

Convocatoria Klimatek 2020-21

Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco bajo las rutas de concentración de gases de efecto invernadero: RCP 4,5 y 8,5



Convocatoria Klimatek 2020-21

Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco bajo las rutas de concentración de gases de efecto invernadero: RCP 4,5 y 8,5



Ihobe, Ingurumen Jarduketarako Sozietate Publikoa
Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental

EDITA:

Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental
Departamento de Desarrollo Económico, Sostenibilidad y Medio Ambiente
Gobierno Vasco

Alda. de Urquijo n.º 36-6.ª (Plaza Bizkaia)
48011 Bilbao

Tel: 900 15 08 64

info@ihobe.eus

www.ihobe.eus

EDICIÓN:

Julio 2023

CONTENIDO:

Este documento ha sido elaborado para Ihobe por NEIKER.



Los contenidos de este libro, en la presente edición, se publican bajo la licencia:
Reconocimiento - No comercial - Sin obras derivadas 3.0 Unported de Creative
Commons (más información [http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/
deed.es_ES](http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/deed.es_ES))

Índice

Resumen.....	7
Antecedentes y objetivos	9
01. Metodología	12
1.1. Atlas climático de temperaturas y precipitación: datos históricos	12
1.2. Selección de la base de datos de observaciones	13
1.2.1. Modelo orográfico.....	14
1.2.2. Modelos de regresión e interpolación	14
1.3. Proyecciones futuras bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.....	15
1.3.1. La iniciativa CORDEX.....	15
1.3.2. Proyecciones de cambio climático en la CAPV.....	17
1.4. Indicadores climáticos calculados basados en temperaturas y precipitación	24
02. Resultados de las tendencias climáticas en el ámbito geográfico global de la CAPV	26
2.1. Resultados 1971-2016: Atlas climático de temperaturas y precipitación (datos históricos).....	26
2.2. Proyecciones 2011-2100 para la CAPV bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5 derivados de la precipitación y las temperaturas	30
2.2.1. Proyecciones 2011-2100: Indicadores relacionados con precipitaciones	31
2.2.2. Proyecciones 2011-2100: Indicadores relacionados con temperaturas mínimas	37
2.2.3. Proyecciones 2011-2100: Indicadores relacionados con temperaturas máximas	41
2.2.4. Proyecciones 2011-2100: Indicadores relacionados con temperaturas medias.....	45
2.2.5. Proyecciones 2011-2100: Evapotranspiración de referencia	49
03. Conclusiones	52
04. Productos generados, guía de usuario/preguntas frecuentes	54
05. Referencias bibliográficas	57
06. Anexo I: Definición de indicadores climáticos.....	59
A. Indicadores que combinan varias variables básicas (“Combo”).....	59
B. Evapotranspiración de referencia	60
C. Indicadores calculados a partir de precipitaciones	62
D. Indicadores calculados a partir de temperaturas medias.....	64
E. Indicadores calculados a partir de temperaturas máximas	65
F. Indicadores calculados a partir de temperaturas mínimas	69
07. Anexo II: Proyecciones climáticas para variables no-básicas.....	71
7.1. Datos de partida de la iniciativa EURO-CORDEX: variables no-básicas.....	71
7.2. Resultados 1971-2100 de humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar: proyecciones bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5.....	73

Acrónimos

AR5 Fifth Assessment Report

AR6 Sixth Assessment Report

CAPV Comunidad Autónoma del País Vasco

CMIP5 The WCRP Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5

CORDEX COordinated Regional Downscaling Experiment

CSV Comma Separated Values

ESGF Earth System Grid Federation

ETCCDI Expert Team on Climate Change Detection and Indices

EURO-CORDEX Rama europea de CORDEX (COordinated Regional Downscaling Experiment)

GCM General Circulation Model

IFCA-MACC, CSIC-UC Grupo formado por el Instituto de Física de Cantabria (Consejo Superior de Investigaciones Científicas) y el departamento de Matemática Aplicada y Ciencias de la Computación (Universidad de Cantabria)

IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change

RCM Regional Climate Model

RCP Representative Concentration Pathway

WRCP World Climate Research Programme

Resumen

En Euskadi se han llevado a cabo diversos proyectos de elaboración de escenarios regionalizados de Cambio Climático que nos han permitido obtener datos de alta resolución espacial y temporal para diversos escenarios. Los antecedentes a la elaboración de este documento han sido los siguientes:

- > En la convocatoria Klimatek 2016 se elaboraron proyecciones regionalizadas de alta resolución espacial (1km x 1km) mediante el método “delta”, a partir de escenarios Eurocordes (12km x 12 km). Este proyecto permitió disponer de datos anuales hasta el año 2.100 de múltiples indicadores, para dos escenarios de concentración de GEI, denominados RCP (Representative Concentration Pathway), uno moderado RCP 4,5 y otro pesimista RCP 8,5.
- > En la convocatoria Klimatek 2017, se avanzó elaborando escenarios de alta resolución espacial y alta resolución temporal con datos diarios mediante metodología de corrección de sesgos. En este caso, fue necesario elaborar una base de datos climáticos históricos del período 1970-2016. Sin embargo, el análisis se al escenario RCP 8,5.
- > Más adelante, en el marco del proyecto Life IP Urban Klima 2050, se elaboraron escenarios de alta resolución espacial y temporal para el escenario que quedaba pendiente, es decir, para el escenario RCP 4,5.

Este documento pretende ser un resumen de los dos proyectos de elaboración de escenarios de alta resolución espacial y temporal, mediante metodologías de corrección de sesgos para los RCP 8,5 y RCP 4,5. Para ello, se describen la metodología empleada y las principales

conclusiones y recomendaciones para el correcto uso de la información climática disponible.

Asimismo, se describen las tendencias históricas, en vista al atlas termopluviométrico generado para el período 1971-2016, y también de las proyecciones sobre humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento.

Toda la información generada está disponible en el visor de escenarios de Ihobe <http://escenariosklima.ihobe.eus/> y también se pueden consultar los valores medios, en forma de capas cartográficas, de 13 variables seleccionadas en el visor de Geoeuskadi <https://www.geo.euskadi.eus/geobisorea>.

Metodología

En cuanto a la metodología, hay que destacar que los datos utilizados para este documento proceden de las simulaciones regionales sobre Europa dadas por la iniciativa EURO-CORDEX para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5). Esta iniciativa proporciona un conjunto de simulaciones alternativas producidas con diversas combinaciones de modelos globales (GCM) y modelos regionales del clima (RCM) sobre una misma rejilla (con 0.11° de resolución horizontal, equivalente a unos 12 km).

Respecto a los datos climáticos de alta resolución, partiendo de datos diarios de precipitación y temperaturas de 12 simulaciones (GCM/RCM) de EURO-CORDEX se mejoró su resolución espacial y se corrigió su sesgo, mediante la utilización de:

- > Climatología base de alta resolución de la CAPV (~1km x 1km) basada en series climáticas observadas.
- > Técnicas de ajuste de cuantil: una empírica (EQM-“Empirical Quantile Mapping”) y dos paramétricas (PQM-“Parametric Quantile Mapping” y GPQM-“Generalized Parametric Quantile Mapping”).

Utilizando estos datos de alta resolución de precipitación y temperaturas para el escenario RCP4.5 y RCP8.5, se calcularon más de 70 indicadores climáticos.

Para las variables no-básicas (humedad relativa, radiación solar y velocidad del viento), en el momento de publicación de este documento, las proyecciones de las simulaciones EURO-CORDEX no se han regionalizado (~12km x 12km), no se les han aplicado técnicas de corrección de sesgo. Actualmente, se está trabajando en este sentido por lo que se presentan separados en un anexo.

Resultados

Respecto a los resultados, en el periodo histórico 1971-2016, ya se vislumbran tendencias significativas en el conjunto de la CAPV. No obstante, las magnitudes de las tendencias, aun siendo significativas, son leves en general. Algunas de estas tendencias son:

- > Incremento de: las medias de temperaturas máximas diarias (TX), los días cálidos (TX90p), los días que se superan ciertos umbrales de temperatura (25°C y 35°C, por ejemplo), los eventos de olas de calor (WSDI).
- > Incremento de: las temperaturas mínimas diarias (TN), las noches cálidas (TN90p) y las tropicales (TR), así como los máximos de las temperaturas mínimas (TNx).
- > Incremento de: las temperaturas medias (TG), los días que se superan 10°C de media (TG10a), los días asociados al uso de aire acondicionado (COLDDD).
- > Incremento de: los días cálidos-secos (DW) y los días cálidos-húmedos (WW).
- > Reducción de: los días fríos-secos (DC), los días fríos-húmedos (WC), los días que cruzan los 0°C (FTD), el rango diario de temperatura (DTR), las noches frías (TN10p) y los días asociados al uso de calefacción (HEATDD).

Sin embargo, los indicadores asociados a la precipitación (PRCPTOT, RR1, R10, R20, RX1day, SDII, etc.), no presentan una tendencia significativa en el periodo histórico 1971-2016 para el conjunto de la CAPV.

En cuanto a las tendencias proyectadas para el futuro, cabe destacar que:

- > La incertidumbre respecto a la magnitud del cambio proyectado para el escenario RCP8.5 es mucho mayor que la asociada al escenario RCP4.5 y, en general, suele ser mayor según avanza el tiempo.
- > En el caso de las temperaturas, la tendencia es claramente positiva (incremento de temperaturas) desde el momento actual. Este incremento de temperatura media diaria oscilaría, dependiendo del escenario y modelo, entre los 0,5°C y los 4,0°C, siendo más pronunciado a finales de siglo y para el escenario RCP8.5. El patrón de cambio sería bastante homogéneo en toda la CAPV.
- > Los índices asociados con días de temperaturas bajas tenderían a disminuir en el futuro, como los días de helada (FD), mientras que los indicadores relacionados con altas temperaturas tenderían a incrementar (SU, SU35, HWF). También aumentaría ligeramente la longitud de la estación de crecimiento (GSL), asociado a un mayor número de días con temperaturas medias moderadas.
- > En el caso de la precipitación, solo cabría esperar un descenso de la precipitación anual acumulada (PRCPTOT) en los periodos más próximos al final de siglo y de forma más clara bajo el escenario RCP8.5. Se acompañaría de intervalos mayores de días secos consecutivos entre los eventos de precipitación (CDD) e intervalos menores de días de lluvia consecutivos (CWD) y de una reducción del número de días húmedos (RR1), pero sin una tendencia muy acusada en la intensidad de las precipitaciones diarias.
- > El aumento de las temperaturas llevaría asociada una tendencia al aumento de la evapotranspiración (ET0). De modo que habría, por un lado, una mayor necesidad de agua por parte de la vegetación y, por otro, una precipitación que tendería a ser menor; es decir, parece que se tendería a mayor demanda, pero menor disponibilidad de agua.

Estos resultados sobre las tendencias climáticas se han obtenido para el ámbito geográfico de la CAPV en su conjunto, considerando datos anuales y algunos indicadores climáticos. No obstante, este tipo de análisis podría realizarse para zonas más concretas de la CAPV, para datos estacionales o mensuales (incluso diarios, en el caso de las variables básicas) y para más indicadores climáticos, ya que toda la información se encuentra disponible para la comunidad (en particular, a través de <http://escenariosklima.ihobe.eus/>).

Antecedentes y objetivos

En este informe se ha tratado de recoger la información climática más relevante obtenida en los siguientes proyectos:

- > **Proyecto ESCENARIOS** (“Elaboración de escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco”): con financiación del programa KLIMA-TEK I+B+G (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático) del Gobierno Vasco del año 2016. En este proyecto, realizado para Ihobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental), participaron Neiker y Predictia Intelligent Data Solutions S. L.



- > **Proyecto ESCENARIOS II** (“Escenarios de cambio climático de alta resolución para el País Vasco. Fase II: Datos diarios con metodología de corrección de sesgo”): convocatoria KLIMATEK I+B+G (proyectos I+D, innovación y demostración en adaptación al cambio climático) del Gobierno Vasco del año 2017. En este proyecto, realizado para Ihobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental), participaron Neiker, Tecnalia y el

Grupo de Meteorología de Santander (IFCA-MACC, CSIC-UC).



- > **Proyecto URBAN KLIMA 2050** (“Systemic implementation of the CC action in the Basque Country for increased urban resilience as full territory enabler”): con cofinanciación del programa Life (LIFE 18 IPC/ES/000001 LIFE-IP URBAN KLIMA 2050) y con la coordinación general de Ihobe (Sociedad Pública de Gestión Ambiental). En la obtención y puesta a disposición pública de los datos climáticos a los que se refiere el presente informe participaron Neiker, el Grupo de Meteorología de Santander (IFCA-MACC, CSIC-UC) y Predictia Intelligent Data Solutions S. L. y corresponden, en concreto, a la acción A.2 (“Extension of the risk analysis in the Basque Country”) de este LIFE-IP.



Europar Batasunaren LIFE Programaren finantzaketa jaso du URBAN KLIMA 2050 -LIFE 18 IPC 000001 proiektuak.
El proyecto URBAN KLIMA 2050 -LIFE 18 IPC 000001 ha recibido financiación del Programa LIFE de la Unión Europea.
The URBAN KLIMA 2050 -LIFE 18 IPC 000001 project has received funding from the European Union's LIFE Programme.

Fuentes de información disponibles públicamente

ESCENARIOS

La página web del Gobierno Vasco (documento metodológico y de resultados):
https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/escenarios_cc/es_def/adjuntos/03KLIMATEK.pdf

La página web del Gobierno Vasco (descarga de datos):
<https://www.euskadi.eus/informacion/escenarios-proyectados-de-cambio-climatico-en-el-pais-vasco/web01-a2ingkli/es/>

La página web de Ihobe:
<https://gis.ihobe.eus/Klima2050/escenarios/index.html>

ESCENARIOS II

La página web del Gobierno Vasco (documento metodológico y de resultados):
https://www.euskadi.eus/contenidos/documentacion/escenarios_cc/es_def/adjuntos/Escenarios_cambio_climatico_pais_vasco_cast.pdf

El portal GeoEuskadi y su FTP (visualización y descarga de parte de los datos del escenario RCP8.5):
<https://www.geo.euskadi.eus>
ftp://ftp.geo.euskadi.eus/cartografia/Medio_Ambiente/Escenarios_Cambio_Climatico/

El visor desarrollado ex profeso para datos climáticos (visualización y descarga de datos del escenario RCP8.5):
<http://escenariosklima.ihobe.eus>

URBAN KLIMA 2050

El portal GeoEuskadi y su FTP (visualización y descarga de parte de los datos del escenario RCP4.5):
<https://www.geo.euskadi.eus>
ftp://ftp.geo.euskadi.eus/cartografia/Medio_Ambiente/Escenarios_Cambio_Climatico/

El visor desarrollado ex profeso para datos climáticos (visualización y descarga de datos del escenario RCP4.5 y de las variables de viento, humedad y radiación para RCP4.5 y RCP8.5):
<http://escenariosklima.ihobe.eus>

Tabla 1. Fuentes de información, a disposición pública, de datos climáticos históricos y de proyecciones futuras obtenidos en los proyectos escenarios, escenarios II y Urban Klima 2050.

En resumen, gracias a estos proyectos que se han ido complementando consecutivamente, en la actualidad están a disposición pública los siguientes datos climáticos para el ámbito geográfico de la CAPV:

- > Para variables de temperaturas y precipitación: datos históricos o “atlas histórico” (1971-2016; diarios; ~1km) y proyecciones futuras, con corrección de sesgo, bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 (2011-2100; diarios; ~1km).
- > Para más de 70 indicadores climáticos calculados a partir de temperaturas y precipitación: datos históricos y proyecciones futuras bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 (1971-2100; ~1km).
- > Para variables no-básicas (velocidad del viento, humedad relativa, radiación solar): datos simulados, sin corrección de sesgo, bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 (1971-2100 aprox.; diarios; ~12km).

Por tanto, el objetivo del presente informe no consiste en generar nueva información, sino en recoger en un único documento:

- > La metodología utilizada (obtención de climatología histórica de ~1 km de resolución espacial; obtención de proyecciones climáticas de la iniciativa EURO-CORDEX; aplicación de técnicas de ajuste de cuantil para corrección de sesgo de las simulaciones de EURO-CORDEX y generación de proyecciones de alta resolución espacial (~1km) y temporal (diaria);
- > La interpretación de los resultados generales sobre las tendencias climáticas proyectadas para la CAPV según las simulaciones de la iniciativa EURO-CORDEX calibradas;
- > Las recomendaciones para el uso correcto de todos estos datos climáticos que se encuentran disponibles públicamente.

Periodo	Variables	Fuente	Resolución espacial máxima	Resolución temporal máxima	Método
Pasado (“atlas histórico”)	Temperaturas* Precipitación	Series históricas de estaciones de la CAPV y zonas limítrofes	30” (~1km*1km)	Diaria: 1971-2016	Modelo de regresión, utilizando covariables derivadas del modelo digital de elevaciones, y kriging ordinario.
Pasado	Indicadores derivados de las temperaturas* y la precipitación	Series históricas de estaciones de la CAPV y zonas limítrofes	30” (~1km*1km)	Correspondiente a periodos de 30 años, (dependiendo del indicador)	Cálculos a partir del atlas histórico
Futuro (“proyecciones ajustadas”)	Temperaturas* Precipitación	Simulaciones de la iniciativa EURO-CORDEX (0.11°)	30” (~1km*1km)		Corrección de sesgo por ajuste de cuantil (EQM y GPQM), tomando como referencia el atlas histórico
Futuro	Indicadores derivados de las temperaturas* y la precipitación	Simulaciones de la iniciativa EURO-CORDEX (0.11°)	30” (~1km*1km)	Correspondiente a periodos de 30 años (dependiendo del indicador)	Cálculos a partir de proyecciones ajustadas diarias de temperaturas* y precipitación
Pasado	Velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar	Simulaciones de la iniciativa EURO-CORDEX (0.11°)	0.11° (~12km*12km)	Diaria	Actualmente sin ningún procedimiento adicional
Futuro	Velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar	Simulaciones de la iniciativa EURO-CORDEX (0.11°)	0.11° (~12km*12km)	Diaria	Actualmente sin ningún procedimiento adicional

* En esta tabla, el término “temperaturas” se refiere a temperatura mínima, temperatura máxima y temperatura media.

Tabla 2. Resumen sobre los datos climáticos históricos y de proyecciones futuras que hay a disposición pública, gracias a los proyectos Escenarios, Escenarios II y Urban Klima 2050.

Metodología

El proceso para la obtención de proyecciones climáticas futuras para la CAPV consistió en líneas generales, en obtener datos de simulaciones de la iniciativa EURO-CORDEX (1971-2100) y en mejorar en la medida de lo posible su resolución espacial (“downscaling” o “regionalización”), pasando de aproximadamente ~12km de píxel a ~1km. Este proceso de “downscaling” solo se realizó para las variables básicas (precipitación y temperaturas mínima, máxima y media), no así para la humedad relativa, la velocidad del viento o la radiación solar.

Para ello, fue necesario generar un atlas de datos históricos a partir de las observaciones reales de estaciones meteorológicas y de covariables derivadas del modelo de elevaciones del terreno, con la resolución deseada (~1 km) y datos diarios (1971-2016). Este atlas histórico fue la referencia para calibrar adecuadamente los valores diarios simulados de la iniciativa EURO-CORDEX del pasado (1971-2000) y aplicar, posteriormente, esta misma corrección de sesgo a los datos simulados del futuro (2011-2100).

1.1. Atlas climático de temperaturas y precipitación: datos históricos

Con el objetivo de disponer de datos termopluviométricos históricos para todo el ámbito geográfico de la CAPV, el primer paso consistió en realizar la recolección de datos climáticos de las tres principales instituciones que almacenan series históricas de precipitación y temperatura:

- > Agencia Estatal de Meteorología (AEMET): se solicitaron datos diarios de temperaturas (mínima, máxima y media) y precipitación para el periodo 1971-2016 procedentes de estaciones meteorológicas distribuidas por la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV) y alrededores. Dicha base de datos engloba 164 estaciones de precipitación y más de 96 de temperatura para el periodo.
- > Agencia Vasca de Meteorología (EuskalMet): se solicitaron los mismos datos de precipitación y temperatura (174 estaciones) para el periodo disponible en EuskalMet, que era 2001-2016.
- > Ur Agentzia (URA, Agencia Vasca del Agua): la Agencia Vasca del Agua trabaja con datos de precipitación y temperaturas, tanto de estaciones de las dos Agencias anteriores como de otras estaciones. Por lo tanto, se solicitaron a URA los datos climáticos registrados para

el periodo de interés 1971-2016, dando lugar a una tercera base de datos con 233 estaciones de precipitación y 73 de temperatura, de las cuales 91 y 42, respectivamente, son comunes a alguna de las bases de datos anteriores y fueron utilizadas para la detección de errores. Así mismo, la Agencia Vasca del Agua proporcionó datos de evapotranspiración potencial calculada, que se emplearon también para valorar el clima base de alta resolución obtenido.

1.2. Selección de la base de datos de observaciones

Una vez obtenida la base de datos de las tres Agencias citadas anteriormente se procedió a la selección de las estaciones a utilizar en el proceso de interpolación, tanto de los valores mensuales como de las anomalías diarias, de modo que la red seleccionada se distribuyese de forma homogénea por la CAPV y fuera representativa del clima en su localización en el periodo observado.

Para ello, se realizaron diferentes análisis para detectar posibles errores en los datos (Gutiérrez et al., 2010; Herrera et al., 2011; Herrera et al., 2012):

- > Detección de valores anómalos: Inicialmente se detectaron valores anormalmente altos o bajos, según superasen tres veces el rango intercuartílico (percentil 25 y percentil 75). En el caso de la precipitación, al ser una variable acotada inferiormente, se definieron, como cota superior, 4 veces el percentil 90 de los días de lluvia y, como cota inferior, el 0.
- > Lagunas: Se identificaron aquellas series con periodos de al menos 20 años consecutivos con al menos el 80% de los datos. Dada la menor longitud de las series de EuskalMet, en su caso se consideraron series con al menos 10 años con al menos el 80% de los datos. En ambos casos, se eliminaron aquellas estaciones con menos del 50% de la serie mensual con al menos el 80% de los datos en cada mes.
- > Homogeneidad: Finalmente, se analizaron la homogeneidad absoluta y relativa de las series anuales a través de tests de hipótesis, eliminando aquellas series no homogéneas con una confianza del 95%.

La base de datos anteriormente seleccionada fue consensuada con expertos de EuskalMet, los cuales aconsejaron la inclusión o supresión de determinadas estaciones. De este modo, se obtuvieron las redes de observación de precipitación y temperaturas mostradas en la Figura 1, con las cuales realizar la interpolación.

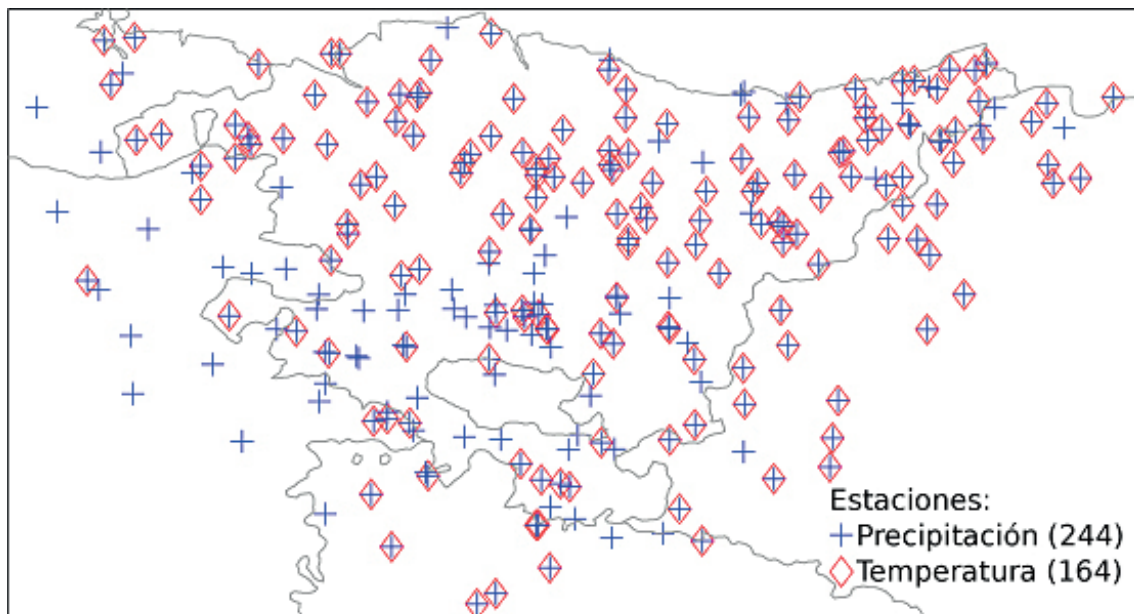


Figura 1. Red de estaciones de precipitación y temperatura consideradas para la interpolación en base a los criterios de selección establecidos.

1.2.1. Modelo orográfico

Para alcanzar la resolución objetivo (1km) con la red de observaciones seleccionada fue necesaria la inclusión de variables orográficas para la elaboración de la base de datos climática de alta resolución. Se consideraron las siguientes variables derivadas del modelo orográfico de 30" de resolución espacial (~1km), GTOPO30 (<https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>):

- > Orografía: Se consideró un modelo de regresión polinomial de tercer grado:
$$P_{orog}(orog) = a_3 * orog^3 + a_2 * orog^2 + a_1 * orog + a_0$$
- > Continentalidad (distancia a costa): Se consideró la distancia de cada punto a la costa mediante un modelo de regresión polinomial de tercer grado:
$$P_{cont}(cont) = b_3 * cont^3 + b_2 * cont^2 + b_1 * cont + b_0$$
- > Curvatura: Se consideró la curvatura global de cada punto como resultado de las curvaturas longitudinal y latitudinal.
- > Bloqueos y Exposiciones: Se consideraron los bloqueos orográficos, definidos como la existencia de una zona más alta en una dirección o sector, y las exposiciones de cada punto de grid, así como la distancia a dichos bloqueos. Para la definición de los bloqueos se consideró una rosa de vientos de ocho sectores (N, NW, W, SW, S, SE, E y NE).

De este modo, se obtuvo un conjunto de 24 variables con el cual se definió el modelo de regresión mediante un proceso tipo "stepwise", en el que en cada paso se introducía la covariable que minimizaba el residuo del modelo resultante.

Para mantener la coherencia entre las tres variables consideradas (precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima), se realizó un análisis previo para determinar qué covariables eran las más relevantes en cada uno de los casos, en base al porcentaje de ocasiones en las que el modelo seleccionaba cada covariable considerando la serie mensual de cada una de las variables. Dicho porcentaje revela información sobre la capacidad explicativa de cada una de las covariables sobre la variabilidad espacial de cada variable. Hay que remarcar que el modelo de regresión debe aplicarse a escala mensual, ya que a escala diaria la dependencia entre las variables regresoras y la variable objetivo se reduce frente a la variabilidad espacial.

En el marco del análisis anterior se identificaron las variables orográficas y de continentalidad como las que más aparecen en los modelos de regresión. También surgieron en el modelo los bloqueos en las direcciones norte y noroeste, así como la distancia a los bloqueos del oeste. Por lo tanto, se seleccionó como modelo básico uno basado

en las variables: orografía, distancia a costa, bloqueos en las direcciones N y NW, y la distancia a los bloqueos en las direcciones NW y SW. Al modelo base anterior, dentro del proceso de interpolación, se le fueron añadiendo el resto de las covariables mediante el proceso de "stepwise" antes descrito.

1.2.2. Modelos de regresión e interpolación

Una vez realizada la selección de la base de datos y definidas las covariables a utilizar en el modelo de regresión, hay que seleccionar un método de interpolación que se adecúe a los problemas que presentan las variables a interpolar, la resolución de la rejilla y la introducción de covariables.

Tras revisar el estado del arte en este campo, se concluyó que la familia de métodos que mejor se adaptaban a los problemas planteados era la familia de métodos geoestadísticos de Kriging (Krige, 1951). Estos métodos han sido aplicados para variables climáticas en un gran número de estudios (Herrera et al. 2012, 2016; Haylock et al., 2008; Biau et al., 1999; Atkinson and Lloyd, 1998; etc.) e incluyen un gran abanico de variantes para adaptar la metodología a la interpolación de variables indicador, la introducción de covariables, etc. En el presente estudio se consideró el método de Kriging Ordinario ya que la dependencia con el modelo digital de elevación se obtuvo a partir del modelo de regresión antes descrito. Dicho método, se fundamenta en la modelización de la dependencia espacial de la variable a través de los semi-variogramas empírico y modelo

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\|x_i - x_j\|=h}^{N(h)} (y(x_i) - y(x_j))^2$$

tras lo cual, los pesos w_i del método se obtienen resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$-\sum_{i=1}^k w_i \gamma(\|x_i - x_j\|) + \mu = -\gamma(\|x - x_j\|) \quad \sum_{i=1}^k w_i = 1$$

Para alcanzar la resolución final, la interpolación se dividió en las siguientes etapas:

- > En primer lugar, se aproximó el valor mensual de la variable (precipitación, temperatura máxima o temperatura mínima) con el modelo de regresión, introduciendo en éste las covariables seleccionadas anteriormente.
- > En segundo lugar, se calcularon el valor mensual asociado a cada punto de rejilla (MonthlyValuereg) y el residuo o error cometido por el modelo (Err), utilizando los coeficientes obtenidos con el modelo de regresión.
- > A continuación, se interpoló con el método de Kriging el residuo mensual del modelo de regresión (Err) a

los puntos del grid, corrigiendo de ese modo, el valor mensual asignado por el modelo ($\text{MonthlyValueok} = \text{MonthlyValuer} + \text{Error}$).

- > Por último, se interpoló el valor de la anomalía diaria (DailyAnomalyok) y se añadió al valor mensual obtenido en los pasos anteriores (MonthlyValueok). En el caso de la precipitación, la anomalía diaria se definió como el cociente entre la precipitación diaria y el valor acumulado mensual ($\text{dailyValueok} = \text{MonthlyValueok} * \text{DailyAnomalyok}$), mientras que para la temperatura se definió como la diferencia entre la temperatura diaria y la media mensual ($\text{dailyValueok} = \text{MonthlyValueok} + \text{DailyAnomalyok}$).

En el caso de la precipitación, dado su carácter mixto, por un lado la ocurrencia y por otro la cantidad, se introdujo un proceso más en el último paso que consistió en interpolar la variable binaria asociada a la ocurrencia de lluvia mediante el método de Kriging asociado a variables indicadoras (IK, Indicator Kriging). De este modo, no solo se interpoló la cantidad de precipitación sino que también se ajustó su frecuencia.

