

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

DE LA CUARTA COMUNICACIÓN
NACIONAL DE COLOMBIA



Financiado por



Implementado por

Gustavo Francisco Petro Urrego
Presidente de Colombia

Francia Elena Márquez Mina
Vicepresidenta de Colombia

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible

María Susana Muhamad González
Ministra de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Mauricio Cabrera Leal
Viceministro de Políticas y Normalización Ambiental

Lilia Tatiana Roa Avendaño
Viceministra de Ordenamiento Ambiental del Territorio

María Saralux Valbuena López
Directora de Cambio Climático y Gestión de Riesgo

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - Ideam

Ghisliane Echeverry Prieto
Directora general

TC. Jorge Giovanni Jiménez Sánchez
Asesor de Dirección General

Elizabeth Patiño Correa
Subdirectora de Estudios Ambientales

Íngrid Tatiana Sierra Giraldo
Subdirectora de Meteorología

Leonardo Alfredo Pineda Pardo
Coordinador del Grupo de Cambio Global

Luis Reinaldo Barreto Pedraza
Funcionario de la Subdirección de Estudios Ambientales

José Franklyn Ruiz Murcia
Coordinador del Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima
Subdirección de Meteorología

Andrés Felipe Tapiero Ríos
Profesional del Grupo de Comunicaciones y Prensa

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo - PNUD

Sara Ferrer Olivella
Representante residente

Alejandro Pachecho
Representante residente adjunto

Jimena Puyana
Gerente de Ambiente y Desarrollo Sostenible

Catalina Quintero
Analista jefe en Cambio Climático

Katherine Romero
Profesional en Comunicación Ambiental

Fundación Natura

Clara Ligia Solano
Directora ejecutiva

Claudia Lorena Franco
Subdirectora técnica

Nancy Vargas Tovar
Subdirectora técnica

Sandra Galán
Subdirectora técnica

Eliana Garzón
Jefe de Comunicaciones

Proyecto GEF-CBIT “Transparencia Climática Colombia” (Ideam – PNUD – Fundación Natura)

Laura María Aranguren Niño
Coordinadora

César Augusto Charris Martínez
Profesional de Comunicaciones

Camilo Sarmiento Monroy
Profesional en Diseño Gráfico

Autor

Guillermo Eduardo Armenta
Profesional en Escenarios de Cambio Climático (Ideam – PNUD – Fundación Natura)
ORCID – ID: 0000-0002-1942-3383

Coordinación técnica

Luis Reinaldo Barreto Pedraza
Funcionario de la Subdirección de Estudios Ambientales

José Franklyn Ruiz Murcia
Coordinador del Grupo de Modelamiento de Tiempo y Clima
Subdirección de Meteorología

Coordinación editorial

César Augusto Charris Martínez
Proyecto GEF-CBIT “Transparencia Climática Colombia”

Andrés Felipe Tapiero Ríos
Ideam

Corrección de estilo

Nathalie De La Cuadra N.

Diseño editorial y diagramación

Camilo Sarmiento Monroy

Fotografías

www.shutterstock.com (2024)

Cítese como:

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam. (2024). *Escenarios de cambio climático de la Cuarta Comunicación de Colombia*. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD, Fundación Natura y Proyecto GEF-CBIT “Transparencia Climática Colombia”.

Este documento ha sido elaborado y construido por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), con asistencia técnica del proyecto GEF-CBIT “Transparencia Climática Colombia”, financiado por el Fondo Mundial para el Medio Ambiente (GEF, por sus siglas en inglés) y liderado técnicamente por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam) y el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible; además, cuenta con el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD), como agencia implementadora, y la Fundación Natura, en calidad de socio ejecutor.

ISBN (digital): 978-958-5489-35-6

© Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – Ideam, 2024.
Calle 25D 96B-70, Bogotá, D. C.
PBX: 601 3527160

Todos los derechos reservados. Se autoriza la reproducción y divulgación de material contenido en este documento para fines educativos u otros fines no comerciales sin previa autorización del titular de los derechos de autor, siempre que se cite claramente la fuente. Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento para fines comerciales. No comercializable. Distribución gratuita.

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

DE LA CUARTA COMUNICACIÓN
NACIONAL DE COLOMBIA



CONTENIDO

1.	Introducción.....	14
2.	Metodología.....	18
2.1.	Selección de los modelos del proyecto CMIP6.....	19
2.2.	Revisión de la información observada disponible.....	21
2.3.	Evaluación del comportamiento y la selección de los modelos globales para Colombia...	30
2.4.	Reducción de escala estadística.....	33
3.	Resultados.....	36
3.1.	Evaluación del comportamiento de los modelos climáticos globales para Colombia.....	37
3.2.	Selección de los modelos climáticos globales para Colombia.....	42
4.	Escenarios de cambio climático.....	43
4.1.	Cambios anuales multianuales.....	45
4.1.1.	Precipitación.....	45
4.1.2.	Temperatura máxima.....	47
4.1.3.	Temperatura mínima.....	49
4.1.4.	Temperatura media.....	51
4.1.5.	Humedad relativa.....	53
4.1.6.	Velocidad del viento.....	55
4.1.7.	Radiación.....	57
4.2.	Cambios estacionales (trimestrales) multianuales.....	59
4.2.1.	Precipitación.....	59
4.2.2.	Temperatura máxima.....	65
4.2.3.	Temperatura mínima.....	70
4.2.4.	Temperatura media.....	75
4.2.5.	Humedad relativa.....	80
4.2.6.	Velocidad del viento.....	85
4.2.7.	Radiación.....	90
4.3.	Cambios mensuales multianuales.....	95
4.3.1.	Precipitación.....	95
4.3.2.	Temperatura máxima.....	109
4.3.3.	Temperatura mínima.....	122
4.3.4.	Temperatura media.....	135
4.3.5.	Humedad relativa.....	148
4.3.6.	Velocidad del viento.....	161
4.3.7.	Radiación.....	174
5.	Conclusiones.....	187
	Referencias	191

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Escenarios de cambio climático del AR6.....	19
Figura 2.1.	Distribución espacial de las estaciones con datos de precipitación del periodo 1981-2020, utilizadas en el cubo de datos.....	22
Figura 2.2.	Distribución espacial de las estaciones con datos de temperatura media del periodo 1981-2020, utilizadas en el cubo de datos.....	23
Figura 2.3.	Distribución espacial de las estaciones con datos de temperatura máxima del periodo 1981-2020, utilizadas en el cubo de datos.....	24
Figura 2.4.	Distribución espacial de las estaciones con datos de temperatura mínima del periodo 1981-2020, utilizadas en el cubo de datos.....	25
Figura 2.5.	Distribución espacial de los 9585 píxeles con datos diarios de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima del cubo de datos, periodo 1981-2020.....	27
Figura 2.6.	Distribución espacial de los 9508 píxeles con datos diarios de humedad relativa, periodo 1981-2020.....	28
Figura 2.7.	Distribución espacial de los 1580 píxeles con datos diarios de radiación y velocidad del viento, periodo 1981-2020.....	29
Figura 2.8.	Distribución espacial de las 14 regiones pluviométricamente homogéneas generadas actualmente por el Ideam.....	32
Figura 3.1.	Niveles de correlación de la precipitación de los 25 modelos climáticos globales para Colombia, en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de dato.....	38
Figura 3.2.	Niveles de correlación de la temperatura media de los 25 modelos climáticos globales para Colombia, en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos.....	38
Figura 3.3.	Niveles de correlación de la temperatura máxima de los 25 modelos climáticos globales para Colombia, en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos.....	39
Figura 3.4.	Niveles de correlación de la temperatura mínima de los 25 modelos climáticos globales para Colombia, en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos.....	39
Figura 3.5.	14 regiones pluviométricamente homogéneas con niveles de correlación igual o superior a los umbrales definidos por el test T de Student para precipitación, de los 25 modelos climáticos globales para Colombia en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos.....	40
Figura 3.6.	14 regiones pluviométricamente homogéneas con niveles de correlación igual o superior a los umbrales definidos por el test T de Student para temperatura media, de los 25 modelos climáticos globales para Colombia en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos.....	40
Figura 3.7.	14 regiones pluviométricamente homogéneas con niveles de correlación igual o superior a los umbrales definidos por el test T de Student para temperatura máxima, de los 25 modelos climáticos globales para Colombia en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos.....	41
Figura 3.8.	14 regiones pluviométricamente homogéneas con niveles de correlación igual o superior a los umbrales definidos por el test T de Student para temperatura mínima, de los 25 modelos climáticos globales para Colombia en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos.....	41
Figura 4.1.	Comportamiento de la temperatura media promedio de Colombia, a nivel histórico observado en el periodo 1981-2020 y a futuro en el periodo 2021-2100, desde 4 escenarios de cambio climático SSP.....	44
Figura 4.2.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	46

Figura 4.3.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C), desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	48
Figura 4.4.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C), desde 4 escenarios SSP, en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	50
Figura 4.5.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C), desde 4 escenarios SSP, en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	52
Figura 4.6.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%), desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	54
Figura 4.7.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s), desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	56
Figura 4.8.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	58
Figura 4.9.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	61
Figura 4.10.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	62
Figura 4.11.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	63
Figura 4.12.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	64
Figura 4.13.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	66
Figura 4.14.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	67
Figura 4.15.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	68
Figura 4.16.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	69
Figura 4.17.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	71
Figura 4.18.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	72
Figura 4.19.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	73
Figura 4.20.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	74
Figura 4.21.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	76
Figura 4.22.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	77
Figura 4.23.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	78

Figura 4.24.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	79
Figura 4.25.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	81
Figura 4.26.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	82
Figura 4.27.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	83
Figura 4.28.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	84
Figura 4.29.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	86
Figura 4.30.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	87
Figura 4.31.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	88
Figura 4.32.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	89
Figura 4.33.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en el trimestre diciembre-enero-febrero), desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	91
Figura 4.34.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	92
Figura 4.35.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	93
Figura 4.36.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	94
Figura 4.37.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	97
Figura 4.38.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	98
Figura 4.39.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	99
Figura 4.40.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	100
Figura 4.41.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	101
Figura 4.42.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	102
Figura 4.43.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	103
Figura 4.44.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	104

Figura 4.45.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	105
Figura 4.46.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	106
Figura 4.47.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	107
Figura 4.48.	Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	108
Figura 4.49.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	110
Figura 4.50.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	111
Figura 4.51.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	112
Figura 4.52.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	113
Figura 4.53.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	114
Figura 4.54.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	115
Figura 4.55.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	116
Figura 4.56.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	117
Figura 4.57.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	118
Figura 4.58.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	119
Figura 4.59.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	120
Figura 4.60.	Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	121
Figura 4.61.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	123
Figura 4.62.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	124
Figura 4.63.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	125
Figura 4.64.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	126
Figura 4.65.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	127
Figura 4.66.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	128
Figura 4.67.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	129
Figura 4.68.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	130
Figura 4.69.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	131
Figura 4.70.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	132
Figura 4.71.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	133
Figura 4.72.	Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	134

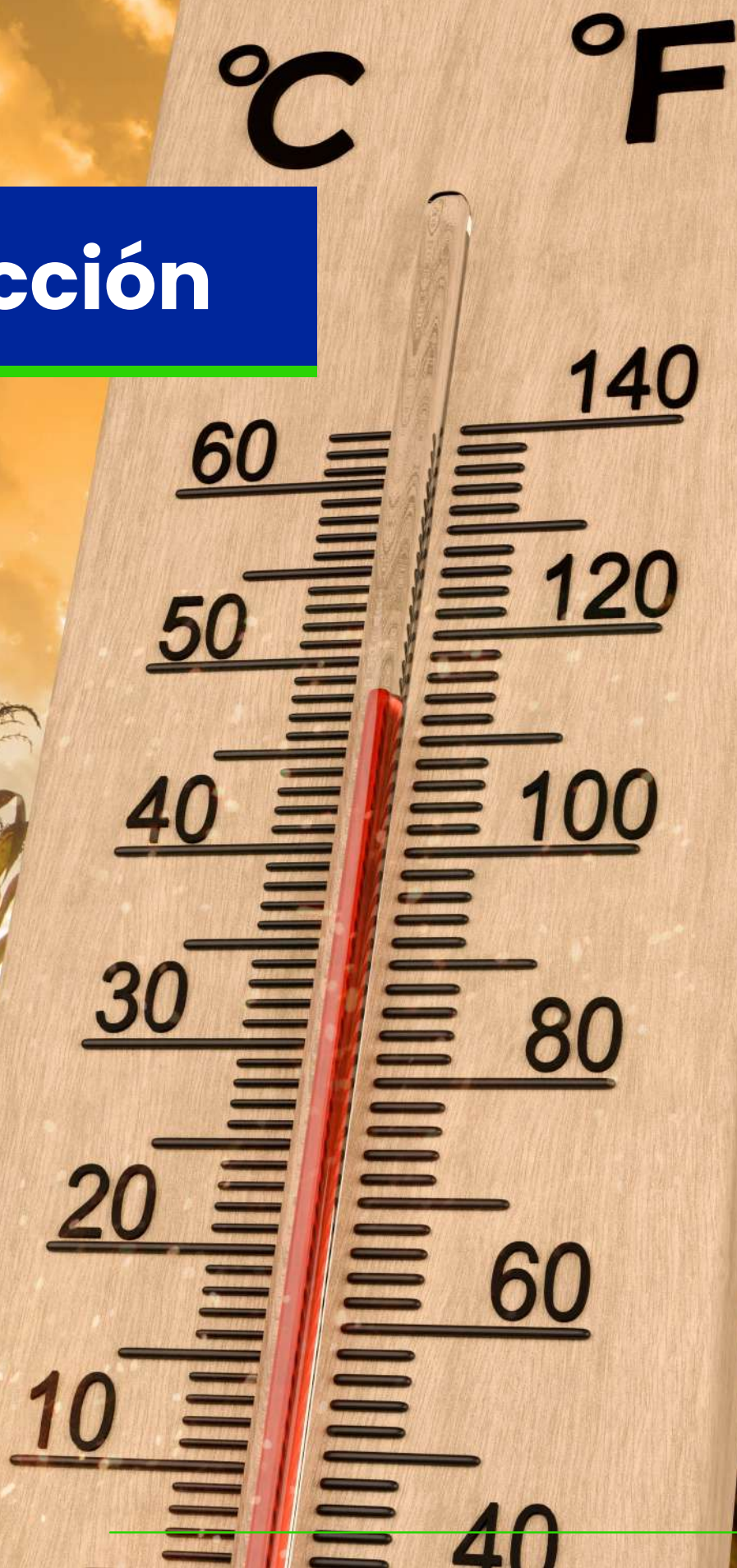
Figura 4.73.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	136
Figura 4.74.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	137
Figura 4.75.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	138
Figura 4.76.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	139
Figura 4.77.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	140
Figura 4.78.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	141
Figura 4.79.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	142
Figura 4.80.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	143
Figura 4.81.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	144
Figura 4.82.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en octubre, desde 4 escenarios SSP y para los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	145
Figura 4.83.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	146
Figura 4.84.	Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	147
Figura 4.85.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	149
Figura 4.86.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	150
Figura 4.87.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	151
Figura 4.88.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	152
Figura 4.89.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	153
Figura 4.90.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	154
Figura 4.91.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	155
Figura 4.92.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	156
Figura 4.93.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	157
Figura 4.94.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	158
Figura 4.95.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	159
Figura 4.96.	Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	160
Figura 4.97.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	162
Figura 4.98.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	163
Figura 4.99.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	164

Figura 4.100.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	165
Figura 4.101.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	166
Figura 4.102.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	167
Figura 4.103.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	168
Figura 4.104.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	169
Figura 4.105.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	170
Figura 4.106.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	171
Figura 4.107.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	172
Figura 4.108.	Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en diciembre, desde los 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	173
Figura 4.109.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	175
Figura 4.110.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en febrero, desde los 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	176
Figura 4.111.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	177
Figura 4.112.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en abril, desde los 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	178
Figura 4.113.	Cambio futuro proyectado de la Radiación Global (W/m ²) acumulada en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	179
Figura 4.114.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en junio, desde los 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	180
Figura 4.115.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en julio, desde los 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	181
Figura 4.116.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	182
Figura 4.117.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en septiembre, desde los 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	183
Figura 4.118.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en octubre, desde los 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	184
Figura 4.119.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	185
Figura 4.120.	Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m ²) acumulada en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100.....	186

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

AR5	IPCC Fifth Assessment Report (siglas en inglés) Quinto Reporte de Evaluación del IPCC
AR6	IPCC Sixth Assessment Report (siglas en inglés) Sexto Reporte de Evaluación del IPCC
CBIT	Creación de Capacidades para la Transparencia Climática (Capacity-Building Initiative for Transparency).
CDT	Climate Data Tool.
CHIRPS	Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station Data.
CMIP6	Sexta fase del proyecto de intercomparación de las simulaciones de los escenarios de cambio climático (Coupled Modelling Intercomparison Project phase 6).
DNP	Departamento Nacional de Planeación.
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (siglas en inglés) Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Plazo Medio.
ERA5	Fifth generation ECMWF Re-Analysis (siglas en inglés) Quinta generación del reanálisis atmosférico del ECMWF.
GCM	Modelos de circulación general (General Circulation Models).
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales.
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (Intergovernmental Panel on Climate Change).
IRI	Instituto Internacional de Investigación para Clima y Sociedad (International Research Institute for Climate and Society)
MADS	Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible.
Merra	Modern-Era Retrospective-Analysis for Research and Applications.
NASA	Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (National Aeronautics and Space Administration).
NEX-GDDP	NASA Earth eXchange Global Daily Downscaled Projections.
PNUD	Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (United Nations Development Programme).
RCM	Modelos regionales de circulación (Regional Circulation Models)
RCP	Vías representativas de concentraciones (Representative Concentration Pathways).
SSP	Trayectorias socioeconómicas compartidas (Shared Socioeconomic Pathways).

1. Introducción



En 2021, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (en adelante, IPCC) publicó un capítulo correspondiente a las bases físicas del Sexto Informe de Evaluación (en adelante, AR6), en el cual se detalla el estado del arte del entendimiento científico del cambio climático (IPCC, 2021). Este informe presenta los experimentos y las modelaciones generadas en la sexta fase del proyecto de intercomparación de modelos acoplados de los escenarios de cambio climático (en adelante, CMIP6). El proyecto incluye simulaciones a largo plazo del clima en el siglo XX y proyecciones para el siglo XXI, así como algunas para el siglo XXII desde nuevos escenarios llamados trayectorias socioeconómicas compartidas (en adelante, SSP).

En la actualidad, el proyecto CMIP6 lo integran 88 grupos internacionales de modelación, los cuales utilizan modelos acoplados océano-atmósfera (AOGCM), y algunos usan los *earth system models*; estos últimos, además de la atmósfera y el océano, incluyen en sus simulaciones la vegetación y el ciclo de carbono interactivo (IPCC, 2021). En la actualidad, los modelos son la única herramienta disponible para hacer una proyección climática futura, y solo algunas instituciones como universidades, centros meteorológicos y de investigación en clima tienen las capacidades tecnológicas, físicas, investigativas y de personal para desarrollar o correr este tipo de modelos.

Es importante recordar que un escenario de cambio climático es una descripción coherente, consistente y convincente de un posible estado futuro del clima. Por lo tanto, los escenarios no deben asumirse como pronósticos o predicciones, sino como una imagen alternativa de cómo el futuro puede mostrarse desde determinadas condiciones en un tiempo dado (Fundación Biodiversidad et al., 2013). Por lo general, se utiliza un conjunto de ellos con el fin de mostrar, de la mejor manera, el rango de incertidumbre en las proyecciones climáticas ante diferentes combinaciones de condiciones económicas, medioambientales, de crecimiento poblacional, políticas, entre otras (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [en adelante, Ideam] et al., 2015).

Actualmente, el IPCC en el AR6 ha definido los escenarios SSP, los cuales describen, en términos generales, futuros alternativos de desarrollo socioeconómico que muestran cómo podría evolucionar el mundo en las siguientes décadas en diferentes aspectos (económico, social, tecnológico, crecimiento poblacional, entre otros) y qué desafíos suponen esos cambios para la mitigación y la adaptación. Estos aspectos inciden en los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero y, en consecuencia, generan cambios en el incremento de la temperatura global, los cuales alteran el clima futuro; esto, a su vez, puede afectar las alternativas para adaptarse a los impactos del cambio climático.

Los cinco escenarios SSP generados por el IPCC (figura 1.1) se pueden resumir de la siguiente forma:

- SSP1 (“sustentabilidad”). Este escenario tiene los siguientes supuestos: bajo crecimiento de la población, alto crecimiento económico, altos niveles de educación, gobernabilidad, una sociedad globalizada, cooperación internacional, desarrollo tecnológico y conciencia ambiental. Teniendo en cuenta lo anterior, este escenario representa bajos niveles de desafíos de mitigación y adaptación.
- SSP3 (“fragmentación”). En este escenario se asumen: alto crecimiento poblacional y bajo desarrollo económico, niveles inferiores de educación y una sociedad regionalizada y con poca conciencia ambiental, lo cual representa un nivel alto de desafíos para la adaptación y la mitigación.
- SSP4 (“desigualdad”). Desde este escenario, la tecnología avanza en los países desarrollados, pero no toda la población logra beneficiarse de ella; esto representa un nivel alto para la adaptación.

Introducción

- SSP5. Este escenario asume que aún se tiene una muy alta dependencia de los combustibles fósiles y un bajo crecimiento en la población, así como un elevado crecimiento económico y un alto desarrollo humano, por lo que representa un nivel alto de desafío para la mitigación.
- SSP2. Este es un escenario intermedio, en el cual los supuestos están entre los que corresponden a los SSP1 y SSP3.

Estos escenarios están asociados a uno o dos niveles de forzamiento radiativo que podría tener el planeta hacia finales del siglo XXI, y son los que se utilizaron de base para los escenarios del Quinto Reporte de Evaluación del IPCC (AR5) (vías representativas de concentraciones [RCP]). Cada escenario cuenta con información simulada por los modelos climáticos globales del CMIP6, y estos tienen proyecciones para al menos dos o cuatro de los cinco escenarios SSP, los cuales son: SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0, SSP4-6.0 y SSP5-8.5.

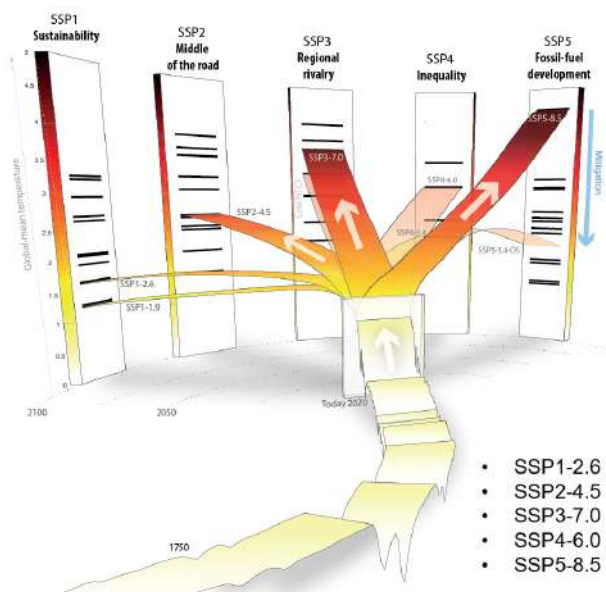
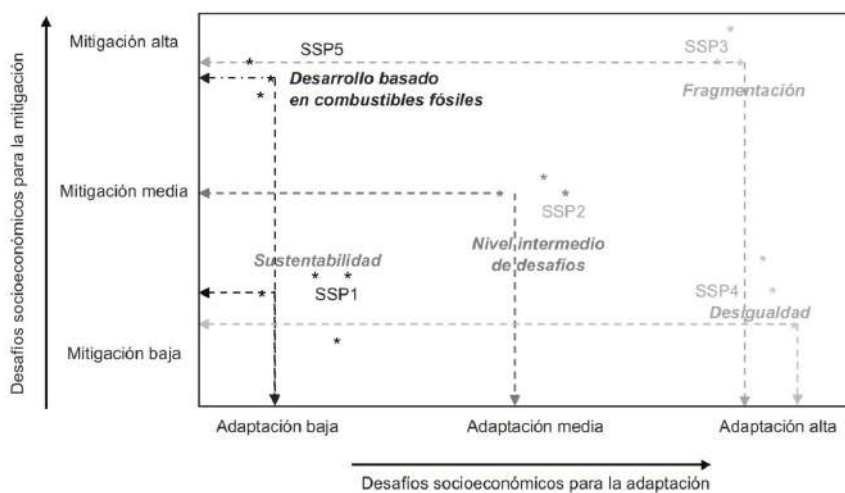


Figura 1.1. Escenarios de cambio climático del AR5
Fuente: Escoto Castillo et al. (2017).

Con base en las definiciones anteriores, en las siguientes secciones se exponen las proyecciones climáticas futuras de precipitación, temperaturas media, máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación para el siglo XXI, las cuales corresponden a los escenarios de cambio climático que se deben incorporar en la Cuarta Comunicación Nacional de Colombia. También se presenta la metodología de evaluación y selección de los modelos climáticos globales utilizados, así como la de reducción de escala estadística aplicada a los datos de estos modelos y la de generación del ensamble multimodelo. Por último, se muestran los cambios anuales, estacionales y mensuales multianuales que podría tener cada una de estas variables a lo largo del siglo XXI, en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100, desde cuatro de los cinco escenarios SSP del AR6 (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5). Es importante mencionar que no se generaron las proyecciones climáticas futuras para el escenario SSP4-6.0 porque hay pocos modelos climáticos globales con información para este escenario, en comparación con el número de modelos que existe para los otros cuatro SSP. Así, con el fin de conservar la homogeneidad en la selección y evaluación de estos modelos, se generan solo las proyecciones para los escenarios de los cuales se tiene más información.

2. Metodología



2.1. Selección de los modelos del proyecto CMIP6

Los modelos de circulación general (GCM, por su sigla en inglés) son una representación numérica tridimensional de la dinámica atmosférica y, por lo tanto, de la circulación general alrededor del planeta. Estos modelos buscan representar procesos físicos en la atmósfera, los océanos, la criósfera y la superficie terrestre. En la actualidad, son la herramienta disponible más avanzada para simular la respuesta futura del sistema climático global a los aumentos en los gases efecto invernadero (IPCC, 2013).

Para seleccionar los modelos que se van a utilizar en los escenarios de cambio climático que se incorporarán a la Cuarta Comunicación Nacional de Colombia, se revisaron los datos generados por la Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio (NASA) en el proyecto NASA Earth Exchange Global Daily Downscaled Projections (NEX-GDDP). En dicho proyecto, se hizo la reducción de escala de los datos de precipitación, temperaturas media, máxima y mínima, y otras variables para 25 de los 80 modelos del CMIP6 (tabla 1.1); esto permitió generar datos a escala diaria y a una resolución espacial de 25x25 km, tanto para el periodo histórico 1961-2014, como para el periodo futuro 2021-2100 de cuatro de los cinco escenarios SSP del AR6 (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5). De estos datos, se descargaron los que corresponden al periodo histórico y para los cuatro escenarios, en los periodos mencionados.

Tabla 1.1. Listado de modelos disponibles del CMIP6 en el proyecto NEX-GDDP

Modelo	Institución	Descripción de la institución	País
ACCESS-CM2	CSIRO ARCCSS	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation Australian Research Council Centre of Excellence for Climate System Science	Australia
ACCESS-ESM1-5	CSIRO	Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation	Australia
BCC-CSM2-MR	BCC	Beijing Climate Center	China
CanESM5	CCCma	Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis, Environment and Climate Change	Canadá
CMCC-ESM2	CMCC	Centro Euro-Mediterraneo sui Cambiamenti Climatici	Italia
CNRM-CM6-1	CNRM	Centre National de Recherches Meteorologiques	Francia
CNRM-ESM2-1	CERFACS	Centre Européen de Recherche et de Formation Avancée en Calcul Scientifique	
EC-Earth3	EC-Earth- Consortium	AEMET, España; BSC, España; CNR-ISAC, Italia; DMI, Dinamarca; ENEA, Italia; FMI, Finlandia; Geomar, Alemania; ICHEC, Irlanda; ICTP, Italia; IDL, Portugal; IMAU, Países Bajos; IPMA, Portugal; KIT, Karlsruhe, Alemania; KNMI, Países Bajos; Lund University, Suecia; Met Eireann, Irlanda; NLeSC, Países Bajos; NTNU, Noruega; Oxford University, Reino Unido; surfSARA, Países Bajos; SMHI, Suecia; Stockholm University, Suecia; Unite ASTR, Bélgica; University College Dublin, Irlanda; University of Bergen, Noruega; University of Copenhagen, Dinamarca; University of Helsinki, Finlandia; Universidad de Santiago de Compostela, España; Uppsala University, Suecia; Utrecht University, Países Bajos; Vrije Universiteit Amsterdam, Países Bajos; Wageningen University, Países Bajos. Mailing address: EC-Earth consortium, Rosby Center, Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI)	Varios países de Europa
EC-Earth3-Veg-LR			

¹ Para más información, ver: <https://www.nccs.nasa.gov/services/data-collections/land-based-products/nex-gddp-cmip6>

ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA CUARTA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA

Metodología

Modelo	Institución	Descripción de la institución	País
FGOALS-g3	CAS	Chinese Academy of Sciences	China
GFDL-ESM4	NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration	Estados Unidos
	GFDL	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	
GISS-E2-1-G	NASA	National Aeronautics and Space Administration	Estados Unidos
	GISS	Goddard Institute for Space Studies	
INM-CM4-8	INM	Institute for Numerical Mathematics, Russian Academy of Science	Rusia
INM-CM5-0			
IPSL-CM6A-LR	IPSL	Institut Pierre Simon Laplace	Francia
KACE-1-0-G	NIMS KMA	National Institute of Meteorological Sciences Korea Meteorological Administration, Climate Research Division	Corea del Sur
MIROC6 MIROC-ES2L	MIROC	Japan Agency for Marine-Earth Science and Technology (Jamstec), Atmosphere and Ocean Research Institute (AORI), National Institute for Environmental Studies (NIES), Riken Center for Computational Science (R-CCS)	Japón
MPI-ESM1-2-HR	MPI-M DWD DKRZ	Max Planck Institute for Meteorology Deutscher Wetterdienst Deutsches Klimarechenzentrum	Alemania
MPI-ESM1-2-LR	MPI-M	Max Planck Institute for Meteorology	Alemania
	AWI	Alfred Wegener Institute, Helmholtz Centre for Polar and Marine Research	
	DWD	Deutscher Wetterdienst	
	DKRZ	Deutsches Klimarechenzentrum	
MRI-ESM2-0	MRI	Meteorological Research Institute	Japón
NorESM2-LM NorESM2-MM	NCC	NorESM Climate Modeling Consortium Consisting of Center for International Climate and Environmental Research (Cicero), Norwegian Meteorological Institute (MET-Norway), Nansen Environmental and Remote Sensing Center (NERSC), Norwegian Institute for Air Research (NILU), University of Bergen (UiB), University of Oslo (UiO), Uni Research (UNI)	Noruega
TaiESM1	AS-RCEC	Research Center for Environmental Changes	Taiwán
UKESM1-0-LL	MOHC NERC NIMS-KMA NIWA	Met Office Hadley Centre (MOHC, Reino Unido), Natural Environment Research Council (NERC), Science and Technology Facilities Council's – Rutherford Appleton Laboratory (STFC-RAL, Reino Unido), National Institute of Meteorological Sciences-Korea Meteorological Administration, Climate Research Division (NIMS-KMA, Corea del Sur), National Institute of Water and Atmospheric Research (NIWA, Nueva Zelanda)	Reino Unido, Corea del Sur y Nueva Zelanda

2.2. Revisión de la información observada disponible

Para los procesos de reducción de escala estadística (que se aplicaron a los modelos seleccionados) y para la validación de los resultados obtenidos, son necesarios los datos observados. Estos últimos se definen como los valores de las variables meteorológicas registrados por las estaciones del mismo tipo durante determinados intervalos de tiempo. Para los estudios climáticos y de cambio climático, se suele trabajar con datos a escala mensual y se requieren al menos 25 años con series completas de información.

Para el presente trabajo, las bases de datos que se usaron corresponden, en el caso de la precipitación y las temperaturas media, máxima y mínima, a las que se generaron en el marco del proyecto “Creación de Capacidades para la Transparencia Climática (CBIT) - Colombia” con el Ideam, en colaboración con el Instituto Internacional de Investigación para Clima y Sociedad (IRI), quienes generaron información reticulada en píxeles de 10x10 kilómetros a escala temporal diaria (Barrios, 2023). Estos datos se obtuvieron a partir de la observación de las estaciones hidrometeorológicas del Ideam y de dos fuentes de datos derivados de satélite: Climate Hazards Center InfraRed Precipitation with Station Data (en adelante, CHIRPS) y Modern-Era Retrospective-Analysis for Research and Applications (en adelante, Merra).

Para obtener información, se tomaron las estaciones que tuviesen datos diarios suficientes para el periodo 1981-2020; es decir, con un faltante máximo de ocho a nueve días por cada mes en el caso de las series diarias, y del 30 % de meses del total del periodo para las series mensuales. La revisión y el análisis de la información procesada en este trabajo se integraron a la información reticulada de los datos de 1753 estaciones de precipitación (figura 2.1), 215 de temperatura media (figura 2.2), 151 de temperatura máxima (figura 2.3) y 204 de temperatura mínima (figura 2.4).

En cuanto a la información derivada de satélite, los datos procesados corresponden a dos tipos: series diarias de precipitación obtenidas del CHIRPS a resolución espacial de 0,05 grados de arco (aproximadamente 5x5 kilómetros), y series diarias de las temperaturas media, máxima y mínima del Merra, a resolución espacial aproximada de 0,5 grados de arco (50 kilómetros).

Todos los datos fueron combinados y procesados mediante metodologías y herramientas para el control de calidad y reducción de escala, como la Climate Data Tool (CDT) y desarrollos en lenguajes de programación R y Python. Por último, se obtuvieron las series diarias de las cuatro variables a una resolución espacial de 10x10 kilómetros para el periodo 1981-2020. El Ideam denominó esta información como “cubo de datos”, y de esta manera será referenciada de aquí en adelante.

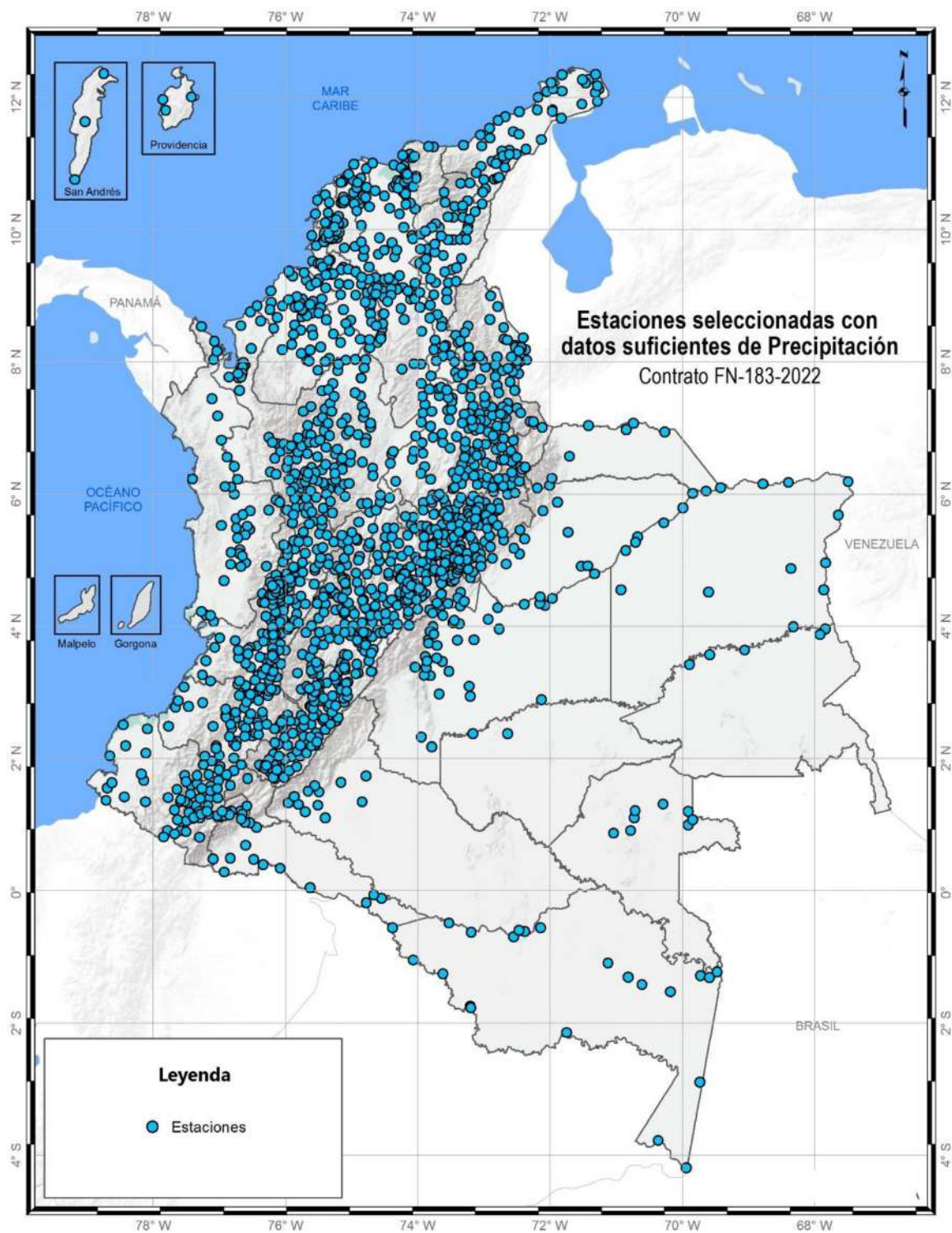


Figura 2.1. Distribución espacial de las estaciones con datos de precipitación del periodo 1981-2020, utilizadas en el cubo de datos
Fuente: Barrios (2023).

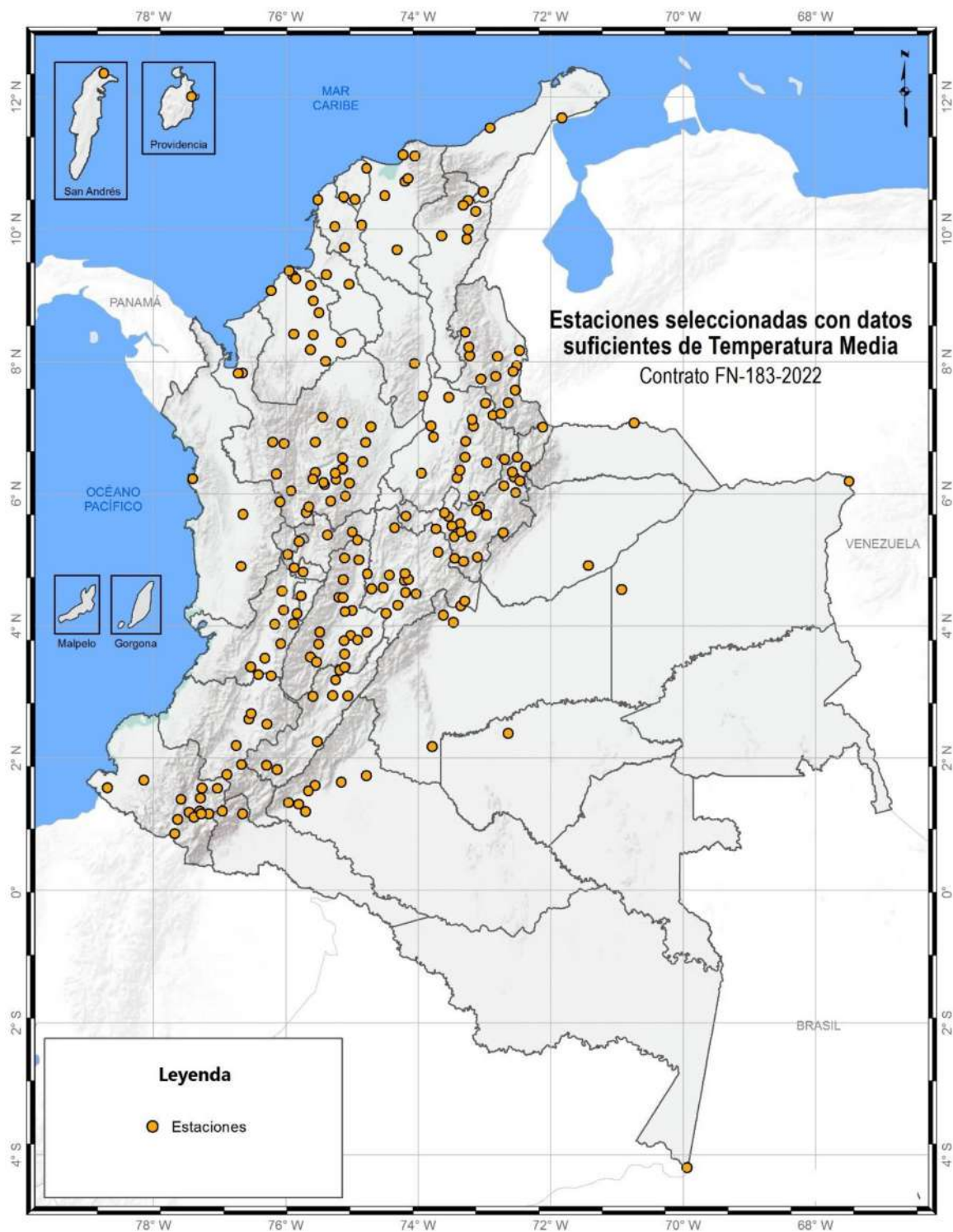


Figura 2.2. Distribución espacial de las estaciones con datos de temperatura media del periodo 1981–2020, utilizadas en el cubo de datos
Fuente: Barrios (2023).

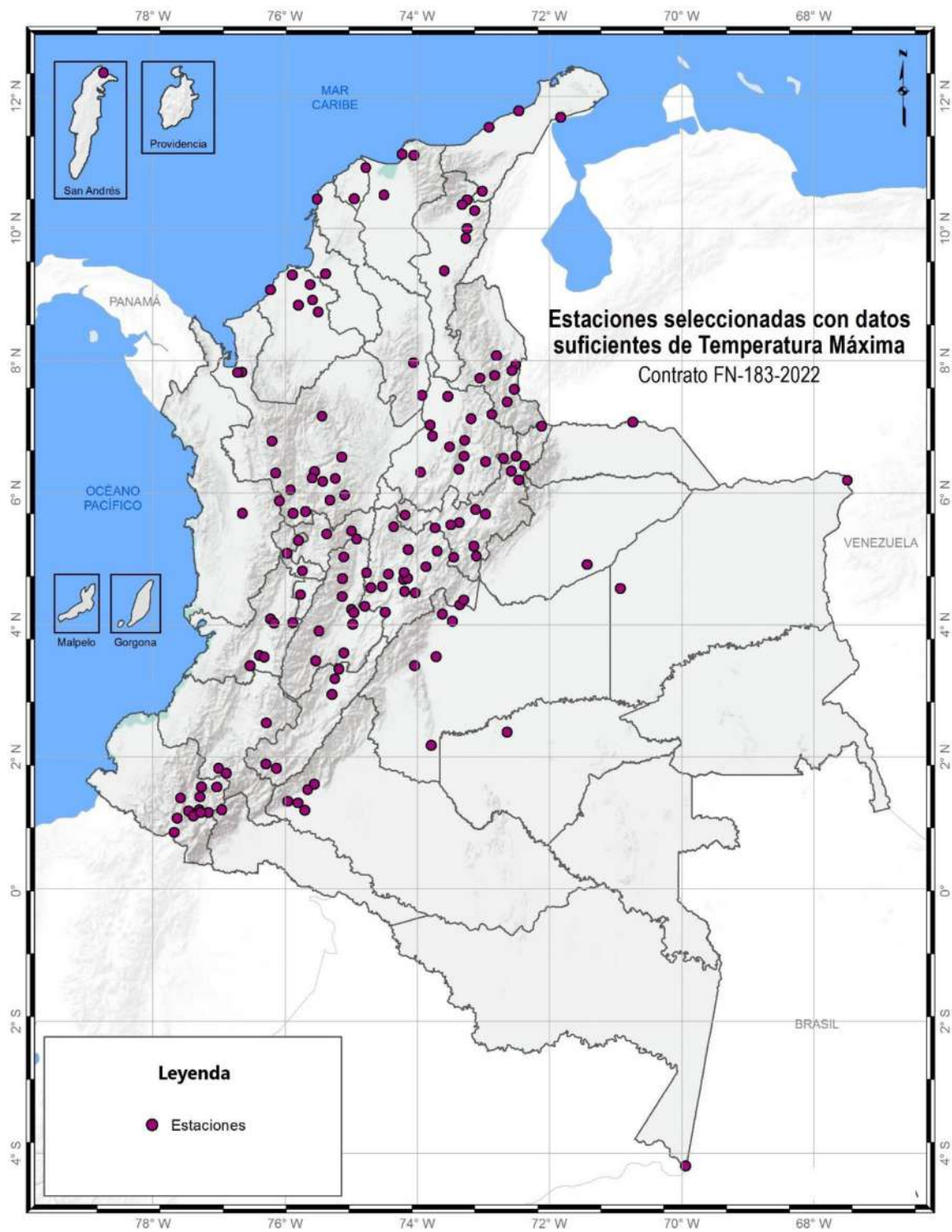


Figura 2.3. Distribución espacial de las estaciones con datos de temperatura máxima del periodo 1981–2020, utilizadas en el cubo de datos
Fuente: Barrios (2023).

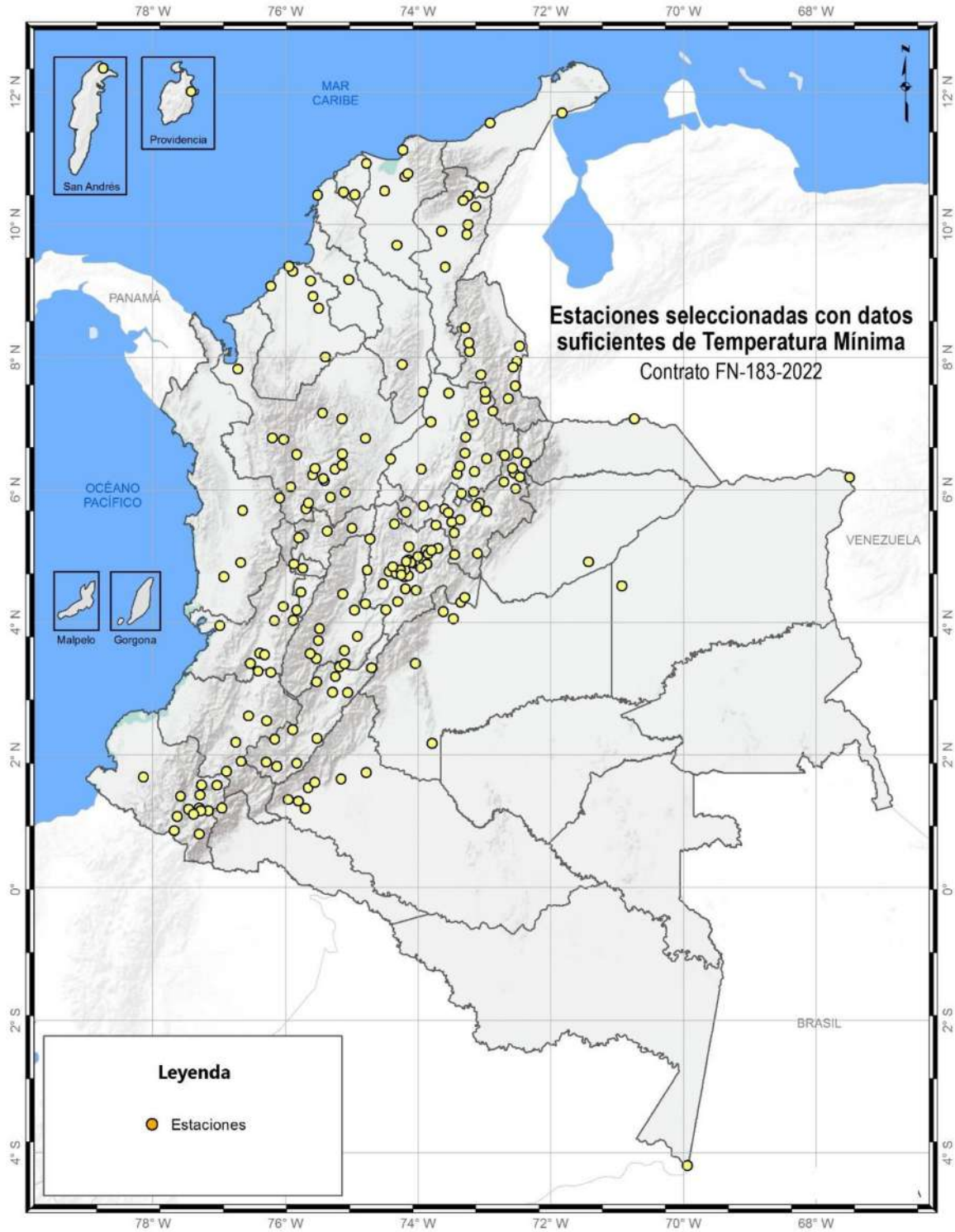


Figura 2.4. Distribución espacial de las estaciones con datos de temperatura mínima del periodo 1981–2020, utilizadas en el cubo de datos
Fuente: Barrios (2023).

Metodología

Respecto a la humedad relativa, debido a la poca cantidad de estaciones con datos suficientes y confiables para el periodo 1981–2010 y con el fin de tener la mayor cobertura espacial posible, se utilizó información de otras fuentes (reanálisis, de satélite, otros modelos, etcétera) y se seleccionaron los datos derivados de satélite CHIRTS. Estos últimos vienen a una resolución de 5x5 kilómetros y cuentan con información diaria y mensual para el periodo 1983–2016. De esta manera, se realizó el proceso de extracción, ajuste y validación de las series con los datos observados en esta variable y se reescaló la información a la misma resolución del cubo de datos.

Para las variables radiación y velocidad del viento, por la misma razón que en la humedad relativa, también se revisaron otras fuentes de información, y se encontró que la más adecuada es la de la quinta generación del reanálisis atmosférico del Centro Europeo de Previsiones Meteorológicas a Mediano Plazo (ECMWF), conocido como ERA5 (Hersbach et al., 2020). Estos datos también fueron validados y ajustados con la información disponible de las estaciones hidrometeorológicas para el periodo 1981–2010.

A partir de lo anterior, se tienen datos diarios históricos de las siete variables para el periodo 1981–2010, con los cuales se generaron los escenarios de cambio climático para cada variable. La información se encuentra disponible en 9585 píxeles (figura 2.5) para precipitación y temperaturas media, máxima y mínima, 9508 píxeles para humedad relativa (figura 2.6) y 1580 para radiación y velocidad del viento (figura 2.7). Un aspecto importante de estos datos es que no hay información para el archipiélago de San Andrés y Providencia; por lo tanto, los escenarios de estas islas se generaron con los datos observados de las dos estaciones de sus aeropuertos.

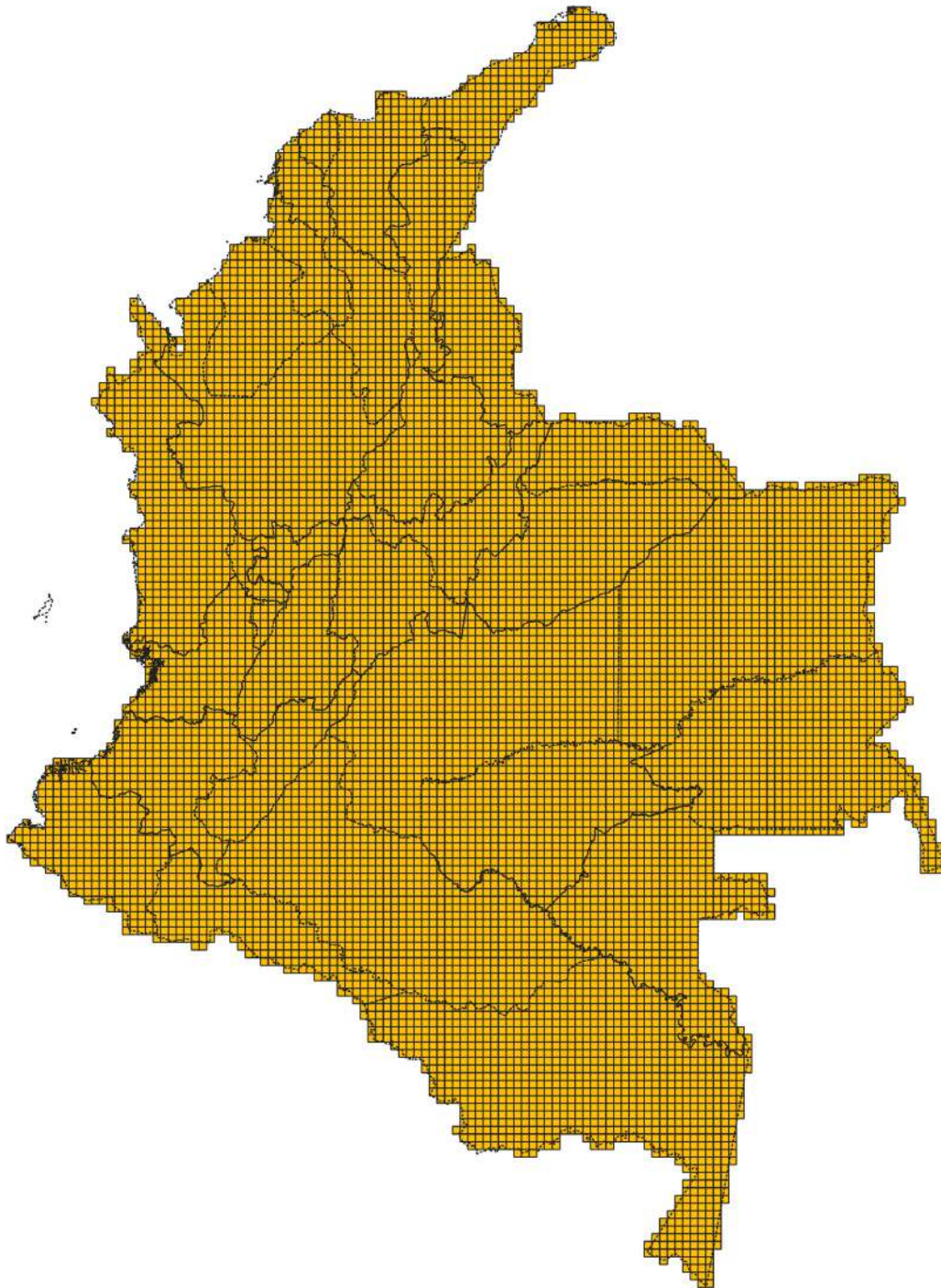


Figura 2.5. Distribución espacial de los 9585 píxeles con datos diarios de precipitación y temperaturas media, máxima y mínima del cubo de datos, periodo 1981–2020

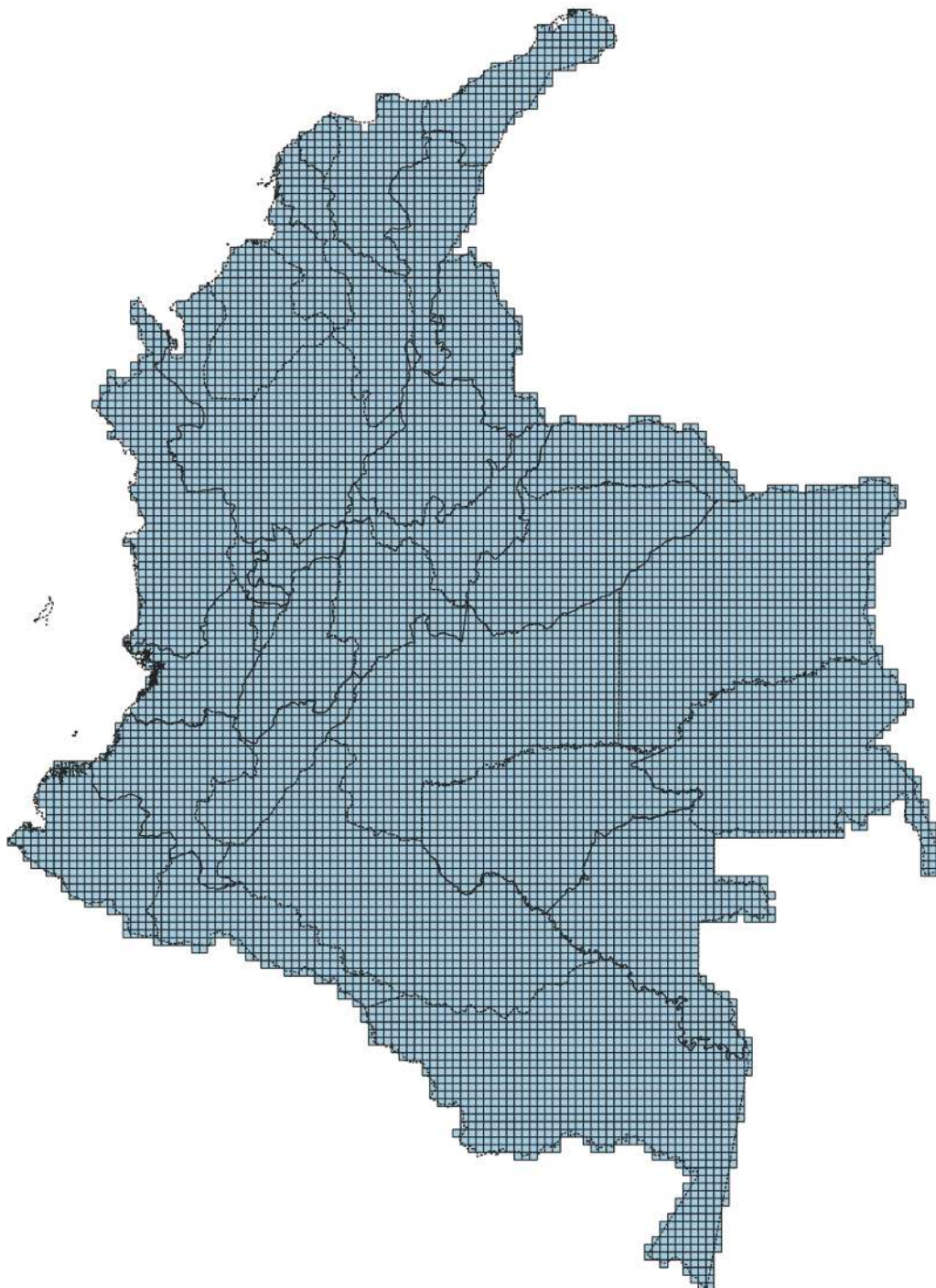


Figura 2.6. Distribución espacial de los 9508 píxeles con datos diarios de humedad relativa, periodo 1981-2020

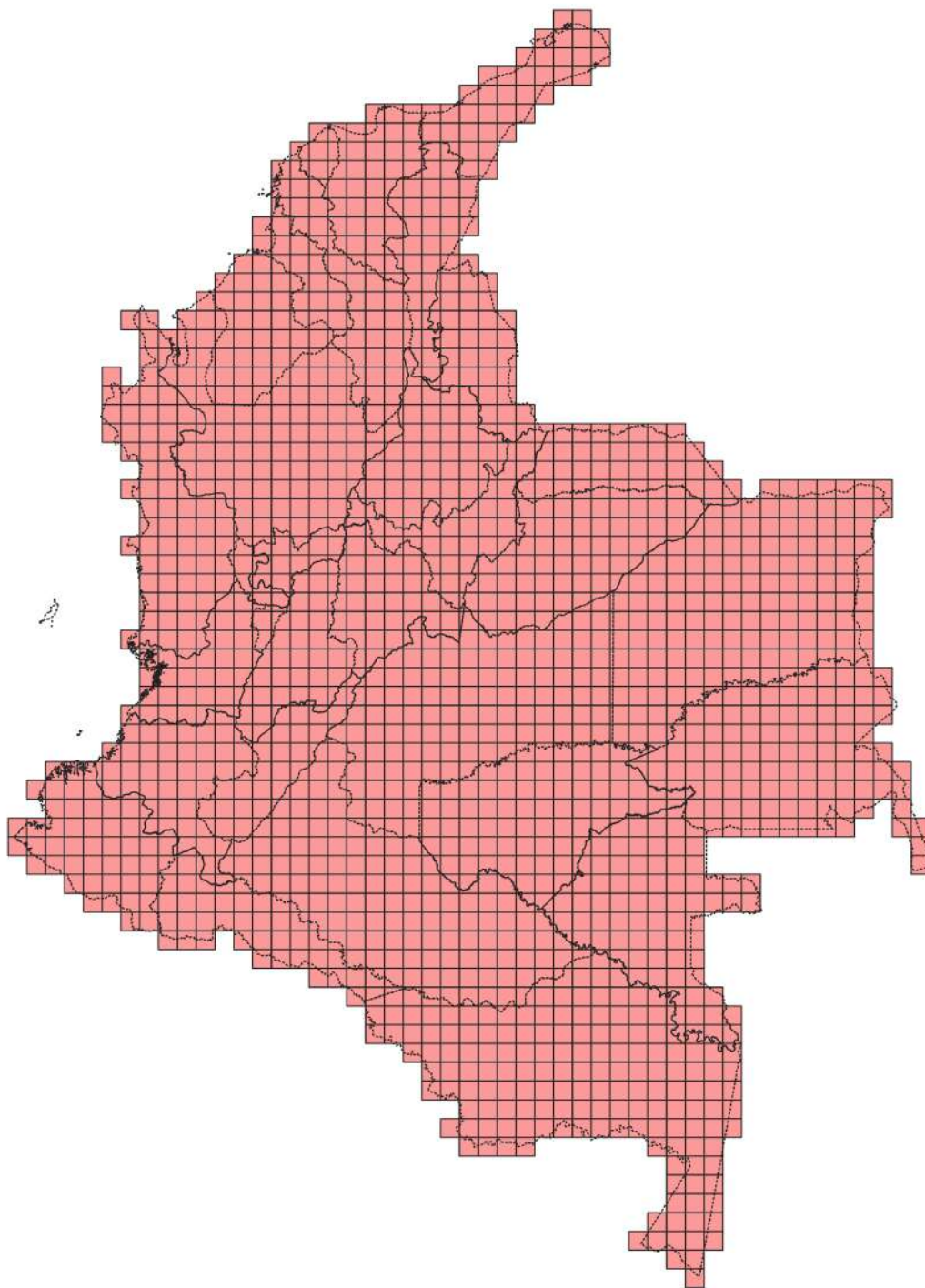


Figura 2.7. Distribución espacial de los 1580 píxeles con datos diarios de radiación y velocidad del viento, periodo 1981-2020

2.3. Evaluación del comportamiento y selección de los modelos globales para Colombia

Para poder evaluar y seleccionar los modelos climáticos globales que se van a usar, primero se deben obtener y generar las series mensuales (del cubo de datos) e históricas de los 25 modelos utilizados. Como los dos conjuntos de datos presentan diferentes periodos (el cubo de datos tiene información del periodo 1981-2020 y los datos históricos de los modelos son del periodo 1971-2014), para la evaluación de la información hay que tener un periodo común, por lo cual se estableció el correspondiente a 1981-2014. Con estos datos, en un periodo común para las cuatro variables climáticas, se evaluó el comportamiento de estas, comparando los datos históricos de cada modelo con los datos del cubo de datos y con base en las tres siguientes métricas:

- **Correlación:** indica la fuerza y la dirección de una relación lineal y de proporcionalidad entre dos variables estadísticas. Se considera que dos variables cuantitativas están correlacionadas cuando los valores de una de ellas varían sistemáticamente con respecto a los valores homónimos de la otra:

$$C = \frac{\sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f}) \times (O_n - \bar{O})}{\left[\sum_{n=1}^N (f_n - \bar{f})^2 \times \sum_{n=1}^N (O_n - \bar{O})^2 \right]^{1/2}}$$

- **BIAS: sesgo.** Es una medida de exactitud, que mide la diferencia entre el valor simulado y el valor medido de la variable:

$$BIAS = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - O_n)$$

- **RMSE: raíz del error cuadrático medio.** Es una medida de desempeño cuantitativa, que consiste en la raíz cuadrada de la sumatoria de los errores cuadráticos. Amplifica y penaliza con mayor fuerza aquellos errores de mayor magnitud:

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (f_n - O_n)^2 \right]^{1/2}$$

² Los datos históricos de los modelos climáticos globales del CMIP6 llegan hasta 2014, debido a que en ese año se inició el trabajo de los centros de modelación para generar la información de los escenarios SSP y, por lo tanto, el periodo histórico que se tenía en ese momento llegaba hasta ese año.

Antes de aplicar estas métricas, y debido a la resolución diferente que tienen los datos de los modelos globales y los del cubo de datos (25x25 y 10x10 kilómetros respectivamente), es necesario realizar un proceso de “ajuste” para obtener las series de los datos de los modelos a la misma resolución espacial de los datos observados (es decir, para los 9585 píxeles de precipitación y los 9270 píxeles de las temperaturas media, máxima y mínima). Para este fin, se llevó a cabo el proceso de “corrección del sesgo” (Pabón Caicedo, 2011). Con esta metodología, en términos generales, se busca reducir la diferencia entre los valores observados y los valores simulados, mediante la aplicación de un factor de ajuste a los datos simulados por los modelos globales, de la siguiente forma:

$$X_{i,j}^* = \alpha_j X_{i,j}^{\text{mod}}$$

Donde $X_{i,j}^*$ es el valor ajustado de la variable X del año i -ésimo y del mes j -ésimo; $X_{i,j}^{\text{mod}}$ es el valor simulado de la variable X del año i -ésimo y del mes j -ésimo, y α_j es el factor de ajuste para el mes j -ésimo, el cual se calcula como:

$$\alpha_j = \frac{\overline{X_j^{\text{obs}}}}{\overline{X_j^{\text{mod}}}}$$

Donde:

$\overline{X_j^{\text{obs}}}$: promedio multianual de la serie de datos observados para el mes j -ésimo.

$\overline{X_j^{\text{mod}}}$: promedio multianual de la serie de datos simulados para el mes j -ésimo.

Después de ajustar los datos mensuales de las cuatro variables para el periodo 1981-2014, se calcularon las métricas para cada modelo, pixel y variable; así, se obtuvieron sus valores para todo el país. Por último, para analizar estos resultados, se estableció un criterio de “regionalización” para evaluar la representatividad de los modelos climáticos globales del clima histórico observado. Aunque una primera aproximación válida puede ser contar solo la cantidad de píxeles en todo el país para cada variable que tenga buenos valores de correlación y bajos valores de sesgo y RMSE, una mejor forma de hacer esta evaluación es utilizar las clasificaciones que el Ideam ha realizado en los últimos años para la precipitación. Estos trabajos que ha hecho el instituto han consistido en analizar los datos de las estaciones hidrometeorológicas que este tiene para un periodo largo y generar espacialmente “zonas” según la similitud del ciclo estacional de esta variable; de esta manera, se definen “regiones pluviométricamente homogéneas” (Guzmán & Ruiz, 2013). Actualmente, se manejan 14 regiones (figura 2.8) y para cada una de estas se analizaron las métricas mencionadas anteriormente.



Figura 2.8. Distribución espacial de las 14 regiones pluviométricamente homogéneas generadas por el Ideam
Fuente: Guzmán y Ruiz (2013).

Para estas regiones, se clasificaron los píxeles del cubo de datos, referenciando cada píxel dentro de una región pluviométricamente homogénea específica. Con esto, se cuantificaron los píxeles por región que presentaran buenos valores de las métricas utilizadas. Para el caso de la correlación, se hizo el análisis teniendo en cuenta los umbrales que establece la prueba T de Student como valores “buenos” de correlación para cada píxel. Se utilizaron los umbrales dados por este test porque las métricas a menudo penalizan severamente el comportamiento de los datos de los modelos climáticos globales y hay modelos que, a pesar de no tener valores “altos” de correlación, presentan valores adecuados y suficientes para indicar una “buena” representatividad, pero son descartados por no cumplir con el umbral que se usa comúnmente (0,5). La ventaja de aplicar este test es que permite establecer los umbrales con un nivel de confianza del 95 % (un p-value igual o menor que 0,05); así, se tiene una mayor cobertura de modelos en áreas donde quizá ninguno de ellos tenga valores de correlación iguales o superiores a 0,5.

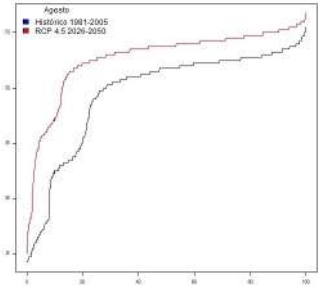
2.4. Reducción de escala estadística

Debido a la resolución espacial de los datos de los modelos globales del CMIP6 (25x25 kilómetros), es necesario llevar esta información a la misma resolución de los datos históricos (10x10 kilómetros). Por lo anterior, es importante hacer una reducción de escala a los datos, con el fin de obtener series a una mejor resolución para los píxeles determinados con la información histórica que se va a utilizar. Existen diferentes métodos de reducción de escala; de estos, los más utilizados son los siguientes:

- **Estadísticos:** métodos con los cuales se trata de reproducir las estadísticas de largo plazo y las condiciones locales a través del análisis del comportamiento de los datos que se observan de una variable para un periodo largo.
- **Dinámicos:** utilizan modelos regionales de circulación (en adelante, RCM). Estos modelos toman como entrada los datos de los GCM y permiten ser configurados para correr con resoluciones más detalladas y para una región o zona en particular. Sin embargo, tener un mayor detalle en la representación requiere capacidades de cómputos mayores, y el tiempo de ejecución de estos modelos es superior en comparación con los modelos globales.
- **Dinámico-estadísticos:** utilizan combinaciones de los dos métodos anteriores para la reducción de escala. Comúnmente, se hace primero la reducción de escala dinámica a una resolución aceptable, que represente los aspectos importantes de la circulación general en el área de estudio (entre 25 y 50Km); luego, con estos datos simulados, se hace la reducción de escala estadística, con base en los datos observados de las estaciones.

Con la información histórica examinada y la de los escenarios futuros disponible para la zona de estudio, se analizó el uso de diferentes técnicas de reducción de escala estadística, con el fin de obtener series de datos diarias coherentes con el comportamiento histórico observado y con los cambios que podrían darse en el futuro en las variables climáticas. Se revisaron tres técnicas de reducción de escala estadística: Bias Correction -Quantile Mapping- and Spatial Dissaggregation (en adelante, BCSD-Q), que se usó en la Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático para Colombia (Ideam et al., 2015); Delta Q-Q (Cannon et al., 2015) y Kth Nearest Neighbor (en adelante, kNN) (Angarita et al., 2020) (tabla 2.1).

Tabla 2.1. Métodos de reducción de escala estadística revisados para la generación de las series de los escenarios climáticos

Nombre del método	Descripción	Forma de cálculo	Ventajas y limitaciones
BCSD-Q	Este método busca reducir la diferencia entre los valores observados y los valores simulados, mediante la aplicación de un factor de ajuste a los datos simulados por los modelos globales.	$\alpha_j = \frac{\overline{X_j^{obs}}}{\overline{X_j^{mod}}}$ $X_{i,j}^* = \alpha_j X_{i,j}^{mod}$	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Permite generar series futuras basándose en la representación que cada modelo hizo de las series. • Conserva los cambios que cada modelo muestra para los escenarios futuros. • Hace una muy buena aproximación de los valores medios mensuales (y de los diarios, pero con algunos ajustes en el proceso). • No genera series futuras con vacíos (a menos que las series originales del modelo global los contengan, lo cual es atípico). • El factor de ajuste se puede aplicar a toda la serie futura, independientemente de su longitud. <p>Limitaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Si solo se aplica la corrección de sesgo con los factores mensuales, para las series diarias se suavizan o amplifican significativamente los eventos extremos, los cuales es muy poco probable que se intensifiquen de esa forma (es recomendable aplicar en la corrección de sesgo un mapeo de cuantiles para ajustar estas series con factores de la misma escala temporal). • La longitud de la serie histórica observada y la simulada por el modelo debe ser la misma y debe corresponder al mismo periodo.
Delta Q-Q	Con esta técnica se busca revisar los posibles cambios de magnitud que las variables climáticas muestran hacia el futuro, en comparación con la representación que el modelo tiene del clima de referencia a través de un mapeo de cuantiles. Los cambios de magnitud son aplicados a la serie observada y esa serie ajustada pasa a ser la serie proyectada.	$\alpha_{j,k}^{add} = X_{N,j,k}^{Futuro} - X_{N,j,k}^{Base}$ $X_{k,j,m}^{Fut} = X_{i,j}^{Obs} + \alpha_{j,m}^{add}$ 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Conserva los cambios que cada modelo muestra para los escenarios futuros. • Sirve para analizar los cambios en magnitud (y duración) de los eventos extremos. • Hace una muy buena aproximación de los valores diarios y mensuales. <p>Limitaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las series futuras generadas pueden tener vacíos, ya que surgen de la serie observada. • La longitud de las series futuras e históricas de los modelos globales debe ser la misma de la serie observada.

Nombre del método	Descripción	Forma de cálculo	Ventajas y limitaciones
kNN	<p>Esta técnica genera series sintéticas para los escenarios futuros, tomando como base las distribuciones de probabilidades de transición entre estados de las variables climáticas que se van a utilizar.</p>	<p>El método kNN genera series aleatorias que preservan la probabilidad conjunta de los estados de humedad consecutivos $-j$ del clima regional al paso del tiempo diario, definidos como:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Seco (<i>dry</i>), precipitación media diaria regional menor que $\min(0,3, P_{0,05})$. • Húmedo (<i>wet</i>): precipitación media regional entre 0,3 mm y P95. • Extremadamente húmedo (<i>extremely wet</i>): precipitación media regional $> P_{95}$. 	<p>Ventajas:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Captura atributos climáticos de diferentes escalas temporales, como la duración de las rachas de días secos y húmedos, que son de particular interés en la modelación de sistemas hidrológicos, la estacionalidad y las oscilaciones de baja frecuencia. • Permite conservar la correlación espacial de las observaciones. • Pueden construirse conjuntos arbitrariamente grandes de series de clima posible e identificarse en dichos conjuntos secuencias asociadas a narrativas específicas en un contexto de planificación; por ejemplo, aquellas que contengan eventos o rachas de eventos “más secos” o “más húmedos”. <p>Limitaciones:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Las series sintéticas futuras generadas pueden tener vacíos. • La longitud de las series futuras debe ser la misma de la serie observada. • No está diseñado para visualizar los cambios en magnitud de los eventos extremos. • Solamente sirve para precipitación. Para las temperaturas u otras variables, se deben emplear otras técnicas de reducción de escala.

3. Resultados



3.1. Evaluación del comportamiento de los modelos climáticos globales para Colombia

A partir de los datos y de las métricas mencionados en el capítulo anterior, se evaluó la representatividad de cada modelo climático global del clima histórico observado (del cubo de datos). De esta manera, se presentan los valores de correlación para cada variable y modelo climático global, así como las regiones pluviométricamente homogéneas que tienen en la mayor parte de sus áreas píxeles con valores altos de correlación, según los dos criterios mencionados anteriormente (valores superiores a 0,5 y valores superiores al umbral definido por la prueba T de Student).

Para el caso de la precipitación, los 25 modelos mostraron valores de correlación superiores a 0,7 para la Orinoquia, el norte de la Amazonia y el departamento de Córdoba (figura 3.1). por su parte, el sur de la región Andina y el centro de la región Pacífica presentaron valores bajos (inferiores a 0,5). En cuanto a las temperaturas, para la media (figura 3.2) se observan valores altos de correlación para gran parte de la Orinoquia, el norte de la región Caribe y el noroccidente de la Amazonia, mientras que para la región Andina, el Pacífico central y el noroccidente del país se tienen valores bajos, que incluso llegan a ser negativos para algunos modelos. La temperatura máxima también presenta valores altos de correlación en la región Orinoquia, el norte de la región Caribe y el noroccidente de la Amazonia, mientras que para la región Andina y Pacífica estos valores son bajos (figura 3.3). Por último, para la temperatura mínima, solo se tienen altos valores de correlación (superiores a 0,6) en la región Caribe y en parte de la región Andina central, mientras que para el sur y norte de esta región, y para la región Pacífica se tienen valores bajos, los cuales pueden ser negativos en algunas áreas (figura 3.4).

Al agrupar los valores de correlación en las 14 regiones pluviométricamente homogéneas y marcar aquellas que los tengan dentro de los umbrales definidos por el test T de Student, la mayoría de los modelos climáticos globales presentaron buenos valores para la precipitación (figura 3.5), y solo dos o tres de ellos con baja representatividad para el Catatumbo y la región natural Amazonia. Respecto a la temperatura media, los casos en los que algunos de los modelos mostraron valores bajos de correlación se dieron en la región natural Amazonia, algunos sectores de la región Orinoquia y Caribe, y solo un modelo (ACCESS-CM2) presentó valores bajos para gran parte del país (figura 3.6). Para la temperatura máxima (figura 3.7), algunos modelos presentaron valores bajos en zonas ubicadas en la región natural Pacífica y dos de ellos en la región Andina central. Por último, para la temperatura mínima, dos o tres modelos tuvieron baja representatividad para algunas zonas de las regiones naturales Orinoquia y Amazonia (figura 3.8).

