



GOBIERNO
DE ESPAÑA

VICEPRESIDENCIA
TERCERA DEL GOBIERNO
MINISTERIO
PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA
Y EL RETO DEMOGRÁFICO



Fundación Biodiversidad



OECC
Oficina Española de Cambio Climático



Agencia Estatal de Meteorología



CSIC
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

Escenarios-PNACC 2024: Nueva colección de escenarios de cambio climático regionalizados del Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC)

Alfonso Hernanz (AEMET), Carlos Correa (AEMET), Esteban Rodríguez (AEMET),
Maialen Iturbide (CSIC) y José M. Gutiérrez (CSIC)

Versión 1.0 (13 de junio de 2025)

Contenido

RESUMEN	3
1 INTRODUCCIÓN Y CONTEXTO INTERNACIONAL	3
2 ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALIZADOS	7
2.1 Regionalización Dinámica: La iniciativa EURO-CORDEX	8
2.2 Regionalización Estadística.	9
3. EL CONJUNTO DE DATOS DE ESCENARIOS-PNACC 2024	10
4. PROBLEMAS FRECUENTES EN EL USO DE PROYECCIONES REGIONALES	13
4.1 Acceso a los datos	13
4.2 Condiciones de uso de los datos	13
4.3 Elección de datos en rejilla o puntuales (por localidades)	13
4.4 Corrección de sesgos de los modelos (técnicas de “ <i>bias correction</i> ”)	14
4.5 Selección de un subconjunto representativo de modelos	15
4.6 ¿Qué son los “runs” de un modelo (por ejemplo “r1p1i1f1”)?	15
4.7 Tratamiento de la incertidumbre: ¿Basta un único escenario?	16
CONTRIBUCIONES Y AGRADECIMIENTOS	16
REFERENCIAS	17

Resumen

El Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático (PNACC), a través de la iniciativa *Escenarios-PNACC*, recopila la información climática regional para España, tanto del clima actual, como de distintos escenarios futuros de cambio climático para las próximas décadas. El objetivo principal de esta iniciativa es revisar y armonizar las distintas fuentes de información y ponerlas a disposición de la comunidad de impactos y adaptación al cambio climático, tratando de facilitar el acceso a la misma y las buenas prácticas de uso.

La primera versión de *Escenarios-PNACC* (2012; Fernández y otros, 2012; Gutiérrez y otros, 2012) se basó en las proyecciones globales del clima proporcionadas por la fase 3 del Proyecto de Intercomparación de Modelos Globales del Clima CMIP3. Estas proyecciones, basadas en los escenarios de emisiones SRES (B1, A1B Y A2), constituyeron la base científica del Cuarto Informe de Evaluación del del IPCC (AR4; IPCC, 2007) CMIP3 también sirvió como referencia para diversos proyectos de regionalización climática, entre ellos ENSEMBLES a escala europea y ESCENA a escala nacional, ambos basados en Modelos Regionales del Clima (RCMs) con una resolución espacial aproximada de 20 km. Esta técnica se conoce como regionalización dinámica. Paralelamente, se desarrollaron proyectos de regionalización estadística con el objetivo de obtener proyecciones de cambio climático específicas para un subconjunto de estaciones meteorológicas de la red de AEMET. Los resultados de estos proyectos se armonizaron y se pusieron a disposición pública a través de AEMET y de los proyectos ESCENA y ESTCENA.

En una segunda fase, los escenarios se actualizaron en *Escenarios-PNACC 2017* (Rodríguez-Camino y Gutiérrez, 2017), a partir de las proyecciones derivadas de la siguiente generación de modelos climáticos globales (CMIP5), basadas en los denominados escenarios de concentración representativos o RCP (RCP2.6, RCP4.5, RCP6.0 Y RCP8.5). Estas proyecciones sirvieron como base científica del Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5; IPCC, 2013) y como referencia para nuevas iniciativas de regionalización, tanto dinámica, mediante el proyecto EURO-CORDEX —continuación de ENSEMBLES—, como estadística, en concreto las desarrolladas por AEMET y la acción COST VALUE (Gutiérrez et al., 2019), esta última como sucesora de ESTCENA a escala europea. Por su parte, las proyecciones regionales de EURO-CORDEX alcanzan una resolución de aproximadamente 10 km.

