

U R B A N
K L I M A
2 0 5 0

Systemic implementation of the climate
change action in the Basque Country for
increased urban resilience as full territory
enabler

1

**Acción A.2: Extension of the risk analysis in the
Basque Country (Ampliación del análisis de riesgo
climático en el País Vasco)**

**DA.2.1 Analysis of the climate change scenarios in the
Basque Country**

DA. 2.1 Analysis of the climate change scenarios in the Basque Country

Metodología y resultados de proyecciones climáticas: variables adicionales y proyecciones de alta resolución para el escenario RCP4.5.

Autores	NEIKER
Fecha	5-oct.-21

Histórico de cambios del documento

Fecha	Versión	Autores	Descripción
22-09-2021	V0.1	NEIKER	First Draft: methodology
05-10-2021	v0.2	NEIKER	Draft for the data viewer: methodology and results for RCP 4.5

Koordinatzailea / Coordina



Bazkideak / Entidades socias

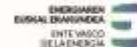
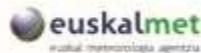
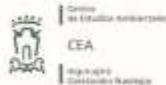
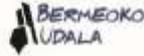


Table of Contents

Table of Contents	4
Table of Figures	5
Table of Tables	6
1 Executive summary	7
2 Laburpen exekutiboa.....	10
3 Resumen ejecutivo	13
4 Acrónimos	16
5 Introducción y antecedentes.....	17
6 Variables de velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar.....	20
6.1 Proyecciones EURO-CORDEX para la CAPV	20
6.2 Productos generados	24
6.3 Guía de usuario/problemas frecuentes	25
6.3.1 Acceso a los datos	25
6.3.2 Condiciones de uso de los datos	25
6.3.3 Tratamiento de la incertidumbre.....	26
7 Proyecciones climáticas de la CAPV para el escenario RCP 4.5 con corrección de sesgo...	27
7.1 La iniciativa CORDEX.....	28
7.2 Proyecciones regionales de cambio climático en la CAPV	32
7.2.1 Datos utilizados	32
7.2.2 Corrección de sesgos: aplicación de métodos de ajuste de cuantil.....	33
7.3 Indicadores climáticos calculados	36
7.4 Resultados	37
7.4.1 Climatologías futuras.....	37
7.4.2 Precipitación.....	38
7.4.3 Temperatura media.....	45
7.4.4 Temperatura máxima	51
7.4.5 Temperatura mínima	59
7.5 Conclusiones y recomendaciones	66
8 Referencias	68
9 Anexo I.....	70

Table of Figures

Figura 1. Búsqueda en el nodo ESGF correspondiente al centro DKRZ (https://esgf-data.dkrz.de/search/cordex-dkrz/).....	20
Figura 2. Primeras 11 columnas de un fichero de ejemplo la estructura del fichero para representar tanto la coordenada temporal (línea/fila) como la espacial (columna).....	22
Figura 3. Dominio de simulación de los RCMs enmarcados en EURO-CORDEX.29	
Figura 4. Climatología estacional observada (1981-2010) de precipitación acumulada (mm).	38
Figura 5. Climatología estacional proyectada (2011-2040) de precipitación acumulada (mm).	39
Figura 6. Desviación estándar del ensemble (2011-2040) para la precipitación acumulada.	40
Figura 7. Climatología estacional proyectada (2041-2070) de precipitación acumulada (mm).	41
Figura 8. Desviación estándar del ensemble (2041-2070) para la precipitación acumulada.	42
Figura 9. Climatología estacional proyectada (2071-2100) de precipitación acumulada (mm).	43
Figura 10. Desviación estándar del ensemble (2071-2100) para la precipitación acumulada.	44
Figura 11. Climatología estacional observada (1981-2010) de la temperatura media (°C).	45
Figura 12. Climatología estacional proyectada (2011-2040) de la temperatura media (°C).	46
Figura 13. Desviación estándar del ensemble (2011-2040) para la temperatura media (°C).	47
Figura 14. Climatología estacional proyectada (2041-2070) de la temperatura media (°C).	48
Figura 15. Desviación estándar del ensemble (2041-2070) para la temperatura media (°C).	49
Figura 16. Climatología estacional proyectada (2071-2100) de la temperatura media (°C).	50
Figura 17. Desviación estándar del ensemble (2071-2100) para la temperatura media (°C).	51
Figura 18. Climatología estacional observada (1981-2010) de la temperatura máxima (°C).	52
Figura 19. Climatología estacional proyectada (2011-2040) de la temperatura máxima (°C).	53
Figura 20. Desviación estándar del ensemble (2011-2040) para la temperatura máxima (°C).	54
Figura 21. Climatología estacional proyectada (2041-2070) de la temperatura máxima (°C).	55
Figura 22. Desviación estándar del ensemble (2041-2070) para la temperatura máxima (°C).	56

Figura 23. Climatología estacional proyectada (2071-2100) de la temperatura máxima (°C). 57

Figura 24. Desviación estándar del ensemble (2071-2100) para la temperatura máxima (°C). 58

Figura 25. Climatología estacional observada (1981-2010) de la temperatura mínima (°C) 59

Figura 26. Climatología estacional proyectada (2011-2040) de la temperatura mínima (°C) 60

Figura 27. Desviación estándar del ensemble (2011-2040) de la temperatura mínima (°C) 61

Figura 28. Climatología estacional proyectada (2041-2070) de la temperatura mínima (°C) 62

Figura 29. Desviación estándar del ensemble (2041-2070) de la temperatura mínima (°C) 63

Figura 30. Climatología estacional proyectada (2071-2100) de la temperatura mínima (°C) 64

Figura 31. Desviación estándar del ensemble (2071-2100) de la temperatura mínima (°C) 65

Table of Tables

TABLA 1. INDICACIONES SOBRE LA NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS .TXT SOBRE VARIABLES NO-BÁSICAS DE LA INICIATIVA EURO-CORDEX. 21

TABLA 2. PROYECCIONES REGIONALES OBTENIDAS CON DISTINTOS ACOPLAMIENTOS DE GCMs/RCMs DE LA INICIATIVA EURO-CORDEX CONSIDERADOS EN EL PRESENTE TRABAJO. 32

TABLA 3. COORDENADAS EN SISTEMA WGS 84 DE LOS PUNTOS DE LA REJILLA DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA CAPV PARA LAS CUALES SE OBTUVIERON DATOS CLIMÁTICOS DE LAS SIMULACIONES DE LA INICIATIVA EURO-CORDEX. 70

TABLA 4. COORDENADAS EN SISTEMA ETRS 89 DE LOS PUNTOS DE LA REJILLA DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA CAPV PARA LAS CUALES SE OBTUVIERON DATOS CLIMÁTICOS DE LAS SIMULACIONES DE LA INICIATIVA EURO-CORDEX. 73

1 Executive summary

Within the framework of Action A.2 of the Life project URBAN KLIMA 2050, one of the objectives is to expand the information currently available on the future climatic conditions expected in the geographical area of the Basque Country (CAPV).

Purposes:

Specifically, it is intended to deepen the following aspects:

- Obtaining climatic variables, in addition to temperatures and precipitation, such as wind speed, relative humidity and solar radiation, for the scenarios RCP4.5 and RCP8.5 described in Fifth Assessment Report of the IPCC (AR5).
- Obtaining precipitation and temperature projections, with high spatial (1 km) and temporal (daily) resolution of the CAPV for the RCP4.5 scenario.

Methodology:

The data used for this work comes from the latest generation available at the start of the project URBAN KLIMA 2050 of regional projections for Europe, provided by the EURO-CORDEX initiative. This initiative provides a set of alternative simulations produced with various combinations of General Circulation Models (GCM) and Regional Climate Models (RCM) on the same grid (with 0.11° horizontal resolution, ~ 12 km).

Regarding the first objective, the additional variables were downloaded, for the geographical area of the CAPV, from the ESGF infrastructure, as the official data distributor of the EURO-CORDEX initiative; no subsequent downscaling or bias correction methods were applied to these data. Therefore, its resolution is that of the EURO-CORDEX simulations (GCM/RCM) (~ 12 km).

Regarding the second objective, based on daily precipitation and temperature data from 12 EURO-CORDEX simulations (GCM/RCM), its spatial resolution was improved and its bias was corrected, by using:

- The high resolution base climatology of the Basque Country (1 km) based on observed climatic series, which was obtained in a previous project (ESCENARIOS II);

- Quantile adjustment techniques: one empirical method (EQM- “Empirical Quantile Mapping”) and two parametric methods (PQM- “Parametric Quantile Mapping” and GPQM- “Generalized Parametric Quantile Mapping”).

The bias correction of the simulations was carried out statistically adjusting the distribution of daily values simulated by the models in a historical period (1971-2000) with the corresponding observed distribution. This calibration was subsequently applied to the data projected for the future. In this way, all models were calibrated with the same reference and future changes could be obtained directly as the difference between the calibrated projection and the observation.

In addition, using these calibrated precipitation and temperature data for the RCP4.5 scenario, more than 70 climatic indicators were calculated following the same calculation procedures used in a previous project (ESCENARIOS II).

Key Findings and Conclusions:

The climatic data produced are the daily series of precipitation and temperature for three future periods (2011-2040, 2041-2070 and 2071-2100), obtained from regional climate simulations, appropriately calibrated based on historical observations to avoid the problems introduced by the biases of the GCM/RCM models. These data cover the area of the CAPV and reach a spatial resolution of 1 km. More than 70 climate indicators have also been generated derived from these series of precipitation and temperature.

These series calibrated in the CAPV are suitable to be used, in later stages, in studies about the impact or effects of climate change on local scale.

The resulting set of the 5 general models (GCM) and the 4 regional models (RCM) that constitute the 12 simulations used in this work, characterize the existing uncertainty due to the global (GCM) and regional (RCM) modeling process; furthermore, together with the projections developed in the previous project ESCENARIOS II (RCP8.5), it also contributes to providing an uncertainty due to future radiative forcing scenario by incorporating another scenario (RCP4.5).

All the information generated in this action of the URBAN KLIMA 2050 project has been made available to the public through a viewer (<http://escenariosklima.ihobe.eus>), which also includes the data of the previous project ESCENARIOS II, since it is information that complements each other.

Likewise, in the same viewer the variables additional to the basic ones (wind speed, humidity and solar radiation) of the EURO-CORDEX simulations are incorporated without downscaling or additional bias correction.

Lessons Learned:

It is important to bear in mind that the 12 simulations used to obtain precipitation and temperature projections are not equiprobable, since some models are more represented (replicated) than others (see [TABLA 2](#)). Therefore, in those cases in which it is not possible to work with the 12 simulations and it is necessary to consider a reduced sample, it is necessary to try to maximize the variability of the sample. For example, using a sample of 5 simulations that include a single replica of the five general models (GCM) and minimizing the replicas of the regional ones (RCM), that is, those simulations corresponding to the numbers 1, 7, 8, 9 and 11 of [TABLA 2](#). Under these assumptions, this sample would be representative of the total uncertainty and, furthermore, its members could be considered equiprobable.

2 Laburpen exekutiboa

URBAN KLIMA 2050 izeneko Life proiektuaren A.2 Ekintzaren baitan, helburu nagusia da EAEko (Euskal Autonomi Erkidegoko) eremu geografikoan etorkizunean espero diren baldintza klimatikoak buruz gaur egun eskuragarri dagoen informazioa handiagotzea.

Helburuak:

Alderdi hauetan sakondu nahi da, zehazki:

- Temperaturaz eta prezipitazioez gain, beste aldagai klimatiko batzuk lortzea, hala nola haizearen abiadura, hezetasun erlatiboa eta eguzki erradiazioa, IPCCren Bosgarren Ebaluazio Txostenean (AR5) deskribatutako RCP4.5 eta RCP8.5 agertokietarako.
- Prezipitazioaren eta tenperaturen proiektzioak lortzea EAEn, espazio- (1 km) eta denbora- (egunerokoa) bereizmen handiz RCP4.5 agertokirako.

Metodologia:

URBAN KLIMA 2050 proiektuaren hastapenetan eskuragarri zeuden EURO-CORDEX ekimenak Europarako emandako eskualde proiektzioen azken belaunaldikoak dira lan honetarako erabilitako datuak. Ekimen honek modelo globalen (GCM) eta eskualdeko klima modeloen (RCM) konbinazio ezberdinekin sortutako simulazio alternatiboen multzoa eskaintzen du sare bererako (0,11° bereizmen horizontalarekin, 12 km inguruko bereizmenarekin, alegia).

Lehen helburuari dagokionez, aldagai osagarriak deskargatu ziren, EAEko eremu geografikorako, EURO-CORDEX ekimeneko datuen banatzaile ofiziala den ESGF azpiegituratik; deskargatu ondoren, datu horiei ez zitzaion bereizmena hobetzeko edo alborapena zuzentzeko teknikarik aplikatu. Hori dela eta, berauen bereizmena EURO-CORDEX simulazioek eurak dutena da (GCM/RCM) (~ 12 km).

Bigarren helburuari dagokionez, EURO-CORDEX ekimeneko 12 simulazioen (GCM/RCM) eguneroko prezipitazio eta tenperatura datuetatik abiatuta, berauei bereizmen espaziala hobetu zaie eta alborapena zuzendu, honako hauek erabiliz:

- EAEko bereizmen handiko erreferentziako klimatologia (1 km): hau behatutako serie klimatikoetan oinarrituta lortu zen aurreko proiektu batean (ESCENARIOS II).
- Kuantilak doitzeko teknikak: bat enpirikoa (EQM- "Empirical Quantile Mapping") eta bi parametrikokoak (PQM- "Parametric Quantile Mapping" eta GPQM- "Generalized Parametric Quantile Mapping").

Simulazioen alborapenaren zuzenketa egiteko, aldi historikorako (1971-2000) modeloek simulatutako eguneroko balioen distribuzioa estatistikoki doitu zitzaion behatutako balioen distribuzioari. Gero, kalibrazio hori bera aplikatu zitzaion etorkizunean proiektatutako datuei. Modu honetan, eredu guztiak erreferentzia berarekin kalibratu ziren eta etorkizuneko aldaketak zuzenean lor zitezkeen kalibratutako proiektzioaren eta behaketaren arteko diferentzia kalkulatu.

Horrez gain, RCP4.5 agertokirako kalibratutako prezipitazio eta temperatura datu horiek erabiliz, 70 adierazle klimatikotik gora kalkulatu ziren aurreko ESCENARIOS II proiektuan erabilitako kalkulu prozedura berberak jarraituz.

Emaitza eta ondorio nagusiak:

Sortutako datu klimatikoak etorkizuneko hiru alditako prezipitazioaren eta tenperaturen eguneroko serieak dira (2011-2040, 2041-2070 eta 2071-2100), eskualde mailako klima simulazioetatik abiatuta lortutakoak eta, GCM/RCM modeloen alborapenek sortutako arazoak ekiditeko, behar bezala kalibratuak behaketa historikoetan oinarrituta. Datu horiek EAEko eremua hartzen dute eta 1 km-ko bereizmen espaziala lortzen dute. Prezipitazio eta temperatura serie horietatik eratorritako 70 adierazle klimatiko baino gehiago ere kalkulatu dira.

EAEEn kalibratutako serie hauek egokiak dira, ondorengo etapetan, klima-aldaketaren inpaktua edo eraginak aztertzeke tokiko eskalan.

Lan honetan erabilitako 12 simulazioak osatzen dituzten 5 eredu orokorren (GCM) eta 4 eskualde-ereduen (RCM) multzoak biltzen du mundu mailako (GCM) eta eskualde mailako (RCM) modelizazio prozesuen ondorioz dagoen ziurgabetasuna; gainera, aurreko ESCENARIOS II proiektuan garatutako proiektzioekin batera (RCP8.5), etorkizuneko erradiazio bidezko berotzearen beste agertoki bat gehiago (RCP4.5) eskaintzen duenez, agertokiaren ondorioz izan daitekeen ziurgabetasunaren berri ematen ere laguntzen du.

URBAN KLIMA 2050 proiektuaren ekintza honetan sortutako informazio guztia jendearen eskura jarri da bisore baten bidez (<http://escenariosklima.ihobe.eus>), non aurreko ESCENARIOS II proiektuko datuak ere biltzen diren, elkarren osagarri baitira.

Era berean, bisore berean EURO-CORDEX simulazioen oinarrizko aldagaien osagarri direnak (haizearen abiadura, hezetasuna eta eguzki erradiazioa) ere badaude, beraien bereizmena hobetzeko edo alborapen zuzentzeko prozesu gehigarririk gabe.

Ikasitako ikasgaiak:

Kontuan hartu behar da prezipitazioaren eta tenperaturen proiektzioak lortzeko erabili diren 12 simulazioak ez direla ekiprobableak, eredu batzuk beste batzuk baino gehiago azaltzen edo errepikatzen direlako (ikus **TABLA 2**). Hori dela eta, 12 simulazioekin lan egitea posible ez den kasuetan eta lagin murriztua erabiltzea beste irtenbiderik ez dagoenean, laginaren aldakortasuna maximizatzen saiatu behar da. Adibidez, bost simulazioko lagina erabilia, eredu globaletatik (GCM) erreplika bana daukana, eta eskualdeko ereduetatik (RCM) ahalik eta erreplika gutxien dituen aukeratuko genuke, hau da, **TABLA 2** taulan 1, 7, 8, 9 eta 11 zenbakiei dagozkien simulazioak. Hipotesi hauen arabera, lagin hori ziurgabetasun osoaren adierazgarria izango litzateke eta, are gehiago, bere baitako simulazioak ekiprobabletzat har litezke.

3 Resumen ejecutivo

En el marco de la Acción A.2 del proyecto Life URBAN KLIMA 2050, el objetivo principal es ampliar la información existente actualmente sobre las condiciones climáticas futuras que se esperan en el ámbito geográfico de la CAPV.

Objetivos:

Concretamente, se pretende profundizar en los siguientes aspectos:

- La obtención de variables climáticas adicionales a las temperaturas y la precipitación, como velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar, para los escenarios RCP4.5 y RCP8.5 descritos en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5).
- La obtención de proyecciones de precipitación y temperaturas, con alta resolución espacial (1 km) y temporal (diario) de la CAPV para el escenario RCP4.5.

Metodología:

Los datos utilizados para este trabajo proceden de la última generación disponible al inicio del proyecto URBAN KLIMA 2050 de proyecciones regionales sobre Europa, dadas por la iniciativa EURO-CORDEX. 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).

