



**Análisis de vulnerabilidad al cambio climático del
Ayuntamiento de Valencia.**



**Proyecciones climáticas para el municipio de
Valencia**

20 de febrero de 2015

Autores:

(1) Dr. Sergio Alonso; Dra. María del Mar Vich; Carlos Alonso
(2) Itxaso Gómez; Julie Urban; Alba Genovés; Juan Carlos Gómez

(1) Meteoclim
(2) Factor CO₂

Índice

Resumen ejecutivo	9
1. Introducción	13
2. Descripción del estado presente	15
2.1. Regímenes medios anuales	15
2.2. Tendencias anuales para las series diarias observadas	16
2.3. Tendencias estacionales para las series diarias observadas	19
2.4. Frecuencias, intensidades y tendencias anuales de los extremos	26
3. Perspectivas de evolución previsible	31
3.1. Cambios proyectados en los regímenes medios anuales	32
3.2. Cambios proyectados en los regímenes medios estacionales	36
3.3. Cambios proyectados para las frecuencias e intensidades de los extremos	47
4. Conclusiones	52

Índice de tablas

Tabla 1. Regímenes medios anuales para las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y el periodo 1984-2013. La precipitación se expresa como la acumulación media anual. _____	16
Tabla 2. Probabilidad de la ocurrencia de un resultado. _____	17
Tabla 3. Tendencias anuales de cambio de las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y para el periodo 1984-2013. La precipitación se expresa como la acumulación media anual. _____	17
Tabla 4. Tendencias de cambio de las variables de interés observadas en invierno para la estación LEVC y el periodo 1984-2013. La precipitación se presenta como la acumulación media estacional. _____	22
Tabla 5. Tendencias de cambio de las variables de interés observadas en primavera para la estación del aeropuerto y el periodo 1984-2013. La precipitación se presenta como la acumulación estacional por año. _____	23
Tabla 6. Tendencias de cambio en verano de las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y para el periodo 1984-2013. La precipitación se presenta como la acumulación media estacional _____	24
Tabla 7. Tendencias de cambio en otoño de las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y para el periodo 1984-2013. La precipitación se presenta como la acumulación media estacional. _____	25
Tabla 8. Tendencias del cambio en el número de días por año de los eventos extremos para las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y para el periodo 1984-2013. _____	27
Tabla 9. Modelos de Circulación General seleccionados del proyecto CMIP5. _____	32
Tabla 10. Regímenes medios anuales proyectados para los periodos indicados obtenidos a partir de las series diarias regionalizadas en LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles para el escenario RCP4.5. _____	33
Tabla 11. Regímenes medios anuales proyectados para los periodos indicados obtenidos a partir de las series diarias regionalizadas en LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles para el escenario RCP8.5. _____	33
Tabla 12. Regímenes medios proyectados en invierno para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 4.5. _____	36
Tabla 13. Regímenes medios proyectados en invierno para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 8.5. _____	36
Tabla 14. Regímenes medios proyectados en primavera para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 4.5. _____	38
Tabla 15. Regímenes medios proyectados en primavera para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 8.5. _____	39

Tabla 16. Regímenes medios proyectados en verano para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 4.5.	42
Tabla 17. Regímenes medios proyectados en verano para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 8.5.	42
Tabla 18. Regímenes medios proyectados en otoño para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 4.5.	44
Tabla 19. Regímenes medios proyectados en otoño para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 8.5.	45
Tabla 20. Promedio del número de días al año que son inferiores o superiores a los umbrales definidos para los tres periodos futuros respecto al presente y el escenario RCP 4.5.	47
Tabla 21. Promedio del número de días al año que son inferiores o superiores a los umbrales definidos para los tres periodos futuros respecto al presente y el escenario RCP 8.5.	48

Índice de figuras

Figura 1. Localización geográfica del municipio de Valencia, España. Se muestra la localización de la estación meteorológica automática de la AEMET (indicativo LEVC).	14
Figura 2. Climograma del municipio de Valencia para el periodo presente de 30 años 1984-2013. Se muestran los datos medios de cada mes del año de la temperatura media y precipitaciones para este periodo presente.	15
Figura 3. Tendencias anuales observadas para las temperaturas (a) mínima, (b) media y (c) máxima. En todas las figuras que muestran las tendencias ajustadas a las diferentes variables climáticas. También se muestran las probabilidades de ocurrencia (entre paréntesis), las confianzas estadísticas al 95% en el ritmo de cambio de las variables (entre corchetes), y el coeficiente de determinación de las rectas ajustadas (R ²).	18
Figura 4. Tendencia anual observada para la precipitación	19
Figura 5. Tendencias observadas para las temperaturas en las diferentes estaciones del año.	20
Figura 6. Tendencia observada para la precipitación acumulada en invierno.	22
Figura 7. Tendencia observada para la precipitación en primavera	23
Figura 8. Tendencia observada para la precipitación en verano.	24
Figura 9. Tendencia observada para la precipitación en otoño.	25

Figura 10. Tendencias en el número de (a) días de helada, (b) noches tropicales y (c) días cálidos observados al año en la estación meteorológica de LEVC para el periodo 1984-2013.	28
Figura 11. Tendencias en los regímenes medios de precipitación para: (a) días sin lluvia, (b) lluvias débiles, (c) lluvias moderadas, (d) lluvias intensas y (e) lluvias torrenciales en la estación meteorológica de LEVC para el periodo 1984-2013.	29
Figura 12. Regímenes medios proyectados anuales para las temperaturas media, mínima y máxima y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5. Nótese que en ésta y las siguientes figuras, las barras de error denotan las incertidumbres asociadas a la media multimodelo. Las incertidumbres han sido calculadas como la desviación estándar.	34
Figura 13. Regímenes medios proyectados anuales para las temperaturas media, mínima y máxima y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.	34
Figura 14. Regímenes medios proyectados anuales para la precipitación anual y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.	35
Figura 15. Regímenes medios proyectados anuales para la precipitación anual y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.	35
Figura 16. Regímenes medios proyectados en invierno para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.	37
Figura 17. Regímenes medios proyectados en invierno para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.	37
Figura 18. Regímenes medios proyectados en invierno para la precipitación y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y los escenarios RCP 4.5 y 8.5.	38
Figura 19. Regímenes medios proyectados en primavera para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.	40
Figura 20. Regímenes medios proyectados en primavera para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.	40
Figura 21. Regímenes medios proyectados en primavera para la precipitación y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y los escenarios RCP 4.5. y 8.5.	41
Figura 22. Regímenes medios proyectados en verano para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.	43
Figura 23. Regímenes medios proyectados en verano para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.	43
Figura 24. Regímenes medios proyectados en verano para la precipitación y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y los escenarios RCP 4.5. y 8.5.	44
Figura 25. Regímenes medios proyectados en otoño para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.	45

Figura 26. Regímenes medios proyectados en otoño para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5. _____ 46

Figura 27. Regímenes medios proyectados en otoño para la precipitación y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y los escenarios RCP 4.5. y 8.5. _____ 46

Figura 28. Evolución en el número de días al año de los extremos de temperatura para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5. 49

Figura 29. Evolución en el número de días al año de los extremos de temperatura para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5. 49

Figura 30. Evolución en el número de días sin lluvia al año para los escenarios RCP 4.5 y 8.5. Los resultados se muestran para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC. _____ 50

Figura 31. Evolución en el número de días al año para los regímenes de lluvias débiles, moderadas, intensas y torrenciales y el escenario RCP 4.5. Los resultados se muestran para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC. _____ 50

Figura 32. Evolución en el número de días al año para los regímenes de lluvias débiles, moderadas, intensas y torrenciales y el escenario RCP 8.5. Los resultados se muestran para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC. _____ 51

Acrónimos, abreviaturas y siglas

AEMET	Agencia Estatal de Meteorología
CMIP5	Coupled Model Intercomparison Project Phase 5
CRU	Climatic Research Unit
EEA	Agencia Europea Medioambiental
ESM	Modelos del sistema tierra
IPCC	Panel Intergubernamental de Expertos sobre el Clima
LEVC	Código ICAO (International Civil Aviation Organization) del Aeropuerto de Valencia
MCG	Modelos de circulación global
PNACC	Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático
RCP	Representative Concentration Pathways

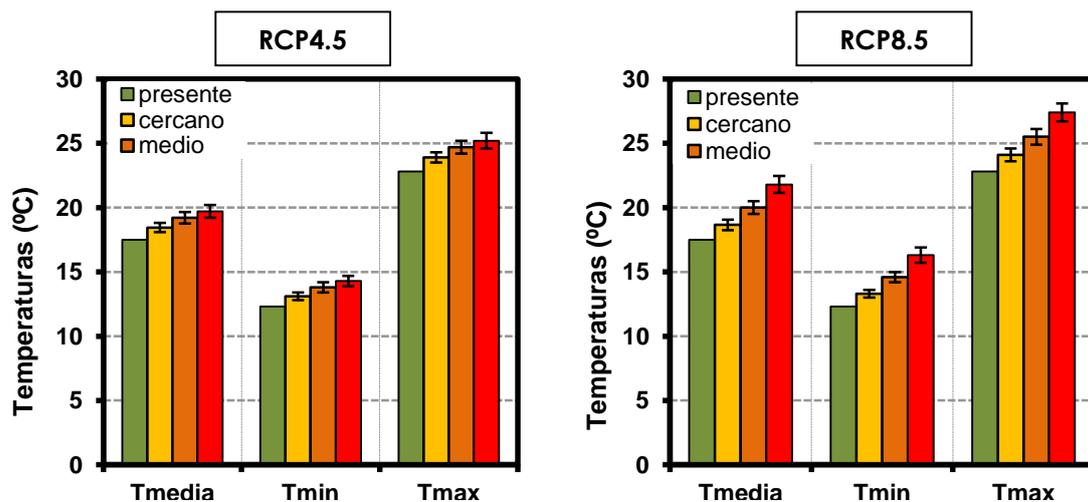
Resumen ejecutivo

El análisis del clima futuro del municipio de Valencia se ha desarrollado utilizando los datos climáticos actuales y futuros calibrados para el observatorio del aeropuerto de Manises, Valencia (LEVC), aplicando un ajuste estadístico cuantil a cuantil¹ sobre los escenarios radiativos generados por el Proyecto CMIP5 e utilizados en la elaboración del Quinto Informe de Evaluación del IPCC. Las proyecciones climáticas desarrolladas para el municipio de Valencia reflejan el escenario más optimista o de menor concentración de Gases de Efecto Invernadero (GEI, de aquí en adelante) (RCP4.5) y el más pesimista o de mayor concentración de GEI en la atmosfera (RCP8.5).

A continuación se expone la evolución de la situación actual para los principales impactos climáticos a los cuales el municipio de Valencia está expuesto, para tres horizontes temporales de 30 años de duración cada uno: 2010-2039 (corto plazo), 2040-2069 (medio plazo) y 2070-2099 (largo plazo).

➤ La evolución de las temperaturas

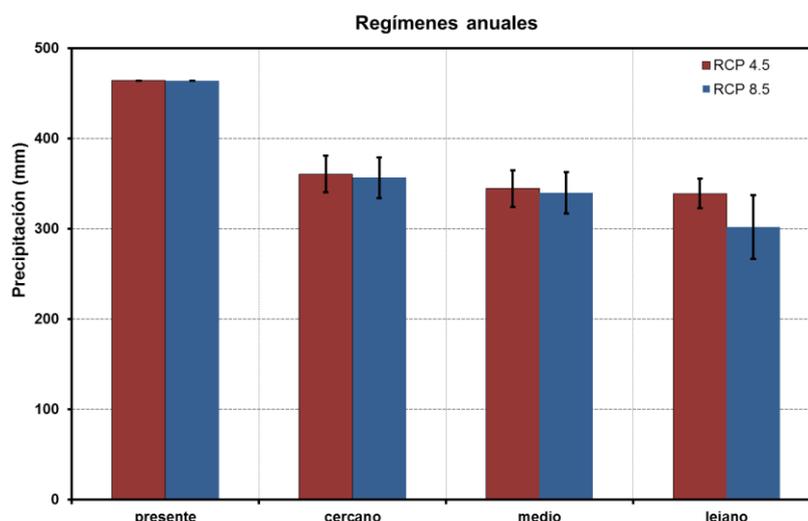
En base al incremento de las temperaturas observado entre 1984 y 2013 en el municipio de Valencia, se destaca una tendencia a un aumento de la temperatura media y máxima de 0.03° por año o de 3.1°C por siglo. En cuanto a la temperatura mínima, disminuiría de 0.4°C por siglo. Los modelos globales del clima proyectan, para el escenario pesimista y optimista un aumento generalizado en los regímenes anuales de las temperaturas en el futuro a corto, medio y largo plazo en comparación al periodo presente (Figura 1). En general, los regímenes de las temperaturas máximas aumentarán más que las mínimas, aumentando así el rango de temperaturas diurnas. Estacionalmente, los veranos y otoños sufrirán de aquí a finales de siglo temperaturas mínimas de 2°C a 3°C más elevadas, para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 respectivamente. Especialmente importantes son las tendencias al aumento de las temperaturas medias para la primavera y el verano.



¹ El ajuste cuantil-cuantil permite incluir las características climáticas locales en las simulaciones globales del clima, corrigiéndolas y adaptándolas a la escala local. Es decir, el ajuste estadístico corrige los posibles errores en las variables simuladas diarias por los MCGs cuando se evalúan a escalas locales.

➤ La evolución de las precipitaciones

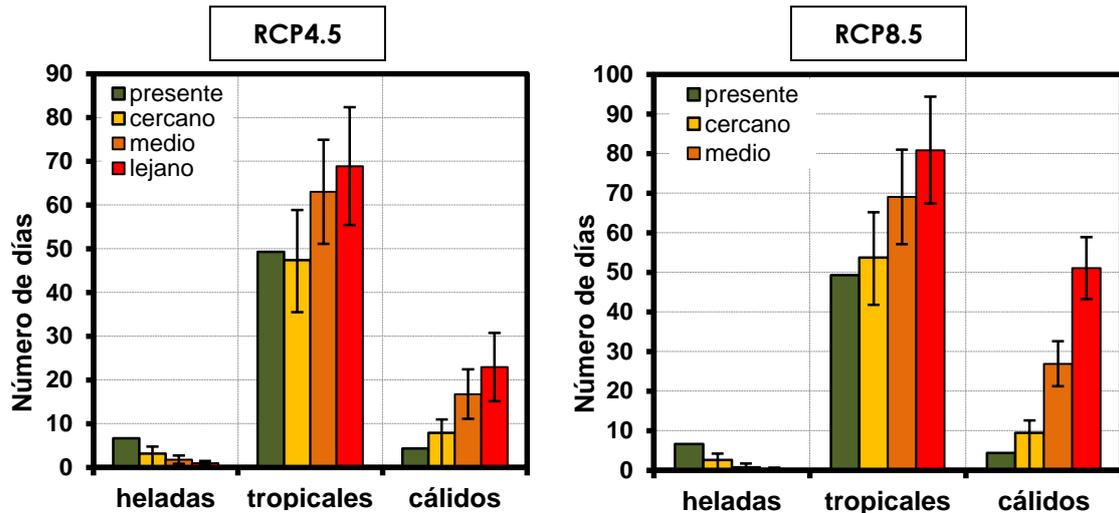
Históricamente y actualmente se constata una pérdida anual del ritmo de precipitación del 5.5% es decir 5.5 mm de precipitación acumulada por año. Las proyecciones representadas en la gráfica insertada a continuación señalan una drástica disminución de las precipitaciones anuales durante este siglo. Esta disminución en precipitación es generalizada en todos los escenarios radiativos y todas las estaciones, aunque acentuada en verano y otoño. En concreto, la disminución anual de precipitación oscilaría entre un -22.3 y un -35.0 % (entre 103 y 162 mm) dependiendo del periodo temporal y el escenario, mientras que estacionalmente se proyectan disminuciones de -2.22, -1.32 y -3.53 mm en invierno, verano y otoño, respectivamente. En primavera, se proyecta una tendencia a un aumento de las precipitaciones acumuladas de +2.01 mm al año.