PRECIPITACIÓN

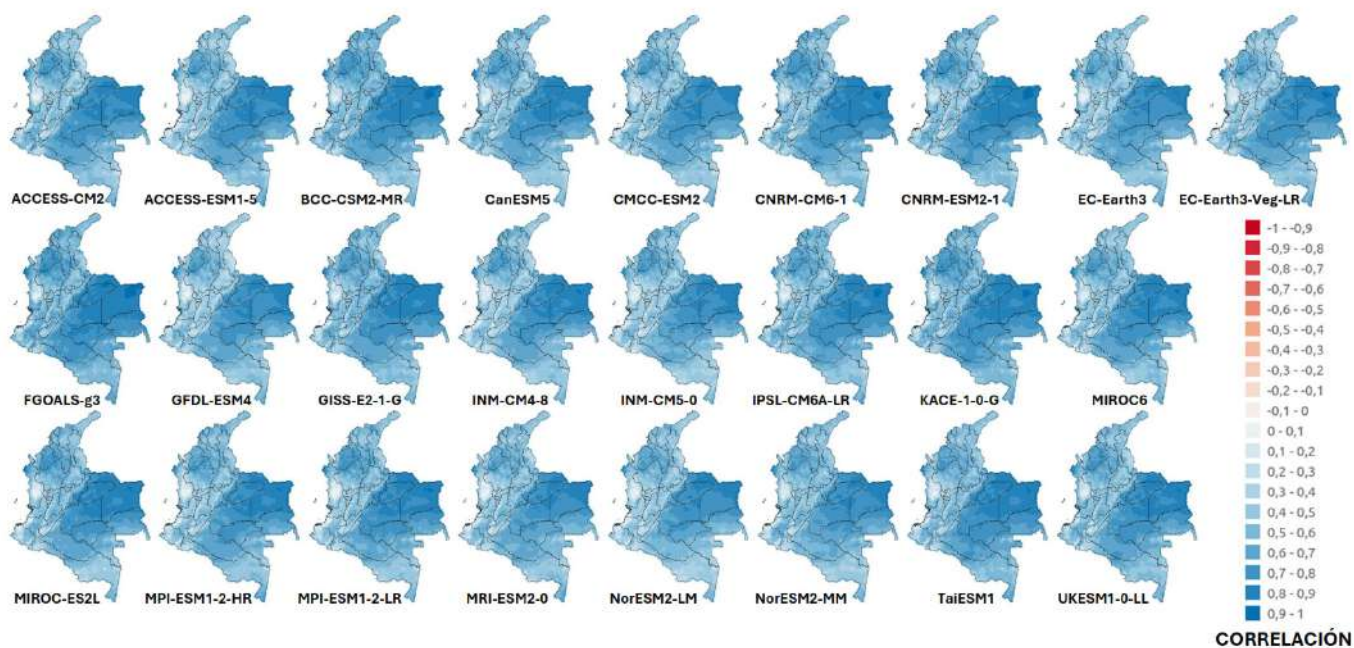


Figura 3.1. Niveles de correlación de la precipitación de los 25 modelos climáticos globales para Colombia, en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos

TEMPERATURA MEDIA

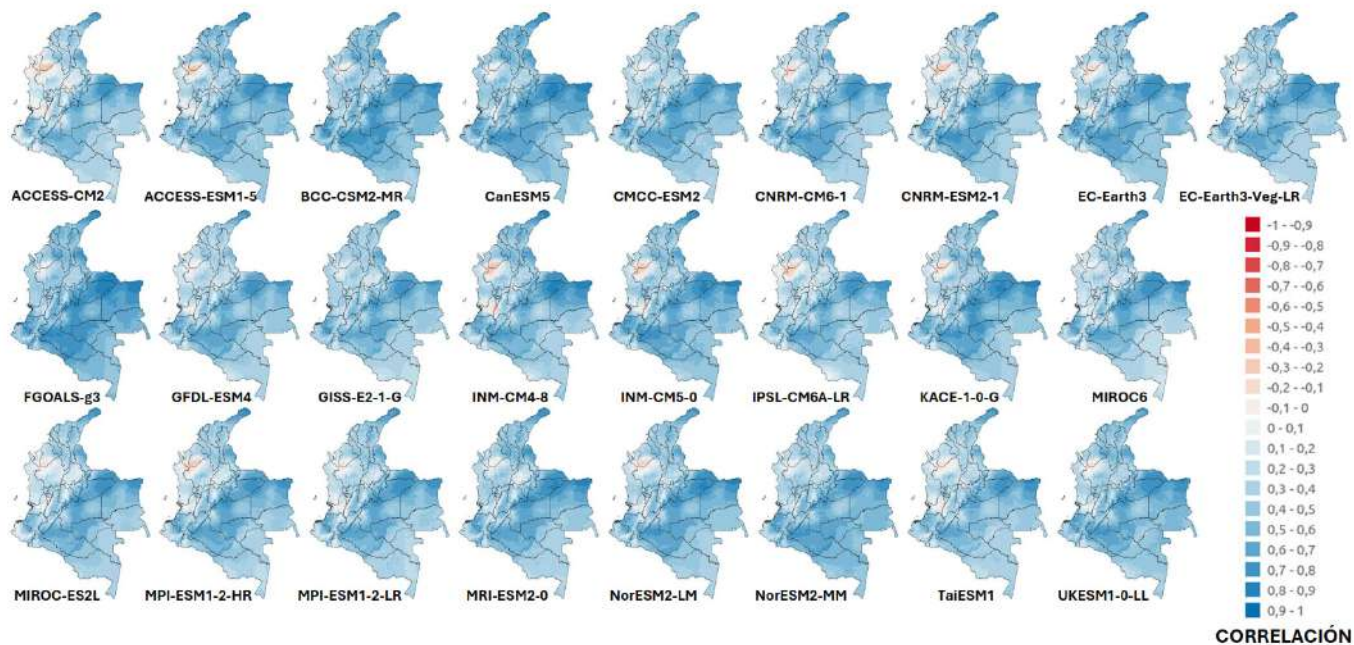


Figura 3.2. Niveles de correlación de la temperatura media de los 25 modelos climáticos globales para Colombia, en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos

TEMPERATURA MÁXIMA

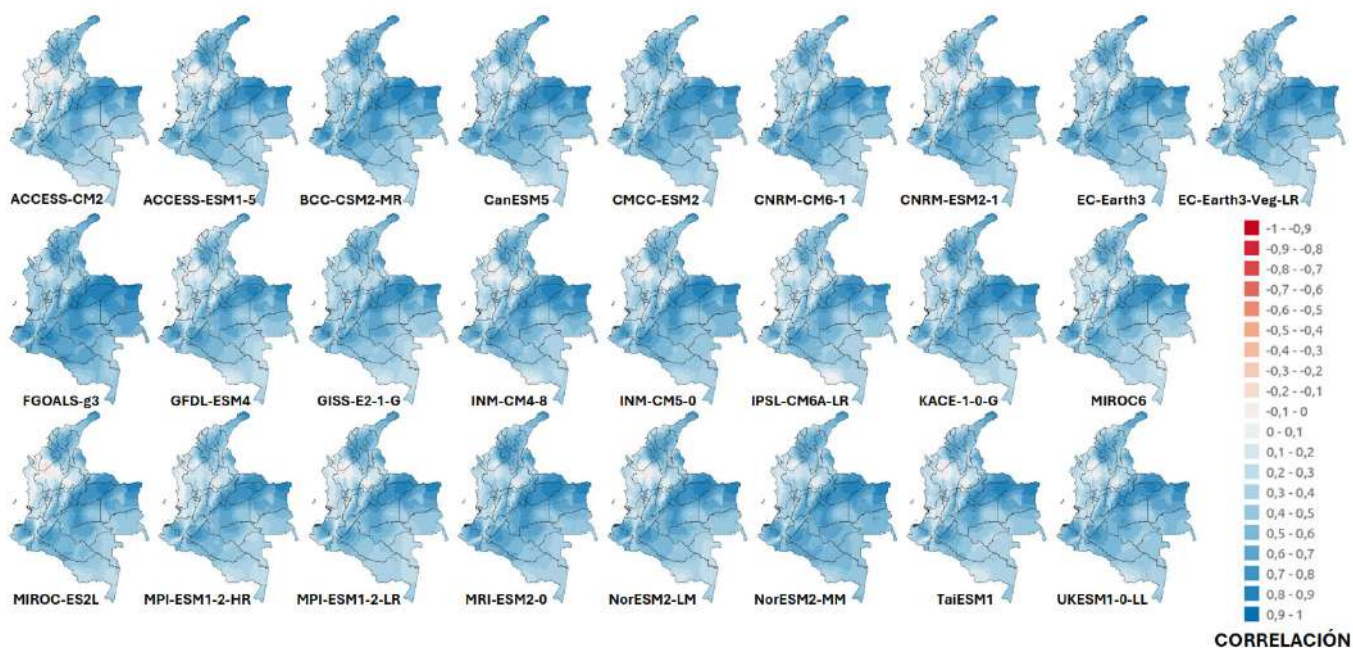


Figura 3.3. Niveles de correlación de la temperatura máxima de los 25 modelos climáticos globales para Colombia, en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos

TEMPERATURA MÍNIMA

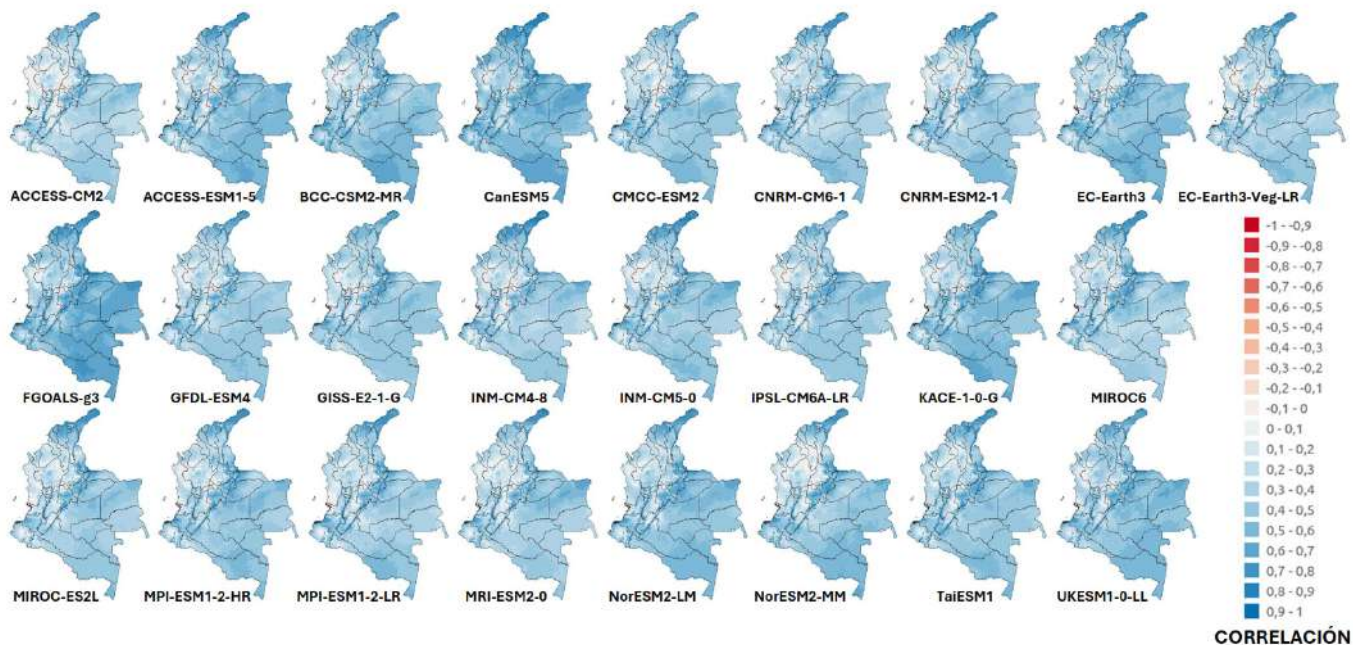


Figura 3.4. Niveles de correlación de la temperatura mínima de los 25 modelos climáticos globales para Colombia, en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos

REGIONES PLUVIOMÉTRICAMENTE HOMOGÉNEAS DONDE LOS GCM TUVIERON MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN (14 regiones pluviométricamente homogéneas) (Correlación \geq valor del test T de Student)

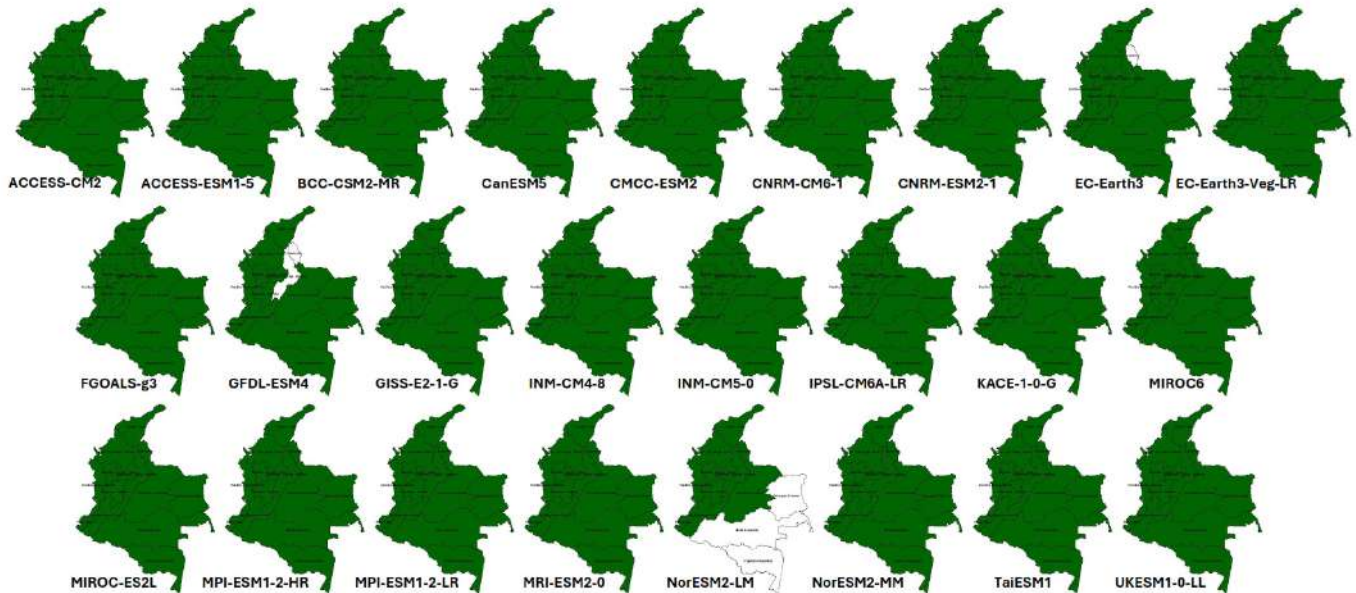


Figura 3.5. Catorce regiones pluviométricamente homogéneas con niveles de correlación igual o superior a los umbrales definidos por el test T de Student para precipitación, de los 25 modelos climáticos globales para Colombia en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos

REGIONES PLUVIOMÉTRICAMENTE HOMOGÉNEAS DONDE LOS GCM TUVIERON MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA TEMPERATURA MEDIA (14 regiones pluviométricamente homogéneas) (Correlación \geq valor del test T de Student)

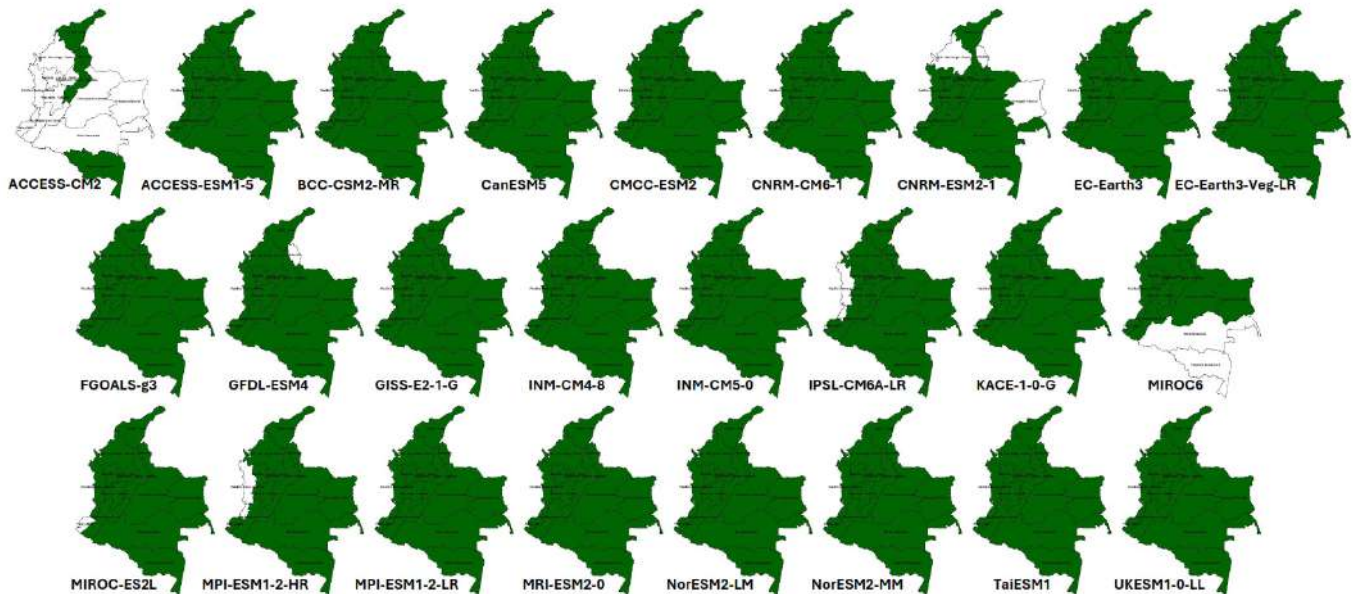


Figura 3.6. Catorce regiones pluviométricamente homogéneas con niveles de correlación igual o superior a los umbrales definidos por el test T de Student para temperatura media, de los 25 modelos climáticos globales para Colombia en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos

REGIONES PLUVIOMÉTRICAMENTE HOMOGÉNEAS DONDE LOS GCM TUVIERON MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (14 regiones pluviométricamente homogéneas) (Correlación \geq valor del test T de Student)

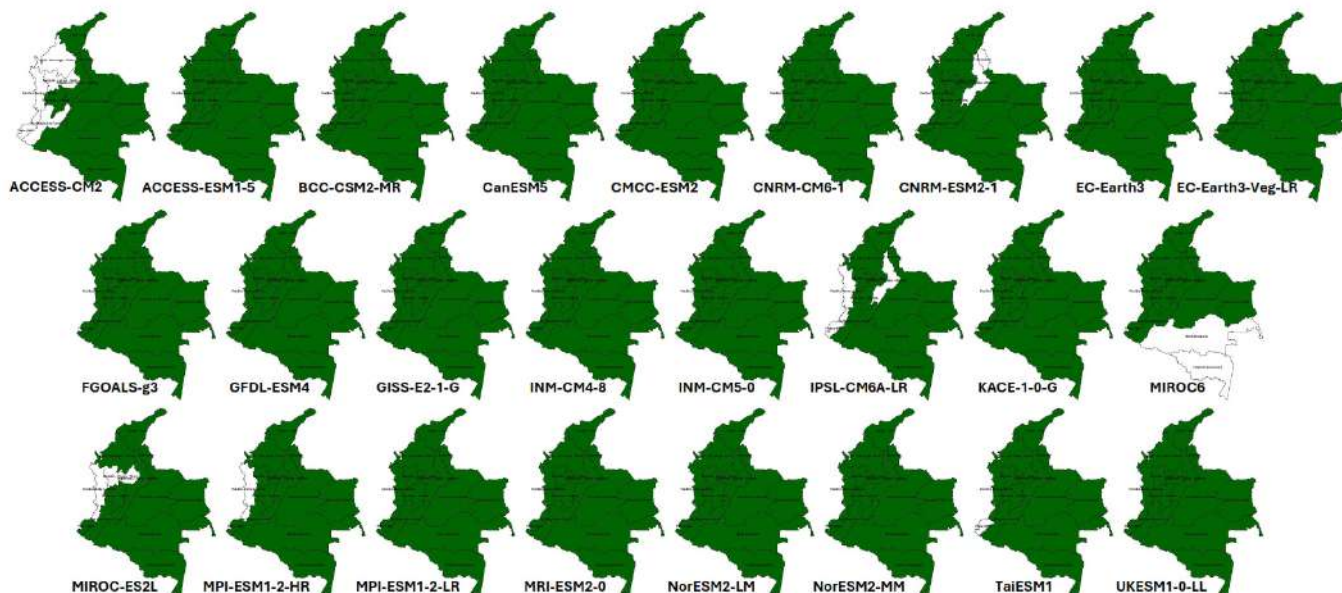


Figura 3.7. Catorce regiones pluviométricamente homogéneas con niveles de correlación igual o superior a los umbrales definidos por el test T de Student para temperatura máxima, de los 25 modelos climáticos globales para Colombia en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos

REGIONES PLUVIOMÉTRICAMENTE HOMOGÉNEAS DONDE LOS GCM TUVIERON MEJOR REPRESENTACIÓN DE LA TEMPERATURA MÍNIMA (14 regiones pluviométricamente homogéneas) (Correlación \geq valor del test T de Student)

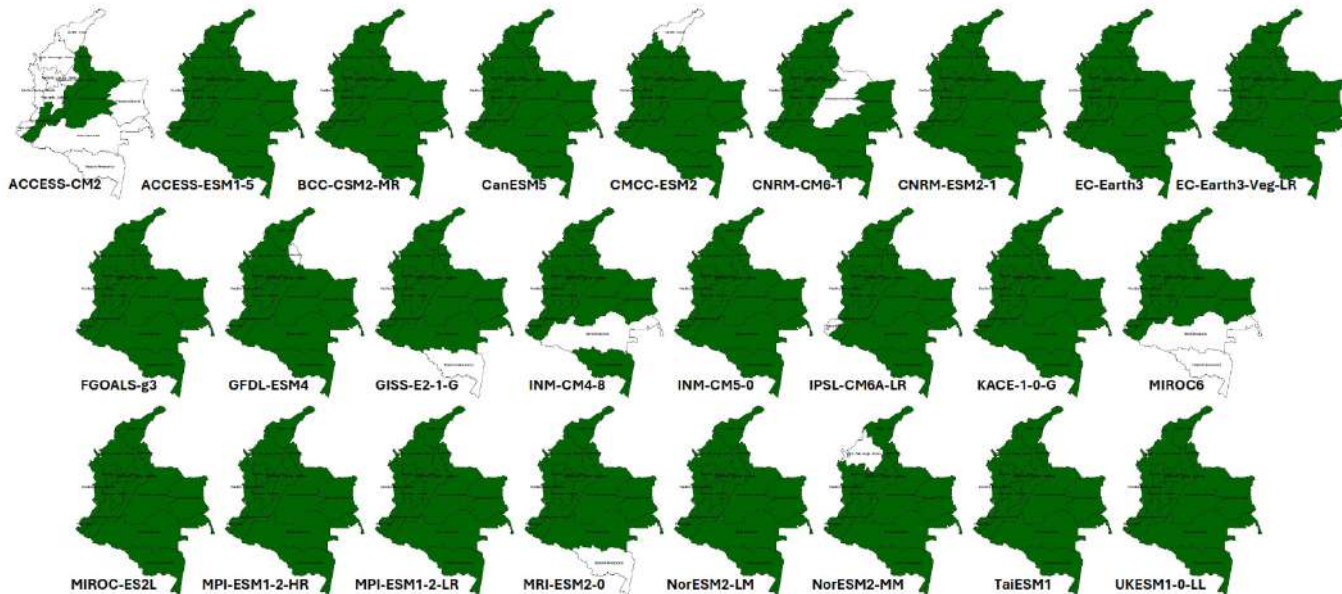


Figura 3.8. Catorce regiones pluviométricamente homogéneas con niveles de correlación igual o superior a los umbrales definidos por el test T de Student para temperatura mínima, de los 25 modelos climáticos globales para Colombia en comparación con los datos del periodo 1981-2014 del cubo de datos

3.2. Selección de los modelos climáticos globales para Colombia

El análisis que se presentó anteriormente, a partir del criterio de evaluación de los valores de las correlaciones de cada modelo para cada variable y mostrando las regiones para los cuales cada uno de estos sería representativo, se realizó con el objetivo de tener criterios robustos para la selección de los modelos climáticos globales que se usarán en los escenarios para la Cuarta Comunicación Nacional de Colombia, y de mostrar varios aspectos relevantes que suceden con frecuencia en los procesos de evaluación; por ejemplo, puede haber zonas en el país sin ningún modelo climático global que sea “representativo”, según la forma como se evalúe su desempeño. En estas situaciones, y teniendo en cuenta que es mandatorio seleccionar al menos un modelo para todo el país, se deben buscar alternativas de evaluación para cumplir con este objetivo.

De acuerdo con lo anterior y con los resultados por regiones pluviométricamente homogéneas, para la selección de los modelos que se van a usar se aplicó la reducción de escala estadística a los 25 modelos climáticos globales para todas las variables climáticas, y en el momento de generar las series únicas de datos para cada una de ellas y para los escenarios SSP se otorgaron las ponderaciones a los modelos según los valores de correlación que hayan presentado para cada pixel, con base en los umbrales definidos por el test T de Student, aplicando los siguientes criterios de ponderación:

- Los pixeles con valores altos de esta métrica tienen un mayor peso en el ensamble.
- Los valores bajos (mayores que 0) tienen en el ensamble un peso menor.
- Los pixeles con valores negativos o iguales a 0 no hacen parte del ensamble multimodelo.

Utilizar el criterio de los umbrales definidos por el test T de Student, considerando que estos tienen niveles de confianza del 95 %, permite contar con una mayor cantidad de modelos para incorporar en el ensamble, lo cual ayuda a reducir la incertidumbre de las proyecciones al integrar más modelos, sin perder la evaluación de su representatividad en el clima de Colombia.

4. Escenarios de cambio climático



Este capítulo presenta el análisis de los resultados de proyecciones climáticas para Colombia de las variables: precipitación, temperaturas media, máxima y mínima, humedad relativa, velocidad del viento y radiación, en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100, en comparación con el clima histórico del periodo 1981-2010 y desde los cuatro escenarios SSP del AR6 (SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5). Primero, se presentan los cambios futuros proyectados de las variables climáticas a nivel anual multianual para los cuatro periodos y los cuatro escenarios mencionados; después, se describen los cambios a nivel estacional (trimestral) por variable, trimestre, periodo y escenario; por último, se muestran los cambios a nivel mensual de las variables climáticas analizadas.

Para dar un contexto general, en la figura 4.1 se muestra el comportamiento de la temperatura media mensual promedio de Colombia en el periodo 1981-2020, y las proyecciones del promedio de esta variable para el país en el periodo 2021-2100, desde los cuatro escenarios SSP analizados. La figura 4.1 muestra que, además de tener casi un grado más de diferencia en el periodo histórico 1981-2020 en comparación con el que se usó en la Tercera Comunicación Nacional (Ideam et al., 2015), los aumentos de la temperatura para el año 2100 estarían entre 1,2 y 5 °C; los mayores aumentos se presentarían en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5. Además, al aplicar una línea de tendencia lineal a los datos históricos, si el comportamiento de la temperatura media en el país siguiera esa tendencia, para finales del siglo XXI la proyección más cercana sería similar a la del escenario SSP2-4.5.

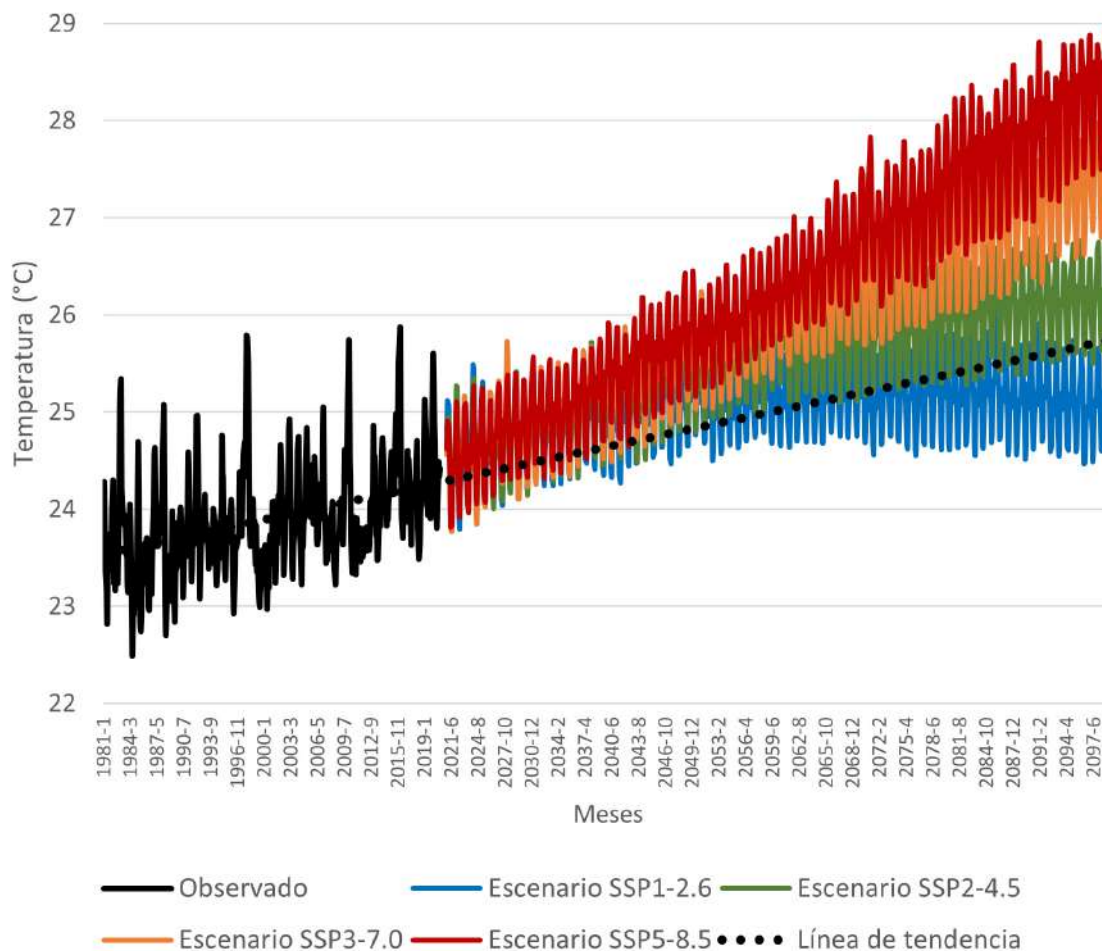


Figura 4.1. Comportamiento de la temperatura media promedio de Colombia, a nivel histórico observado en el periodo 1981-2020 y futuro en el periodo 2021-2100, desde 4 escenarios de cambio climático SSP

4.1. Cambios anuales multianuales

4.1.1. Precipitación

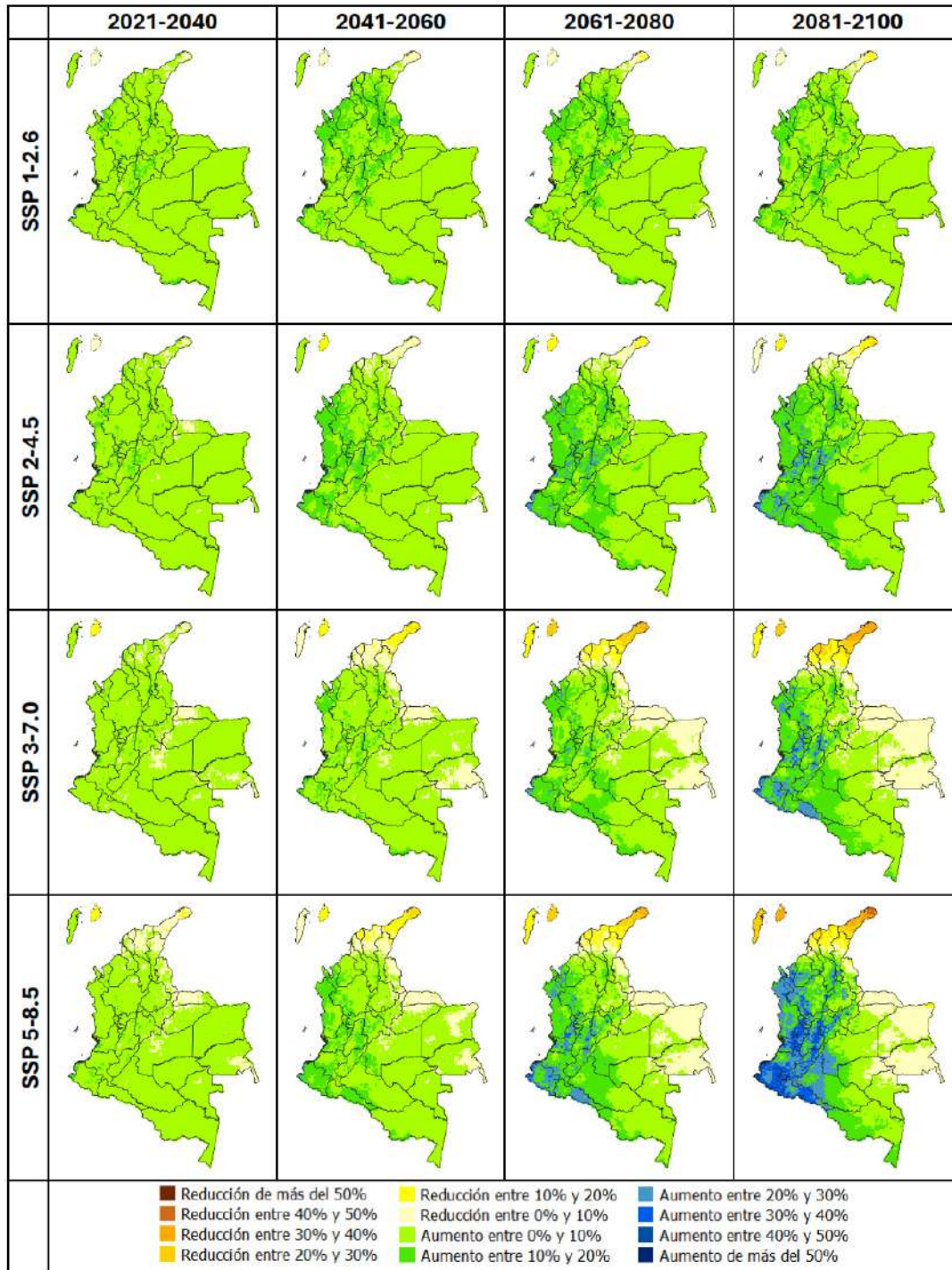
Para esta variable, en el periodo de corto plazo 2021-2040 se presentarían cambios dentro del rango normal de variabilidad (alrededor del 10 %), se tendrían aumentos en la mayor parte del país dentro de este rango y serían superiores (entre el 10 % y el 20 %) en el centro de la región Andina. Habría reducciones en el escenario SSP5-8.5 en gran parte de la región Caribe y en algunas zonas de la región Orinoquia, de aproximadamente el 10 %. Para el siguiente periodo (2041-2060), en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5, se mantendría el aumento de la precipitación, entre un 5 % y un 20 % en casi todo el país; solo se tendrían reducciones del 8 % al norte de La Guajira.

En los otros dos escenarios (SSP3-7.0 y SSP5-8.5), aumentaría el área de las reducciones, cubriendo la región Caribe y parte de la Orinoquia. Para el periodo 2061-2080, se darían aumentos de la precipitación en la mayor parte del territorio nacional, y sería del 10 % al 20 % en la región Andina y en el sur de la región Caribe, en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5; se tendrían zonas hacia el centro del país con aumentos del 20 % al 30 % de las lluvias. Para los otros dos escenarios, se presentarían incrementos del 20 % al 40 % en la precipitación en el centro y sur de la región Andina, especialmente en el escenario SSP5-8.5, mientras que al nororiente de la Orinoquia y en la región Caribe se darían reducciones entre el 5 % y el 30 %; en este caso, las más altas estarían en La Guajira.

Por último, para finales de siglo, en los cuatro escenarios se presentarían aumentos de la precipitación en la región Andina, Pacífica y Amazonia, de alrededor del 8 % al 45 %. Los mayores incrementos (del 20 % al 45 %) se darían en los tres últimos escenarios (SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5) en el centro y occidente del país. Por su parte, el oriente de la región Orinoquia y la región Caribe presentarían reducciones del 7 % al 44 % respecto al volumen de las precipitaciones anuales, con las mayores reducciones (de más del 20 %) en La Guajira (figura 4.2).



Figura 4.2. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.1.2. Temperatura máxima

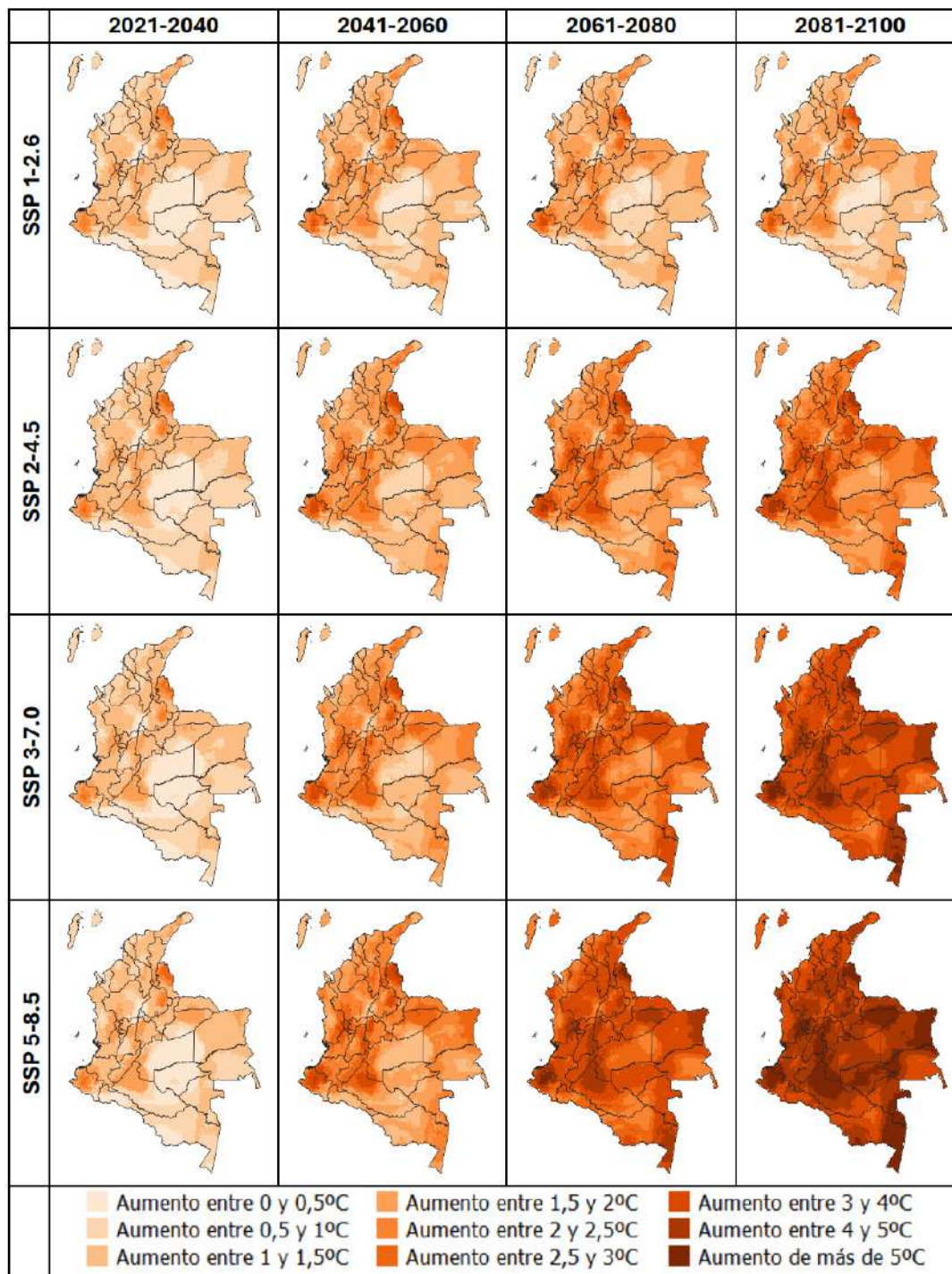
En todos los periodos analizados, la temperatura máxima presentaría incrementos para los cuatro escenarios SSP. En el periodo de corto plazo (2021-2040), la temperatura aumentaría entre 0,4 y 2 °C, con incrementos de más de 1,5 °C en Nariño y en el Catatumbo. Para 2041-2060, los aumentos serían de 0,4 a 4 °C en todos los escenarios, y los incrementos más altos (de 2 a 4°C) se presentarían en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 en Nariño, Catatumbo y en el centro de la región Andina.

En el periodo 2061-2080, los aumentos serían de 0,4 a 2,4 °C, y se mantendría el incremento de 0,4 a 2 °C en el escenario SSP1-2.6. De esta manera, sería de 1 a 3 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,5 a 5 °C en el SSP5-8.5, con los mayores aumentos en las zonas mencionadas anteriormente y en el oriente y sur del país. Para finales de siglo, los aumentos serían de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6. Así, serían de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5, de 2 a 5 °C en el SSP3-7.0 y de 2,5 a más de 5 °C en el SSP5-8.5.

Con esto, se observa que los mayores incrementos de la temperatura máxima se presentarían en el último escenario en gran parte de Colombia, en comparación con la temperatura del periodo histórico 1981-2010 (figura 4.3).



Figura 4.3. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C), desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.1.3. Temperatura mínima

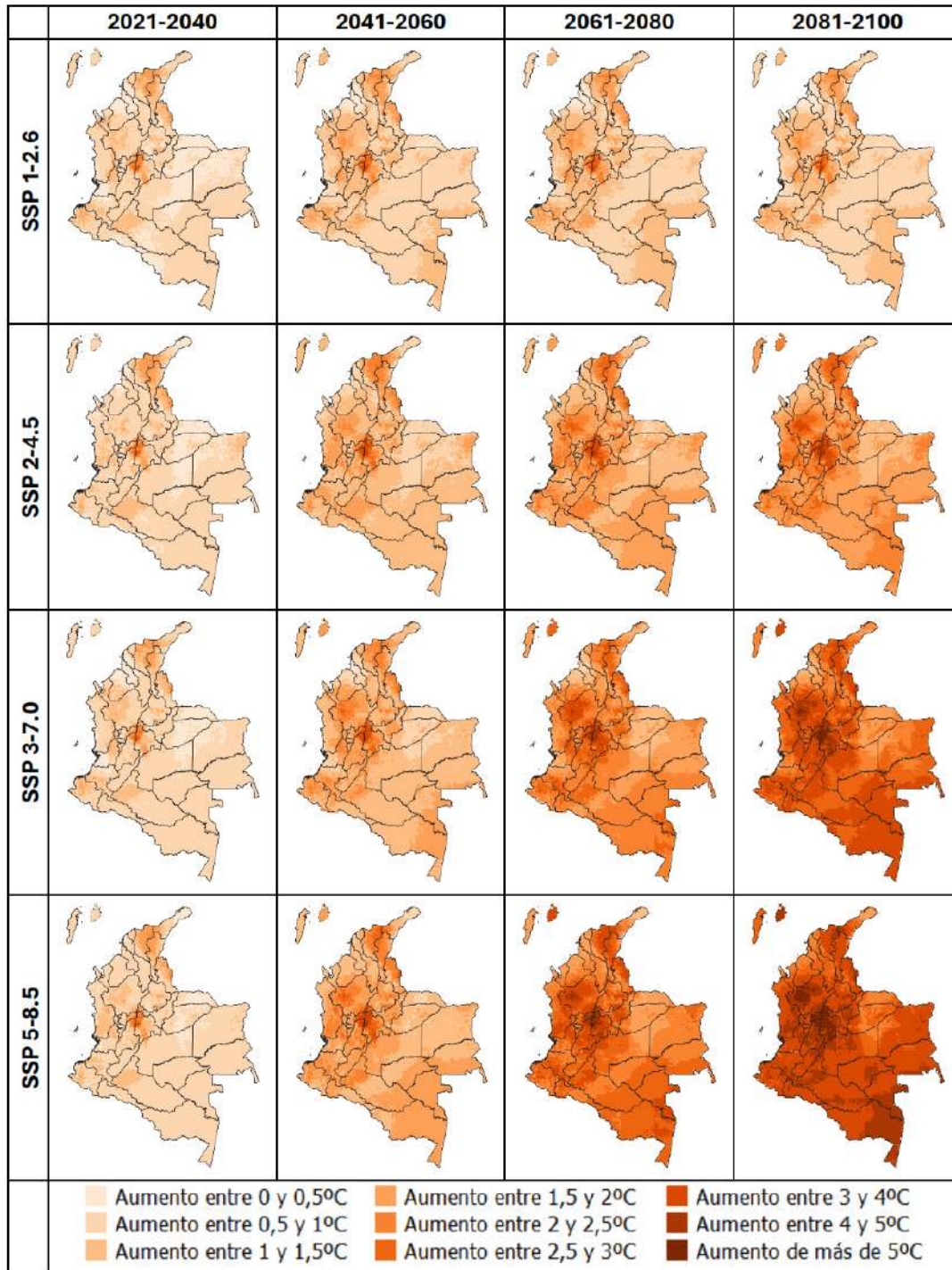
Esta temperatura también presentaría aumentos a lo largo del siglo XXI en Colombia. En el primer periodo (2021-2040), esta variable incrementaría entre 0,4 y 2 °C en los cuatro escenarios SSP, y los mayores aumentos se presentarían en el centro de la región Andina.

Durante el periodo 2041-2060, aumentaría el mismo rango en el escenario SSP1-2.6, de 0,7 a 2,5 °C en el SSP2-4.5 y de 1 a 3 °C en los otros dos escenarios. Los mayores incrementos se darían en el centro de las regiones Andina y Caribe. Para 2061-2080, la temperatura mínima aumentaría de 0,4 a 3 °C en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,5 a 5 °C en el SSP5-8.5. Los incrementos más altos los tendría el centro del país, el occidente de Antioquia y la región Caribe.

Finalmente, para el periodo 2081-2100, la temperatura subiría entre 0,4 y 2 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 5 °C en el SSP3-7.0 y de 2 a más de 5 °C en el SSP5-8.5, en comparación con el periodo histórico 1981-2010. Los aumentos de más de 5 °C se darían en el centro de la región Andina y en el occidente de Antioquia (figura 4.4).



Figura 4.4. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C), desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.1.4. Temperatura media

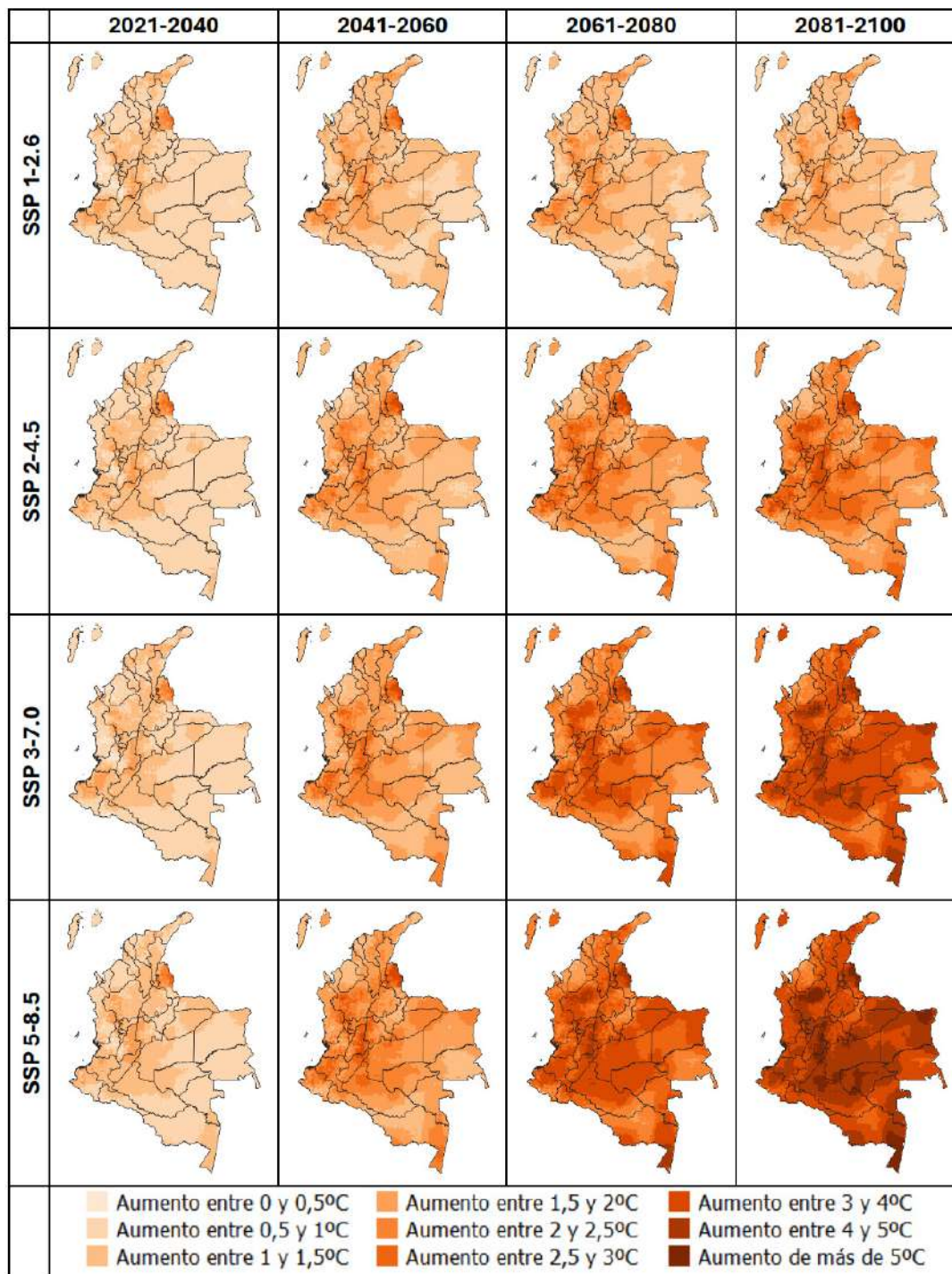
La temperatura media también se incrementaría en todo el país, entre 0,5 y 2 °C en el periodo 2021-2040 en los cuatro escenarios SSP. Los mayores aumentos se presentarían en el Catatumbo. En el periodo 2041-2060, aumentaría en este mismo rango en el SSP1-2.6, de 0,7 a 2,5 °C en el SSP2-4.5 y de 1 a 3 °C en los otros dos escenarios.

Los mayores incrementos también se darían en el Catatumbo, así como en la parte central de la región Andina. Para 2061-2080, la temperatura media aumentaría de 0,7 a 2,5 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 3 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,7 a 5 °C en el SSP5-8.5. Los incrementos más altos se verían en el centro del país y en el Catatumbo.

Finalmente, para el periodo 2081-2100, la temperatura subiría entre 0,7 y 2,5 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 5 °C en el SSP3-7.0 y de 2 a más de 5 °C en el SSP5-8.5, en comparación con el periodo histórico 1981-2010. Los aumentos de más de 5 °C se darían en la región Andina, el Catatumbo, el norte y sur de la Amazonia y en el oriente de la Orinoquia (figura 4.5).



Figura 4.5. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C), desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.1.5. Humedad relativa

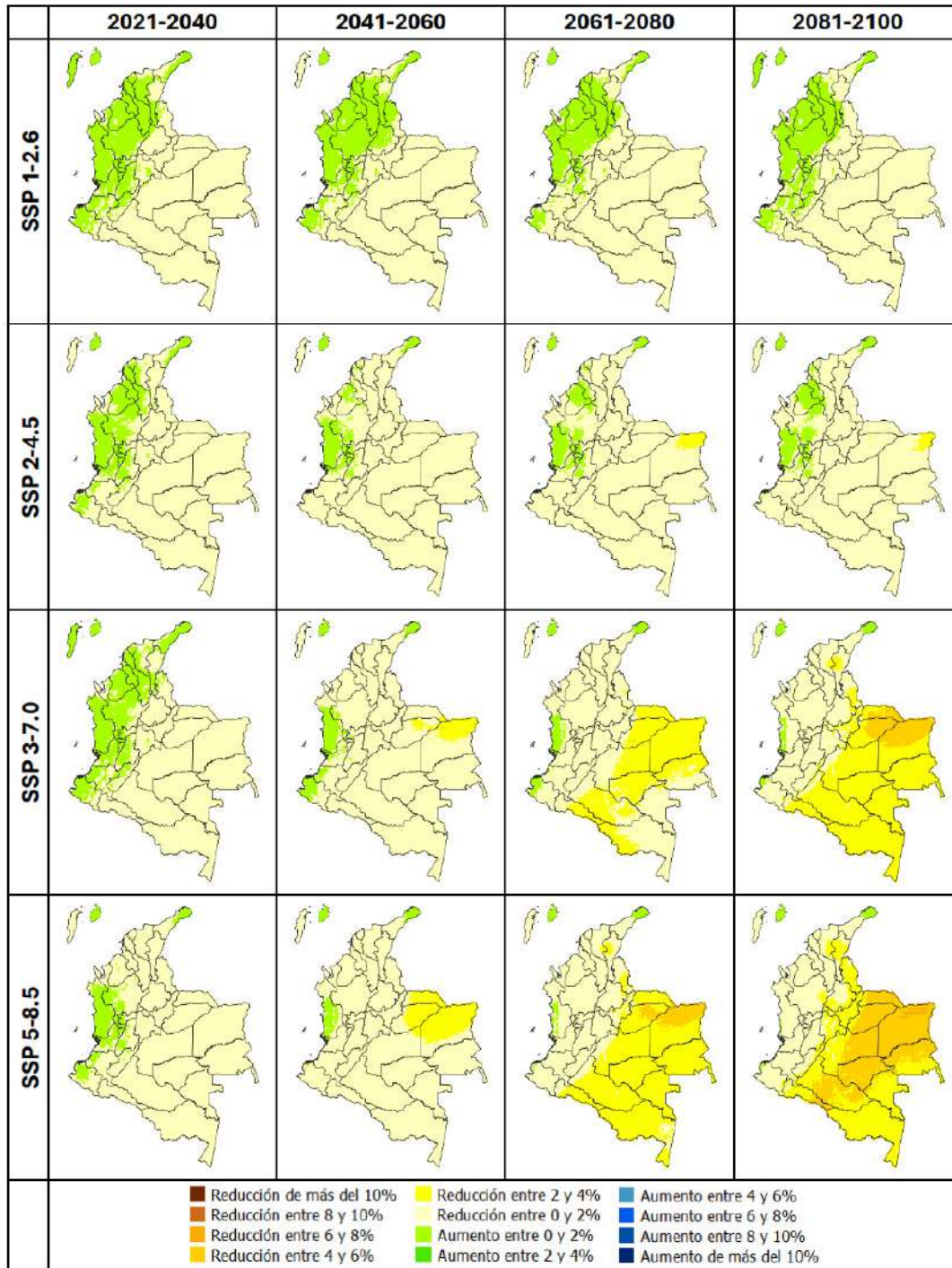
Esta variable presentaría reducciones en la mayor parte del país en todos los escenarios y periodos analizados. En el primer periodo (2021-2040), aumentaría entre el 0,5 % y el 2 % en la región Pacífica y en parte de la región Caribe, y en el resto del país se reduciría en ese mismo orden en los cuatro escenarios SSP.

Para 2041-2060, las áreas con reducciones de humedad relativa serían más en todo el país (habría disminuciones un poco más altas, entre el 2 % y el 4 %, en el nororiente de la Orinoquía) y solo tendrían aumentos la zona central de la región Pacífica y el norte de La Guajira; sin embargo, en el escenario SSP1-2.6 se tendría un área mayor, que incluiría gran parte de la región Pacífica, el norte de la región Andina y el centro de la región Caribe.

En el periodo 2061-2080, la humedad relativa mantendría un comportamiento similar al del periodo 2041-2060, pero se presentarían reducciones más altas (del 3 % al 4 %) en los SSP3-7.0 y SSP5-8.5 en la Orinoquía y la Amazonia. Por último, para finales de siglo se mantendría el comportamiento del periodo 2061-2080, pero con reducciones más altas (del 4 % al 6 %) en el escenario SSP5-8.5 en la Orinoquía y el norte de la Amazonia (figura 4.6).



Figura 4.6. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%), desde 4 escenarios SSP y para los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



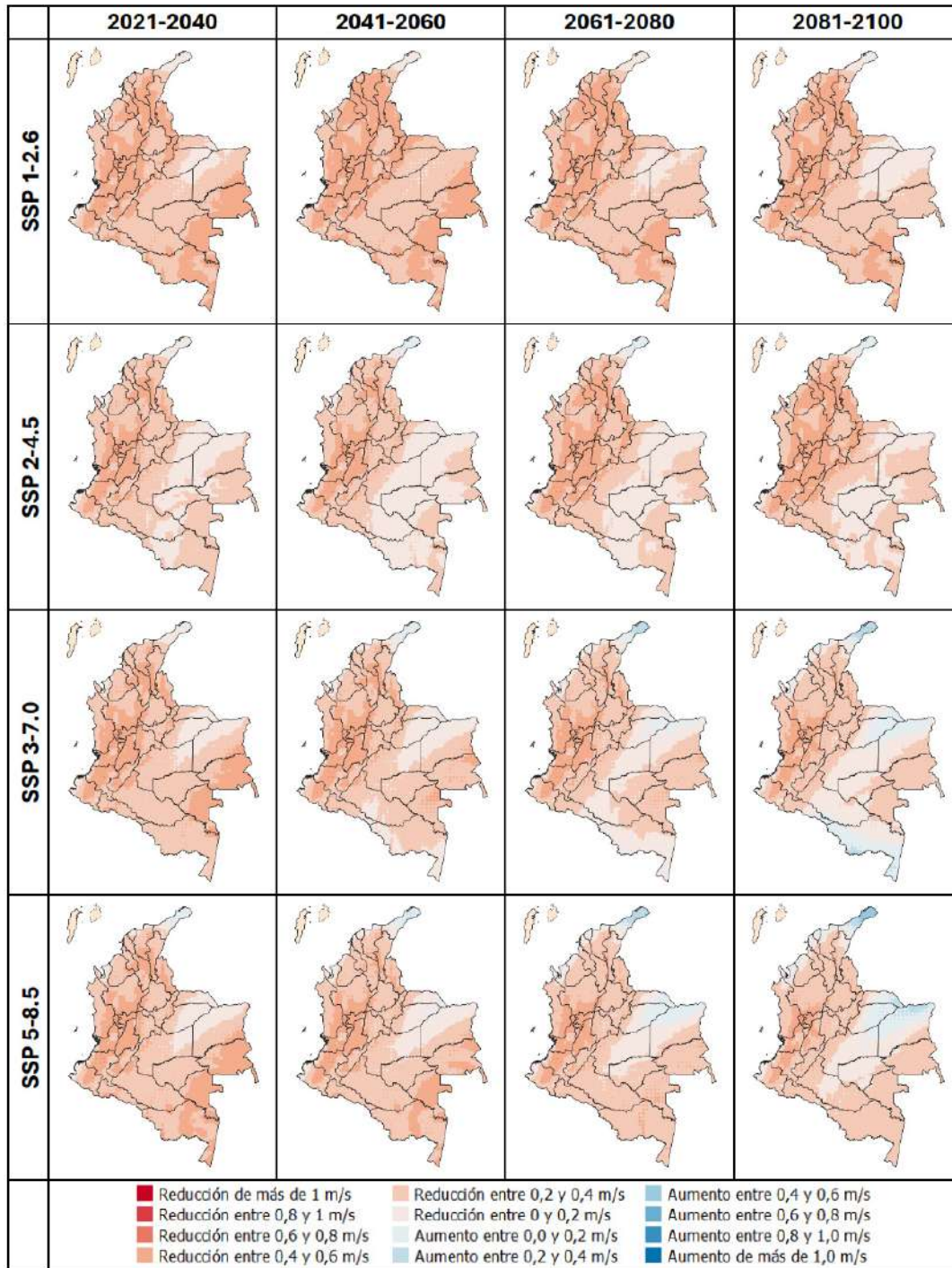
4.1.6. Velocidad del viento

En el primer periodo (2021–2040), esta variable se reduciría en gran parte del país, entre 0,2 y 1 m/s, en especial, en la zona oriental de la región Pacífica, mientras que en el norte de La Guajira se presentarían leves aumentos (de 0,2 a 0,6 m/s). Para 2041–2060, las reducciones se mantendrían igual y en las mismas zonas mencionadas, pero los aumentos de la velocidad del viento serían más altos en La Guajira y en el nororiente de la Orinoquia, principalmente, en los tres últimos escenarios.

En el periodo 2061–2080, también se tendrían reducciones en gran parte de Colombia, pero en La Guajira los aumentos de esta velocidad serían mayores (de 0,6 a 1 m/s) y en el norte de las regiones Caribe y Orinoquia en los escenarios SSP3–7.0 y SSP5–8.5. Por último, para finales de siglo se mantendría la tendencia en cuanto a las reducciones y los aumentos: se presentarían disminuciones en la velocidad del viento en las regiones Andina y Pacífica, y aumentos en las regiones Caribe y Orinoquia en los dos últimos escenarios; además, habría aumentos en la Amazonia en el SSP3–7.0 (figura 4.7).



Figura 4.7. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s), desde 4 escenarios SSP y para los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



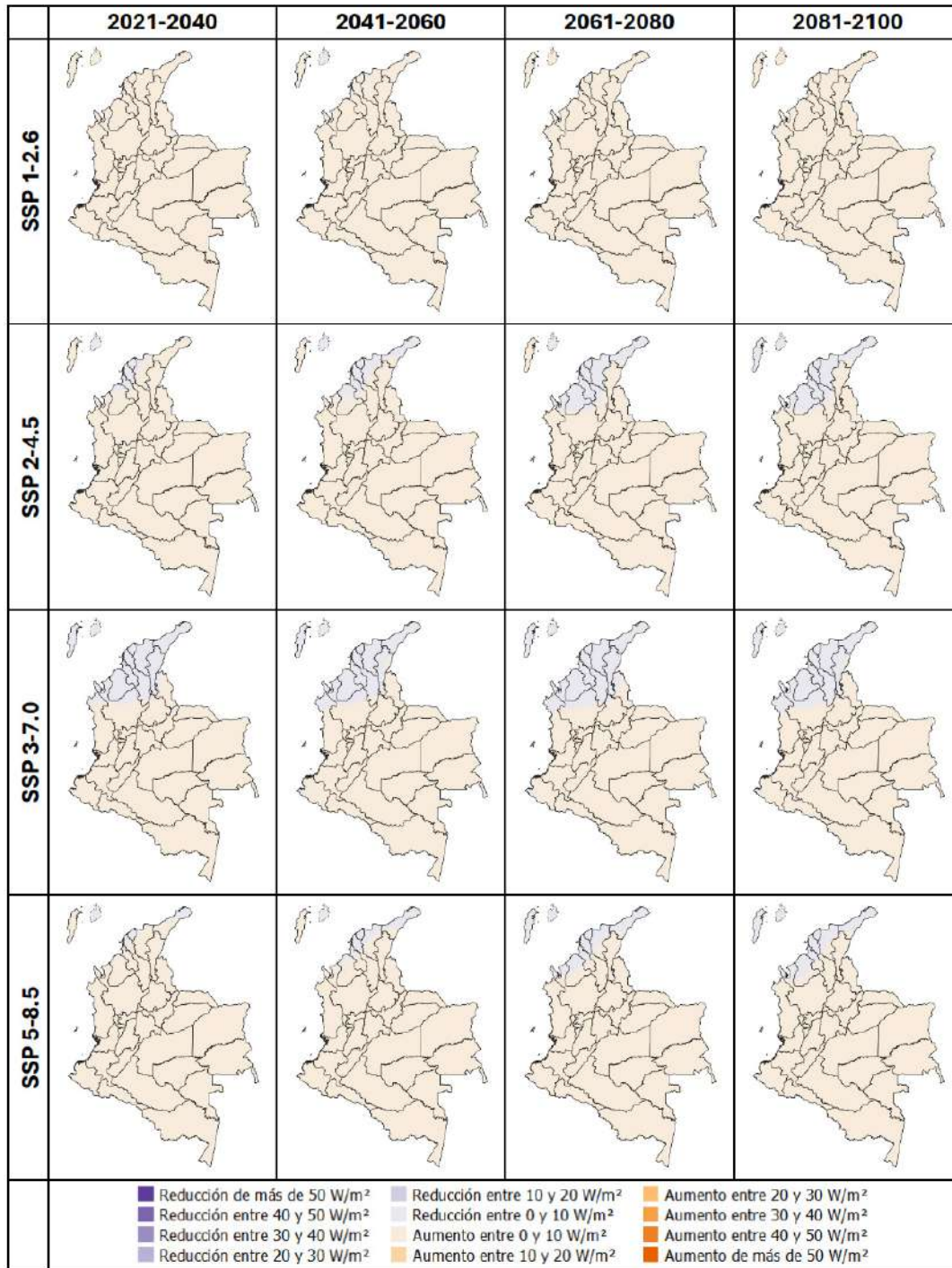
4.1.7. Radiación

La radiación global anual promedio presentaría, en los cuatro escenarios SSP y a lo largo del siglo XXI, aumentos en las regiones Andina, Orinoquía y Amazonia, y reducciones en la región Caribe a mediados de siglo.

En el primer periodo (2021-2040), los aumentos serían del orden de 3 a 10 W/m² en todo el territorio nacional; para los periodos 2041-2060 y 2061-2080, la región Caribe tendría reducciones en la radiación entre 5 y 10 W/m². Para finales de siglo, se mantendría el comportamiento de los periodos anteriores, con bajos aumentos de radiación en las regiones Andina, Orinoquía y Amazonia, y leves reducciones en la región Caribe y en el archipiélago de San Andrés y Providencia (figura 4.8).



Figura 4.8. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2), desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

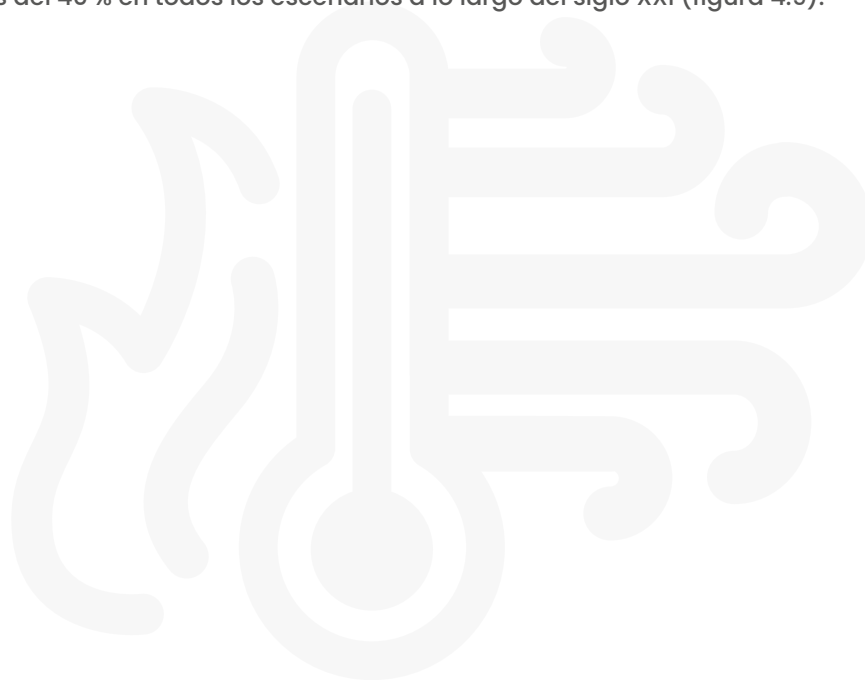


4.2. Cambios estacionales (trimestrales) multianuales

4.2.1. Precipitación

La precipitación en el periodo 2021-2040, para el trimestre diciembre-enero-febrero, presentaría cambios dentro del rango normal de variabilidad (alrededor del 10 %), con aumentos en la mayor parte del país dentro de este rango, pero superiores (entre 10 % y 20 %) en el centro de la región Andina. Se darían reducciones en el escenario SSP5-8.5 en gran parte de la región Caribe y en algunas zonas de la región Orinoquía, de aproximadamente el 10 %. Para el periodo 2041-2060, en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5, se mantendría en el mismo trimestre el aumento de la precipitación con un 5 %-20 % en casi todo el país; solo habría reducciones del 8 % en el norte de La Guajira. En los otros dos escenarios (SSP3-7.0 y SSP5-8.5), aumentaría el área de las reducciones y abarcaría la región Caribe y parte de la Orinoquía. Para el periodo 2061-2080, se darían aumentos de la precipitación en la mayor parte del territorio nacional, los cuales serían del 10 % al 20 % en la región Andina y en el sur de la región Caribe, en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5; en este caso, se tendrían zonas hacia el centro del país con aumentos del 20 % al 30 % en las lluvias del trimestre.

En los otros dos escenarios, se presentarían incrementos del 20 % al 40 % de la precipitación en el centro y el sur de la región Andina, especialmente en el SSP5-8.5, mientras que en el nororiente de la Orinoquía y en la región Caribe se darían reducciones del 5 % al 30 %; las más altas se darían en La Guajira. Por último, para finales de siglo, en los cuatro escenarios, en el trimestre habría aumentos de la precipitación en las regiones Andina, Pacífica y Amazonia, entre un 8 % y un 45 %. Los mayores incrementos (del 20 % al 45 %) se verían en los dos últimos escenarios (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) en el centro y el occidente del país. Por su parte, el oriente de las regiones Orinoquía y Caribe presentaría reducciones del 7 % al 44 % en el volumen de las precipitaciones de este trimestre, y las mayores reducciones (más del 20 %) las tendría La Guajira. Se destaca el hecho de que, para el archipiélago de San Andrés y Providencia, las precipitaciones presentarían aumentos de más del 40 % en todos los escenarios a lo largo del siglo XXI (figura 4.9).



Para el trimestre marzo-abril-mayo, se presentarían cambios variados y significativos en el volumen de la precipitación en el país, y se tendrían aumentos en la región Andina, en el occidente de la región Amazonia, en el centro de la región Caribe y en el norte de la Orinoquia. En estas dos últimas regiones, el aumento de las lluvias para el trimestre mencionado se mantendría solo hasta el 2080, y hacia finales de siglo se tendrían reducciones en el volumen de la precipitación trimestral de más del 20 %. Las otras disminuciones se darían en la Orinoquia, el norte de las regiones Amazonia, Pacífica y Caribe, y en el archipiélago de San Andrés y Providencia. Estas reducciones estarían por encima del 20 %, y serían superiores a este valor en la segunda mitad del siglo XXI (figura 4.10).

El trimestre junio-julio-agosto presentaría aumentos de la precipitación en la mayor parte del país a lo largo del siglo XXI, y solo habría reducciones en parte de la región Caribe; en este caso, las mayores disminuciones se darían en el norte de La Guajira (en más del 30 % del volumen trimestral). En cuanto a los aumentos de la precipitación, para los periodos 2021-2040 y 2041-2060 serían aproximadamente del 10 % al 30 % en el centro, oriente y occidente del país, y de un mayor orden (más del 30 %) en todas las demás zonas. Para la segunda mitad del siglo, las regiones Amazonia y Orinoquia, el archipiélago de San Andrés y Providencia, el sur de la región Pacífica y gran parte de la región Andina tendrían volúmenes de lluvia de más del 40 %, en comparación con la del periodo 1981-2010, mientras que en el norte de la región Caribe se darían reducciones del mismo orden (figura 4.11).

La precipitación en el trimestre septiembre-octubre-noviembre tendría aumentos en las regiones Pacífica y Orinoquia, en el norte de la Amazonia y el sur de la región Caribe. Estos incrementos estarían entre el 20 % y 40 % para la primera mitad del siglo XXI, y habría un mayor porcentaje (más del 30%) para la segunda mitad del siglo. El resto del territorio nacional presentaría reducciones en la precipitación trimestral a lo largo del siglo, y se darían las mayores disminuciones (de más del 30 %) en el sur de la región Andina, en La Guajira y en el sur de la Amazonia (figura 4.12).



