Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evaluación preliminar de la evolución prevista de variables climáticas y derivadas para el área Liérganes

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Tabla de contenidos

Contenido

Tabla de contenidos **2**

Resumen de los resultados obtenidos **1**

1 Introducción **4**

2 Clima **7**

2.1 Temperatura máxima 7
2.2 Temperatura mínima 11
2.3 Temperatura media 14
2.4 Precipitación 17
2.5 Temperatura media del mes más cálido 21
2.6 Temperatura media del mes más frío 21
2.7 Temperatura media de las máximas del mes más cálido 22
2.8 Temperatura media de las mínimas del mes más frío 22
2.9 Episodios de 2 a 5 días con temperatura máxima >38°C 23
2.10 Episodios de 6 a 10 días con temperatura máxima >38°C 23
2.11 Episodios de más de 10 días con temperatura máxima >38°C 24
2.12 Oscilación térmica total 25
2.13 Noches tropicales 26
2.14 Número de heladas 26
2.15 Integral térmica sobre 7,5°C 28
2.16 Grados día refrigeración 31
2.17 Grados día calefacción 32
2.18 Índice de continentalidad simple o amplitud térmica 33
2.19 Índice de Termicidad 34
2.20 Índice de Termicidad Compensado 35
2.21 Índice ombrotérmico 37
2.22 Número de días con Tmax > T(P95) [1985- 2014 JJAS] (umbral de ola decalor) 38
2.23 Número de días con Tmin < T(P05) [1985-2014 NDEFMA] (umbral de olade frío) 39
2.24 Olas de calor 40
2.25 Olas de frío 43

3 Balance hídrico **46**

3.1 Evapotranspiración potencial o de referencia 46
3.2 Balance hídrico 49
3.3 Superávit hídrico 52
3.4 Déficit hídrico 55
3.5 Meses con balance hídrico > 0 58
3.6 Índice de aridez 58
3.7 Índice de aridez de Lang 62
3.8 Índice de aridez de Martonne 63
3.9 Índice de humedad de Thornthwaite 64

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.10 Intensidad de la sequía 68
3.11 SPI 71
3.12 SPEI 74

4 Biodiversidad 78
4.1 Índices bioclimáticos 78
4.2 Temperatura media del periodo vegetativo 89
4.3 Temperatura mínima del periodo vegetativo 89
4.4 Temperatura máxima del periodo vegetativo 90
4.5 Temperatura mínima del periodo de reposo vegetativo 90

Referencias 92

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Resumen de los resultados obtenidos

Para realizar una primera caracterización en Liérganes se han analizado los tres observatorios meteorológicos más cercanos, escogiéndose finalmente el observatorio "1105U" ya que presentaba una mejor calidad de sus datos.

El análisis se ha hecho en base a 60 indicadores climáticos agrupados en tres áreas: clima, balance hídrico y biodiversidad. En el cuadro se recogen el listado de indicadores empleados mientras que en el Anexo se define cada uno de ellos.

Indicadores analizados

25 Clima

- Temperatura máxima y mínima
- Días de calor y frío
- Olas de calor y frío
- Episodios de temperatura superiores a 38ºC
- Oscilación térmica total
- Noches tropicales
- Heladas
- Grados de refrigeración/calefacción
- Integral térmica sobre 7.6C
- Noches tropicales
- Índice de termicidad y termicidad compensado
- Índice Ombrotérmico
- Temperatura media/máxima o mínima del mes más frío/cálido
- Precipitación

12 Balance hídrico

- Evapotranspiración potencial o de referencia
- Balance hídrico
- Déficit/superávit hídrico
- Meses con balance hídrico >0
- Índices de Aridez (clásico, Lang, Martonne)
- Índice de humedad de Thornthwaite
- SPI a 3,6,12,24 y 60 meses
- SPEI a 3,6,12,24 y 60 meses

23 Biodiversidad

- 19 Índices bioclimáticos
- Temperatura media, máxima y mínima del periodo vegetativo
- Temperatura mínima del periodo de reposo vegetativo

En el Anexo se pueden consultar los resultados (en formato gráfico) de cada uno de los indicadores, así como una descripción de cómo interpretar las figuras generadas. A continuación, se recogen las conclusiones principales del estudio.

Los resultados obtenidos muestran una tendencia hacía un aumento progresivo de las temperaturas a lo largo de todo el siglo XXI, tanto máximas como mínimas, siendo este aumento más acusado en las primeras.

Los aumentos de **temperatura media anual** esperados para mediados de siglo se sitúan en torno a 1,3-2ºC respecto al periodo de referencia (cuyo valor promedio se sitúa en 13,7ºC), mientras que para finales estos se esperan bastante más acusados (entre 1,6 y 4,3ºC). A finales de siglo la temperatura media de la región puede situarse por encima de los 18ºC en el peor de los casos.

Respecto a las **temperaturas máximas medias anuales** (cuyo valor de referencia es de 18ºC) los incrementos esperados para mediados de siglo se espera que oscilen entre 1,3 y 1,9ºC y para finales de siglo entre 1,4 y 3,9ºC, para los escenarios más favorable y pesimista, respectivamente llegando a esperase temperaturas de entre 19,9 y 21,9ºC a finales del mismo. Siguiendo esta tendencia, el **mes más cálido del año** podría ver aumentada su temperatura media entre 1,6 y 2,5ºC y entre 1,7 y 5,1ºC a mediados y finales de siglo, respectivamente respecto al valor de referencia de 20,2ºC. Incluso la **temperatura máxima registrada en el mes más cálido** podría situarse entre

25,9 y 26,6ºC a mediados de siglo y entre 25,9 y 28ºC a finales del mismo frente a la temperatura del periodo de referencia de 24,5ºC.

Este aumento de las temperaturas máximas se ve reflejado en los episodios de **olas de calor** cuya ocurrencia podría verse incrementada de 1 episodio observados en el periodo de referencia a entre 2-3 episodios a mediados de siglo y entre 2 y 6 episodios a finales del mismo. Así mismo se espera que la duración de dichos episodios también vaya en aumento pasando de 3-4 días de duración en el periodo de referencia a 4-7 días de duración a mediados del mismo y entre 4 y 11 días de duración a finales del mismo. La intensidad media registrada durante estos eventos se espera que suba alrededor de 1,6ºC a finales de siglo en el peor de los casos (alcanzando 40,2ºC). Dentro de estos episodios sí que se espera que la intensidad máxima sufra mayores incrementos, entre 0,7 y 1,2ºC a mediados de siglo y 0,8-3ºC a finales, esto supondría que durante un episodio de ola de calor podría alcanzarse los 40,1 (a mediados) y 42,3ºC (a finales) en el peor de los casos. Además, se observa como los **días cálidos** (aquellos que superan el percentil 95 de temperatura máxima) subieran considerablemente dándose entre 22 y 35 días a mediados de siglo y entre 23 y 82 a finales del mismo, en función del escenario considerado.

Respecto a las **temperaturas mínimas** se espera que aumenten entre 1,7 y 2,4ºC a mediados de siglo y entre 1,9 y 5,2ºC a finales del mismo, pudiéndose alcanzar temperaturas, en el peor de los casos, de 12,3ºC y 15,7ºC a mediados y finales de siglo. Así mismo, se espera que la **temperatura media mínima del mes más frío** (valor de referencia de 7,1ºC) aumente entre 1,2 y 1,9ºC y entre 1,6 y 4,1ºC a mediados y finales de siglo, respectivamente. Estos aumentos son muy similares a los esperados en la **temperatura más extrema del mes más frío**, cuyo valor de referencia es de 2,8ºC.

Estos aumentos esperados en las temperaturas mínimas harán que el **número de días con helada** descienda drásticamente pasando de tener 9 días de helada en el periodo de referencia a entre 3 y 2 a mediados de siglo y 3 a finales del mismo.

Al contrario de lo que se espera para las olas de calor, en el caso de los **episodios de olas de frío** se espera que estás disminuyan en ocurrencia y duración, llegando a no registrarse episodios con estas características a finales de siglo.

Dónde si se ve reflejado el impacto del aumento de las temperaturas mínimas es en la frecuencia de ocurrencia de las **noches tropicales** (aquellos días con temperatura mínima superior a 22º) que en la actualidad se registran 6 veces al año. A mediados de siglo se espera un aumento de estos episodios de 20 a 32ºC días, mientras que su ocurrencia se duplica a finales del siglo, entre 21 y 76 días.

Se espera que la **oscilación térmica anual** (actualmente de 30,3ºC) aumente entre 1,4 y 2,1ºC a mediados de siglo y entre 1,2 y 4ºC a finales del mismo.

Los cambios térmicos esperados, tendrán su impacto en el **confort térmico** de la población. Por un lado, aumentarán los **grados-día de refrigeración** de 166,5 a 264,4 grados-día a mediados de siglo y entre 184,8 y 677,2 grados-día a finales, según el escenario considerado y respecto al valor de referencia de 106,6 grados-día. Por otro lado, disminuirán los **grados-día de calefacción** (valor de referencia de 1442,8) entre 294,1 y 420,1 grado-día y 348,3 a 823 grados-día a mediado y finales del siglo.

Se espera que los valores de **evapotranspiración** aumenten de forma progresiva a lo largo de todo el siglo, pasando de registrarse 1173 mm

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

en el periodo de referencia hasta 1328 y 1521 mm a mediados y finales del siglo XXI en el peor de los escenarios posibles.

Respecto a las **precipitaciones**, en el periodo de referencia se registran unos 1130 mm/año, no se esperan cambios que no estén dentro de la variabilidad natural de las precipitaciones. En el caso más favorable se esperan leves aumentos mientras que en el más desfavorable, por el contrario, se esperarían descensos en las mismas. A nivel de **sequía meteorológica**, entendida como alteraciones en las precipitaciones, no se esperan cambios, pero si se considera la sequía meteorológica como un balance entre la evapotranspiración y la precipitación, se aprecian las consecuencias del calentamiento global. Como reflejan los resultados del SPEI, se espera que la zona de estudio sufra desde episodios moderadamente secos hasta extremadamente secos, aumentando su intensidad y duración de forma progresiva a lo largo del siglo. Estos resultados se traducen en descensos en el **balance hídrico** (que de referencia ya es negativo, -46,6mm) de 159,6 a 468,7 mm a mediados y finales de siglo, respectivamente, y bajo el caso más desfavorable.

Finalmente, en base a los distintos **indicadores de aridez** considerados, a pesar de los episodios de sequía esperados, la zona se mantendrá dentro de la clase de zona húmeda a semi húmeda con predominación de bosque.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

1 Introducción

El presente documento recoge información preliminar acerca de la evolución temporal prevista de variables climáticas y derivadas para el área Liérganes hasta finales del siglo XXI. Esta primera entrega pretende proporcionar información suficiente para poder realizar una primera toma de decisiones teniendo en cuenta los cambios previstos de cara a finales de siglo. En posteriores fases de entrega se proporcionará un análisis más detallado y se elaborarán escenarios más ajustados a las necesidades específicas del proyecto.

Las variables proporcionadas en este análisis son clasificadas en dos secciones diferenciativas en función de las aplicaciones que las mismas puedan tener: clima y balance hídrico. Se trata de escenarios generados de forma preliminar partiendo de simulaciones proporcionadas por modelos del CMIP6 (Coupled Model Intercomparison Project, phase 6), partiendo de informaciónno específica para este proyecto. Estos resultados han sido obtenidos partiendo de valores pertenecientes al observatorio de la red de AEMET más cercano a la localización que se pretende analizar que contenga tanto valores de precipitación como de temperatura. En concreto se trata el observatorio con identificador "1105U".

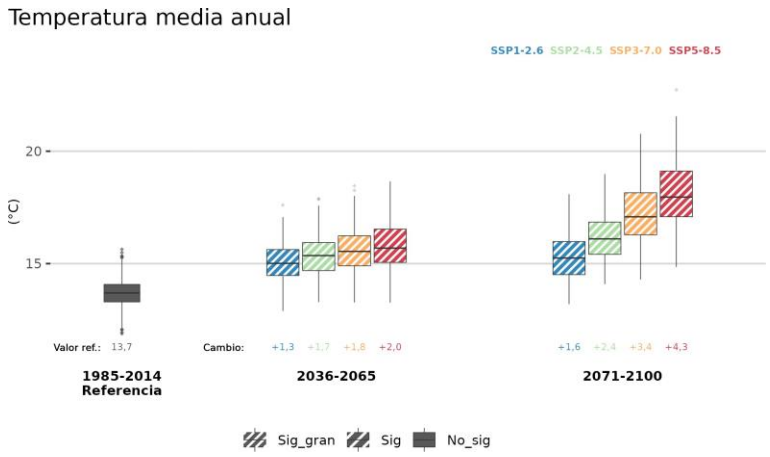


Figura 1: Ejemplo gráfico de cómo se representan los escenarios de clima futuro para la temperatura media anual.

La evolución temporal esperada de las variables proporcionadas es representada mediante diagramas de cajas y bigotes, que muestran las variaciones esperadas en las mismas a lo largo del siglo XXI con respecto del periodo de referencia seleccionado (1985-2014) (por ejemplo, ver Figura 1). A lo largo del eje X se muestra la evolución temporal mediante tres bloques de representaciones de diagramas de cajas y bigotes, cada uno de ellos correspondiente a un periodo distinto, de izquierda a derecha: periodo de referencia (1985-2014), mitad de siglo (2036-2065) y finales de siglo (2071-2100). En el eje Y se representan los valores de la variable simulada, en este caso, temperatura media anual.

Estos diagramas ofrecen una visión estadística de la distribución de los valores obtenidos, de forma que permite observar tanto el valor situado en la mitad de la distribución (la mediana) como la dispersión de los demás valores obtenidos, pudiendo identificar la variabilidad de la muestra y los valores más esperados y/o más

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

atípicos de la misma. La línea central horizontal dentro de cada caja corresponde con la mediana (Cuartil 2 o percentil 50). Este valor indica que el 50%

de todos los valores obtenidos para cada año dentro del periodo y para cada uno de los modelos climáticos considerados dentro de cada escenario se encuentra por encima de ese valor y el 50% restante por debajo. Los límites inferior y superior de la caja corresponden con los cuantiles 1 y 3, respectivamente, o los percentiles 25 y 75. El límite inferior indica que el 25% de los valores se encuentran por debajo del mismo, así como el límite superior indica que el 75% de los valores se encuentran por debajo de él. De esta forma, puede decirse que el 50% de los casos se encuentran dentro de la caja, siendo estos los valores más esperados. Finalmente, los bigotes determinan el límite para detectar valores atípicos de la distribución, estos serán aquellos que se muestren por encima o por debajo de los bigotes (límites inferior y superior), representados como puntos aislados alineados con los bigotes.

Dentro de cada uno de los tres bloques temporales que se diferencian en el eje X, se encuentran distinto número de diagramas de cajas y bigotes, así como diferentes colores para cada uno de ellos y patrones. En el caso del periodo de referencia, se representa un único diagrama en color grisáceo que corresponde con los valores de la variable representada que han sido obtenidos empleando la simulación histórica de los distintos modelos CMIP6 empleados para este estudio. En el caso de mitad y final de siglo, se representan cuatro diagramas de cajas y bigotes. Cada uno de ellos representa los valores de la variable en cuestión que han sido obtenidos empleando proyecciones futuras atendiendo a distintos escenarios de emisiones para los modelos CMIP6 empleados para este estudio. Los nombres de estos escenarios están constituidos por la combinación de dos índices:un "índice" de trayectoria socioeconómica de referencia (desde el SSP1: sostenibilidad, hasta el SSP5: desarrollo con combustibles fósiles), y el nivel de forzamiento radiativo en 2100 (de 2,6 a 8,5$\frac{W}{m^2}$) (O'Neill et al. (2016)). Los resultados obtenidos para cada uno de los 4 escenarios considerados están dispuestos siguiendo un orden de pesimismo: desde el escenario más optimista hasta el más pesimista, siendo este orden el mismo tanto para mitad como para final de siglo: SSP1-2.6 en azul, SSP2-4.5 en verde, SSP3-7.0 en amarillo y SSP5-8.5 en rojo. Por otro lado, cada uno de estos diagramas de cajas correspondientes a la evolución futura pueden presentar tres patrones distintos en función de si el cambio esperado en la variable resulta significativo o no con respecto de los valores obtenidos en el periodo de referencia atendiendo el test estadístico de Wilcoxon Mann Whitney, así como si la diferencia de tamaño entre ambas series de valores resulta pequeña, moderada o grande atendiendo al efecto del tamaño de Wilcoxon. Así, los diagramas de cajas y bigotes de aquellos cambios que sean considerados como no significativos o significativos de pequeña escala no presentarán ningún tipo de patrón, aquellos que sean considerados como significativos de escala moderada presentarán un patrón de líneas diagonales de poca densidad y, finalmente, aquellos que sean considerados como significativos de escala grande presentarán un patrón de líneas diagonales de alta densidad (como es el caso actual de todos los cambios esperados tanto para mitad como para final de siglo). Por último, se especifican los valores de cambio esperados a mediados y finales de siglo para cada uno de los escenarios de emisiones futuras. Estos son obtenidos calculando la diferencia entre el valor de la mediana del escenario futuro en cuestión con respecto del valor de la mediana del periodo de referencia y son representados numéricamente (mostrando incrementos o reducciones) debajo de los diagramas correspondientes a cada escenario de emisiones y periodo futuro.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2 Clima

2.1 Temperatura máxima

La Temperatura Máxima Media para cada periodo y rango temporal - donde los rangos temporales considerados han sido tanto el anual como el estacional - se ha obtenido calculando el promedio de las temperaturas máximas diarias para cada año del rango temporal específico del periodo en cuestión. Por ejemplo, para el periodo de referencia 1985 - 2014 se toman, para cada uno de los 30 años considerados, los datos diarios de temperatura máxima asociados al rango temporal de interés (anual o estacional), y se calcula el promedio.

Evolución anual

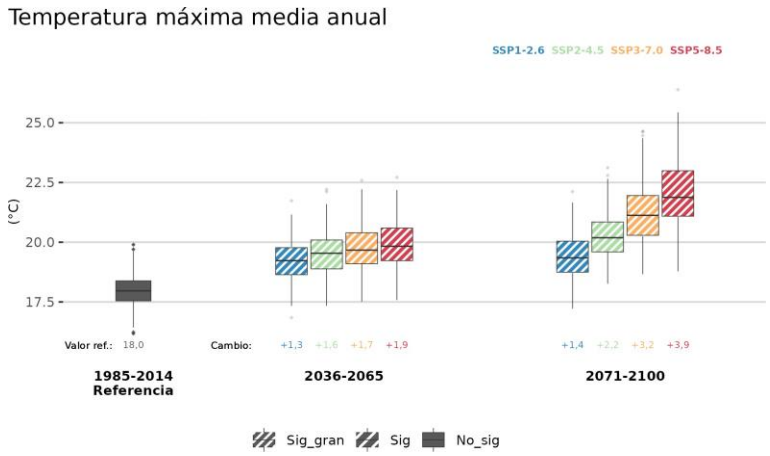


Figura 2: Evolución esperada para la variable de temperatura máxima media anual.

Evolución estacional

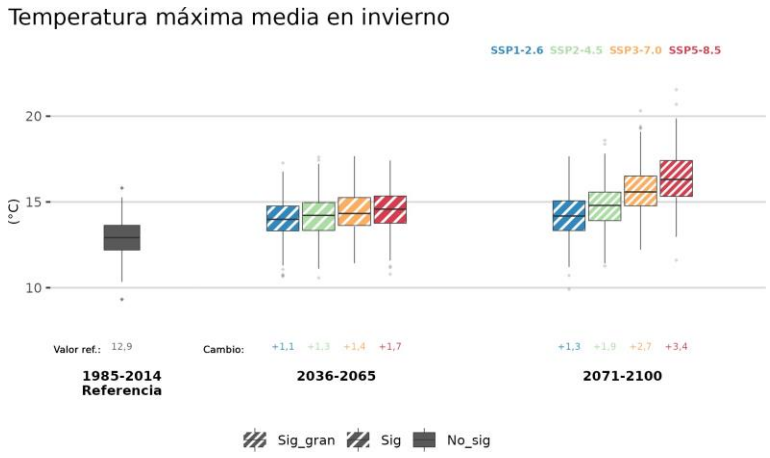


Figura 3: Evolución esperada para la variable de

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

temperatura máxima media para la estación de invierno.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

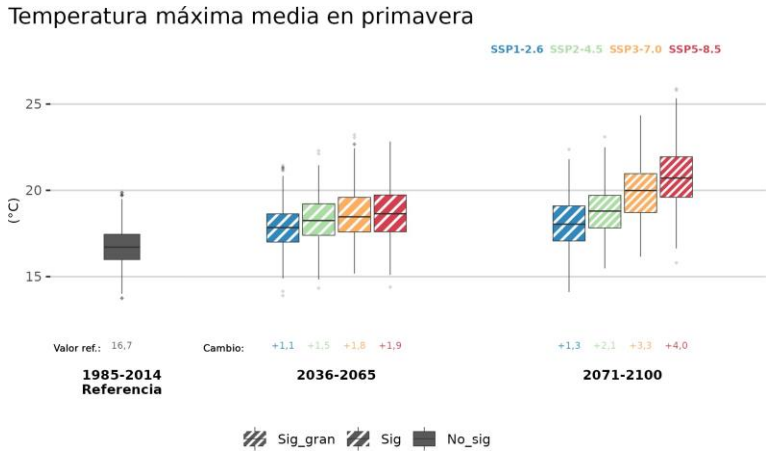


Figura 4: Evolución esperada para la variable de temperatura máxima media para la estación de primavera.

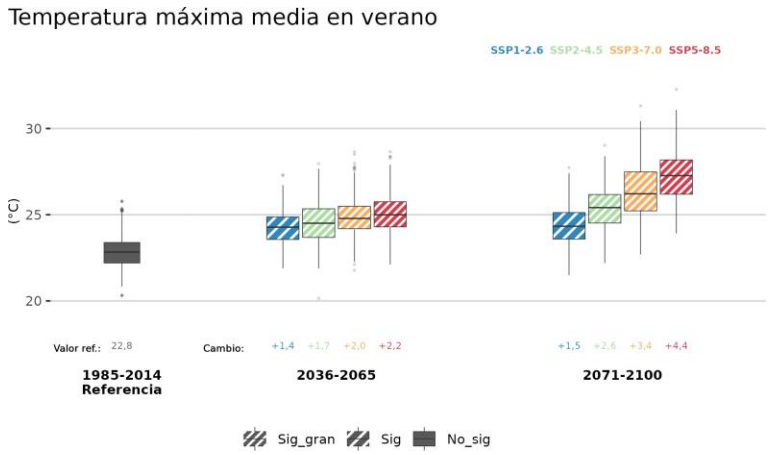


Figura 5: Evolución esperada para la variable de temperatura máxima media para la estación de verano.

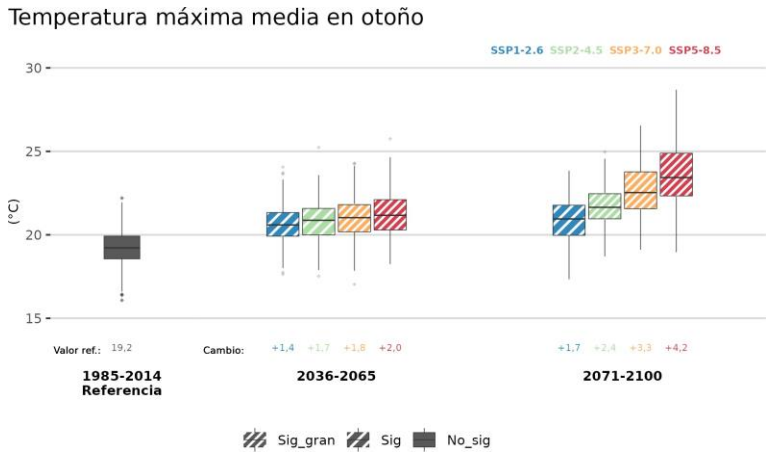


Figura 6: Evolución esperada para la variable

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

de temperatura máxima media para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.2 Temperatura mínima

La Temperatura Mínima Media para cada periodo y rango temporal - donde los rangos temporales considerados han sido tanto el anual como el estacional - se ha obtenido calculando el promedio de las temperaturas mínimas diarias para cada año del rango temporal específico del periodo en cuestión. Por ejemplo, para el periodo de referencia 1985 - 2014 se toman, para cada uno de los 30 años considerados, los datos diarios de temperatura mínima asociados al rango temporal de interés (anual o estacional), y se calcula el promedio.

Evolución anual

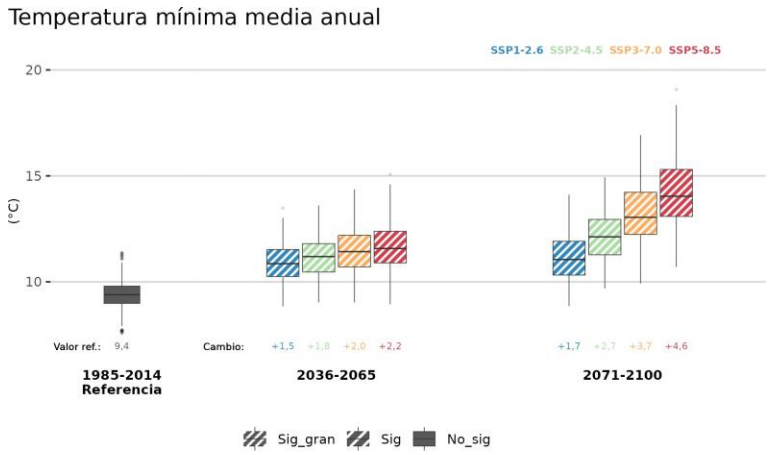


Figura 7: Evolución esperada para la variable de temperatura mínima media anual.