En cuanto al primer objetivo, las variables adicionales fueron descargadas, para el ámbito geográfico de la CAPV, de la infraestructura ESGF, como distribuidora oficial de datos de la iniciativa EURO-CORDEX; no se aplicaron técnicas posteriores de regionalización ni de corrección de sesgo sobre estos datos. Por tanto, su resolución es la de las simulaciones (GCM/RCM) de EURO-CORDEX (~12 km).

Respecto al segundo objetivo, 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:

- La climatología base de alta resolución de la CAPV (1 km) basada en series climáticas observadas y que fue obtenida en un proyecto anterior (ESCENARIOS II).
- Técnicas de ajuste de cuantil: una empírica (EQM-“Empirical Quantile Mapping”) y dos paramétricas (PQM-“Parametric Quantile Mapping” y GPQM-“Generalized Parametric Quantile Mapping”).

La corrección del sesgo de las simulaciones se realizó 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 aplicó posteriormente a los datos proyectados para el futuro. De esta manera, todos los modelos se calibraron con la misma referencia y los cambios futuros se pudieron obtener directamente como la diferencia entre la proyección calibrada y la observación.

Además, utilizando estos datos calibrados de precipitación y temperaturas para el escenario RCP4.5, se calcularon más de 70 indicadores climáticos siguiendo los mismos procedimientos de cálculo utilizados en el proyecto anterior ESCENARIOS II.

Principales resultados y conclusiones:

Los datos climáticos producidos son las series diarias de precipitación y temperaturas 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 GCM/RCM. Estos datos abarcan el ámbito de la CAPV y alcanzan una resolución espacial de 1 km. También se han generado más de 70 indicadores climáticos derivados de estas series de precipitación y temperaturas.

Estas series calibradas en la CAPV son adecuadas para ser utilizadas, en etapas posteriores, en estudios sobre el impacto o los efectos del cambio climático a escala local.

El conjunto resultante de los 5 modelos generales (GCM) y los 4 modelos regionales (RCM) que constituyen las 12 simulaciones utilizadas en el presente trabajo, caracterizan la incertidumbre existente debida al proceso de modelización global (GCM) y regional (RCM); y además, junto a las proyecciones desarrolladas en el proyecto precedente ESCENARIOS II (RCP8.5), también contribuye a proporcionar una incertidumbre debida al escenario de forzamiento radiativo futuro al incorporar otro escenario (RCP4.5).

Toda la información generada en esta acción del proyecto URBAN KLIMA 2050 se ha puesto a disposición pública a través de un visor (<http://escenariosklima.ihobe.eus>),

que incluye, además, los datos del proyecto precedente ESCENARIOS II, ya que se trata de información que se complementa mutuamente.

Así mismo, en el mismo visor se incorporan las variables adicionales a las básicas (velocidad del viento, humedad y radiación solar) de las simulaciones EURO-CORDEX sin regionalización ni corrección de sesgo adicional.

Lecciones aprendidas:

Es importante tener en cuenta que las 12 simulaciones utilizadas para la obtención de proyecciones de precipitación y temperatura no son equiprobables, pues unos modelos están más representados (replicados) que otros (ver TABLA 2). Por tanto, en aquellos casos en que no se pueda trabajar con las 12 simulaciones y sea necesario considerar una muestra reducida, se debe tratar de maximizar la variabilidad de la muestra. Por ejemplo, utilizando una muestra de cinco simulaciones que incluyen una única réplica de los cinco modelos globales (GCM) minimizando las réplicas de los regionales (RCM), es decir, los correspondientes a los números 1, 7, 8, 9 y 11 de la TABLA 2. Bajo estos supuestos, esta muestra sería representativa de la incertidumbre total y, además, sus miembros podrían considerarse como equiprobables.

4 Acrónimos

AR5	Fifth Assessment Report
CAPV	Comunidad Autónoma del País Vasco (“EAE” en sus siglas en euskera)
CMIP5	The WCRP Coupled Model Intercomparison Project - Phase 5
CORDEX	COordinated Regional Downscaling Experiment
CSV	Comma Separated Values
EAE	Euskal Autonomi Erkidegoa (“CAPV” en sus siglas en español)
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

5 Introducción y antecedentes

El proyecto URBAN KLIMA 2050 ha permitido, gracias a la Acción A.2 (“Ampliación del análisis de riesgos en el País Vasco”), continuar en la línea de proyectos anteriores - cuyos datos también son de carácter público y se encuentran en gran medida disponibles en el mismo visor que contiene los datos de URBAN KLIMA 2050-, profundizando y ampliando la información sobre las proyecciones climáticas de la CAPV (Comunidad Autónoma del País Vasco) mediante:

- Incorporación de nuevas variables (velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar) a las proyecciones climáticas de la CAPV (Acción A.2.1).
- Obtención de proyecciones para el escenario RCP4.5 de alta resolución espacial (1km x 1km) y temporal (diario) para la CAPV con corrección de sesgo (Acción A.2.2), así como numerosos indicadores climáticos derivados de la temperatura y la precipitación.

Los proyectos anteriores que se ha indicado que guardan estrecha relación con el proyecto URBAN KLIMA 2050 son los siguientes:

- Proyecto ESCENARIOS (“Elaboración de escenarios regionales de cambio climático de alta resolución sobre el País Vasco”): con financiación del programa KLIMATEK 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.



La información sobre este proyecto se encuentra disponible en:

- 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/>

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



La información sobre este proyecto se encuentra disponible en:

- 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>

En el proyecto actual, URBAN KLIMA 2050 (“Systemic implementation of the CC action in the Basque Country for increased urban resilience as full territory enabler”), se cuenta con financiación del programa Life (LIFE 18 IPC/ES/000001 LIFE-IP URBAN

KLIMA 2050). Concretamente, los datos que se proporcionan en el visor <http://escenariosklima.ihobe.eus> fueron obtenidos en la acción A.2 (“Ampliación del análisis de riesgos en el País Vasco”) en la que participaron Neiker, el Grupo de Meteorología de Santander (IFCA-MACC, CSIC-UC) y Predictia Intelligent Data Solutions S. L.

El presente documento constituye el documento metodológico que describe cómo se han obtenido tanto las nuevas variables climáticas como los indicadores con corrección de sesgo para el escenario RCP4.5, en el marco de URBAN KLIMA 2050. Así mismo, se recogen algunos resultados sobre la evolución que sería de esperar en las temperaturas y las precipitaciones de la CAPV de acuerdo al escenario RCP4.5.

Tal y como ya se ha indicado, los datos climáticos obtenidos en el marco de URBAN KLIMA 2050 pueden ser visualizados y descargados desde:

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

6 Variables de velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar

6.1 Proyecciones EURO-CORDEX para la CAPV

Con fecha de julio de 2020 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. Para ello, se seleccionaron los datos de velocidad del viento, humedad relativa y radiación solar (Figura 1), correspondiéndose con la búsqueda siguiente:

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



FIGURA 1. 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 más cercanos a los puntos de la CAPV establecidos en los proyectos ESCENARIOS y recogidos en el Anexo I.

COMO SE OBSERVA EN LA

FIGURA 1. BÚSQUEDA EN EL NODO ESGF CORRESPONDIENTE AL CENTRO DKRZ ([HTTPS://ESGF-DATA.DKRZ.DE/SEARCH/CORDEX-DKRZ/](https://esgf-data.dkrz.de/search/corDEX-dkrz/)).

existen hasta 637 combinaciones como resultado de la búsqueda anterior, de modo que debemos establecer un sistema o nomenclatura para identificar de forma unívoca cada una de las simulaciones generadas. Para ello, se ha partido 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 1** se reflejan los diferentes elementos y los posibles valores que pueden tomar en base a su disponibilidad en ESGF.

TABLA 1. INDICACIONES SOBRE LA NOMENCLATURA DE LOS ARCHIVOS .TXT SOBRE VARIABLES NO-BÁSICAS DE LA INICIATIVA EURO-CORDEX.

Etiqueta/Elemento	Posibles valores
Variable	hurs, rsds, rlds, sfcWind y sfcWindmax
Dominio	EUR-11
Modelo Global	CNRM-CERFACS-CNRM-CM5; ICHEC-EC-EARTH; IPSL-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
Periodo	1979-2075; 1979-2099; 1979-2100

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

Variable_Dominio_ModeloGlobal_Experimento_Miembro_Institución_ModeloRegion_al_version_Periodo.txt

Por ejemplo:

hurs_EUR-11_CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_rcp45_r1i1p1_CNRM-ALADIN53_v1_1979-2100.txt

sfcWindmax_EUR-11_NCC-NorESM1-M_rcp85_r1i1p1_IPSL-WRF381P_v1_1979-2100.txt

Debe notarse que, 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, notar 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 plano siguiendo un formato CSV (“Comma Separated Value”) en el cual cada campo o columna se corresponde con la fecha (YYYYMMDD) o un punto de grid, 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, para localizar un valor en un punto específico y una fecha dada, podemos localizarlo 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 2.**

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 2. PRIMERAS 11 COLUMNAS DE UN FICHERO DE EJEMPLO LA ESTRUCTURA DEL FICHERO PARA REPRESENTAR TANTO LA COORDENADA TEMPORAL (LÍNEA/FILA) COMO LA ESPACIAL (COLUMNA).

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 (usually, 10 meters) Wind Speed”*)
- **sfcWind:** velocidad del viento media diaria ($m\ s^{-1}$) (*“Near-Surface (usually, 10 meters) Wind Speed”*)

Debido a su interés, además de la velocidad media diaria del viento se decidió incluir la velocidad máxima diaria, complementando la información dada por el valor medio. Del mismo modo, se han considerado las dos variables de radiación describiendo la radiación diaria que afecta a la superficie.

Por otro lado, se descargaron los datos disponibles de precipitación y temperaturas (mínimas, máximas y medias) correspondientes al escenario RCP 4.5, de acuerdo a la búsqueda siguiente:

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

6.2 Productos generados

Como resultado de la presente acción se han generado:

- Series temporales diarias proyectadas en los puntos de EURO-CORDEX que engloban la CAPV para las variables hurs, rsds, rlds, sfcWind y sfcWindmax. **Tipo de dato:** serie temporal. **Formato:** CSV. **Res. Espacial:** ~12x12 km. **Res. Temporal:** Dato diario para el periodo disponible (p.e. 1979-2100). **Ensemble:** Modelo. **Escenarios:** RCP4.5 y RCP8.5.

- Series temporales diarias proyectadas en una rejilla de aproximadamente 1km*1km que engloba la CAPV para las variables tasmin, tasmax, tas y pr. **Tipo de dato:** serie temporal. **Formato:** CSV. **Res. Espacial:** ~1x1 km. **Res. Temporal:** Dato diario para el periodo disponible (p.e. 1971-2100). **Ensemble:** Modelo. **Escenarios:** RCP4.5.

- Indicadores climáticos derivados de variables termoplumiométricas (los mismos que se obtuvieron en el proyecto ESCENARIOS II para el RCP 8.5) en una rejilla de aproximada de 1km*1km que engloba la CAPV. **Tipo de dato:** periodos temporales. **Formato:** CSV. **Res. Espacial:** ~1x1 km. **Res. Temporal:** periodos temporales 1971-2000; 2011-2040; 2041-2070 y 2071-2100. **Ensemble:** Modelo. **Escenarios:** RCP4.5.

6.3 Guía de usuario/problemas frecuentes

La complejidad de la información climática regional (diferentes modelos globales, modelos regionales, resoluciones, escenarios, métodos de corrección de sesgos, etc.) disponible para llevar a cabo estudios de impacto y adaptación al cambio climático, hace que su uso no resulte sencillo en muchos casos y, por tanto, los usuarios de estos datos se suelen encontrar con una serie de problemas típicos. A continuación se trata de dar respuesta a alguno de ellos.

6.3.1 Acceso a los datos

Dado el volumen y cantidad de los datos de proyecciones generados en los distintos proyectos e iniciativas regionales, nacionales e internacionales, éstos suelen ser almacenados en formatos comprimidos óptimos (p.e. en ficheros binarios en formato NetCDF), de difícil lectura para los usuarios no expertos, y distribuidos en servidores específicos (como el “Earth System Grid Federation”, ESGF, para los datos de CMIP5 y CORDEX) cuyo uso es complejo para usuarios no iniciados y requiere cierta experiencia previa. Por todo ello, el acceso a los datos necesarios para realizar un cierto estudio es normalmente un proceso que consume una gran cantidad de tiempo y recursos que puede llegar a comprometer los resultados del proyecto.

En el presente proyecto se ha tenido en cuenta este problema definiendo y generando formatos de uso común entre las comunidades de impacto, en particular el formato CSV es fácilmente accesible desde lenguajes de programación estándares (R, Python, Matlab) o herramientas de ofimática (Microsoft Office, OpenOffice, LibreOffice, etc.).

6.3.2 Condiciones de uso de los datos

Dos tipos de licencias suelen ser aplicadas a los datos de proyecciones globales y regionales (por ejemplo, los datos de CMIP5 y CORDEX) según sean de uso libre (licencia “unrestricted”) o de uso para actividades de investigación (licencia “non-comercial”). En el marco del presente proyecto únicamente se han considerado aquellas proyecciones con licencia “unrestricted”, de modo que puedan ser utilizados por el mayor espectro posible de comunidades de impacto. De este modo, todos los datos generados en el presente proyecto se distribuyen bajo esta licencia.

6.3.3 Tratamiento de la incertidumbre

Tal como quedó reflejado en el anterior proyecto ESCENARIOS, el escenario de emisión es la principal fuente de incertidumbre en la segunda mitad del siglo. Por ello, es necesario analizar varios escenarios (al menos dos, por ejemplo RCP4.5 y RCP8.5, para obtener una horquilla de resultados) para caracterizar adecuadamente la incertidumbre y tener una representación plausible del clima futuro. Hasta mediados de siglo, la incertidumbre que aportan los distintos modelos es similar o incluso superior a la de los escenarios, sobre todo a nivel regional, por lo que algunos estudios se basan en un único escenario. Sin embargo, existe una gran variabilidad de resultados dependiendo de la variable considerada y la región de interés (ver Hawkins and Sutton, 2009 para más detalles), por lo que un tratamiento adecuado de la incertidumbre ha de considerar siempre los resultados de distintos escenarios para poder caracterizar el clima futuro.

7 Proyecciones climáticas de la CAPV para el escenario RCP 4.5 con corrección de sesgo

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).

El presente trabajo tiene como objetivo generar proyecciones de cambio climático a partir de los resultados públicos de EURO-CORDEX, para poder evaluar los efectos del cambio climático a escala de la CAPV. Para ello, estos datos, disponibles a 0.11° (~12 km), se han calibrado tomando como referencia la climatología base de alta resolución de la CAPV que contiene datos de observación a una resolución espacial de 1 km y que, tal y como ya se ha mencionado, fue obtenida en el proyecto ESCENARIOS II (disponible en <http://escenariosklima.ihobe.eus>).

Los métodos de calibración utilizados son aquellas técnicas de corrección de sesgos que han mostrado un mejor comportamiento en un reciente estudio de inter-comparación llevado a cabo sobre Europa en el proyecto VALUE¹ y que ha analizado más de 20 técnicas diferentes (ver Gutiérrez *et al.*, 2017). Además, fueron estas mismas técnicas de corrección las que se aplicaron en el proyecto ESCENARIOS II para el escenario RCP8.5.

De esta manera, las proyecciones climáticas de la CAPV para ambos escenarios, RCP4.5 (URBAN KLIMA 2050) y RCP8.5 (ESCENARIOS II), se han obtenido siguiendo la misma metodología.

¹<http://www.value-cost.eu>

7.1 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”, <http://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. Actualmente (agosto de 2021) se acaba de publicar el sexto informe de evaluación del IPCC, que aún resulta demasiado reciente para su incorporación al proyecto URBAN KLIMA 2050.

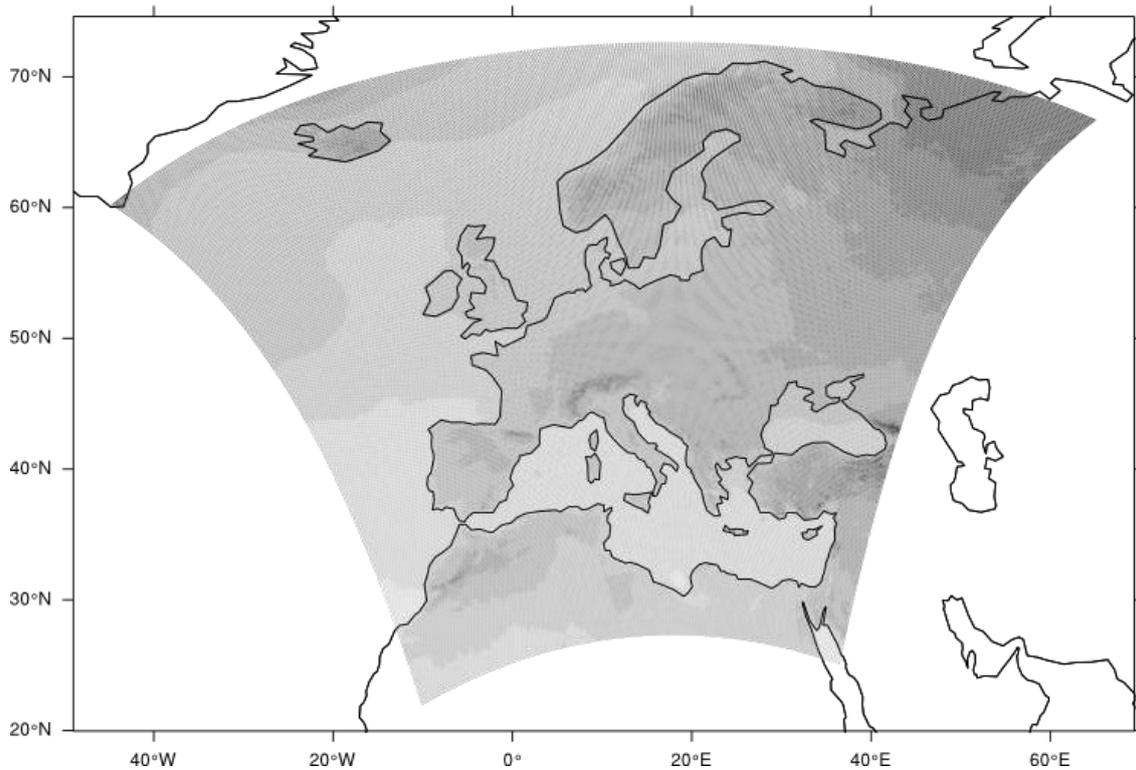


FIGURA 3. DOMINIO DE SIMULACIÓN DE LOS RCMs ENMARCADOS EN EURO-CORDEX.