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA CUARTA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA

Escenarios de cambio climático

Figura 4.9. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

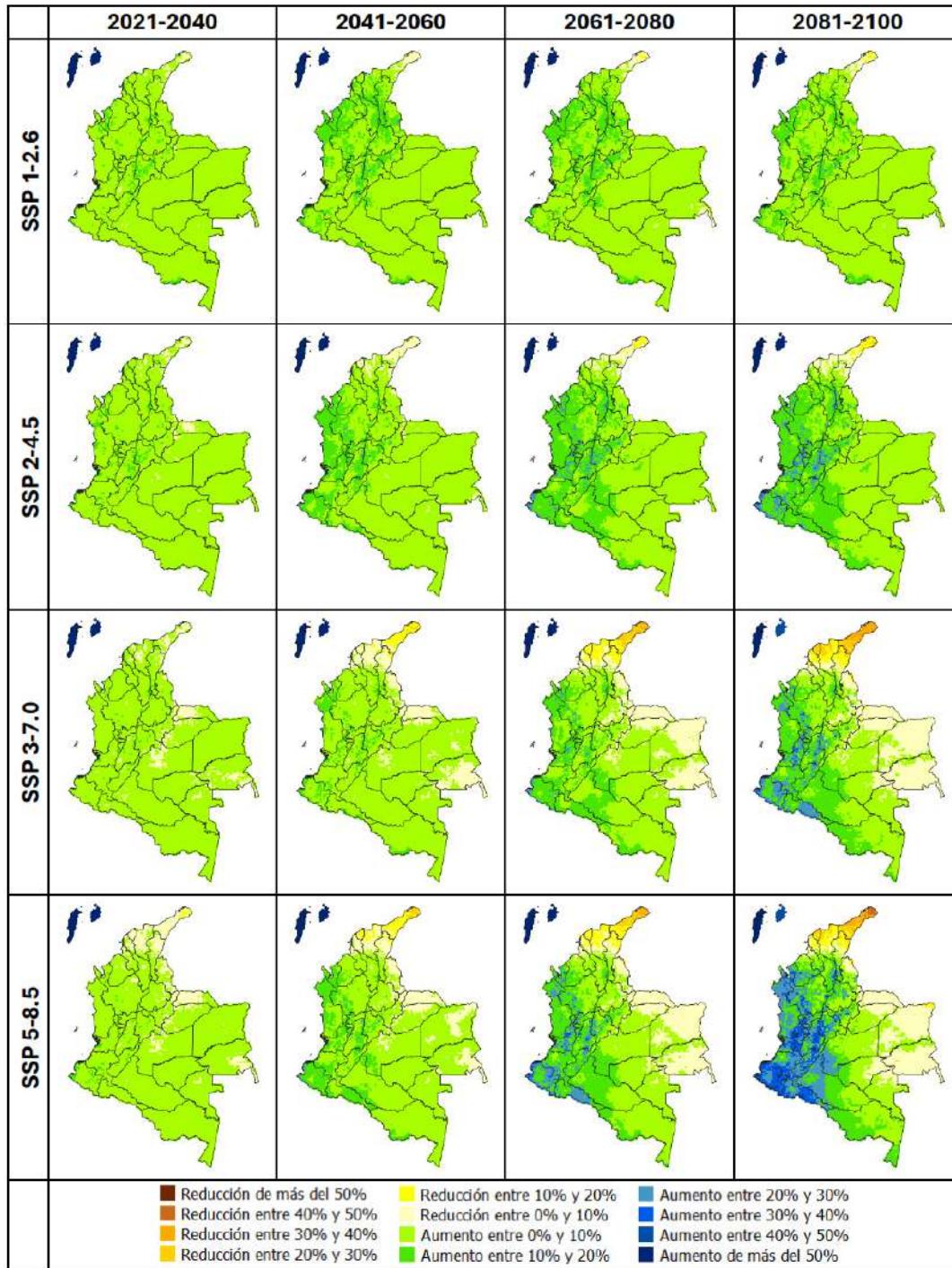


Figura 4.10. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

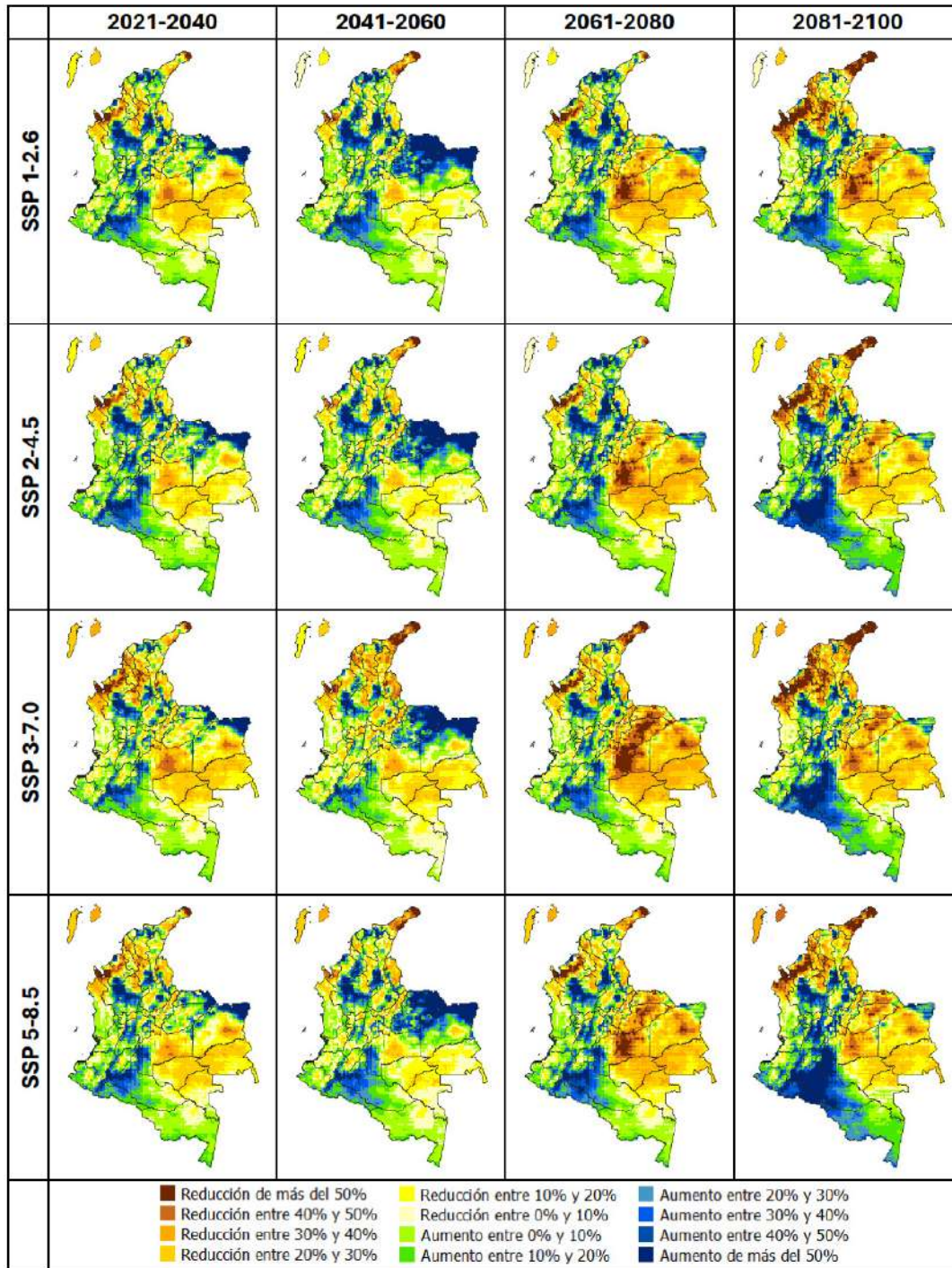
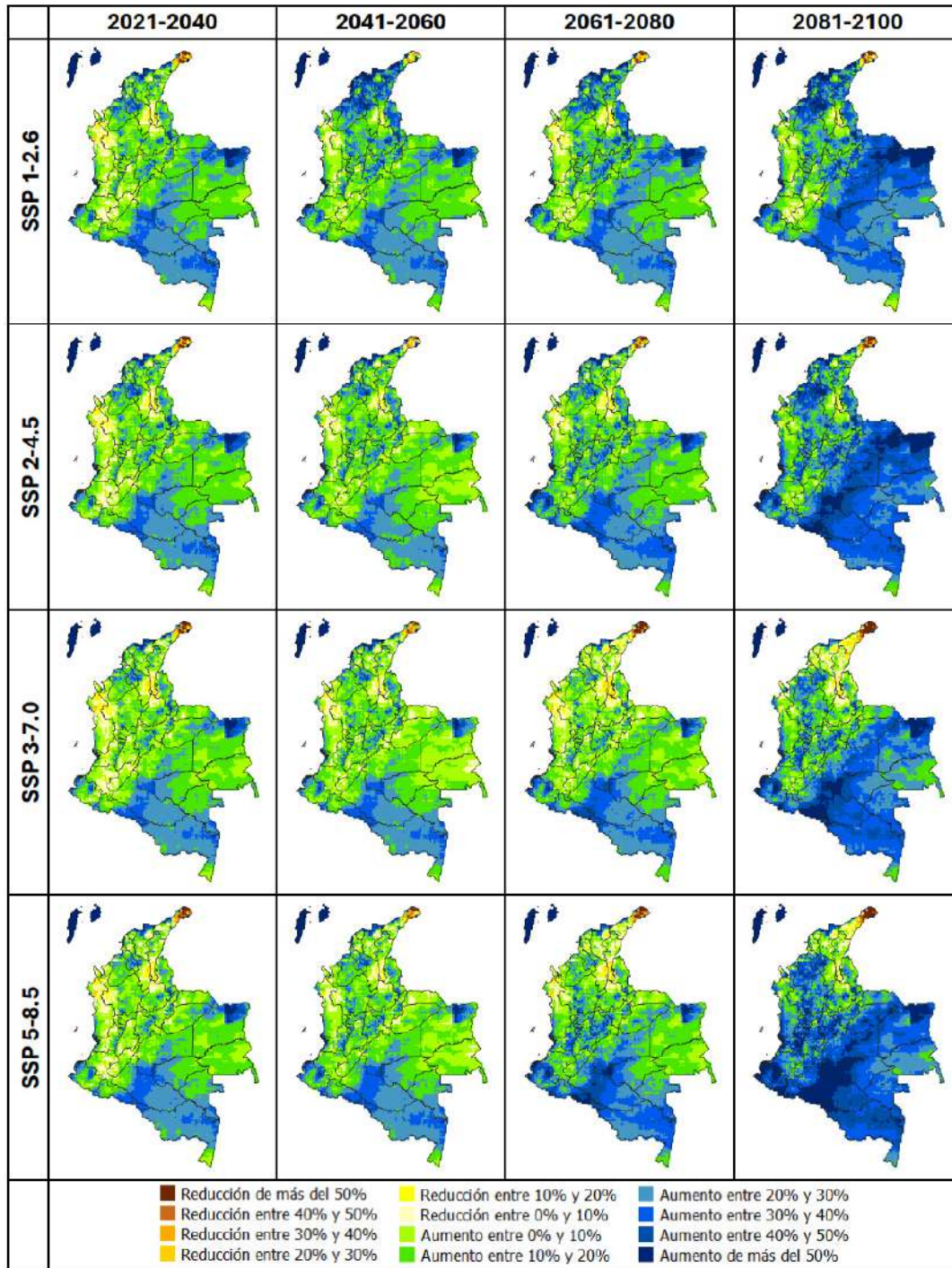


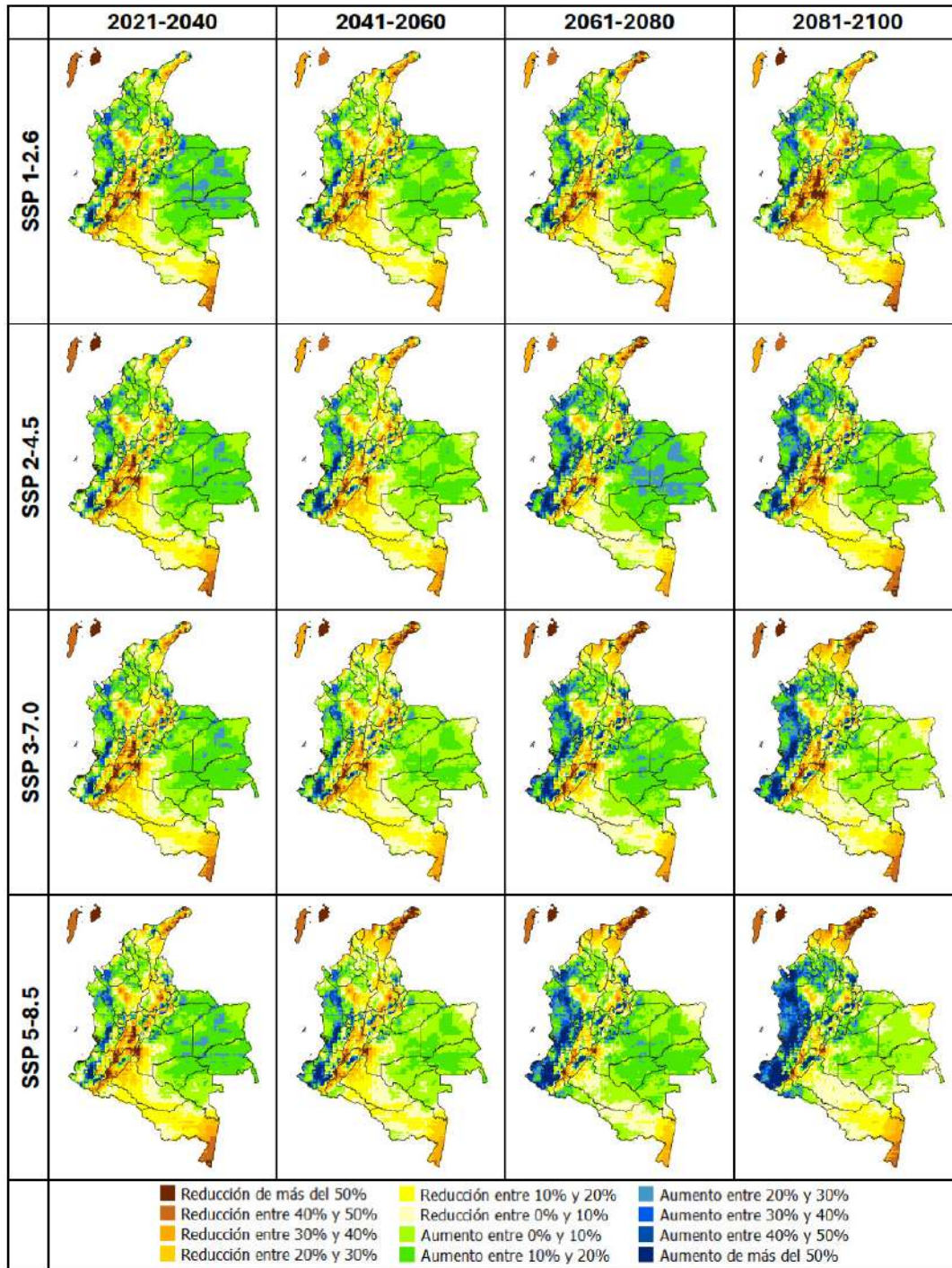
Figura 4.11. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA CUARTA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA

Escenarios de cambio climático

Figura 4.12. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.2.2. Temperatura máxima

La temperatura máxima se incrementaría en todos los trimestres del año en el siglo XXI, con aumentos entre 0,4 y 2,5 °C para el periodo 2021-2040; estos aumentos serían de más de 1,5 °C en Nariño y en el Catatumbo. Para 2041-2060, los aumentos serían de 0,4 a 4 °C en todos los escenarios, y los incrementos más altos (de 2 a 4 °C) se presentarían en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 en Nariño, en Catatumbo y en el centro y sur de la región Andina. En el periodo 2061-2080, los aumentos serían de 0,4 a 4 °C, y se mantendría el incremento de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 3 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,5 a 4 °C en el SSP5-8.5.

En este caso, los mayores aumentos se darían en las zonas mencionadas anteriormente y en el oriente y sur del país. Para finales de siglo, los aumentos serían de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5 y de 2 a 5 °C en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5; los mayores incrementos de la temperatura máxima en este último escenario se presentarían en gran parte de Colombia, en comparación con la temperatura del periodo histórico 1981-2010.

Los mayores aumentos se observarían en todos los trimestres del año hacia finales del siglo XXI, en el escenario SSP5-8.5, y el trimestre junio-julio-agosto sería el que menores valores de incremento presentaría, en comparación con los otros trimestres (figuras de la 4.13 a la 4.16).



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA CUARTA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA

Escenarios de cambio climático

Figura 4.13. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

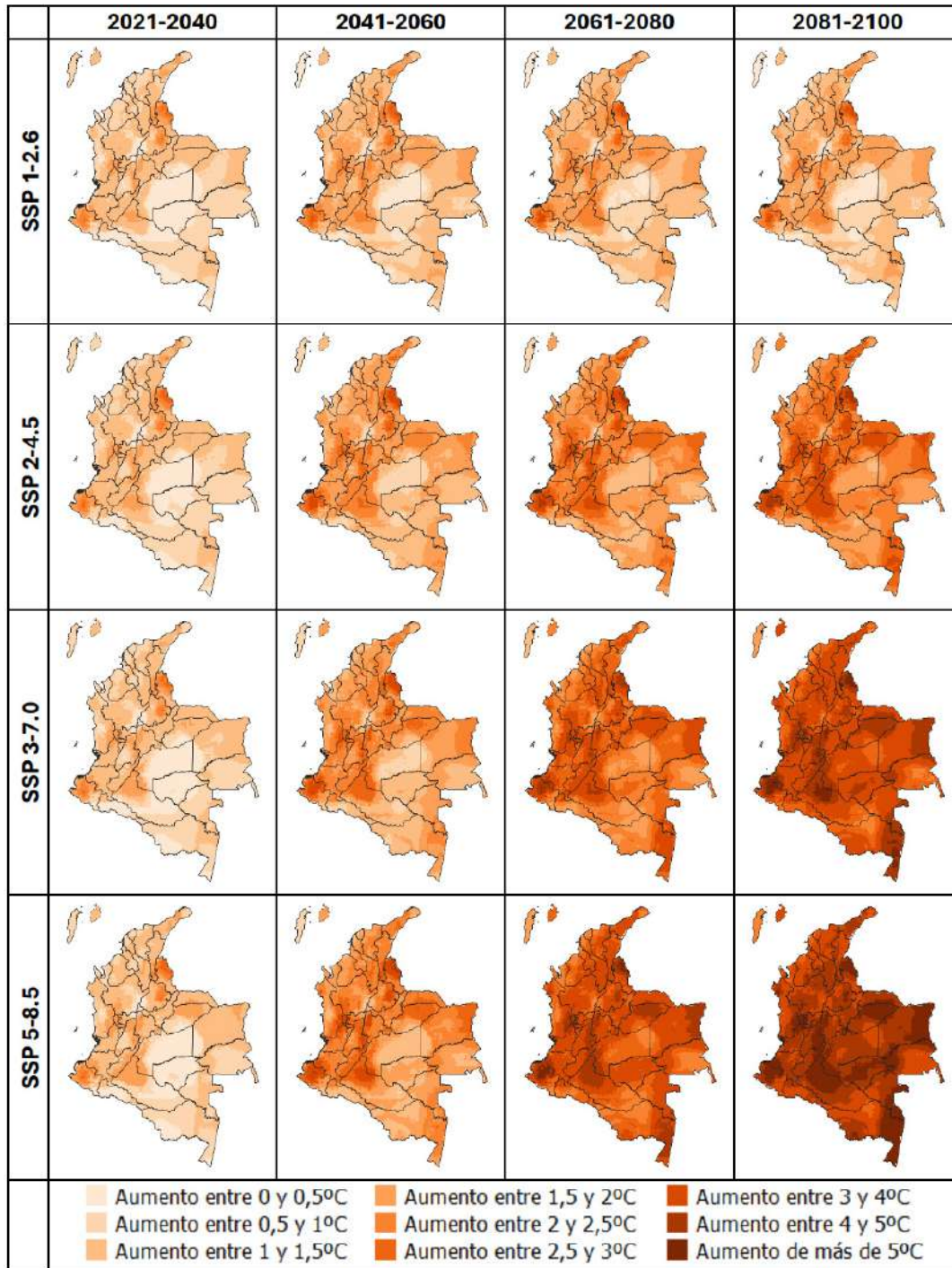


Figura 4.14. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

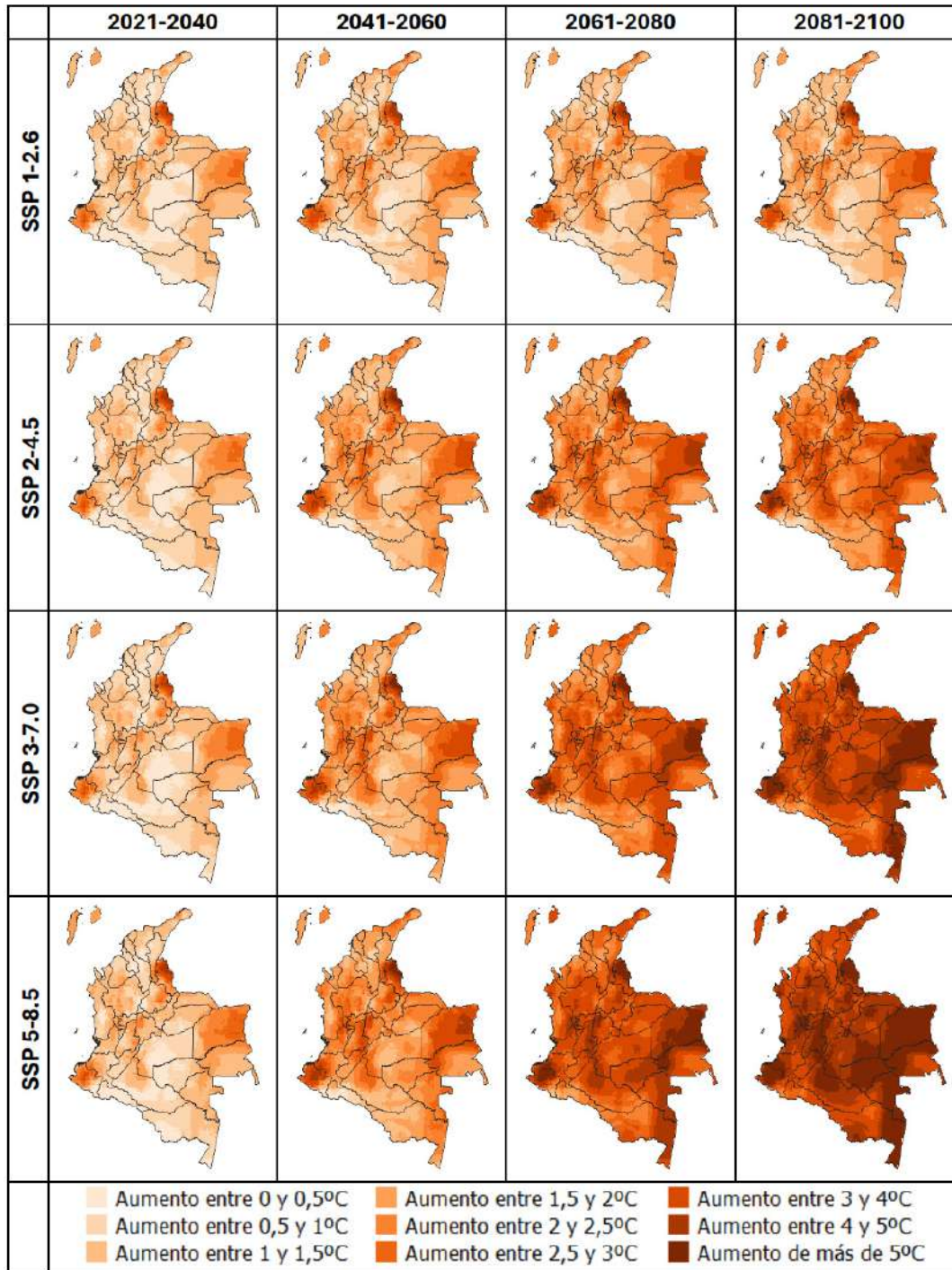


Figura 4.15. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

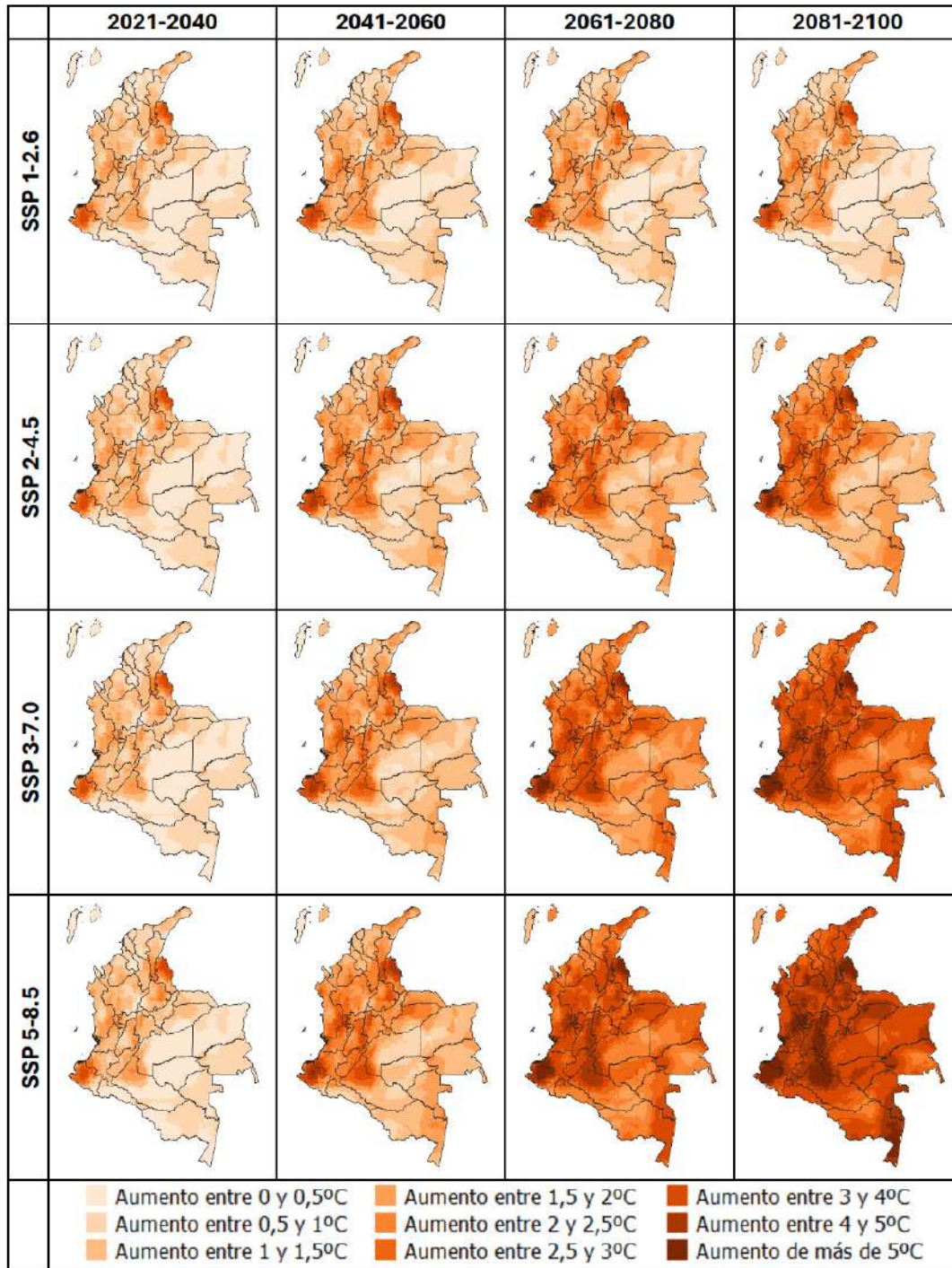
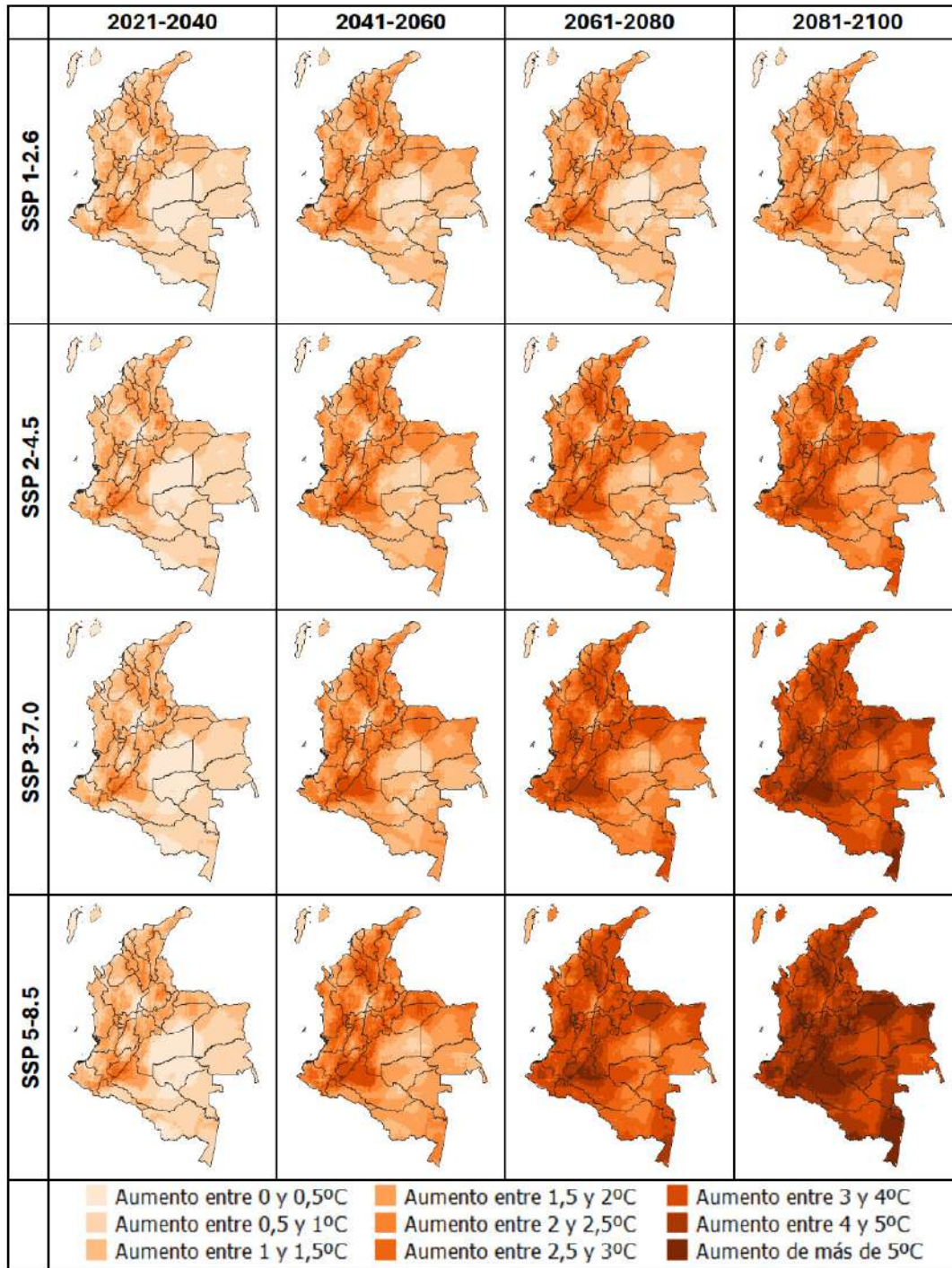


Figura 4.16. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.2.3. Temperatura mínima

En todos los trimestres del año, la temperatura mínima también se incrementaría, con aumentos entre 0,2 y 2,5 °C para el periodo 2021-2040, los cuales serían de más de 1,5 °C en el centro de la región Andina. Para 2041-2060, los aumentos serían de 0,4 a 4 °C en todos los escenarios, y los incrementos más altos (de 2 a 4 °C) se darían en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 en el centro de la región Andina y el sur de la región Caribe. En el periodo 2061-2080, los aumentos serían de 0,4 a 4 °C, y se mantendría el incremento de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 3 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,5 a 4 °C en el SSP5-8.5; también se mantendrían los mayores aumentos en las zonas mencionadas anteriormente y en el sur del país. Para finales de siglo, los aumentos serían de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5 y de 2 a 5 °C en los SSP3-7.0 y SSP5-8.5; los mayores incrementos de la temperatura mínima se presentarían en este último escenario en gran parte de Colombia, en comparación con la temperatura del periodo histórico 1981-2010.

Los mayores aumentos se verían en el trimestre marzo-abril-mayo hacia finales del siglo XXI en el escenario SSP5-8.5, en comparación con los aumentos de los otros trimestres del año (figuras de la 4.17 a la 4.20).



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA CUARTA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA

Escenarios de cambio climático

Figura 4.17. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

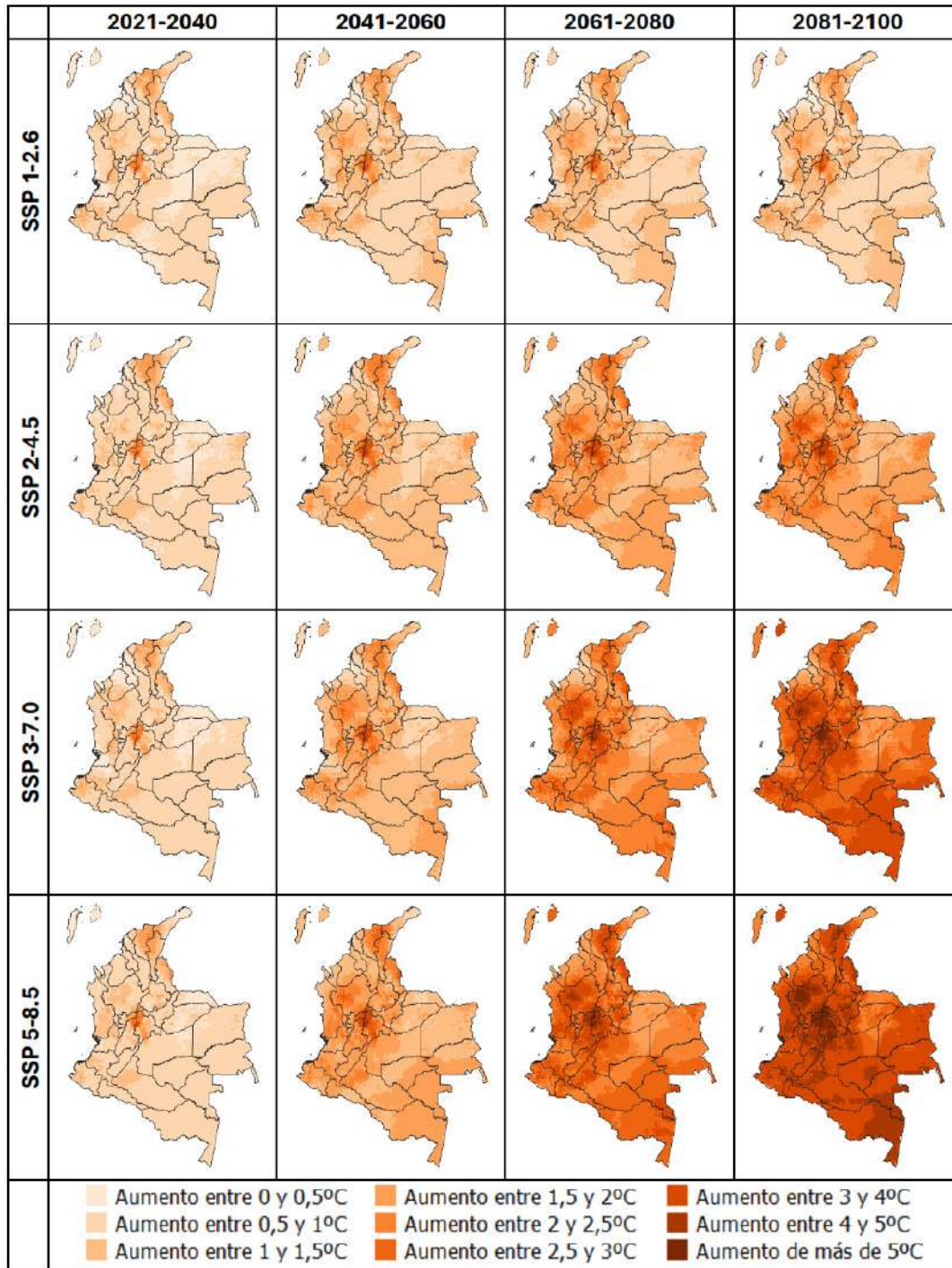


Figura 4.18. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

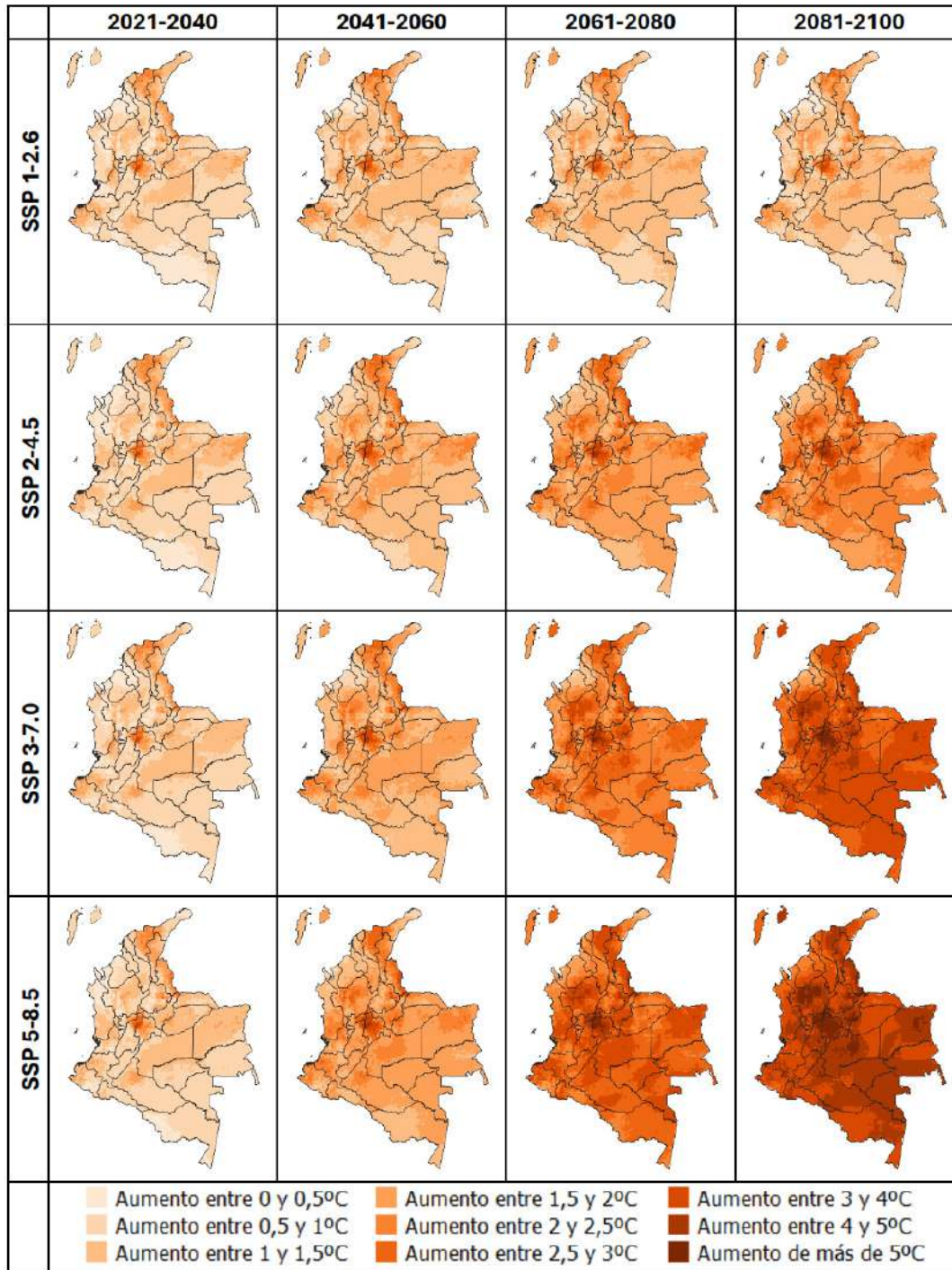


Figura 4.19. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

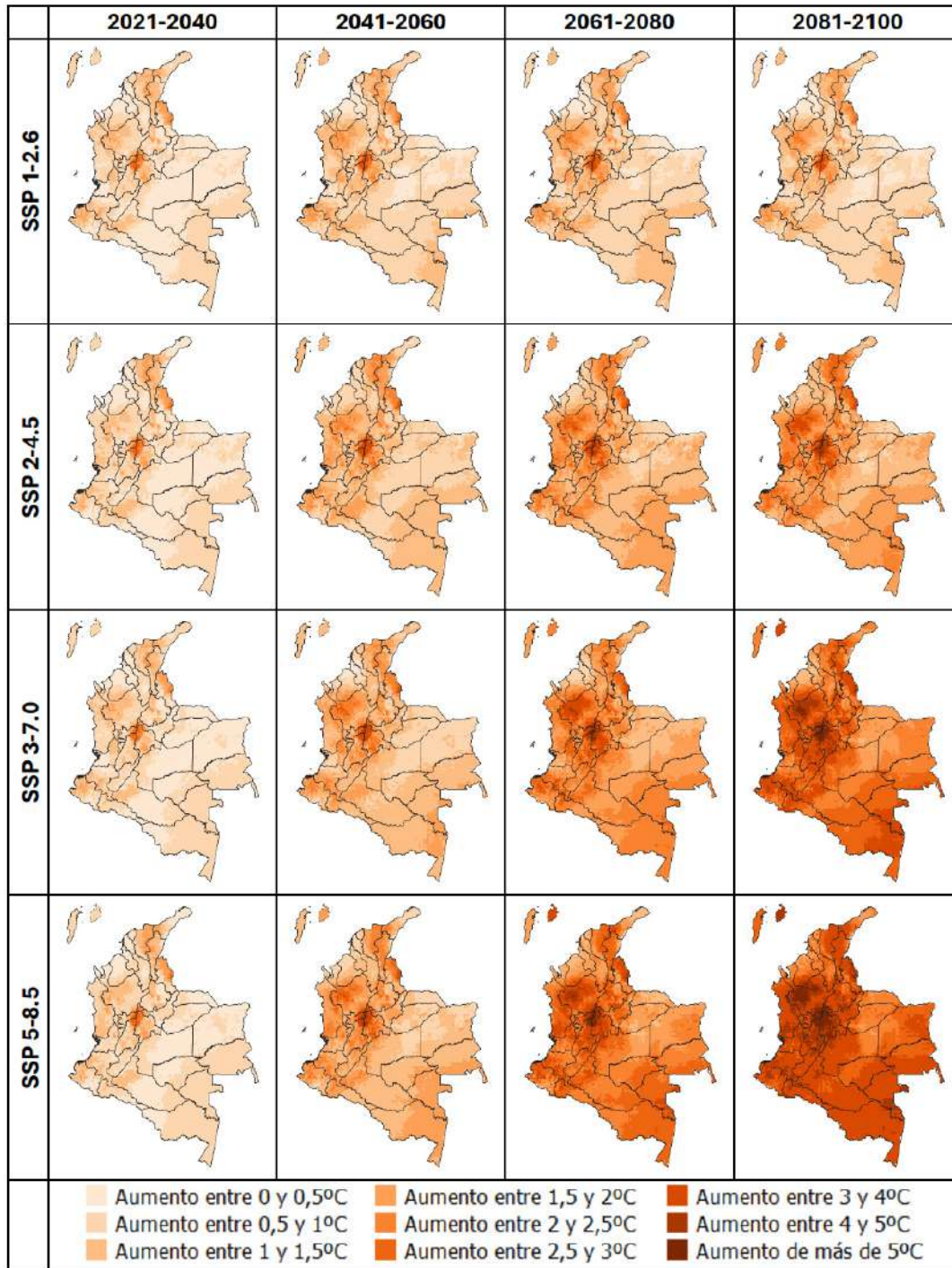
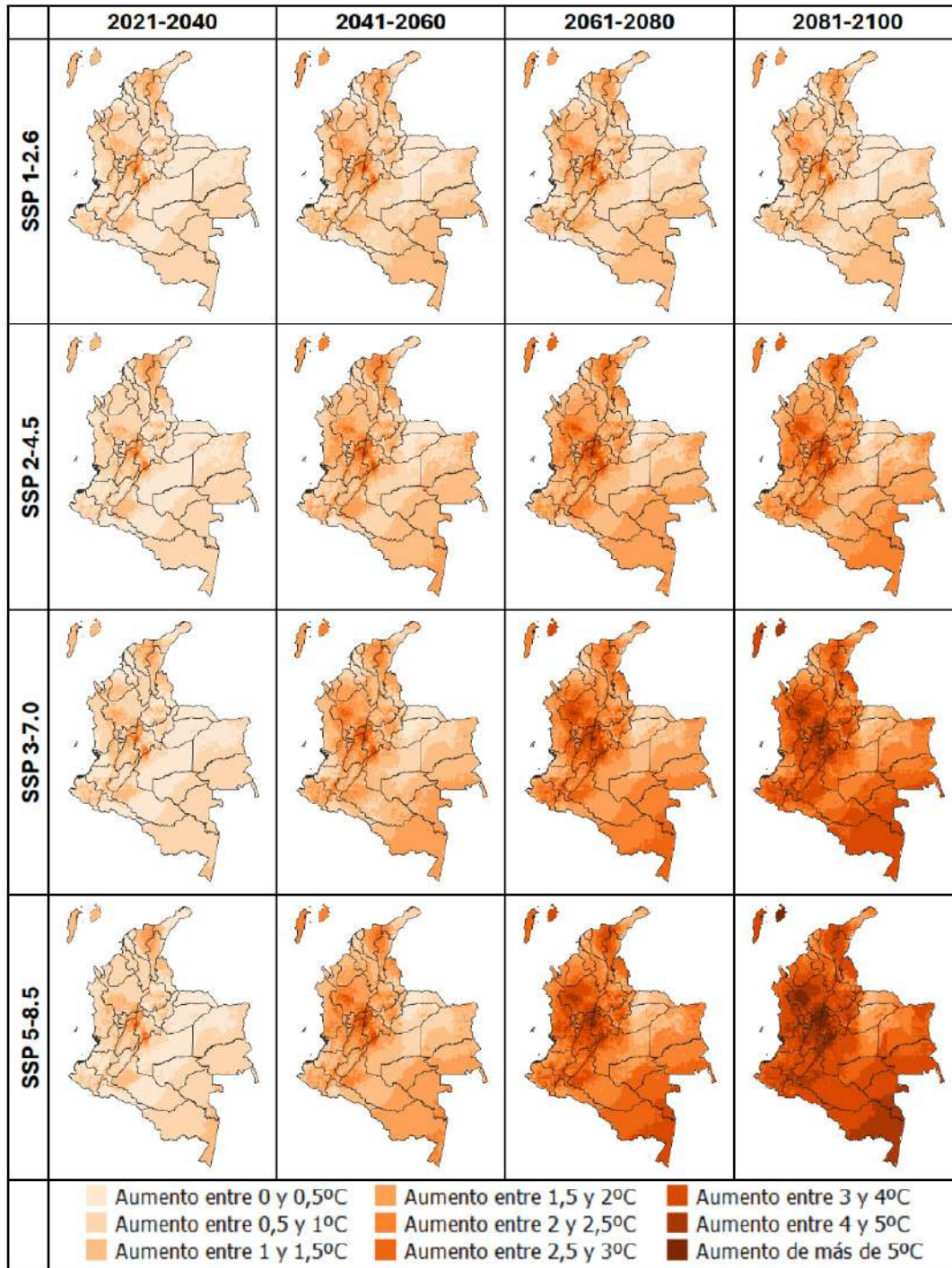


Figura 4.20. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.2.4. Temperatura media

La temperatura media tendría aumentos entre 0,3 y 2,5 °C para el periodo 2021-2040, los cuales serían de más de 1,5 °C en el Catatumbo. Para 2041-2060, los aumentos serían de 0,4 a 4 °C en todos los escenarios, y se darían los incrementos más altos (de 2 a 4 °C) en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 en el Catatumbo y en el centro de la región Andina.

En el periodo 2061-2080, los aumentos también serían de 0,4 a 4 °C, se mantendría el incremento de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, y sería de 1 a 3 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,5 a 4 °C en el SSP5-8.5, con los mayores aumentos en las zonas mencionadas anteriormente y en el oriente y sur del país. Para finales de siglo, los aumentos serían de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, y de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5 y de 2 a 5 °C en los SSP3-7.0 y SSP5-8.5; los mayores incrementos de la temperatura media se presentarían en este último escenario en gran parte de Colombia, en comparación con la temperatura del periodo histórico 1981-2010.

Los mayores aumentos se darían en los trimestres diciembre-enero-febrero y marzo-abril-mayo hacia finales del siglo XXI en el escenario SSP5-8.5, en comparación con los aumentos de los otros trimestres del año (figuras de la 4.21 a la 4.24).



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA CUARTA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA

Escenarios de cambio climático

Figura 4.21. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

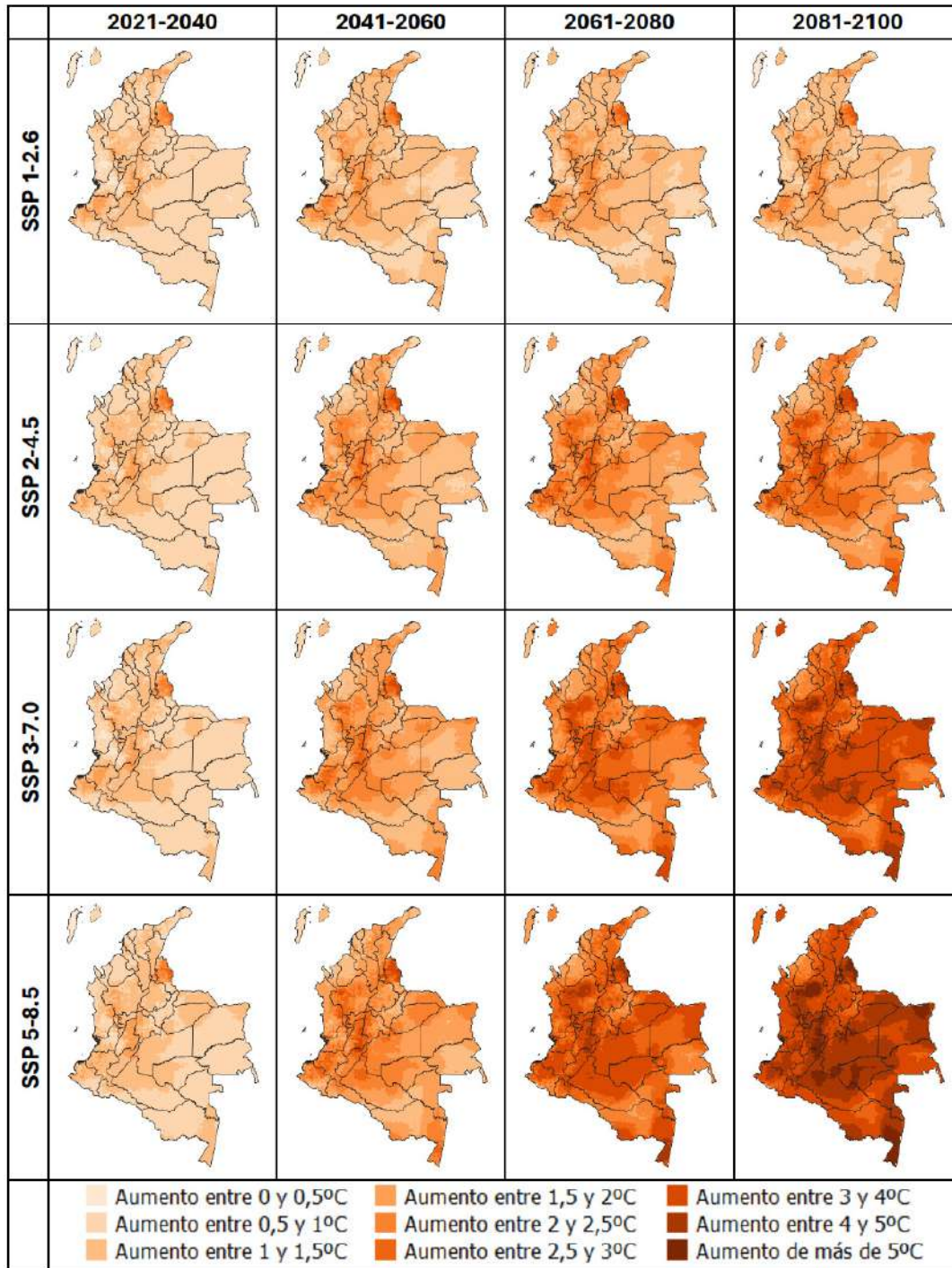


Figura 4.22. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

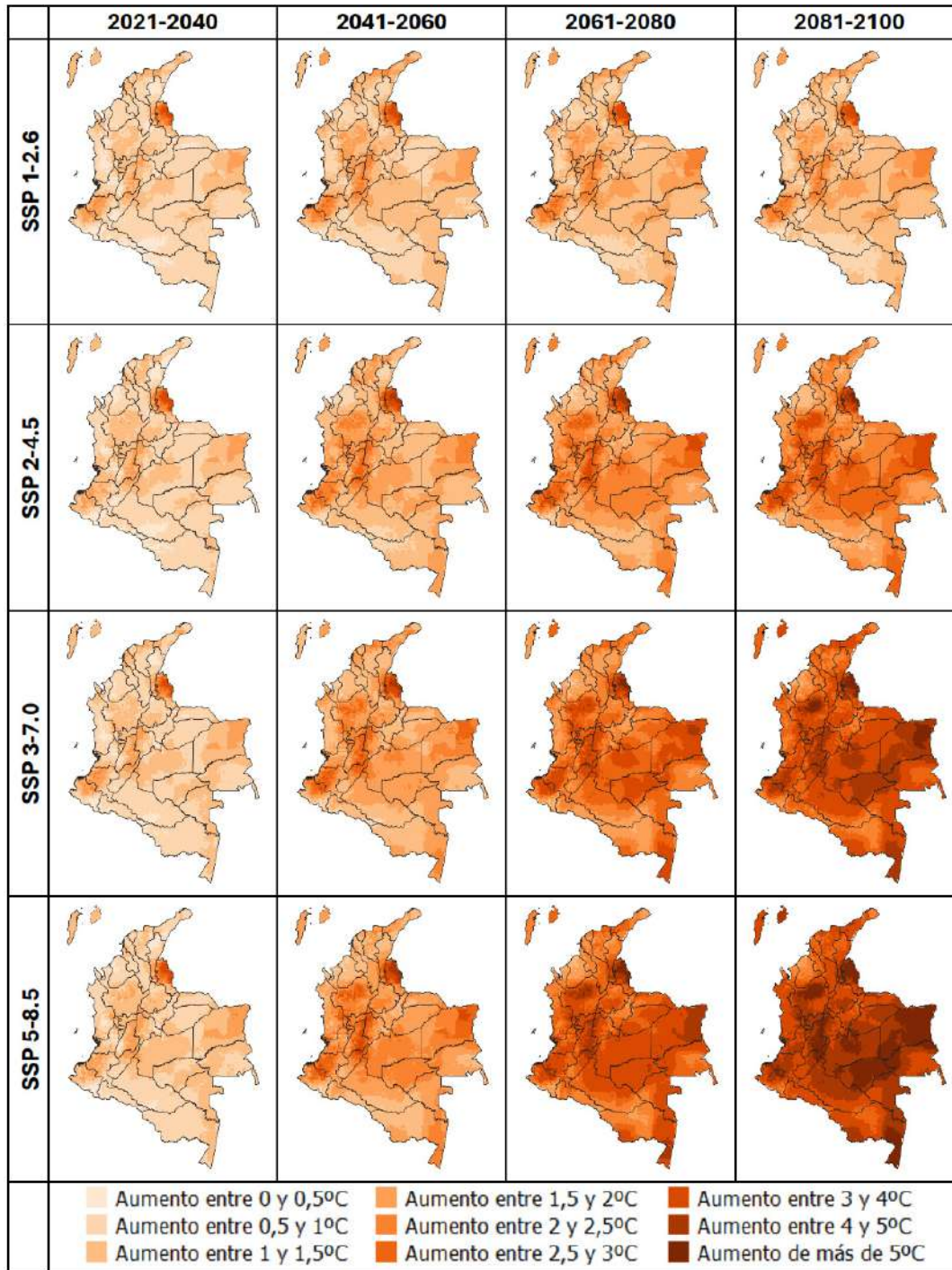
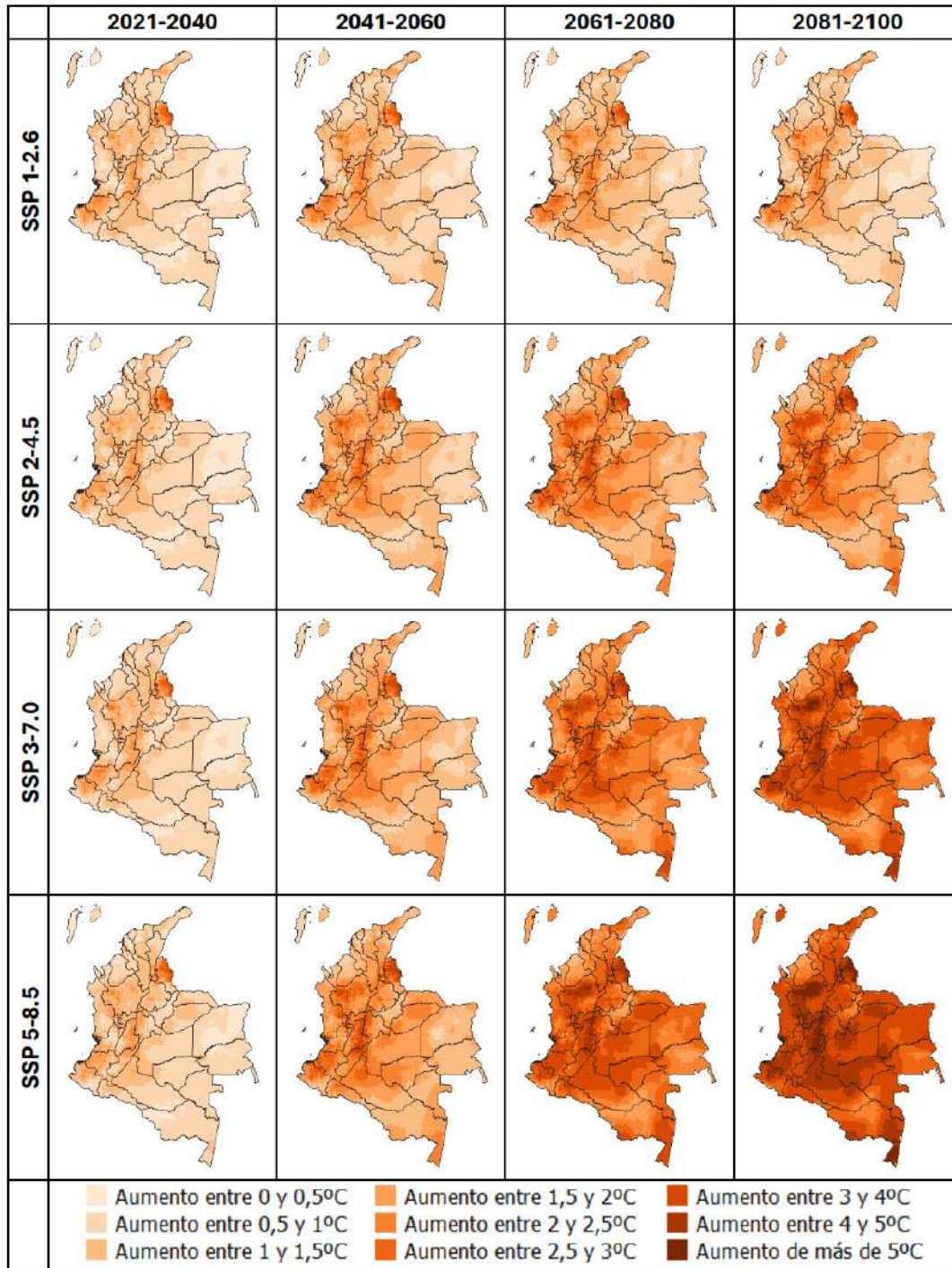


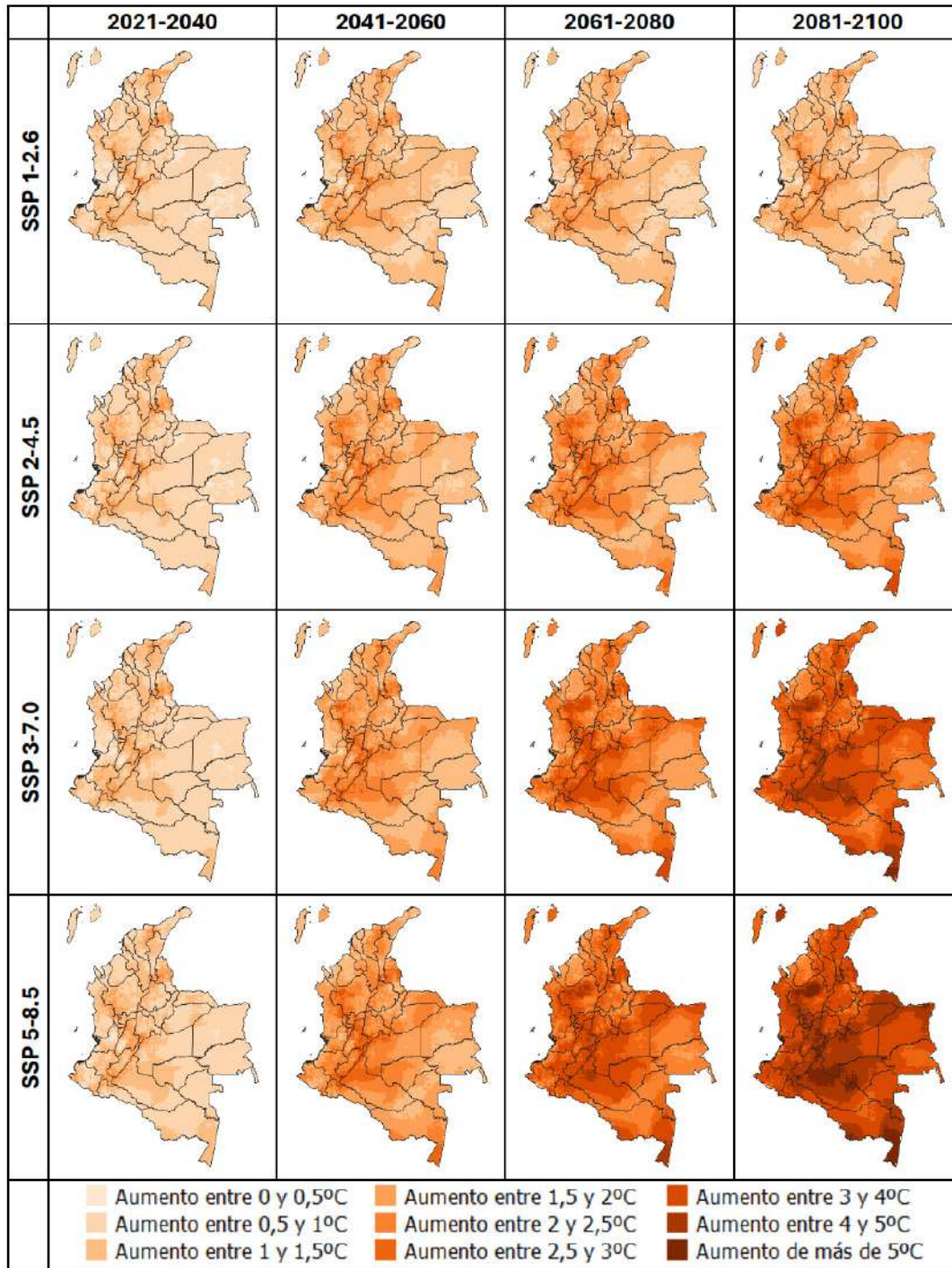
Figura 4.23. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO DE LA CUARTA COMUNICACIÓN NACIONAL DE COLOMBIA

Escenarios de cambio climático

Figura 4.24. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.2.5. Humedad relativa

La humedad relativa presentaría cambios variados en los cuatro trimestres del año a lo largo del siglo XXI. Para el trimestre diciembre-enero-febrero, se darían reducciones en las regiones Pacífica, Amazonia y Orinoquia, en el norte de la región Caribe y en el centro y sur de la región Andina, y aumentos en el resto del país. Estos cambios serían de alrededor del 1 % al 12 %, y los mayores aumentos se observarían en el centro-sur de la región Caribe y las mayores reducciones, en el occidente de la Amazonia y la Orinoquia (figura 4.25).

Para marzo-abril-mayo, el comportamiento se invertiría en comparación con el del trimestre anterior, ya que se tendrían reducciones en la región Caribe y Andina, en el sur de la Amazonia y en el norte de las regiones Pacífica y Orinoquia, mientras que en el resto del país habría aumentos del 1 % al 8 %. Las mayores reducciones se darían en el centro-sur de la región Caribe y en el norte de las regiones Andina y Orinoquia, con disminuciones de más del 8 % en comparación con los valores históricos del periodo 1981-2010 (figura 4.26).

En el trimestre junio-julio-agosto, los cambios serían aproximadamente del 1 % al 6%, con reducciones en las regiones Andina y Pacífica, y en el centro de la región Caribe, y aumentos en el resto del país. Los mayores aumentos (entre el 4 % y el 6 %) se darían en el centro de la Orinoquia en el escenario SSP1-2.6, mientras que las mayores reducciones del mismo orden se verían hacia el norte de la región Andina (figura 4.27).

Para el trimestre septiembre-octubre-noviembre, la humedad relativa tendría cambios considerables, con reducciones entre el 1 % y el 8 % en las regiones Orinoquia y Amazonia, y en el sur de la región Pacífica, y aumentos del 1 % al 15 % en el resto del país; los mayores incrementos (de más del 10 %) se presentarían en el centro de las regiones Andina y Caribe (figura 4.28).



Figura 4.25. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

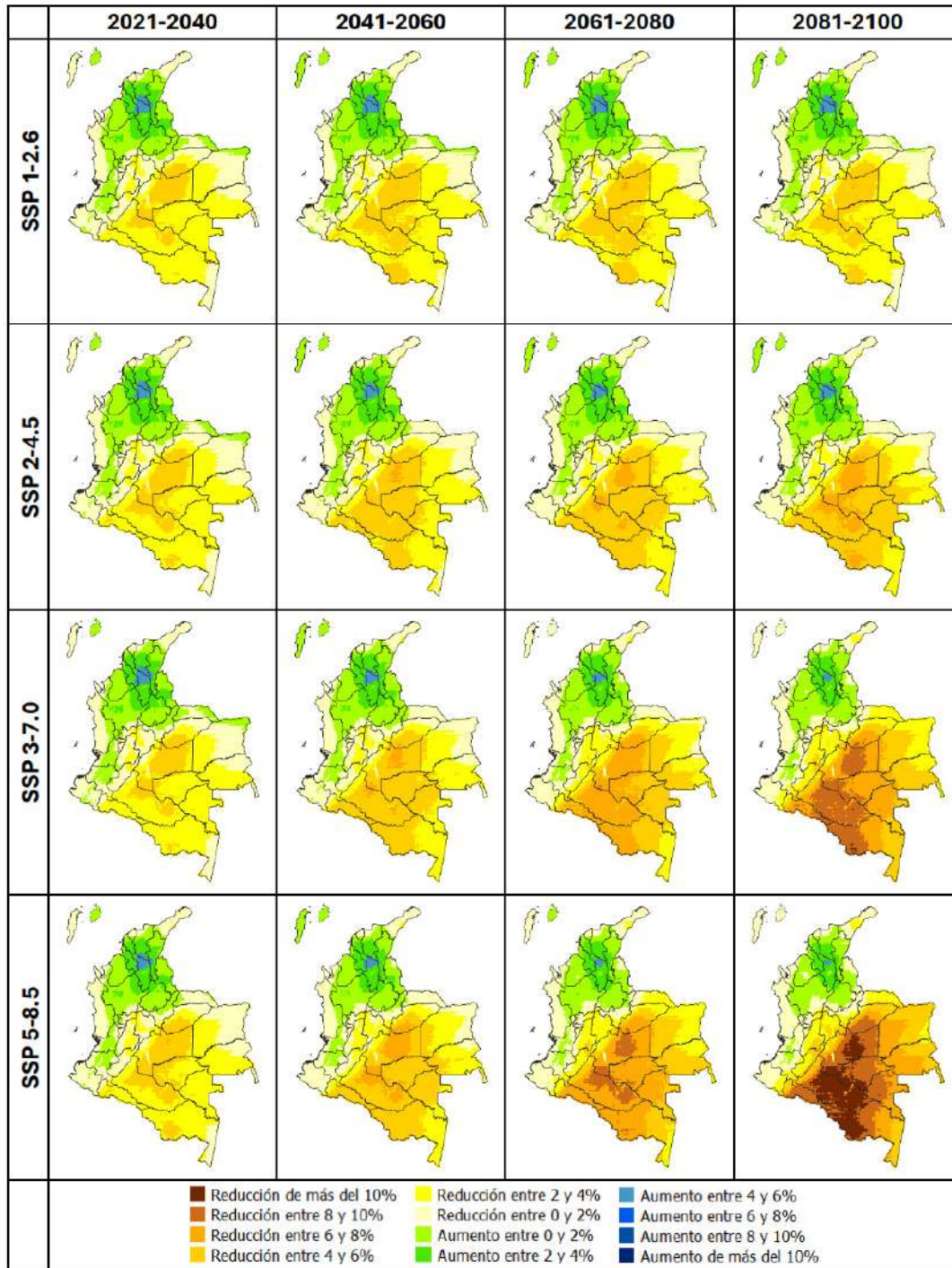


Figura 4.26. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

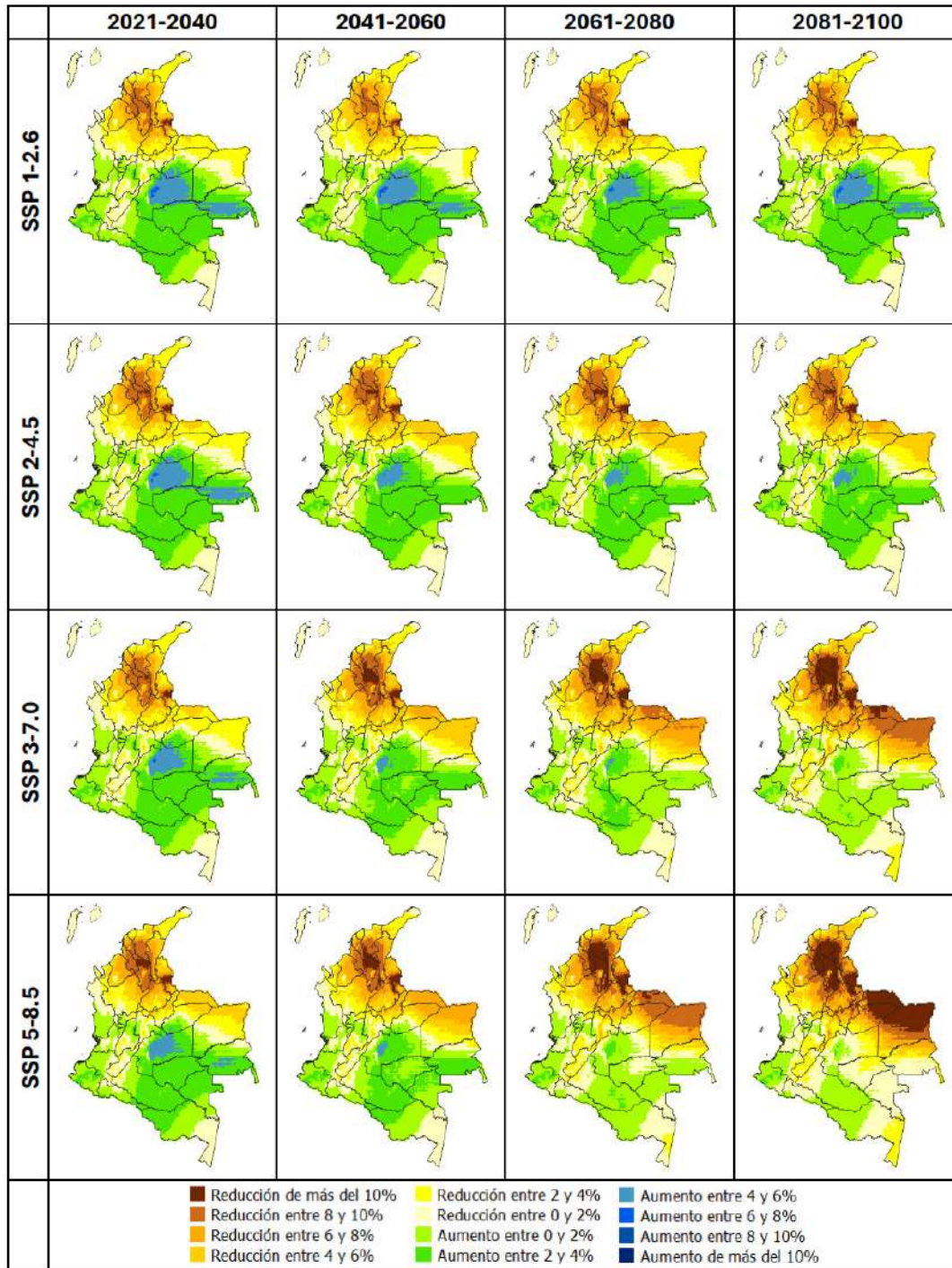


Figura 4.27. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

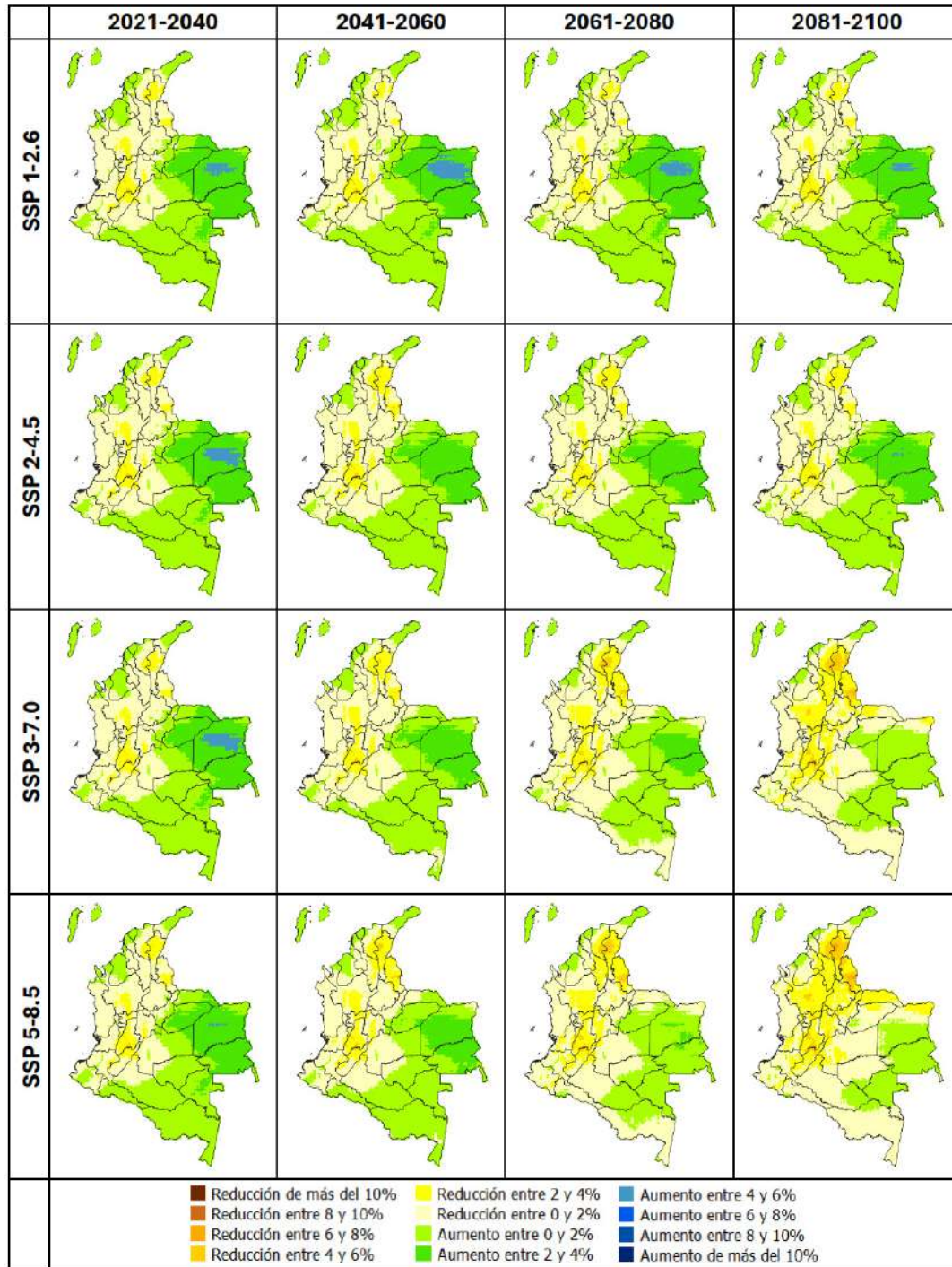
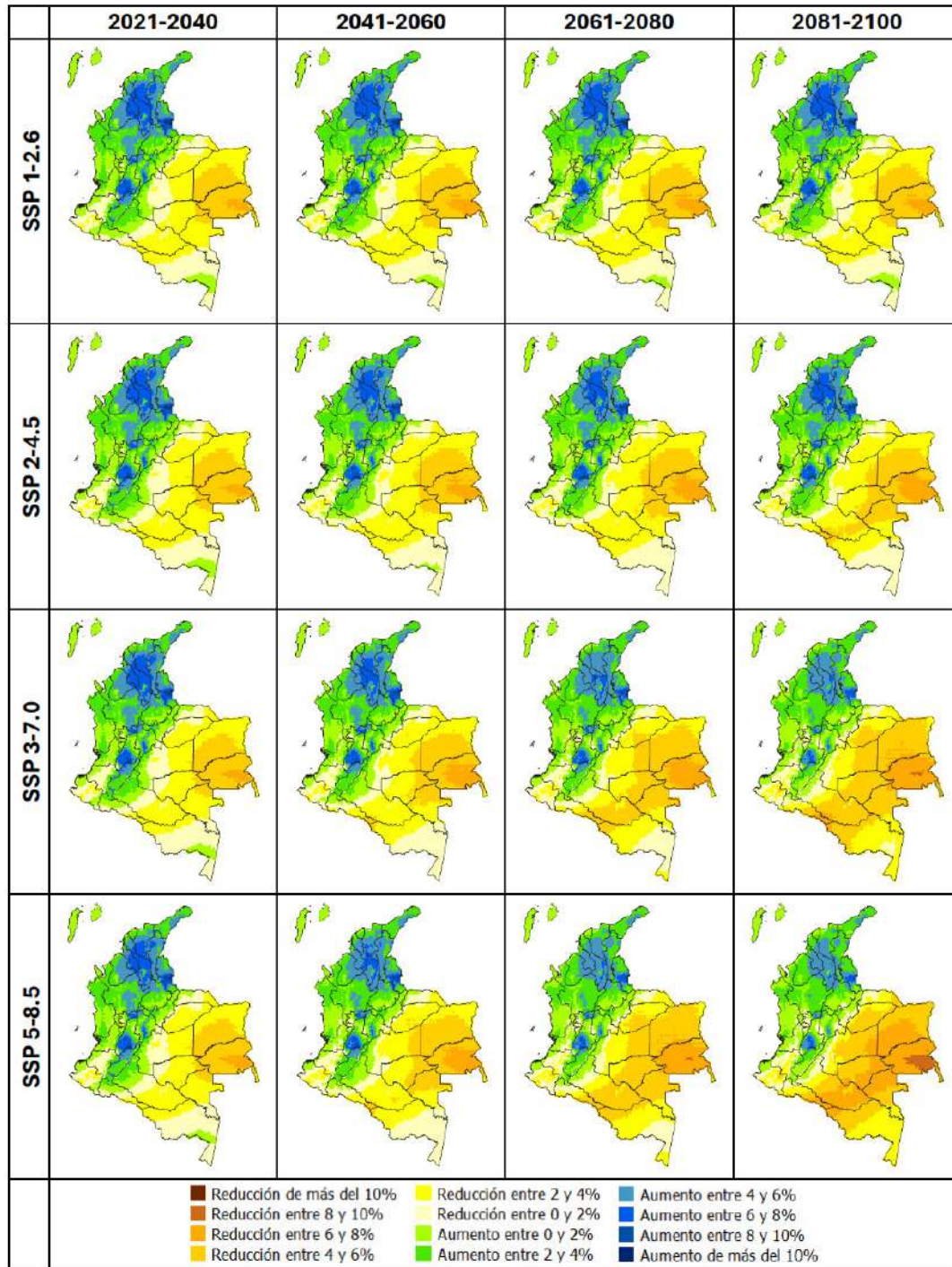


Figura 4.28. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.2.6. Velocidad del viento

Se presentarían cambios variados en los cuatro trimestres del año en la velocidad del viento, a lo largo del siglo XXI. Para el trimestre diciembre-enero-febrero se darían reducciones en la mayor parte del territorio nacional, aproximadamente de 0,2 a 0,6 m/s, y con aumentos del mismo orden en el norte de La Guajira y en la Orinoquia, en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 después del 2041 (figura 4.29).

