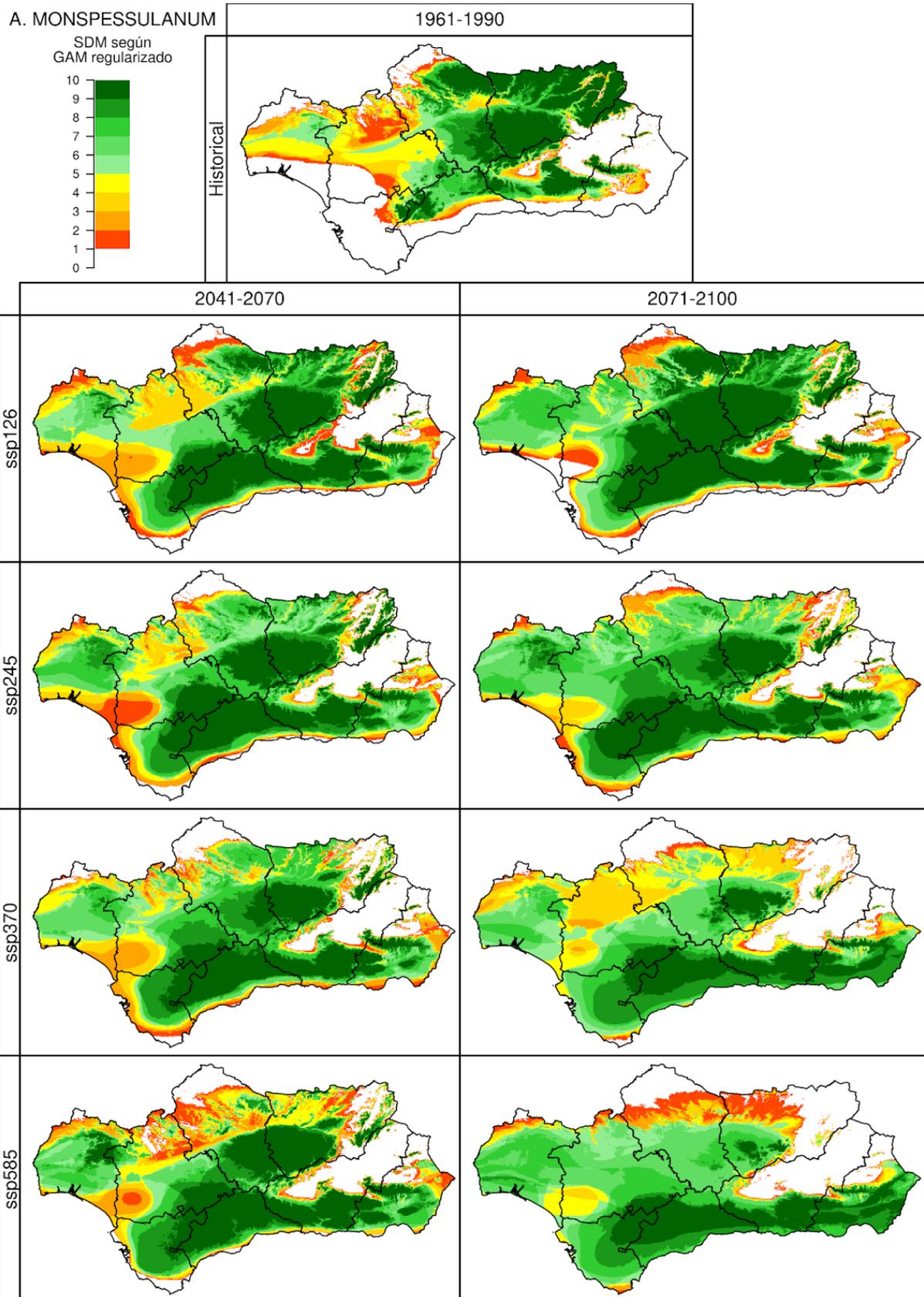


Figura 67.3. Idoneidad del territorio de *Acer monspessulanum* L. (AMONS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

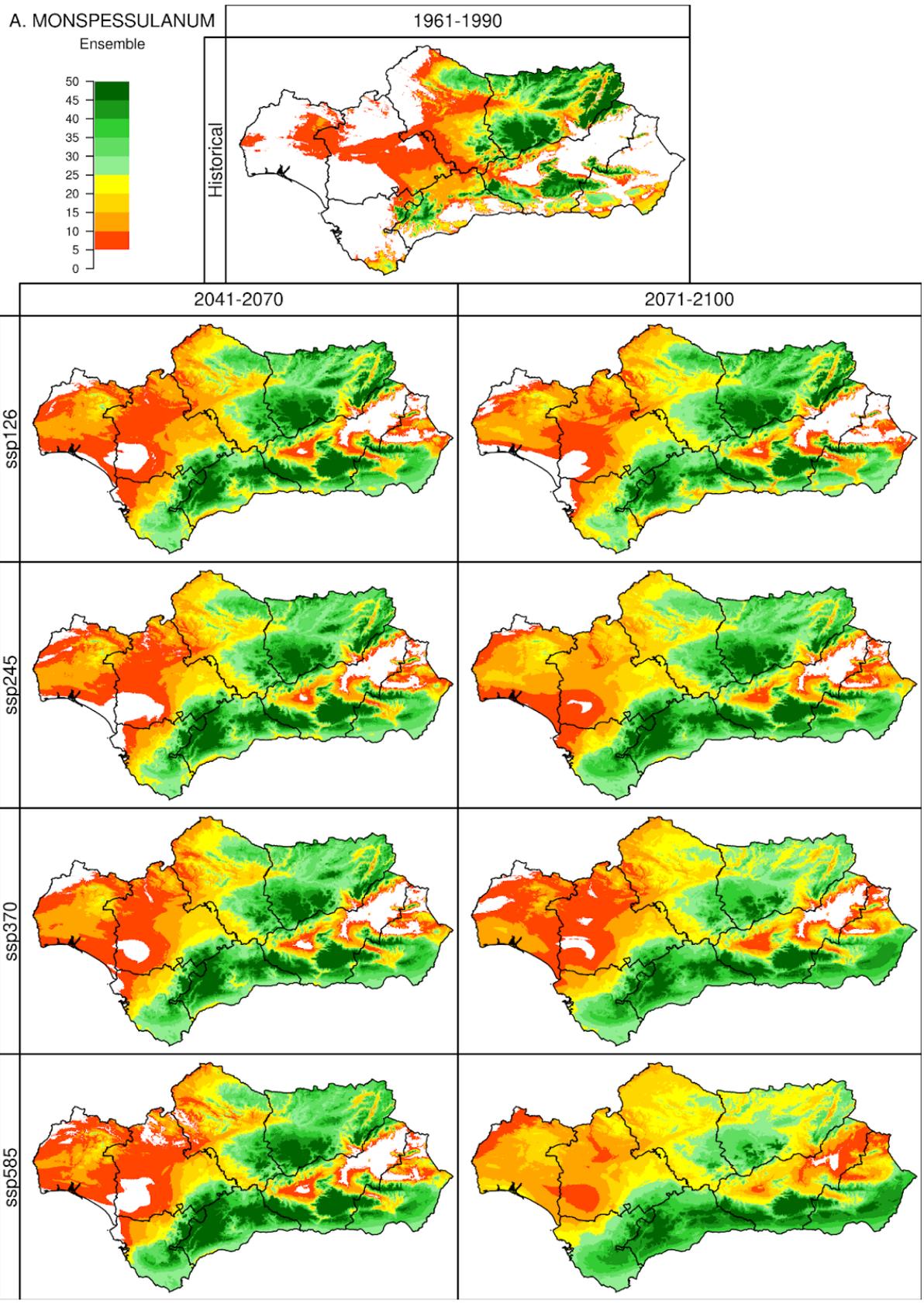


Figura 67.4. Idoneidad del territorio de *Acer monspessulanum* L. (AMONS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

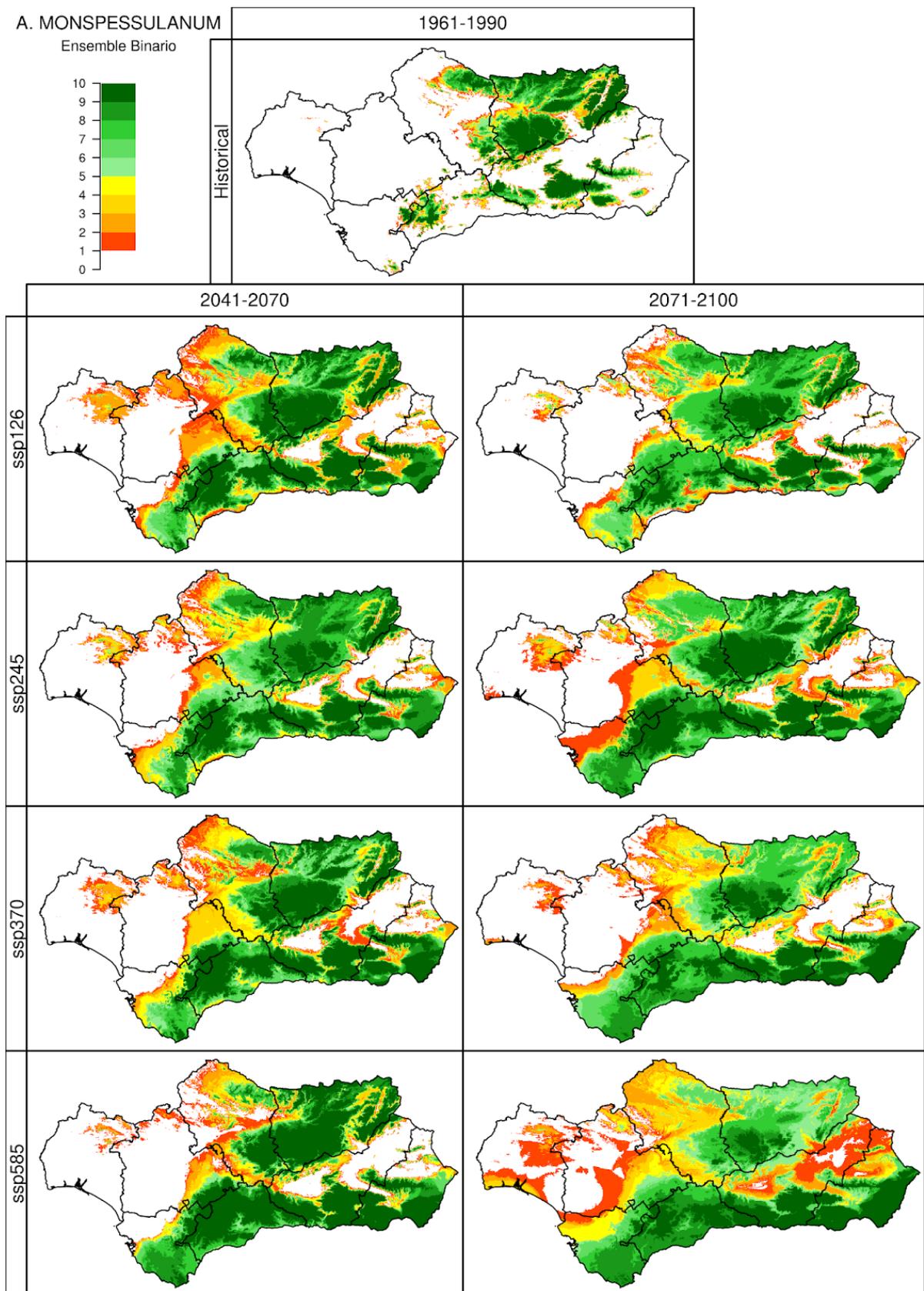


Figura 67.5. Idoneidad del territorio de *Acer monspessulanum* L. (AMONS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

68. PISTACIA LENTISCUS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Pistacia lentiscus* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

Según *Flora mayor*, es muy frecuente en Andalucía y Extremadura y suele aparecer en regiones cálidas, siendo de interés forestal por vivir sobre terrenos áridos y secos. Autoecología paramétrica indica como idónea Andalucía casi en su totalidad, excluyendo unas pocas zonas de Almería y Sierra Nevada. Mientras, GAM predice como idóneo Andalucía a excepción de Granada y Almería. *Pistacia lentiscus* tiene registros de presencia en todo Andalucía, pero su presencia es menor en las regiones que GAM marca como no idóneo para la planta.

A mitad de siglo, ambas especies muestran tendencias distintas. Según GAM la idoneidad se mantiene e incluso se expande a zonas más altas con temperaturas más frías. Mientras, Autoecología paramétrica muestra que la idoneidad desaparece en el valle del Guadalquivir, reduce gran parte de su idoneidad en Sierra Morena (desaparece en los escenarios más graves).

En el final de siglo Autoecología paramétrica prosigue su reducción de idoneidad, manteniendo grandes manchas de idoneidad por todo Andalucía en el SSP1-2.6, pero reduciéndose hasta casi la inexistencia en el escenario SSP5-8.5. GAM en cambio muestra una tendencia contraria, donde incluso se expande un poco más en los SSP más altos.

Ensemble presenta resultados muy parecidos a los ofrecidos por GAM.

Las dos metodologías muestran tendencias muy distintas que merecerían un estudio de mayor profundidad. La literatura muestra a *Pistacia lentiscus* como una planta resistente, y su distribución así lo corrobora. Tiene registros de presencia considerables en las partes áridas de Almería, si bien es cierto que son menos importantes que en el resto de Andalucía. GAM mantiene la idoneidad de la planta en todo Andalucía, pero no parece sobreestimar la capacidad de soportar aridez de la planta. Fijándonos en la figura 29.1, de las unidades bioclimáticas, parece que la idoneidad de *Pistacia lentiscus* en escenarios futuros no existe en la unidad bioclimática árida 7, lo que puede indicar que GAM esté captando correctamente la no idoneidad en regiones climáticas extremadamente áridas. Por todo lo mencionado anteriormente, se daría mayor credibilidad a que *Pistacia lentiscus* mantiene su idoneidad en los futuros horizontes temporales, si bien Autoecología paramétrica muestra que esto debe tomarse con precaución.

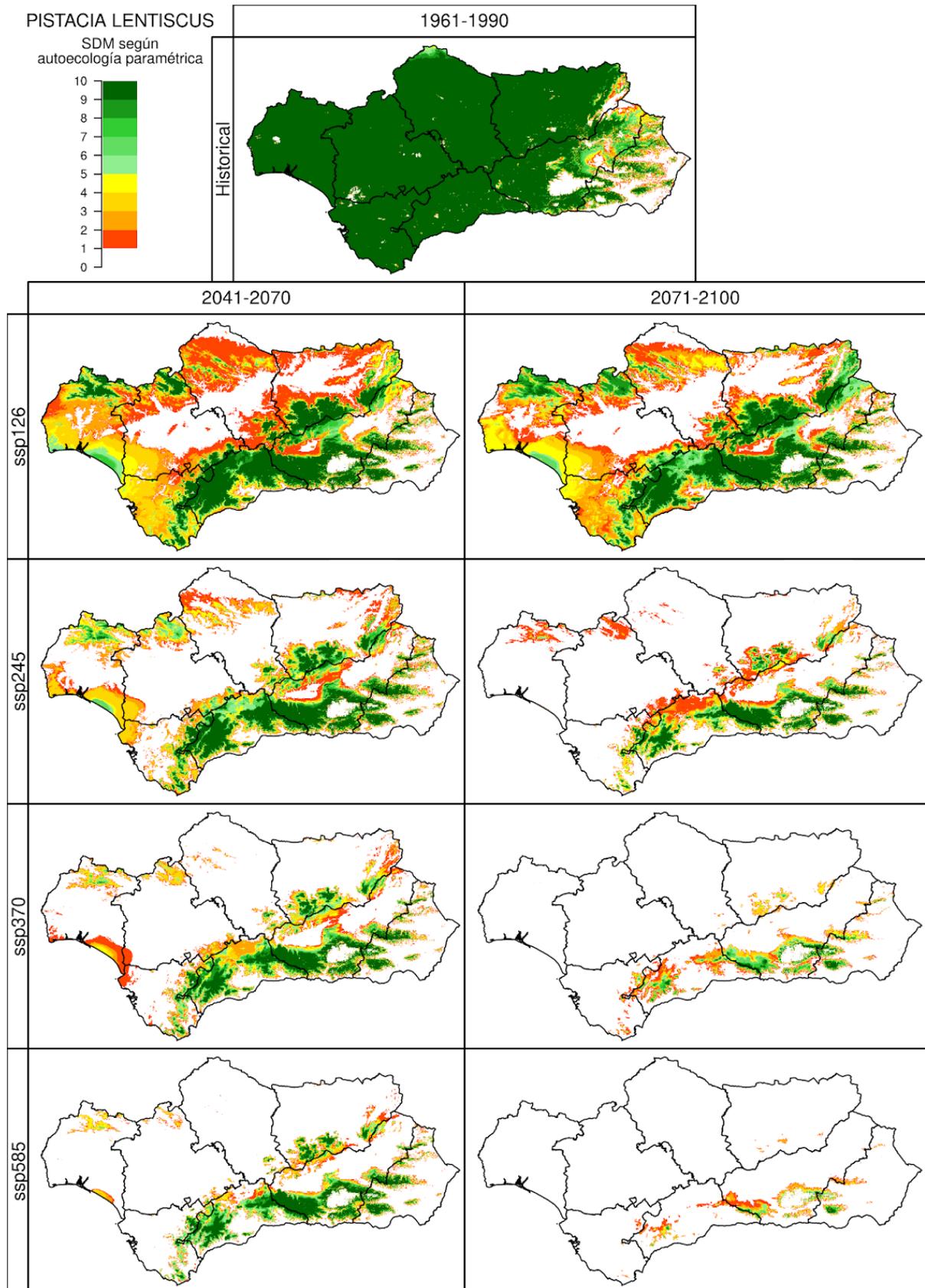


Figura 68.1. Índice de potencialidad de *Pistacia lentiscus* (PLENT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

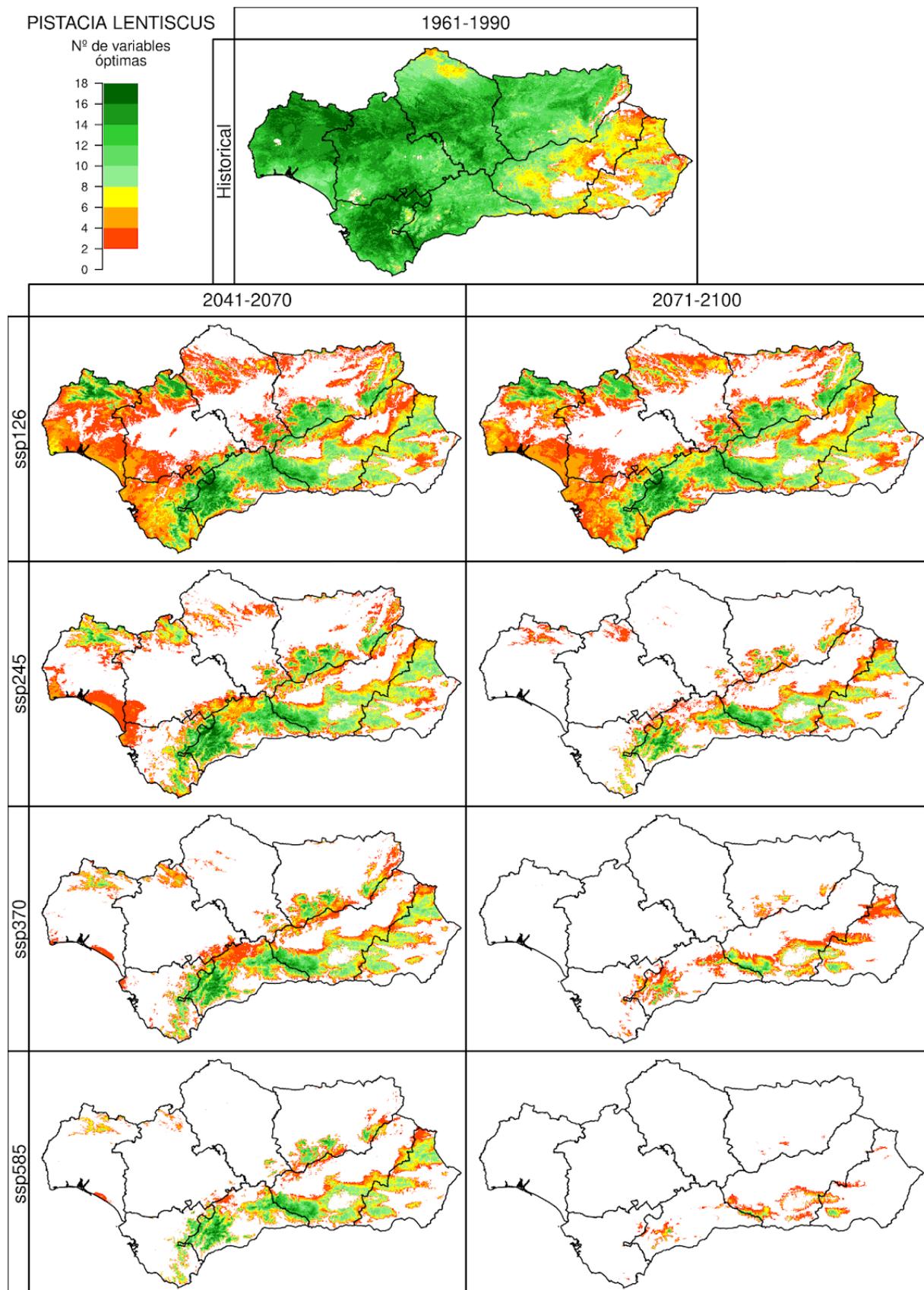


Figura 68.2. Número de variables óptimas de *Pistacia lentiscus* (PLENT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

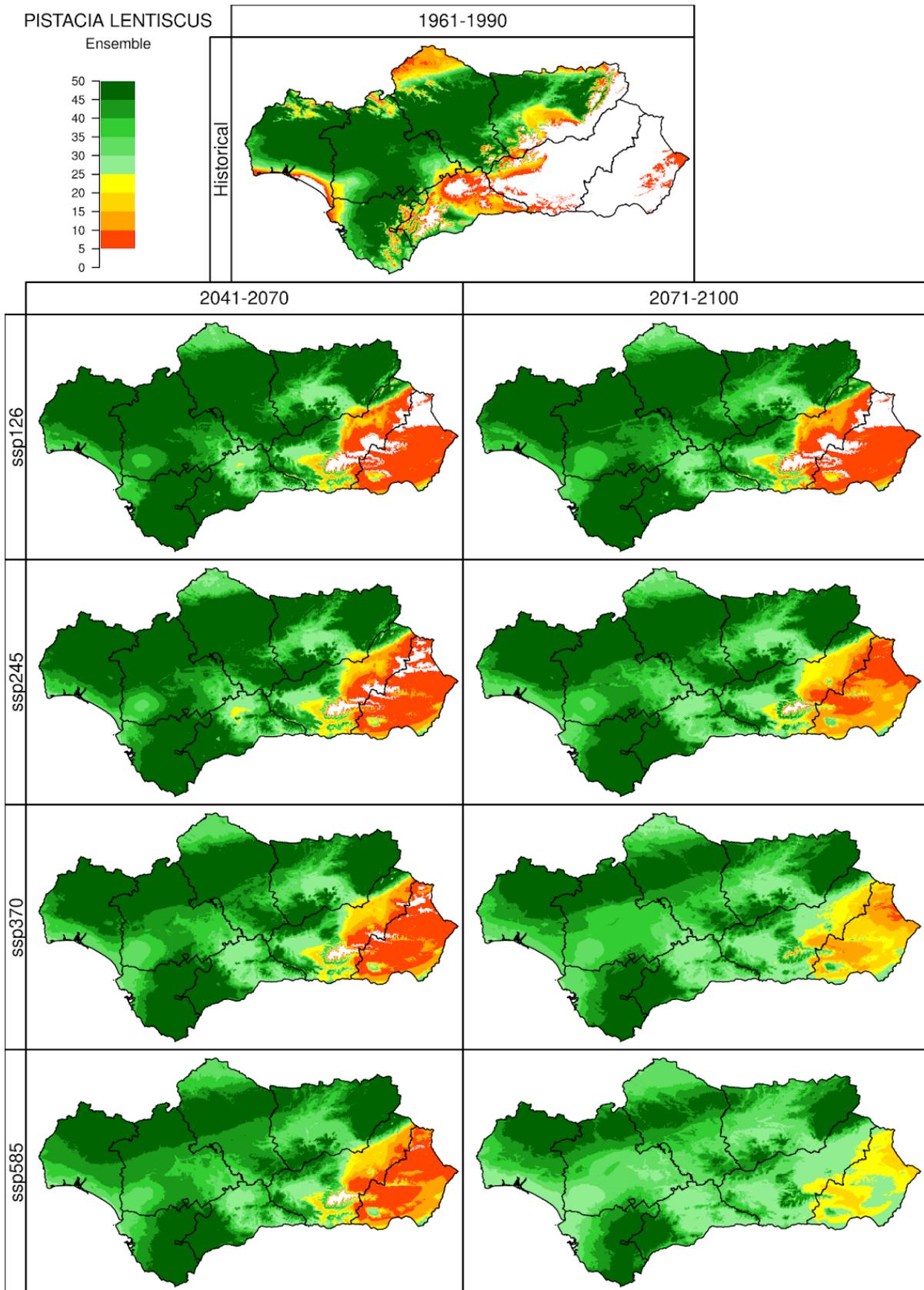


Figura 68.3. Idoneidad del territorio de *Pistacia lentiscus* (PLENT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

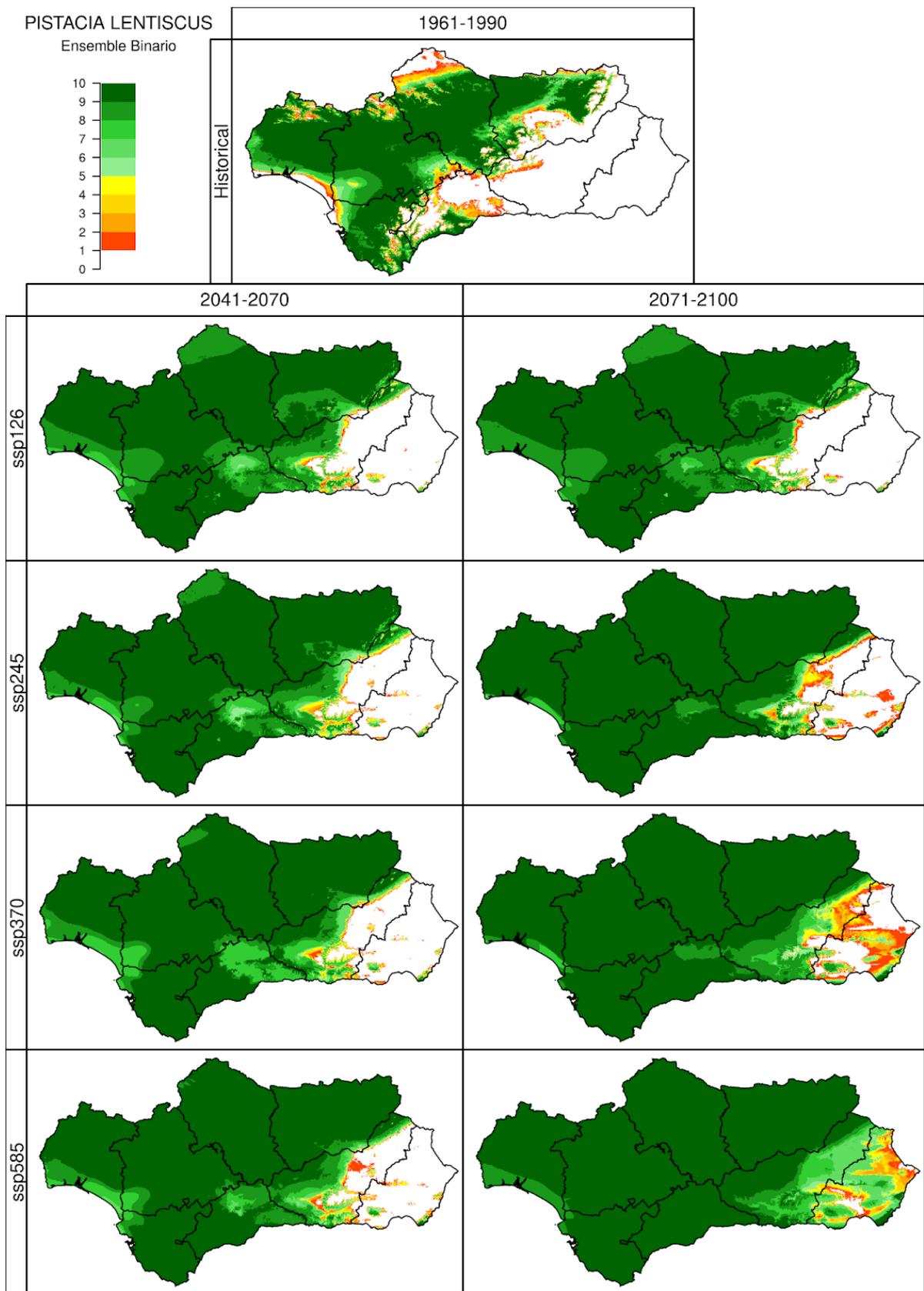


Figura 68.4. Idoneidad del territorio de *Pistacia lentiscus* (PLENT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

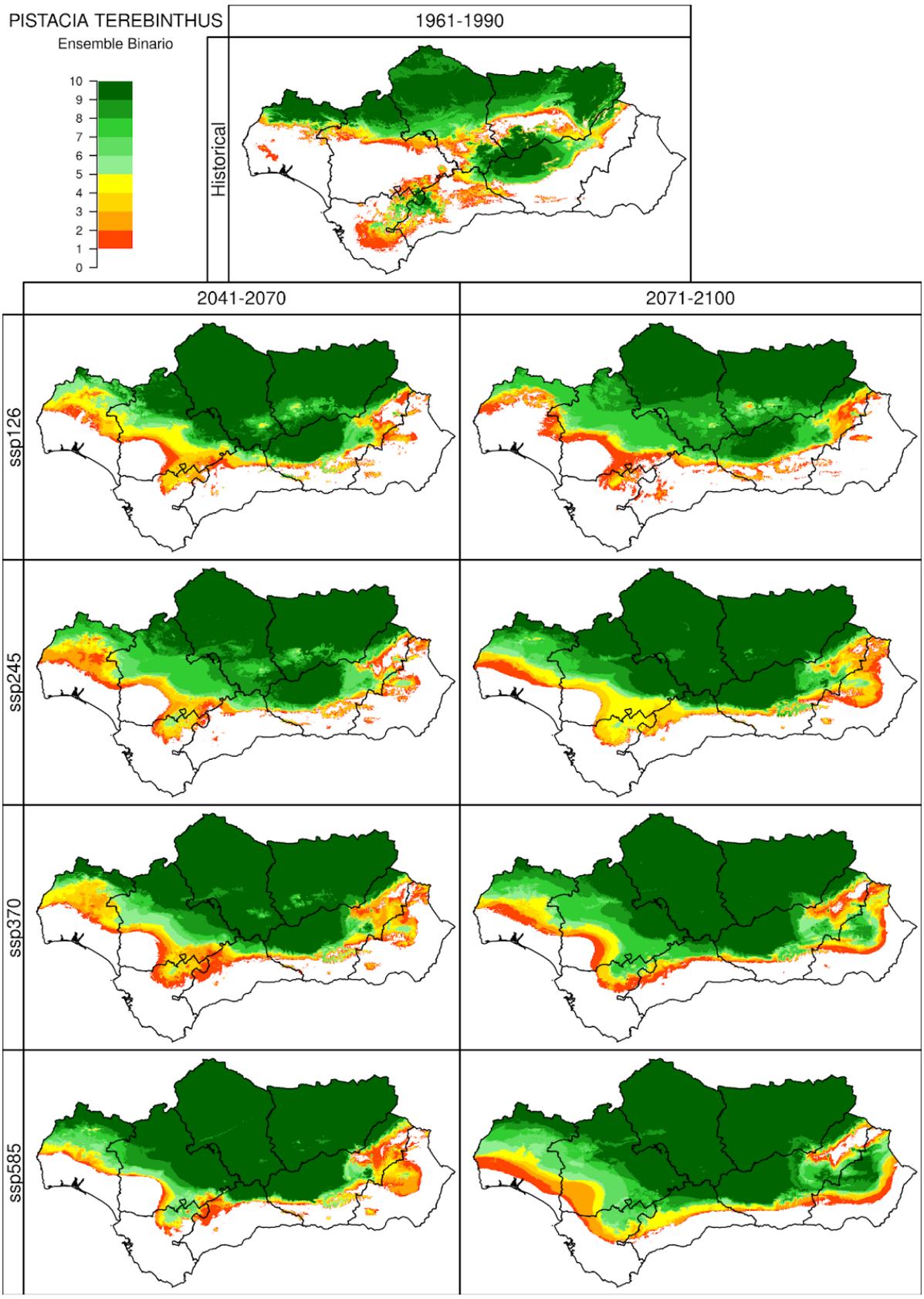


Figura 68.5. Idoneidad del territorio de *Pistacia lentiscus* (PLENT), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

69. PISTACIA TEREBINTHUS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Pistacia terebinthus* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

Según *Flora Mayor*, la cornicabra vive en clima mediterráneo semiárido fresco y subhúmedo, dejando a *Periploca* el clima árido litoral o sublitoral. En el período Historical Autoecología paramétrica muestra como idónea gran parte de Andalucía, mientras que GAM se ajusta a la distribución observada de la especie.

A mitad de siglo ambas presentan una reducción en la idoneidad de la especie. GAM presenta una reducción de en Sierra Morena, desapareciendo además de las provincias de Cádiz y Málaga. Mientras, Autoecología paramétrica marca que la idoneidad desaparece en todo el territorio a excepción de las zonas montañas de las cordilleras béticas. Esta metodología presenta idoneidad en las provincias de Cádiz y Málaga en todos los escenarios, si bien puede ser por la sobreestimación que lleva a cabo Autoecología paramétrica (como se pudo ver en el Historical).

En el final de siglo GAM presenta una estabilización de la planta en todos los escenarios con respecto al período 2041-2070, manteniéndose en espacios de Sierra Morena, en amplias manchas en la cordillera Subbética y Sierra Nevada. Por parte de Autoecología paramétrica, se presenta como idóneo espacios cercanos a la Serranía de Ronda y Sierra de Almirajara, si bien estos desaparecen en escenarios más graves refugiándose la especie en Sierra Nevada.

Ensemble presenta para la planta en el período Historical una distribución de idoneidad parecida a GAM. Sin embargo, en los períodos futuros presenta una tendencia distinta. Según ensemble, la idoneidad se extiende hacia el sur y se mantiene en aquellos espacios donde ya existía en el período histórico.

En esta especie, según lo observado en el período Historical y la distribución observada de la especie, podría aceptarse que Autoecología paramétrica no ha sido capaz de captar de manera adecuada la distribución de la especie. La distribución propuesta por GAM en esta especie es la más adecuada. Ensemble presenta una idoneidad distinta, pero parece sobreestimar su capacidad de resistencia a climas áridos, al expandirse en el futuro hacia el clima árido futuro de Almería, siendo esto poco lógico desde un punto de vista botánico.

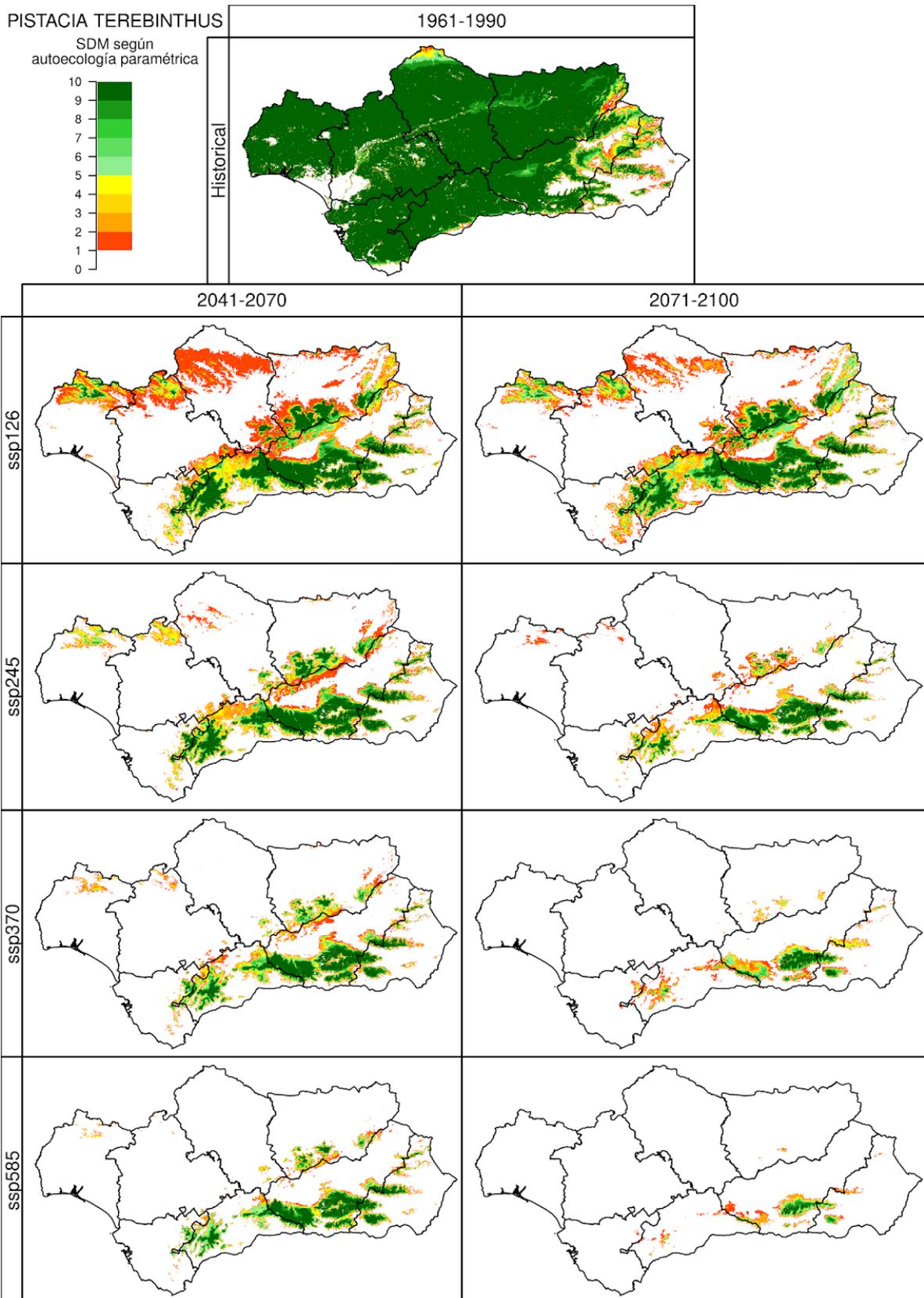


Figura 69.1. Índice de potencialidad de *Pistacia terebinthus* (PTEREB), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

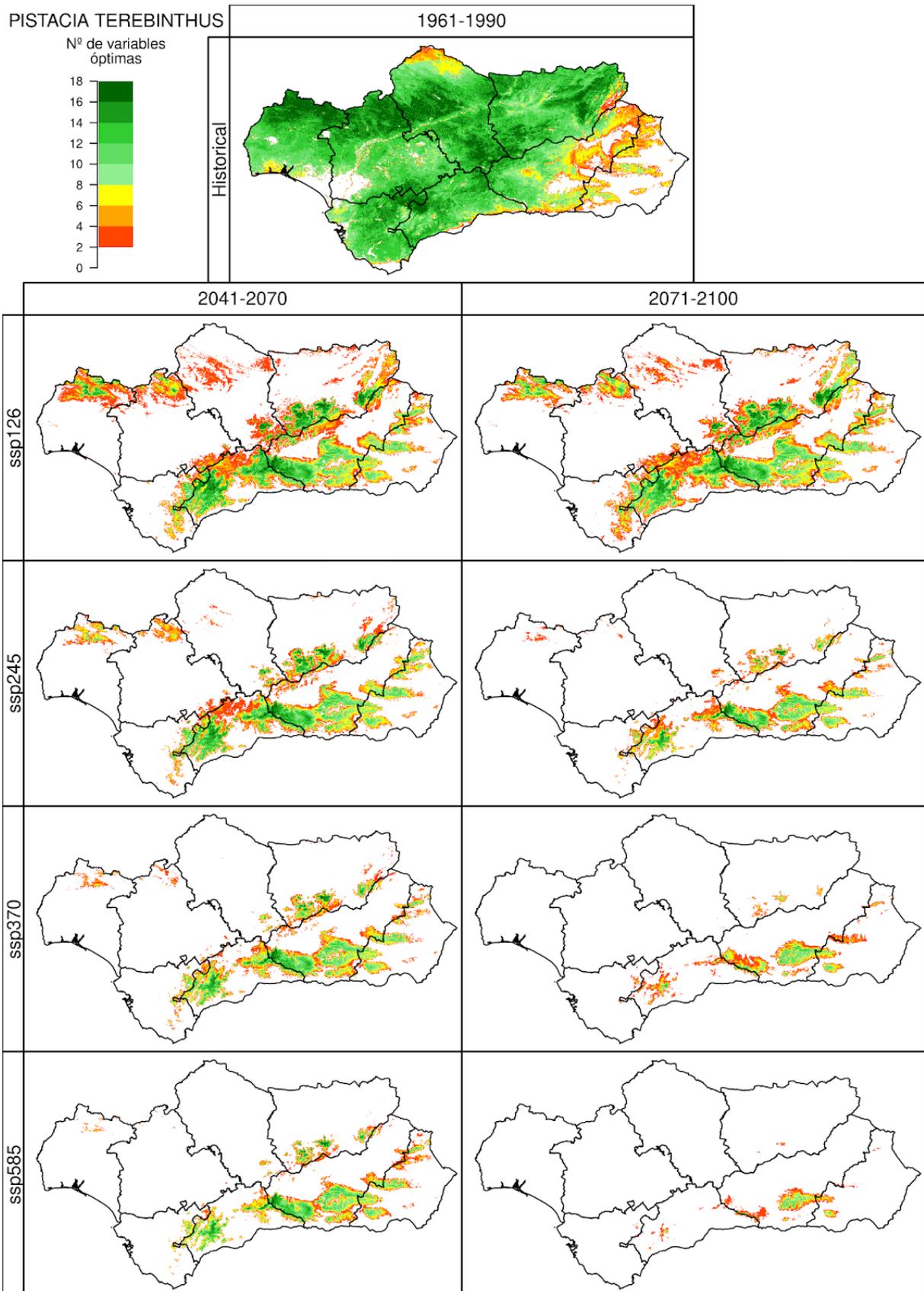


Figura 69.2. Número de variables óptimas de *Pistacia terebinthus* (PTEREB), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