Evolución estacional

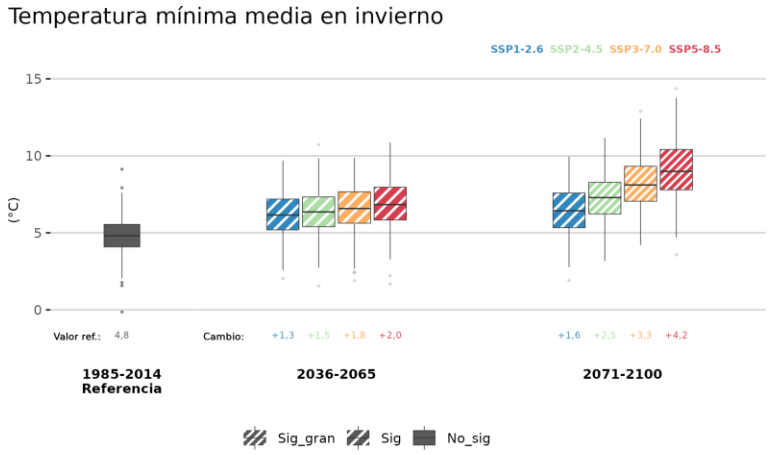


Figura 8: Evolución esperada para la variable de temperatura mínima media para la estación de invierno.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

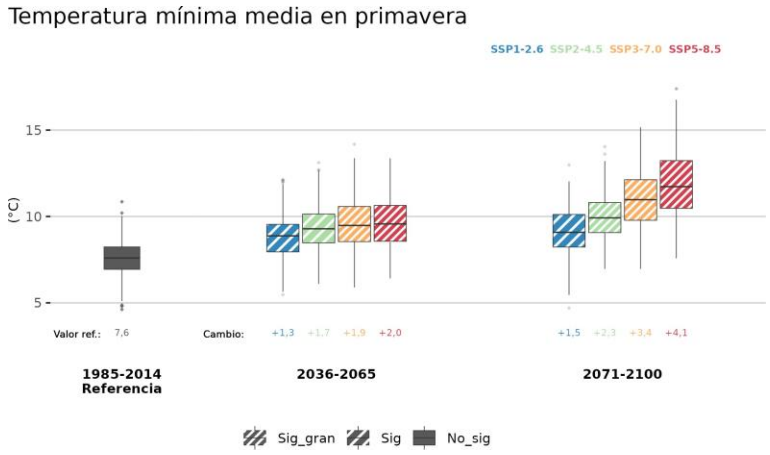


Figura 9: Evolución esperada para la variable de temperatura mínima media para la estación de primavera.

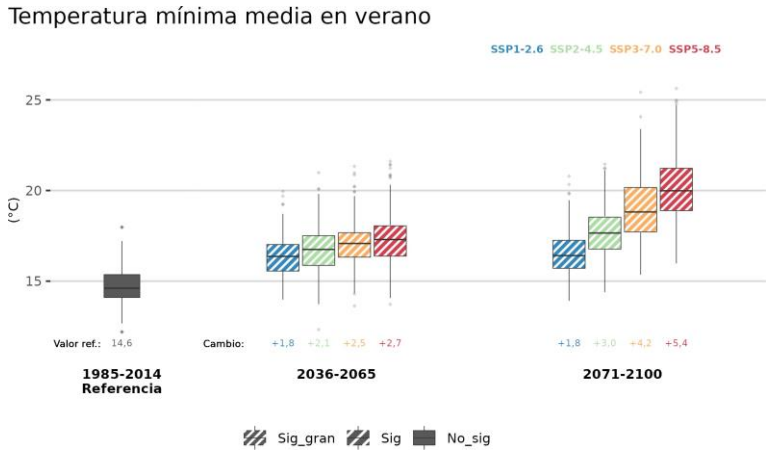


Figura 10: Evolución esperada para la variable de temperatura mínima media para la estación de verano.

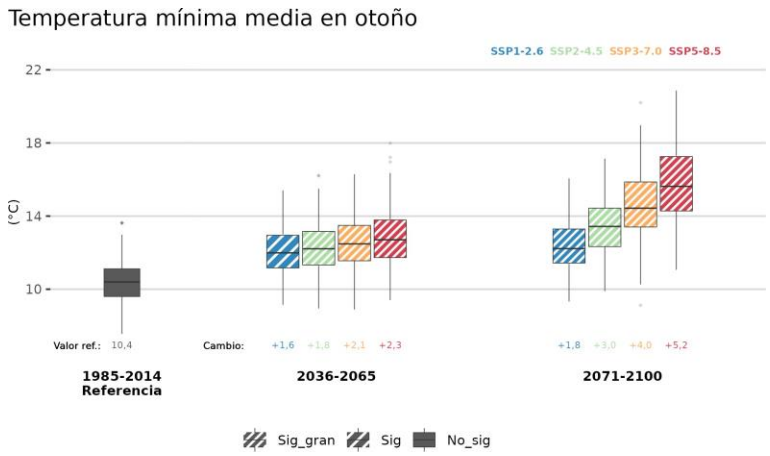


Figura 11: Evolución esperada para la variable

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

de temperatura mínima media para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.3 Temperatura media

La Temperatura Media para cada periodo y rango temporal - donde los rangos temporales considerados han sido tanto el anual como el estacional - se ha obtenido calculando el promedio de las temperaturas medias diarias para cada año del rango temporal específico del periodo en cuestión. Por ejemplo, para el periodo de referencia 1985 - 2014 se toman, para cada uno de los 30 años considerados, los datos diarios de temperatura media asociados al rango temporal de interés (anual o estacional), y se calcula el promedio.

Evolución anual

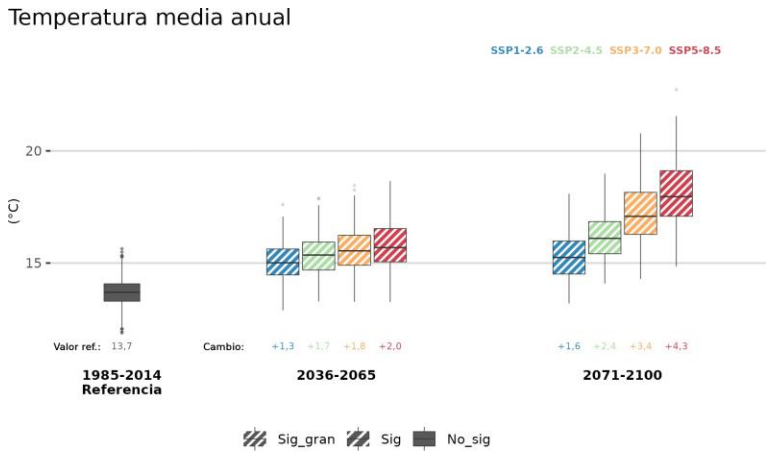


Figura 12: Evolución esperada para la variable de temperatura media anual.

Evolución estacional

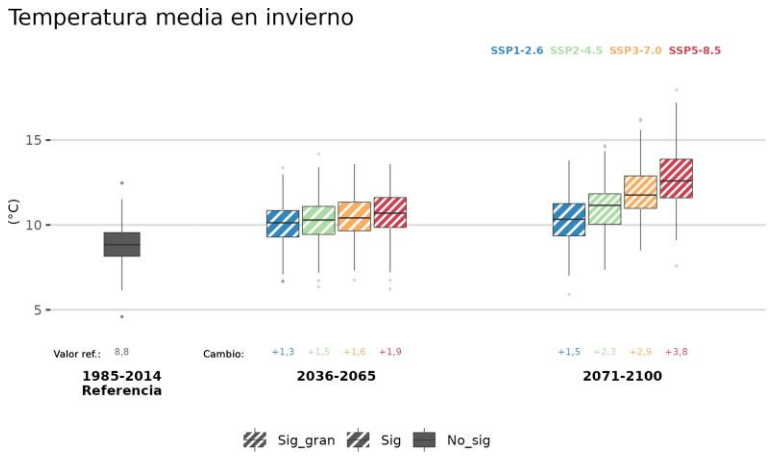


Figura 13: Evolución esperada para la variable de temperatura media para la estación de invierno.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

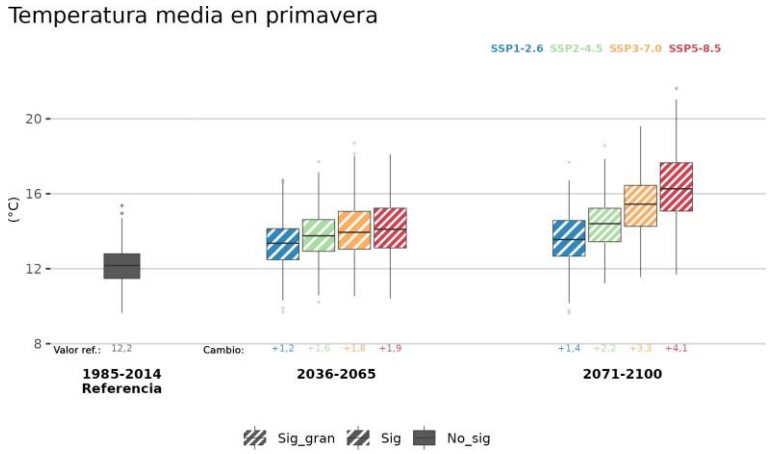


Figura 14: Evolución esperada para la variable de temperatura media para la estación de primavera.

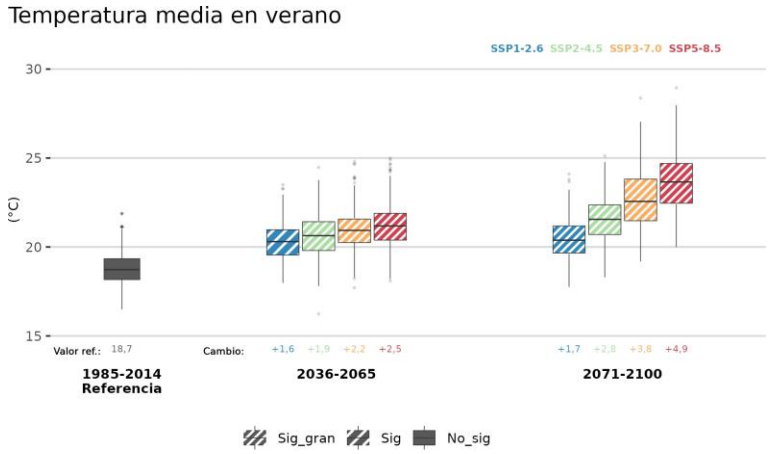


Figura 15: Evolución esperada para la variable de temperatura media para la estación de verano.

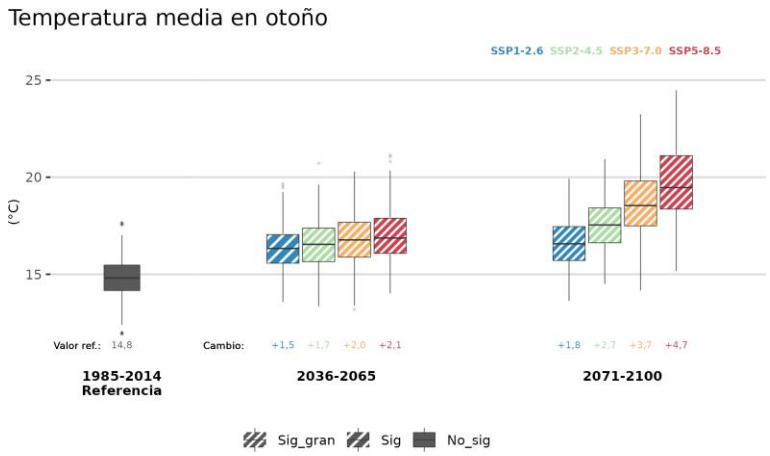


Figura 16: Evolución esperada para la

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

variable de temperatura media para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.4 Precipitación

La precipitación acumulada para cada periodo y rango temporal - donde los rangos temporales considerados han sido tanto el anual como el estacional - se ha obtenido calculando el sumatorio de la precipitación diaria para cada año del rango temporal específico del periodo en cuestión. Por ejemplo, para el periodo de referencia 1985 - 2014 se toman, para cada uno de los 30 años considerados, los datos diarios de precipitación asociados al rango temporal de interés (anual o estacional), y se calcula el sumatorio.

Evolución anual

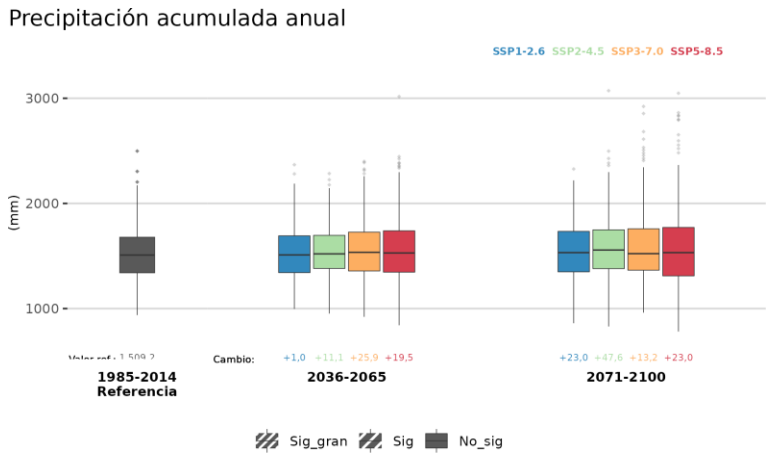


Figura 17: Evolución esperada para la variable de precipitación acumulada anual.

Evolución estacional

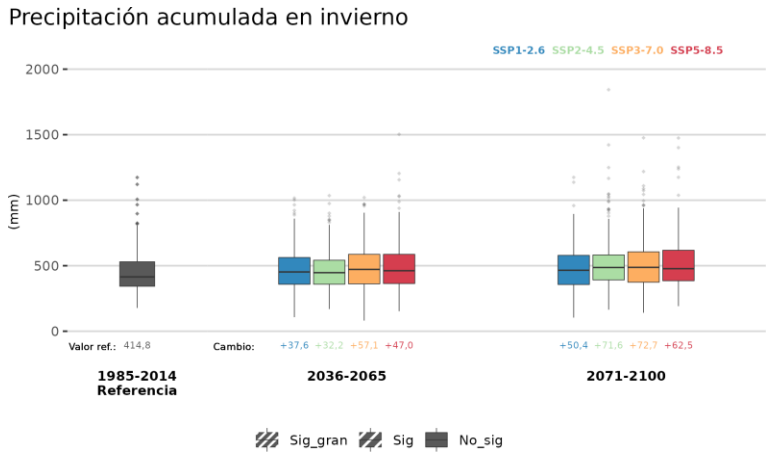


Figura 18: Evolución esperada para la variable

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

de precipitación acumulada en la estación de invierno.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

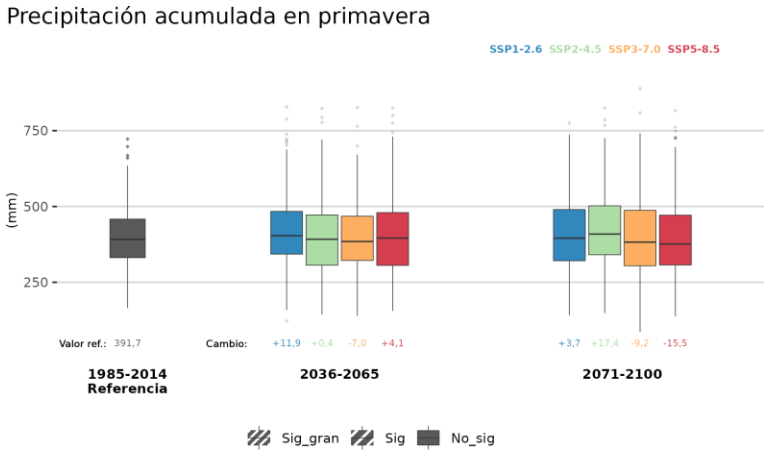


Figura 19: Evolución esperada para la variable de precipitación acumulada en la estación de primavera.

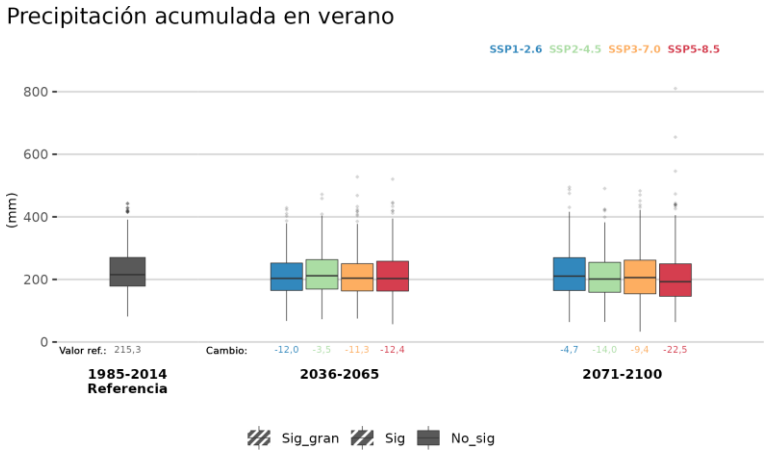


Figura 20: Evolución esperada para la variable de precipitación acumulada en la estación de verano.

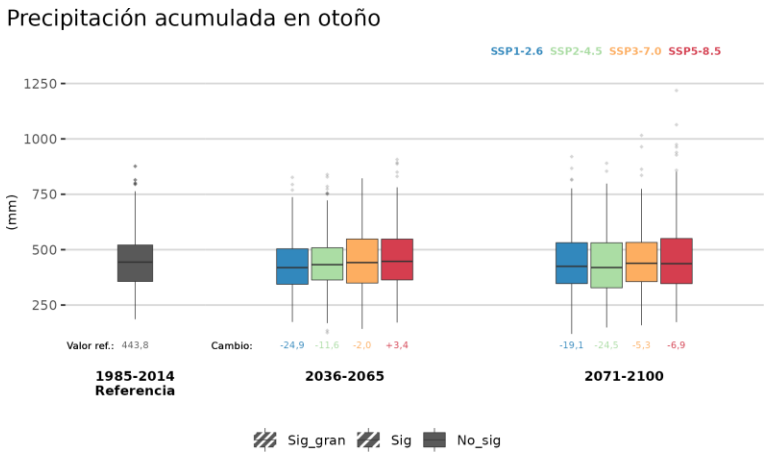


Figura 21: Evolución esperada para la variable

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

de precipitación acumulada en la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.5 Temperatura media del mes más cálido

La temperatura media del mes más cálido se valora anualmente para cada año del periodo en cuestión. Se toma el valor de la temperatura media diaria del mes en el que se ha registrado la máxima de las temperaturas máximas medias mensuales.

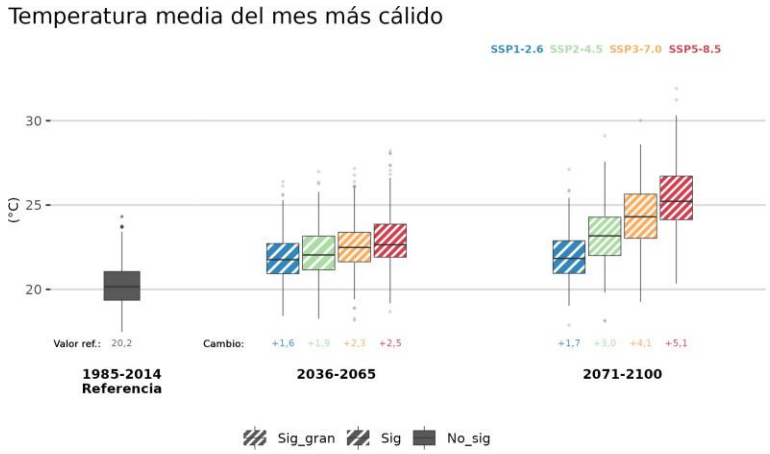


Figura 22: Evolución esperada para la variable de temperatura media del mes más cálido.

2.6 Temperatura media del mes más frío

La temperatura media del mes más frío se valora anualmente para cada año del periodo en cuestión. Se toma el valor de la temperatura media diaria del mes en el que se ha registrado la mínima de las temperaturas mínimas medias mensuales.

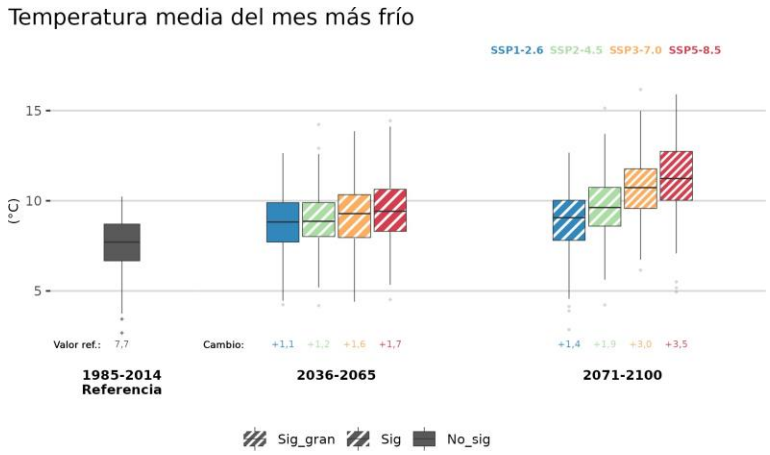


Figura 23: Evolución esperada para la variable de temperatura media del mes más frío.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.7 Temperatura media de las máximas del mes más cálido

La temperatura media de las máximas del mes más cálido se valora anualmente para cada año del periodo en cuestión. Se toma el valor de la temperatura máxima media mensual más alta del año.

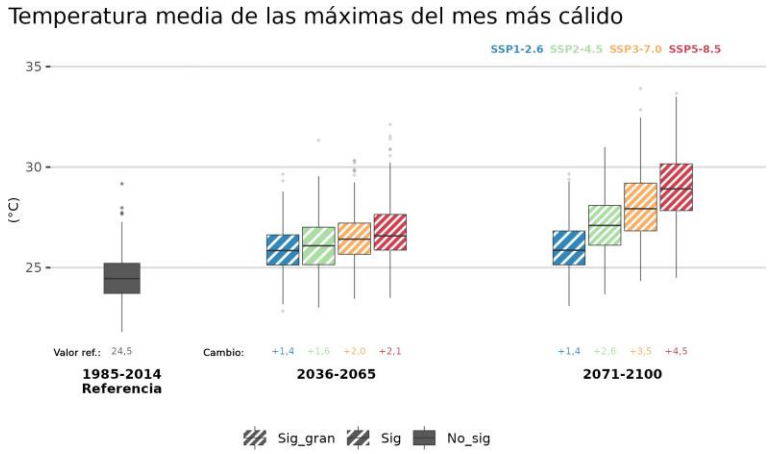


Figura 24: Evolución esperada para la variable de temperatura media de las máximas del mes más cálido.

2.8 Temperatura media de las mínimas del mes más frío

La temperatura media de las mínimas del mes más frío se valora anualmente para cada año del periodo en cuestión. Se toma el valor de la temperatura mínima media mensual más baja del año.

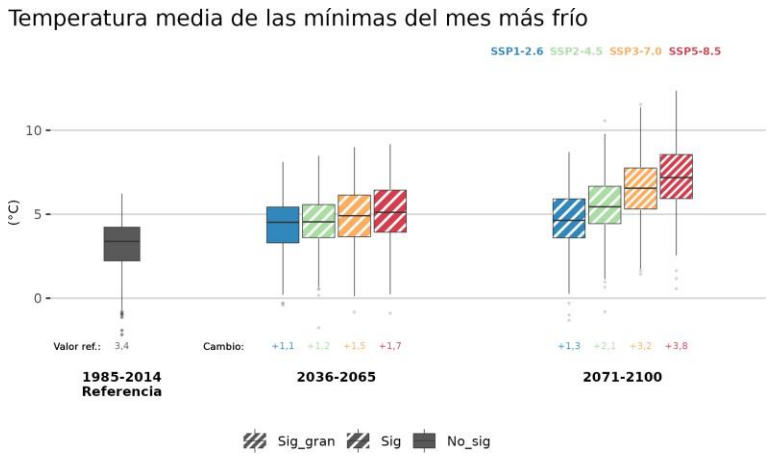


Figura 25: Evolución esperada para la variable de temperatura media de las mínimas del mes más frío.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.9 Episodios de 2 a 5 días con temperatura máxima >38°C

El número de episodios de 2 a 5 días con temperatura máxima superior a 38 grados se valora de manera anual. Con él se contabiliza el número de episodios al año en los que, durante 2-5 días seguidos, la temperatura máxima diaria es superior a 38 grados centígrados.