El proceso anterior dio lugar a una base de datos diarios de precipitación y temperatura representativos del promedio areal de la celda de 1 km x 1 km, y con la misma resolución temporal de la base de datos subyacente, descrita anteriormente.

La disponibilidad de las cuatro variables interpoladas permite la construcción de variables e indicadores dependientes o derivadas de ellas. En particular, en el apartado **¿?** se presentan parte de los indicadores de extremos definidos por el Panel de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático, *ETCCDI-Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (<http://etccdi.pacificclimate.org/>).

Una variable de gran interés es la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_0 , mm día⁻¹), la cual puede inferirse a través de diferentes formulaciones dependiendo de las variables primitivas disponibles. En el marco del presente proyecto, siguiendo la formulación de URA (<http://www.uragentzia.euskadi.eus>) que a su vez se basa en el Cuaderno n° 56 de la FAO (Allen et al., 1998), se estimó la ET_0 diaria a partir de las temperaturas máxima y mínima.

1.3. Proyecciones futuras bajo los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5

La generación de proyecciones climáticas regionales supone el paso inicial necesario para obtener una información adecuada sobre el cambio climático a escala regional, permitiendo así el análisis y evaluación de los impactos del cambio climático en distintos sectores (por ejemplo, en hidrología). En particular, el área de estudio de este proyecto es la Comunidad Autónoma del País Vasco (CAPV). Sin embargo, las proyecciones regionales realizadas con modelos (incluso las de más alta resolución), presentan sesgos sistemáticos (por ejemplo, en la media), cuando se comparan con datos de observaciones en superficie para un período histórico de referencia (ver, por ejemplo, Casanueva et al., (2015), para un análisis de los sesgos de los datos de EURO-CORDEX sobre España). Estos sesgos son debidos a diferencias sistemáticas entre el modelo y la realidad (debidas a factores como la orografía, la parametrización de procesos subrejilla, etc.). Por tanto, las proyecciones climáticas regionales han de ser convenientemente calibradas con datos observacionales representativos de la zona de estudio para ajustar los sesgos sistemáticos de estos modelos para que puedan ser utilizados en estudios de impacto; estas técnicas se denominan técnicas de corrección de sesgos (ver, por ejemplo, Gutiérrez et al., 2017).

En este estudio, se aplicaron técnicas de corrección de sesgos sobre los datos disponibles públicamente (a 0.11° (~12 km) de resolución espacial) de las simulaciones de la iniciativa EURO-CORDEX, calibrándolos tomando como referencia la climatología base de alta resolución de la CAPV que contiene datos de observación a una resolución espacial de 1 km (atlas climático histórico).

Los métodos de calibración utilizados fueron aquellas técnicas de corrección de sesgos que mostraron un mejor comportamiento en el estudio de inter-comparación llevado a cabo sobre Europa en el proyecto VALUE y que analizó más de 20 técnicas diferentes (ver Gutiérrez et al., 2017).

1.3.1. La iniciativa CORDEX

Durante las últimas décadas se han venido realizando periódicamente proyecciones de la tendencia futura del clima utilizando modelos físico-matemáticos de circulación global (GCM-“General Circulation Models”). Estos modelos simulan la dinámica del sistema climático (atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera) bajo distintos escenarios que tratan de caracterizar la evolución futura de los factores antropogénicos que afectan al sistema climático, como la emisión de gases de efecto invernadero. Esta

actividad está coordinada a nivel internacional por el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC-“Intergovernmental Panel on Climate Change”), que publicó su quinto informe en 2014 (AR5-“Fifth Assessment Report”, <https://www.ipcc.ch>). Estos informes constituyen la referencia obligada para los estudios de cambio climático pues recopilan los resultados científicos (tanto publicaciones como proyecciones globales y regionales de escenarios de cambio climático) más relevantes hasta la fecha. En agosto de 2021 se publicó el sexto informe de evaluación del IPCC (AR6 - “Sixth Assessment Report”, <http://www.ipcc.ch/>), que aún resulta demasiado reciente para su incorporación al presente estudio.

Una de las limitaciones prácticas más importantes de los GCMs es su resolución espacial (cientos de kilómetros), que no permite reproducir los procesos climáticos regionales y, por tanto, no permite su uso directo en estudios de impacto. Para aumentar la resolución, se utilizan técnicas de regionalización dinámica que se basan en “anidar” un modelo regional (RCM, del inglés “Regional Climate Model”) en la región de interés a un GCM particular, es decir que el RCM toma como condiciones de contorno los valores del GCM. Los modelos regionales, tienen una resolución típica de decenas de kilómetros (ver Gaertner et al., 2012, para una descripción breve de las metodologías de proyección regional de cambio climático; ver también el número especial de CLIVAR Exchanges, no. 73, ‘Special Issue on climate over the Iberian Peninsula: an overview of CLIVAR-Spain coordinated’ que proporciona información actualizada sobre los estudios regionales de cambio

climático en España). En el ámbito europeo, las proyecciones regionales de cambio climático han sido producidas y actualizadas en distintos proyectos europeos de investigación: PRUDENCE (2001-2004; 50 km, Christensen et al., 2007), ENSEMBLES (2004-2009; 25 km, Déqué et al., 2012), y EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014), que se basa en los modelos globales utilizados en el informe AR5 del IPCC y es la rama europea del Experimento Coordinado de Regionalización o CORDEX (del Inglés “Coordinated Regional Downscaling Experiment”) (Giorgi et al., 2009; Jones et al., 2011), ofreciendo por tanto simulaciones para un dominio que cubre Europa a 0.11° de resolución, unos 12 km (Figura 2). A escala global, CORDEX persigue generar y hacer disponibles proyecciones regionales a nivel mundial, así como fomentar el intercambio de conocimiento con la comunidad que utiliza información climática regional, siendo un proyecto auspiciado por el “World Climate Research Programme” (WRCP).

Se resumen a continuación las principales mejoras que implica la iniciativa CORDEX con respecto a proyectos anteriores (PRUDENCE y ENSEMBLES):

1. Se define un dominio común de simulación para las diferentes zonas consideradas (África, Europa, Mediterráneo, etc.). De este modo, todos los modelos comparten un mismo sistema coordinado, incluyendo la malla sobre la que se definen.
2. Se definen dominios cubriendo todo el mundo, con el objetivo de obtener un conjunto de escenarios globales.

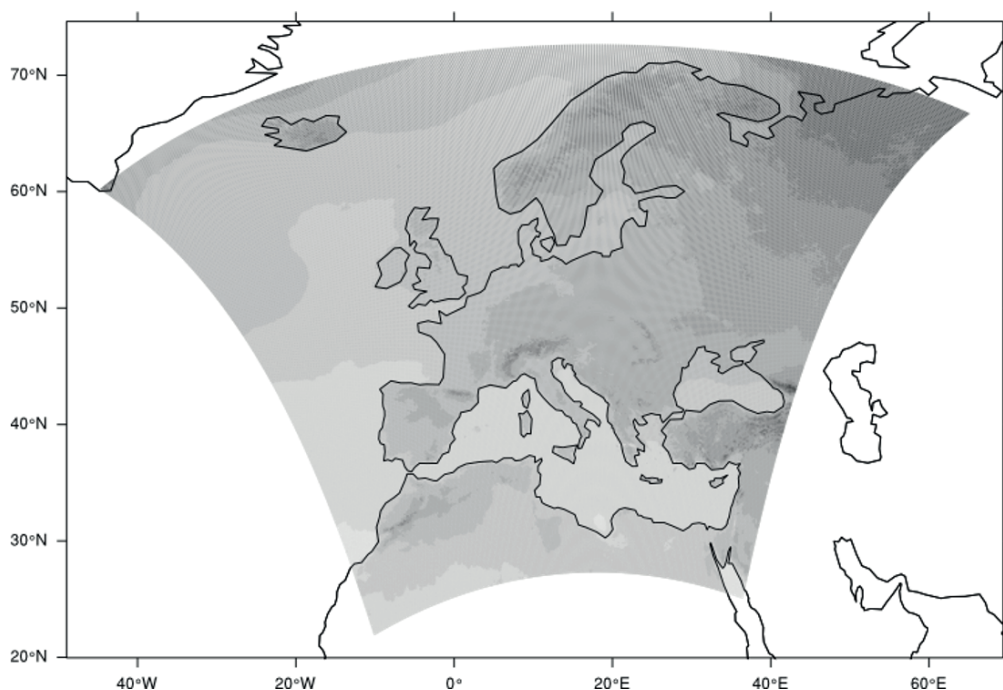


Figura 2. Dominio de simulación de los RCMS enmarcados en euro-cordex.

3. Se actualizan los escenarios siguiendo una aproximación diferente basada en el valor de estabilización de la concentración de gases a finales del siglo XXI (RCP4.5 y RCP8.5, principalmente), que corresponde al AR5 del IPCC.

Recordemos que en el AR5, se establecen cuatro escenarios denominados trayectorias de concentración representativas (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5) caracterizadas por el cálculo aproximado que hacen del forzamiento radiativo total en el año 2100 en relación con 1750 (preindustrial), es decir, en función de cómo asumen que variará el balance energético del sistema Tierra. Para estos escenarios RCP se realizan los cálculos considerando una variedad de políticas climáticas del s. XXI. Así, en el escenario RCP8.5 se asume que apenas se aplican políticas de mitigación y se obtiene un nivel muy alto de emisiones de gases invernadero (cerca de 1313 ppm de equivalentes de CO₂), que conllevarían a un forzamiento radiativo de 8.5 W/m². El escenario RCP4.5 correspondería a un escenario intermedio de estabilización.

4. Aunque siga habiendo serias lagunas en la matriz de acoplamientos GCM x RCM, se resuelve parcialmente el problema observado en ENSEMBLES, permitiendo un análisis más robusto de la distribución de la varianza entre ambas componentes (GCM y RCM).
5. Se definen dos resoluciones, una más grosera a 0.44° que no incrementa la resolución existente y otra en Europa a 0.11° que aumenta la resolución de los escenarios desarrollados anteriormente, y permite el análisis del valor añadido del incremento en la resolución del RCM.

1.3.2. Proyecciones de cambio climático en la CAPV

Datos de partida de la iniciativa EURO-CORDEX: variables básicas

En la elaboración de las proyecciones climáticas futuras y de las coberturas geográficas (mapas) de la CAPV, se utilizaron datos de simulaciones generadas por doce GCM/RCM englobados en la iniciativa EURO-CORDEX a una resolución de 0.11° que equivale a ~12 km aproximadamente (Tabla 3). A modo de referencia se consideró el experimento “historical” (histórico) de las simulaciones correspondientes.

Para la obtención de datos, se realizó, en el año 2017, una búsqueda e inventario de las simulaciones disponibles en la infraestructura ESGF (“Earth System Grid Federation”) del Experimento Coordinado de Regionalización (CORDEX, Giorgi et al., 2009; Jacob et al., 2014), como distribuidor oficial de dichas proyecciones. Las búsquedas fueron las siguientes:

- Project: CORDEX; Domain: EUR-11; Time Frequency: day; Experiment: historical, rcp45; Variable: tas, tasmin, tasmax y pr.
- Project: CORDEX; Domain: EUR-11; Time Frequency: day; Experiment: historical, rcp85; Variable: tas, tasmin, tasmax y pr.

Una vez descargadas las simulaciones disponibles en 2017, éstas fueron procesadas extrayendo los puntos del



Figura 3. Puntos de rejilla de las proyecciones de euro-cordex considerados para la CAPV.

dominio de cada modelo GCM/RCM más cercanos a los 80 puntos de rejilla que cubrían la CAPV y que se presentaban en la Figura 3.

Finalmente, se utilizaron 12 simulaciones GCM/RCM disponibles, tras descartar dos por tener una proyección espacial diferente a las demás (marcados en rojo en la Tabla 3. Se realizó una evaluación preliminar de estas 12 proyecciones utilizando para ello los experimentos histórico (histórico) y los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5.

Fue necesario establecer un sistema o nomenclatura para identificar de forma unívoca cada una de las simulaciones GCM/RCM. Para ello, se partió del “Data Reference System” definido en el proyecto CORDEX (http://is-enes-data.github.io/cordex_archive_specifications.pdf) de modo que se consideraron los elementos establecidos en dicho documento para la construcción del nombre del fichero correspondiente. En la Tabla 4 se reflejan los diferentes elementos y los posibles valores que pueden tomar en base a su disponibilidad en ESGF.

De este modo, el nombre de cada fichero generado se construyó siguiendo la sintaxis siguiente:

Variable_Dominio_ModeloGlobal_Experimento_Miembro_Institución_ModeloRegional_version_Periodo.extension

Por ejemplo:

pr_EUR-11_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp45_r1i1p1_CCLM4-8-17_v1_1971-2100.csv

Por otro lado, hay que indicar que para obtener una serie continua de cada escenario y minimizar el número de ficheros generados, la serie temporal hasta el año 2005 se corresponde con el experimento “historical” mientras que desde el 2006 se corresponde con los experimentos RCP4.5 y RCP8.5.

Para cada modelo y escenario futuro se generó un fichero de texto (en formato CSV o TXT) en el cual cada campo o columna se corresponde con la fecha (YYYYMMDD) o un punto de rejilla (GridXXX), y cada fila o línea se corresponde con un día específico, con la excepción de la primera línea que incluye la cabecera o descriptor de los campos

ID	Earth System Model (ESM)	Regional Climate Model (RCM)	¹ Institución
1	CERFACS-CNRM-CM5_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
2	CERFACS-CNRM-CM5_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
3	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
4	ICHEC-EC-EARTH_r1i1p1	RACMO22E_v1	KNMI
5	ICHEC-EC-EARTH_r3i1p1	HIRHAM5_v1	DMI
6	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	RCA4_v1	SMHI
7	IPSL-CM5A-MR_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
8	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
9	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	RACMO22E_v1	KNMI
10	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
11	MPI-ESM-LR_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
12	MPI-ESM-LR_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
-	IPSL-CM5A-MR_r1i1p1	WRF331F_v1	IPSL-INERIS
-	CERFACS-CNRM-CM5_r1i1p1	ALADIN53_v1	CNRM

¹ Más detalles sobre las instituciones en el documento:

<http://www.euro-cordex.net/imperia/md/content/csc/cordex/20160204a-eurocordex-simulations.pdf>

Tabla 3. Proyecciones regionales obtenidas con distintos acoplamientos de GCM/RCM de la iniciativa EURO-CORDEX considerados en el presente estudio. En rojo se muestran los acoplamientos descartados por problemas con el formato de los datos.

incluidos en el fichero. De este modo, un valor en un punto específico y una fecha dada, se puede localizar en el fichero sin más que identificar la línea correspondiente a la fecha de interés y la columna asociada al punto de grid solicitado, como puede verse en el ejemplo de la Figura 4.

Dichos ficheros fueron generados para todas las variables disponibles en cada simulación del conjunto total requerido:

- pr: precipitación (mm) (“Precipitation”)
- tas: temperatura media (°C) (“Near-Surface Air Temperature”)
- tasmin: temperatura mínima (°C) (“Daily-Minimum Near-Surface Air Temperature”)
- tasmax: temperatura máxima (°C) (“Daily-Maximum Near-Surface Air Temperature”)

Para los indicadores derivados de las variables básicas (temperaturas y precipitación), los periodos climáticos considerados fueron 1971-2000 para el clima observado e histórico simulado por los GCM/RCM, y 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 para los periodos futuros correspondientes a las proyecciones de los GCM/RCM según los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5. En todos los casos y para cada periodo considerado, se calcularon los valores de las variables básicas para cada día, y los valores de los indicadores climáticos derivados de las variables básicas para cada mes, con el fin de poder evaluar los efectos del cambio climático a una escala estacional.

Etiqueta/Elemento	Posibles valores
Variable	pr, tas, tasmin, tasmax
Dominio	EUR-11
Modelo Global	CERFACS-CNRM-CM5; ICHEC-EC-EARTH; IPSL-CM5A-MR; MOHC-HadGEM2-ES; MPI-M-MPI-ESM-LR; NCC-NorESM1-M
Experimento	rcp45 y rcp85
Miembro	r12i1p1; r11i1p1; r2i1p1; r3i1p1
Institución	CLMcom; CNRM; DMI; GERICs; ICTP; IPSL; KNMI; MOHC; MPI; SMHI
Modelo Regional	ALADIN53; ALADIN63; CCLM4-8-17; CSC; CSC-REMO2009; ETH-COSMO-crCLIM-v1-1; HadREM3-GA7-5; HIRHAM5; RACMO22E; RCA4; RegCM4-6; REMO2015; WRF381P
Versión	v1; v2; v3
Periodo	1971-2100

Tabla 4. Indicaciones sobre la nomenclatura de los archivos .CSV sobre variables de la iniciativa EURO-CORDEX.

YYYYMMDD	Grid001	Grid002	Grid003	Grid004	Grid005	Grid006	Grid007	Grid008	Grid009	Grid010
19790101	6.25152731	6.84357882	7.3927021	6.7801919	5.5679574	5.25936508	6.64808226	6.10006857	6.55562687	6.38783455
19790102	4.78387594	4.96389389	5.09319735	4.68878508	3.00622034	4.35640478	6.12406254	4.59962273	4.66264105	4.28005123
19790103	4.15088797	4.04719925	4.40792179	4.13729	3.05506587	3.49806237	5.97957134	4.20091248	3.73038244	3.83612156
19790104	4.63568401	5.72351933	5.997756	5.42810249	5.27604294	6.92291689	6.02151299	4.50863218	5.62995911	5.32385778
19790105	6.27924776	6.70869398	6.7779727	6.18177128	6.05247927	7.58325195	7.85679579	6.31450701	6.66803741	6.28980827
19790106	7.8559494	8.79880905	9.50879097	8.35644341	7.08991814	8.31073856	8.55407333	8.02637482	8.70401764	8.76053333
19790107	6.54423952	7.03579378	8.1763649	7.95825481	6.06958008	5.92267084	7.41566181	7.00701761	7.80171394	8.09123707
19790108	7.2989316	7.18677425	7.67442894	7.42956066	7.6457572	10.1524534	9.53955936	7.1416378	6.84959459	6.41350412
19790109	5.220788	4.72490406	4.6484971	5.13010073	5.66960382	7.01536322	6.74907684	4.67983961	4.8073144	4.72795486
19790110	4.46487808	5.47515106	6.29260254	6.75498724	6.81492901	7.23529196	5.17215252	4.65881157	5.52467823	5.73233938
19790111	6.72810793	6.87975025	6.8898983	6.68066835	6.08153963	5.82069921	8.45023918	6.53727961	6.78116703	6.09343147
19790112	4.6794138	5.57561207	5.89085865	6.42189026	6.35838318	6.77410507	6.69633579	5.55830002	5.82148123	5.69426155
19790113	4.72045755	4.79694462	4.93273354	4.70283461	4.39611387	4.20608377	5.67576981	5.76516581	6.41808414	5.63726187
19790114	3.59867406	3.54454112	3.42394829	3.69496679	3.30332351	4.78795719	4.6571784	3.94409394	3.95037675	3.57283092
19790115	6.37151909	6.4742403	6.31087017	6.17362118	4.77976465	4.43888474	8.28322697	6.18709612	6.49436188	5.60472584
19790116	5.46959162	5.85377169	6.28736115	6.54585981	5.44578457	5.30823135	7.3954711	5.34919834	5.82668447	5.38305998
19790117	10.7932272	10.8734703	11.8561287	11.5572548	9.93204308	9.32036114	13.2097082	10.5087261	10.9174032	10.9144487
19790118	10.728178	10.7943792	11.8186865	11.4497328	9.46949482	10.675499	13.2567987	10.449522	10.7807026	10.9128437

Figura 4. Primeras 11 columnas de un fichero de ejemplo: valores según coordenadas temporal (línea/fila) y espacial (columna).

Evaluación de los modelos a escala peninsular para las variables básicas

Considerando las temperaturas (mínima, máxima y media) y la precipitación, la variable más difícil de simular es la precipitación. Por ello, en primer lugar se realizó un análisis de la capacidad de los distintos modelos de EURO-CORDEX para reproducir adecuadamente tanto la media como los extremos de precipitación en el estado español considerando el período de control 1971-2000 (escenario histórico).

Para ello, se analizaron los resultados mensuales de los modelos mostrados en la Tabla 3 relativos a la precipitación media y extrema (valor de retorno para un período de 50 años, obtenido a partir de una distribución Generalizada de Valores Extremos o GEV con máximos mensuales) y se

compararon con los datos observacionales proporcionados por la rejilla de datos Spain02_v5 (esta rejilla tiene la misma resolución que los datos de EURO-CORDEX y fue desarrollada para evaluar estos modelos; Herrera y otros 2016, <http://www.meteo.unican.es/datasets/spain02>). Los resultados de este análisis se muestran en la Figura 5 y Figura 6, respectivamente. Nótese que la primera fila muestra las climatologías mensuales correspondientes al valor observado, mientras que las demás filas muestran las climatologías obtenidas con los distintos modelos (según la numeración de la Tabla 3).

La Figura 6 muestra que, en general, las distintas combinaciones de GCMs/RCMs producen resultados similares a los observados, aunque tienden a sobre-estimar la precipitación media y los extremos debido a los sesgos sistemáticos inherentes a estos modelos (y que se calibran

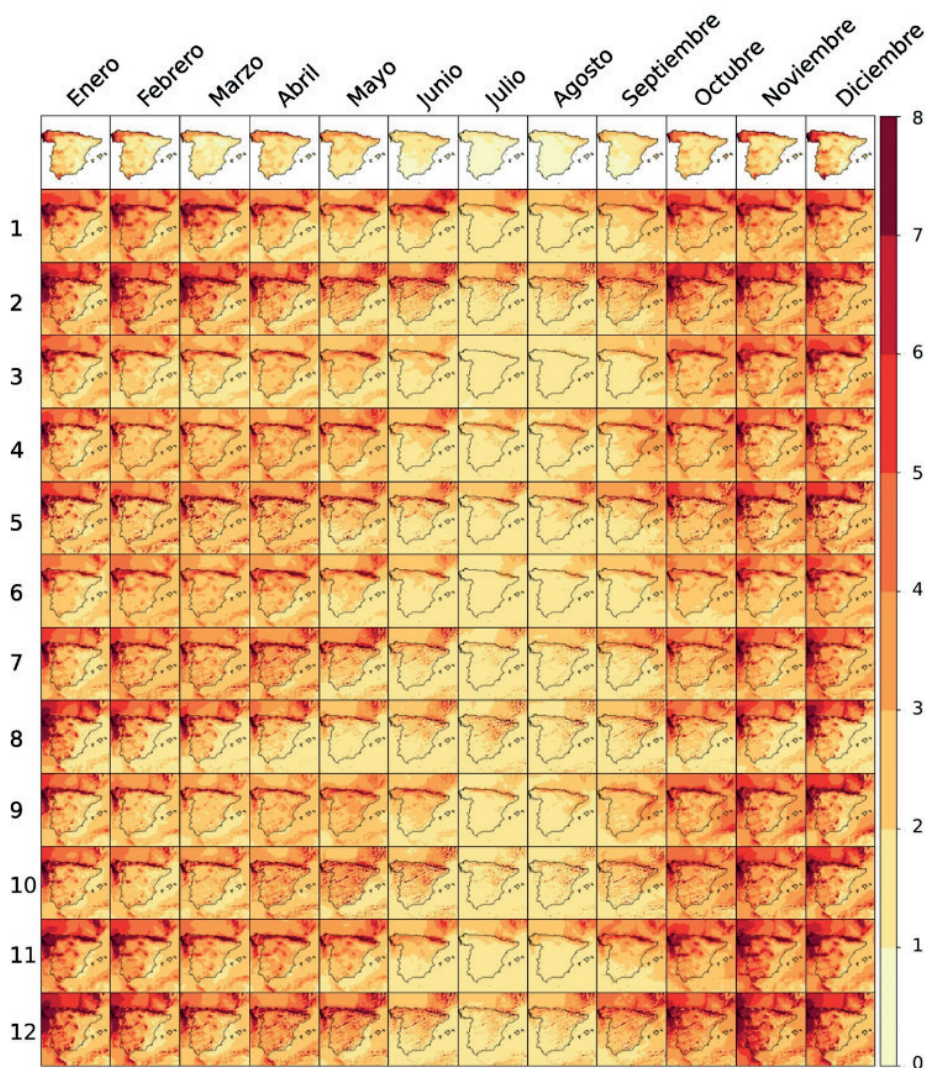


Figura 5. Precipitación media (mm) para el periodo de referencia 1981-2010 considerando un rango típico de precipitación (0-8mm). La primera fila corresponde a las observaciones de Spain02 v5, el resto corresponden a los distintos modelos enumerados en la Tabla 3.

con métodos de corrección de sesgo en este proyecto). El aspecto más reseñable lo constituye el modelo RCA4 (que ha sido aplicado en 5 de las 12 proyecciones: números 2, 7, 8, 10, 12 en la Tabla 3), que da lugar a un patrón de precipitación irregular (sobre todo en los meses de verano) que no reproduce adecuadamente el patrón observado de precipitación (primera fila). Sin embargo, esto es debido a las parametrizaciones específicas que utiliza el modelo y es parte de su sesgo sistemático. Un comportamiento similar también se observa en el modelo HIRHAM5 (número 5 en la Tabla 3).

Por tanto, en principio, ninguna de estos modelos es descartable por deficiencias aparentes que pueda presentar.

Corrección de sesgos aplicando métodos de ajuste de cuantil

Las salidas de los GCM/RCM no pueden ser utilizadas de forma directa para estudios de impacto, ya que contienen sesgos importantes cuando se comparan con las observaciones. En consecuencia, es necesario un proceso de calibración antes de utilizar estos datos en aplicaciones reales. En el marco de la iniciativa VALUE (ver Gutiérrez et al., 2017) se ha llevado a cabo una inter-comparación de técnicas de corrección de sesgos sobre Europa considerando las distintas metodologías que se habían propuesto hasta la fecha. En total, se compararon las ventajas y limitaciones de más de 20 técnicas, que incluían desde técnicas simples basadas en el método delta (*pattern scaling*), hasta técnicas más sofisticadas basadas en el ajuste de los cuantiles (*quantile-quantile mapping*).

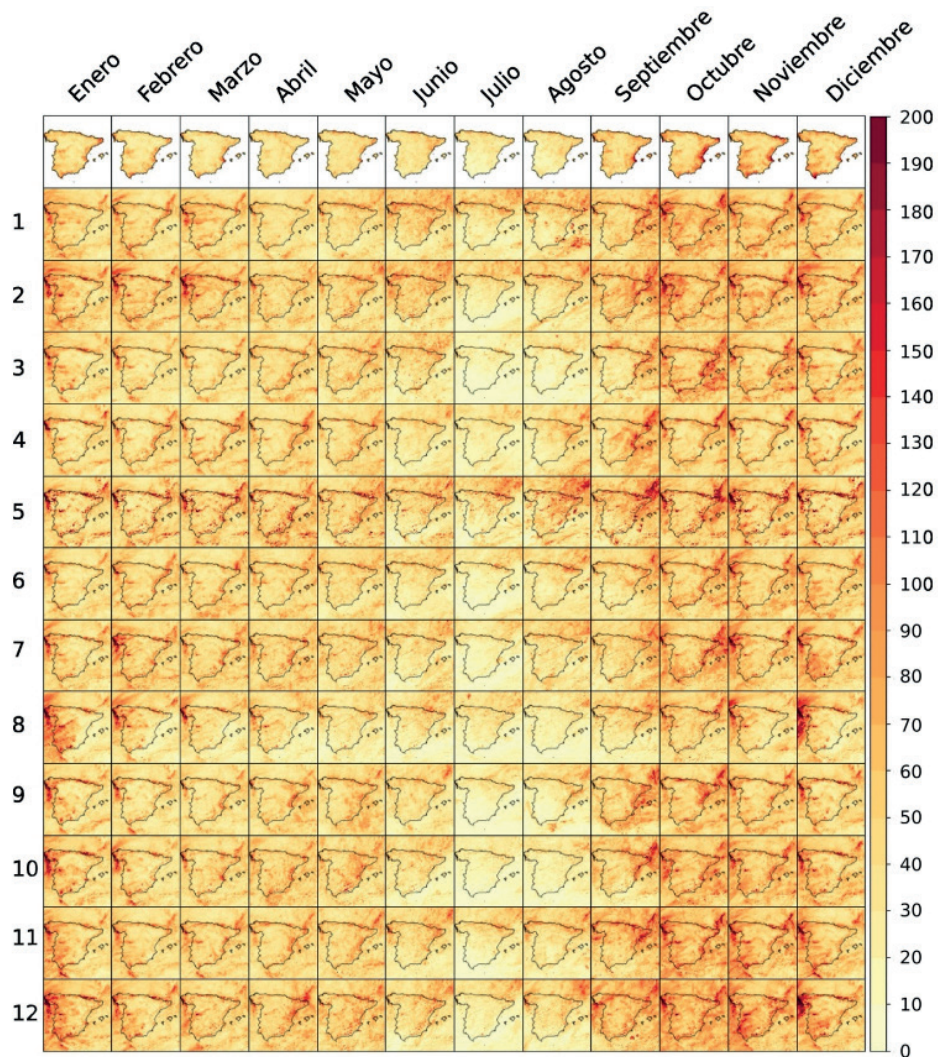


Figura 6. Valor de retorno de la precipitación (mm) para un periodo de 50 años considerando el periodo de referencia 1971-2000. La primera fila corresponde a las observaciones de Spain02 v5, el resto corresponden a los distintos modelos enumerados en la Tabla 3.

Éstas últimas operan directamente calibrando la salida diaria de los modelos en base a un ajuste de cuantiles de las distribuciones del modelo y la correspondiente a las observaciones para un período de control. En la citada inter-comparación llevada a cabo en VALUE se puso de manifiesto que dos tipos de técnicas de esta clase eran las principalmente utilizadas por la comunidad científica, ambas obteniendo buenos resultados en la validación realizada. Por un lado, las técnicas empíricas, las cuales ajustan un número arbitrario de cuantiles (por ejemplo, los percentiles) y, por otro lado, las paramétricas, las cuales usan una distribución teórica para estimar sus parámetros y, a partir de éstos, ajustar los cuantiles.

Por ello, en el presente estudio se analizaron diferentes tipos de técnicas de ajuste de cuantiles para la corrección de sesgo de las variables básicas (temperaturas y precipitación), una empírica (EQM-*Empirical Quantile Mapping*, Wilke et al. 2013; Gutiérrez et al. 2017) y dos paramétricas, una de las cuales utiliza una distribución normal para corregir las variables de temperatura (PQM-*Parametric Quantile Mapping*) y otra que considera un ajuste específico para los extremos (GPQM-*Generalized Parametric Quantile Mapping*) para corregir la precipitación. Esta última utiliza una distribución gamma y una distribución de Pareto (POT – *Peaks Over Threshold*) para ajustar las colas de las distribuciones (más información en; Gutjahr and Heinemann, 2013 y Gutiérrez et al., 2017). Para la aplicación de las diferentes técnicas se utilizó la misma rejilla de alta resolución desarrollada para el atlas termopluviométrico (1971-2016) de la CAPV.