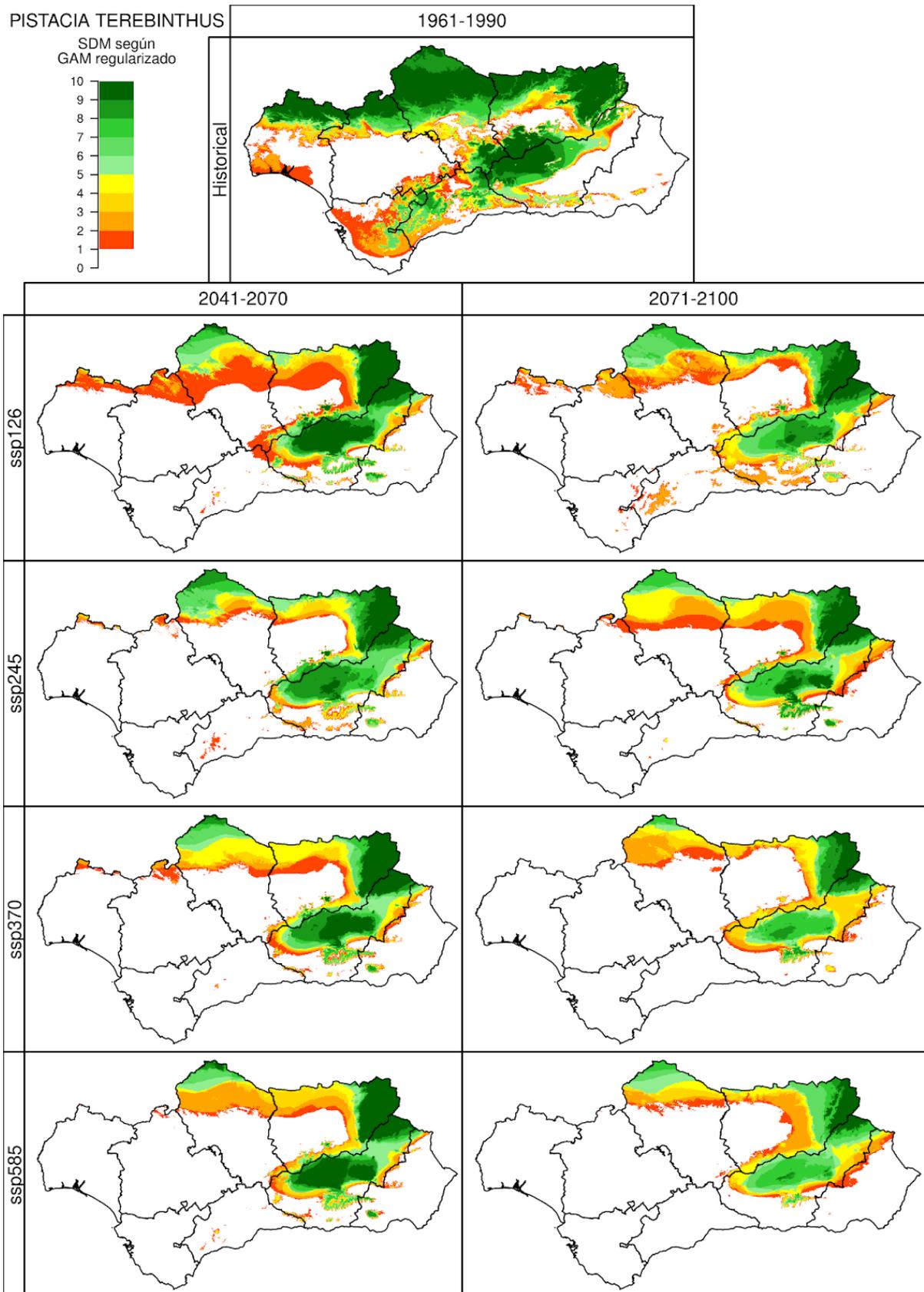


Figura 69.3. Idoneidad del territorio de *Pistacia terebinthus* (PTEREB), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

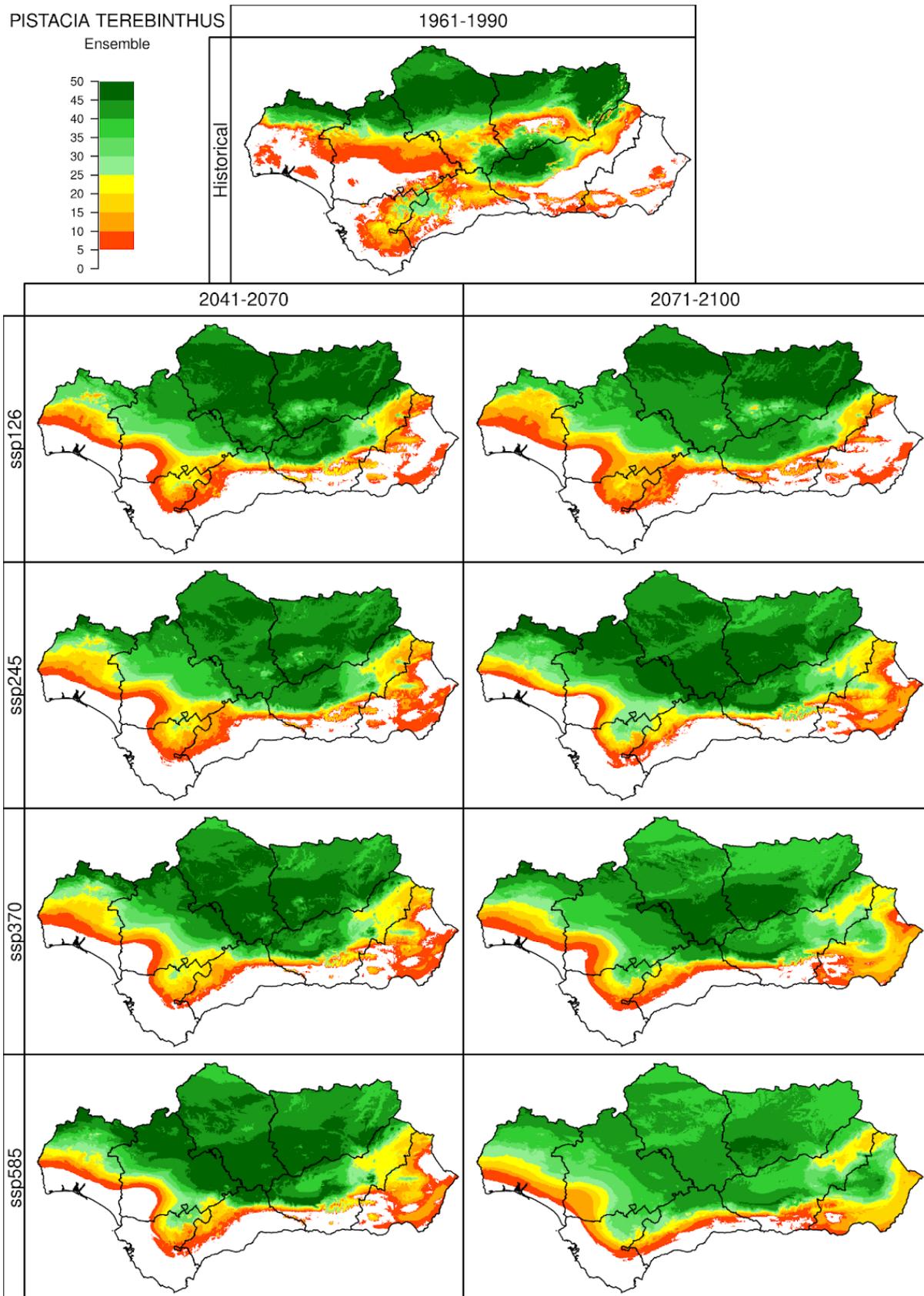


Figura 69.4. Idoneidad del territorio de *Pistacia terebinthus* (PTEREB), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

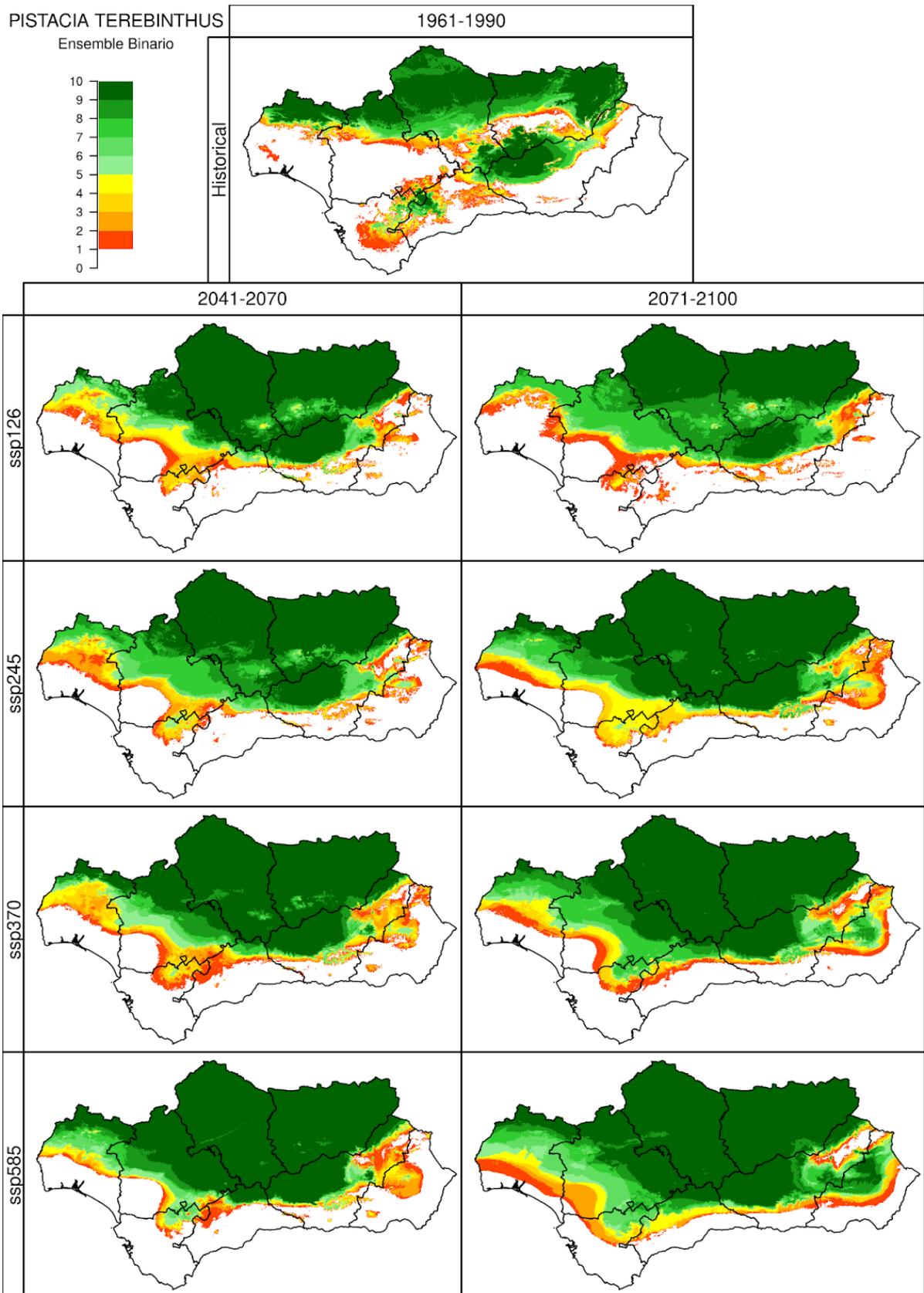


Figura 69.5. Idoneidad del territorio de *Pistacia terebinthus* (PTEREB), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

70. ROSMARINUS OFFICINALIS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Rosmarinus officinalis* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

Según *Flora Mayor*, el romero se detiene en el linde del clima árido, siendo de gran robustez y teniendo resistencia a fenómenos meteorológicos extremos. En el período histórico tanto Autoecología paramétrica como GAM presentan idoneidad en gran parte de Andalucía, siendo ambas coherentes con la distribución observada de la especie. Sin embargo, Autoecología paramétrica sobreestima en mayor medida la idoneidad de la especie en climas húmedos y fríos como pueden ser Sierra Nevada o Grazalema, cosa que no le pasa a GAM, que parece captar de mejor manera este aspecto.

A mitad de siglo ambas metodologías presentan tendencias distintas. Sierra Morena mantiene su idoneidad en GAM en los escenarios más optimistas, mientras que en los más graves finalmente su idoneidad termina siendo dudosa. Autoecología paramétrica en esta misma sierra presenta únicamente algunas montañas como refugio, desapareciendo casi en su totalidad idoneidad en los escenarios más graves. En Doñana Autoecología paramétrica presenta idoneidad tanto a mediados como a finales de siglo, al contrario que GAM. En cuanto a las cordillera béticas, ambos modelos presentan grandes manchas de territorio como idóneos, si bien difieren en que GAM presenta como idóneas Sierra de Cazorla y Sierra de Segura, y Autoecología paramétrica Sierra de las Nieves.

A finales de siglo, según GAM la idoneidad se ve reducida a la parte occidental de las Cordilleras Béticas, a excepción del escenario SSP1-2.6, donde la idoneidad se mantiene también en Sierra Morena. En Autoecología paramétrica también existen manchas de idoneidad en Sierra Morena en el escenario SSP1-2.6, pero al igual que GAM, se refugia en las cordilleras Béticas. Como pasaba a mediados de siglo, Autoecología paramétrica marca como idóneas la parte occidental de las cordilleras Béticas, mientras que GAM lo hace en la parte oriental. A medida que aumenta la gravedad de los escenarios, la idoneidad se refugia en Sierra Nevada y en los espacios marcados por cada metodología.

Ensemble se asemejaba a GAM en el período Historical. En los períodos futuros, los territorios en los que la mayoría de algoritmos están de acuerdo coinciden con la idoneidad marcada por Autoecología paramétrica y GAM. Sin embargo, ensemble presenta alta incertidumbre en espacios donde GAM predice presencia o ausencia de idoneidad con mucha seguridad.

Ambas metodologías mostraban ajustarse correctamente a la distribución observada de la especie y las características que se le atribuían. Es posible que GAM prediga lugares idóneos que no sean captados por Autoecología paramétrica, y que esta última prediga espacios en los que GAM no ha podido captar bien el carácter de la planta. Ensemble presenta resultados distintos a los dos, por lo que un estudio más detallado sería conveniente.

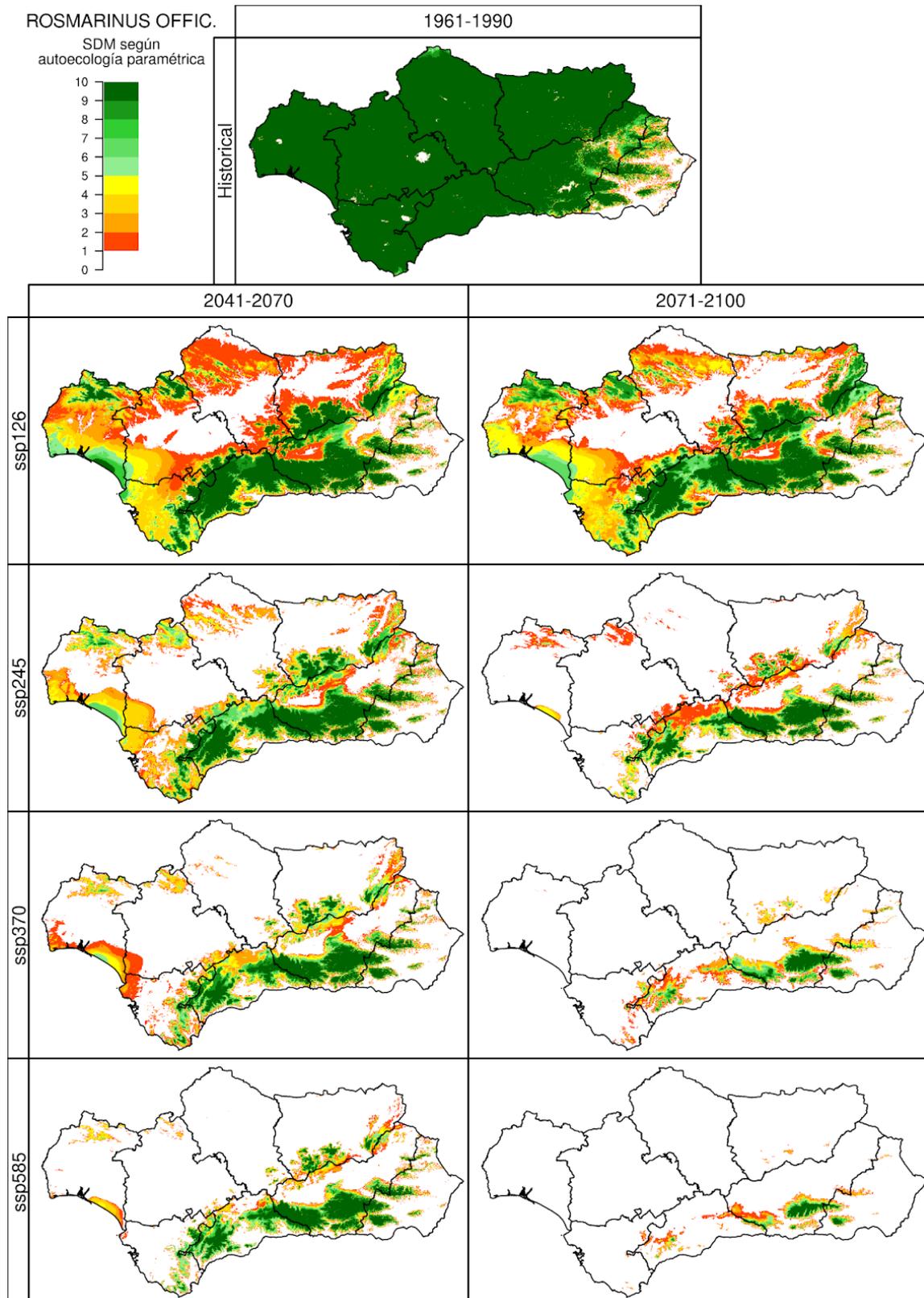


Figura 70.1. Índice de potencialidad de *Rosmarinus officinalis* (ROFFIC), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

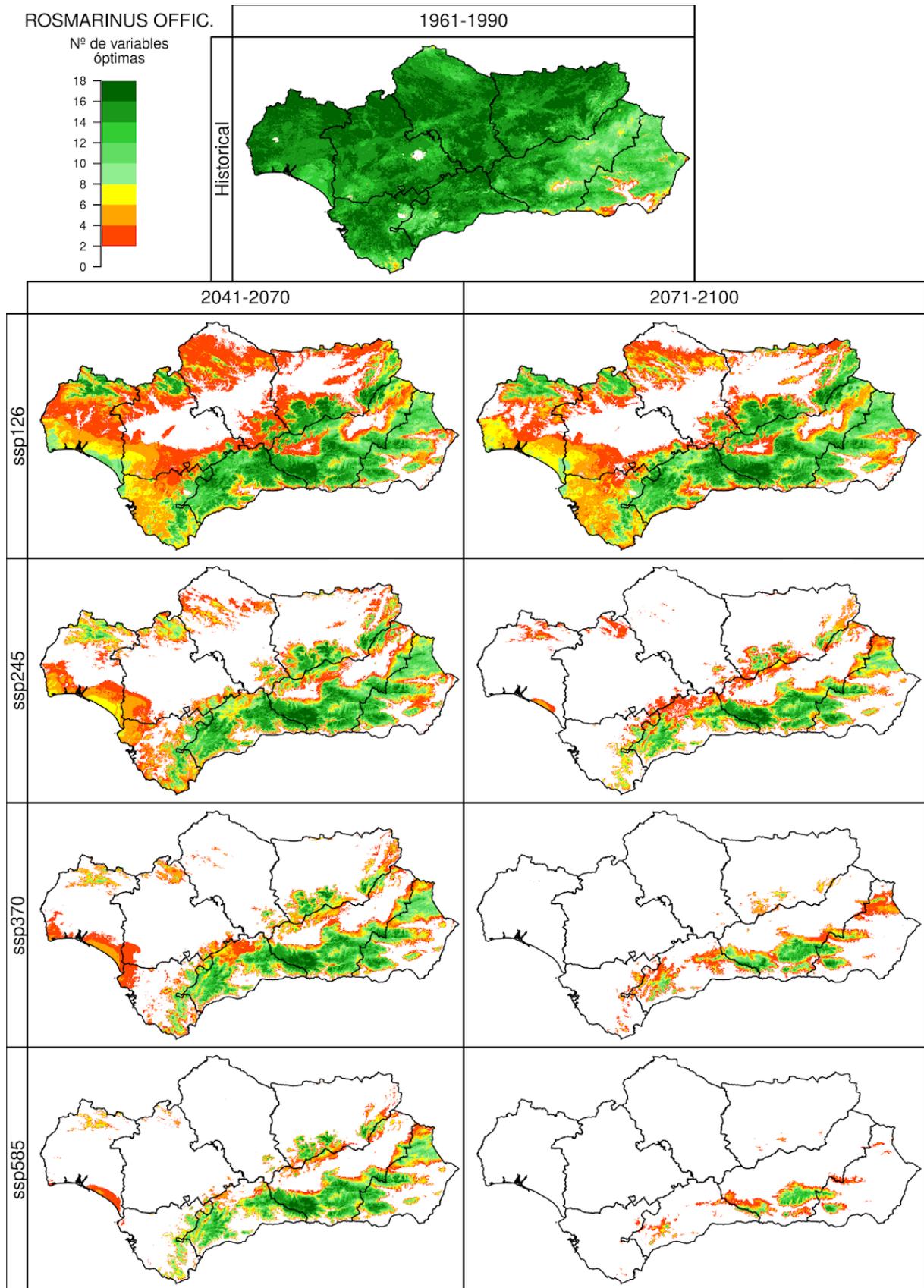


Figura 70.2. Número de variables óptimas de *Rosmarinus officinalis* (ROFFIC), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

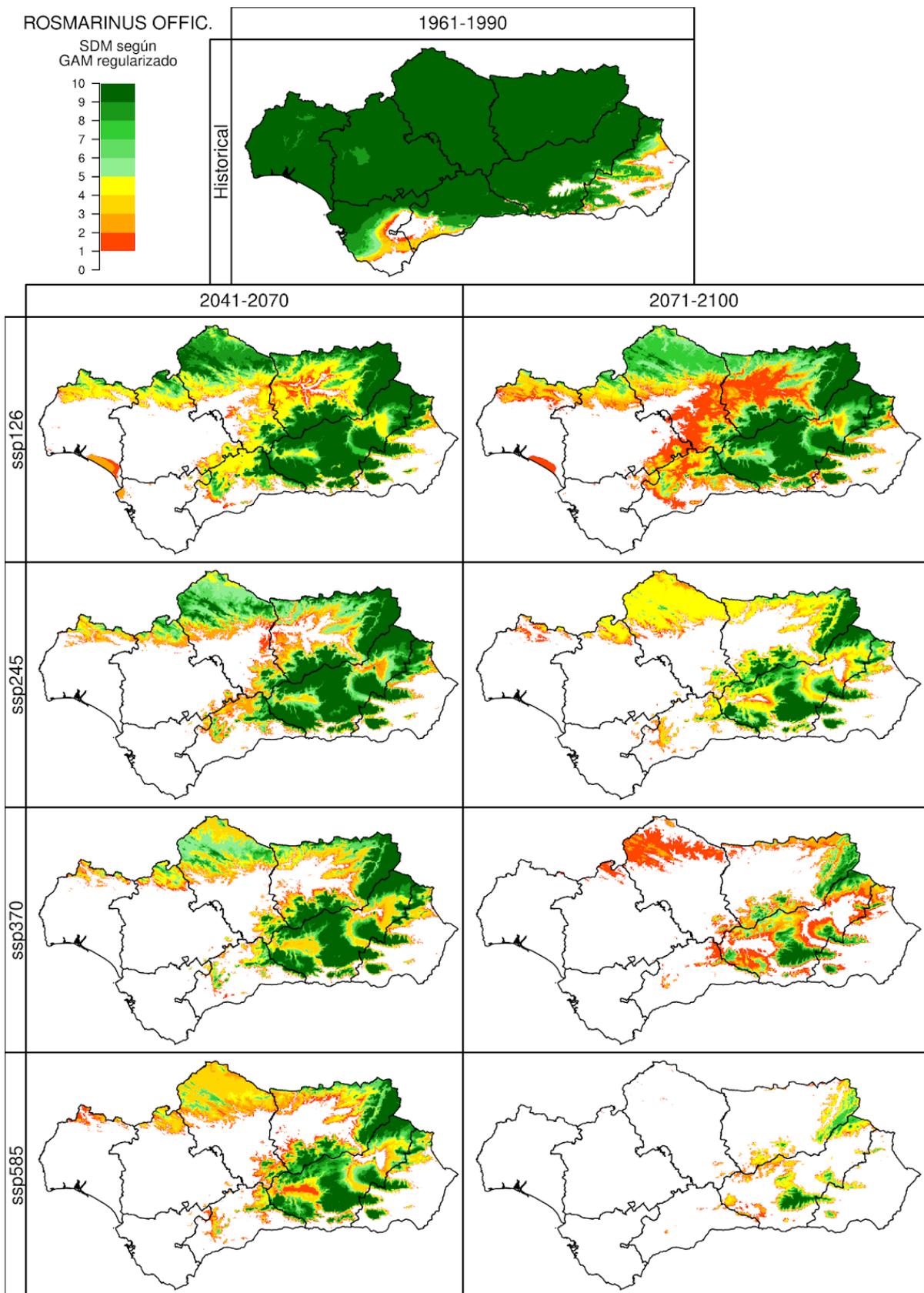


Figura 70.3. Idoneidad del territorio de *Rosmarinus officinalis* (ROFFIC), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

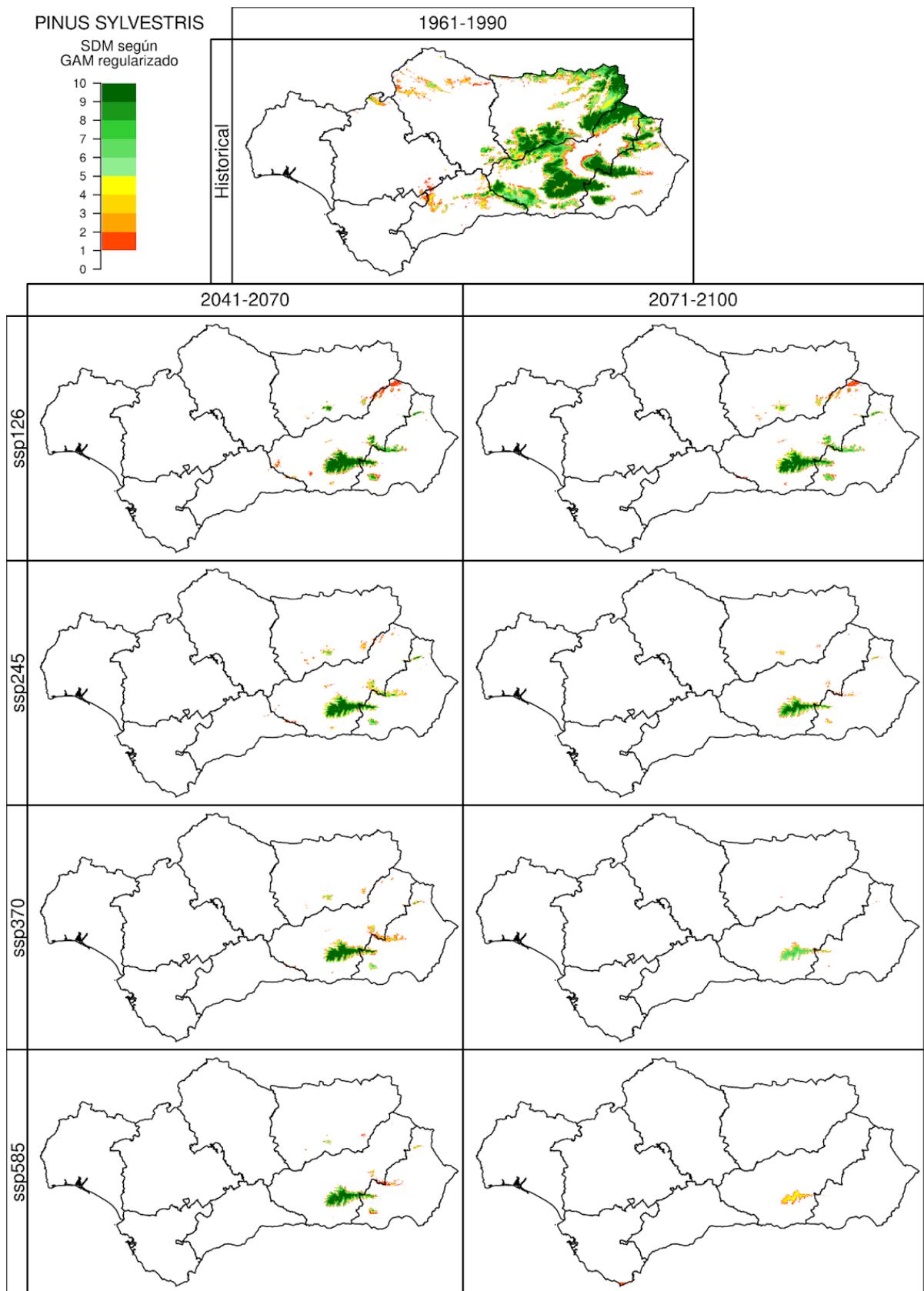


Figura 70.4. Idoneidad del territorio de *Rosmarinus officinalis* (ROFFIC), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensamble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

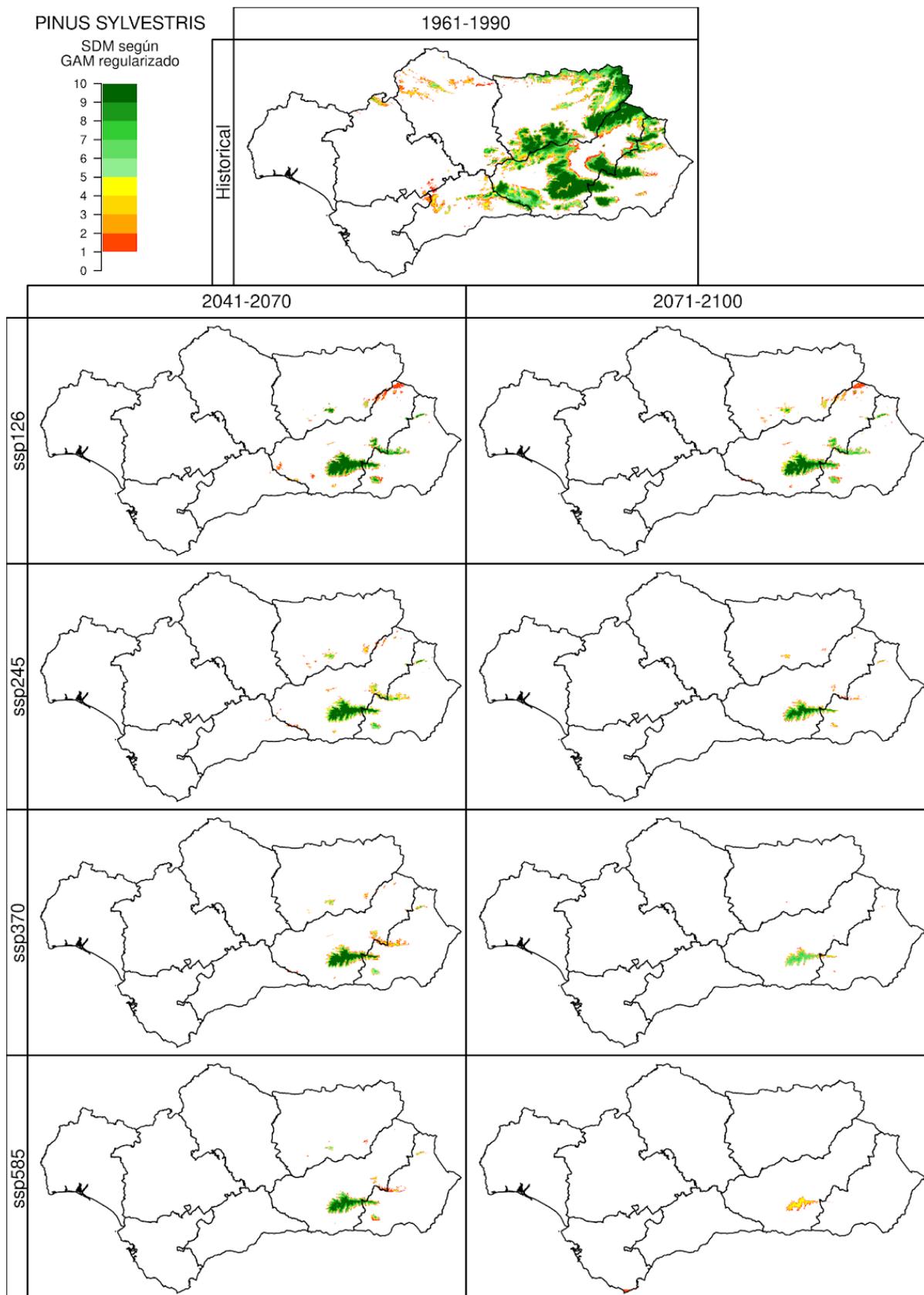


Figura 70.5. Idoneidad del territorio de *Rosmarinus officinalis* (ROFFIC), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

71. VIBURNUM TINUS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Viburnum tinus* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período histórico la Autoecología paramétrica presenta idoneidad en gran parte de Andalucía. GAM sin embargo predice como idóneo Sierra Morena, Sierra Cazorla y manchas cerca de Grazalema. GAM parece no haber captado correctamente el carácter de la especie, siendo no operativo.

En mitad de siglo según Autoecología paramétrica el durillo se mantiene en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5 tanto en Sierra Morena como la cordillera Bética, desapareciendo en los dos escenarios más graves. En estos escenarios la especie se ve reducida casi en su totalidad a la cordillera Penibética.

A finales de siglo Autoecología paramétrica presenta una estabilización entre los períodos temporales del escenario SSP1-2.6, manteniéndose la idoneidad en los territorios establecidos a mitades de siglo. También destaca el salto existente entre el SSP2-4.5 y SSP3-7.0, donde la idoneidad se ve muy reducida en los refugios de la cordillera Penibética. En los dos escenarios más graves, la idoneidad de la especie casi desaparece de la comunidad.

Ensemble se ajusta un poco mejor a la distribución observada que GAM en el período Historical, pero luego su evolución en el futuro es muy parecida. Destaca que muestra bastante parte de Sierra Morena con alta incertidumbre en los futuros escenarios.

En *Flora Mayor* se menciona que es una especie de clima mediterráneo con inviernos dulces. Esto se ve reflejado en que la especie no es idónea en espacios como Sierra Nevada o en Sierra de Cazorla ni en el período Historical ni en el futuro (muchas especies sí ascienden), acelerando su desaparición al no poder refugiarse en estos espacios. Habría que estudiar en mayor profundidad esta especie, si bien su tendencia a la desaparición de idoneidad es clara.

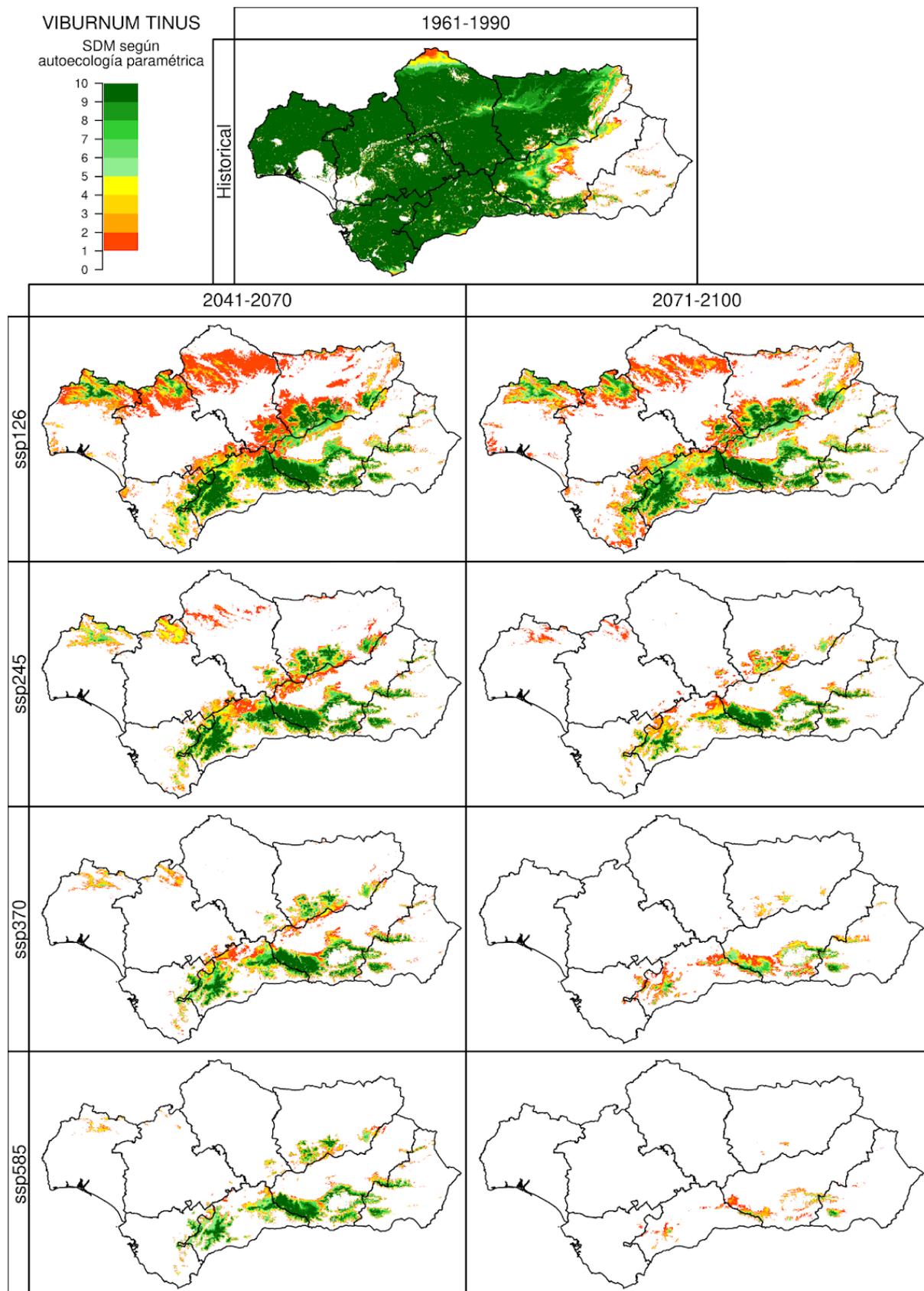


Figura 71.1. Índice de potencialidad de *Viburnum tinus* (VTINUS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

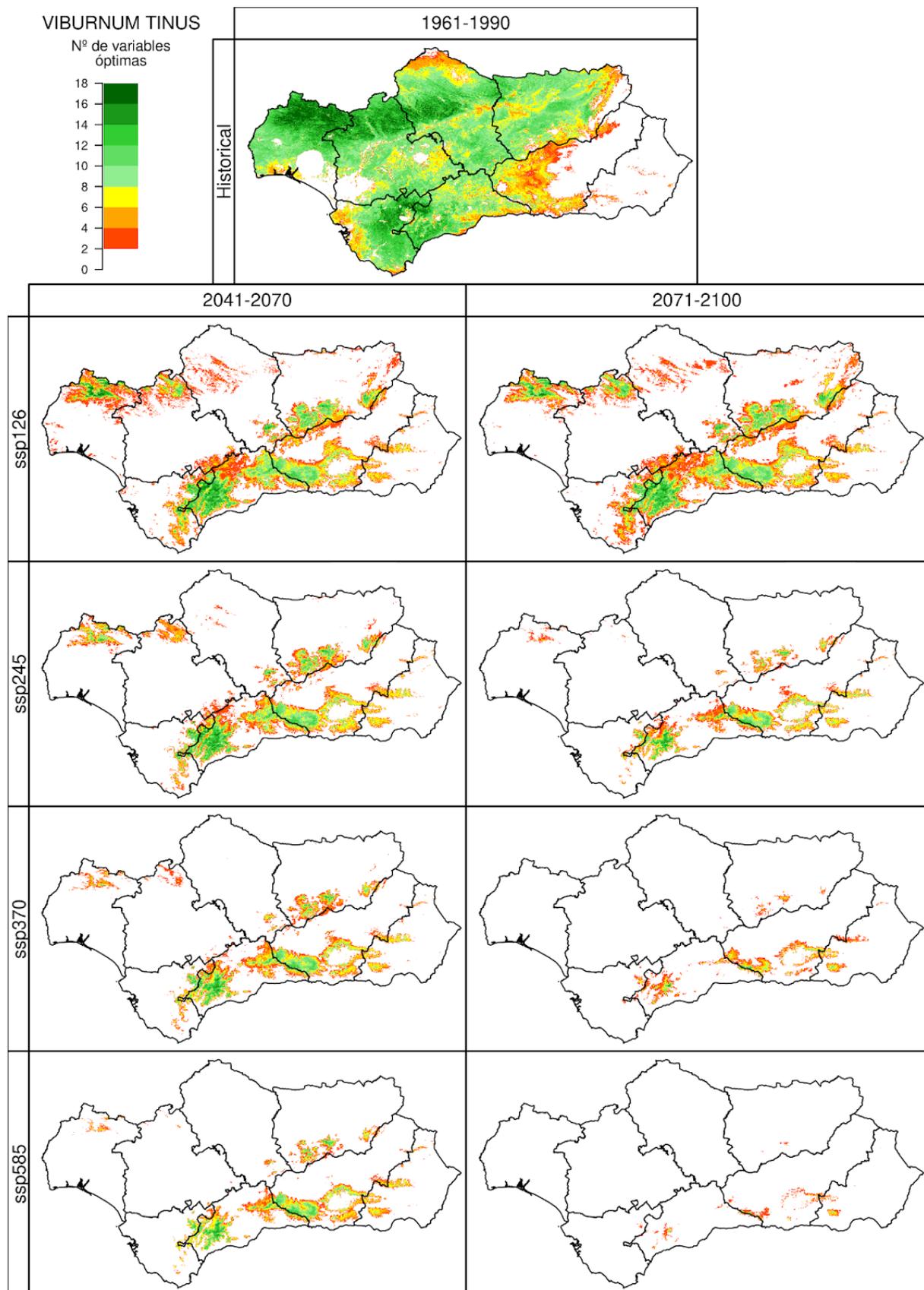


Figura 71.2. Número de variables óptimas de *Viburnum tinus* (VTINUS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

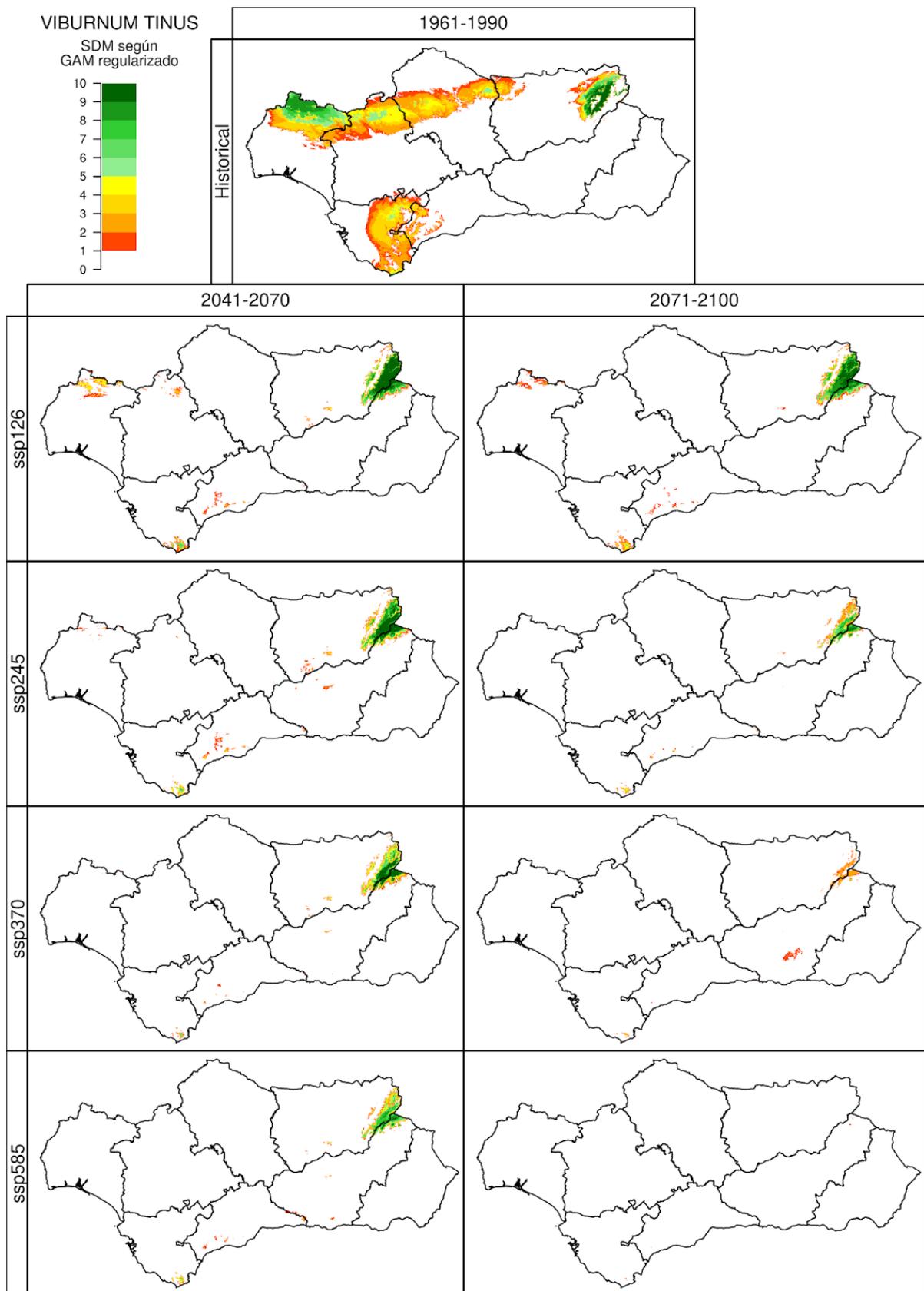


Figura 71.3. Idoneidad del territorio de *Viburnum tinus* (VTINUS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