Para marzo-abril-mayo, la región Caribe y la Orinoquia tendrían aumentos de la velocidad del viento, entre 0,2 y 1,4 m/s, mientras que en el resto del país se tendrían reducciones del mismo orden en esta velocidad (figura 4.30).

En el trimestre junio-julio-agosto, se mantendrían las tendencias del trimestre anterior, con aumentos en las regiones Orinoquia y Caribe (los más altos se presentarían en el Caribe, de aproximadamente 1,2 m/s) y reducciones en el resto del país, pero con valores menores, de alrededor de 0,2 a 0,8 m/s (figura 4.31).

Para el trimestre septiembre-octubre-noviembre, la velocidad del viento aumentaría entre 0,2 y 0,8 m/s en las regiones Orinoquia y Amazonia, y hacia el centro de la región Caribe, mientras que en el resto del país se darían reducciones en esta velocidad; las más altas se verían en la región Andina, las cuales serían de 0,6 a 1,2 m/s (figura 4.32).



Figura 4.29. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

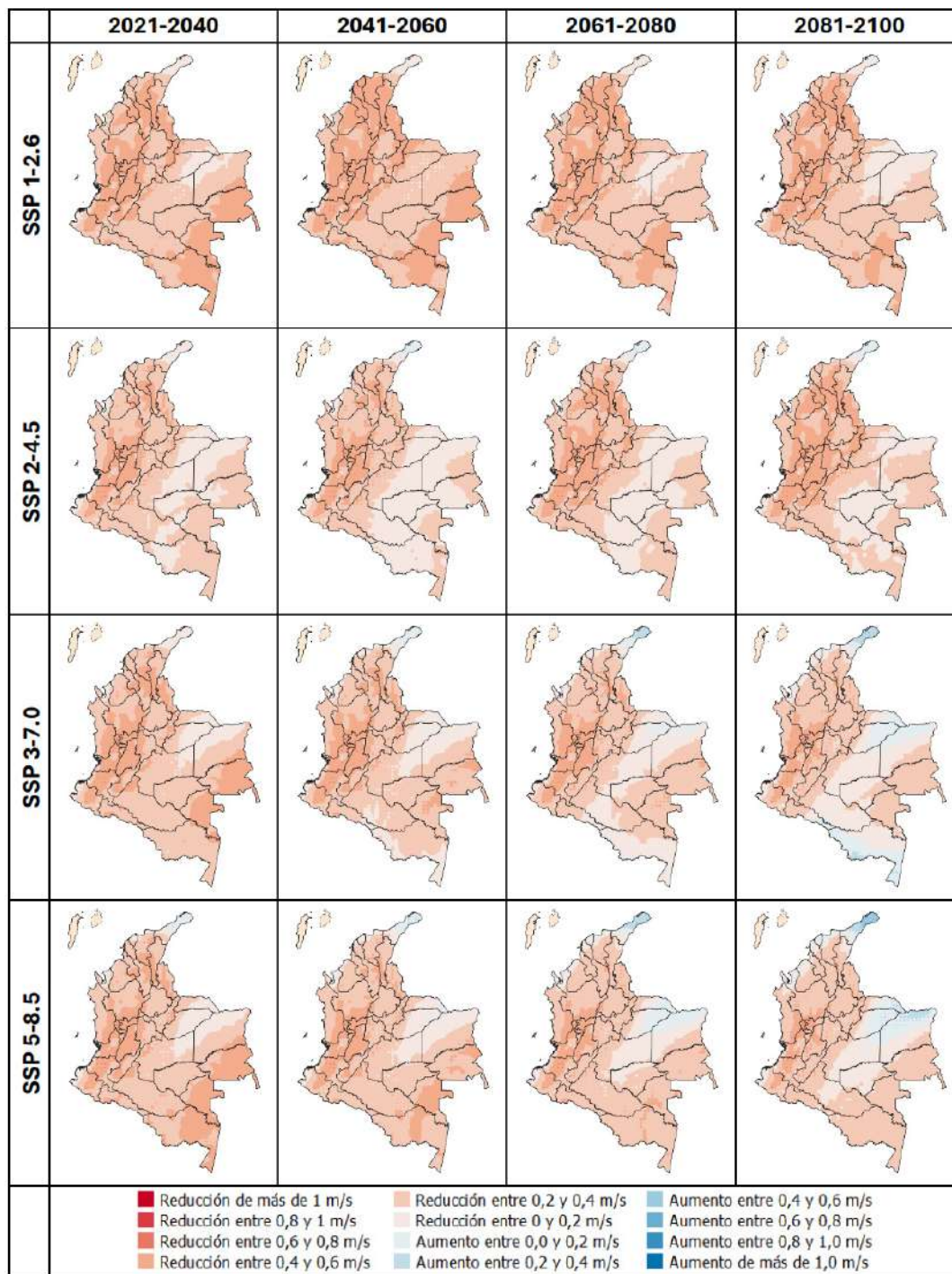


Figura 4.30. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

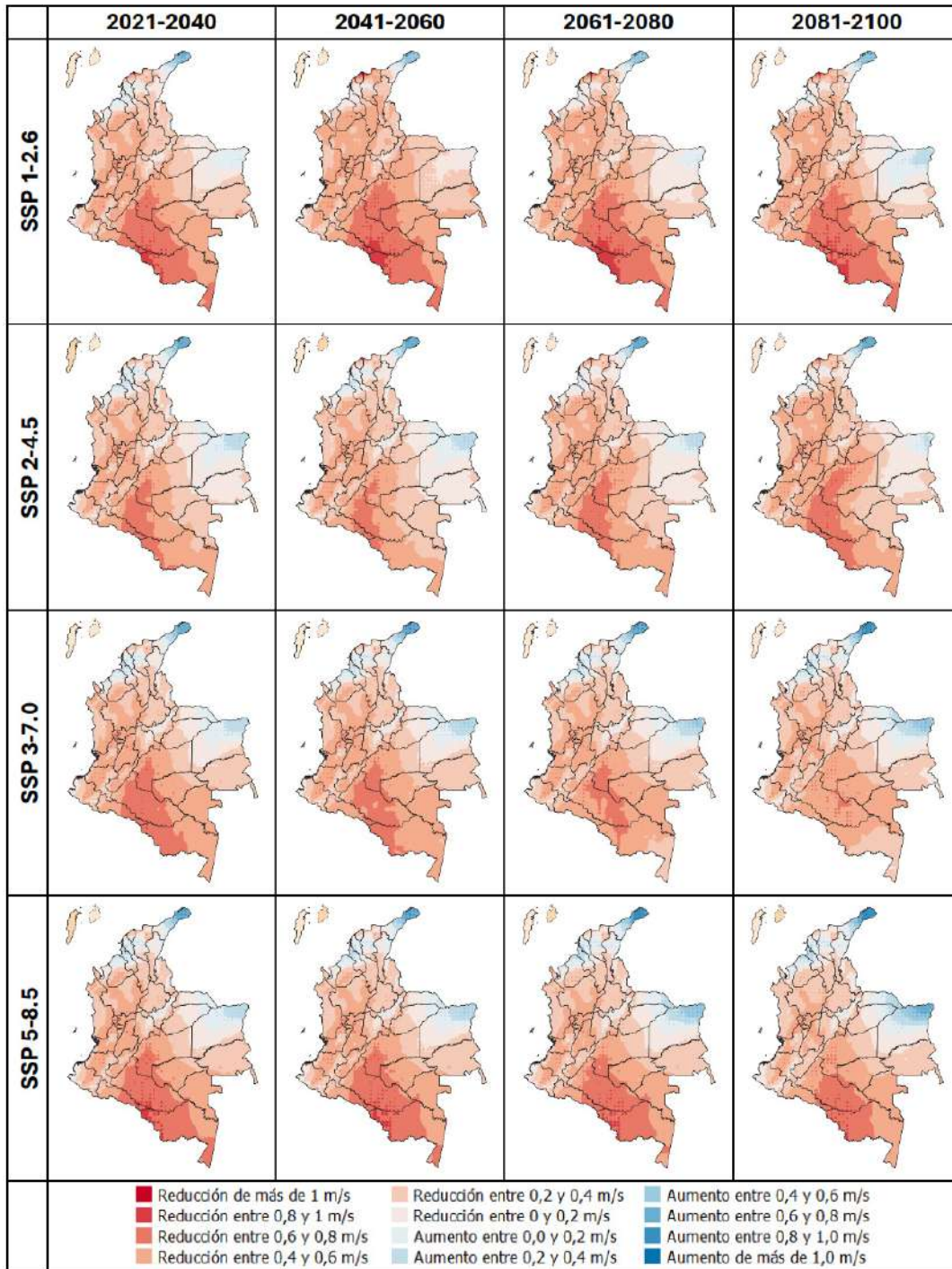


Figura 4.31. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

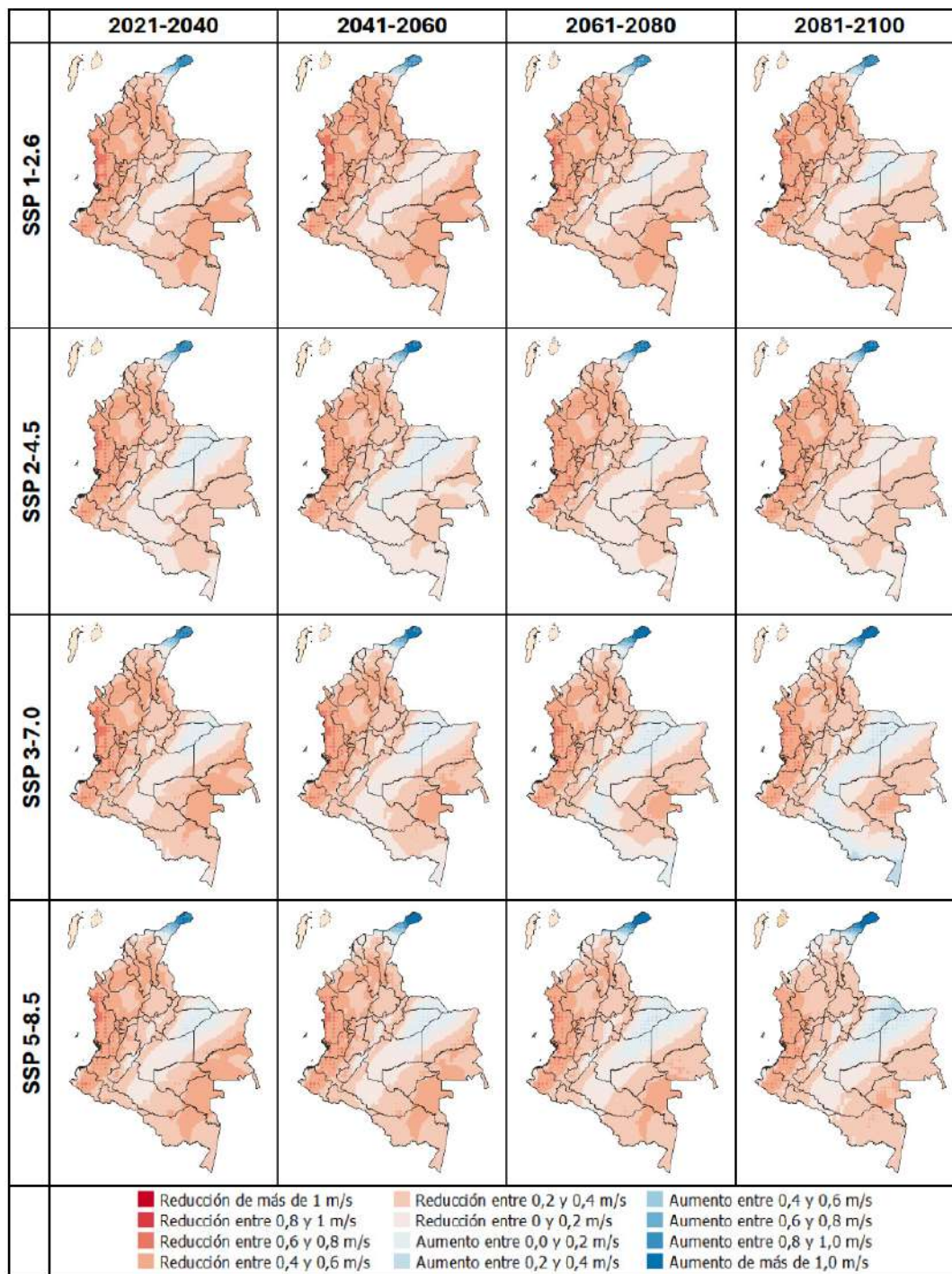
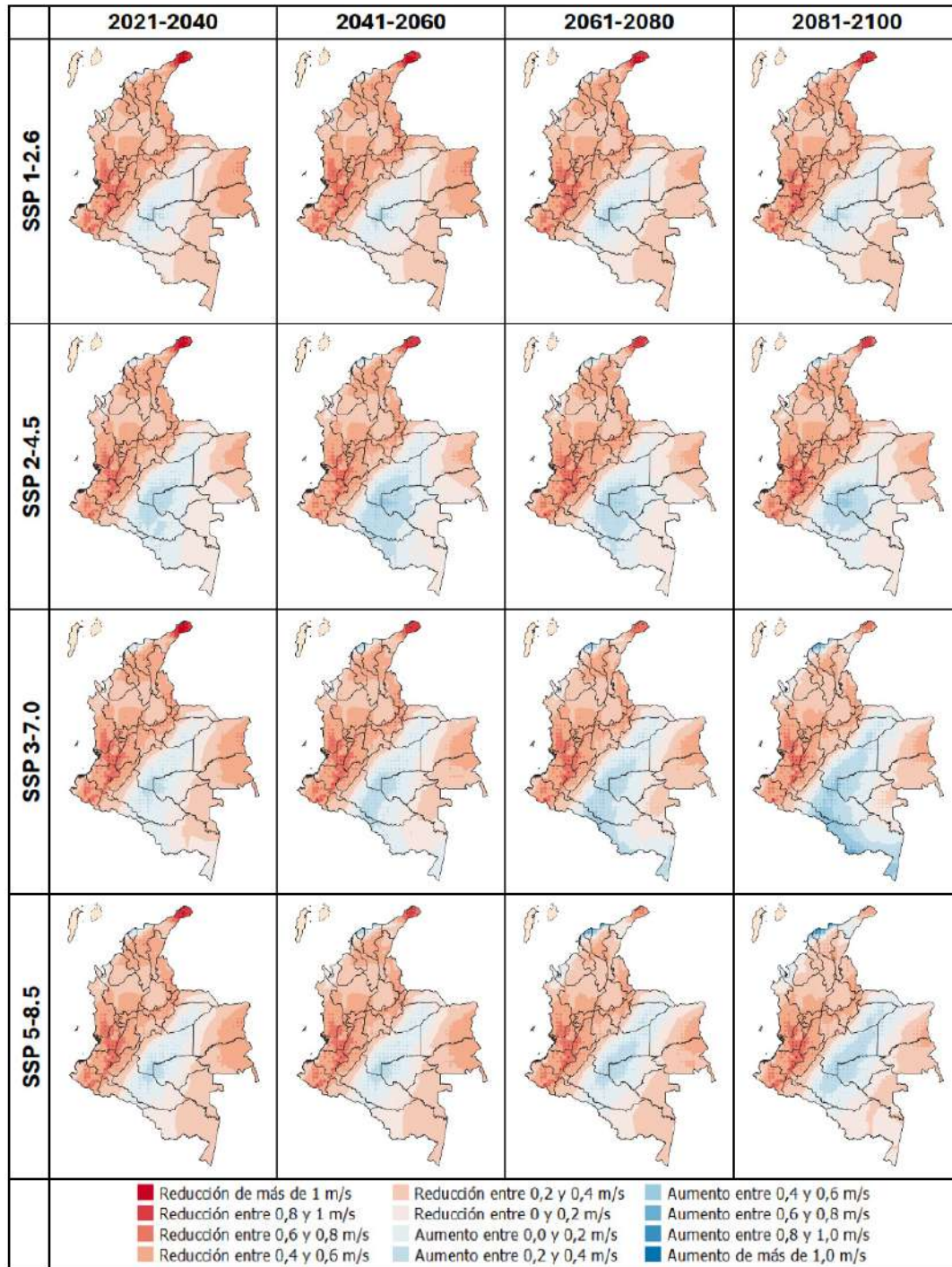


Figura 4.32. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.2.7. Radiación

La radiación global trimestral promedio presentaría cambios variados en los cuatro trimestres del año a lo largo del siglo XXI. Para el trimestre diciembre-enero-febrero, se tendrían reducciones en la mayor parte del territorio nacional, del orden de 5 a 25 W/m², y solo se darían aumentos hacia el sur de la región Pacífica y el suroriente de la Orinoquia, con incrementos entre 5 y 10 W/m² (figura 4.33).

En marzo-abril-mayo, también se tendrían reducciones de la radiación en casi todo el país, con valores entre 5 y 28 W/m²; las mayores disminuciones (de 20 a 28 W/m²) se darían en el occidente de la Amazonia y la Orinoquia (figura 4.34). Se tendrían leves aumentos (de menos de 20 W/m²) solo en el norte de la región Andina y en la región Caribe.

El trimestre junio-julio-agosto presentaría reducciones de la radiación aproximadamente de 4 a 26 W/m² en las regiones Caribe, Andina y Orinoquia, mientras que los aumentos serían entre 3 y 10 W/m² en el resto del país (figura 4.35).

Para septiembre-octubre-noviembre, habría reducciones de la radiación en casi todo el país, con valores entre 8 y 20 W/m² (figura 4.36), y solo se tendrían leves aumentos en ciertas zonas de las regiones Andina y Caribe, y en el sur de las regiones Pacífica y Amazonia, del orden de 3 a 10 W/m².



Figura 4.33. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en el trimestre diciembre-enero-febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

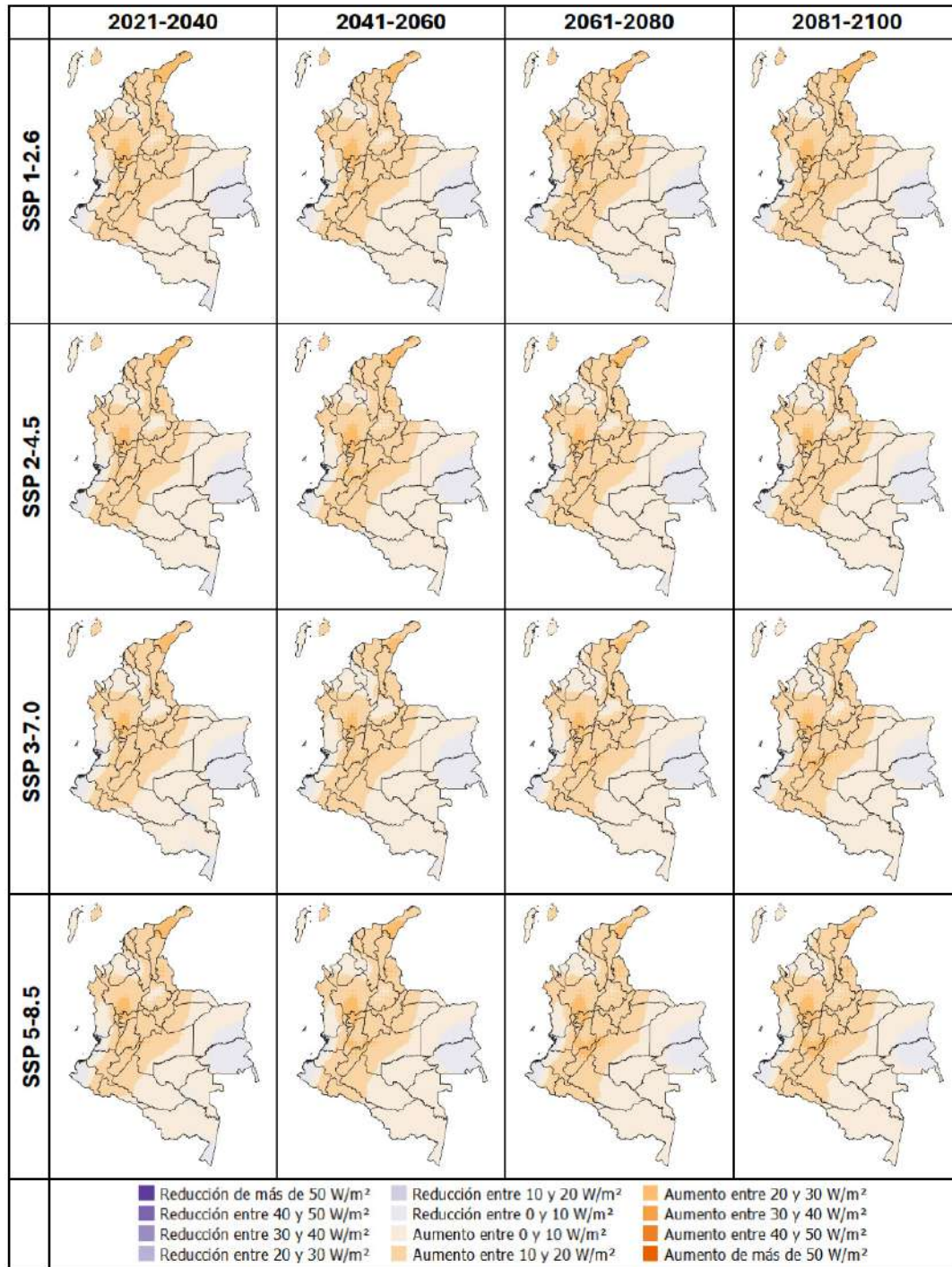


Figura 4.34. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en el trimestre marzo-abril-mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

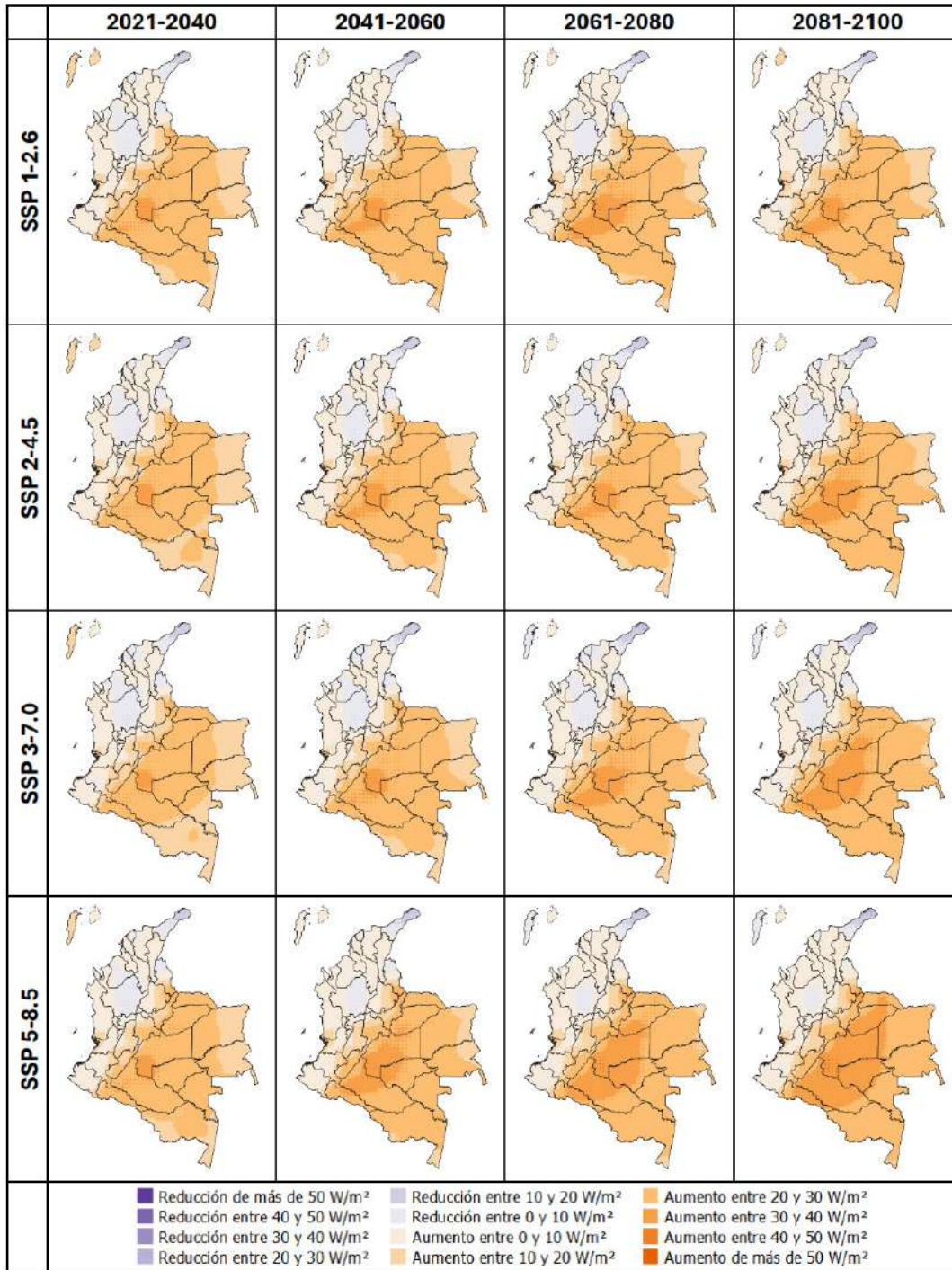


Figura 4.35. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en el trimestre junio-julio-agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

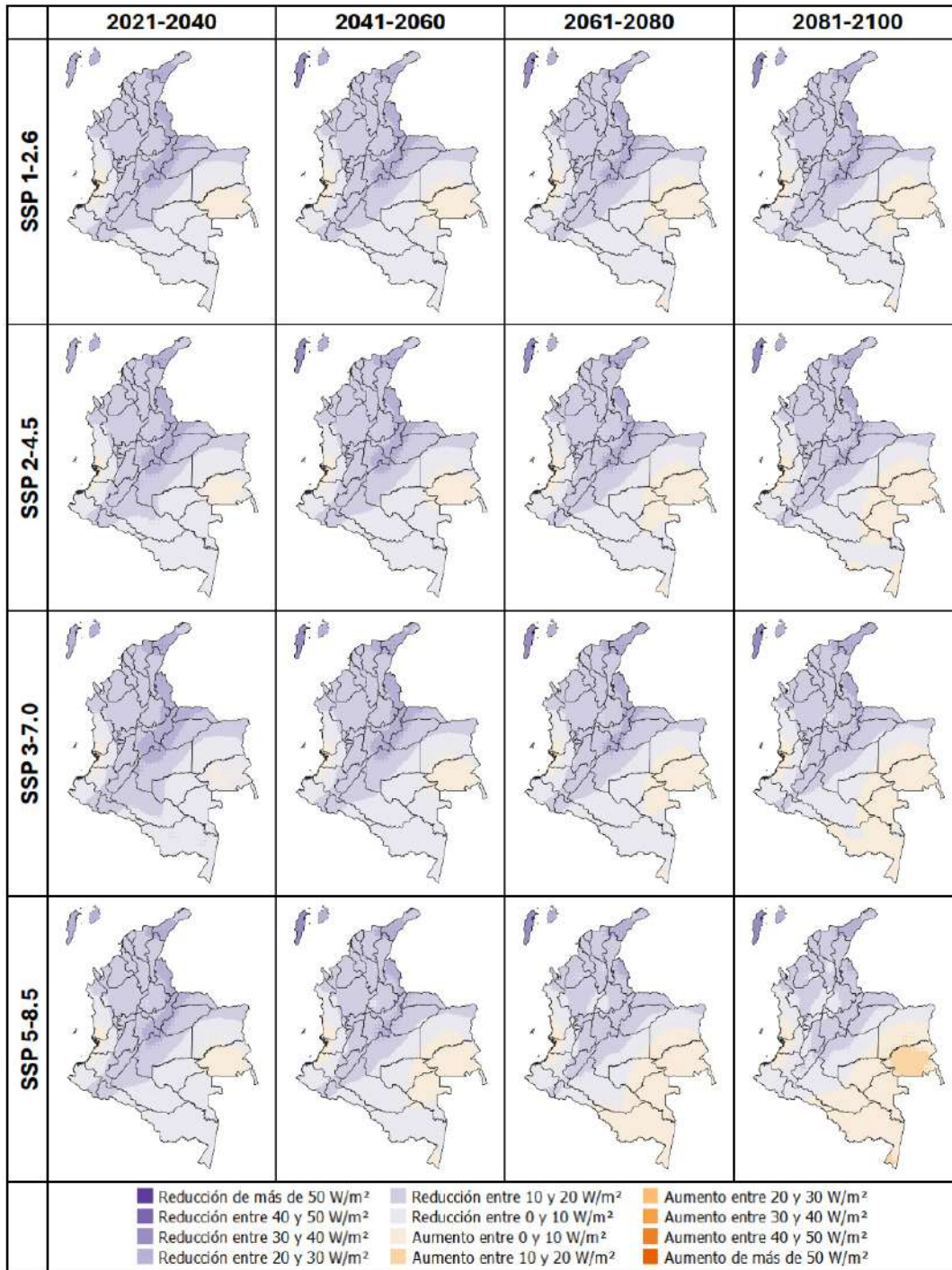
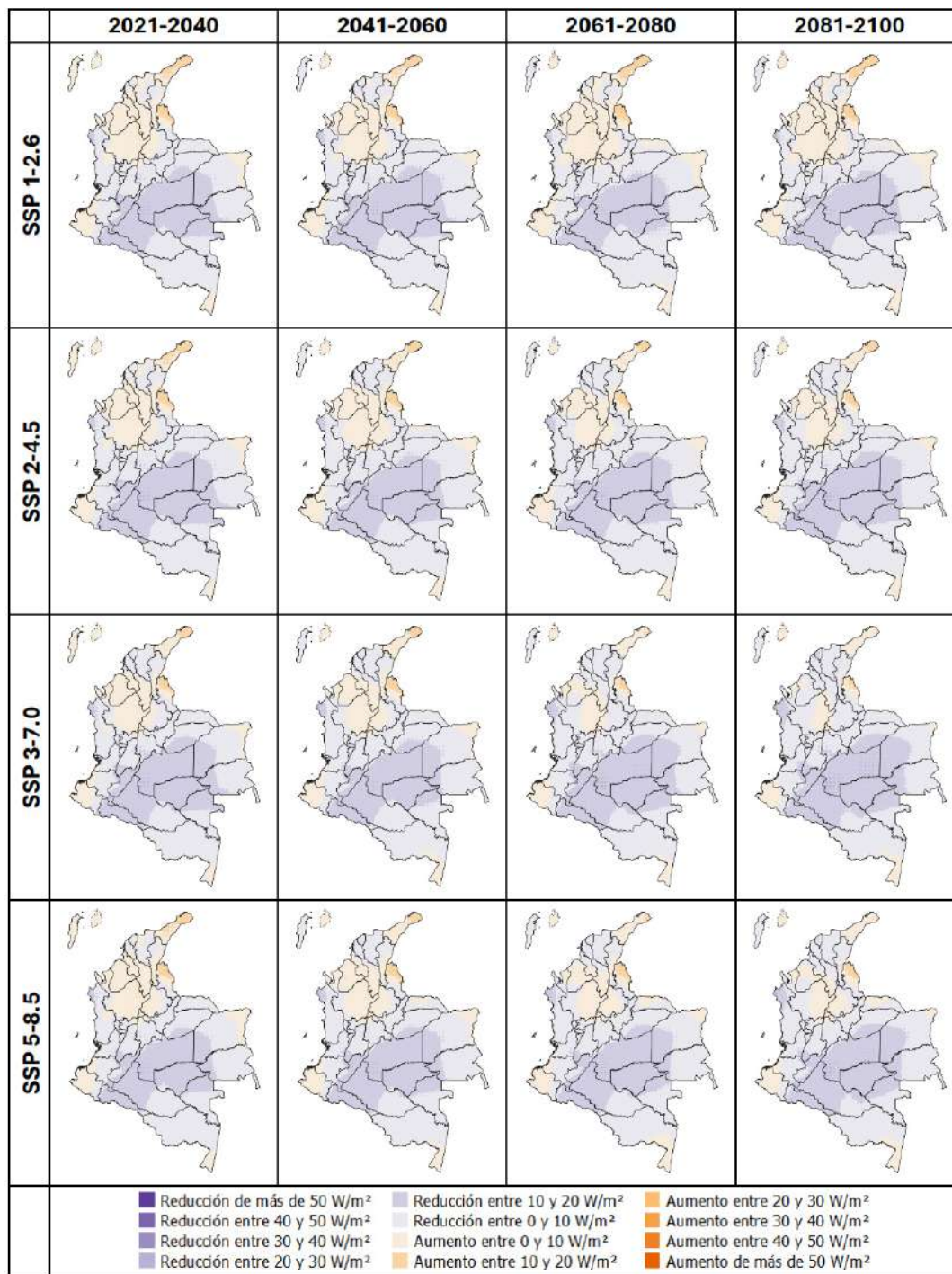


Figura 4.36. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en el trimestre septiembre-octubre-noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.3. Cambios mensuales multianuales

4.3.1. Precipitación

Para enero (figura 4.37), desde 2021 hasta 2080, y desde los cuatro escenarios SSP, el occidente de la Amazonia, el norte de la región Andina y el centro de las regiones Caribe y Orinoquia presentarían incrementos significativos de la precipitación, superiores al 30 % del volumen mensual. Mientras que el oriente de la Amazonia, el norte de las regiones Caribe y Pacífica, y gran parte de la región Andina tendrían reducciones del 20 % al 40 %, en comparación con la del periodo 1981-2010. Para finales del siglo XXI, el norte del país presentaría reducciones de más del 30 % en el volumen de precipitación mensual, mientras que el occidente de la región Amazonia, el norte de la Orinoquia y gran parte de la región Andina tendrían los mismos incrementos (de más del 30 %).

Febrero presentaría, a lo largo del siglo, incrementos de la precipitación en el norte de la región Orinoquia, en el centro de la región Caribe y en el oriente de la región Amazonia, aproximadamente del 20 % al 40 % para la primera mitad del siglo XXI, los cuales serían más altos (de más del 40 %) para finales de siglo. Gran parte de las regiones Orinoquia y Amazonia, y el norte de las regiones Caribe y Pacífica presentarían reducción en el volumen de la precipitación mensual, entre 10 % y 30 % para el periodo 2021-2080, y este sería más alto (de más del 40 %) en las dos últimas regiones mencionadas (figura 4.38).

Para marzo (figura 4.39), la precipitación tendría aumentos significativos en la mayor parte del territorio colombiano, con incrementos de más del 30 % del volumen mensual en comparación con la del periodo 1981-2010 para el mismo mes. Solo la región Pacífica y el suroriente de la región Orinoquia presentarían reducciones de cerca del 10 % al 30 %.

En abril, gran parte del país presentaría cambios de la precipitación desde los cuatro escenarios SSP, del orden del 10 % para la primera mitad del siglo XXI, con algunas zonas dispersas en las cinco regiones con aumentos mayores (del 20 % al 40 %). Para finales de siglo, las regiones Amazonia, Caribe, Andina y Pacífica tendrían incrementos superiores al 30 % del volumen mensual, y solamente algunas zonas de las regiones Pacífica, Caribe y Orinoquia tendrían reducciones del 10 % al 20 % (figura 4.40).

En mayo (figura 4.41), se tendrían aumentos de precipitación del 20 % al 40 % en gran parte del país a lo largo del siglo XXI, y solo el sur y el norte de la región Andina, y el norte de las regiones Caribe y Pacífica presentarían reducciones del mismo orden. Para finales de siglo, estos cambios serían más altos, con precipitaciones superiores al 30 % en la mayor parte del territorio nacional y con reducciones iguales en el norte de la región Caribe.

Junio presentaría, a lo largo del siglo XXI, cambios marcados en las cinco regiones de Colombia, con aumentos del 20 % al 40 % en el volumen de la precipitación mensual en las regiones Orinoquia y Pacífica, en el centro de la región Andina y el norte de la Amazonia, mientras que la región Caribe y el norte y sur de la región Andina tendrían reducciones del mismo orden. Para el periodo 2081-2100, la precipitación durante este mes cambiaría en más del 30 %, de la misma forma como se describió para las regiones mencionadas (figura 4.42).

Por su parte, julio (figura 4.43) y agosto (figura 4.44) presentarían reducciones de la precipitación mensual en la mayor parte del país, y solo habría aumentos de esta variable en la región Pacífica y en el sur de la región Caribe. Las mayores reducciones se darían en el norte de la región Caribe y en el sur de las regiones Amazonia y Andina, donde la precipitación disminuiría en más del 30 %, en comparación con la observada en el periodo 1981-2010.

Septiembre también presentaría reducciones de la precipitación en gran parte del territorio nacional en los cuatro escenarios SSP a lo largo del siglo XXI, y se darían las mayores disminuciones en el oriente de las regiones Orinoquia y Amazonia y el norte de la región Caribe (de más del 20%). Por otra parte, en la región Pacífica y en algunas zonas de la región Andina se darían aumentos de la precipitación, los cuales serían de más del 20% en la segunda mitad del siglo (figura 4.45).

En octubre, se presentarían aumentos de la precipitación mensual en la región Andina, el norte de la región Pacífica y el sur de la región Amazonia, aproximadamente del 20 % al 40 % y superiores en la segunda mitad del siglo XXI. En el resto de la región Amazonia, en la Orinoquia y en el Caribe se tendrían reducciones en la precipitación de alrededor del 10 % al 40 % (figura 4.46).

Para noviembre, se tendrían cambios significativos en la precipitación mensual a lo largo del siglo XXI, con aumentos de más del 30 % en las regiones Andina y Pacífica, y en el sur de la Amazonia, y reducciones del mismo orden en la región Orinoquia (figura 4.47).

Por último, para diciembre se tendrían cambios similares a los de noviembre, pero en lugar de aumentos habría reducciones de la precipitación en la región Caribe, entre el 20 % y el 40 % (figura 4.48).



Figura 4.37. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

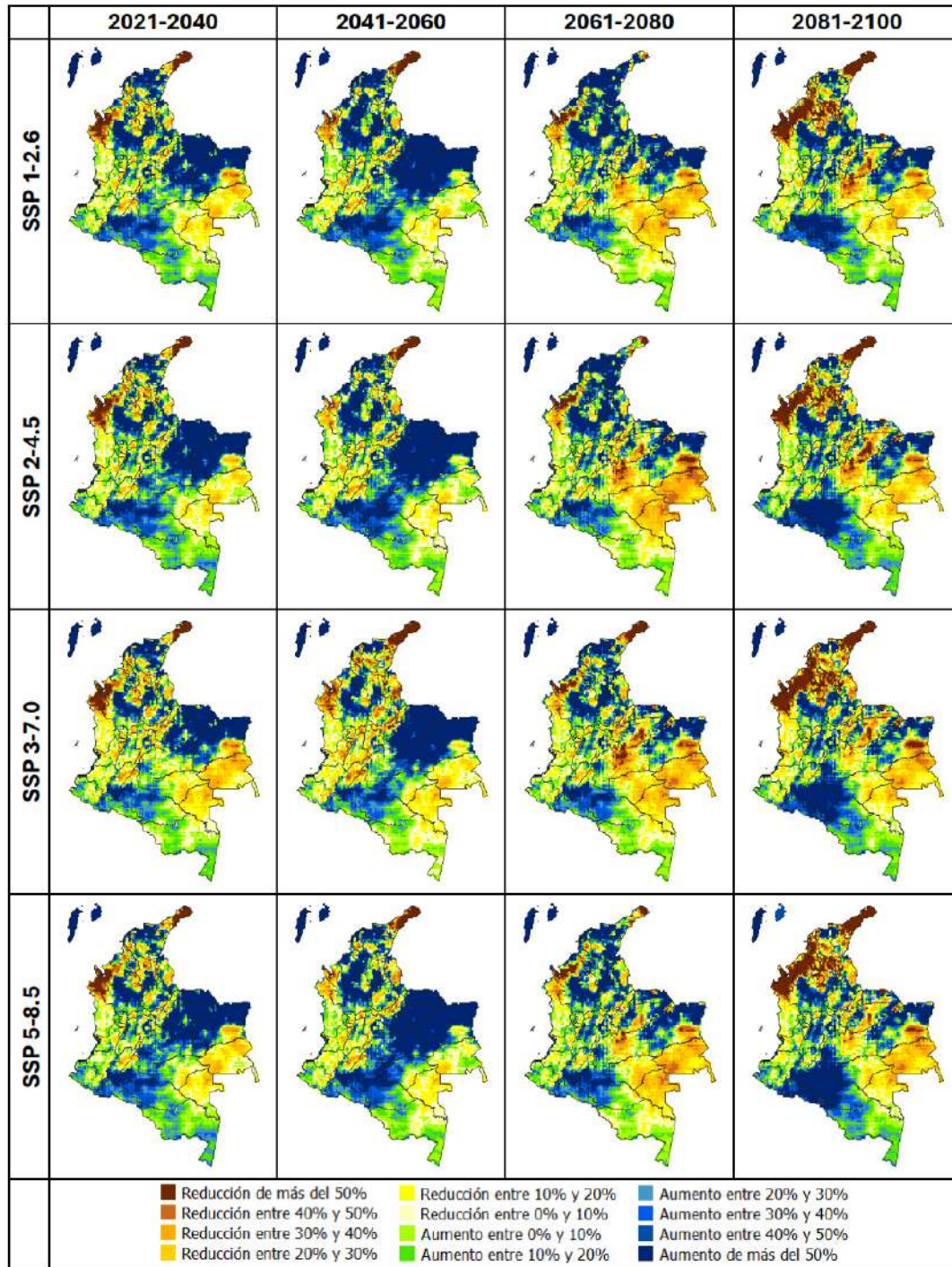


Figura 4.38. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

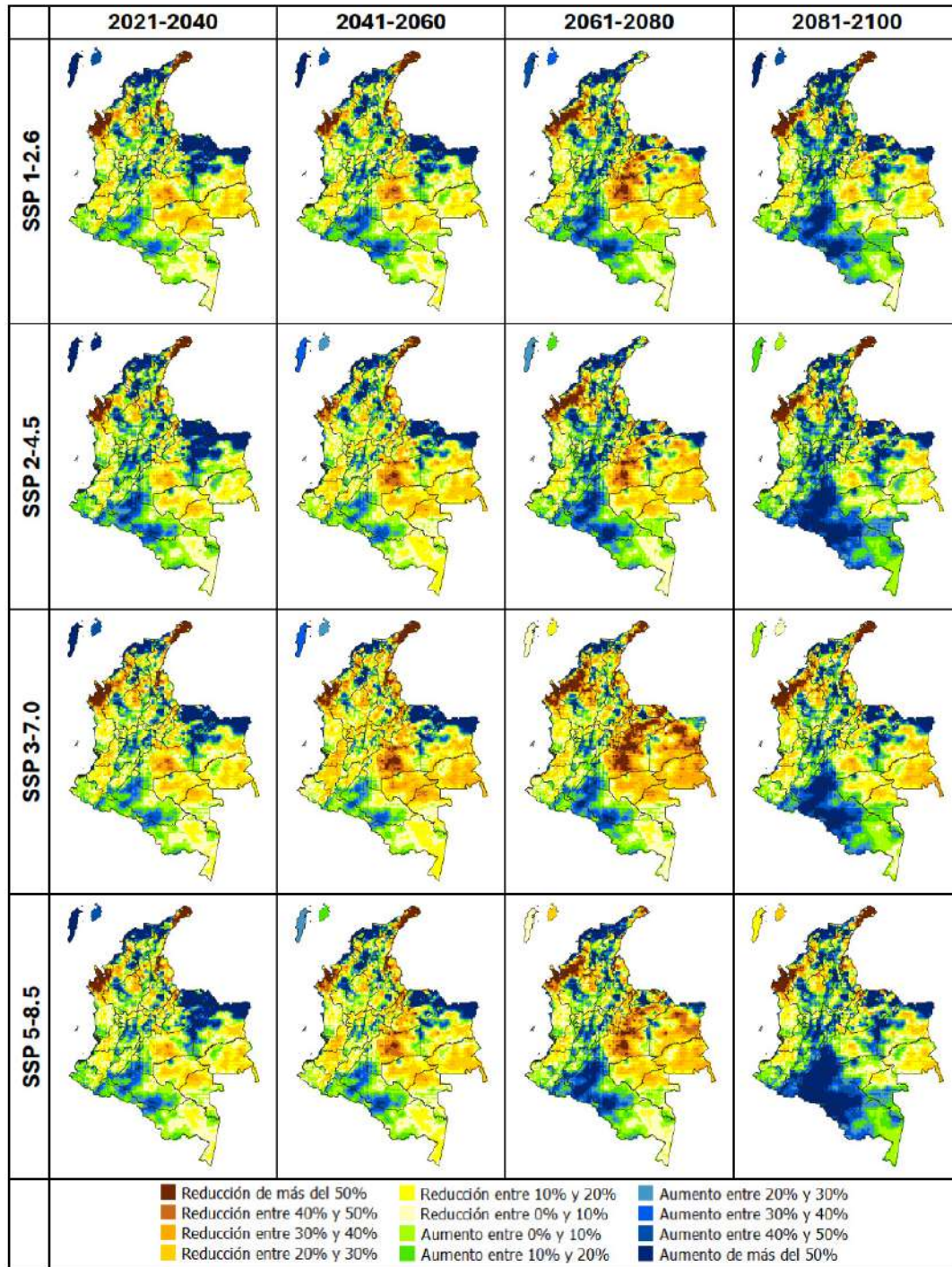


Figura 4.39. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

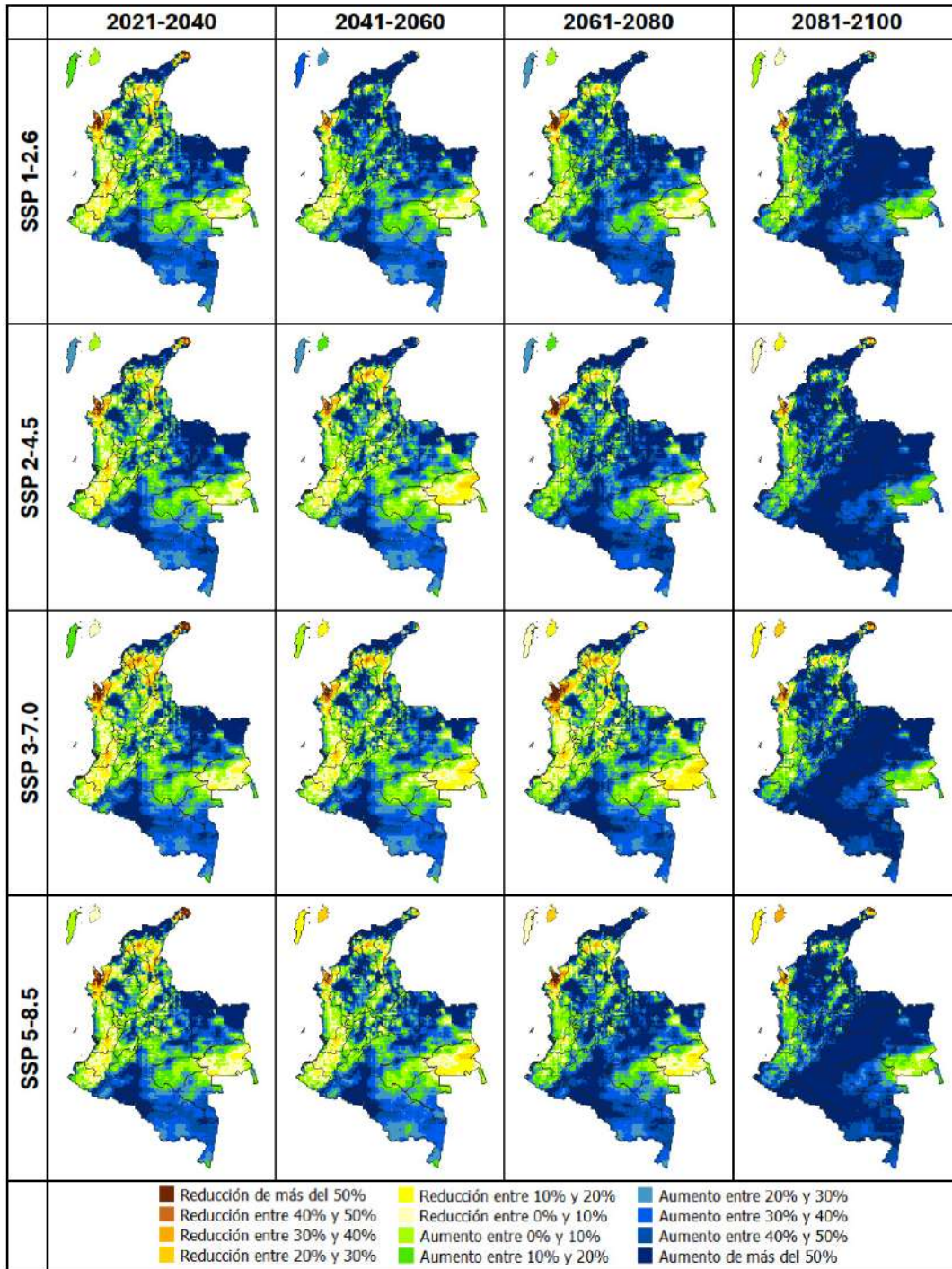


Figura 4.40. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

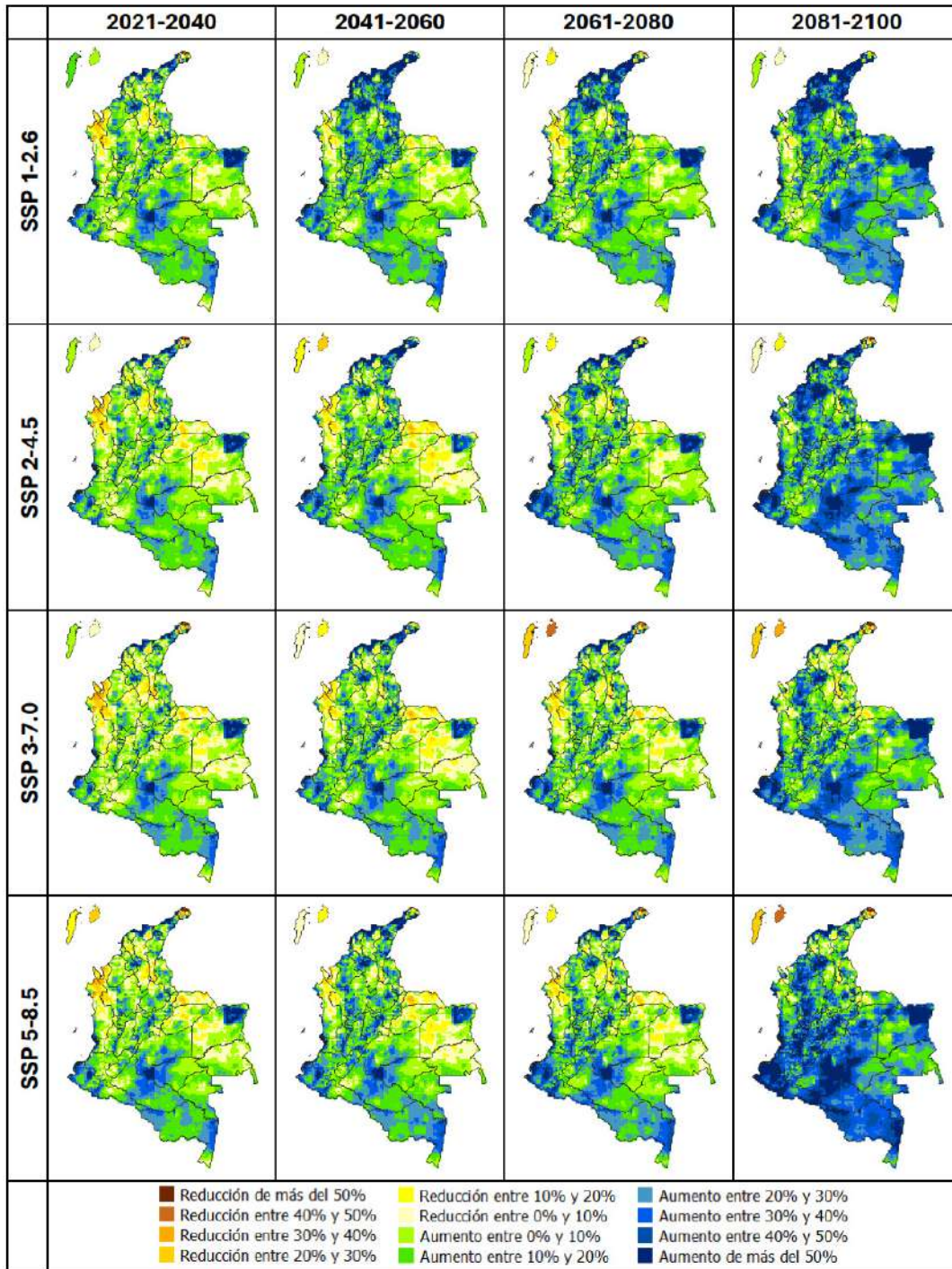


Figura 4.41. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

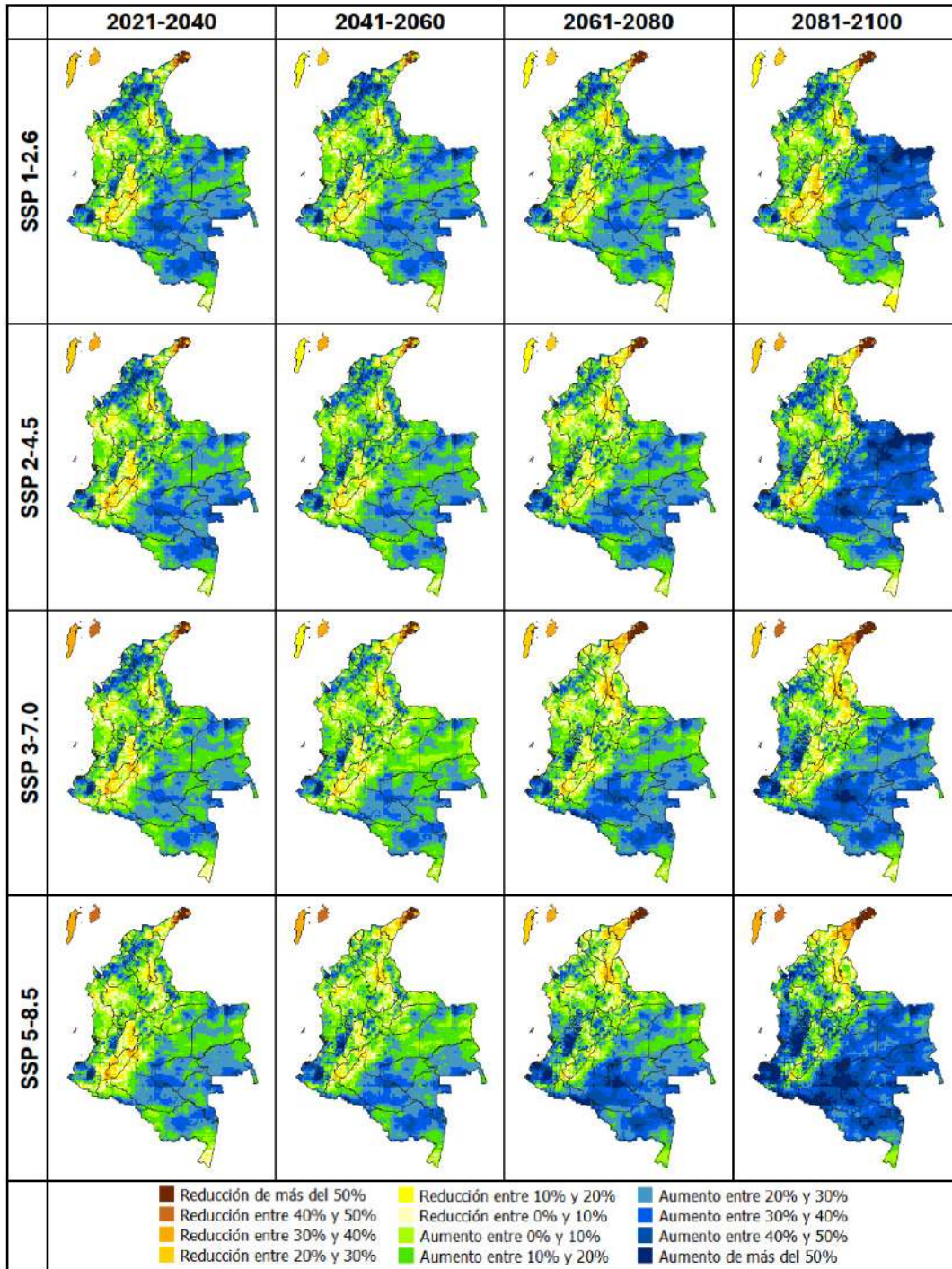


Figura 4.42. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

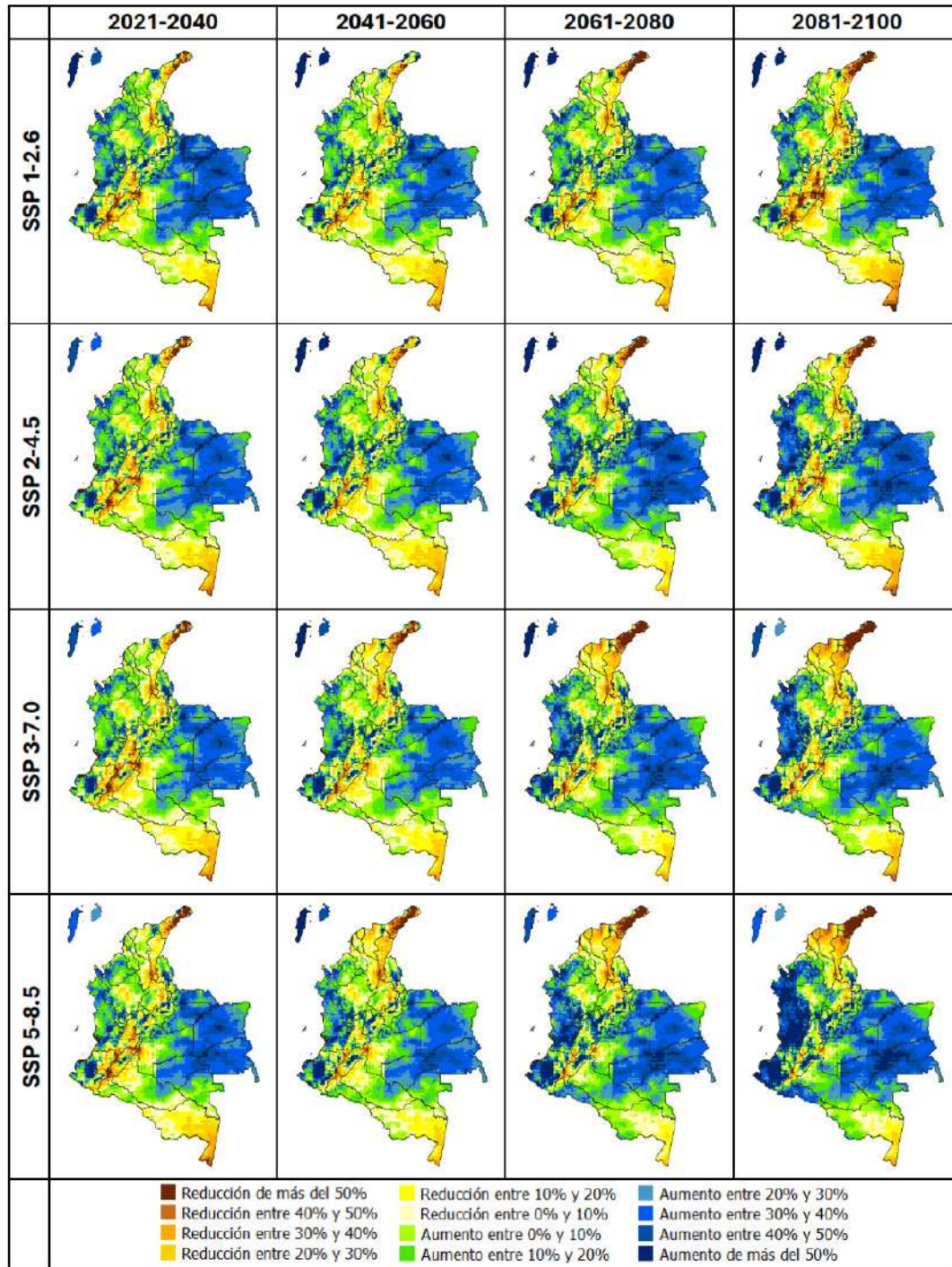


Figura 4.43. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

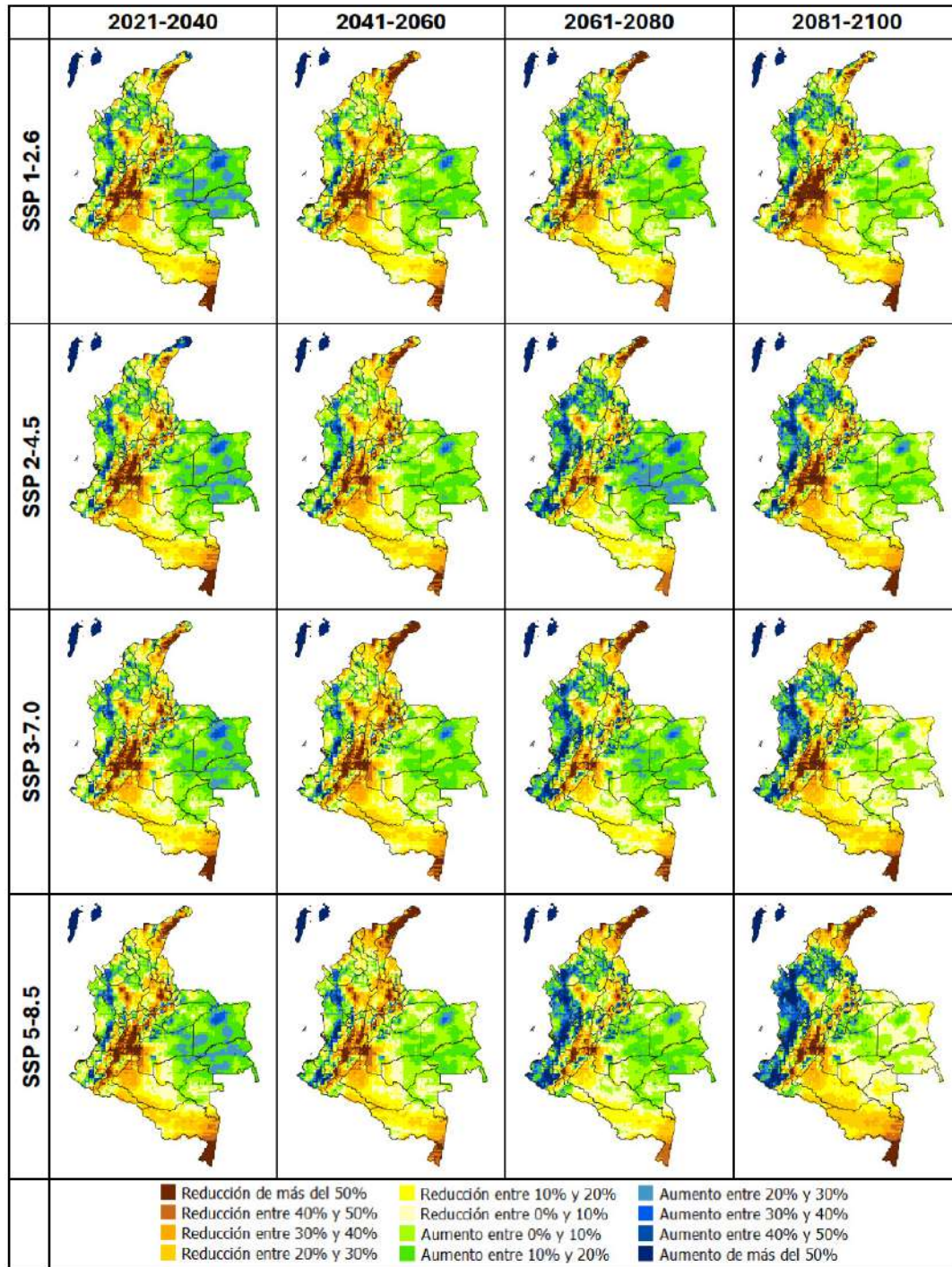


Figura 4.44. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

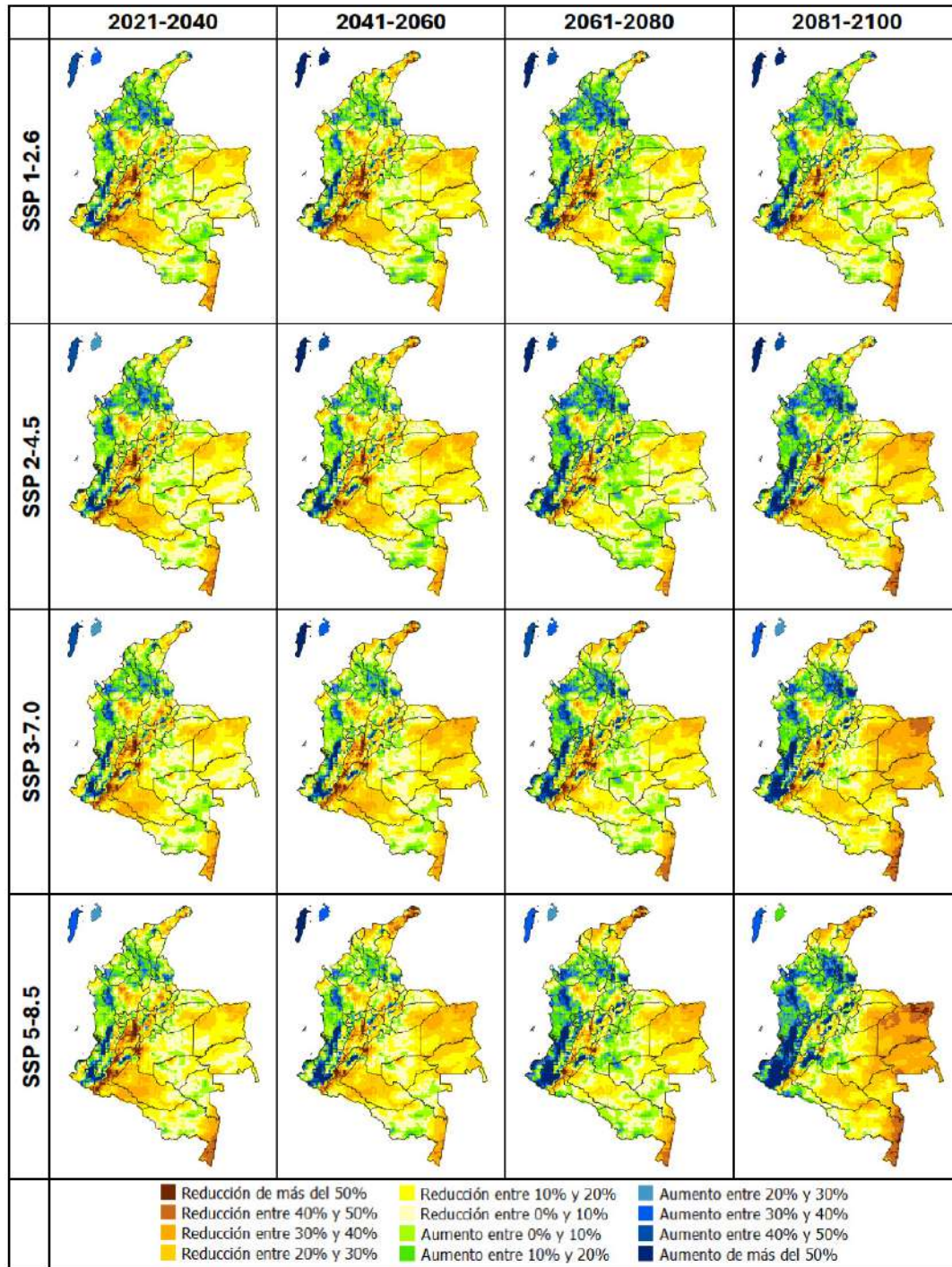


Figura 4.45. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

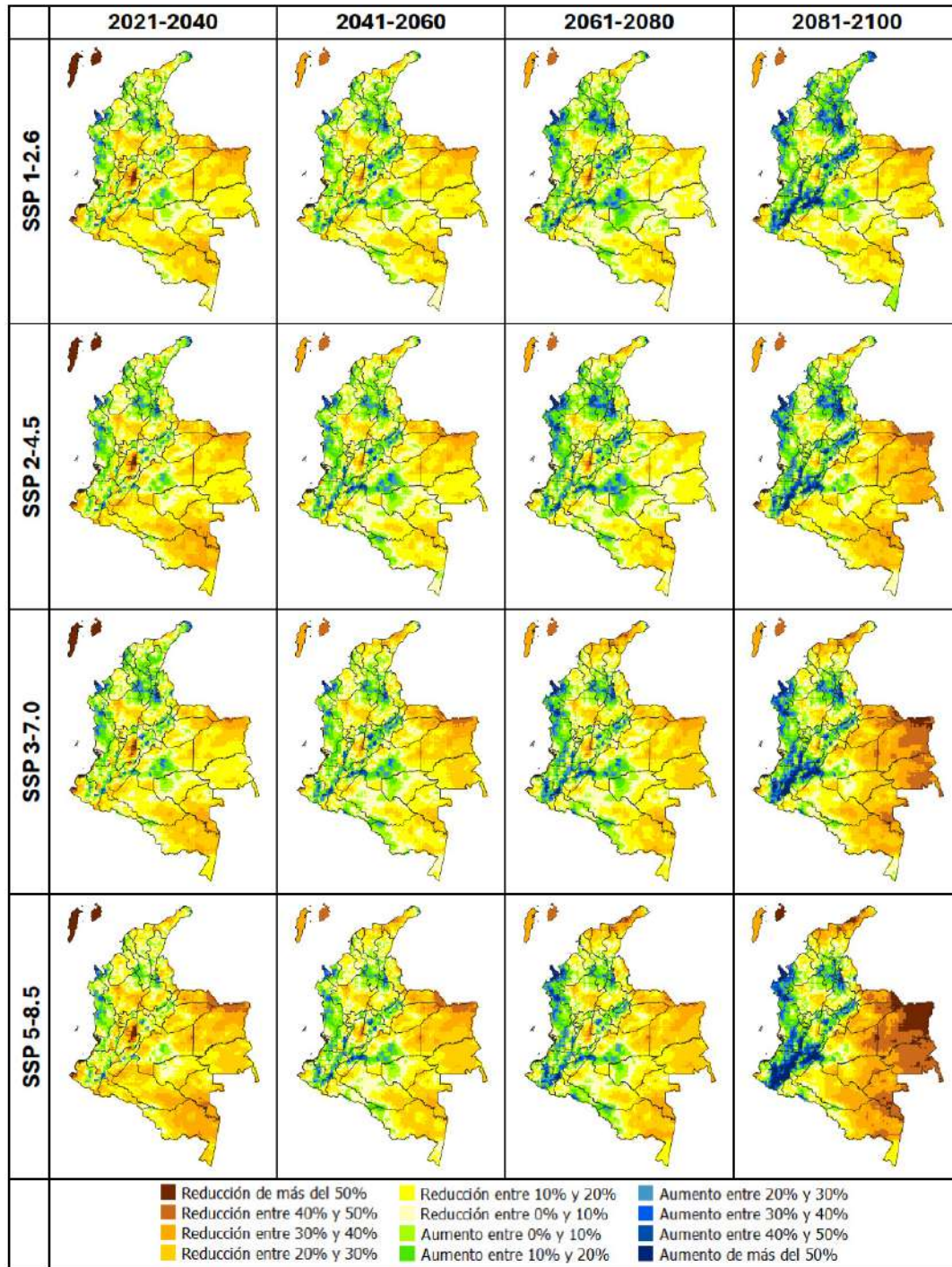


Figura 4.46. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

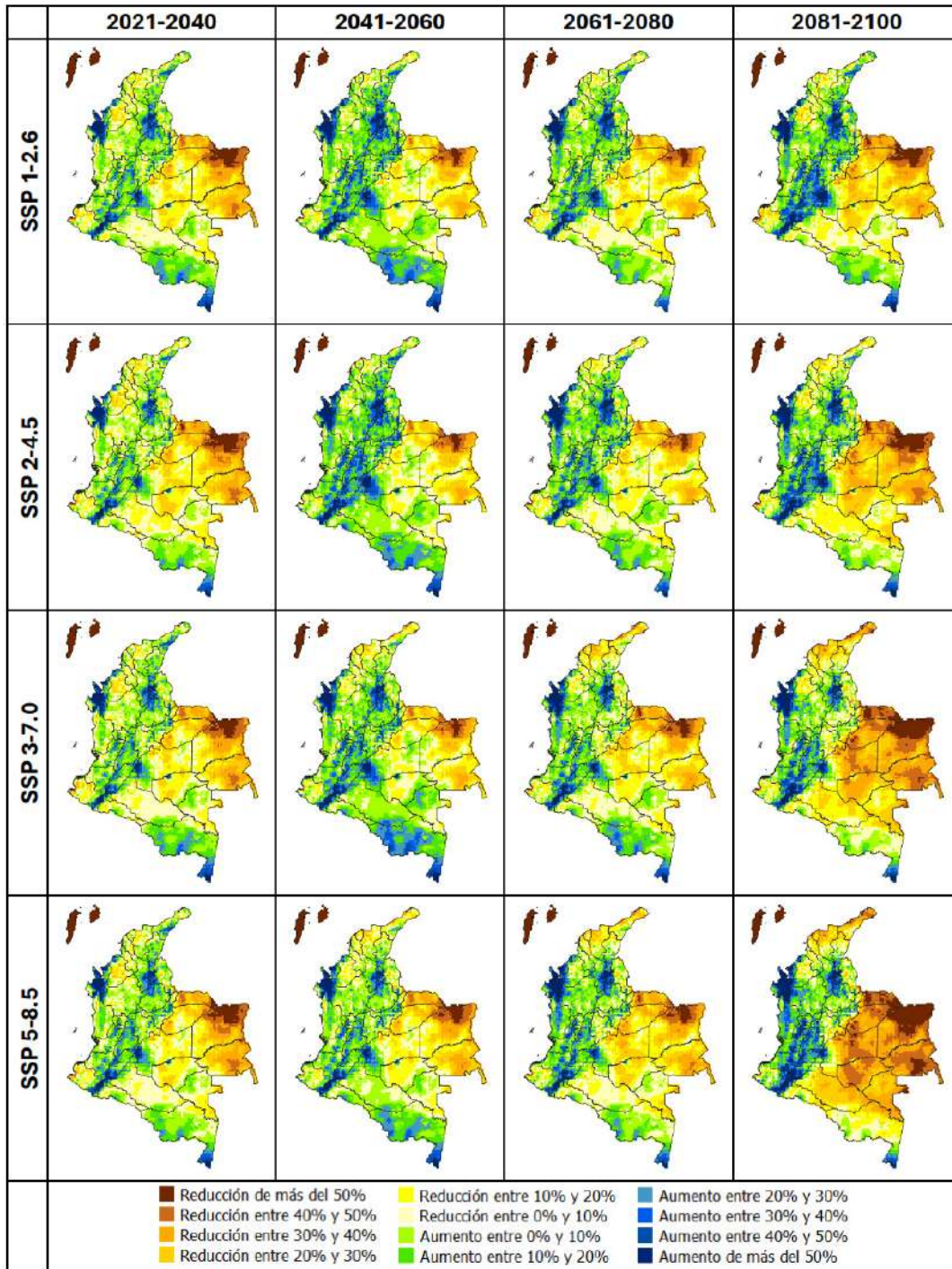


Figura 4.47. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

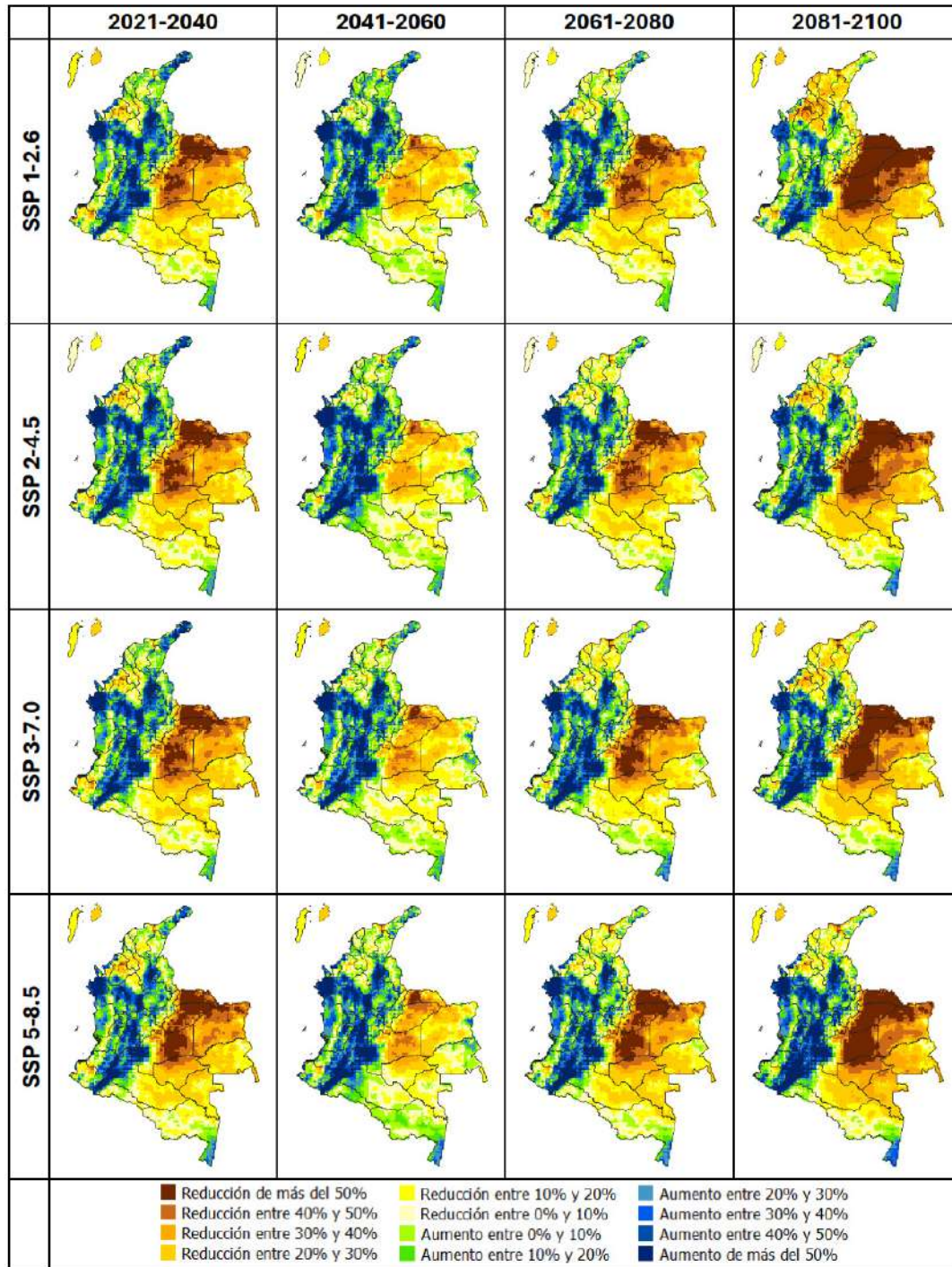
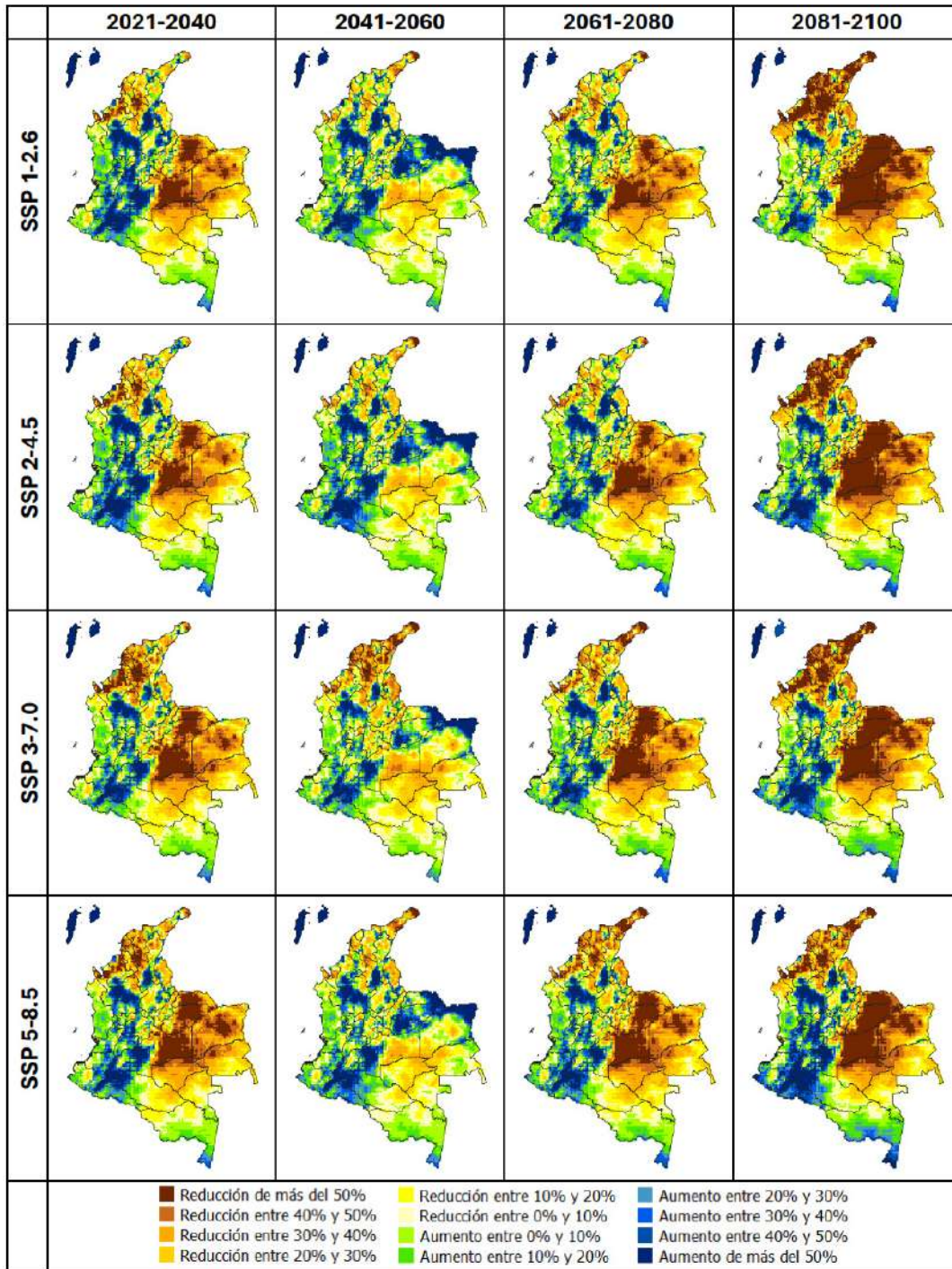


Figura 4.48. Cambio porcentual futuro proyectado de la precipitación en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.3.2. Temperatura máxima

La temperatura máxima presentaría aumentos en todos los meses del año a lo largo del siglo XXI, desde los cuatro escenarios SSP. De esta manera, para el periodo 2021-2040 habría aumentos entre 0,4 y 2,5 °C, los cuales serían de más de 1,5 °C en determinados meses en las siguientes zonas: en Nariño y en el Catatumbo, de noviembre a mayo; en el oriente de la región Orinoquía, de diciembre a febrero, y en el norte de esta región, de junio a diciembre; en la región Caribe, de febrero a diciembre, y en la región Andina durante todo el año.