En el caso de la precipitación se fijó un umbral de 0.1 mm que determinaba los días de no precipitación (días con precipitación menor a 0.1 mm) frente a los de precipitación. Esto permitió evitar los problemas derivados de diferencias en las frecuencias de precipitación entre los datos de los modelos y las observaciones (Wilcke et al., 2013).

Además, en el caso de la corrección EQM, se aplicó una ventana de calibración mensual (30 días) y una ventana de corrección de 7 días, de forma que la corrección de los datos se realizó de 7 en 7 días considerando un periodo más extenso (30 días) de calibración centrado en la serie de días a corregir.

Como resultado, se generaron archivos de tipo “NetCDF” (y “CSV”) que cubrían la rejilla de ~1km de la CAPV, para cada variable básica, donde se recogen las proyecciones diarias de los distintos modelos climáticos (GCM/RCM) calibrados con los datos de la climatología de alta resolución de la CAPV para los periodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 y los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

El método de corrección EQM es ampliamente utilizado y consiste en calibrar la función de distribución acumulativa

empírica (eCDF-*empirical Cumulative Distribution Function*) del modelo a partir de la eCDF observada:

$$Y_{eqm} = eCDF_{obs}^{-1}(eCDF_{model}(Y))$$

Es decir, para cada valor proyectado, el método calcula a qué cuantil se corresponde en la distribución del modelo y define el valor corregido como el valor observado correspondiente a ese mismo cuantil. Una ventaja de este método a tener en cuenta es que es aplicable a cualquier variable, en este caso precipitación y temperaturas.

Dicho de otra forma, el proceso de calibración se realiza ajustando estadísticamente la distribución de valores diarios simulados por los modelos GCM/RCM en un período histórico (1971-2000) con la correspondiente distribución observada (atlas climático de la CAPV a ~1 km). Esta calibración se aplica posteriormente a los datos simulados para periodos futuros. De esta manera, todos los modelos se calibran con la misma referencia y los cambios futuros se pueden obtener directamente como la diferencia entre la proyección calibrada y la observación.

En la implementación considerada en el presente estudio, se consideraron los percentiles del 1 al 99, extrapolando la corrección de los cuantiles extremos a los valores que quedaban fuera del rango de calibración.

A pesar de que, por simplicidad, en el presente documento únicamente se muestran los resultados obtenidos con el método EQM, se generaron las proyecciones con otros dos métodos de corrección de sesgos: el ajuste de cuantiles paramétrico (PQM) y el ajuste específico de extremos (GPQM).

En el método PQM, se considera una función de distribución teórica para cada variable, se ajustan los parámetros de dicha distribución para la observación y el modelo, para finalmente identificar cuantiles y su distribución asociada, una Gamma dependiente de un único parámetro:

$$CDF(X, \theta) = \int_0^X \frac{e^{-\frac{y}{\theta}} y^{k-1}}{\Gamma(k) \theta^k} dy + cdf(0)$$

$$Y_{pqm} = CDF_{obs}^{-1}(CDF_{model}(Y, \theta_{model}), \theta_{obs})$$

Finalmente, en el método GPQM se realiza un ajuste como el descrito anteriormente para los valores normales, siendo éstos aquellos inferiores al percentil 95 de la distribución. Para el resto de valores, considerados extremos, se hace un ajuste equivalente pero considerando la distribución generalizada de Pareto, más apropiada para valores extremos:

$$CDF_{GP}(X, \xi) = \begin{cases} 1 - (1 + \xi X)^{-1/\xi}, & \xi \neq 0 \\ 1 - e^{-X}, & \xi = 0 \end{cases}$$

$$Y_{gpqm} = CDF_{obs}^{-1}(CDF_{model}(Y, \xi_{model}), \xi_{obs})$$

Los datos obtenidos de la aplicación de cada técnica se analizaron mediante un diagnóstico sencillo dado por una serie de gráficas que mostraban las series temporales y los diagramas de cuantiles donde se comparaban los datos observados con la salida directa (brutos) y corregida. Este diagnóstico se realizó para 19 localidades mediante un muestreo estratificado, donde se escogía una localidad al azar en cada franja latitudinal (o estrato) de la CAPV.

La Figura 7 muestra el diagnóstico de la precipitación corregida con EQM para un punto ilustrativo del estrato más meridional de la CAPV, donde se puede ver que la corrección fue exitosa (puntos azules cercanos a la diagonal en b1 y b2).

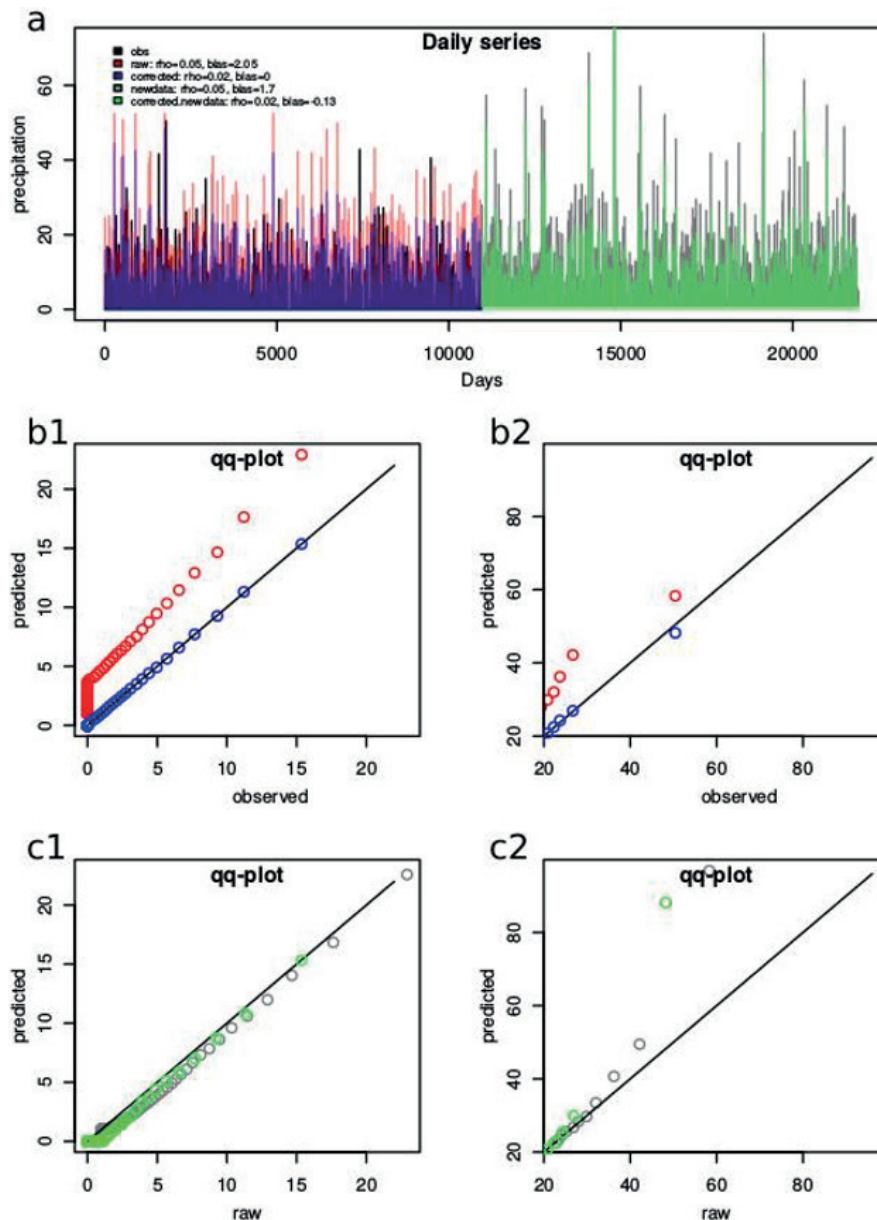


Figura 7. Gráficos de diagnóstico para la técnica de corrección eqm en un punto ilustrativo de la CAPV, que muestran (a) las series temporales y (b1-b2 y c1-c2) los diagramas de cuantiles (qq-plot). En los diagramas b1 y b2 se comparan, para los años iniciales de la serie observada, los valores de los cuantiles de la observación (negro) frente a los de los datos brutos históricos (rojo) y brutos históricos corregidos (azul). Análogamente, en los diagramas c1 y c2 se comparan, para los años finales de la serie observada, los valores de los cuantiles de la observación (negro) frente a los de los datos brutos históricos (gris) y brutos históricos corregidos (verde).

1.4. Indicadores climáticos calculados basados en temperaturas y precipitación

Uno de los objetivos de la Organización Mundial de Meteorología (OMM) es monitorizar la ocurrencia de eventos meteorológicos o climáticos extremos. Para ello, el Panel de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI-*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*) (etccdi.pacificclimate.org/) definió un conjunto de 27 indicadores basados en temperatura y precipitación

para detectar cambios en los eventos climáticos extremos (etccdi.pacificclimate.org/list_27_indices.shtml). Los indicadores propuestos por el ETCCDI se refieren a extremos moderados que ocurren habitualmente varias veces al año y son utilizados frecuentemente para analizar y evaluar cambios futuros en el clima.

En el presente estudio se consideró un subconjunto de dichos indicadores, así como otros indicadores basados en combinaciones de temperatura y precipitación, sumando un total de 70 indicadores aproximadamente. Algunos de los indicadores más relevantes se recogen en la Tabla 5. No obstante, el listado completo de los indicadores calculados, junto con su descripción, se muestra en el “ANEXO I: DEFINICIÓN DE INDICADORES CLIMÁTICOS”.

Temperatura	Descripción	Unid.
TG	Temperatura media diaria	°C
TN	Temperatura mínima diaria	°C
TX	Temperatura máxima diaria	°C
COLDDD	Número de días asociados a uso de aire acondicionado (TG > 22 °C)	días
FD	Número de días con TN<0°C	días
GSL	Longitud de la estación de crecimiento	días
HEATDD	Número de días asociados al uso de calefacción (TG < 15.5°C)	días
HWF	Duración de las rachas cálidas (“olas de calor”)	días
HWN ó WSDI	Índice de número de olas de calor	eventos
SU	Número de días con TX>25°C	días
SU35	Número de días con TX>35°C	días
SU35ex	Magnitud media de las temperaturas que exceden 35°C	°C
TG10a	Número de días con temperatura media superior a 10°C	días
TG10b	Número de días con temperatura media inferior a 10°C	días
TN10p	Número de noches frías (mínimas < percentil 10)	días
TN90p	Número de noches cálidas (mínimas > percentil 90)	días
TNn	Mínimo de la temperatura mínima diaria	°C
TNx	Máximo de la temperatura mínima diaria	°C
TR	Número de días con TN>20°C	días
TXn	Mínimo de la temperatura máxima diaria	°C
TXx	Máximo de la temperatura máxima diaria	°C
TX90p	Número de días cálidos (TX > percentil 90 de las TX)	días

Precipitación	Descripción	Unid.
PRCPTOT	Precipitación total acumulada	mm
CDD	Longitud máxima de rachas secas ($RR < 1\text{mm}$)	días
CWD	Longitud máxima de rachas lluviosas ($RR \geq 1\text{mm}$)	días
R10mm	Número de días con $RR \geq 10\text{mm}$	días
R20mm	Número de días con $RR \geq 20\text{mm}$	días
RR1	Número de días con $RR \geq 1\text{mm}$	días
Rx1day	Máximo de la precipitación diaria	mm
Rx5day	Máximo de la precipitación acumulada en 5 días	mm
SDII	Intensidad de precipitación	mm
Combinación	Descripción	Unid.
CD (DC)	número de días fríos y secos	días
CW (WC)	número de días fríos y húmedos	días
DTR	rango diario de temperatura	°C
ET0	Evapotranspiración de referencia	mm
FTD	número de días con temperaturas cruzando los 0°C	días
WW	número de días cálidos y húmedos	días

Tabla 5. Algunos de los indicadores calculados a partir de temperaturas diarias y precipitación diaria descritos en el presente informe (rr: precipitación diaria).

Resultados de las tendencias climáticas en el ámbito geográfico global de la CAPV

En este apartado se presentan resultados sobre las tendencias climáticas del ámbito geográfico de la CAPV en su conjunto, considerando datos anuales y algunos indicadores climáticos. No obstante, solamente es parte de los resultados obtenidos, ya que este tipo de análisis podría realizarse para zonas más concretas de la CAPV, para datos estacionales o mensuales (incluso diarios, en el caso de las variables básicas) y para más indicadores climáticos, ya que esos datos climáticos están disponibles para la comunidad (en particular, a través de <http://escenariosklima.ihobe.eus/>).

2.1. Resultados 1971-2016: atlas climático de temperaturas y precipitación (datos históricos)

El desarrollo del atlas climático o de la base de datos climática de referencia permite realizar tanto la corrección de sesgos y obtención del dato diario en clima futuro que se explican en apartados posteriores, como un análisis detallado de la evolución del clima en el periodo observado (1971-2016).

En este apartado se analiza, aunque no de forma exhaustiva, la evolución del clima observado mediante sus tendencias en el período histórico completo que se dispone (1971-2016) para el conjunto de la CAPV.

Con el objetivo de determinar si existe o no una tendencia significativa en la serie temporal 1971-2016 se ha realizado

el test de tendencia de Mann Kendall para diversos de los indicadores climáticos. Se trata de una prueba no-paramétrica (no se basa en ninguna distribución de probabilidad en particular) que se utiliza habitualmente para determinar si existe o no una tendencia. Si el valor p de la prueba es menor que algún nivel de significancia (las opciones comunes son 0.10, 0.05 y 0.01), entonces hay evidencia estadísticamente significativa de que hay una tendencia (ya sea positiva o negativa) en los datos de la serie de tiempo. En este caso, se describen las tendencias que han resultado estadísticamente significativas, con un p-valor inferior a 0.05 para obtener un 95% de significación.

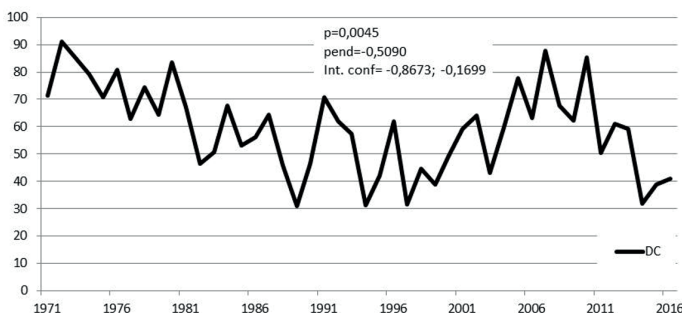
En los indicadores donde se ha confirmado la existencia de una tendencia significativa mediante el test de Mann Kendall, se ha estimado la magnitud de esa tendencia calculando la pendiente de Sen. Este estimador de pendiente (descrito por primera vez por Theil y luego ampliado por Sen (1968), por lo que a veces se denomina “de Thiel-Sen”) se suele utilizar frecuentemente para calcular la magnitud de una tendencia en series temporales univariadas. Este método implica calcular las pendientes para todos los pares de puntos de tiempo ordinales y luego utilizar la mediana de estas pendientes como una estimación de la pendiente general. Por ejemplo, si la serie temporal estudiada es anual, la pendiente de Sen es una aproximación a cuánto varía anualmente la variable en cuestión. Además de ser un método no-paramétrico, tiene la ventaja de que es relativamente insensible a valores atípicos.

No se realizó la prueba de Mann Kendall de absolutamente todos los indicadores obtenidos, sino de 38 indicadores, de los cuales 14 no presentaron una tendencia estadísticamente significativa.

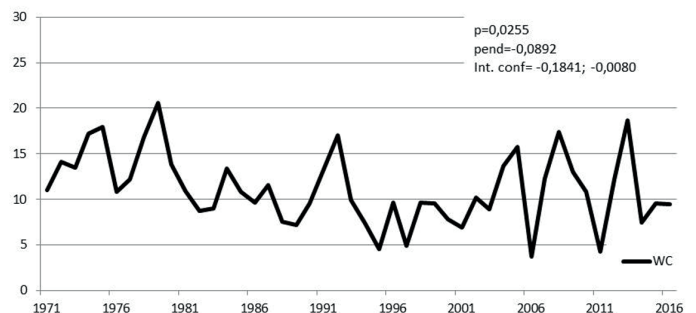
Hay que destacar que la precipitación anual acumulada (PRCPTOT) y los indicadores calculados a partir de las precipitaciones (CDD, CWD, RR1, R10, R20, RX5day, SDII), no presentaron una tendencia significativa para el periodo histórico. Los indicadores siguientes tampoco mostraron una tendencia significativa: ETO (evapotranspiración de referencia), GSL (duración de la estación de crecimiento), HWA (temperatura máxima durante las olas de calor), HWF (duración de las olas de calor), TNN (mínima de las temperaturas mínimas diarias), TXN (mínima de las temperaturas máximas diarias).

Sin embargo, otros indicadores sí presentaron una tendencia significativa en el conjunto de la CAPV, si bien es cierto que las magnitudes de las tendencias fueron próximas a cero, aun siendo estadísticamente significativas. Es decir, que desde 1971 hasta 2016 hubo tendencias climáticas significativas pero, en general, muy leves o graduales. A continuación se presentan gráficamente los indicadores cuyas tendencias resultaron estadísticamente significativas de acuerdo al test de Mann Kendall.

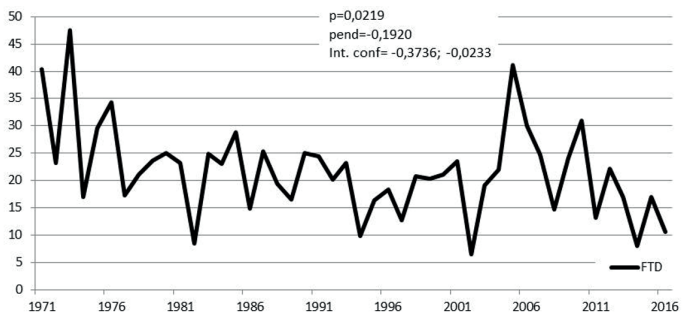
Desde 1971 ha habido una tendencia hacia la reducción de los días fríos-secos (DC, con descenso de 0,51 días al año), los días fríos-húmedos (WC, con descenso de 0,09 días al año), los días que cruzan los 0°C (FTD, con des-



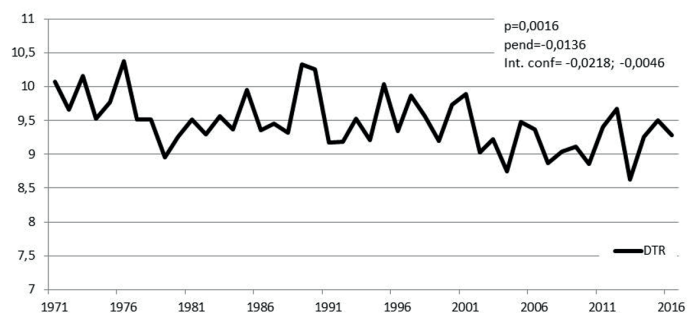
DC (CD): número de días fríos y secos (días)



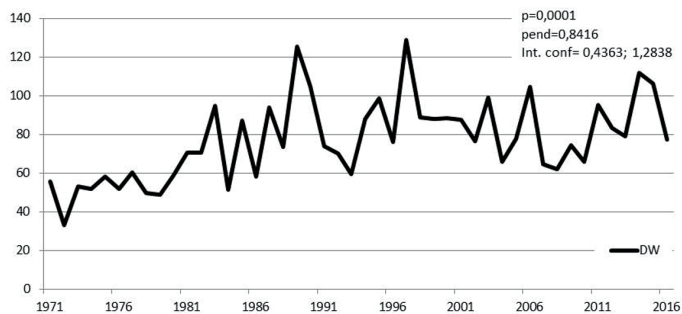
WC (CW): número de días fríos y húmedos (días)



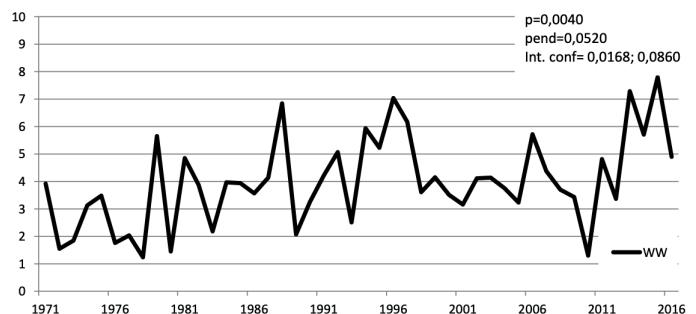
FTD: número de días con temperaturas cruzando los 0°C (días)



DTR: rango diario de temperatura (°C)



DW (WD): número de días cálidos secos (días)



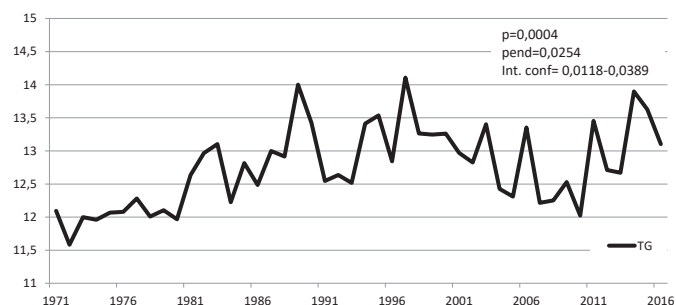
WW: número de días cálidos y húmedos (días)

Figura 8. Evolución estadísticamente significativa ($p\text{-value} < 0.05$) de indicadores obtenidos a partir de varias variables básicas (indicadores “combinados”), para el conjunto de la CAPV y el periodo 1971-2016. Se muestran el valor P del test de Mann Kendall (P), la pendiente de sen (Pen) así como el intervalo de confianza (int. Conf.).

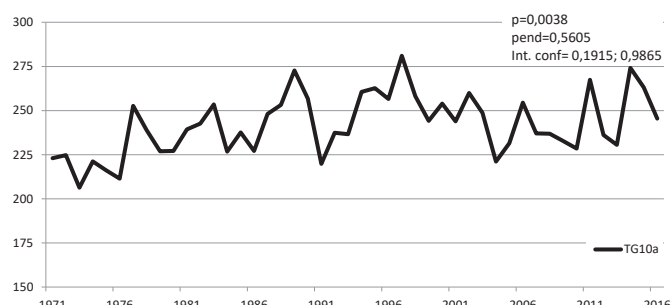
censo de 0,19 días al año), así como del rango diario de temperatura (DTR, con descenso de 0,01°C al año); mientras que han tendido a aumentar los días cálidos-secos (DW, con incremento de 0,84 días al año) y cálidos-húmedos (WW, con incremento de 0,05 días al año) (Figura 8). Destacar que las mayores tendencias (o pendientes en las rectas de regresión) corresponden a DW (incremento de días secos-cálidos).

En cuanto a indicadores relacionados con temperaturas medias (Figura 9), se observa una tendencia al incremento de las temperaturas medias (TG, con incremento de 0,025

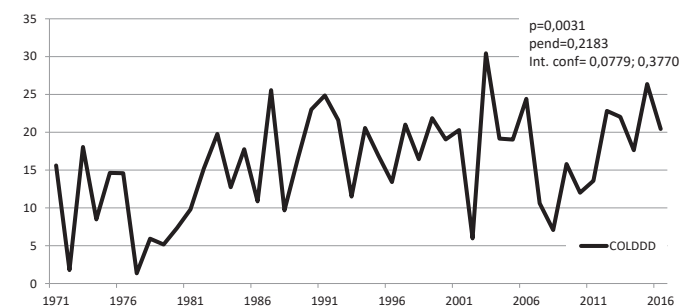
°C al año). Así, en el período de estudio (1971-2016) se estima que la temperatura media diaria ha incrementado en más de 1,0°C. También han aumentado los días que se superan 10°C (TG10a, con incremento de 0,56 días al año), por lo que se esperaría una mayor utilización del aire acondicionado (COLDDD, con incremento de 0,22 días al año). En consecuencia, o de forma complementaria, han descendido los días con medias inferiores a 10°C (TG10b, con decremento de 0,57 días al año) y también los días que se asociarían al uso de calefacción (HEATDD, con decremento de 0,61 días al año).



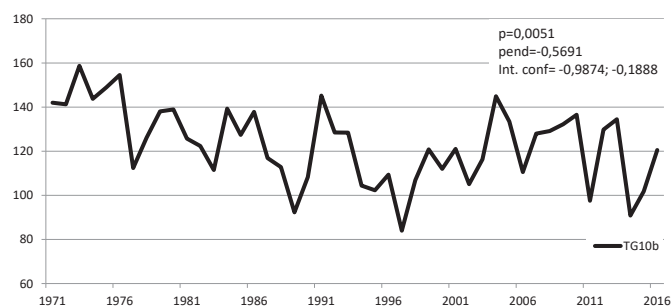
TG: media de temperaturas medias diarias (°C)



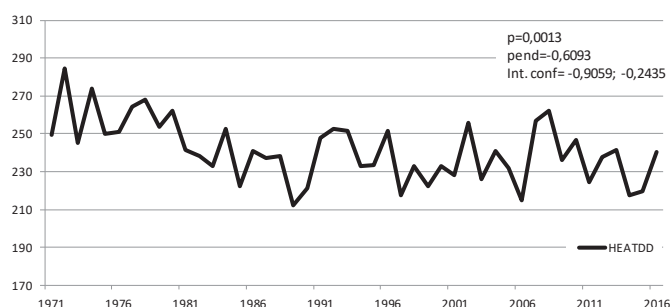
TG10a: número de días con temperatura media superior a 10°C (días)



COLDDD: número de días asociados al uso de aire acondicionado (con temperaturas medias superiores a 22,0°C) (días)



TG10b: número de días con temperatura media inferior a 10°C (días)

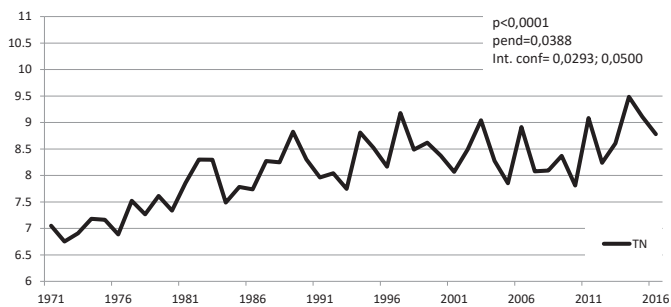


HEATDD: número de días asociados al uso de calefacción (con temperaturas medias inferiores a 15,5°C) (días)

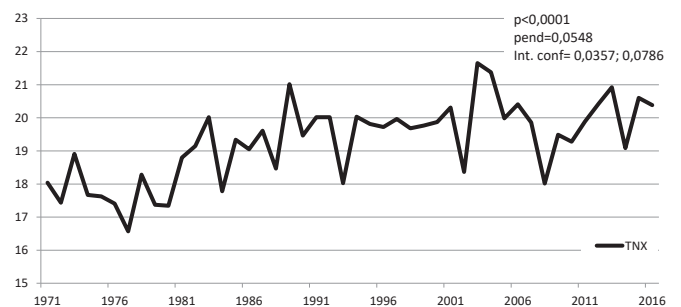
Figura 9. Evolución estadísticamente significativa ($P\text{-value} < 0.05$) de indicadores obtenidos a partir de temperaturas medias, para el conjunto de la CAPV y el periodo 1971-2016. Se muestran el valor P del test de Mann Kendall (P), la pendiente de sen (Pen) así como el intervalo de confianza ($Int. Conf.$).

Las medias de las temperaturas mínimas diarias han tendido a ascender (TN, con aumento de 0,04 °C al año), así como los máximos tanto de estas temperaturas mínimas (TNx, con aumento de 0,05 °C al año) como de las temperaturas máximas diarias (TXx, con aumento de 0,05 °C al año). Asociado a ello, han incrementado las noches cálidas (TN90p, con aumento de 1,06 días al año) y las tropicales (TR, con aumento de 0,03 días al año); merece la pena subrayar la magnitud de la pendiente o tendencia positiva de las noches cálidas (TN90p). Complementariamente, han descendido las noches frías (TN10p, con un descenso de 0,65 días al año) (Figura 10).

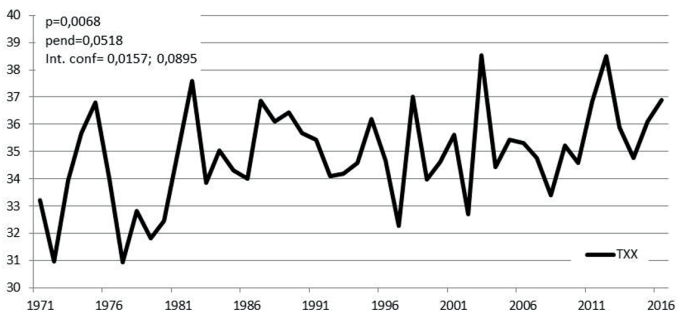
Todos los indicadores calculados a partir de las temperaturas máximas con significación estadística presentan una tendencia positiva (Figura 11), es decir, al incremento: las medias de temperaturas máximas diarias (TX, con incremento de 0,03 °C al año), los días cálidos -que además destacan por la magnitud de su tendencia- (TX90p, con incremento de 0,62 días al año), los días que se superan 25°C y 35°C (con incrementos de 0,57 y 0,03 días al año, respectivamente para SU y SU35), la magnitud media de las temperaturas por encima de 35°C (SU35ex, con ascenso de 0,01 °C al año) y los eventos de olas de calor (WSDI, con incremento de 0,016 eventos al año). Hay otros indicadores cuyas tendencias ascendentes también son significativas, pero no se representan gráficamente porque no aportarían más información.