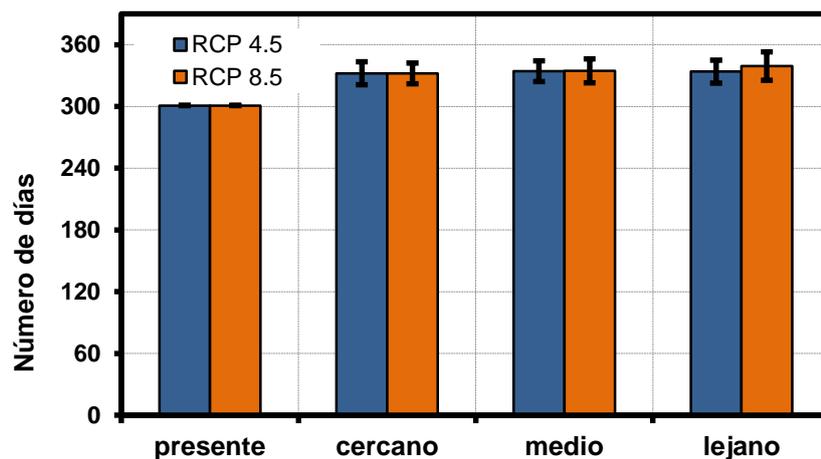
➤ Eventos extremos

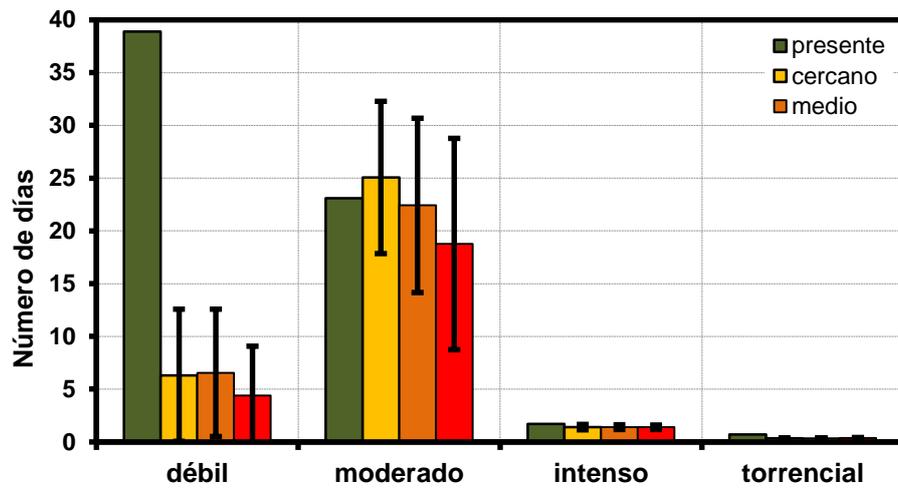
Los resultados del análisis de las temperaturas extremas históricas y actuales apuntan a un aumento del número de días calificados como ola de calor y olas de frío. En concreto, existe una tendencia al aumento anual del número de noches tropicales en un 0.22 días; días cálidos en un 0.02 días; y días de heladas en invierno en un 0.1 días.

Las proyecciones locales calibradas muestran una disminución progresiva en el número de días de heladas al año, hasta casi su desaparición a finales de siglo en ambos escenarios radiativos, así como un aumento en el número de noches tropicales y de días cálidos, que es más pronunciado en el escenario pesimista. En concreto, se proyectan entre 5 y 6 días menos de heladas en invierno, entre 69 y 81 días más de noches tropicales y entre 23 y 51 días más de días cálidos en verano para finales de siglo, según el escenario. Tal y como se puede observar en las gráficas siguientes, a finales de siglo se haría sentir por lo tanto la disminución de las condiciones de olas de frío, y el remarcable aumento en el número de días presentando condiciones de ola de calor.



Por otro lado, los resultados del estado presente de los extremos de precipitación muestran un aumento del número de días sin lluvia (0.01 días al año) y de precipitación débiles (0.022 días al año). Mientras que el número de días de precipitaciones moderadas, intensas y torrenciales tienden a disminuir 0.1, 0.07 y 0.01 días respectivamente. **Se proyecta un aumento considerable en el número anual de días sin lluvia**, llegando a superar los 30 días a finales de siglo para ambos escenarios radiativos, tal como se puede observar en las gráficas insertadas a continuación. Conjuntamente se proyecta una disminución muy considerable en el número de días al año con regímenes de lluvias débiles, sobrepasando los 30 días en ambos escenarios. La pérdida proyectada en los regímenes de lluvias moderadas es ligeramente superior a los 4 días al año para el escenario RCP 8.5 a finales de siglo. Es decir, **las sequías serán más persistentes y severas**. Para **los regímenes de precipitación intensos y torrenciales, no se proyectan cambios muy significativos**, aunque podrían disminuir ligeramente sus frecuencias anuales.





1. Introducción

El presente estudio de proyecciones climáticas en el municipio de Valencia se enmarca en los trabajos de elaboración del Plan de Adaptación al Cambio Climático del Ayuntamiento de Valencia.

Muchos de los usos que durante las últimas décadas se han desarrollado en el municipio de Valencia (Figura 1) están íntimamente ligados a la climatología privilegiada de este entorno geográfico. En particular, la optimización de las oportunidades turísticas y residenciales futuras, y los mecanismos para una implementación socioeconómica sostenible deben necesariamente tener en cuenta la posible evolución de los principales parámetros atmosféricos (en particular las temperaturas mínimas, medias y máximas, y la precipitación) como consecuencia del cambio climático, tanto desde el punto de vista anual como estacional. El conocimiento de esos parámetros es también esencial para calcular y ayudar a minimizar los posibles impactos sobre los diversos sectores, humanos y naturales, que confluyen en el municipio de Valencia.

Las observaciones muestran que la temperatura media superficial global se ha incrementado notablemente durante el siglo XX. De hecho, la segunda mitad de este siglo ha sido, muy probablemente, el período más cálido en al menos los últimos 1300 años en el hemisferio norte. Según los datos del CRU/Hadley Centre, 11 de los 12 años más cálidos del registro instrumental se observaron durante el periodo 1995-2006, y el ritmo de calentamiento global en superficie durante el período 1979-2005 puede ser estimado en 2.68 °C por siglo. Simultáneamente al calentamiento global ha habido una redistribución de la precipitación y otras variables meteorológicas (por ejemplo, presión, viento o nubosidad), si bien con mucha mayor variabilidad espacial que para la temperatura. Para la precipitación, las observaciones indican que la región mediterránea ha experimentado una disminución de dicho recurso, estimada entre un 5-20% durante el período 1901-2005, aunque inferior al 3% cuando se considera el período 1979-2005.

Cuando se trata de proyectar las tendencias climáticas hacia el futuro, los modelos de circulación global (MCGs) –esto es, que cubren toda la Tierra– constituyen la herramienta básica de la que se han servido los científicos para elaborar los informe periódicos del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC en sus siglas en inglés; <http://www.ipcc.ch/>). Dichos modelos contienen una representación sofisticada de los procesos físicos y biogeoquímicos influyentes sobre el sistema climático, y de las complejas interacciones existentes entre los subsistemas contenidos. Estos modelos realizan simulaciones de “control” del siglo XX, y simulaciones “futuras” del siglo XXI bajo un abanico de escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles. El análisis regional se lleva a cabo mediante el uso de 7 MCGs que han sido utilizados para la elaboración del 5º Informe de Evaluación del IPCC. Los escenarios de concentraciones empleados son los llamados trayectorias de concentración representativas (RCPs, por sus siglas en inglés). Estos escenarios definen diferentes evoluciones para las concentraciones de gases y aerosoles en función de factores socioeconómicos y las pautas del desarrollo mundial. Los escenarios RCP mayoritariamente empleados en las últimas simulaciones climáticas descritas en el capítulo 3 del presente informe son los denominados RCP4.5, moderadamente

optimista, y el RCP8.5, el más desfavorable. Estos escenarios describen posibles climas futuros dependiendo de la cantidad de gases de efecto invernadero que se verterán en la atmósfera en el futuro. Los nombres sintetizan los forzamientos radiativos en el año 2100 respecto a los valores preindustriales (+4.5 y +8.5 W/m², respectivamente).²

Si bien el cambio climático es un problema de causas y consecuencias globales, sus impactos se manifiestan localmente. La mera detección del mismo a partir de registros instrumentales agregados en bases de datos de alcance regional (por ejemplo, para el conjunto de la cuenca mediterránea) puede enmascarar las particularidades locales. Los previsible impactos asociados al cambio climático a escalas locales, y la posibilidad de un aumento en la frecuencia y/o intensidad de eventos extremos justifica la necesidad de disponer de una estimación cuantitativa durante el siglo XXI en las escalas espaciales y temporales con la resolución más alta posible. Esta necesidad plantea el problema de generar escenarios regionalizados de cambio climático, ya que la resolución actual de los MCGs (~150 km) resulta del todo insuficiente. Por ello, la regionalización es actualmente un objetivo prioritario de todos los programas internacionales y nacionales de cambio climático y una demanda específica del Ministerio de Medio Ambiente para el Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC).

Figura 1. Localización geográfica del municipio de Valencia, España. Se muestra la localización de la estación meteorológica automática de la AEMET (indicativo LEVC).

Fuente: Elaboración propia.



² El Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC, por sus siglas en inglés) introduce un cambio en la descripción de escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero y aerosoles. Se pasa de los SRES (del inglés Special Report on Emissions Scenarios) del anterior informe del IPCC (AR4) a las Trayectorias de Concentraciones Representativas (RCP, por siglas en inglés). Estos escenarios se dividen en cuatro grupos: RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, que se refieren a la radiación global de energía expresada en W/m². Por ejemplo, el RCP8.5 es el escenario más extremo, ya que supone un valor de 8.5 W/m² debido al aumento de la concentración en la atmósfera de los gases de efecto invernadero (Moss et al., 2010). Los resultados de este informe se han derivado bajo los siguientes escenarios de forzamiento radiativo[1]: RCP4.5 y RCP8.5. Estos dos escenarios nos proporcionan información de la horquilla de resultados posibles, del escenario más extremo al más suave, respectivamente.

2. Descripción del estado presente

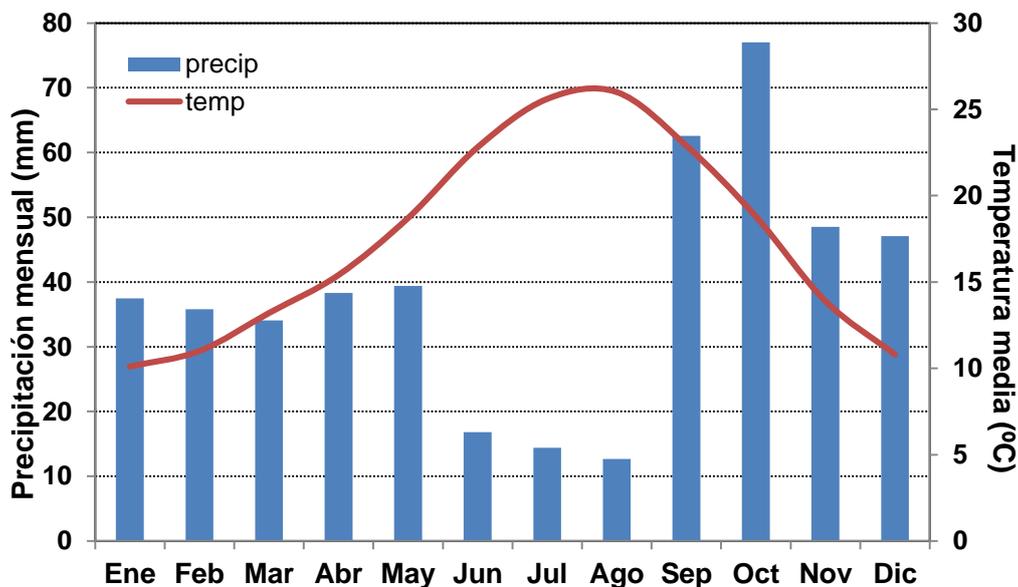
Para la región del municipio de Valencia se presentan los resultados de carácter local. Se han utilizado los registros diarios disponibles de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que abarcan el periodo 1984-2013, en la cercana estación del Aeropuerto de Manises (Figura 1; indicativo LEVC). Se estudian no sólo los cambios en los valores medios sino también de sus tendencias y de la ocurrencia de extremos para las temperaturas y la precipitación.

2.1. Regímenes medios anuales

La tabla 1 muestra los regímenes medios anuales observados para el periodo en que tenemos datos diarios disponibles para la estación meteorológica LEVC (1984-2013), mientras que la figura 2 muestra su climograma. Este periodo ha sido dividido en dos subperiodos de 15 años. De esta manera, se puede establecer de manera cuantitativa la evolución temporal de las variables de interés. Para los dos subperiodos temporales de los regímenes medios se aprecia un aumento generalizado de las temperaturas media y máxima para el periodo "presente" en comparación con el periodo "pasado". También se aprecia una disminución en el régimen medio de las temperaturas mínimas.

Figura 2. Climograma del municipio de Valencia para el periodo presente de 30 años 1984-2013. Se muestran los datos medios de cada mes del año de la temperatura media y precipitaciones para este periodo presente.

Fuente: Elaboración propia.



Este aumento parece ser más pronunciado para la temperatura media –con un aumento de 0.5 °C comparando los subperiodos 1984-1998 y 1999-2013– que para las

temperatura máxima anual, con un aumento de 0.3 °C. La temperaturas mínima anual habría descendido unos 0.2 °C. Estos hechos parecen reafirmar observaciones previas presentadas en otros estudios, dónde se apuntaba hacia un aumento en el rango diario de la temperatura (la diferencia entre las temperaturas mínima y máxima diarias; DTR, de sus siglas en inglés) en muchas localidades del planeta. También se observa una importante disminución en la precipitación anual en el municipio de Valencia.

Tabla 1. Regímenes medios anuales para las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y el periodo 1984-2013. La precipitación se expresa como la acumulación media anual.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	1984-2013 (30 años)	1984-1998 (15 años)	1999-2013 (15 años)	Δ variables
Tmedia (°C)	17.5	17.2	17.7	+0.5 °C
Tmin (°C)	12.3	12.4	12.2	-0.2 °C
Tmax (°C)	22.8	23.0	23.3	+0.3 °C
precip (mm)	464.4	497.0	431.8	-65.2 mm

2.2. Tendencias anuales para las series diarias observadas

La tabla 3 y las figuras 3 y 4 muestran las tendencias anuales para las temperaturas mínima, media y máxima y las precipitaciones anuales durante el periodo 1984-2013 (periodo presente; 30 años). Las pendientes de las rectas ajustadas (líneas continuas en color) muestran la variación de estas variables por año, así como el coeficiente de determinación de la recta. La tabla 3 resume los resultados obtenidos para todas las variables. La confianza estadística en el ritmo de cambio obtenida a partir de las tendencias ajustadas a las series observadas sigue la nomenclatura del Grupo de Trabajo II del IPCC (Tabla 2). Se aprecian unas tendencias que muestran unos aumentos de 3.1 y 3.2 °C por siglo para las temperaturas media y máxima, respectivamente, así como una tendencia a la disminución de las temperaturas mínimas de 0.4 °C por siglo. También se observa una tendencia hacia una disminución de la precipitación acumulada de unos 5.5 mm por año.

Tabla 2. Probabilidad de la ocurrencia de un resultado.

Fuente: Elaboración propia.