Para 2041-2060, los aumentos también serían de 0,4 a 4 °C en todos los escenarios, y se darían los incrementos más altos (de 2 a 4 °C) en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 en las zonas y en los meses mencionados anteriormente. En el periodo 2061-2080, los aumentos serían de 0,4 a 4 °C, se mantendría el incremento de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6 y serían de 1 a 3 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,5 a 4 °C en el SSP5-8.5, con los mayores aumentos en las mismas zonas mencionadas.

Para finales de siglo, los aumentos serían de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5 y de 2 a 5 °C en los SSP3-7.0 y SSP5-8.5. Los mayores incrementos de la temperatura máxima se presentarían en estos últimos escenarios en gran parte de Colombia, en comparación con la temperatura del periodo histórico 1981-2010. Los mayores aumentos se observarían en todos los meses del año hacia finales del siglo XXI en el escenario SSP5-8.5, y marzo y junio serían los meses que menores valores de incremento presentarían, en comparación con los otros meses del año (figuras de la 4.49 a la 4.60).



Figura 4.49. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

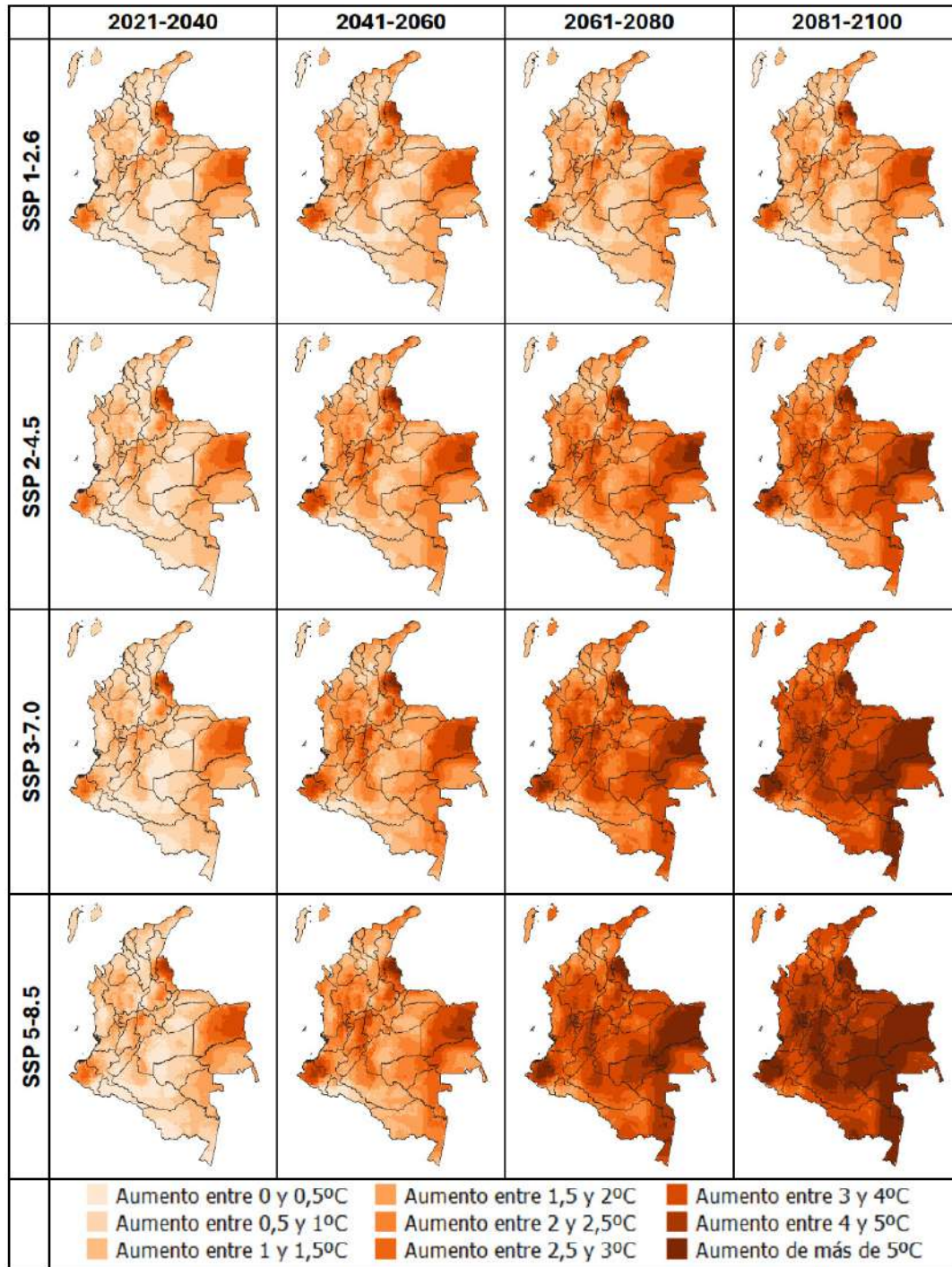


Figura 4.50. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

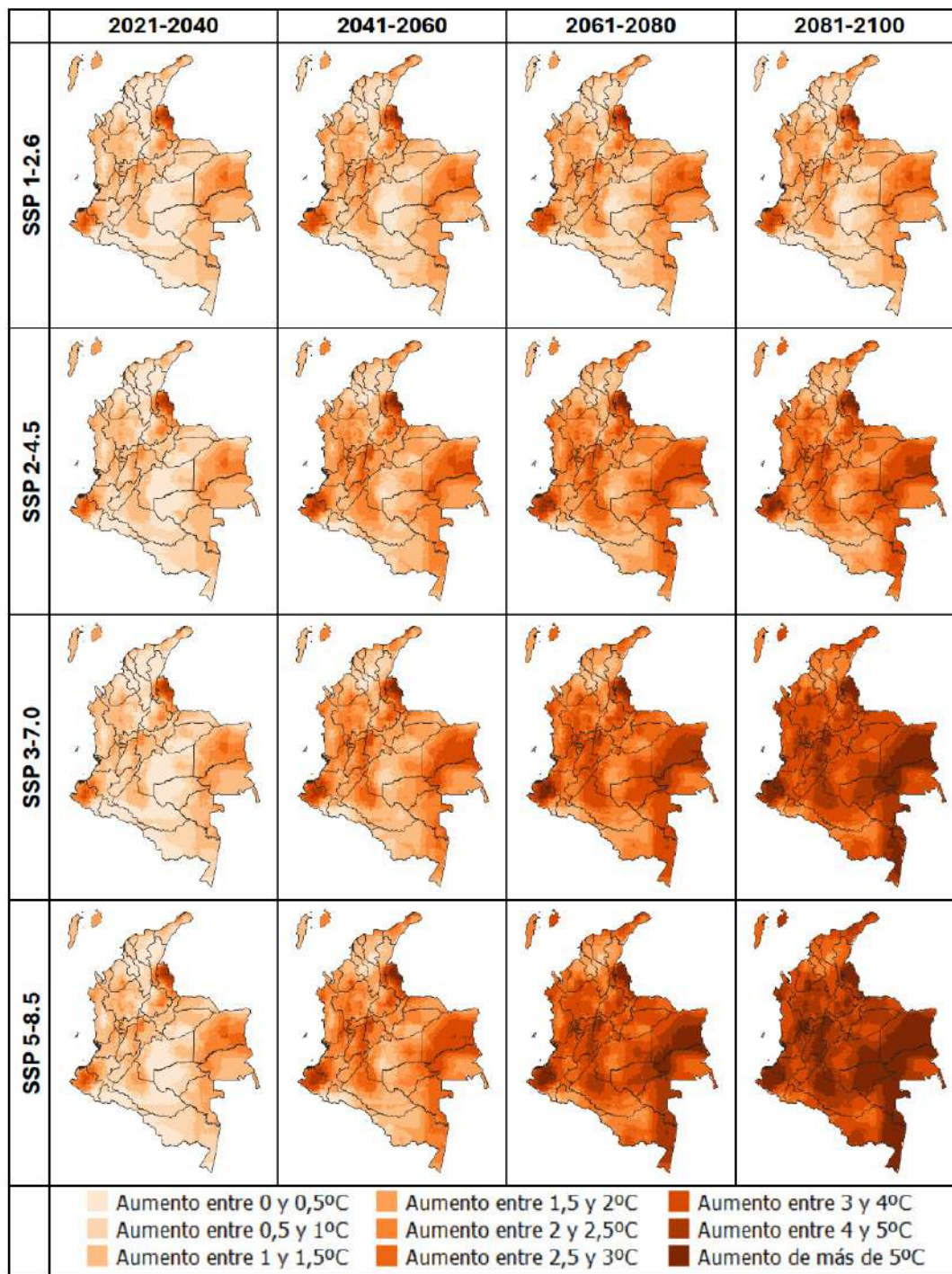


Figura 4.51. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

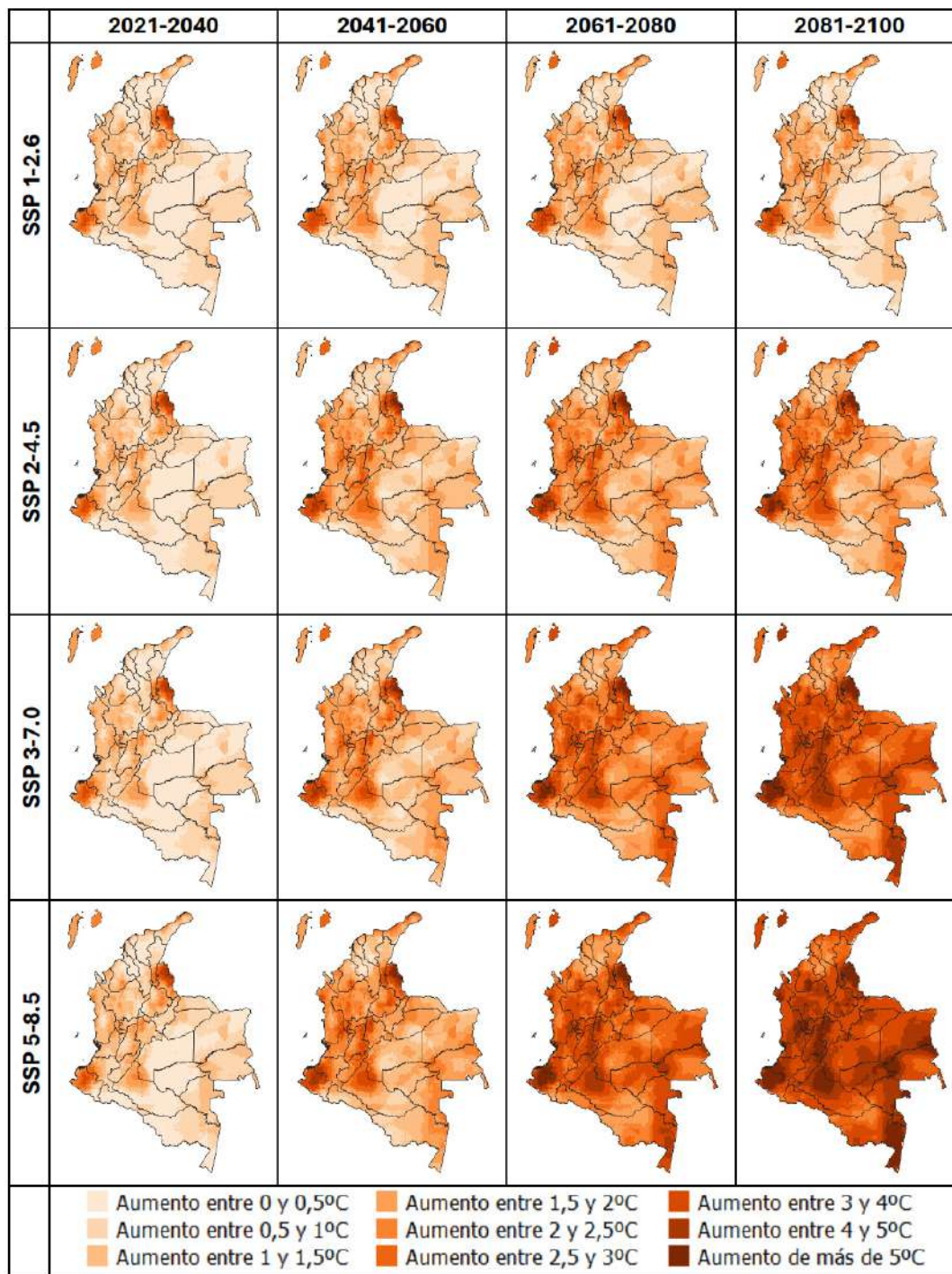


Figura 4.52. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

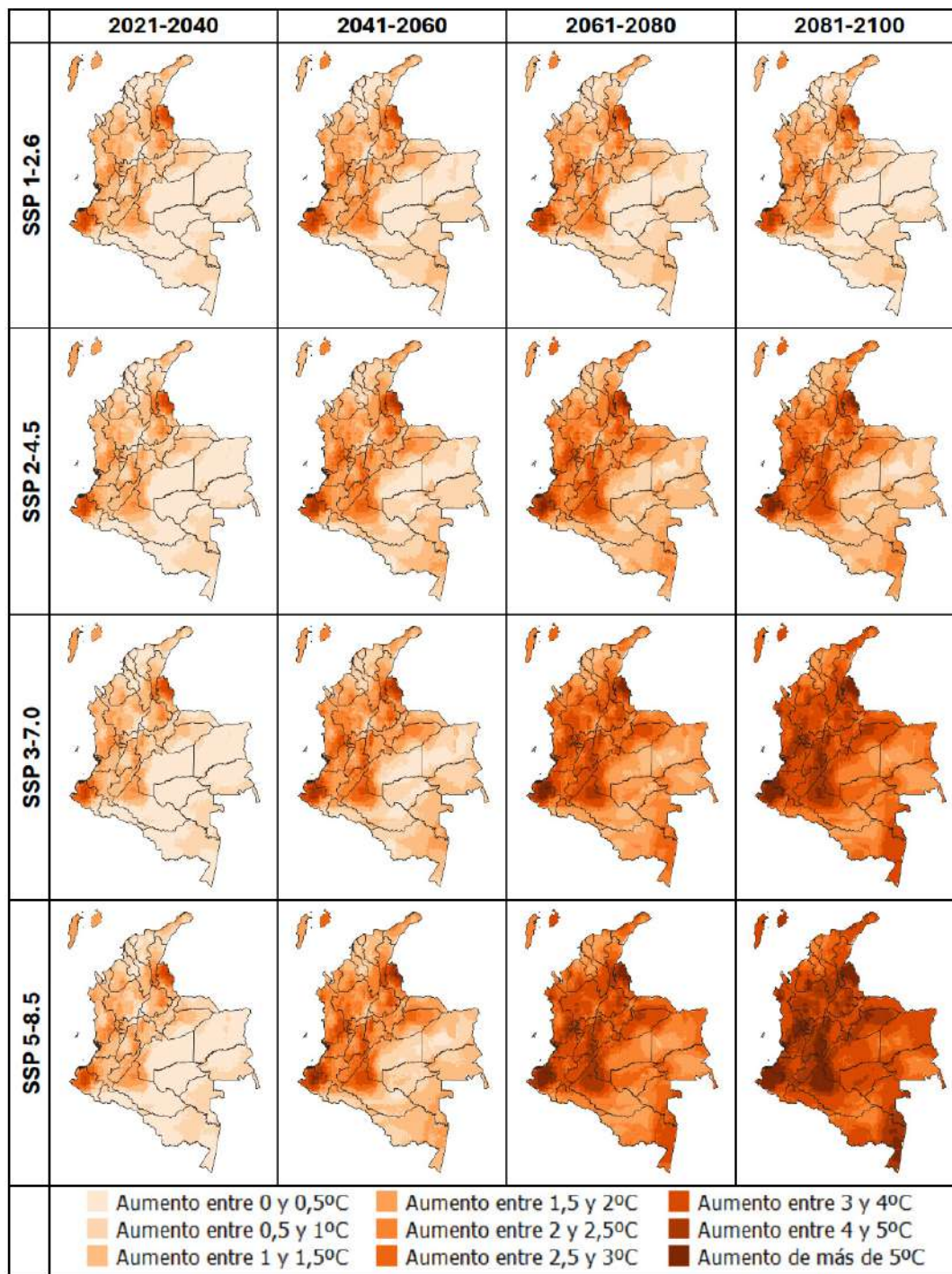


Figura 4.53. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

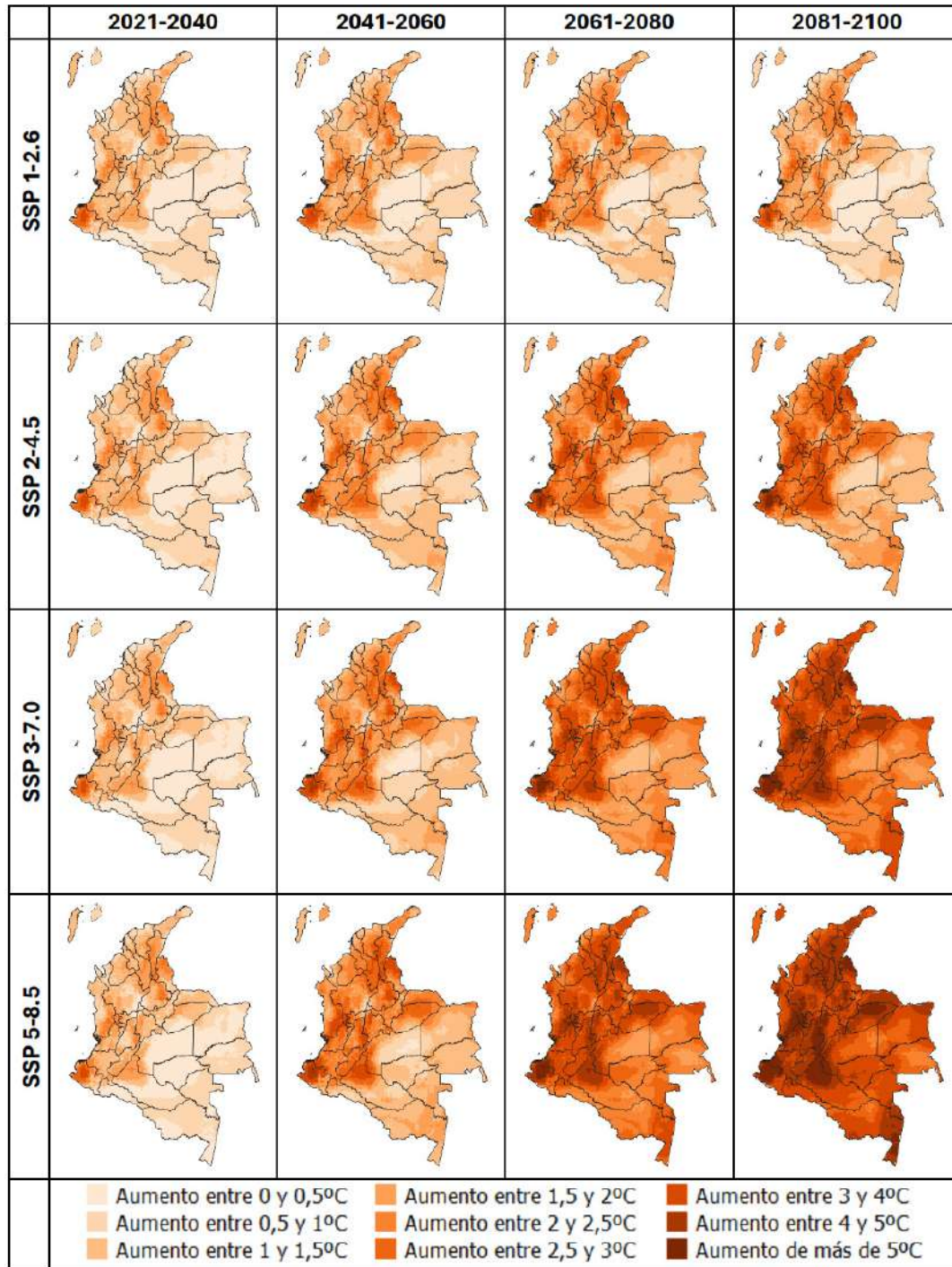


Figura 4.54. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

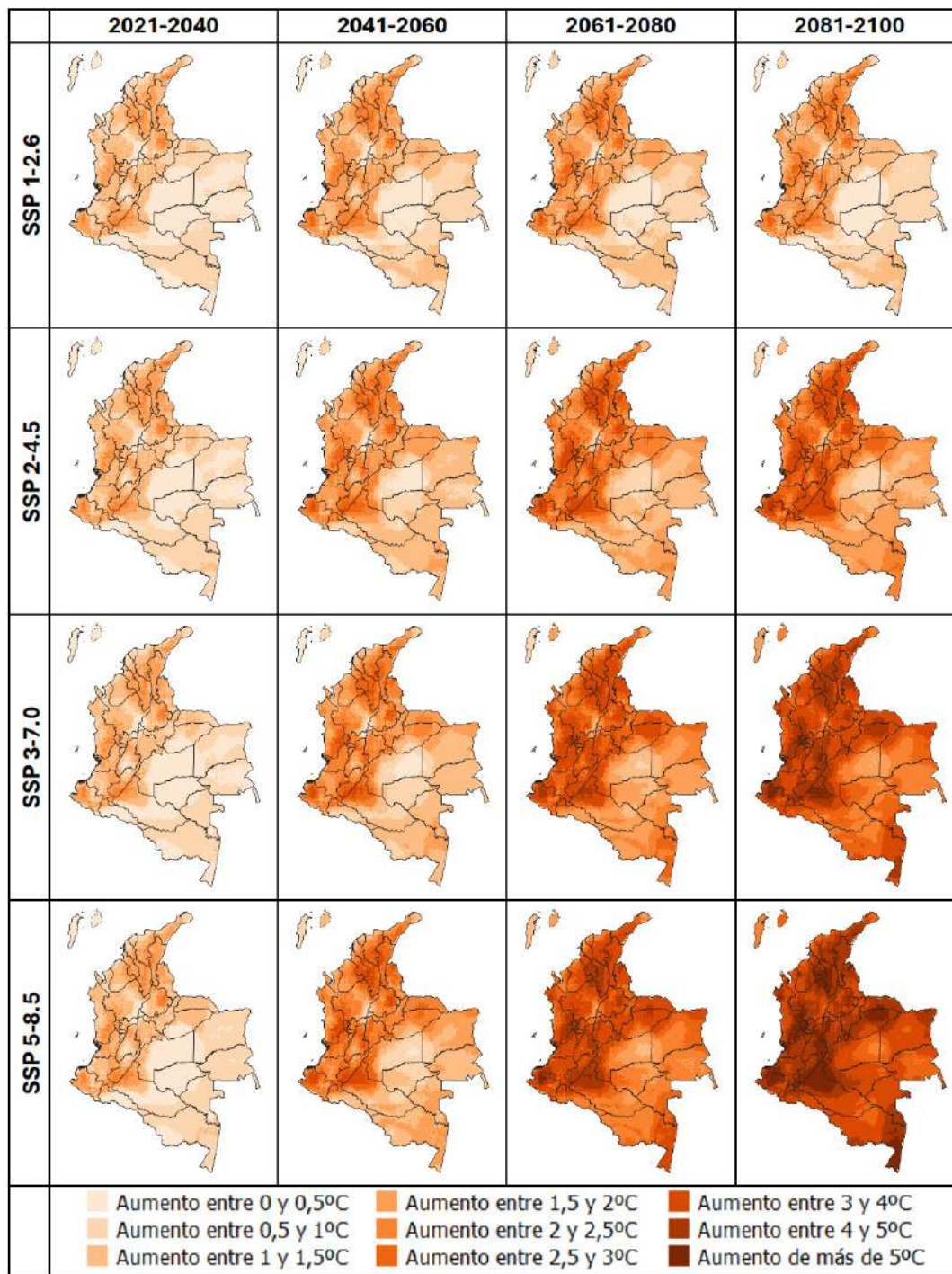


Figura 4.55. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

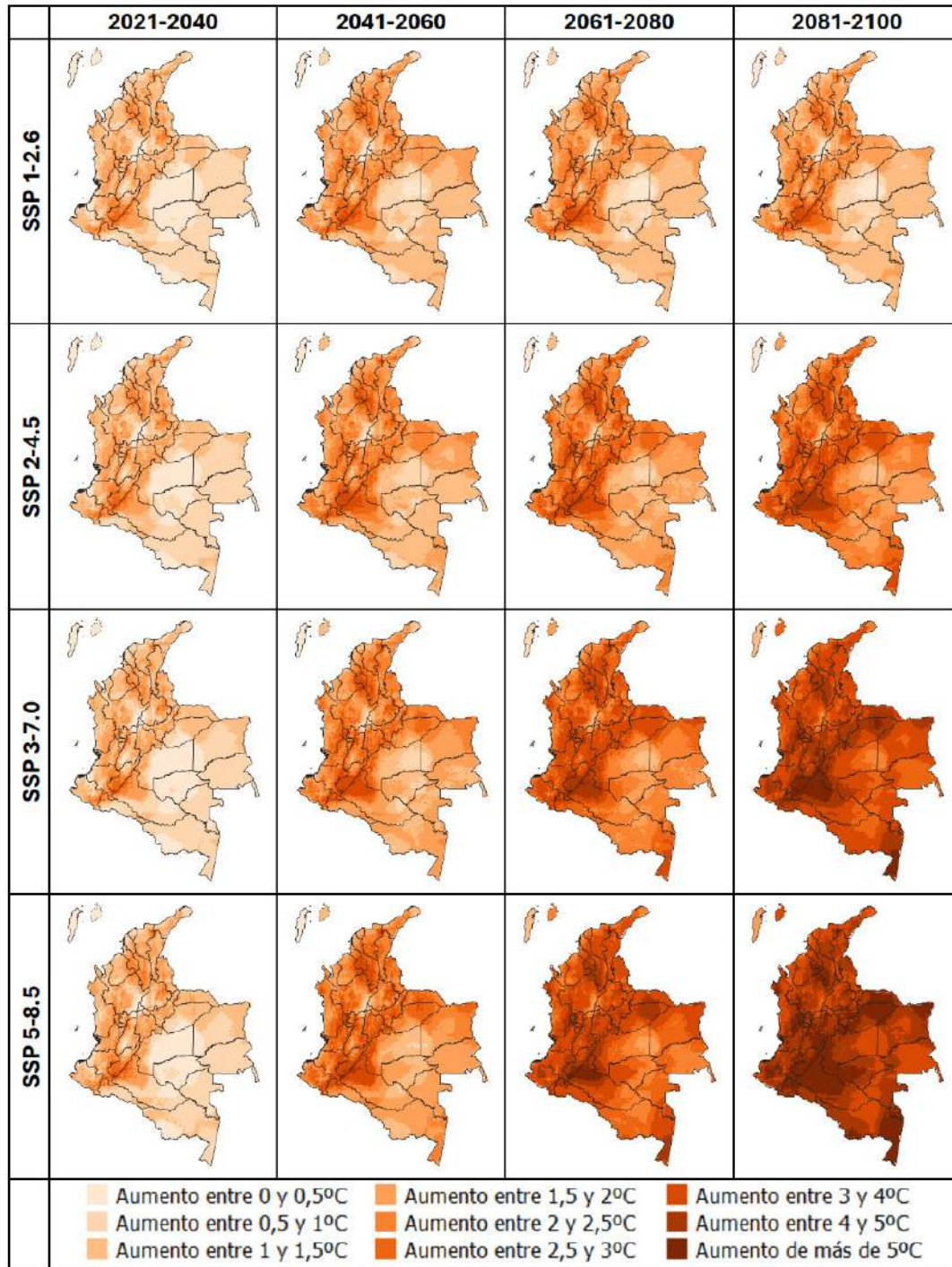


Figura 4.56. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

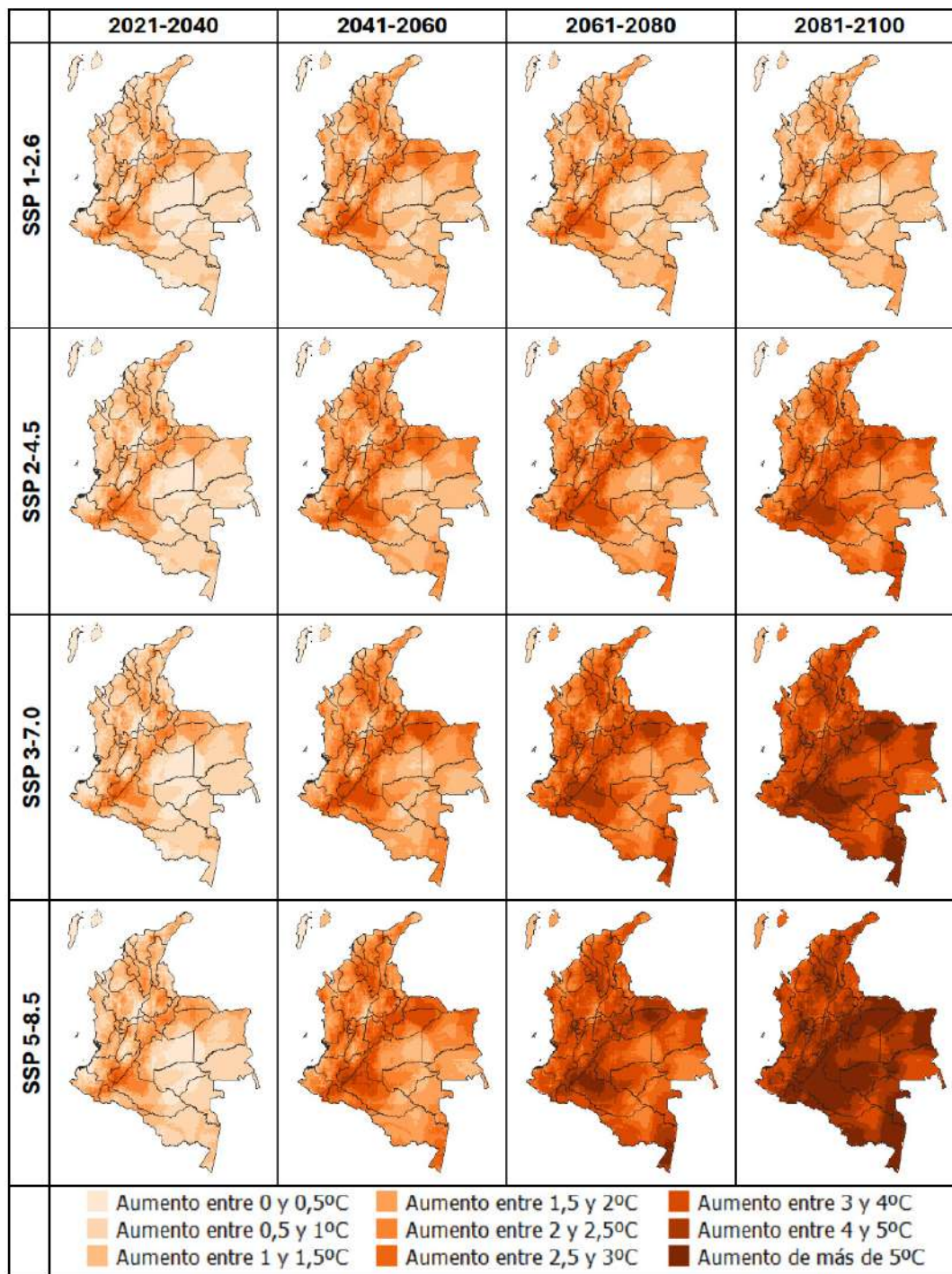


Figura 4.57. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

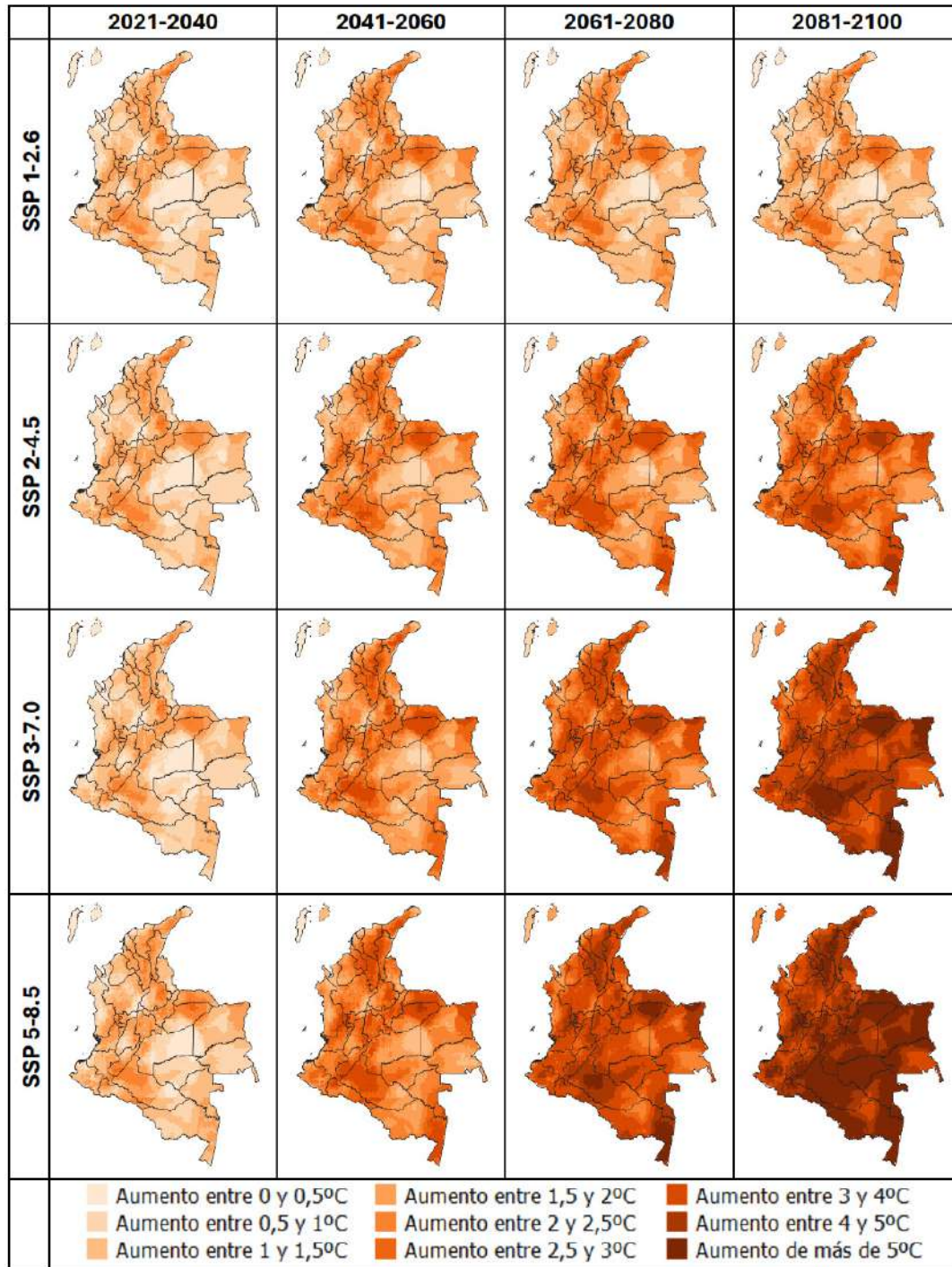


Figura 4.58. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

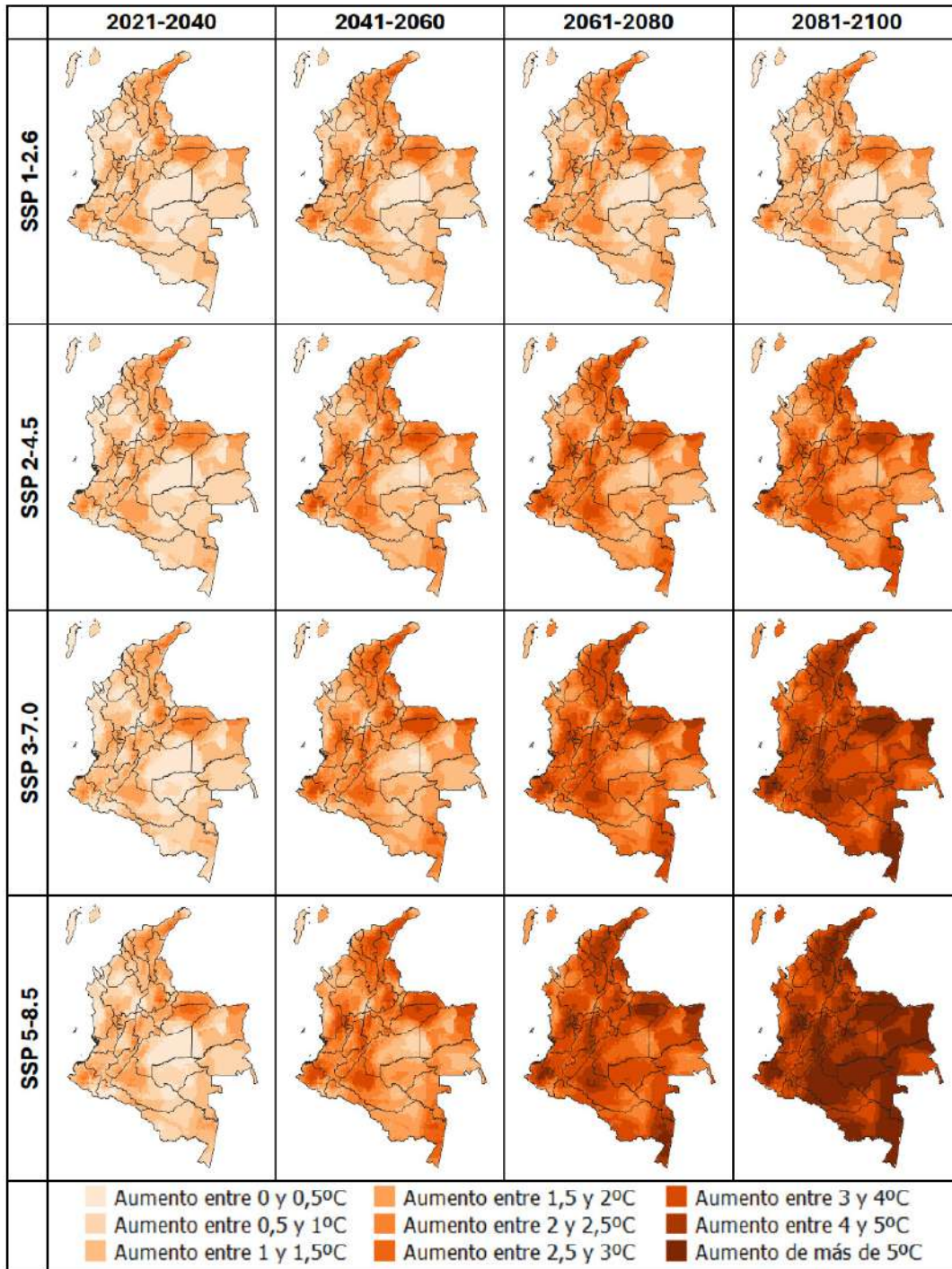


Figura 4.59. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

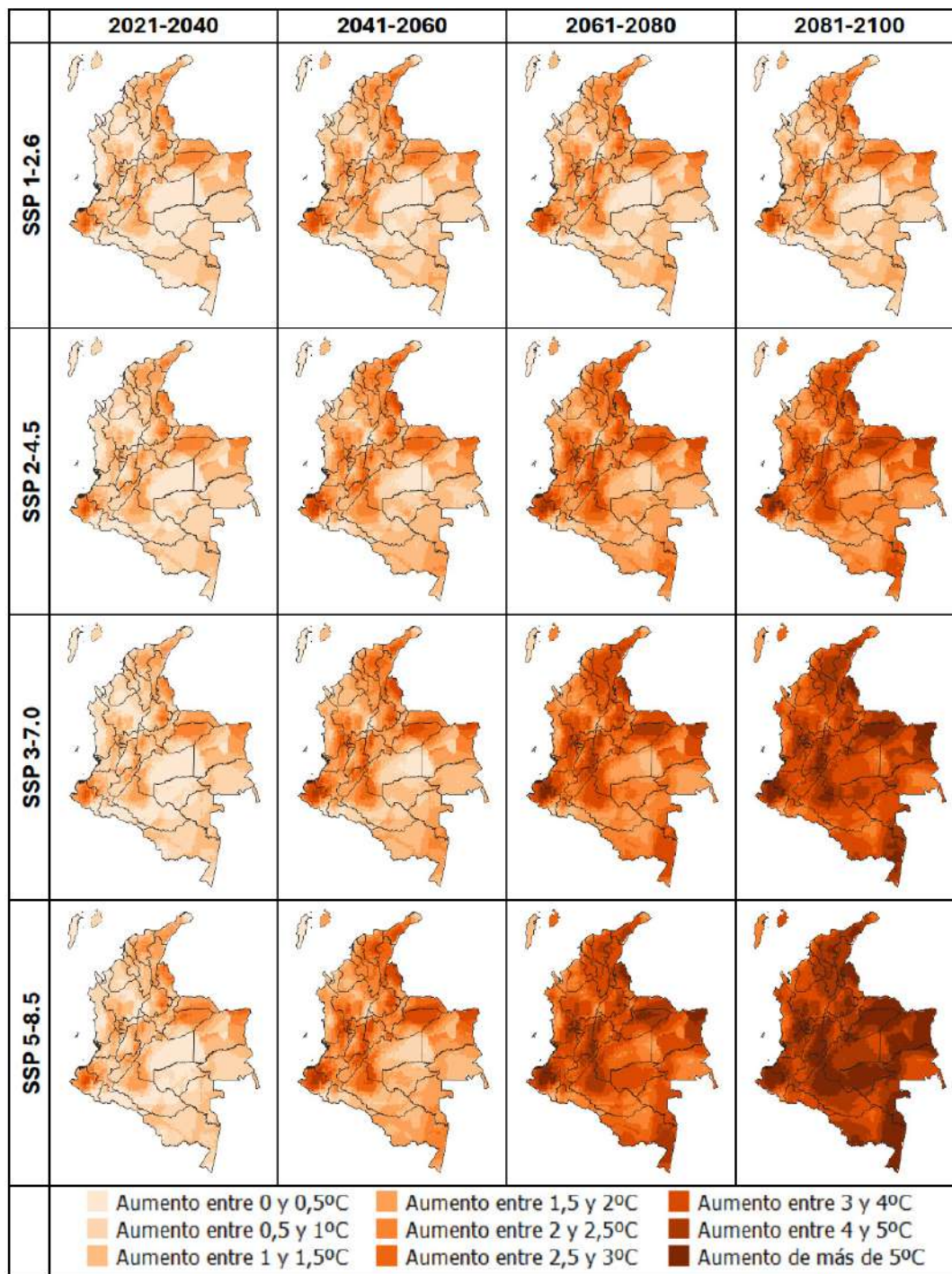
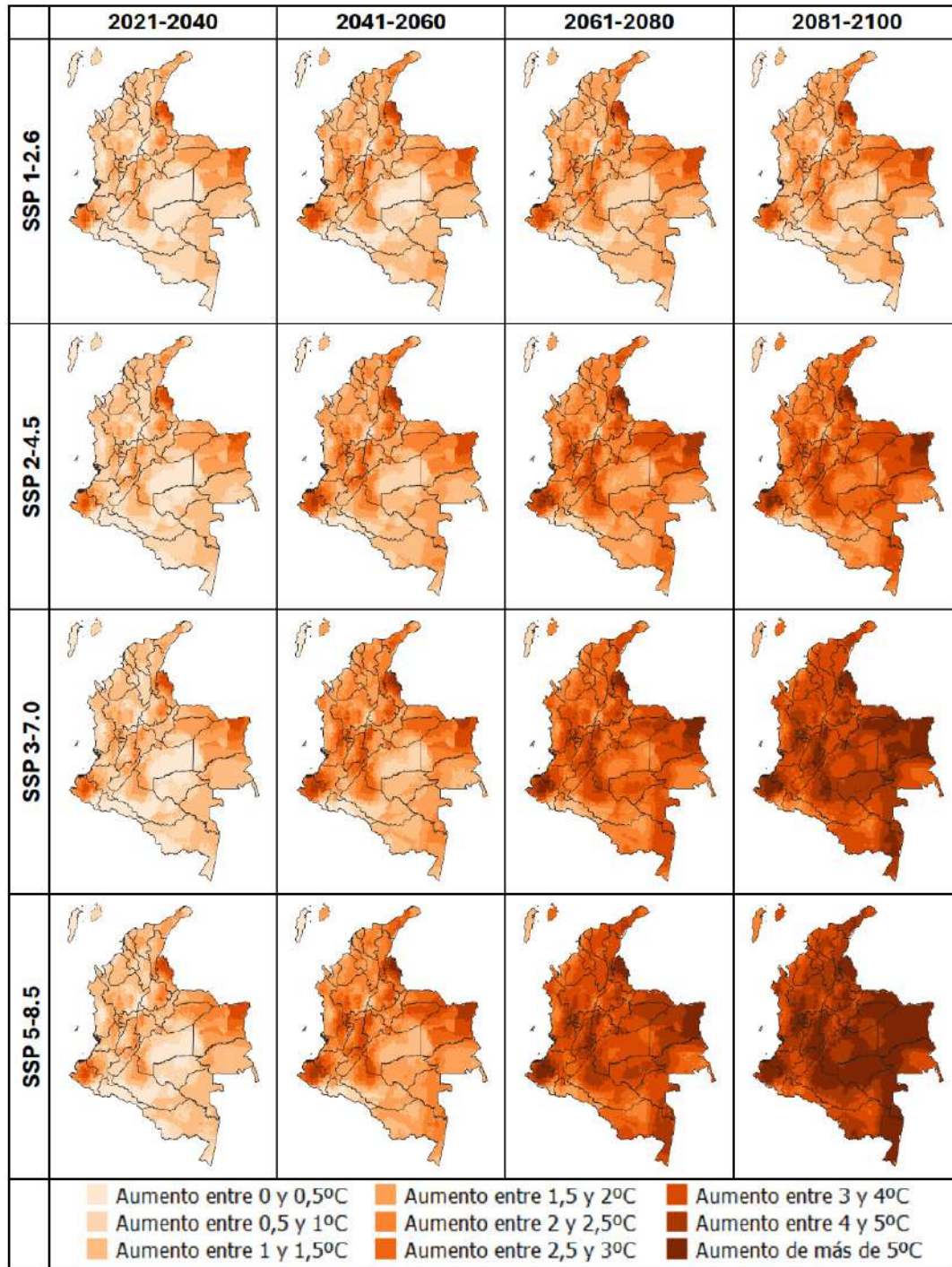


Figura 4.60. Cambio futuro proyectado de la temperatura máxima (°C) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.3.3 Temperatura mínima

La temperatura mínima también presentaría aumentos en todos los meses del año a lo largo del siglo XXI, en los cuatro escenarios SSP; así, para el periodo 2021-2040, se tendrían aumentos entre 0,2 y 2,5 °C, los cuales serían de más de 1,5 °C en determinados meses en las siguientes zonas: en el Catatumbo, de octubre a mayo; en el nororiente de la región Orinoquia, en septiembre y octubre, y de diciembre a febrero, y en el centro de las regiones Andina y Caribe, durante todo el año.

Para 2041-2060, los aumentos serían de 0,3 a 4 °C en todos los escenarios, y se darían los incrementos más altos (de 2 a 4°C) en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 en las zonas y en los meses mencionados anteriormente. En el periodo 2061-2080, los aumentos también serían de 0,3 a 4 °C, se mantendría el incremento de 0,3 a 2 °C en el SSP1-2.6 y sería de 1 a 3 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,5 a 4 °C en el SSP5-8.5, con los mayores aumentos en las mismas zonas mencionadas.

Para finales de siglo, los aumentos serían de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5 y de 2 a 5 °C en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5; en este caso, los mayores incrementos de la temperatura mínima se darían en estos últimos escenarios en gran parte de Colombia, en comparación con la temperatura del periodo histórico 1981-2010. Los mayores aumentos se presentarían en todos los meses del año hacia finales del siglo XXI en el escenario SSP5-8.5; marzo y septiembre serían los meses que menores valores de incremento presentarían, en comparación con los otros meses del año (figuras de la 4.61 a la 4.72).