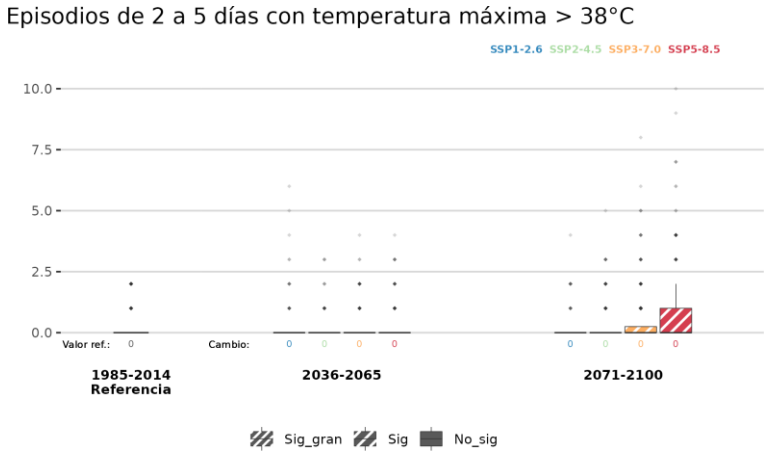


Figura 26: Evolución esperada para la variable de número de episodios de duración de 2 a 5 días en los que la temperatura máxima es superior a >38°C.

2.10 Episodios de 6 a 10 días con temperatura máxima >38°C

El número de episodios de 6 a 10 días con temperatura máxima superior a 38 grados se valora de manera anual. Con él se contabiliza el número de episodios al año en los que, durante 6-10 días seguidos, la temperatura máxima diaria es superior a 38 grados centígrados.

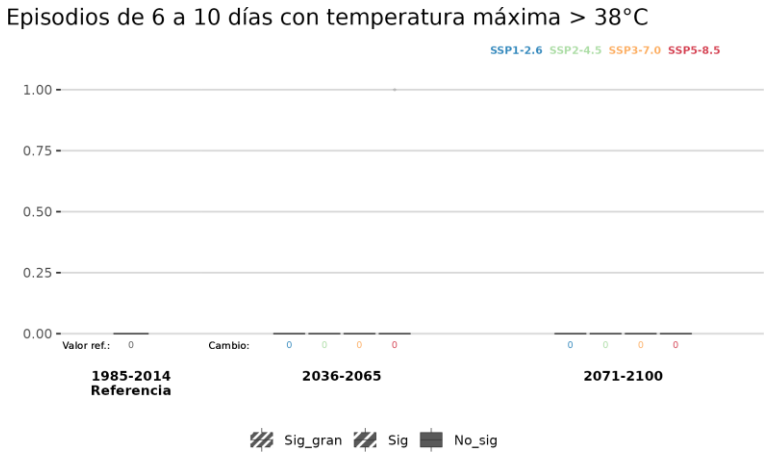


Figura 27: Evolución esperada para la variable de número de episodios de duración de 6 a 10 días en los que la temperatura máxima es superior a >38°C.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.11 Episodios de más de 10 días con temperatura máxima >38°C

El número de episodios de más de 10 días con temperatura máxima superior a 38 grados se valora de manera anual. Con él se contabiliza el número de episodios al año en los que, durante más de 10 días seguidos, la temperatura máxima diaria es superior a 38 grados centígrados.

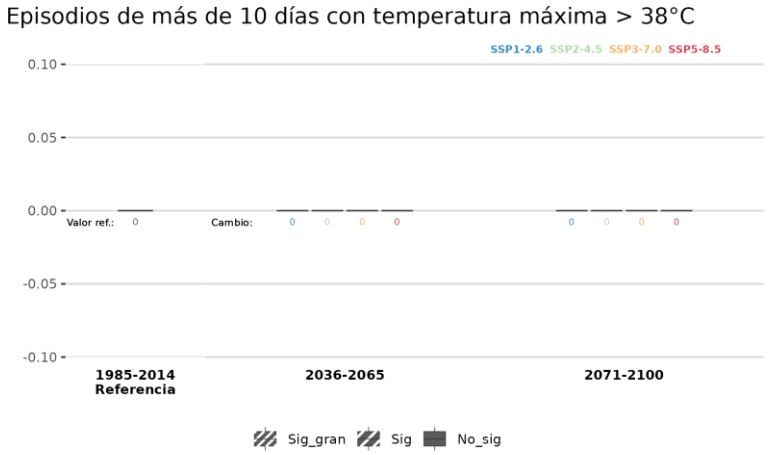


Figura 28: Evolución esperada para la variable de número de episodios de duración de más de 10 días en los que la temperatura máxima es superior a >38°C.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.12 Oscilación térmica total

La Oscilación Térmica Total es una variación de la Oscilación Térmica en la que en su cálculo se consideran otros parámetros: la media de las temperaturas máximas del mes más cálido y la media de las temperaturas mínimas del mes más frío. Al no tratar ahora con la media global de los meses seleccionados, si no con los promedios de temperatura mínima del mes más frío y de temperatura máxima del mes más cálido, podemos tener en cuenta aspectos como zonas con fuertes inversiones térmicas en invierno (y mínimas muy bajas) que se desdibujaban al computar la máxima diaria, o verdaderas sartenes de calor en verano en zonas rurales donde refresca por la noche. Esto nos permite conocer la oscilación térmica total del año en cada punto, lo que es un valor muy útil para la continentalidad de un área (Figura 29).

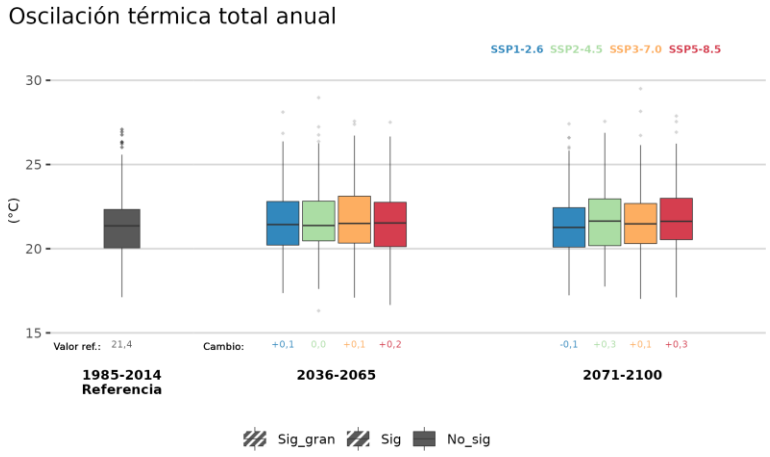


Figura 29: Evolución esperada para la variable de oscilación térmica total.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.13 Noches tropicales

El número de noches tropicales al año se ha obtenido como el sumatorio del número de días en los que la temperatura mínima diaria es superior o igual a 22°C para cada año del periodo en cuestión. Por ejemplo, para el periodo de referencia 1985 - 2014 se contabilizan, para cada uno de los 30 años considerados, el número de veces que la temperatura mínima diaria supera o igualalos 22°C.

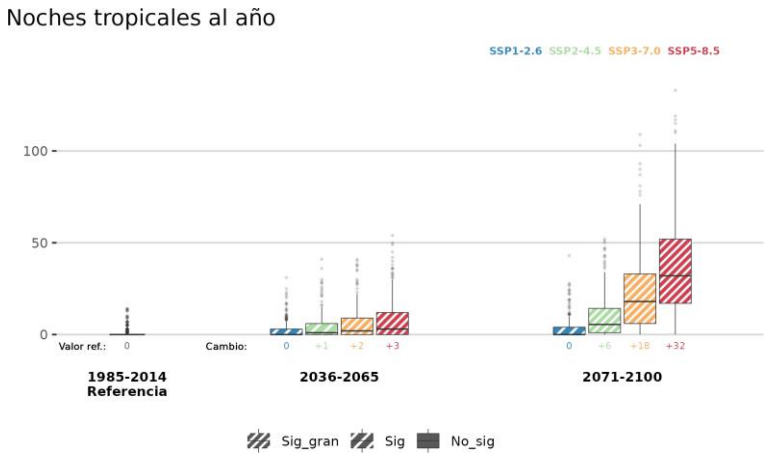
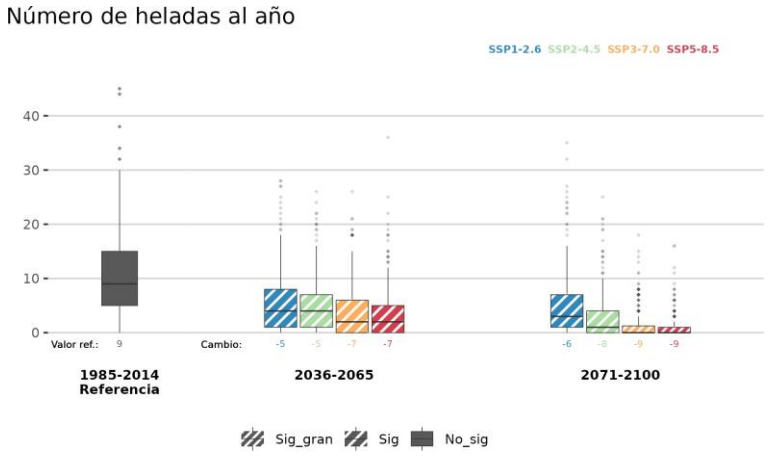


Figura 30: Evolución esperada para la variable de noches tropicales al año.

2.14 Número de heladas

El número de heladas (en rigor, el número de días de helada) se ha obtenido como el sumatorio del número de días en los que la temperatura mínima diaria es inferior o igual a 0°C para cada año del periodo en cuestión. Por ejemplo, para el periodo de referencia 1985 - 2014 se contabilizan, para cada uno de los 30 años considerados, el número de veces que la temperatura mínima diaria iguala o desciende por debajo de los 0°C.



Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Figura 31: Evolución esperada para la variable de número de heladas al año.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.15 Integral térmica sobre 7,5°C

Por integral térmica entendemos una suma continua de valores por encima de un cierto umbral o entre dos valores, en este caso de temperatura. Dicha integral térmica se puede hacer de forma continua disponiendo de datos con una frecuencia casi continua, pero de forma general se desarrolla como un sumatorio de valores discretos (horarios, diarios, mensuales…) respecto del punto umbral base tomado como referencia. En nuestro caso, el cálculo se ha desarrollado a partir de datos diarios de la siguiente manera:

$$IT = \sum_{D_1}^{D_n} (\overline{T} - T_0) \quad (1)$$

Donde "D_1" es el primer día a tener en cuenta, "D_n" el día n final, "T" es la temperatura media del día, y "T_0" la temperatura umbral. La unidad resultante será "°C/tiempo", donde tiempo será la unidad temporal tomada como referencia (día, mes, año…). Hay que tener en cuenta queno se consideran las integrales negativas, por lo que todo valor de "$T < T_0$" debe ser despreciadoo igualado a T_0 para que la diferencia sea 0.

En el caso que nos ocupa, la integral térmica es una variable que define una acumulación de energía térmica en el medio vegetal, y su valor está correlacionado con la evolución fenológica de muchas especies. Como tal, se toma como umbral de referencia "T_0" el valor de 7.5°C, temperatura a partir de la cual la fotosíntesis es potencialmente activa. El cálculo se ha realizado partiendo de la escala diaria disponible y agregando tanto a escala estacional como anual para cada año del periodo en cuestión.

Evolución anual

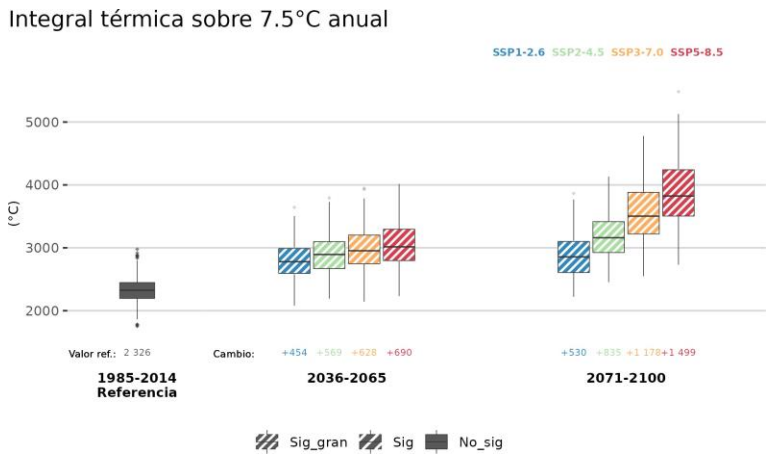


Figura 32: Evolución esperada para la variable de integral térmica sobre 7,5°C anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evolución estacional

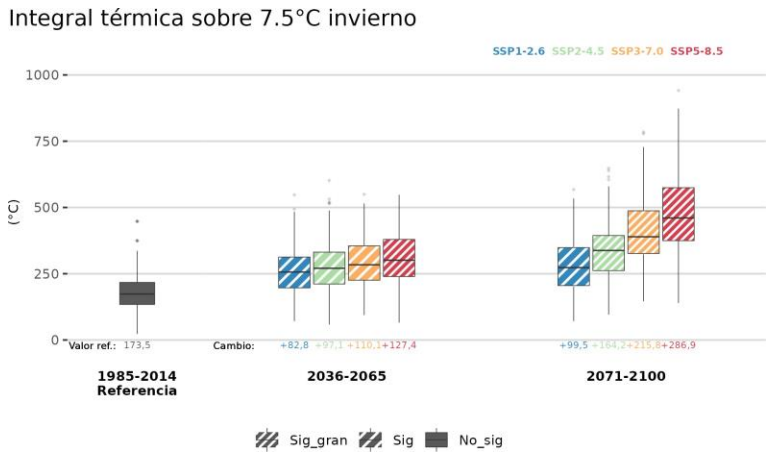


Figura 33: Evolución esperada para la variable de integral térmica sobre 7,5°C para la estación de invierno.

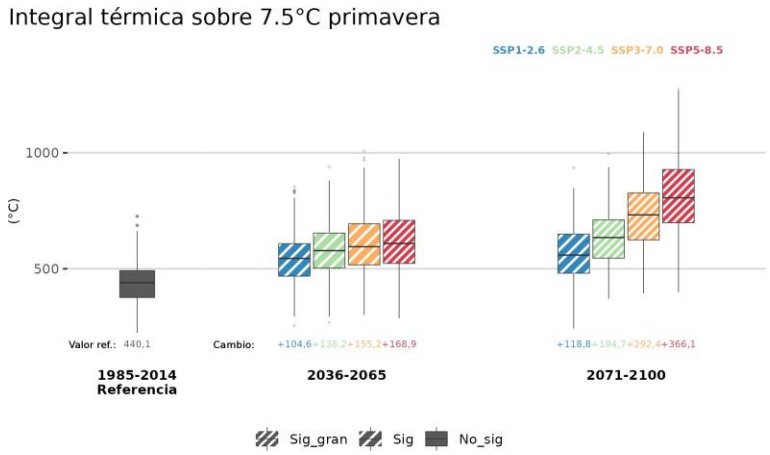


Figura 34: Evolución esperada para la variable de integral térmica sobre 7,5°C para la estación de primavera.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

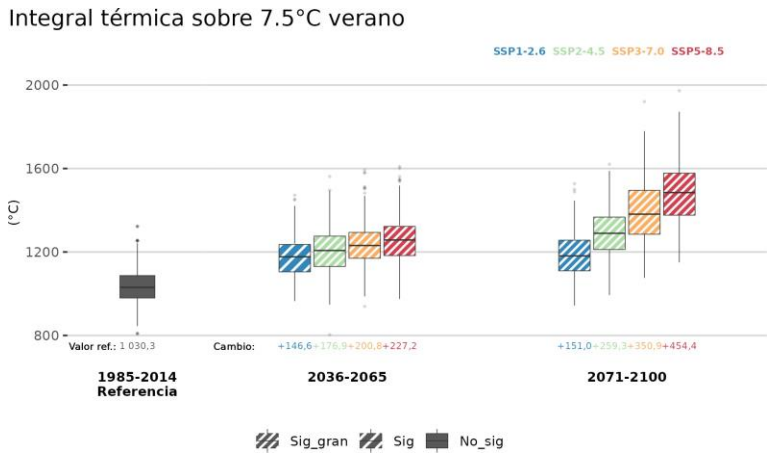


Figura 35: Evolución esperada para la variable de integral térmica sobre 7,5°C para la estación de verano.

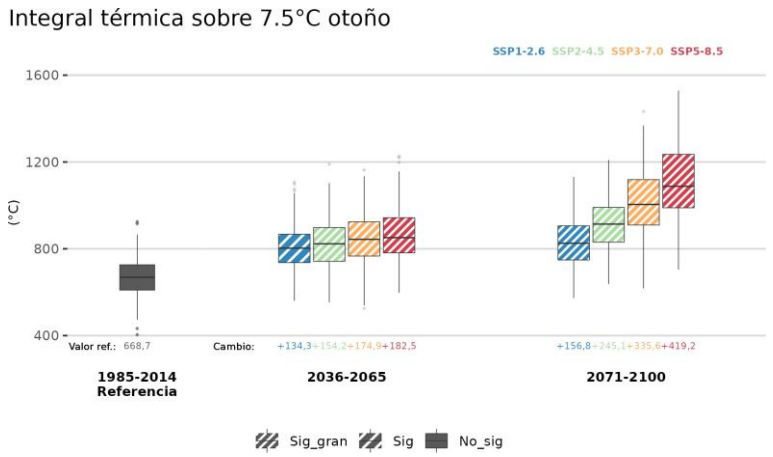


Figura 36: Evolución esperada para la variable de integral térmica sobre 7,5°C para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.16 Grados día refrigeración

En este caso, al igual que en Integral Térmica antes definida, operamos con otra integral térmica, pero ahora aplicada al campo del confort climático humano. Para este índice desarrollamos una integral térmica en la que se toma como valor umbral $T_0 = 25°C$, aplicando la misma ecuación (Ecuación 1) a valores diarios.

Sólo nos servirán aquellos valores de temperatura media diaria mayores al umbral ($25°C$), siendo el resto despreciables en el cálculo. El resultado, pues, será un indicativo del 'exceso' de calor acumulado en las épocas más cálidas del año, mostrando aquellas zonas con una mayor necesidad de refrigeración de sus infraestructuras para mantener el confort térmico.

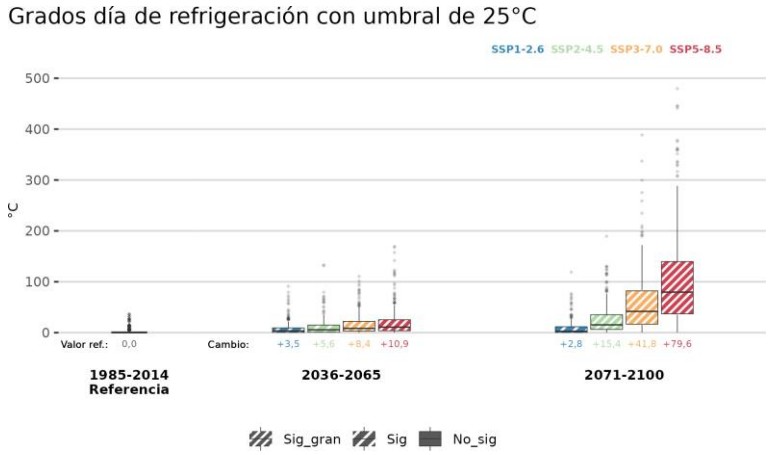


Figura 37: Evolución esperada para la variable de grados día refrigeración.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.17 Grados día calefacción

De forma similar al caso previo, operamos con una integral térmica relativa al confort climático humano, tomando en este caso como valor umbral $T_0 = 17°C$. En este caso hay una pequeña variación respecto a la Ecuación 1; al tomar una cota superior que no exceder (en lugar de una inferior sobre la que sumar), la diferencia será negativa, por lo que tomamos valores absolutos (simplemente por mostrar valores positivos al final):

$$IT = \sum_{D_1}^{D_n} (|\overline{T} - T_0|)$$

Sólo nos servirán aquellos valores de temperatura media diaria inferiores al umbral ($17°C$), siendo el resto despreciables en el cálculo. El resultado, pues, será un indicativo del 'déficit' de calor sobre los valores que se considerarían óptimos en términos de confort en las épocas más frías del año, mostrando aquellas zonas con una mayor necesidad de calefacción en sus infraestructuras.

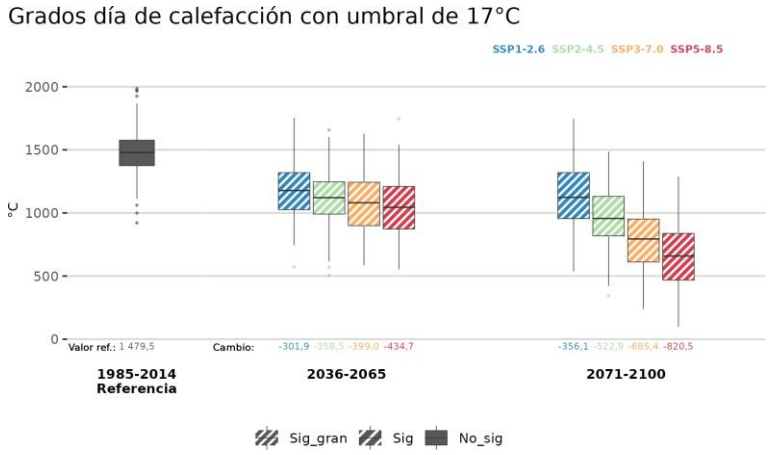


Figura 38: Evolución esperada para la variable de grados día calefacción.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.18 Índice de continentalidad simple o amplitud térmica

El índice de continentalidad simple (Ic) expresa en grados centígrados la diferencia u oscilación entre la temperatura media del mes más cálido ($T\,med_{mmc}$) y la del mes más frío del año($T\,med_{mmf}$) para cada año del periodo en cuestión:

$$Ic = T\,med_{mmc} - T\,med_{mmf}$$

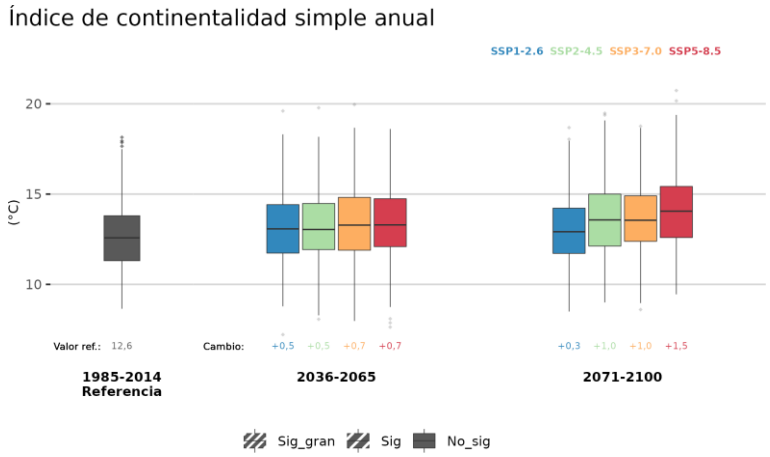


Figura 39: Evolución esperada para el índice de continentalidad simple a escala anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.19 Índice de Termicidad

El Índice de Termicidad (It) es un valor que pondera la intensidad del frío, factor limitante para muchas plantas y comunidades vegetales, junto con la temperatura media anual. Es la suma en décimas de grado de la temperatura media anual, la temperatura media de las mínimas del mes más frío y la temperatura media de las máximas del mes más frío para cada año del periodo en cuestión. De manera que:

$$It = (T + T\,min_{mmf} + T\,max_{mmf}) \cdot 10$$

Donde T es la temperatura media anual, $T\,min_{mmf}$ es la temperatura media de las mínimas del mes más frío, y $T\,max_{mmf}$ es la temperatura media de las máximas de ese mismo mes.

La correlación entre los valores de este índice y la vegetación es bastante satisfactoria en los climas cálidos y templados.

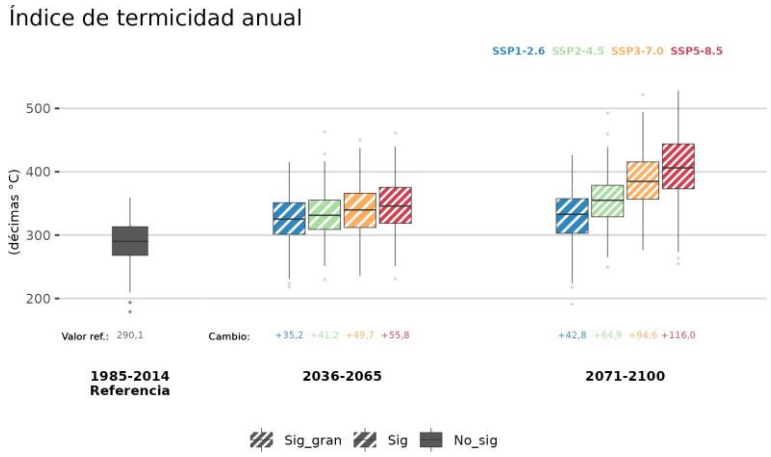


Figura 40: Evolución esperada para el índice de termicidad a escala anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.20 Índice de Termicidad Compensado

El Índice de Termicidad Compensado trata de ponderar el valor del índice de termicidad, debido al "exceso" de frío o de templanza que acaece durante la estación fría en los territorios situados en las zonas extratropicales (al norte y al sur del paralelo 23° N y S), para que su continentalidad pueda ser comparable:

- Si el índice de continentalidad simple (Ic) está comprendido entre 8 y 18, el valor del Itc se considera igual al del It:

$$Itc = It$$

- Por el contrario, si el índice de continentalidad simple (Ic) no alcanza o supera los valores mencionados, hay que compensar el índice de termicidad adicionando o sustrayendo un valor de compensación (C):

$$Itc = It \pm C$$

  Donde It es el índice de termicidad y C es un factor corrector para compensar el exceso de frío en las áreas extratropicales.