Definición	Probabilidad de ocurrencia
Virtualmente cierto	> 99%
Extremadamente probable	> 95%
Muy probable	> 90%
Probable	> 66%
Más probable que improbable	> 50%
Más improbable que probable	< 50%
Muy improbable	< 10%
Extremadamente improbable	< 5%

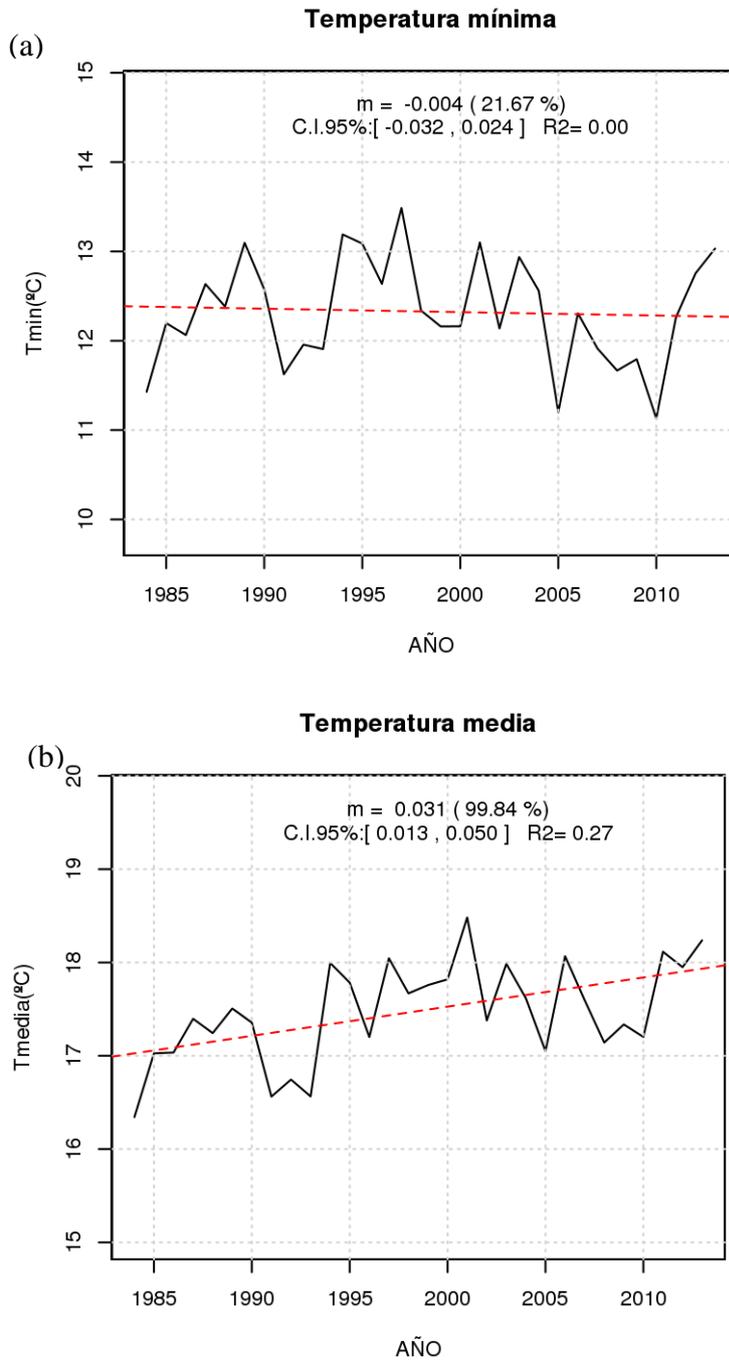
Tabla 3. Tendencias anuales de cambio de las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y para el periodo 1984-2013. La precipitación se expresa como la acumulación media anual.

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Ritmo de cambio por año	Ritmo de cambio por década	Ritmo de cambio por siglo	Probabilidad de ocurrencia
Tmedia (°C)	+0.031	+0.31	+3.1	Virtualmente cierto
Tmin (°C)	-0.004	-0.04	-0.4	Muy improbable
Tmax (°C)	+0.032	+0.32	+3.2	Extremadamente probable
pcp (mm)	-5.549	-55.49	-554.9	Extremadamente probable

Figura 3. Tendencias anuales observadas para las temperaturas (a) mínima, (b) media y (c) máxima. En todas las figuras que muestran las tendencias ajustadas a las diferentes variables climáticas. También se muestran las probabilidades de ocurrencia (entre paréntesis), las confianzas estadísticas al 95% en el ritmo de cambio de las variables (entre corchetes), y el coeficiente de determinación de las rectas ajustadas (R2).

Fuente: Elaboración propia.



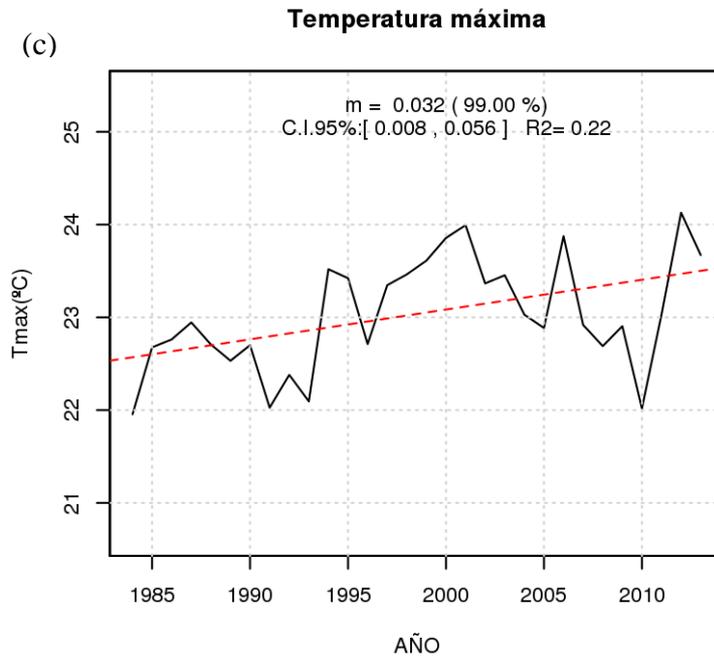
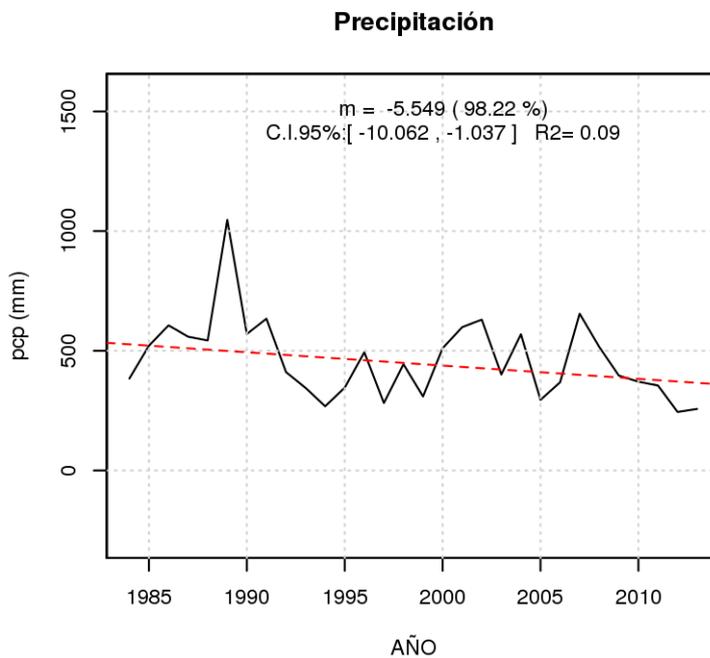


Figura 4. Tendencia anual observada para la precipitación

Fuente: Elaboración propia.

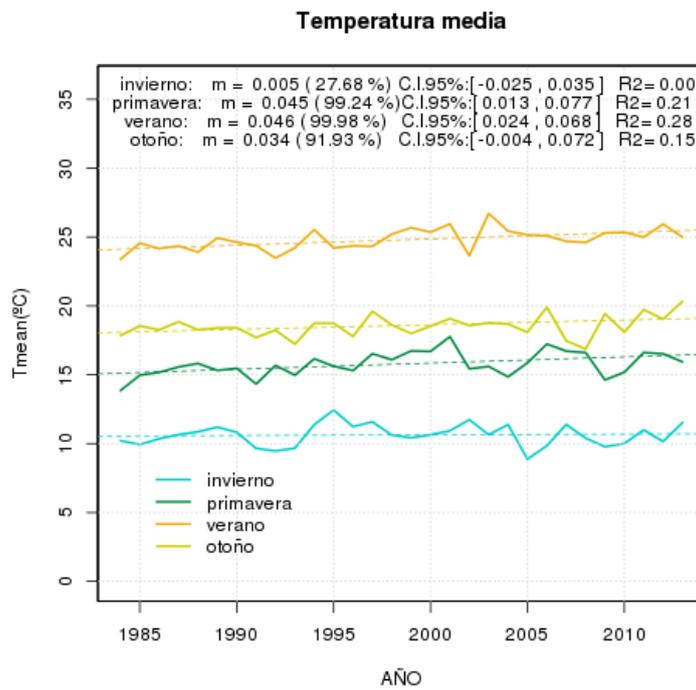
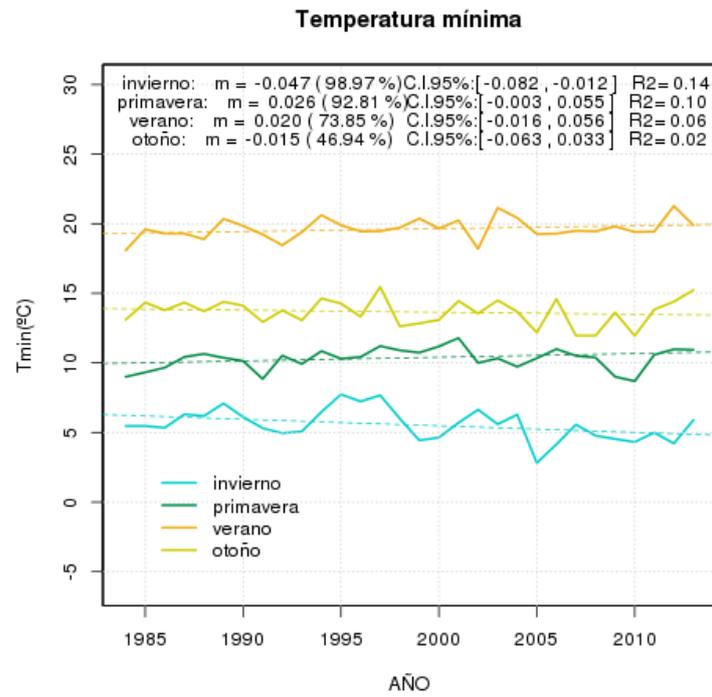


2.3. Tendencias estacionales para las series diarias observadas

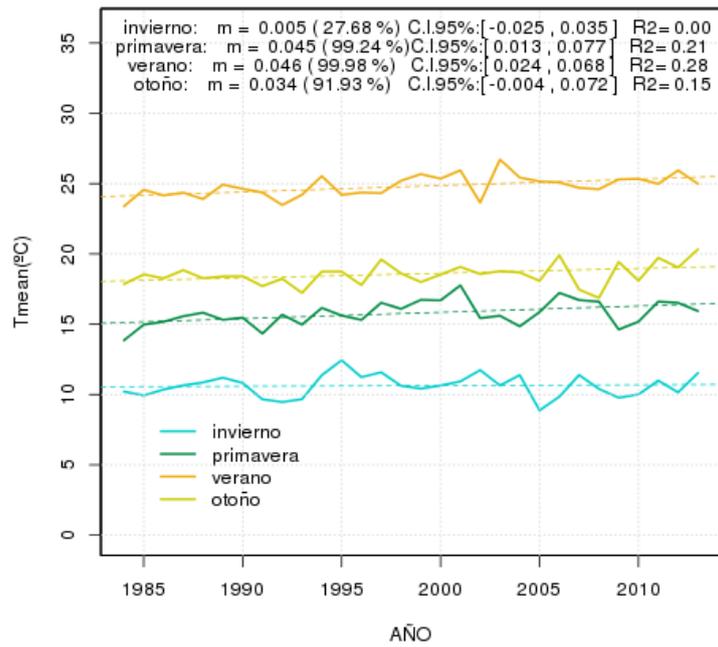
La figura 5 muestra las tendencias de las temperaturas mínima, media y máxima y las diferentes estaciones del año. Las pendientes de las rectas ajustadas muestran la variación de estas variables durante el periodo 1984-2013 (Tablas 4-7).

Figura 5. Tendencias observadas para las temperaturas en las diferentes estaciones del año.

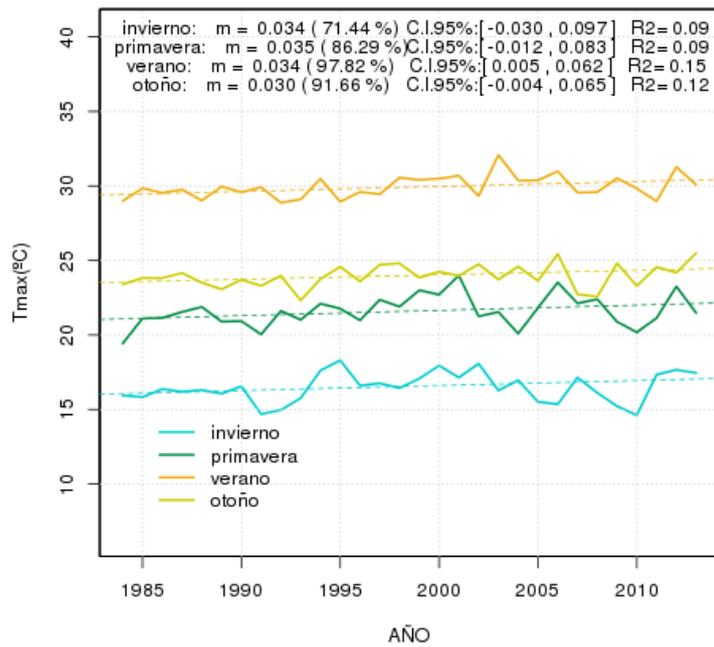
Fuente: Elaboración propia.



Temperatura media



Temperatura máxima



- **Invierno**

La tabla 4 resume los resultados obtenidos para todas las variables de interés. Se aprecian unas tendencias que muestran unos aumentos o disminuciones de 0.5, -4.7 y 3.4°C por siglo para las temperaturas media, mínima y máxima en invierno, respectivamente. Así como una tendencia a la disminución de la precipitación acumulada de 2.22 mm por año (figura 6). Se aprecia una tendencia a un aumento del rango diurno de temperaturas en invierno (es decir, la diferencia entre las temperaturas mínima y máxima diaria), una consecuencia directa del cambio climático, que ya ha sido observado en muchas localidades del mundo.

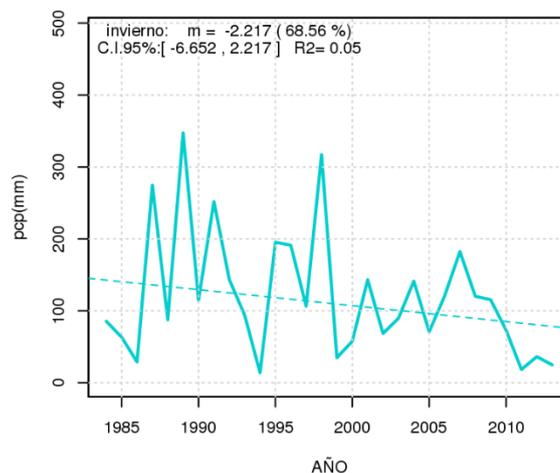
Tabla 4. Tendencias de cambio de las variables de interés observadas en invierno para la estación LEVC y el periodo 1984-2013. La precipitación se presenta como la acumulación media estacional.