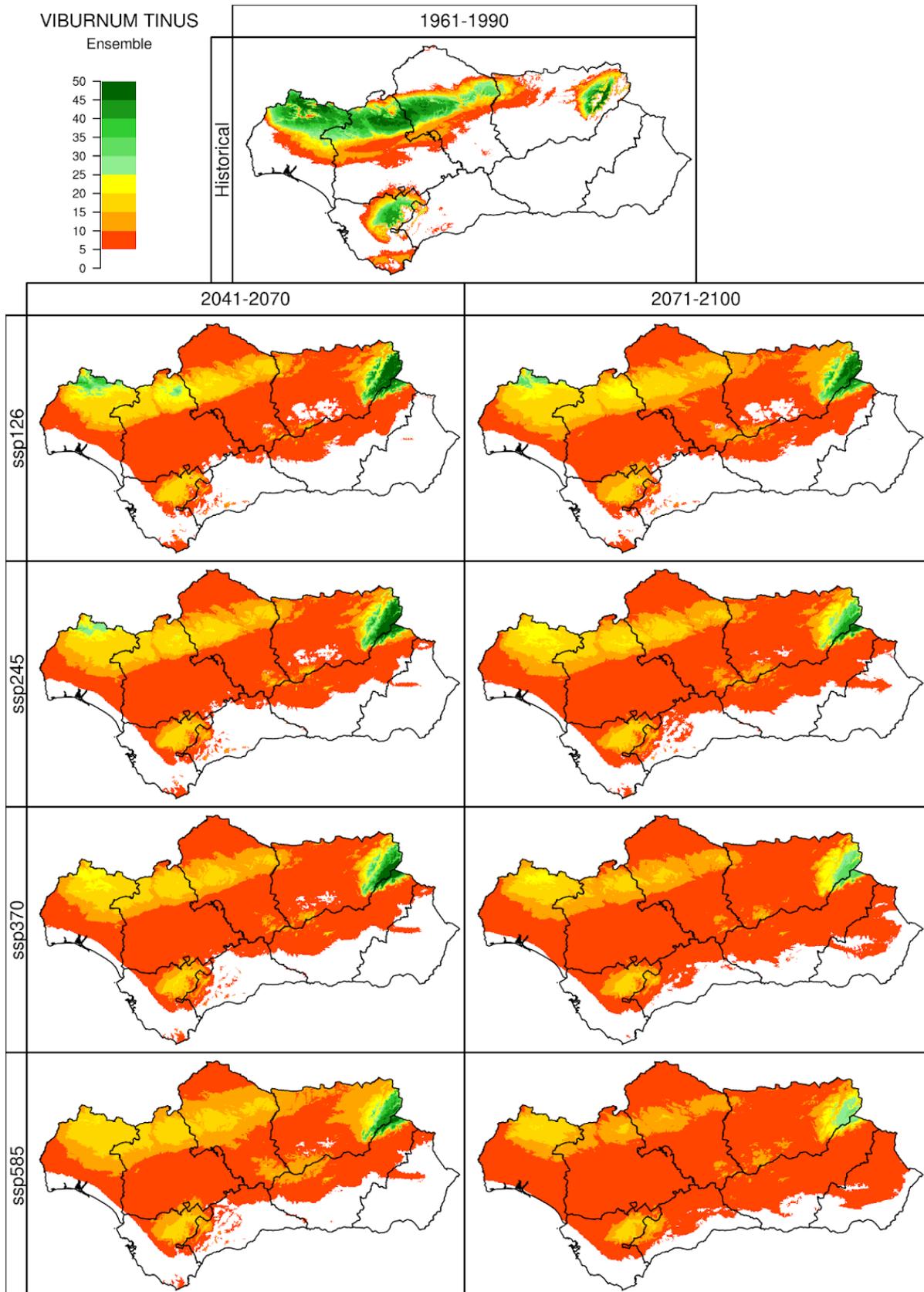


Figura 71.4. Idoneidad del territorio de *Viburnum tinus* (VTINUS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

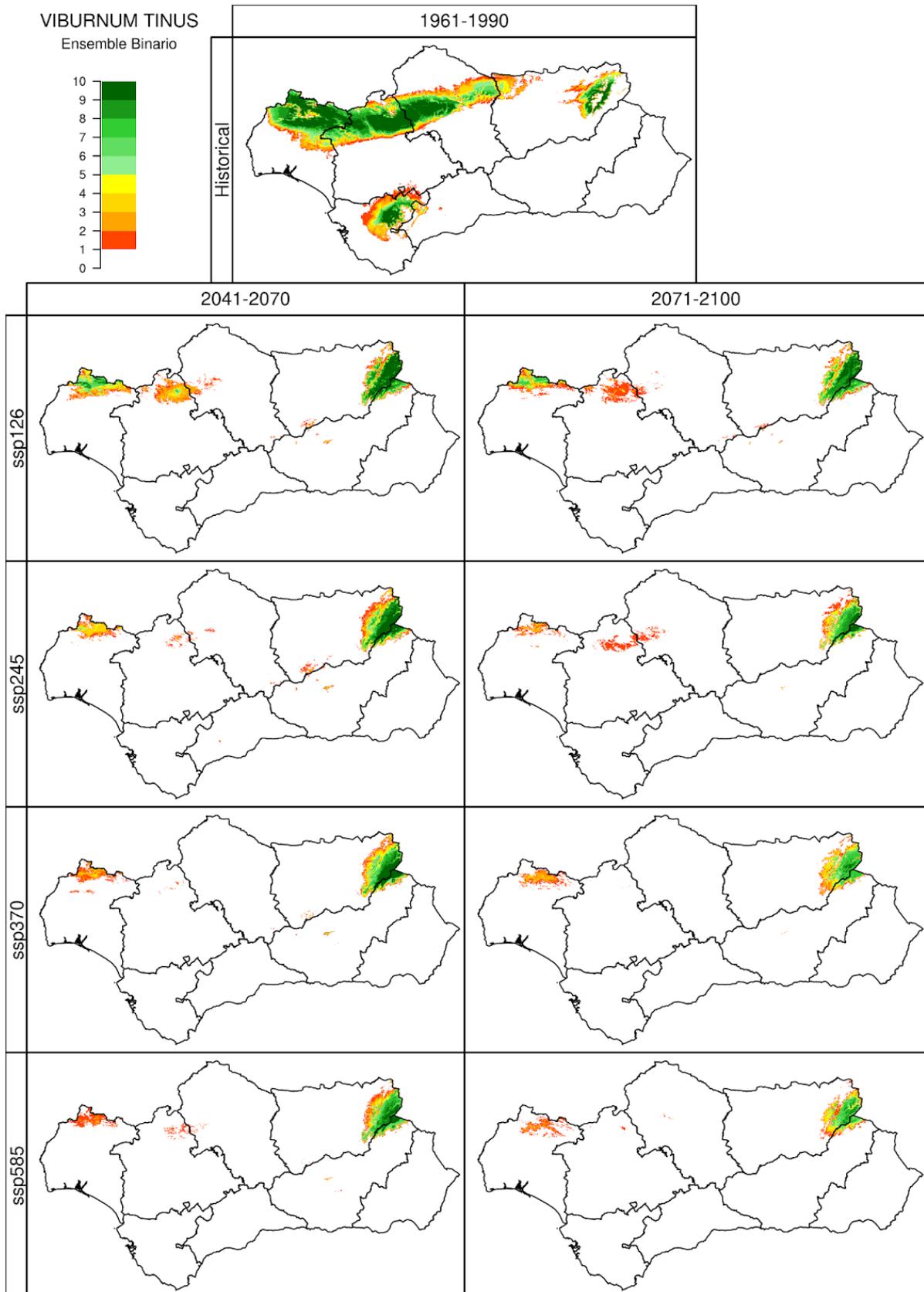


Figura 71.5. Idoneidad del territorio de *Viburnum tinus* (VTINUS), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

72. CELTIS AUSTRALIS: DISTRIBUCIÓN

Se muestran para *Celtis australis* L. los resultados obtenidos según Autoecología paramétrica (el índice de potencialidad y número de variables óptimas), GAM regularizado y ensemble.

En el período histórico, Autoecología paramétrica presenta idoneidad en gran parte de Andalucía. GAM sin embargo predice como idóneo Sierra Morena y la cordillera Subbética. Existen registros de presencia del almez dispersos por toda la comunidad. En *Flora mayor* se menciona con respecto a ella que se extiende espontáneamente por la región mediterránea, hallándose presente en todas las regiones y casi todas las comarcas de la Península Ibérica, más en el sur y en el este. Por estos dos motivos se podría concluir que GAM no está captando la idoneidad extensa de esta especie en la actualidad, siendo no operativo.

A mitad de siglo el Almez ve reducida su idoneidad según Autoecología paramétrica a las cordilleras Béticas, desapareciendo su idoneidad en Sierra Morena. Según aumenta la gravedad de los escenarios, la idoneidad se reduce hasta refugiarse en la Cordillera Penibética.

A finales de siglo Autoecología paramétrica presenta en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5 manchas reducidas en la cordillera subbética, desapareciendo en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 y refugiándose en la cordillera penibética.

Ensemble se asemeja a GAM en los territorios en que los 5 algoritmos están mayoritariamente de acuerdo.

El almez es una especie de una amplia distribución que es descrita en *Flora mayor* como un árbol que resiste bien al calor y algo menos al frío. Autoecología paramétrica presenta una trayectoria de disminución de idoneidad hasta refugiarse en Sierra Nevada en los escenarios más graves. Sin embargo, a mediados de siglo en el escenario SSP1-2.6 en ambos períodos futuros presentan manchas tanto en la cordillera Subbética como en Sierra Morena. Teniendo en cuenta el carácter restrictivo de Autoecología paramétrica, y el carácter de la especie, podría sospecharse que deben existir más territorios idóneos que se encuentran en las regiones marginales de la especie.

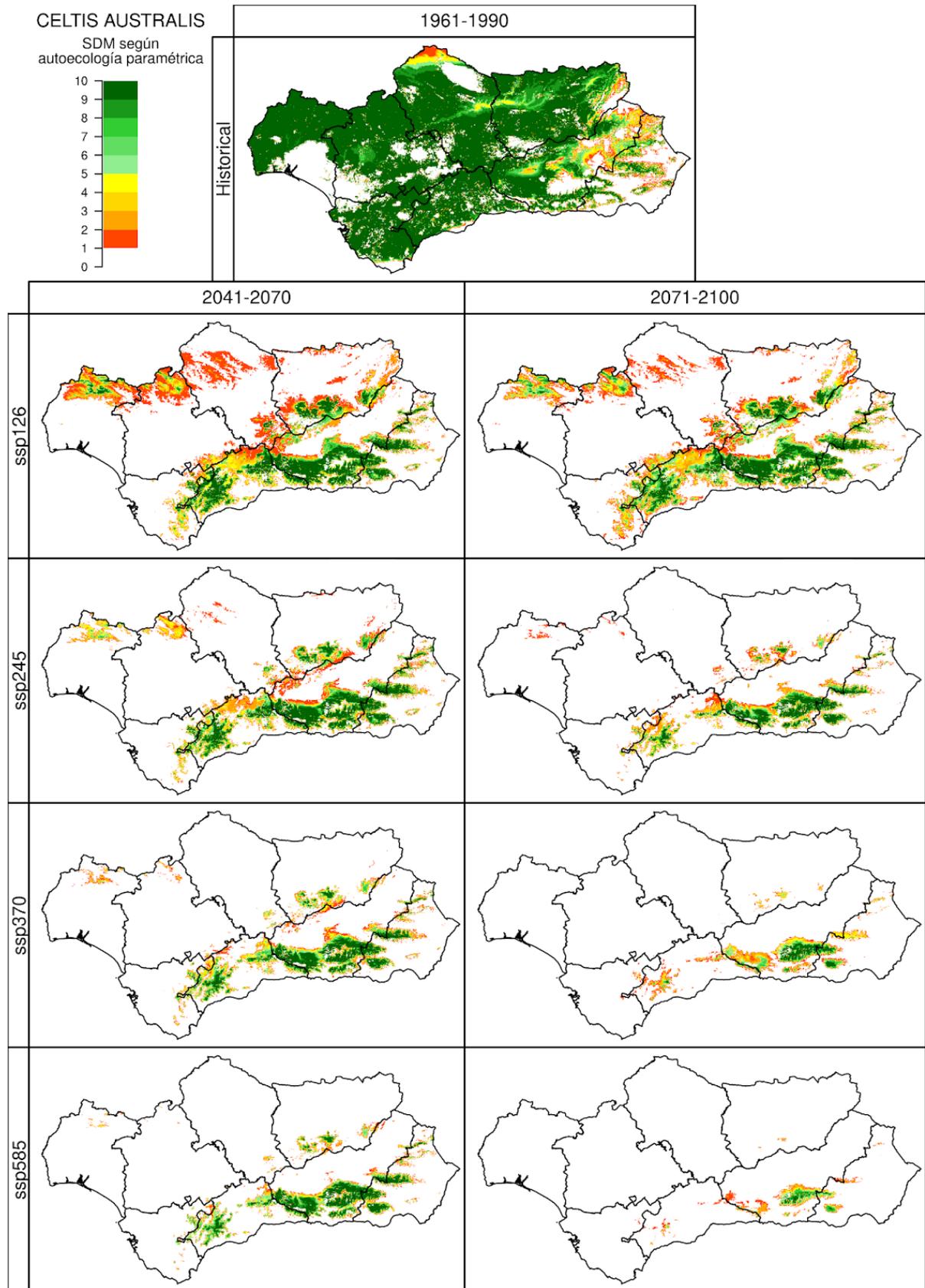


Figura 72.1. Índice de potencialidad de *Celtis australis* (CAUST), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

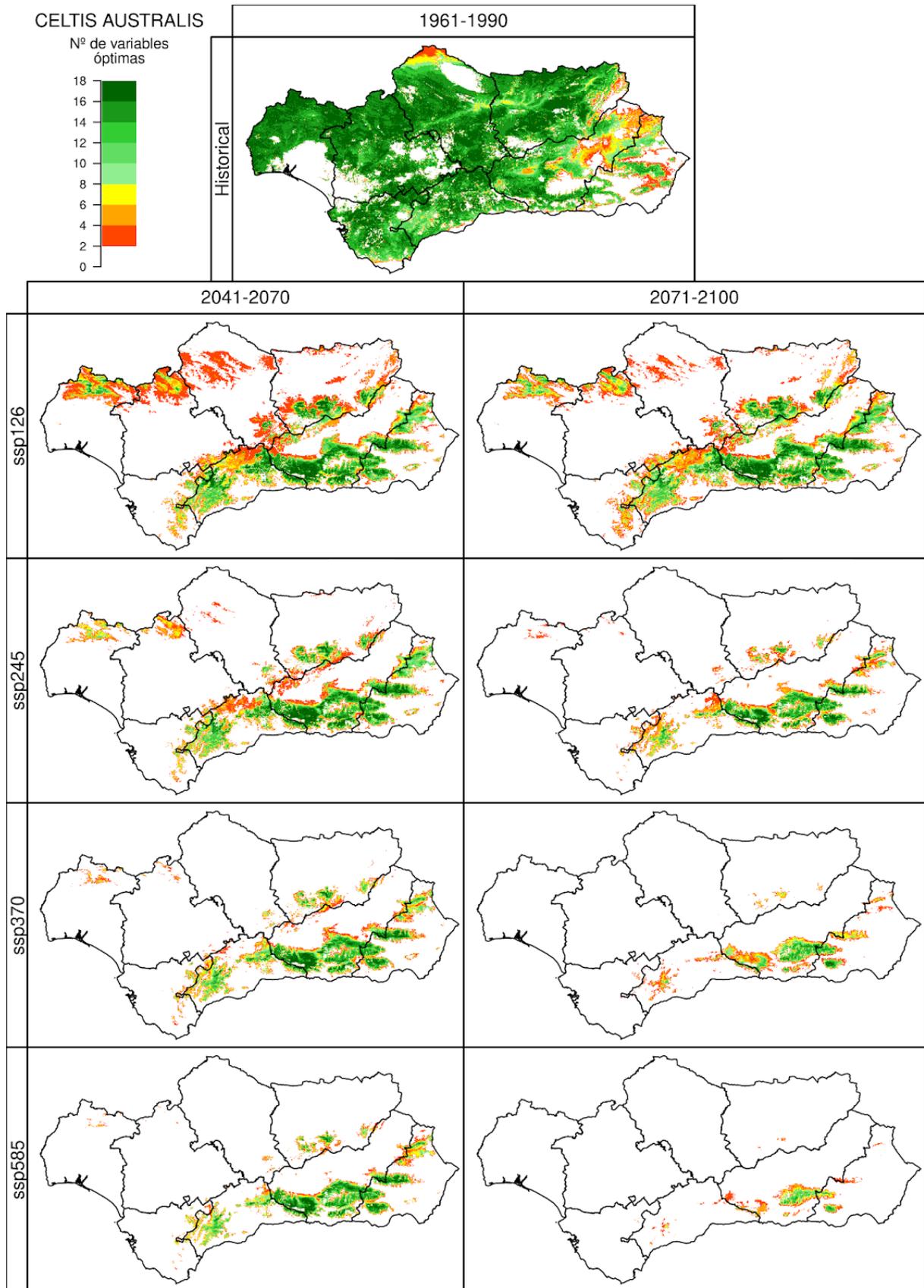


Figura 72.2. Número de variables óptimas de *Celtis australis* (CAUST), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

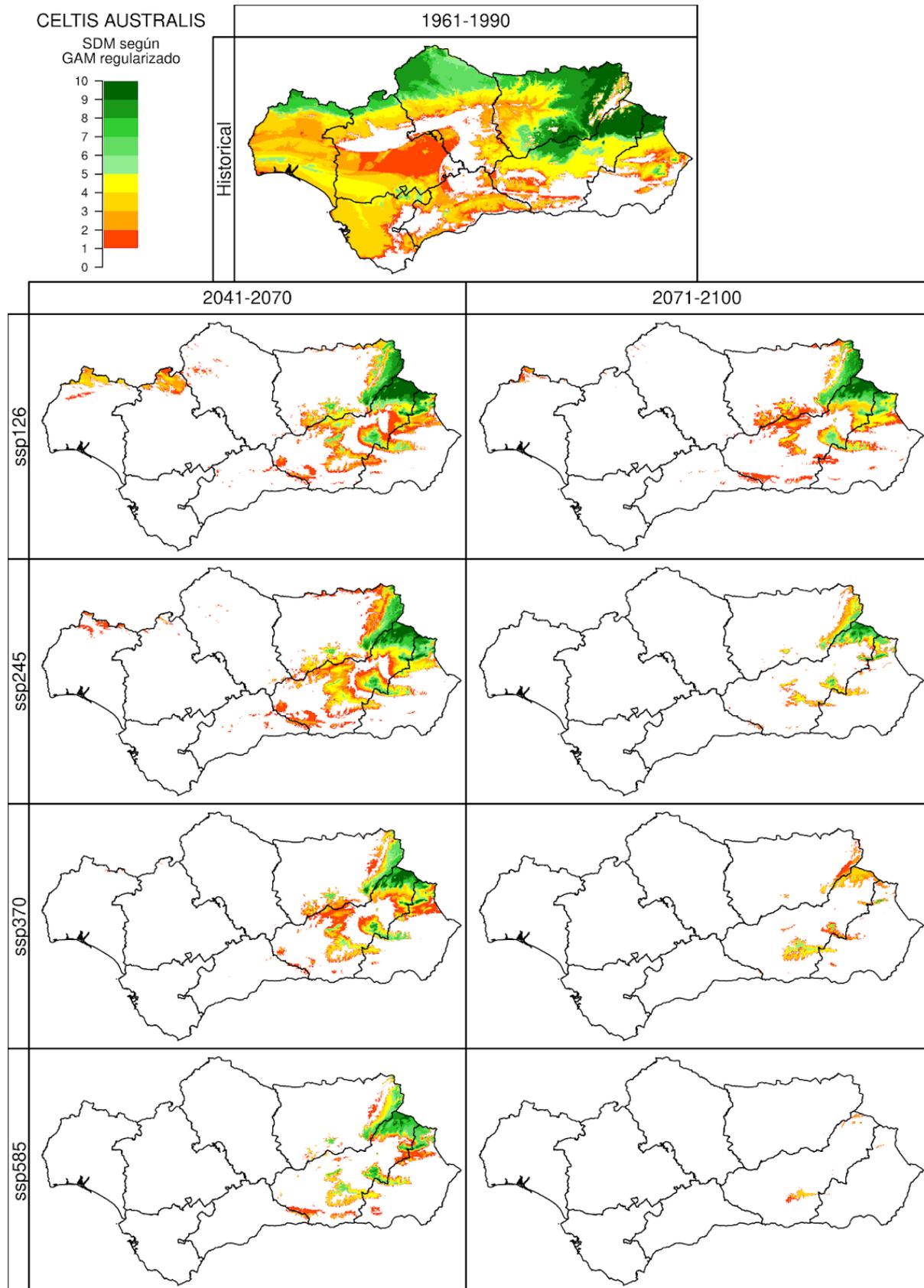


Figura 72.3. Idoneidad del territorio de *Celtis australis* (CAUST), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

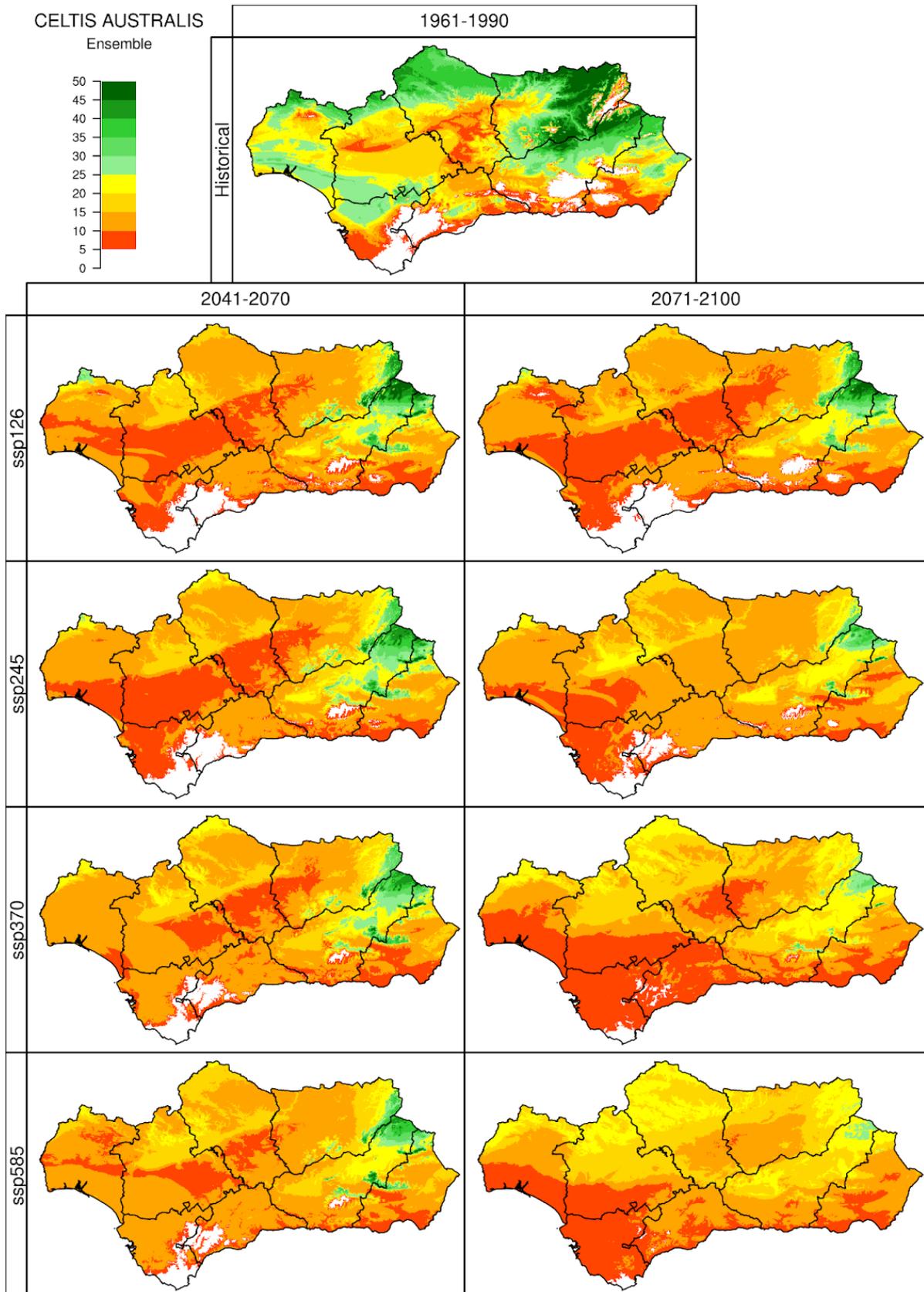


Figura 72.4. Idoneidad del territorio de *Celtis australis* (CAUST), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

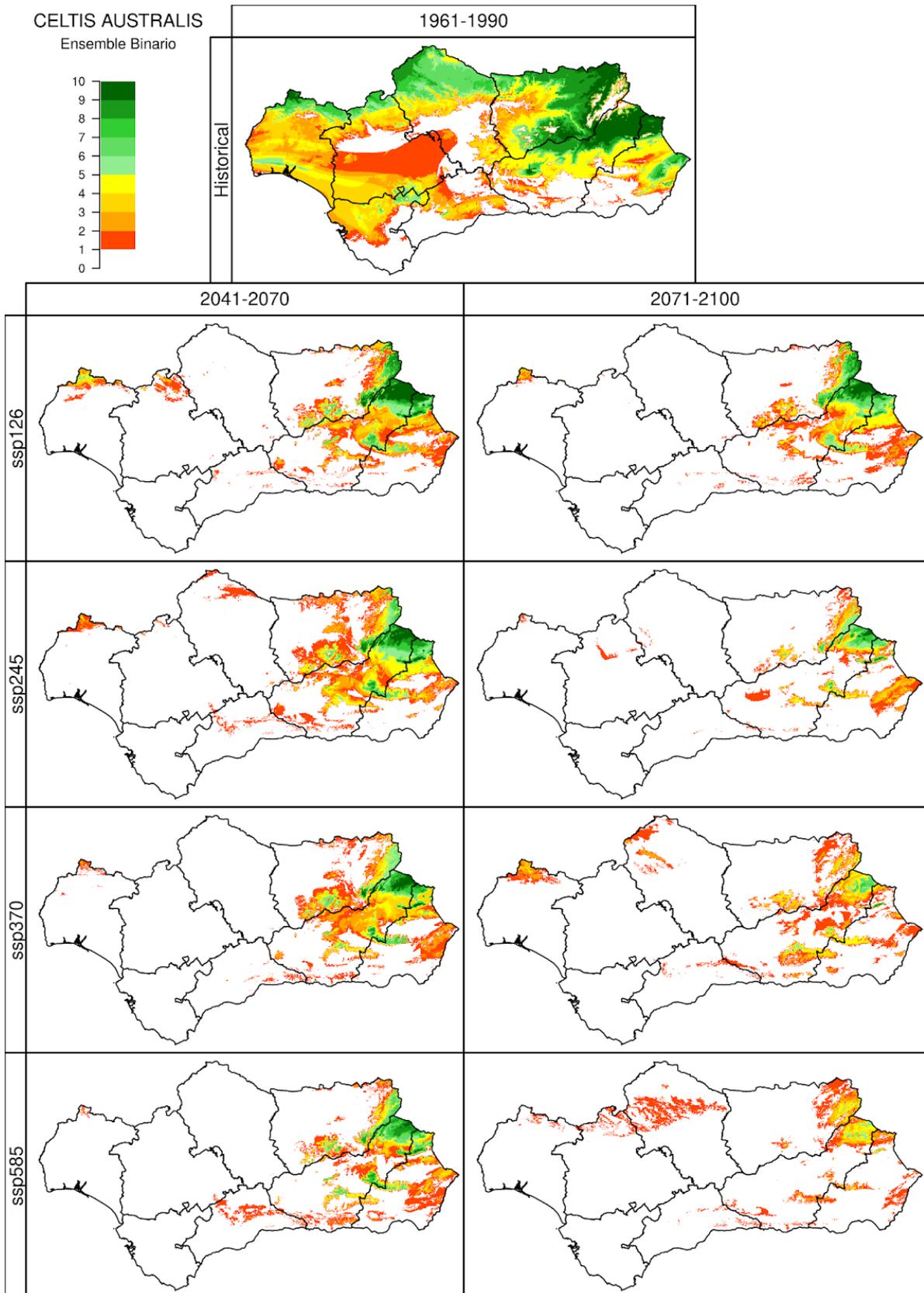


Figura 72.5. Idoneidad del territorio de *Celtis australis* (CAUST), para el periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), y los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales) según el voto mayoritario dado por los 5 algoritmos utilizados en ensemble. Las celdas con índice de potencialidad fueron valoradas como 1. Se muestra el número de modelos climáticos, de los 10 analizados en este proyecto, que simulan la idoneidad para la especie en ese píxel.

73. FACTOR DE DISPONIBILIDAD FOTOSINTÉTICA

Esta variable, otra de las muchas ya calculadas que relacionan la ETo y el BH, tiene grandes aplicaciones para el estudio de la vegetación y las condiciones bioclimáticas de las regiones. De forma similar al Potencial Fotosintético (variable 14), el Factor de Disponibilidad Fotosintética (DF) es una variable que relaciona la evapotranspiración y la humedad del suelo a través de la ETo y la ETr, junto a otros parámetros relacionados con el crecimiento vegetativo de las plantas como el fotoperiodo y la temperatura (mayor a 7.5°C y menor de 35°C) para determinar el número de horas útiles disponibles para ejercer la fotosíntesis.

Analizando la imagen del Historical, podemos visualizar fácilmente que aquellas zonas que cumplen todos los requerimientos (alta humedad siempre disponible - baja ETo - y un alto número de horas de sol) muestran los máximos valores del DF, correspondiéndose con las zonas con mayor cobertura y crecimiento vegetal: Sierra de Aracena (DF sobre 2900 h) y especialmente todas las serranías de Cádiz y Málaga, con valores superiores a 3200 h generalizados, y el máximo de 4380 h (máximo valor posible) en el Campo de Gibraltar. Los mínimos, como cabe esperar, cubren todas las zonas bajas de las provincias de Almería y Granada, sin exceder las 1700 h y con valores tan bajos como 300 h en el Valle del Almanzora y área metropolitana de Almería. El resto de la región se mueve entre las 1700 y 2600 h.

De forma similar también al PF, en el DF a futuro también apreciamos una dicotomía entre zonas con previsión de descensos y otras donde se esperan incrementos en su valor. El patrón observado es constante con el tiempo, con los incrementos cubriendo las cumbres más altas de Andalucía Oriental y Málaga, y los descensos distribuyéndose por toda la costa y Andalucía Occidental, con máximos en el Estrecho. La justificación es igual a la dada entonces en el PF; debido a la limitación que ponen los valores de temperatura, en aquellas zonas de cumbre donde los valores suelen quedar debajo de la horquilla, el calentamiento esperado aumentará la disponibilidad térmica del DF; en las zonas de descensos tanto el incremento de temperatura como la disminución de humedad en el suelo jugarán un papel en las disminuciones esperadas. Así:

- Para mediados de siglo tenemos pocos cambios entre los cuatro SSPs, mostrando descensos en las zonas ya mencionadas de unas -200/-400 h generalizados, llegando hasta -900 h en el Estrecho. Los aumentos en cumbres son leves, de unas +300 h, con un máximo puntual de +700 h en la Sierra de las Nieves.
- Para finales de siglo los dos primeros SSPs no muestran grandes diferencias, pero sí los últimos (SSP3-7.0 y SSP5-8.5). En estos dos últimos, los descensos se acentúan generalmente, desde los -400/-700 h en buena parte del territorio, llegando en Estrecho y Costa del Sol hasta los -1800/-2000 h. Los incrementos se mantienen en las cumbres sobre las +300 h, y se acentúan en las zonas más altas de Sierra Nevada hasta las +1000 h.

Como hemos dicho, incluso con la peculiaridad de las cumbres, todos los cambios previstos son coherentes con un futuro **más cálido donde la presencia de humedad en el suelo y su disponibilidad para la vegetación se verá reducida** paulatinamente con los años.

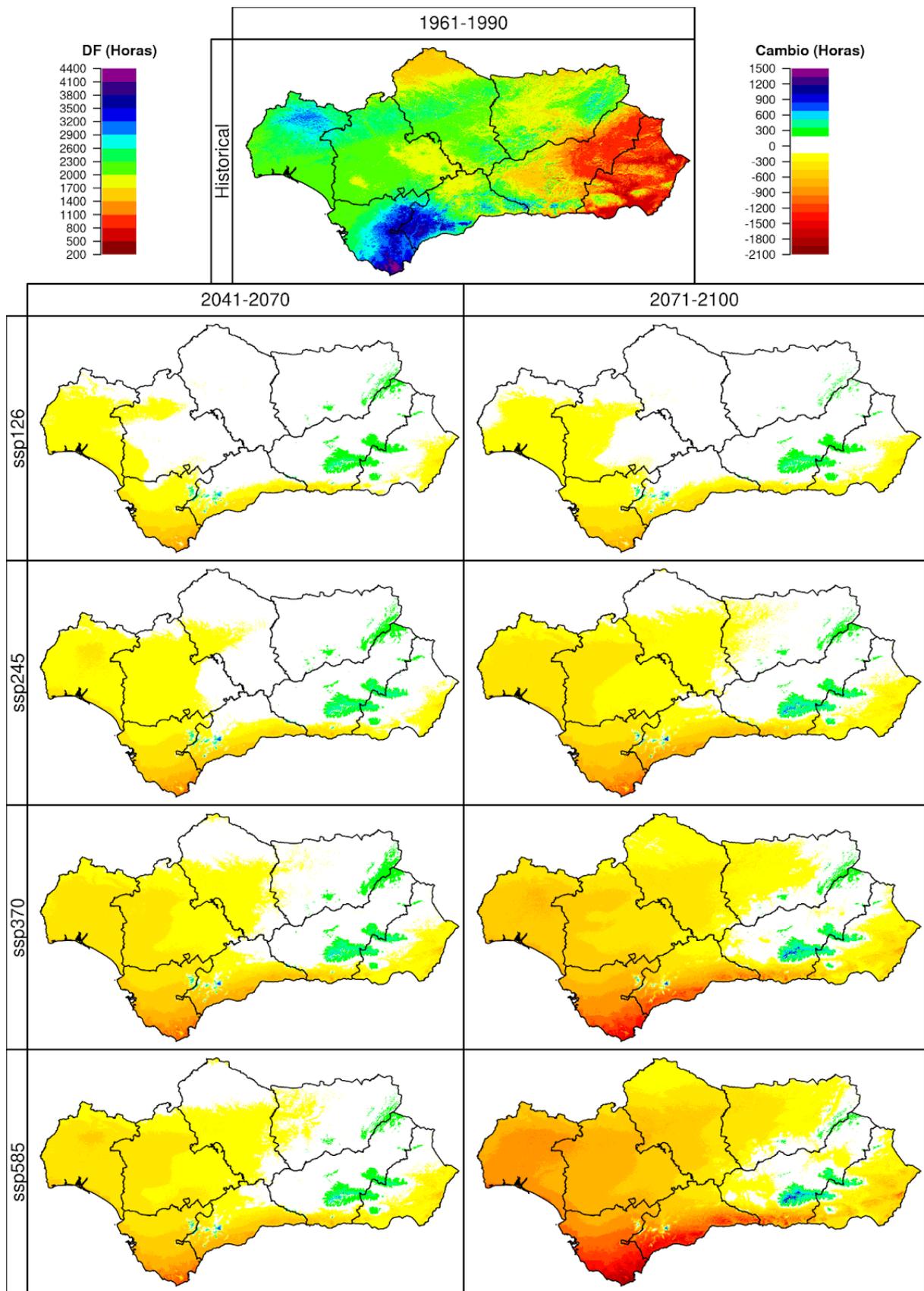


Figura 73.1. Variaciones en los valores del Factor de Disponibilidad Fotosintética (DF), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

74. ÍNDICES DE SEQUÍA: SPI

El Índice de Precipitación Estandarizado o SPI (por *Standard Precipitation Index*) es un índice de sequía que se obtiene teniendo en cuenta únicamente la precipitación y se define como un valor numérico que representa el número de desviaciones estándar de la precipitación caída a lo largo del período de acumulación de que se trate respecto de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal. Las escalas temporales utilizadas para calcular el índice SPI en este informe son las siguientes: 3, 6, 12, 24 y 60 meses. El SPI de x meses proporciona una comparación de la precipitación durante un periodo específico de esos meses con los totales de precipitación del mismo periodo de x meses para todos los años incluidos en el registro histórico. Dependiendo de lo que se quiera analizar, es conveniente utilizar una escala u otra.

En escala climática, no tiene sentido comentar el SPI del período histórico porque al comparar un período consigo mismo, el resultado da muy próximo a 0, de manera que este índice cobra sentido cuando se obtiene para períodos futuros en comparación con el histórico.

- Para mediados de siglo (2041-2070) tenemos pocos cambios entre los cuatro SSPs en los índices calculados entre 3 y 24 meses, con valores normales situados entre -0.5 y 0.5. Únicamente para el SPI calculado a 60 meses se muestra un ligero descenso, con valores de entre -0.5 y en la mayor parte del territorio en el SSP370.
- Para finales de siglo (2071-2100) el SSP1-2.6 no muestra ninguna diferencia y el SSP245 únicamente proyecta ligeros descensos de entre -0.5 y -1 en el caso del SPI a 60 meses. Los escenarios SSP370 y SSP585 muestran descensos en los índices de 3 a 24 meses de entre 0.5 y 1 unidades. Para el SPI a 60 meses, los valores se sitúan para estos dos escenarios entre -1 y -1.5 en la mayor parte del territorio, pudiéndose alcanzar valores de entre -1.5 y -2 en algunas zonas de la costa de Málaga y Huelva.

Estos resultados, como ya se ha comentado, únicamente tienen en cuenta la variación de la precipitación media para evaluar las sequías. Para obtener una visión más completa de la situación, conviene analizar también el índice SPEI, que además de tener en cuenta la precipitación considera la temperatura a través de la Evapotranspiración potencial para el cálculo del índice.