  - Si el índice de continentalidad simple es menor a 8, el índice de termicidad compensado (Itc) se calcula mediante la fórmula:

$$Itc = It - [10 \cdot (8 - Ic)].$$

  - Si el índice de continentalidad simple se sitúa entre 18 y 21, el valor del índice de termicidad compensado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Itc = It + [5 \cdot (Ic - 18)]$$

  - Si el índice de continentalidad simple se sitúa entre 21 y 28, el índice de termicidad compensado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Itc = It + [15 + 15 \cdot (Ic - 21)]$$

  - Si el índice de continentalidad simple se sitúa entre 28 y 46, el índice de termicidad compensado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Itc = It + [120 + 25 \cdot (Ic - 28)]$$

  - Si el índice de continentalidad simple se sitúa entre 46 y 65, el índice de termicidad compensado se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$Itc = It + [570 + 30 \cdot (Ic - 46)]$$

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

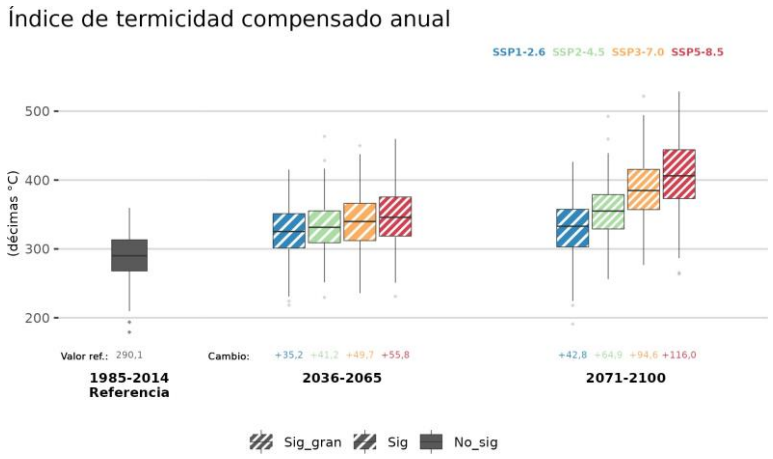


Figura 41: Evolución esperada para el índice de termicidad compensado a escala anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.21 Índice ombrotérmico

El Índice Ombrotérmico es un indicador que relaciona precipitación y temperatura con el fin de ayudar a establecer una relación entre vegetación y clima, una clasificación bioclimática. Relaciona la lluvia total mensual y la temperatura media mensual sólo en aquellos meses donde ambos tienen un valor positivo, creando un escenario propicio para el desarrollo y crecimiento de la vegetación. Se mide en $mm/°C$.

El Índice Ombrotérmico se calcula mediante el desarrollo de la siguiente expresión:

$$I_o = 10 \cdot \frac{P_r}{\overline{T}} \Leftrightarrow P_r, \overline{T} > 0$$

siendo, como ya se ha mencionado, P_r la precipitación total mensual de aquellos meses cuya temperatura media supere los 0°C, y $\overline{T}$ la temperatura media del mes expresada en décimas de grado, siempre y cuando esta supere los 0°C. Este índice se obtiene a escala anual calculando el sumatorio de todos los meses que cumplan la condición impuesta de la precipitación total mensual y temperatura media mensual, para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

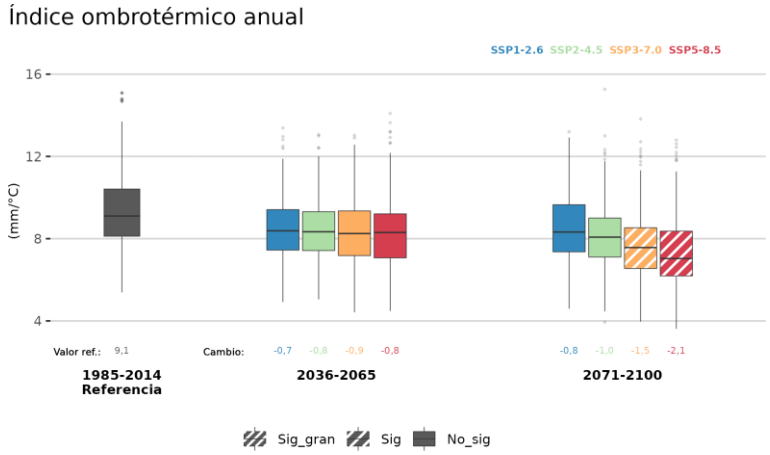


Figura 42: Evolución esperada para la variable de índice ombrotérmico anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.22 Número de días con Tmax > T(P95) [1985- 2014 JJAS] (umbral de ola de calor)

El número de días con Tmax > T(P95) [1985-2014 JJAS] expresa el número de días al año en los que la temperatura máxima diaria es superior al percentil 95 obtenido para el periodo de referencia 1985-2014 entre los meses de junio a septiembre (incluidos). De esta forma se puede cuantificar el número de días en los que se supera el umbral de temperatura necesario para considerar un episodio de Ola de Calor, aunque no llegue a considerarse como tal por no alcanzar el mínimo número de días consecutivos con temperatura máxima por encima del valor umbral establecido. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

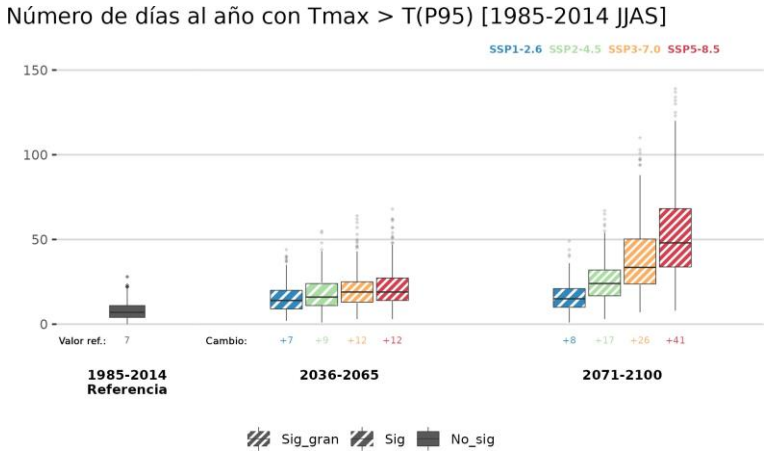


Figura 43: Evolución esperada para el número de días al año con temperatura máxima superior al umbral de ola de calor del periodo de referencia.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.23 Número de días con Tmin < T(P05) [1985-2014 NDEFMA] (umbral de ola de frío)

El número de días con Tmin < $T(P05)$ [1985-2014 NDEFMA] expresa el número de días al año en los que la temperatura mínima diaria es inferior al percentil 05 obtenido para el periodo de referencia, en este caso, los meses de noviembre a abril (incluidos) de 1985-2014. De esta forma se puede cuantificar el número de días en los que se supera el umbral de temperatura necesario para considerar un episodio de Ola de Frío, aunque no llegue a considerarse como tal por no alcanzar el mínimo número de días consecutivos con temperatura mínima por debajo del umbral establecido. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

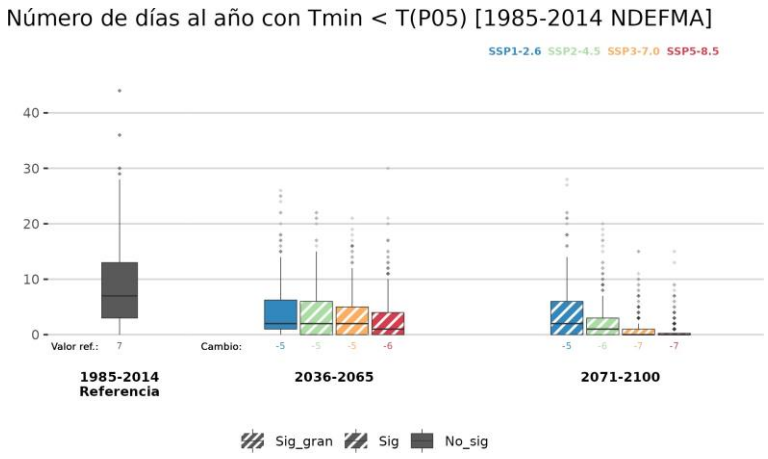


Figura 44: Evolución esperada para el número de días al año con temperatura mínima inferior al umbral de ola de frío del periodo de referencia.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.24 Olas de calor

Los episodios de olas de calor (es decir, un periodo de días consecutivos con temperaturas máximas extremas) se han calculado atendiendo a las definiciones propuestas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, en su **documento**), por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, World Meteorological Organization, en WMO, 2010) y por el IPCC, a partir de las cuales se han establecido los criterios para calcular y evaluar una ola de calor (Gaitán et al. (2019)}).

De manera que se considera una ola de calor (episodio de ola de calor) cuando al menos durante tres días consecutivos la temperatura máxima diaria es superior al percentil 95 de la serie diariade temperatura máxima correspondiente a los meses de junio a septiembre para un periodo de referencia histórico, en este caso se ha seleccionado como periodo de referencia el periodo 1985-2014.

El episodio de ola de calor se analiza en base a su duración, intensidad media e intensidad máxima alcanzada durante dicho episodio. También se incluye el promedio de ocurrencia de episodios de ola de calor al año.

2.24.1 Olas de calor: Duración

La duración de un episodio de ola de calor se define como el número de días consecutivos en los que se cumple que la temperatura máxima es superior al umbral establecido. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión. En el caso de haber más de una ola de calor en ese mismo año, se obtiene el valor como la media de todos los casos.

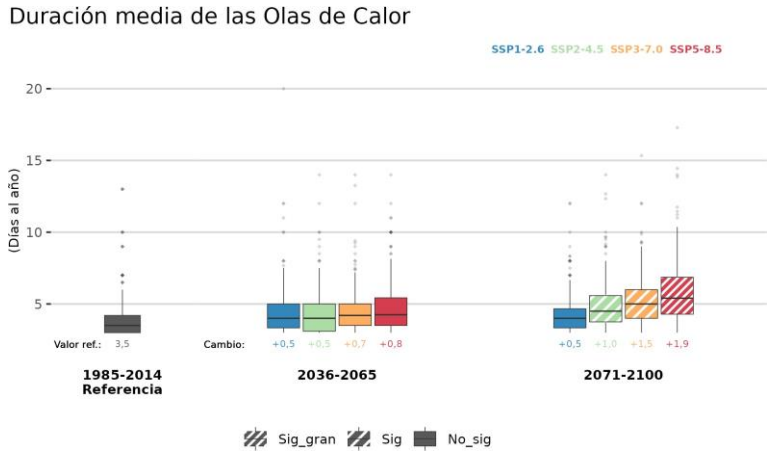


Figura 45: Evolución esperada para la duración media de las olas de calor.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.24.2 Olas de calor: Intensidad media

La intensidad media de un episodio de ola de calor es el promedio de los valores de temperatura máxima registrados en los días que constituyen el episodio de ola de calor. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión. En el caso de haber más de una ola de calor en ese mismo año, se obtiene el valor como la media de todos los casos.

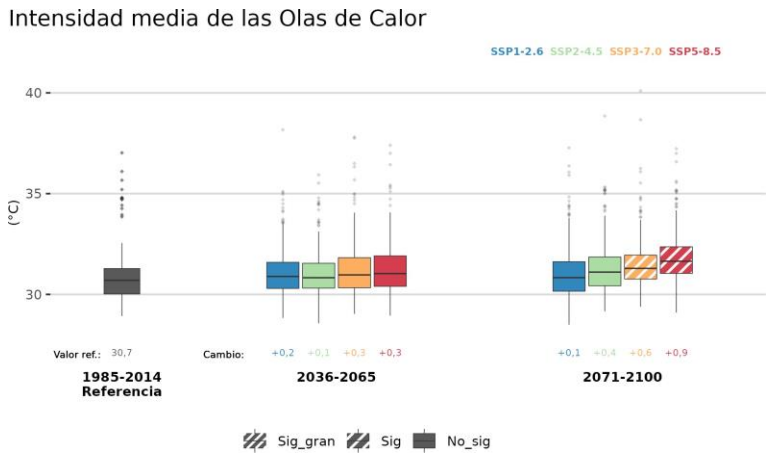


Figura 46: Evolución esperada para la intensidad media de las olas de calor.

2.24.3 Olas de calor: Intensidad máxima

La intensidad máxima de un episodio de ola de calor es el valor más extremo de los valores de temperatura máxima registrados en los días que constituyen el episodio de ola de calor. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión. En el caso de haber más de una ola de calor en ese mismo año, se obtiene el valor como la media de todos los casos.

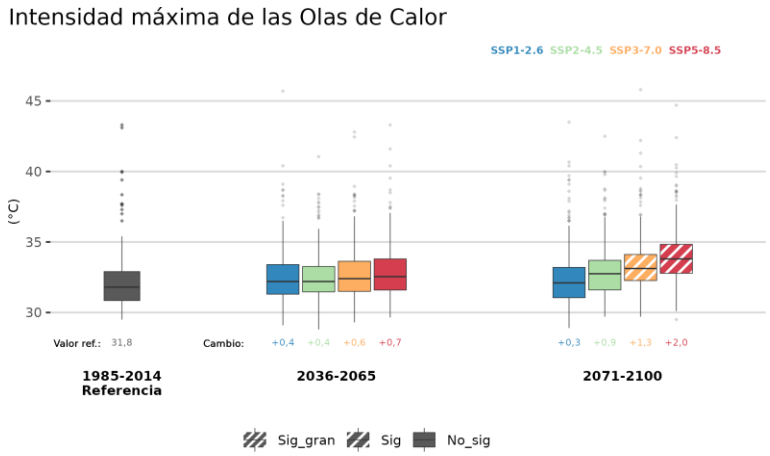


Figura 47: Evolución esperada para la intensidad máxima de las olas de calor.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.24.4 Promedio de Olas de Calor al año (episodios)

El promedio de olas de calor al año proporciona información acerca del número promedio de episodios que se dan en cada año, pudiendo observar posibles tendencias de aumento o disminución de ocurrencia de este tipo de fenómenos. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

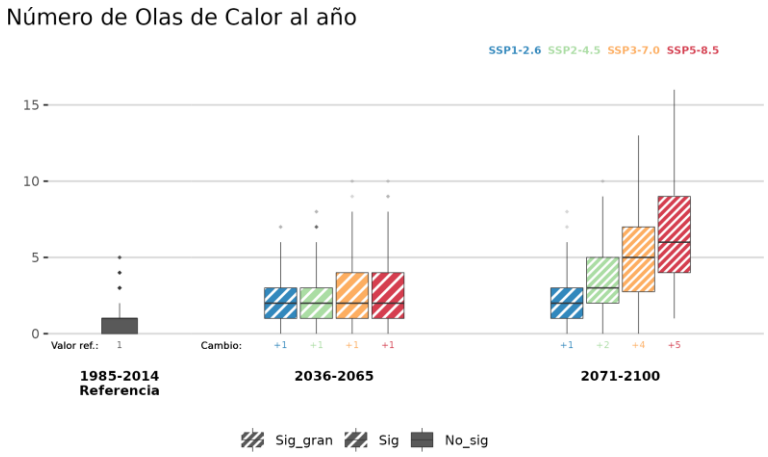


Figura 48: Evolución esperada para el promedio de ocurrencia de olas de calor al año.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.25 Olas de frío

Los episodios de olas de frío (es decir, un periodo de días consecutivos con temperaturas mínimas extremas) se han calculado atendiendo a las definiciones propuestas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET, en su **documento**), por la Organización Meteorológica Mundial (OMM, World Meteorological Organization, en WMO, 2010) y por el IPCC, a partir de las cuales se han establecido los criterios para calcular y evaluar una ola de frío (Gaitán et al. (2019)).

De manera que se considera una ola de frío cuando al menos durante tres días consecutivos la temperatura mínima diaria es inferior al percentil 5 de la serie diaria de temperatura mínima correspondiente a los meses de noviembre a abril para un periodo de referencia histórico, en este caso se ha seleccionado como periodo de referencia el periodo 1985-2014.

El episodio de ola de frío se analiza en base a su duración, intensidad media e intensidad máxima alcanzada durante dicho episodio. También se incluye el promedio de ocurrencia de episodios de ola de frío al año.

2.25.1 Olas de frío: Duración

La duración de un episodio de ola de frío se define como el número de días consecutivos en los que se cumple que la temperatura mínima es inferior al umbral establecido. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión. En el caso de haber más de una ola de frío en ese mismo año, se obtiene el valor como la media de todos los casos.

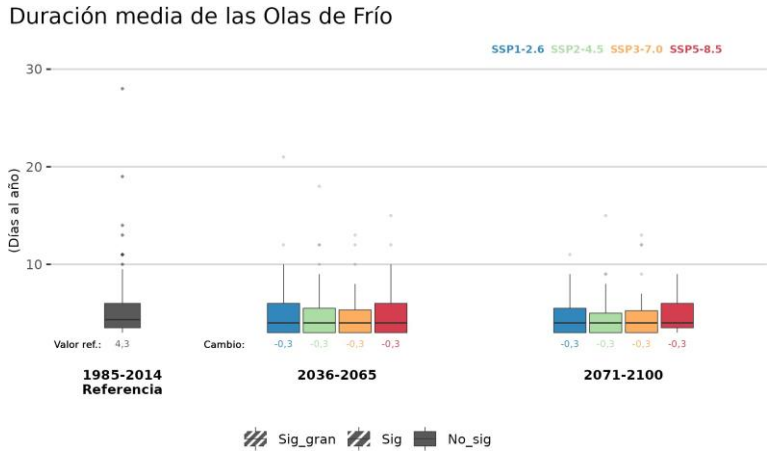


Figura 49: Evolución esperada para la duración media de las olas de frío.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.25.2 Olas de frío: Intensidad media

La intensidad media de un episodio de ola de frío es el promedio de los valores de temperatura mínima registrados en los días que constituyen el episodio de ola de frío. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión. En el caso de haber más de una ola de frío en ese mismo año, se obtiene el valor como la media de todos los casos.

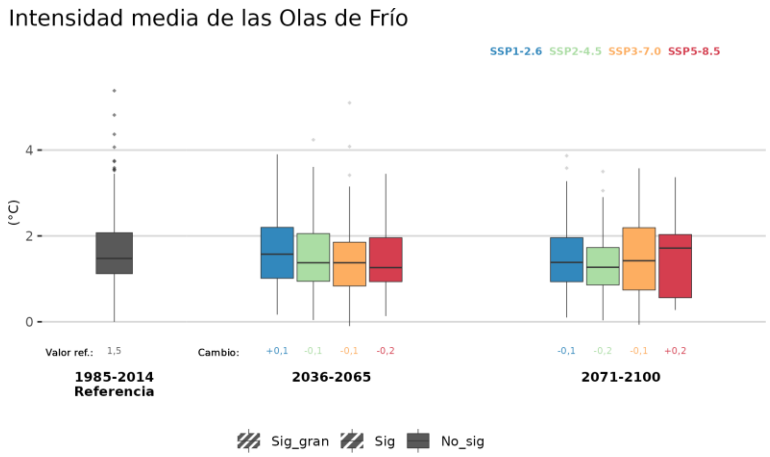


Figura 50: Evolución esperada para la intensidad media de las olas de frío.

2.25.3 Olas de frío: Intensidad máxima

La intensidad máxima de un episodio de ola de frío es el valor más extremo de los valores de temperatura mínima registrados en los días que constituyen el episodio de ola de frío. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión. En el caso de haber más de una ola de frío en ese mismo año, se obtiene el valor como la media de todos los casos.

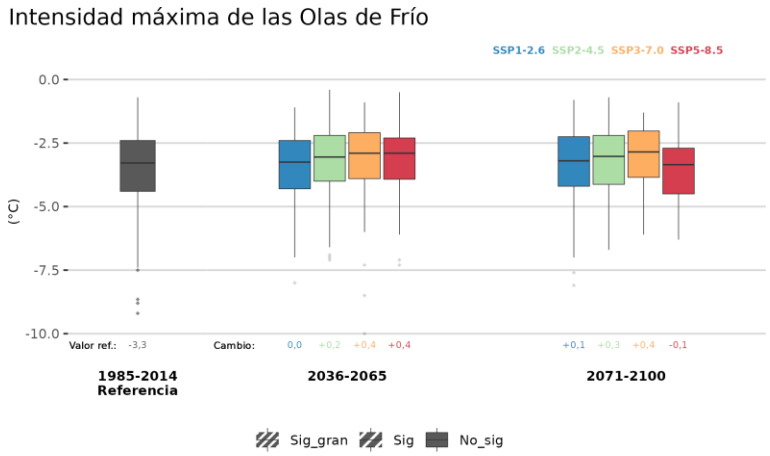


Figura 51: Evolución esperada para la intensidad máxima de las olas de frío.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

2.25.4 Promedio de Olas de frío al año (episodios)

El promedio de olas de frío al año proporciona información acerca del número promedio de episodios que se dan en cada año, pudiendo observar posibles tendencias de aumento o disminución de ocurrencia de este tipo de fenómenos. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

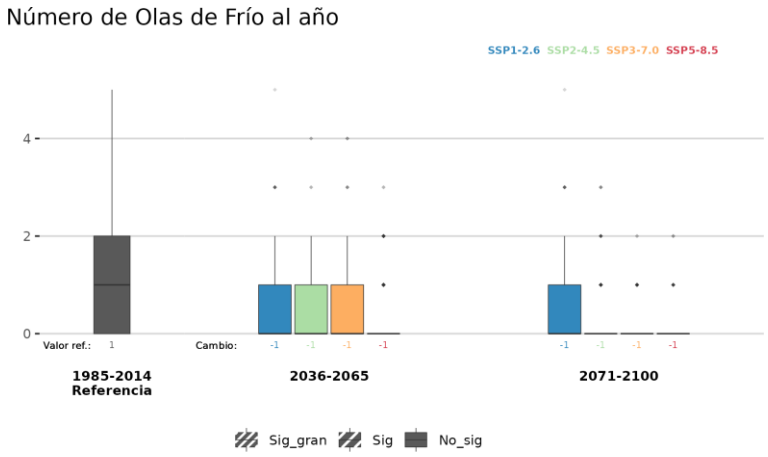


Figura 52: Evolución esperada para el promedio de ocurrencia de olas de frío al año.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3 Balance hídrico

3.1 Evapotranspiración potencial o de referencia

La evapotranspiración potencial (ETP) es la cantidad de evaporación y transpiración que se produciría si se dispusiera de una fuente de agua suficiente. La evapotranspiración de referencia (ETo) es la cantidad de evaporación y transpiración de una vegetación de referencia de hierba. Suelen considerarse equivalentes.

Este valor se calcula mediante las ecuaciones de Hargreaves (SPEI rstudio package) , de las que se obtienen valores mensuales. Luego para el cálculo anual y estacional, se realiza el sumatorio del valor ETP de todos los meses de ese año (para el cálculo anual) o meses de cada estación del año (para el cálculo estacional). Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

Evolución anual

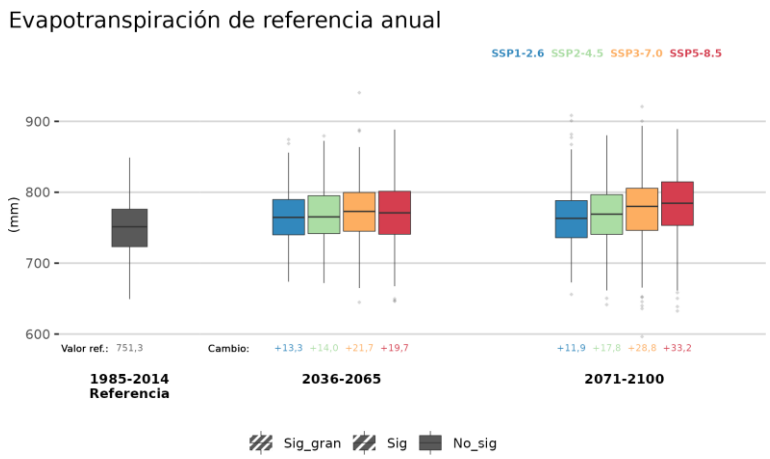


Figura 53: Evolución esperada para la variable de evapotranspiración de referencia anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evolución estacional

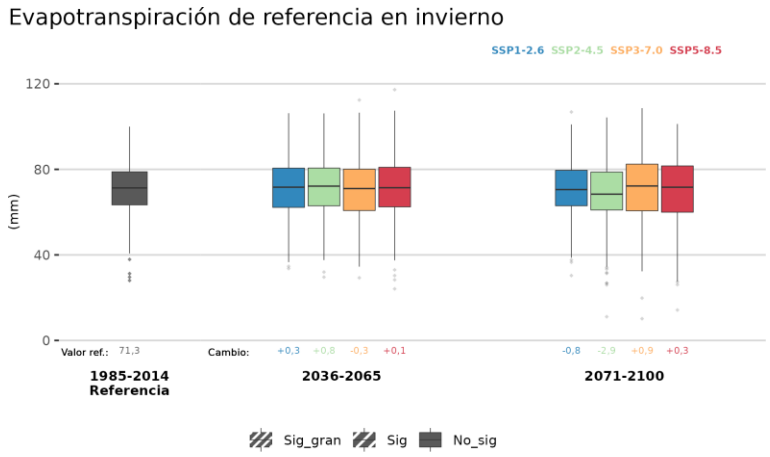


Figura 54: Evolución esperada para la variable de evapotranspiración de referencia para la estación de invierno.