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 actualmente 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 3**). 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 esta iniciativa con respecto a proyectos anteriores (PRUDENCE y ENSEMBLES):

1- Se ha definido 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 han definido dominios cubriendo todo el mundo, con el objetivo de obtener un conjunto de escenarios globales.

3- Se han actualizado 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, 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 ha resuelto 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 han definido 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.

En base a los puntos reflejados anteriormente, EURO-CORDEX proporciona la última generación de proyecciones climáticas regionalizadas de alta resolución en Europa (ver Casanueva *et al.*, 2015 para una evaluación preliminar sobre España).

7.2 Proyecciones regionales de cambio climático en la CAPV

7.2.1 Datos utilizados

En la elaboración de las proyecciones climáticas futuras y de las coberturas geográficas (mapas) para las diferentes zonas de estudio, se han utilizado datos de temperatura y precipitación generados por los RCMs englobados en EURO-COREX a una resolución de 0.11° (~12 km). En concreto, en el presente trabajo se ha considerado la selección realizada en el proyecto ESCENARIOS II de 12 RCMs (TABLA 2), en esta ocasión para el escenario de emisiones RCP4.5. A modo de referencia se considera el experimento *historical* (histórico) de las simulaciones correspondientes.

TABLA 2. PROYECCIONES REGIONALES OBTENIDAS CON DISTINTOS ACOPLAMIENTOS DE GCMs/RCMs DE LA INICIATIVA EURO-CORDEX CONSIDERADOS EN EL PRESENTE TRABAJO.

ID	Earth System Model (ESM)	Regional Climate Model (RCM)	² Institución
1	CERFACS-CNRM-CM5_r1i1p1	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
2	CERFACS-CNRM-CM5_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
3	MOHC-HadGEM2-ES_r1i1p1	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	CCLM4-8-17_v1	CLMcom
7	ICHEC-EC-EARTH_r12i1p1	RCA4_v1	SMHI
8	IPSL-CM5A-MR_r1i1p1	RCA4_v1	SMHI
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

Los periodos climáticos considerados son 1971-2000 para el clima observado e histórico simulado por los RCM, y 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 para los periodos futuros correspondientes a las proyecciones de los RCM según el escenario

² Más detalles sobre las instituciones en el documento: <http://www.euro-cordex.net/imperia/md/content/csc/cordex/20160204a-eurocordex-simulations.pdf>

de emisiones RCP4.5. En todos los casos y para cada periodo considerado, se han calculado los valores climáticos para cada mes, con el fin de poder evaluar los efectos del cambio climático a una escala estacional.

7.2.2 Corrección de sesgos: aplicación de métodos de ajuste de cuantil

Las salidas de los 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 han sido propuestas hasta la fecha. En total, se han comparado las ventajas y limitaciones de más de 20 técnicas, que incluyen desde técnicas simples basadas en el método delta (*pattern scaling*), hasta técnicas más sofisticadas basadas en el ajuste de los cuantiles (*quantile-quantile mapping*).

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 este proyecto se han analizado diferentes tipos de técnicas de ajuste de cuantiles para la corrección de sesgo, una empírica (EQM-“Empirical Quantile Mapping”, Wilke et al. 2013; Gutiérrez et al. 2017) y dos paramétricas, una utiliza una distribución normal para corregir las variables de temperatura (PQM-“Parametric Quantile Mapping”) y una 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 ha considerado la rejilla de alta resolución desarrollada para la CAPV en el marco del proyecto ESCENARIOS II.

En el caso de la precipitación se ha fijado un umbral de 0.1 mm que determina los días de no precipitación (días con precipitación menor a 0.1 mm) frente a los de precipitación. Esto permite 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, consideramos la aplicación de una ventana de calibración mensual (30 días) y una ventana de corrección de 7 días, de forma que la corrección de los datos se realiza 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 han generado archivos de tipo “CSV” y “NetCDF” para cada variable, donde se recogen las proyecciones diarias (para el conjunto de coordenadas de la CAPV) de los distintos modelos climáticos de la TABLA 2, 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 el escenario RCP4.5.

En el presente trabajo mostramos los resultados de la aplicación del método de corrección EQM (implementación utilizada en el proyecto VALUE con código EQMs). Este método 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 temperatura. En la implementación considerada en este proyecto, se han considerado los percentiles del 1 al 99, extrapolando la corrección de los cuantiles extremos a los valores que quedan 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 han generado 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:

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

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

7.3 Indicadores climáticos calculados

El Panel de Expertos en Detección e Índices de Cambio Climático (ETCCDI-*Expert Team on Climate Change Detection and Indices*) (<http://www.wcrp-climate.org/unifying-themes/unifying-themes-observations/data-etccdi>) definió un conjunto de 27 indicadores basados en temperatura y precipitación para detectar cambios en los eventos climáticos extremos. 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 marco de los proyectos ESCENARIOS y ESCENARIOS II, 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. En el marco del proyecto URBANK KLIMA 2050 se han calculado los mismos indicadores, tal y como se definieron para los citados proyectos precedentes, pero para el escenario RCP4.5.

7.4 Resultados

En este apartado se realiza un estudio detallado considerando tanto la precipitación como la temperatura para los períodos futuros 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100 y para el escenario RCP4.5.

7.4.1 Climatologías futuras

En esta sección se muestran las medias y desviaciones multi-modelo de las climatologías estacionales futuras (periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100) para las variables de estudio. A modo de referencia se muestran las climatologías estacionales observadas en el periodo 1981-2010. Las estaciones son indicadas por las iniciales de los meses, en inglés, que constituyen cada estación:

- JJA: verano (June-July-August)
- SON: otoño (September-October-November)
- DJF: invierno (December-January-February)
- MAM: primavera (March-April-May)

7.4.2 Precipitación

La **Figura 4** muestra las climatologías estacionales de precipitación para el periodo 1981-2010 dadas por las observaciones de referencia.

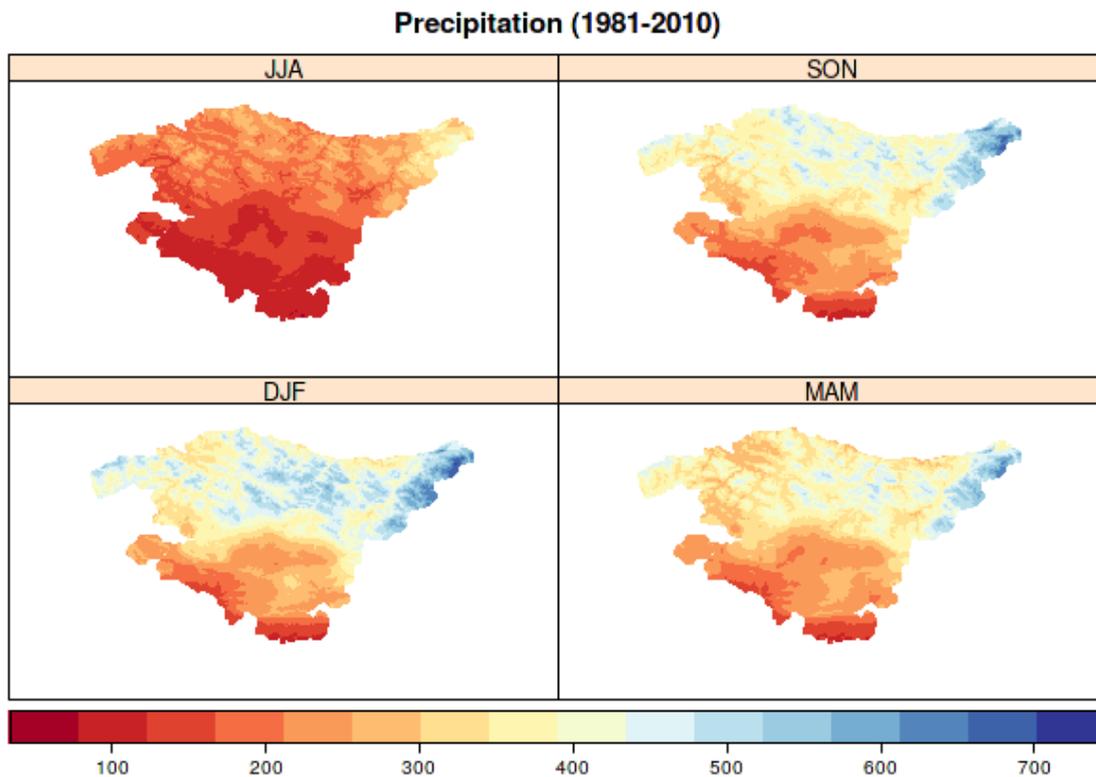


FIGURA 4. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL OBSERVADA (1981-2010) DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA (MM).

A partir de las 12 simulaciones podemos obtener tanto las climatologías proyectadas para los diferentes periodos futuros como sus incertidumbres dadas por la desviación estándar del ensemble definido por las simulaciones referidas en la **TABLA 2**.

La **Figura 5** y **Figura 6** muestran la media y la desviación estándar del ensemble para el periodo 2011-2040. En este primer periodo se observa un decremento promedio entorno al 5-10% en la CAPV si bien en gran parte del territorio no se aprecian cambios significativos preservando los gradientes Norte-Sur y Oeste-Este de la precipitación. Los descensos más relevantes se dan en la mitad sur de la CAPV donde se alcanzan descensos de hasta el 25-30% del total estacional.

En virtud de la desviación estándar del ensemble (**Figura 6**), se da una mayor incertidumbre para la precipitación en verano (JJA) –especialmente, en la zona costera- alcanzando aproximadamente los niveles de la climatología. Sin embargo, para el resto de las estaciones del año el patrón es muy homogéneo en toda la CAPV y con valores reducidos significativamente menores que el valor climatológico.

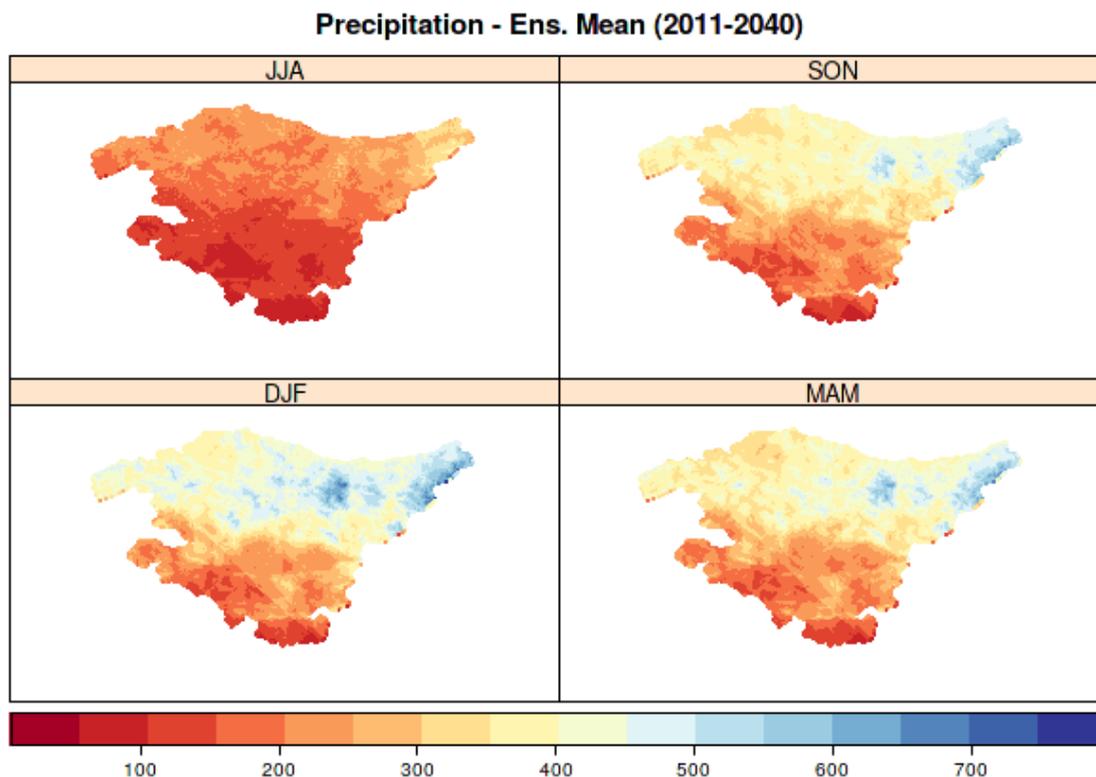


FIGURA 5. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2011-2040) DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA (MM).

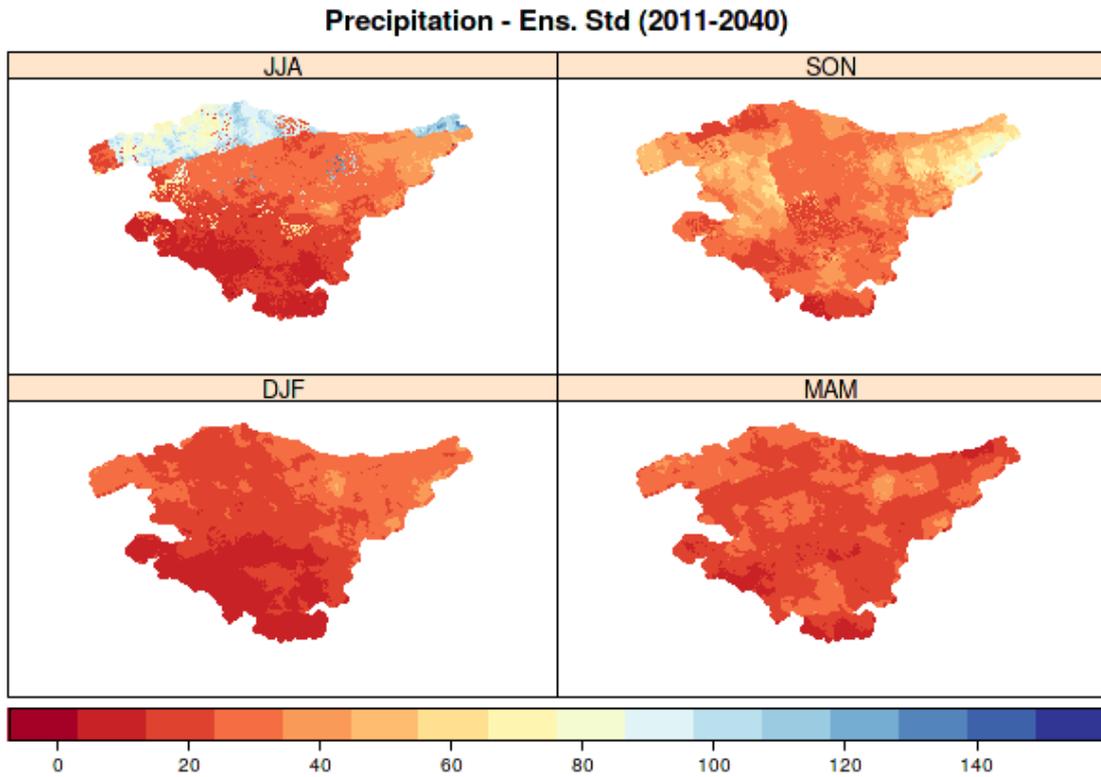


FIGURA 6. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2011-2040) PARA LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA.

La **Figura 7** y **Figura 8** muestran la media y la desviación estándar del ensemble para el periodo 2041-2070. En este periodo se observa un decrecimiento generalizado del 25-35% en la CAPV en las estaciones de verano (JJA) y otoño (SON), mientras que en invierno (DJF) y primavera (MAM) la región más afectada vuelve a ser la mitad sur si bien con descensos menos significativos (~10-20%) que en el periodo anterior. En esta ocasión la incertidumbre del ensemble se concentra en la mitad norte en primavera con valores superiores a 50 mm, siendo en el resto de estaciones inferior a 25 mm. En cualquier caso, como era de esperar a medida que avanza el siglo la incertidumbre se reduce paulatinamente, siendo en este periodo menor del 10% de la señal en toda la CAPV.

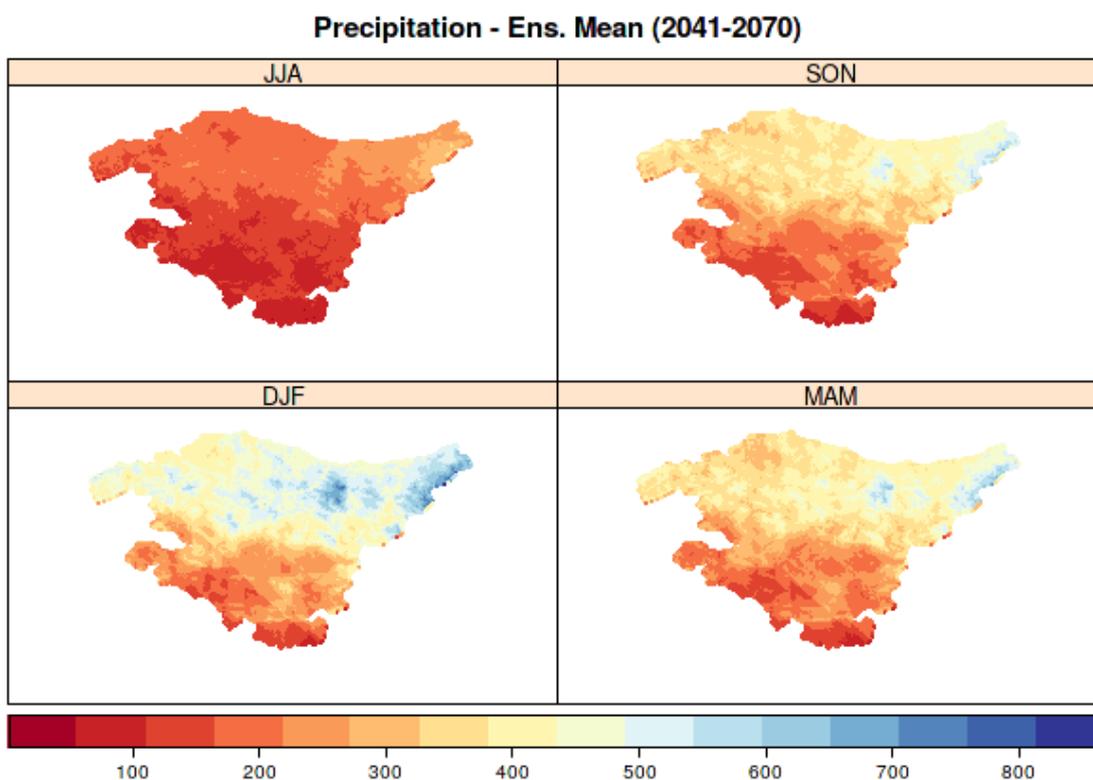


FIGURA 7. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2041-2070) DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA (MM).