74.1 SPI A 3 MESES

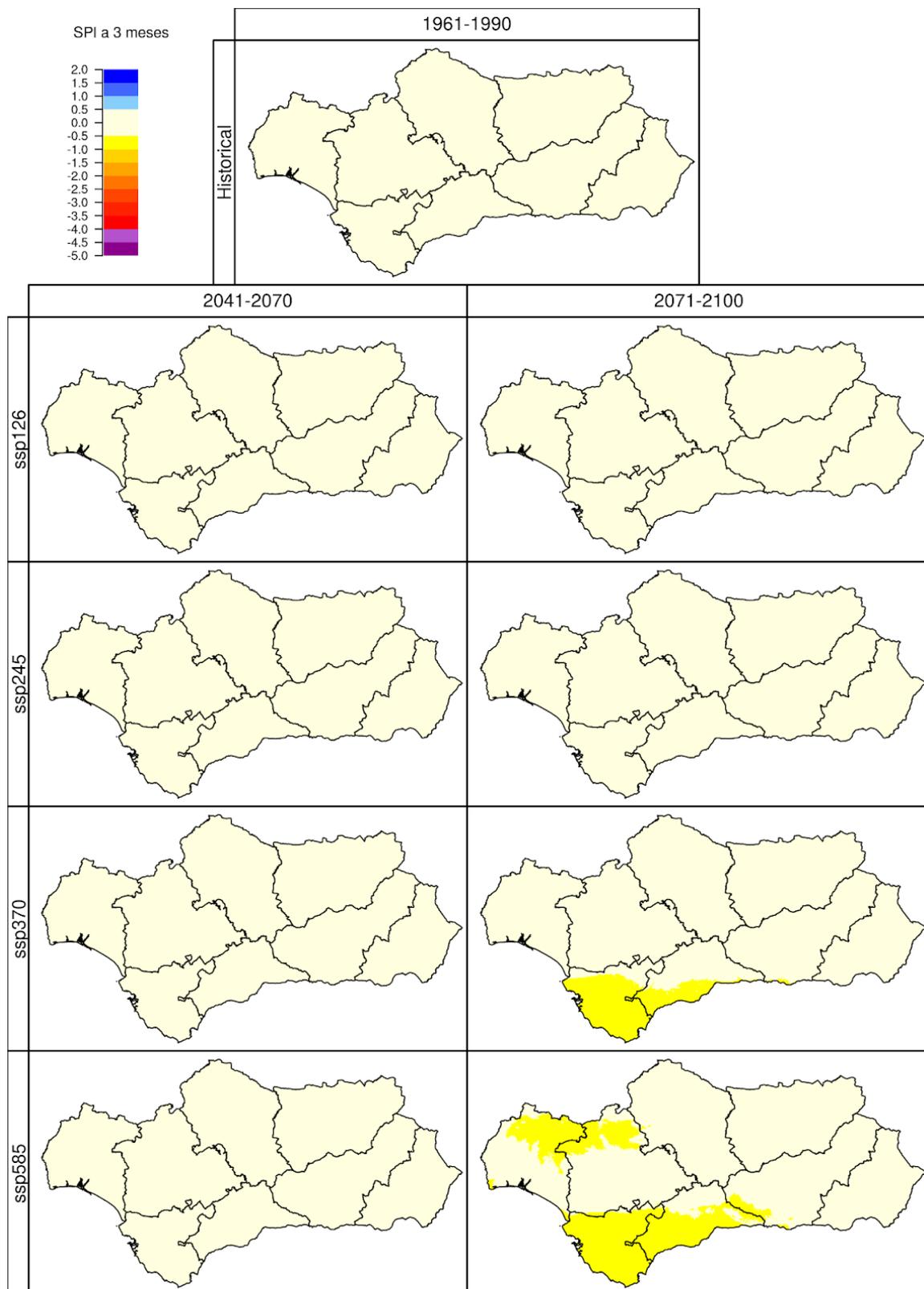


Figura 74.1. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPI a 3 meses (SPI3), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

74.2 SPI A 6 MESES

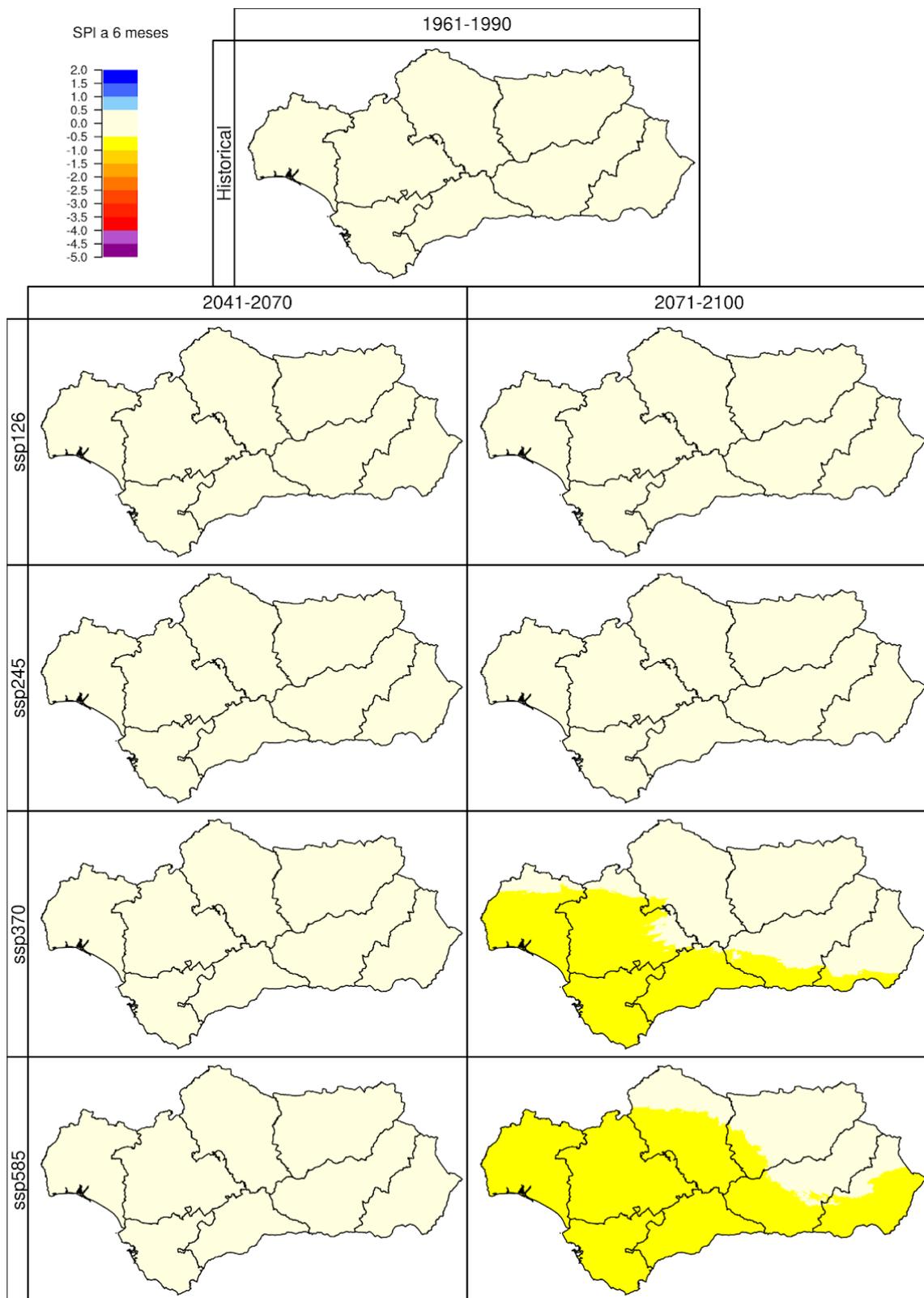


Figura 74.2. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPI a 6 meses (SPI6), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

74.3 SPI A 12 MESES

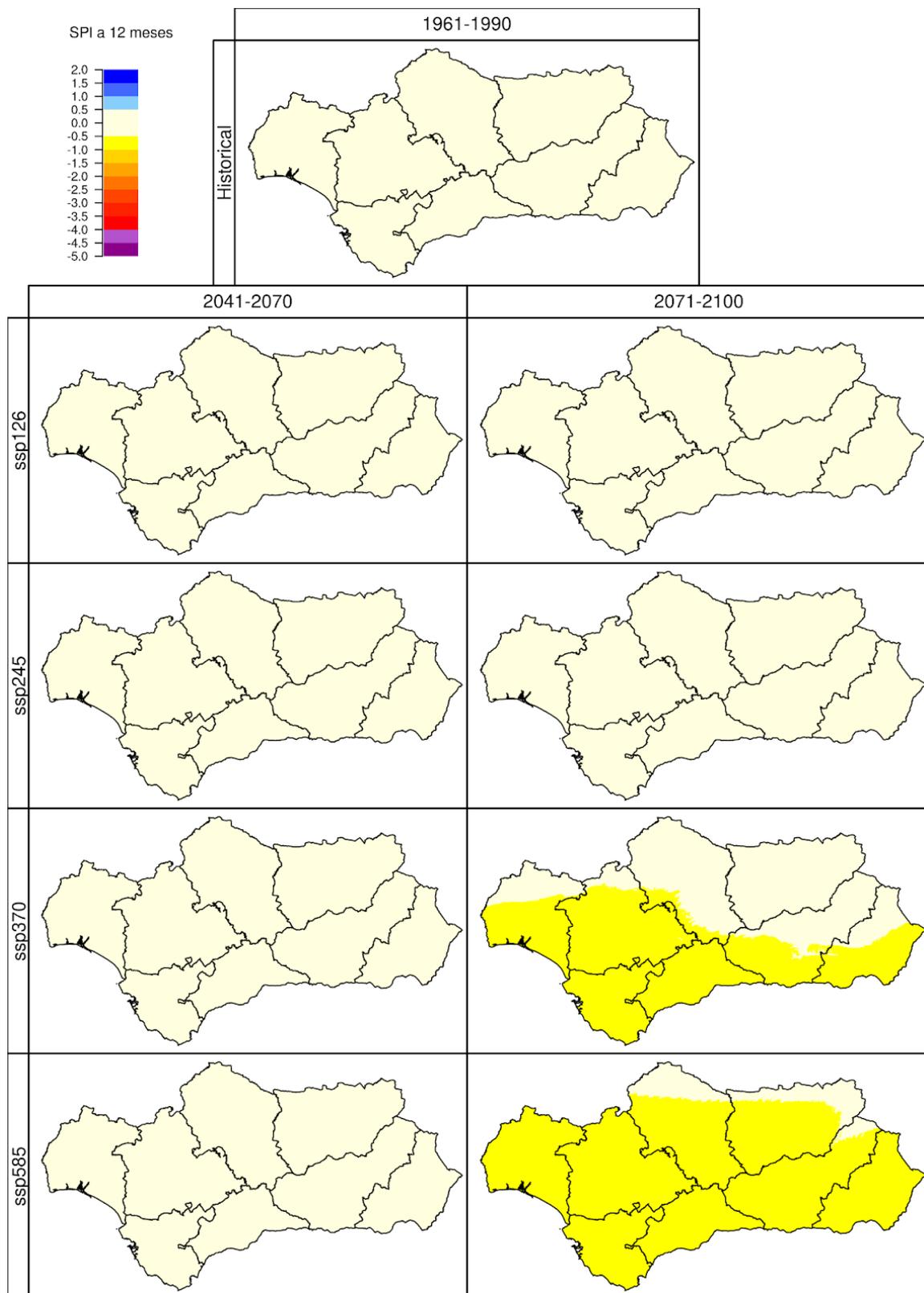


Figura 74.3. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPI a 12 meses (SPI12), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

74.4 SPI A 24 MESES

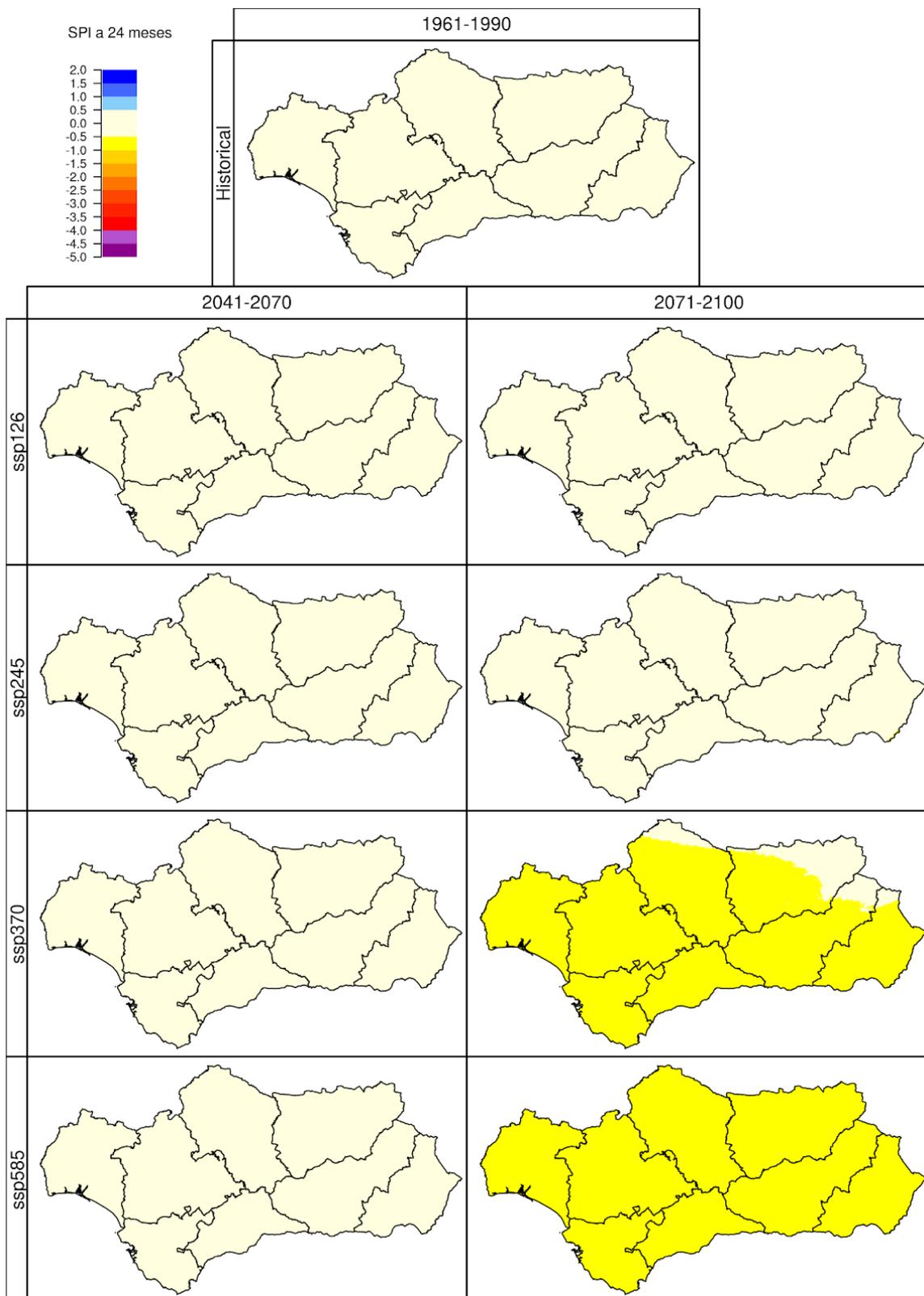


Figura 74.1. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPI a 24 meses (SPI24), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

74.5 SPI A 60 MESES

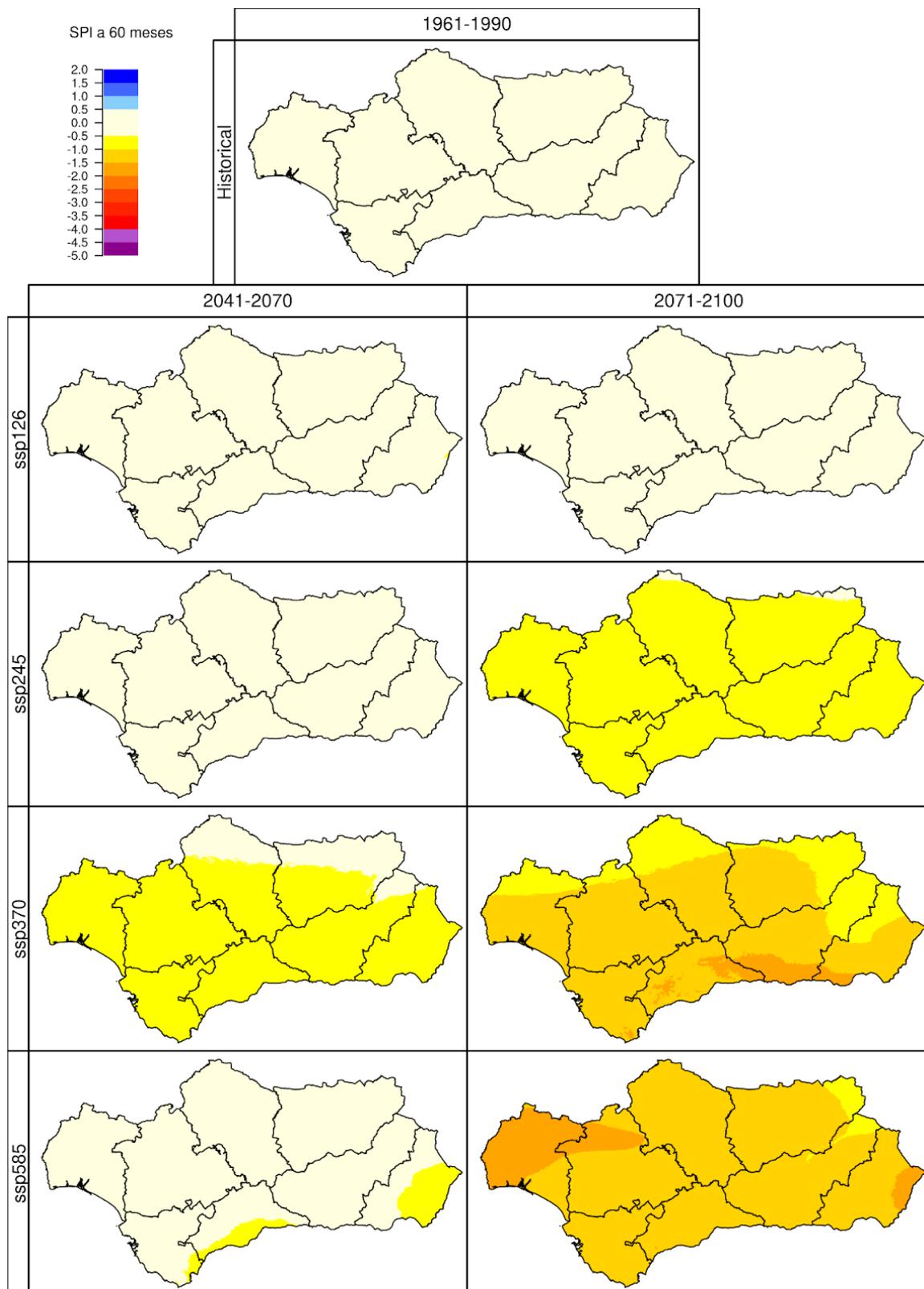


Figura 74.5. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPI a 60 meses (SPI60), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

75. ÍNDICES DE SEQUÍA: SPEI

El SPEI (por *Standard Precipitation-Evapotranspiration Index*) es un índice de sequía que está diseñado para tener en cuenta tanto la precipitación como la evapotranspiración potencial para cuantificar la sequía. A diferencia del SPI, el SPEI capta el impacto potencial del aumento de la temperatura sobre la sequía. Este índice también se ha calculado para cinco escalas temporales diferentes: 3, 6, 12, 24 y 60 meses.

Como ya se comentó en el caso del SPI, en escala climática no tiene sentido tampoco comentar el SPEI del período histórico porque los valores dan muy próximos a 0 al compararse un período consigo mismo.

- Para mediados de siglo (2041-2070) se observa que, para todas las escalas temporales, la tendencia del índice es hacia valores negativos en todo el territorio, es decir, la tendencia es a aumentar las sequías, especialmente si se tienen en cuenta escalas temporales más largas. Para escalas de 3 a 12 meses, el índice aún presenta valores situados entre -0.5 y -1.5 (sequía ligera a moderada), mientras que para escalas de 24 y 60 meses, en general los valores se sitúan entre -1 y -2 (sequía moderada a severa). En todos los escenarios y en todas las escalas, la zona menos afectada por la sequía sería el Campo de Gibraltar (valores de -0.5 a -1) mientras que la zona más afectada sería Almería y el interior-norte de Granada, con valores que en escalas de 24 y 60 meses podrían situarse entre -2 y -2.5. El resto de zonas del territorio andaluz tiene valores intermedios.
- Para finales de siglo (2071-2100) el patrón es similar: tendencias del índice hacia valores más negativos (sequías más extremas), menor afectación en la zona de Campo de Gibraltar, y mayor afectación en la parte oriental de la Comunidad Autónoma, en especial en las provincias de Almería y Granada. Los escenarios más optimistas (SSP126 y SSP245) proyectan resultados muy parecidos a los que se esperan para mitad de siglo, pero los pesimistas (SSP370 y SSP585) agudizan mucho la tendencia: en escalas cortas (3 y 6 meses) el SPEI ya bajaría hasta valores de -1.5/-2 en gran parte del territorio (sequía severa); a 12 y 24 meses los valores del índice serían inferiores a -2 (sequía extrema) en todo el territorio salvo en el sur de Cádiz, y zonas de Almería podrían alcanzar valores de hasta -3. La situación más extrema se daría a una escala temporal de 60 meses: valores inferiores a -3 en todo el territorio excepto en la provincia de Cádiz y valores extremos de hasta -4 en numerosas zonas del interior.

75.1 SPEI A 3 MESES

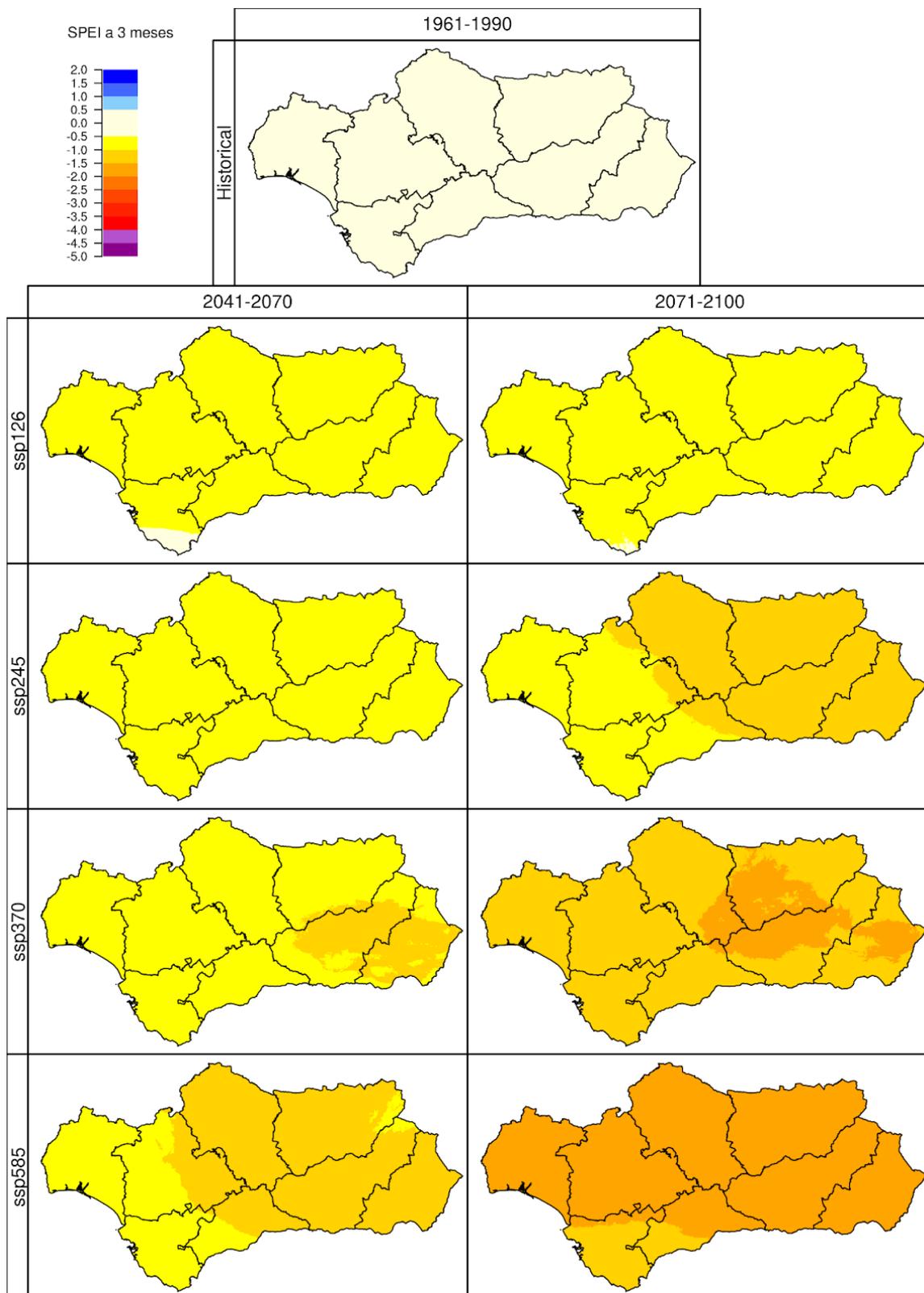


Figura 75.1. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPEI a 3 meses (SPEI3), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

75.2 SPEI A 6 MESES

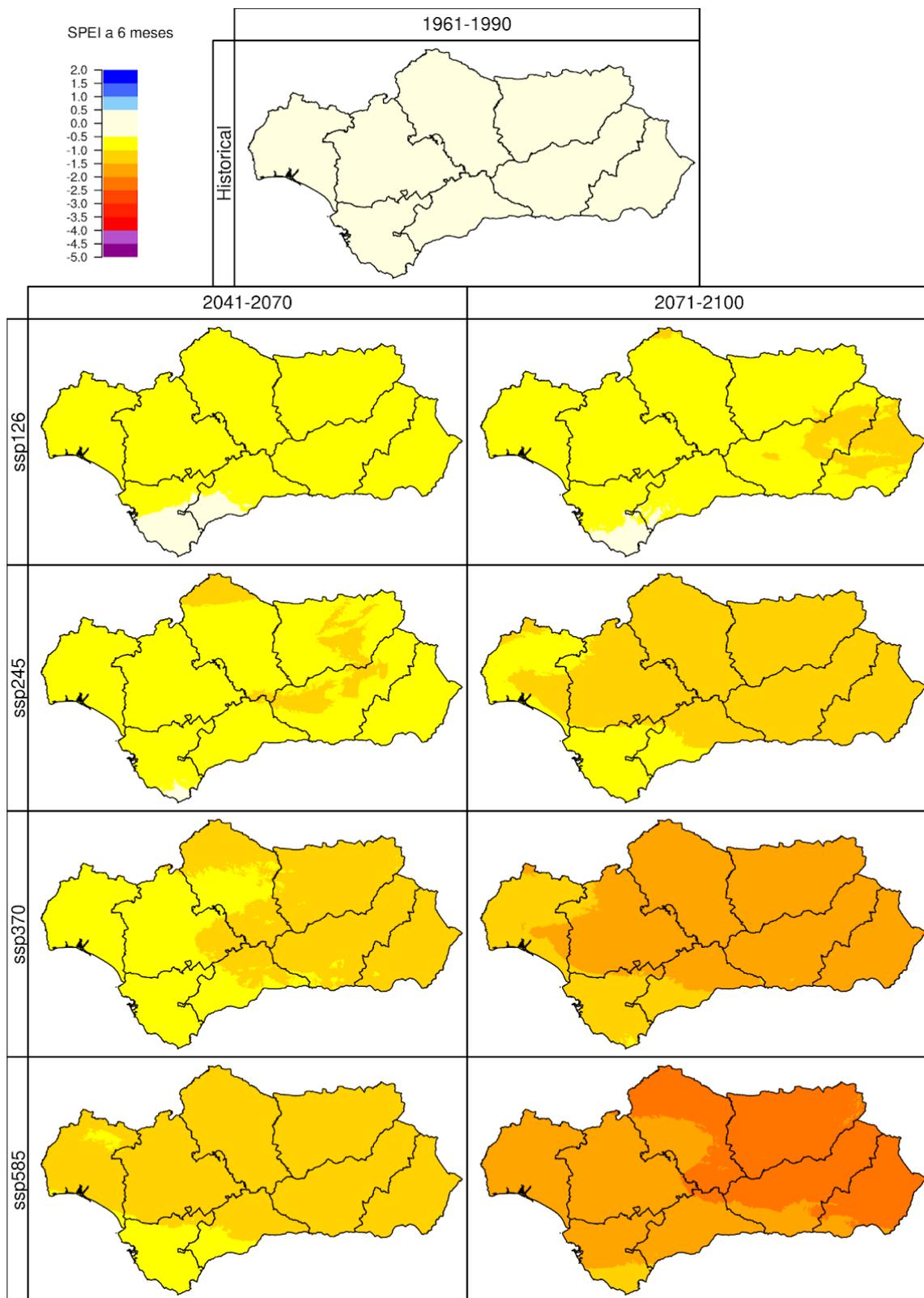


Figura 75.2. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPEI a 6 meses (SPEI6), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

75.3 SPEI A 12 MESES

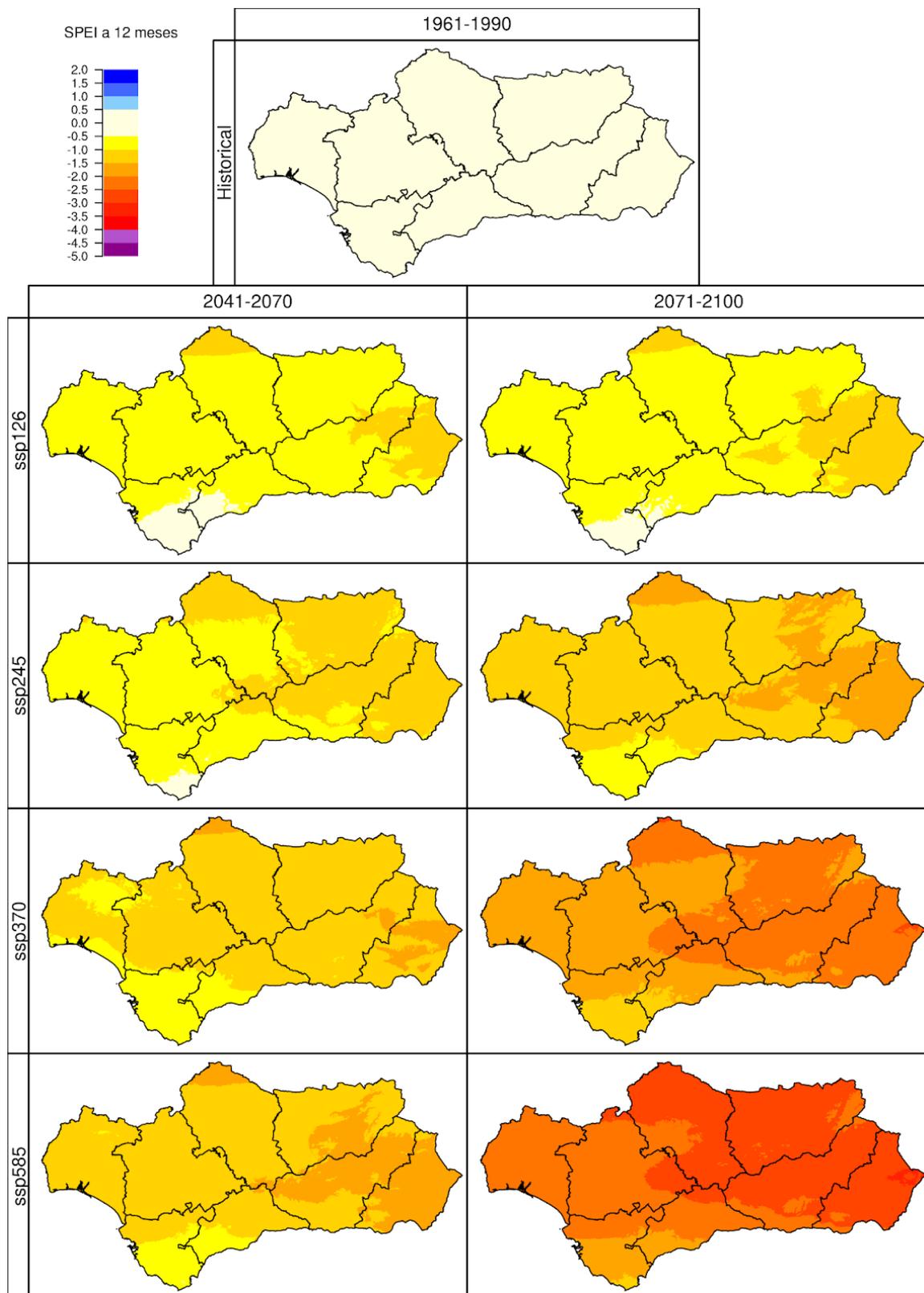


Figura 75.3. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPEI a 12 meses (SPEI12), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

75.4 SPEI A 24 MESES

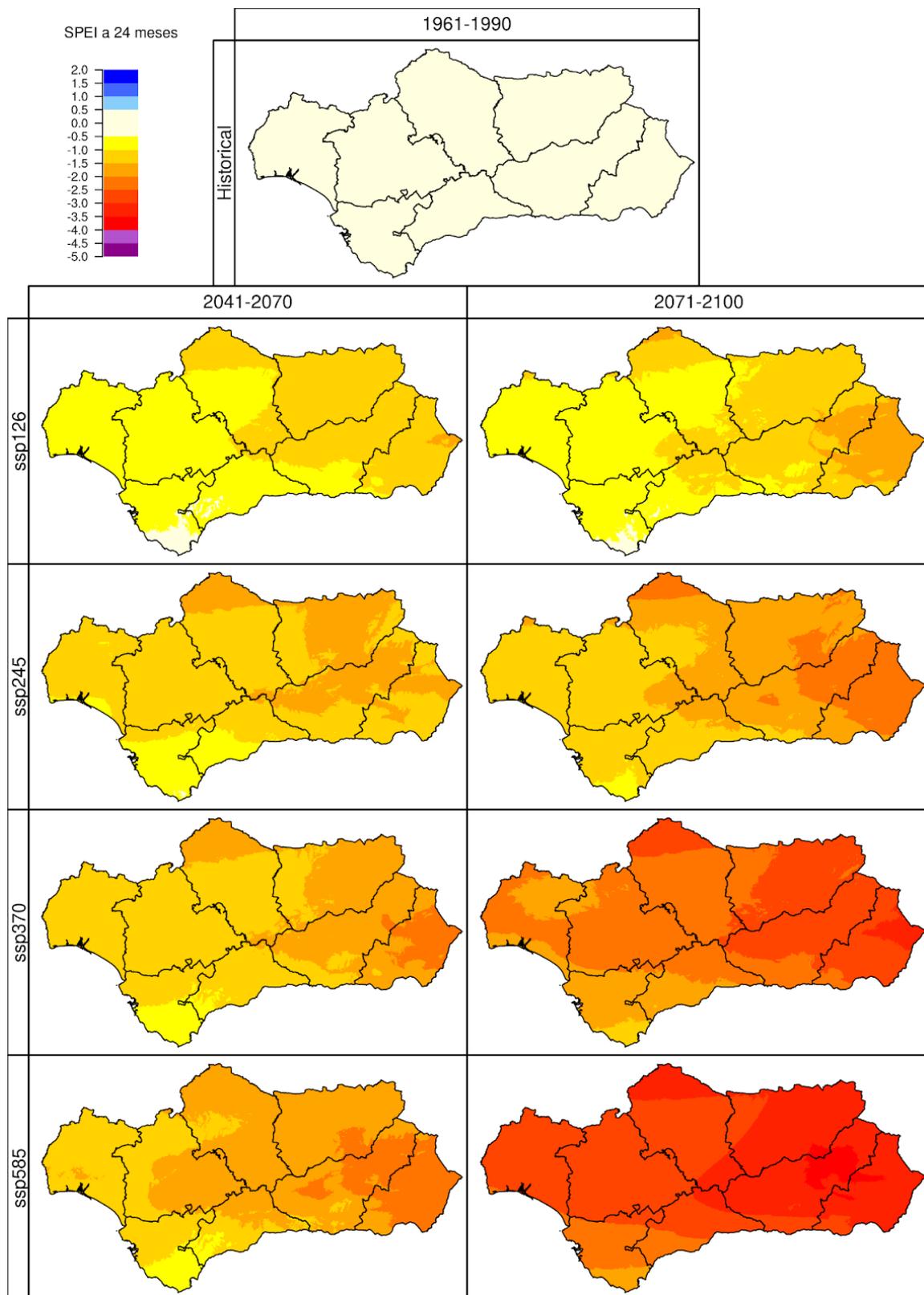


Figura 75.4. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPEI a 24 meses (SPEI24), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

75.5 SPEI A 60 MESES

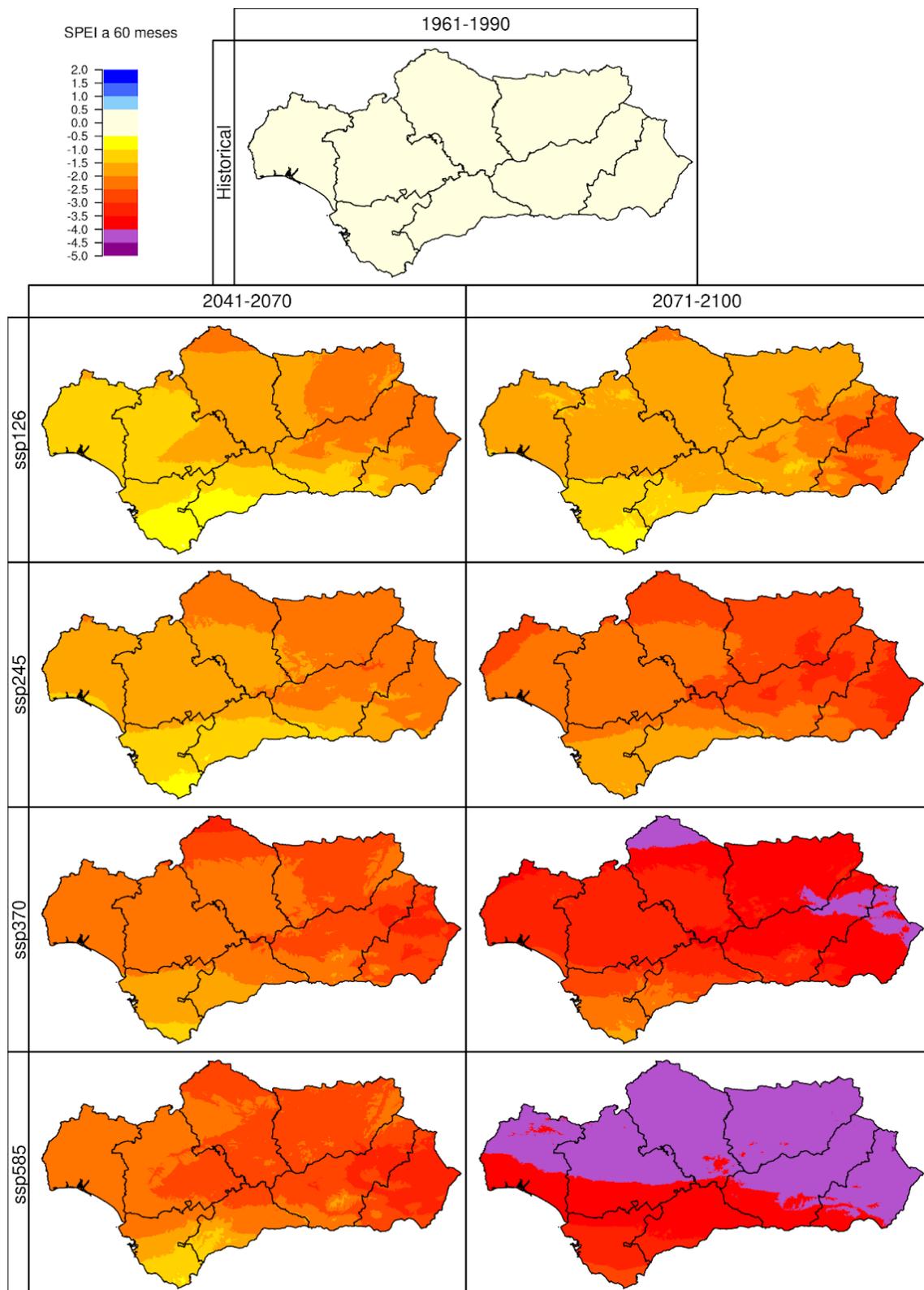


Figura 75.5. Variaciones en los valores del indicador de sequía SPEI a 60 meses (SPEI60), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

76. ÍNDICES DE ARIDEZ

76.1 ÍNDICE DE ARIDEZ DE LANG

A la hora de proceder al cálculo de los diferentes índices de aridez seleccionados para su representación en Andalucía, muchos de los ya descritos previamente (ISQ, IA...) se relacionaban con la ETo y/o estaban definidos *ad hoc*, mientras que los aquí presentes tienen una definición estandarizada internacionalmente y están, en este caso, relacionados con el Pr y la T anuales. En el caso presente, el Índice de Aridez de Lang relaciona la precipitación anual y la temperatura media anual de la forma: $I_L = Pr / T$, y su valor sirve para categorizar el tipo de clima para valores de <40 (estepario) a >160 (húmedo).

Atendiendo a los valores del índice obtenidos para el periodo Historical, observamos que la gran mayoría del territorio andaluz se mueve en una horquilla entre 30 y 60, lo que se corresponde con zonas climáticas propias de tipos esteparios o semiáridos. Hay que tener en cuenta que aunque gran parte del Valle del Guadalquivir tiene precipitaciones que rondan los 500-600 mm, la temperatura media anual es muy elevada. Las zonas de valores mínimos se ubican, como es de esperar, en las depresiones de Granada (Guadix y Baza) y zonas bajas y costeras de Almería; también en Los Pedroches, con valores entre ≈ 0 y 20 (estepario). Los valores más elevados, >60 (templado cálido) se restringen a zonas de relieve medio (Aracena, Subbéticas y Penibéticas), con los máximos, superiores a 80-100 (templado húmedo) en cumbres de Sierra Nevada y serranías de Cádiz y Málaga, con máximos cercanos a 120.

Analizando ahora los resultados a futuro obtenidos, vemos que salvo anecdóticos incrementos puntuales en Tabernas (posibles quizá por pequeñas variaciones en la precipitación considerando la ya extrema sequedad de la zona), de forma generalizada se esperan reducciones en los valores del índice. De nuevo, los mayores descensos corresponden a las zonas de máximos históricos: relieves medios y altos de toda la región.

- Para mediados de siglo se aprecia una tendencia moderada de empeoramiento (mayores reducciones) al aumentar el SSP, con reducciones leves cubriendo todo el territorio de forma generalizada (exceptuando Almería por motivos evidentes), yendo de -5 a -15 según el SSP. Los máximos se acentúan más con los SSP, yendo en cumbres de tipo medio (Mágina, Loja, Morena...) de unos -10 a -30 según el SSP; para mayores y más húmedas cumbres (Cazorla, Nevada, Grazalema...), la reducción va de los -15 a hasta -50 en el peor caso.
- Para finales de siglo no se aprecian cambios significativos respecto a las variaciones ya explicadas a mediados de siglo para los dos primeros SSP. Para el 370 y 585 el empeoramiento es ligero, con reducciones de -10 a -20 en los relieves respecto a los valores ya discutidos anteriormente.

En todo caso, los resultados arrojan valores preocupantes, con reducciones que suponen pasar de condiciones climáticas templadas y húmedas en zonas de montaña a otras propias a regímenes semiáridos, con el consiguiente impacto previsible en la flora y fauna de las zonas.

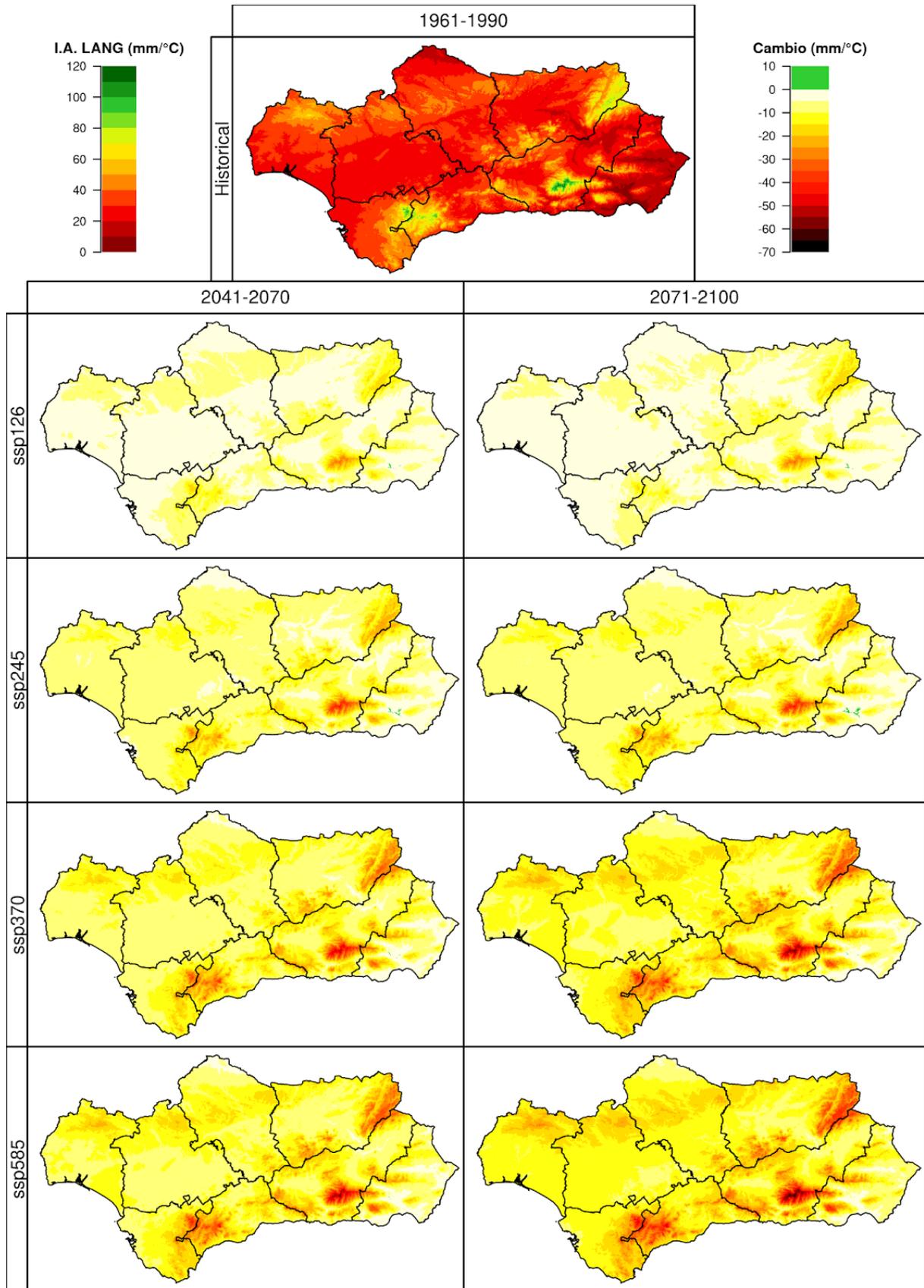


Figura 76.1. Variaciones en los valores del Índice de Aridez de Lang (IL), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

76.2 ÍNDICE DE ARIDEZ DE MARTONNE

De forma similar al Índice de Aridez de Lang, el de Martonne relaciona la precipitación y la temperatura media anual, calculándose de la siguiente manera: $I_M = Pr/(T+10)$. Así, el valor resultado del índice, que también se utiliza para caracterizar el clima de una zona (según su humedad), queda acotado de forma habitual entre <5 (árido extremo -desierto-) y >60 (perhúmedo).