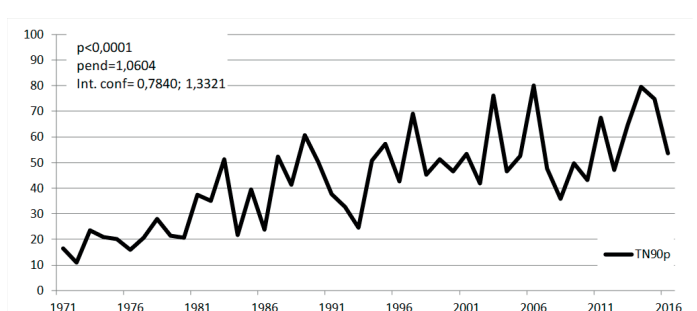
TN: media de temperaturas mínimas diarias (°C)



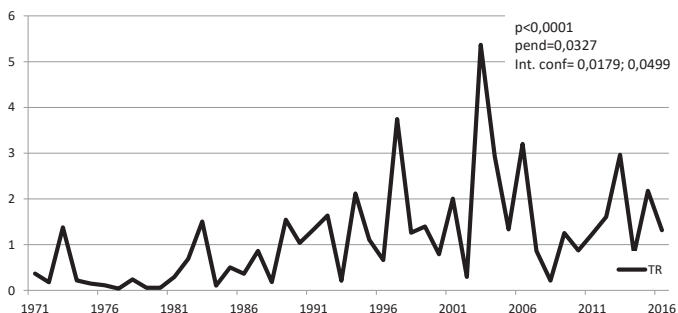
TNx: máximo de las temperaturas mínimas diarias (°C)



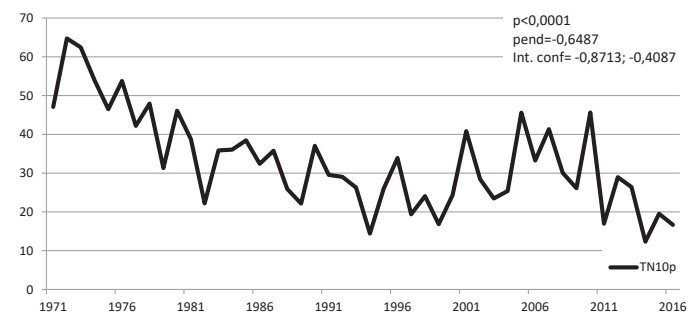
TXx: máximo de la temperatura máxima diaria (°C)



TN90p: número de noches cálidas (mínimas > percentil 90) (días)



TR: número de noches tropicales (mínimas > 20°C) (días)



TN10p: número de noches frías (mínimas < percentil 10) (días)

Figura 10. Evolución estadísticamente significativa ($P\text{-value} < 0.05$) de indicadores obtenidos a partir de temperaturas mínimas, para el conjunto de la CAPV y el periodo 1971-2016. Se muestran el valor P del test de Mann Kendall (p), la pendiente de sen (Pen) así como el intervalo de confianza ($int. Conf.$).

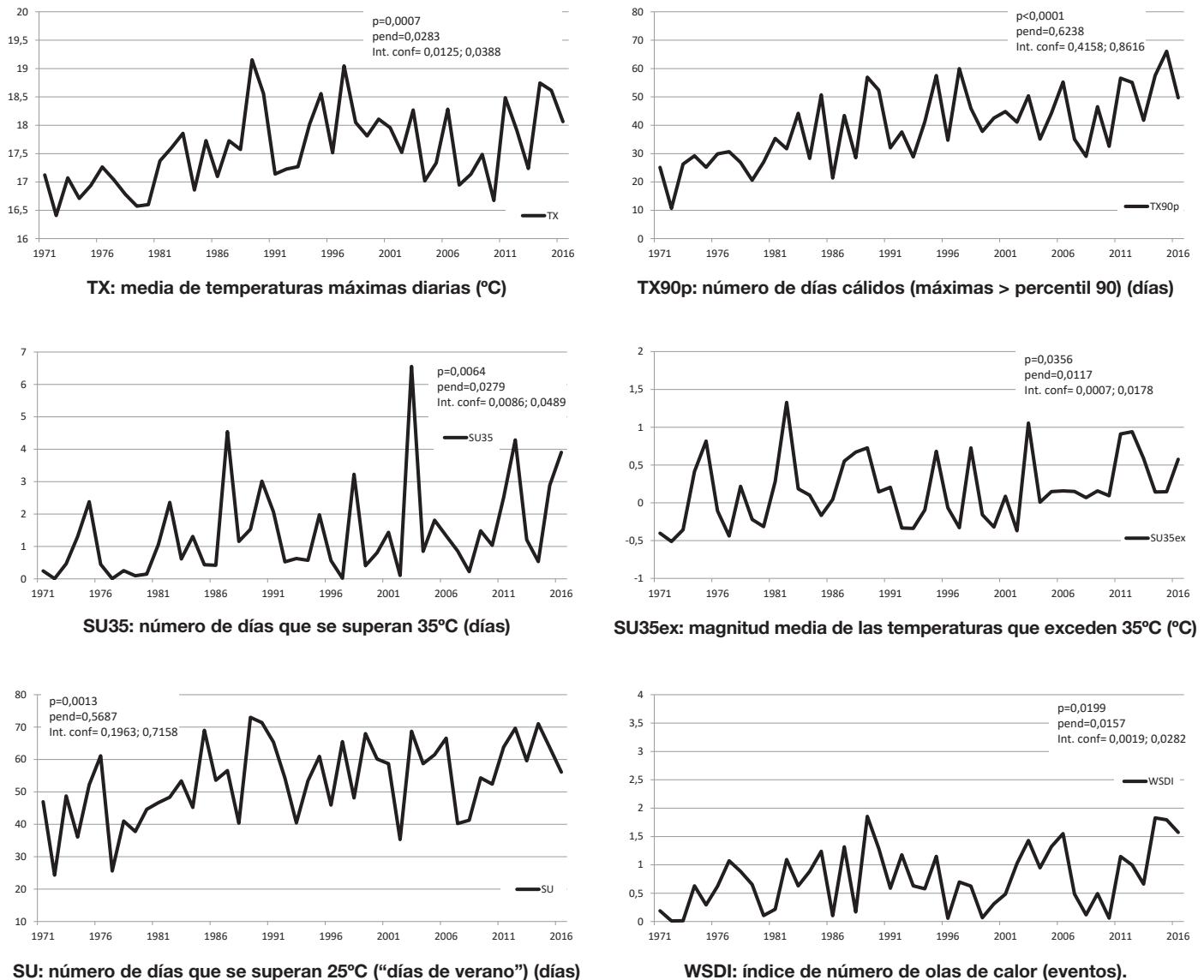


Figura 11. Evolución estadísticamente significativa (p -value < 0.05) de indicadores obtenidos a partir de temperaturas máximas, para el conjunto de la CAPV y el periodo 1971-2016. Se muestran el valor P del test de Mann Kendall (P), la pendiente de sen (Pen) así como el intervalo de confianza ($Int. Conf.$).

2.2. Proyecciones 2011-2100 para la CAPV bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 derivados de la precipitación y las temperaturas

En este apartado se analizan los resultados sobre la precipitación, las temperaturas, así como sobre algunos de los indicadores derivados de estas variables básicas que se proyectan, bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5, una

vez realizadas transformaciones para su regionalización o *downscaling* (hasta 1km*1km aproximadamente) y para la corrección de los sesgos de las simulaciones.

En ocasiones se muestran las medias y desviaciones multi-modelo de las climatologías estacionales futuras (periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100), ya que la utilización de varias simulaciones (GCM/RCM) permite obtener tanto las climatologías medias proyectadas para los diferentes periodos futuros como sus incertidumbres dadas por la desviación estándar del ensemble definido por las simulaciones.

2.2.1. Proyecciones 2011-2100: indicadores relacionados con precipitaciones

El cambio proyectado para la precipitación anual acumulada (PRCPTOT) sería muy leve hasta el último periodo. Habría un descenso muy leve que apenas es apreciable en las climatologías (Figura 12).

Sin embargo, si representamos el porcentaje de cambio (Figura 13), se observa que el cambio promedio sería inferior al 5%, salvo en el último periodo que oscilaría entre el 5% y el 20%, dependiendo del escenario. El patrón en la CAPV sería, más o menos, común en todos los periodos y escenarios con la región norte y sur sufriendo cambios menores que el resto, y con porcentajes de cambio mayores en la franja central.

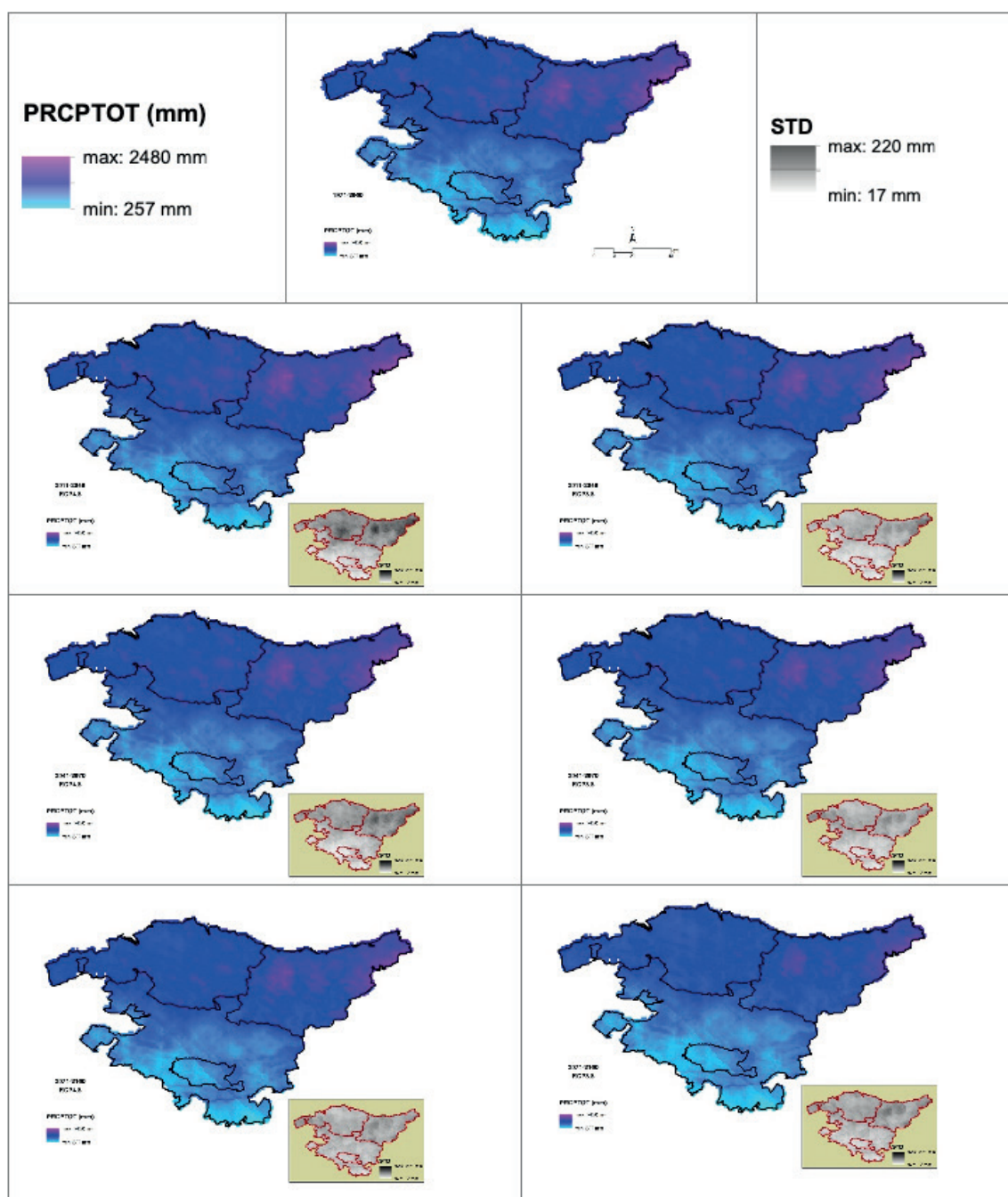


Figura 12. Precipitación anual: climatologías proyectadas por los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

En la Figura 14 se observa un incremento del máximo del número de días secos consecutivos (CDD) a medida que avanza el siglo XXI y, en mayor grado, en el escenario RCP8.5. Por el contrario, en la Figura 15, se aprecia el descenso del máximo del número de días de lluvia consecutivos (CWD). Además, en estas figuras se observa que

existe un gradiente en sentido noreste, con mayores valores de CDD hacia la comarca de Errioxa Arabarra y con mayores valores de CWD hacia la comarca de Bidasoa Beherea; este gradiente se mantiene en los tres periodos y en ambos escenarios.

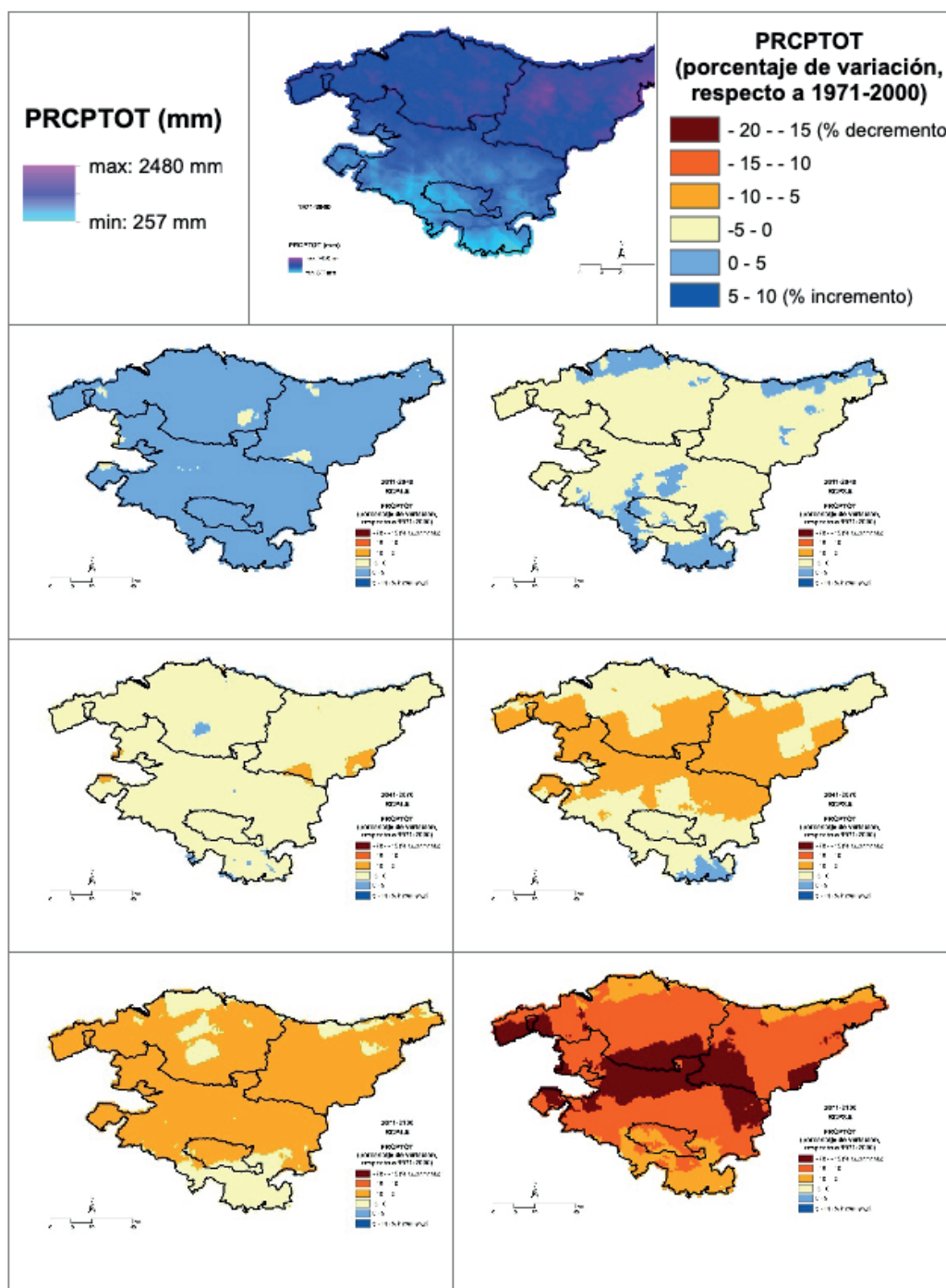


Figura 13. Deltas para la precipitación anual, expresadas como porcentaje de variación respecto a 1971-2000: proyecciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

Los descrito mediante mapas sobre los indicadores PRCP-TOT, CDD y CWD se muestra de forma más cuantitativa en la Figura 16 y Figura 17. En estas figuras se incorporan otros indicadores derivados de la precipitación (RR1, R10, R20, SDII). En la Figura 16 se presenta a modo de gráficos “spread” o “plumas”, para cada indicador y año por año,

la evolución del promedio espacial sobre toda la CAPV, incluyendo el periodo histórico (1971-2016) y el periodo simulado por todo el ensemble o conjunto de simulaciones (2011-2100). En la Figura 17 se presentan de forma sintética esos mismos datos por periodos de 30 años (1971-2000; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100).

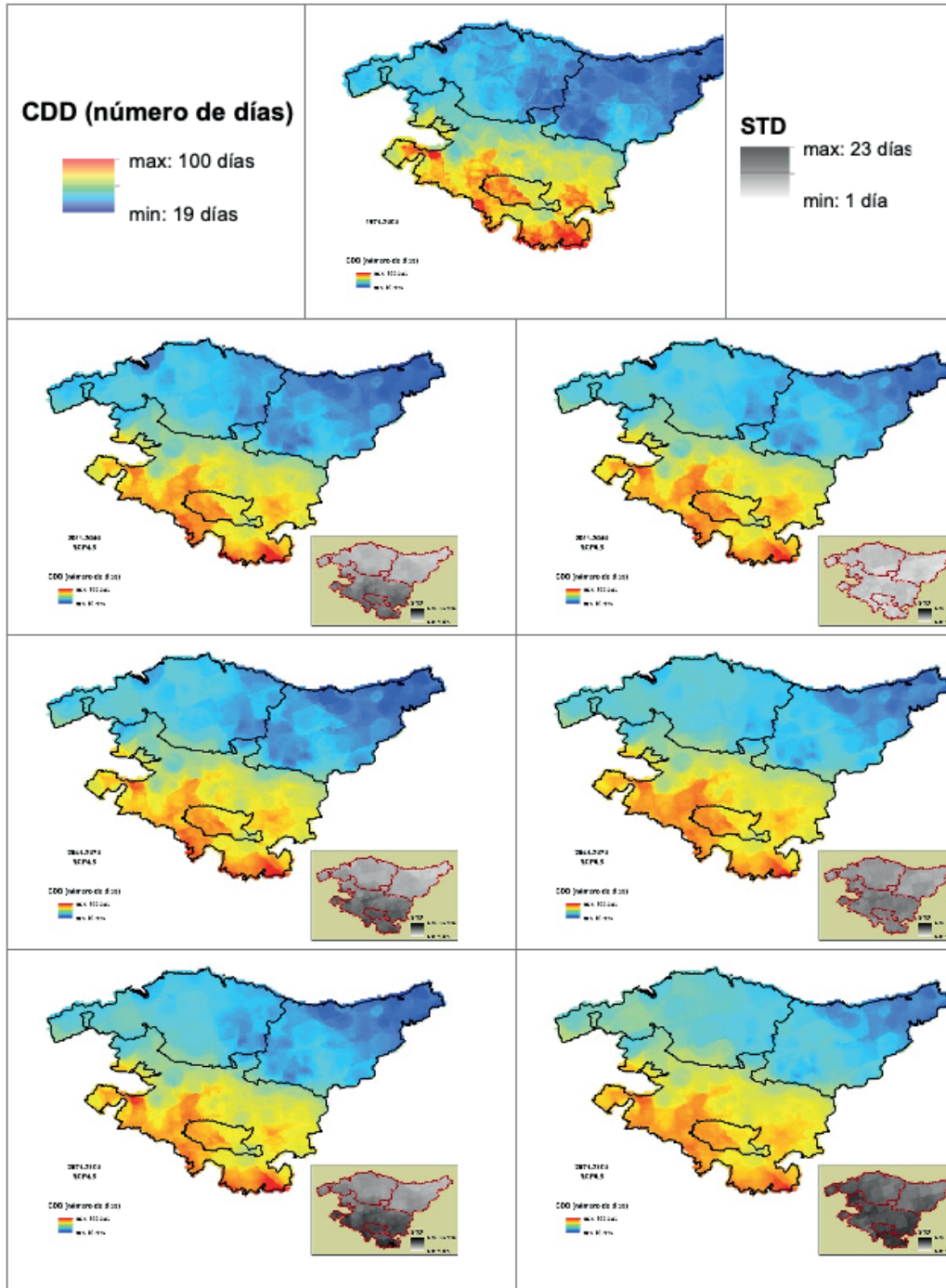


Figura 14. Índice de días secos consecutivos (CDD): climatologías proyectadas por los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

En el futuro podría esperarse un descenso del número de días húmedos (RR1, días con precipitación ≥ 1 mm) a medida que avanza el siglo XXI y más acusado en el escenario RCP8.5; y quizá también una reducción del número de días con precipitaciones fuertes (R10, días con precipitación ≥ 10 mm). Por otro lado, no parece haber una

tendencia clara en el número de días con precipitaciones muy fuertes (R20, días con precipitación ≥ 20 mm), ni en la intensidad diaria (SDII, precipitación por cada día húmedo) (Figura 16 y Figura 17).

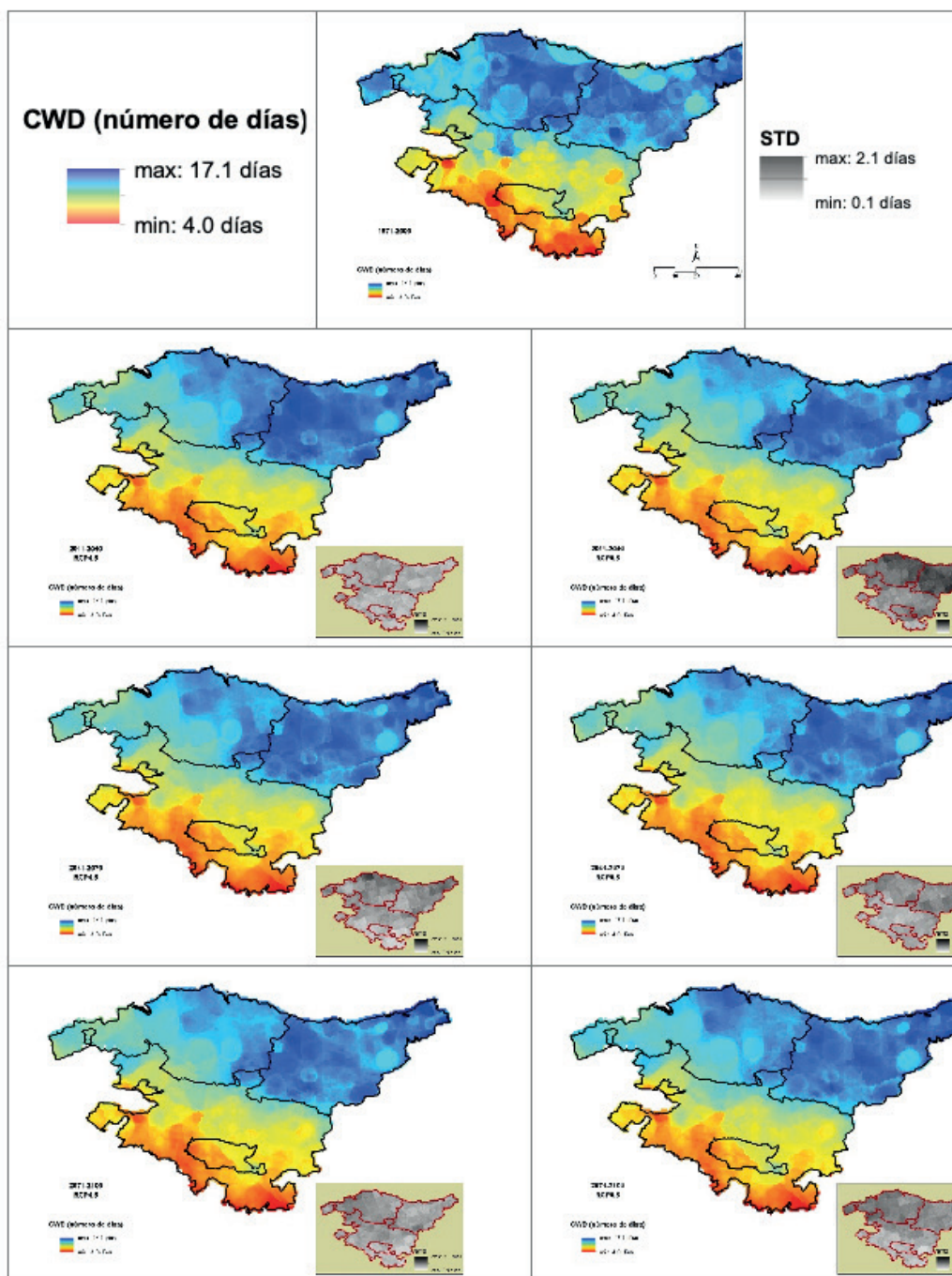
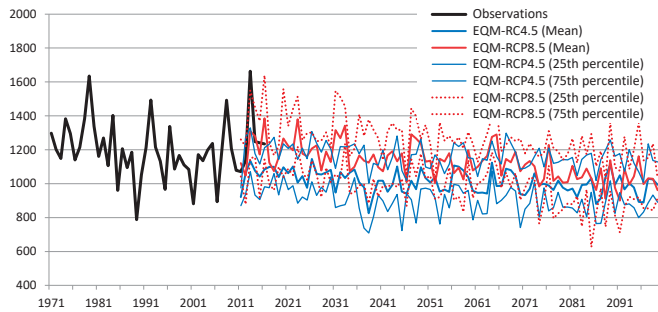


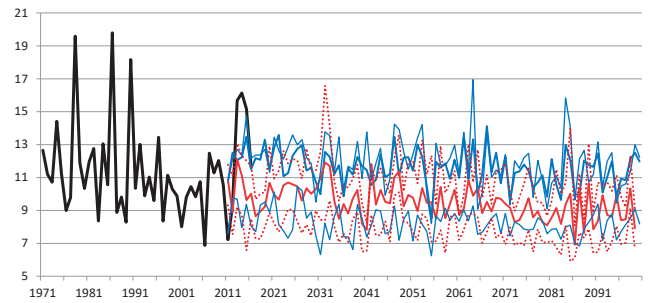
Figura 15. Índice de días de lluvia consecutivos (CWD): climatologías proyectadas por los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

En resumen, cabría esperar un descenso de la precipitación anual acumulada, mayor según se acerca el final de siglo y bajo el escenario RCP8.5, con intervalos mayores de días secos consecutivos entre los eventos de precipita-

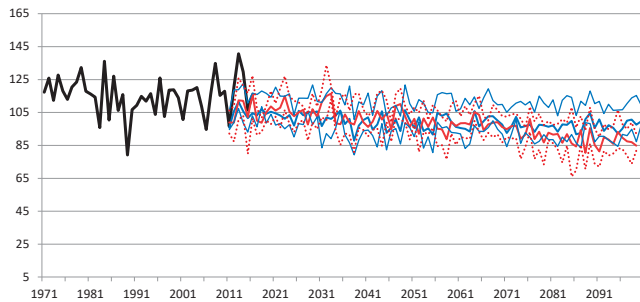
ción (CDD) e intervalos menores de días de lluvia consecutivos (CWD) y una reducción del número de días húmedos (RR1), pero sin una tendencia muy acusada en la intensidad de las precipitaciones diarias.



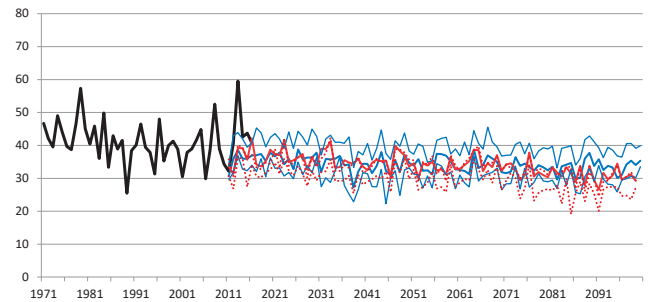
PRCPTOT: Precipitación anual acumulada de días húmedos ($RR \geq 1$ mm) (mm)



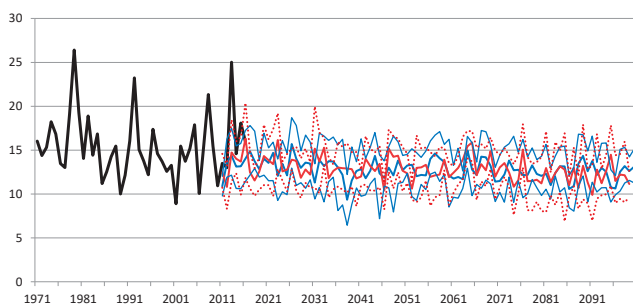
CWD: Número máximo de días húmedos consecutivos (días)



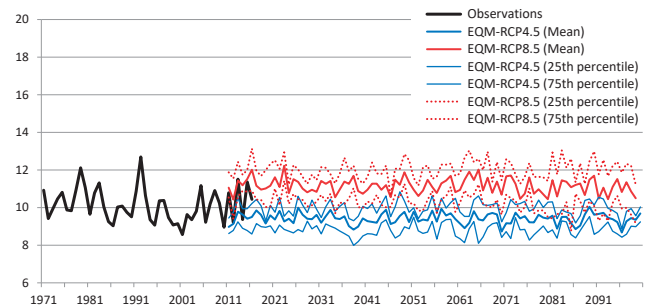
RR1: Número de días húmedos ($RR \geq 1$ mm) (días)



R10: Número de días con precipitaciones fuertes (precipitación ≥ 10 mm) (días)

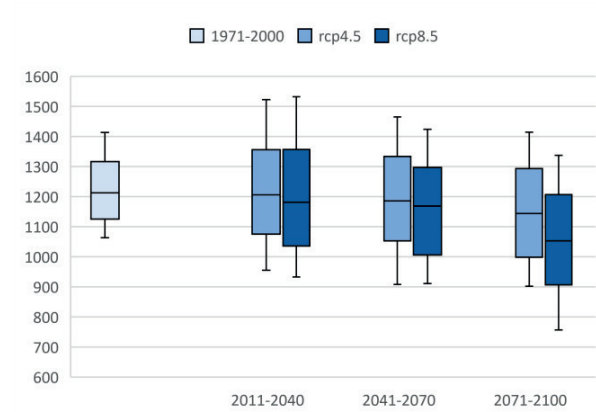


R20: Número de días con precipitaciones muy fuertes (precipitación ≥ 20 mm) (días)

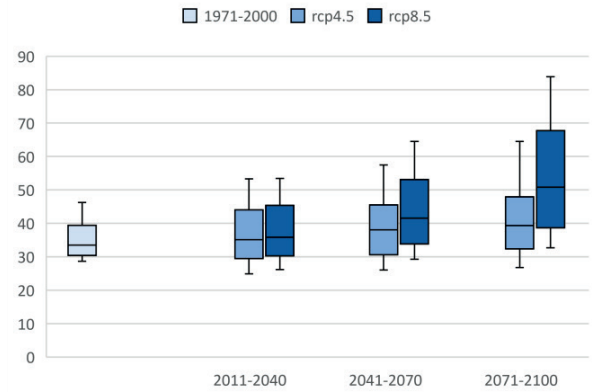


SDII: Índice de intensidad diaria simple (mm/día húmedo)

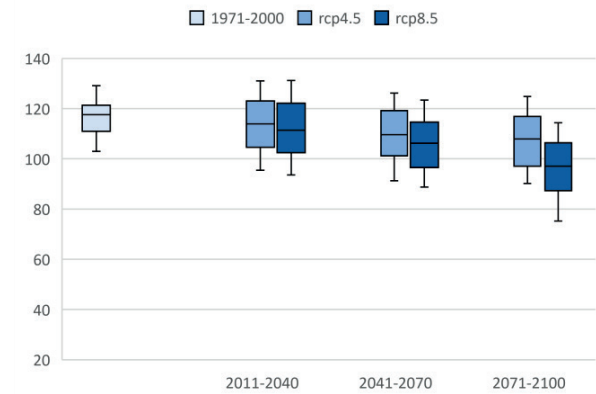
Figura 16. Evolución anual, para la CAPV en su conjunto, de indicadores derivados de la precipitación en el periodo histórico (1971-2016) y su proyección hasta 2100 (simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo eqm bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5). Se presentan: media, percentil 25 y percentil 75 de cada escenario.