Figura 4.61. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

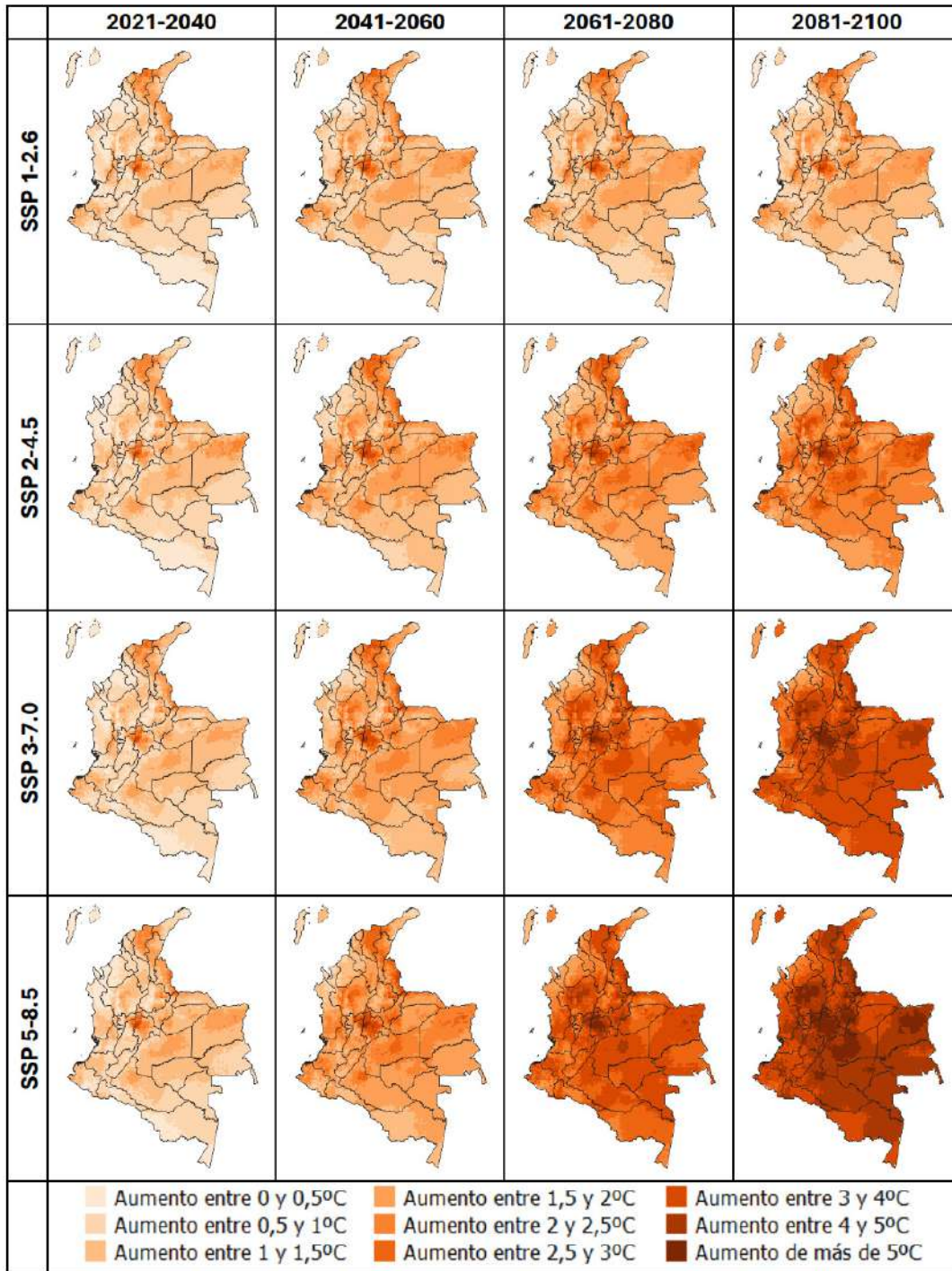


Figura 4.62. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

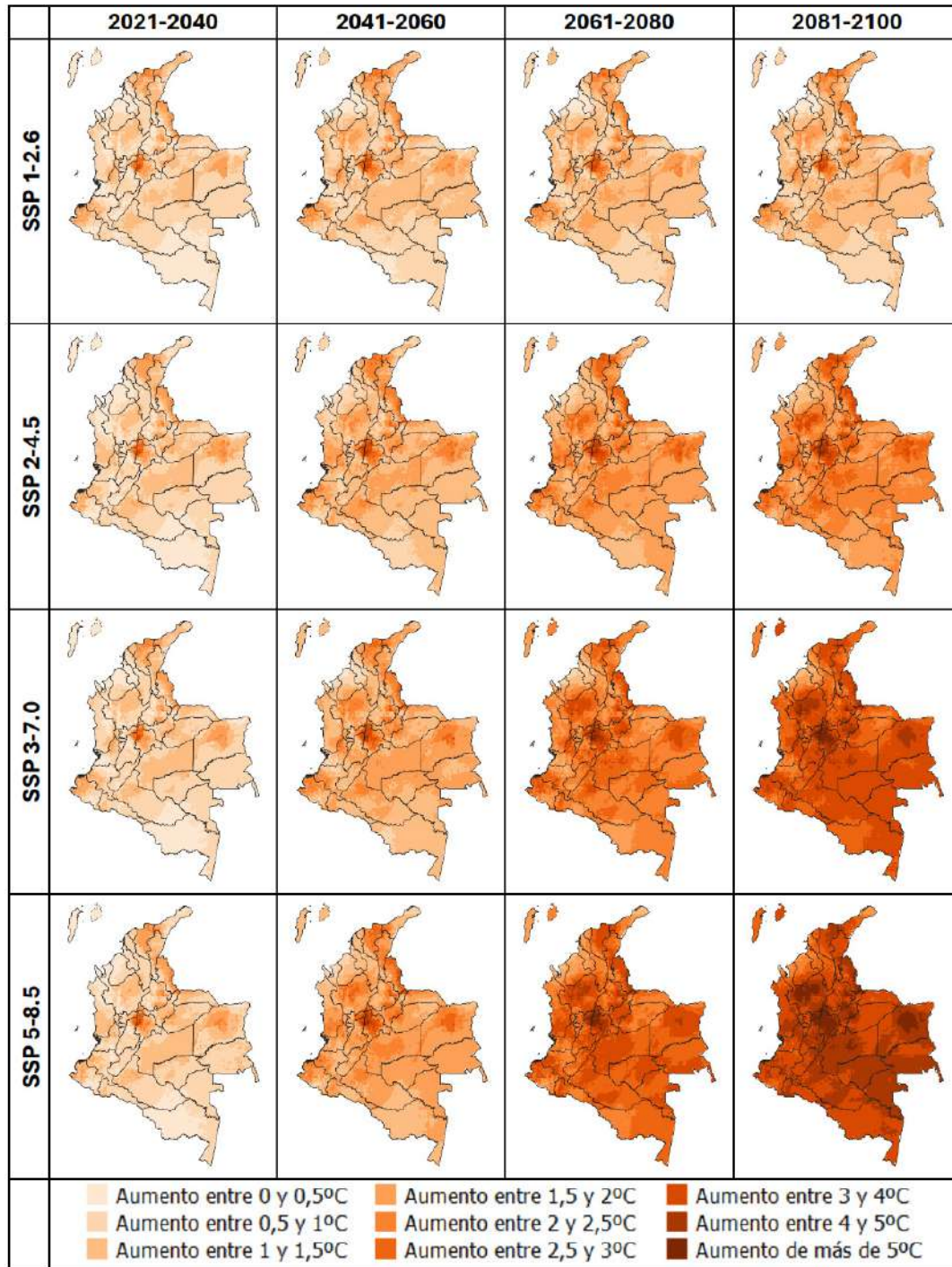


Figura 4.63. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

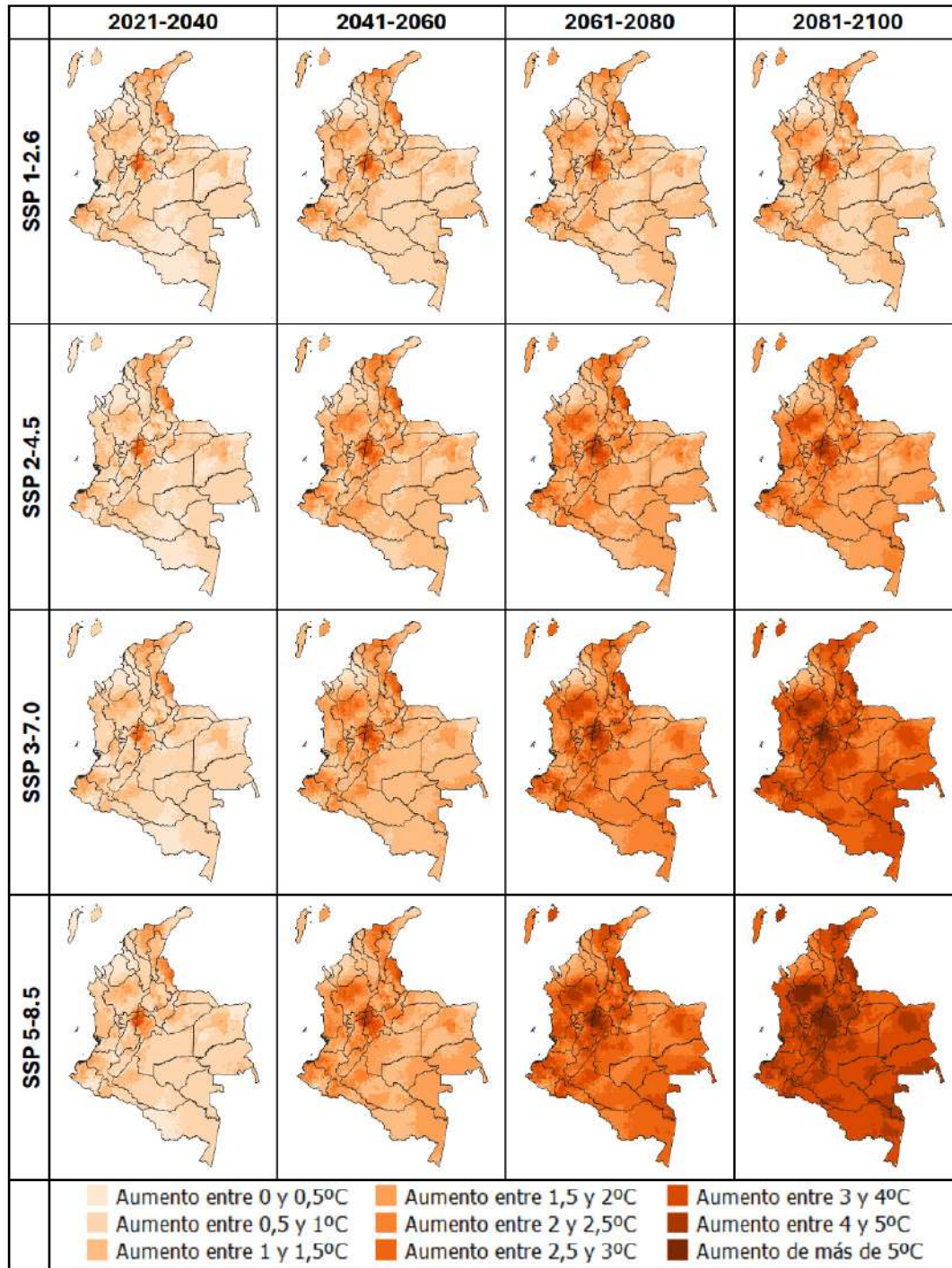


Figura 4.64. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

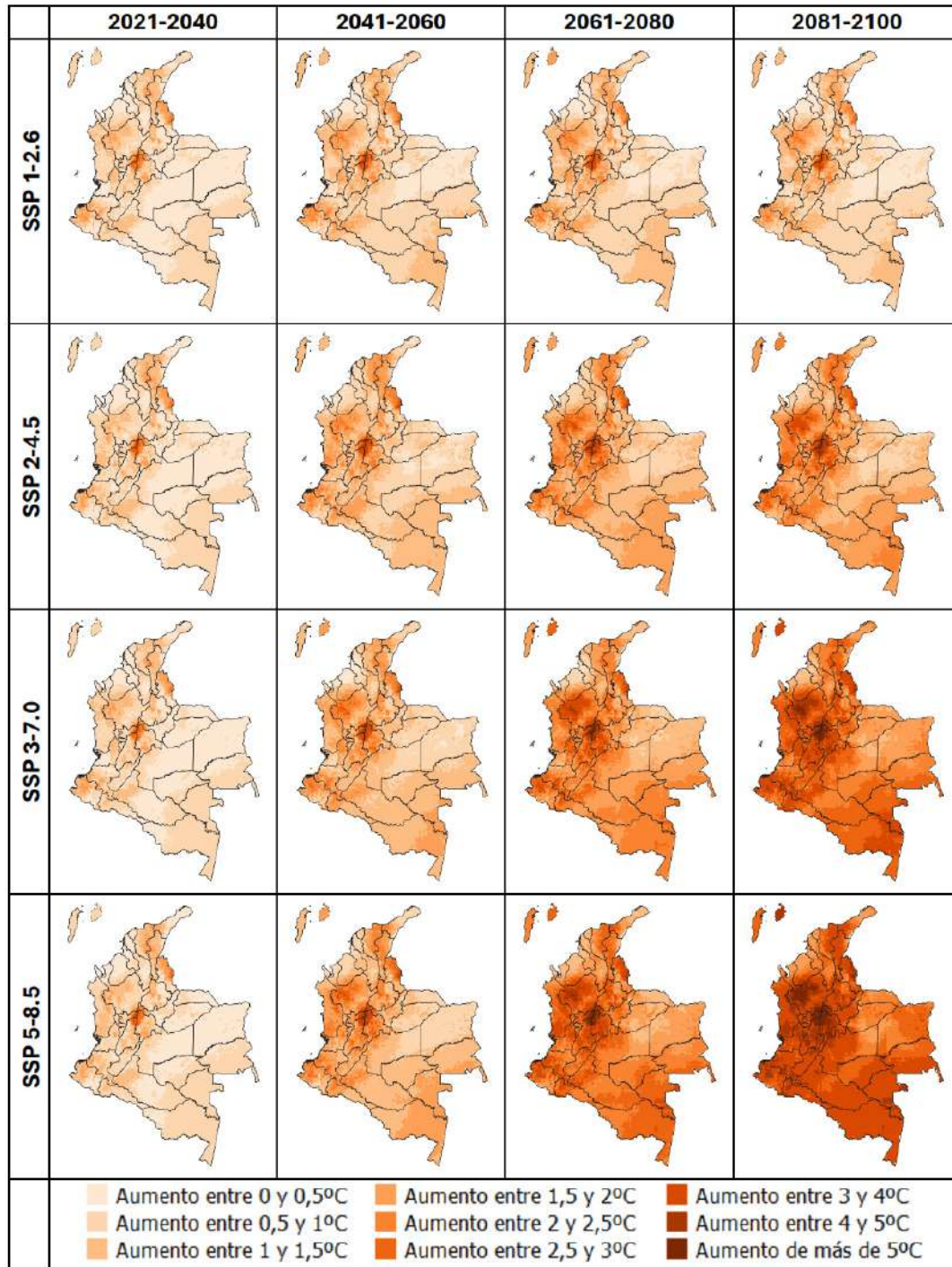


Figura 4.65. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

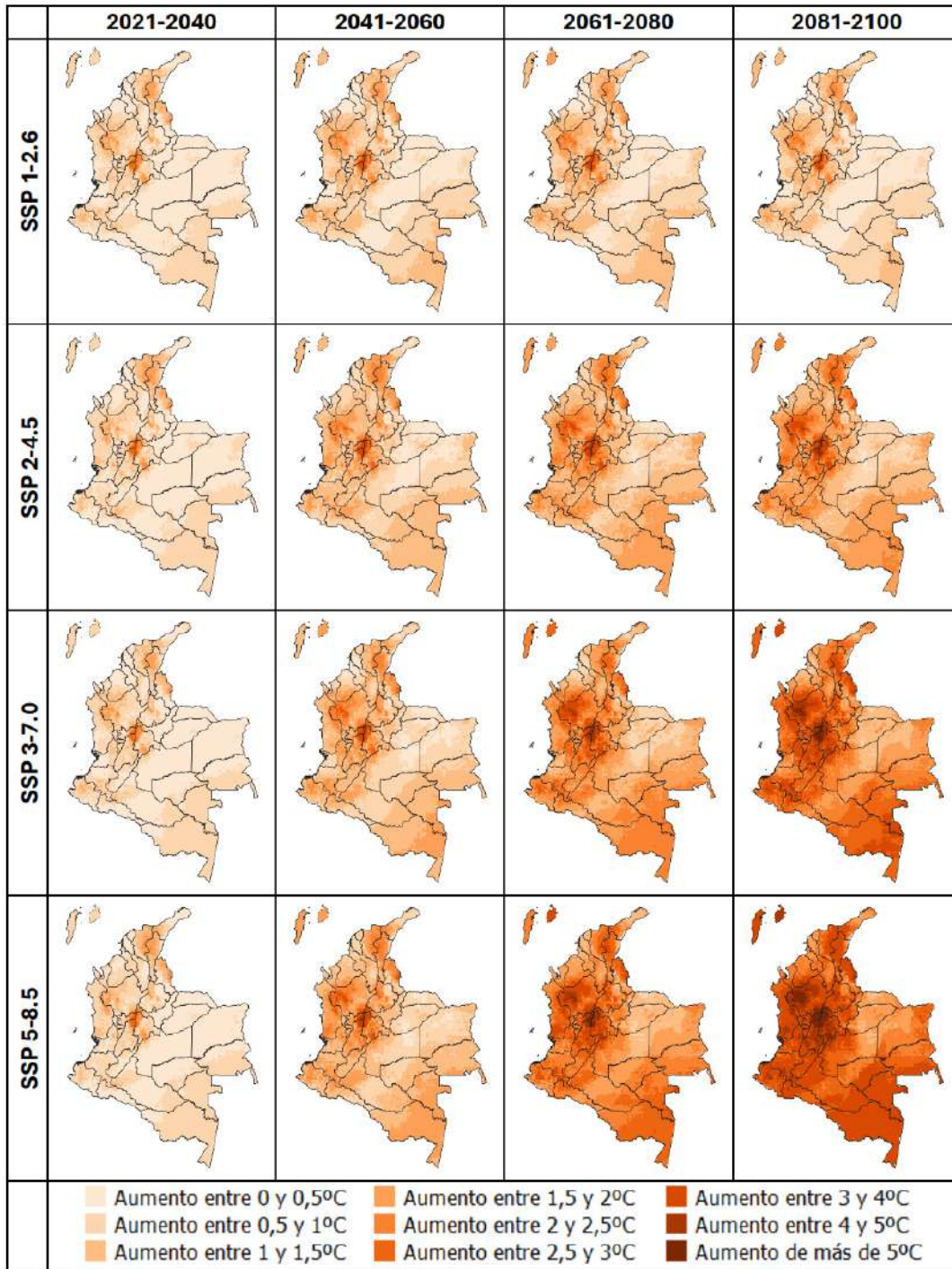


Figura 4.66. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

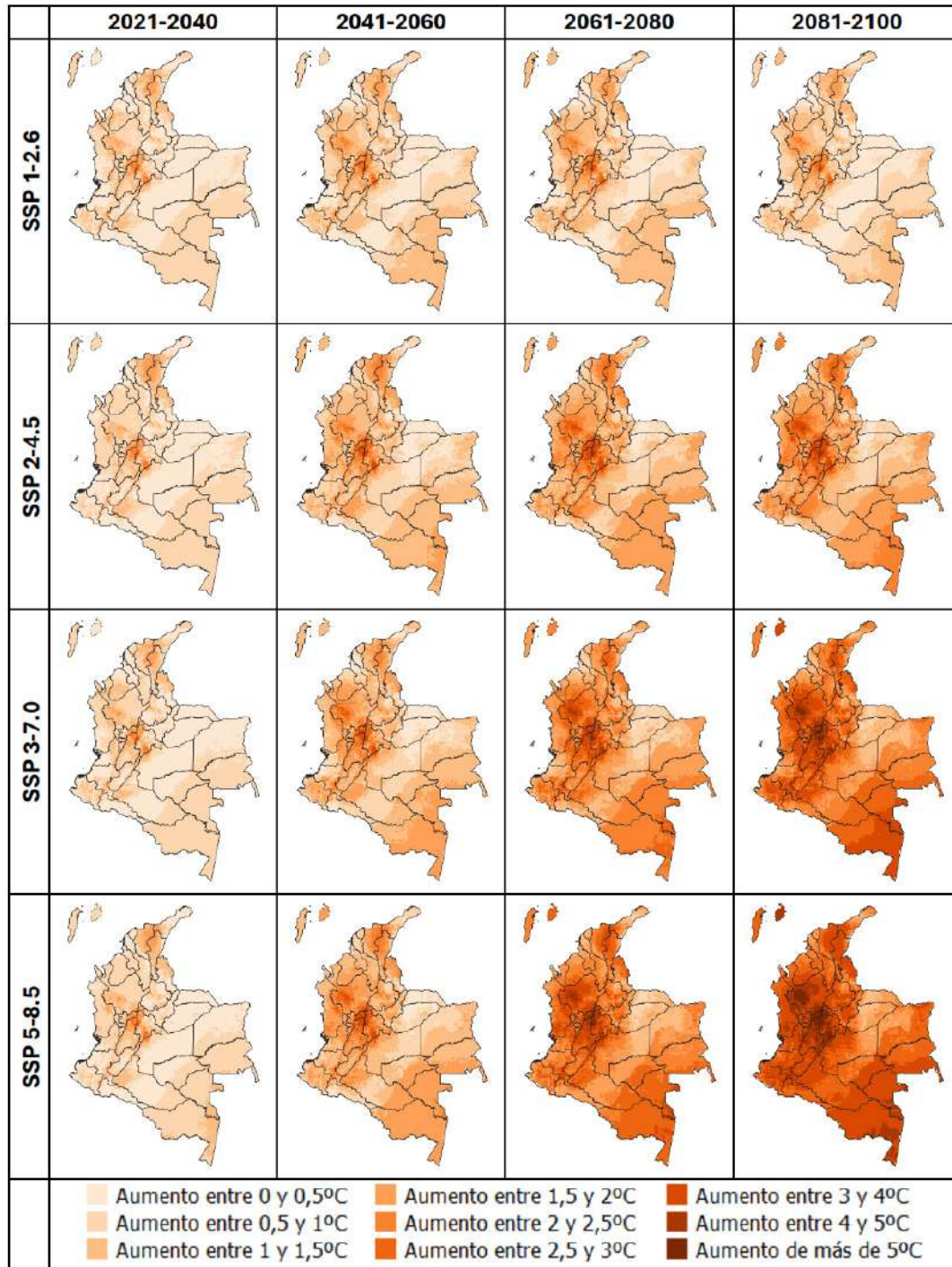


Figura 4.67. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

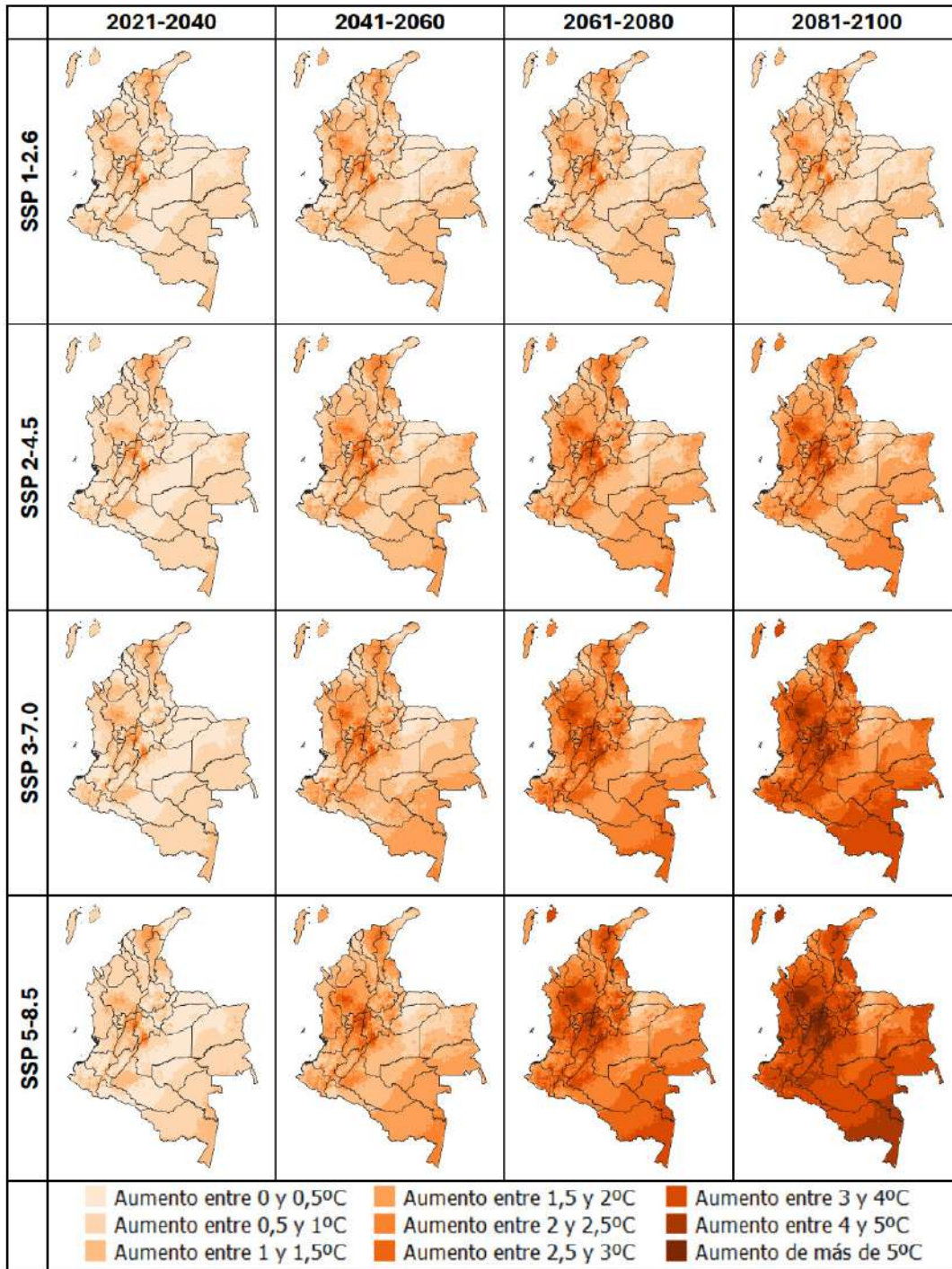


Figura 4.68. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

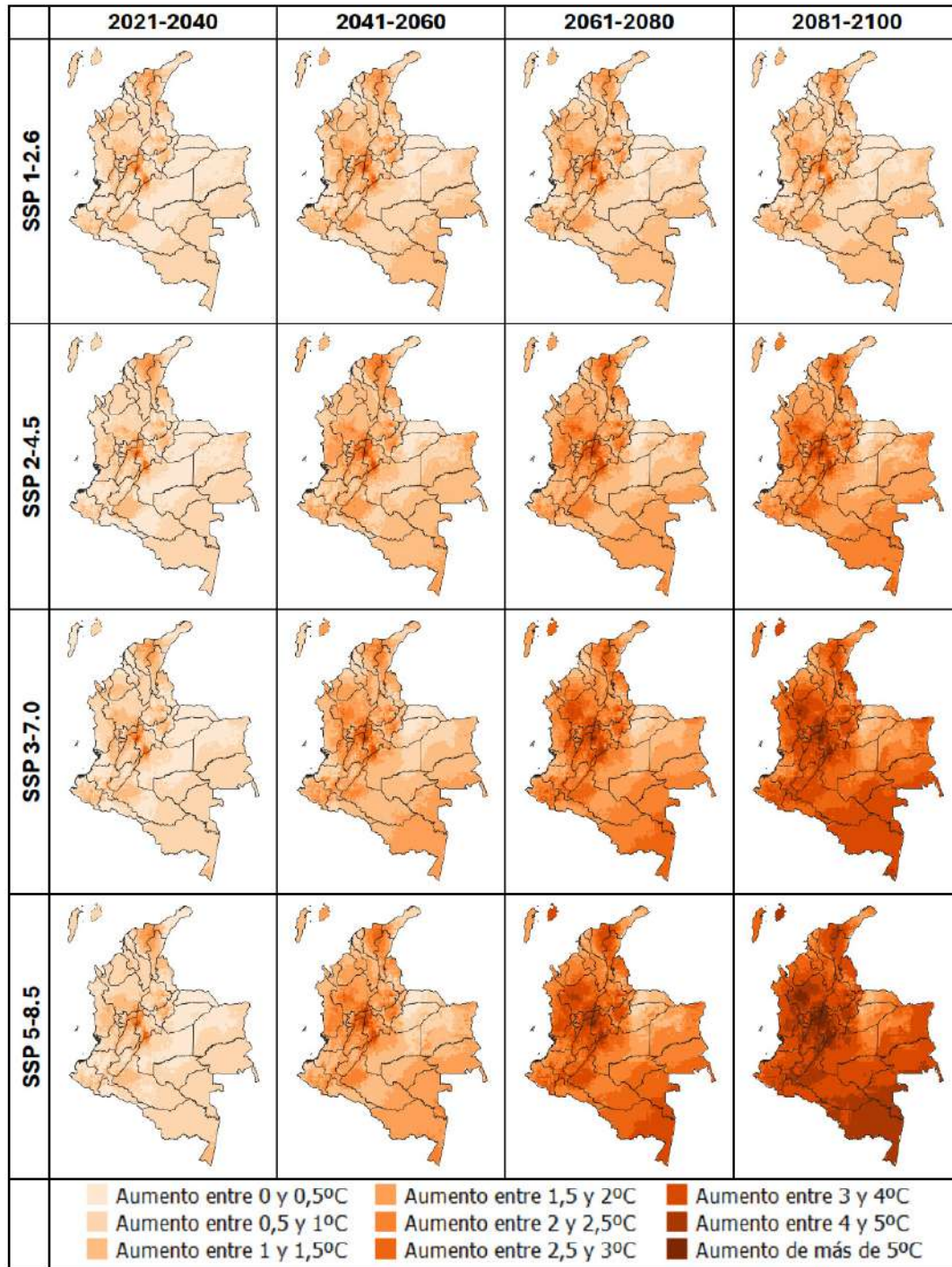


Figura 4.69. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

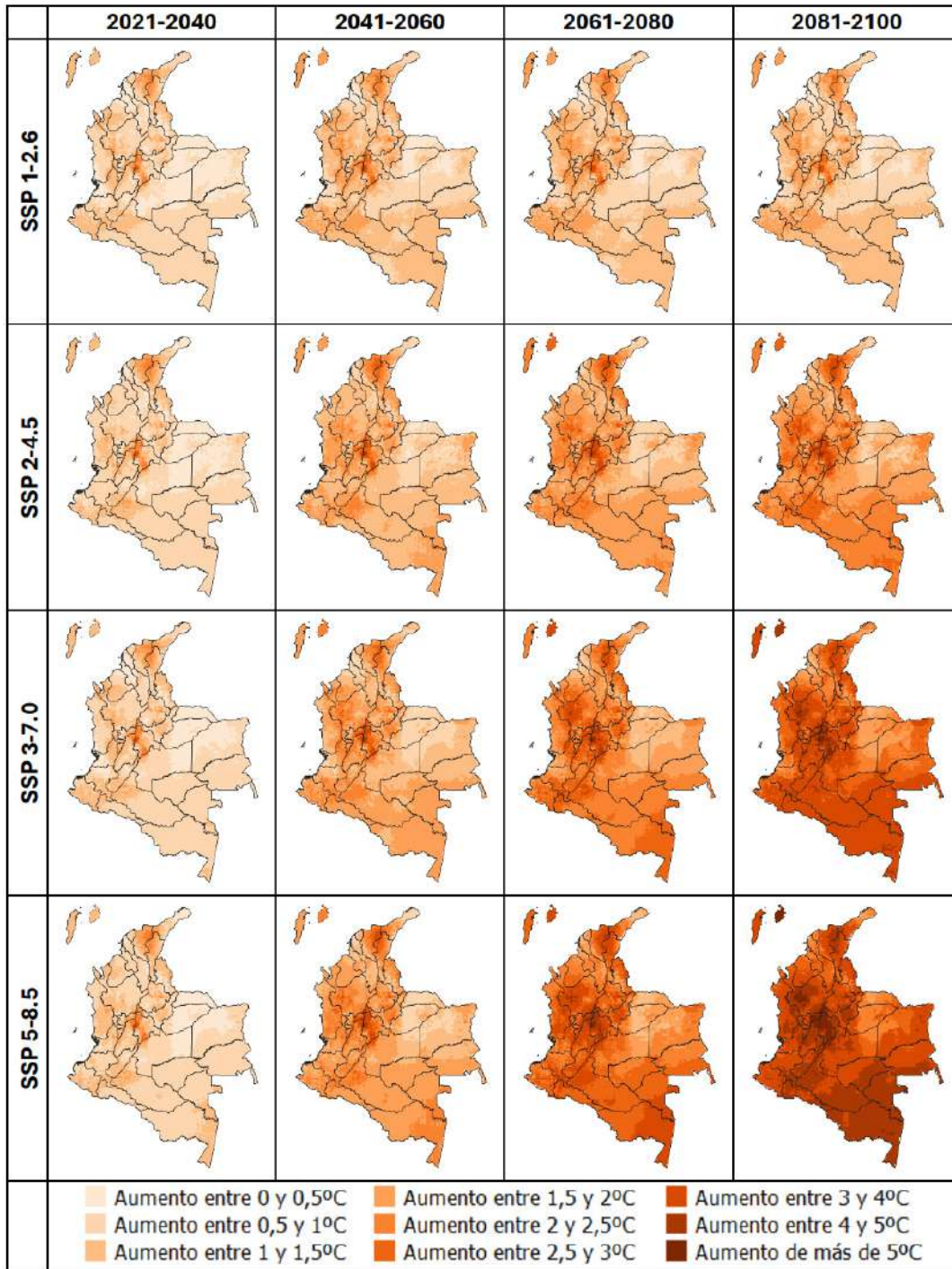


Figura 4.70. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

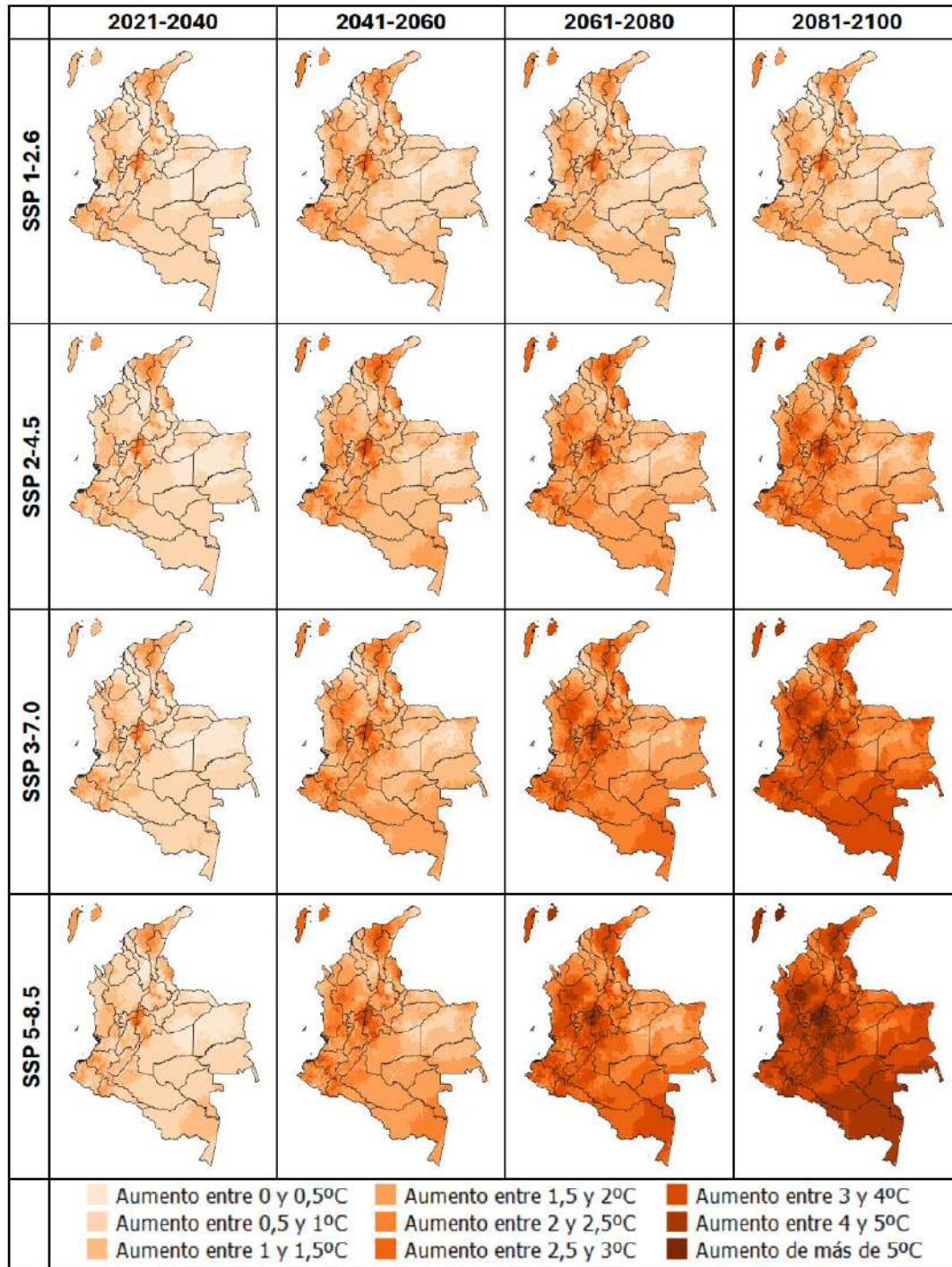


Figura 4.71. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

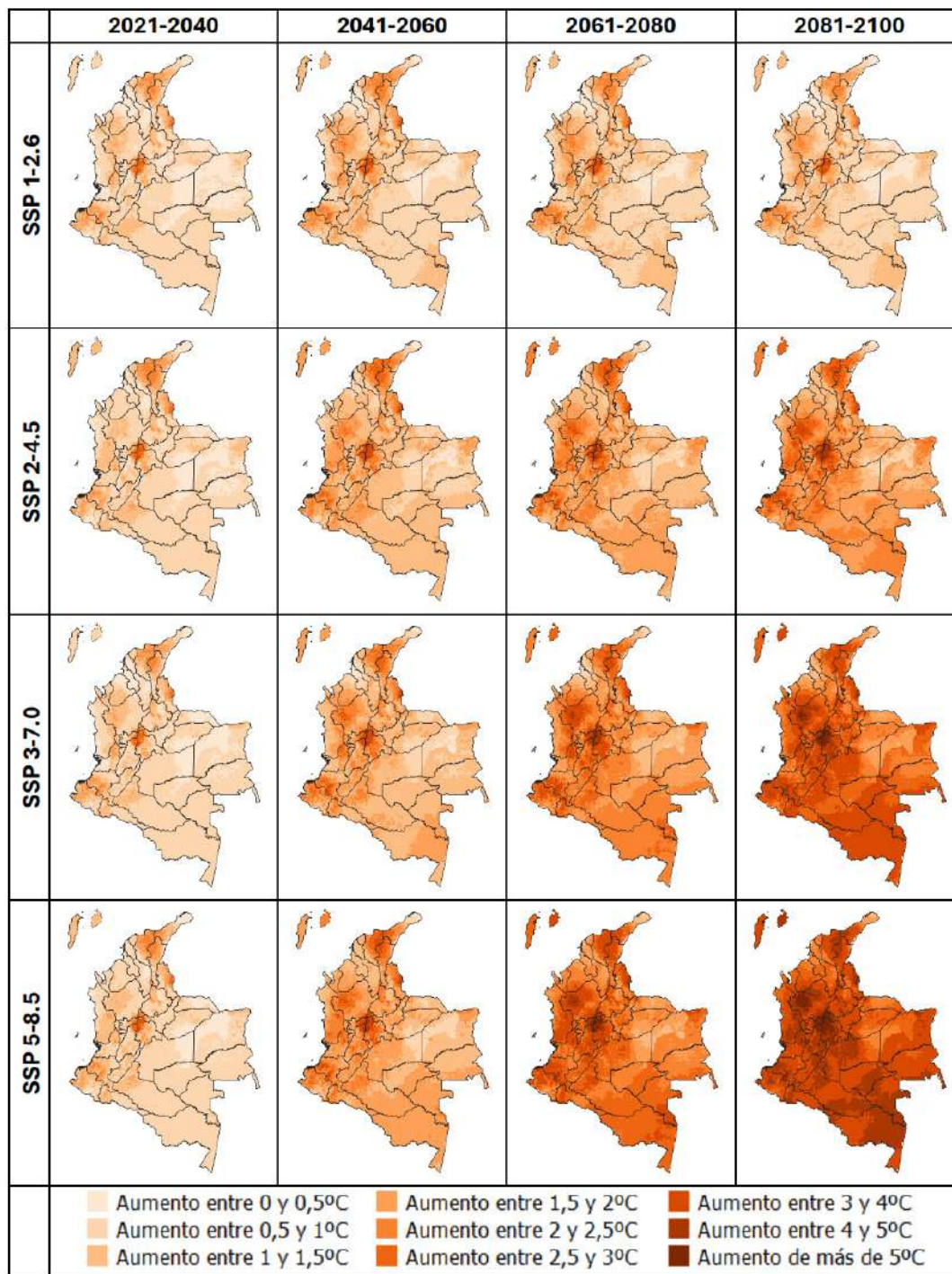
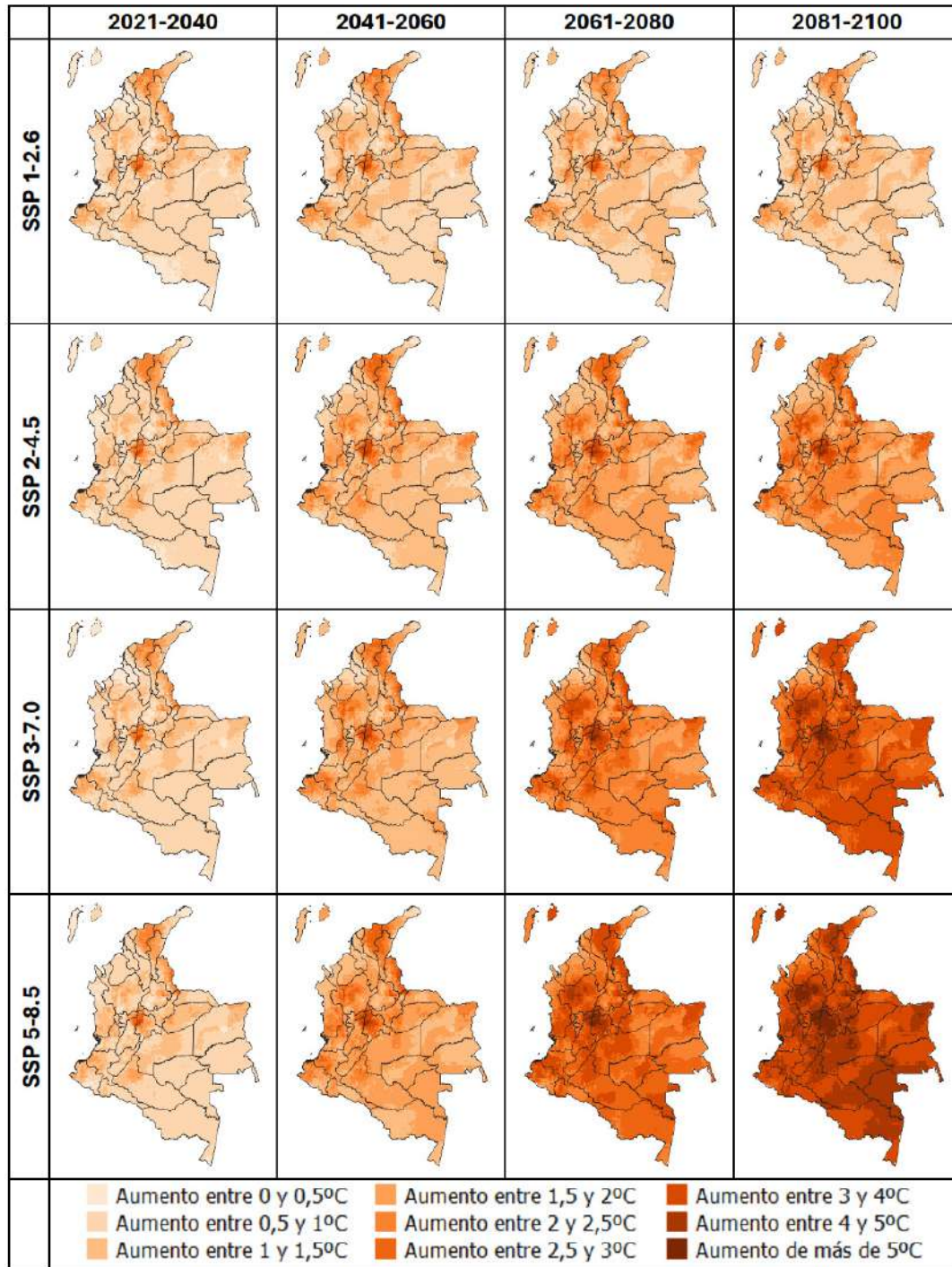


Figura 4.72. Cambio futuro proyectado de la temperatura mínima (°C) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.3.4. Temperatura media

La temperatura media también presentaría aumentos en todos los meses del año durante el siglo XXI desde los cuatro escenarios SSP; así, para el periodo 2021-2040 se tendrían aumentos entre 0,3 y 2,5°C, los cuales serían de más de 1,5 °C en determinados meses en las siguientes zonas: en el Catatumbo, de octubre a abril; en el nororiente de la región Orinoquia, entre octubre y enero, y en el centro de la región Andina y en Nariño, de septiembre a mayo.

Para 2041-2060, los aumentos serían de 0,4 a 4 °C en todos los escenarios, y los incrementos más altos (de 2 a 4 °C) se darían en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 en las zonas en los meses mencionados anteriormente. En el periodo 2061-2080, los aumentos también serían de 0,4 a 4°C, se mantendría el incremento de 0,4 a 2 °C en el SSP1-2.6, y sería de 1 a 3 °C en el SSP2-4.5, de 1 a 4 °C en el SSP3-7.0 y de 1,5 a 4 °C en el SSP5-8.5, con los mayores aumentos en las mismas zonas mencionadas.

Para finales de siglo, los aumentos serían de 0,4 a 2°C en el SSP1-2.6, de 1 a 4 °C en el SSP2-4.5 y de 2 a 5 °C en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5; los mayores incrementos de la temperatura media se verían en estos últimos escenarios en gran parte de Colombia, en comparación con la temperatura del periodo histórico 1981-2010. Los aumentos más altos se darían en todos los meses del año hacia finales del siglo XXI en el escenario SSP5-8.5, y entre abril y julio habría menores valores de incremento, en comparación con los otros meses del año (figuras de la 4.73 a la 4.84).



Figura 4.73. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

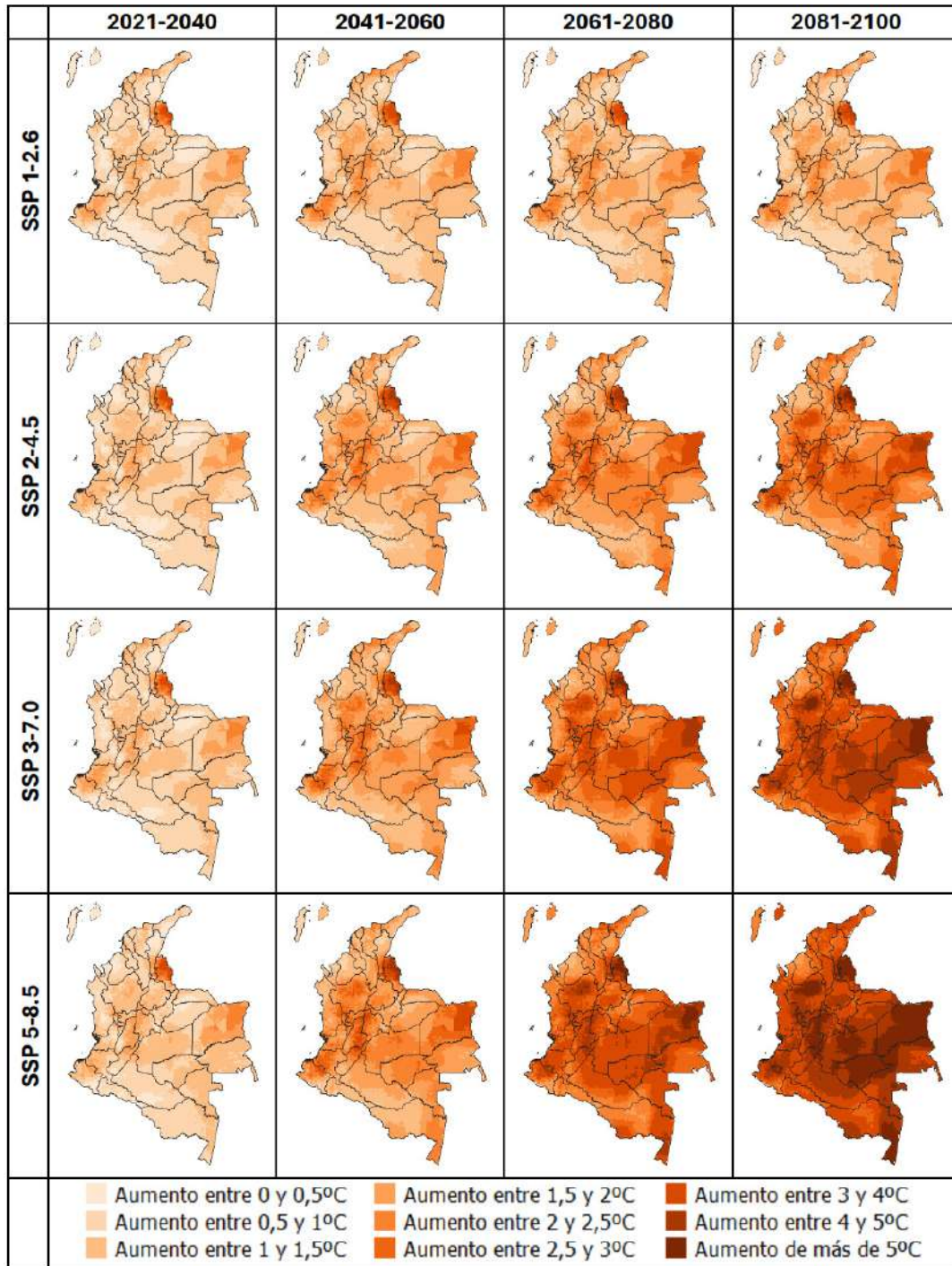


Figura 4.74. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

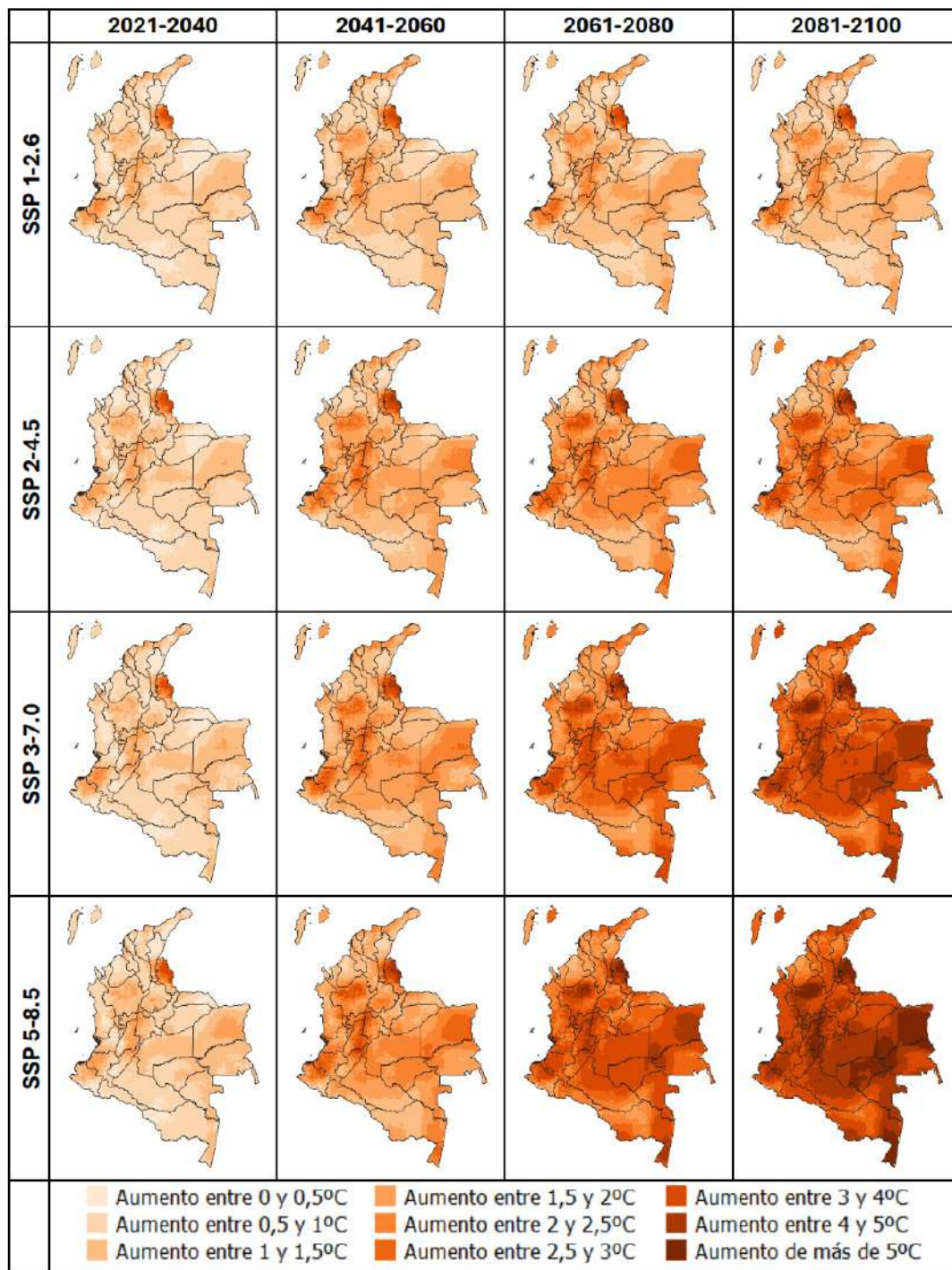


Figura 4.75. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

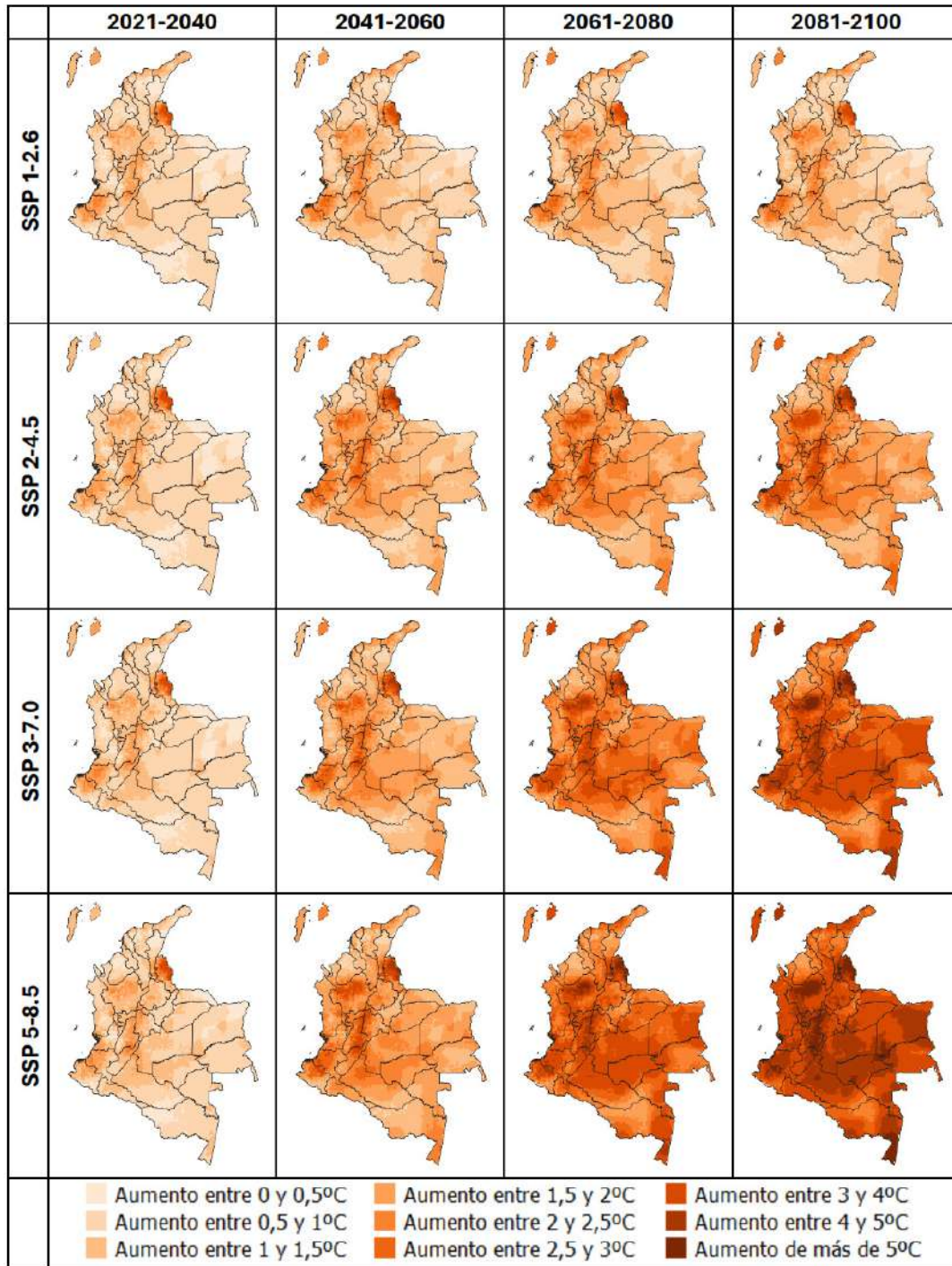


Figura 4.76. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

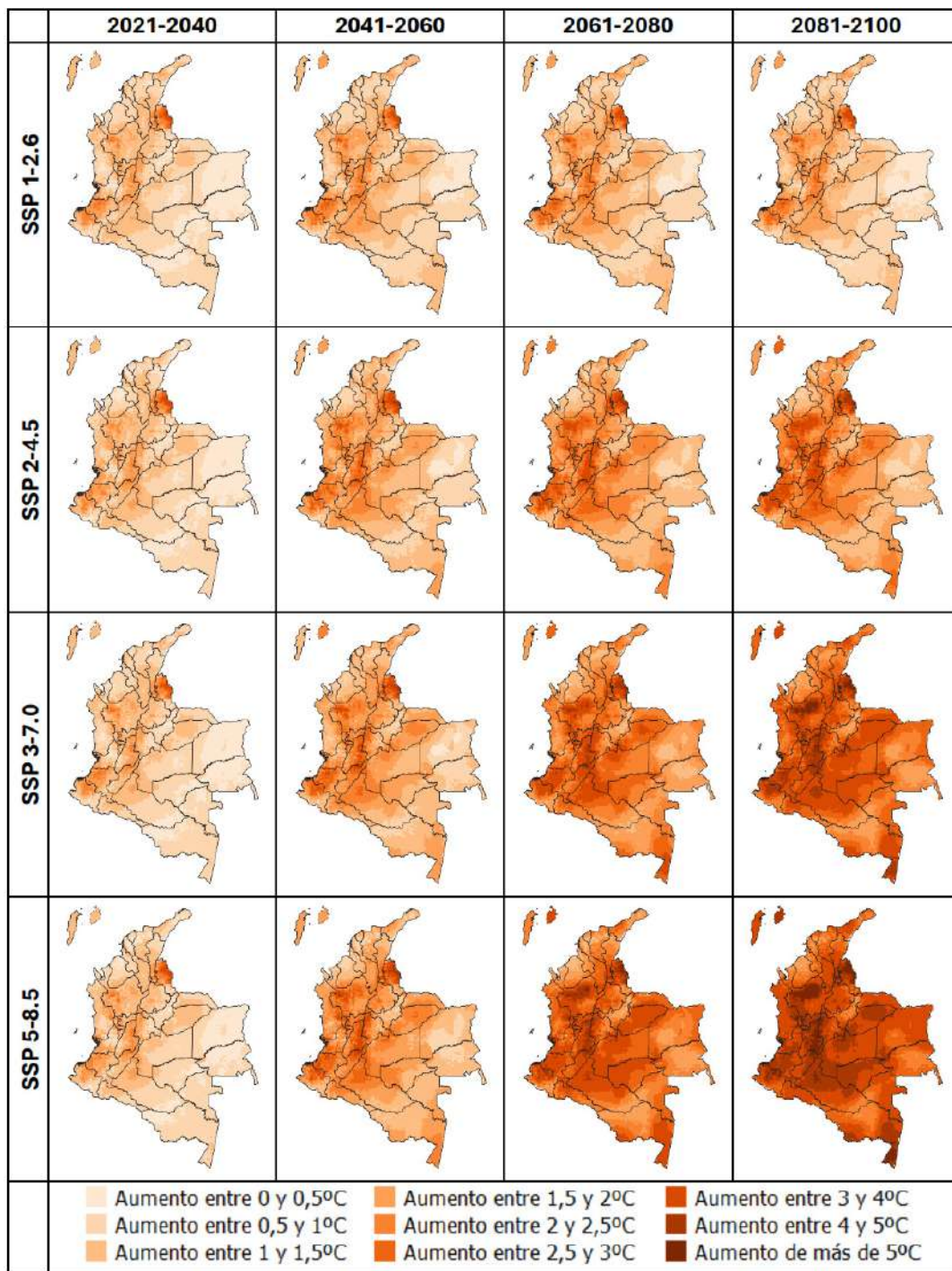


Figura 4.77. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

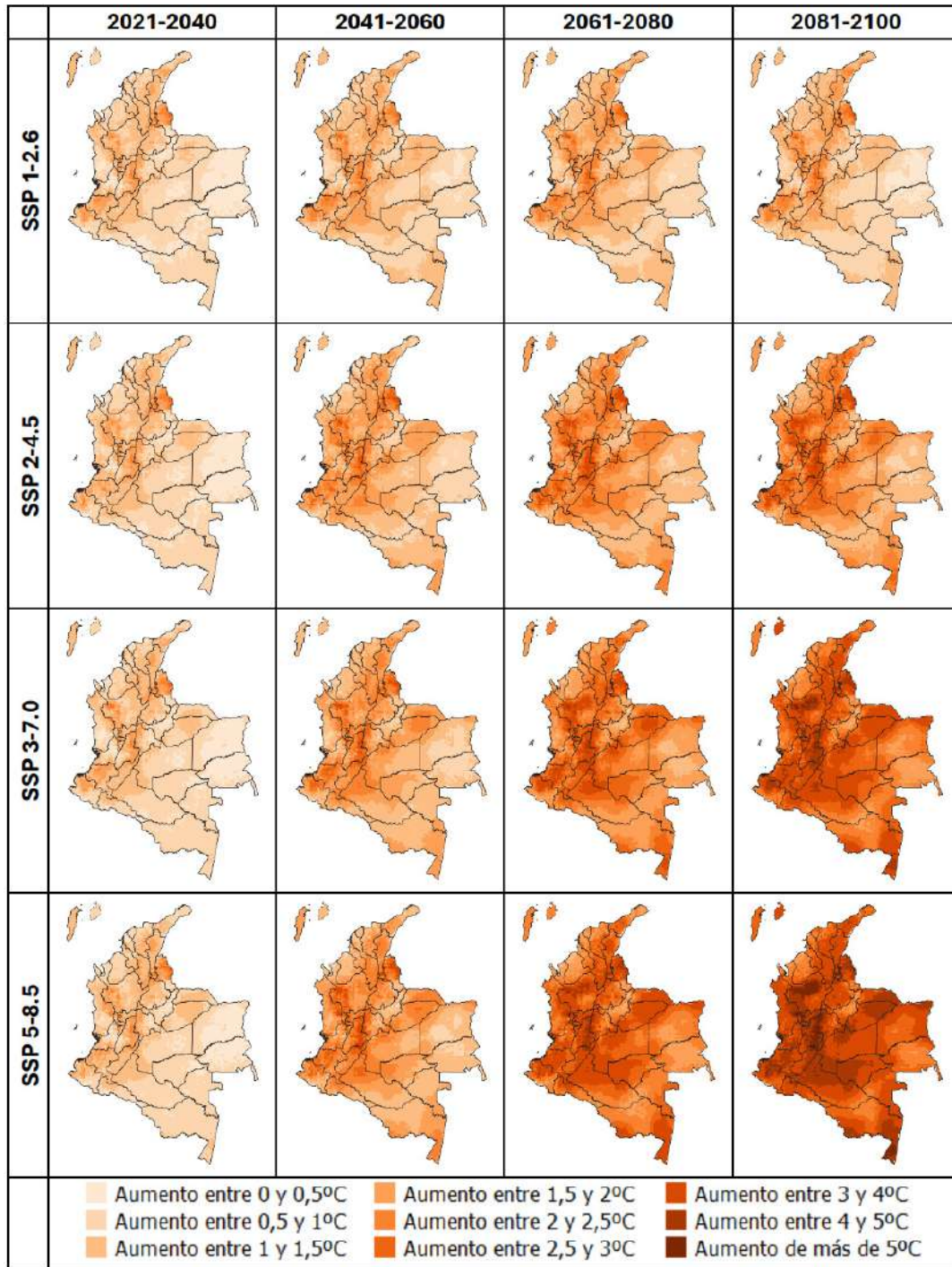


Figura 4.78. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

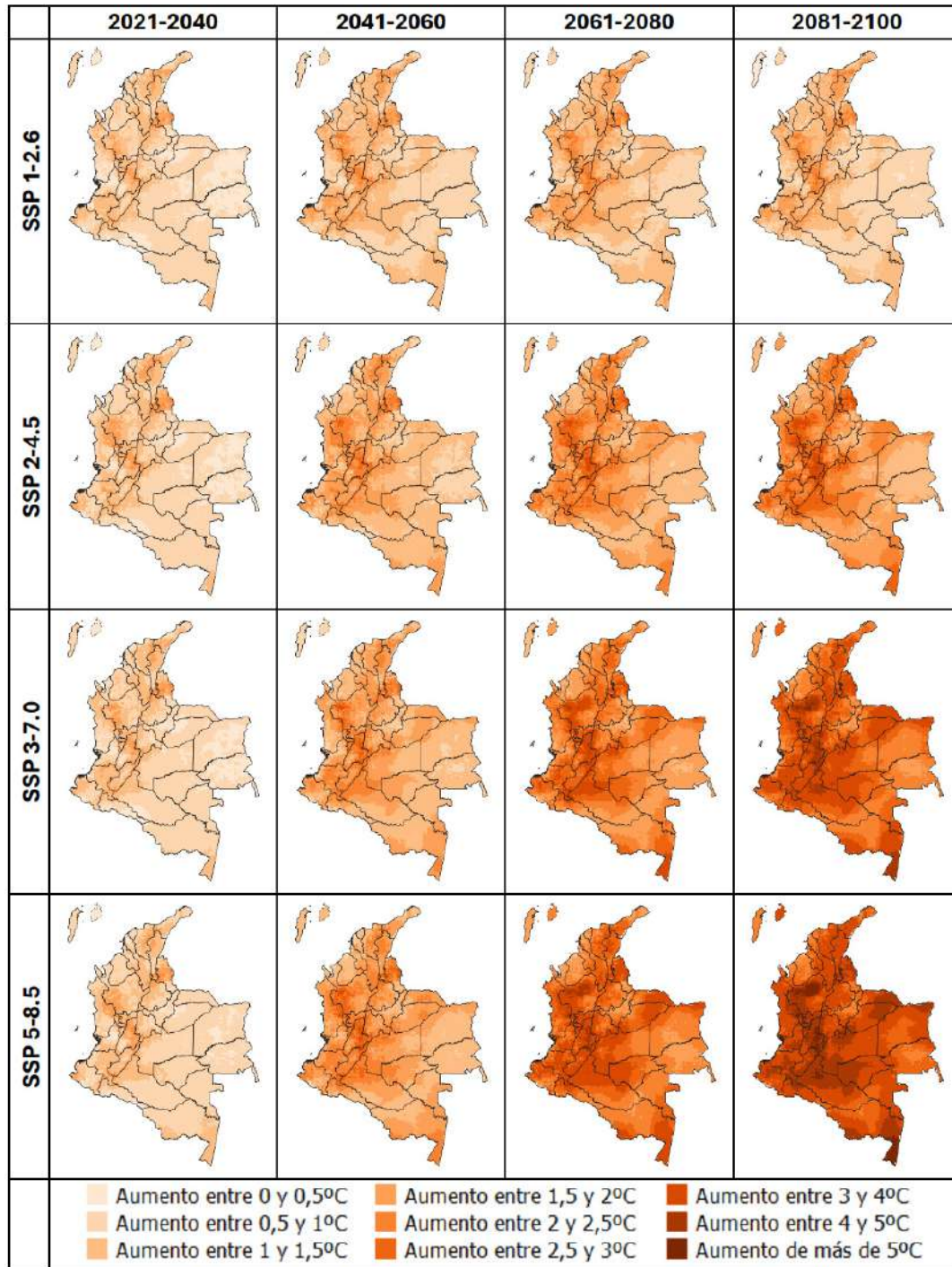


Figura 4.79. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

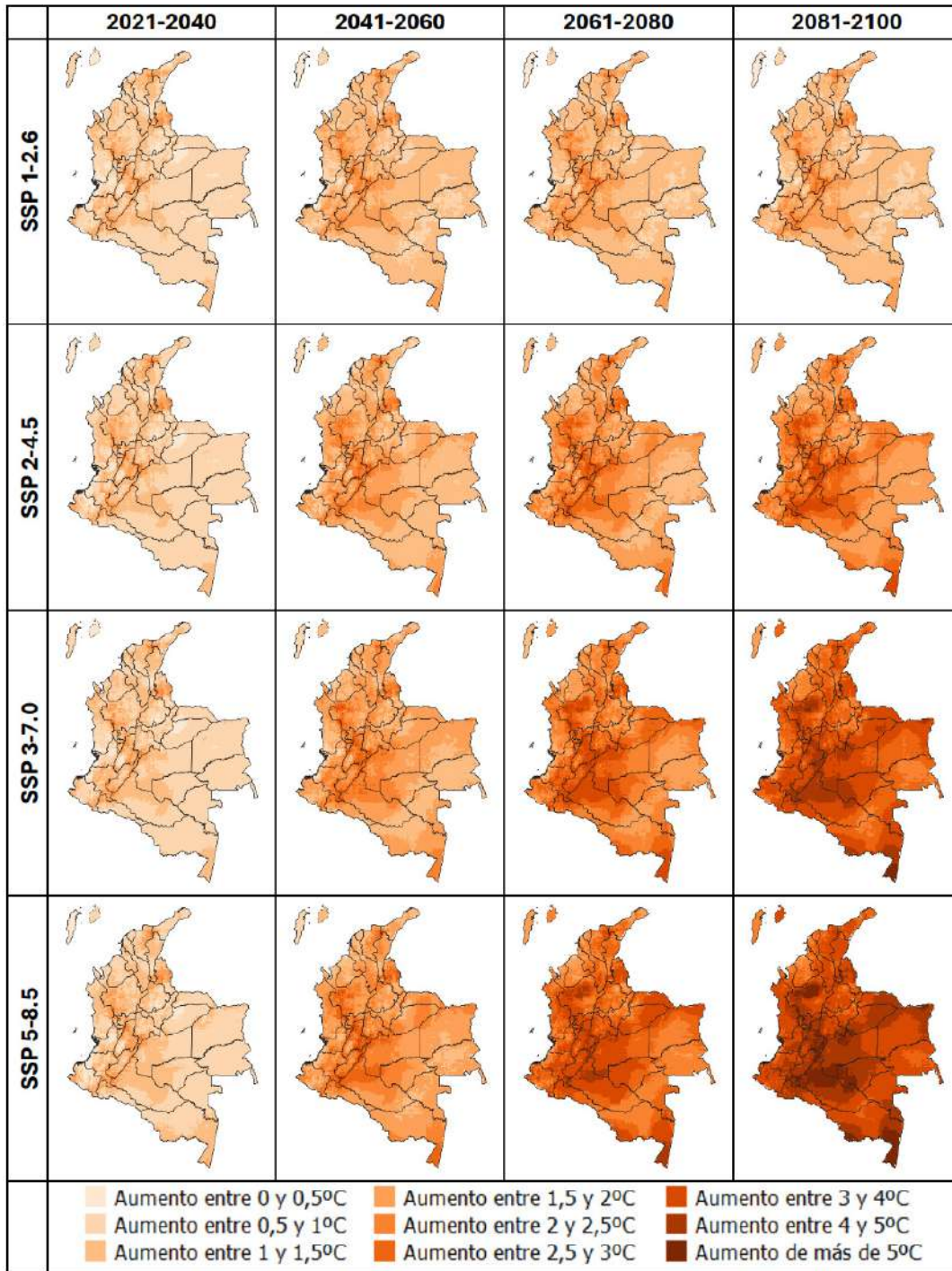


Figura 4.80. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

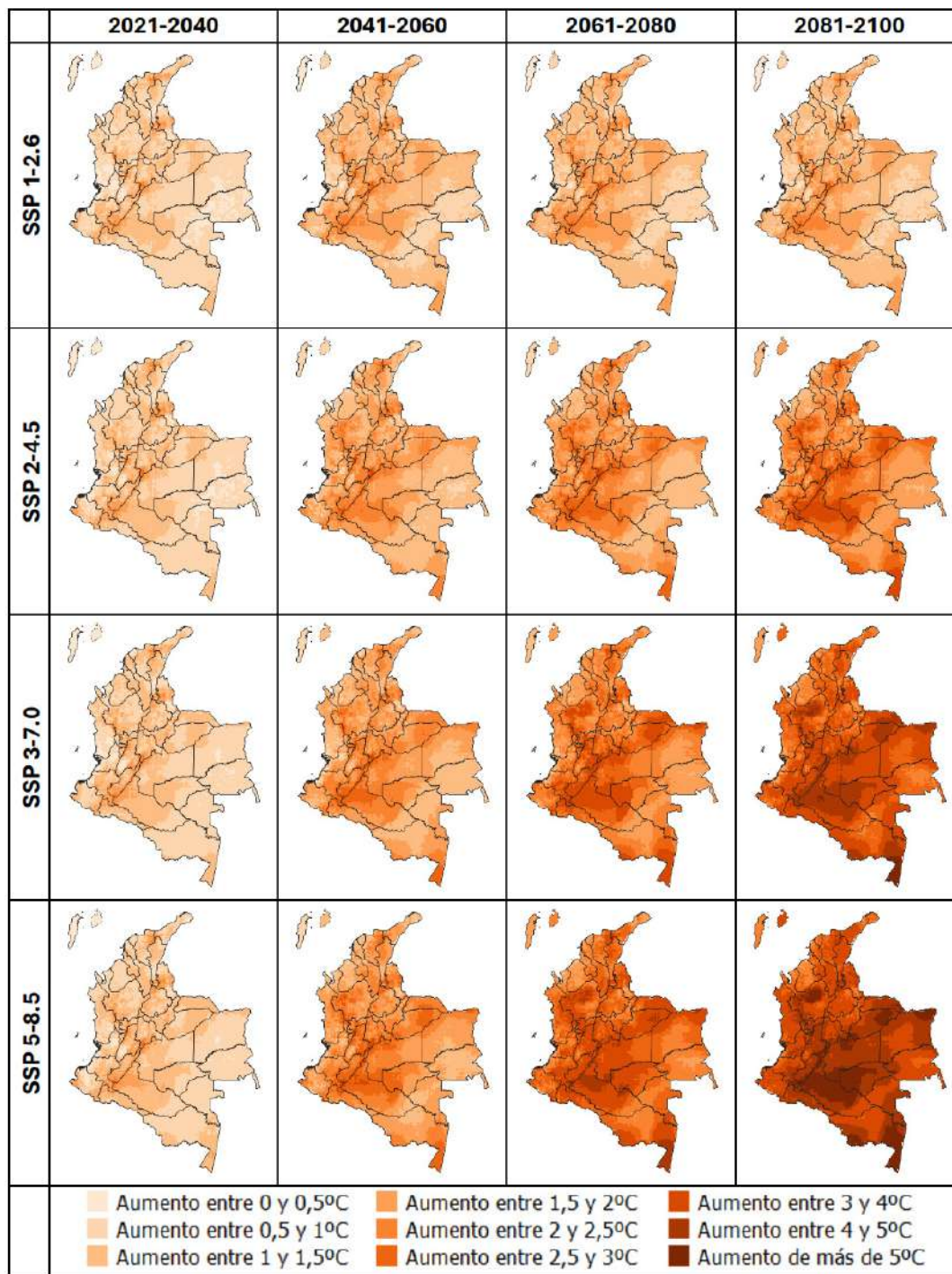


Figura 4.81. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

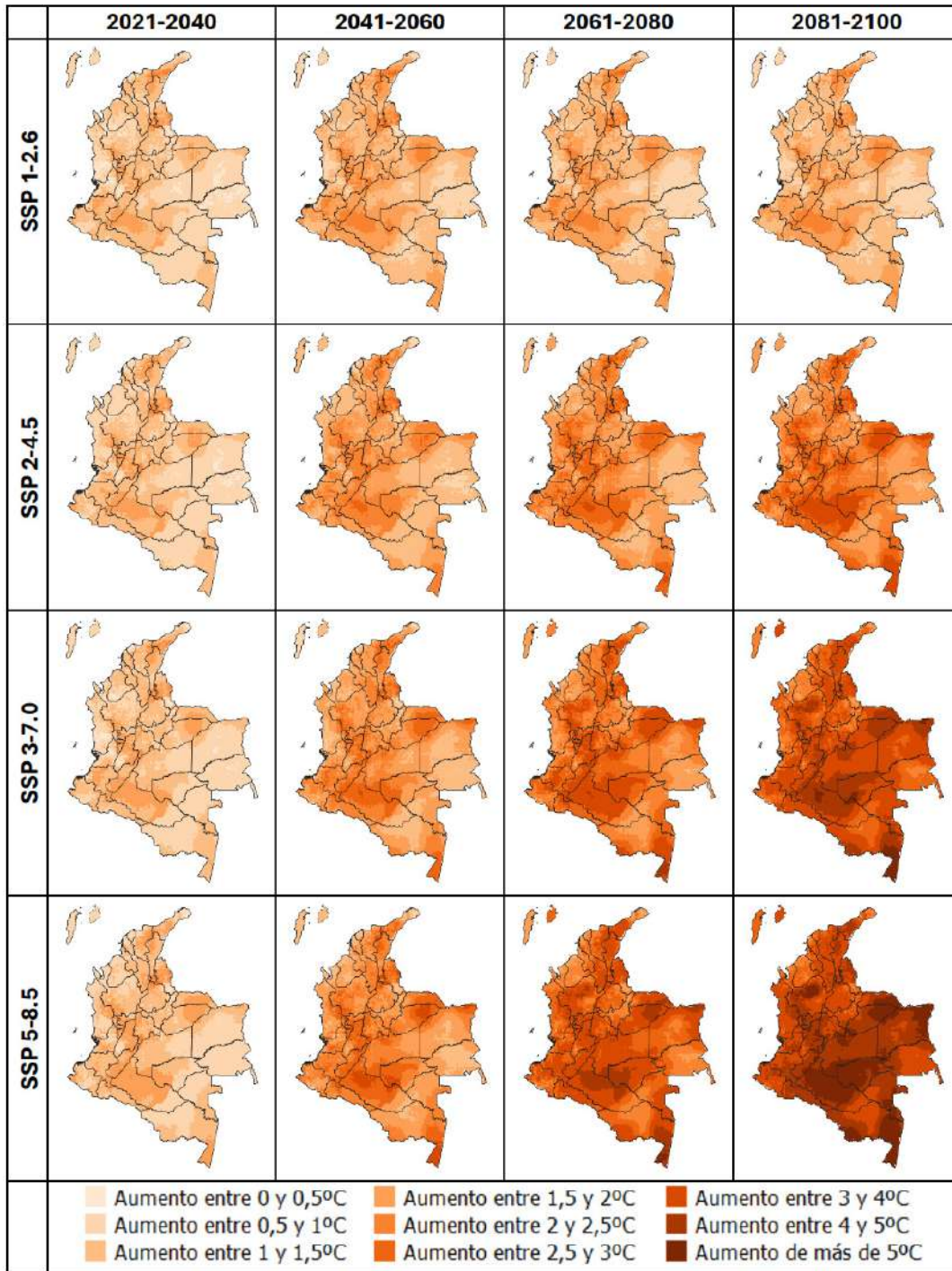


Figura 4.82. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

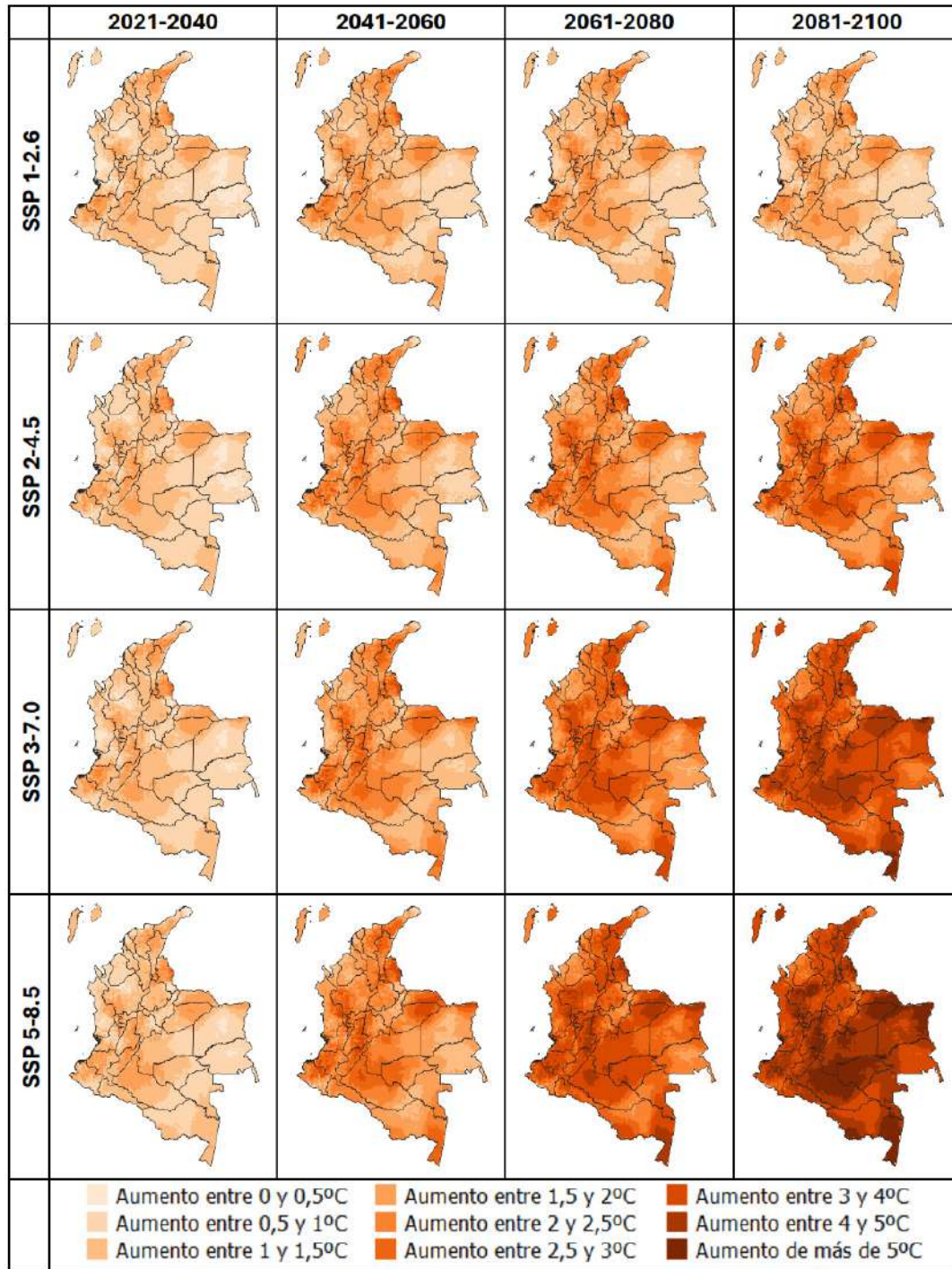


Figura 4.83. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

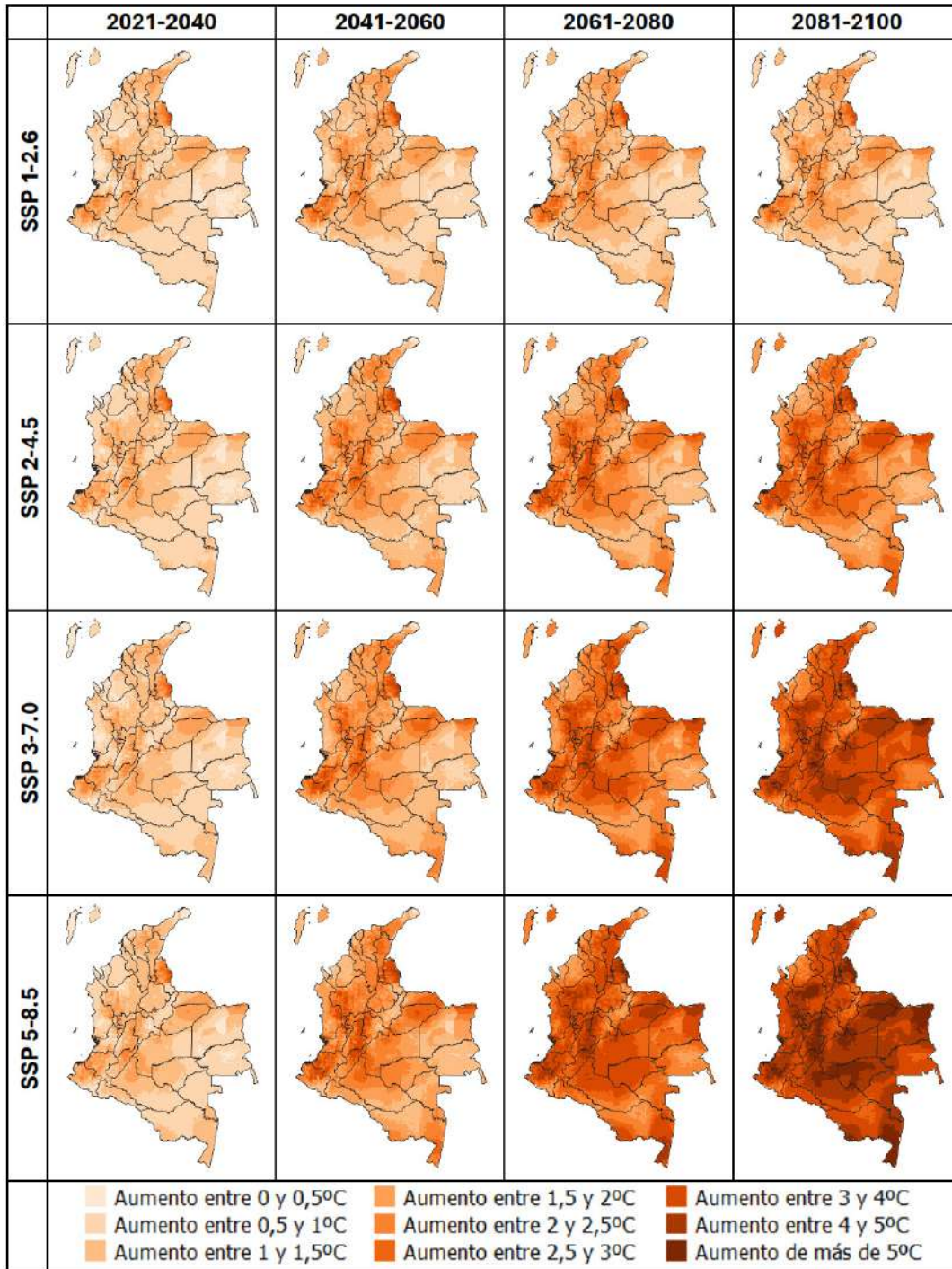
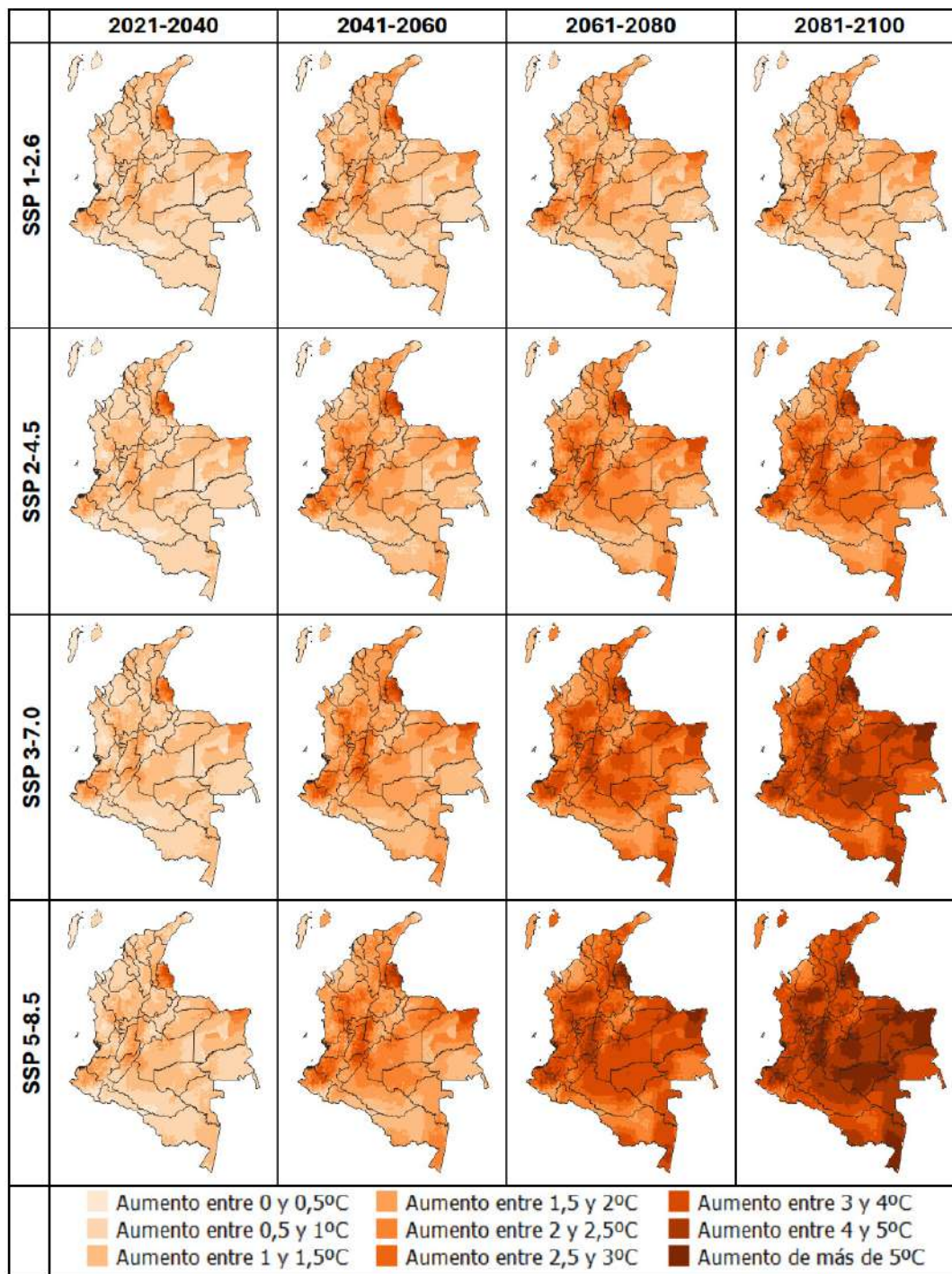


Figura 4.84. Cambio futuro proyectado de la temperatura media (°C) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.3.5. Humedad relativa

Para enero (figura 4.85), en la primera mitad del siglo XXI se darían aumentos de más del 8 % en la humedad relativa en el occidente de la Orinoquia y el centro de la Amazonia, mientras que en la región Caribe y el norte de las regiones Andina y Orinoquia se darían reducciones de más del 10 %, en comparación con la histórica del periodo 1981-2010. Para la segunda mitad del siglo, los incrementos de la humedad solo se mantendrían en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5, mientras que en los otros dos escenarios (SSP3-7.0 y SSP5-8.5) los aumentos serían menores, y solamente se concentrarían en el occidente de la Orinoquia; sin embargo, en estos dos escenarios las zonas con reducciones superiores al 10 % serían más: cubrirían gran parte de la región Orinoquia, del norte de la región Andina y toda la región Caribe.

Febrero presentaría un comportamiento similar al de enero, pero la zona con los mayores aumentos de humedad relativa (superiores al 10 %) se expandiría hacia el norte de la Amazonia y el occidente Orinoquia, mientras que en la región Caribe y el norte de las regiones Andina y Orinoquia se darían reducciones también del 10 % (figura 4.86). Para marzo (figura 4.87), en los cuatro escenarios SSP, la humedad relativa presentaría aumentos de más del 8 % en la región Orinoquia para el periodo 2021-2080. Para finales de siglo, en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 ya no se presentarían aumentos altos en las zonas mencionadas anteriormente, y durante todo el siglo se tendrían reducciones considerables (de más del 8 %) en la región Caribe y en el norte de la región Andina.

En abril, la humedad relativa presentaría aumentos de más del 8 % hacia el oriente de la región Orinoquia, mientras que en el centro de la región Andina se darían reducciones del 2 % al 6%. Para el resto del país, los cambios no superarían el 4 % en los cuatro escenarios SSP a lo largo del siglo XXI (figura 4.88). En mayo (figura 4.89), se presentarían cambios de la humedad relativa entre -4 % y 4 % a lo largo del siglo XXI en los cuatro escenarios SSP; solo se darían aumentos más altos (entre el 4 % y el 8 %) en el norte de la región Andina en los escenarios SSP1-2.6 y SSP2-4.5. Junio tendría aumentos de la humedad relativa en el sur y el norte de la región Andina en el periodo 2021-2080, alrededor del 2 % al 8 %, y reducciones en la Orinoquia entre el 2 % y el 6 % en todos los escenarios de cambio climático (figura 4.90).

Por su parte, julio (figura 4.91), agosto (figura 4.92) y septiembre (figura 4.93) presentarían reducciones de más del 8 % de la humedad relativa en las regiones Orinoquia y Amazonia, y aumentos del mismo porcentaje en el centro de la región Caribe y en algunas zonas del norte y el centro de la región Andina, en comparación con los valores históricos del periodo 1981-2010.

En octubre habría reducciones de la humedad relativa en la mayor parte del país en los cuatro escenarios SSP durante el siglo XXI. Las mayores disminuciones (de más del 8 %) se darían en la región Amazonia en la segunda mitad del siglo XXI en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 (figura 4.94). Para noviembre, se tendrían reducciones de la humedad relativa entre el 2 % y el 8 % en el centro de la región Andina y en el occidente de las regiones Amazonia y Orinoquia (figura 4.95), mientras que en el resto del territorio nacional se presentarían cambios inferiores al 4 % para todo el siglo XXI en los cuatro escenarios SSP.

Por último, para diciembre también se tendrían reducciones de la humedad relativa en la gran mayoría del territorio colombiano durante el siglo XXI, con leves aumentos en Nariño. Las disminuciones más altas (de más del 8 %) se darían a finales de siglo en el escenario SSP5-8.5 en el norte de las regiones Andina y Orinoquia, y en el centro de la región Caribe (figura 4.96).