A partir de la imagen de resultados para el periodo Historical, podemos observar que la distribución espacial de los valores presenta un patrón casi calcado al de Lang (esperable viendo la similitud de las ecuaciones), en este caso acotado entre 0 y 60, con mínimos y máximos en las mismas regiones. Los mínimos tienen valores por debajo de 10 (estepario o desértico), mientras que las zonas más húmedas en montaña media y alta se encuentran por encima de 30 (húmedo), con los máximos por encima de 45 en las cumbres de Cazorla-Segura, Nevada y Grazalema-Nieves.

En cuanto a las estimaciones a futuro también observamos un patrón idéntico al ya discutido en Lang, tanto en distribución como en cambios en SSPs, siendo también todo reducciones:

- A mitad de siglo la progresión entre SSPs también es apreciable, empeorando al progresar hacia el 585. Los valores en zonas llanas, cubriendo la mayor parte de Andalucía, van aumentando desde los -2.5 hasta -3/-6. Peor es la situación esperada para los relieves andaluces, con un empeoramiento más acusado desde -3/-6 incrementándose en los relieves medios hasta -10, y en las zonas más húmedas y de relieve alto incluso hasta -15.
- Para finales de siglo, igual que en Lang, no hay cambios significativos para los SSP 126 y 245. Para los últimos dos sí se aprecia un mayor empeoramiento de los valores, con los -5/-7.5 cubriendo la práctica totalidad del territorio, y las cumbres llegando a reducciones de hasta -22 en zonas como Grazalema o Nevada en los peores casos.

Del mismo modo que lo ya comentado, los resultados arrojan valores preocupantes, con reducciones que suponen pasar de condiciones climáticas propias de carácter húmedo a otras subhúmedas o incluso semiáridas, con el consiguiente impacto previsible en la flora y fauna de las zonas.

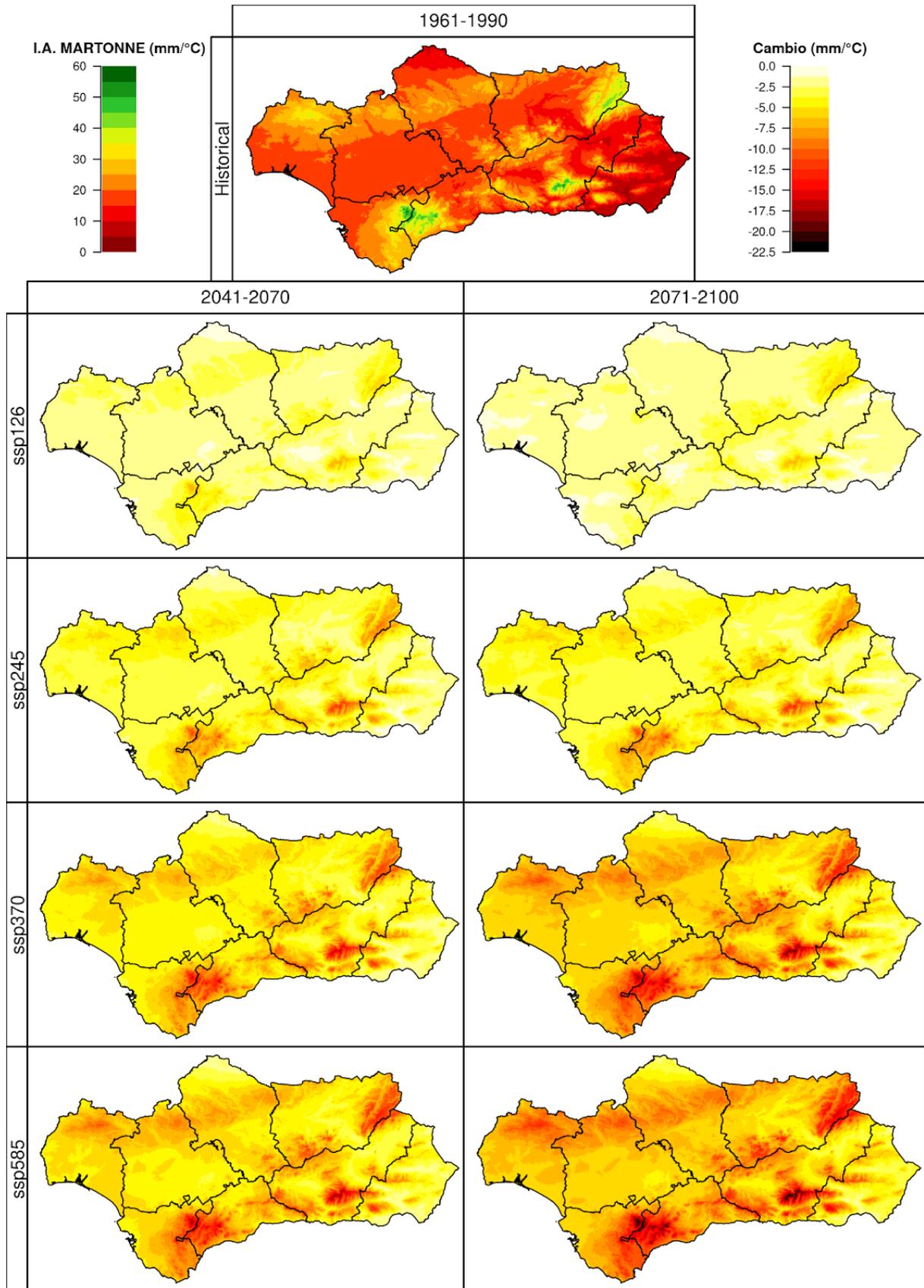


Figura 76.2. Variaciones en los valores del Índice de Aridez de Martonne (IM), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

77. OLAS DE FRÍO: DURACIÓN

Entramos ahora a discutir una de las variables de más importancia en el estudio del clima futuro y de mayor impacto en el desarrollo de la vida cotidiana de la población civil: las Olas de Frío y de Calor. En lo que aquí nos concierne, las Olas de Frío, hemos tomado como base diferentes definiciones oficiales con el fin de formar una lo suficientemente válida y robusta como para que tenga una aceptación y validez amplia, partiendo de aquellas dadas por la AEMet, la OMM y el IPCC. Tras la síntesis, la definición de Ola de Frío queda como: *Se considera una ola de frío cuando al menos durante tres días consecutivos la temperatura mínima diaria es inferior al percentil 5 de la serie diaria de temperatura mínima correspondiente a los meses de noviembre a abril para un periodo de referencia histórico.* Cabe destacar que los valores mostrados, como en todo el documento, corresponden con la Mediana obtenida para los 10 modelos utilizados. **Siguiendo la metodología explicada en el documento correspondiente, en el caso en el que 5 o más modelos no muestren resultados por no ajustarse a la descripción (si la Duración cae por debajo de los 3 días estipulados se genera un NA), no se genera mapa de resultados.**

El mapa obtenido para el periodo Historical nos muestra que el valor “registrado” de Duración Media en todo el territorio andaluz se ubica entre los 5 y 6 días, llegando a 7 en la Costa Tropical y la costa almeriense (ateniéndonos a la definición previa).

Los valores futuros obtenidos muestran en este caso el valor estimado futuro de Duración Media de cada episodio, no el cambio respecto al Historical. Así:

- Para mediados de siglo (2041-2070) vemos como los valores en toda Andalucía se reducen a duraciones de 4 a 5 días, con algunas regiones puntuales en algún SSP (126 o 245) donde la duración se estima de 3 a 4 días.
- Para finales de siglo observamos que sólo el SSP126 aparece como resultado, con una duración de entre 4-5 días en todo el territorio, salvo en Aracena con 3-4 días. Para el resto de SSPs, como se ha mencionado anteriormente, más de 5 modelos no devolvieron valores, por lo que no se obtiene representación. Esto quiere decir que todo el territorio andaluz quedaría por debajo de los 3 días de duración, lo que quedaría fuera de la definición de Ola de Frío.

Los resultados siguen en la línea esperada futura de calentamiento en el clima, llegando incluso en la mayoría de SSPs a finales de siglo a considerar escenarios en los que no existirían olas de frío tal y como están definidas con el clima presente ahora.

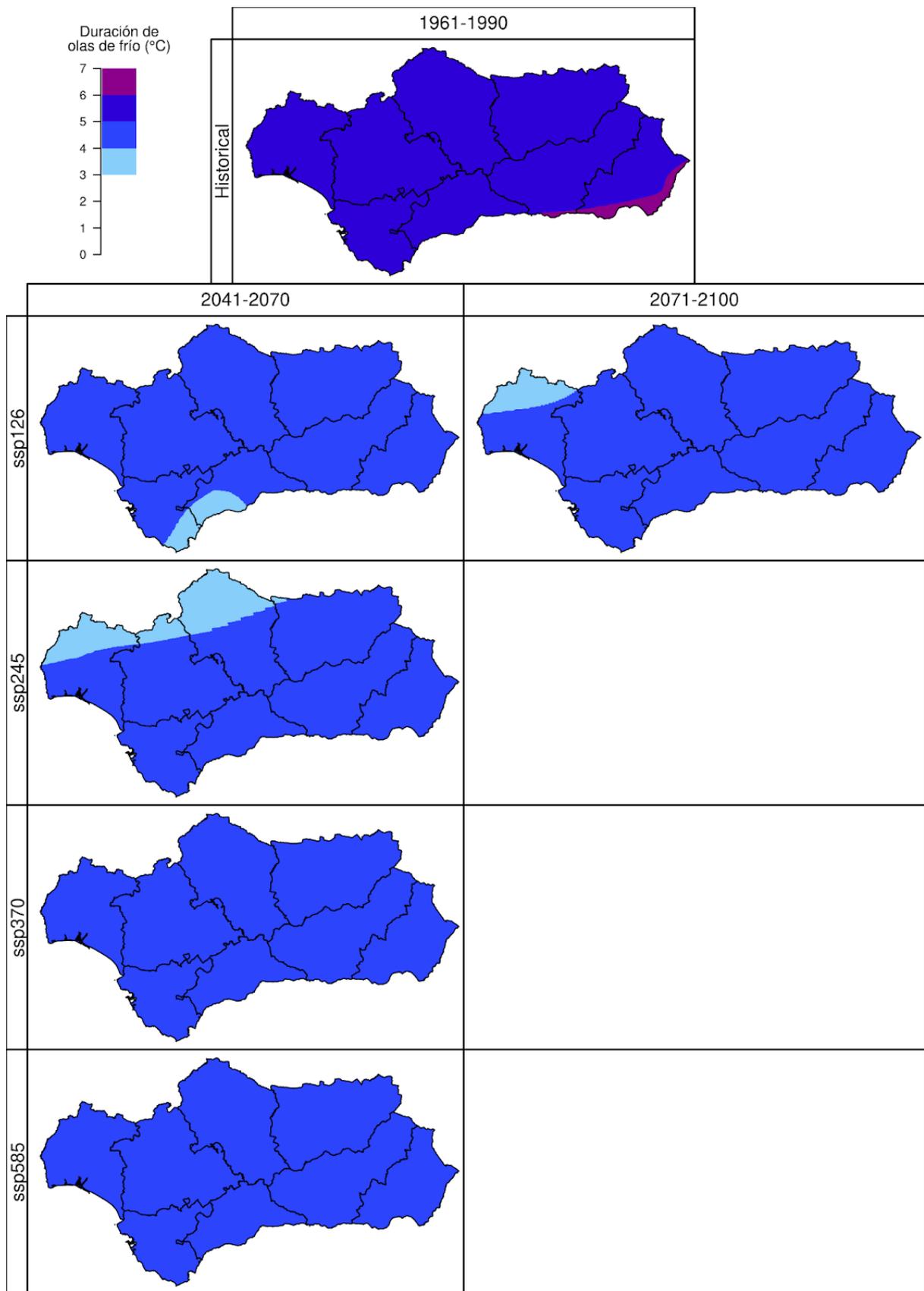


Figura 77.1. Variaciones en los valores de la Duración Media de los episodios de Ola de Frío, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

78. OLAS DE FRÍO: INTENSIDAD MEDIA

Otra de las características que se pueden atribuir a las olas de frío para conocer su naturaleza es su Intensidad Media, que se obtiene como la media de las temperaturas mínimas medidas durante los días (mínimo 3) que definen la ola de frío en cuestión. Cada punto de la geografía tiene un valor umbral según la definición (consultar variable superior) que al rebasarse se inicia el conteo de días para determinar la ola de frío, por lo que siendo oficialmente Ola de Frío es normal ver gran disparidad de valores a lo largo de Andalucía.

Evaluando los resultados obtenidos para el periodo Historical, la mediana de los valores nos indica que hay una gran dicotomía entre las zonas costeras y las interiores, cosa esperable debido al papel regulador que el mar tiene sobre las temperaturas. Así, observamos los valores de temperatura para la Intensidad más altos en toda la costa andaluza, especialmente en la mediterránea, con valores que se hallan por encima de los 4°C de media, incluso zonas por encima de los 8°C como Cabo de Gata. Los valores disminuyen rápidamente al movernos al interior según aumenta la continentalidad del clima, con los valores más bajos en aquellas zonas a elevada altitud y/o aisladas de la influencia marítima, como Los Pedroches, las serranías de Jaén y Almería, o la práctica totalidad de la provincia de Granada, con valores por debajo de los 0°C, bajando por debajo de los -4°C en las cumbres de Sierra Nevada, Filabres o Cazorla. Los valores medios en el resto del territorio, como en el Valle del Guadalquivir, rondan los 0/3°C.

Los cambios a futuro se espera que haya tanto reducciones como incrementos según la zona y SSP. Así:

- Para mediados de siglo se proyectan intensificación de la Intensidad Media (reducción, menor temperatura) en todo el Valle del Guadalquivir y zonas costeras atlánticas, con valores de -0.25 hasta -1°C según el SSP. En partes de la costa mediterránea y Almería podrían haber incrementos de la Intensidad Media de +0.25/1°C según el SSP.
- Para finales de siglo sólo tenemos resultados para el SSP126 (la razón está explicada en la variable previa), con reducciones en las zonas mencionadas anteriormente de entre -0.25 y -0.5°C, mientras que incrementos serían esperados en Almería de hasta +0.5°C. No se esperarían olas de frío en el resto de SSPs a finales de siglo.

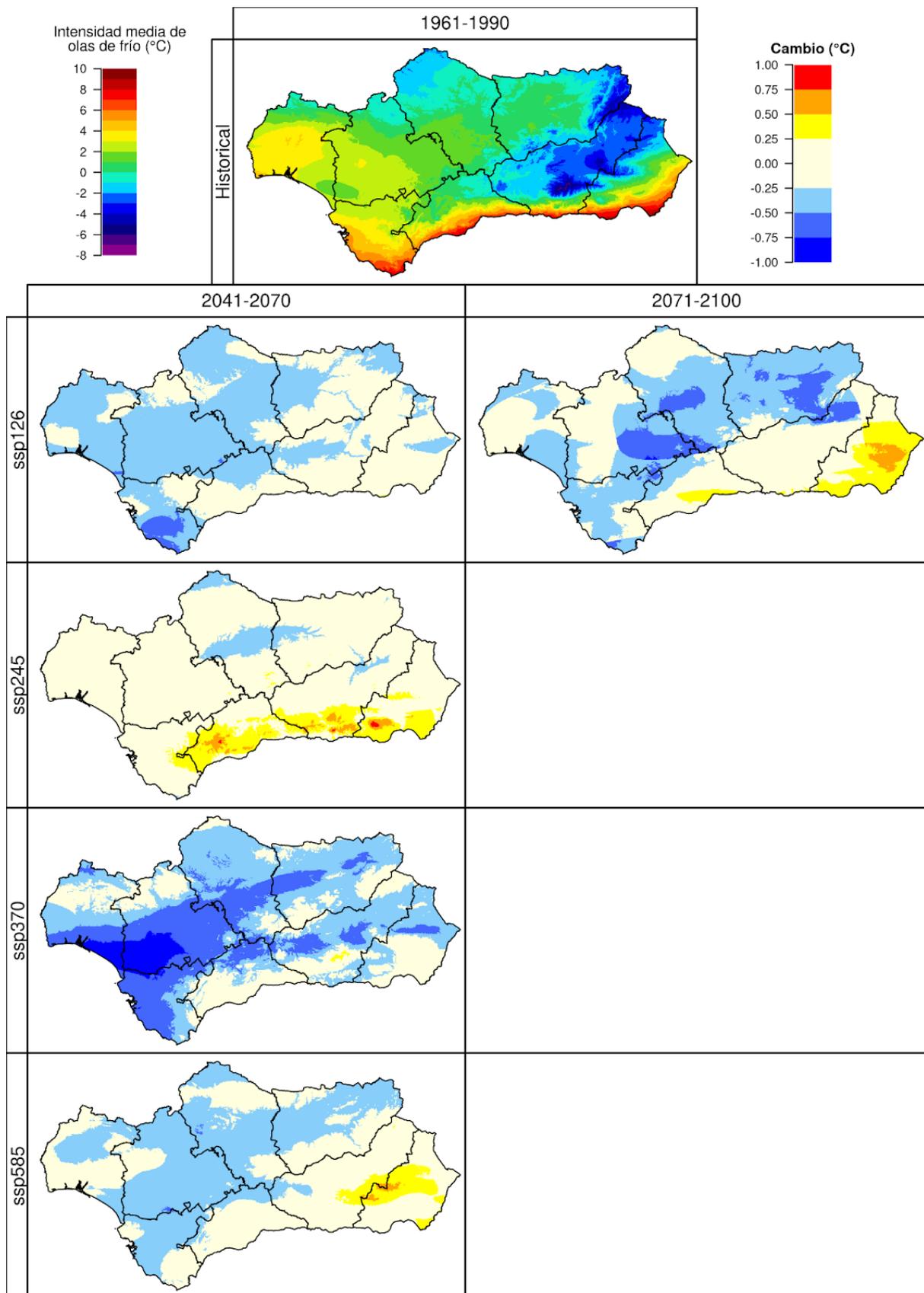


Figura 78.1. Variaciones en los valores de la Intensidad Media de los episodios de Ola de Frío, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

79. OLAS DE FRÍO: INTENSIDAD MÁXIMA

La última de las variables analizadas como caracterizadora de olas de frío para conocer su naturaleza es su Intensidad Máxima, siendo ésta igual al valor de la temperatura mínima más baja medida durante los días (mínimo 3) que definen la ola de frío en cuestión. Con este valor podemos conocer mejor hasta qué punto de temperatura el clima de una zona puede llegar dadas las peores situaciones, como son las propias de una ola de frío.

Los resultados para el Historical siguen una distribución espacial casi idéntica a la de Intensidad Media, con los valores más altos en las zonas costeras, y los mínimos en los altiplanos y cumbres. Las intensidades máximas más altas (es decir, más cálidas) exceden los 0°C, con puntos de Almería o Málaga donde no se bajan de los 4°C en las peores olas de frío. Los valores mínimos en el interior se hallan por debajo ampliamente de los -7°C, llegando bajo los -10°C en las cumbres.

Los resultados futuros que se esperan son mayoritariamente incrementos, es decir, valores de intensidad más cálidos (benignos), con reducciones puntuales en cumbres altas como Nevada o Gádor. Así:

- Para mediados de siglo (2041-2070) se esperan incrementos en la temperatura de la Intensidad Máxima en la práctica totalidad de la región andaluza, variables según el SSP, pero generalmente de +0.50°C, llegando en partes del Guadalquivir o Cádiz hasta >+1.25°C en algunos SSPs.
- Para finales de siglo (2071-2100) el único SSP que arroja resultados, el SSP126, muestra de nuevo incrementos superiores a +1°C en casi todo el territorio.

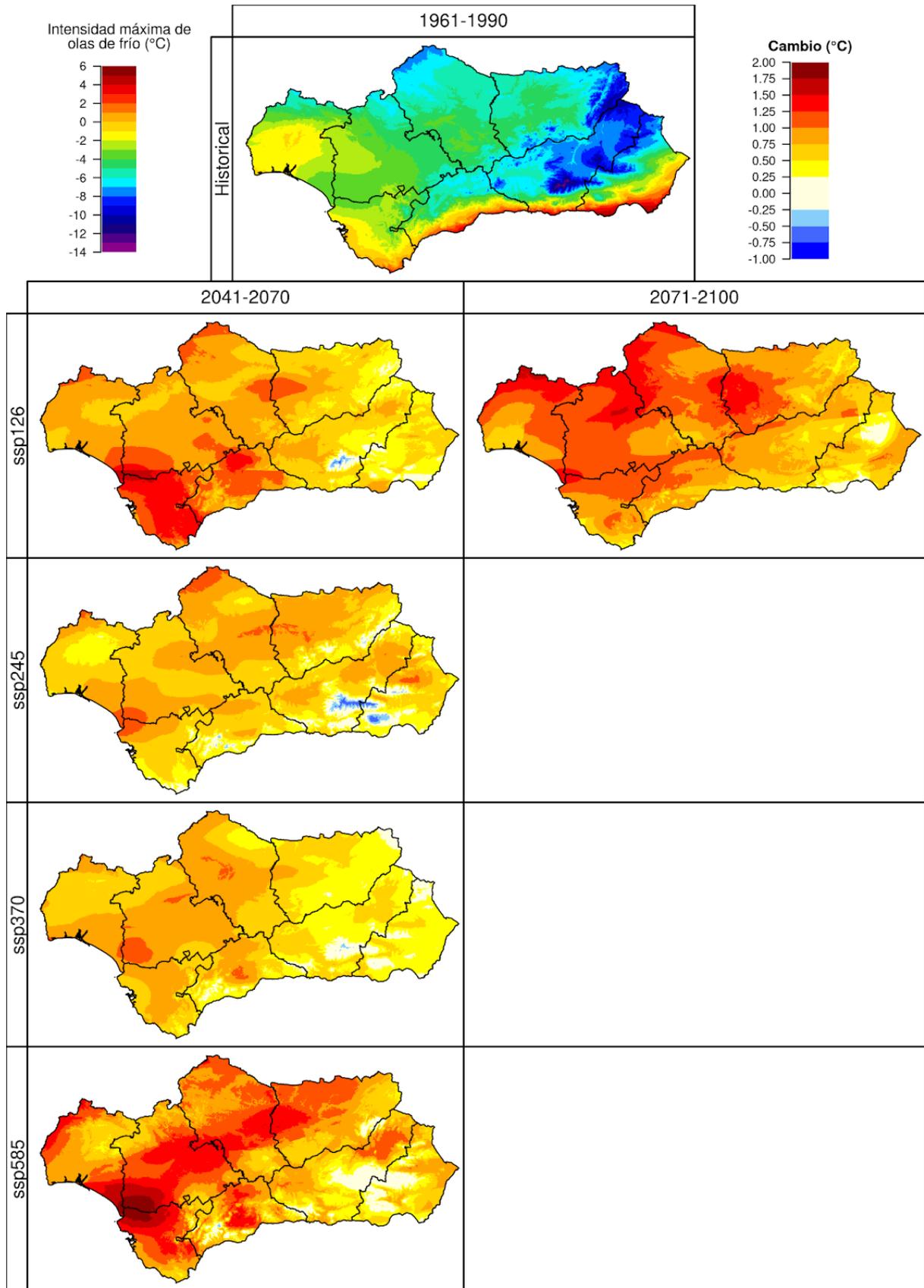


Figura 79.1. Variaciones en los valores de la Intensidad Máxima de los episodios de Ola de Frío, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

80. OLAS DE CALOR: DURACIÓN

De forma similar (pero contraria) a la definición dada anteriormente para las Olas de Frío, para la definición de Ola de Calor se ha seguido en este caso aquella definida tomando como referencia las de AEMet, la OMM y el IPCC, quedando como: *Se considera una ola de calor cuando al menos durante tres días consecutivos la temperatura máxima diaria es superior al percentil 95 de la serie diaria de temperatura máxima correspondiente a los meses de junio a septiembre para un periodo de referencia histórico.* Una ola de calor también puede venir caracterizada por su duración, su intensidad máxima y su intensidad media.

Los valores aquí presentados se corresponden con la Duración Media de las olas de calor en el territorio andaluz para el periodo Historical. Partiendo de que la propia definición de Ola de Calor ya acota el mínimo en tres días, la duración media en Andalucía va desde los 4,5 días, restringidos prácticamente a la provincia de Cádiz y alrededores de Sierra Mágina, y los 5/5,5 de máximo en Los Pedroches, Cazorla-Segura y la práctica totalidad de la provincia de Almería y Costa Tropical en Granada.

Los cambios esperados a futuro, siendo todo incrementos, presentan una distribución espacial de cambios muy homogénea con los SSPs y el tiempo, y tienen las mayores variaciones concentradas en Andalucía Oriental, estando los máximos a lo largo de toda la costa mediterránea, principalmente Axarquía, Costa Tropical y Levante almeriense, al igual que un segundo máximo en las Hoyas de Guadix y Baza y en Cazorla. Los mínimos se ubican en Andalucía Occidental, principalmente en todas las costas del Golfo de Cádiz avanzando Guadalquivir arriba (observándose bien el papel regulador de la brisa atlántica en situaciones persistentes de calor a lo largo de todo el valle). Así:

- A mediados de siglo (2041-2070) los incrementos esperados muestran ligeros incrementos con los SSPs. De forma generalizada tendríamos aumentos de +1 a +5 (siguiendo el patrón espacial ya mencionado Guadalquivir arriba) para el SSP126, que iría aumentando hasta +1 a +7,5 en el SSP585, llegando en las zonas costeras a +10.
- Para finales de siglo (2071-2100) los incrementos en el SSP126 son similares, no así con el resto de SSPs. Los cambios esperados en las costas del Golfo de Cádiz son casi invariables (+1 a +5), mientras que la situación al progresar hacia el Mediterráneo e interior se agrava muchísimo, pasando de aumentos de +5 a +10 en el SSP245 a, en el peor de los casos, aumentos generalizados en el interior de +10 a +15, llegando en toda la costa a picos de +20 en zonas como Mojácar o Salobreña.

Como se ha mencionado, los cambios estimados muestran el importante papel regulador de la brisa del Atlántico, cosa que se pierde en zonas mediterráneas según su temperatura aumenta con los años, lo que unido al aumento de temperaturas y persistencia de situaciones proclives puede llevar a que, en el futuro, y respecto al clima “actual”, tengamos veranos que podrían llegar a considerarse casi en su totalidad como una Ola de Calor en algunas partes de la región con incrementos de +400%.

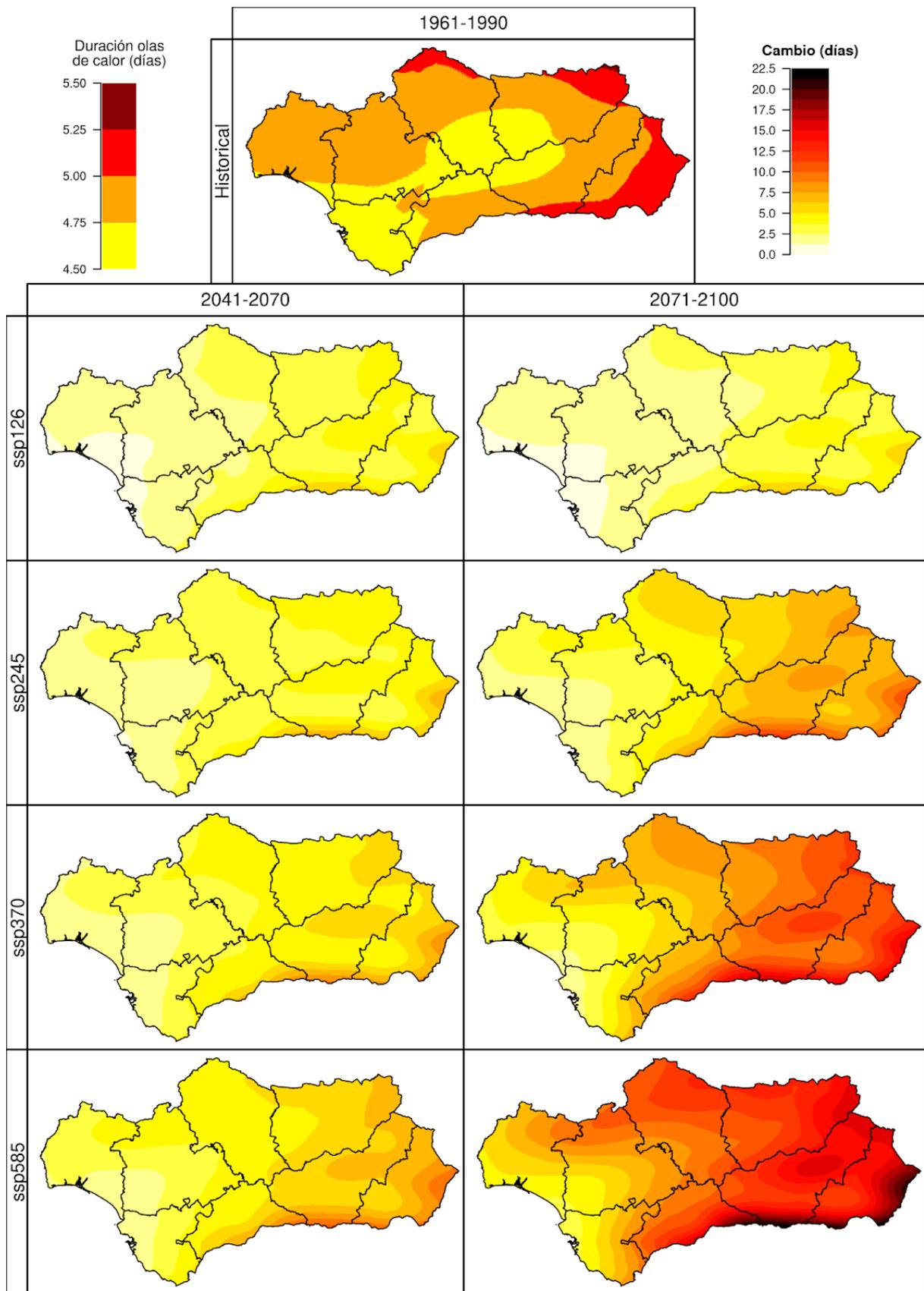


Figura 80.1. Variaciones en los valores de Duración Media de los episodios de Olas de Calor, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

81. OLAS DE CALOR: INTENSIDAD MEDIA

Otra de las características que se pueden atribuir a las olas de calor para conocer su naturaleza es su Intensidad Media, que se obtiene como la media de las temperaturas máximas medidas durante los días (mínimo 3) que definen la ola de calor en cuestión. Cada punto de la geografía tiene un valor umbral según la definición (consultar variable superior) que al superarse se inicia el conteo de días para determinar la ola de calor, por lo que siendo oficialmente Ola de Calor es normal ver gran disparidad de valores a lo largo de Andalucía.

Ateniéndonos a los valores mostrados para el escenario Historical, y excluyendo los mínimos evidentes en grandes cumbres (Nevada o Gádor), podemos observar que los valores de Intensidad Media medidos para las olas de calor a lo largo de la costa mediterránea son mucho menores (alrededor de unos 30-32 °C) que aquellos que cubren el resto de la geografía andaluza (sobre los 38 °C, costa atlántica incluida). Esto es así ya que la costa mediterránea, por la naturaleza de su clima y patrones de viento reinantes, disfruta de temperaturas muy moderadas y casi constantes todo el año, por lo que días por encima de 30°C son raros y suficientes para que sea ola de calor. Además, las situaciones que disparan las temperaturas en estas zonas son escasas (se aprecia la excepción del Terral en el valle del Guadalhorce), estando el verano normalmente marcado por el viento de Levante que a su vez causa un aumento considerable de las temperaturas en el interior de la región. Ésta es a su vez la causa de los altos valores para la costa atlántica, la presencia de Levante durante episodios de calor que anulan o dificultan la entrada de la brisa tierra adentro, superándose con facilidad los 36°C. Los mayores valores se ubican en todo el Valle del Guadalquivir, con máximos en zonas deprimidas con ausencia de régimen de brisas que permiten que se vuelvan verdaderos hornos, como la Campiña Sevillana o Cordobesa, o los alrededores de Linares, zonas que sobrepasan los 40°C de media en sus olas de calor.

A futuro, los cambios esperados son todos aumentos en esta variable, distribuidos los valores más altos principalmente en todo el interior y cumbres (ya que los relieves tienen valores bajos pero no debido a la regulación del mar, y son más susceptibles al calentamiento). Así:

- A mediados de siglo se prevén incrementos, mayores al progresar el SSP, que en la costa mediterránea se moverían entre +0.5/+1°C de intensidad media en función del SSP. Los aumentos serían mayores en el interior (Guadalquivir y Guadix) y relieves como Sierra Nevada o Filabres, yendo desde +1 a +1.5°C según el SSP.
- Para finales de siglo los incrementos se esperan mucho mayores del SSP245 en adelante, con aumentos en el litoral que llegaría hasta los +1.5°C, disparándose en el interior como Pedroches o Baza, y relieves como Cazorla o Nevada desde +1.75 a +2.5/3°C en el peor de los casos.

Estos resultados, en línea con las tendencias esperadas de calentamiento en el futuro, podría hacer que zonas ya de por sí sofocantes durante olas de calor como el Alto Guadalquivir o Baza pudieran tener de Intensidad **Media** en el futuro valores de hasta **44°C**.

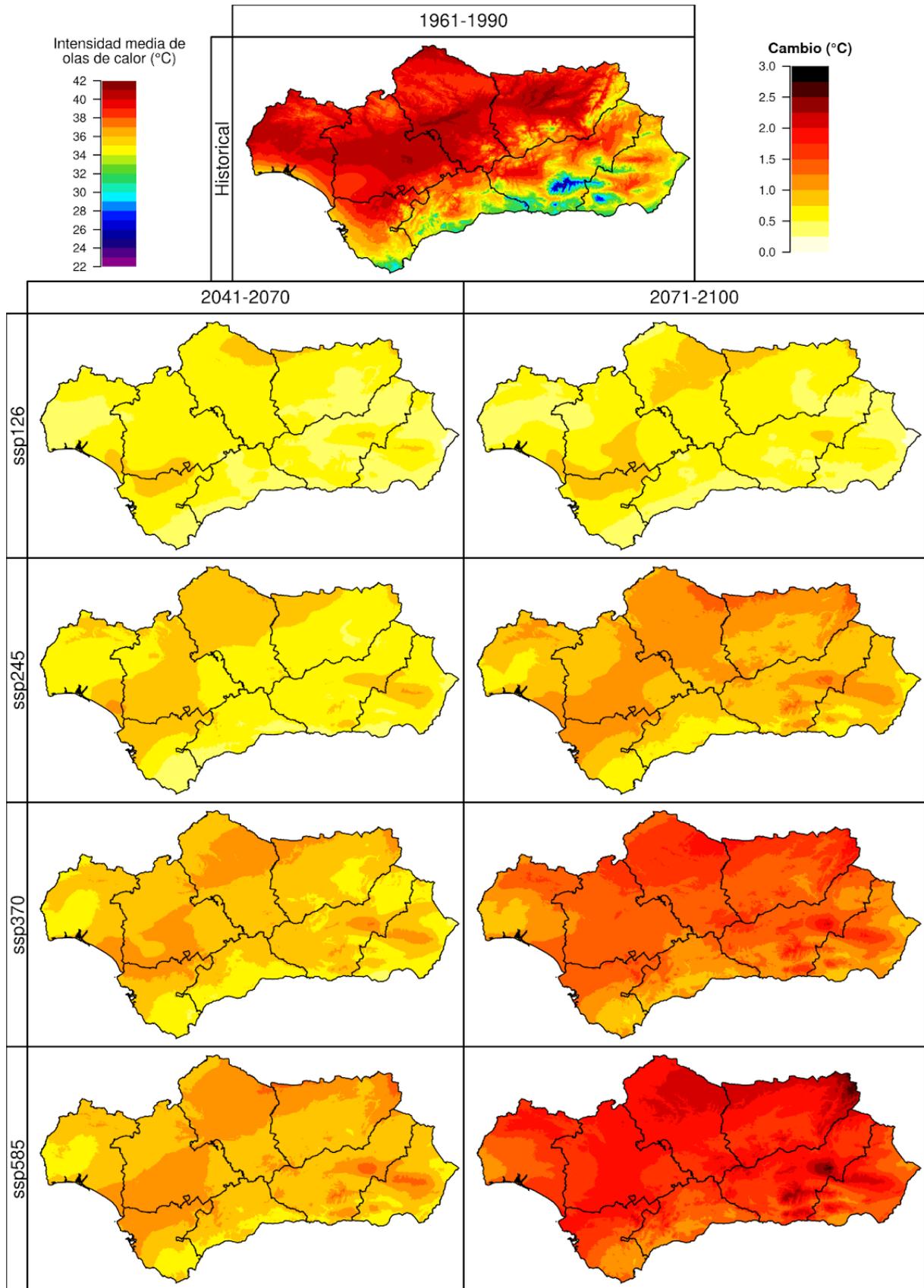


Figura 81.1. Variaciones en los valores de Intensidad Media de los episodios de Olas de Calor, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

82. OLAS DE CALOR: INTENSIDAD MÁXIMA

La última de las variables analizadas como caracterizadora de olas de calor para conocer su naturaleza es su Intensidad Máxima, siendo ésta igual al valor de la temperatura máxima más alta medida durante los días (mínimo 3) que definen la ola de calor en cuestión. Con este valor podemos conocer mejor hasta qué punto de temperatura el clima de una zona puede llegar dadas las peores situaciones, como son las propias de una ola de calor.

Una vez dicho esto anterior, hay que tener en cuenta a la hora de analizar el Historical que estamos visualizando la mediana de los modelos utilizados, lo que quiere decir que el valor mostrado no corresponde con la Intensidad Máxima jamás alcanzada, sino con la más frecuente. Los valores mostrados siguen, como es de esperar, la exacta distribución que la Intensidad Media por los mismos motivos ya explicados. Los valores en la costa mediterránea se ubican alrededor de los 32-34°C, con los mínimos en el Estrecho sobre los 30°C, y en cumbres por debajo de los 27°C. En el interior andaluz los valores oscilan sobre los 39-41°C, llegando los máximos a 43°C en la Campiña Cordobesa y Condado Jiennense.

En los valores estimados obtenidos a futuro, la distribución de cambios es también casi un calco de la de la Intensidad Media (mayores cambios en interior y cumbres como Nevada, Cazorla o Filabres, menores en zonas de costa), no siendo igual en los valores. Así:

- Para el periodo 2041-2070 los incrementos esperados se distribuyen casi de manera homogénea por el territorio andaluz, con pocas zonas destacando ya mencionadas. Los aumentos van desde +0.5/1°C en el SSP126 a +1.5/2°C en el SSP585.
- Ya para el periodo 2071-2100 los incrementos se disparan para los mayores SSPs, distribuyéndose de la misma forma, llegando en el peor de los casos a incrementos en todo el territorio de +3/4°C, con los máximos en las cumbres mencionadas alcanzando los +6°C. Los mínimos pasarían todos de los +2°C.

Estos resultados, en línea con las tendencias esperadas de calentamiento en el futuro, podría hacer que zonas ya de por sí sofocantes durante olas de calor como el Alto Guadalquivir o Baza pudieran tener de Intensidad **Máxima** en el futuro valores de hasta **47-48°C**. Recordemos que hablamos de una mediana, lo que muestra que en el peor escenario futuro **no sería raro sobrepasar con facilidad los 50°C** puntualmente, lo que sería con el clima actual un récord nacional. Zonas de montaña que ahora en olas de calor no ven valores máximos por encima de 30°C, como por ejemplo las cumbres de Sierra Nevada, podrían acercarse a los 35°C.

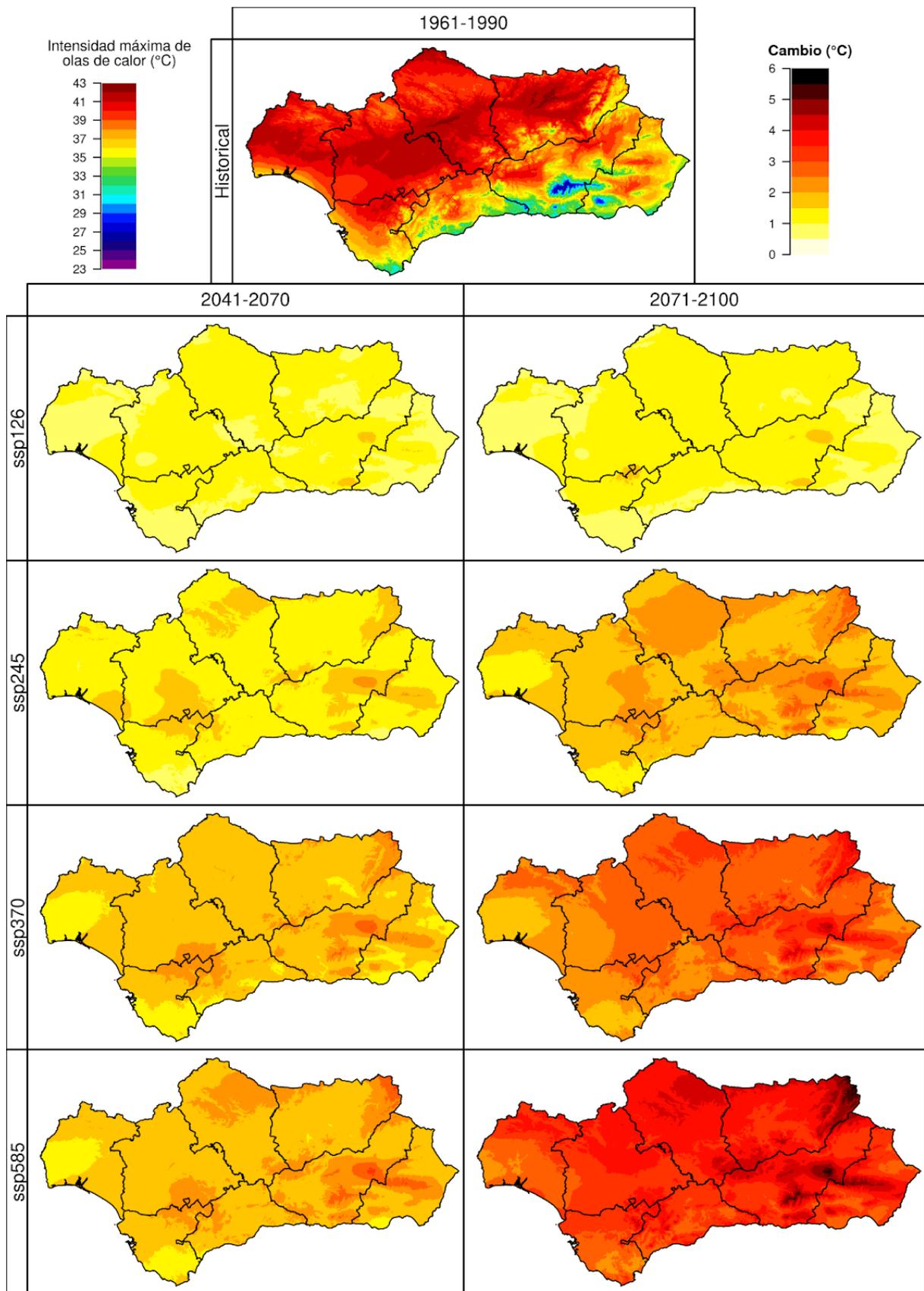


Figura 82.1. Variaciones en los valores de Intensidad Máxima de los episodios de Olas de Calor, con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83. ÍNDICES BIOCLIM

Los índices bioclimáticos son variables bioclimáticas calculadas a partir de los escenarios creados en este proyecto. Reflejan la tendencia promedio, máxima y mínima de temperaturas y precipitaciones en diferentes períodos temporales mensuales, estacionales y anuales. Estos índices son generados para obtener variables biológicamente significativas, siendo ampliamente utilizadas en estudios relacionados con modelizaciones ecológicas.