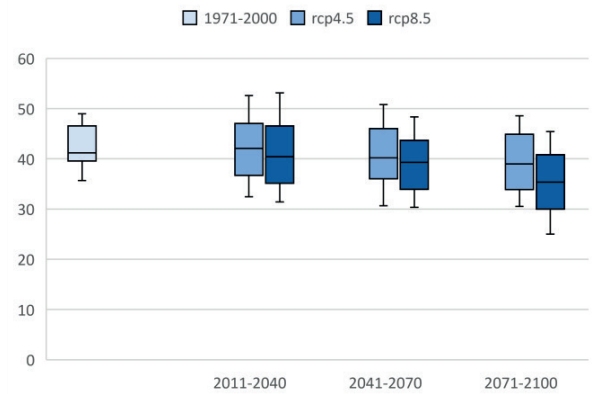
PRCPTOT: Precipitación anual acumulada de días húmedos ($RR \geq 1$ mm) (mm)



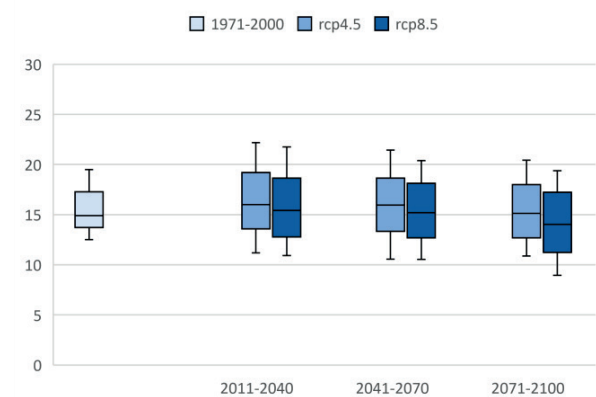
CDD: Máximo del número de días secos consecutivos ($RR < 1$ mm) (días)



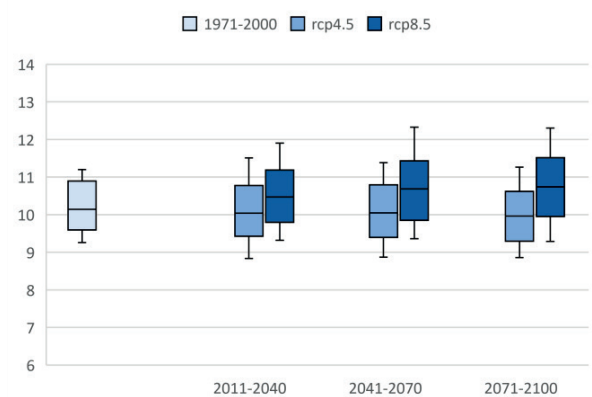
RR1: Número de días húmedos ($RR \geq 1$ mm) (días)



R10: Número de días con precipitaciones fuertes (precipitación ≥ 10 mm) (días)



R20: Número de días con precipitaciones muy fuertes (precipitación ≥ 20 mm) (días)



SDII: Índice de intensidad diaria simple (mm/día húmedo)

Figura 17. Valores, para el conjunto de la CAPV, de indicadores anuales derivados de la precipitación para series de 30 años (1971-2000; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100): promedio y percentiles 10, 25, 75 y 90. Las series proyectadas (2011-2040; 2041-2070; 2071-2100) corresponden a simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo eqm bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

2.2.2. Proyecciones 2011-2100: indicadores relacionados con temperaturas mínimas

La Figura 18 reflejaría una clara tendencia positiva de la temperatura mínima diaria a lo largo de todo el periodo de estudio. Tanto en las climatologías (Figura 18) como en

las señales de cambio (Figura 19) se ve cómo la anomalía crecería respecto a la climatología presente (1971-2000) a medida que avanza el siglo XXI. El cambio sería más acusado para el escenario RCP8.5 y el final de siglo (2071-2100); a su vez la incertidumbre -representada por la desviación estándar del conjunto de simulaciones- incrementaría también en este mismo sentido.

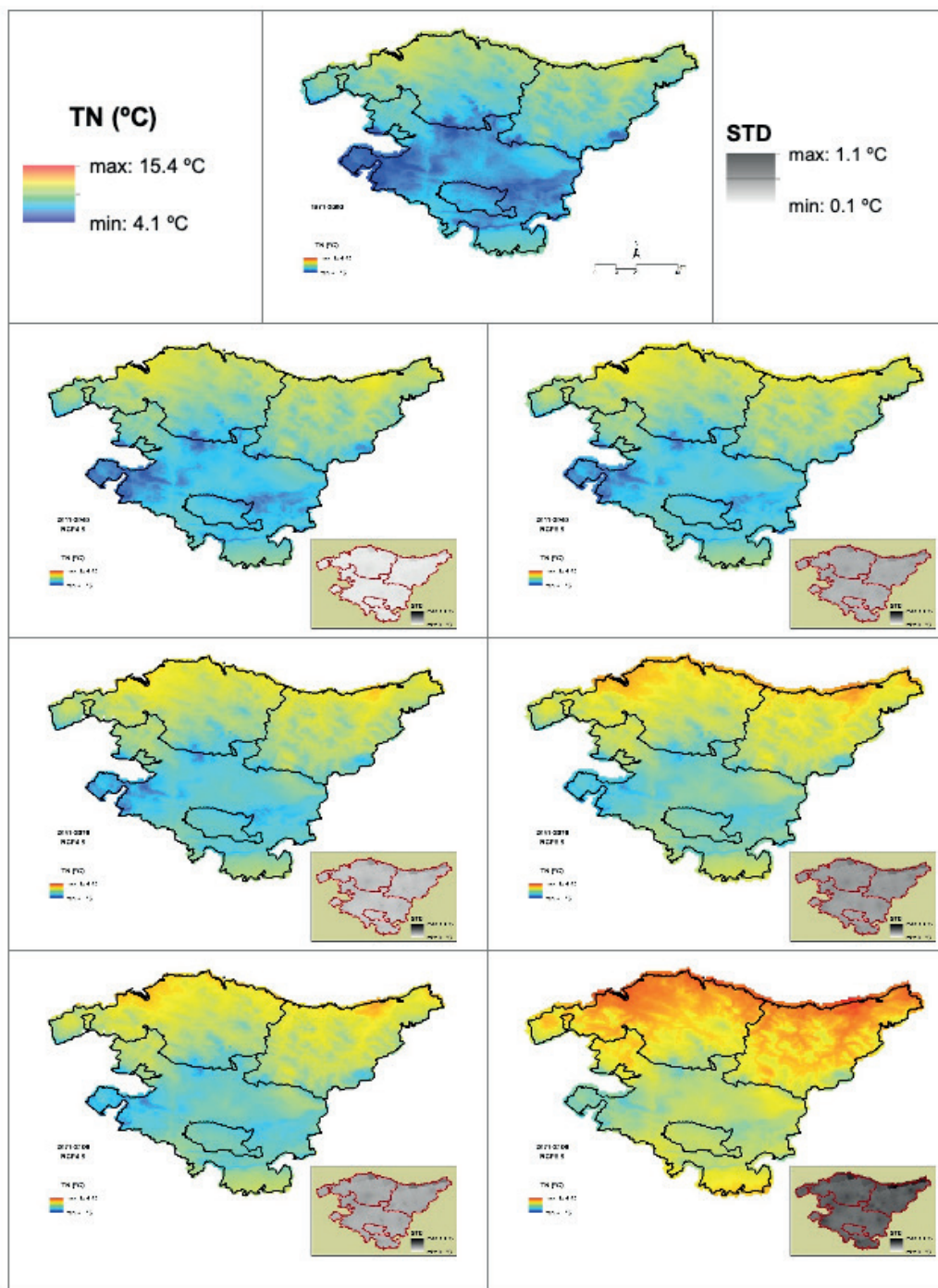


Figura 18. Temperatura mínima: climatologías proyectadas por los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

El patrón espacial de incremento de la temperatura mínima diaria sería bastante homogéneo en todo el territorio de la CAPV, sobre todo, bajo el escenario RCP4.5 (Figura 19); bajo el escenario RCP8.5, parece que podría haber zonas

con ligeramente menor incremento de las temperaturas mínimas (Enkartzioak, Gorbeialdea, Añana, Durangaldea, Urola Kosta).

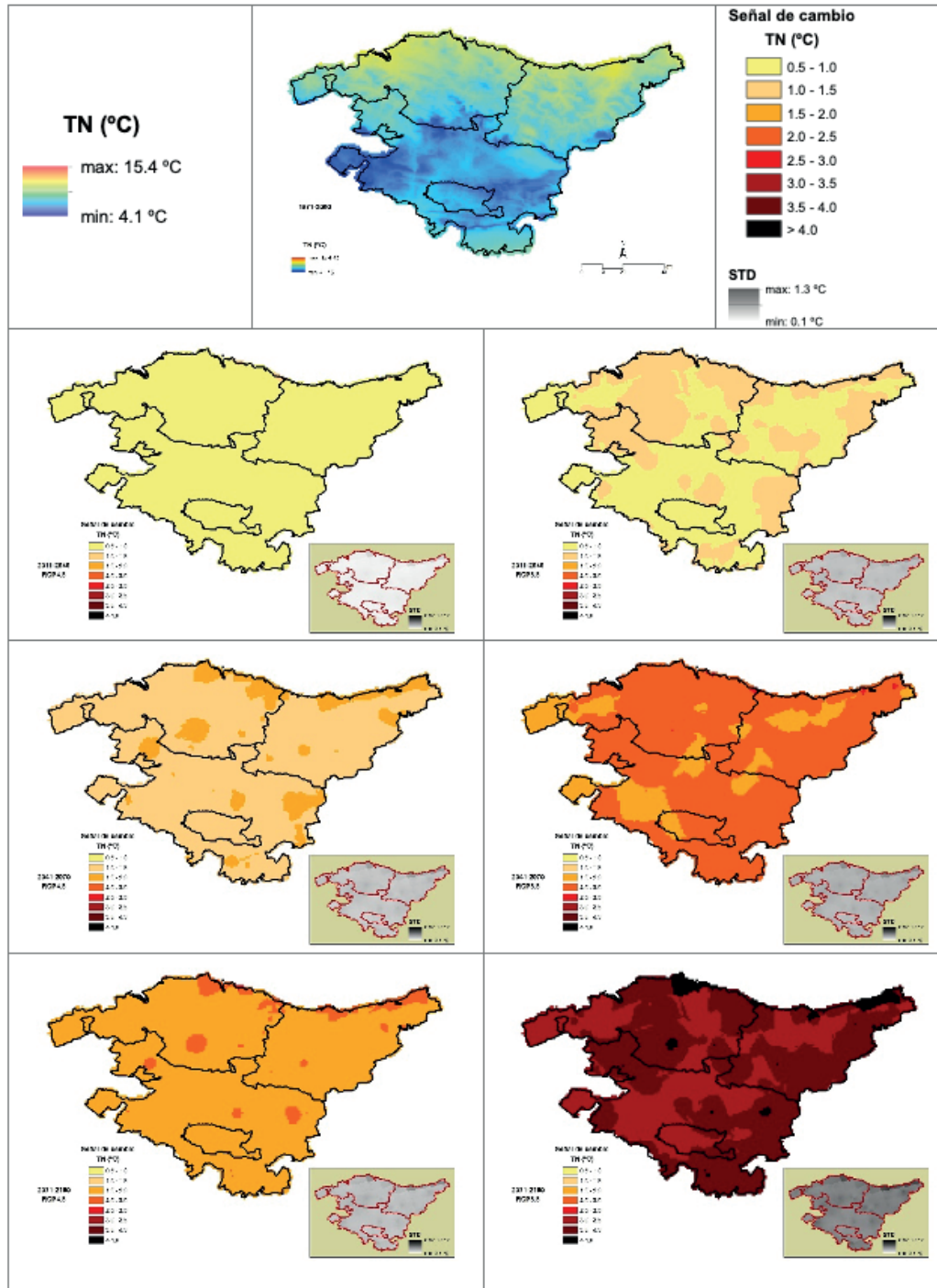
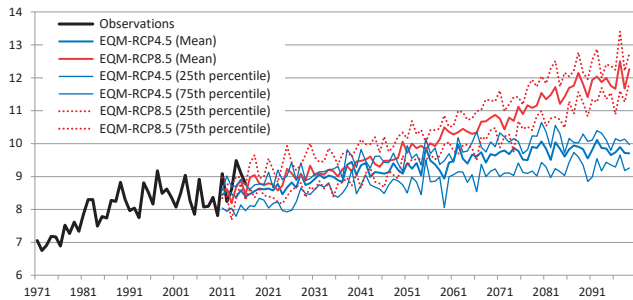


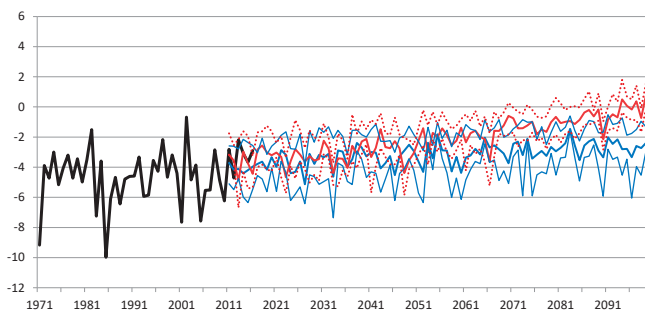
Figura 19. Deltas para la temperatura mínima: proyecciones de los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

En la Figura 20 y la Figura 21, se observa que a lo largo del siglo XXI existiría en la CAPV una tendencia hacia el ascenso, no solamente de la temperatura mínima diaria, sino también de diversos indicadores asociados a la misma, como la mínima y la máxima de las temperaturas mínimas (TNn y TNx, respectivamente) y las noches tropicales o días en los cuales la mínima no baja de los 20°C (TR). De-

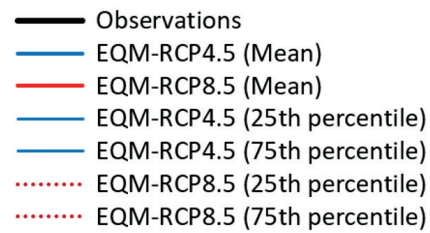
bido al incremento de las temperaturas mínimas, el número de días en los que la temperatura bajaría de los 0°C, es decir, los días de helada (FD) serían cada vez más escasos a lo largo del periodo de estudio. Estas tendencias son más acusadas bajo el escenario RCP8.5 y también bajo este escenario presentan, en general, mayor incertidumbre en particular a finales de siglo.



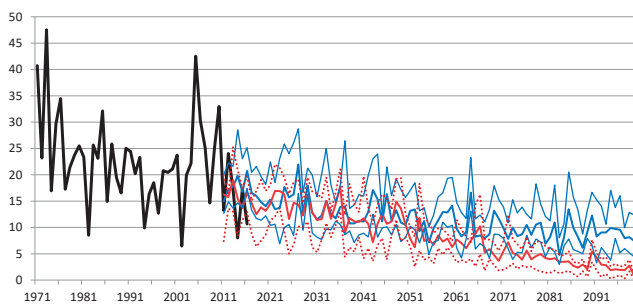
TN: media de temperaturas mínimas diarias (°C)



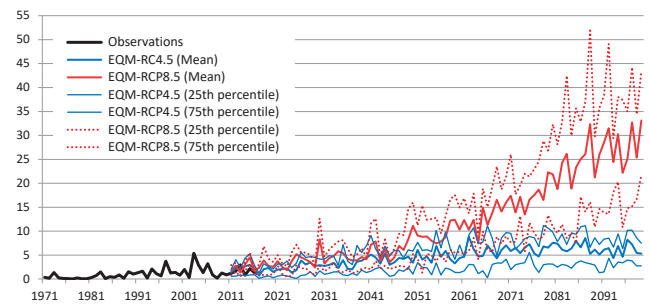
TNn: Mínimo de las temperaturas mínimas diarias (°C)



TNx: Máximo de las temperaturas mínimas diarias (°C)



FD: Número de días de helada (TN < 0°C) (días)



TR: Número de noches tropicales (TN > 20°C) (días)

Figura 20. Evolución anual, para la CAPV en su conjunto, de indicadores derivados de la temperatura mínima en el periodo histórico (1971-2016) y su proyección hasta 2100 (simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5). Se presentan: media, percentil 25 y percentil 75 de cada escenario.

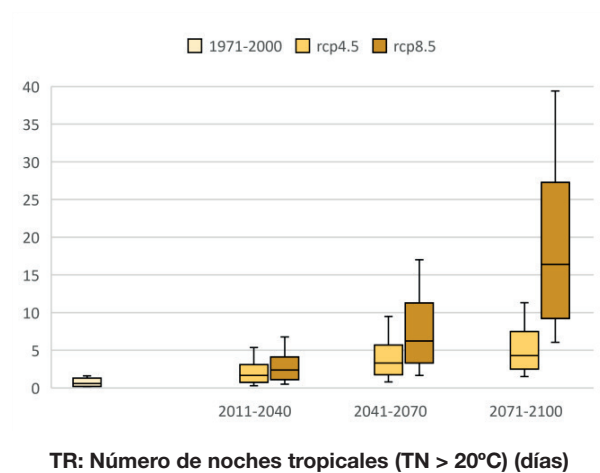
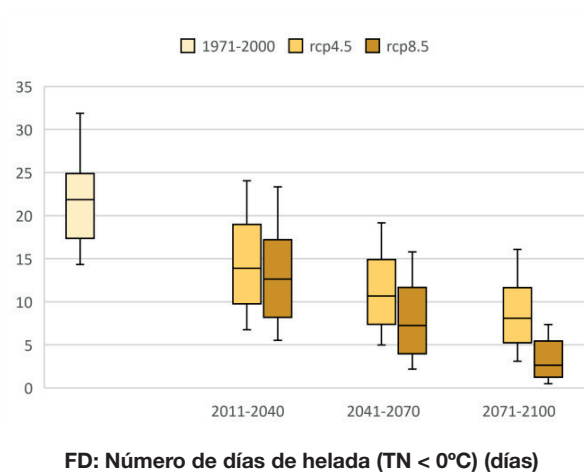
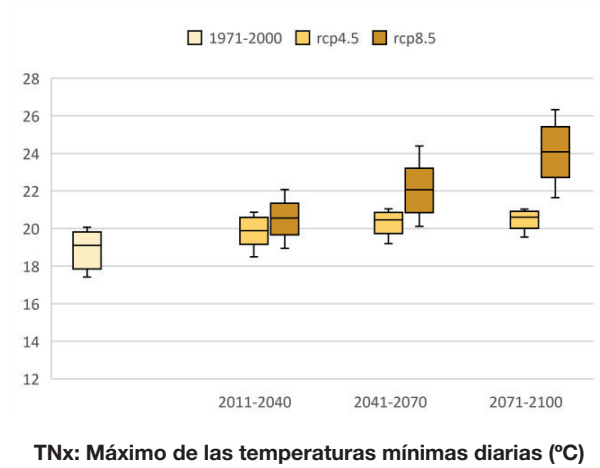
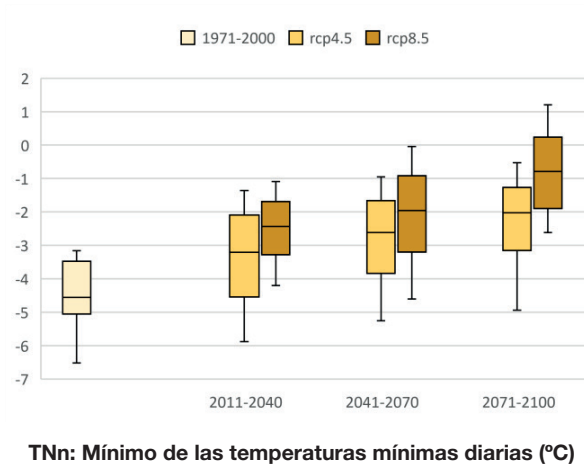
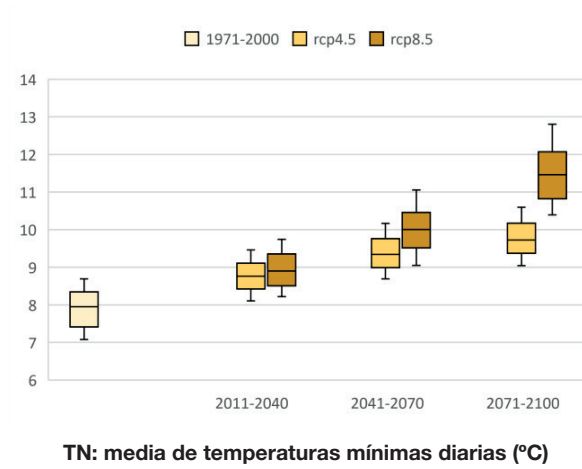


Figura 21. Valores, para el conjunto de la CAPV, de indicadores anuales derivados de la temperatura mínima para series de 30 años (1971-2000; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100): promedio y percentiles 10, 25, 75 y 90. Las series proyectadas (2011-2040; 2041-2070; 2071-2100) corresponden a simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo eqm bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

2.2.3. Proyecciones 2011-2100: indicadores relacionados con temperaturas máximas

Como puede apreciarse en la Figura 22 y la Figura 23, los modelos predicen un incremento de las temperaturas máximas diarias respecto al periodo actual (1971-2000),

que sería más acentuado bajo el escenario RCP8.5 y según avanza en siglo.

El patrón espacial de este incremento de la temperatura máxima diaria (Figura 23) sería más acentuado en determinadas zonas costeras y en Araba, sobre todo, en su franja sureste.

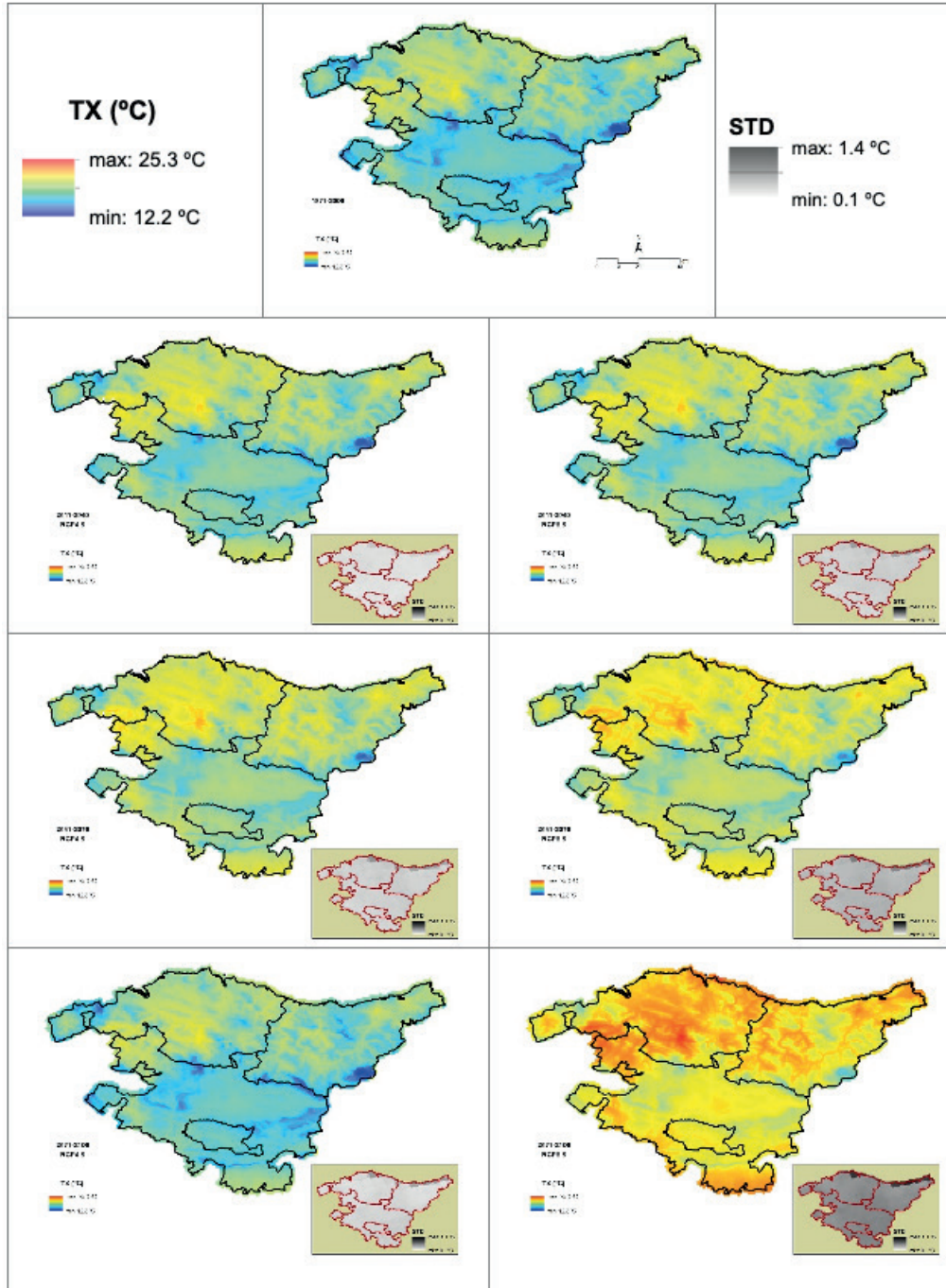


Figura 22. Temperatura máxima: climatologías proyectadas por los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

El análisis de los indicadores derivados de las temperaturas máximas también presenta la misma tendencia al aumento de las temperaturas máximas diarias. En la Figura 24 y Figura 25 se representan gráficamente algunos de estos indicadores. Se observa que incrementarían los valores mínimos y máximos de las temperaturas máximas

diarias (TXn y TXx), pero en mayor grado las máximas (TXx); también el número de días de verano (SU), el número de días al año en los que superaría el umbral de los 35 °C (SU35) y el número de días cálidos (TX90p) tenderían a aumentar, y se esperarían olas de calor de mayor duración (HWF).