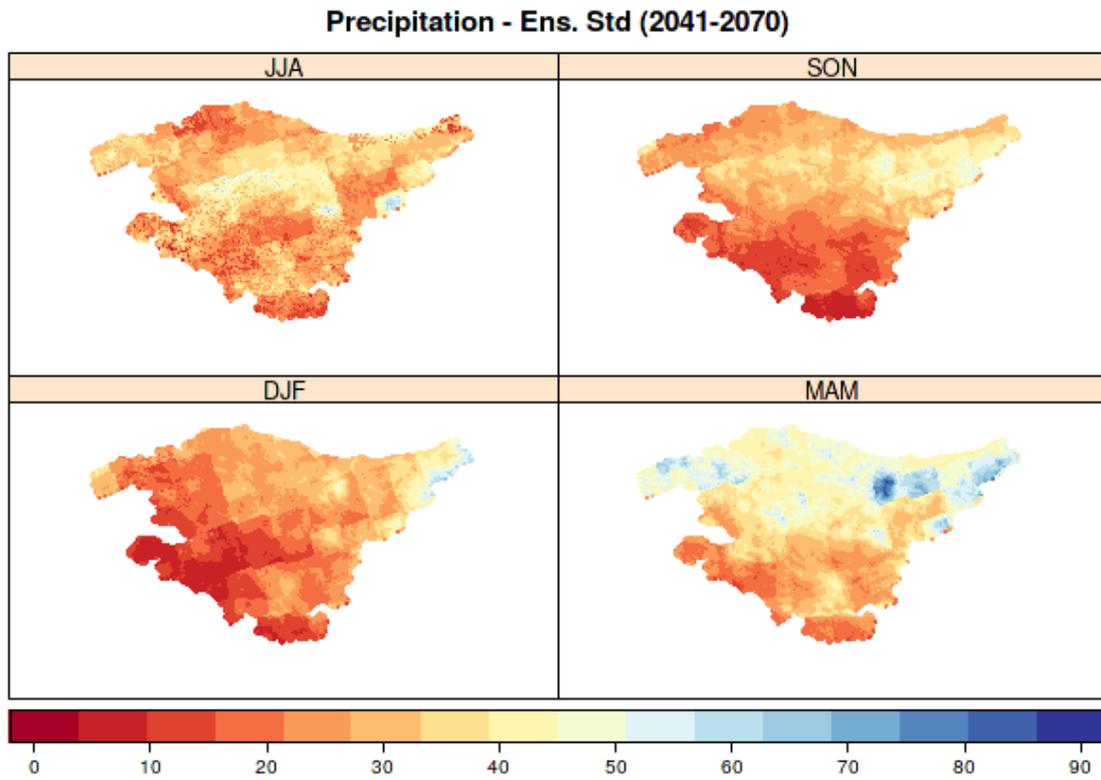


FIGURA 8. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2041-2070) PARA LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA.

Finalmente, la **Figura 9** y **Figura 10** muestran los resultados para el último periodo, 2071-2100. En este último periodo se preserva la tendencia reflejada en el periodo anterior con un descenso generalizado en la CAPV para todas las estaciones y un descenso en la incertidumbre dada por la desviación estándar del ensemble.

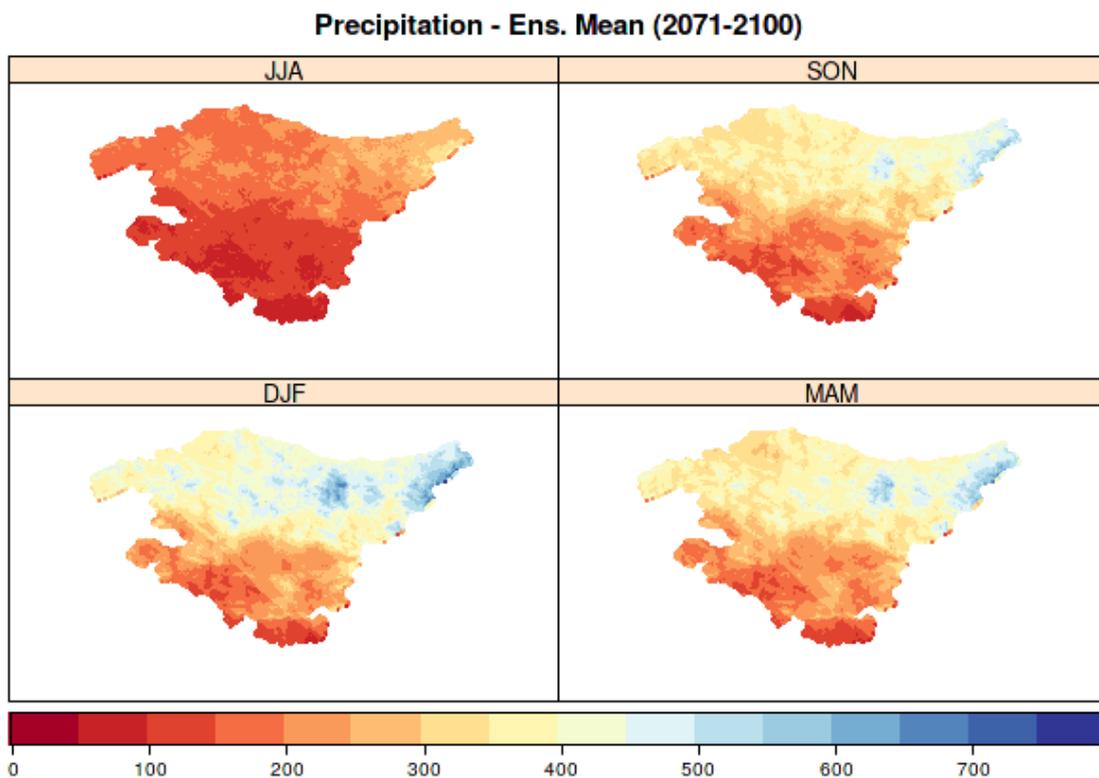


FIGURA 9. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2071-2100) DE PRECIPITACIÓN ACUMULADA (MM).

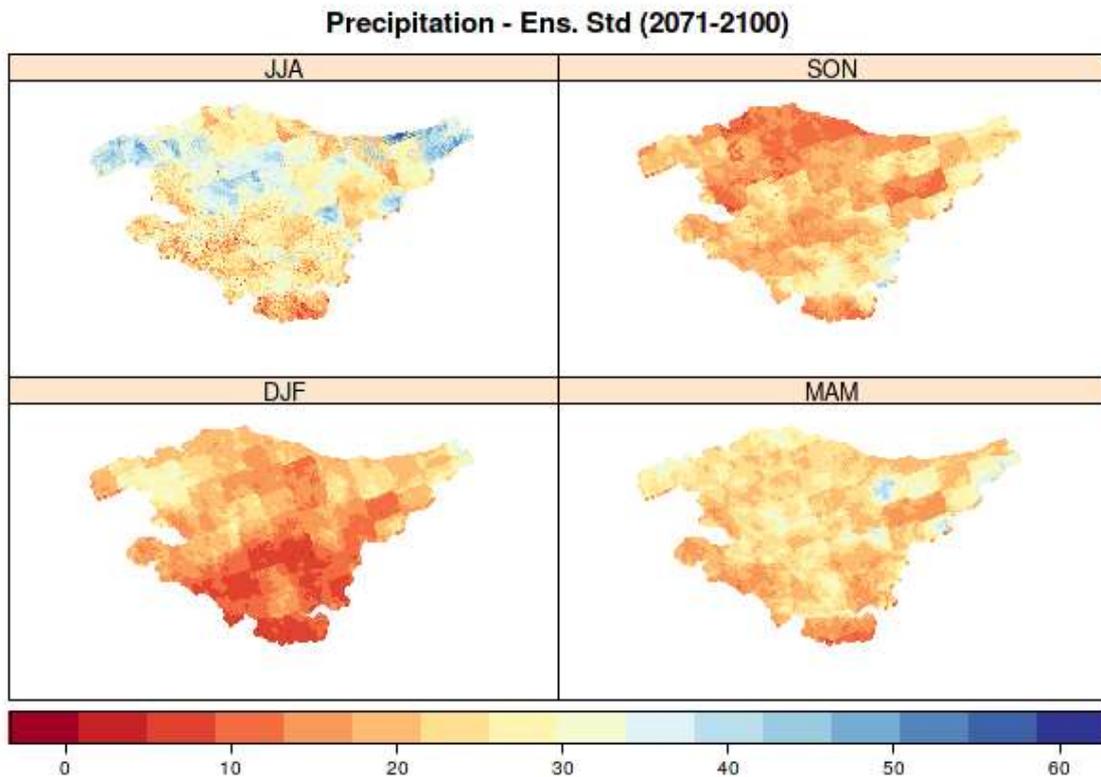


FIGURA 10. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2071-2100) PARA LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA.

En líneas generales se refleja para la precipitación en la CAPV una tendencia a su descenso en todas las estaciones del año, siendo éste decremento más significativo en el sector noroeste de la CAPV en verano y otoño, y en sector suroeste en todas las estaciones del año. Dicha tendencia negativa se agudiza en la segunda mitad del siglo con descensos más pronunciados en los periodos 2041-2070 y 2041-2100. Del mismo modo, a medida que avanza el siglo los modelos regionales convergen dando proyecciones más coherentes y, por tanto, reduciendo la desviación estándar del ensemble.

7.4.3 Temperatura media

La **Figura 11** muestra las climatologías estacionales de temperatura media para el periodo 1981-2010 dadas por las observaciones de referencia.

A partir de las 12 simulaciones obtenemos tanto las climatologías proyectadas para los diferentes periodos futuros como sus incertidumbres dadas por la desviación estándar del ensemble definido por las simulaciones referidas en la **TABLA 2**.

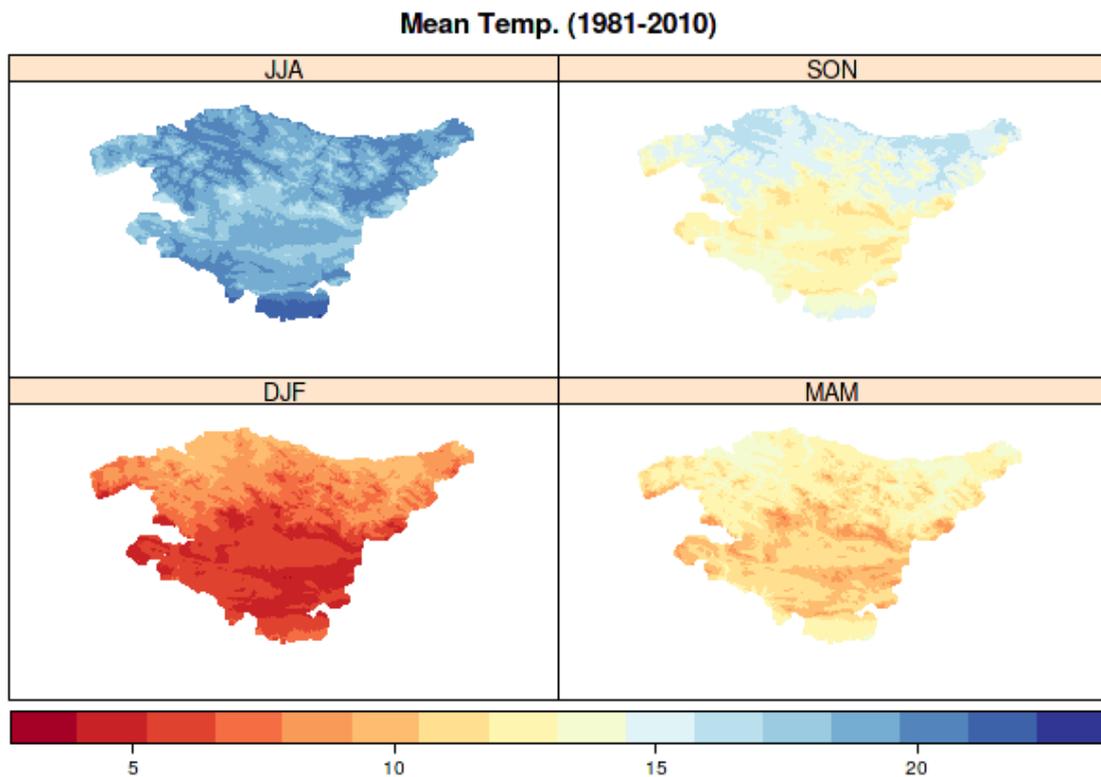


FIGURA 11. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL OBSERVADA (1981-2010) DE LA TEMPERATURA MEDIA (°C).

La **Figura 12** y **Figura 13** muestran la media y la desviación estándar del ensemble para el periodo 2011-2040.

En este primer periodo se observa un incremento en todas las estaciones (0.5°-1.5°C), siendo éste más intenso en invierno y primavera, y menos pronunciado en verano y otoño. A pesar de la proyección generalizada hacia el incremento de la temperatura media, en este primer periodo existe una clara disensión entre los diferentes modelos con desviaciones estándares del orden de la señal en todas las estaciones. Esta incertidumbre es especialmente significativa en la mitad sur de la CAPV para las estaciones de verano e invierno. Por otro lado, dado que la señal de cambio es especialmente homogénea en toda la CAPV, el patrón espacial y sus gradientes se preservan a lo largo de toda la región.

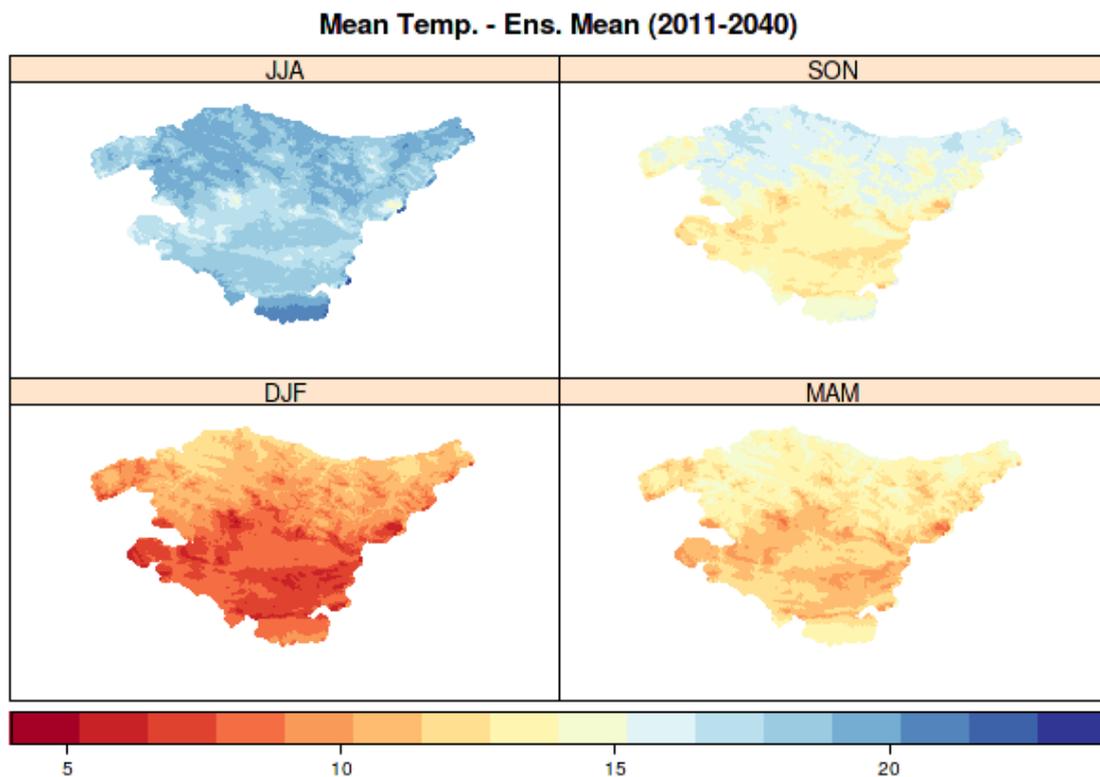


FIGURA 12. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2011-2040) DE LA TEMPERATURA MEDIA (°C).

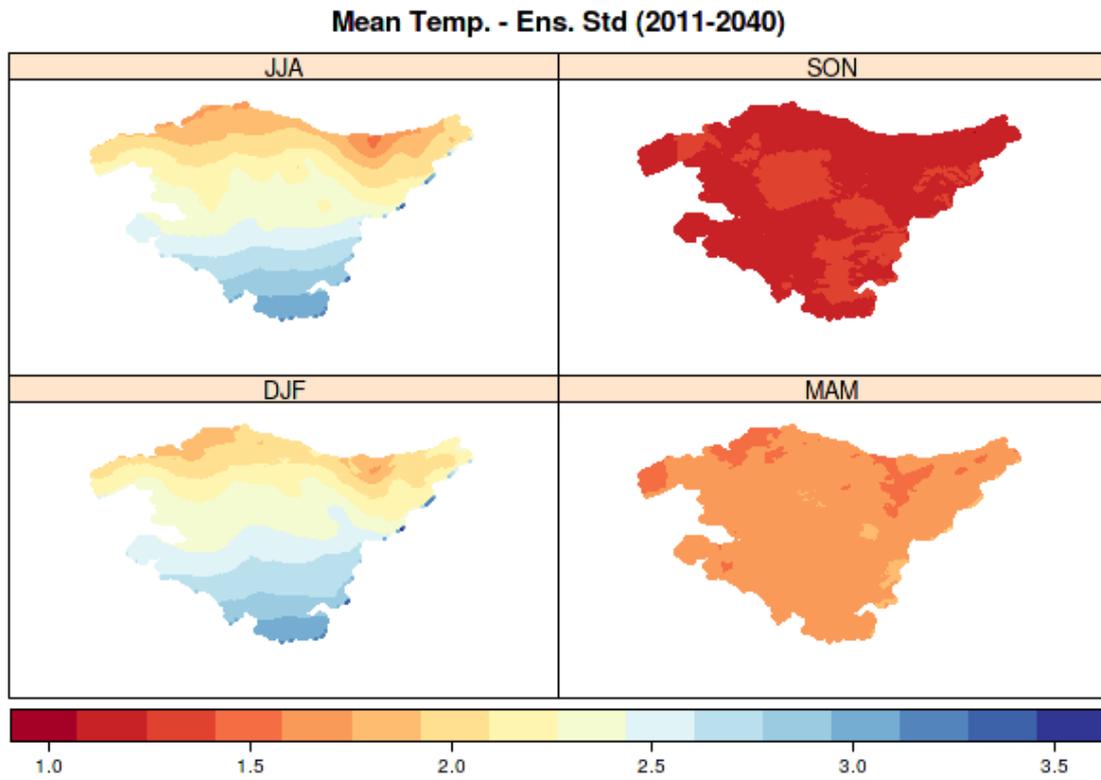


FIGURA 13. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2011-2040) PARA LA TEMPERATURA MEDIA (°C).