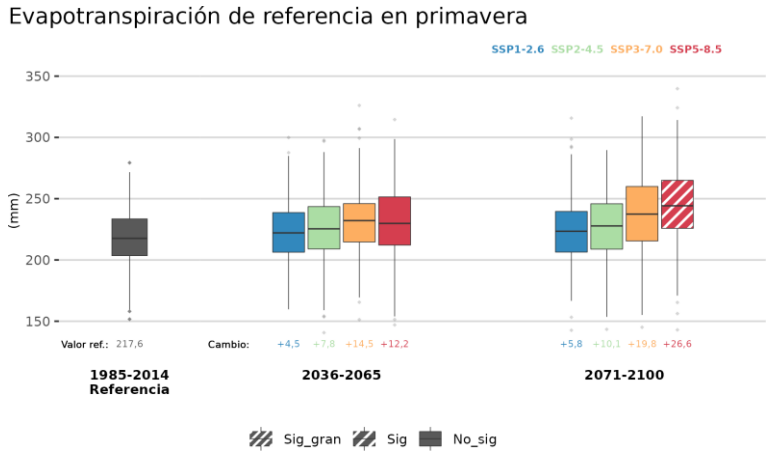


Figura 55: Evolución esperada para la variable de evapotranspiración de referencia para la estación de primavera.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

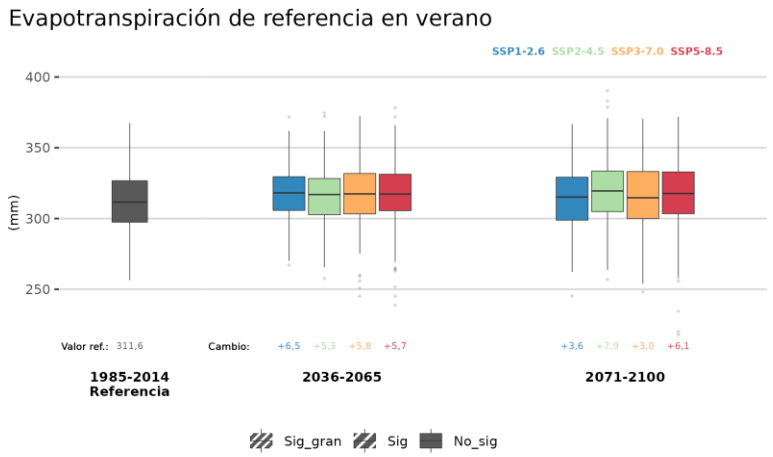


Figura 56: Evolución esperada para la variable de evapotranspiración de referencia para la estación de verano.

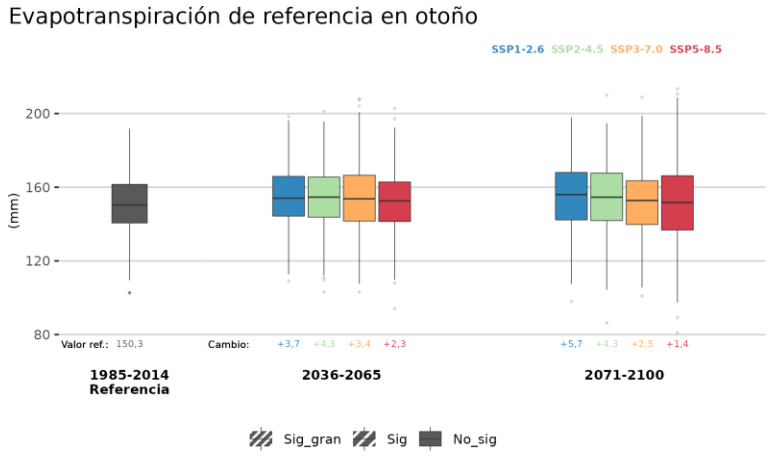


Figura 57: Evolución esperada para la variable de evapotranspiración de referencia para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.2 Balance hídrico

El índice de balance hídrico (BH) se calcula como la diferencia entre la precipitación acumulada en el mes m menos la evapotranspiración calculada para ese mismo mes.

$$BH = \sum_{m=1}^{12} (Pr_m - ETo_m)$$

Donde P_m es la precipitación acumulada en el mes m y $ET\,o_m$ la evapotranspiración de referencia del mes m, calculada mediante las ecuaciones de Hargreaves (SPEI rstudio package).

Para el cálculo anual y estacional, se realiza el sumatorio del valor BH de todos los meses de ese año (para el cálculo anual) o meses de cada estación del año (para el cálculo estacional). Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

Evolución anual

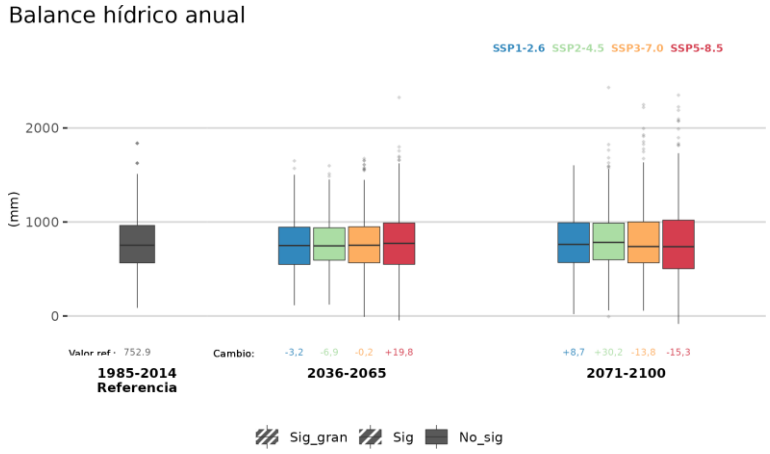


Figura 58: Evolución esperada para la variable de balance hídrico anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evolución estacional

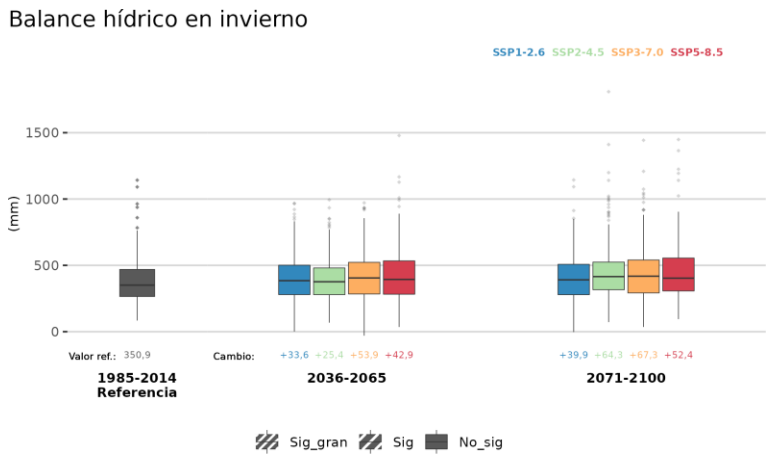


Figura 59: Evolución esperada para la variable de balance hídrico para la estación de invierno.

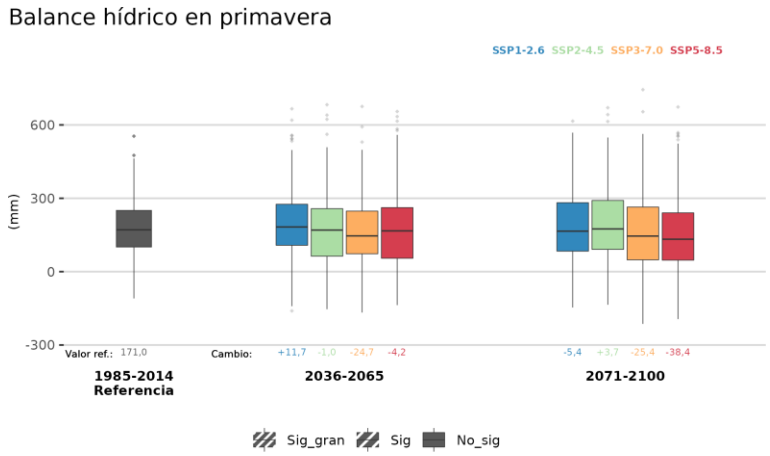


Figura 60: Evolución esperada para la variable de balance hídrico para la estación de primavera.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

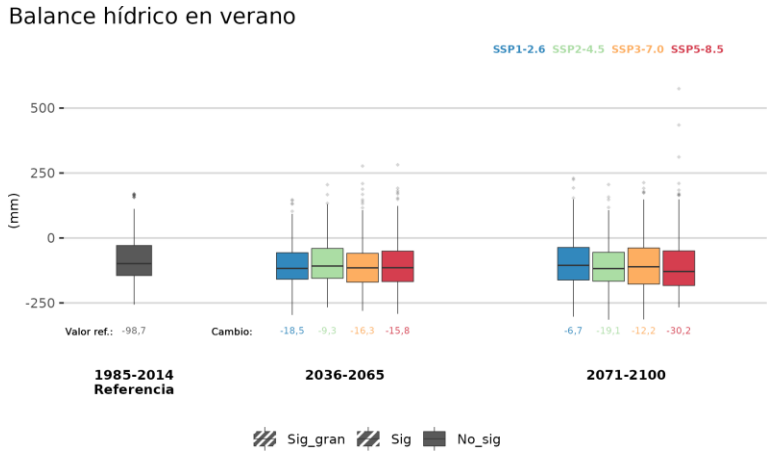


Figura 61: Evolución esperada para la variable de balance hídrico para la estación de verano.

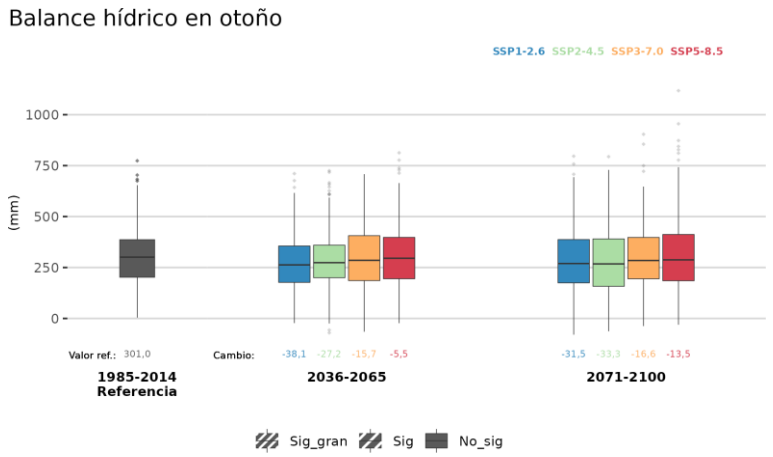


Figura 62: Evolución esperada para la variable de balance hídrico para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.3 Superávit hídrico

Desde el punto de vista del régimen hídrico es importante caracterizar para cada punto no sólo el Balance Hídrico (BH), sino también a lo largo del año las relaciones entre el exceso o déficit de precipitación y sus acumulaciones, ya que estos valores también denotan la naturaleza de la aridez de un territorio según la época del año. Estos valores se definen con los índices de suma de superávits (SUP) y la suma de déficits (DEF) de agua, y suelen ser usados para la definición de bioclimas o el estudio de la distribución potencial de especies vegetales.

En el caso de SUP, obtenemos el valor de este índice mediante la siguiente expresión:

$$SUP = \sum_{m=1}^{12}(Pr_m - ETo_m) \quad \Leftrightarrow \quad (Pr_m - ETo_m) > 0$$

Es decir, SUP es la suma a lo largo del año (para el caso anual) o estación (para el caso estacional) de la diferencia, para cada mes, de la precipitación mensual y su equivalente de evapotranspiración de referencia, si y sólo sí esa diferencia es positiva (superávit). Sus unidades son los "mm". Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión

Evolución anual

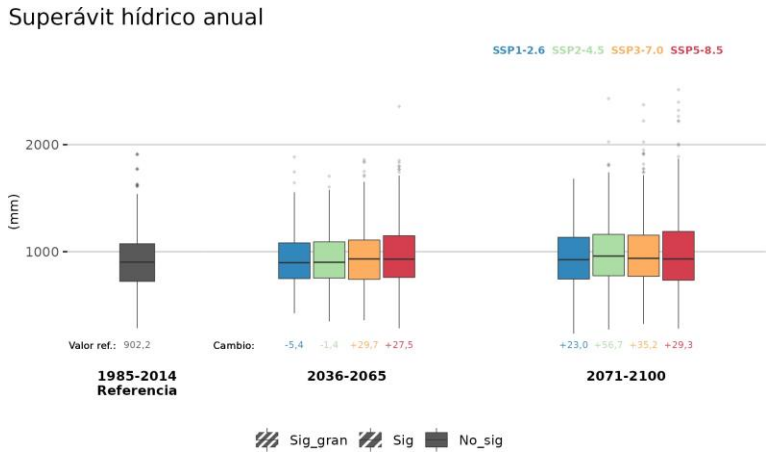


Figura 63: Evolución esperada para la variable de superávit hídrico anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evolución estacional

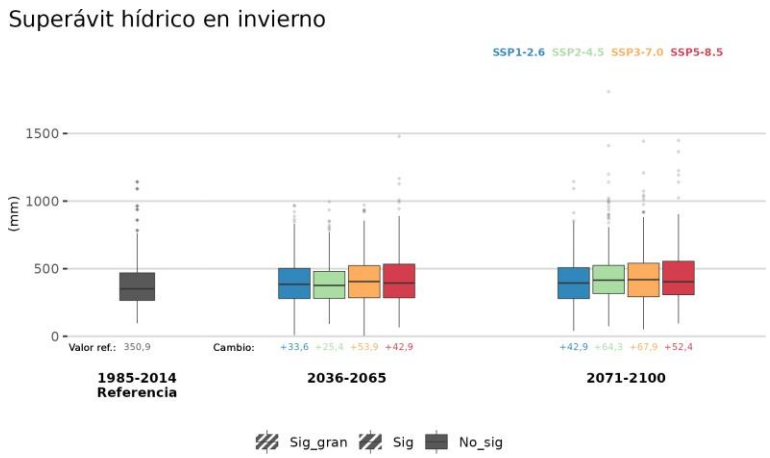


Figura 64: Evolución esperada para la variable de superávit hídrico para la estación de invierno.

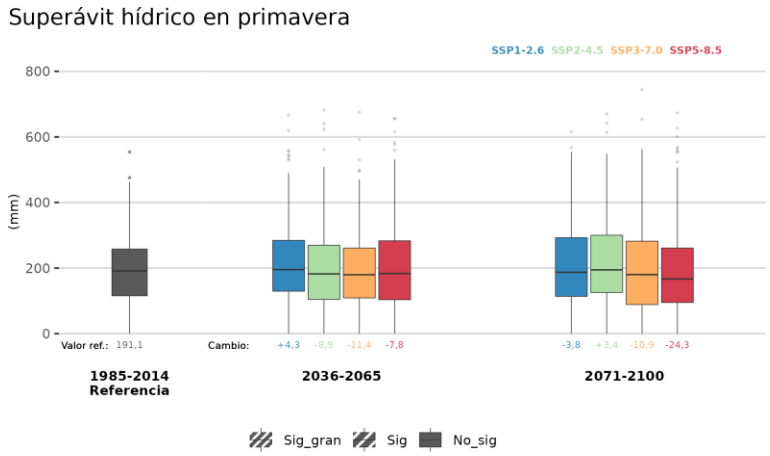


Figura 65: Evolución esperada para la variable de superávit hídrico para la estación de primavera.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

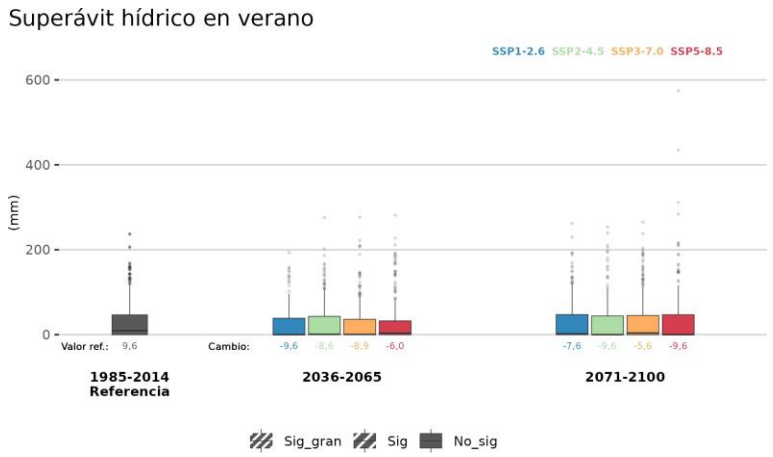


Figura 66: Evolución esperada para la variable de superávit hídrico para la estación de verano.

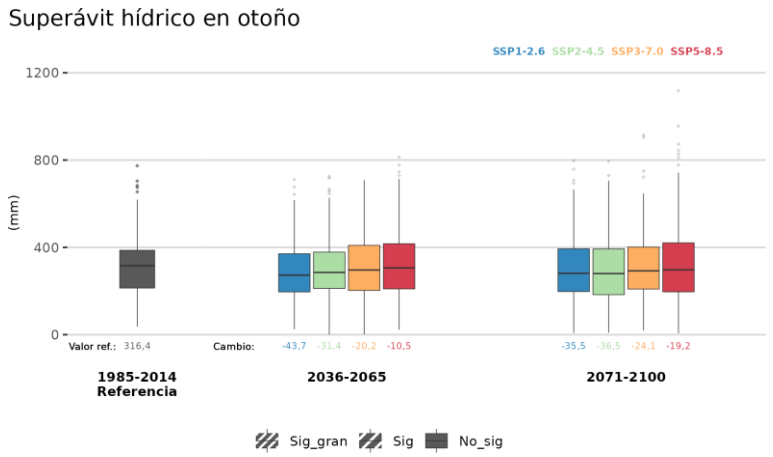


Figura 67: Evolución esperada para la variable de superávit hídrico para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.4 Déficit hídrico

De forma opuesta al previo SUP, DEF se define como la suma de déficits mediante la siguiente expresión:

$$DEF = \sum_{m=1}^{12}(Pr_m - ETo_m) \quad \Leftrightarrow \quad (Pr_m - ETo_m) < 0$$

Es decir, DEF es la suma a lo largo del año (para el caso anual) o estación (para el caso estacional) de la diferencia, para cada mes, de la precipitación mensual y su equivalente de evapotranspiración de referencia, si y sólo si esa diferencia es negativa (déficit); sus unidades son los "mm". Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

Evolución anual

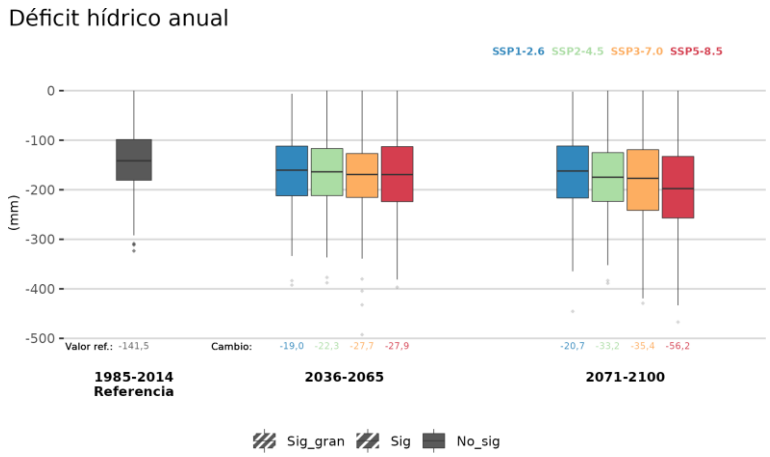


Figura 68: Evolución esperada para la variable de déficit hídrico anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evolución estacional

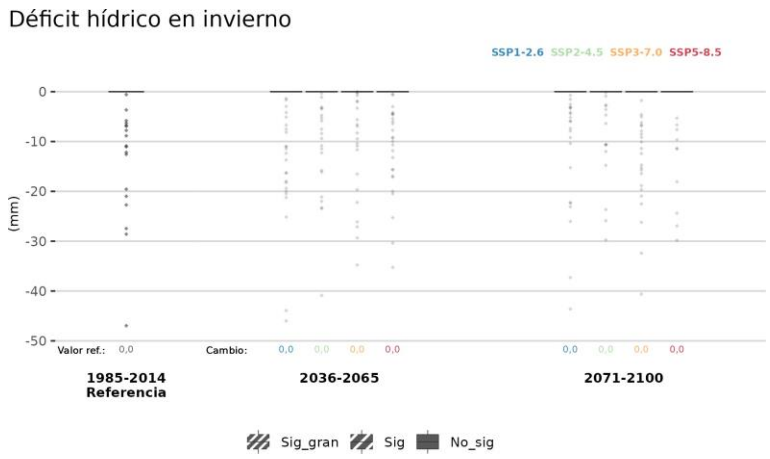


Figura 69: Evolución esperada para la variable de déficit hídrico para la estación de invierno.

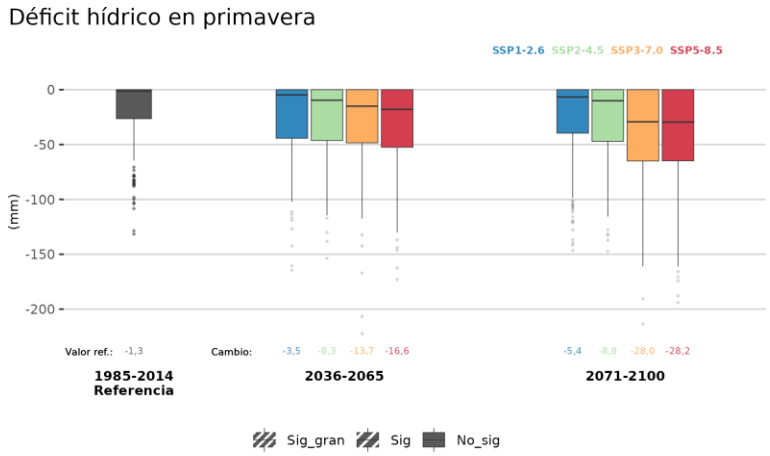


Figura 70: Evolución esperada para la variable de déficit hídrico para la estación de primavera.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

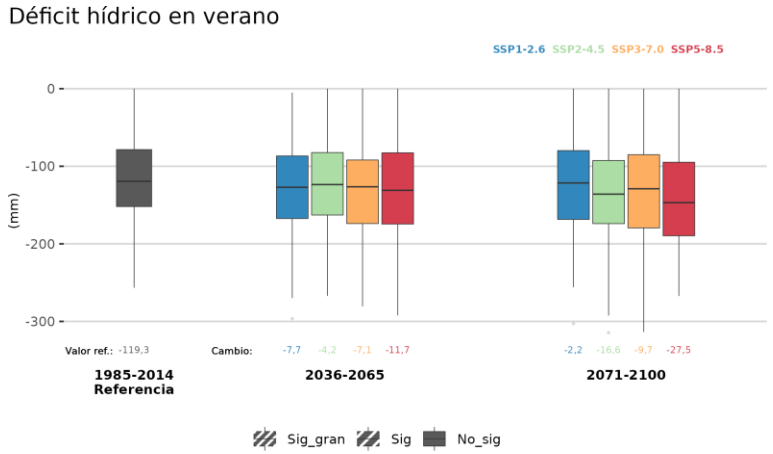


Figura 71: Evolución esperada para la variable de déficit hídrico para la estación de verano.

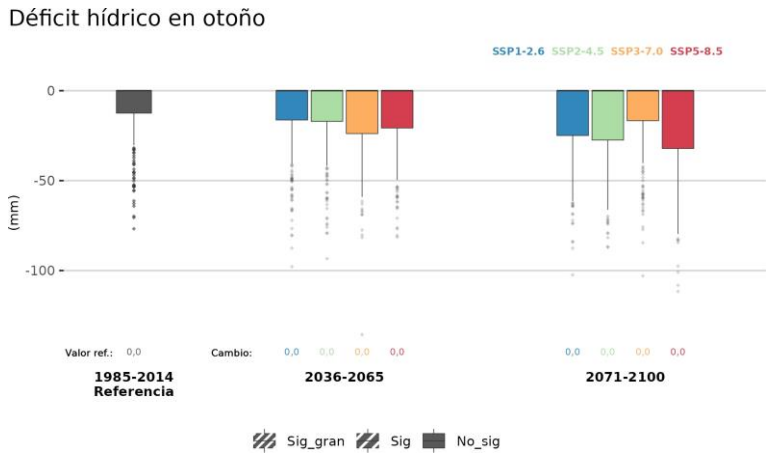


Figura 72: Evolución esperada para la variable de déficit hídrico para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.5 Meses con balance hídrico > 0

De forma muy simple, y partiendo de los valores de balance hídrico (BH) obtenidos previamente para todos los meses del año, se ha procedido al conteo del total de meses con un $BH > 0$ a lo largo del año. Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

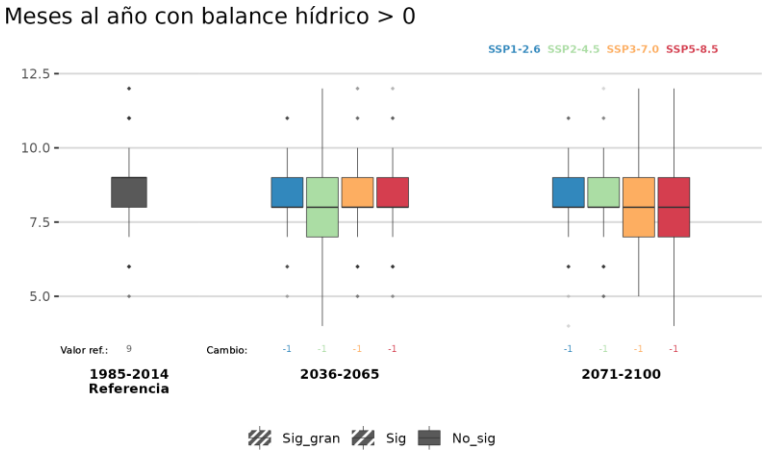


Figura 73: Evolución esperada para la variable de número de meses al año con balance hídrico positivo.