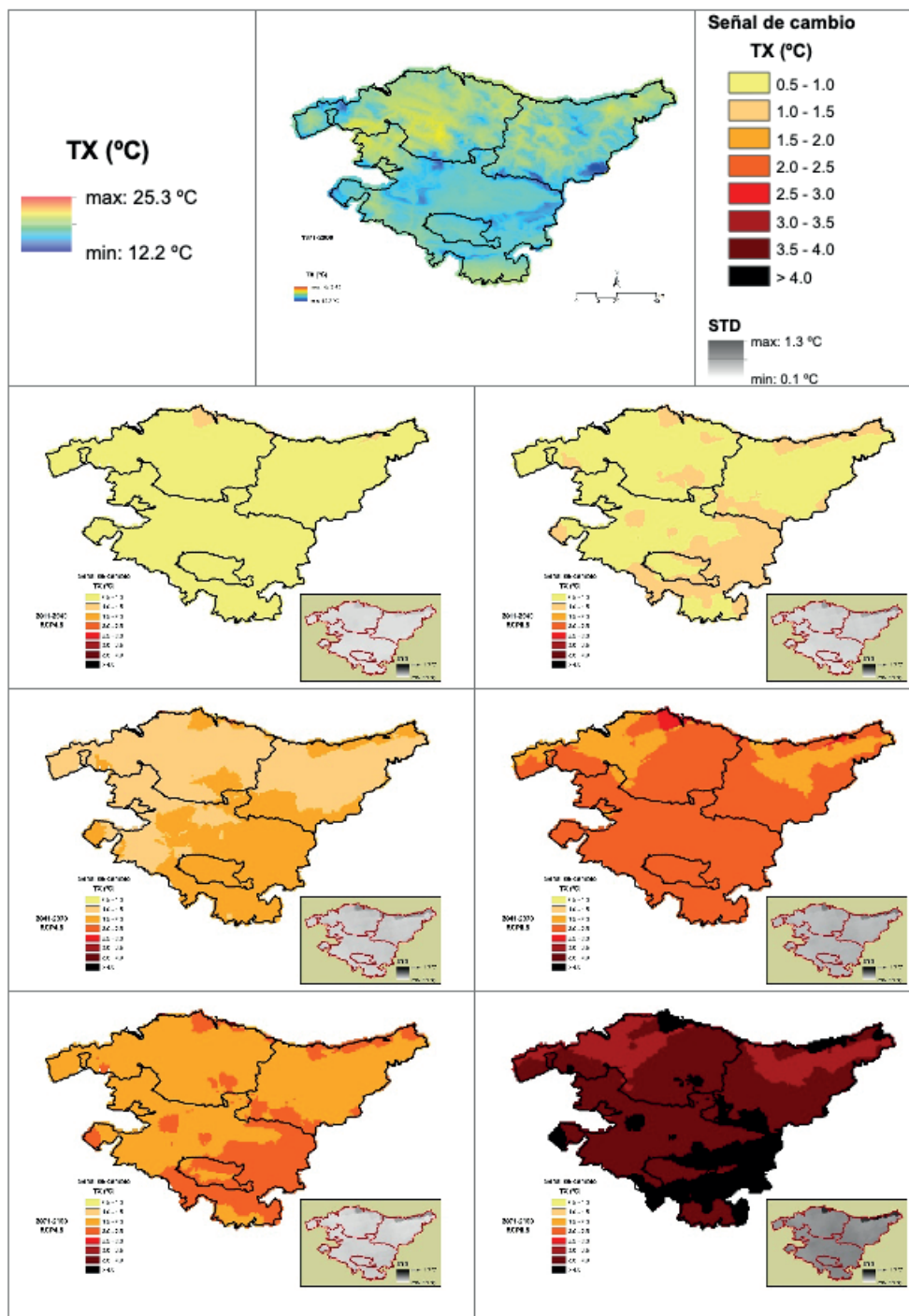


Figura 23. Deltas para la temperatura máxima: proyecciones de los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo eqm bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

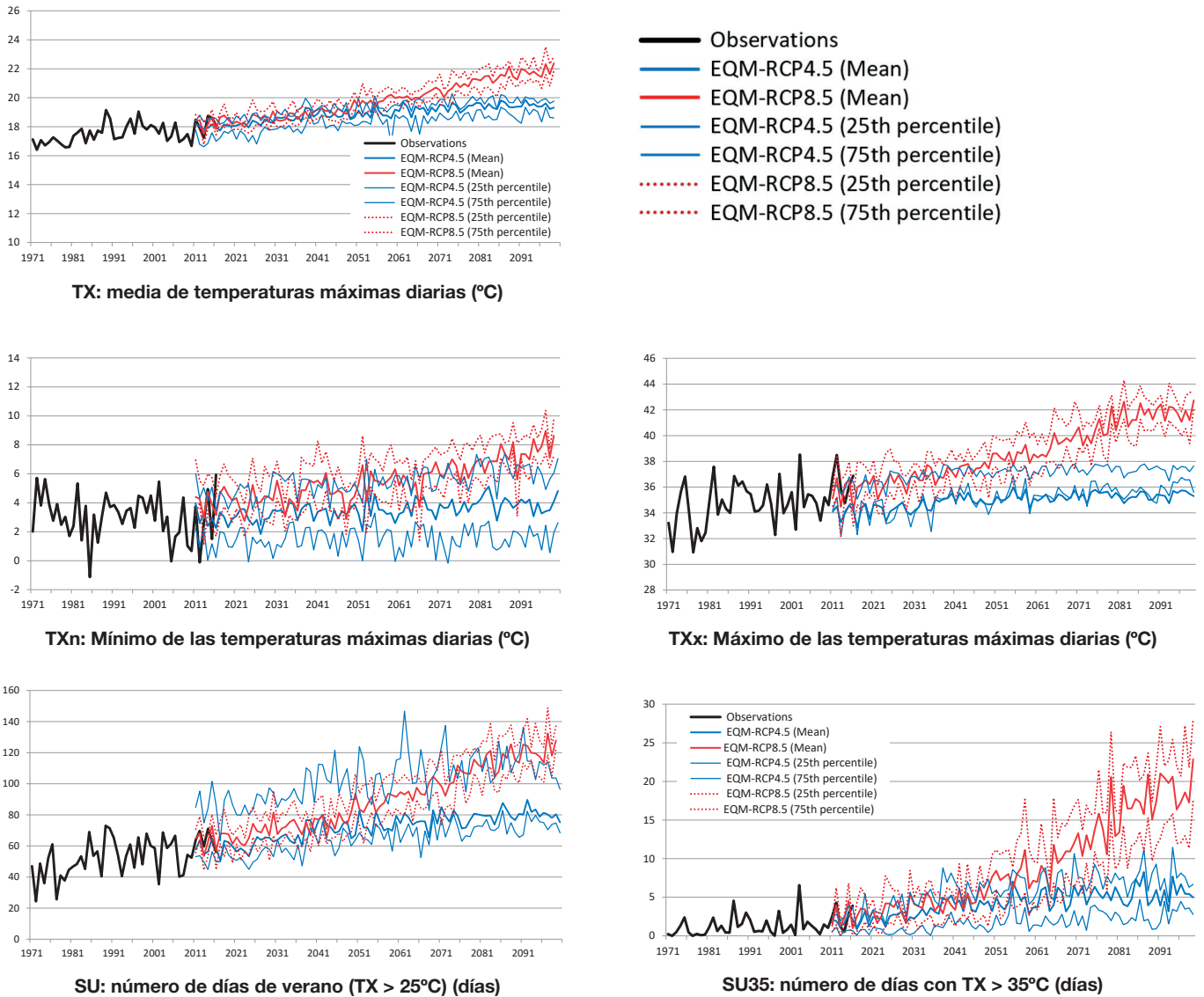


Figura 24. Evolución anual, para la CAPV en su conjunto, de indicadores derivados de la temperatura máxima en el periodo histórico (1971-2016) y su proyección hasta 2100 (simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 Y RCP8.5). Se presentan: media, percentil 25 y percentil 75 de cada escenario.

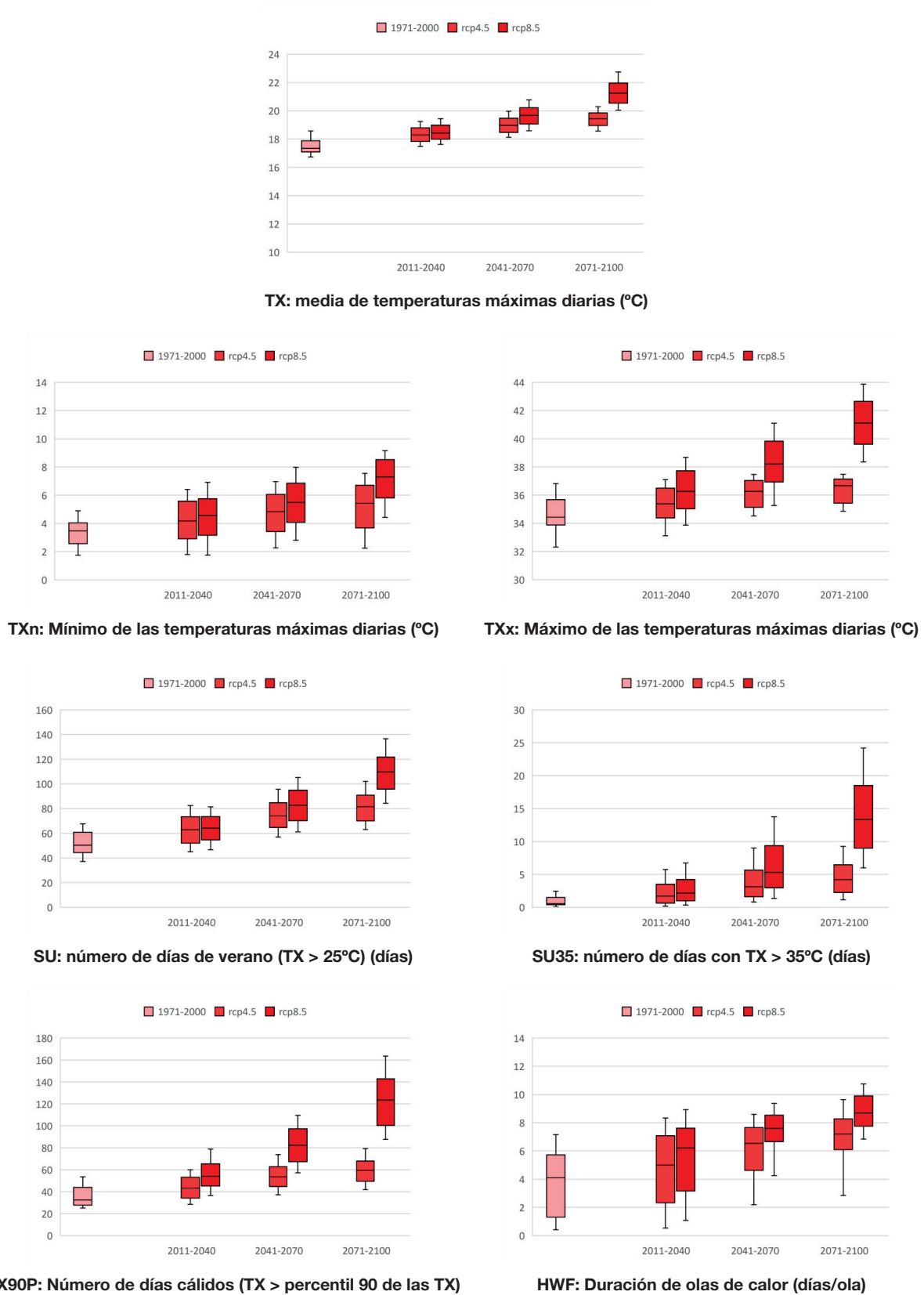


Figura 25. Valores, para el conjunto de la CAPV, de indicadores anuales derivados de la temperatura máxima para series de 30 años (1971-2000; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100): promedio y percentiles 10, 25, 75 y 90. Las series proyectadas (2011-2040; 2041-2070; 2071-2100) corresponden a simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo eqm bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

2.2.4. Proyecciones 2011-2100: indicadores relacionados con temperaturas medias

Lo ya expresado para las temperaturas mínimas diarias y máximas diarias, se repite para las temperaturas medias

diarias. Los modelos prevén un ascenso continuado a lo largo del siglo XXI, que sería más acusado bajo el escenario RCP8.5, siendo la incertidumbre de estas proyecciones -expresada en forma de desviación estándar- mayor para el escenario RCP8.5 y según avanza el siglo (Figura 26 y Figura 27).

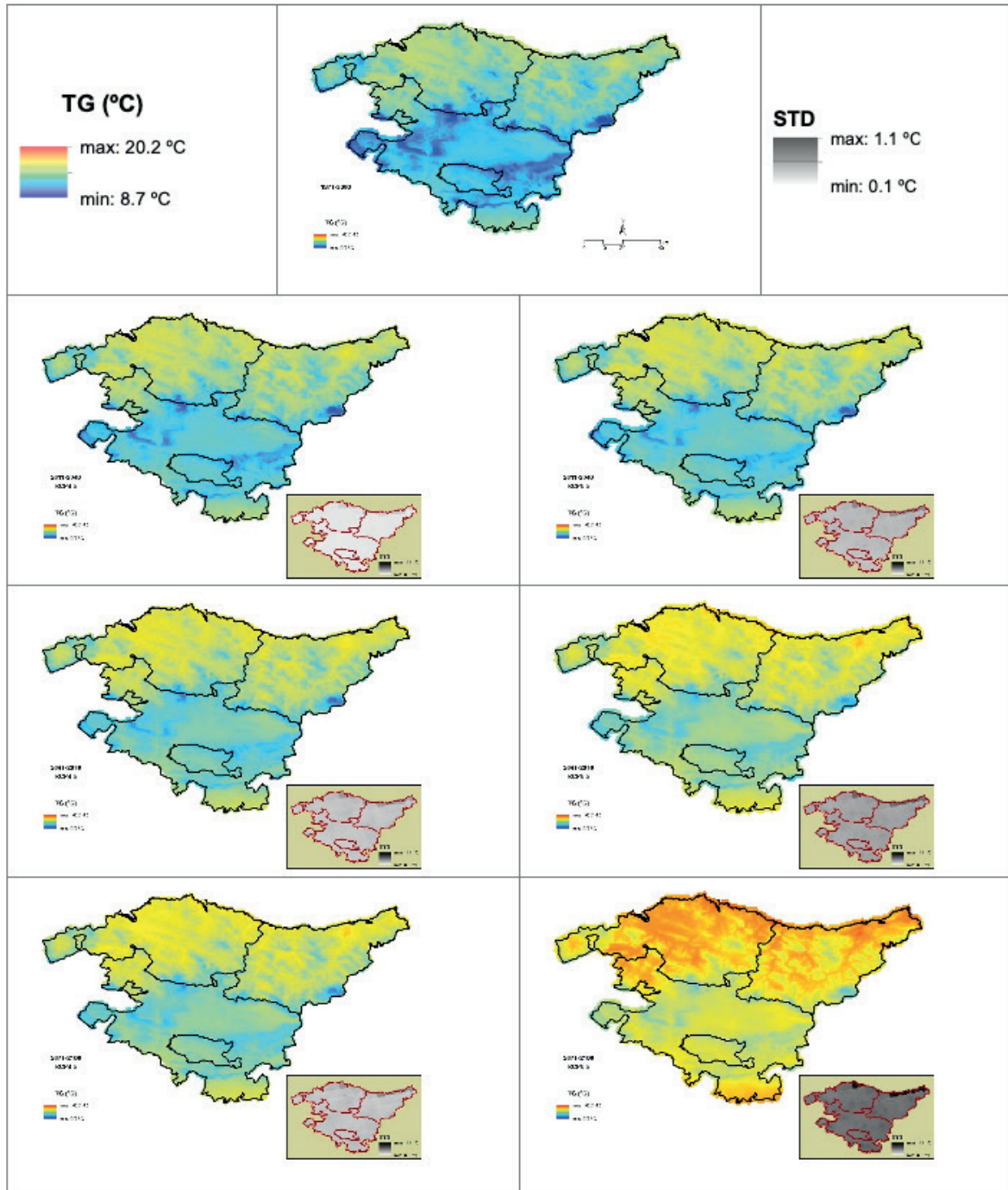


Figura 26. Temperatura media: climatologías proyectadas por los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para los tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

Este aumento de la temperatura media diaria sería espacialmente bastante homogéneo en todo el ámbito geográfico de la CAPV (Figura 27) y, bajo el escenario RCP4.5 alcanzaría 1,5-2,0 °C de incremento respecto al periodo actual (1971-2000) a finales de siglo (2071-2100), mientras que bajo el escenario RCP8.5 se alcanzarían los 2,0-2,5 °C de incremento ya en el periodo 2041-2070. Recorde-

mos que según el “Informe especial sobre los impactos del calentamiento global de 1.5 °C con respecto a los niveles preindustriales” (Informe especial del IPCC, 2018), deberíamos limitar el aumento de la temperatura global a 1,5 °C, ya que habría una gran diferencia entre los impactos derivados de aumentar la temperatura 2,0 °C y los derivados de aumentarla 1,5 °C.

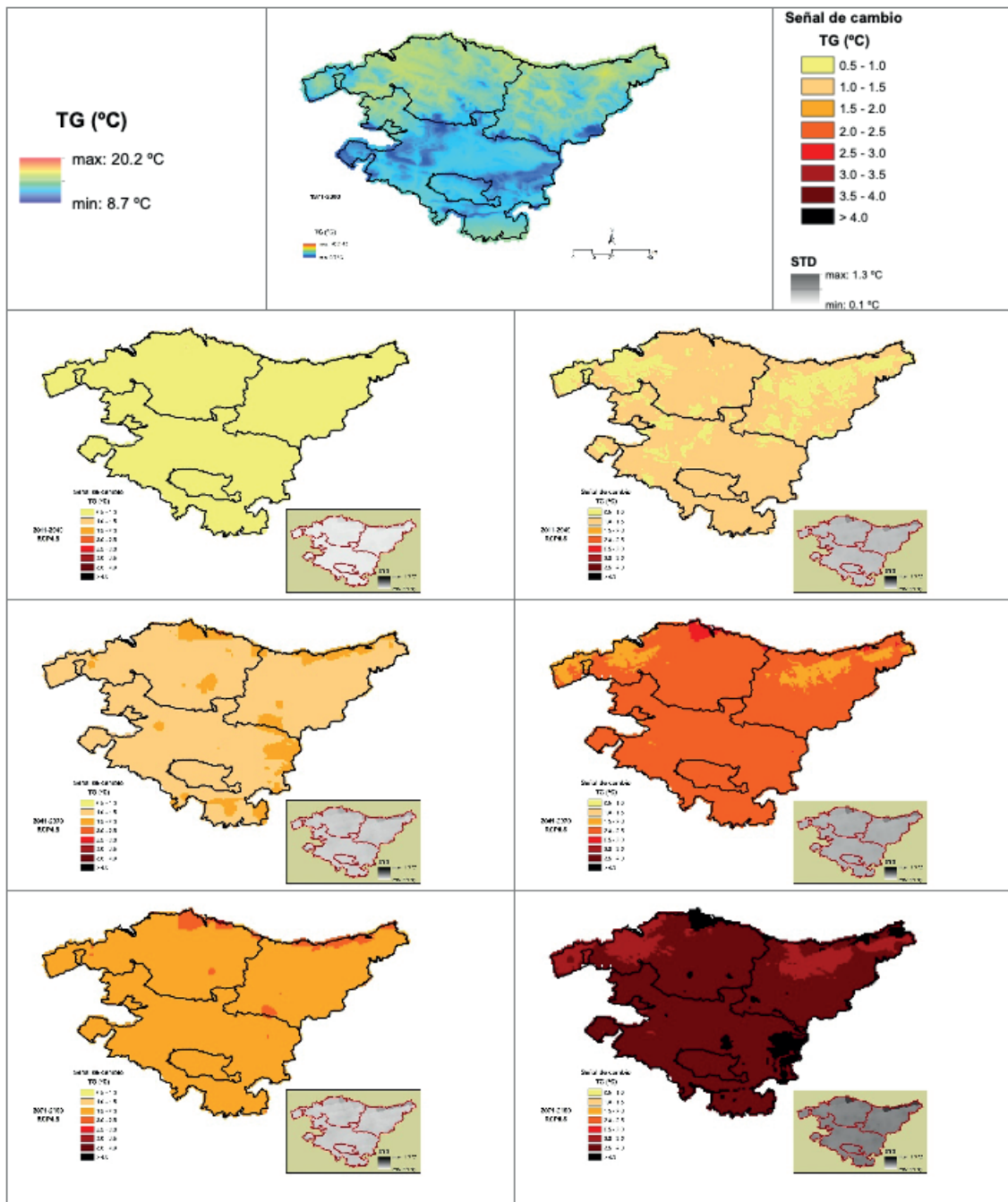


Figura 27. Deltas para la temperatura media: proyecciones de los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para los tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

Asociado al incremento en la temperatura media, cabría esperar la elongación de la duración de la estación de crecimiento (GSL), pues se esperaría un mayor número de

días con temperaturas medias moderadas, y también el aumento del número de días con utilización de aire acondicionado (COLDDD) (Figura 28 y Figura 29).

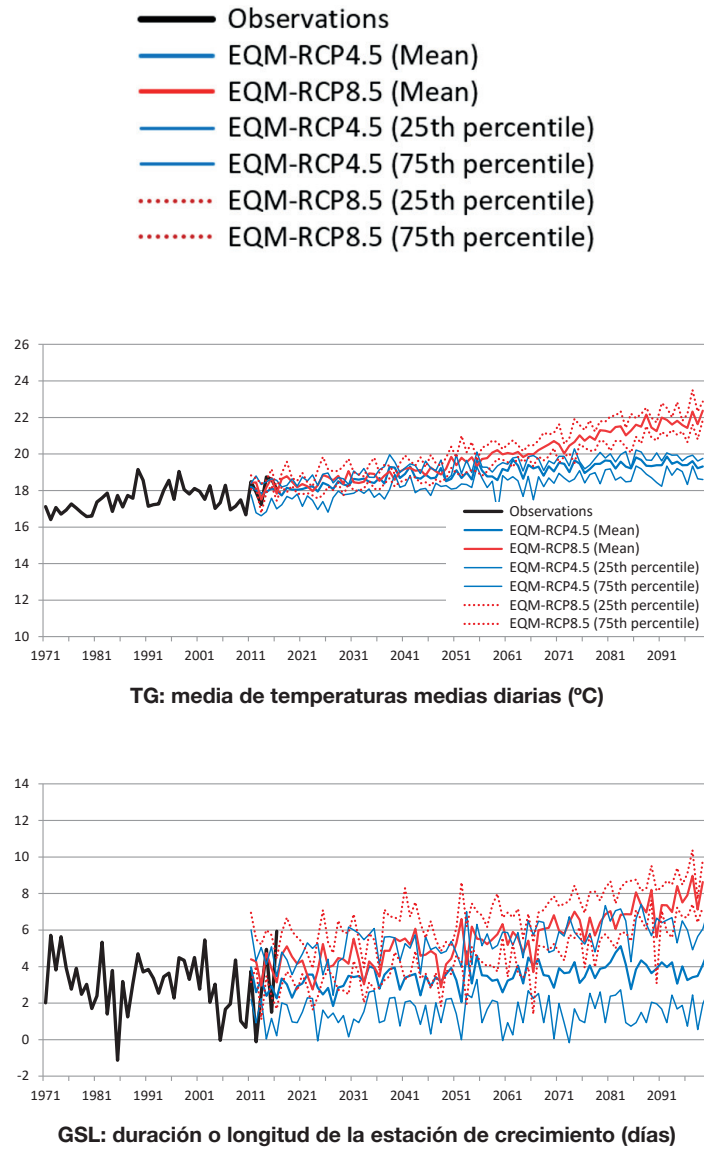
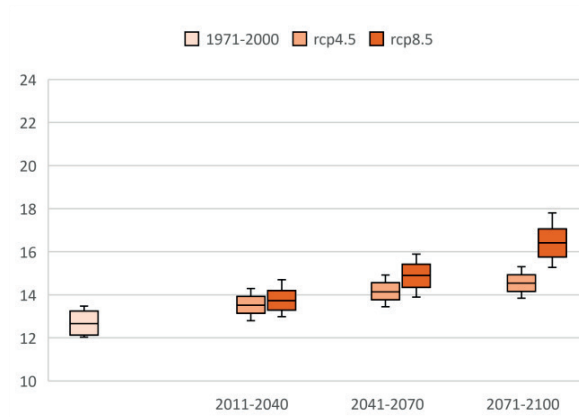
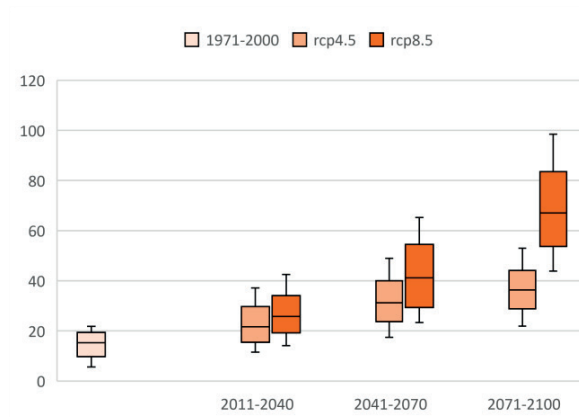


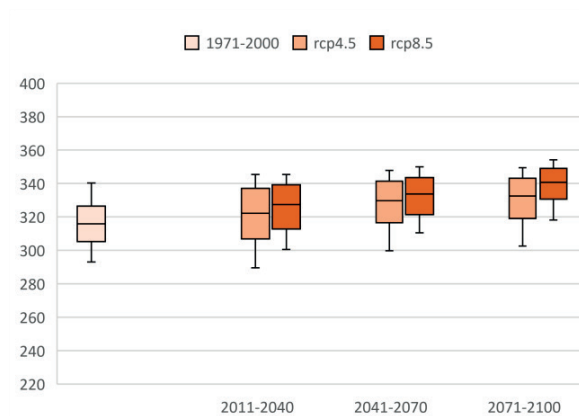
Figura 28. Evolución anual, para la CAPV en su conjunto, de indicadores derivados de la temperatura media en el periodo histórico (1971-2016) y su proyección hasta 2100 (simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5). Se presentan: media, percentil 25 y percentil 75 de cada escenario.



TG: media de temperaturas medias diarias (°C)



**COLDDD: número de días asociados al uso de aire acondicionado
(con temperaturas medias superiores a 22.0°C) (días)**



GSL: duración o longitud de la estación de crecimiento (días)

Figura 29. Valores, para el conjunto de la CAPV, de indicadores anuales derivados de la temperatura media para series de 30 años (1971-2000; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100): promedio y percentiles 10, 25, 75 y 90. Las series proyectadas (2011-2040; 2041-2070; 2071-2100) corresponden a simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

2.2.5. Proyecciones 2011-2100: evapotranspiración de referencia

La evapotranspiración de referencia (ET₀) representa el agua que se evapora y transpira en una superficie completamente cubierta con un cultivo específico en crecimiento activo y sin limitación en la disponibilidad de agua; es decir, sería algo similar a los requerimientos, bajo un clima determinado, de este cultivo estándar en condiciones óptimas.

En este estudio la ET₀ ha sido calculada a partir de las temperaturas máxima y mínima diarias que se espera que incrementen, por tanto, en términos generales también la ET₀ tendería a aumentar a lo largo del siglo y de forma más acusada bajo el RCP8.5 y a finales de siglo (Figura 30, Figura 31, Figura 32 y Figura 33).

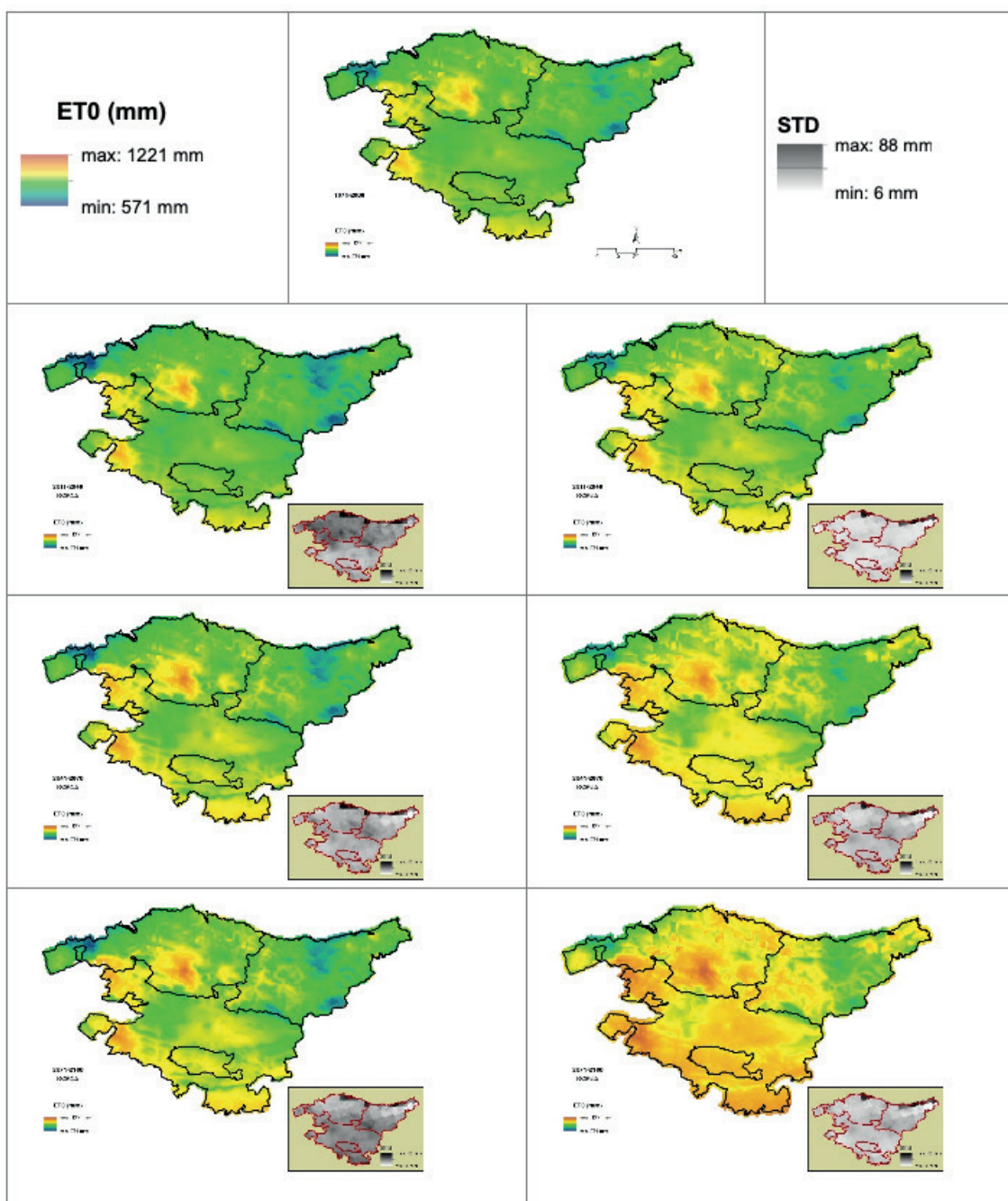


Figura 30. Evapotranspiración de referencia (et₀): climatologías proyectadas por los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

No obstante, si se atiende a las señales de cambio o deltas (Figura 31), esta tendencia general al aumento de la ET0 no se observa bajo el escenario RCP4.5 para el periodo 2011-2040, aunque sí posteriormente y con un patrón espacial creciente desde el norte hacia el sur; es decir, con mayor incremento de la ET0 en el interior y menor hacia la costa. Bajo el escenario RCP8.5, el patrón de variación espacial sería mucho más homogéneo en toda la CAPV y la tendencia al incremento mucho más clara.

El aumento de las temperaturas conllevaría, por tanto, una tendencia leve al ascenso de las necesidades de agua de la vegetación (ET0), al mismo tiempo que las precipitaciones (PRCPTOT) tenderían a disminuir ligeramente. Por lo que resultaría importante el estudio más pormenorizado (estacionalmente, mensualmente) sobre cómo se sucederían, a lo largo del año, la evapotranspiración y la precipitación, para ver si las épocas de mayor demanda de agua de cada especie vegetal coincidirían o no con las de lluvia.

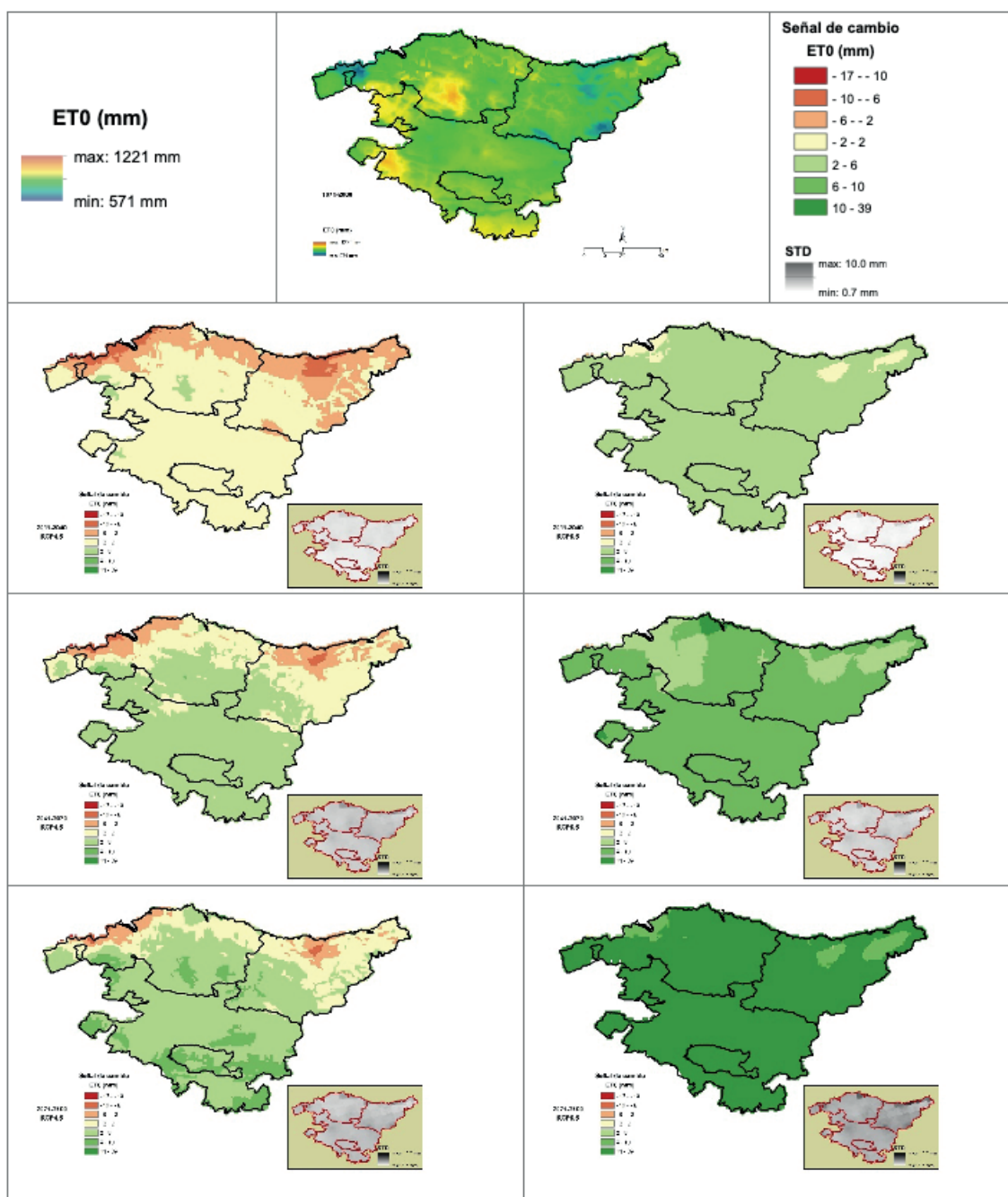


Figura 31. Deltas para la evapotranspiración de referencia: proyecciones de los GCM/RCMS de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 (Izquierda) y RCP8.5 (Derecha) para tres periodos futuros: 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100.