En el período Historical se puede observar la distribución de valores esperada en cada una de las variables. En *Cambios en los límites de distribución de especies arbóreas como consecuencia de las variaciones climáticas*, de Luis Matías (2012), se llevó a cabo una importante revisión de esta cuestión. Como simplificación, existe un posible frente de avance donde el alza de temperaturas bajas que limitaban anteriormente a la especie pueda abrir nuevas oportunidades de expansión, y un frente de retroceso donde el incremento de las temperaturas altas y el descenso de las precipitaciones puedan producir regresión. El reclutamiento es considerado como el factor más determinante en el control de las dinámicas poblacionales en el límite forestal, y la sensibilidad de este proceso a las sequías y a las temperaturas extremas cálidas y frías es muy alta. Es por ello que en este contexto es especialmente destacable las variables relacionadas con las temperaturas extremas cálidas (BIO5, BIO10), temperaturas extremas frías (BIO6, BIO11), precipitación anual (BIO12), precipitación de verano (BIO18) y estacionalidad de la precipitación (BIO15).

En cuanto a las temperaturas extremas cálidas (BIO10 y BIO5), existe aumento generalizado de los valores, habiendo grandes diferencias entre diferentes escenarios y horizontes temporales, y de distribución espacial. Los espacios con cotas elevadas como Sierra Morena y en especial las Sierras Béticas, son los que más sufrirán este aumento de las temperaturas. Observando la variable BIO10, temperatura media del trimestre más cálido, destaca el escenario SSP3-7.0 y SSP5-8.5 a finales de siglo en las Sierras Béticas y Sierra Morena, donde los cambios en las temperaturas del trimestre más cálido superan los diez grados, mientras que en el escenario más optimista se mantiene el cambio en menos de cinco. BIO5, la temperatura media del mes más cálido, sigue el mismo patrón espacial: el aumento de las temperaturas más alto se da en los espacios montañosos de la comunidad, las Cordilleras Béticas y Sierra Morena.

Las temperaturas extremas frías también presentan un aumento generalizado de los valores y grandes contrastes espaciales y entre escenarios. Sin embargo, el aumento de estas temperaturas frías es más suave que las cálidas, siendo en todos los períodos y escenarios contemplados el máximo cambio de valor tanto en BIO11 como en BIO6 de unos 8 grados (para las temperaturas cálidas, en BIO5 es de 14 y en BIO10 de 12).

En cuanto a las precipitaciones anuales, únicamente en el escenario climático SSP1-2.6 se dan manchas de aumento y decrecimiento de precipitaciones en diversas partes de la comunidad, pero en general se mantienen los valores históricos. Ya en el resto de escenarios se da una disminución generalizada en todo el territorio, existiendo contrastes en el grado de disminución entre escenarios, períodos temporales y regiones. Este fenómeno de reducción es

especialmente grave en las Cordilleras Béticas, especialmente en la Serranía de Ronda, y en Sierra Morena. En el resto del territorio a mitad de siglo la disminución ronda, en general para toda Andalucía, valores cercanos a 50 milímetros de lluvia, mientras que a finales de siglo son valores más dispersos pero que se encuentran en general, entre los 75 y 125 milímetros.

Los coeficientes de variación en el período Historical siguen un gradiente de decrecimiento del sudoeste al noreste. En las proyecciones futuras existen cambios sin un patrón espacial y temporal claro. A mediados de siglo incluso se observan mayores cambios en la estacionalidad en los escenarios intermedios, a diferencia de los extremos, donde los valores de coeficiente de variación son menores en general. Este aumento de variación se torna grave en espacios de la Serranía de Ronda, zonas bajas del valle del Guadalquivir y espacios de Sierra Morena, donde ya de por sí el coeficiente de variación era elevado, con valores superiores a 70. A finales de siglo, a excepción del SSP2-4.5, todos los escenarios indican un aumento generalizado de la variación de precipitación con valores mayores a 10.

Pese a que la tendencia es la disminución de la precipitación anual, destaca el contraste existente entre la precipitación del trimestre más cálido y del trimestre más frío. BIO18, precipitación del trimestre más cálido, presenta en casi todos los escenarios y períodos una disminución de lluvia acumulada, mientras que en BIO19, precipitación del trimestre más frío, en general existe un aumento de las precipitaciones. Destaca en BIO18 las desapariciones de lluvias en el trimestre más cálido en las regiones áridas del sudeste, en zonas costeras y en la parte baja del Guadalquivir.

En el Historical se puede observar según BIO2, rango diurno, BIO4, estacionalidad de la temperatura y BIO7, rango anual, la continentalidad, que por supuesto aumenta con la distancia a las zonas costeras. La evolución futura de la continentalidad según el rango diurno y el anual difieren tanto espacialmente como en valores. BIO2 presenta en todos los períodos y en los diferentes escenarios un descenso de rango en la costa atlántica, un aumento del rango en Sierra Morena y en el oeste de la Cordillera Bética, y en las zonas bajas, y un mantenimiento de los valores históricos. A medida que avanza el siglo y es más desfavorable el escenario, el rango diurno aumenta y el territorio donde no existían cambios disminuye. En BIO7, a diferencia de BIO2, el rango de temperaturas aumenta de manera generalizada en toda la comunidad autónoma, siendo este cambio mayor en las zonas de montaña de Sierra Morena y la Cordillera Bética. BIO4, estacionalidad de la temperatura, sigue el mismo patrón que BIO2.

En general los índices bioclimáticos anuncian un cambio en las condiciones bioclimáticas de Andalucía, donde el aumento de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones es general, pero varía en valores en función de la zona geográfica y de la estación en cuestión.

83.1 BIO1: TEMPERATURA MEDIA ANUAL

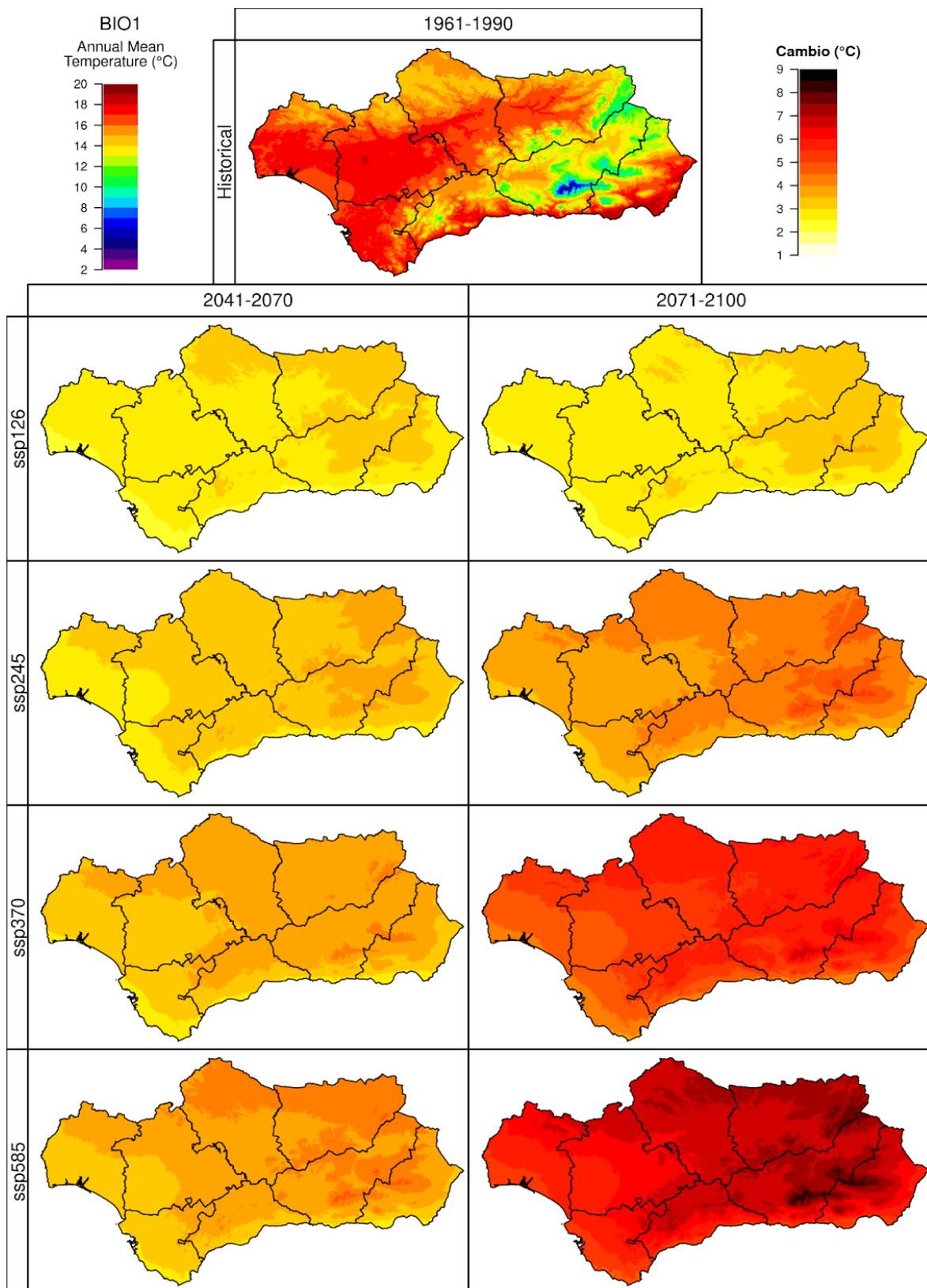


Figura 83.1. Incremento del promedio anual de la temperatura media (variable BIO 1), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.2 BIO2: RANGO DIARIO PROMEDIO

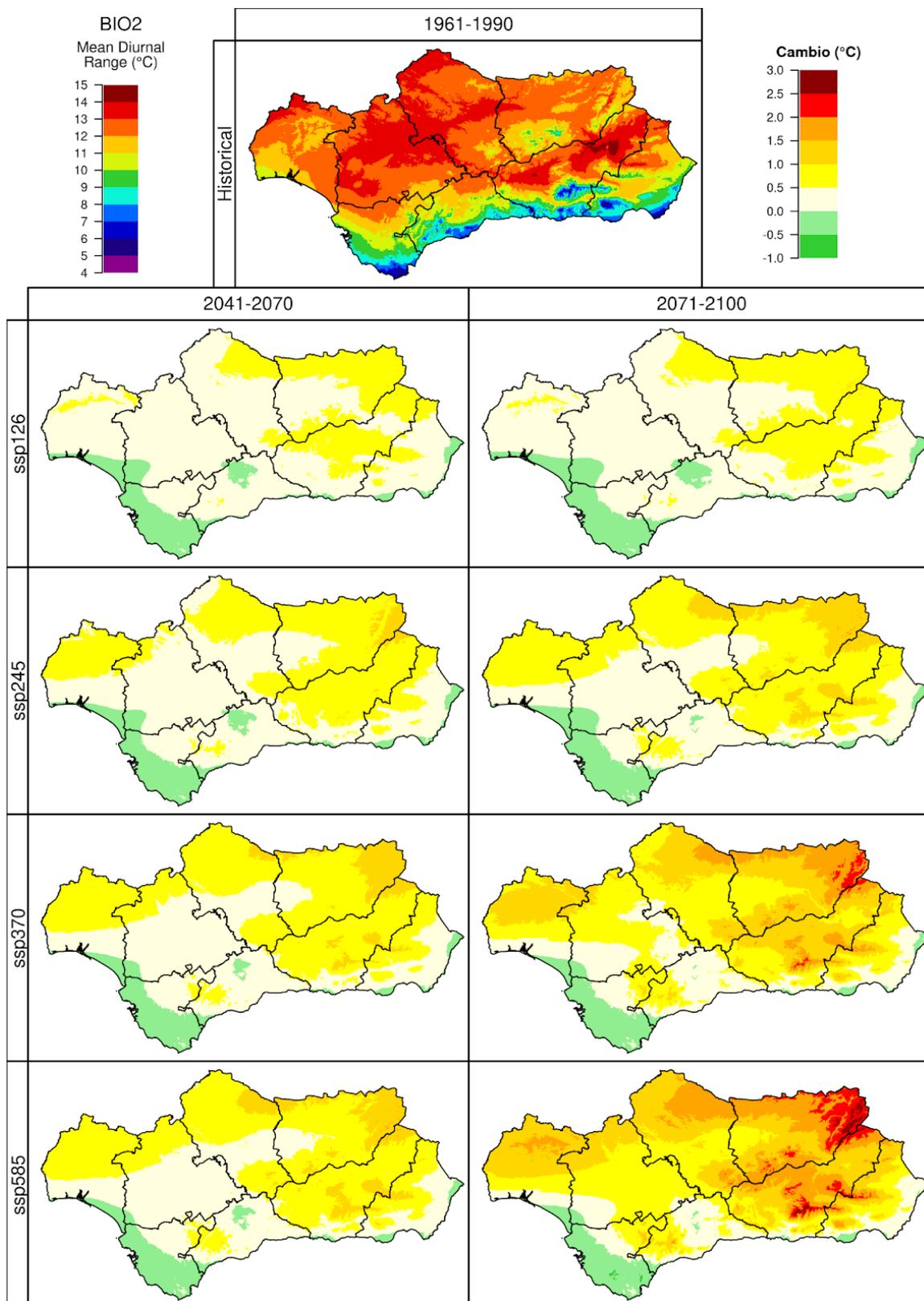


Figura 83.2. Incremento del promedio anual de la amplitud térmica diaria (variable BIO 2), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.3 BIO3: ISOTERMALIDAD

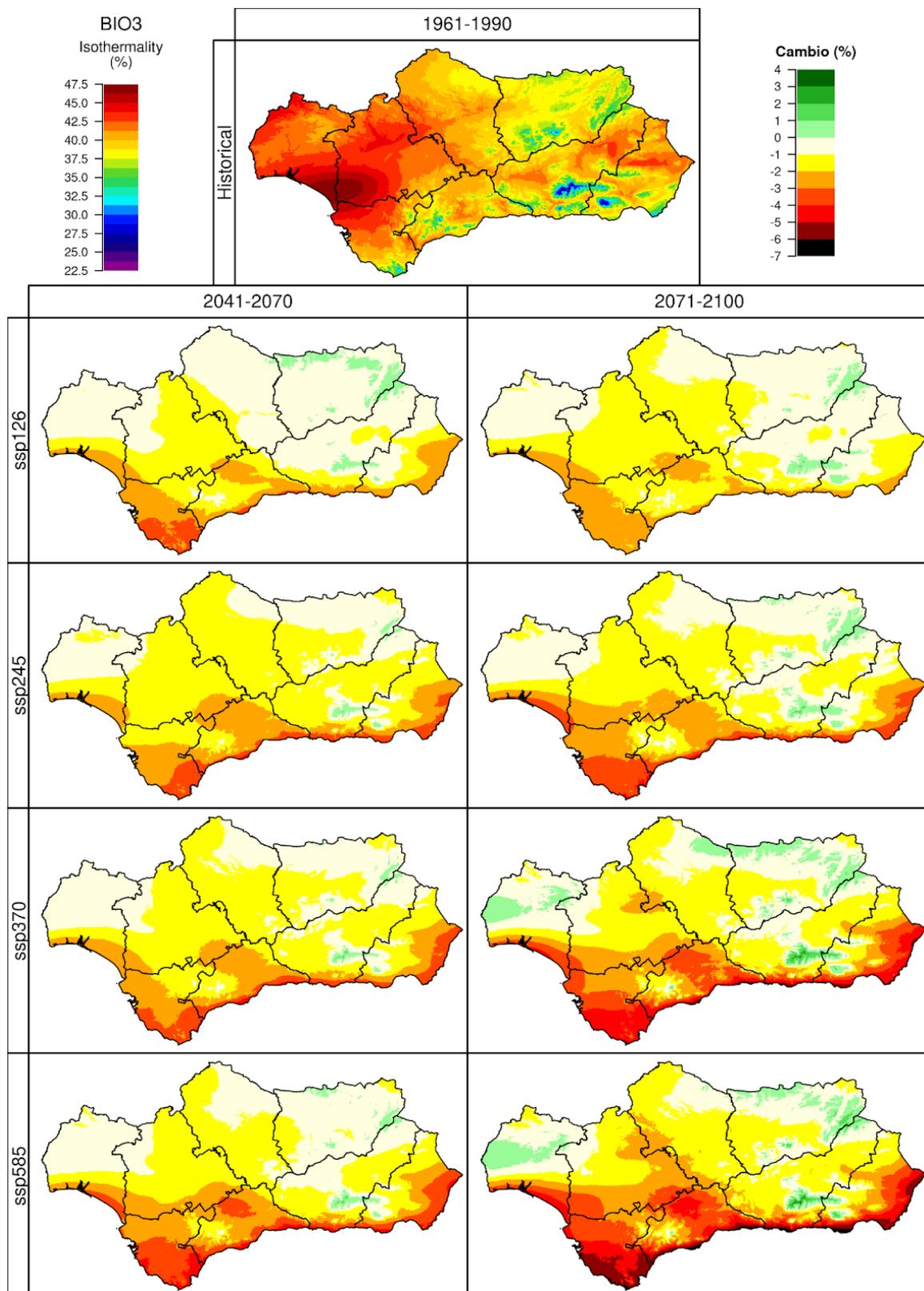


Figura 83.3. Incremento del promedio anual de la isotermalidad (variable BIO 3), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.4 BIO4: ESTACIONALIDAD DE LA TEMPERATURA

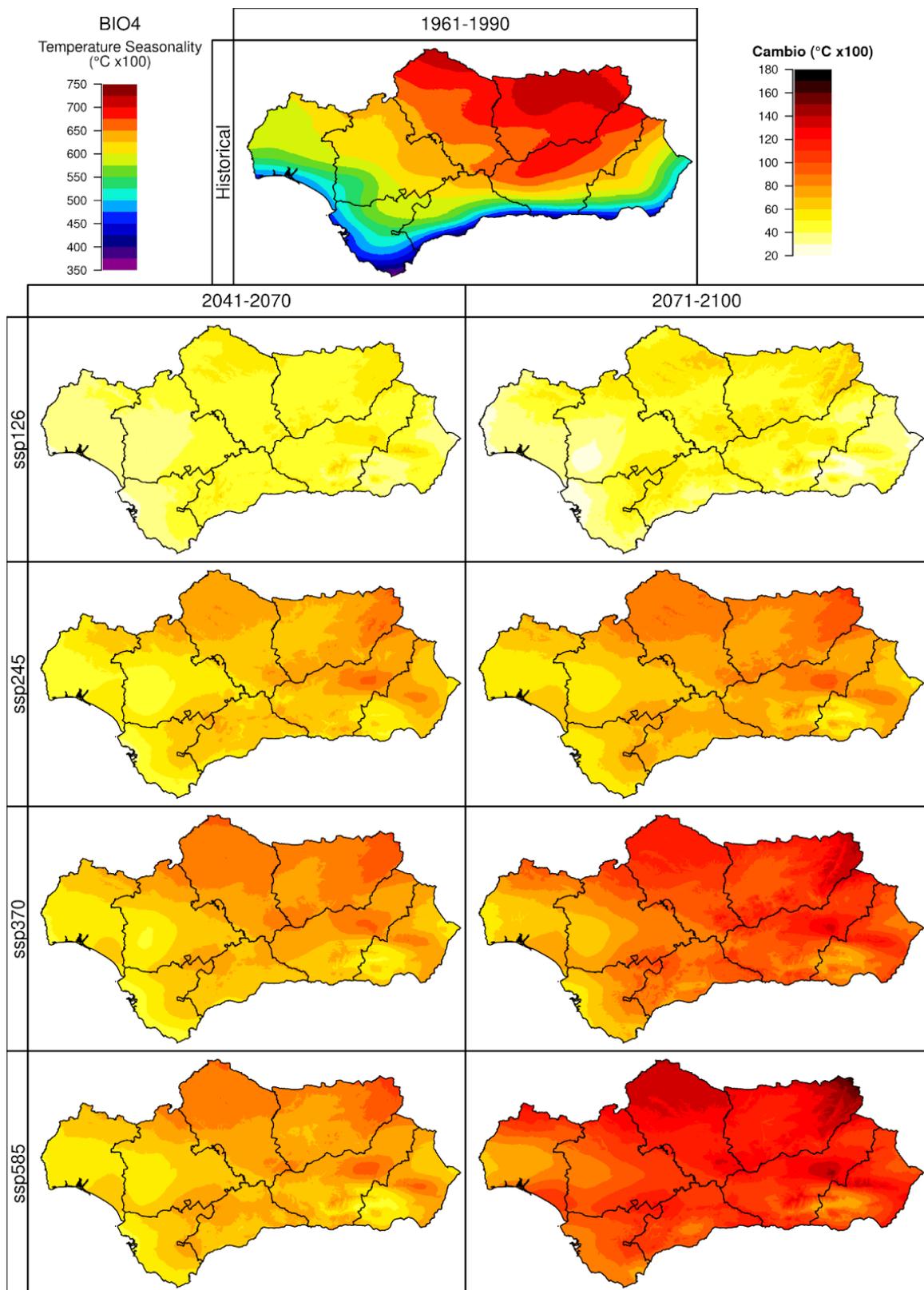


Figura 83.4. Incremento del promedio anual de estacionalidad de la temperatura (variable BIO 4), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.5 BIO5: TEMPERATURA MÁXIMA DEL MES MÁS CÁLIDO

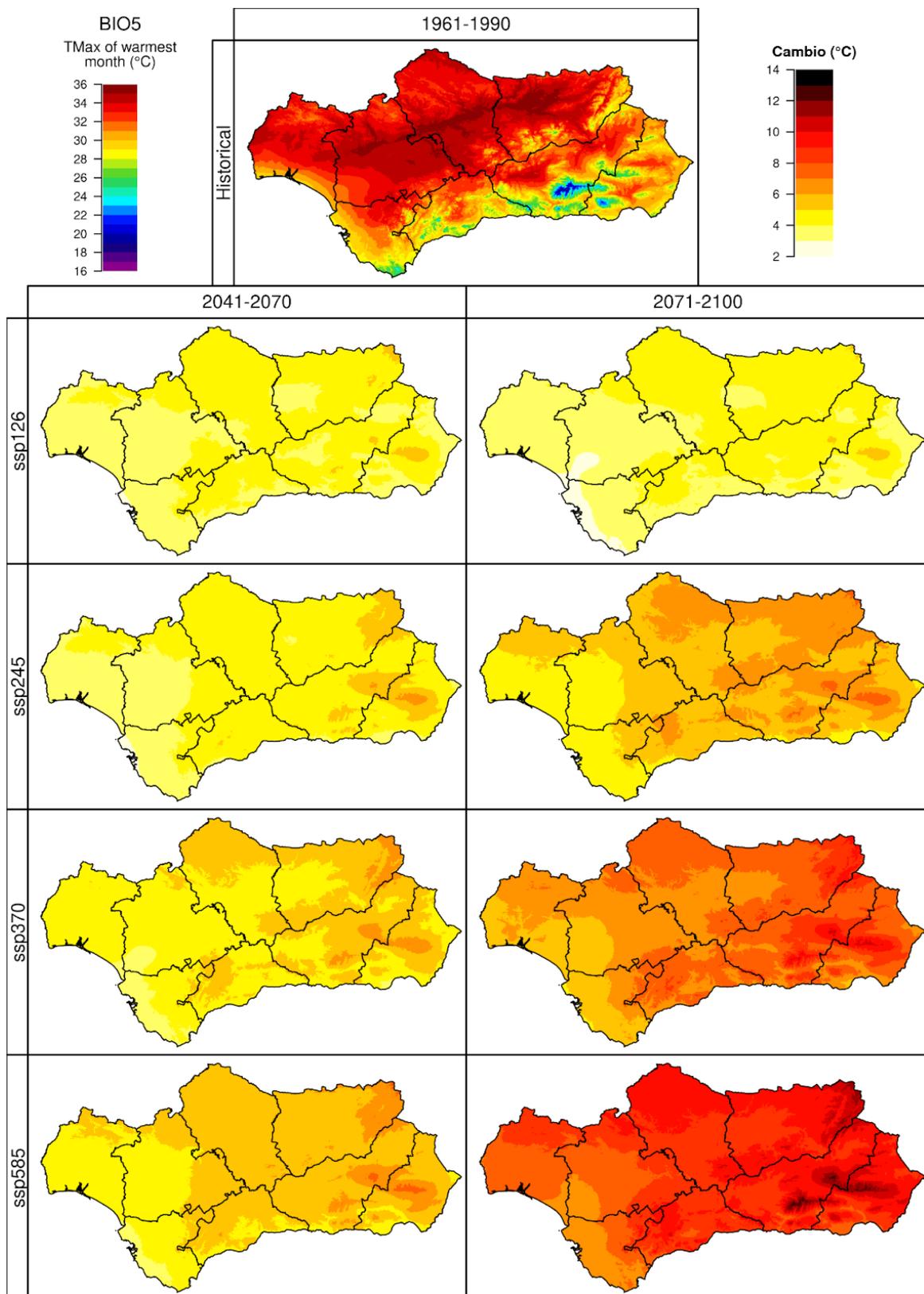


Figura 83.5. Incremento del promedio anual de la temperatura máxima del mes más cálido (variable BIO 5), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.6 BIO6: TEMPERATURA MÍNIMA DEL MES MÁS FRÍO

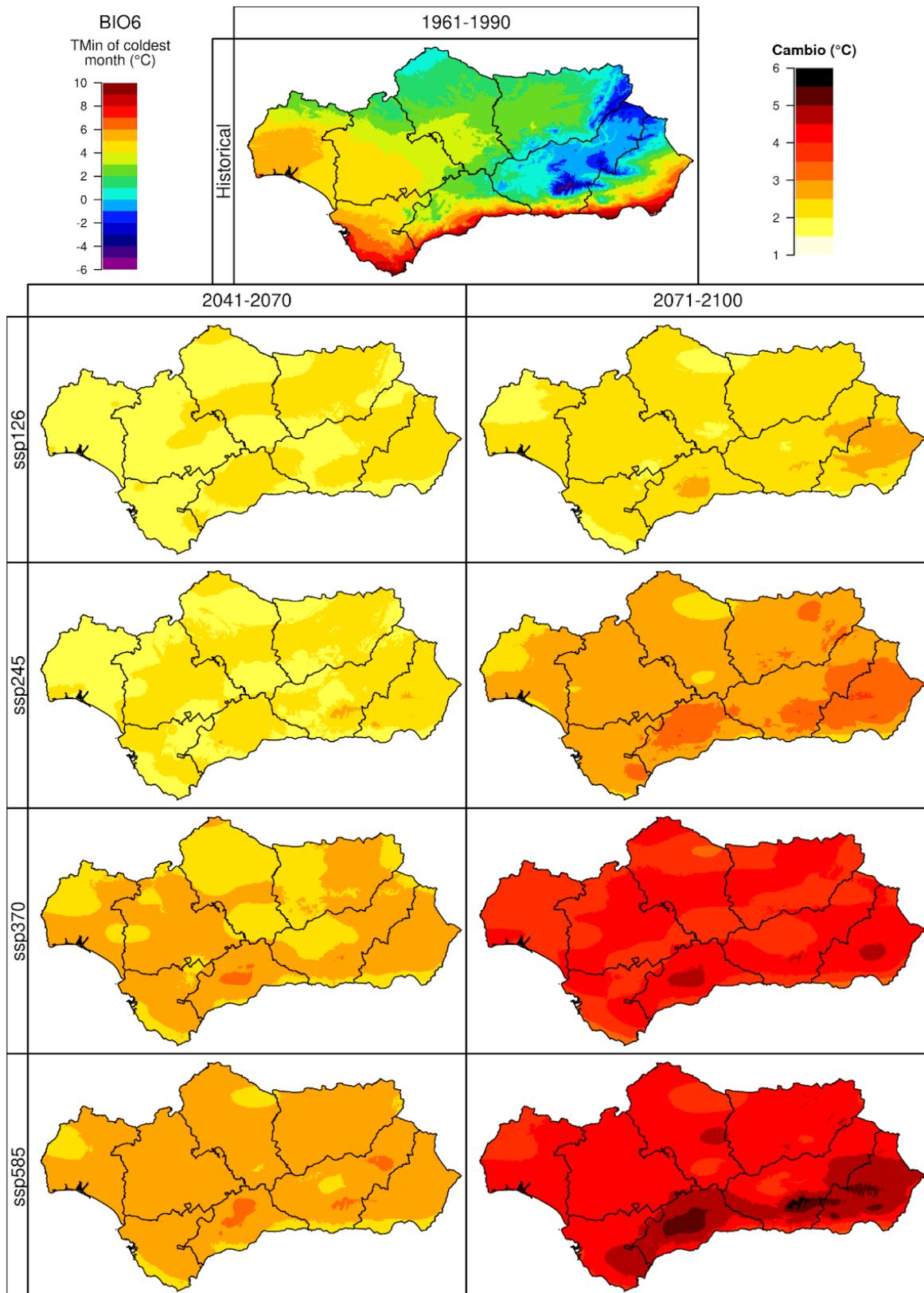


Figura 83.6. Incremento del promedio anual de la temperatura mínima del mes más frío (variable BIO 6), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.7 BIO7: RANGO ANUAL DE LA TEMPERATURA

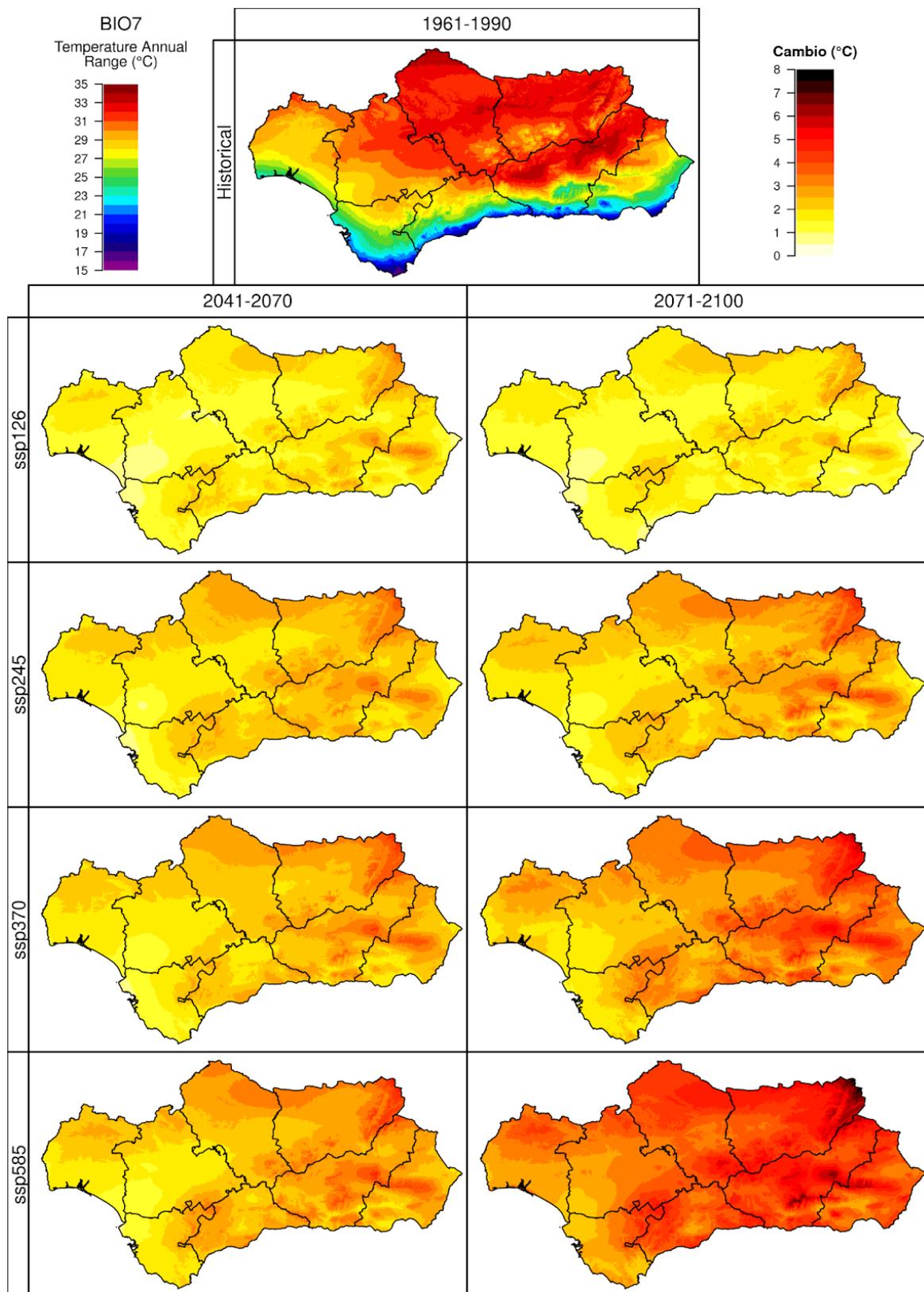


Figura 83.7. Incremento del promedio de la amplitud térmica anual (variable BIO 7), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.8 BIO8: TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS HÚMEDO

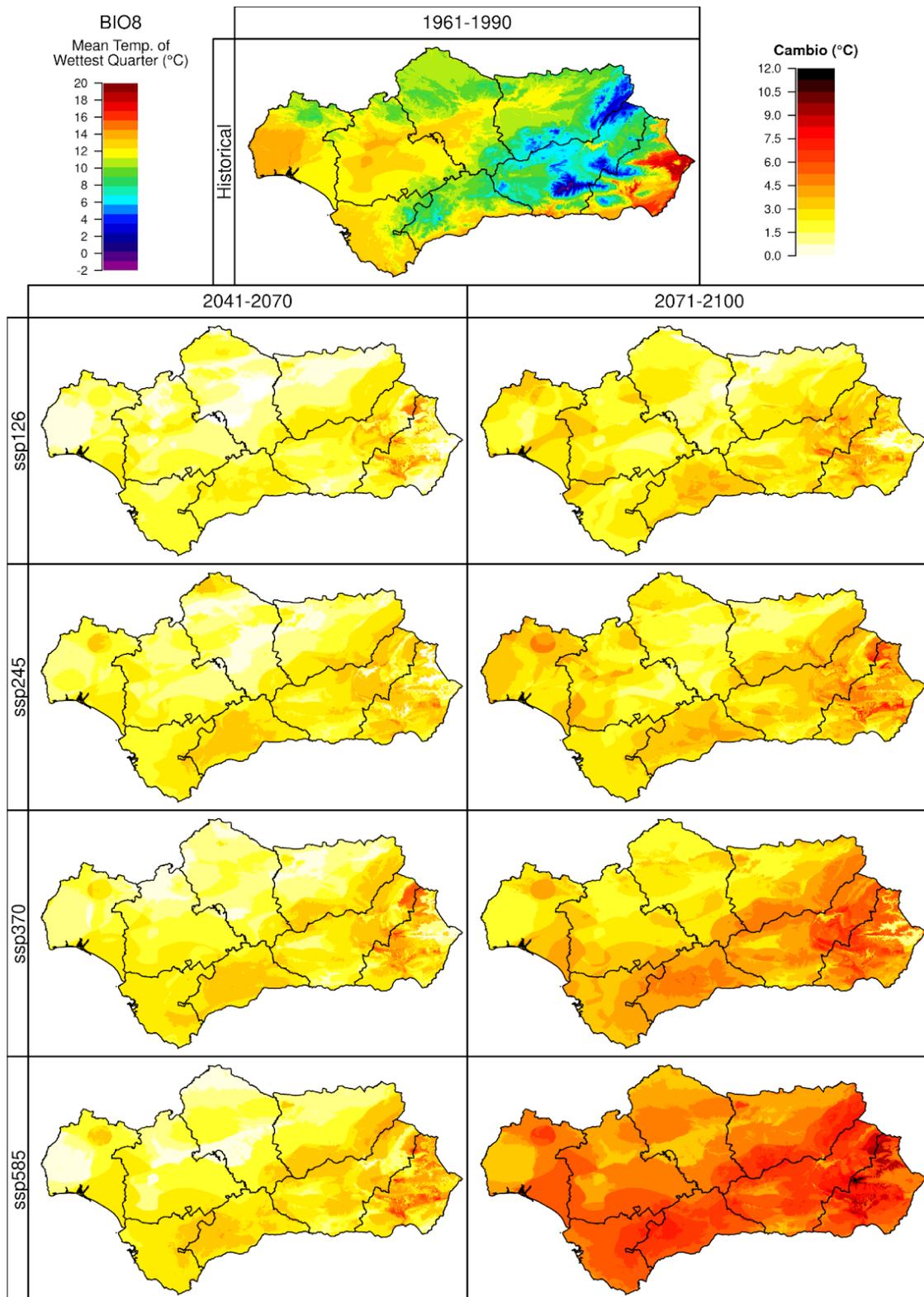


Figura 83.8. Incremento del promedio anual de la temperatura media del trimestre más húmedo (variable BIO 8), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.9 BIO9: TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS SECO

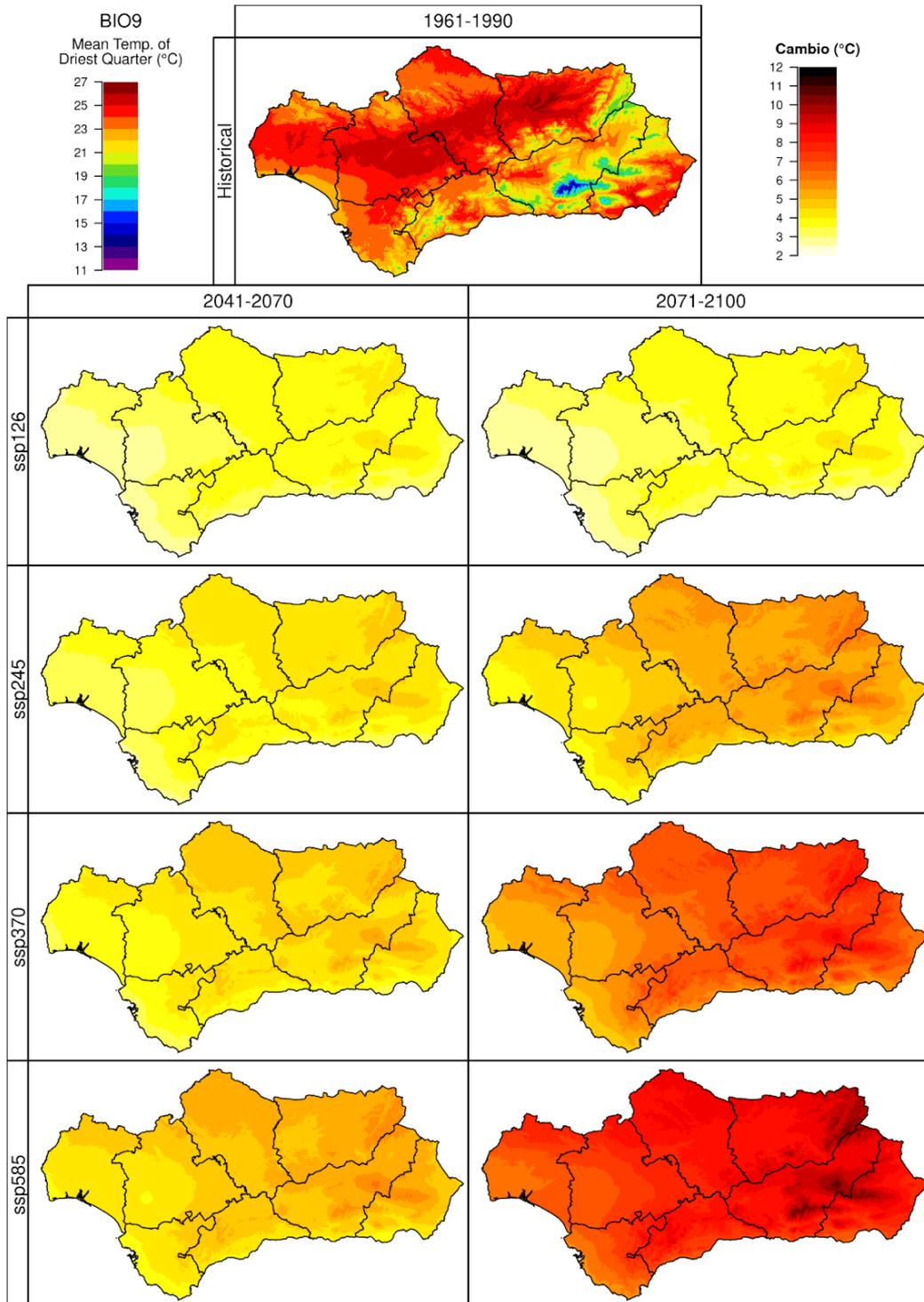


Figura 83.9. Incremento del promedio anual de la temperatura media del trimestre más seco (variable BIO 9), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.10 BIO10: TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS CALUROSO

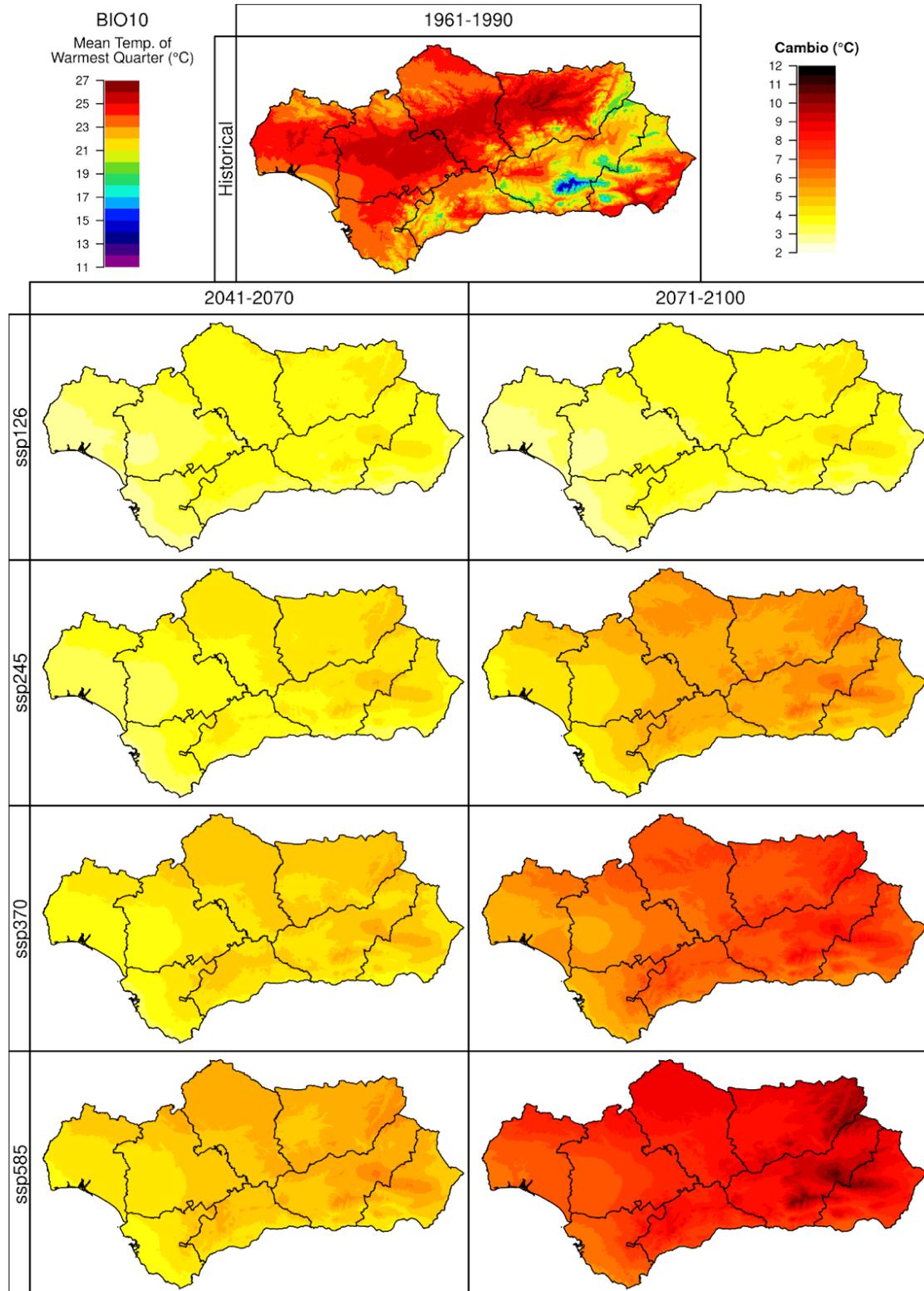


Figura 83.10. Incremento del promedio anual de la temperatura media del trimestre más caluroso (variable BIO 10), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.11 BIO11: TEMPERATURA MEDIA DEL TRIMESTRE MÁS FRÍO