La **Figura 14** y **Figura 15** muestran la media y la desviación estándar del ensemble para el periodo 2041-2070. En este periodo se observa una estabilización de la señal de cambio en primavera y verano ($\sim 0.5^\circ$), mientras que se acentúa el incremento en otoño e invierno ($\sim 2^\circ$), más intensamente en el primero. Al igual que ocurriera en el caso de la precipitación, en este periodo se da una reducción de la incertidumbre como queda reflejado en la **Figura 15**, que muestra la desviación estándar del ensemble. A pesar de ello, se observa que ambas, señal e incertidumbre, son de órdenes similares.

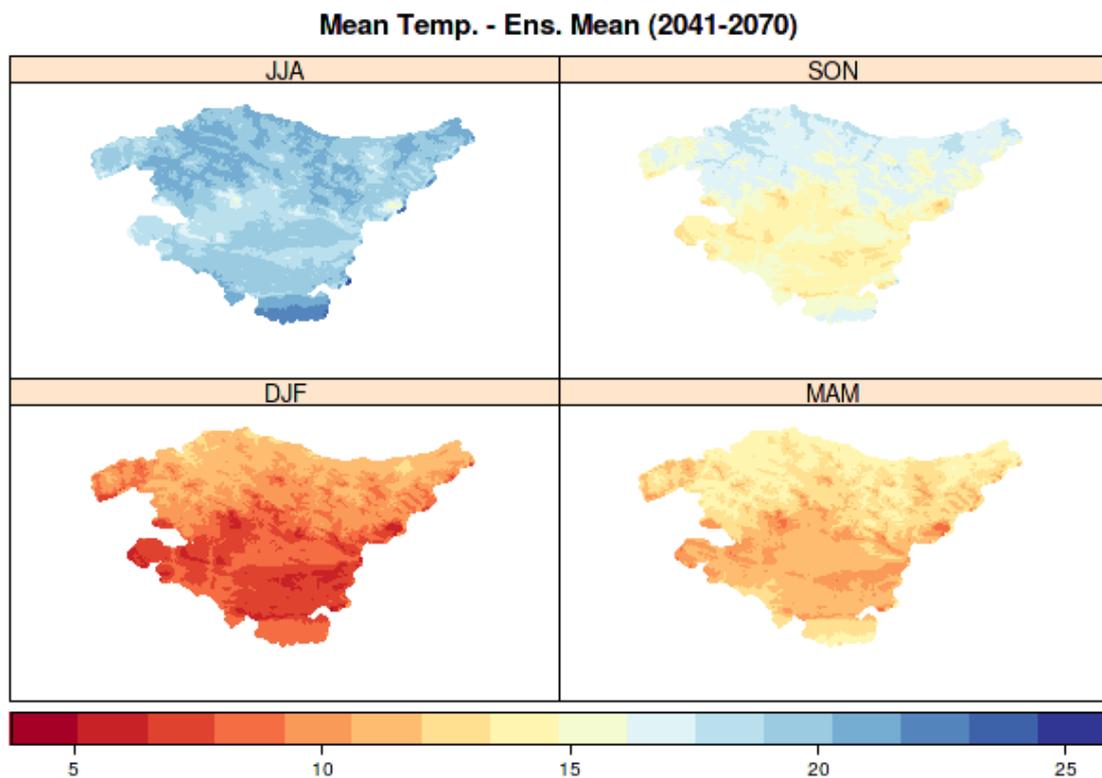


FIGURA 14. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2041-2070) DE LA TEMPERATURA MEDIA (°C).

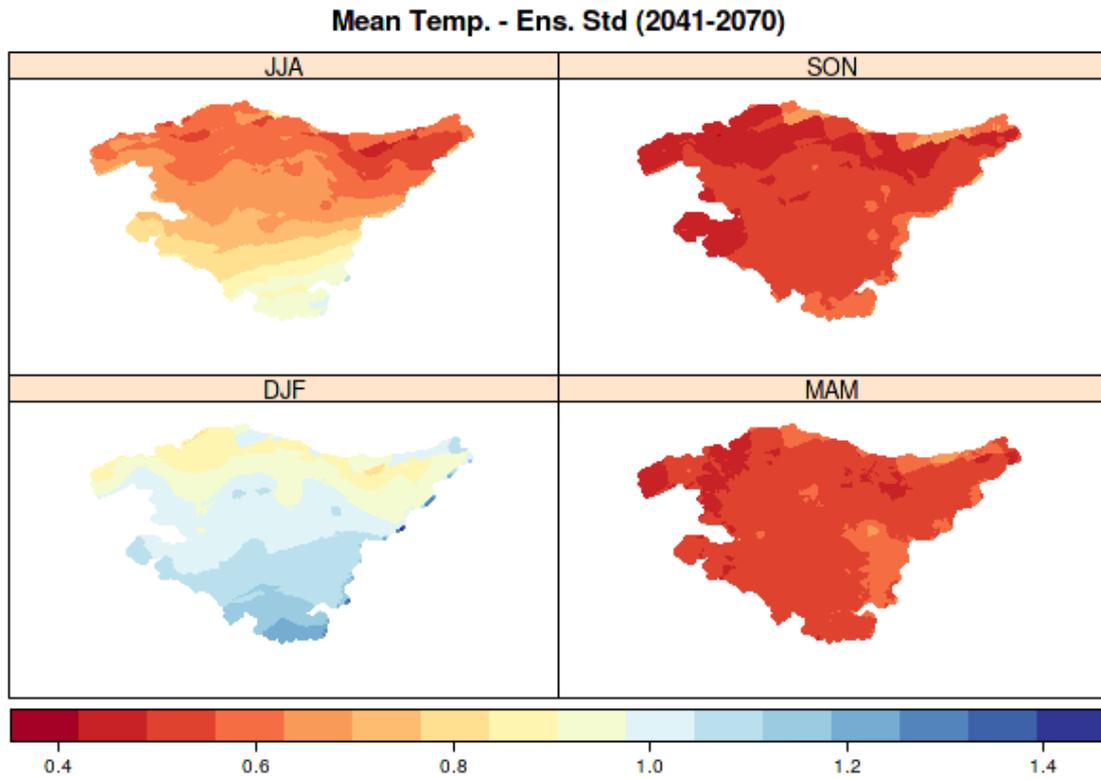


FIGURA 15. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2041-2070) PARA LA TEMPERATURA MEDIA (°C).

Finalmente, la **Figura 16** y **Figura 17** muestran los resultados para el último periodo, 2071-2100. Si bien en este último periodo vuelve a darse una distribución del incremento similar a la observada en el periodo anterior, con el invierno y otoño experimentando incrementos (~2.5°C) mayores que primavera y verano (~1°C), la incertidumbre del ensemble dada por su desviación estándar es claramente inferior en toda la CAPV que la señal, presentando valores menores 0.5°C en todas las estaciones y del orden de 0.15°C en casi toda la CAPV.

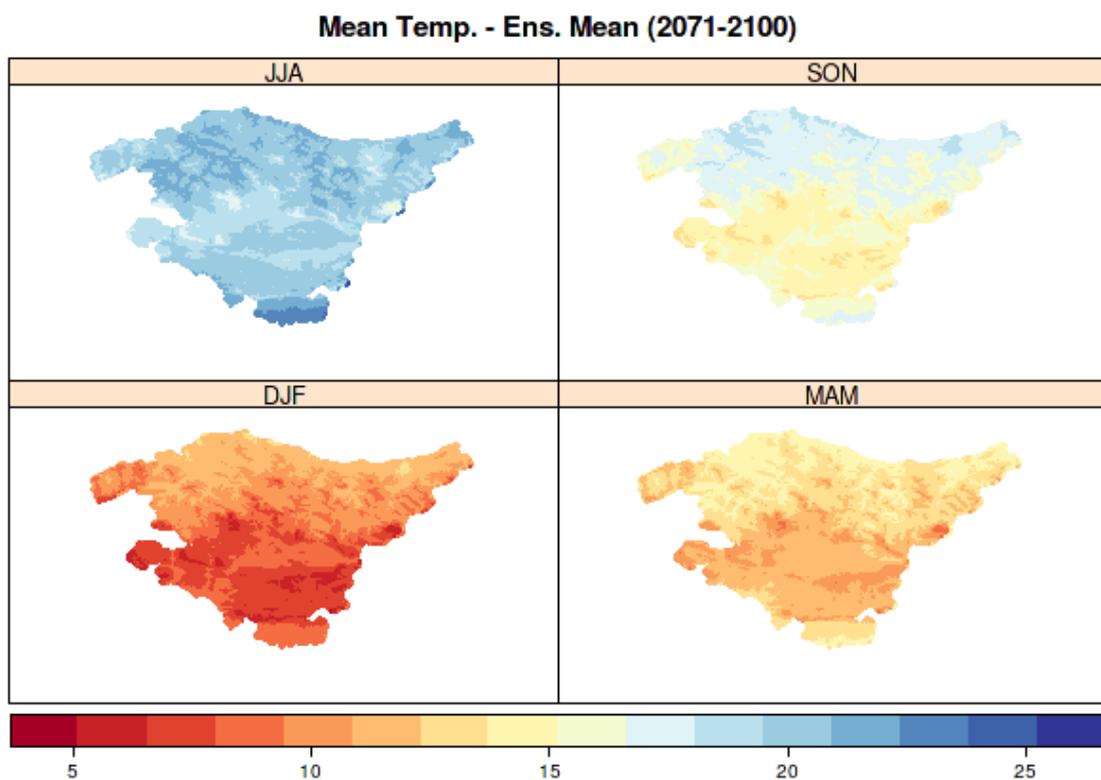


FIGURA 16. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2071-2100) DE LA TEMPERATURA MEDIA (°C).

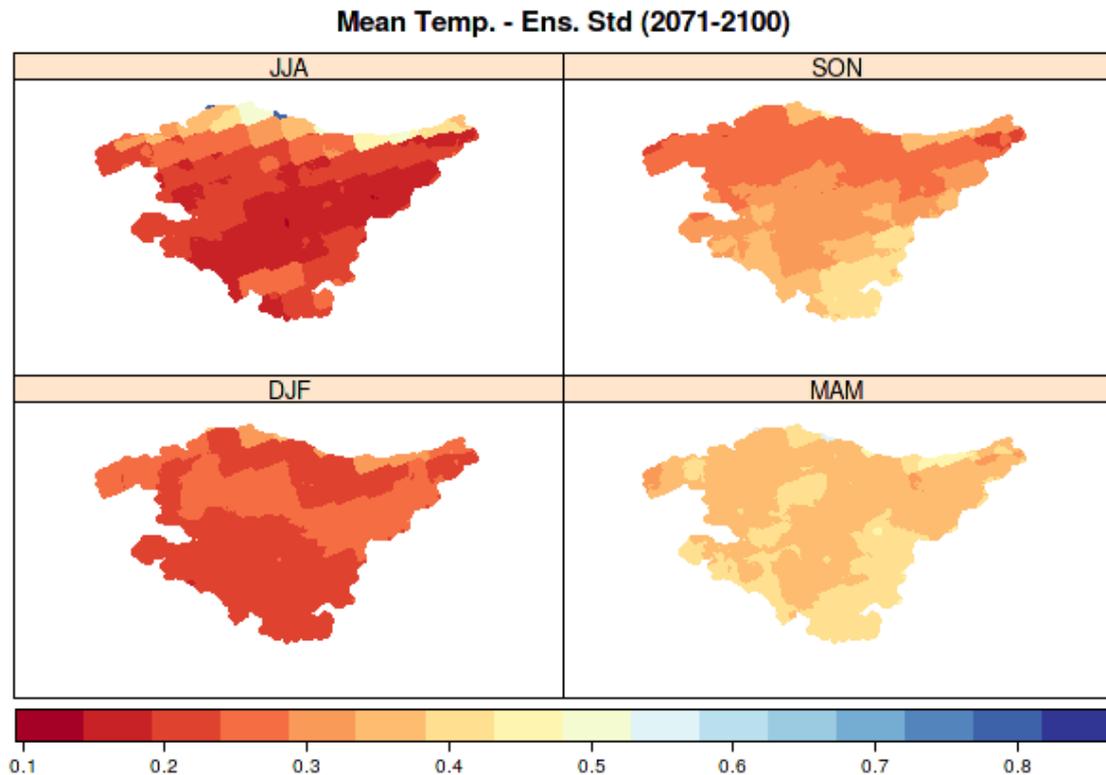


FIGURA 17. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2071-2100) PARA LA TEMPERATURA MEDIA (°C).

De este modo, en líneas generales observamos un incremento progresivo a lo largo del siglo XXI de la temperatura media en toda la CAPV a la vez que se reduce la incertidumbre asociada a ese incremento. A diferencia de la precipitación, en este caso se observa un patrón de crecimiento homogéneo en toda la CAPV, dando lugar a la preservación de los gradientes espaciales para las climatologías estacionales, si bien las diferencias proyectadas en las tendencias de cada estación dan lugar a una mayor diferencia entre las condiciones climáticas de cada estación del año.

7.4.4 Temperatura máxima

La [Figura 18](#) muestra las climatologías estacionales de temperatura máxima para el periodo 1981-2010 dadas por las observaciones de alta resolución de la CAPV.

A partir de las 12 simulaciones obtenemos tanto las climatologías proyectadas para los diferentes periodos futuros como sus incertidumbres dadas por la desviación estándar del ensemble definido por las simulaciones referidas en la [TABLA 2](#).

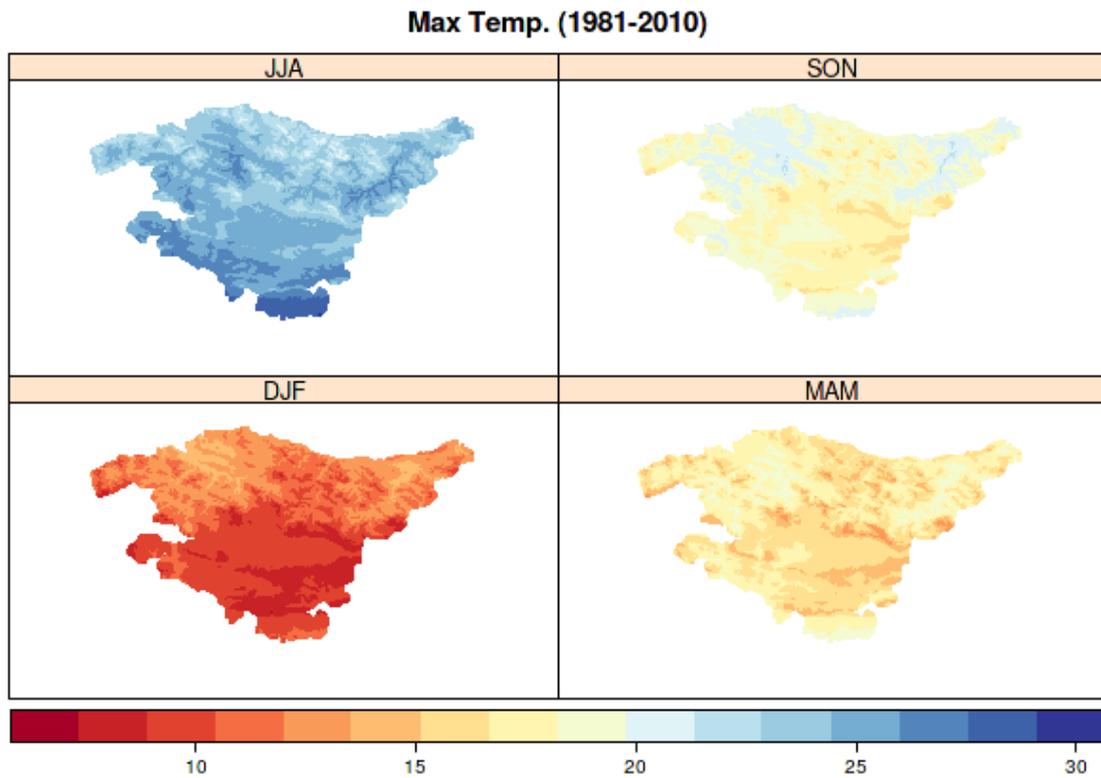


FIGURA 18. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL OBSERVADA (1981-2010) DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (°C).

La **Figura 19**, **Figura 21**, **Figura 23** y **Figura 20**, **Figura 22**, **Figura 24** muestran las medias y las desviaciones estándar del ensemble para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente.