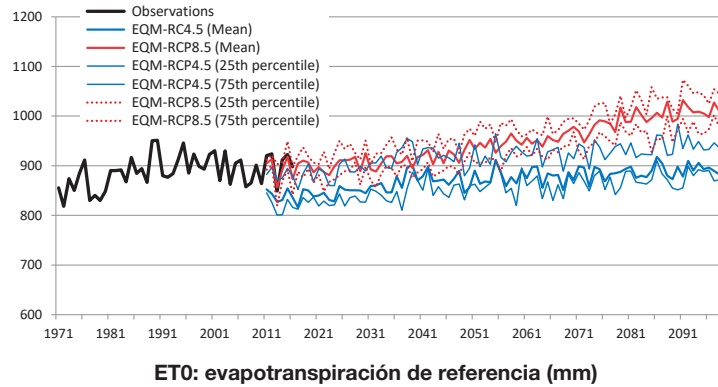


Figura 32. Evolución anual, para la CAPV en su conjunto, de indicadores derivados de la combinación de varias variables básicas en el periodo histórico (1971-2016) y su proyección hasta 2100 (simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo eqm bajo los escenarios RCP4.5 Y RCP8.5). Se presentan: media, percentil 25 y percentil 75 de cada escenario.

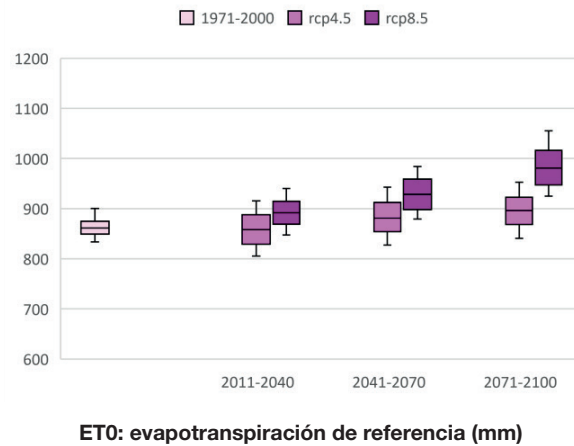


Figura 33. Valores, para el conjunto de la CAPV, de indicadores anuales derivados de la combinación de varias variables básicas para series de 30 años (1971-2000; 2011-2040; 2041-2070; 2071-2100): promedio y percentiles 10, 25, 75 y 90. Las series proyectadas (2011-2040; 2041-2070; 2071-2100) corresponden a simulaciones de los GCM/RCM de EURO-CORDEX con corrección de sesgo EQM bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5.

Conclusiones

En el periodo histórico 1971-2016, ya se vislumbran tendencias significativas en el conjunto de la CAPV. No obstante, las magnitudes de las tendencias, aun siendo significativas, son próximas a cero, es decir, se trata de tendencias leves, en general. Algunas de estas tendencias son:

- > Incremento de: las medias de temperaturas máximas diarias (TX), los días cálidos (TX90p), los días que se superan ciertos umbrales de temperatura (25°C y 35°C, por ejemplo), los eventos de olas de calor (WSDI).
- > Incremento de: las temperaturas mínimas diarias (TN), las noches cálidas (TN90p) y las tropicales (TR), así como los máximos de las temperaturas mínimas (TNx).
- > Incremento de: las temperaturas medias (TG), los días que se superan 10°C de media (TG10a), los días asociados al uso de aire acondicionado (COLDDD).
- > Incremento de: los días cálidos-secos (DW) y los días cálidos-húmedos (VW).
- > Reducción de: los días fríos-secos (DC), los días fríos-húmedos (WC), los días que cruzan los 0°C (FTD), el rango diario de temperatura (DTR), las noches frías (TN10p) y los días asociados al uso de calefacción (HEATDD).

Sin embargo, los indicadores asociados a la precipitación (PRCPTOT, RR1, R10, R20, RX1day, SDII, etc.), no presentan una tendencia significativa en el periodo histórico 1971-2016 para el conjunto de la CAPV.

Respecto a los datos proyectados, cabe destacar que:

- > La incertidumbre respecto a la magnitud del cambio proyectado para el escenario RCP8.5 es mucho mayor que la asociada al escenario RCP4.5 y, en general, suele ser mayor según avanza el tiempo.
- > En el caso de las temperaturas, la tendencia es claramente positiva (incremento de temperaturas) desde el momento actual. Este incremento de temperatura media diaria oscilaría, dependiendo del escenario y modelo, entre los 0,5°C y los 4,0°C, siendo más pronunciado a finales de siglo y para el escenario RCP8.5. El patrón de cambio sería bastante homogéneo en toda la CAPV.
- > Los índices asociados con días de temperaturas bajas tenderían a disminuir en el futuro, como los días de helada (FD), mientras que los indicadores relacionados con altas temperaturas tenderían a incrementar (SU, SU35, HWF). También aumentaría ligeramente la longitud de la estación de crecimiento (GSL), asociado a un mayor número de días con temperaturas medias moderadas.
- > En el caso de la precipitación, solo cabría esperar un descenso de la precipitación anual acumulada (PRCPTOT) en los periodos más próximos al final de siglo y de forma más clara bajo el escenario RCP8.5. Se acompañaría de intervalos mayores de días secos consecutivos entre los eventos de precipitación (CDD) e intervalos menores de días de lluvia consecutivos (CWD) y de una reducción del número de días húmedos (RR1), pero sin una tendencia muy acusada en la intensidad de las precipitaciones diarias.

- > El aumento de las temperaturas llevaría asociada una tendencia al aumento de la evapotranspiración (ET₀). De modo que habría, por un lado, una mayor necesidad de agua por parte de la vegetación y, por otro, una precipitación que tendería a ser menor; es decir, parece que se tendería a mayor demanda pero menor disponibilidad de agua.

Estos resultados sobre las tendencias climáticas se han obtenido para el ámbito geográfico de la CAPV en su conjunto, considerando datos anuales y algunos indicadores climáticos. No obstante, este tipo de análisis podría realizarse para zonas más concretas de la CAPV, para datos estacionales o mensuales (incluso diarios, en el caso de las variables básicas) y para más indicadores climáticos, ya que toda la información se encuentra disponible para la comunidad (en particular, a través de <http://escenariosklima.ihobe.eus/>).

04

Productos generados, guía de usuario/preguntas frecuentes

Como resultado del presente proyecto se han generado diferentes productos con el objetivo de facilitar su uso y aplicación a diversos perfiles de usuario, con mayor o menor grado de especialización. Respecto a los productos derivados de las variables básicas (temperaturas y precipitación):

- > **Climatología base:** se ha generado una rejilla diaria de alta resolución espacial (1km*1km) de precipitación y temperaturas máxima, mínima y media, para el periodo 1971-2016.

A partir de las variables anteriores, también se obtuvo la variable ET_0 (serie diaria 1971-2016, con resolución espacial de 1km*1km).

El dato diario de la climatología base se ha generado en dos formatos:

- formato NetCDF, para usuarios familiarizados con dicho formato, ya que es un estándar en la comunidad de clima, y
- formato CSV considerando las unidades hidrológicas de la CAPV.

- > **Proyecciones de EURO-CORDEX:** se han proporcionado, en formato CSV, los datos diarios de precipitación y temperatura (máxima, mínima y media) de los

modelos regionales de EURO-CORDEX considerados para el desarrollo de las proyecciones (ver Tabla 6) en los 80 puntos mostrados en la Figura 3 que engloban la CAPV (~12km).

- > **Indicadores:** a partir del dato diario de las proyecciones de EURO-CORDEX (~12km) y de la climatología base (~1km), se han generado las proyecciones de los diferentes indicadores definidos en el marco del proyecto (ver el “ANEXO I: DEFINICIÓN DE INDICADORES CLIMÁTICOS”).

Por un lado, en formato CSV y a una resolución espacial de 12km*12km (para los 80 puntos mostrados en la Figura 3) se han generado las series mensual, estacional y anual de los indicadores para cada uno de los modelos regionales de EURO-CORDEX (ver Tabla 3).

Por otro lado, en formato ASCII y a una resolución espacial de 1km*1km, se han generado las climatologías y la señal de cambio (anomalía o delta) para el periodo de referencia y los diferentes periodos futuros de los indicadores definidos en el marco del proyecto (ver el “ANEXO I: DEFINICIÓN DE INDICADORES CLIMÁTICOS”). Se trata del promedio, tanto anual como mensual, de todos los RCMs de la Tabla 3, así como de estadísticos que reflejan su dispersión¹.

¹ En el contexto del presente proyecto, se entiende que:

- STD (desviación estándar): es la raíz cuadrada de la varianza de la variable. A mayor STD, mayor es la incertidumbre sobre la señal de cambio que dan los modelos.
- CV (coeficiente de variación) = $100 \cdot \text{STD} / \text{media}$. A mayor CV, menor es la variabilidad explicada por la señal y mayor es la incertidumbre.
- SNR (ratio señal/ruido, *signal-to-noise ratio*) = $100 \cdot \text{media} / \text{STD}$. A mayor SNR, mayor confianza se tiene en la señal de cambio.

El CV y el SNR, al ser cocientes, a veces pueden presentar problemas con los valores muy bajos, próximos a 0.

Además, tras aplicar métodos de corrección de sesgo a las simulaciones GCM/RCM, se han generado, para las variables básicas (precipitación y temperaturas), proyecciones futuras diarias a una resolución espacial de 1km*1km (la misma que la de las observaciones de referencia del atlas climático).

Finalmente, se han proporcionado también variables no-básicas:

- > **Proyecciones de EURO-CORDEX de variables no-básicas:** se proporcionan, en formato TXT, los datos diarios de humedad relativa (media), radiación solar (de onda corta y de onda larga) y velocidad del viento (media y máxima), dados por los modelos regionales de EURO-CORDEX en los 80 puntos mostrados en la Figura 3 que engloban la CAPV (~12km). Estos datos no han sido regionalizados ni corregidos sus sesgos.

Todos estos datos de libre acceso se pueden consultar y descargar desde el visor desarrollado para tal fin:

- > <http://escenariosklima.ihobe.eus/>

Además, parte de la información también se puede ver y descargar desde el portal:

- > <https://www.geo.euskadi.eus/>

En cuanto a las variables básicas y sus derivados, en conjunto, se han obtenido de proyecciones regionalizadas de cambio climático en la CAPV, adecuadas para llevar a cabo estudios de evaluación de los efectos del cambio climático a escala local. Los datos termopluviométrico y sus derivados producidos como resultado de esta tarea son las series diarias de precipitación y temperatura para tres períodos futuros (2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100), obtenidas a partir de simulaciones regionales del clima, adecuadamente calibradas en base a las observaciones históricas para evitar los problemas introducidos por los sesgos de los modelos. El proceso de calibración se realiza ajustando estadísticamente la distribución de valores diarios simulados por los modelos en un período histórico (1971-2000) con la correspondiente distribución observada. Esta calibración se aplica posteriormente a los datos del escenario futuro. De esta manera, todos los modelos se calibran con la misma referencia y los cambios futuros se pueden obtener directamente como la diferencia entre la proyección calibrada y la observación. Estas series calibradas en la CAPV son susceptibles de ser utilizadas en estudios de impacto del cambio climático en etapas posteriores.

Los datos utilizados para los distintos proyectos integrados en este informe proceden de la generación de proyecciones regionales sobre Europa, dadas por el proyecto EURO-CORDEX, que había disponible en el momento de su realización. En general, se trata de un conjunto de 12

ID	Global Model (GM)	Regional Climate Model (RCM)	Institución
1	CERFACS-CNRM-CM5_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
2	CERFACS-CNRM-CM5_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
3	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
4	ICHEC-EC-EARTH_r1i1p1	RACMO22E_v1	KNMI
5	ICHEC-EC-EARTH_r3i1p1	HIRHAM5_v1	DMI
6	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	RCA4_v1	SMHI
7	IPSL-CM5A-MR_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
8	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
9	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	RACMO22E_v1	KNMI
10	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
11	MPI-ESM-LR_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
12	MPI-ESM-LR_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI

Tabla 6. Proyecciones regionales obtenidas con doce acoplamientos de GCM/RCM de la iniciativa EURO-CORDEX considerados en el presente trabajo, indicando en sombreado verde un ejemplo de un conjunto más reducido (5 simulaciones) que sería representativo del abanico de posibilidades.

simulaciones alternativas producidas con diversas combinaciones de 5 modelos globales y 4 modelos regionales del clima sobre una misma rejilla (con 0.11° de resolución horizontal, equivalente a unos 12 km). El conjunto resultante caracteriza la incertidumbre existente debida al proceso de modelización global (GCM) y regional (RCM), así mismo, también colabora a proporcionar una incertidumbre debida al escenario de forzamiento radiativo futuro al incorporar dos escenarios (RCP4.5 y RCP8.5).

Se recomienda trabajar con el conjunto de las 12 simulaciones. Sin embargo, los miembros de este conjunto de simulaciones no son equiprobables pues unos modelos están más representados (replicados) que otros. Por tanto, es importante que en aquellos casos en que no se pueda trabajar con las 12 proyecciones y sea necesario considerar una muestra reducida, se trate de maximizar la variabilidad de la muestra, equilibrando también en la medida de lo posible el peso de los modelos. Numerosos estudios han mostrado que la principal fuente de incertidumbre la proporcionan los modelos globales.

En el caso de que fuera necesario reducir el número de proyecciones, en este trabajo se propone utilizar una muestra de 5 proyecciones que incluyen una única réplica de los cinco modelos globales (GCM) minimizando las réplicas de los regionales (RCM), por ejemplo, los correspondientes a los números 1, 5, 7, 9 y 11 de la Tabla 6 (sombreados en verde). Bajo estos supuestos, esta muestra sería representativa de la incertidumbre total y, además, sus miembros podrían considerarse como equiprobables. Por tanto, las proyecciones con valor mínimo y máximo podrían considerarse el mejor y peor escenario para hacer, a partir de ellas, estudios puntuales que muestren el abanico completo de posibilidades.

Referencias bibliográficas

- AEMET. 2011. Atlas Climático Ibérico, Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino – Instituto de Meteorología de Portugal, ISBN: 978-84-7837-079-5.
- Allen R.G., Pereira L. S., Raes D. and Smith M. 1998. FAO, Irrigation and Drainage Paper 56. Crop evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements). Rome, Italy, 300 pp.
- Atkinson P.M. y Lloyd C.D. 1998. Mapping precipitation in Switzerland with ordinary and indicator kriging, J. Geogr. Inf. Decis. Anal., 2, 65–76.
- Biau G., Zorita E., von Storch H. y Wackernagel H. 1999. Estimation of precipitation by kriging in the EOF space of the sea level pressure field. J. Climate, 12, 1070–1085.
- Casanueva A., Herrera S., Fernández J. y Gutiérrez J.M. 2016. Towards a fair comparison of statistical and dynamical downscaling in the framework of the EURO-CORDEX initiative. Climate Change, 137 (3), 411–426, doi: 10.1007/s10584-016-1683-4.
- Casanueva A., Kotlarski S., Herrera S., Fernández J., Gutiérrez J.M., Boberg F., Colette A., Christensen O.B., Goergen K., Jacob D., Keuler K., Nikulin G., Teichmann C. y Vautard R. 2015. Daily precipitation statistics in a EURO-CORDEX RCM ensemble: added value of raw and bias-corrected high-resolution simulations. Climate Dynamics, 47 (3), 719–737, doi: 10.1007/s00382-015-2865-x
- Christensen, J. H., T. R. Carter, M. Rummukainen and G. Amanatidis. 2007a. Evaluating the performance and utility of regional climate models: The PRUDENCE project, Clim. Change, 81, 1–6, doi:10.1007/s10584-006-9211-6.
- Christensen, J. H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W. T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C. G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton. 2007b. Regional Climate Projections. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Collins M, Knutti R, Arblaster J, Dufresne JL, Fichet T, Friedling-stein P, Gao X, Gutowski W, Johns T, Krinner G, Shongwe M, Tebaldi C, Weaver A and Wehner M (2013) Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility, book section 12, page 1029–1136. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Déqué, M., Somot, S., Sanchez-Gomez, E., Goodess, C.M., Jacob, D., Lenderink, G. and Christensen, O.B. 2012. The spread amongst ENSEMBLES regional scenarios: regional climate models, driving general circulation models and interannual variability. Climate Dynamics, 38(5-6):951–964.

- Gaertner, M.A., Gutierrez, J.M., Castro, M. 2012. Escenarios regionales de cambio climático. *Revista Española de Física*, 26, pp. 34-42.
- Giorgi F., Jones C. y Asrar G. 2009. Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin* 58(3), 175-183.
- Gutiérrez, J. M., et al. 2010. Escenarios Regionales Probabilísticos de cambio climático en Cantabria: Termopluviometría. Gobierno de Cantabria-Consejería de Medio Ambiente y Universidad de Cantabria, Santander, Spain, URL. Disponible en: <http://www.meteo.unican.es/projects/escenariosCantabria>.
- Gutiérrez, J.M. et al. 2017. An intercomparison of a large ensemble of statistical downscaling methods over Europe: Results from the VALUE perfect predictor cross-validation experiment. *International Journal of Climatology*, in press (see also <http://www.value-cost.eu>).
- Gutjahr, O. and Heinemann, G. 2013. Comparing precipitation bias correction methods for high-resolution regional climate simulations using COSMO-CLM, *Theoretical and Applied Climatology*, 114, 511-529
- Haylock, M., N. Hofstra, A. Klein-Tank, E. J. Klok, P. Jones and M. New M. 2008. A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. Geophys. Res.*, 113, D20119, doi: 10.1029/2008JD010201.
- Herrera, S. 2011. Desarrollo, validación y aplicaciones de Spain02: Una rejilla de alta resolución de observaciones interpoladas para precipitación y temperatura en España. PhD thesis, Universidad de Cantabria, Cantabria, España. <http://www.meteo.unican.es/tesis/herrera>
- Herrera, S., J. M. Gutiérrez, R. Ancell, M. R. Pons, M. D. Frías and J. Fernández. 2012. Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *Int. J. Climatology*, 32, 74-85, doi: 10.1002/joc.2256.
- Herrera, S., J. Fernández and J. M. Gutiérrez. 2016. Update of the Spain02 Gridded Observational Dataset for Euro-CORDEX evaluation: Assessing the Effect of the Interpolation Methodology. *Int. J. Climatology*, 36, 900-908, doi: 10.1002/joc.4391
- Jacob, D., et al. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2):563-578.
- Krige, D. G. 1951. A statistical approach to some basic mine valuation problems on the witwatersrand. *J. Chem. Metallurg. Mining Soc. S. Afr.*, 52 (6), 119-139.
- Panofsky, H.A. and Wilson, B.G. 1968. Some applications of statistics to meteorology. University Park : Penn. State University, College of Earth and Mineral Sciences.
- Ruane, A.C., and McDermid, S.P. 2017. Selection of a Representative Subset of Global Climate Models That Captures the Profile of Regional Changes for Integrated Climate Impacts Assessment. *Earth Perspectives* 4 (1):1. <https://doi.org/10.1186/s40322-017-0036-4>
- van der Linden, P. and J. F. B. Mitchell. 2009. ENSEMBLES: Climate change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.
- Weigel, A.P., Knutti, R., Liniger, M.A., and Appenzeller, C. 2010. Risks of Model Weighting in Multimodel Climate Projections. *Journal of Climate* 23 (15):4175–4191. <https://doi.org/10.1175/2010JCLI3594.1>
- Wilcke, R.A.I., Mendlik, T., and Gobiet, A. 2013. Multi-variable error correction of regional climate models. *Climatic Change*, 120, 871-887.
- Zahn, M. and H. von Storch. 2010. Decreased frequency of North Atlantic polar lows associated with future climate warming. *Nature*, 467, 309–312.

Anexo I: Definición de indicadores climáticos

A continuación, se definen todos los indicadores calculados en el presente estudio.

Muchos de los indicadores calculados corresponden a las definiciones del ETCCDI - Expert Team on Climate Change Detection and Indices y su descripción detallada se puede encontrar en la web <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>. No obstante, algunos de los índices se han calculado por requerimiento expreso de grupos de investigación de la CAPV.

A. Indicadores que combinan varias variables básicas (“combo”)

CD

Descripción: número de días fríos/secos ($TG < \text{percentil } 25$ y $RR < \text{percentil } 25$) (días).

Número de días en los que se cumplen las dos condiciones siguientes simultáneamente:

- Temperatura media diaria (TG) $<$ percentil 25 de la temperatura media diaria, y
- Cantidad de precipitación diaria (RR) $<$ percentil 25 de las cantidades diarias.

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

CW

Descripción: Número de días fríos y húmedos ($TG < \text{percentil } 25$ y $RR > \text{percentil } 75$) (días)

Número de días en los que se dan simultáneamente las dos condiciones siguientes:

- La temperatura media diaria (TG) $<$ percentil 25 de las TG , y
- La precipitación diaria (RR) $>$ percentil 75 de las RR .

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

DTR

Descripción: rango diario de temperatura ($^{\circ}\text{C}$)

Es el valor promedio, para un período j , de la diferencia entre la temperatura máxima diaria (TX_j) y la temperatura mínima diaria (TN_j).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

ETR

Descripción: Rango de temperatura extrema intra-período ($^{\circ}\text{C}$).

Siendo TX_j y TN_j las temperaturas diarias máxima y mínima en el día i del período j , entonces, el rango de temperatura extrema del período j es:

$$ETR_j = \max(TX_j) - \min(TN_j)$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

FRD

Descripción: Número de días con lluvia helada ($TX < 0^{\circ}\text{C}$ y $RR > 0.5 \text{ mm}$).

Número de días en los que se cumplen las dos condiciones siguientes simultáneamente:

- Temperatura máxima diaria (TX) $< 0^{\circ}\text{C}$, y
- Cantidad de precipitación diaria (RR) $> 0.5 \text{ mm}$.

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

FTD

Descripción: Número de días con temperaturas cruzando los 0°C ($TN < 0^{\circ}\text{C}$ y $TX > 0^{\circ}\text{C}$) (días).

Son los días en los que se traspasa el umbral de 0°C a lo largo del día, porque:

- la temperatura mínima diaria (TN) es menor que 0°C y
- la temperatura máxima diaria (TX) es mayor que 0°C .

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

WD

Descripción: Número de días cálidos/secos.

Número de días en los que se cumplen las dos condiciones siguientes simultáneamente:

- Temperatura media diaria (TG) $>$ percentil 75 de la temperatura media diaria, y
- Cantidad de precipitación diaria (RR) $<$ percentil 25 de las cantidades diarias.

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

WW

Descripción: número de días cálidos y húmedos ($TG >$ percentil 75 y $RR >$ percentil 75) (días)

Número de días en los que se dan simultáneamente las dos condiciones siguientes:

- La temperatura media diaria (TG) $>$ percentil 75 de las TG , y
- La precipitación diaria (RR) $>$ percentil 75 de las RR .

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

B. Evapotranspiración de referencia

ET0

Descripción: evapotranspiración de referencia (mm).

Es la evapotranspiración de referencia calculada mediante la formulación propuesta por Ur Agentzia, que está basada en el método FAO Penman-Monteith (¹Allen *et al.*, 1998) y resumida en la ecuación siguiente (Ecuación 6, de Allen *et al.*, 1998):

$$ET_0 = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde:

ET_0 = evapotranspiración de referencia (mm día⁻¹).

Δ = pendiente de la curva de presión de vapor (kPa °C⁻¹) (Ecuación 13 de Allen *et al.*, 1998).

T = temperatura media del aire a 2 m de altura (°C).

u_2 = velocidad del viento a 2 m de altura (m s⁻¹), que se asumió igual a 2 m s⁻¹.

e_s = presión de vapor de saturación (kPa) (Ecuación 11 de Allen *et al.*, 1998).

e_a = presión real de vapor (kPa). Al aplicar la ecuación 14 de Allen *et al.* (1998), se asumió que la temperatura de rocío es igual a la temperatura mínima.

$e_s - e_a$ = déficit de presión de vapor (kPa).

γ = constante psicrométrica (kPa °C⁻¹) (Ecuación 16 de Allen *et al.*, 1998).

G = flujo del calor de suelo (MJ m⁻² día⁻¹). Se asumió que era despreciable en comparación con la R_n .

R_n = radiación neta en la superficie del cultivo (MJ m⁻² día⁻¹). Es la diferencia entre la radiación neta de onda corta (R_{ns}) y la radiación neta de onda larga (R_{nl}) (Ecuación 40 de Allen *et al.*, 1998).

A la hora de calcular la radiación neta (R_n), se aplicó:

- La Ecuación 38 de Allen *et al.* (1998), para estimar la R_{ns} (asumiendo un albedo = 0.25).

¹ Allen R.G., Pereira L. S., Raes D. and Smith M. 1998. FAO, Irrigation and Drainage Paper 56. Crop evapotranspiration (Guidelines for computing crop water requirements). Rome, Italy, 300 pp.

- La ecuación 39 de Allen *et al.* (1998), para estimar la R_{nl} (asumiendo que la constante de Stefan-Boltzmann = $4.903 \times 10^{-9} \text{ MJ K}^{-4} \text{ m}^{-2} \text{ día}^{-1}$).

En ambos casos es necesario estimar la radiación solar incidente (R_s), que fue calculada mediante la ecuación desarrollada por Hargreaves y Samani (Ecuación 50 de Allen *et al.*, 1998):

$$R_s = k_{RS} \times R_a \times \sqrt{TX - TN}$$

Donde

R_s = radiación solar diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$).

R_a = radiación extraterrestre diaria ($\text{MJ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$) (Ecuación 21 de Allen *et al.*, 1998).

TX = temperatura máxima del aire ($^{\circ}\text{C}$).

TN = temperatura mínima del aire ($^{\circ}\text{C}$).

k_{RS} = coeficiente de ajuste ($^{\circ}\text{C}^{-0.5}$). Es un coeficiente empírico que oscila entre 0.162 y 0.19. En zonas de interior se utilizó un valor de $k_{RS} = 0.16$, mientras que en las zonas costeras se utilizó un valor de $k_{RS} = 0.19$. Se introdujo una modificación, respecto a la formulación propuesta por Ur Agentzia, en cuanto a la consideración de localizaciones de interior y de costa. Estas localizaciones se definieron en base a la distancia a costa y la existencia de bloqueos orográficos hacia el norte que limitaban la influencia de las masas de aire provenientes del Mar Cantábrico. En la Figura 34 se muestran los puntos de rejilla resultantes definidos como “costa” según los criterios anteriores.

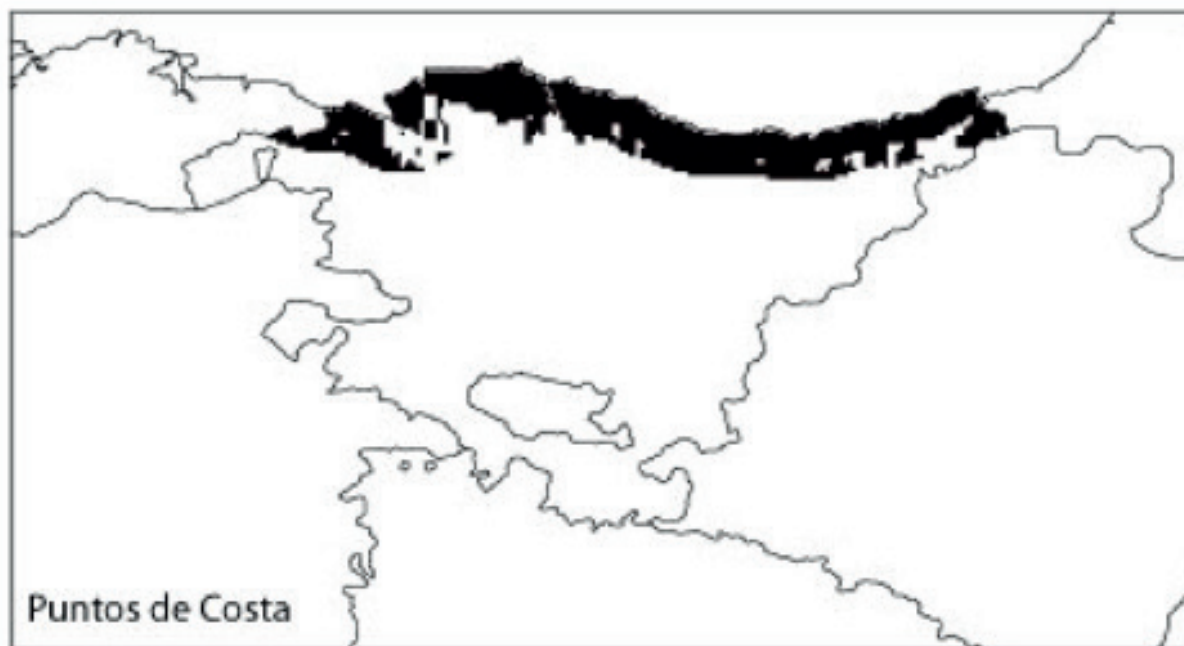


Figura 34. Zona considerada costera en la CAPV a efectos de cálculo de la evapotranspiración de referencia, siguiendo las directrices de la metodología propuesta por la fao (cuaderno nº 56, allen et al., 1998).