3.6 Índice de aridez

Mientras que la sequía es una anomalía natural transitoria (aunque suficientemente prolongada), la aridez es una situación estructural natural de una región y por tanto "permanente", aunque puede cambiar en periodos muy largos. Por ello es interesante determinar si la región va a volverse más árida o húmeda, independientemente de los cambios que puedan producirse respecto a los periodos de escasez hídrica (sequía).

El índice de aridez (IA) es uno de los muchos índices que se emplean para caracterizar la aridez de una localización, relacionando directamente la precipitación y la evapotranspiración de referencia en un punto mediante la expresión:

$$IA = \frac{P_r}{ET\ o}$$

Donde P_r es la precipitación acumulada en el intervalo temporal en cuestión y $ET\ o$ la evapotranspiración de referencia (o potencial) correspondiente. Es un índice adimensional, que alcanza valores $0 < IA < 1$ en función de cuán árido es un punto, e $IA > 1$ si por el contrario el punto presenta un carácter "húmedo".

Este índice se calcula a nivel anual y estacional, luego se consideran el valor de precipitación y evapotranspiración de referencia (o potencial) acumulados en un año (para el caso anual) o en cada estación (para el caso estacional). Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evolución anual

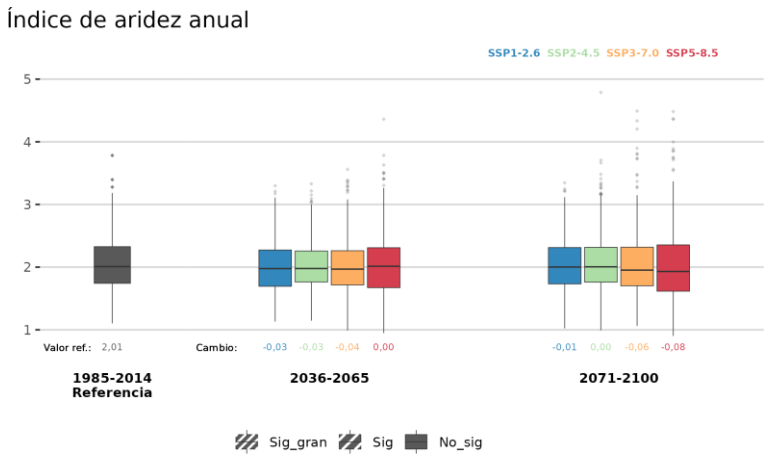


Figura 74: Evolución esperada para la variable de índice de aridez anual.

Evolución estacional

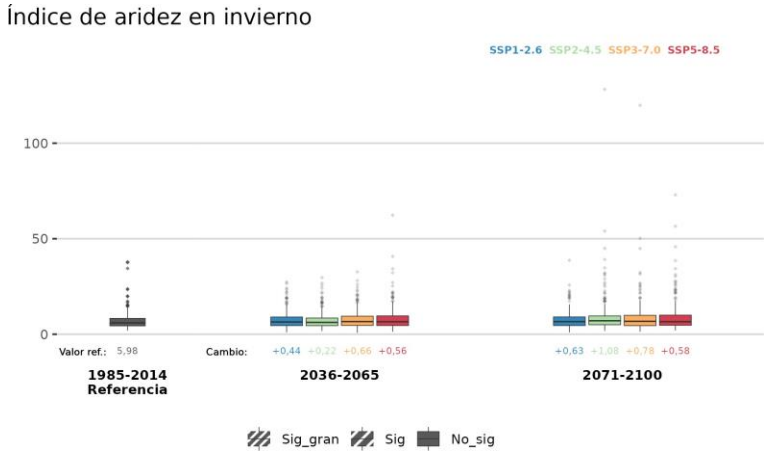


Figura 75: Evolución esperada para la variable de índice de aridez para la estación de invierno.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

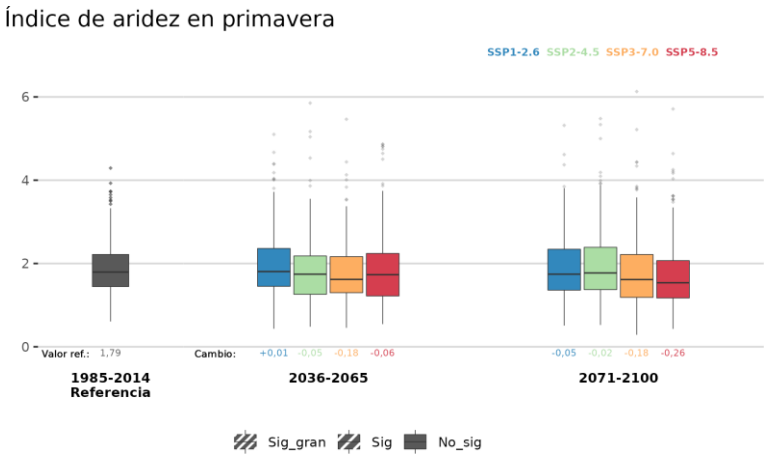


Figura 76: Evolución esperada para la variable de índice de aridez para la estación de primavera.

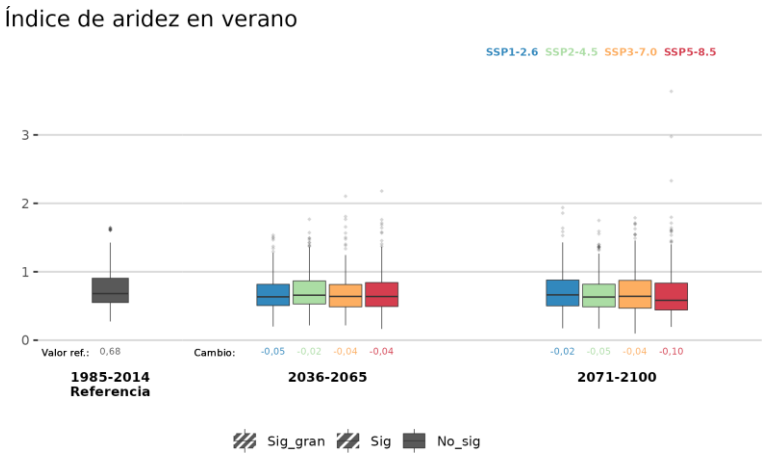


Figura 77: Evolución esperada para la variable de índice de aridez para la estación de verano.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

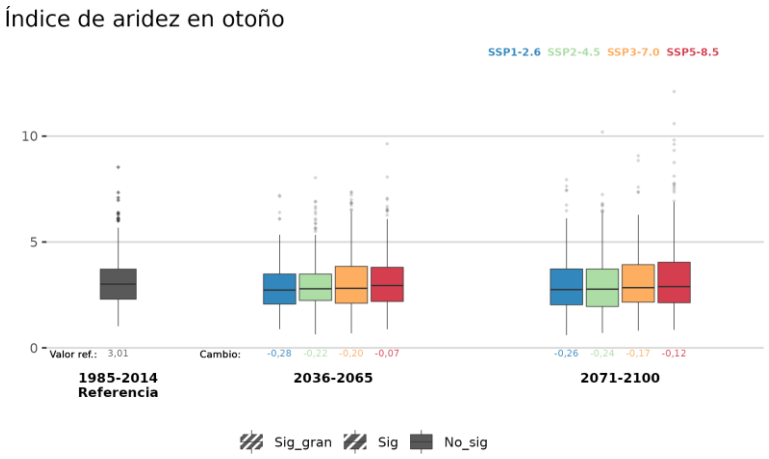


Figura 78: Evolución esperada para la variable de índice de aridez para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.7 Índice de aridez de Lang

El índice de aridez de Lang se obtiene a escala anual. Se define como el cociente entre la lluvia acumulada anual y la temperatura media anual.

$$I_L = \frac{P}{\overline{T}}$$

donde P es la precipitación acumulada en un año (mm) y T es la temperatura media anual ($°C$). Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

La Tabla 1 recoge los tipos de clima que diferencia este índice:

Tabla 1: Climas clasificados por índice de aridez de Lang.

Valor índice	Tipo de clima
$I_L < 20$	Árido
$20 < I_L < 40$	Semi-árido
$40 < I_L < 70$	Semi-húmedo
$70 < I_L < 100$	Húmedo
I_L 100	Per-húmedo

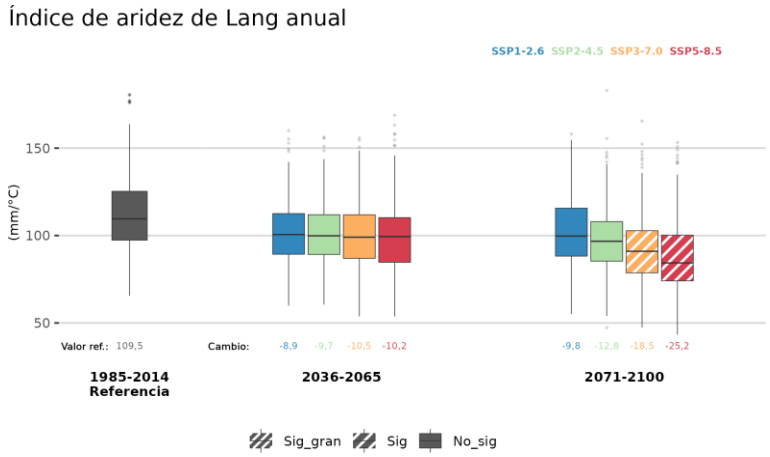


Figura 79: Evolución esperada para la variable de índice de aridez de Lang.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.8 Índice de aridez de Martonne

El índice de aridez de Martonne se obtiene a escala anual, viene expresado por la siguiente fórmula:

$$I_M = \frac{P}{T + 10}$$

Siendo P la precipitación acumulada anual (mm) y T la temperatura media anual ($°C$). Se calcula para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

Con este índice las regiones climáticas se clasifican según se muestra en la Tabla 2. El valor de 20 es la frontera entre las zonas húmedas y las semiáridas, y valores de 15 e inferiores corresponden a las regiones áridas.

Tabla 2: Climas clasificados por índice de aridez de Martonne.

Valor índice	Tipo de clima	Tipo de vegetación	Significado
$I_M < 5$	Per-árido	Desierto absoluto	Sin cultivo
$5 < I_M < 10$	Árido	Desierto	Ningún cultivo sin riego
$10 < I_M < 20$	Semi-árido	Estepa o sabana	Riego necesario para los cultivos que requieren humedad
$20 < I_M < 30$	Semi-húmedo	Pradera natural	Generalmente no es necesario el riego
$30 < I_M < 40$	Húmedo	Bosque	Los árboles desempeñan un papel cada vez más importante en el paisaje
$I_M > 40$	Per-húmedo	Bosque predominante	Los cultivos de cereales tienden a ser sustituidos por praderas

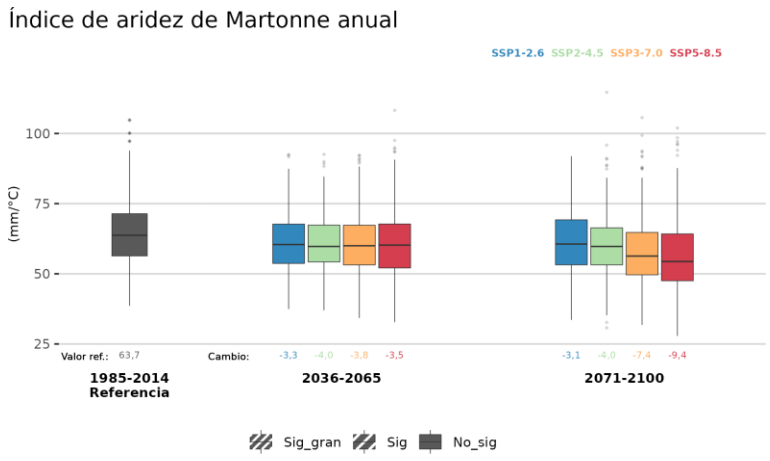


Figura 80: Evolución esperada para la variable de índice de aridez de Martonne.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.9 Índice de humedad de Thornthwaite

El índice de humedad de Thornthwaite (IH) expresa el porcentaje de exceso o defecto de la precipitación acumulada anual (P_r) respecto de la evapotranspiración de referencia acumulada anual (ET_0). Si $P_r > ET_0$ el índice es positivo y si $P_r < ET_0$ es negativo. Cabe destacar quela evapotranspiración potencial $ET\ P$ siempre se supone equivalente a la evapotranspiración de referencia ET_0. El valor anual de la evapotranspiración potencial o de referencia de Thornthwaite se utiliza en el cálculo de este índice de humedad por pertenecer al mismo autor. Sin embargo, en este caso se emplea el valor ET_0 o $ET\ P$ obtenido por la metodología de Hargreaves por coherencia con los resultados de todo el análisis.

$$IH = 100 \cdot \frac{P_r - ET\ o}{ET\ o}$$

Este índice se calcula a escala anual para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

Según el valor que se obtenga de IH, se reconocen cinco regiones de humedad, algunas de ellas diversificadas (Tabla 3).

Tabla 3: Tipos de índice de humedad.

Tipo climático	Umbrales IH
Per-húmedo	IH > 100
Bastante húmedo	80 < IH 100
Muy húmedo	60 < IH 80
Moderadamente húmedo	40 < IH 60
Poco húmedo	20 < IH 40
Húmedo subhúmedo	0 < IH 20
Subhúmedo seco	-20 < IH 0
Semi-árido	-40 < IH -20
Árido	-60 < IH -40

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evolución anual

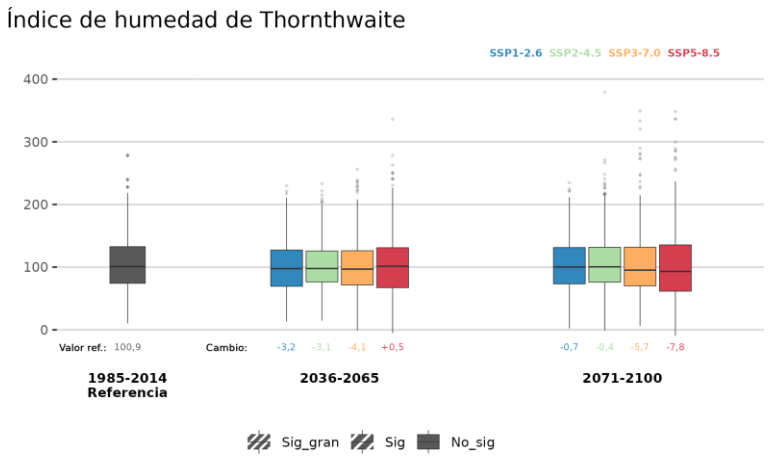


Figura 81: Evolución esperada para la variable de índice de humedad de Thornthwaite anual.

Evolución estacional

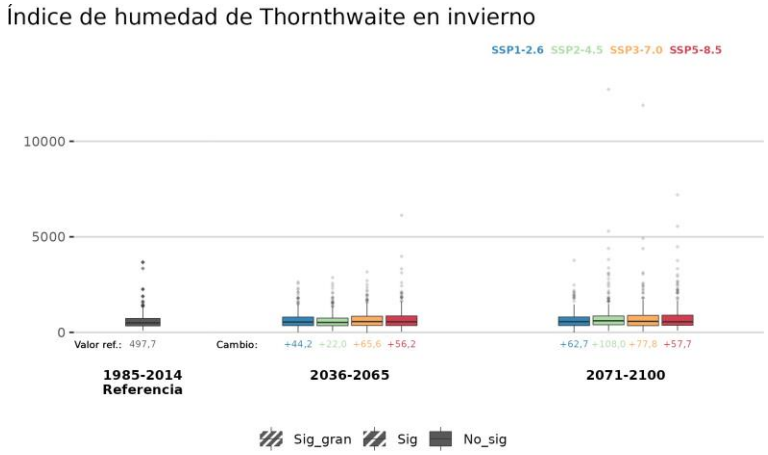


Figura 82: Evolución esperada para la variable de índice de humedad de Thornthwaite para la estación de invierno.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

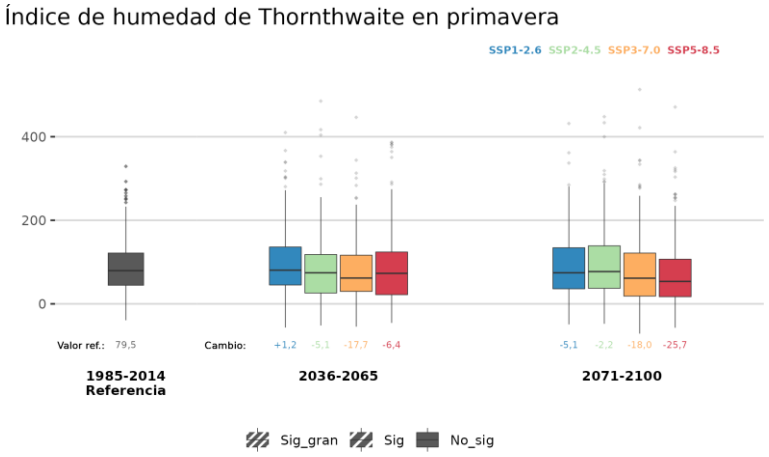


Figura 83: Evolución esperada para la variable de índice de humedad de Thornthwaite para la estación de primavera.

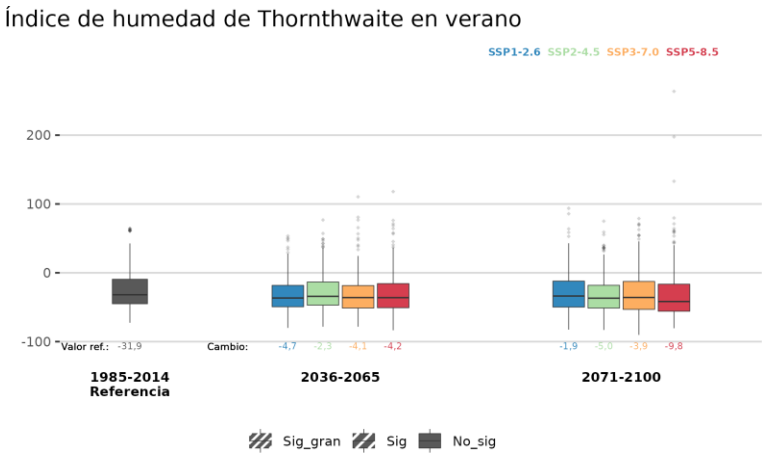


Figura 84: Evolución esperada para la variable de índice de humedad de Thornthwaite para la estación de verano.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

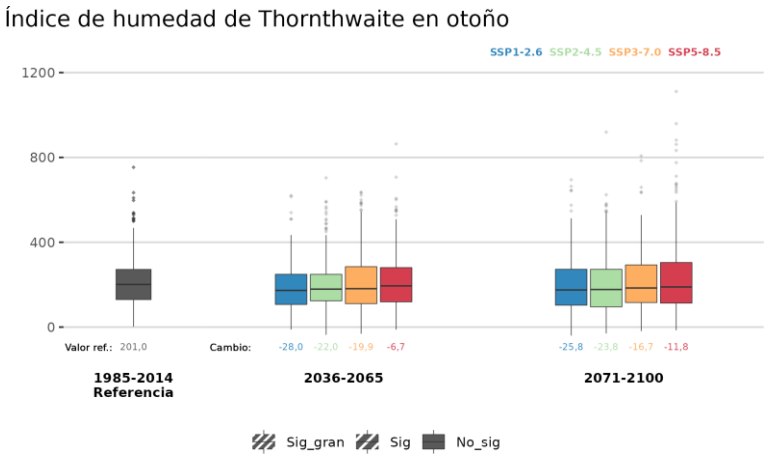


Figura 85: Evolución esperada para la variable de índice de humedad de Thornthwaite para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.10 Intensidad de la sequía

Como un indicador complementario a los ya descritos anteriormente para la caracterización de la aridez en un punto, el índice de intensidad de la sequía (ISQ) expresa la magnitud de la sequía en una localización, siendo expresada matemáticamente mediante:

$$ISQ = \sum_{m=1}^{m_{TOT}} (Pr_m - \overline{T}_m) \quad \Leftrightarrow \quad ISQ < 0$$

es decir, ISQ es el sumatorio de los valores de cada mes, siempre que sean negativos, de la diferencia entre la precipitación acumulada en ese mes y la temperatura media del mes, quedando expresado en ($mm - °C$). Este valor se obtiene tanto a nivel anual como estacional para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión. En el caso estacional, sólo se presentan los resultados correspondientes a la estación de invierno, dado que los resultados para el resto de las estaciones en todo caso es 0.

Evolución anual

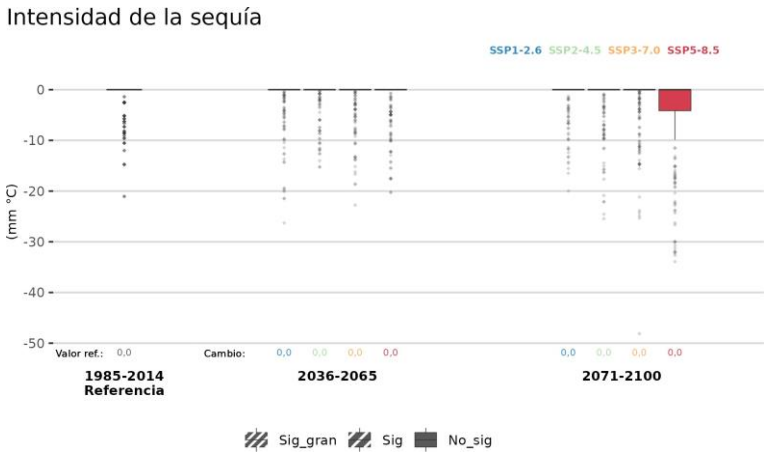


Figura 86: Evolución esperada para la variable de índice de aridez anual.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Evolución estacional

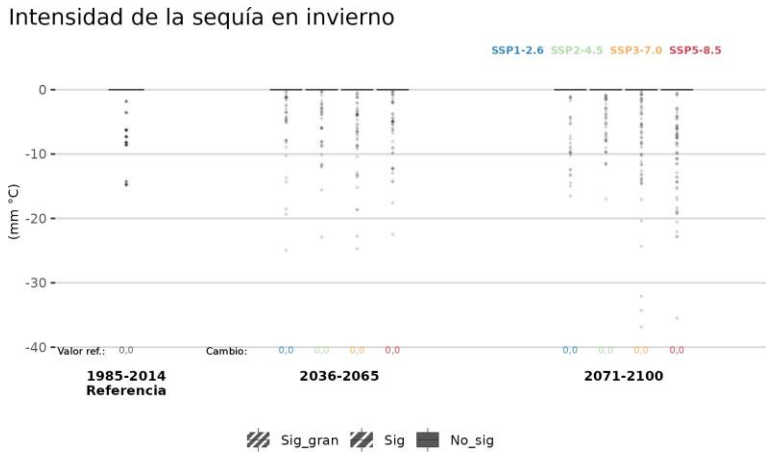


Figura 87: Evolución esperada para la variable de índice de aridez para la estación de invierno.

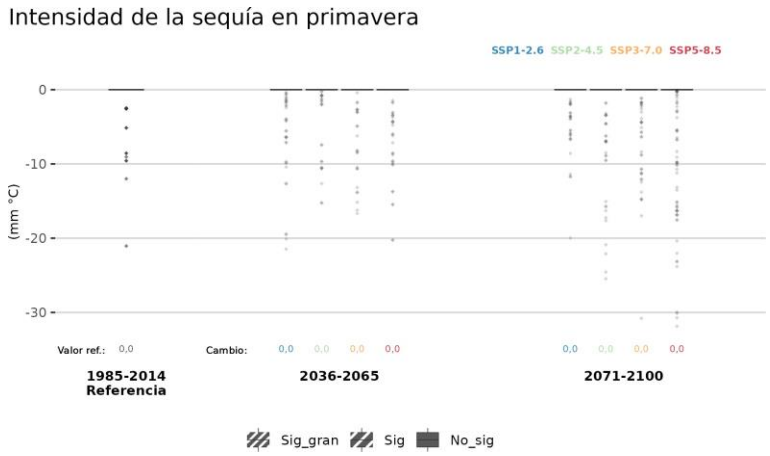


Figura 88: Evolución esperada para la variable de índice de aridez para la estación de primavera.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

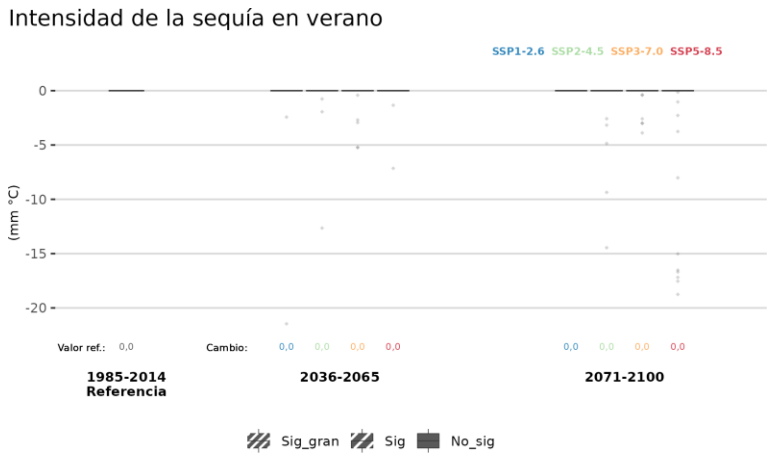


Figura 89: Evolución esperada para la variable de índice de aridez para la estación de verano.