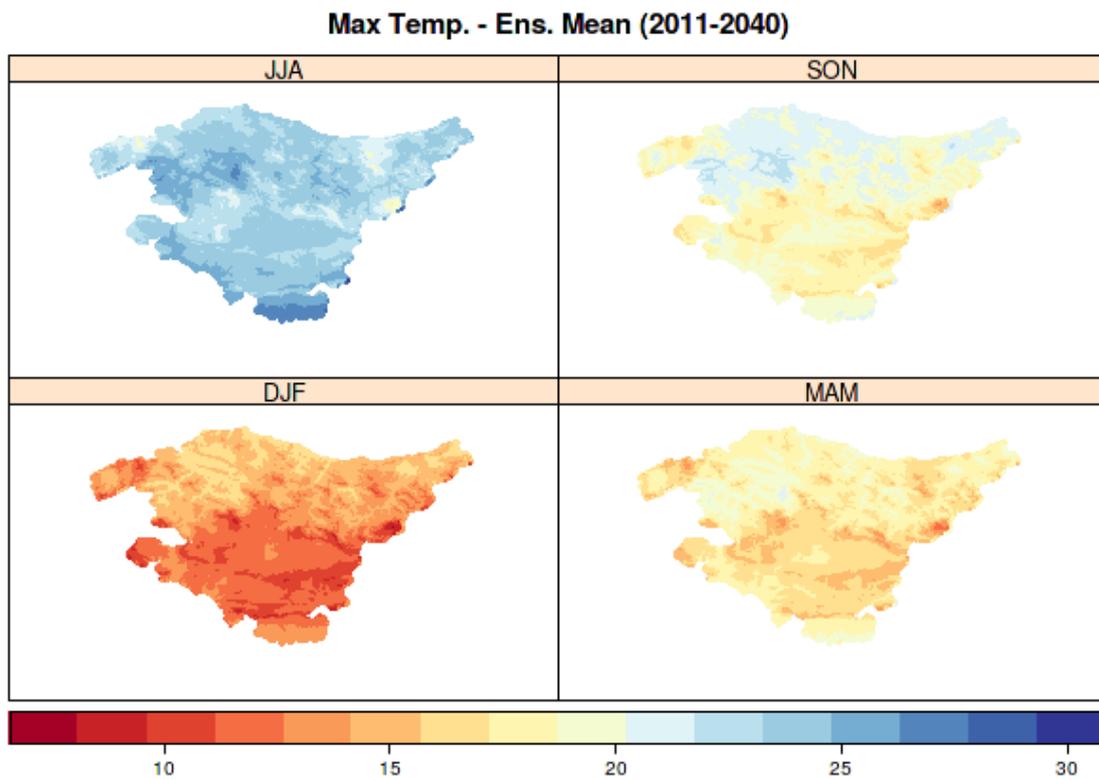


FIGURA 19. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2011-2040) DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (°C).

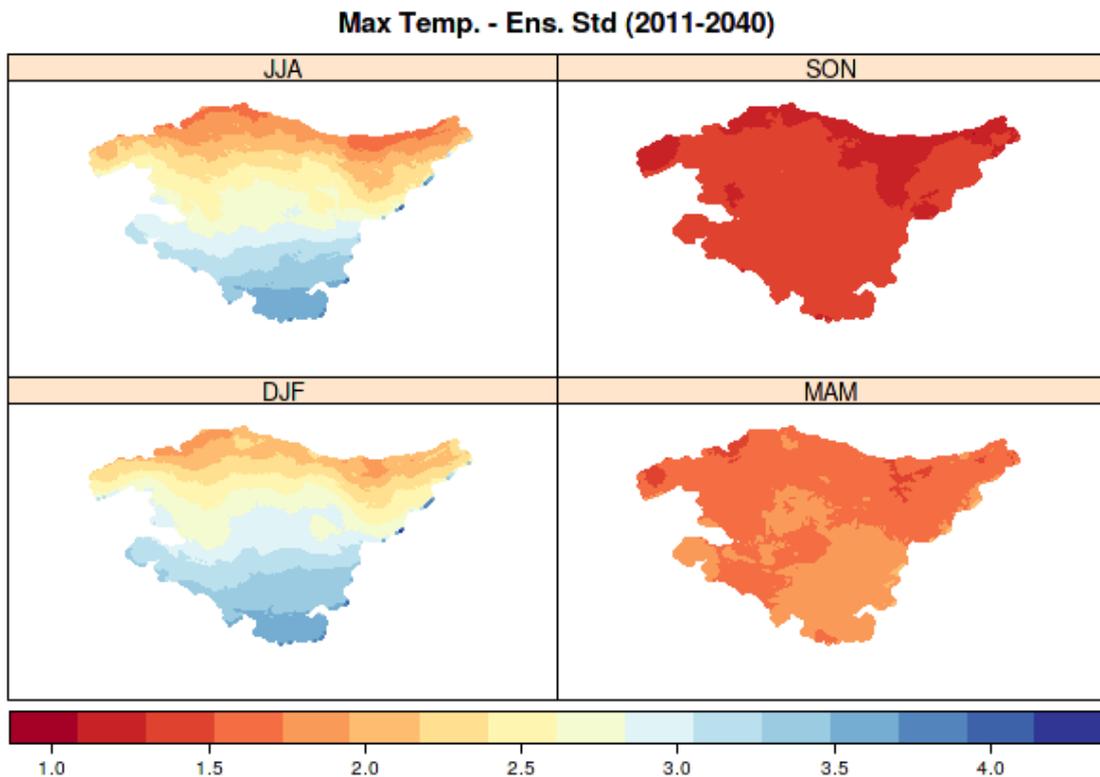


FIGURA 20. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2011-2040) PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA (°C).

Para la temperatura máxima se observa una evolución similar a la descrita para la temperatura media, con un primer periodo de mayor incremento para el invierno (~2°C), la primavera y el otoño (~1°C), que evoluciona a lo largo del siglo hacia mayores incrementos en otoño e invierno (~3°C) y menores en primavera verano (~1.5°C – 2°C). Sin embargo, a diferencia de la temperatura media, en esta ocasión se observa en el cambio un gradiente norte-sur, siendo más significativo el incremento en la mitad norte de la CAPV que en la mitad sur.

Del mismo modo, la incertidumbre asociada a las proyecciones obtenidas presenta una evolución y un patrón espacial similar al descrito para la temperatura media, con una mayor incertidumbre en el primer periodo y en la mitad sur de la CAPV en verano e invierno, y una incertidumbre del 10% sobre la señal de cambio espacialmente homogénea y para todas las estaciones del año en el último periodo 2071-2100.

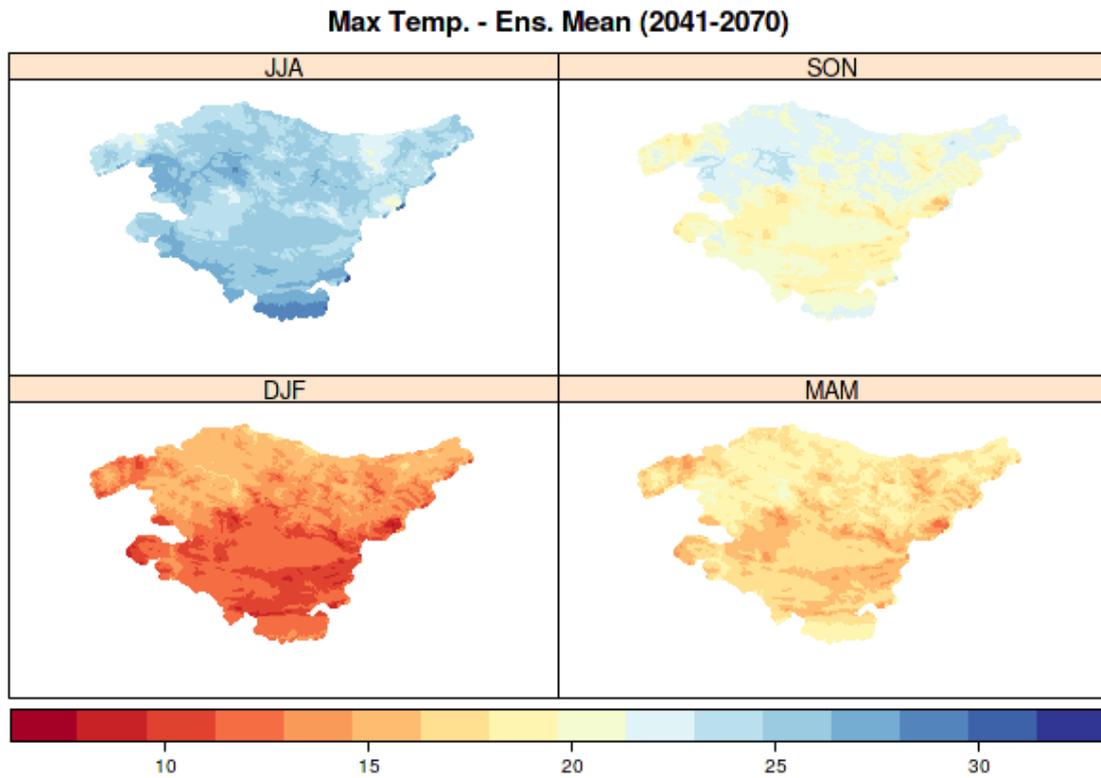


FIGURA 21. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2041-2070) DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (°C).

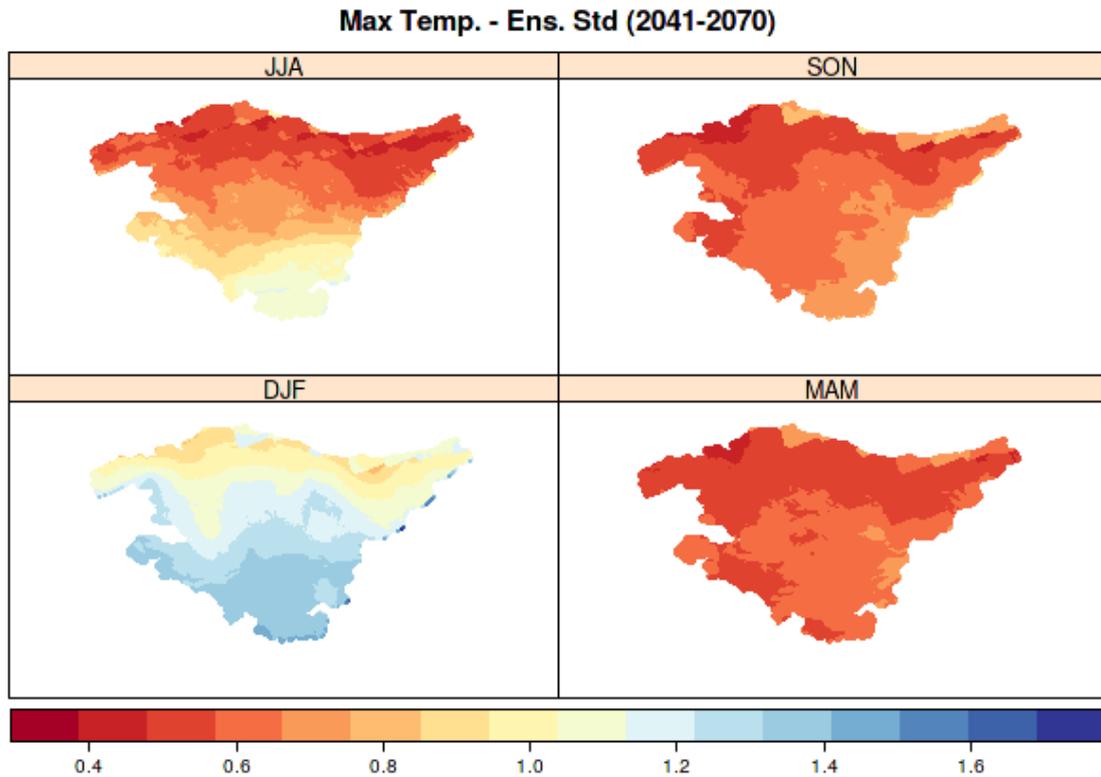


FIGURA 22. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2041-2070) PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA (°C).

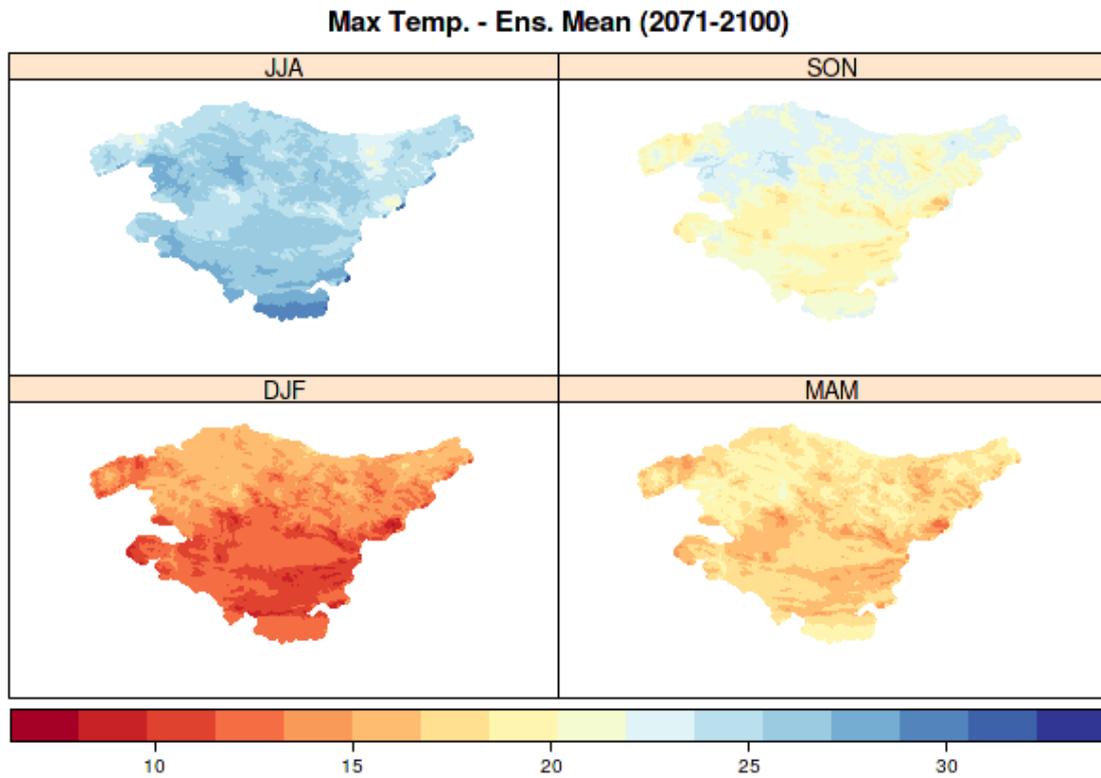


FIGURA 23. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2071-2100) DE LA TEMPERATURA MÁXIMA (°C).

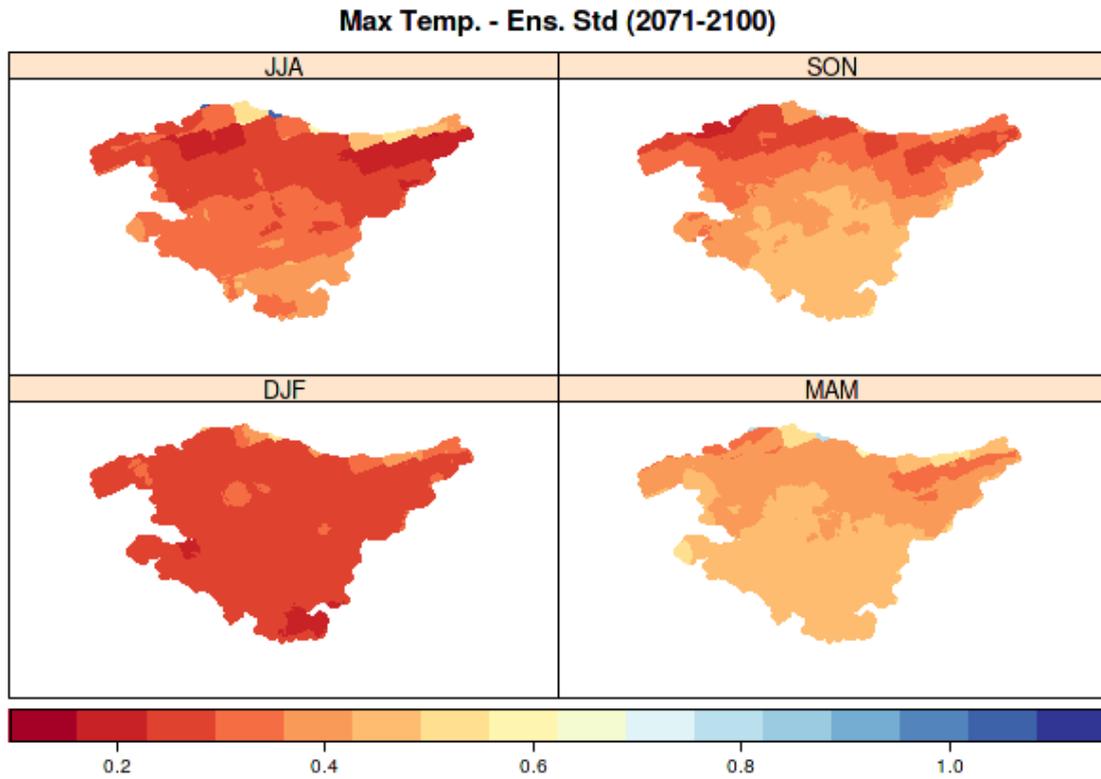


FIGURA 24. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2071-2100) PARA LA TEMPERATURA MÁXIMA (°C).

7.4.5 Temperatura mínima

La **Figura 25** muestra las climatologías estacionales de temperatura máxima para el periodo 1981-2010 dadas por las observaciones de alta resolución de la CAPV.

A partir de las 12 simulaciones obtenemos tanto las climatologías proyectadas para los diferentes periodos futuros como sus incertidumbres dadas por la desviación estándar del ensemble definido por las simulaciones referidas en la **TABLA 2**.