Figura 4.85. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

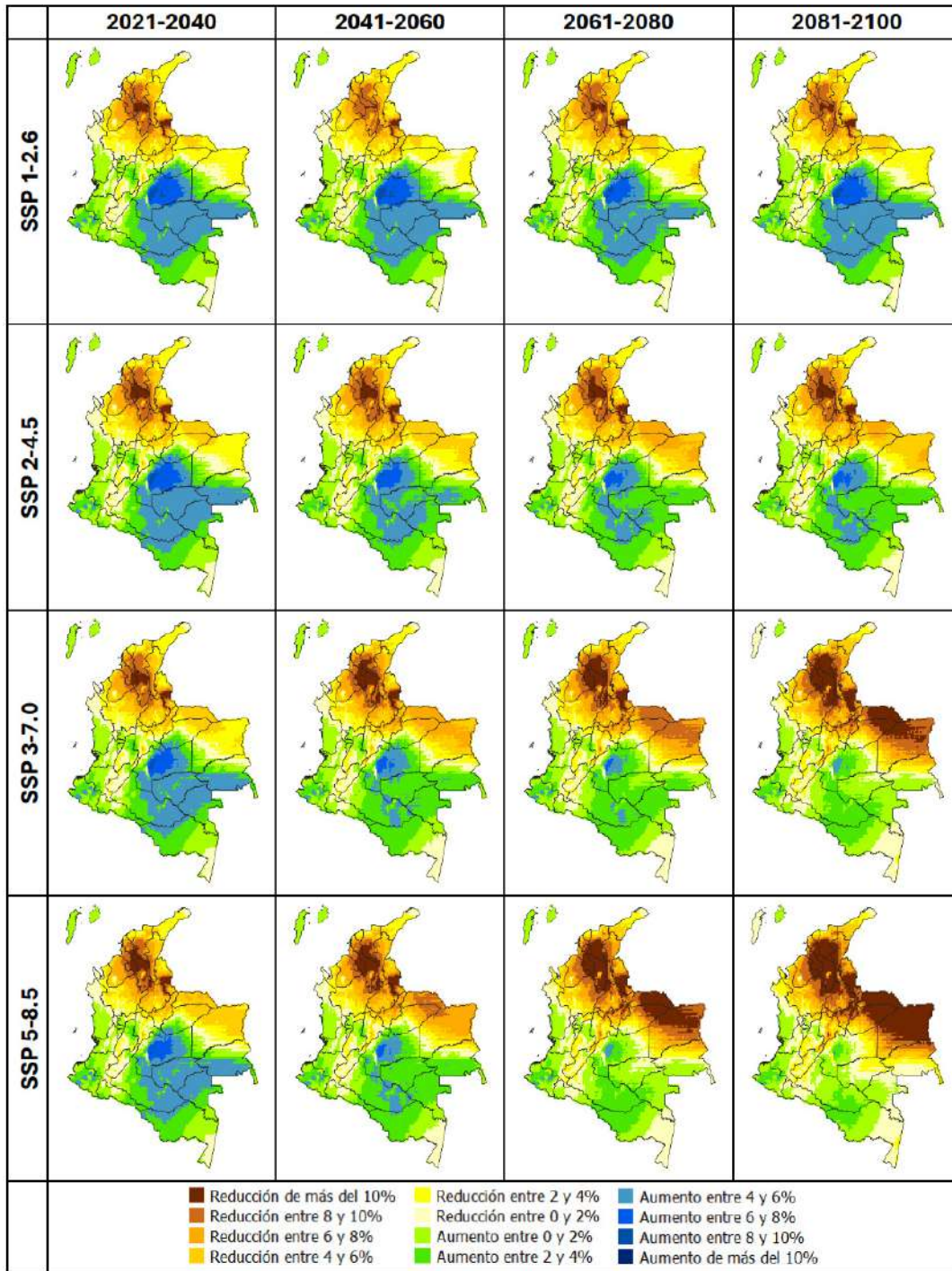


Figura 4.86. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

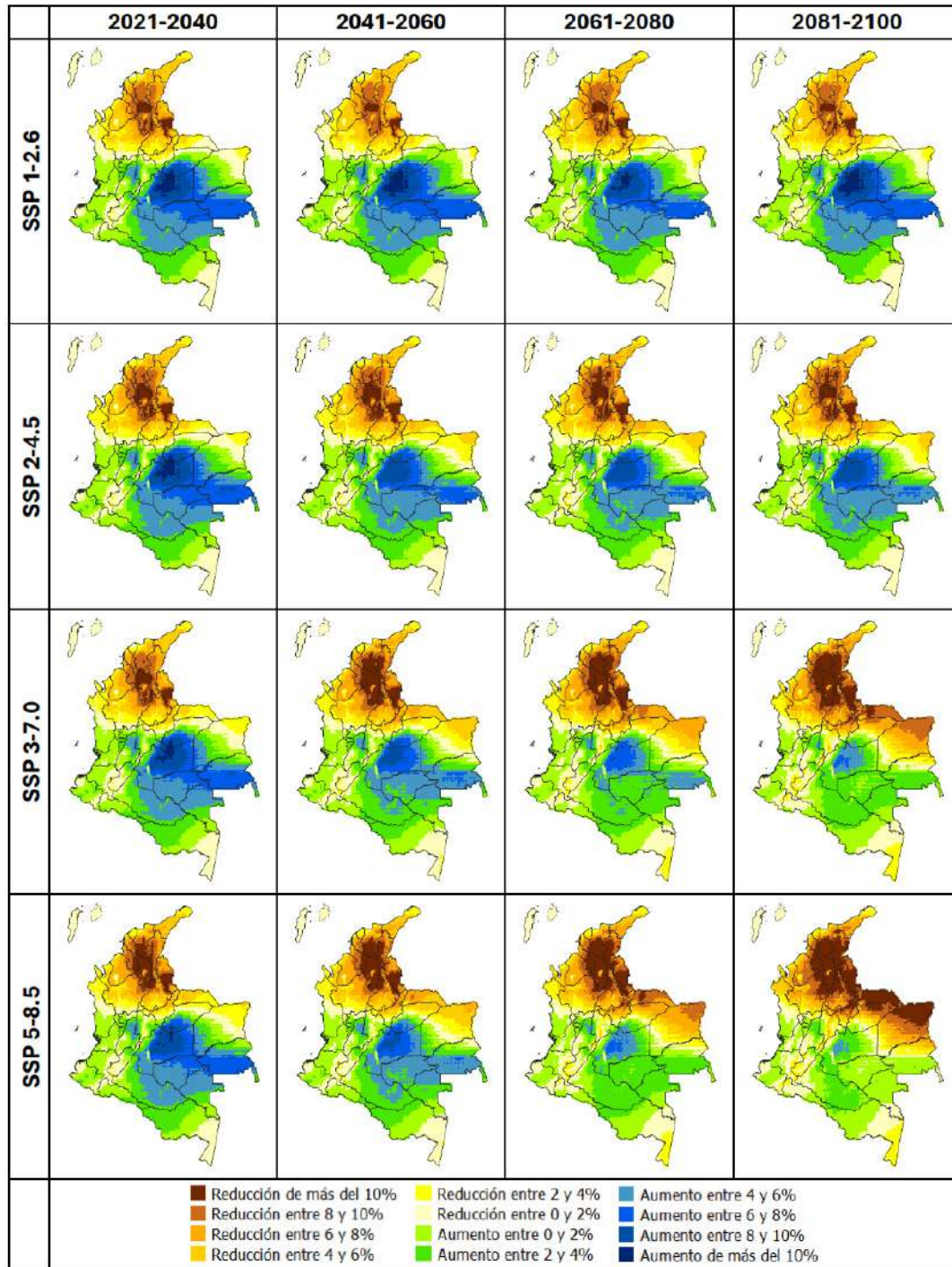


Figura 4.87. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

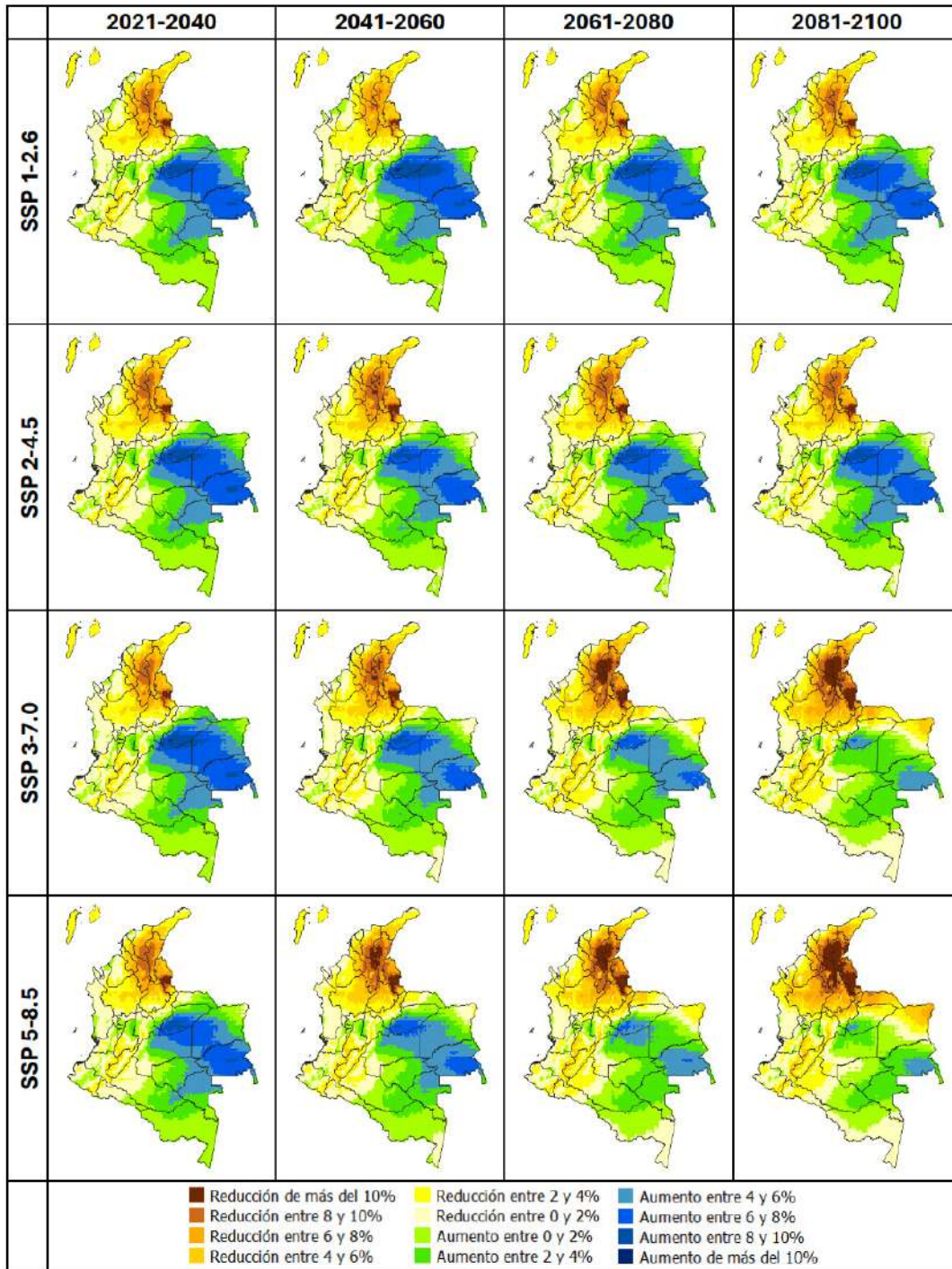


Figura 4.88. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

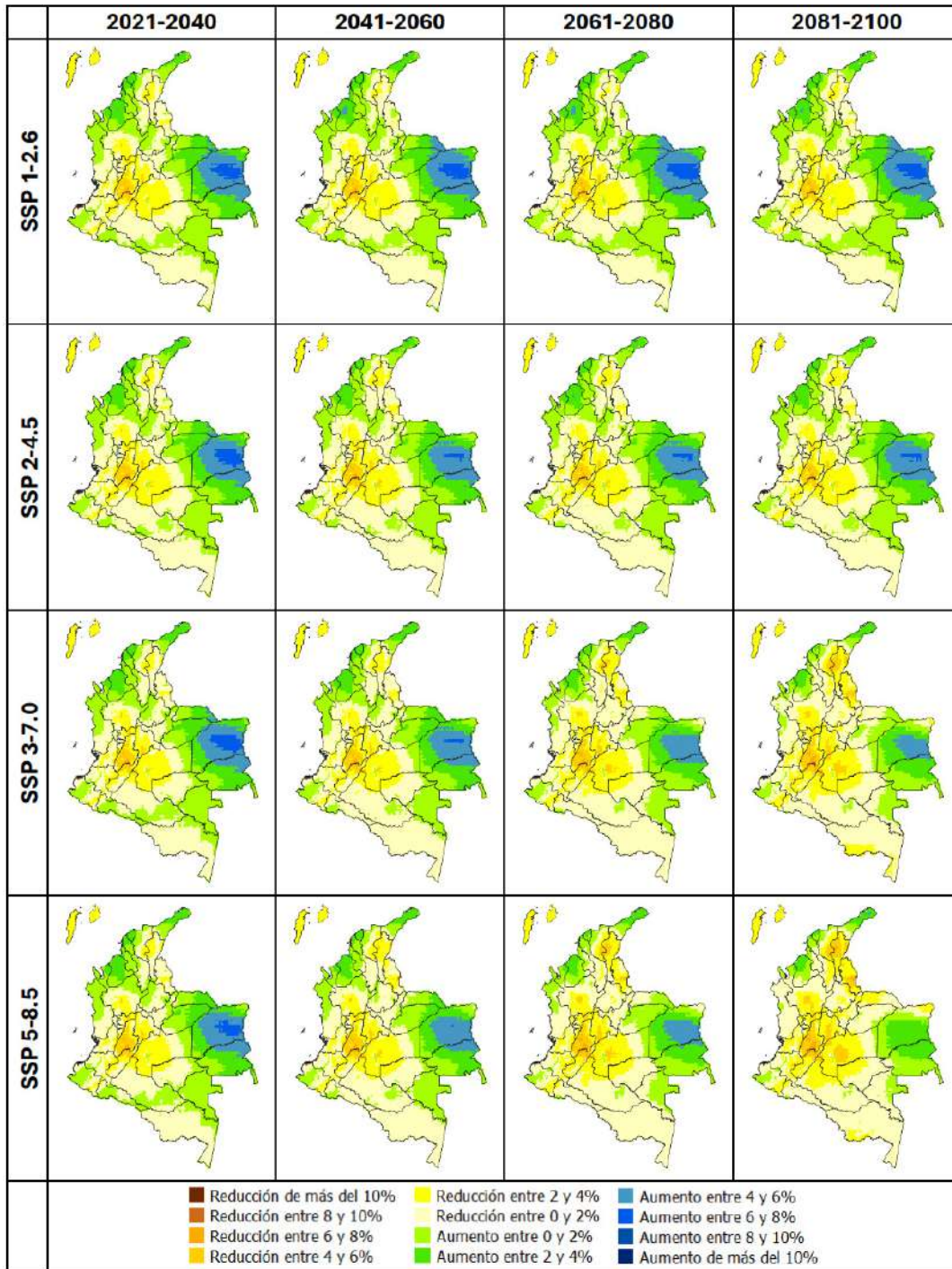


Figura 4.89. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

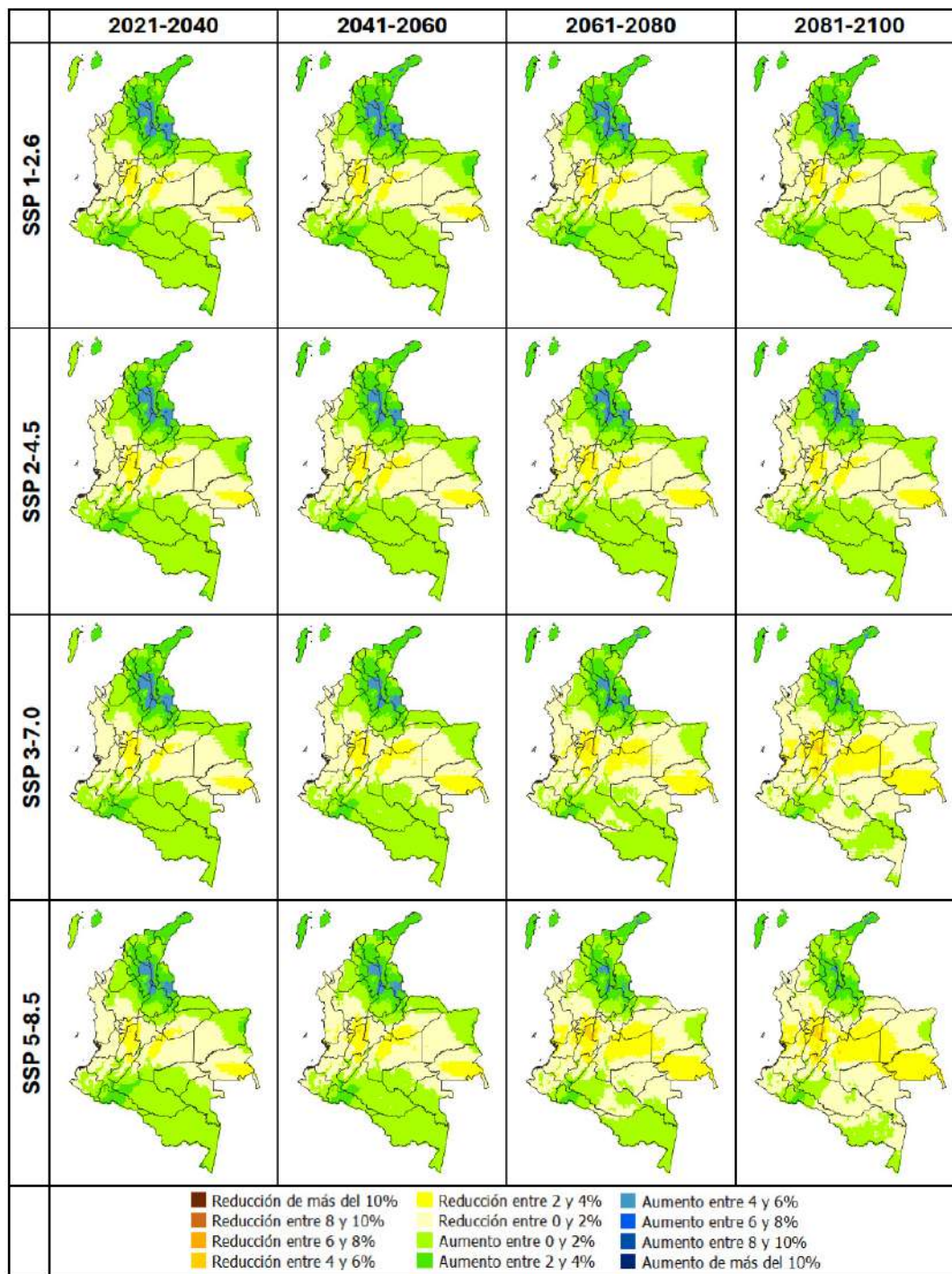


Figura 4.90. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

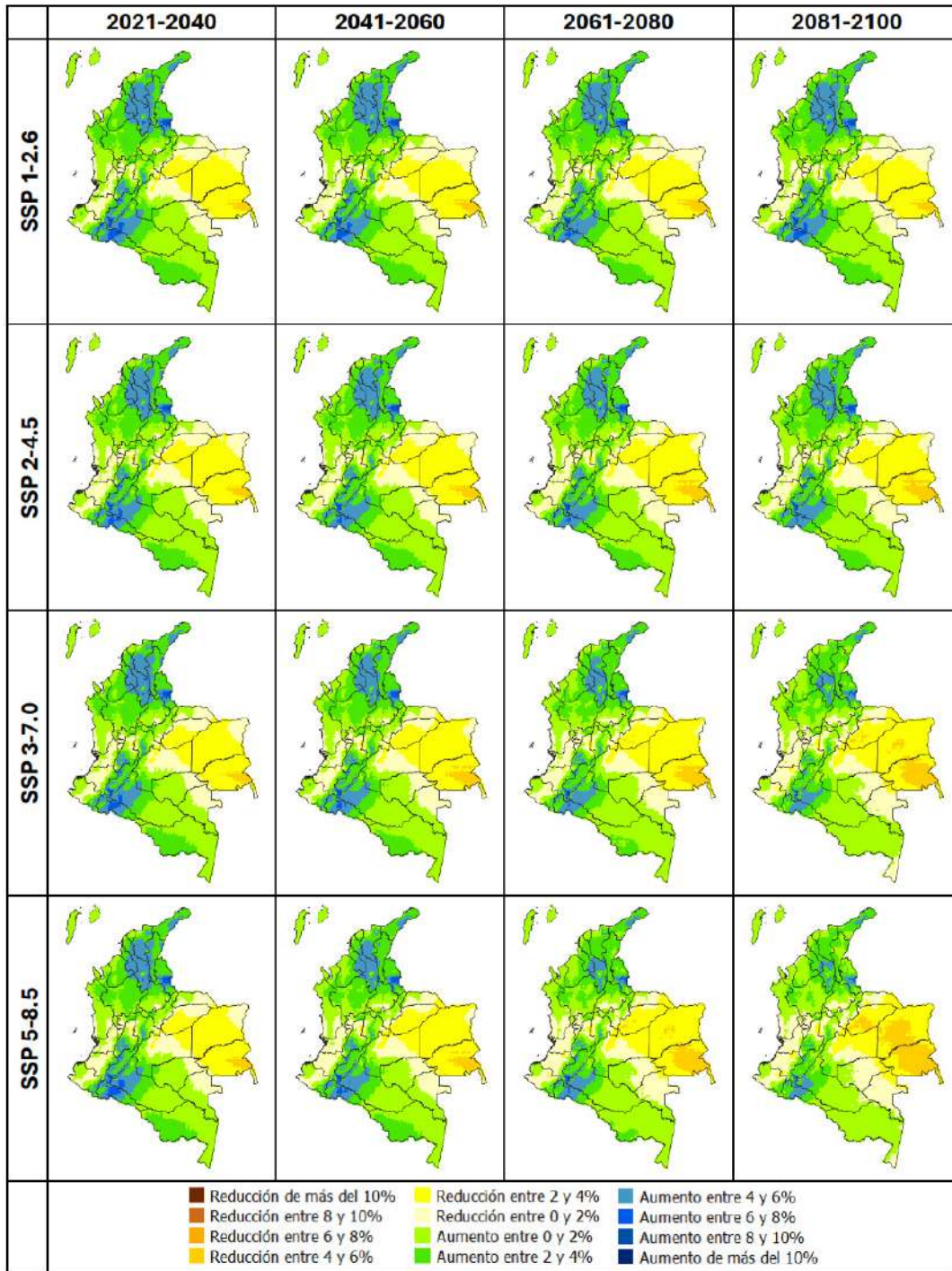


Figura 4.91. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

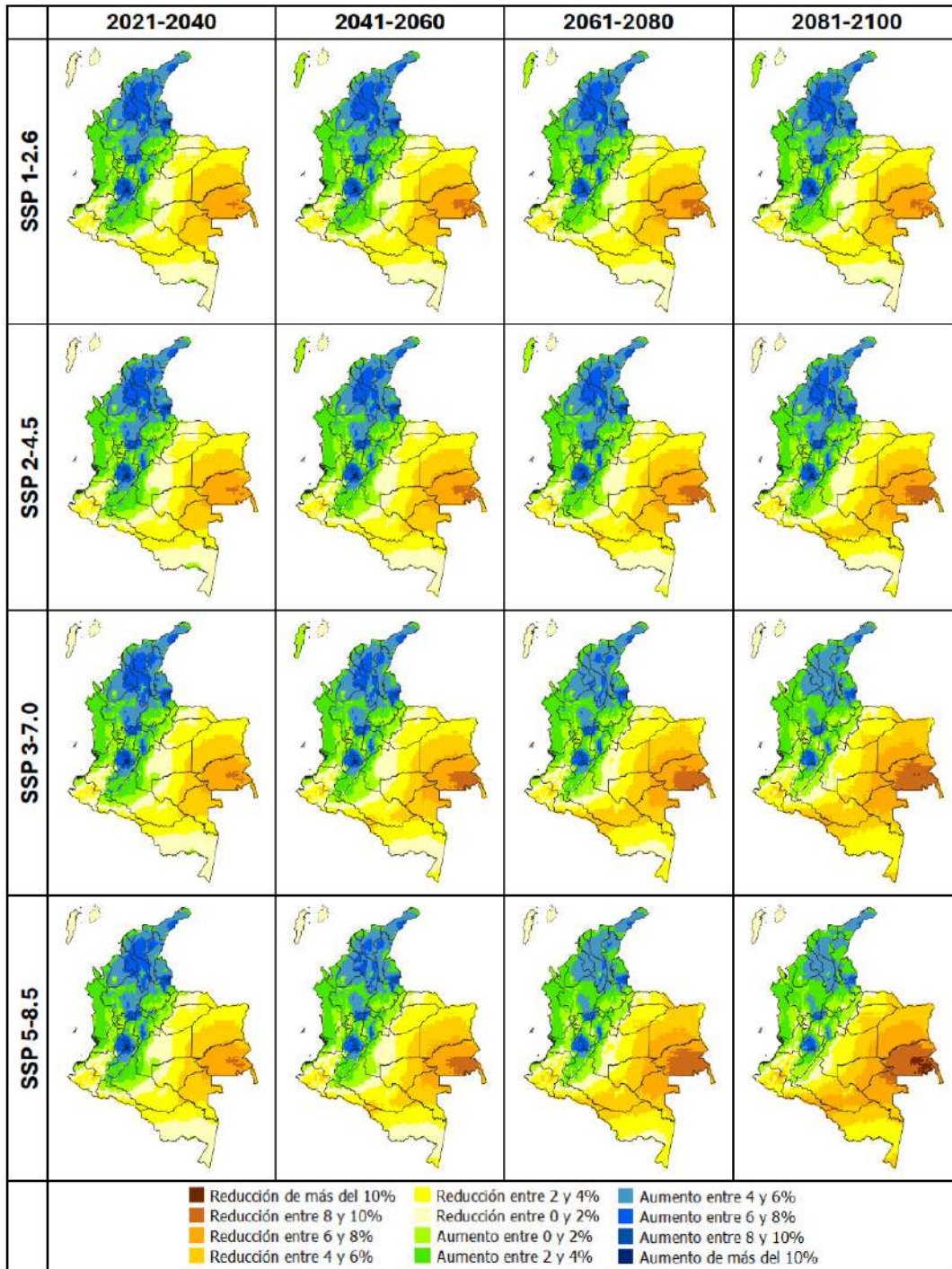


Figura 4.92. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

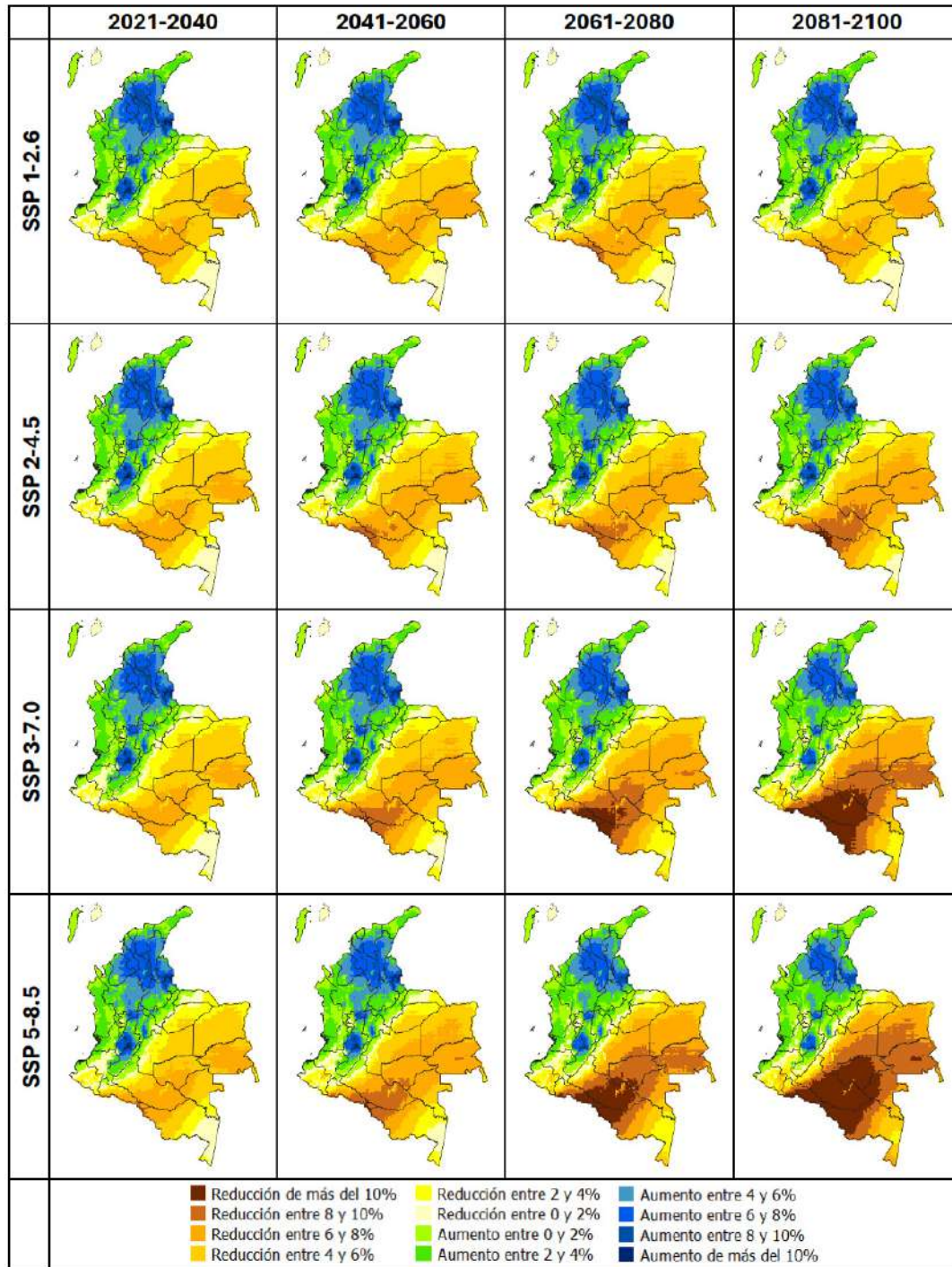


Figura 4.93. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

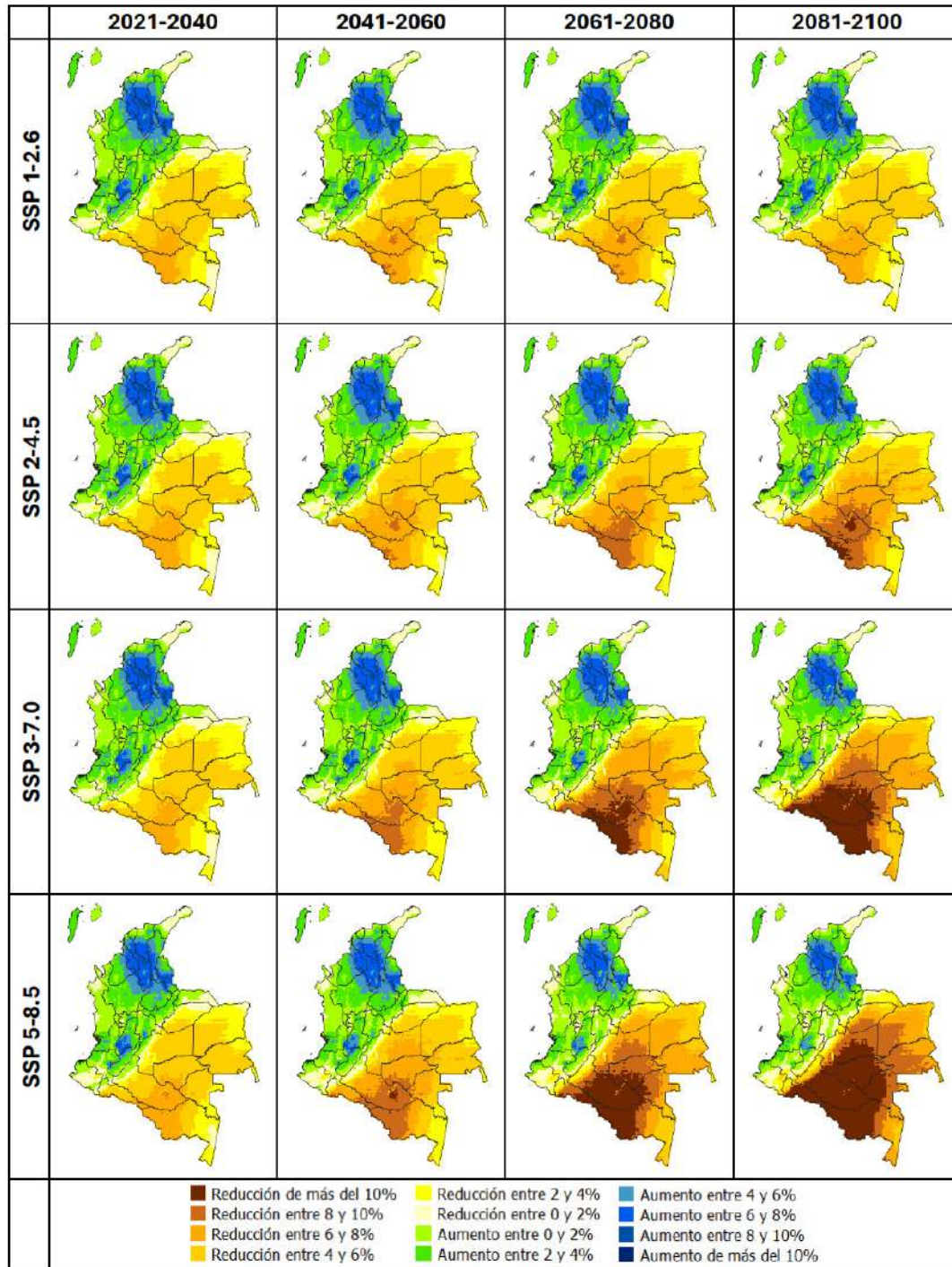


Figura 4.94. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

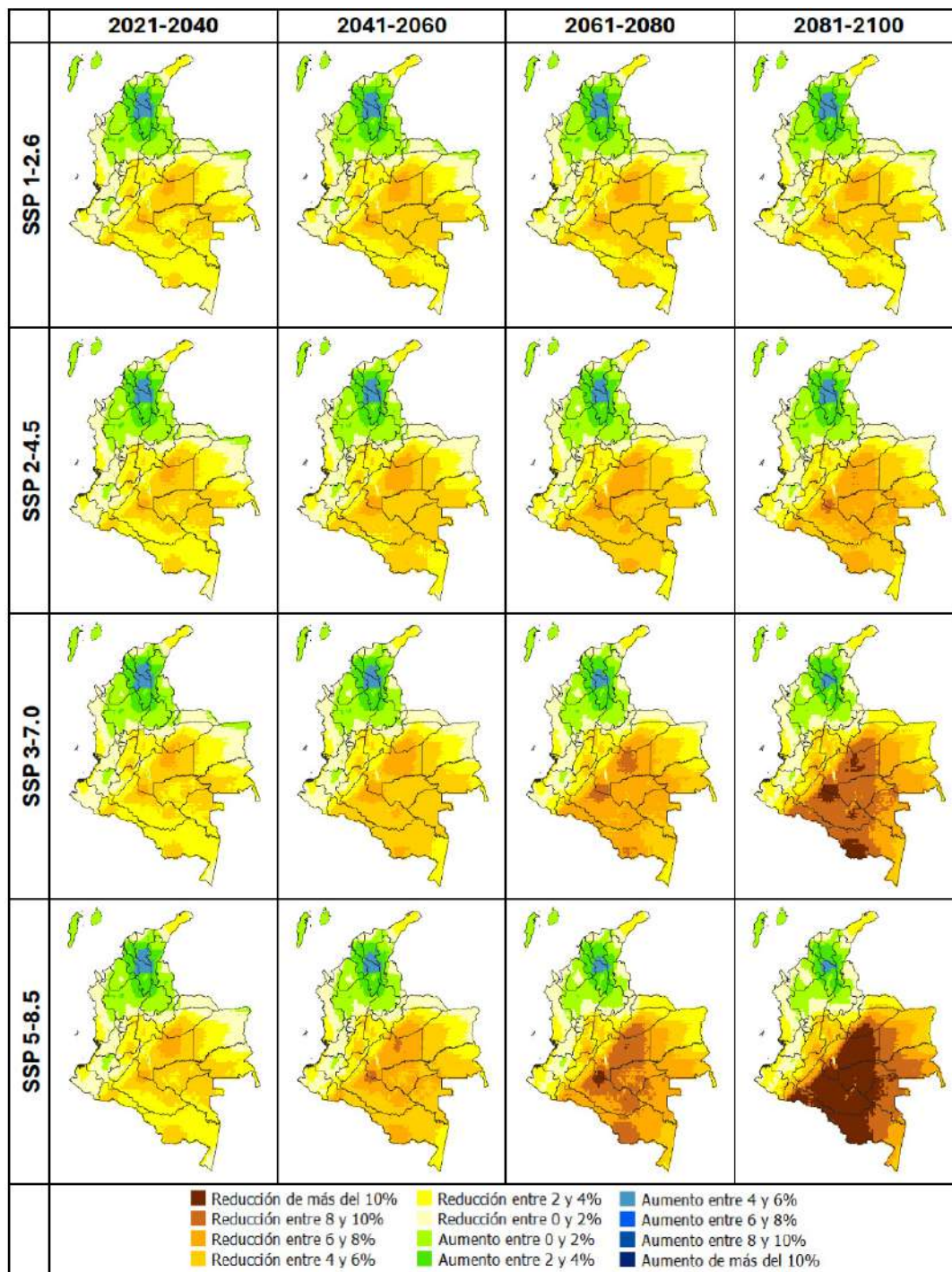


Figura 4.95. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

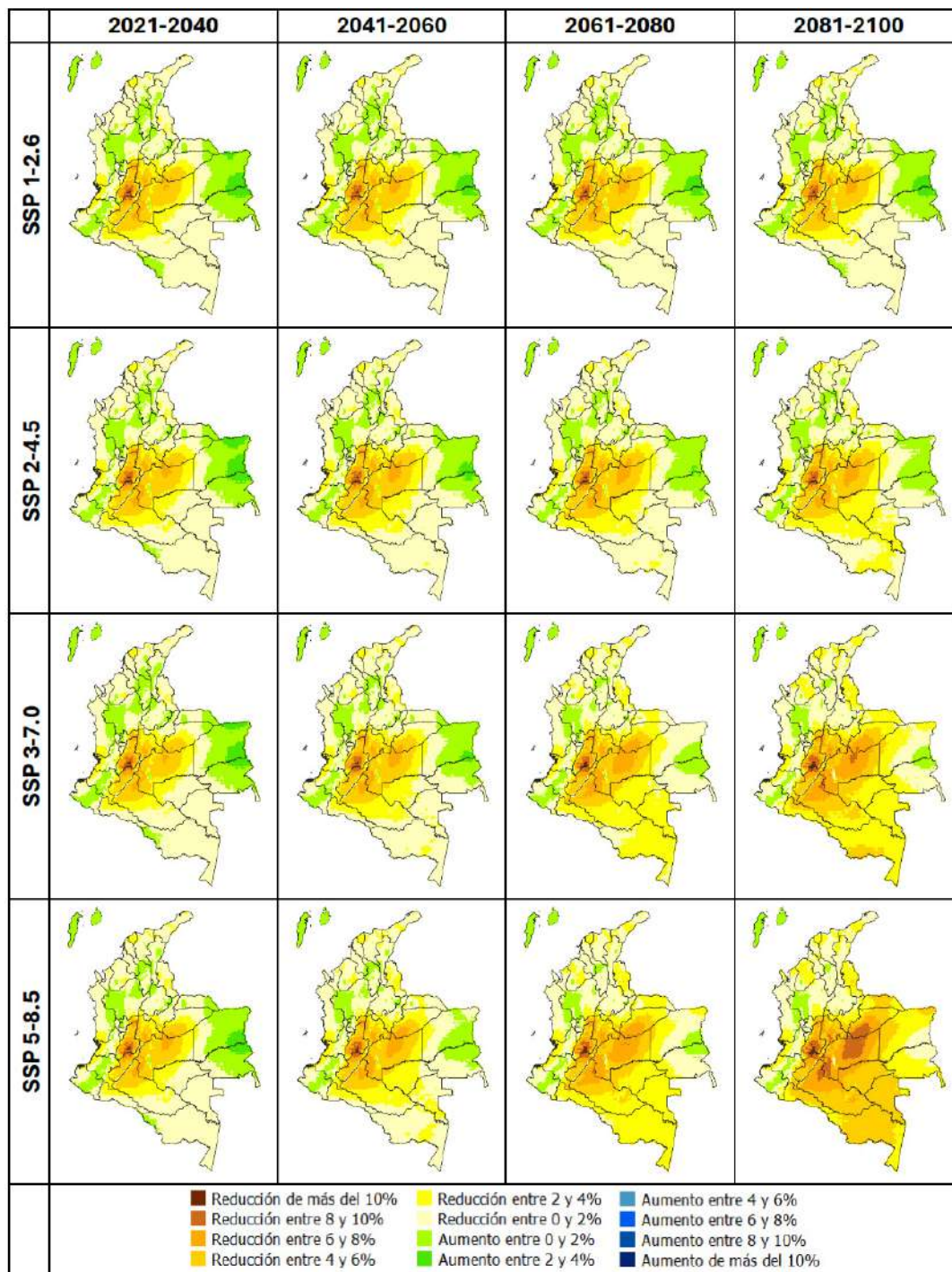
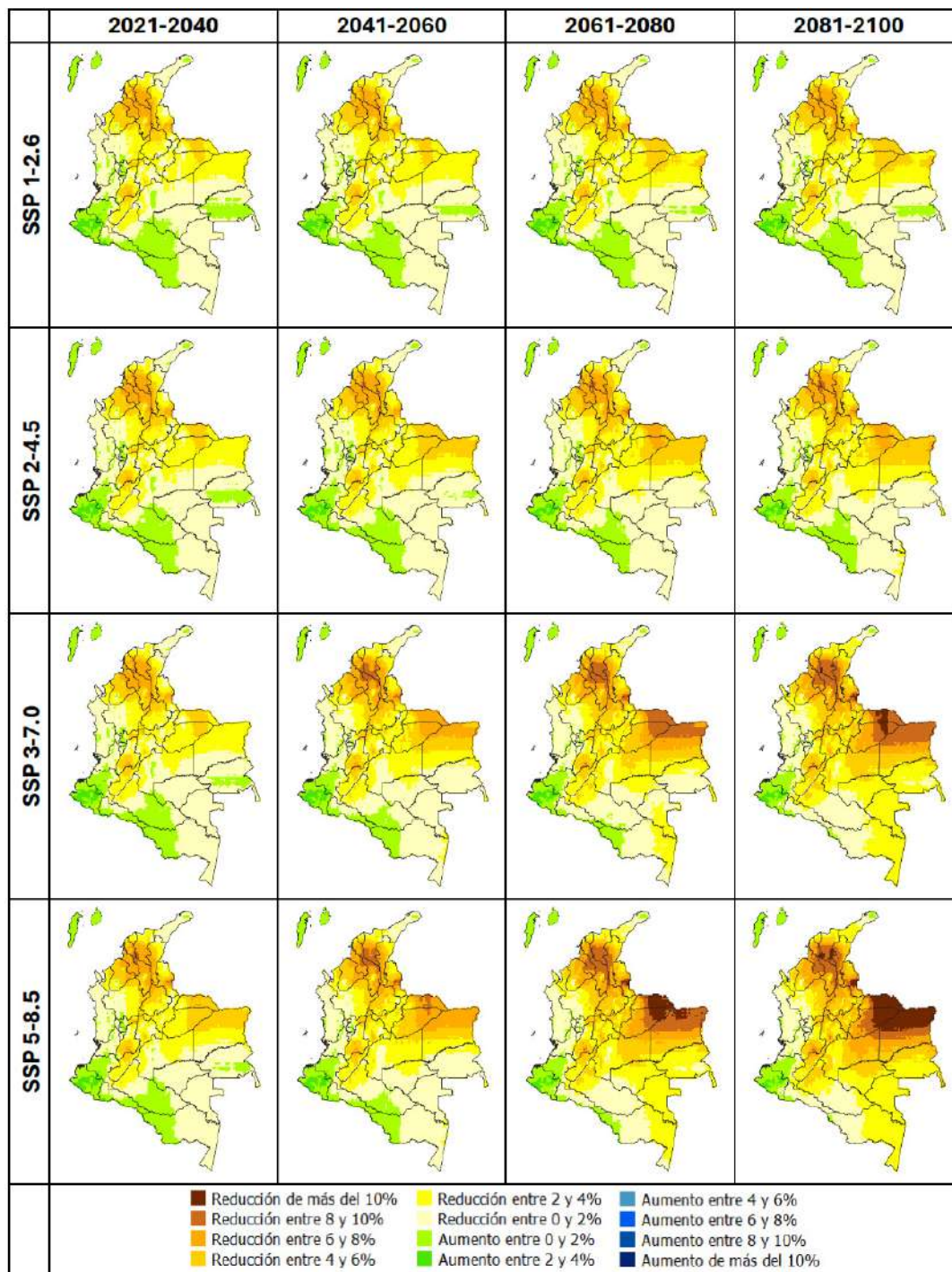


Figura 4.96. Cambio futuro proyectado de la humedad relativa (%) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.3.6. Velocidad del viento

Para enero (figura 4.97), la velocidad del viento disminuiría en gran parte de Colombia, y se tendrían reducciones de más de 1 m/s en el occidente de las regiones Amazonia y Orinoquia, y en el centro de las regiones Andina y Pacífica. En el norte de la región Caribe, la velocidad aumentaría en más de 1 m/s, en comparación con la velocidad histórica observada en el periodo 1981-2010. Febrero presentaría aumentos de la velocidad del viento en las regiones Caribe y Orinoquia, y reducciones en el resto del país. Estos cambios no superarían los 0,8 m/s (figura 4.98).

Para marzo (figura 4.99), la región Caribe también tendría aumentos en la velocidad del viento en los cuatro escenarios SSP de más de 0,5 m/s a lo largo del siglo XXI, y en las regiones Andina, Pacífica y Amazonia se darían reducciones de mismo orden. En abril y mayo, la velocidad del viento cambiaría de forma similar a la de febrero, pero habría aumentos de velocidad mayores en la región Caribe para ambos meses y también en gran parte de la región Amazonia en mayo (figuras 4.100 y 4.101). Estos cambios se acentuarían en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 durante la segunda mitad del siglo XXI.

Junio presentaría, a lo largo del siglo XXI, aumentos de la velocidad del viento en el occidente y en el centro de las regiones Orinoquia y Amazonia, y reducciones en las regiones Andina y Pacífica, y en el norte de la región Caribe; esta última pasaría de tener aumentos de la velocidad del viento en los meses anteriores a reducciones a partir de junio (figura 4.102).

Para julio (figura 4.103) y agosto (figura 4.104), habría aumentos de la velocidad del viento en el occidente y en el centro de las regiones Orinoquia y Amazonia, y reducciones en las regiones Andina y Pacífica, y en el norte de la región Caribe; estas reducciones serían de más de 1 m/s, en comparación con las observadas en el periodo 1981-2010.

Septiembre presentaría reducciones de la velocidad del viento superiores a 0,8 m/s en las regiones Andina y Caribe, mientras que en las regiones Amazonia, Orinoquia y Pacífica se tendrían aumentos, de los cuales los más altos se darían en el norte de esta última región, con valores de más de 0,8 m/s (figura 4.105). En octubre (figura 4.106) y noviembre (figura 4.107), se tendrían reducciones de la velocidad del viento en la mayor parte del país en los cuatro escenarios SSP a lo largo del siglo XXI. Las mayores reducciones (de más de 0,6 m/s) se observarían en la región Caribe y en el occidente de las regiones Amazonia y Orinoquia en noviembre. Por su parte, la región Pacífica y el occidente de la región Andina tendrían aumentos en esta velocidad en los cuatro escenarios SSP.

Por último, en diciembre habría aumentos de la velocidad del viento en las regiones Caribe, Pacífica y Orinoquia, y reducciones en el resto del país. Los incrementos más altos (de más de 0,8 m/s) se darían en el noroccidente de la región Caribe y en el nororiente de la Orinoquia, mientras que las disminuciones del mismo orden de los aumentos se presentarían en el occidente de la región Amazonia (figura 4.108).