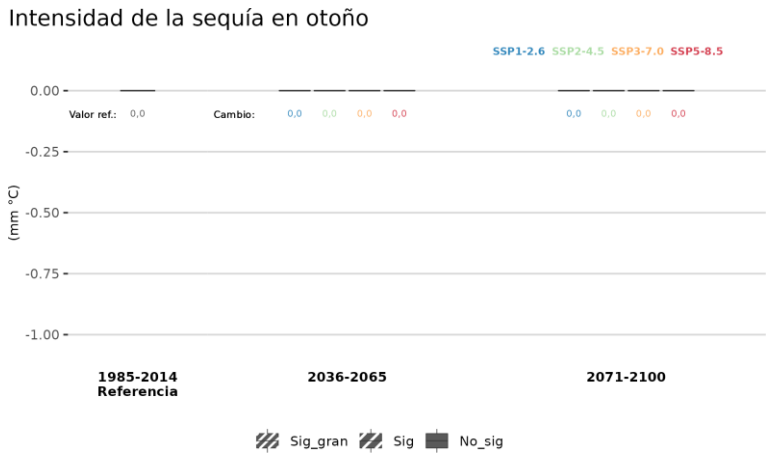


Figura 90: Evolución esperada para la variable de índice de aridez para la estación de otoño.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.11 SPI

El Índice de Precipitación Estandarizado (*SP I*, Standard Precipitation Index) (McKee et al. (1993)) se define como un valor numérico que representa el número de desviaciones estándar de la precipitación caída a lo largo del período de acumulación de que se trate, respecto de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal. De este modo se define una escala de valores que se agrupa en tramos relacionados con el carácter de la precipitación (Tabla 4). Tiene como ventaja que permite trabajar a escalas temporales identificando diferentes tipos de sequías y sus respuestas a diferentes sistemas naturales. Se basa en dos asunciones:

- La variabilidad de la precipitación es mayor que la de la temperatura y la evapotranspiración potencial (ETP).
- El resto de variables son estacionarias en el tiempo.

Es uno de los índices más usados en las últimas décadas ya que cuenta con una base sólida, robusta y versátil. Puede calcularse a diferentes escalas, de manera que el SPI a 3 meses representará el medio y corto plazo, como ejemplo sería la precipitación estacional; a 6 meses representa el medio plazo, como ejemplo sería el déficit potencial de precipitación; y a 12, 24 y 60 meses representa los patrones a largo plazo de precipitación con impacto en reservas de agua. Este valor se obtiene para cada uno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

Tabla 4: Escala del índice SPI.

SPI	Umbrales
Extremadamente húmedo	SPI ≥ 2.00
Severamente húmedo	1.50 ≤ SPI < 2.00
Moderadamente húmedo	0.50 ≤ SPI < 1.50
Normal	-0.50 ≤ SPI < 0.50
Moderadamente seco	-1.50 ≤ SPI < -0.50
Severamente seco	-2.00 ≤ SPI < -1.50
Extremadamente seco	SPI < -2.00

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.11.1 SPI a 3 meses

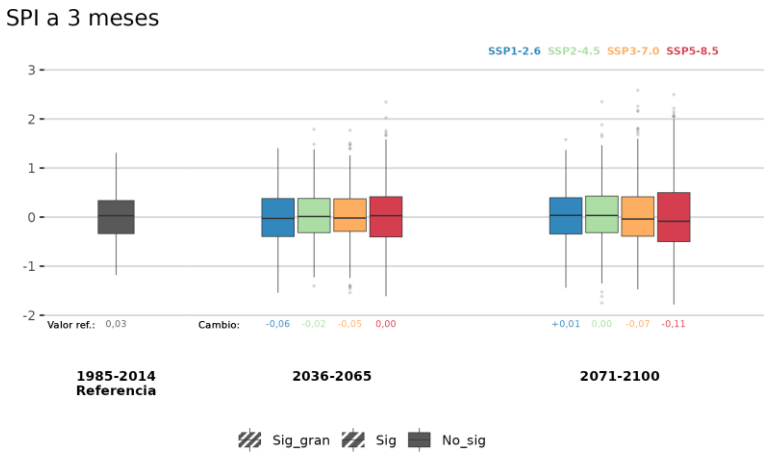


Figura 91: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPI a 3 meses.

3.11.2 SPI a 6 meses

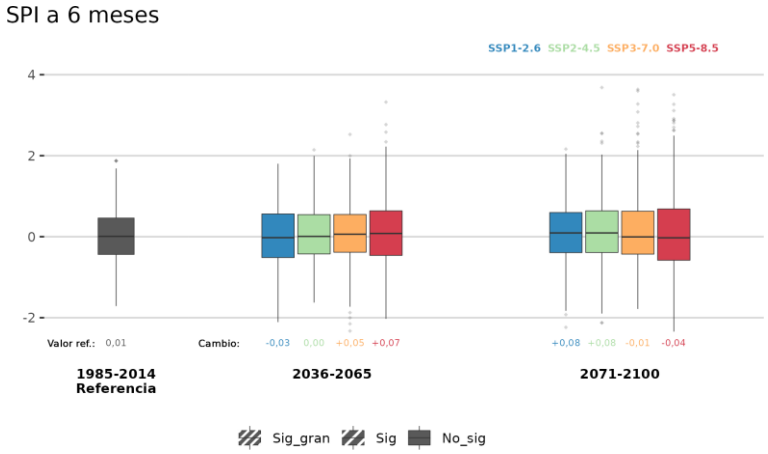


Figura 92: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPI a 6 meses.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.11.3 SPI a 12 meses

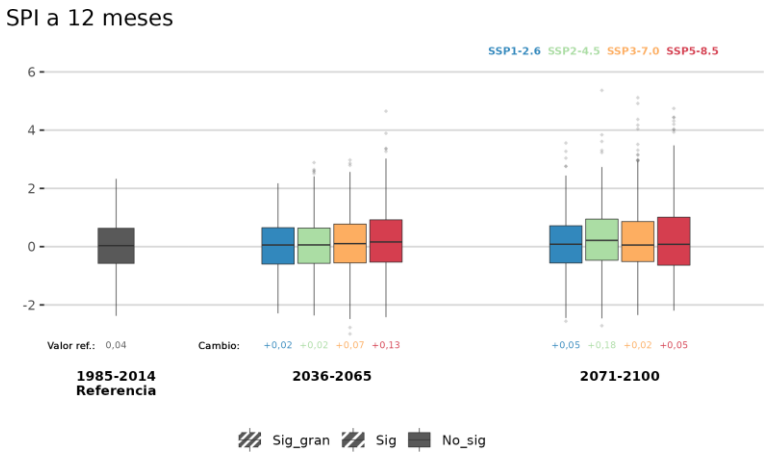


Figura 93: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPI a 12 meses.

3.11.4 SPI a 24 meses

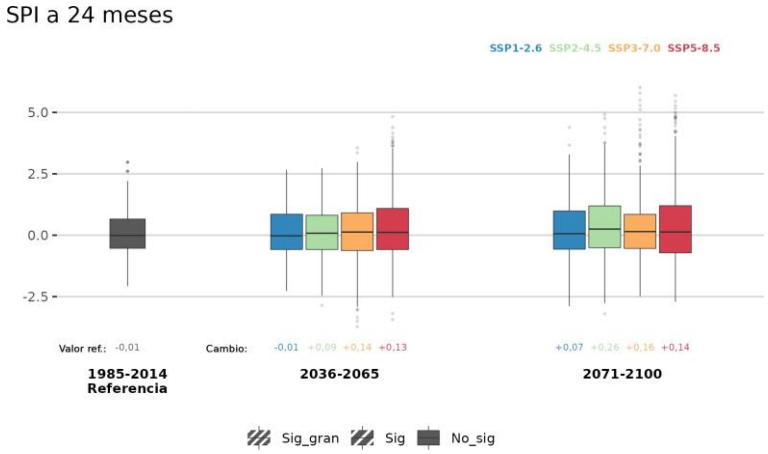


Figura 94: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPI a 24 meses.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.11.5 SPI a 60 meses

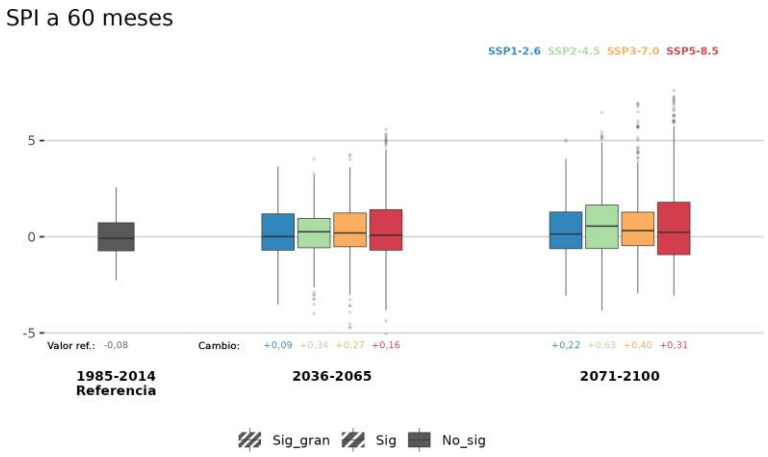


Figura 95: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPI a 60 meses.

3.12 SPEI

El Índice de Evapotranspiración y Precipitación Estandarizado (SPEI, Standardized Precipitation Evapotranspiration, propuesto por Vicente-Serrano, Beguería, y López-Moreno (2010)) supone una variante del *SP I*. Presenta un mayor potencial ya que es sensible al impacto del cambioclimático al considerar el balance hídrico como la diferencia entre la precipitación mensual y la evapotranspiración potencial (calculada según Hargreaves). De igual forma que para el *SP I*, se define una escala de valores que se agrupa en tramos (Tabla 5). Este valor se obtiene para cadauno de los 30 años de cada periodo en cuestión.

Tabla 5: Escala del índice SPEI.

SPEI	Umbrales
Extremadamente húmedo	SPEI ≥ 2.00
Severamente húmedo	1.50 ≤ SPEI < 2.00
Moderadamente húmedo	0.50 ≤ SPEI < 1.50
Normal	-0.50 ≤ SPEI < 0.50
Moderadamente seco	-1.50 ≤ SPEI < -0.50
Severamente seco	-2.00 ≤ SPEI < -1.50
Extremadamente seco	SPEI < -2.00

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.12.1 SPEI a 3 meses

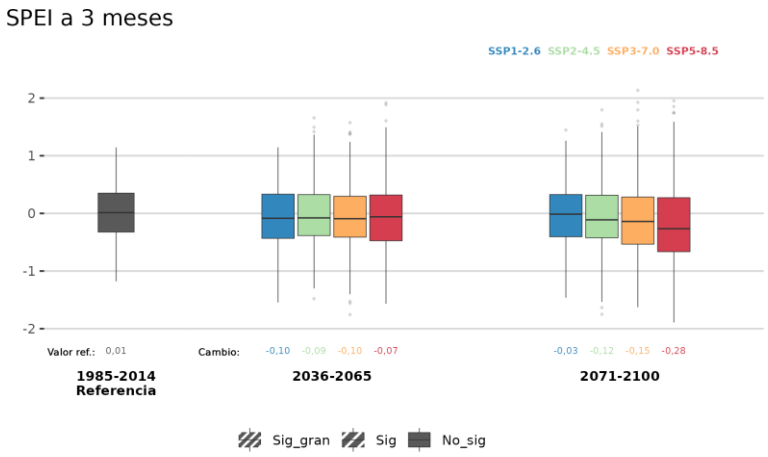


Figura 96: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPEI a 3 meses.

3.12.2 SPEI a 6 meses

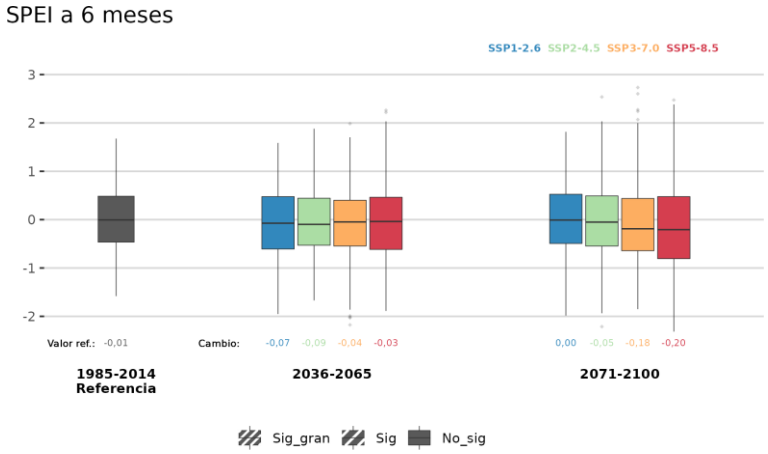


Figura 97: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPEI a 6 meses.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.12.3 SPEI a 12 meses

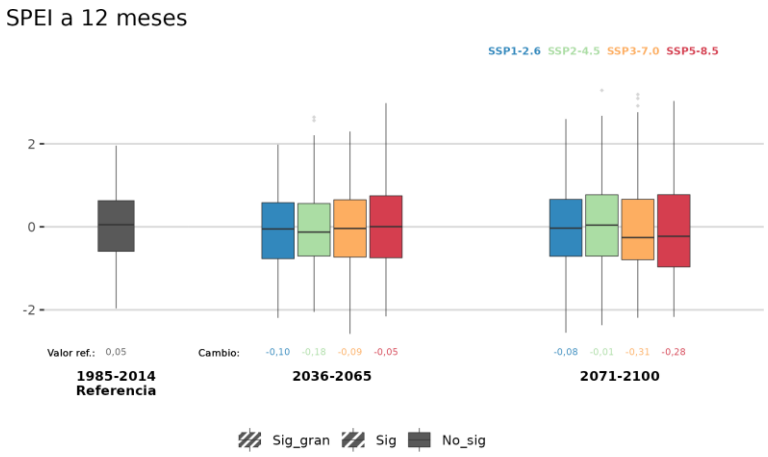


Figura 98: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPEI a 12 meses.

3.12.4 SPEI a 24 meses

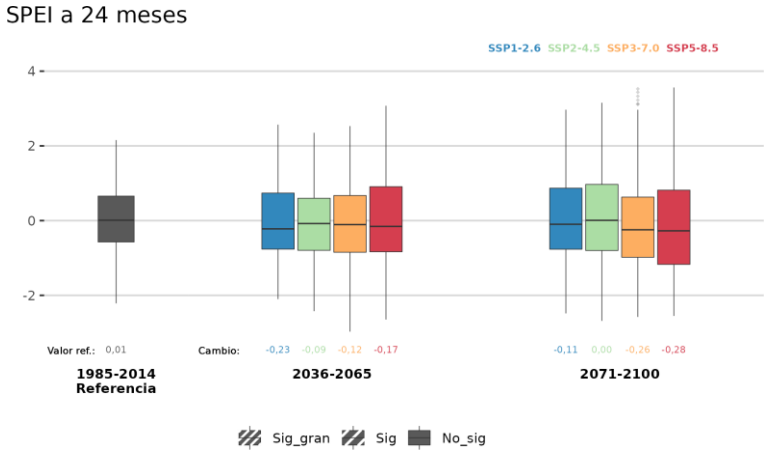


Figura 99: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPEI a 24 meses.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

3.12.5 SPEI a 60 meses

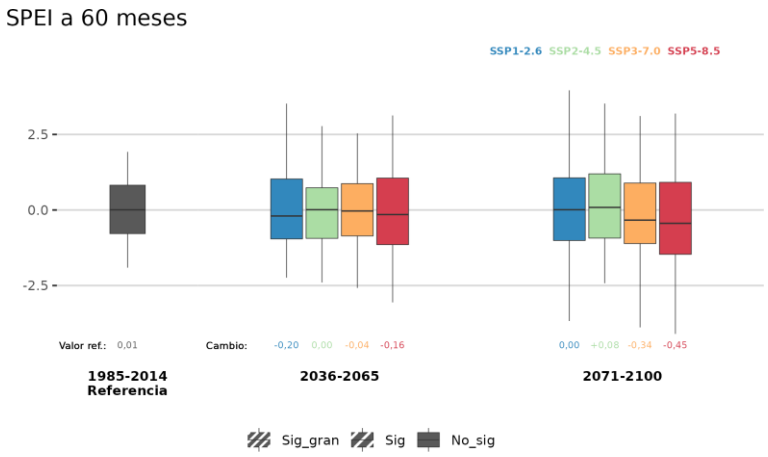


Figura 100: Evolución esperada para la media anual de la variable de SPEI a 60 meses.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

4 Biodiversidad

4.1 Índices bioclimáticos

Los índices bioclimáticos son variables calculadas a partir de los valores mensuales de temperatura y precipitación y que tienen interés desde el punto de vista biológico. Suelen utilizarse en la modelización de la distribución de las especies y en las técnicas de modelización ecológica relacionadas. Las variables bioclimáticas representan las tendencias anuales (por ejemplo, la temperatura media anual, la precipitación anual); la estacionalidad (por ejemplo, el rango anual de temperatura y precipitación) y los factores ambientales extremos o limitantes (por ejemplo, la temperatura del mes más frío y más cálido, y la precipitación de los trimestres húmedos y secos). La Tabla 6 muestra las definiciones de los 19 índices bioclimáticos calculados.

Tabla 6: Definición de los 19 índices bioclimáticos calculados.

Índice	Descripción	Unidad
1	Temperatura media anual	°C
2	Rango diario promedio	°C
3	Isotermalidad	%
4	Estacionalidad de la temperatura	adim
5	Temperatura máxima del mes más cálido	°C
6	Temperatura mínima del mes más frío	°C
7	Rango anual de la temperatura	°C
8	Temperatura media del trimestre más húmedo	°C
9	Temperatura media del trimestre más seco	°C
10	Temperatura media del trimeste más caluroso	°C
11	Temperatura media del trimeste más frío	°C
12	Precipitación anual	mm
13	Precipitación del mes más húmedo	mm
14	Precipitación del mes más seco	mm
15	Estacionalidad de la precipitación	adim
16	Precipitación del trimestre más húmedo	mm
17	Precipitación del trimestre más seco	mm
18	Precipitación del trimestre más caluroso	mm
19	Precipitación del trimestre más frío	mm

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

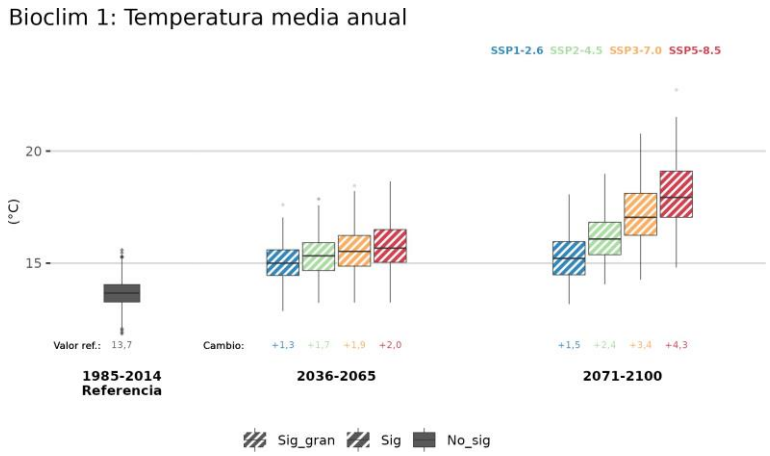


Figura 101: Evolución esperada para la variable bioclimática 1.

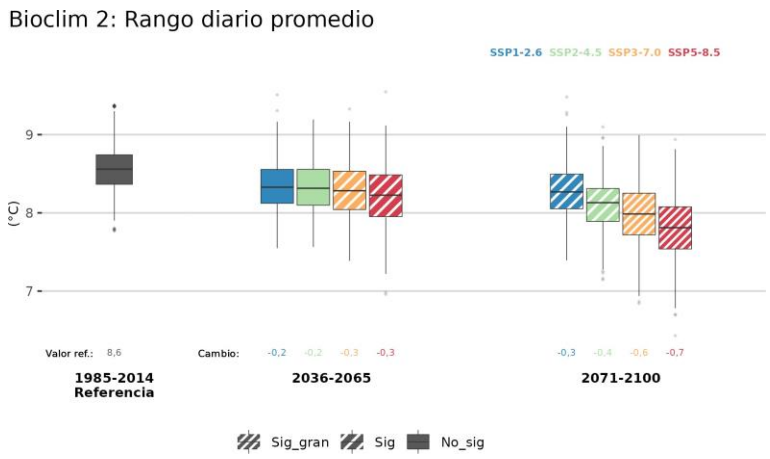


Figura 102: Evolución esperada para la variable bioclimática 2.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

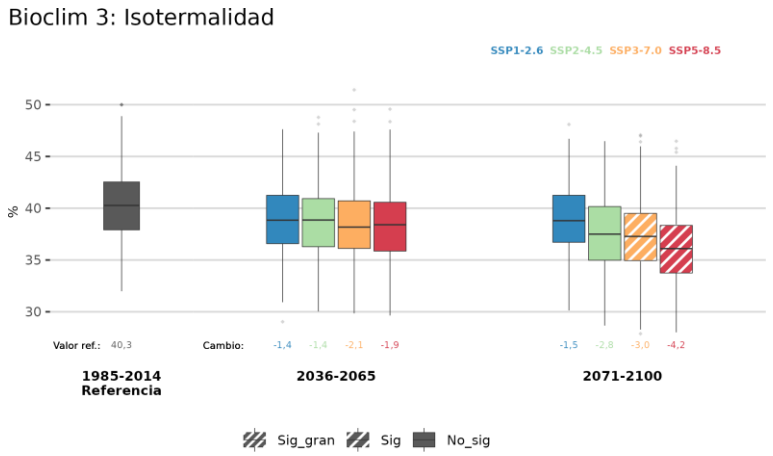


Figura 103: Evolución esperada para la variable bioclimática 3.

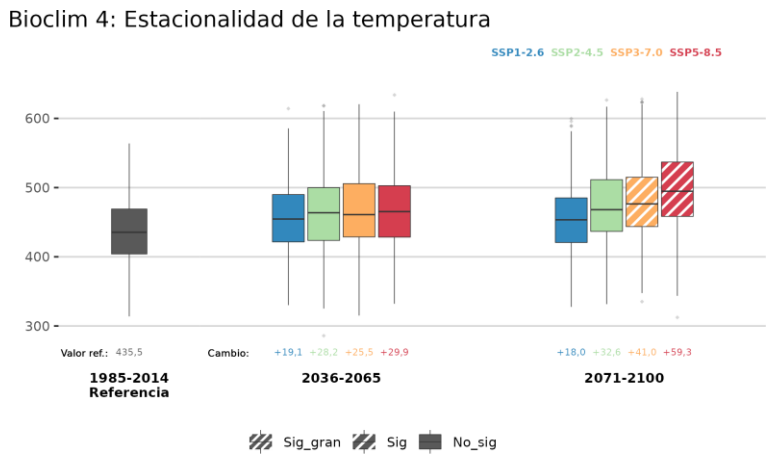


Figura 104: Evolución esperada para la variable bioclimática 4.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

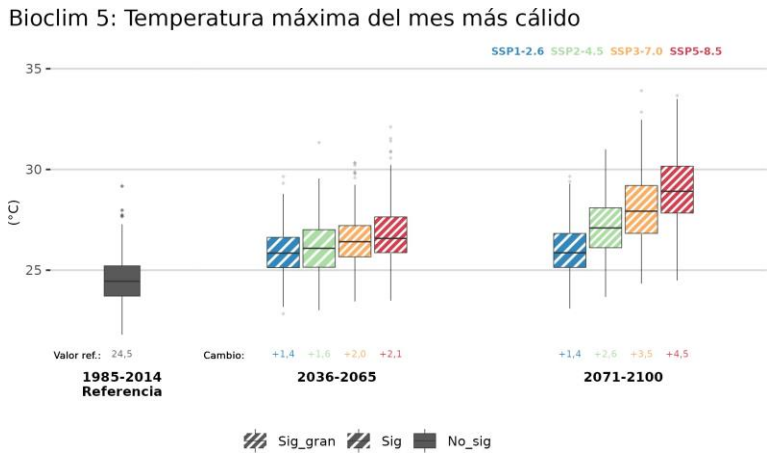


Figura 105: Evolución esperada para la variable bioclimática 5.