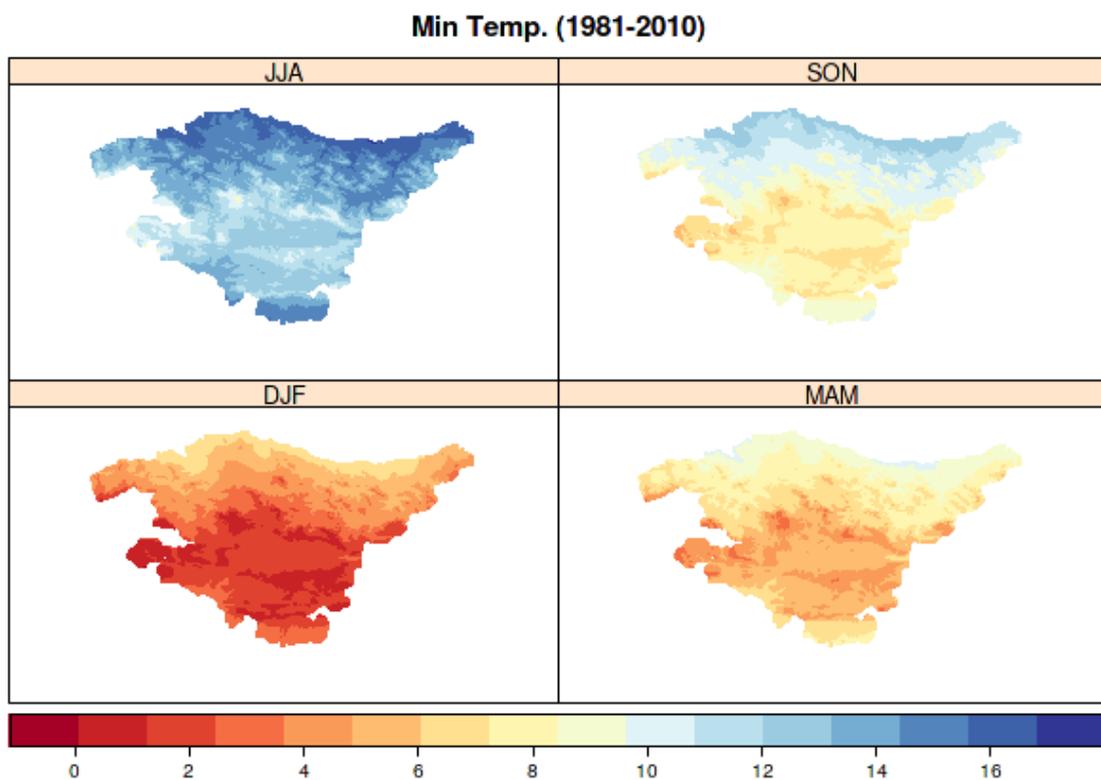


FIGURA 25. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL OBSERVADA (1981-2010) DE LA TEMPERATURA MÍNIMA (°C)

La Figura 26, Figura 28, Figura 30 y Figura 27, Figura 29, Figura 31 muestran las medias y las desviaciones estándar del ensemble para los periodos 2011-2040, 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente.

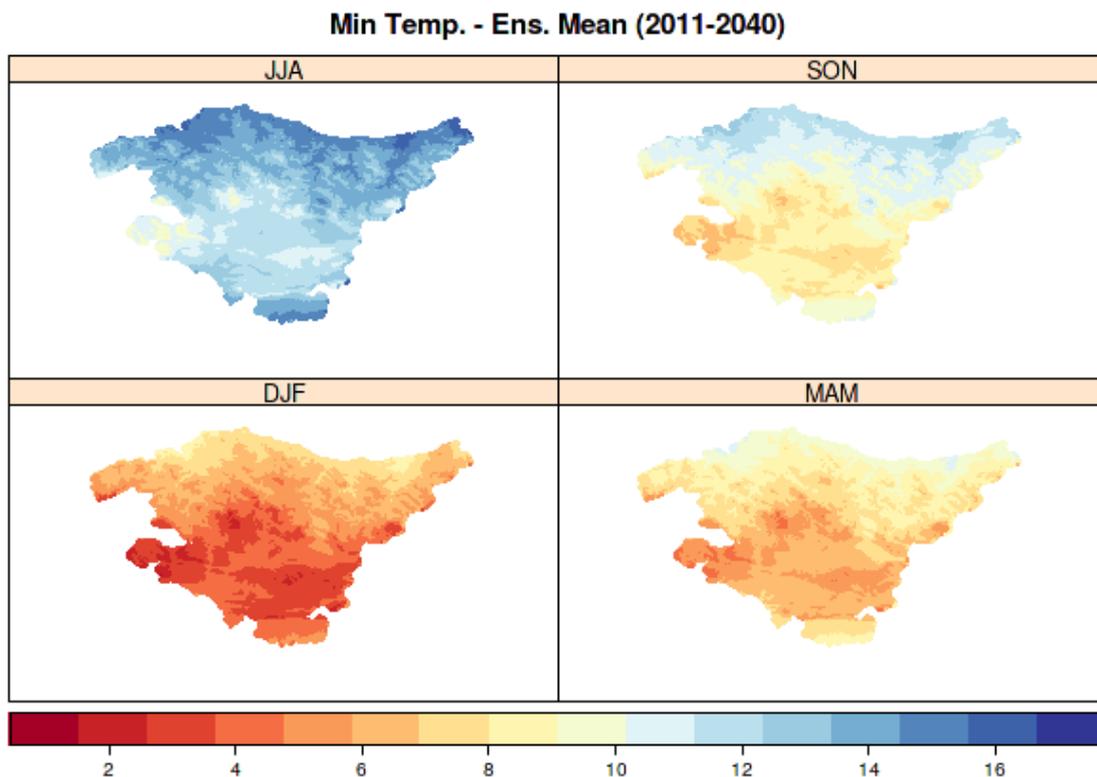


FIGURA 26. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2011-2040) DE LA TEMPERATURA MÍNIMA (°C)

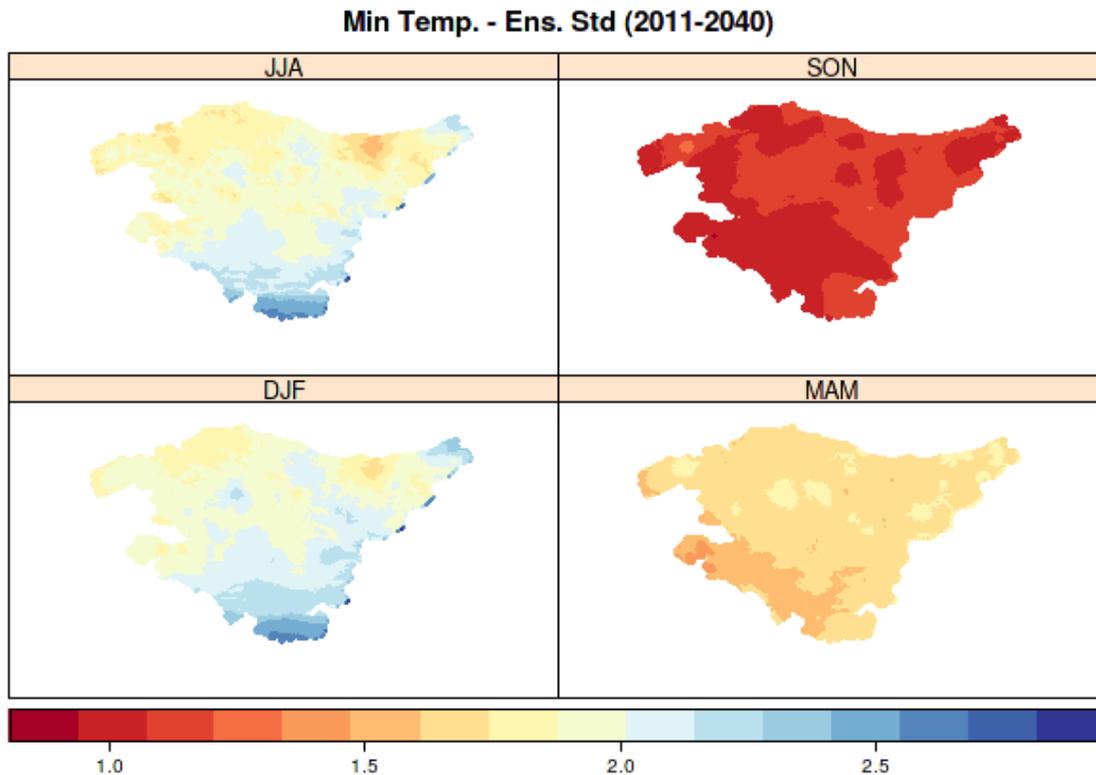


FIGURA 27. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2011-2040) DE LA TEMPERATURA MÍNIMA (°C)

Para la temperatura mínima se observa una evolución similar a la descrita para la temperatura media, con un primer periodo de mayor incremento para el invierno (~2°C), la primavera y el otoño (~1°C), que evoluciona a lo largo del siglo hacia mayores incrementos en otoño e invierno (~2°C) y menores en primavera verano (~1°C). Del mismo modo, el patrón es mayormente homogéneo sobre la CAPV, si bien se da un mayor incremento en el centro-este de la CAPV para todas las estaciones y periodos considerados. De este modo, a pesar del incremento experimentado también para las temperaturas mínimas, éste es ligeramente inferior al proyectado para las temperaturas máximas, dando lugar a un posible incremento de gradiente de temperaturas en la CAPV.

Del mismo modo, la incertidumbre asociada a las proyecciones obtenidas presenta una evolución similar al descrito para la temperatura media, con una mayor incertidumbre en el primer periodo y en la mitad sur de la CAPV en verano e invierno,

y una incertidumbre del 10% sobre la señal de cambio espacialmente homogénea y para todas las estaciones del año en el último periodo 2071-2100.

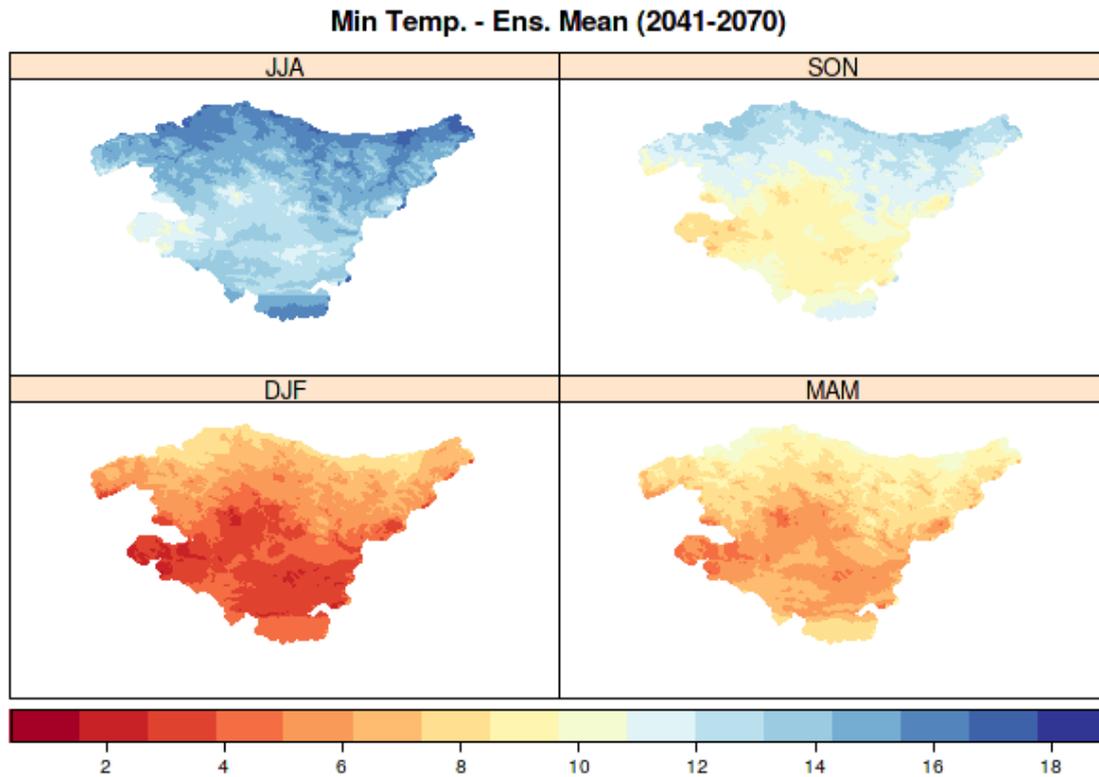


FIGURA 28. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2041-2070) DE LA TEMPERATURA MÍNIMA (°C)

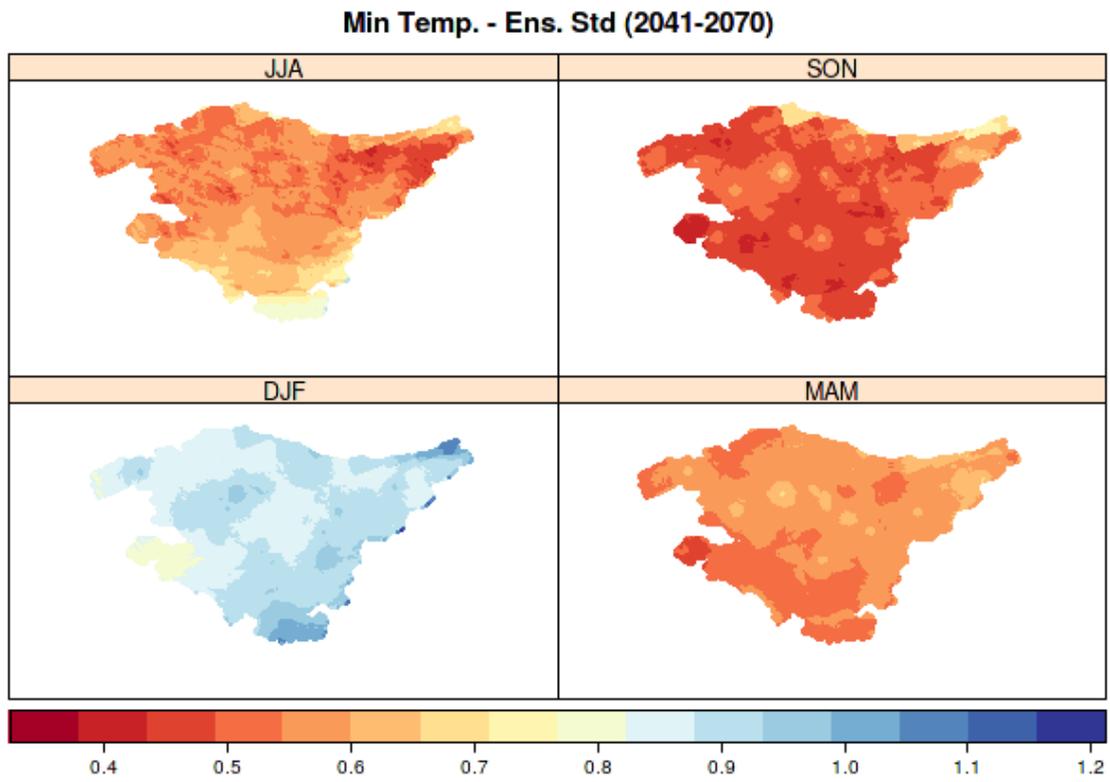


FIGURA 29. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2041-2070) DE LA TEMPERATURA MÍNIMA (°C)

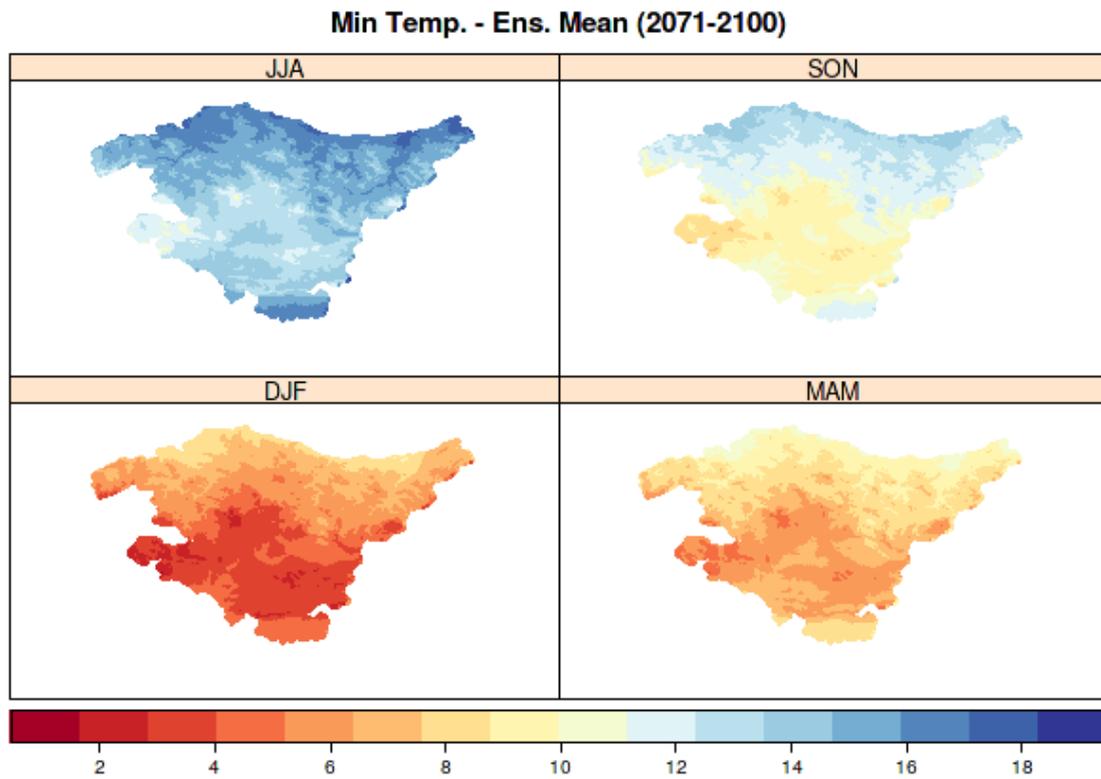


FIGURA 30. CLIMATOLOGÍA ESTACIONAL PROYECTADA (2071-2100) DE LA TEMPERATURA MÍNIMA (°C)

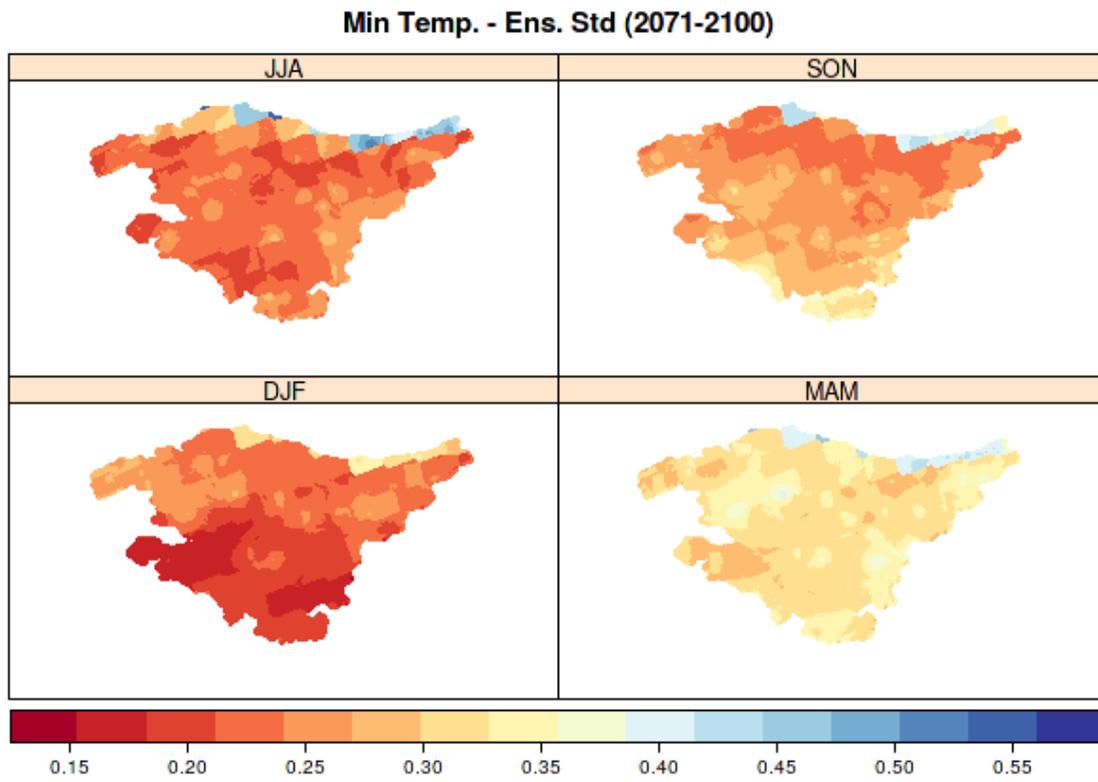


FIGURA 31. DESVIACIÓN ESTÁNDAR DEL ENSEMBLE (2071-2100) DE LA
TEMPERATURA MÍNIMA (°C)

7.5 Conclusiones y recomendaciones

Este documento presenta la metodología utilizada para la obtención de proyecciones regionalizadas de cambio climático en la CAPV, adecuada para llevar a cabo estudios de evaluación de los efectos del cambio climático a escala local. Los datos 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 este trabajo proceden de la última generación disponible de proyecciones regionales sobre Europa, dadas por el proyecto EURO-CORDEX, que proporciona un conjunto de 12 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); y además, junto a las proyecciones desarrolladas en el proyecto precedente ESCENARIOS II (RCP8.5), también colabora a proporcionar una incertidumbre debida al escenario de forzamiento radiativo futuro al incorporar otro escenario (RCP4.5).