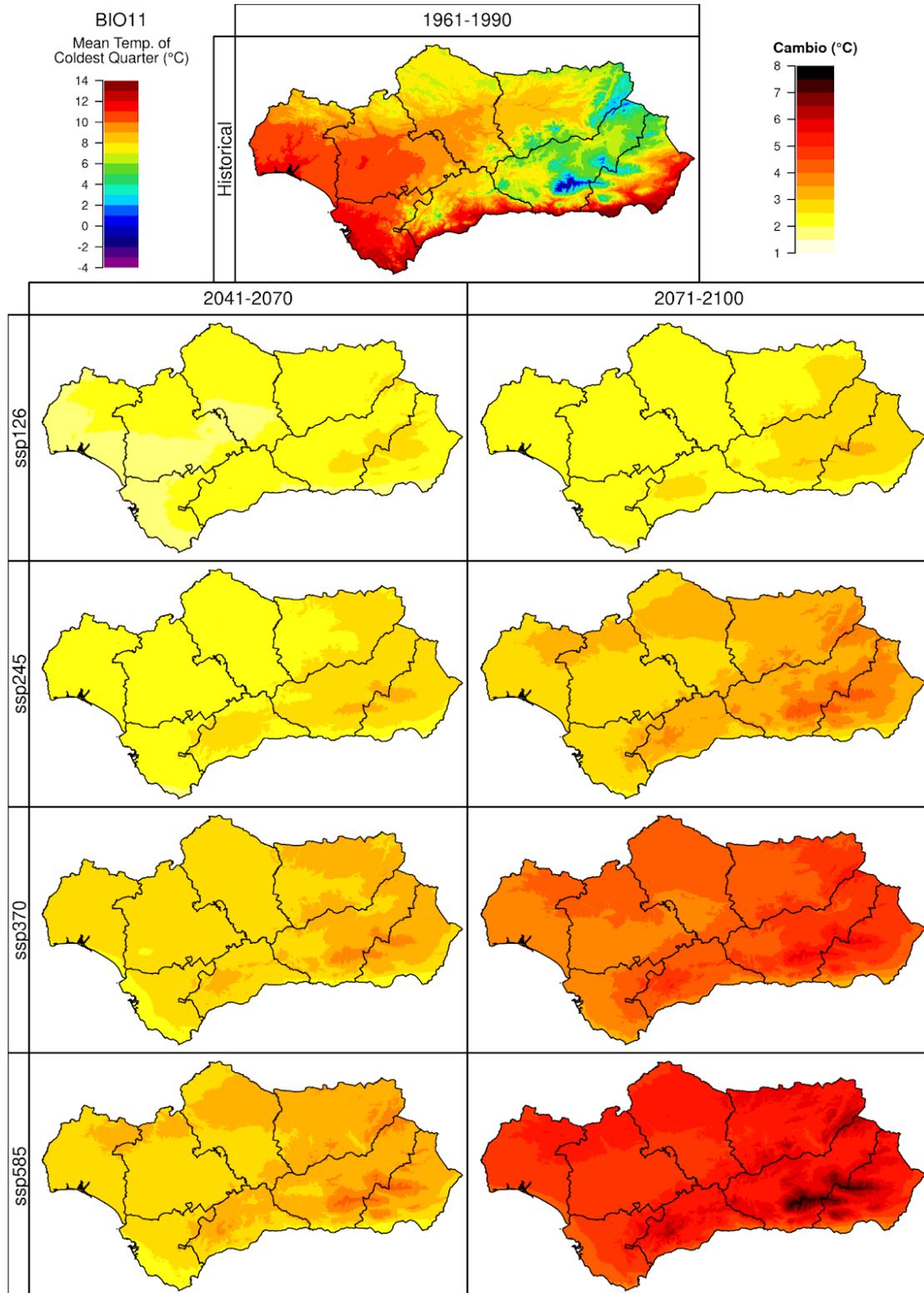


Figura 83.11. Incremento del promedio anual de la temperatura media del trimestre más frío (variable BIO 11), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.12 BIO12: PRECIPITACIÓN ANUAL

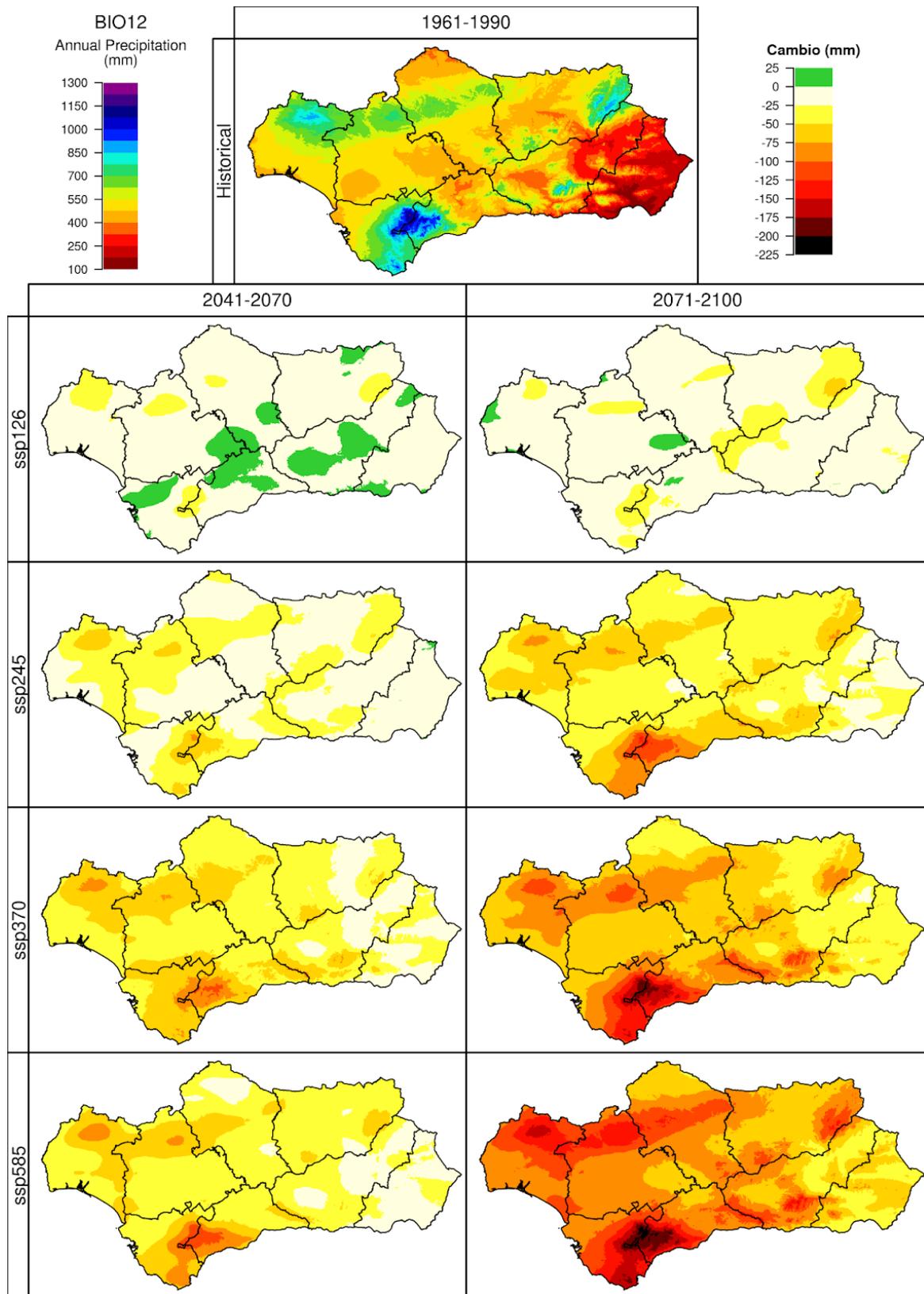


Figura 83.12. Incremento del promedio anual de la precipitación anual (variable BIO 12), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.13 BIO13: PRECIPITACIÓN DEL MES MÁS HÚMEDO

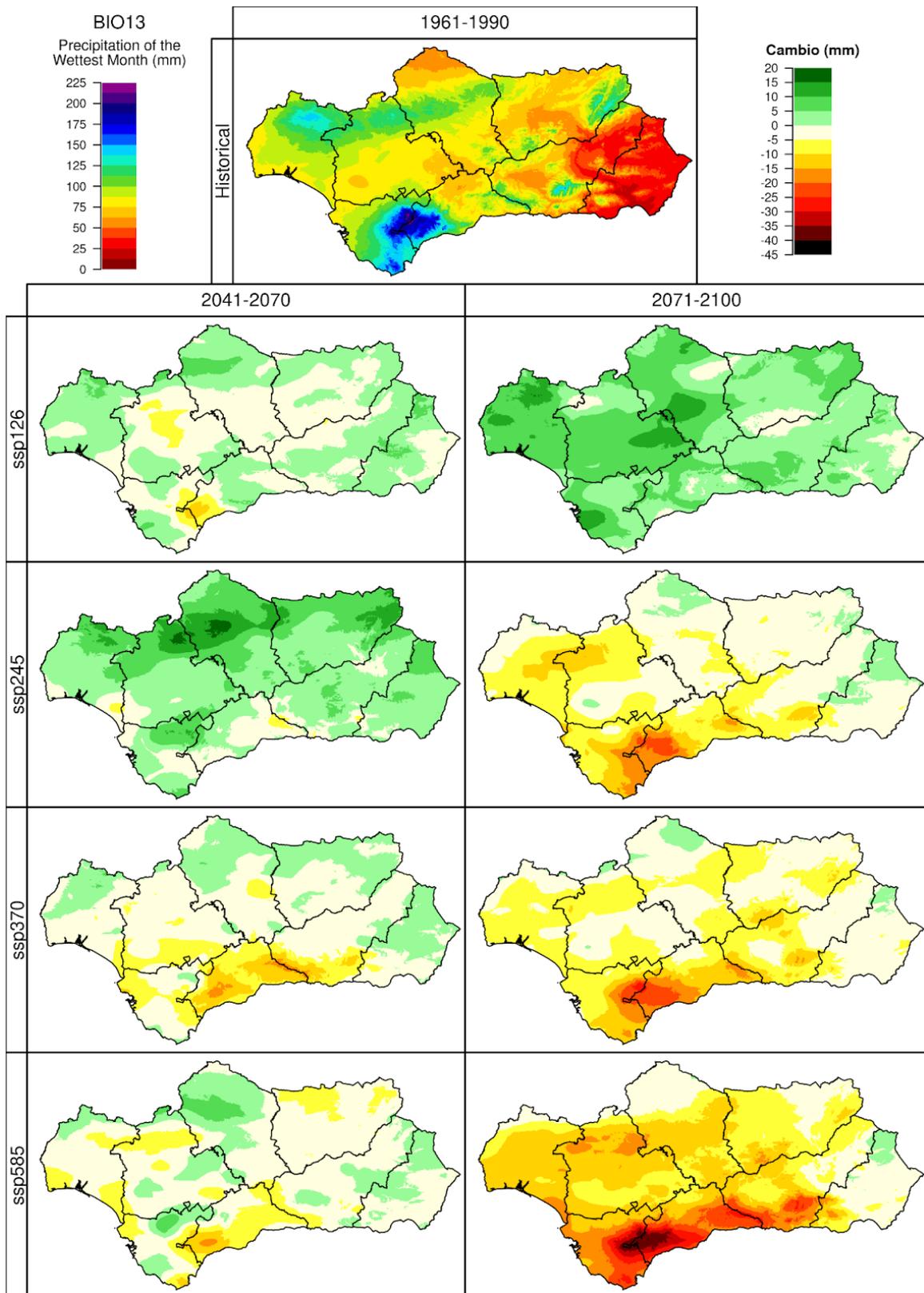


Figura 83.13. Incremento del promedio anual de la precipitación del mes más húmedo (variable BIO 13), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.14 BIO14: PRECIPITACIÓN DEL MES MÁS SECO

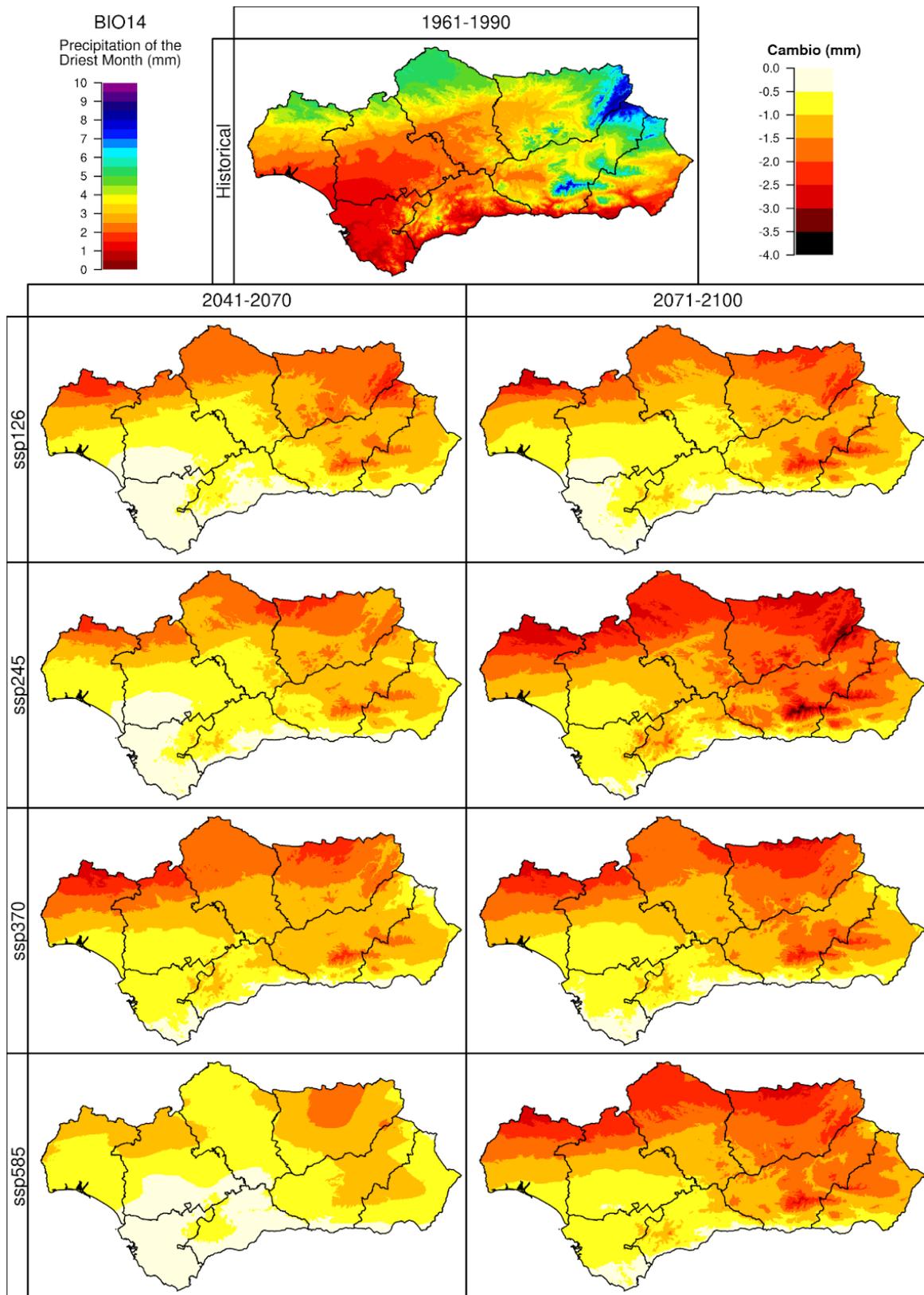


Figura 83.14. Incremento del promedio anual de la precipitación del mes más seco (variable BIO 14), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.15 BIO15: ESTACIONALIDAD DE LA PRECIPITACIÓN

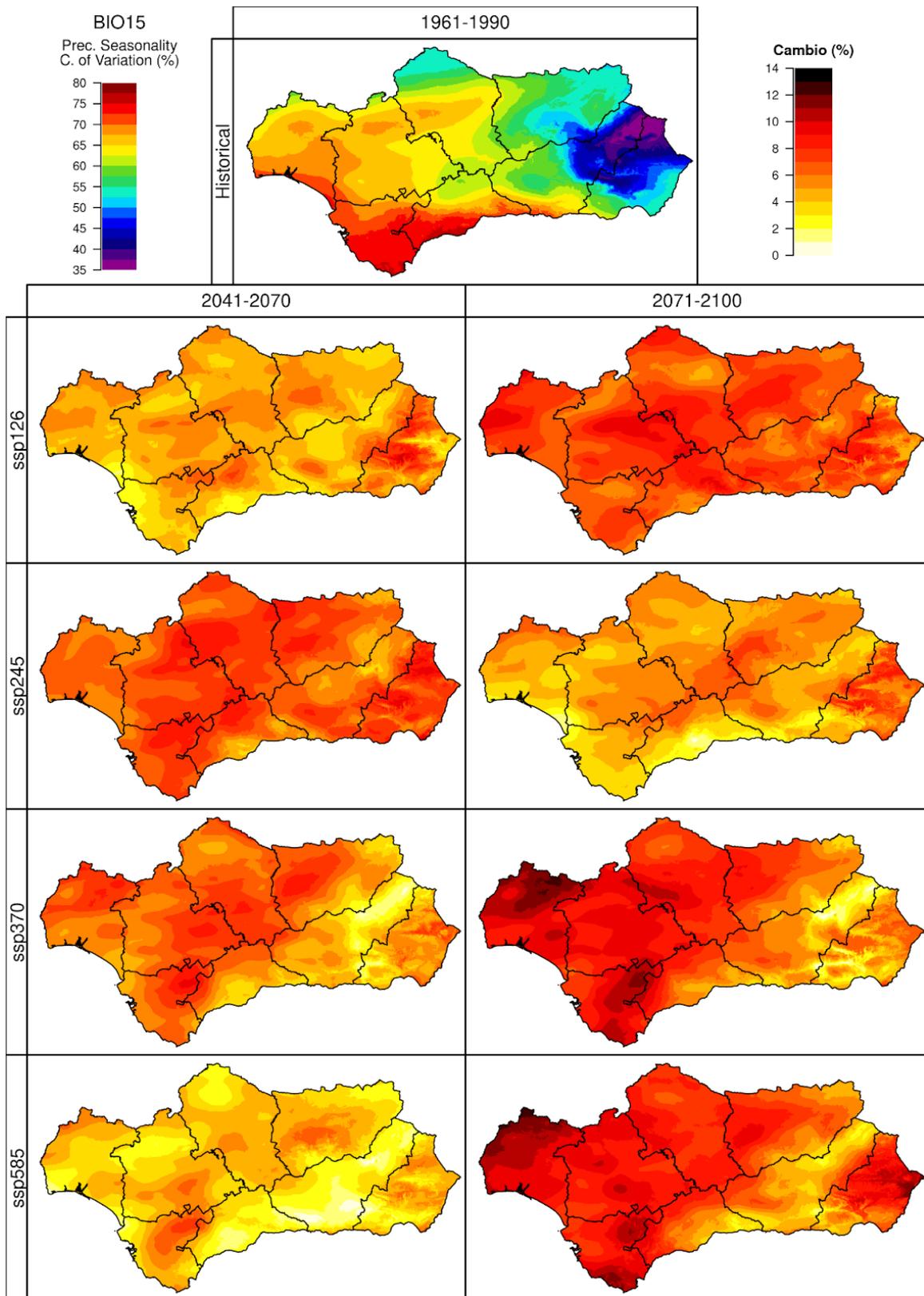


Figura 83.15. Incremento del promedio anual de la estacionalidad de la precipitación (variable BIO 15), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.16 BIO16: PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS HÚMEDO

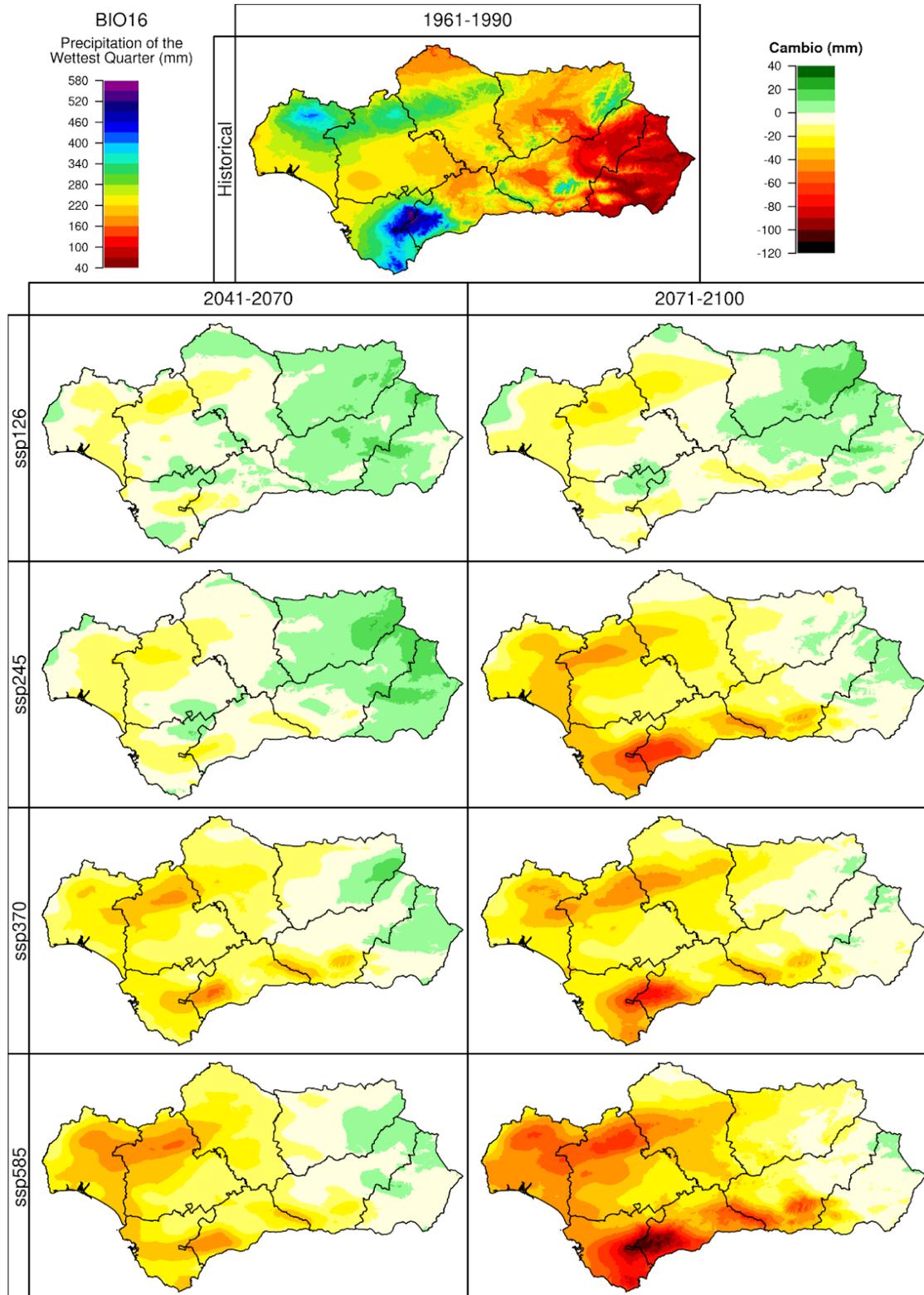


Figura 83.16. Incremento del promedio anual de la precipitación del trimestre más húmedo (variable BIO 16), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.17 BIO17: PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS SECO

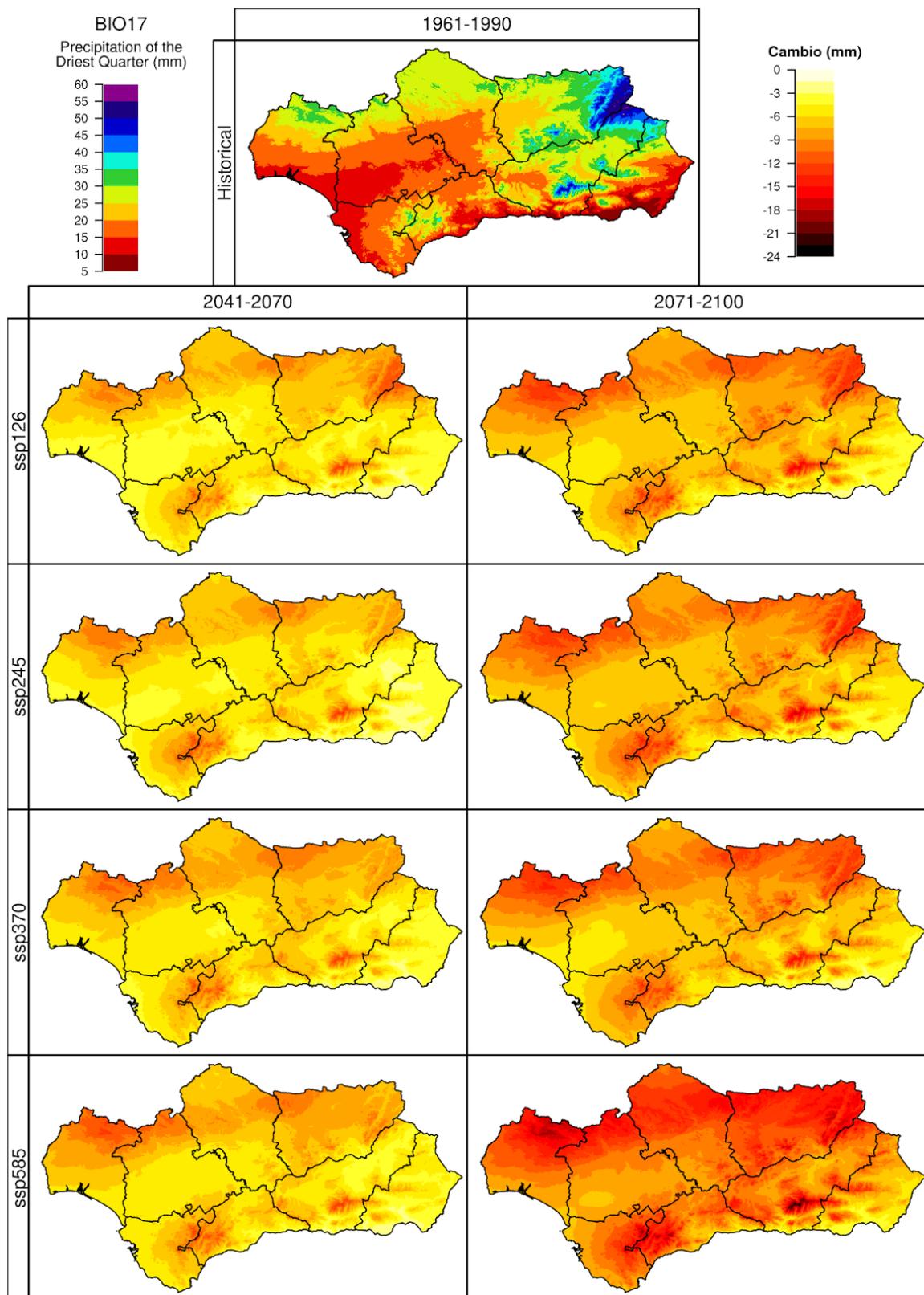


Figura 83.17. Incremento del promedio anual de la precipitación del trimestre más seco (variable BIO 17), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.18 BIO18: PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS CALUROSO

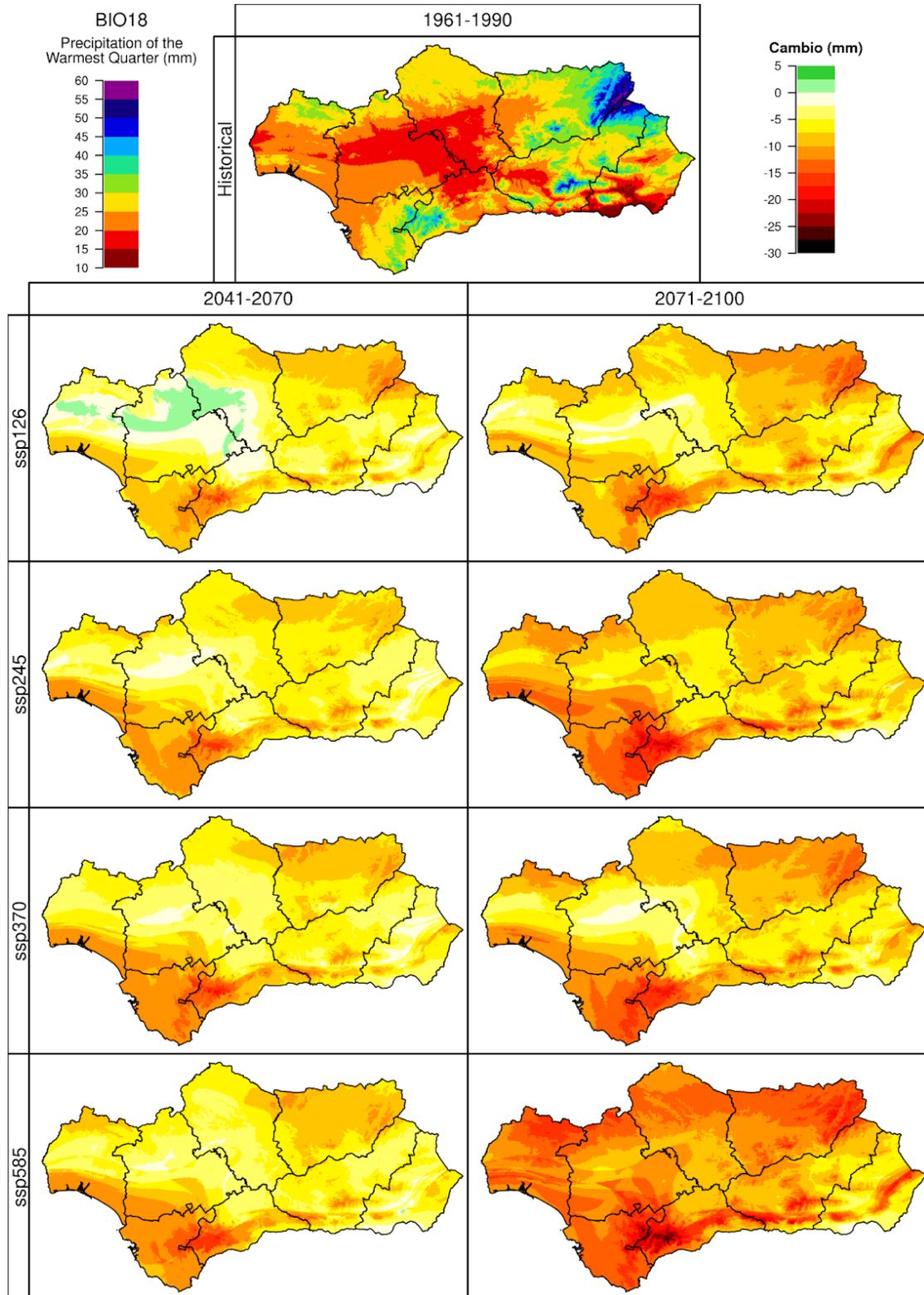


Figura 83.18. Incremento del promedio anual de la precipitación del trimestre más caluroso (variable BIO 18), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

83.19 BIO19: PRECIPITACIÓN DEL TRIMESTRE MÁS FRÍO

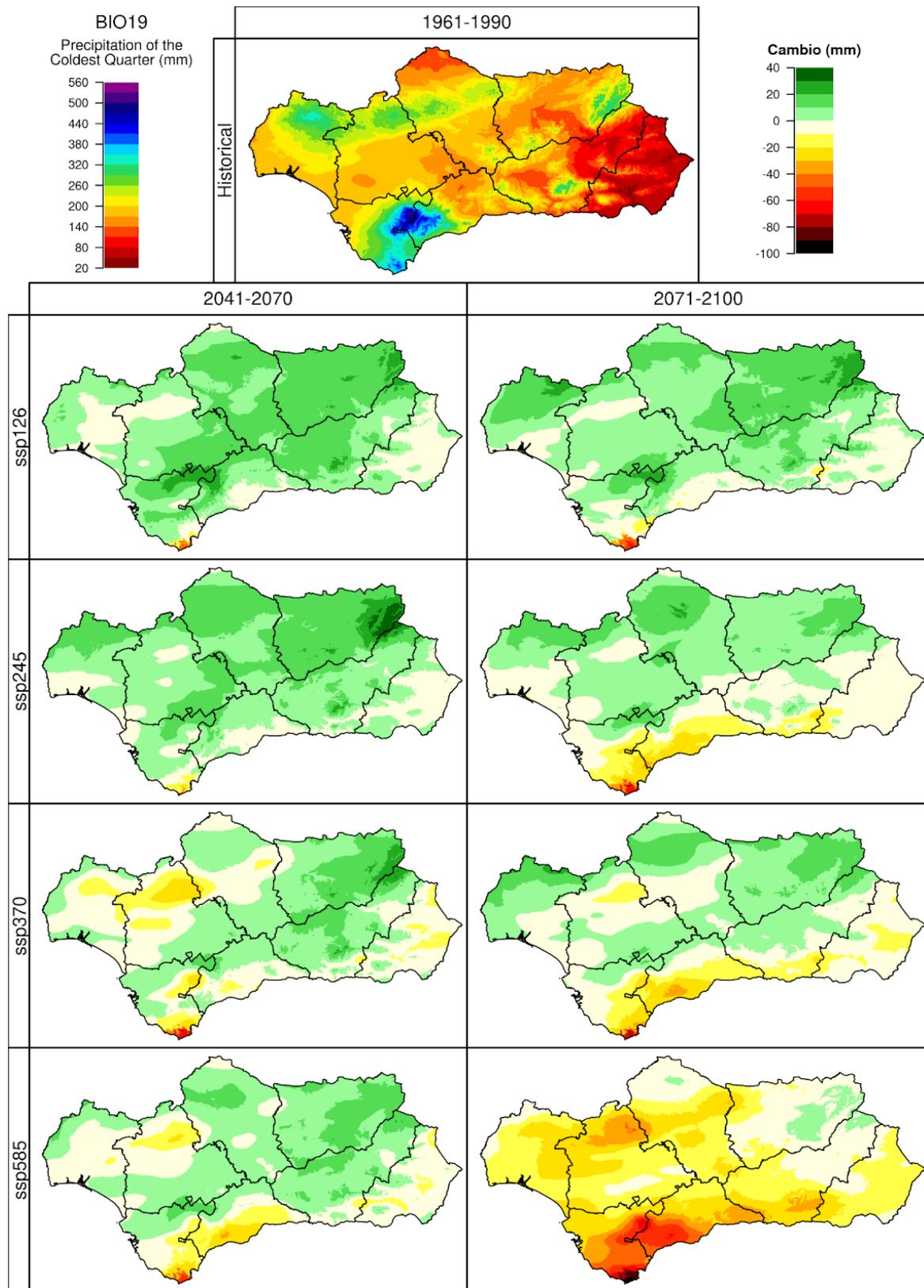


Figura 83.19. Incremento del promedio anual de la precipitación del trimestre más frío (variable BIO 19), con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84. ÍNDICES VITÍCOLAS

En el caso de la vid, se define el período vegetativo entre abril y octubre: desde la brotación hasta la vendimia. Para este periodo de tiempo, se han calculado tres índices: **temperatura media, temperatura mínima y temperatura máxima**.

En el período histórico, la **temperatura media** en este periodo entre abril y octubre se sitúa entre los 20°C y los 23°C en gran parte del territorio, exceptuando la mayor parte de la provincia de Granada, donde se sitúa entre 17°C y 20°C, Serranía de Ronda (15°C/18°C), Sierra de Cazorla y Sierras del interior de Almería (14°C/17°C) y Sierra Nevada (7°C/15°C).

En cuanto a la **temperatura mínima en el periodo vegetativo**, en toda la línea de costa, exceptuando la costa onubense, se sitúa entre los 8°C y los 12°C. Según se avanza hacia el interior, va descendiendo paulatinamente, de manera que en todo el Valle del Guadalquivir, interior de Cádiz y la mayor parte de la provincia de Huelva oscila entre los 4°C y los 8°C. Toda la zona de Sierra Morena y Serranía de Ronda presentan temperaturas mínimas de entre 1°C y 4°C en este periodo, mientras que la zona más fría se corresponde con la provincia de Granada exceptuando su costa (por debajo de 1°C), y sobre todo con las cumbres de Sierra Nevada, Sierras de Cazorla y Segura y Sierra de Baza, donde la temperatura mínima absoluta de este período puede situarse por debajo de los -4°C.

La **temperatura máxima en el periodo vegetativo** supera los 40°C y puede llegar hasta los 43°C en todo el Valle del Guadalquivir y campiñas sevillana, cordobesa y jiennense. En la mayoría del territorio del interior de la comunidad, las máximas absolutas ascienden hasta los 36°C-40°C. La zona más fresca en este período del año son las cumbres de Sierra Nevada, donde las máximas no superan los 26°C. La franja costera mediterránea presenta máximas de entre 30°C y 33°C, exceptuando zonas expuestas al viento terral, que pueden alcanzar los 38°C y la zona de Tarifa que no alcanza los 30°C.

El **índice de frío nocturno** se define como la **temperatura media de las mínimas del mes de septiembre**, que viene a coincidir aproximadamente con el periodo de vendimia. En esta época del año, las mínimas todavía son altas, de manera que en toda la línea de costa mediterránea aún se sitúan entre los 18° y 21°. La mayor parte del Valle del Guadalquivir y las provincias de Huelva y Cádiz presentan mínimas de entre 15°C y 18°C. En zonas de la Sierra de Aracena y sierras del norte de las provincias de Sevilla y Córdoba, ya descienden las mínimas hasta los 12°C-15°C, y en toda la provincia de Granada exceptuando su costa y sierras de Jaén y del norte de Almería las mínimas se sitúan por debajo de los 13°C. En zonas elevadas de las Sierras de Cazorla, Segura y Baza la media de las temperaturas mínimas en septiembre ya desciende hasta los 9°C, y en las cumbres de Sierra Nevada descienden hasta los 5°C.

El índice de **temperatura mínima en periodo de reposo vegetativo** se define como la temperatura mínima absoluta que se alcanza en los meses de noviembre a marzo, considerándose éste periodo el de reposo vegetativo para el caso de la vid. En este caso, en toda la franja costera mediterránea las temperaturas mínimas absolutas se sitúan en el rango

de entre 3°C y 7°C. En la costa gaditana, así como en la costa y el Andévalo onubenses, las mínimas son inferiores, situándose entre los -1°C y 3°C. Según se avanza hacia el interior, la temperatura va descendiendo, de manera que las campiñas cordobesa y sevillana alcanzan ya mínimas de -4°C/-1°C. En Sierra Morena y en toda la provincia de Jaén las mínimas en este periodo se sitúan por debajo de -4°C. La zona no costera de Granada alcanza mínimas inferiores a -6°C y las temperaturas más extremas se dan en las cumbres de Sierra Nevada y sierras de Cazorla y Segura con mínimas de -11°C.

En cuanto a los escenarios futuros para estos índices, todos tienen en común una fuerte tendencia al calentamiento:

- Para mediados de siglo (2041-2070) todos los índices que tienen que ver con temperatura mínima presentan aumentos moderados, con subidas de 1°C a 4°C en los escenarios más optimistas (SSP1-2.6 y SSP2-4.5) y subidas de 2.5°C a 5°C en los más pesimistas. Estos aumentos de temperatura son mayores en el caso del índice de frío nocturno, en consonancia con una mayor tendencia al calentamiento en verano. En el caso de las temperaturas máximas en periodo vegetativo, el aumento es considerablemente mayor, pudiendo llegar hasta los 4°C/7°C en los escenarios más pesimistas. En todos los casos, los aumentos son más o menos homogéneos en todo el territorio, sin haber zonas que destaquen especialmente.
- Para finales de siglo (2071-2100) se repite el patrón de mediados de siglo: los aumentos de temperatura en índices de temperatura mínima son mucho más limitados que en los de temperaturas máximas. Los índices de temperatura mínima en período vegetativo, índice de frío nocturno y temperatura mínima en período de reposo vegetativo presentan aumentos de entre 2°C y 4°C según el escenario más optimista (SSP1-2.6) y de entre 5°C y 7°C en el más pesimista (SSP5-8.5). Hay una diferencia fundamental respecto a las proyecciones a mitad de siglo: en este caso, el patrón de aumento es mucho mayor en zonas elevadas (Sierra Nevada y Sierras de Cazorla, Segura y Baza), con aumentos de temperatura que podrían situarse entre los 7°C y 9°C. En cuanto a la temperatura máxima en periodo vegetativo, se proyecta un aumento mucho mayor que en el caso de la temperatura mínima: en este caso, la temperatura ya subiría entre 3°C y 6°C según el escenario SSP1-2.6, entre 8°C y 11°C según el escenario SSP5-8.5 y en zonas montañosas orientales los aumentos podrían situarse por encima de los 11°C.