C. Indicadores calculados a partir de precipitaciones

CDD

Descripción: Máximo del número de días secos consecutivos ($RR < 1$ mm) (días).

Es la longitud máxima de rachas secas. Es el mayor número de días consecutivos en los cuales:

$RR_{ij} < 1$ mm (siendo RR_{ij} es la cantidad de precipitación diaria para el día i del periodo j).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

CWD

Descripción: Número máximo de días húmedos consecutivos (días)

El indicador contabiliza, para el periodo j , el mayor número de días consecutivos con:

$RR_{ij} \geq 1$ mm (siendo RR_{ij} es la cantidad de precipitación diaria para el día i del periodo j).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

PRCPR95

Descripción: Percentil 95 de la precipitación ($RR > 1.0$ mm) (mm)

Se entiende por precipitación aquella precipitación diaria que supera 1 mm ($RR > 1.0$ mm), es decir, la de días húmedos.

PRCPR99

Descripción: Percentil 99 de la precipitación ($RR > 1.0$ mm) (mm)

Se entiende por precipitación aquella precipitación diaria que supera 1 mm ($RR > 1.0$ mm), es decir, la de días húmedos.

PRCPTOT

Descripción: Precipitación total de días húmedos ($RR \geq 1$ mm) (mm)

Es la suma de las precipitaciones ocurridas en los días húmedos de un periodo j .

Se entiende por día húmedo aquél en el que la precipitación es igual o superior a 1 mm ($RR \geq 1.0$ mm).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

R10mm

Descripción: Número de días con precipitaciones fuertes (precipitación ≥ 10 mm) (días).

Es el número de días con:

$RR_{ij} \geq 10$ mm (donde RR_{ij} es la precipitación diaria para el día i del periodo j).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

R20mm

Descripción: Número de días con precipitaciones muy fuertes (precipitación ≥ 20 mm) (días).

Es el número de días con:

$RR_{ij} \geq 20$ mm (donde RR_{ij} es la precipitación diaria para el día i del periodo j).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

R95p

Descripción: Número de días muy húmedos (días).

Número de días con precipitación (RR) $>$ percentil 95 de las cantidades diarias.

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

R95pTOT

Descripción: Proporción de la precipitación debida a días muy húmedos ($>$ percentil 95) (%).

Porcentaje de la precipitación total asociada a los días con precipitaciones superiores al percentil 95 (%).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

R99pTOT

Descripción: Proporción de la precipitación debida a días extremadamente húmedos (> percentil 99) (%). Porcentaje de la precipitación total asociada a los días con precipitaciones superiores al percentil 99 (%).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

RR1

Descripción: Número de días húmedos ($RR \geq 1$ mm) (días).

Número de días con precipitación igual o superior a 1 mm:

$RR_{ij} \geq 1$ mm (donde RR_{ij} es la precipitación diaria para el día i del periodo j).

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

RV10year

Descripción: precipitación media máxima asociada a un periodo de retorno de 10 años (mm).

Se calcula ajustando una distribución Generalizada de Valores Extremos (GEV) a los valores de precipitación máxima anuales. Dicho ajuste asume que los valores máximos anuales de precipitación son independientes e igualmente distribuidos. Para cada punto (observación, punto de grid o punto de la malla de EURO-CORDEX) se calcula la serie de máximos anuales de precipitación y se obtienen los tres parámetros de la GEV: localización, escala y forma. En función del parámetro de forma se distinguen tres tipos de distribución, Gumbel (forma=0), Frèchet (forma>0) y Weibull (forma<0), en función de que la probabilidad de valores altos decaiga de forma exponencial, polinomial o exista una cota a partir de la cual la probabilidad de ocurrencia es 0, respectivamente.

Los parámetros se ajustan para maximizar la verosimilitud. En el caso de que el intervalo de confianza al 95% del parámetro de forma contenga el valor 0, éste parámetro se define como 0 y se re-estiman el resto con esta restricción.

Finalmente, una vez estimados los parámetros de la función de distribución GEV (F), ésta puede ser utilizada para calcular los valores de retorno a cualquier periodo dado (T), sin más que obtener el cuartil (q) el cual se sobrepasa con probabilidad $1/T$, es decir $F(q)=1-1/T$. En este caso, el valor de T viene dado en años y se corresponderá con $T=10$.

RV25year

Descripción: precipitación media máxima asociada a un periodo de retorno de 25 años (mm).

(Ver “RV10year” para más información).

RV50year

Descripción: precipitación media máxima asociada a un periodo de retorno de 50 años (mm).

(Ver “RV10year” para más información).

RV100year

Descripción: precipitación media máxima asociada a un periodo de retorno de 100 años (mm).

(Ver “RV10year” para más información).

Rx1day

Descripción: Máximo de la precipitación acumulada en 1 día (mm).

Es la precipitación máxima acumulada en un día para el periodo j :

$$RX1day_j = \max(RR_{ij})$$

Donde, RR_{ij} es la precipitación diaria para el día i del periodo j .

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

Rx5day

Descripción: Máximo de la precipitación acumulada en 5 días (mm).

Es la precipitación máxima acumulada de cinco días para el periodo j :

$$RX5day_j = \max(RR_{kj})$$

Donde, RR_{kj} es la cantidad de precipitación para un intervalo k de cinco días del periodo j , donde k viene definido por el último día.

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

SDII

Descripción: Índice de intensidad diaria simple (mm/día húmedo).

Es el valor promedio de la cantidad de precipitación ocurrida en los días húmedos ($RR \geq 1.0$ mm) de un periodo j .

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

D. Indicadores calculados a partir de temperaturas medias

COLD DD (Cooling degree days)

Descripción: Número de días asociados al uso de aire acondicionado considerando el umbral estándar 22.0°C, es decir, con temperaturas medias superiores a 22.0°C.

GSL

Descripción: duración o longitud de la estación de crecimiento (días).

Es el número de días que transcurren entre:

- el primer episodio con al menos 6 días consecutivos con:
 $TG_{ij} > 5^\circ\text{C}$ (donde, TG_{ij} es la temperatura media para el día i del periodo j)
- y el primer episodio después del 1 de julio con al menos 6 días consecutivos con:
 $TG_{ij} < 5^\circ\text{C}$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

HEAT DD (Heating degree days)

Descripción: Número de días asociados al uso de calefacción considerando el umbral estándar 15.5°C, es decir, con temperaturas medias inferiores a 15.5°C.

TG

Descripción: media de temperaturas medias diarias (°C).

Es el valor promedio de las temperaturas medias diarias (TG_{ij}) de un periodo j .

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TG05A

Descripción: Número de días con temperatura media superior a 5°C ($TG_{ij} > 5$) (días).

TG05B

Descripción: Número de días con temperatura media inferior a 5°C ($TG_{ij} < 5$) (días).

TG10A

Descripción: Número de días con temperatura media superior a 10°C ($TG_{ij} > 10$) (días)

TG10B

Descripción: Número de días con temperatura media inferior a 10°C ($TG_{ij} < 10$) (días)

E. Indicadores calculados a partir de temperaturas máximas

HWA

Descripción: Temperatura máxima media durante la ola de calor (°C).

Es el promedio de las temperaturas máximas diarias durante un evento de ola de calor.

La ola de calor se define como WSDI, es decir, rachas de al menos 6 días consecutivos con $TX >$ percentil 90 (donde, TX es la temperatura máxima diaria).

HWF

Descripción: Duración de olas de calor (días/ola). Es la longitud de los eventos de ola de calor, concretamente, el promedio del número de días que componen una ola de calor.

La ola de calor se define como WSDI o HWN, es decir, rachas de al menos 6 días consecutivos con $TX >$ percentil 90 (donde, TX es la temperatura máxima diaria).

HWN (o WSDI)

Descripción: Índice de número de rachas cálidas u “olas de calor” (eventos).

Este indicador define la ola de calor como una racha de al menos 6 días consecutivos con temperaturas máximas diarias (TX_{ij}) superiores al percentil 90 ($TX_{in,90}$):

$$TX_{ij} > TX_{in,90}$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

Además de HWN o WSDI (el número de olas de calor que ocurren a lo largo del año), se han definido otros indicadores relacionados con las olas de calor: HWF (la duración media de cada ola de calor) o HWA (la media de las temperaturas máximas diarias alcanzadas en los días de ola de calor).

ID

Descripción: Número de días con hielo ($TX < 0^{\circ}\text{C}$) (días)

Es, para el período j , el número de días con una temperatura máxima diaria (TX_{ij}) inferior a 0°C :

$$TX_{ij} < 0^{\circ}\text{C}.$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

PRCTX10

Descripción: Percentil 10 de las temperaturas máximas diarias (TX) ($^{\circ}\text{C}$).

Se entiende por TX_{ij} la temperatura máxima diaria del día i en del período j .

PRCTX90

Descripción: Percentil 90 de las temperaturas máximas diarias (TX) ($^{\circ}\text{C}$).

Se entiende por TX_{ij} la temperatura máxima diaria del día i en del período j .

PRCTX95

Descripción: Percentil 95 de las temperaturas máximas diarias (TX) ($^{\circ}\text{C}$).

Se entiende por TX_{ij} la temperatura máxima diaria del día i en del período j .

SU

Descripción: número de días de verano ($TX > 25^{\circ}\text{C}$) (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 25°C :

$TX_{ij} > 25^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del período j)

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

SU30

Descripción: número de días con $TX > 30^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 30°C :

$TX_{ij} > 30^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del período j)

SU30EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 30^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 30°C y dicho umbral (30°C).

SU33

Descripción: número de días con $TX > 33^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 33°C : $TX_{ij} > 33^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del período j)

SU33EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 33^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 33°C y dicho umbral (33°C).

SU34

Descripción: número de días con $TX > 34^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 34°C :

$TX_{ij} > 34^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del período j)

SU34EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 34^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 34°C y dicho umbral (34°C).

SU35

Descripción: número de días con $TX > 35^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 35°C :

$TX_{ij} > 35^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del período j)

SU35EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 35^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 35°C y dicho umbral (35°C).

SU36

Descripción: número de días con $TX > 36^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 36°C :

$TX_{ij} > 36^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del periodo j)

SU36EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 36^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 36°C y dicho umbral (36°C).

SU37

Descripción: número de días con $TX > 37^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 37°C :

$TX_{ij} > 37^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del periodo j)

SU37EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 37^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 37°C y dicho umbral (37°C).

SU38

Descripción: número de días con $TX > 38^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 38°C :

$TX_{ij} > 38^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del periodo j)

SU38EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 38^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 38°C y dicho umbral (38°C).

SU39

Descripción: número de días con $TX > 39^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 39°C :

$TX_{ij} > 39^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del periodo j)

SU39EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 39^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 39°C y dicho umbral (39°C).

SU40

Descripción: número de días con $TX > 40^{\circ}\text{C}$ (días).

Es el número de días en los cuales se superan los 40°C :

$TX_{ij} > 40^{\circ}\text{C}$ (donde, TX_{ij} es la temperatura máxima diaria el día i del periodo j)

SU40EX

Descripción: magnitud media de las temperaturas que exceden de una $TX = 40^{\circ}\text{C}$.

Sea TX la temperatura máxima diaria. Este indicador es el valor promedio de la diferencia entre la TX en los días en que se supera el umbral de 40°C y dicho umbral (40°C).

TX

Descripción: media de temperaturas máximas diarias ($^{\circ}\text{C}$).

Es el valor promedio de las temperaturas máximas diarias (TX_{ij}) de un periodo j .

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TX10p

Descripción: Número de días fríos ($TX < \text{percentil } 10 \text{ de las } TX$).

Es el número de días en los que la temperatura máxima diaria de un periodo j (TX_{ij}) es inferior al percentil 10 ($TX_{in,10}$):

$$TX_{ij} < TX_{in,10}$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TX90p

Descripción: Número de días cálidos ($TX > \text{percentil } 90 \text{ de las } TX$).

Es el número de días en los que la temperatura máxima diaria de un periodo j (TX_{ij}) es superior al percentil 90 ($TX_{in,90}$):

$$TX_{ij} > TX_{in,90}$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TXn

Descripción: Mínimo de las temperaturas máximas diarias ($^{\circ}\text{C}$).

Es el valor mínimo, para el periodo j , de las temperaturas máximas diarias (TX_{ij}):

$$TXn_j = \min(TX_{ij})$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TXx

Descripción: Máximo de las temperaturas máximas diarias ($^{\circ}\text{C}$).

Es el valor máximo, para el periodo j , de las temperaturas máximas diarias (TX_{ij}):

$$TXx_j = \max(TX_{ij})$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

WSDI (o HWN)

Descripción: Índice de número de rachas cálidas u “olas de calor” (eventos).

Este indicador define la ola de calor como una racha de al menos 6 días consecutivos con temperaturas máximas diarias (TX_{ij}) superiores al percentil 90 ($TX_{in,90}$):

$$TX_{ij} > TX_{in,90}$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

Además de WSDI o HWN (el número de olas de calor que ocurren a lo largo del año), se han definido otros indicadores relacionados con las olas de calor: HWF (la duración media de cada ola de calor) o HWA (la media de las temperaturas máximas diarias alcanzadas en los días de ola de calor).

F. Indicadores calculados a partir de temperaturas mínimas

CFD

Descripción: número máximo de días de helada consecutivos ($TN < 0^{\circ}C$) (días).

Es, en un periodo j , el mayor número de días consecutivos en los cuales la temperatura mínima diaria (TN_{ij}) es inferior a $0^{\circ}C$:

$$TN_{ij} < 0^{\circ}C$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

CSDI (o CWN)

Descripción: Índice de duración de rachas frías u “olas de frío” (días).

Es el número de días para un periodo j donde, en intervalos de al menos 6 días consecutivos, la temperatura mínima diaria (TN_{ij}) es inferior al percentil 10 (TN_{in10}):

$$TN_{ij} < TN_{in10}$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

CWA

Descripción: Temperatura mínima media durante la ola de frío ($^{\circ}C$).

Es el promedio de las temperaturas mínimas diarias durante un evento de ola de frío.

La ola de frío se define como CSDI (o CWN), es decir, rachas de al menos 6 días consecutivos con $TN <$ percentil 10 (donde, TN es la temperatura mínima diaria).

CWF

Descripción: Duración de olas de frío (días/ola).

Es la longitud de los eventos de ola de frío, concretamente, el promedio del número de días que componen una ola de frío.

La ola de frío se define como CSDI (o CWN), es decir, rachas de al menos 6 días consecutivos con $TN <$ percentil 10 (donde, TN es la temperatura mínima diaria).

FD

Descripción: Número de días de helada ($TN < 0^{\circ}C$) (días).

Es, para el periodo j , el número de días con temperaturas mínimas diarias (TN_{ij}) inferiores a $0^{\circ}C$:

$$TN_{ij} < 0^{\circ}C$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

PRCTN10

Descripción: Percentil 10 de las temperaturas mínimas diarias (TN) ($^{\circ}C$).

Se entiende por TN_{ij} la temperatura mínima diaria del día i en el periodo j .

TN

Descripción: media de temperaturas mínimas diarias ($^{\circ}C$).

Es el valor promedio de las temperaturas mínimas diarias (TN_{ij}) de un periodo j .

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TN10p

Descripción: Número de noches frías (días con $TN >$ percentil 10 de las TN) (días)

Es, para un periodo j , el número de días en los que la temperatura mínima diaria (TN_{ij}) es inferior al percentil 10 (TN_{in10}):

$$TN_{ij} < TN_{in10}$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TN90p

Descripción: Número de noches cálidas (días con $TN >$ percentil 90 de las TN) (días)

Es, para un periodo j , el número de días en los que la temperatura mínima diaria (TN_{ij}) es superior al percentil 90 (TN_{in90}):

$$TN_{ij} > TN_{in90}$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TNn

Descripción: Mínimo de las temperaturas mínimas diarias (°C).

Es, para el periodo j , el valor mínimo de las temperaturas mínimas diarias (TN_{ij}):

$$TNn_j = \min(TN_{ij})$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TNx

Descripción: Máximo de las temperaturas mínimas diarias (°C).

Es, para el periodo j , el valor máximo de las temperaturas mínimas diarias (TN_{ij}):

$$TNx_j = \max(TN_{ij})$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

TR

Descripción: Número de noches tropicales ($TN > 20^{\circ}\text{C}$) (días).

Es, para el periodo j , el número de días en los cuales la temperatura mínima diaria (TN_{ij}) supera los 20°C :

$$TN_{ij} > 20^{\circ}\text{C}$$

(ver: <https://www.ecad.eu/indicesextremes/indicesdictionary.php>)

Anexo II:

Proyecciones climáticas para variables no-básicas

7.1.

Datos de partida de la iniciativa EURO-CORDEX: variables no-básicas

En la elaboración de las proyecciones climáticas futuras y de las coberturas geográficas (mapas) de la CAPV, se utilizaron datos de simulaciones generadas por doce GCM/RCM englobados en la iniciativa EURO-CORDEX a una resolución de 0.11° que equivale a ~ 12 km aproximadamente. A modo de referencia se consideró el experimento “historical” (histórico) de las simulaciones correspondientes.

Análogamente al procedimiento utilizado para la obtención de las variables básicas, en el caso de las variables no-bá-

sicas (humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar), también se realizó una búsqueda e inventario de las simulaciones disponibles en la infraestructura ESGF (“Earth System Grid Federation”) del Experimento Coordinado de Regionalización (CORDEX, Giorgi *et al.*, 2009; Jacob *et al.*, 2014), como distribuidor oficial de dichas proyecciones. En la Figura 35 se presenta el resultado de la búsqueda realizada para las variables no-básicas (velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar), que se corresponde con la búsqueda siguiente:

Project: CORDEX; Domain: EUR-11; Time Frequency: day; Experiment: historical, rcp45 y rcp85; Variable: hurs, rlds, rsds, sfcWind y sfcWindmax.

En el caso de las variables no-básicas, tanto para RCP8.5 como para RCP 4.5, la búsqueda y descarga de datos EURO-CORDEX se realizó en 2020.

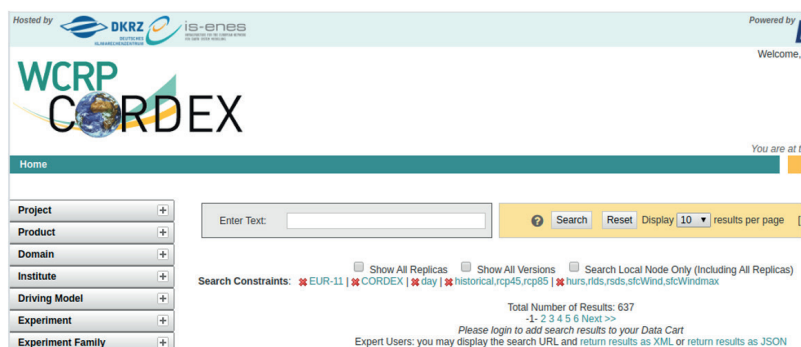


Figura 35. Búsqueda en el nodo ESGF correspondiente al centro DKRZ (<https://esgf-data.Dkrz.De/search/cordex-dkrz/>).

Una vez descargadas las simulaciones disponibles, éstas fueron procesadas extrayendo los puntos del dominio de cada modelo GCM/RCM más cercanos a los 80 puntos de rejilla que cubrían la CAPV, que son los mismos que los empleados para las variables básicas (ver la Figura 3).

Como se observa en la Figura 35, existían hasta 637 combinaciones como resultado de la búsqueda de simulaciones para variables no-básicas. Por este motivo fue necesario establecer un sistema para construir los nombres de los ficheros, basado en el “Data Reference System” definido en el proyecto CORDEX (http://is-enes-data.github.io/cordex_archive_specifications.pdf) y similar al utilizado para las variables básicas. En la Tabla 4 se reflejan los diferentes elementos y los posibles valores que pueden tomar en base a su disponibilidad en ESGF.

De este modo, el nombre de cada fichero generado se construyó siguiendo la sintaxis siguiente:

Variable_Dominio_ModeloGlobal_Experimento_Miembro_Institución_ModeloRegional_version_Periodo.extension

Por ejemplo:

**hurs_EUR-11_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp45_r1i1p1_CN-
RM-ALADIN53_v1_1979-2100.txt**

**sfcWindmax_EUR-11_NCC-NorESM1-M_rcp85_r1i1p1_IP-
SL-WRF381P_v1_1979-2100.txt**

Si bien inicialmente las proyecciones deberían alcanzar los años 2099 ó 2100, en algunos casos la disponibilidad de datos en ESGF limitó dicho periodo hasta el año 2075, de modo que se decidió proporcionar el periodo máximo de cada simulación. Por otro lado, hay que indicar que para obtener una serie continua de cada escenario y minimizar

el número de ficheros generados la serie temporal hasta el año 2005 se corresponde con el experimento “historical” mientras que desde el 2006 se corresponde con los experimentos RCP4.5 y RCP8.5.

Al igual que en el caso de las variables básicas, para cada modelo y escenario futuro se generó un fichero de texto (en formato CSV o TXT) en el cual cada campo o columna se corresponde con la fecha (YYYYMMDD) o un punto de rejilla (GridXXX), y cada fila o línea se corresponde con un día específico, con la excepción de la primera línea que incluye la cabecera o descriptor de los campos incluidos en el fichero. De este modo, un valor en un punto específico y una fecha dada, se puede localizar en el fichero sin más que identificar la línea correspondiente a la fecha de interés y la columna asociada al punto de grid solicitado (ver ejemplo de la Figura 4).

Dichos ficheros fueron generados para todas las variables disponibles en cada simulación del conjunto total requerido:

- > hurs: humedad relativa en superficie (%) (“Near-Surface Relative Humidity”)
- > rlds: radiación de onda larga (longwave) (W m^{-2}) (“Surface Downwelling Longwave Radiation”)
- > rsds: radiación de onda corta (shortwave) (W m^{-2}) (“Surface Downwelling Shortwave Radiation”)
- > sfcWindmax: velocidades del viento máxima (m s^{-1}) (“Daily Maximum Near-Surface Wind Speed”)
- > sfcWind: velocidad del viento media diaria (m s^{-1}) (“Near-Surface Wind Speed”)

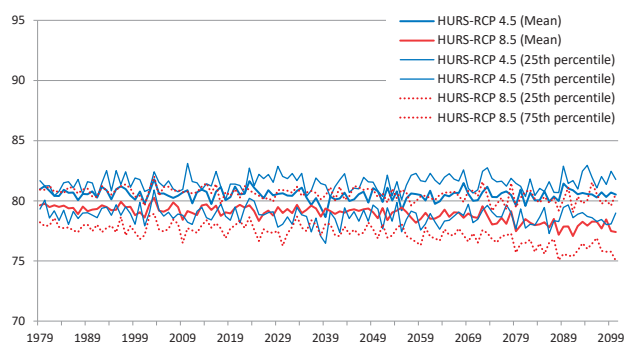
El término “Near-Surface” se refiere a una altitud respecto a la superficie de entre 1.5 y 10.0 m.

Etiqueta/Elemento	Posibles valores
Variable	hurs, rsds, rlds, sfcWind y sfcWindmax
Dominio	EUR-11
Modelo Global	CERFACS-CNRM-CM5; ICHEC-EC-EARTH; IPSL-CM5A-MR; MOHC-HadGEM2-ES; MPI-M-MPI-ESM-LR; NCC-NorESM1-M
Experimento	rcp45 y rcp85
Miembro	r12i1p1; r1i1p1; r2i1p1; r3i1p1
Institución	CLMcom; CNRM; DMI; GERICS; ICTP; IPSL; KNMI; MOHC; MPI; SMHI
Modelo Regional	ALADIN53; ALADIN63; CCLM4-8-17; CSC; CSC-REMO2009; ETH-COSMO-crCLIM-v1-1; HadREM3-GA7-5; HIRHAM5; RACMO22E; RCA4; RegCM4-6; REMO2015; WRF381P
Versión	v1; v2; v3

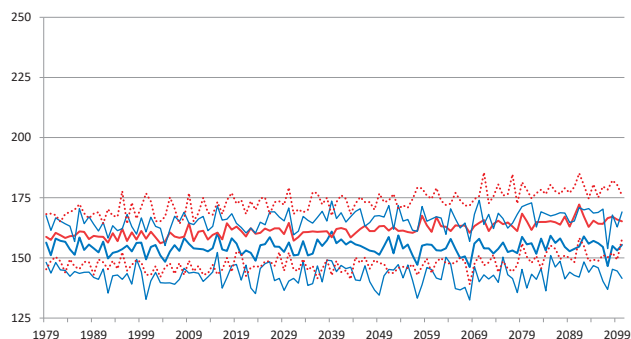
Tabla 7. Indicaciones sobre la nomenclatura de los archivos .txt sobre variables de la iniciativa EURO-CORDEX.

7.2. Resultados 1971-2100 de humedad relativa, velocidad del viento y radiación solar: proyecciones bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5

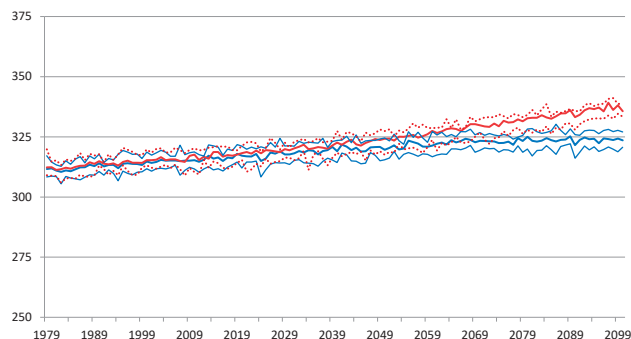
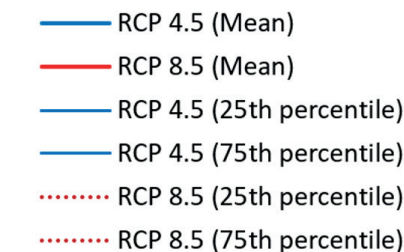
En este apartado se presentan las proyecciones climáticas simuladas en el ámbito geográfico de la CAPV por los modelos EURO-CORDEX, en el momento de redacción de este documento, sin aplicar sobre ellas transformaciones relacionadas con el *downscaling* (regionalización) o con la corrección de sesgo. Por tanto, son proyecciones del conjunto de la CAPV obtenidas a partir de una resolución de 12km*12km aproximadamente y sin comparación alguna con datos observados en estaciones meteorológicas del entorno.



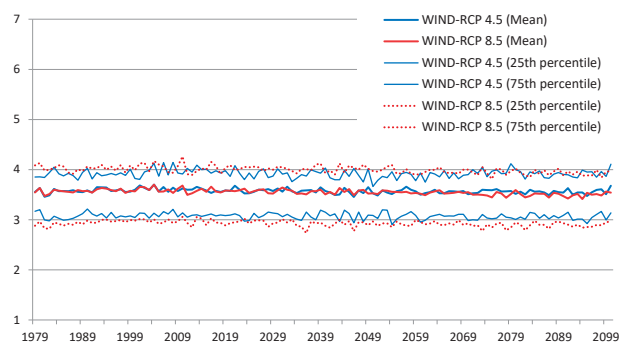
HURS: humedad relativa en superficie (%)



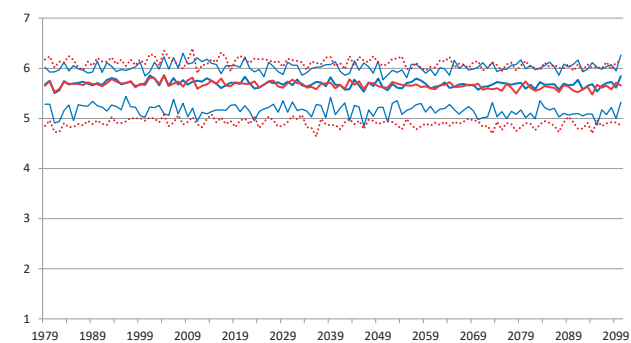
RSDS: radiación de onda corta diaria (W/m²)



RLDS: radiación de onda larga diaria (W/m²)



SCFWIND: velocidad del viento media diaria (m/s)



SCFWINDMAX: velocidad del viento máxima diaria (m/s)

Figura 36. Evolución anual, para la CAPV en su conjunto, de humedad relativa, radiación solar (de onda larga y de onda corta) y velocidad del viento (media y máxima diaria) proyectada para el período 1979-2100 (simulaciones de los gcm/rcm de EURO-CORDEX sin regionalización/downscaling y sin corrección de sesgo bajo los escenarios RCP4.5 y RCP8.5). Se presentan: media, percentil 25 y percentil 75 de cada escenario.

La humedad relativa no parece mostrar una tendencia clara bajo el escenario RCP4.5 y se mantendría bastante constante hasta finales de siglo. No obstante, bajo el escenario RCP8.5, las simulaciones quizá podrían apuntar hacia valores más bajos según se acerca el año 2100, aunque la incertidumbre también es mayor cuanto más avanza el tiempo (Figura 36).

La variable RSDS ("surface solar radiation downward") representa la radiación solar incidente de onda corta y no presentaría una tendencia positiva ni negativa clara, según las simulaciones; en todo caso, quizá tendría una ligera tendencia positiva bajo el escenario RCP8.5. Por el contrario, la radiación térmica o de onda larga incidente (RLDS, "Surface longwave radiation downward") mostraría una tendencia positiva en los dos escenarios climáticos estudiados, siendo esta tendencia ascendente más acentuada en el RCP8.5 (Figura 36). Esta tendencia positiva de la RLDS es la más evidente de las cinco variables no-básicas estudiadas.

Finalmente, los modelos no mostrarían una tendencia ascendente ni descendente en el viento, ni en la velocidad media diaria (SFCWIND) ni en las rachas máximas (SFCWINDMAX), bajo ninguno de los dos escenarios que, además, resultan ser muy similares (Figura 36).

En resumen, de las variables no-básicas estudiadas (HURS, RLDS, RSDS, SCFWINF, SCFWINMAX), la única que mostraría una tendencia clara al ascenso sería la radiación de onda larga (RLDS); y lo haría bajo los dos escenarios considerados (RCP4.5 y RCP8.5).



Herri-baltza
Sociedad Pública del

EUSKO JAURLARITZA
GOBIERNO VASCO

EKONOMIAREN GARAPEN,
JASANGARRITASUN
ETA INGURUMEN SAILA

DEPARTAMENTO DE DESARROLLO
ECONÓMICO, SOSTENIBILIDAD
Y MEDIO AMBIENTE

www.ihobe.eus

Este documento resume la información de los siguientes proyectos:

- > **Escenarios II, proyecto Klimatek 2017 (Ihobe)**
- > **LIFE IP Urban Klima 2050, acción A2 (Neiker)**