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Ritmo de cambio por año	Ritmo de cambio por década	Ritmo de cambio por siglo	Probabilidad de ocurrencia
Tmedia (°C)	+0.005	+0.052	+0.52	Más improbable que probable
Tmin (°C)	-0.047	-0.47	-4.7	Extremadamente probable
Tmax (°C)	+0.034	+0.34	+3.4	Probable
pcp (mm)	-2.217	-22.17	-221.7	Probable

Figura 6. Tendencia observada para la precipitación acumulada en invierno.

Fuente: Elaboración propia.



- **Primavera**

Las pendientes de las rectas ajustadas muestran la variación de esta variable por año, así como el coeficiente de determinación de la recta ajustada (Figura 5). La tabla 5 resume los resultados obtenidos para todas las variables y su probabilidad de ocurrencia siguiendo la nomenclatura del IPCC. Se aprecian unas tendencias que muestran unos aumentos esperados de 4.5, 2.6 y 3.5 °C por siglo para las temperaturas media, mínima y máxima, respectivamente. Y un aumento de la precipitación acumulada en primavera muy cercana a 2.0 mm por año (figura 7).

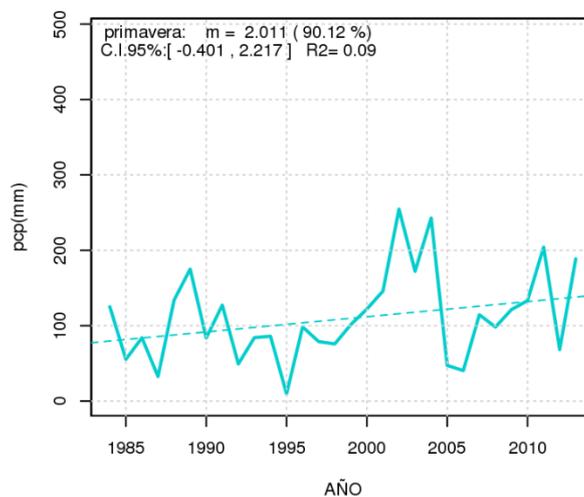
Tabla 5. Tendencias de cambio de las variables de interés observadas en primavera para la estación del aeropuerto y el periodo 1984-2013. La precipitación se presenta como la acumulación estacional por año.

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Ritmo de cambio por año	Ritmo de cambio por década	Ritmo de cambio por siglo	Probabilidad de ocurrencia
Tmedia (°C)	+0.045	+0.45	+4.5	Virtualmente cierto
Tmin (°C)	+0.026	+0.26	+2.6	Muy probable
Tmax (°C)	+0.035	+0.35	+3.5	Muy probable
pcp (mm)	+2.011	+20.11	+201.1	Muy probable

Figura 7. Tendencia observada para la precipitación en primavera

Fuente: Elaboración propia.



- **Verano**

Las pendientes de las rectas ajustadas muestran la variación de esta variable por año. El coeficiente de determinación de la recta ajustada indica la proporción de variación de la variable que puede explicarse por el ajuste lineal (Figura 5). La tabla 6 resume los resultados obtenidos para todas las variables. Se aprecian unas tendencias que muestran unos aumentos esperados de 4.6, 2.0 y 3.4°C por siglo para las temperaturas media, mínima y máxima, respectivamente, y una disminución de la precipitación acumulada en verano de 1.32 mm (figura 9).

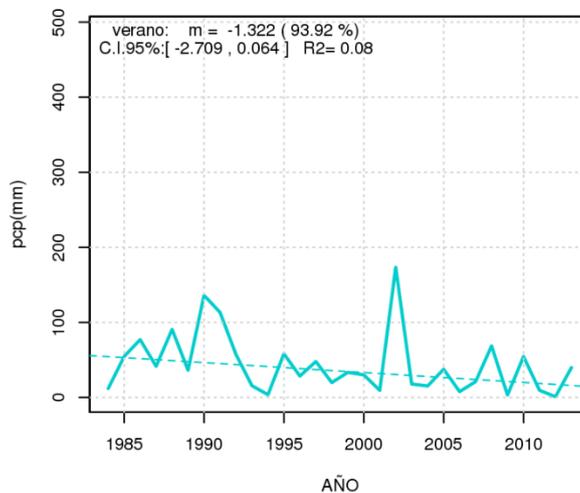
Tabla 6. Tendencias de cambio en verano de las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y para el periodo 1984-2013. La precipitación se presenta como la acumulación media estacional

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Ritmo de cambio por año	Ritmo de cambio por década	Ritmo de cambio por siglo	Probabilidad de ocurrencia
Tmedia (°C)	+0.046	+0.46	+4.6	Virtualmente cierto
Tmin (°C)	+0.020	+0.20	+2.0	Probable
Tmax (°C)	+0.034	+0.34	+3.4	Extremadamente probable
pcp (mm)	-1.322	-13.22	-132.2	Muy probable

Figura 8. Tendencia observada para la precipitación en verano.

Fuente: Elaboración propia.



- Otoño

Las pendientes de las rectas ajustadas muestran la variación de esta variable por año, (figura 5). La tabla 7 resume los resultados obtenidos para todas las variables y su probabilidad de ocurrencia en los términos definidos por el IPCC (tabla 2). Se aprecian unas tendencias que muestran unos aumentos y disminuciones de 3.4, -1.5 y 3.0 °C por siglo para las temperaturas media, mínima y máxima, respectivamente, y una disminución en otoño de la precipitación acumulada de un poco más de 3.5 mm (figura 10).

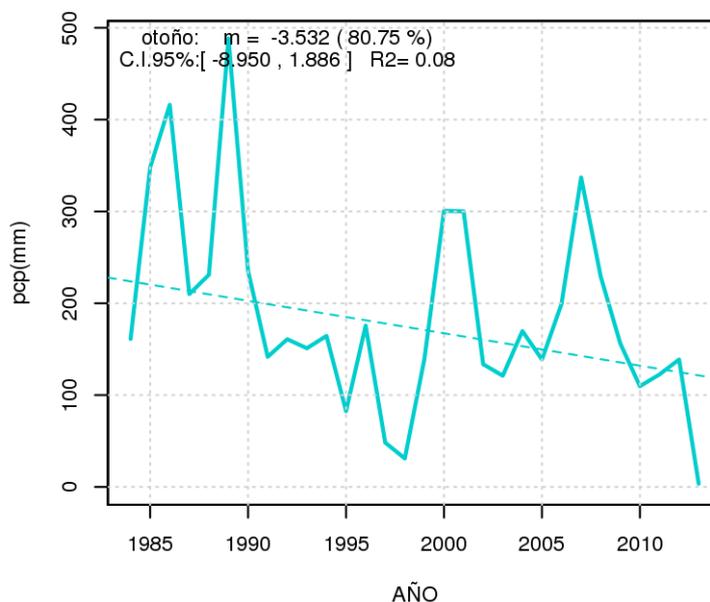
Tabla 7. Tendencias de cambio en otoño de las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y para el periodo 1984-2013. La precipitación se presenta como la acumulación media estacional.

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Ritmo de cambio por año	Ritmo de cambio por década	Ritmo de cambio por siglo	Probabilidad de ocurrencia
Tmedia (°C)	+0.034	+0.34	+3.4	Muy probable
Tmin (°C)	-0.015	-0.15	-1.5	Más improbable que probable
Tmax (°C)	+0.030	+0.30	+3.0	Muy probable
pcp (mm)	-3.532	-35.32	-353.2	Probable

Figura 9. Tendencia observada para la precipitación en otoño.

Fuente: Elaboración propia.



2.4. Frecuencias, intensidades y tendencias anuales de los extremos

Para analizar los extremos de las temperaturas, se calcula el cambio en el número de días al año que están por debajo o por encima de unos umbrales predefinidos. Los umbrales han sido elegidos siguiendo las indicaciones de la Agencia Europea Medioambiental (EEA en sus siglas en inglés; <http://www.eea.europa.eu/>) y son los siguientes:

- Días de helada: temperaturas mínimas diarias inferiores a 0 °C en invierno.
- Noches tropicales: temperaturas mínimas diarias superiores a los 20 °C en verano.
- Días cálidos: temperaturas máximas diarias superiores a 35 °C en verano.

Para estudiar los extremos en la precipitación se han considerado los siguientes regímenes de lluvia, divididos en las siguientes cinco categorías:

- Días sin lluvia.
- Lluvias débiles: precipitación diaria acumulada inferior a 4 mm.
- Lluvias moderadas: comprendida entre 4 y 32 mm.
- Lluvias intensas: acumulación diaria entre 32 y 64 mm.
- Lluvias torrenciales: superior a 64 mm al día.

La tabla 8 y las figuras 11 y 12 muestran las tendencias en los números de días al año que son inferiores o sobrepasan los umbrales definidos con sus respectivas probabilidades de ocurrencia y los coeficientes de determinación. Puede observarse una tendencia a un aumento en el número de días de helada en invierno por año, así como una tendencia a un progresivo aumento en el número de noches tropicales y días calurosos en verano por año. Es decir, se está observando una tendencia a incrementarse el número de días que podrían clasificarse como de ola de calor, a la vez que un aumento en el número de días que conformarían una ola de frío. También se aprecia una tendencia a aumentar el número de días sin lluvia y el número de días con regímenes de precipitación débiles, mientras que se aprecia una tendencia hacia la disminución de los restantes regímenes de precipitaciones (moderadas, intensas y torrenciales).

Tabla 8. Tendencias del cambio en el número de días por año de los eventos extremos para las variables de interés observadas en la estación del aeropuerto y para el periodo 1984-2013.

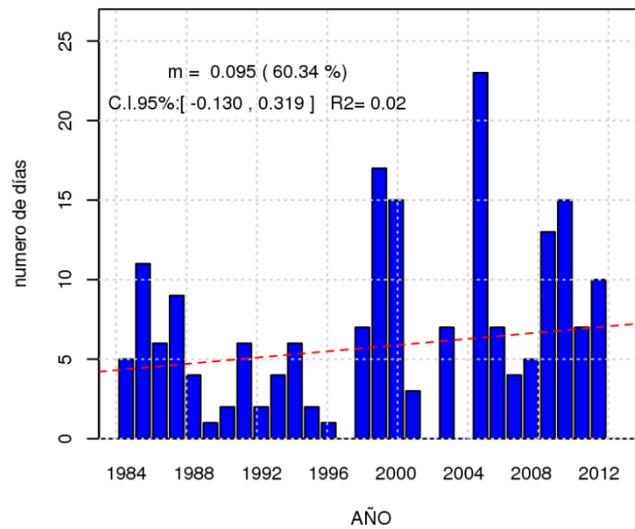
Fuente: Elaboración propia.

Variable	Umbral	Ritmo de cambio de número de días al año	Probabilidad de ocurrencia
Días de heladas	Tmin invierno <0 °C	+0.095	Más probable que improbable
Noches tropicales	Tmin verano >20 °C	+0.220	Más probable que improbable
Días cálidos	Tmax verano >35 °C	+0.020	Más probable que improbable
Regímenes precipitación	Sin lluvia	+0.097	Extremadamente probable
	Lluvias débiles	+0.022	Extremadamente improbable
	Lluvias moderadas	-0.098	Más improbable que probable
	Lluvias intensas	-0.065	Virtualmente cierto
	Lluvias torrenciales	-0.015	Probable

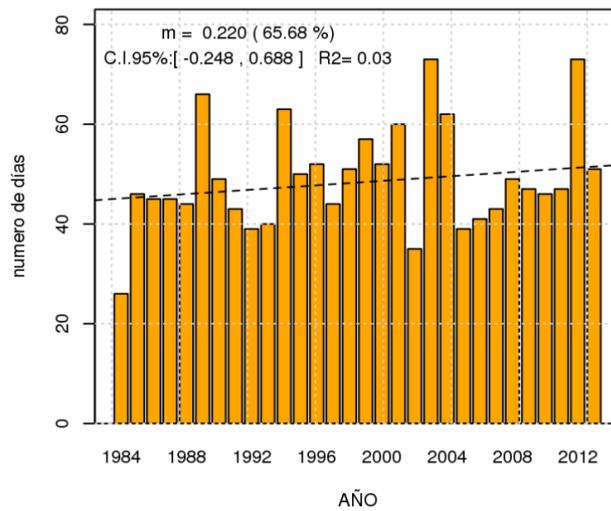
Figura 10. Tendencias en el número de (a) días de helada, (b) noches tropicales y (c) días cálidos observados al año en la estación meteorológica de LEVC para el periodo 1984-2013.

Fuente: Elaboración propia.

(a)



(b)



(c)

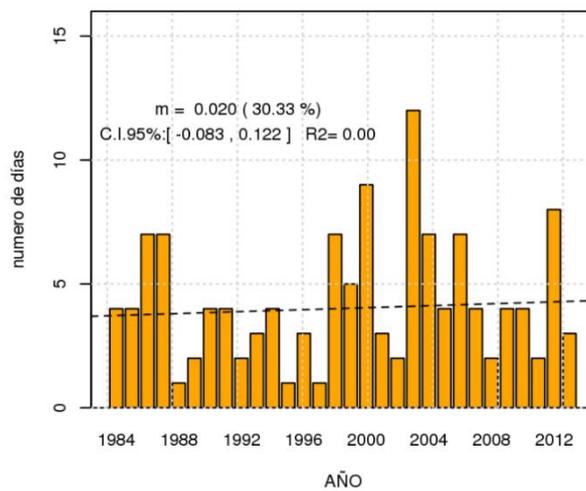
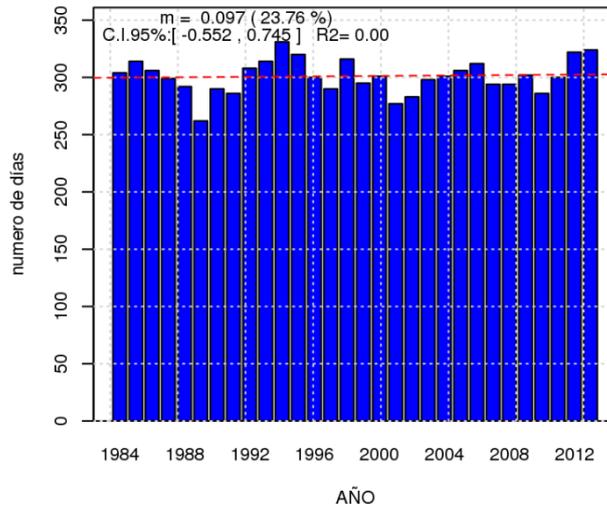


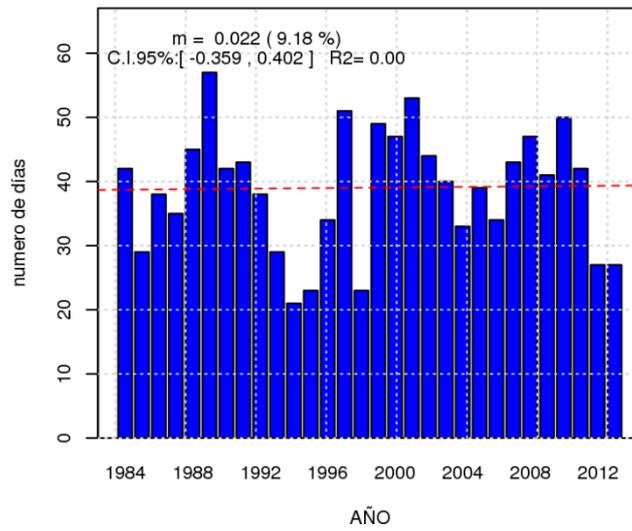
Figura 11. Tendencias en los regímenes medios de precipitación para: (a) días sin lluvia, (b) lluvias débiles, (c) lluvias moderadas, (d) lluvias intensas y (e) lluvias torrenciales en la estación meteorológica de LEVC para el periodo 1984-2013.