Figura 4.97. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

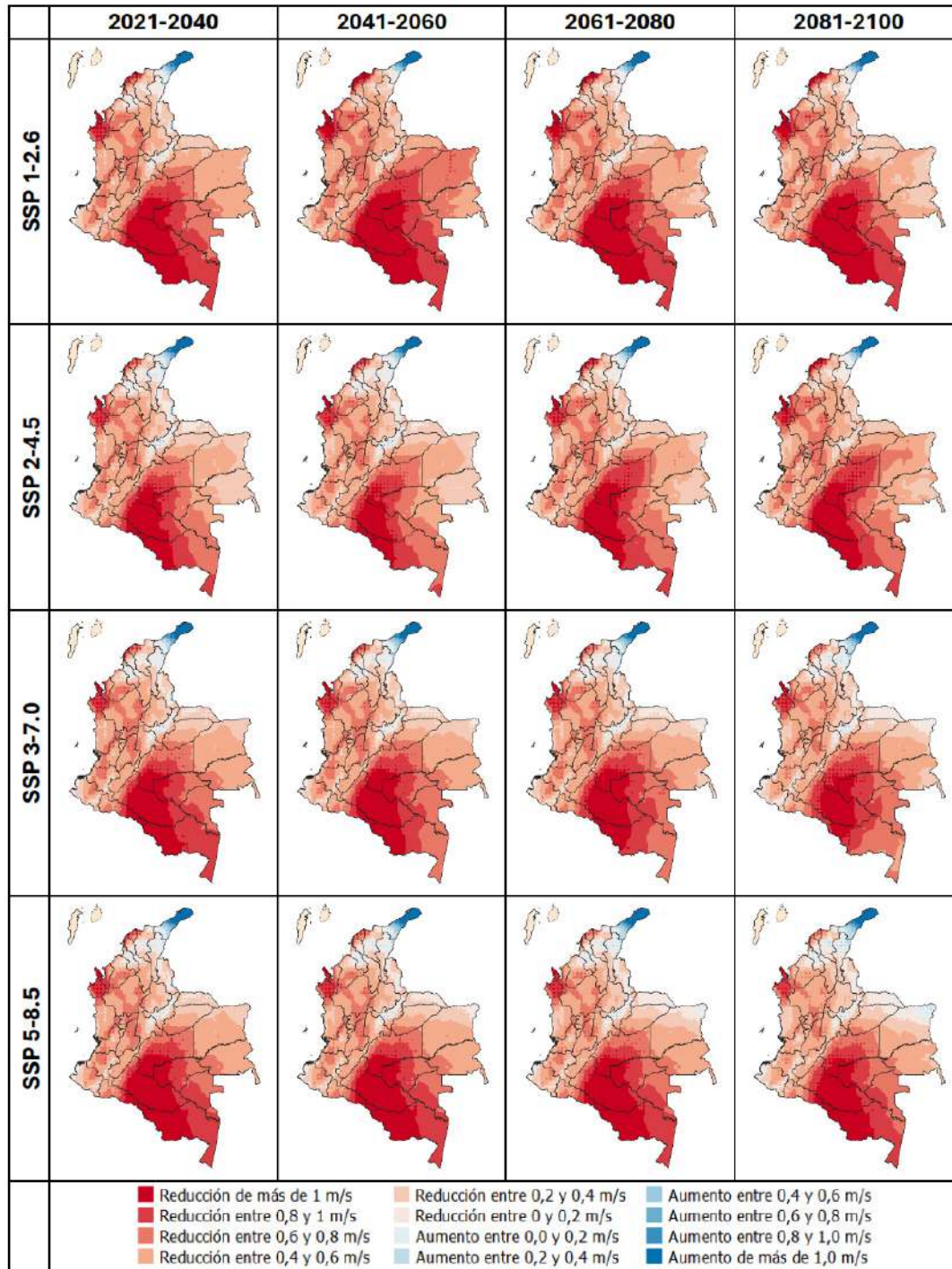


Figura 4.98. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

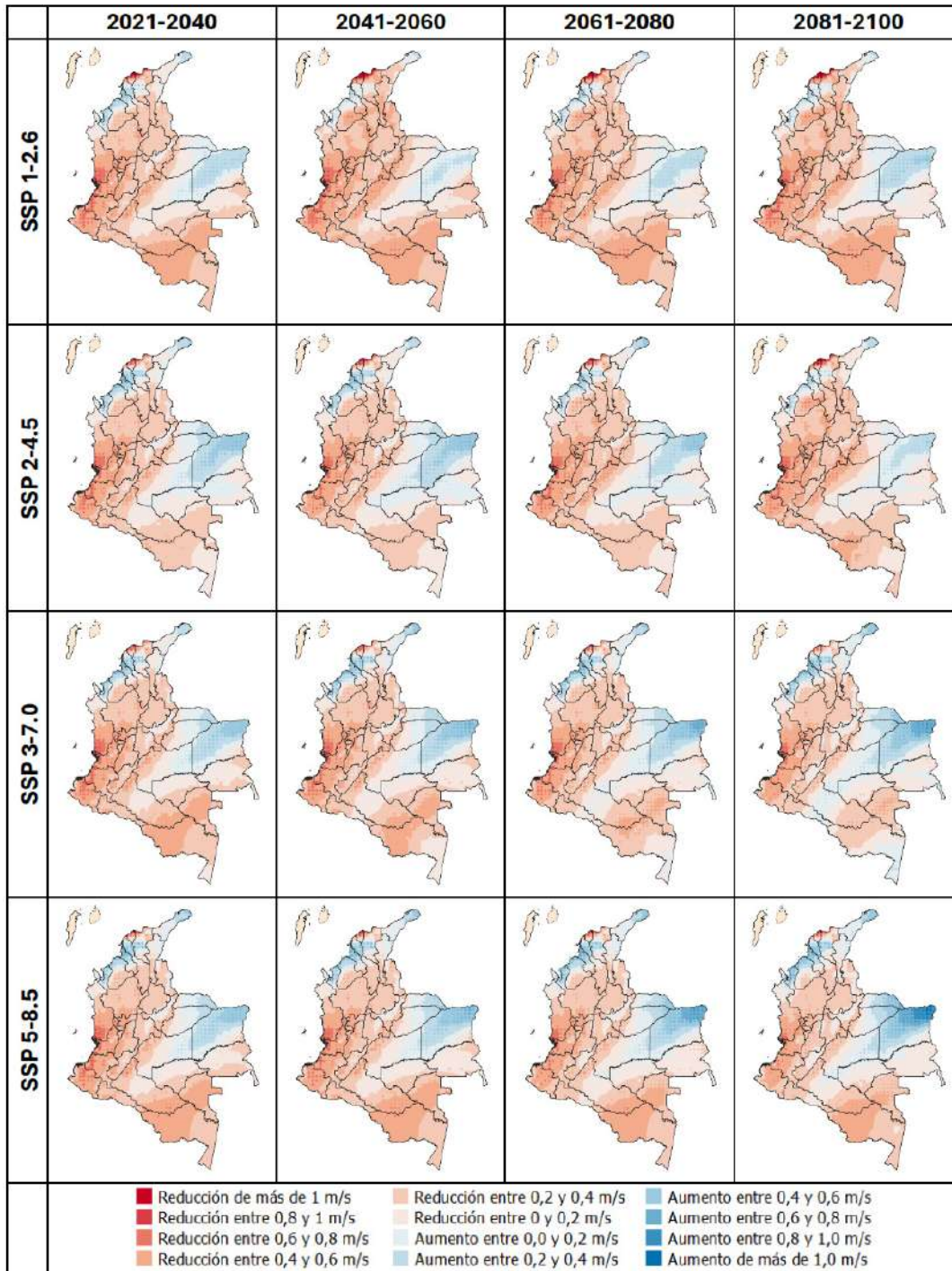


Figura 4.99. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

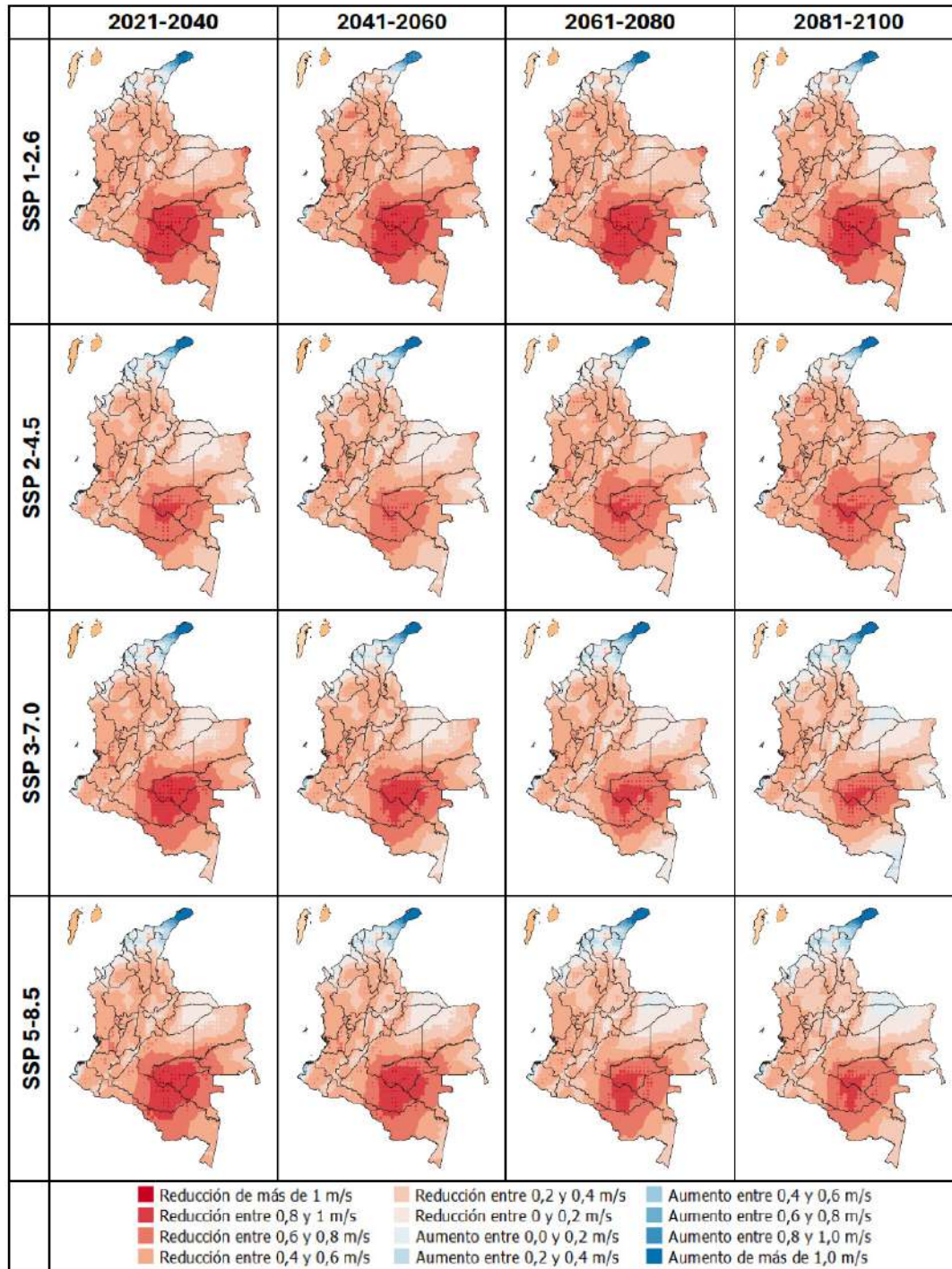


Figura 4.100. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

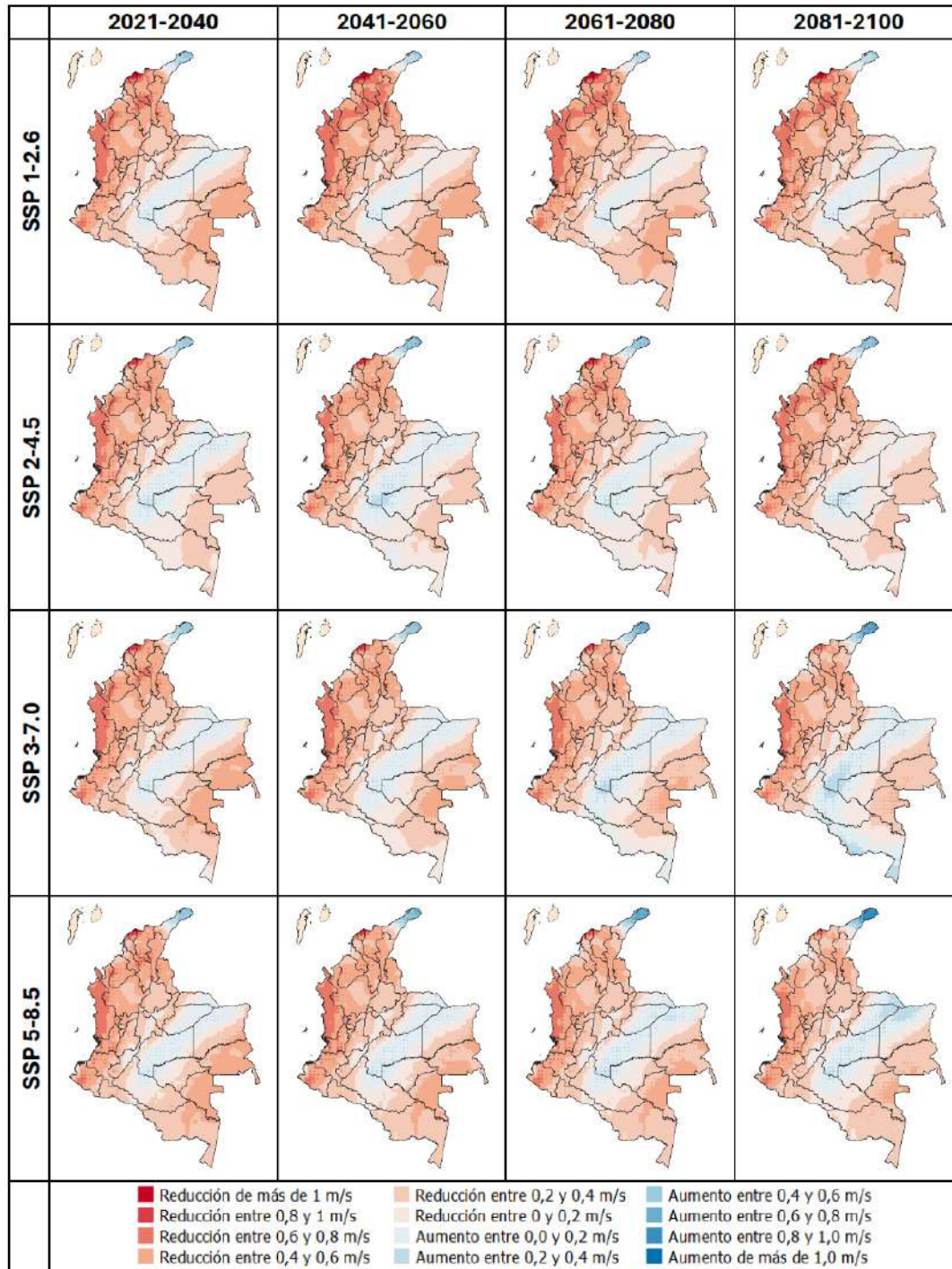


Figura 4.101. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

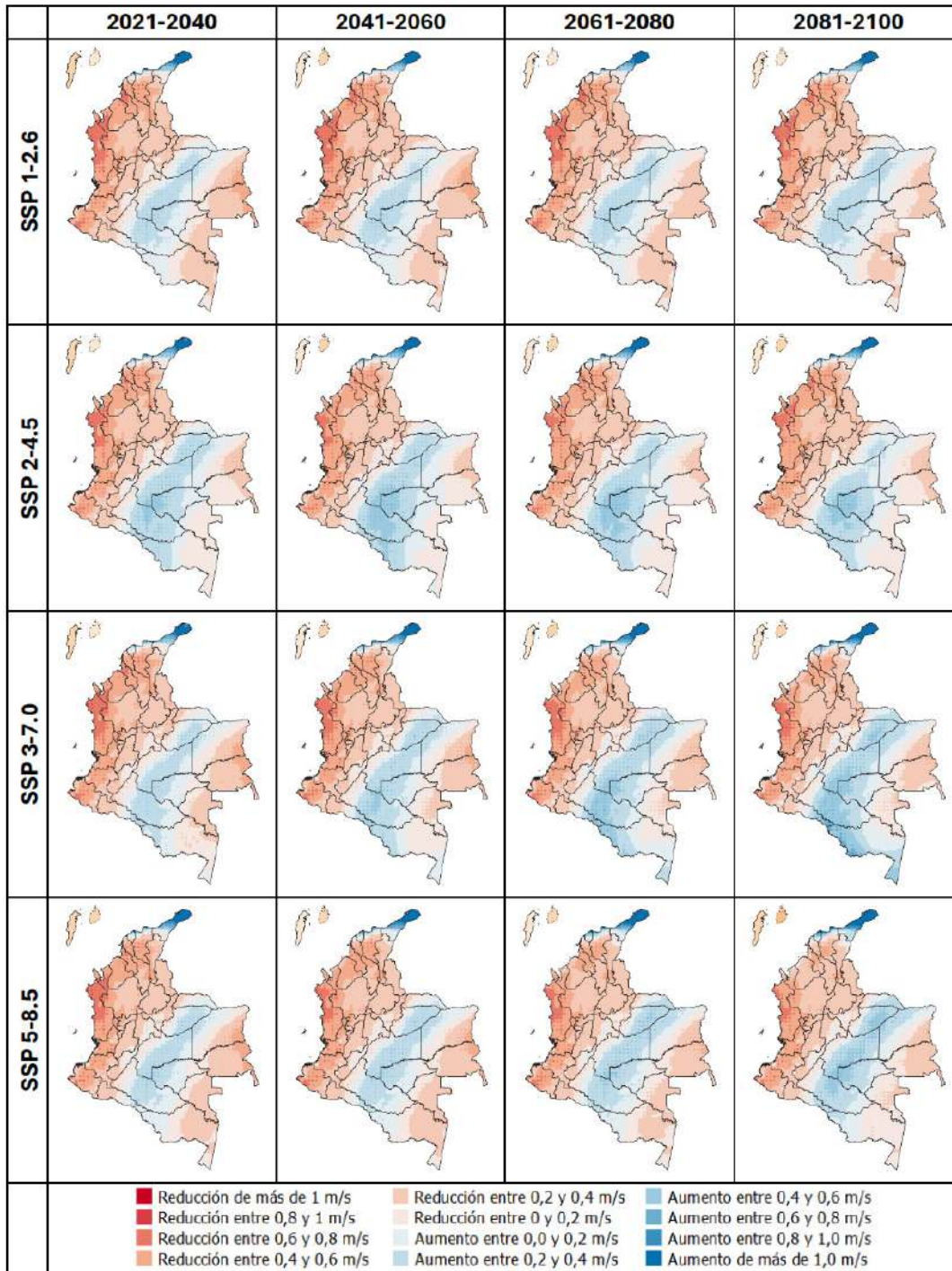


Figura 4.102. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

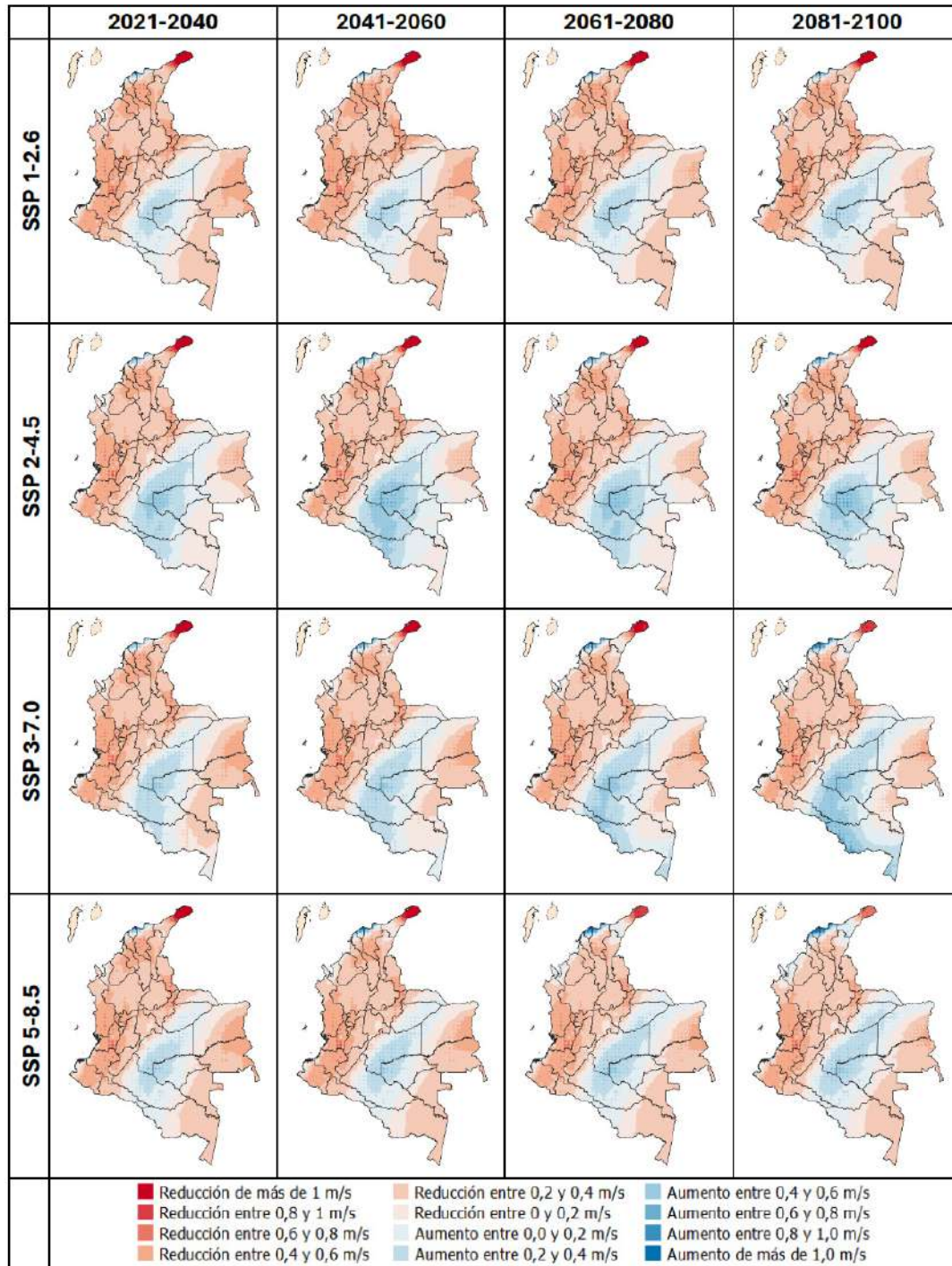


Figura 4.103. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

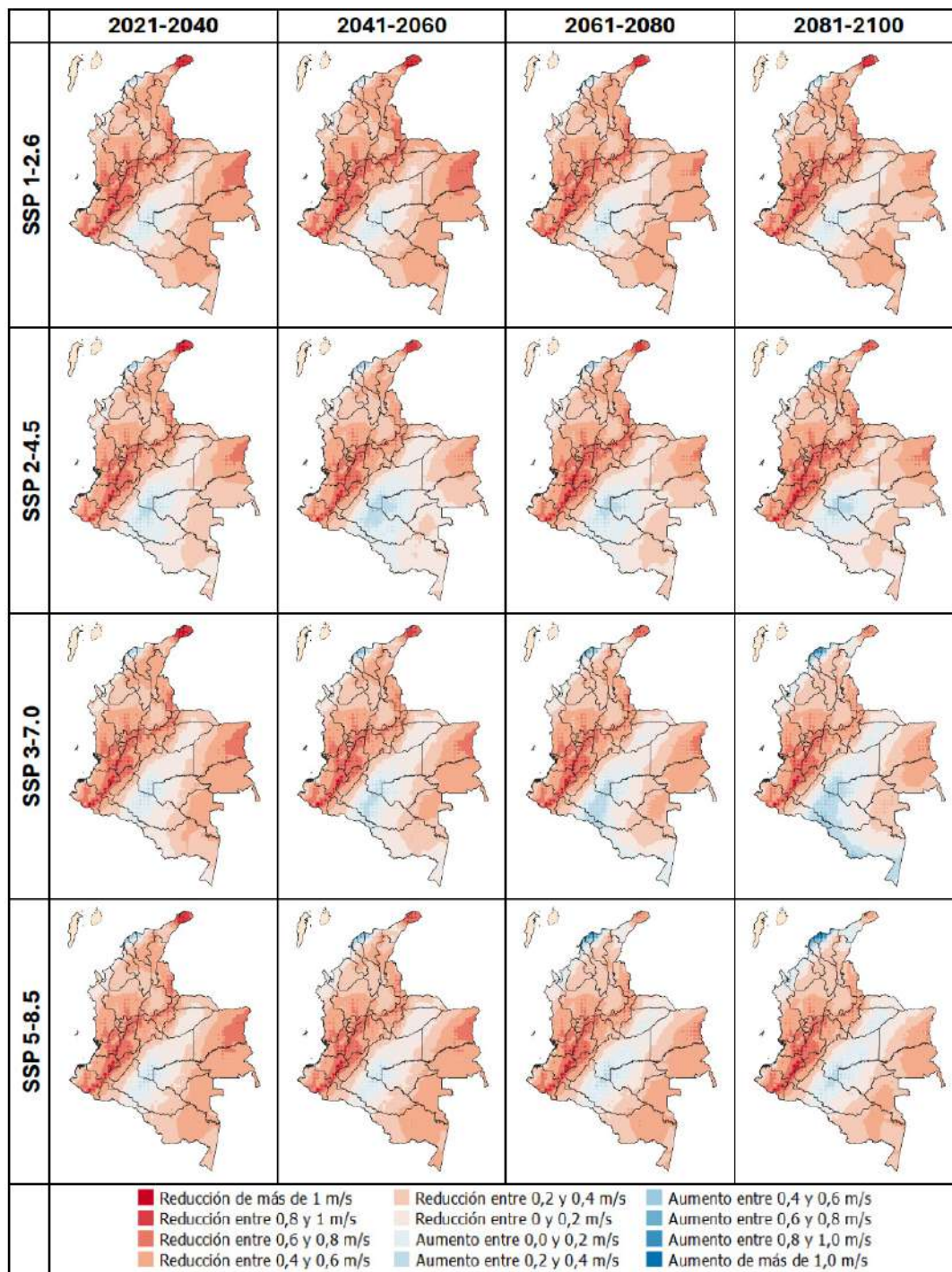


Figura 4.104. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

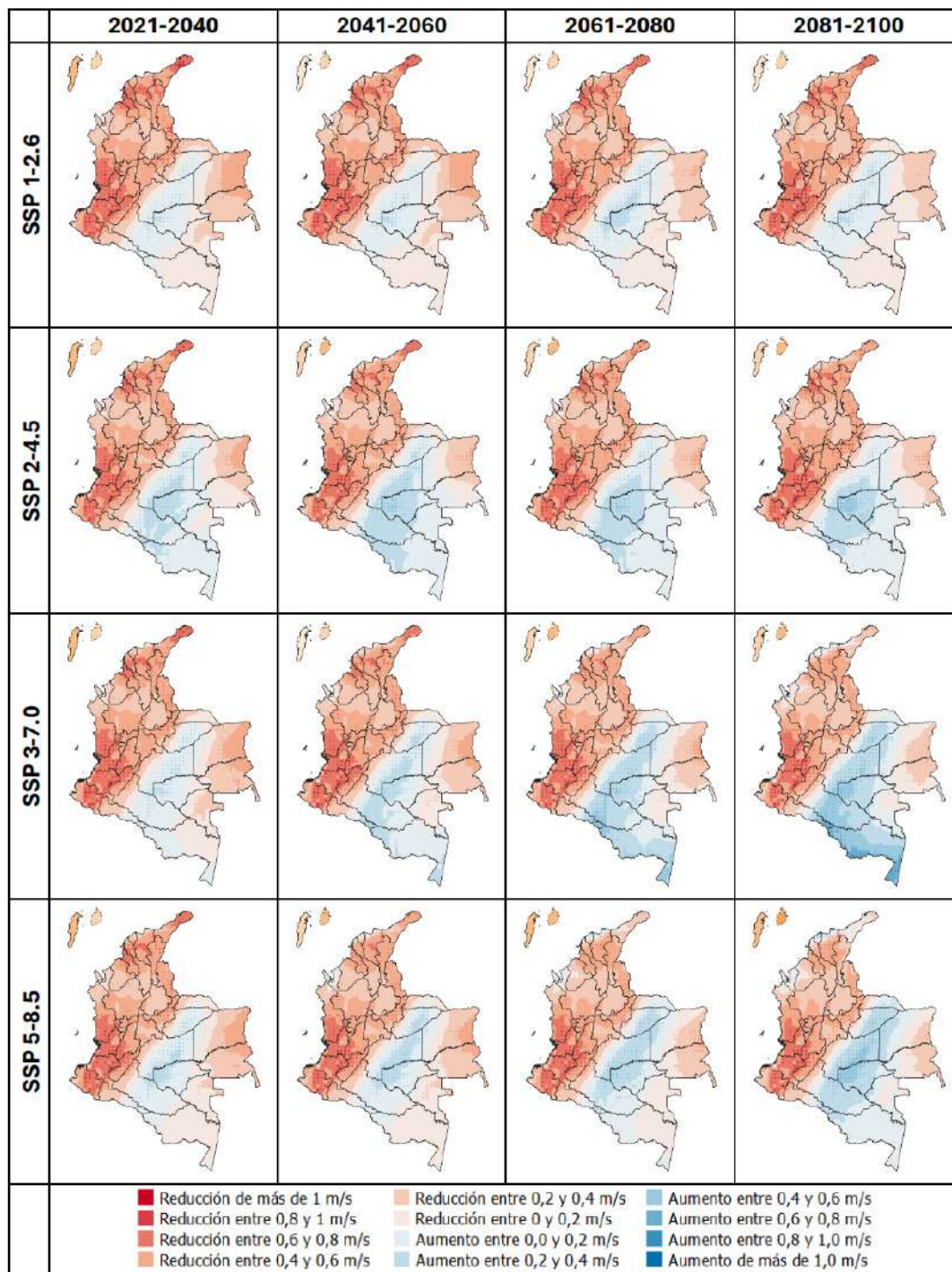


Figura 4.105. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

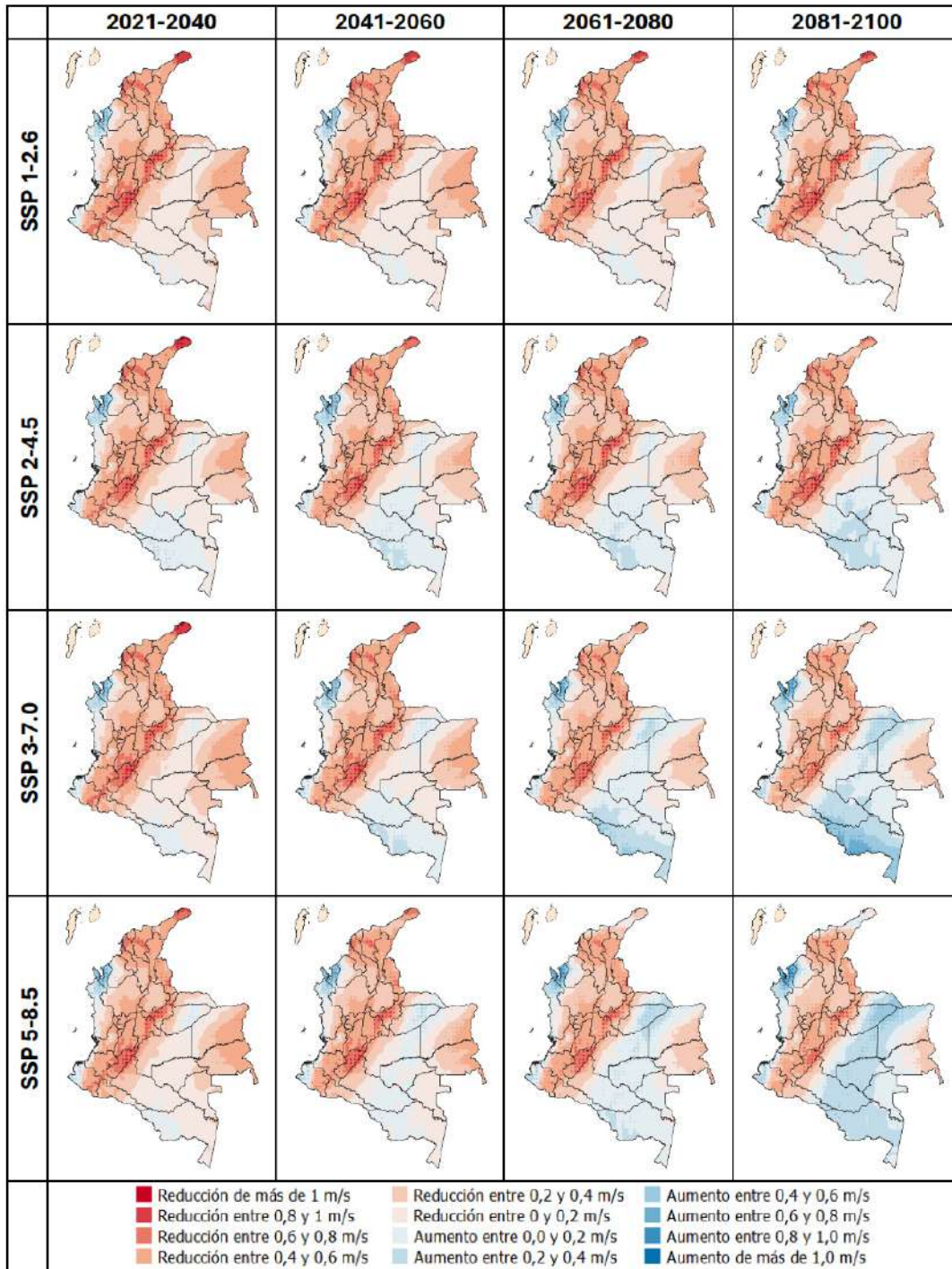


Figura 4.106. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

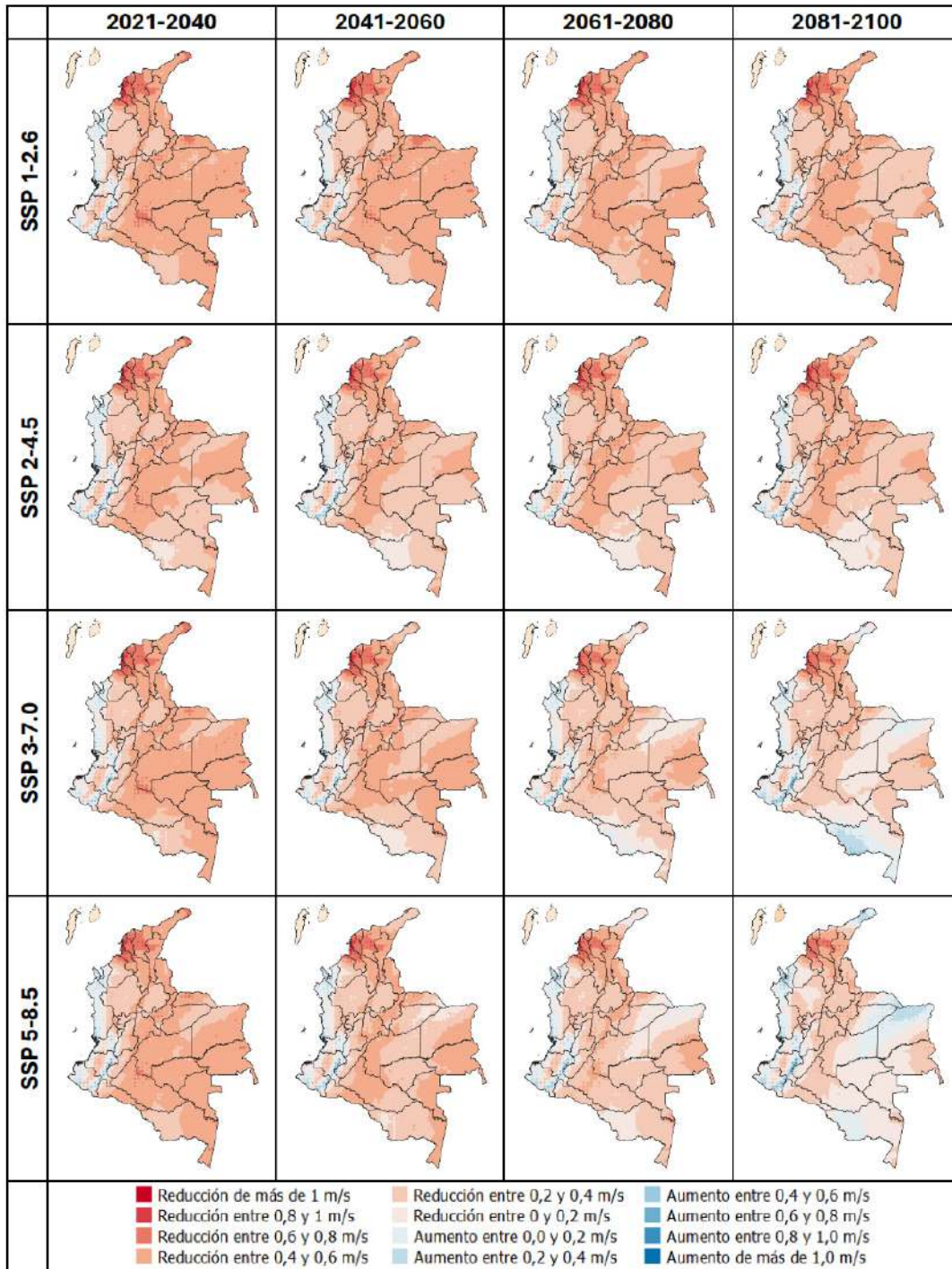


Figura 4.107. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

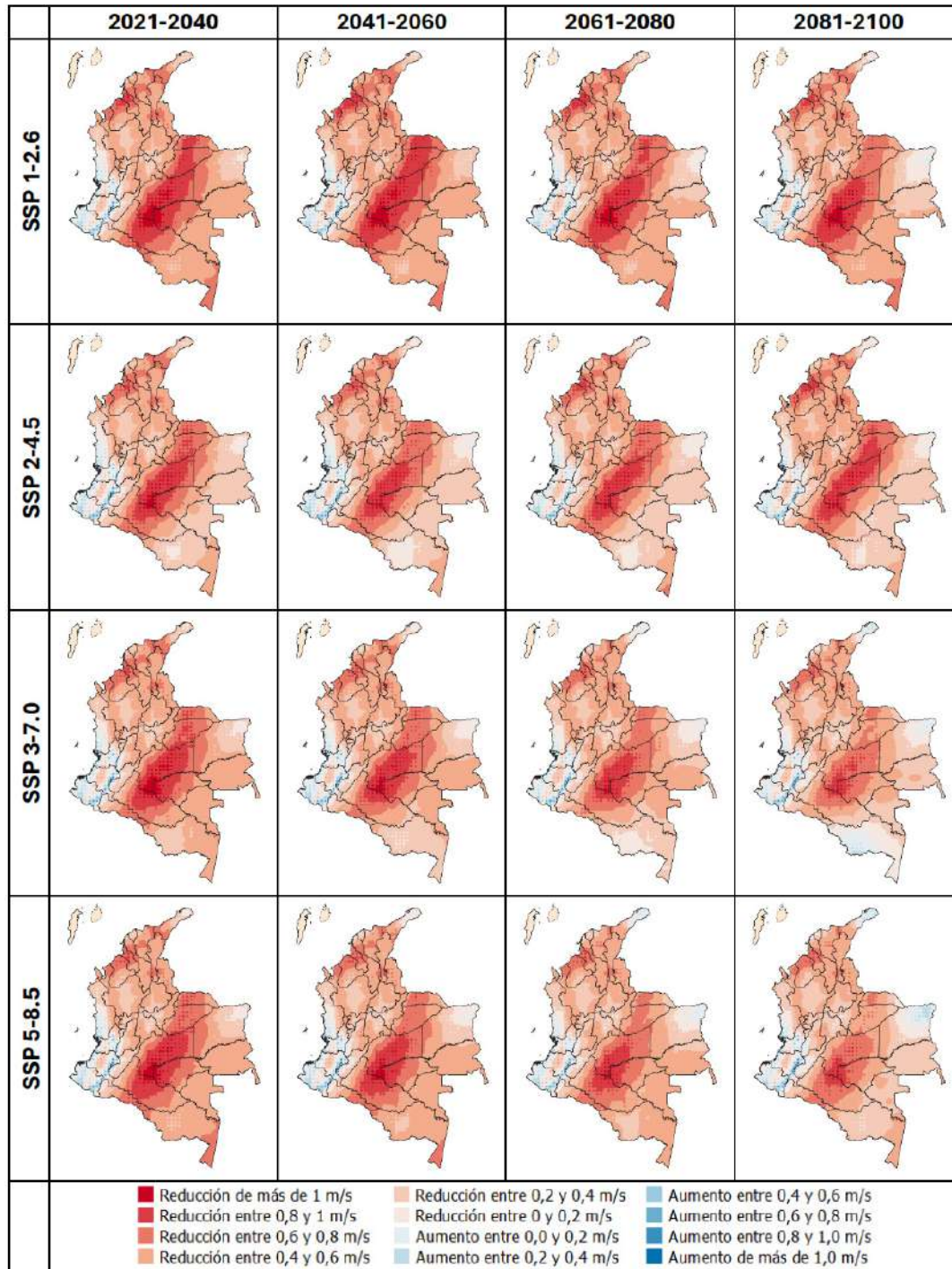
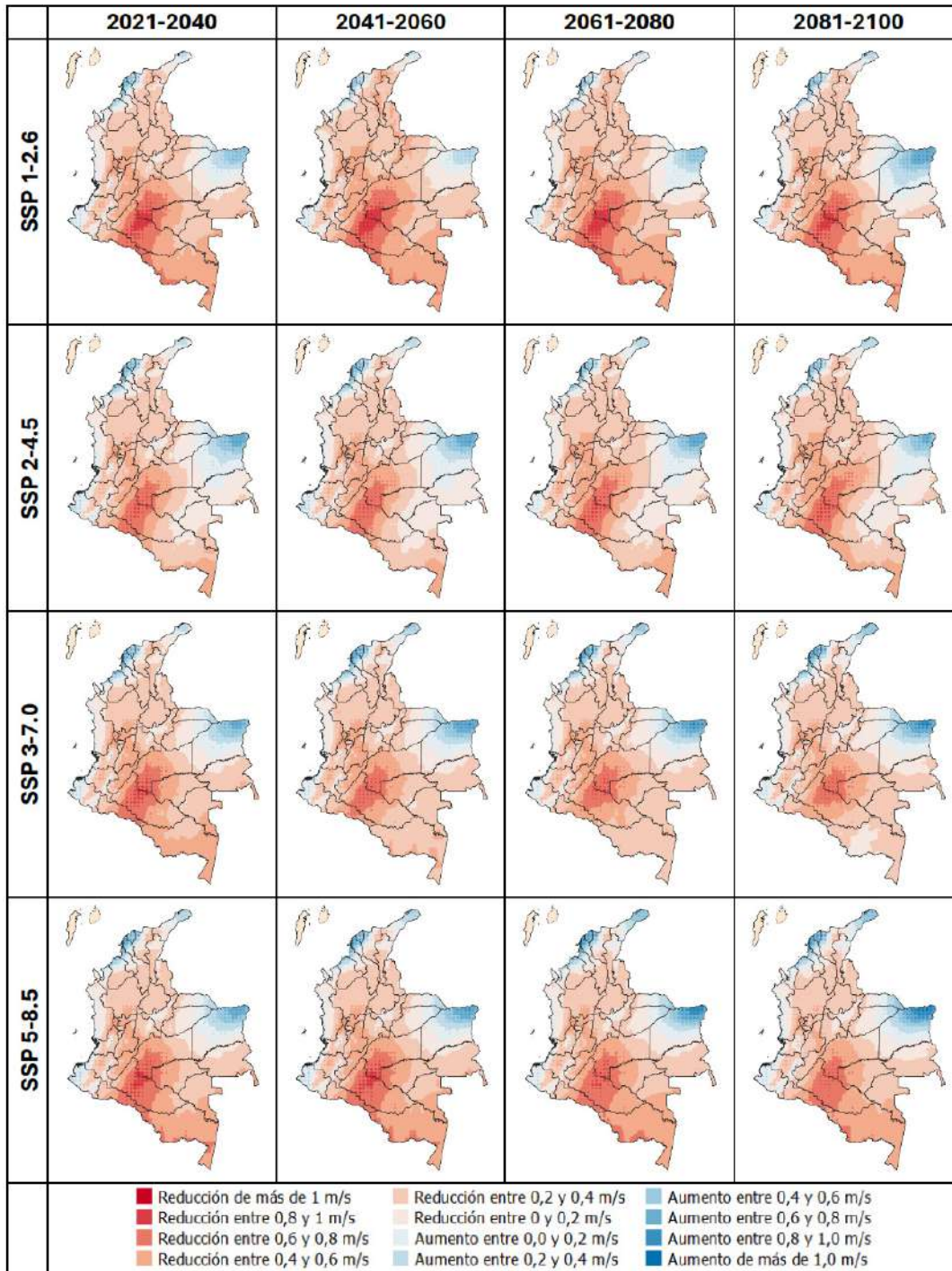


Figura 4.108. Cambio futuro proyectado de la velocidad del viento (m/s) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



4.3.7. Radiación

Para enero (figura 4.109), se presentarían reducciones de la radiación mensual promedio en la mayor parte del país durante el siglo XXI en los cuatro escenarios SSP, con disminuciones entre 5 y 55 W/m²; las mayores reducciones se tendrían en el occidente de la Orinoquia y de la Amazonia. En febrero (figura 4.110), habría aumentos en gran parte del territorio nacional, con incrementos de la radiación del orden de 8 a 30 W/m². En marzo (figura 4.111), el comportamiento de los cambios de la radiación mensual promedio sería variado, con valores entre 7 y 45 W/m². Se observarían reducciones en las regiones Pacífica y Caribe, y en el centro y el occidente de la región Andina; los aumentos se darían en el resto del país.

En abril (figura 4.112), mayo (figura 4.113) y junio (figura 4.114) la radiación presentaría reducciones entre 4 y 50 W/m² en todo el país; las mayores disminuciones (de más de 50 W/m²) se tendrían en La Guajira en abril, y en el occidente de la Amazonia y la Orinoquia en mayo y junio, y las menores, en la región Pacífica durante los mismos tres meses. En julio (figura 4.115), habría reducciones de la radiación mensual promedio del orden de 5 a 30 W/m² en las regiones Pacífica y Caribe, y en el centro y el occidente de la región Andina (con reducciones de más de 50 W/m² en el archipiélago de San Andrés y Providencia), y aumentos del mismo orden en el resto del país.

Para agosto (figura 4.116), se presentarían reducciones de la radiación en las regiones Caribe y Andina, y en el archipiélago de San Andrés y Providencia de alrededor de 5 a 30 W/m², en comparación con la radiación observada en el periodo 1981-2010, y aumentos del mismo orden en el resto del territorio nacional. Septiembre tendría un comportamiento similar al de julio (figura 4.117), mientras que en octubre (figura 4.118), noviembre (figura 4.119) y diciembre (figura 4.120) habría reducciones de la radiación mensual promedio en la mayor parte del país, aproximadamente de 5 a 50 W/m² a lo largo del siglo XXI, en los cuatro escenarios SSP. Las mayores reducciones (entre 40 y 50 W/m²) se tendrían en noviembre en el occidente de la Amazonia y la Orinoquia.



Figura 4.109. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en enero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

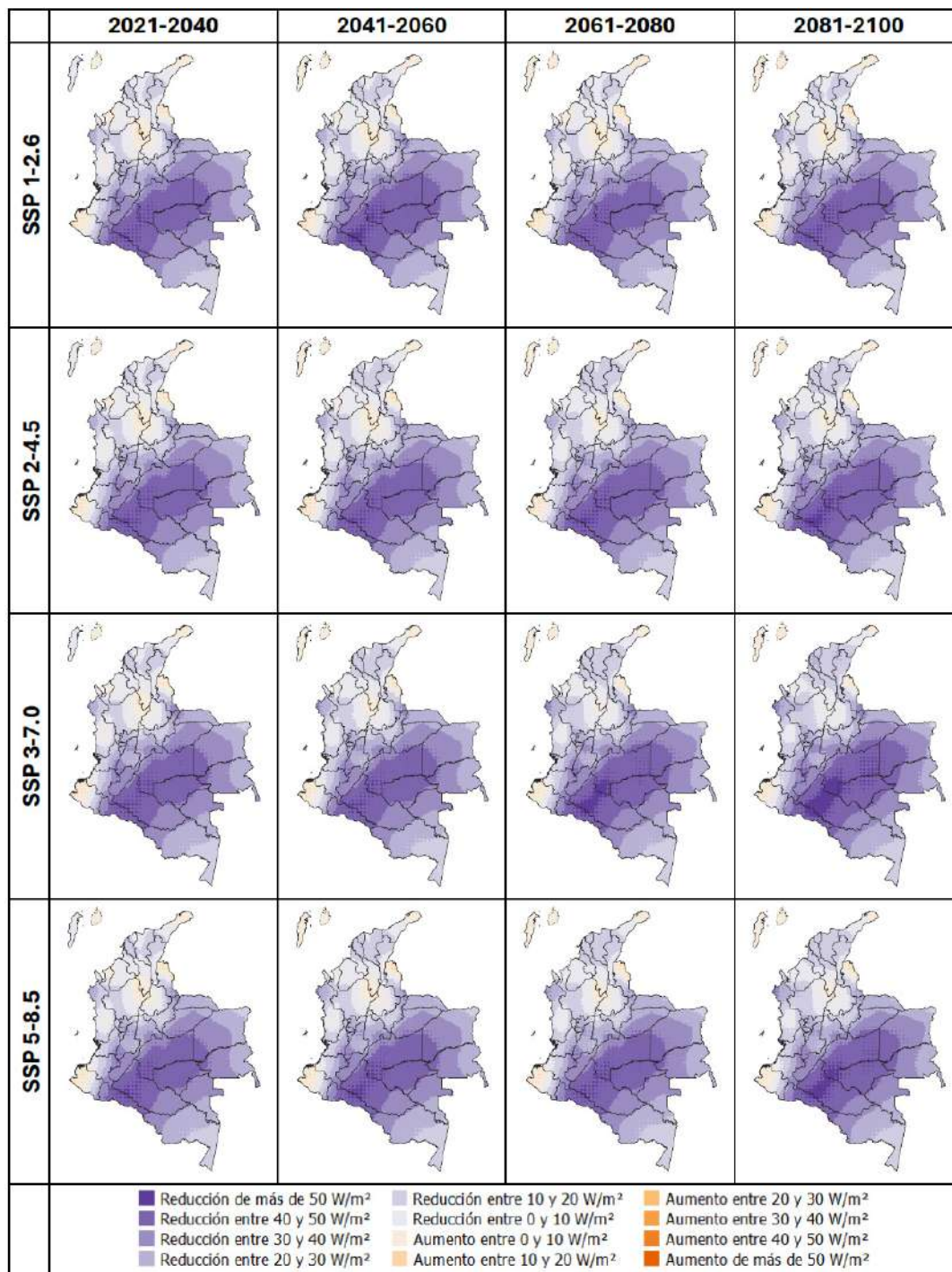


Figura 4.110. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en febrero, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

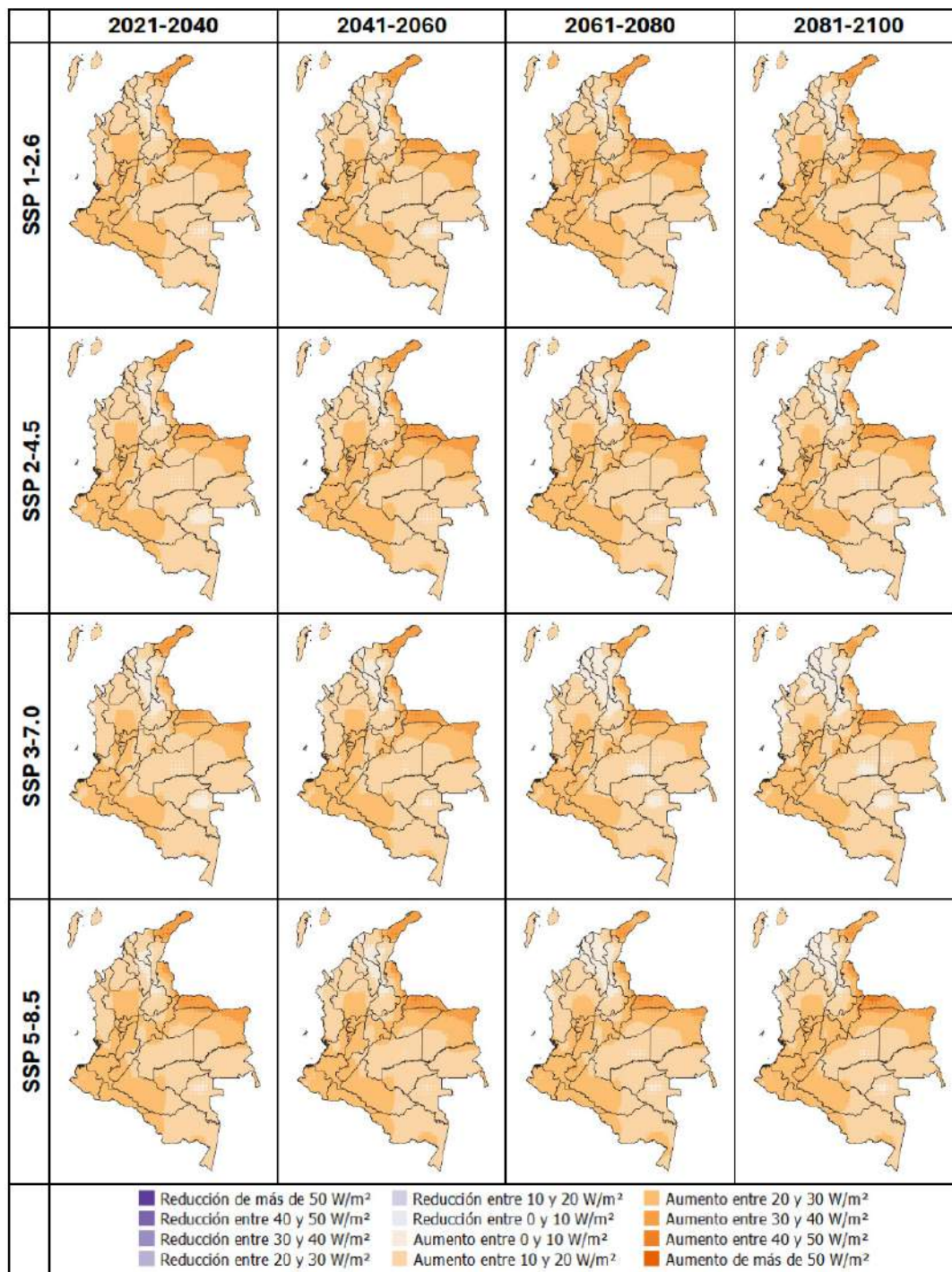


Figura 4.111. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en marzo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

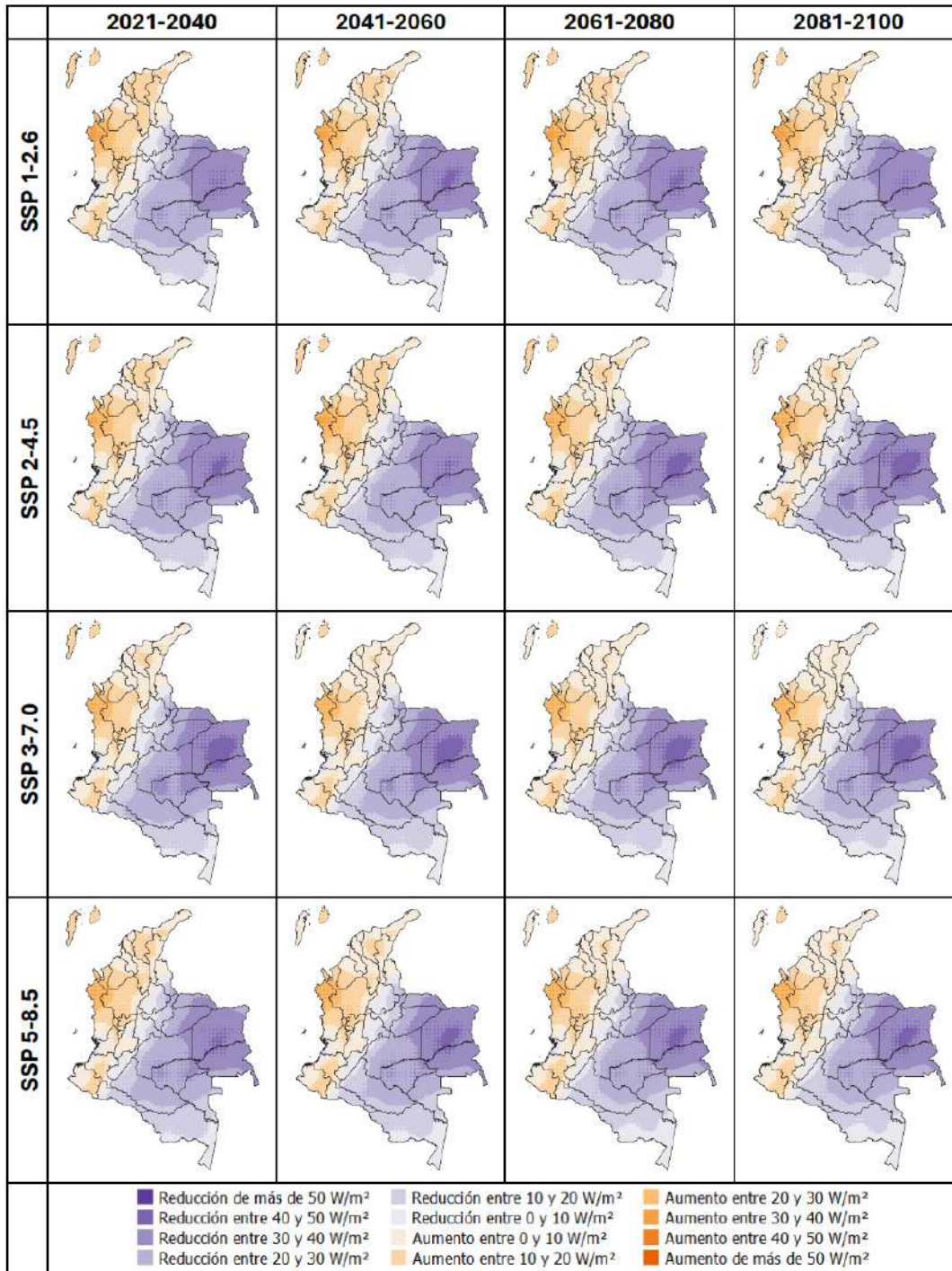


Figura 4.112. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en abril, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

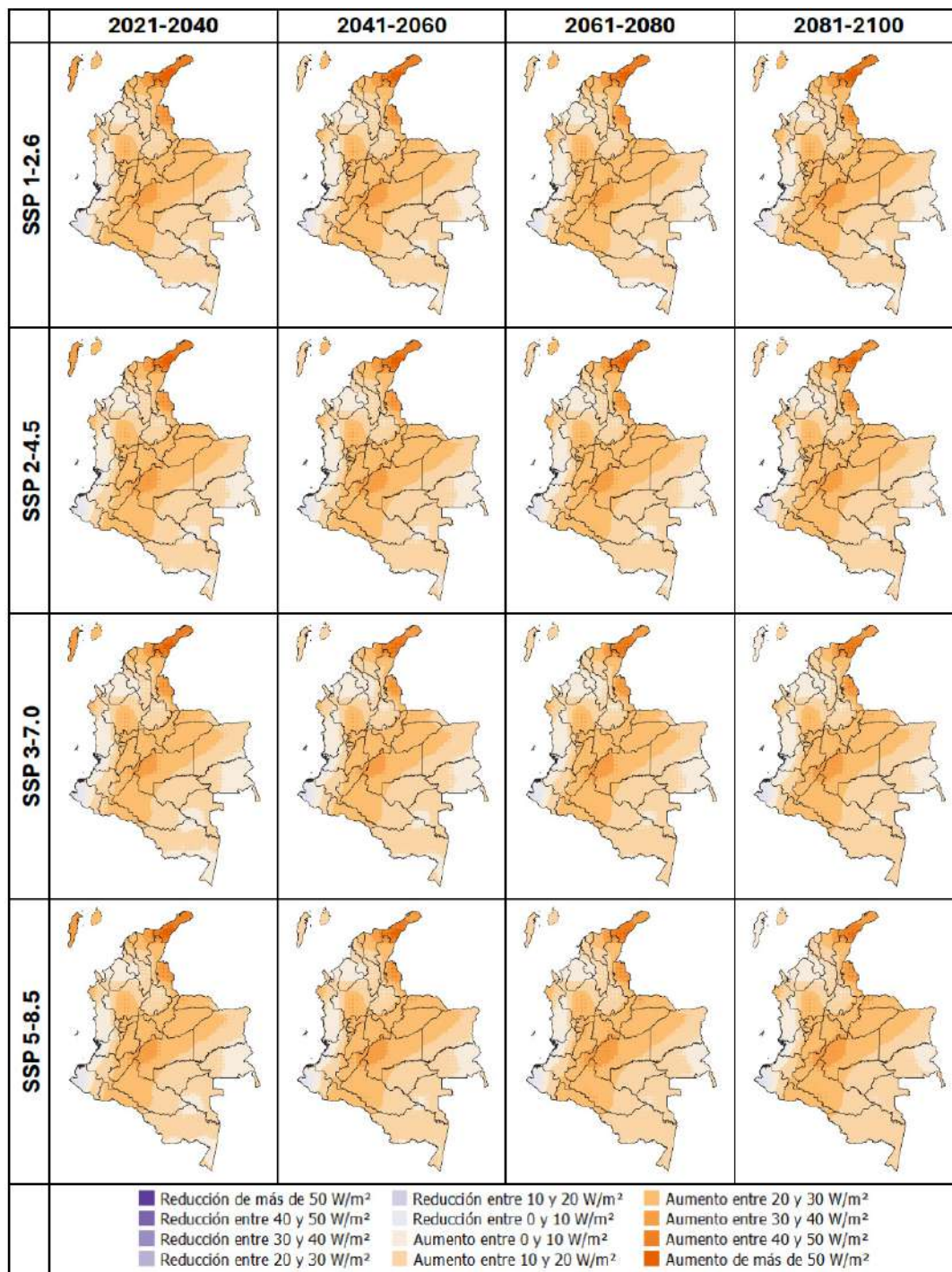


Figura 4.113. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en mayo, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

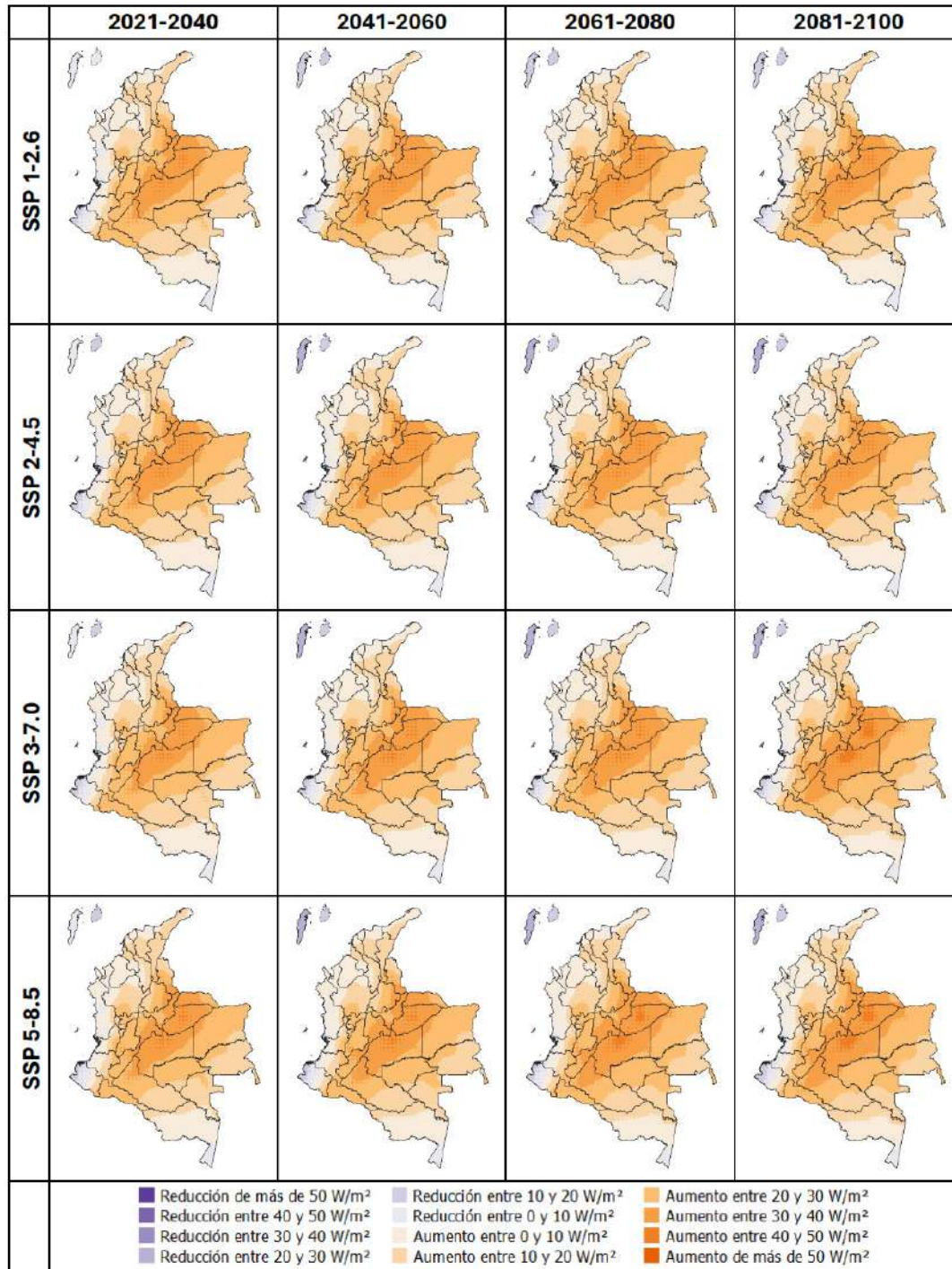


Figura 4.114. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en junio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

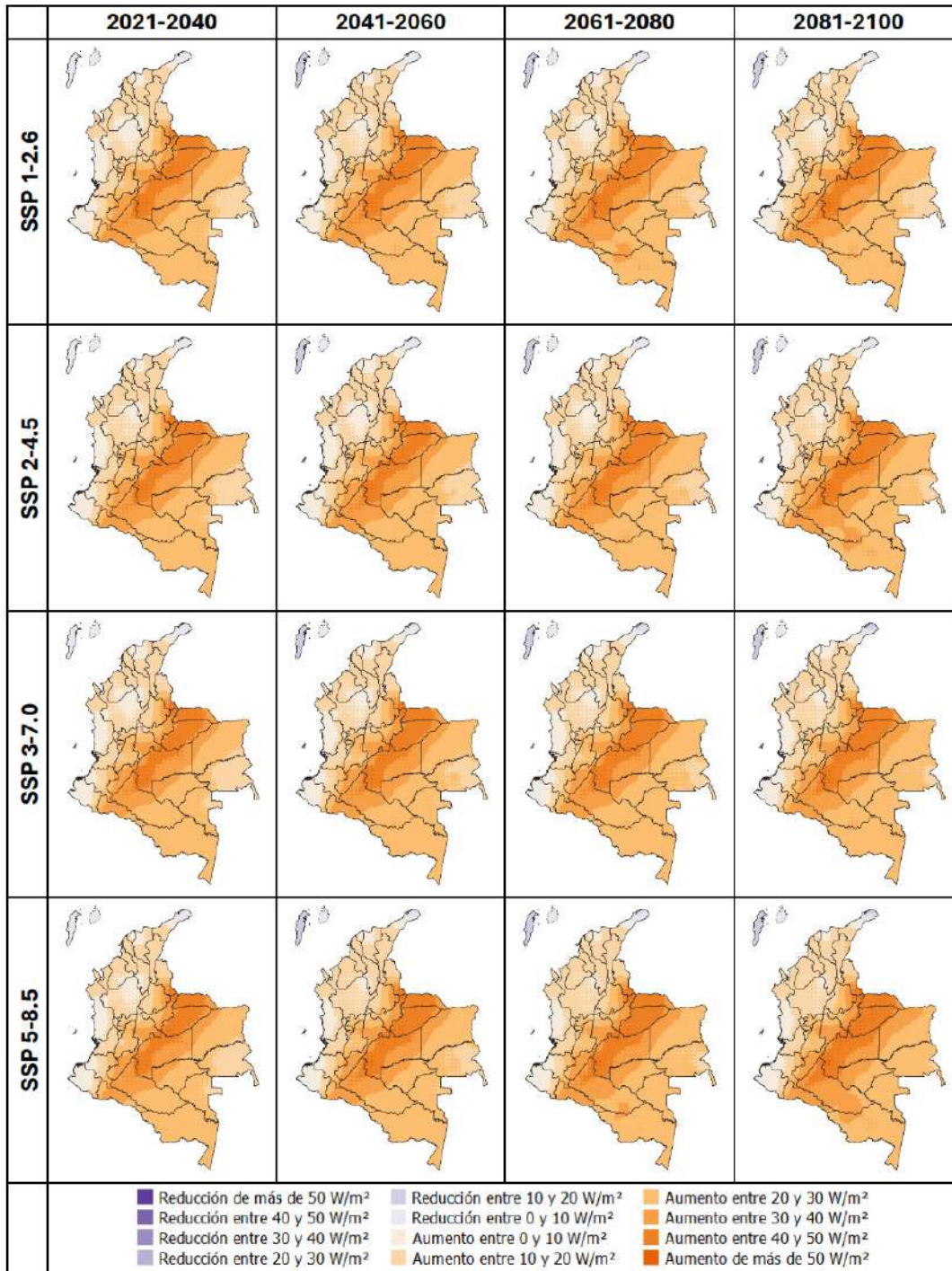


Figura 4.115. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en julio, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

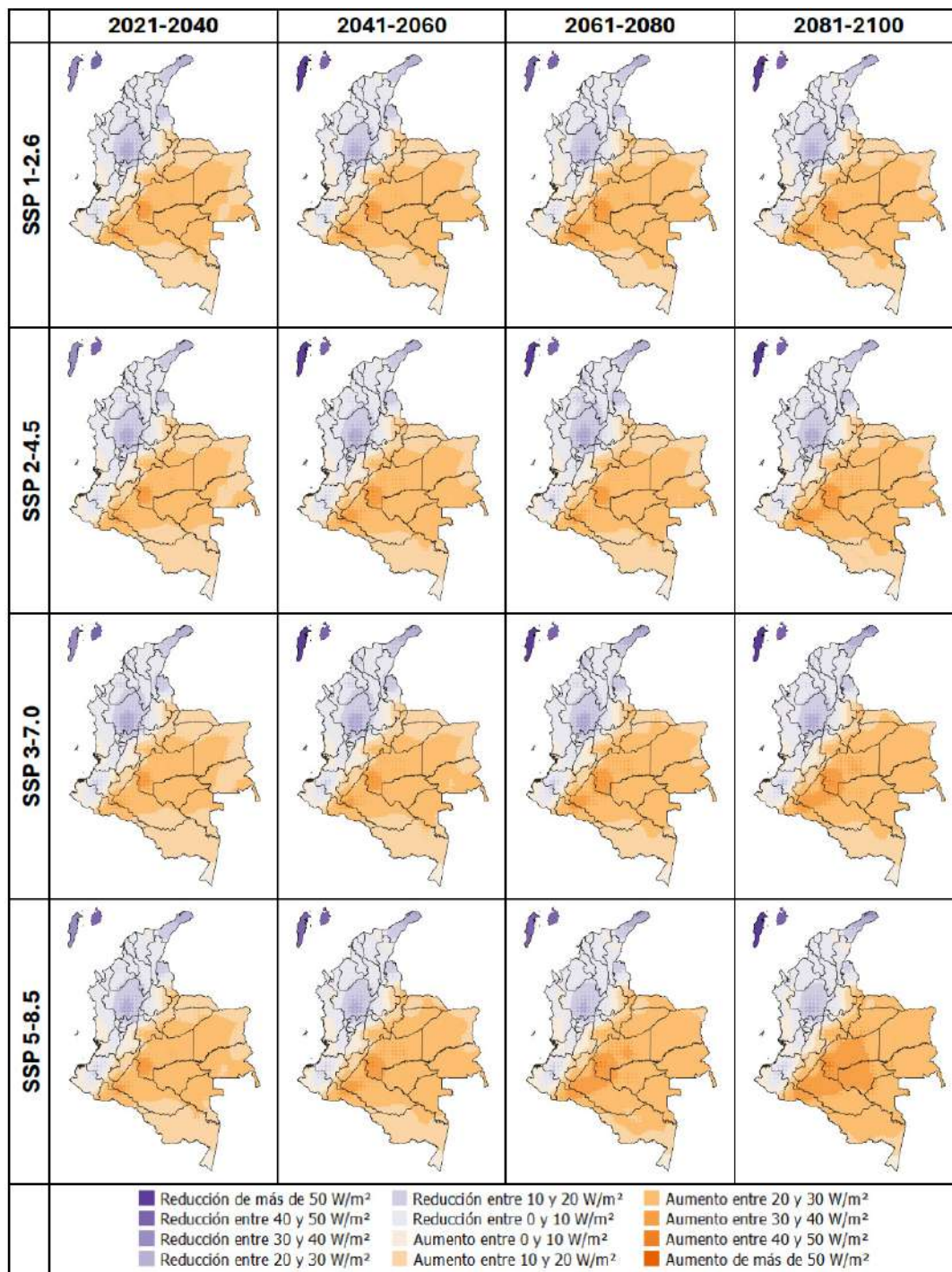


Figura 4.116. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en agosto, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

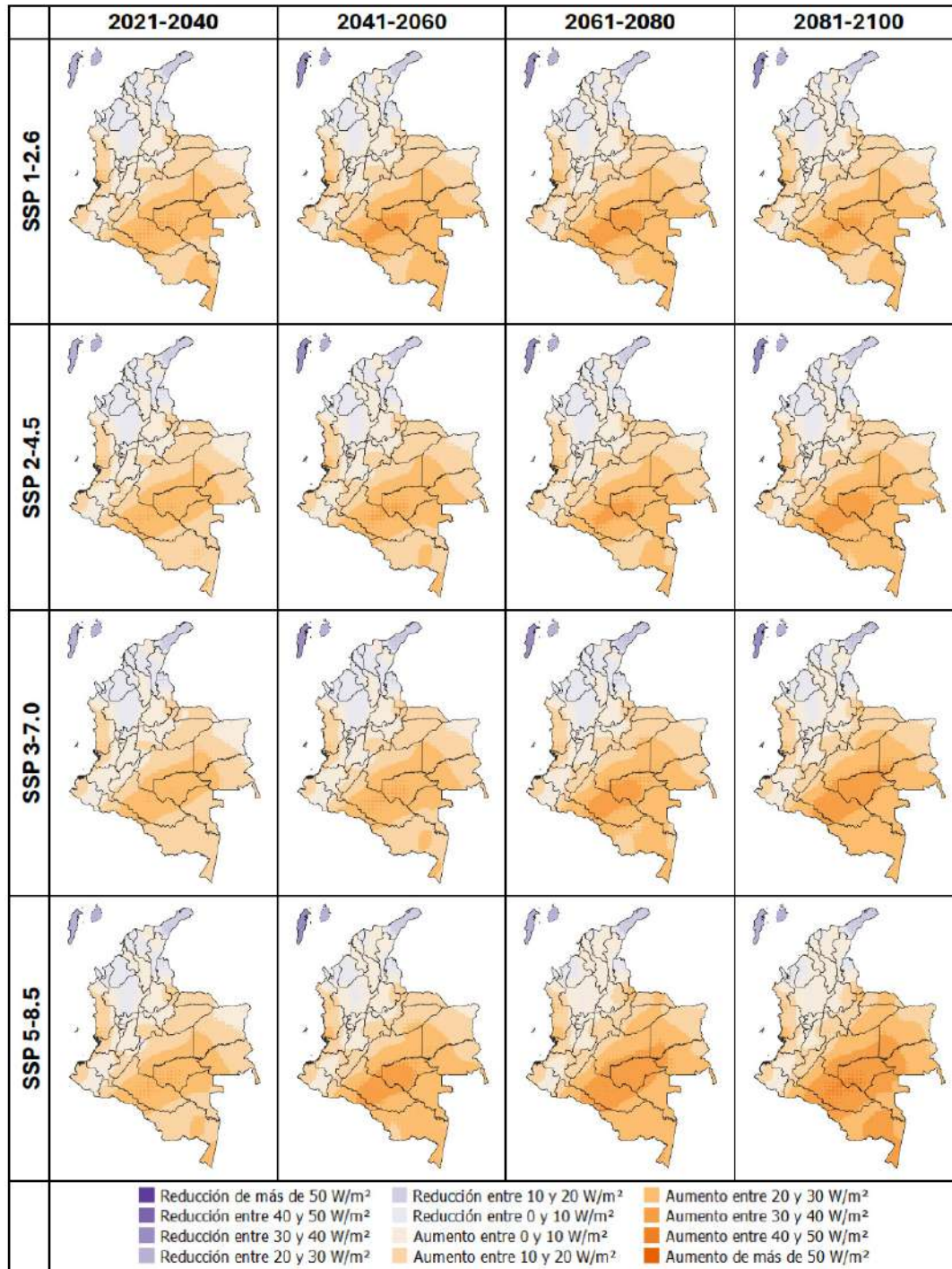


Figura 4.117. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en septiembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

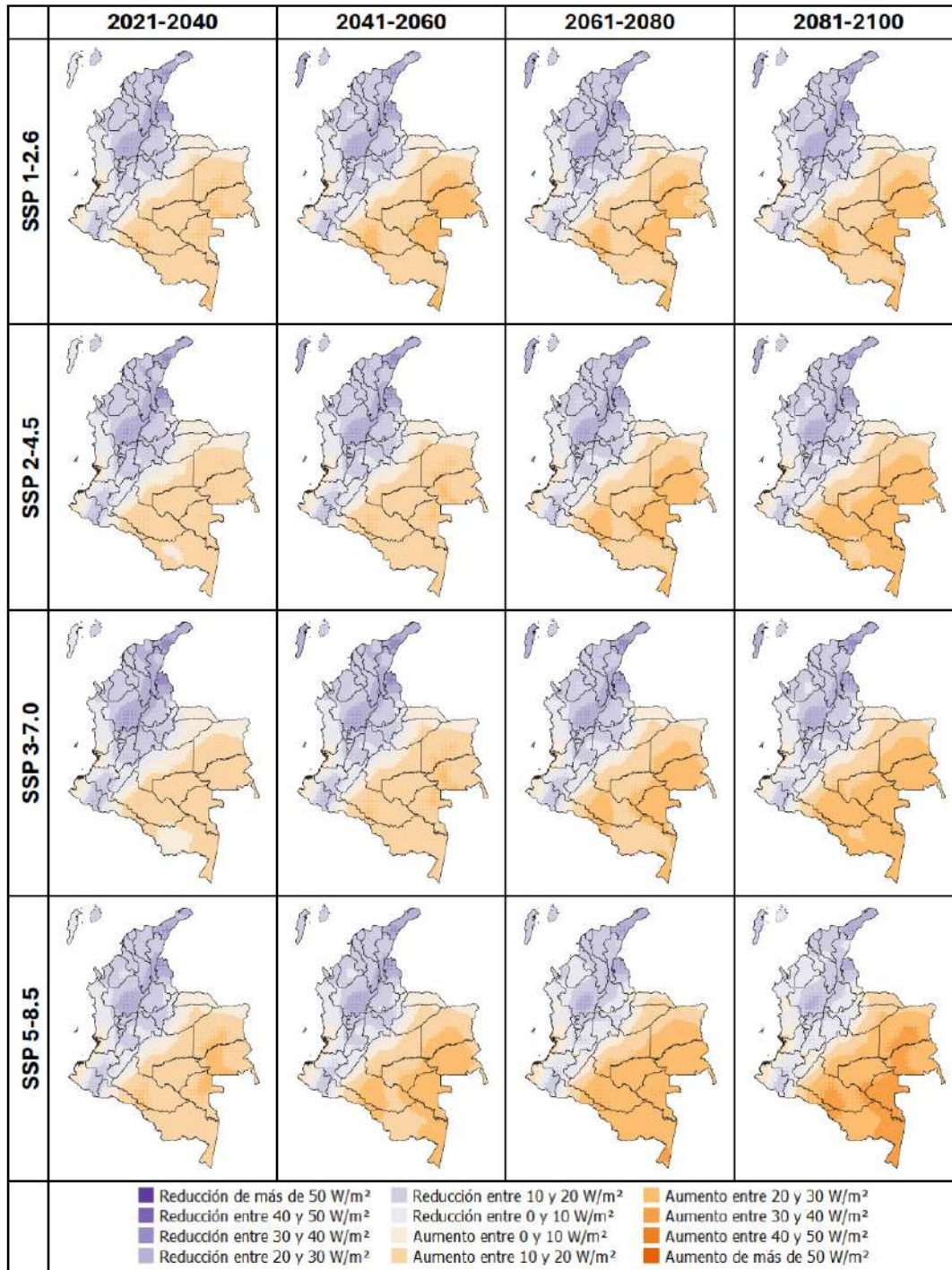


Figura 4.118. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en octubre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

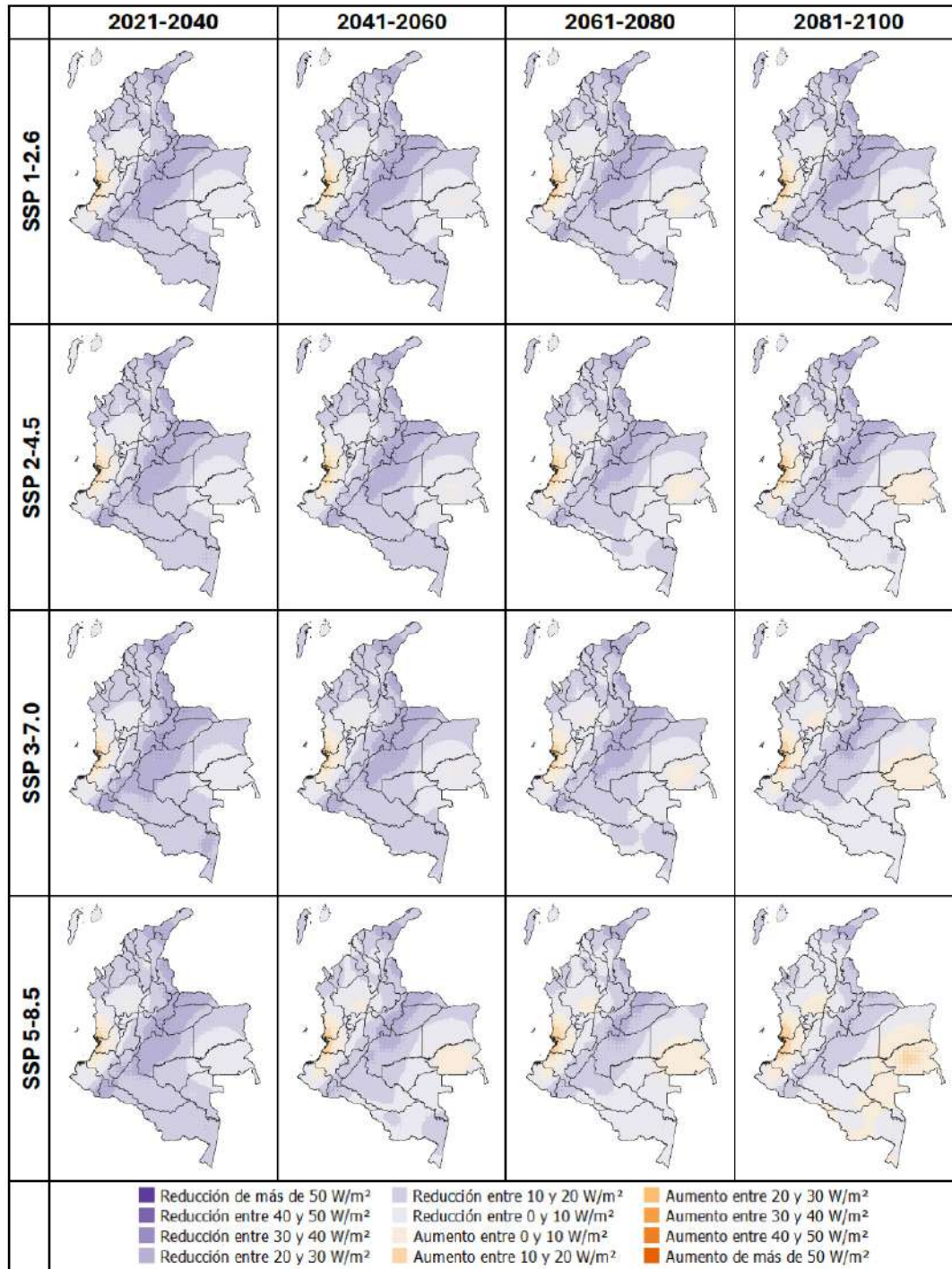


Figura 4.119. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en noviembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100

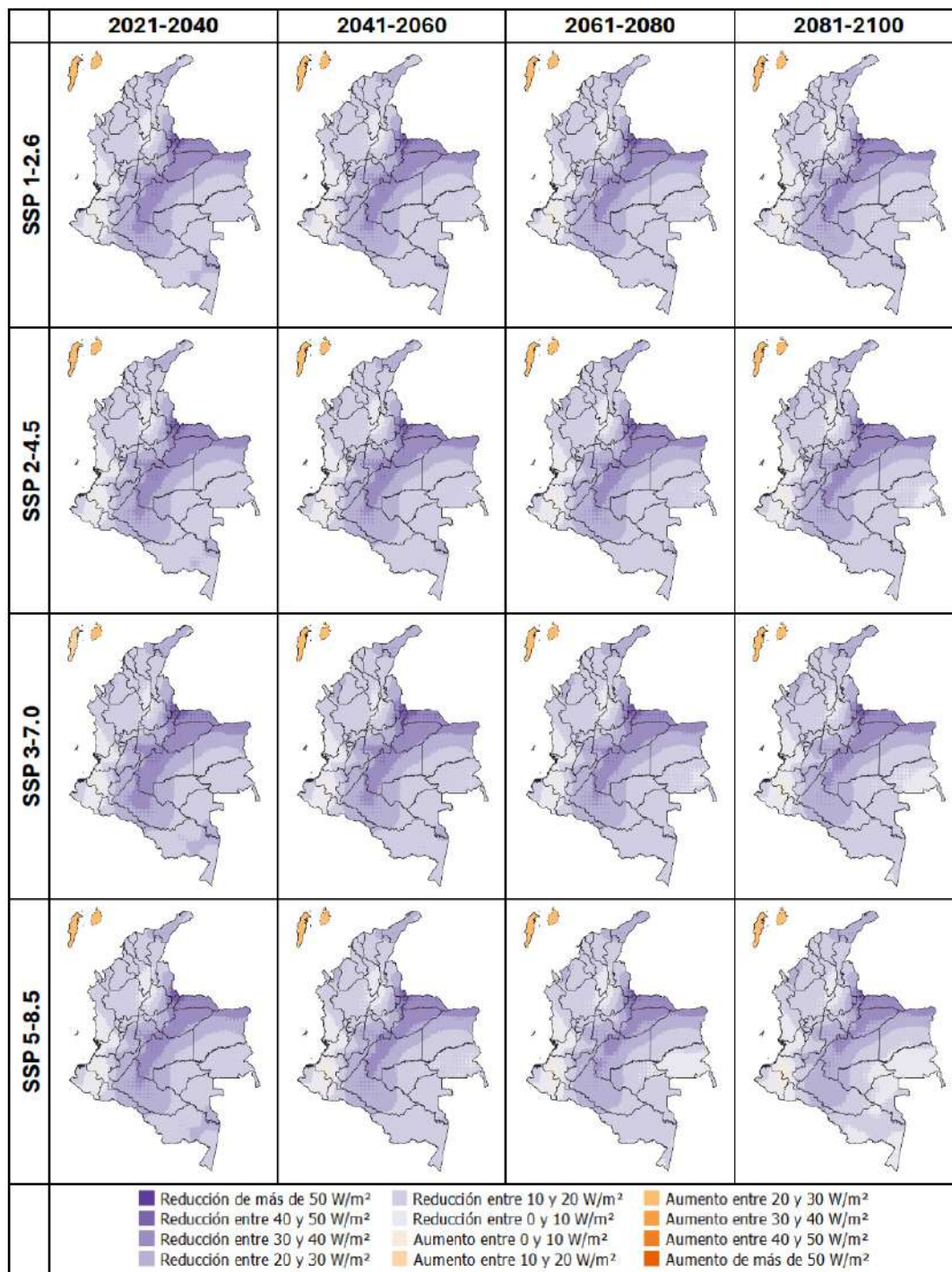
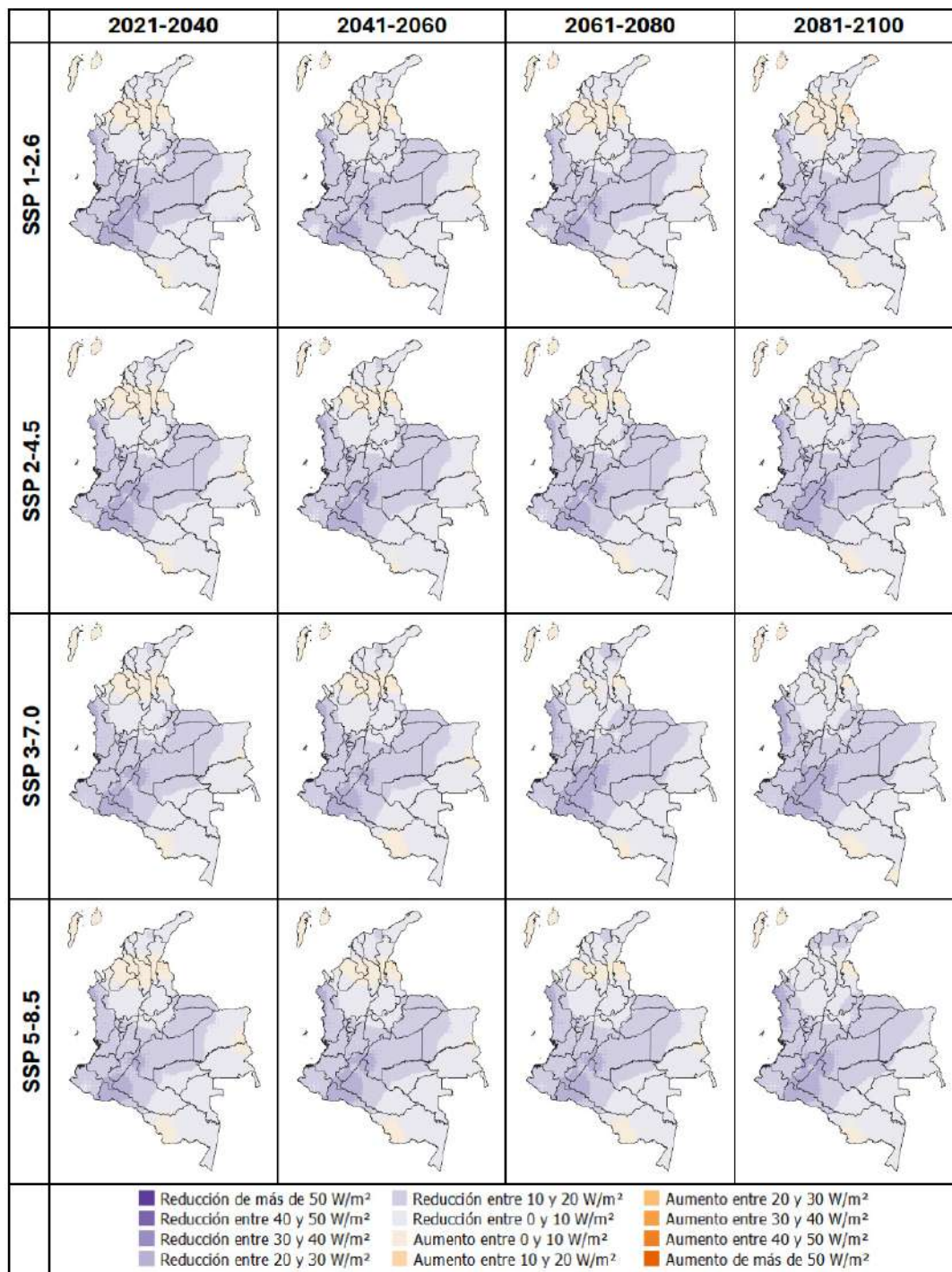


Figura 4.120. Cambio futuro proyectado de la radiación global (W/m^2) en diciembre, desde 4 escenarios SSP en los periodos 2021-2040, 2041-2060, 2061-2080 y 2081-2100



5. Conclusiones



- Los datos futuros del ensamble multimodelo presentan tendencias para cada uno de los escenarios y variables climáticas. En el caso de las temperaturas media, máxima y mínima, todas presentan tendencias al aumento, y en el corto plazo habría zonas del país con aumentos significativos. De esta manera, la magnitud del cambio más marcada se daría en los periodos 2061-2080 y 2081-2100. Desde los escenarios de mayores emisiones (SSP3-7.0 y SSP5-8.5), el país tendría al menos 2 °C más altos en las temperaturas, en comparación con las históricas del periodo 1981-2010, y estas podrían ser de más de 3 °C en el último escenario para finales del siglo XXI.

A nivel estacional, las temperaturas presentarían aumentos en los cuatro trimestres del año, y los “menores” aumentos se darían en el trimestre junio-julio-agosto para la temperatura máxima; en los trimestres entre junio y febrero para la temperatura mínima, y entre junio y noviembre para la temperatura media. En términos mensuales, las temperaturas aumentarían a lo largo del año, y se presentarían los mayores aumentos entre julio y febrero para la temperatura máxima, entre octubre y febrero para la temperatura mínima, y entre agosto y marzo para la temperatura media.

- Respecto a la precipitación, esta mostraría aumentos en la mayor parte del territorio nacional, y los más altos (del 20 % al 50 %) se verían en gran parte de la región Andina desde los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5 hacia la segunda mitad del siglo XXI. Por su parte, las reducciones de las lluvias se darían en la región Caribe y parte de la región Orinoquía, con las mayores disminuciones (del orden del 10 % al 40 %) en el periodo y en los escenarios mencionados anteriormente.

En cuanto a los cambios a nivel estacional (trimestral), estos son muy variados en cada periodo, ya que habría reducciones para el trimestre diciembre-enero-febrero en la región Caribe, y aumentos en las regiones Andina, Pacífica y Amazonia. Para el trimestre marzo-abril-mayo, los cambios serían significativos, con aumentos en la región Andina, en el occidente de la región Amazonia, en el centro de la región Caribe y el norte de la Orinoquía, mientras que las reducciones se darían en la Orinoquía y el norte de las regiones Amazonia, Pacífica y Caribe. En junio-julio-agosto, se presentarían aumentos de la precipitación en la mayor parte del país a lo largo del siglo XXI, y se tendrían reducciones en parte de la región Caribe. Por último, para el trimestre septiembre-octubre-noviembre, se tendrían aumentos en las regiones Pacífica y Orinoquía, en el norte de la Amazonia y en el sur de la región Caribe, y reducciones en el sur de la región Andina, en La Guajira y en el sur de Amazonas. Los cambios más significativos (de más del 30 %) del volumen trimestral, en comparación con el histórico del periodo 1981-2010, se verían en la segunda mitad del siglo XXI, en los escenarios SSP3-7.0 y SSP5-8.5.

A nivel mensual, los cambios también serían variados, pues habría aumentos y reducciones de la precipitación en las diferentes regiones del país. En este caso, se destacarían a lo largo del año los aumentos de las regiones Andina, Amazonia y Orinoquía, y las reducciones significativas en la región Caribe.

- La humedad relativa presentaría disminuciones en todo el país a lo largo del siglo XXI y desde todos los escenarios SSP. Estas reducciones estarían entre el 4 % y el 6 % a finales de siglo en la Orinoquía y la Amazonia, en los dos últimos escenarios.

Conclusiones

A nivel trimestral, se verían cambios variados, con reducciones de la humedad relativa en el trimestre diciembre-enero-febrero en casi todo el país; durante marzo-abril-mayo en las regiones Andina, Pacífica y Orinoquía; en el trimestre junio-julio-agosto en la zona Andina y en el Caribe, y en septiembre-octubre-noviembre en la Amazonia y en la Orinoquía. Habría aumentos importantes en este último trimestre en las regiones Andina y Caribe.

A nivel mensual, la humedad tendría cambios variados, con aumentos en el occidente de la región Orinoquía en el primer semestre de año, y en la región Caribe entre julio y septiembre, y con reducciones en las regiones Caribe y Andina, y en el norte de la Orinoquía entre diciembre y febrero.

- La velocidad del viento se reduciría en la mayor parte del territorio nacional, y solo en el norte de La Guajira y parte de las regiones Orinoquía y Amazonia se darían aumentos, especialmente en la segunda mitad del siglo XXI en los dos últimos escenarios.

A nivel estacional, en los trimestres diciembre - enero - febrero, marzo - abril - mayo y junio - julio - agosto, se tendrían aumentos en la velocidad del viento en las regiones Caribe y Orinoquía, y reducciones en la región Pacífica y parte de la región Andina. En el trimestre septiembre-octubre-noviembre solo habría aumentos de la velocidad del viento en el occidente de las regiones Amazonia y Orinoquía, y reducciones en las demás zonas del país.

Y a nivel mensual, entre diciembre y mayo se presentarían aumentos de la velocidad del viento desde los cuatro escenarios SSP durante el siglo XXI en la región Caribe y en el occidente de las regiones Amazonia y Orinoquía, mientras que en el resto del país habría disminuciones.

- La radiación global presentaría, a nivel anual, aumentos en la Orinoquía, la Amazonia y el centro y sur de las regiones Andina y Pacífica, y reducciones en el resto del país; las más altas se darían en la región Caribe.

A nivel estacional, la radiación global también presentaría cambios variados, con reducciones en el trimestre diciembre-enero-febrero en casi toda Colombia, aumentos en la mayor parte del territorio nacional para el trimestre marzo-abril-mayo, reducciones en las regiones Andina, Amazonia y Orinoquía, y aumentos en el resto del país para el trimestre junio-julio-agosto; asimismo, habría reducciones durante el trimestre septiembre-octubre-noviembre en gran parte de Colombia.

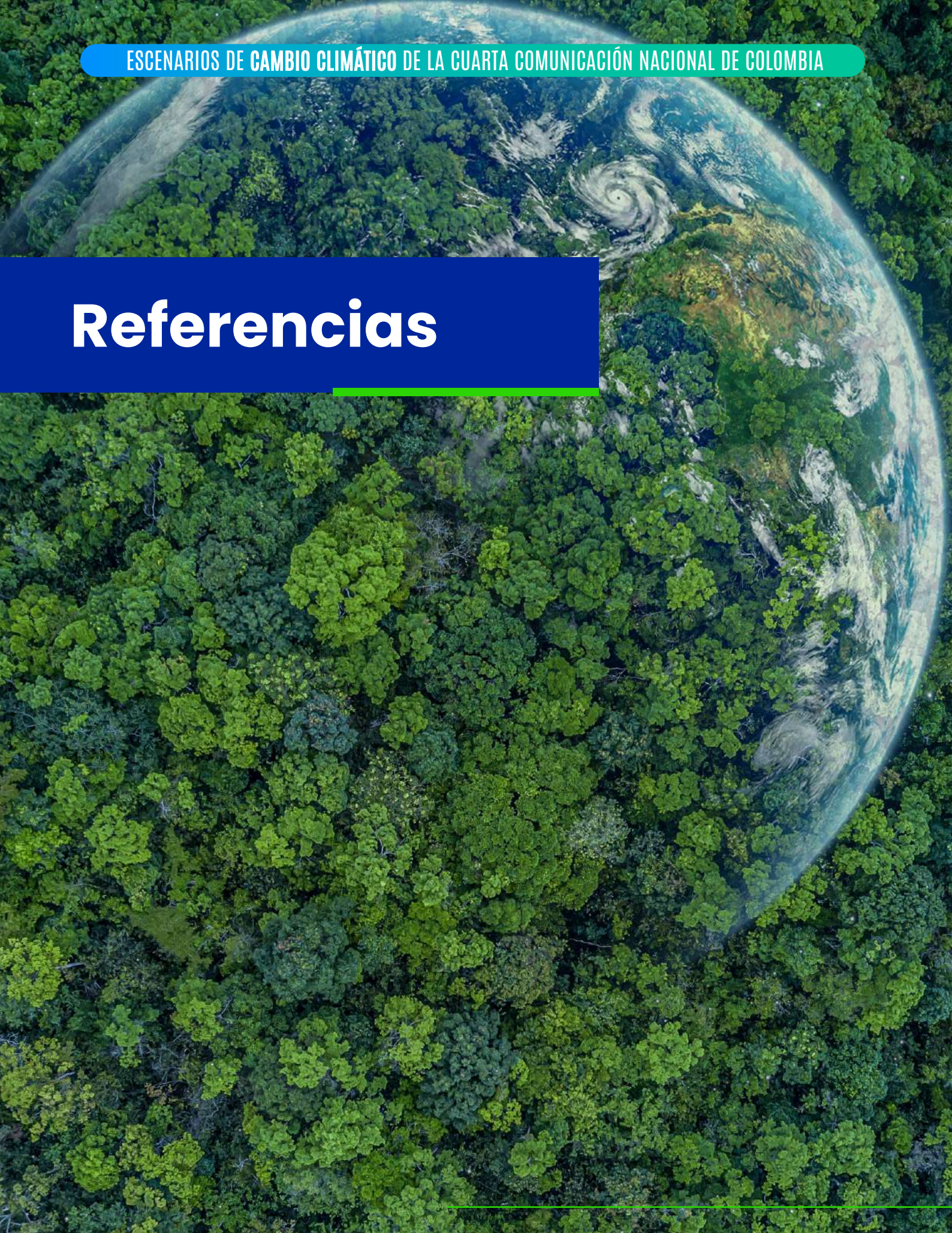
Finalmente, a nivel mensual, en enero, abril, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre, se presentarían reducciones en la radiación mensual en la mayor parte del territorio nacional, mientras que en febrero se tendrían leves aumentos en casi todo el país.

- Un aspecto que se destaca en los análisis estacionales y mensuales es que, posiblemente, se incrementen la intensidad y la frecuencia de los eventos extremos en Colombia, teniendo en cuenta que en los meses de mayores lluvias las proyecciones de la precipitación muestran aumentos de los volúmenes futuros, en comparación con los observados en el periodo histórico 1981-2010. En el caso de los periodos de menores lluvias en el país, estos serían más largos y frecuentes a lo largo del siglo XXI.

Conclusiones

- Los cambios proyectados en diferentes escalas temporales muestran varios aspectos para considerar en el momento de hacer uso de los escenarios de cambio climático para la elaboración de los planes, las medidas y los proyectos de adaptación y mitigación, teniendo en cuenta que, a niveles menores de la escala anual (a excepción de las temperaturas media, máxima y mínima), las proyecciones mostrarán comportamientos diferentes, con aumentos en ciertos periodos del año y en distintas zonas del país, que cambian de comportamiento (es decir, con aumentos en ciertos periodos del año y disminuciones en otros) y áreas de cobertura (zonas más amplias en ciertos meses y más pequeñas en los demás) en otros periodos a lo largo del año.
- Por último, las escalas temporales y espaciales para las cuales se generaron las proyecciones climáticas futuras para el siglo XXI en los cuatro escenarios SSP cuentan con una mejor resolución en comparación con aquellas generadas en comunicaciones nacionales anteriores. Asimismo, el hecho de poder tener más variables, además de la precipitación y las temperaturas media, máxima y mínima, sirve como herramienta para los diferentes usuarios de estos escenarios, tanto para trabajos técnicos en los que es necesario hacer diferentes modelaciones (hidrológicas, agrícolas, de infraestructuras, salud, entre otras) como para análisis regionales más detallados.

Referencias



Referencias

Angarita, H., Moncada, A., & Pérez, C. (2020). *Escenarios de Cambio Climático: Método k-NN*. Instituto de Ambiente de Estocolmo.
<https://www.sei.org/publications/escenarios-de-cambio-climatico-metodo-k-nn/>

Barrios, J. S. (2023). *Consolidación y análisis estadístico de series de datos para modelos de cambio climático* [Informe final contrato FN-183-22]. Fundación Natura; Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam); Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD).

Escoto Castillo, A., Sánchez Peña, L., & Gachuz Delgado, S. (2017). Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP): nuevas maneras de comprender el cambio climático y social. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 32(3), 669-694.
<https://doi.org/10.24201/edu.v32i3.1684>

Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, & Centro Nacional de Educación Ambiental. (2013). *Cambio climático: bases físicas. Guía resumida del Quinto Informe del IPCC*.
https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/guia-resumida-grupo-trabajoi_tcm30-376939.pdf#:~:text=Cambio%20Clim%C3%A1tico%20Bases%20F%C3%ADsicas.%20GU%C3%8DA%20RESUMIDA.%20GRUPO%20DE

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2013). *Cambio Climático 2013: Bases físicas. Resumen para responsables de políticas*. Cambridge University Press. https://archive.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WG1AR5_SPM_brochure_es.pdf

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [IPCC]. (2021). *Climate Change 2021. The Physical Science Basis*. Cambridge University Press.
<https://doi.org/10.1017/9781009157896>

Guzmán, D., & Ruíz, J. F. (2013). *Regionalización de Colombia según la estacionalidad de la precipitación media mensual a través del análisis de componentes principales (ACP)* [Informe técnico]. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam).
<http://www.ideam.gov.co/documents/21021/21141/Regionalizacion%20de%20la%20Precipitacion%20Media%20Mensual/1239c8b3-299d-4099-bf52-55a414557119#:~:text=Para%20la%20regionalizaci%C3%B3n%20seg%C3%89n%20la%20estacionalidad%20de%20la>

Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Hirahara, S., Horányi, A., Muñoz-Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Abdalla, S., Abellan, X., Balsamo, G., Bechtold, P., Biavati, G., Bidlot, J., Bonavita, M., De Chiara, G., Dahlgren, P., ... Thépaut, J.-N. (2020). The ERA5 global reanalysis. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 146(730), 1999-2049. <https://doi.org/10.1002/qj.3803>

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales [Ideam]; Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo [PNUD]; Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible [MADS]; Departamento Nacional de Planeación [DNP], & Cancillería. (2015). *Nuevos escenarios de cambio climático para Colombia 2011-2100*.
<http://modelos.ideam.gov.co/media/dynamic/escenarios/escenarios-de-cambio-climatico-2015.pdf>

Pabón Caicedo, J. D. (2011). *El cambio climático en el territorio de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca*. Corporación Autónoma Regional (CAR).
<http://hdl.handle.net/20.500.11786/33708>

Financiado por



Implementado por