84.1 TEMPERATURA MEDIA EN EL PERIODO VEGETATIVO

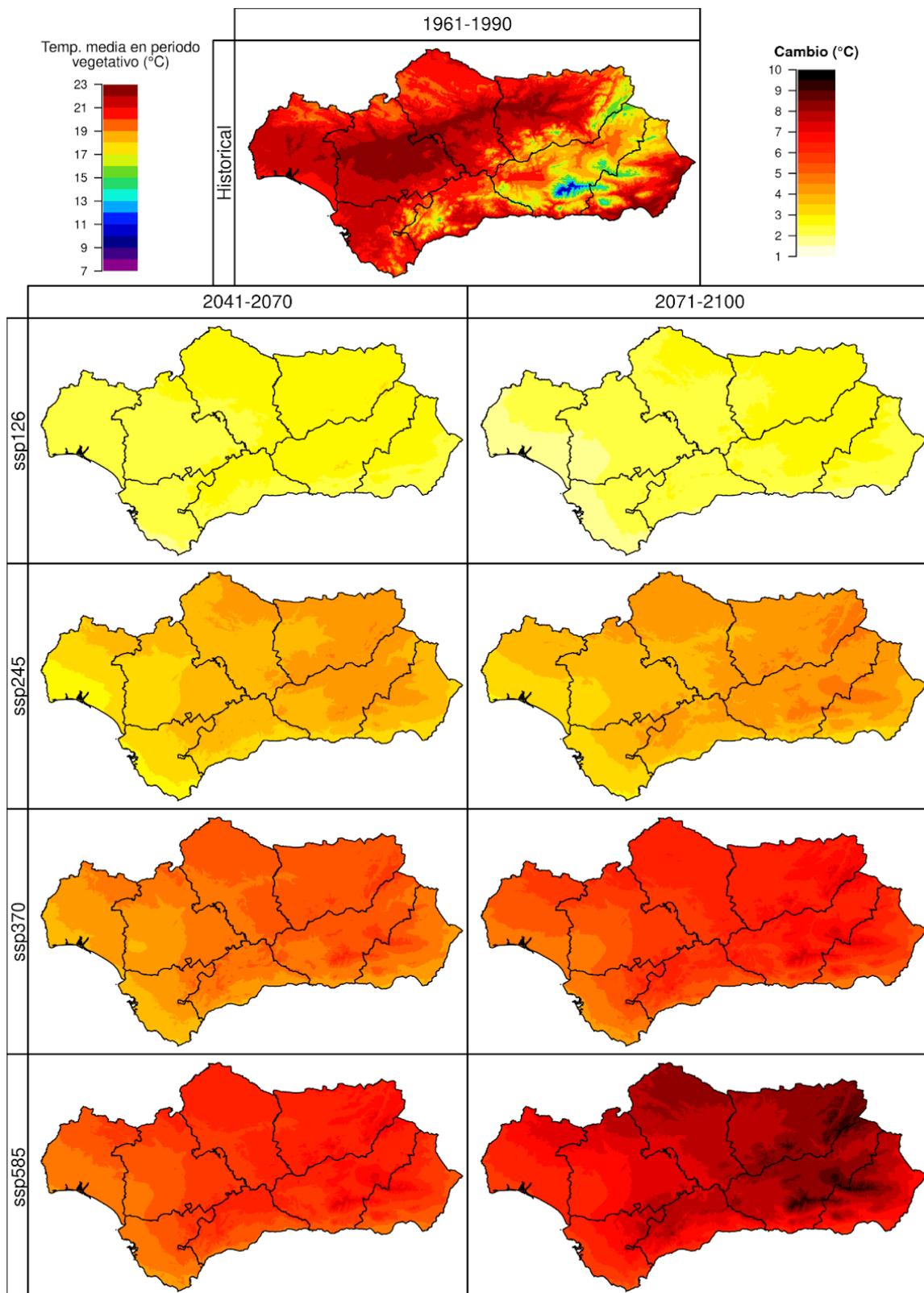


Figura 84.1. Incremento del promedio anual de la temperatura media en el periodo vegetativo con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84.2 TEMPERATURA MÍNIMA EN EL PERIODO VEGETATIVO

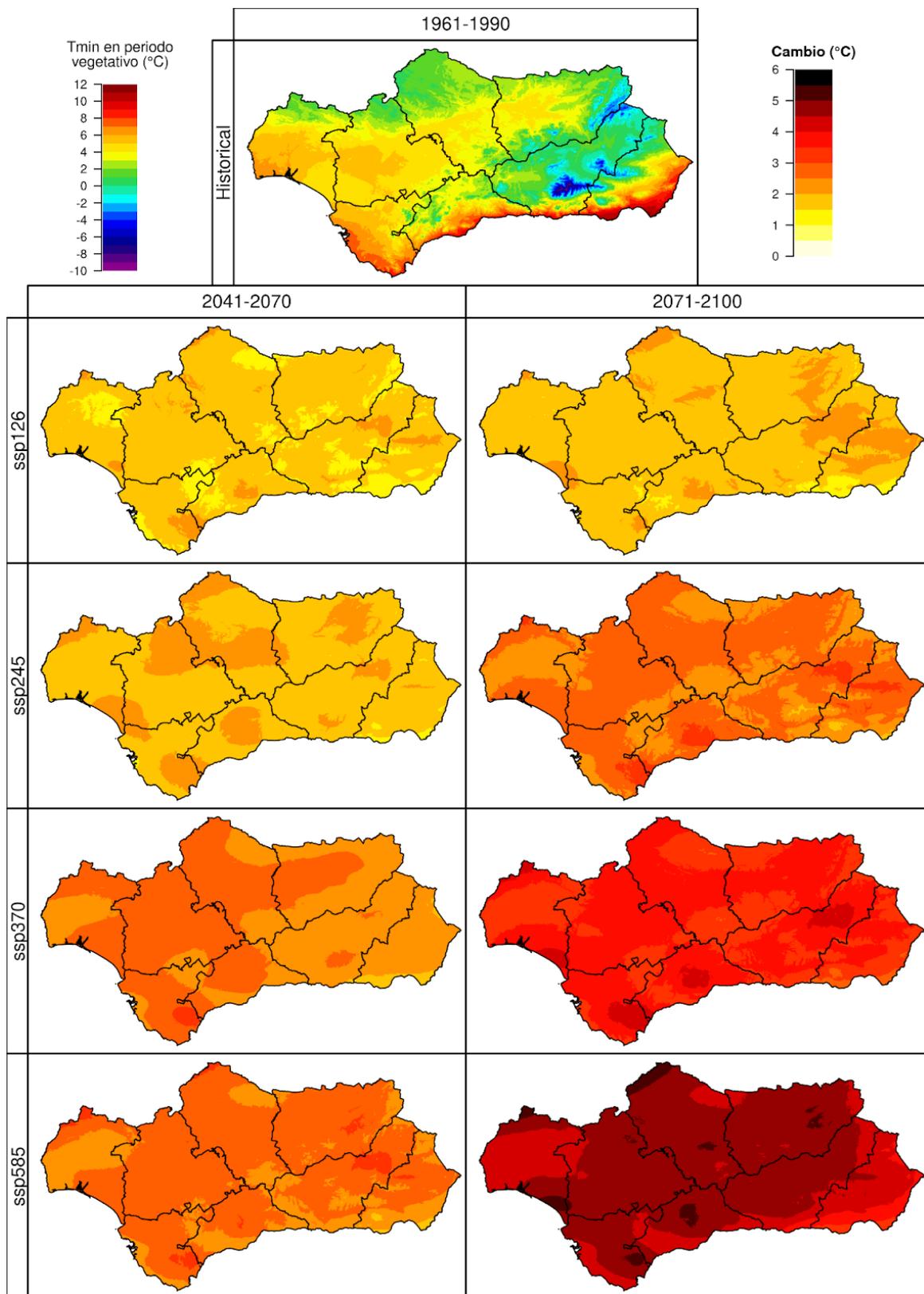


Figura 84.2. Incremento del promedio anual de la temperatura mínima en el periodo vegetativo con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84.3 TEMPERATURA MÁXIMA EN PERIODO VEGETATIVO

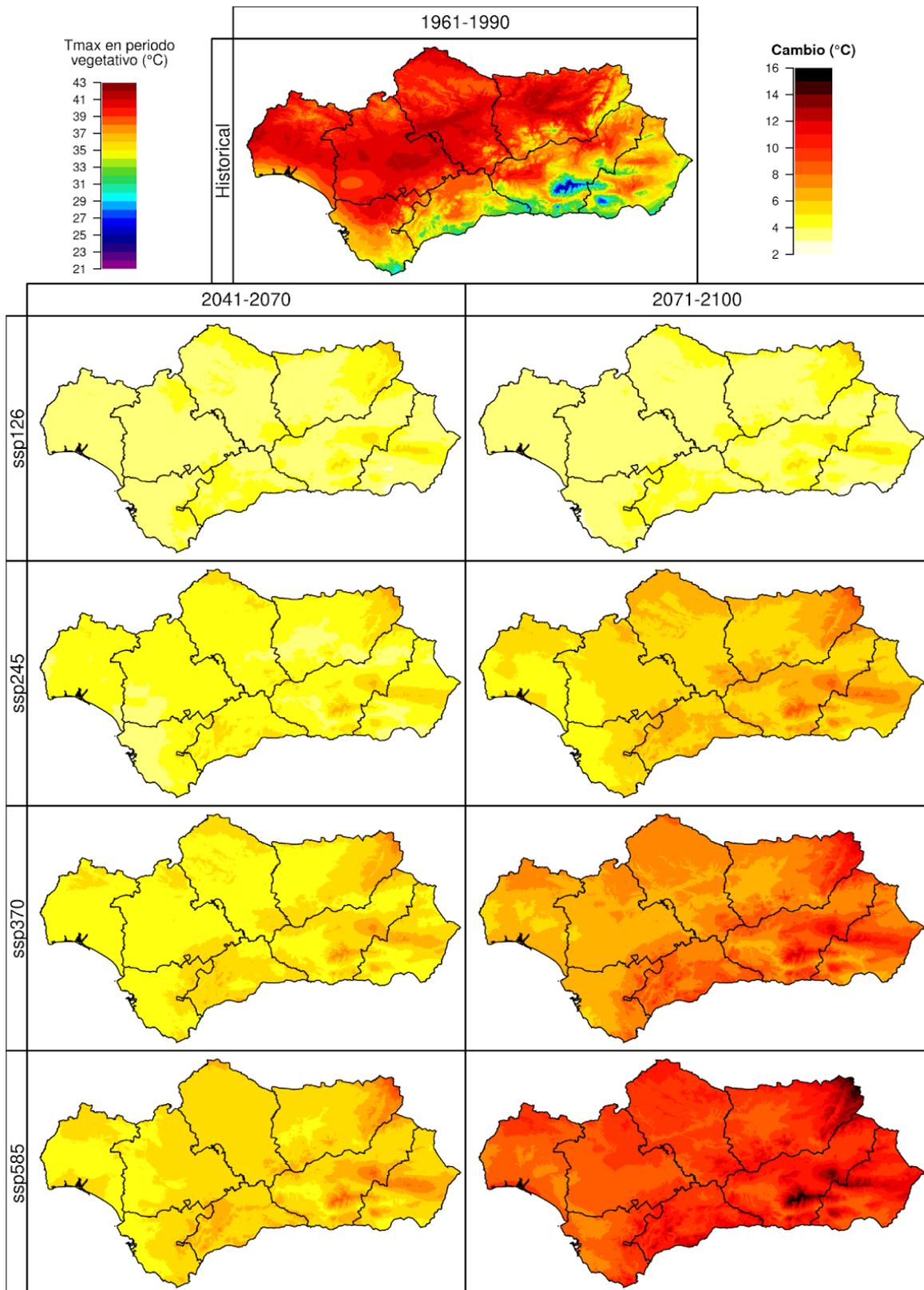


Figura 84.3. Incremento del promedio anual de la temperatura máxima en el periodo vegetativo con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84.4 ÍNDICE DE FRÍO NOCTURNO

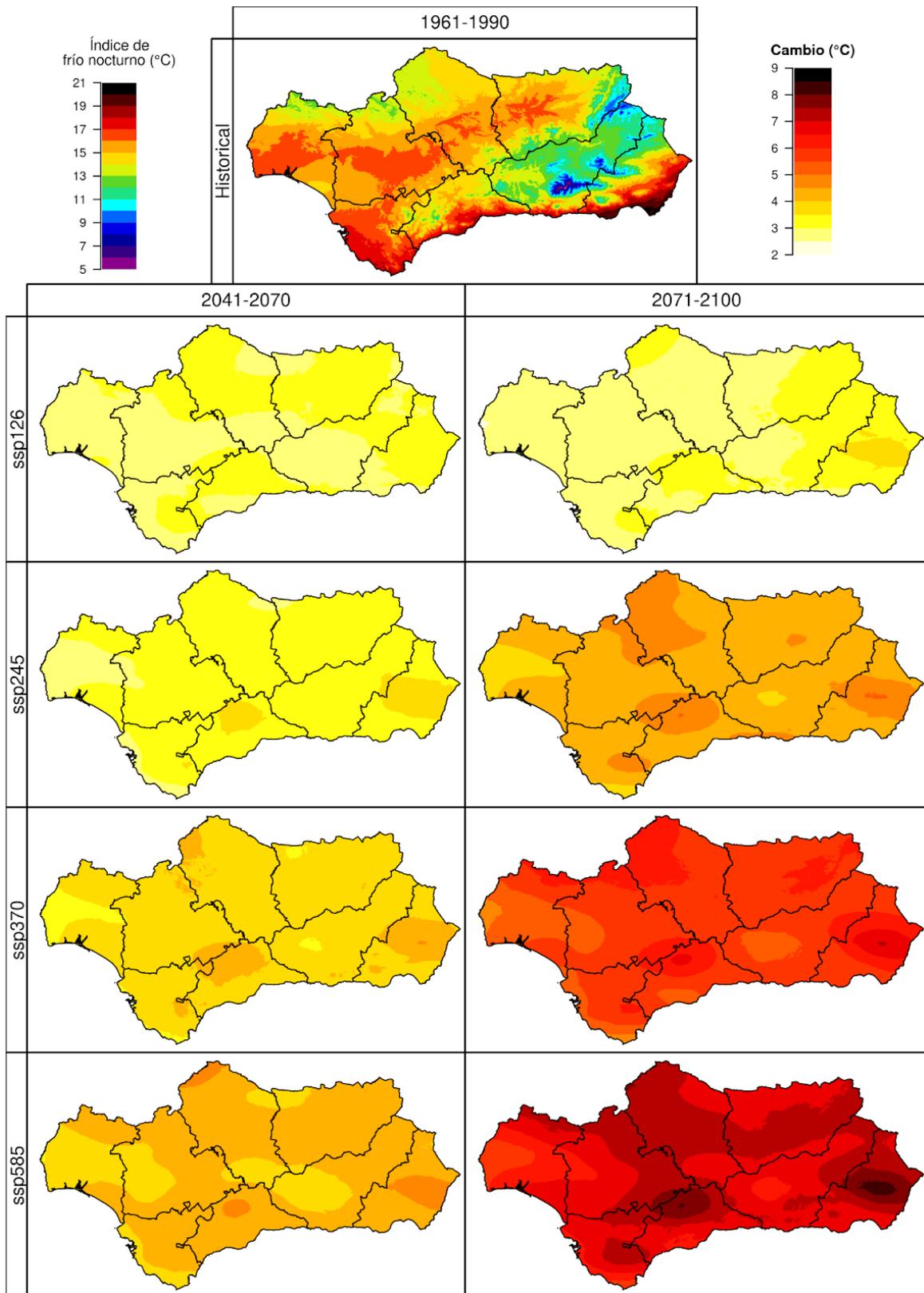


Figura 84.4. Incremento del promedio anual del índice de frío nocturno con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84.5 TEMPERATURA MÍNIMA DEL PERIODO DE REPOSO VEGETATIVO

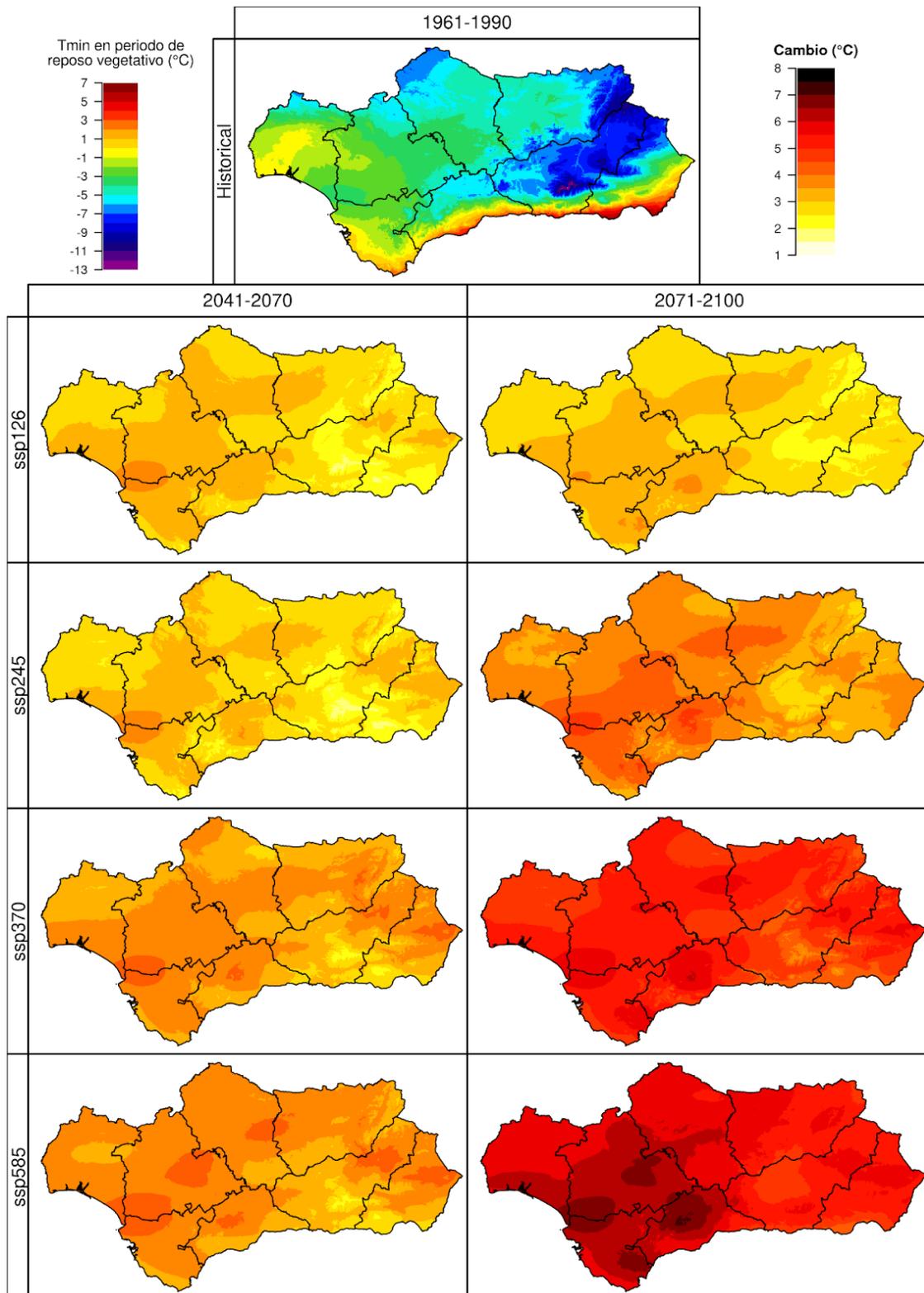


Figura 84.5. Incremento del promedio anual del índice de frío nocturno con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84.6 ÍNDICE DE WINKLER

El **índice de Winkler** caracteriza la idoneidad en general del tipo de viticultura y de las variedades en particular en zonas concretas. Se define como la acumulación de calor durante el periodo activo, es decir, el sumatorio de la diferencia entre la temperatura media diaria y la temperatura activa entre el 1 de abril y el 31 de octubre. En este caso la temperatura activa elegida es de 10°C, temperatura a partir de la cual la planta abandona el estado de reposo vegetativo.

Al ser una integral térmica, este índice presenta mayores valores en zonas cálidas: en el periodo histórico se superan los 2400 grados-día en toda la zona costera, zonas interiores no montañosas de Huelva y Cádiz y en todo el valle del Guadalquivir y campiñas sevillana, cordobesa y jiennense. En zonas costeras de Almería y Granada se superan incluso los 3000 grados-día. Según se va ascendiendo en altura, van descendiendo los valores del índice, de esta manera en la Sierra de Aracena y sierras del norte de Sevilla y Córdoba los valores descienden hasta los 2000/2400 grados-día y en las Cordilleras Béticas los valores se sitúan por debajo de este umbral de 2000 grados-día. En zonas montañosas del interior de Málaga y en la mayor parte de la provincia de Granada los valores del índice de Winkler se sitúan en el intervalo de 1500/2000 grados-día. En las sierras de Cazorla, Segura y Baza el rango del índice oscila entre los 800 y 1500 grados-día y las cumbres de Sierra Nevada presentan valores inferiores a los 500 grados-día.

En cuanto a los escenarios futuros, el índice de Winkler tiende a presentar valores cada vez más elevados en todo el territorio:

- Para mediados de siglo (2041-2071) los aumentos son muy homogéneos en todo el territorio y hay pocas diferencias entre escenarios: entre 600 y 900 grados-día bajo los escenarios más optimistas y entre 800 y 1100 grados-día bajo los escenarios más pesimistas. La única excepción es Sierra Nevada, que presenta aumentos mucho más bajos en todos los escenarios: entre 300 y 450 grados-día.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario más optimista (SSP126) muestra subidas del índice muy parecidas al mismo escenario a mitad de siglo, pero los valores empiezan a dispararse a partir del SSP245. Este escenario ya presenta aumentos de entre 1000 y 1200 grados-día, mientras que el SSP370 proyecta aumentos de 1300-1800 grados-día y el SSP585 de 1800-2400 grados-día, sobre todo en zonas interiores. Sierra Nevada sigue presentando aumentos muy ligeros en los escenarios más optimistas, mientras que en los pesimistas ya superan también los 1000 grados-día.

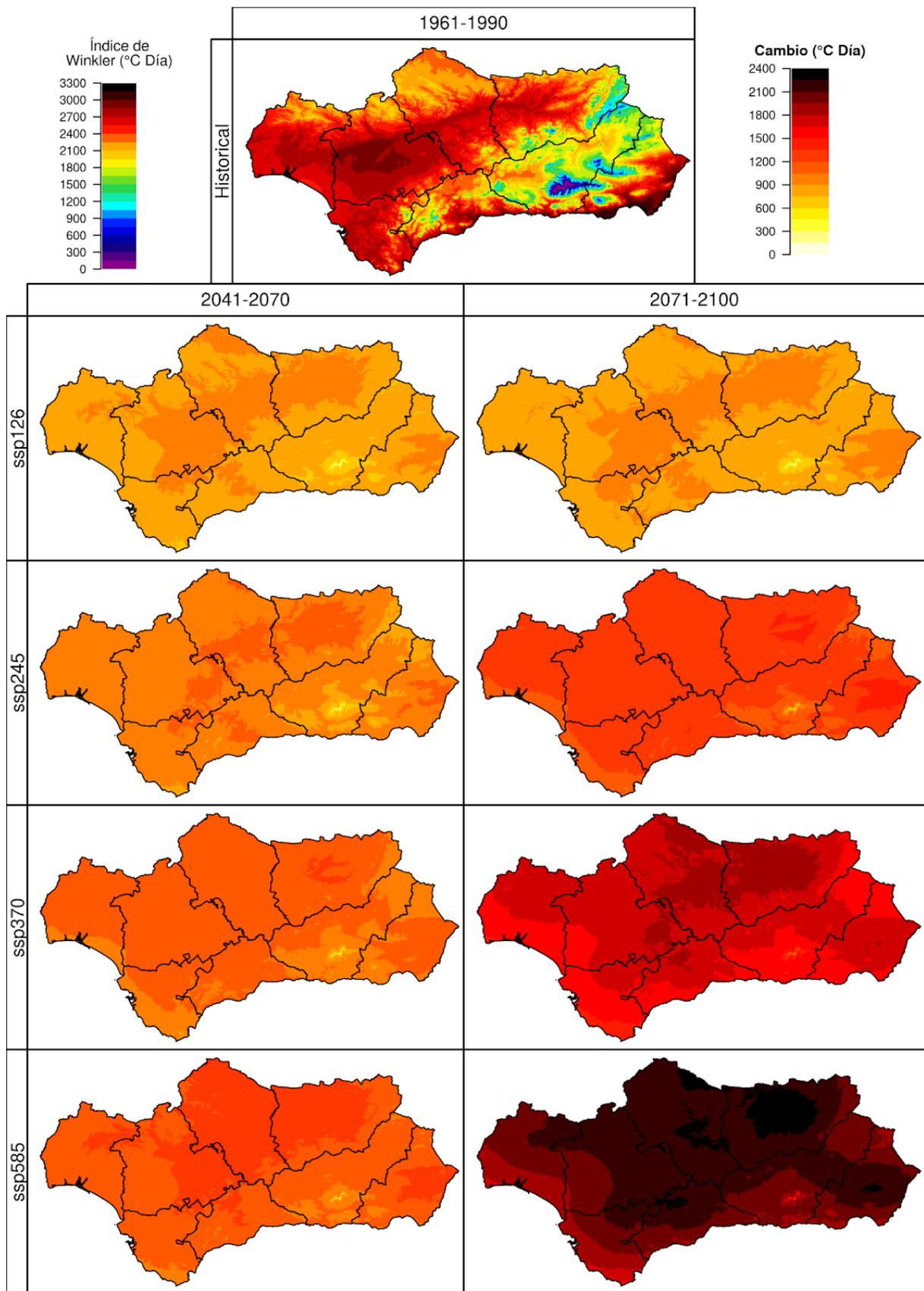


Figura 84.6. Incremento del promedio anual del índice de Winkler con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84.7 GRADOS-DÍA BIOLÓGICAMENTE EFECTIVOS

El índice **grados-día biológicamente efectivos** (BEDD por sus siglas en inglés) es un parámetro definido para estudiar el crecimiento activo de la planta a partir de los grados-día durante el periodo activo (del 1 de abril al 31 de octubre), siendo este índice la suma de las temperaturas medias diarias situadas entre los 10°C y los 19°C, rango de temperaturas óptimo para el crecimiento de la vid.

En el periodo histórico, la zona donde este índice es más elevado es la franja costera mediterránea, con valores que van desde los 2200 a los 2500 grados-día. A continuación se sitúan el valle del Guadalquivir, Campiña sevillana y gran parte de las provincias de Huelva y Cádiz, con valores situados entre los 1800 y 2200 grados-día. Conforme nos desplazamos a zonas menos cálidas, el valor de este índice va descendiendo paulatinamente. En zonas elevadas de Huelva, Córdoba, Sevilla e interior de Málaga ya este índice desciende a hasta el rango de 1500-1800 grados-día, y en las provincias de Jaén, Granada e interior de Almería se presentan los valores más bajos. En las sierras de Cazorla, Segura, Baza y María-Los Vélez el índice BEDD ya desciende a un rango de entre 750 y 1500 grados-día y en Sierra Nevada se sitúa por debajo de los 750 grados-día.

En lo relativo a los escenarios futuros, se observa una tendencia ascendente en el índice, muy homogénea en todo el territorio, siendo más pronunciada en las áreas de montaña, especialmente en las cordilleras Béticas:

- Para mediados de siglo (2041-2070) todos los escenarios muestran aumentos moderados de entre 300 y 550 grados-día. Estos incrementos son más modestos en el valle del Guadalquivir (300-400 grados-día) en el escenario más optimista, y más elevados en las cordilleras Béticas en el escenario más pesimista (500-550 grados-día).
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario SSP1-2.6 proyecta unos resultados similares a lo que se espera para mitad de siglo, pero a partir del SSP2-4.5 los incrementos son mucho mayores. Ya en este escenario los incrementos se elevan por encima de los 500 grados-día en todo el territorio, en el SSP3-7.0 se superan los 600 grados-día y en el más pesimista (SSP5-8.5) los incrementos superan los 800 grados-día en toda la comunidad autónoma, y en Sierra Nevada y la Sierra de Baza se disparan hasta los 1000/1200 grados-día.

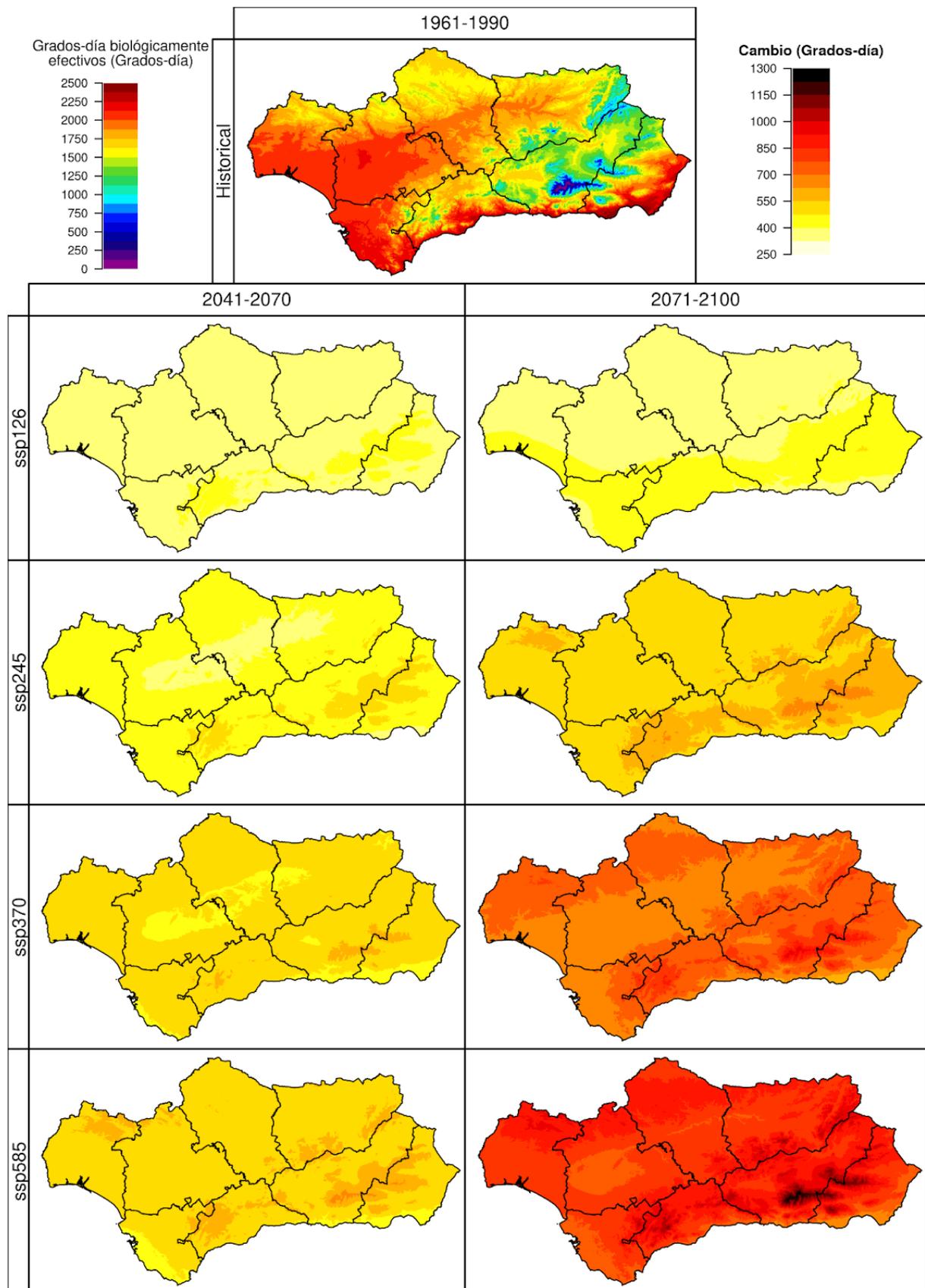


Figura 84.7. Incremento del promedio anual de los grados-día biológicamente efectivos con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84.8 ÍNDICE HELIOTÉRMICO DE HUGLIN

El **índice heliotérmico de Huglin (HI)** permite evaluar las posibilidades heliotérmicas de un medio vitícola. Este índice define la temperatura del período en el que la fotosíntesis es activa e informa del potencial de azúcar.

Al ser una integral térmica en el período activo (del 1 de abril al 31 de octubre) este índice presenta mayores valores en zonas con temperaturas medias más cálidas en este período. En el periodo histórico, la zona con mayores valores del índice HI es la zona costera de Granada y Almería, con valores de entre 1800 y 2100 grados-día. Les siguen otras zonas templadas como el valle del Guadalquivir, y la mayor parte de Huelva y Cádiz con valores de 1500-1800 grados-día y según se va ascendiendo en altura, los valores del índice van disminuyendo: la Sierra de Aracena, Sierra Morena y Cordilleras Béticas ya presentan valores inferiores a 1400 grados-día. Destacan las sierras de Cazorla y Baza, con valores de entre 500 y 1000 grados-día, y sobre todo Sierra Nevada, en cuyas cumbres se sitúa por debajo de 300 grados-día.

En cuanto a los escenarios futuros, el índice IH tiende a presentar valores cada vez más elevados en todo el territorio, de acuerdo con la futura tendencia general de calentamiento:

- Para mediados de siglo (2041-2071) los aumentos son muy homogéneos en todo el territorio y hay pocas diferencias entre escenarios: entre 400 y 750 grados-día bajo los escenarios más optimistas y entre 500 y 850 grados-día bajo los escenarios más pesimistas. Las cumbres elevadas presentan ascensos más modestos que el resto del territorio, siendo Sierra Nevada la zona con menores aumentos: entre 350 y 450 grados-día bajo todos los escenarios.
- Para finales de siglo (2071-2100) el escenario más optimista (SSP126) muestra subidas del índice muy parecidas al mismo escenario a mitad de siglo, pero los valores empiezan a dispararse a partir del SSP245. Este escenario ya presenta aumentos de entre 600 y 900 grados-día, mientras que el SSP370 proyecta aumentos de 800-1200 grados-día y el SSP585 de 1000-1500. En este período del siglo, las zonas montañosas ya presentan aumentos en consonancia con el resto del territorio, y las subidas del HI más significativas ocurrirían sobre todo en zonas interiores y orientales.

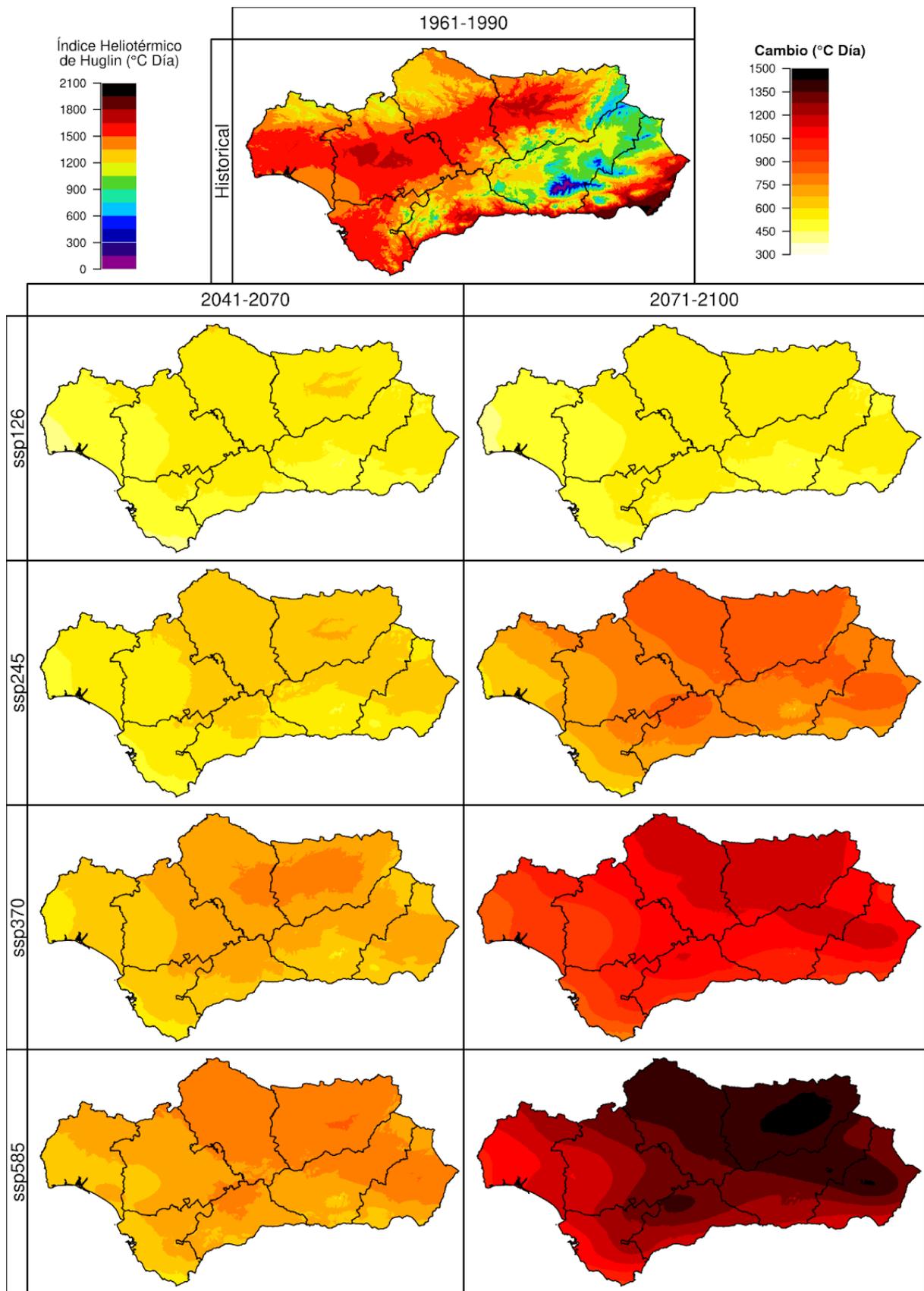


Figura 84.8. Incremento del promedio anual del índice heliotérmico de Hugin con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

84.9 ÍNDICE DE BRANAS, BERNON Y LEVADOUX

El **índice de Branas, Bernon y Levadoux (BI)** indica las posibilidades que tiene una vid de desarrollar Mildiu, un hongo que ataca los órganos de la vid y cuyas condiciones ambientales óptimas son temperaturas de 12°C junto con precipitaciones superiores a los 10mm. Es un índice mixto que tiene en cuenta tanto la temperatura media como la precipitación mensual entre abril y agosto.

Al ser un índice que tiene en cuenta la precipitación, los valores más altos se dan en zonas húmedas y los más bajos en zonas áridas. En el periodo histórico, la Sierra de Cazorla es la zona con mayor índice BI, superando los 3500mm·°C. Otras zonas montañosas como la Sierra de Aracena, y las sierras de Ronda y Grazalema presentan también muy elevados de entre 2500 y 3500mm·°C, mientras que según nos desplazamos a zonas más secas el índice va descendiendo. El valle del Guadalquivir, Sierra Morena y Sierra Nevada presentan valores de entre 2000 y 2500mm·°C; y la costa atlántica así como la parte oriental de la provincia de Málaga tienen valores de entre 1500 y 2000mm·°C. La zona donde este índice es menor es en Almería y costa de Granada, con valores inferiores a 1500mm·°C con zonas de la costa almeriense con valores de entre 700 y 1000mm·°C.

En cuanto a los escenarios futuros, el índice IB presenta tendencias dispares en distintas partes del territorio, ya que un aumento de temperaturas tiende a aumentar este índice y una disminución de precipitación tiende a disminuirlo:

- Para mediados de siglo (2041-2071) todos los escenarios convergen en una disminución del índice BI en las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz y Almería, y un aumento en la zona interior oriental de la comunidad, en especial en zonas de montaña. Los mayores aumentos, de hasta 200-400mm·C, se esperan en la Sierra de Cazorla, Sierra Nevada y zona de Baza y Guadix; mientras que las mayores disminuciones se esperan para la provincia de Huelva, también de hasta 400mm·°C.
- Para finales de siglo (2071-2100), en el caso de los escenarios SSP126 y SSP245 muestran una tendencia similar a la mostrada para mitad de siglo, mientras que en los escenarios SSP370 y SSP585 acentúan una tendencia descendente en el índice, seguramente por una disminución más abrupta de la precipitación en las zonas más húmedas. Bajo estos escenarios, las únicas zonas donde el índice IB aumenta ligeramente es en el interior-norte de las provincias de Granada y Almería, mientras que en el resto del territorio se producen disminuciones del índice, sobre todo en el oeste. En las provincias de Huelva, Sevilla y Cádiz los descensos son superiores a los 300mm·°C, y en las zonas más húmedas (sierras de Aracena y Grazalema) las disminuciones podrían superar los 600mm·°C.

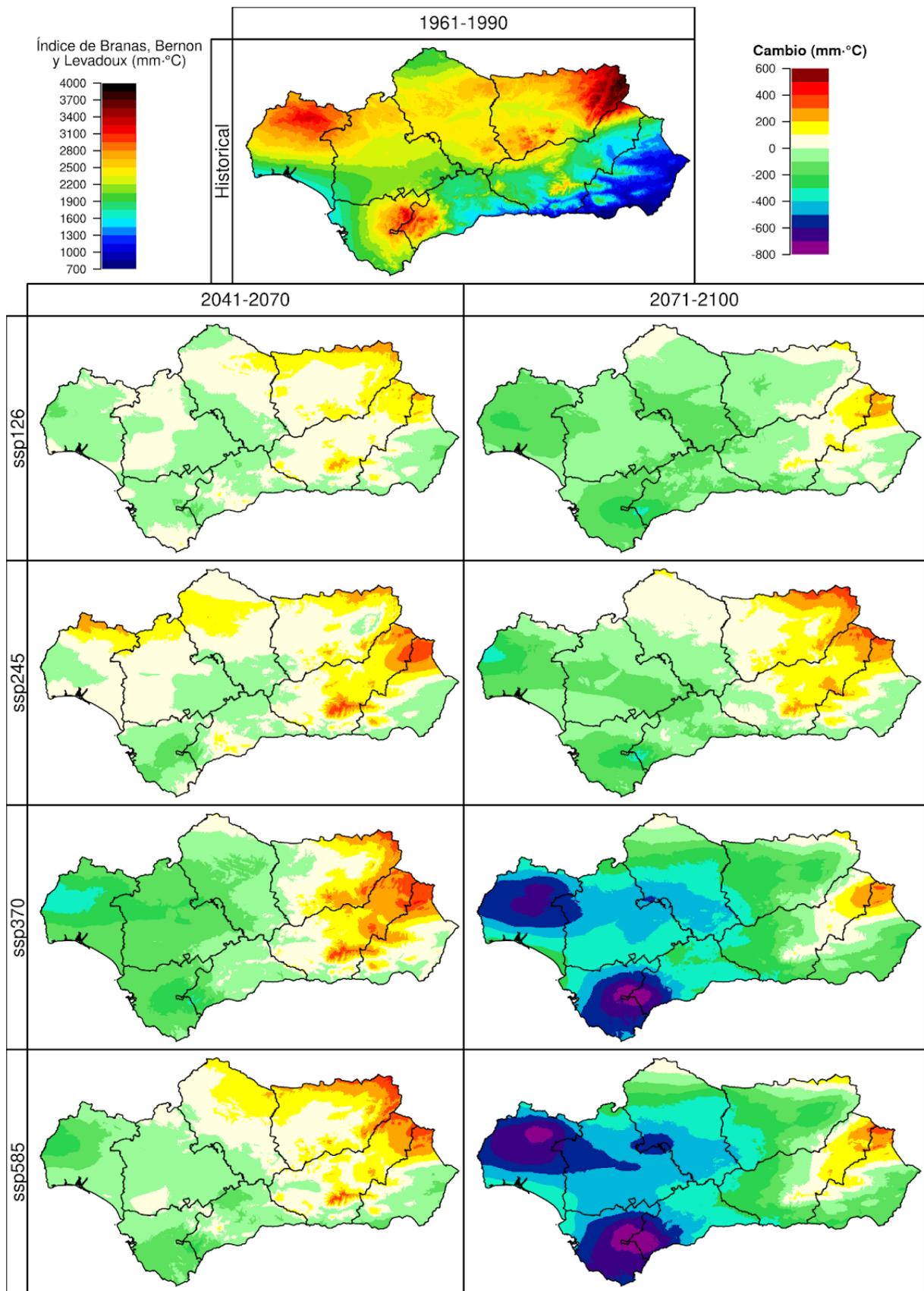


Figura 84.9. Incremento del promedio anual del índice de Branas, Bernon y Levadoux con respecto al periodo 1961-1990 (simulación *Historical*, imagen superior), en los periodos 2041-2070 y 2071-2100 (ejes verticales) bajo cuatro escenarios futuros (*SSP1-2.6*, *SSP2-4.5*, *SSP3-7.0* y *SSP5-8.5*, ejes horizontales). Se muestra la mediana de los resultados obtenidos para los 10 modelos climáticos usados en este proyecto.

REFERENCIAS

Gastón, A., & Garcia-Vinas, J. I. (2011). Modelling species distributions with penalised logistic regressions: A comparison with maximum entropy models. *Ecological modelling*, 222(13), 2037-2041.

Iturbide, M., Bedia, J., & Gutiérrez, J. M. (2018). Background sampling and transferability of species distribution model ensembles under climate change. *Global and Planetary Change*, 166, 19-29.

Mateo, R. G., Felicísimo, Á. M., & Muñoz, J. (2011). Modelos de distribución de especies: Una revisión sintética. *Revista chilena de historia natural*, 84(2), 217-240.

Rodríguez-Quilón, I., Santos-del-Blanco, L., Serra-Varela, M. J., Koskela, J., González-Martínez, S. C., & Alía, R. (2016). Capturing neutral and adaptive genetic diversity for conservation in a highly structured tree species. *Ecological Applications*, 26(7), 2254-2266.

Serra-Varela, M. J., Alía, R., Daniels, R. R., Zimmermann, N. E., Gonzalo-Jiménez, J., & Grivet, D. (2017). Assessing vulnerability of two Mediterranean conifers to support genetic conservation management in the face of climate change. *Diversity and Distributions*, 23(5), 507-516.