Fuente: Elaboración propia.

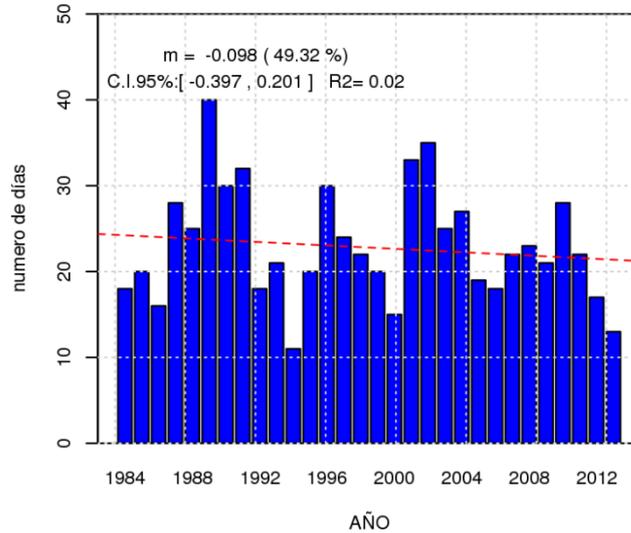
(a)



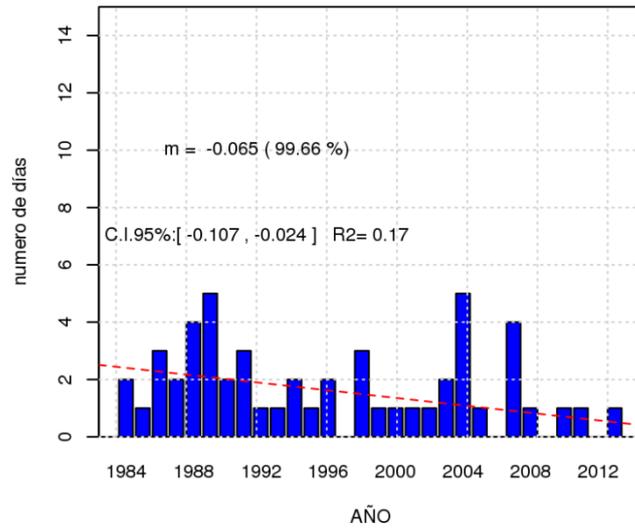
(b)



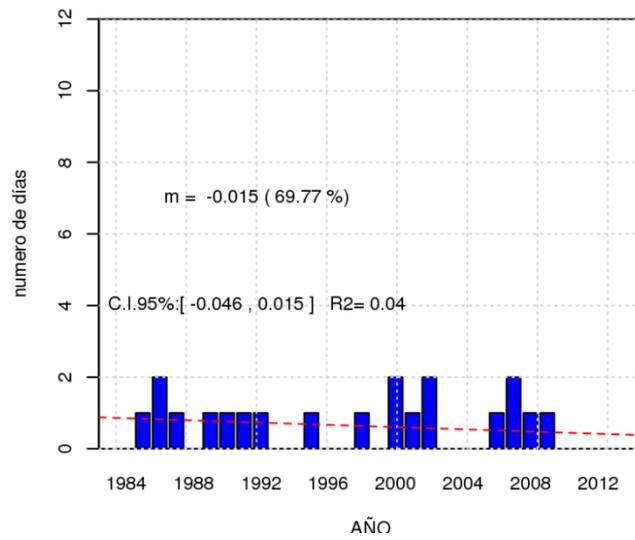
(c)



(d)



(e)



3. Perspectivas de evolución previsible

Respecto a la generación de escenarios futuros regionalizados, una de las metodologías más fuertemente implementadas actualmente es la obtención de datos proyectados a partir de modelos climáticos globales y su regionalización estadística. Como se ha explicado, los MCGs constituyen la mejor herramienta disponible para evaluar los impactos sobre las variables atmosféricas debido al cambio climático. Estos modelos reproducen la dinámica atmosférica en diferentes escalas espaciales y temporales, incluyendo los efectos de los océanos y continentes. Los MCG constituyen unas herramientas versátiles y de suma utilidad ya que incluyen un complejo grupo de procesos, basados en leyes físicas. Cada modelo de circulación global puede simular diferentes respuestas al mismo forzamiento a causa de la forma en que se modelan ciertos procesos atmosféricos y retroalimentaciones. Con estas herramientas se realizan simulaciones bajo diferentes escenarios radiativos RCPs, mediante diferentes escenarios de concentraciones de gases de efecto invernadero y aerosoles. A partir de estos forzamientos se generan las proyecciones a futuro.

El Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados Fase 5, (CMIP5, por sus siglas en inglés) fue realizado por diversos centros internacionales de modelación del clima mediante un conjunto de experimentos numéricos para estudiar la predictibilidad del clima, explorando los alcances y limitaciones de los modelos globales (Tabla 9). Los resultados obtenidos a partir del CMIP5 son el sustento para el informe de evaluación del IPCC. Toda la información generada por el CMIP5 ha pasado por un robusto procedimiento de control de calidad de datos.

La estrategia de CMIP5 incluye dos tipos de experimentos de modelación del clima: (i) integraciones de larga duración (escala de tiempo de siglos) y (ii) integraciones a corto plazo (10-30 años, experimentos decenales). En ambos experimentos se utilizan modelos climáticos. Para las simulaciones de largo plazo algunos de los modelos están acoplados con modelos biogeoquímicos que modelizan los flujos del carbón entre la atmosfera, el océano y las reservas en la biosfera terrestre, cerrando de este modo el ciclo de carbono en el modelo. Estos modelos son llamados modelos del Sistema Tierra (ESMs, por sus siglas en inglés).

Además de las simulaciones empleadas en este estudio, el CMIP5 cuenta con una amplia gama de experimentos, los cuales se pueden agrupar en tres categorías para el caso de las integraciones de larga duración: (i) Evaluación de los modelos (para analizar su estabilidad, y considerar diferentes tipos de forzamientos y periodos de tiempo), (ii) proyecciones climáticas (donde se encuentran los nuevos escenarios de concentraciones RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5, y algunos modelos con simulaciones hasta el 2300) y (iii) entendimiento de los modelos (en la cual se hicieron diferentes tipos de simulaciones con diversos forzamientos y periodos de tiempo).

En el presente estudio se han utilizado las variables meteorológicas provenientes de las simulaciones de CMIP5 para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 y para tres horizontes temporales de 30 años: 2010-2039 (futuro a corto plazo), 2040-2069 (futuro a medio plazo) y 2070-2099 (futuro a largo plazo). Las variables diarias simuladas por cada modelo han sido bilinealmente interpoladas a la estación meteorológica de interés

(LEVC), a partir de los cuatro puntos de malla más próximos a ésta para cada modelo (Tabla 9). Notar que debido a los periodos futuros de 30 años considerados, el primero se superpone durante tres años con el periodo presente (2010-2013).

Para usar correctamente las variables simuladas de interés a una escala tan local, se ha aplicado un ajuste estadístico cuantil a cuantil (Q-Q). El ajuste Q-Q consiste en considerar el mismo periodo de control, o base de referencia, para las variables meteorológicas observadas y simuladas. A continuación, se consideran las variables simuladas en sucesivos periodos futuros de la misma longitud que el periodo de referencia y se corrigen a partir de las diferencias entre la simulación para el periodo de control y las observaciones. Así pues, el ajuste estadístico permite incluir las características climáticas locales en las simulaciones globales del clima, corrigiéndolas y adaptándolas a la escala local. Es decir, el ajuste estadístico corrige los posibles errores en las variables simuladas diarias por los MCGs cuando se evalúan a escalas locales.

Tabla 9. Modelos de Circulación General seleccionados del proyecto CMIP5.
Fuente: Elaboración propia.

Acrónimo MCG	Centro
CMCC-CM	Centro Euro-Mediterraneo per I Cambiamenti Climatici
CNRM-CM5	Centre National de Recherches Meteorologiques
HadGEM2-ES	Met Office Hadley Centre
IPSL-IPSL-CM5A-MR	Institut Pierre-Simon Laplace
IPSL-IPSL-CM5A-LR	Institut Pierre-Simon Laplace
MPI-ESM-MR	Max Planck Institute for Meteorology
MPI-ESM-LR	Max Planck Institute for Meteorology

3.1. Cambios proyectados en los regímenes medios anuales

Las tablas 10 y 11 muestran las proyecciones de la media anual de los 7 modelos globales climáticos una vez corregidos y para los tres periodos futuros y los dos escenarios considerados. Estas medias han sido comparadas con las medias anuales de las variables observadas en la estación del aeropuerto de Manises (LEVC) para el periodo presente (1984-2013; figuras 14 a 17). Entre paréntesis se muestran las diferencias absolutas.

Tabla 10. Regímenes medios anuales proyectados para los periodos indicados obtenidos a partir de las series diarias regionalizadas en LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles para el escenario RCP4.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
Tmedia (°C)	17.5	18.5 (+1.0 °C)	19.2 (+1.7 °C)	19.7 (+2.2 °C)
Tmin (°C)	12.3	13.1 (+0.8 °C)	13.8 (+1.5 °C)	14.3 (+2.0 °C)
Tmax (°C)	22.8	23.9 (+1.1 °C)	24.7 (+1.9 °C)	25.2 (+2.4 °C)
pcp (mm)	464.4	360.8 (-22.3 %)	344.6 (-25.8 %)	339.0 (-27.0 %)

Tabla 11. Regímenes medios anuales proyectados para los periodos indicados obtenidos a partir de las series diarias regionalizadas en LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles para el escenario RCP8.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
T media (°C)	17.5	18.7 (+1.2 °C)	20.0 (+2.5 °C)	21.8 (+4.3 °C)
Tmin (°C)	12.3	13.3 (+1.0 °C)	14.6 (+2.3 °C)	16.3 (+4.0 °C)
Tmax (°C)	22.8	24.1 (+1.3 °C)	25.5 (+2.7 °C)	27.4 (+4.6 °C)
pcp (mm)	464.4	356.7 (-23.2 %)	339.9 (-26.8 %)	301.9 (-35.0 %)

Se observa un aumento generalizado en los regímenes medios de las temperaturas mínimas, medias y máximas. Este incremento sería más pronunciado para las temperaturas máximas que para las mínimas. Y los aumentos proyectados son mayores para el escenario RCP 8.5. Para la precipitación, los modelos proyectan unas disminuciones muy significativas en las acumulaciones anuales para el futuro que oscilarían entre un -22.3 y un -35.0 % dependiendo del periodo temporal y el escenario.

Figura 12. Regímenes medios proyectados anuales para las temperaturas media, mínima y máxima y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5. Nótese que en ésta y las siguientes figuras, las barras de error denotan las incertidumbres asociadas a la media multimodelo. Las incertidumbres han sido calculadas como la desviación estándar.

Fuente: Elaboración propia.

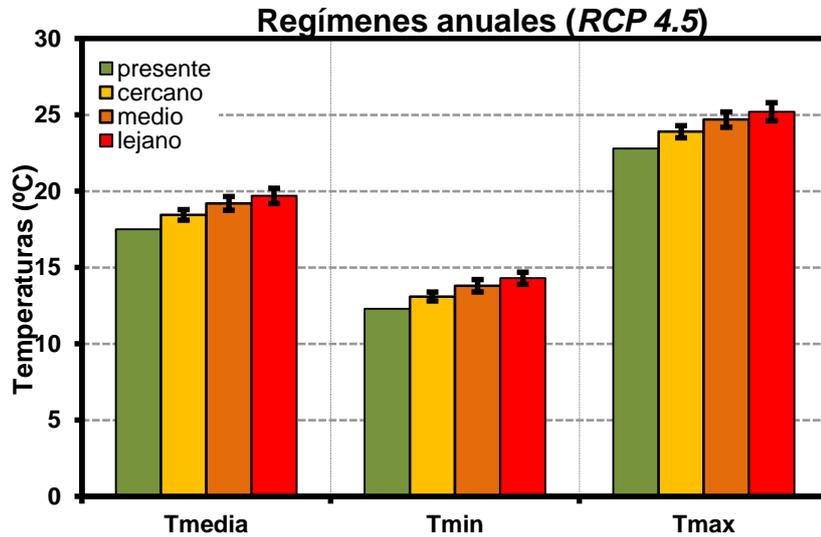


Figura 13. Regímenes medios proyectados anuales para las temperaturas media, mínima y máxima y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

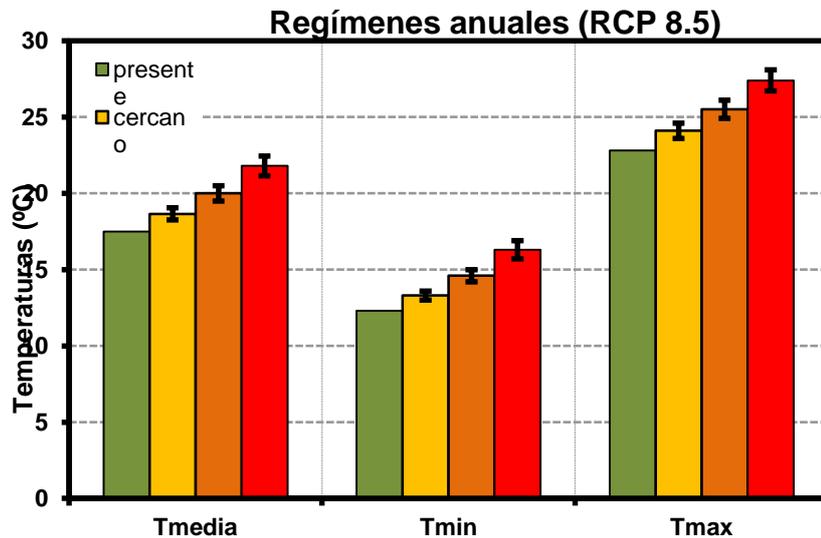


Figura 14. Regímenes medios proyectados anuales para la precipitación anual y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

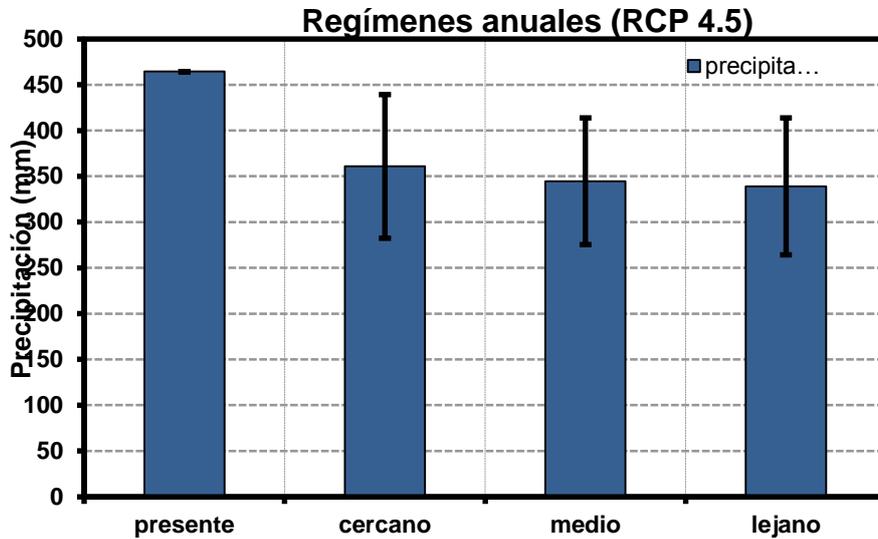
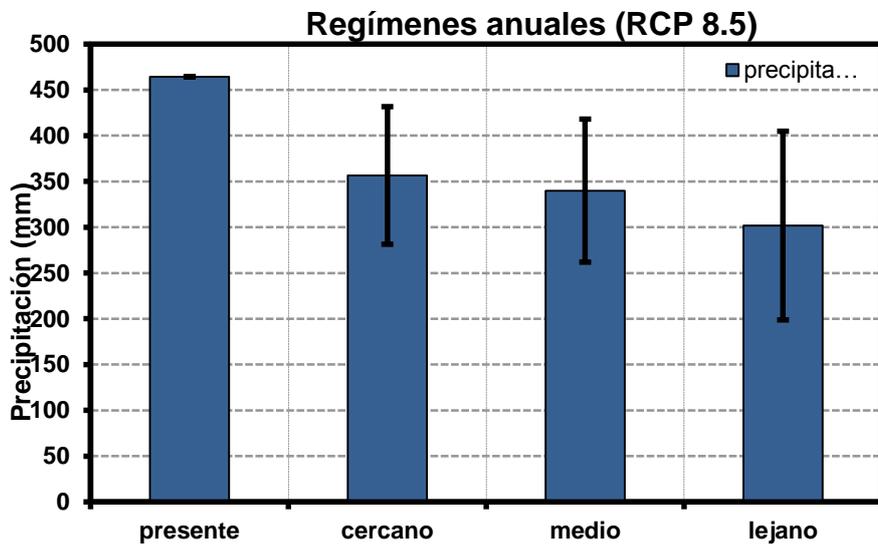


Figura 15. Regímenes medios proyectados anuales para la precipitación anual y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.