Sin embargo, los miembros de este conjunto de simulaciones no son equiprobables pues unos modelos están más representados (replicados) que otros (ver **TABLA 2**). 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.

Por ello, 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), es decir, los correspondientes a los números 1, 7, 8, 9 y 11 de la **TABLA 2**. 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.

8 Referencias

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.

Christensen, J.H., et al. (2007): 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.

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., Gutiérrez, 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. (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

Herrera, S., Fernández, J., and Gutiérrez, J.M. (2016): Update of the Spain02 Gridded Observational Dataset for EURO- CORDEX Evaluation: Assessing the Effect of the Interpolation Methodology. *International Journal of Climatology* 36 (2):900–908.

Jacob, D., et al. (2014): EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional Environmental Change*, 14(2):563-578.

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>.

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 von Storch, H. (2010): Decreased frequency of North Atlantic polar lows associated with future climate warming. *Nature*, 467, 309–312.

9 Anexo I

TABLA 3. COORDENADAS EN SISTEMA WGS 84 DE LOS PUNTOS DE LA REJILLA DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA CAPV PARA LAS CUALES SE OBTUVIERON DATOS CLIMÁTICOS DE LAS SIMULACIONES DE LA INICIATIVA EURO-CORDEX.

station_id	name	longitudo	latitudo	altitude	source
Grid001	Grid001	-3.233700	42.746731	721.750122	CORDEX EUR-11
Grid002	Grid002	-3.275997	42.852261	745.389404	CORDEX EUR-11
Grid003	Grid003	-3.318439	42.957779	737.800171	CORDEX EUR-11
Grid004	Grid004	-3.361027	43.063278	710.040100	CORDEX EUR-11
Grid005	Grid005	-3.403761	43.168762	627.680664	CORDEX EUR-11
Grid006	Grid006	-3.446644	43.274231	449.468475	CORDEX EUR-11
Grid007	Grid007	-3.048736	42.671879	631.043213	CORDEX EUR-11
Grid008	Grid008	-3.090639	42.777481	719.564331	CORDEX EUR-11
Grid009	Grid009	-3.132685	42.883072	741.882324	CORDEX EUR-11
Grid010	Grid010	-3.174875	42.988647	672.057434	CORDEX EUR-11
Grid011	Grid011	-3.217211	43.094204	545.934326	CORDEX EUR-11
Grid012	Grid012	-3.259692	43.199749	400.407043	CORDEX EUR-11
Grid013	Grid013	-3.302321	43.305275	250.282883	CORDEX EUR-11
Grid014	Grid014	-2.822897	42.491001	543.710144	CORDEX EUR-11
Grid015	Grid015	-2.864266	42.596695	537.980286	CORDEX EUR-11
Grid016	Grid016	-2.905777	42.702374	627.910400	CORDEX EUR-11
Grid017	Grid017	-2.947428	42.808037	711.225891	CORDEX EUR-11
Grid018	Grid018	-2.989223	42.913685	706.807007	CORDEX EUR-11
Grid019	Grid019	-3.031160	43.019318	590.783264	CORDEX EUR-11
Grid020	Grid020	-3.073242	43.124935	405.860687	CORDEX EUR-11
Grid021	Grid021	-3.115470	43.230534	225.921951	CORDEX EUR-11
Grid022	Grid022	-3.157845	43.336121	100.815773	CORDEX EUR-11
Grid023	Grid023	-2.639312	42.415421	601.682556	CORDEX EUR-11
Grid024	Grid024	-2.680291	42.521183	527.187927	CORDEX EUR-11
Grid025	Grid025	-2.721410	42.626934	585.037659	CORDEX EUR-11
Grid026	Grid026	-2.762669	42.732670	665.067566	CORDEX EUR-11
Grid027	Grid027	-2.804068	42.838390	695.197632	CORDEX EUR-11
Grid028	Grid028	-2.845610	42.944096	647.998596	CORDEX EUR-11
Grid029	Grid029	-2.887294	43.049786	518.497986	CORDEX EUR-11
Grid030	Grid030	-2.929122	43.155460	334.943573	CORDEX EUR-11
Grid031	Grid031	-2.971095	43.261124	160.228683	CORDEX EUR-11
Grid032	Grid032	-3.013214	43.366768	48.277637	CORDEX EUR-11
Grid033	Grid033	-2.496812	42.445347	557.179871	CORDEX EUR-11
Grid034	Grid034	-2.537540	42.551167	572.391846	CORDEX EUR-11
Grid035	Grid035	-2.578407	42.656975	669.739319	CORDEX EUR-11

Grid036	Grid036	-2.619413	42.762768	720.156616	CORDEX EUR-11
Grid037	Grid037	-2.660560	42.868546	686.080750	CORDEX EUR-11
Grid038	Grid038	-2.701848	42.974308	596.371887	CORDEX EUR-11
Grid039	Grid039	-2.743278	43.080055	471.498444	CORDEX EUR-11
Grid040	Grid040	-2.784851	43.185791	318.530884	CORDEX EUR-11
Grid041	Grid041	-2.826568	43.291508	165.704483	CORDEX EUR-11
Grid042	Grid042	-2.868431	43.397213	55.191406	CORDEX EUR-11
Grid043	Grid043	-2.354168	42.475075	518.573792	CORDEX EUR-11
Grid044	Grid044	-2.394644	42.580952	610.163208	CORDEX EUR-11
Grid045	Grid045	-2.435258	42.686817	739.447693	CORDEX EUR-11
Grid046	Grid046	-2.476011	42.792664	771.585327	CORDEX EUR-11
Grid047	Grid047	-2.516904	42.898502	689.501953	CORDEX EUR-11
Grid048	Grid048	-2.557937	43.004322	560.953857	CORDEX EUR-11
Grid049	Grid049	-2.599112	43.110126	432.752655	CORDEX EUR-11
Grid050	Grid050	-2.640429	43.215919	302.331390	CORDEX EUR-11
Grid051	Grid051	-2.681890	43.321693	168.719086	CORDEX EUR-11
Grid052	Grid052	-2.723495	43.427456	60.380989	CORDEX EUR-11
Grid053	Grid053	-2.251604	42.610538	611.525085	CORDEX EUR-11
Grid054	Grid054	-2.291964	42.716457	776.219666	CORDEX EUR-11
Grid055	Grid055	-2.332463	42.822365	810.626221	CORDEX EUR-11
Grid056	Grid056	-2.373101	42.928257	698.758789	CORDEX EUR-11
Grid057	Grid057	-2.413878	43.034134	528.960266	CORDEX EUR-11
Grid058	Grid058	-2.454797	43.139996	375.978760	CORDEX EUR-11
Grid059	Grid059	-2.495857	43.245846	247.214111	CORDEX EUR-11
Grid060	Grid060	-2.537060	43.351677	129.947739	CORDEX EUR-11
Grid061	Grid061	-2.578408	43.457497	0.008000	CORDEX EUR-11
Grid062	Grid062	-2.188769	42.851864	827.731628	CORDEX EUR-11
Grid063	Grid063	-2.229151	42.957809	704.649902	CORDEX EUR-11
Grid064	Grid064	-2.269672	43.063744	497.342072	CORDEX EUR-11
Grid065	Grid065	-2.310333	43.169666	304.666382	CORDEX EUR-11
Grid066	Grid066	-2.351136	43.275570	162.208435	CORDEX EUR-11
Grid067	Grid067	-2.392081	43.381462	3.593000	CORDEX EUR-11
Grid068	Grid068	-2.085056	42.987164	698.316223	CORDEX EUR-11
Grid069	Grid069	-2.125319	43.093155	479.135651	CORDEX EUR-11
Grid070	Grid070	-2.165723	43.199131	250.253693	CORDEX EUR-11
Grid071	Grid071	-2.206267	43.305092	86.900536	CORDEX EUR-11
Grid072	Grid072	-1.940816	43.016315	675.146667	CORDEX EUR-11
Grid073	Grid073	-1.980821	43.122364	478.894043	CORDEX EUR-11
Grid074	Grid074	-2.020966	43.228397	232.553040	CORDEX EUR-11
Grid075	Grid075	-2.061250	43.334415	48.904766	CORDEX EUR-11
Grid076	Grid076	-1.836178	43.151371	480.634827	CORDEX EUR-11
Grid077	Grid077	-1.876062	43.257458	235.715927	CORDEX EUR-11

Grid078	Grid078	-1.916086	43.363533	42.834473	CORDEX EUR-11
Grid079	Grid079	-1.731014	43.286320	227.474533	CORDEX EUR-11
Grid080	Grid080	-1.770776	43.392448	46.217220	CORDEX EUR-11

TABLA 4. COORDENADAS EN SISTEMA ETRS 89 DE LOS PUNTOS DE LA REJILLA DEL ÁMBITO GEOGRÁFICO DE LA CAPV PARA LAS CUALES SE OBTUVIERON DATOS CLIMÁTICOS DE LAS SIMULACIONES DE LA INICIATIVA EURO-CORDEX.

station_id	name	UTMXetrs89	UTMYetrs89	altitude	source
Grid001	Grid001	480873.4442	4732716.805	721.750122	CORDEX EUR-11
Grid002	Grid002	477450.1102	4744445.782	745.389404	CORDEX EUR-11
Grid003	Grid003	474026.7878	4756175.429	737.800171	CORDEX EUR-11
Grid004	Grid004	470603.4861	4767904.988	710.040100	CORDEX EUR-11
Grid005	Grid005	467180.3004	4779634.922	627.680664	CORDEX EUR-11
Grid006	Grid006	463757.0813	4791365.251	449.468475	CORDEX EUR-11
Grid007	Grid007	496006.5369	4724379.716	631.043213	CORDEX EUR-11
Grid008	Grid008	492585.5607	4736108.905	719.564331	CORDEX EUR-11
Grid009	Grid009	489164.5788	4747838.811	741.882324	CORDEX EUR-11
Grid010	Grid010	485743.6015	4759568.901	672.057434	CORDEX EUR-11
Grid011	Grid011	482322.5579	4771298.969	545.934326	CORDEX EUR-11
Grid012	Grid012	478901.6249	4783029.702	400.407043	CORDEX EUR-11
Grid013	Grid013	475480.6502	4794760.342	250.282883	CORDEX EUR-11
Grid014	Grid014	514553.9571	4704309.038	543.710144	CORDEX EUR-11
Grid015	Grid015	511135.5386	4716038.973	537.980286	CORDEX EUR-11
Grid016	Grid016	507716.9254	4727769.101	627.910400	CORDEX EUR-11
Grid017	Grid017	504298.3725	4739499.330	711.225891	CORDEX EUR-11
Grid018	Grid018	500879.6441	4751229.791	706.807007	CORDEX EUR-11
Grid019	Grid019	497460.9956	4762960.502	590.783264	CORDEX EUR-11
Grid020	Grid020	494042.2748	4774691.370	405.860687	CORDEX EUR-11
Grid021	Grid021	490623.4934	4786422.194	225.921951	CORDEX EUR-11
Grid022	Grid022	487204.6648	4798153.658	100.815773	CORDEX EUR-11
Grid023	Grid023	529676.2654	4695964.623	601.682556	CORDEX EUR-11
Grid024	Grid024	526260.3952	4707694.732	527.187927	CORDEX EUR-11
Grid025	Grid025	522844.3143	4719425.418	585.037659	CORDEX EUR-11
Grid026	Grid026	519428.1148	4731156.254	665.067566	CORDEX EUR-11
Grid027	Grid027	516011.8877	4742887.150	695.197632	CORDEX EUR-11
Grid028	Grid028	512595.4781	4754618.344	647.998596	CORDEX EUR-11
Grid029	Grid029	509179.0602	4766349.634	518.497986	CORDEX EUR-11
Grid030	Grid030	505762.5629	4778081.038	334.943573	CORDEX EUR-11
Grid031	Grid031	502345.9975	4789813.242	160.228683	CORDEX EUR-11
Grid032	Grid032	498929.3770	4801545.154	48.277637	CORDEX EUR-11
Grid033	Grid033	541381.0476	4699347.153	557.179871	CORDEX EUR-11
Grid034	Grid034	537967.5890	4711078.236	572.391846	CORDEX EUR-11
Grid035	Grid035	534553.9137	4722809.742	669.739319	CORDEX EUR-11
Grid036	Grid036	531140.1133	4734541.356	720.156616	CORDEX EUR-11
Grid037	Grid037	527726.1145	4746273.096	686.080750	CORDEX EUR-11
Grid038	Grid038	524312.0088	4758004.870	596.371887	CORDEX EUR-11

Grid039	Grid039	520897.8054	4769736.808	471.498444	CORDEX EUR-11
Grid040	Grid040	517483.5135	4781469.372	318.530884	CORDEX EUR-11
Grid041	Grid041	514069.1469	4793201.692	165.704483	CORDEX EUR-11
Grid042	Grid042	510654.6346	4804934.566	55.191406	CORDEX EUR-11
Grid043	Grid043	553086.6897	4702727.490	518.573792	CORDEX EUR-11
Grid044	Grid044	549675.6297	4714459.505	610.163208	CORDEX EUR-11
Grid045	Grid045	546264.3458	4726191.899	739.447693	CORDEX EUR-11
Grid046	Grid046	542852.8501	4737924.026	771.585327	CORDEX EUR-11
Grid047	Grid047	539441.1447	4749656.902	689.501953	CORDEX EUR-11
Grid048	Grid048	536029.3263	4761389.548	560.953857	CORDEX EUR-11
Grid049	Grid049	532617.3213	4773122.202	432.752655	CORDEX EUR-11
Grid050	Grid050	529205.2188	4784855.440	302.331390	CORDEX EUR-11
Grid051	Grid051	525792.9524	4796588.391	168.719086	CORDEX EUR-11
Grid052	Grid052	522380.6113	4808321.962	60.380989	CORDEX EUR-11
Grid053	Grid053	561384.5262	4717838.603	611.525085	CORDEX EUR-11
Grid054	Grid054	557975.6226	4729571.622	776.219666	CORDEX EUR-11
Grid055	Grid055	554566.4120	4741305.108	810.626221	CORDEX EUR-11
Grid056	Grid056	551156.9891	4753038.524	698.758789	CORDEX EUR-11
Grid057	Grid057	547747.4428	4764771.999	528.960266	CORDEX EUR-11
Grid058	Grid058	544337.6194	4776505.550	375.978760	CORDEX EUR-11
Grid059	Grid059	540927.6896	4788239.531	247.214111	CORDEX EUR-11
Grid060	Grid060	537517.5874	4799973.182	129.947739	CORDEX EUR-11
Grid061	Grid061	534107.2380	4811707.409	0.008000	CORDEX EUR-11
Grid062	Grid062	566280.8956	4744683.892	827.731628	CORDEX EUR-11
Grid063	Grid063	562873.7422	4756417.805	704.649902	CORDEX EUR-11
Grid064	Grid064	559466.3699	4768152.290	497.342072	CORDEX EUR-11
Grid065	Grid065	556058.7912	4779887.031	304.666382	CORDEX EUR-11
Grid066	Grid066	552650.9390	4791621.491	162.208435	CORDEX EUR-11
Grid067	Grid067	549242.8995	4803356.355	3.593000	CORDEX EUR-11
Grid068	Grid068	574591.3275	4759795.477	698.316223	CORDEX EUR-11
Grid069	Grid069	571186.1975	4771530.821	479.135651	CORDEX EUR-11
Grid070	Grid070	567780.6905	4783266.154	250.253693	CORDEX EUR-11
Grid071	Grid071	564374.9786	4795001.497	86.900536	CORDEX EUR-11
Grid072	Grid072	586309.8456	4763170.830	675.146667	CORDEX EUR-11
Grid073	Grid073	582906.8588	4774907.323	478.894043	CORDEX EUR-11
Grid074	Grid074	579503.4864	4786643.652	232.553040	CORDEX EUR-11
Grid075	Grid075	576099.8985	4798379.948	48.904766	CORDEX EUR-11
Grid076	Grid076	594628.4477	4778281.862	480.634827	CORDEX EUR-11
Grid077	Grid077	591227.2798	4790018.926	235.715927	CORDEX EUR-11
Grid078	Grid078	587825.7184	4801756.245	42.834473	CORDEX EUR-11
Grid079	Grid079	602951.9131	4793392.705	227.474533	CORDEX EUR-11
Grid080	Grid080	599552.4500	4805130.676	46.217220	CORDEX EUR-11