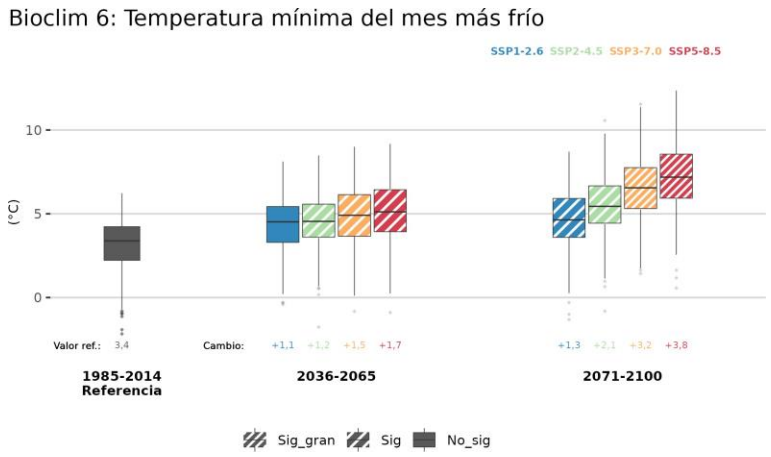


Figura 106: Evolución esperada para la variable bioclimática 6.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

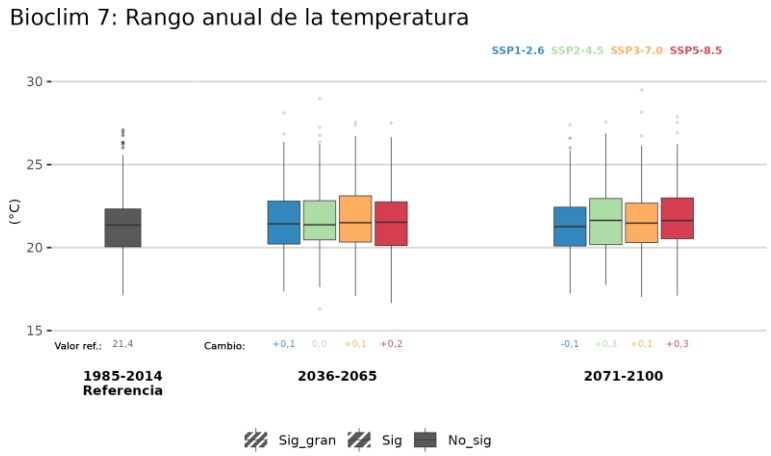


Figura 107: Evolución esperada para la variable bioclimática 7.

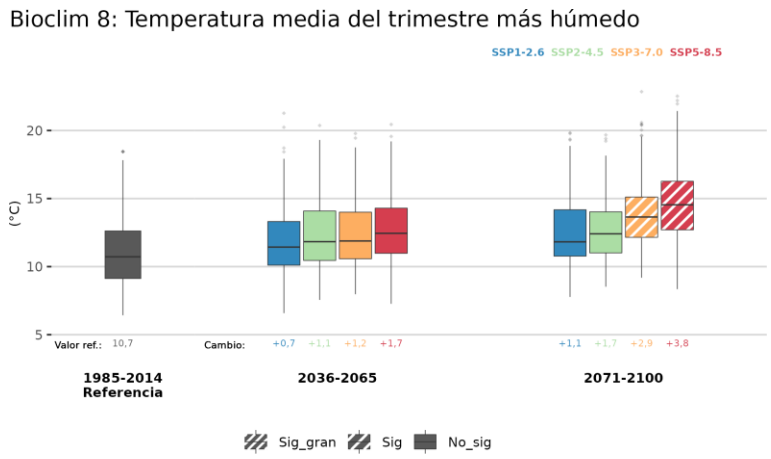


Figura 108: Evolución esperada para la variable bioclimática 8.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

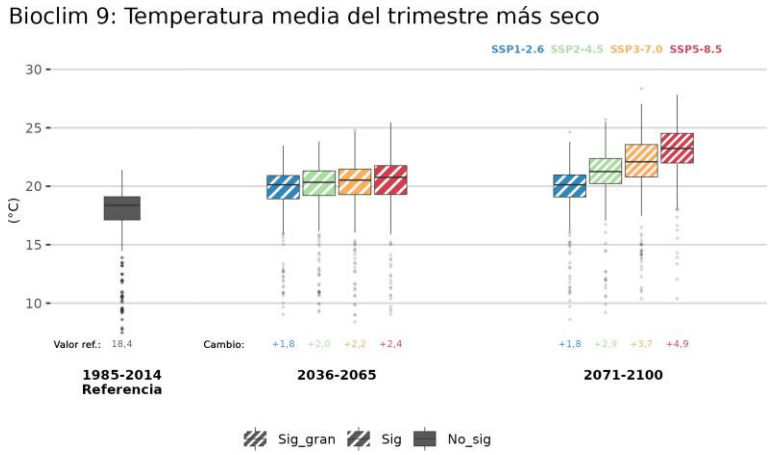


Figura 109: Evolución esperada para la variable bioclimática 9.

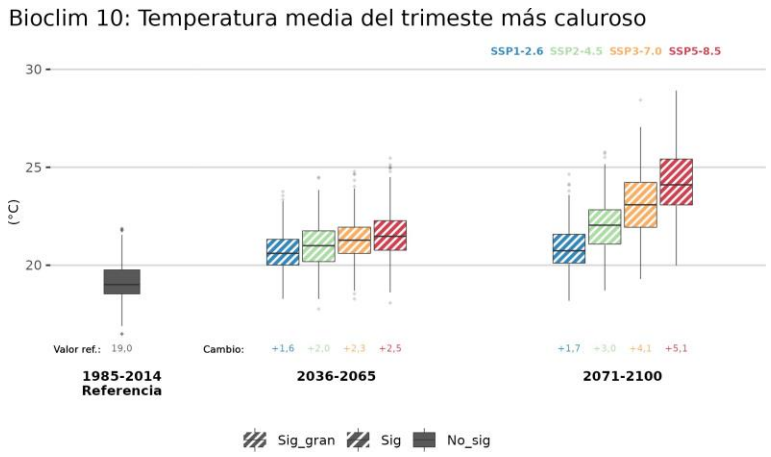


Figura 110: Evolución esperada para la variable bioclimática 10.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

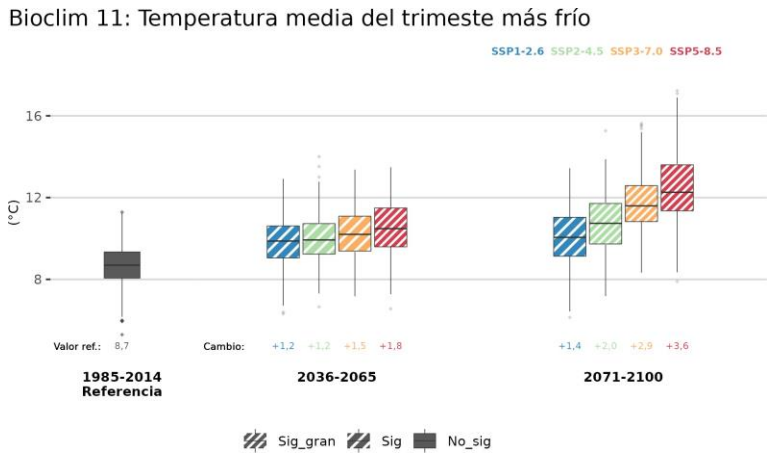


Figura 111: Evolución esperada para la variable bioclimática 11.

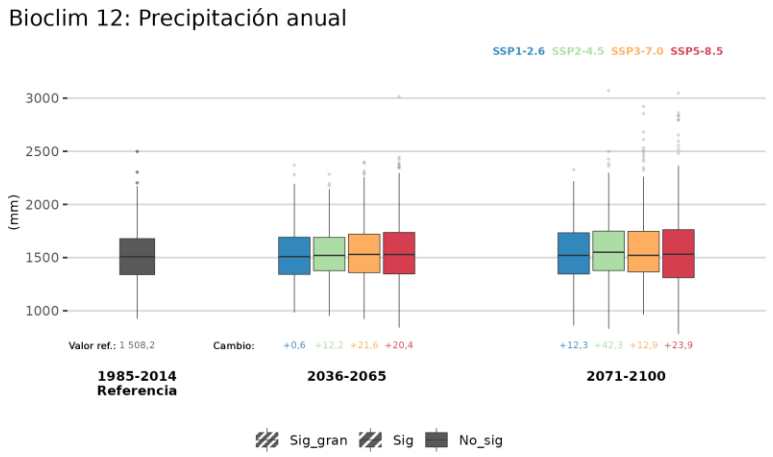


Figura 112: Evolución esperada para la variable bioclimática 12.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

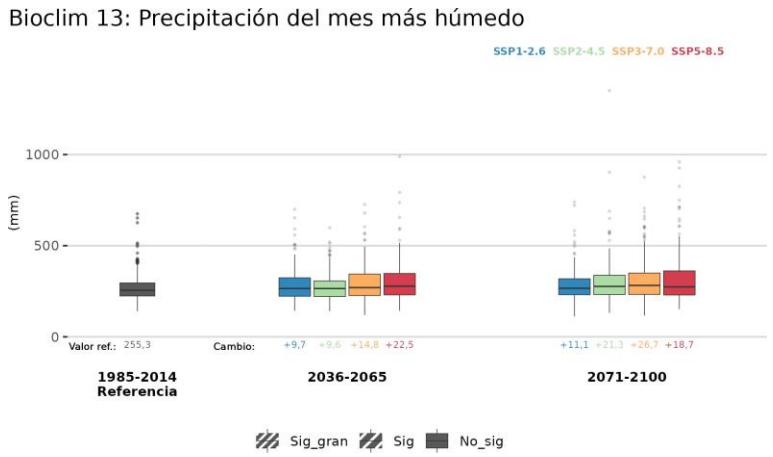


Figura 113: Evolución esperada para la variable bioclimática 13.

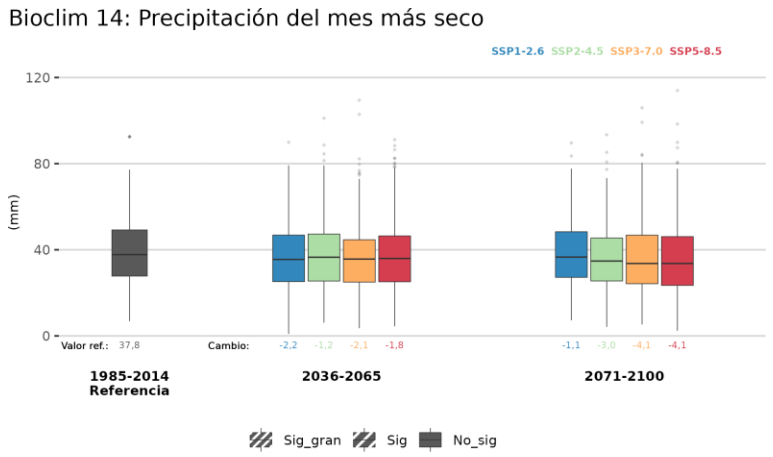


Figura 114: Evolución esperada para la variable bioclimática 14.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

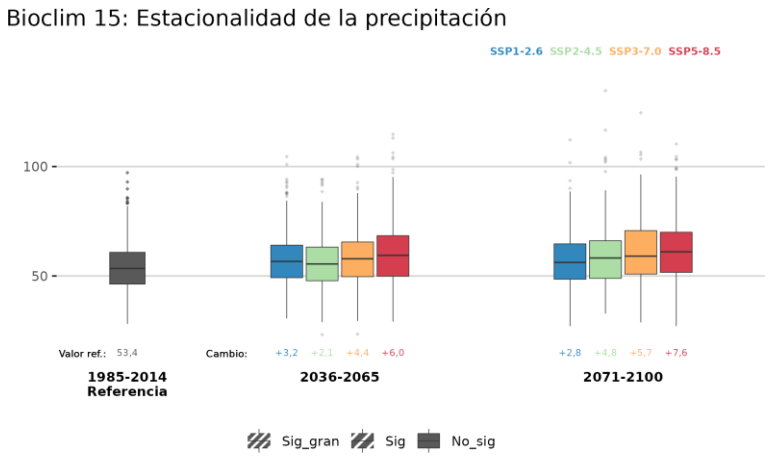


Figura 115: Evolución esperada para la variable bioclimática 15.

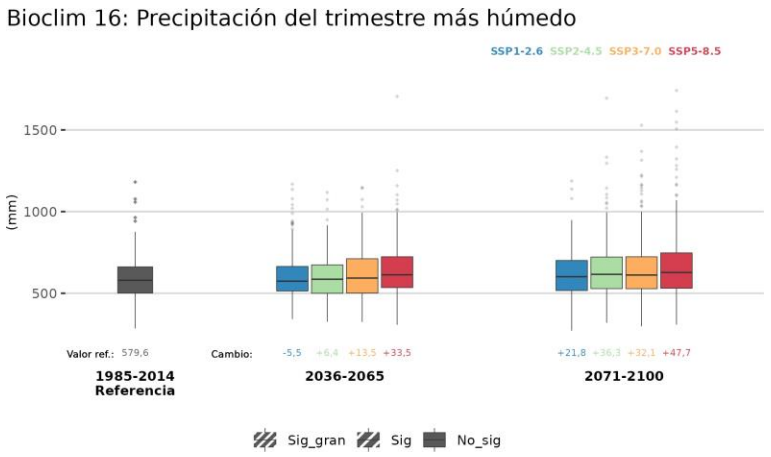


Figura 116: Evolución esperada para la variable bioclimática 16.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

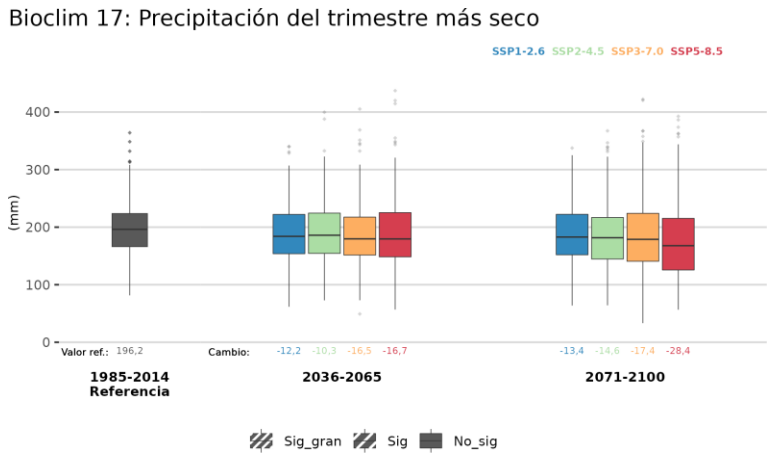


Figura 117: Evolución esperada para la variable bioclimática 17.

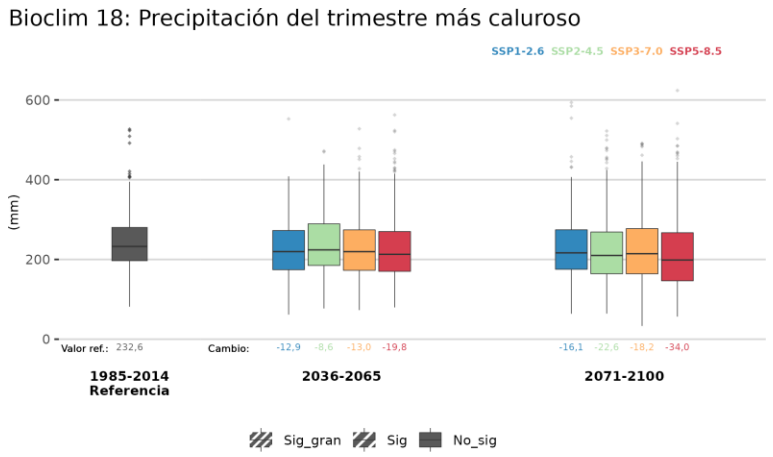


Figura 118: Evolución esperada para la variable bioclimática 18.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

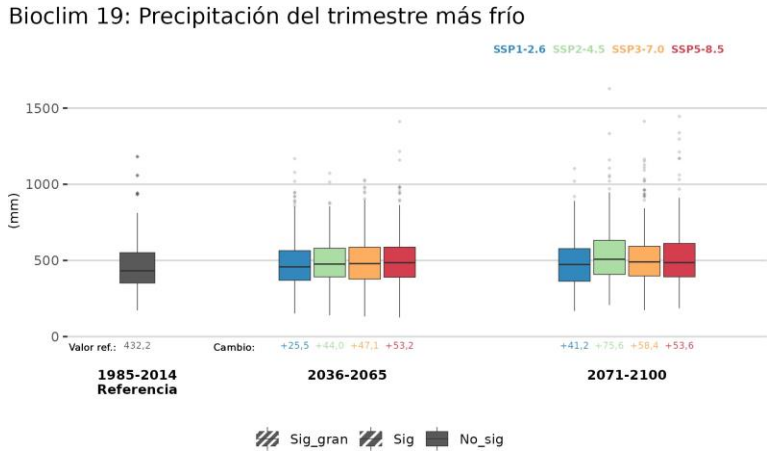


Figura 119: Evolución esperada para la variable bioclimática 19.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

4.2 Temperatura media del periodo vegetativo

Temperatura media para el periodo vegetativo calculada como la temperatura media diaria correspondiente al periodo entre abril y octubre.

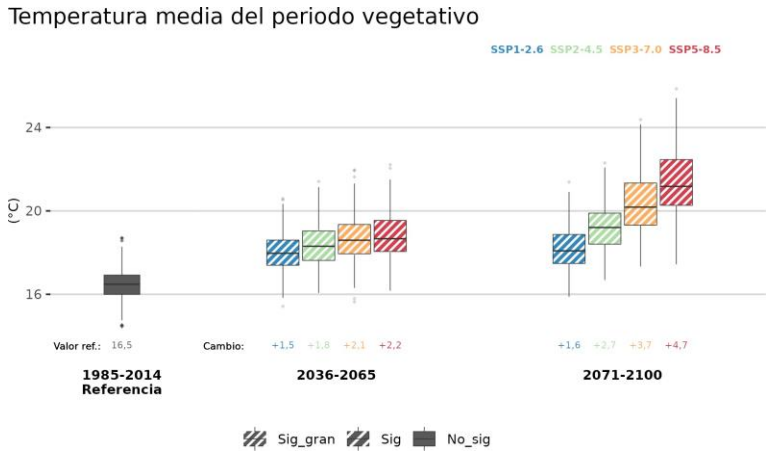


Figura 120: Evolución esperada para la temperatura media del periodo vegetativo.

4.3 Temperatura mínima del periodo vegetativo

Temperatura mínima para el periodo vegetativo calculada como la temperatura mínima media diaria correspondiente al periodo entre abril y octubre. Los daños en las vides se producen normalmente con temperaturas por debajo de los -3°*C*.

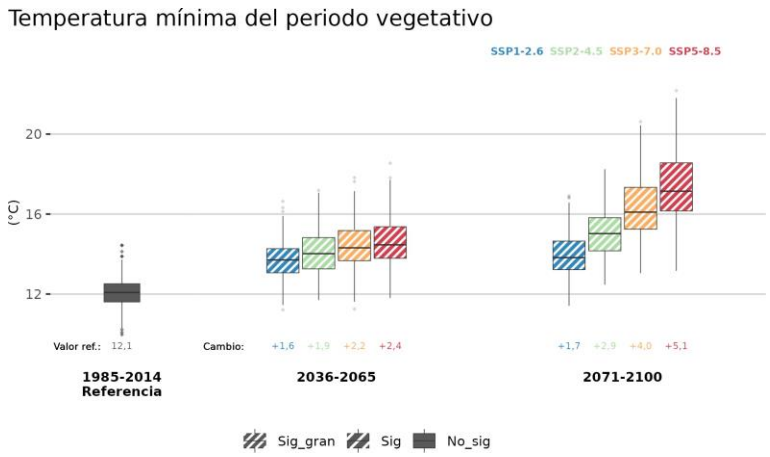


Figura 121: Evolución esperada para la temperatura mínima del periodo vegetativo.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

4.4 Temperatura máxima del periodo vegetativo

Temperatura máxima para el periodo vegetativo calculada como la temperatura máxima media diaria correspondiente al periodo entre abril y octubre. Las consecuencias de las altas temperaturas sobre la vid son diversas en función de su duración, recursos hídricos, fase de vegetación y genotipo pero se puede considerar que, por encima de los 35ºC, la capacidad de fotosíntesis de la vid decrece y el contenido en antocianinos de la uva se ve afectado

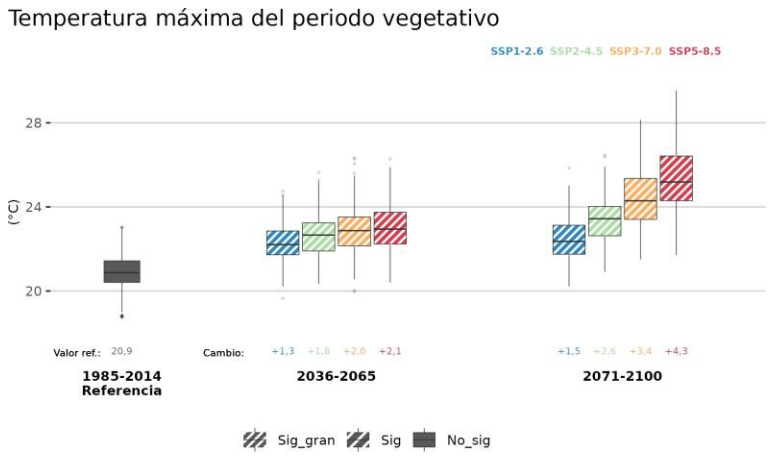
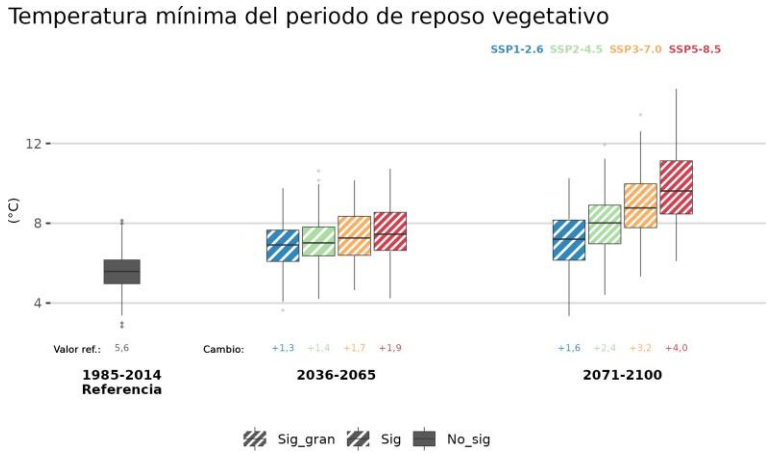


Figura 122: Evolución esperada para la temperatura máxima del periodo vegetativo.

4.5 Temperatura mínima del periodo de reposo vegetativo

Temperatura mínima para el periodo de reposo vegetativo calculada como la temperatura mínima media diaria correspondiente al periodo entre noviembre y marzo. A partir de un umbral se pueden producir daños irreversibles con respecto a la viabilidad de las yemas o de la cepa al completo. Aunque depende del material vegetal y de la fuerza de la vid, el umbral de resistencia de la vid a las bajas temperaturas oscila entre -15ºC y -25ºC (During (1997); Lisek et al. (2009)).



Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Figura 123: Evolución esperada para la temperatura mínima del periodo de reposo vegetativo.

Bosques Flotantes *cuenta con el apoyo de la Fundación Biodiversidad del Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico (MITECO) en el marco del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia (PRTR), financiado por la Unión Europea - NextGenerationEU.*

Referencias

During, H. 1997. «Potential frost resistance of grape: Kinetics of temperature-induced hardening of Riesling and Silvaner buds». *Vitis* 36 (4): 213-14.

Gaitán, Emma, Robert Monjo, Javier Pórtoles, y M Rosa Pino-Otı´n. 2019. «Projection of temperatures and heat and cold waves for Aragón (Spain) using a two-step statistical downscaling of CMIP5 model outputs». *Science of the Total Environment* 650: 2778-95.

Lisek, Jerzy et al. 2009. «Frost damage of buds on one-year-old shoots of wine and table grapevine cultivars in central Poland following the winter of 2008/2009». *J. Fruit Ornam. Plant. Res* 17 (2): 149-61.

McKee, Thomas B, Nolan J Doesken, John Kleist, et al. 1993. «The relationship of drought frequency and duration to time scales». En *Proceedings of the 8th Conference on Applied Climatology*, 17:179-83. 22. Boston, MA, USA.

O'Neill, Brian C, Claudia Tebaldi, Detlef P Van Vuuren, Veronika Eyring, Pierre Friedlingstein, George Hurtt, Reto Knutti, et al. 2016. «The scenario model intercomparison project (ScenarioMIP) for CMIP6». *Geoscientific Model Development* 9 (9): 3461-82.

Vicente-Serrano, Sergio M, Santiago Begueri´a, y Juan I López-Moreno. 2010. «A multiscalar drought index sensitive to global warming: the standardized precipitation evapotranspiration index». *Journal of climate* 23 (7): 1696-1718.