3.2. Cambios proyectados en los regímenes medios estacionales

- **Invierno**

Las tablas 12 y 13 y las figuras 18, 19 y 20 muestran las proyecciones para la media en invierno de los 7 modelos globales del clima para los periodos futuros y los escenarios RCPs 4.5 y 8.5. Estas medias han sido comparadas con las medias de las variables observadas en invierno en LEVC para el periodo presente. Para las temperaturas se muestran entre paréntesis las diferencias absolutas y, para la precipitación, la variación relativa expresada porcentualmente.

Tabla 12. Regímenes medios proyectados en invierno para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
Tmedia (°C)	10.6	11.5 (+0.9 °C)	12.1 (+1.5 °C)	12.5 (+1.9 °C)
Tmin (°C)	5.6	6.7 (+1.1 °C)	7.2 (+1.6 °C)	7.6 (+2.0 °C)
Tmax (°C)	16.5	17.2 (+0.7 °C)	17.8 (+1.3 °C)	18.3 (+1.8 °C)
pcp (mm)	120.5	88.2 (-26.8 %)	91.3 (-24.2 %)	87.7 (-27.2 %)

Tabla 13. Regímenes medios proyectados en invierno para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
Tmedia (°C)	10.6	11.6 (+1.0 °C)	12.8 (+2.2 °C)	14.2 (+3.6 °C)
Tmin (°C)	5.6	6.8 (+1.2 °C)	7.9 (+2.3 °C)	9.3 (+3.7 °C)
Tmax (°C)	16.5	17.3 (+0.8 °C)	18.5 (+2.0 °C)	20.0 (+3.5 °C)
pcp (mm)	120.5	91.7 (-23.9 %)	88.6 (-26.5 %)	82.2 (-31.8%)

Podemos observar un aumento generalizado en los regímenes medios invernales de las temperaturas. Este incremento sería más pronunciado para las temperaturas mínimas que para las máximas. Para la precipitación, los modelos proyectan una disminuciones generalizadas muy significativas en las acumulaciones invernales, que podrían variar entre el 23.9% y el 31.8%, dependiendo del periodo futuro y el escenario.

Figura 16. Regímenes medios proyectados en invierno para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

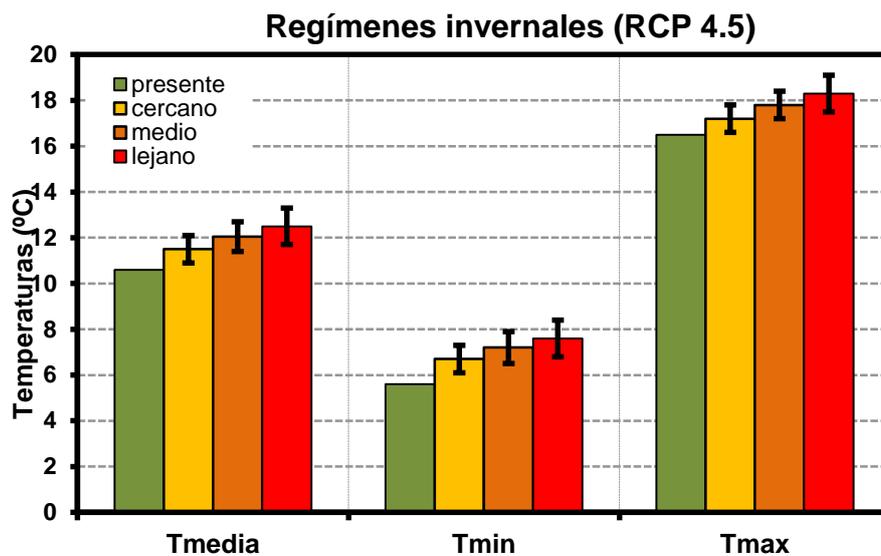


Figura 17. Regímenes medios proyectados en invierno para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

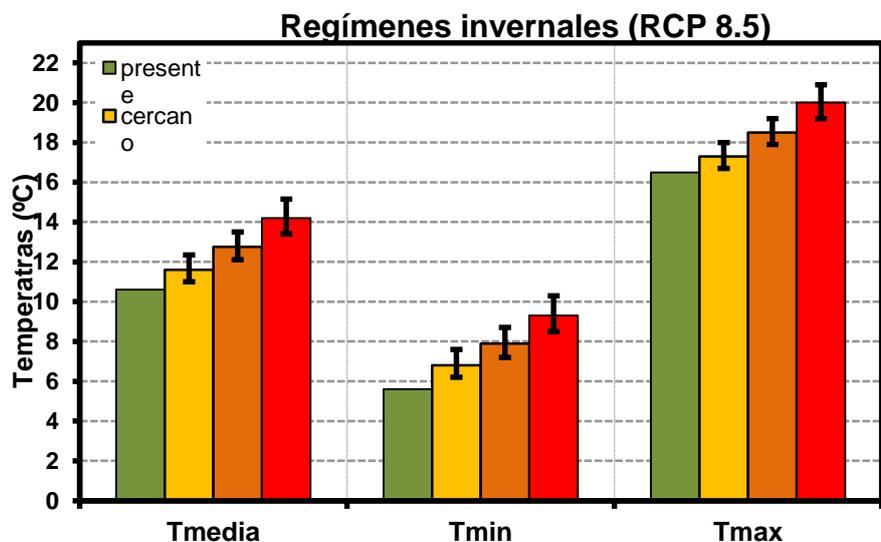
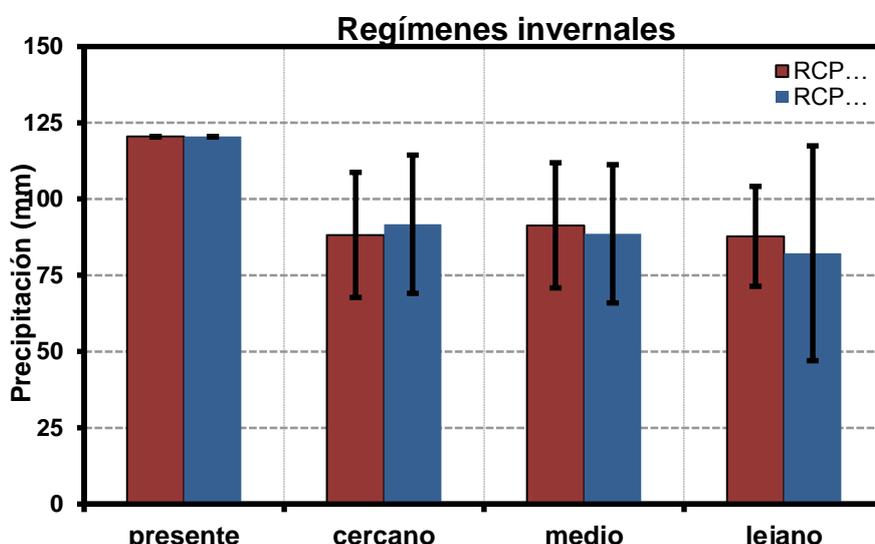


Figura 18. Regímenes medios proyectados en invierno para la precipitación y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y los escenarios RCP 4.5 y 8.5.

Fuente: Elaboración propia.



- **Primavera**

Las tablas 14 y 15 y las figuras de 21 a 23 muestran las proyecciones en primavera para la media multimodelo de los 7 modelos globales para los tres periodos futuros y los dos escenarios considerados. Estas medias han sido comparadas con las medias de las variables observadas en primavera en LEVC y el periodo presente 1984-2013. Para las temperaturas se muestran entre paréntesis las diferencias absolutas y, para la precipitación, la variación relativa expresada porcentualmente.

Tabla 14. Regímenes medios proyectados en primavera para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
Tmedia (°C)	15.8	16.2 (+0.4°C)	17.1 (+1.3°C)	17.7 (+1.9 °C)
Tmin (°C)	10.3	10.4 (+0.1°C)	11.2 (+0.9°C)	11.8 (+1.5 °C)
Tmax (°C)	21.6	22.2 (+0.6°C)	23.2 (+1.6°C)	23.8 (+2.2 °C)
pcp (mm)	118.8	89.2 (-20.6%)	82.6 (-26.1%)	83.4 (-25.4 %)

Tabla 15. Regímenes medios proyectados en primavera para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
T media (°C)	15.8	16.3 (+0.5°C)	17.7 (+1.9°C)	19.5 (+3.7°C)
Tmin (°C)	10.3	10.5 (+0.2°C)	11.8 (+1.5°C)	13.4 (+3.1°C)
Tmax (°C)	21.6	22.4 (+0.8°C)	23.8 (+2.2°C)	25.8 (+4.2°C)
pcp (mm)	118.8	83.9 (-25.0%)	77.5 (-30.7%)	70.4 (-37.0%)

Se observa un aumento generalizado en los regímenes medios de las temperaturas en primavera. Estos incrementos serían más pronunciados para las temperaturas máximas que para las mínimas. Los aumentos también varían dependiendo del escenario: al aumentar el forzamiento radiativo de las simulaciones debido a una mayor concentración de los gases de efecto invernadero, aumentan los incrementos proyectados de temperatura. Para la precipitación, los modelos proyectan una notable disminución en las acumulaciones primaverales, que variarían entre el 20.6% y el 37 % dependiendo del periodo futuro y el escenario considerado. Por lo general, las proyecciones indican mayores pérdidas en las precipitaciones para el escenario de mayor forzamiento radiativo (RCP 8.5).

Figura 19. Regímenes medios proyectados en primavera para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

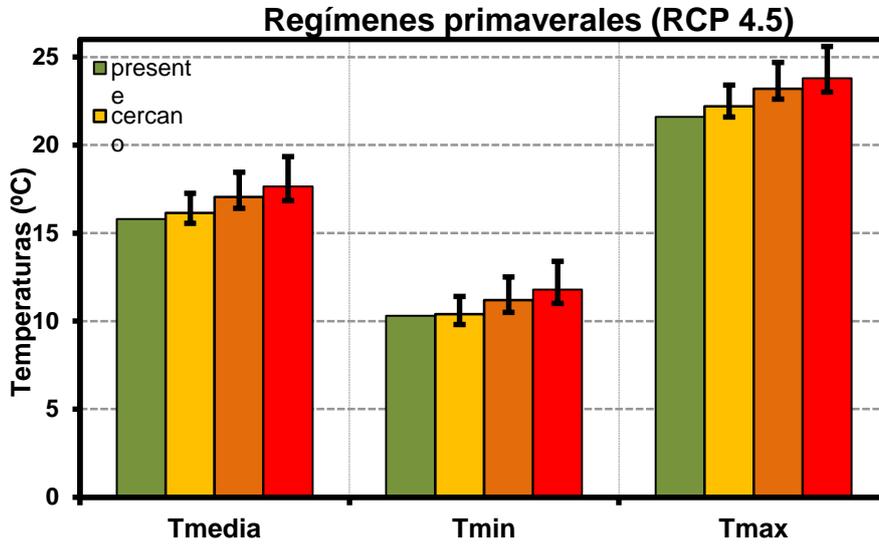


Figura 20. Regímenes medios proyectados en primavera para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

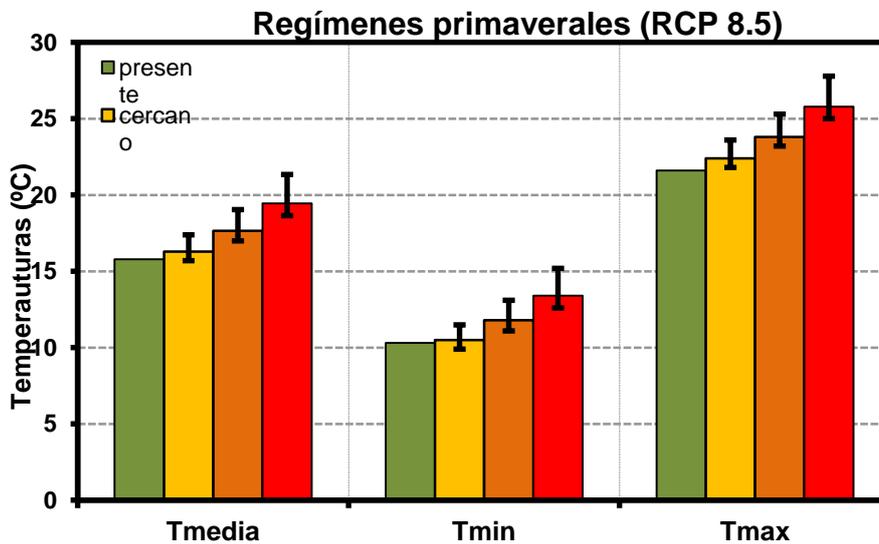
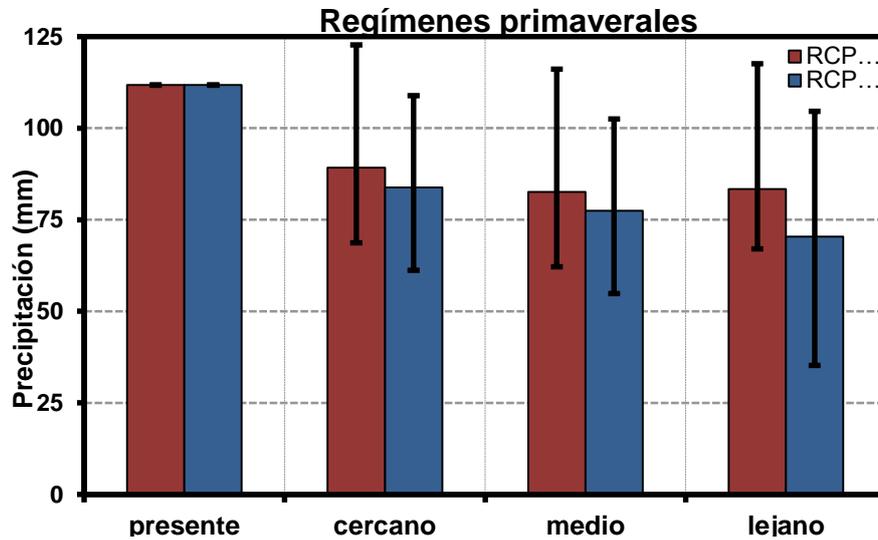


Figura 21. Regímenes medios proyectados en primavera para la precipitación y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y los escenarios RCP 4.5. y 8.5.

Fuente: Elaboración propia.



- **Verano**

Las tablas 16 y 17 y las figuras 24, 25 y 26 muestran las proyecciones en verano para la media de los 7 modelos globales del clima para los periodos futuros y escenarios radiativos considerados. Estas medias han sido comparadas con las medias de las variables observadas en LEVC y el periodo presente 1984-2013. Para las temperaturas se muestran entre paréntesis las diferencias absolutas y, para la precipitación, la variación relativa expresada porcentualmente.

Tabla 16. Regímenes medios proyectados en verano para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
T media (°C)	24.8	25.5 (+0.7°C)	26.6 (+1.8°C)	27.2 (+2.4°C)
Tmin (°C)	19.6	20.0 (+0.4°C)	21.1 (+1.5°C)	21.7 (+2.1°C)
Tmax (°C)	29.9	30.8 (+0.9°C)	32.0 (+2.1°C)	32.6 (+2.7°C)
pcp (mm)	43.9	13.6 (-69.1%)	20.6 (-53.1%)	23.3 (-46.9%)

Tabla 17. Regímenes medios proyectados en verano para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
T media (°C)	24.8	25.8 (+1.0°C)	27.5 (+2.7°C)	29.9 (+5.1°C)
Tmin (°C)	19.6	20.3 (+0.7°C)	22.0 (+2.4°C)	24.3 (+4.7°C)
Tmax (°C)	29.9	31.1 (+1.2°C)	32.9 (+3.0°C)	35.3 (+5.4°C)
pcp (mm)	43.9	16.3 (-62.9%)	21.6 (-50.8%)	33.1 (-24.5%)

Podemos observar un aumento generalizado en los regímenes medios de las temperaturas. Este incremento sería más pronunciado para las temperaturas máximas que para las mínimas. El aumento en las temperaturas sería el más elevado de todas las estaciones. Para la precipitación, los modelos proyectan una continuada disminución de las acumulaciones en verano, de hasta el 69.1% para el periodo del futuro cercano, aunque posteriormente se proyectan pérdidas menos significativas. Es importante notar las grandes desviaciones respecto a la media multimodelo que se encuentran, debido a las divergencias en las pérdidas de precipitación estival que proyectan cada modelo individualmente (figura 26).

Figura 22. Regímenes medios proyectados en verano para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

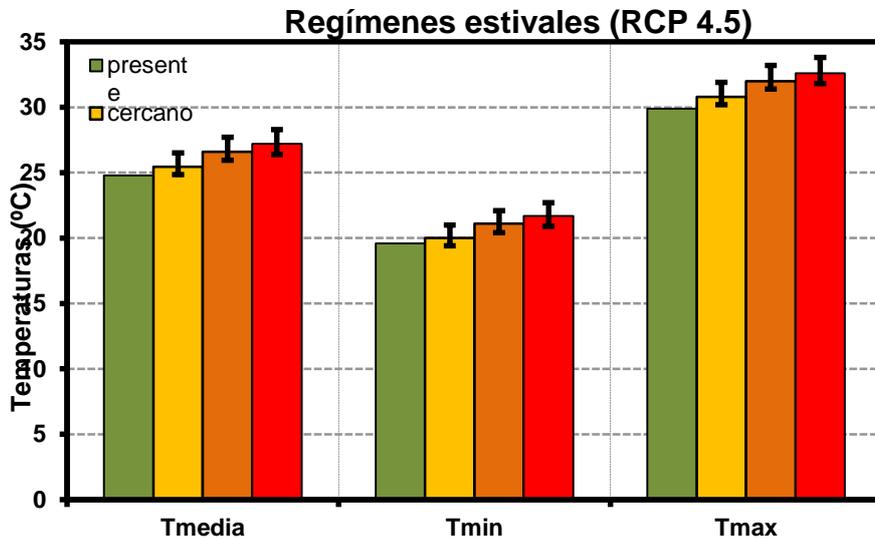


Figura 23. Regímenes medios proyectados en verano para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

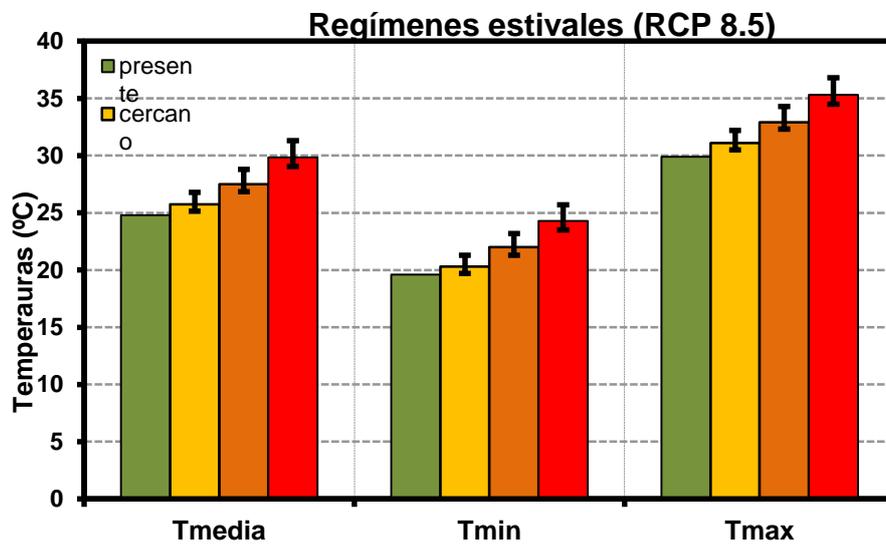
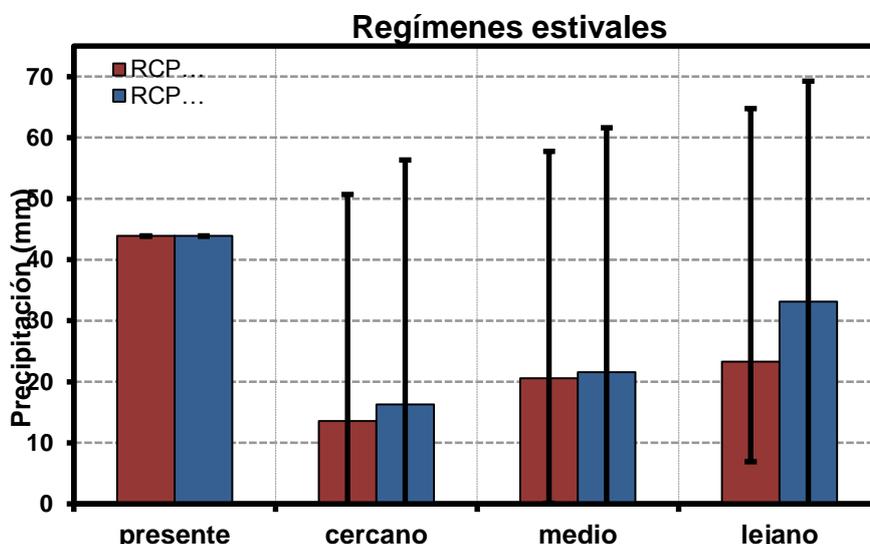


Figura 24. Regímenes medios proyectados en verano para la precipitación y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y los escenarios RCP 4.5. y 8.5.

Fuente: Elaboración propia.



- Otoño

Las tablas 18 y 19 y las figuras 27 a 29 muestran las proyecciones en otoño para la media de los 7 modelos globales climáticos para los periodos futuros. Estas medias han sido comparadas con las medias de las variables observadas en otoño en LEVC y para el periodo presente 1984-2013. Para las temperaturas se muestran entre paréntesis las diferencias absolutas y, para la precipitación, la variación relativa expresada porcentualmente.

Tabla 18. Regímenes medios proyectados en otoño para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes Medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
Tmedia (°C)	18.5	19.8 (+1.4°C)	20.4 (+1.9°C)	20.7 (+2.2°C)
Tmin (°C)	13.7	15.1 (+1.4°C)	15.7 (+2.0°C)	15.9 (+2.2°C)
Tmax (°C)	23.9	25.2 (+1.3°C)	25.7 (+1.8°C)	26.0 (+2.1°C)
pcp (mm)	188.2	109.2 (-42.0%)	103.5 (-45.0%)	104.6 (-44.4%)

Tabla 19. Regímenes medios proyectados en otoño para los periodos indicados y las series diarias regionalizadas en la estación meteorológica de LEVC. Los regímenes medios se han calculado como la media multimodelo de los los 7 GCMs disponibles y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

Regímenes Medios	Presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
Tmedia (°C)	18.5	20.1 (+1.6°C)	21.3 (+2.8°C)	22.9 (+4.4°C)
Tmin (°C)	13.7	15.4 (+1.7°C)	16.5 (+2.8°C)	18.1 (+4.4°C)
Tmax (°C)	23.9	25.4 (+1.5°C)	26.6 (+2.7°C)	28.2 (+4.3°C)
pcp (mm)	188.2	109.7 (-41.7%)	107.7 (-42.8%)	95.8 (-49.1%)

Podemos observar un notable aumento en los regímenes medios de las temperaturas. Este incremento sería más pronunciado para las temperaturas mínimas que para las máximas. Para la precipitación, los modelos proyectan una importante disminución en las acumulaciones otoñales, que varían entre el 42 % y el 49.1 % dependiendo del periodo futuro y el escenario considerado.

Figura 25. Regímenes medios proyectados en otoño para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

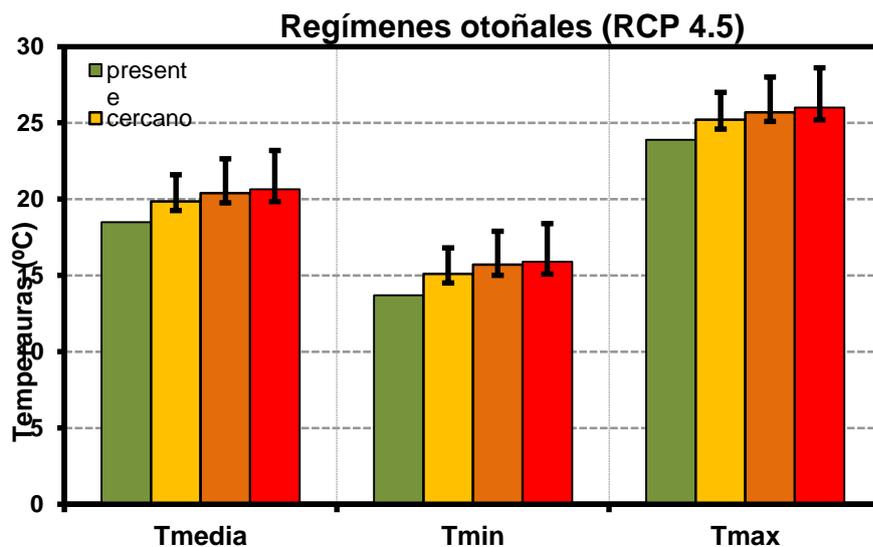


Figura 26. Regímenes medios proyectados en otoño para las temperaturas medias, mínimas y máximas y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

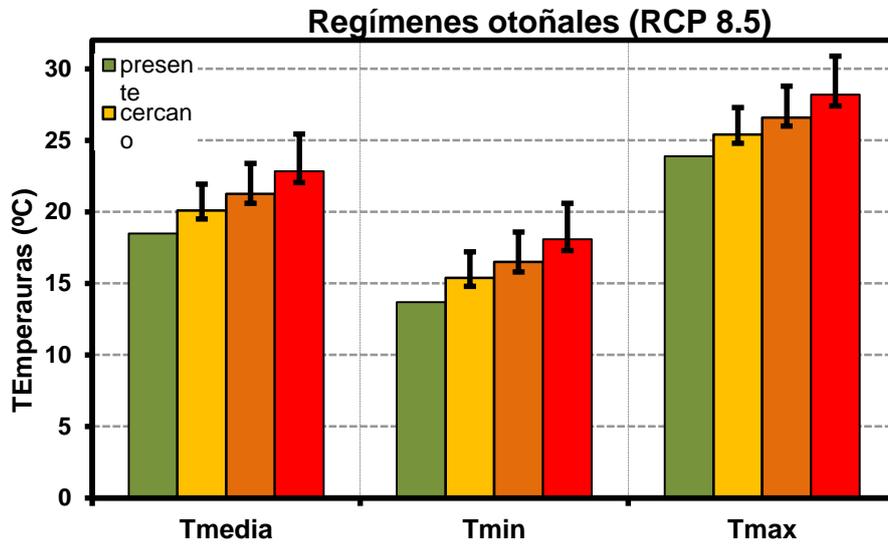
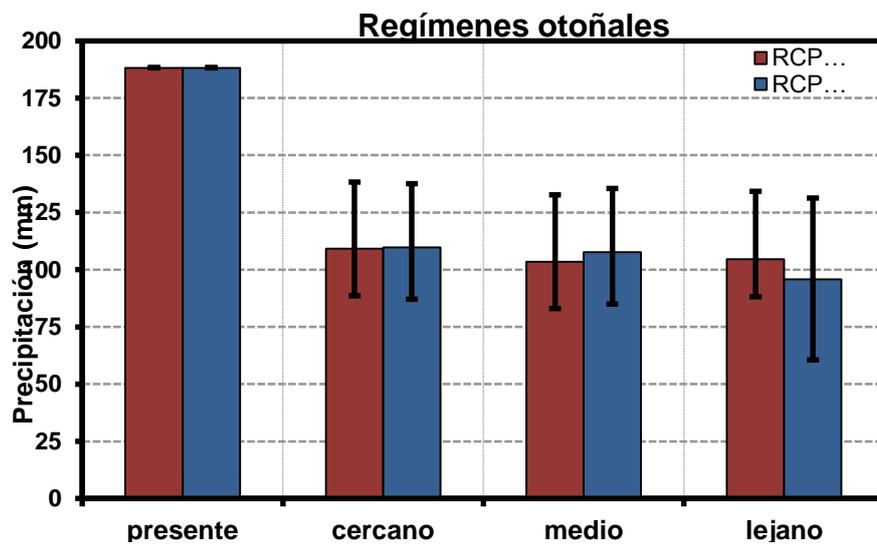


Figura 27. Regímenes medios proyectados en otoño para la precipitación y los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y los escenarios RCP 4.5. y 8.5.

Fuente: Elaboración propia.



3.3. Cambios proyectados para las frecuencias e intensidades de los extremos

Para estudiar los cambios en las frecuencias e intensidades de los extremos de las variables de interés para los periodos futuros a corto, medio y largo plazo, se ha calculado el cambio en el número de días al año que están por debajo o por encima respecto al presente de los umbrales definidos en la subsección 2.3. Las tablas 20 y 21 muestran los cambios medios proyectados en el número de extremos al año para los periodos 2010-39, 2040-69 y 2070-99 respecto al periodo presente (1984-2013) y los RCPs 4.5 y 8.5. Estos valores se han obtenido promediando sobre los periodos de 30 años para el presente y el futuro.

Tabla 20. Promedio del número de días al año que son inferiores o superiores a los umbrales definidos para los tres periodos futuros respecto al presente y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Umbral	presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
Días de heladas	Tmin invierno <0 °C	6.6	3.2	1.8	1.0
Noches tropicales	Tmin verano >20 °C	49.3	47.4	63.0	68.9
Días cálidos	Tmax verano >35 °C	4.3	7.9	16.7	22.9
Regímenes precipitación	Sin lluvia	300.9	332.2	334.3	333.9
	Lluvias débiles	38.9	6.2	5.4	5.3
	Lluvias moderadas	23.1	25.0	23.8	23.2
	Lluvias intensas	1.7	1.4	1.4	1.4
	Lluvias torrenciales	0.7	0.4	0.3	0.3

Tabla 21. Promedio del número de días al año que son inferiores o superiores a los umbrales definidos para los tres periodos futuros respecto al presente y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

Variable	Umbral	presente	Futuro corto plazo	Futuro medio plazo	Futuro largo plazo
Días de heladas	Tmin invierno <0 °C	6.6	2.6	0.8	0.2
Noches tropicales	Tmin verano >20 °C	49.3	53.7	69.0	80.9
Días cálidos	Tmax verano >35 °C	4.3	9.5	26.9	51.1
Regímenes precipitación	Sin lluvia	300.9	332.1	334.6	339.3
	Lluvias débiles	38.9	6.3	6.5	4.4
	Lluvias moderadas	23.1	25.1	22.4	18.8
	Lluvias intensas	1.7	1.4	1.4	1.4
	Lluvias torrenciales	0.7	0.3	0.3	0.4

En general, se espera una disminución progresiva en el número de días de heladas al año, hasta casi su desaparición a finales de siglo en ambos escenarios radiativos, así como un aumento en el número de noches tropicales y de días cálidos, que es más pronunciado en el RCP 8.5. En concreto, se proyectan en promedio dependiendo del escenario radiativo: de 5 a 6 días menos de heladas en invierno, entre 69 y 81 días más de noches tropicales y entre 23 y 51 días más de días cálidos en verano para finales de siglo. Es decir, a finales de siglo nos encontraríamos ante una clara disminución de las condiciones de olas de frío, y un remarcable aumento en el número de días presentando condiciones de ola de calor (tablas 20 y 21, figuras 30 y 31).

Para los regímenes de precipitación, también se proyectan cambios significativos. Se espera un aumento considerable en el número anual de días sin lluvia, llegando a superar los 30 días a finales de siglo para ambos escenarios radiativos. Así mismo, también se proyecta una disminución muy considerable en el número de días al año con regímenes de lluvias débiles, sobrepasando los 30 días en ambos escenarios, y en menor medida, un ligero aumento de los regímenes de lluvias moderadas, pero sólo para el RCP 4.5. La pérdida proyectada en los regímenes de lluvias moderadas es ligeramente superior a los 4 días al año para el escenario RCP 8.5 a finales de siglo. Es decir, cabe esperar periodos de sequía más largos y persistentes. Para los regímenes de precipitación intensos y torrenciales, no se proyectan cambios muy significativos,

aunque podrían disminuir ligeramente sus frecuencias anuales (tablas 20 y 21; figuras 29 a 32).

Figura 28. Evolución en el número de días al año de los extremos de temperatura para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 4.5.

Fuente: Elaboración propia.

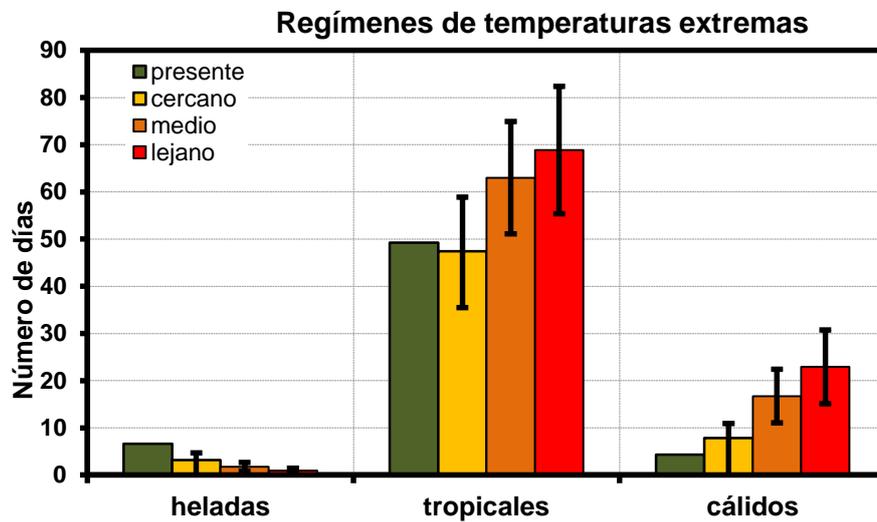


Figura 29. Evolución en el número de días al año de los extremos de temperatura para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC y el escenario RCP 8.5.

Fuente: Elaboración propia.

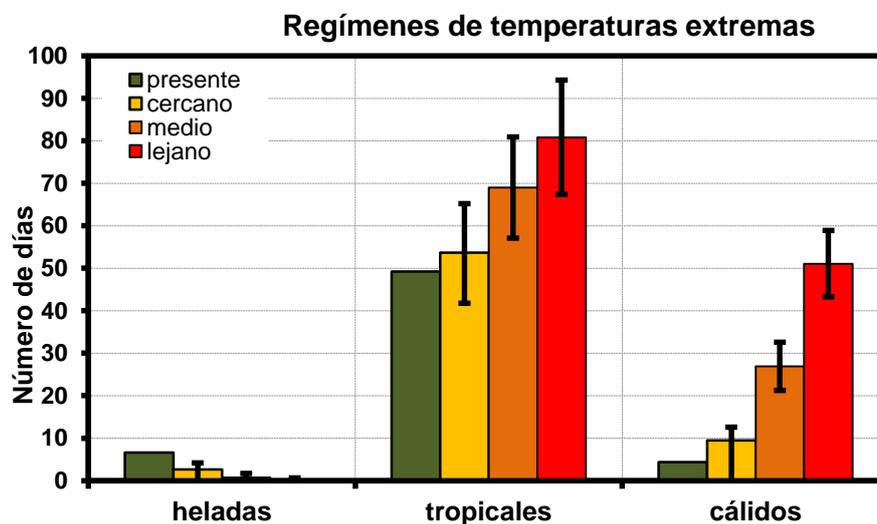


Figura 30. Evolución en el número de días sin lluvia al año para los escenarios RCP 4.5 y 8.5. Los resultados se muestran para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC. Fuente: Elaboración propia.

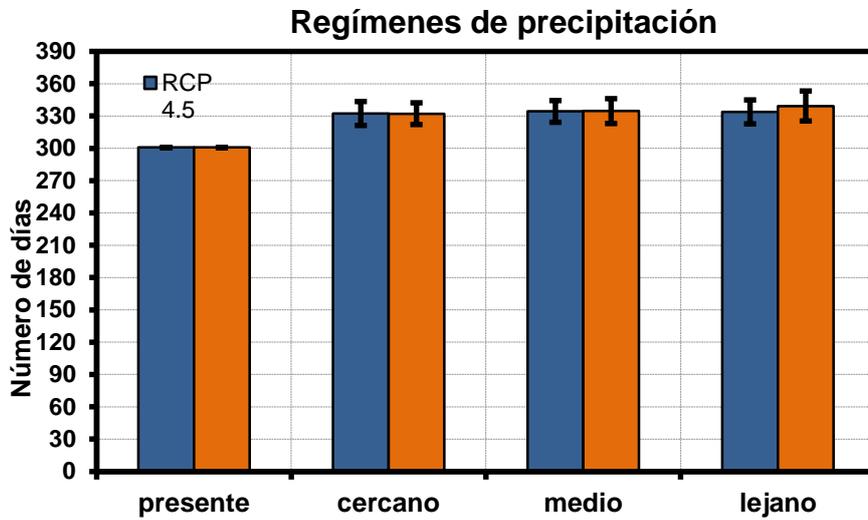


Figura 31. Evolución en el número de días al año para los regímenes de lluvias débiles, moderadas, intensas y torrenciales y el escenario RCP 4.5. Los resultados se muestran para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC. Fuente: Elaboración propia.

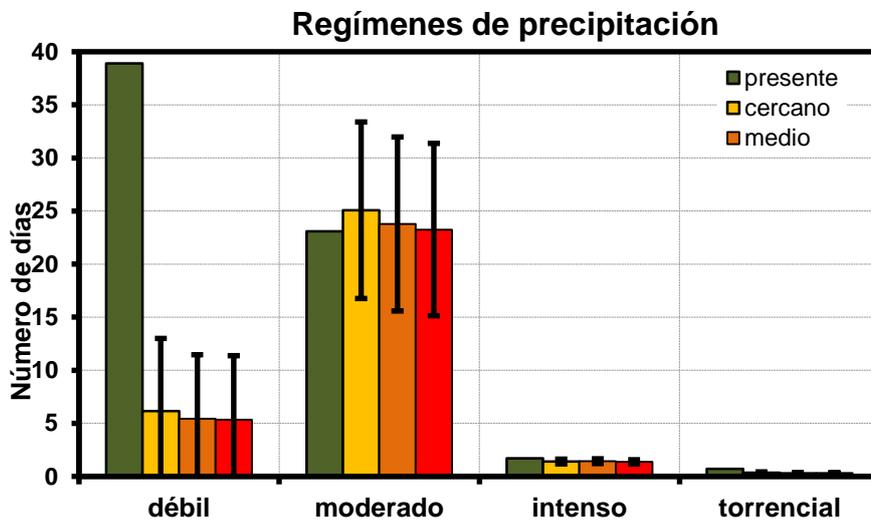
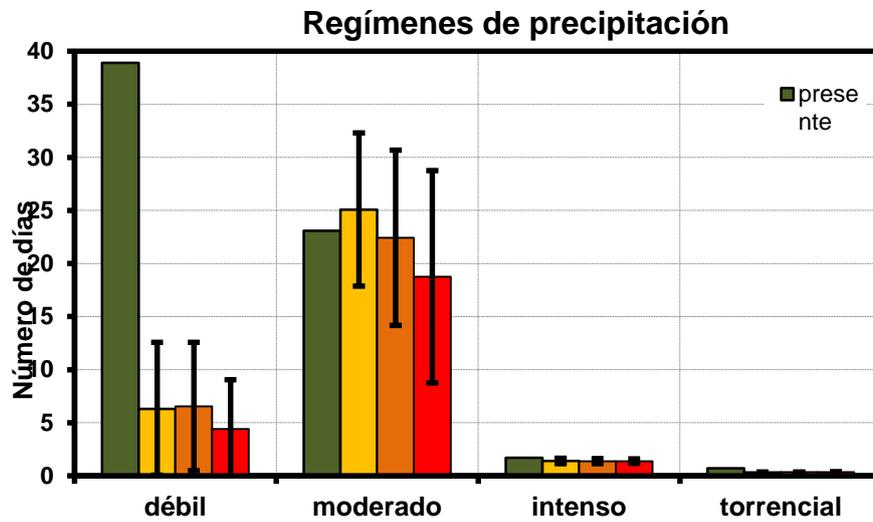


Figura 32. Evolución en el número de días al año para los regímenes de lluvias débiles, moderadas, intensas y torrenciales y el escenario RCP 8.5. Los resultados se muestran para los periodos indicados en la estación meteorológica de LEVC.

Fuente: Elaboración propia.



4. Conclusiones

Según el último informe del IPCC, la tendencia estimada a escala regional para la temperatura media diaria durante el período 1979-2005 muestra una gran variabilidad espacial. Para la región mediterránea en su conjunto, el informe la sitúa entre 2.5 y 3.5°C por siglo. **En el análisis realizado para el municipio de la ciudad de Valencia, donde se ha estudiado esta tendencia en el periodo comprendido entre 1984 y 2013, se ha obtenido un incremento de 3.1°C por siglo**, con un coeficiente de determinación cercano a 0.3 y una confianza estadística en el cambio mayor que el 99%. **El IPCC también apunta a una disminución inferior al 3% en la cantidad de precipitación anual para el Mediterráneo**, en base al periodo de observación comprendido entre 1979-2005. **Para el municipio de Valencia se ha obtenido una tendencia que indica un ritmo de pérdida anual mucho mayor, cercana al 5.5%**, en la precipitación anual acumulada, con una confianza estadística en el cambio superior al 98%.

Por consiguiente, los efectos locales que modulan el impacto del cambio climático en el observatorio del aeropuerto de Manises, Valencia, están produciendo un incremento en las temperaturas medias diarias en concordancia con las tendencias observadas para el conjunto del área Mediterránea. Estos mismos efectos locales resultan en una disminución porcentual de la precipitación remarcablemente superior a la observada, en promedio, para el Mediterráneo. **El informe del IPCC también señala como probable el incremento a nivel global del número de días de episodios de lluvias fuertes, a pesar de que se observen disminuciones en las cantidades anuales de precipitación**. Para el municipio de Valencia, **se proyecta un considerable aumento en el número de días al año sin lluvia junto a notables disminuciones de los regímenes de lluvias débiles. Los regímenes de lluvias moderadas también disminuirían ligeramente para el RCP 8.5, mientras que los regímenes intensos y torrenciales no mostrarían variaciones muy importantes en sus frecuencias anuales**.

Estacionalmente, se han obtenido unas tendencias al aumento de las temperaturas medias durante el periodo 1984-2013 de +0.5, +4.5, +4.6 y +3.4 °C por siglo en invierno, primavera, verano y otoño, respectivamente. Sólo los inviernos presentan unas tendencias de incremento de las temperaturas inferiores a la media anual. Especialmente importantes son las tendencias al aumento de las temperaturas medias para la primavera y el verano. Respecto a las tendencias estacionales de las precipitaciones, se observan disminuciones de -2.22, -1.32 y -3.53 mm en invierno, verano y otoño, respectivamente. En primavera, se ha obtenido una tendencia a un aumento de las precipitaciones acumuladas de +2.01 mm al año.

El IPCC señala que en 70-75% de las regiones de tierra firme donde hay datos observados se ha producido una reducción en el número de días de extremos fríos y un incremento en el número de días de extremos cálidos. También se ha observado un decrecimiento del Rango Diario de la Temperatura (DTR; la diferencia entre las temperaturas mínima y máxima diarias) de 0.07 °C por década promediada sobre el periodo 1950-2004. En concordancia, el área de estudio muestra una tendencia generalizada en el aumento del número de noches tropicales y días cálidos de 0.22 y 0.02 días por año, respectivamente. Cabe remarcar que, por el contrario, se ha hallado una tendencia al

aumento del número de días de heladas en invierno para el municipio de Valencia en el periodo 1984-2013 (1 día cada 10 años).

Los modelos globales del clima proyectan, para las trayectorias RCPs 4.5 y 8.5, un aumento generalizado en los regímenes anuales de las temperaturas en el futuro a corto, medio y largo plazo en comparación al periodo presente. Las proyecciones también señalan una drástica disminución de las precipitaciones anuales durante este siglo. Estacionalmente, los incrementos más altos en los regímenes de temperaturas mínimas corresponderían a veranos y otoños, con un aumento superior a los 2°C y 3°C, respectivamente, para los escenarios RCP 4.5 y 8.5 a finales de siglo. En general, los regímenes de las temperaturas máximas aumentarán más que las mínimas, aumentando así el rango de temperaturas diurnas. Para las precipitaciones se proyectan disminuciones generalizadas en todas las estaciones y escenarios radiativos. Especialmente dramáticas son las disminuciones proyectadas en verano y otoño.

Para los extremos, las proyecciones a escala local señalan una clara disminución en los días de helada en invierno (días extremadamente fríos), más pronunciada en el escenario más pesimista, así como un aumento generalizado en el número de noches tropicales y días cálidos en verano (días extremadamente calurosos). A finales de siglo cabría esperar una pérdida casi total en el número de días extremadamente fríos para ambos escenarios, junto a incrementos de aproximadamente 20 días por año en el número de noches tropicales y días cálidos en verano para el RCP 4.5. Estos aumentos llegarían a los 32 y 47 noches/días por año para el RCP 8.5, respectivamente. Respecto a los extremos de precipitación, cabe esperar un significativo aumento en el número de días sin lluvia conjuntamente con una notable disminución en los regímenes de lluvias débiles. Para los restantes regímenes de precipitaciones, las disminuciones son mucho más moderadas. Es decir, **las sequías serán más persistentes y severas. Cabe esperar que los cambios en los regímenes de precipitación tengan un impacto significativo en la futura gestión de los recursos hídricos del municipio de la ciudad de Valencia.**