En el presente documento se describe la última actualización de *Escenarios PNACC (2024)*. La información y datos proporcionados en esta versión se alinean con la evaluación realizada en el Sexto Informe del IPCC (AR6; IPCC, 2021; IPCC, 2023). Para ello, se incorporan las nuevas simulaciones del CMIP6, basadas en las Trayectorias Socioeconómicas Compartidas (SSP, por sus siglas en inglés), mediante técnicas de regionalización estadística desarrolladas por AEMET y el CSIC. Asimismo, se ha incrementado tanto la resolución espacial como el número de los modelos regionales derivados de EURO-CORDEX, con el objetivo de integrar múltiples líneas de evidencia y proporcionar un análisis más robusto para los estudios de impactos y adaptación regional en España. . La información de *Escenarios-PNACC 2024* se

distribuye a través de AEMET (https://www.aemet.es/es/serviciosclimaticos/cambio_climat/proyecciones-AR6) y del “visor de escenarios de cambio climático de AdapteCCa” (<http://escenarios.adaptecca.es>), que permite visualizar la información de las variables originales (para temperaturas, precipitación, viento, radiación y humedad), así como de distintos índices climáticos definidos a partir de ellas, y descargar los datos (proporcionados a escala diaria) en un formato de fácil lectura, facilitando así su acceso y su uso.

1. Introducción y Contexto Internacional

Para poder estudiar el impacto del cambio climático en los distintos sectores socioeconómicos de interés para un país, y poder tomar medidas de adaptación adecuadas para paliar sus consecuencias, es necesario disponer de información sobre la evolución previsible del clima para las próximas décadas. Una herramienta básica para ello son las denominadas **proyecciones de cambio climático**, que son descripciones plausibles de la evolución futura del clima que se obtienen a partir de simulaciones con modelos climáticos, forzados con distintos **escenarios de emisiones** de gases de efecto invernadero que caracterizan la evolución futura de estos gases durante las próximas décadas. Cada uno de estos escenarios se define a partir de distintas suposiciones acerca del futuro desarrollo demográfico, tecnológico y socioeconómico (más o menos sostenible) en el mundo. El procedimiento para obtener escenarios de emisiones se modificó en el último informe del IPCC (AR6), considerando la combinación de los denominados **Shared Socioeconomic Pathways** (SSPs; Meinshausen y otros, 2020) y los **Representative Concentration Pathways** (RCPs; Moss y otros, 2010). Los RCP se definen a partir de posibles trayectorias futuras de forzamiento radiativo, causadas por cambios en la concentración de GEI y aerosoles, y que caracterizan el cambio en el balance entre la radiación saliente y entrante en la atmósfera (forzamiento). Tratan de representar el rango de posibles, pero también desconocidas, concentraciones futuras de los GEI y aerosoles en la atmósfera, debido a los diferentes posibles ritmos de emisión de las actividades humanas. Éstas se identifican por el forzamiento radiativo total aproximado para el año 2100 con respecto a 1750. Los RCP utilizados en el AR6 corresponden a forzamientos radiativos de 1.9, 2.6, 4.5, 7.0 y 8.5 W/m². Por su parte, los SSP describen futuros socioeconómicos alternativos en ausencia de una intervención por medio de políticas climáticas sobre la base de cinco descripciones narrativas: desarrollo sostenible (SSP1), rivalidad regional (SSP3), desigualdad (SSP4), desarrollo con combustibles fósiles (SSP5) y desarrollo en término medio (SSP2). La combinación de los SSP-RCP da lugar a las cinco sendas utilizadas en el AR6 del IPCC: emisiones muy altas (SSP5-8.5), emisiones altas (SSP3-7.0), emisiones medias (SSP2-4.5), emisiones bajas (SSP1-2.6) y emisiones muy bajas (SSP1-1.9), correspondiendo estas dos últimas a los niveles de calentamiento de 2 °C y 1.5 °C, respectivamente (Figura 1).

Los **modelos globales del clima (GCMs**, según sus siglas en inglés) constituyen la principal herramienta de que se dispone para simular los procesos que conforman el estado del clima. Los GCMs se basan en una representación matemática de los procesos físico-químicos que tienen lugar en el sistema climático, así como en las interacciones entre sus distintos componentes (atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera). Estos sistemas de ecuaciones se resuelven usando grandes supercomputadores, aplicando técnicas numéricas apropiadas que proporcionan

los sucesivos estados del sistema en intervalos temporales discretos (por ejemplo, hora a hora) que caracterizan la evolución futura del sistema climático. Este proceso requiere dividir el espacio ocupado por la atmósfera y el océano en celdillas tridimensionales en las que se calculan los valores de las variables que caracterizan el estado de la atmósfera y el océano, como temperatura, densidad, etc. El tamaño de las celdillas (resolución del GCM) debe estar en concordancia con la resolución temporal a la que se resuelve el sistema. Por ejemplo, los modelos del **CMIP6** utilizados en el último informe del IPCC (AR6) han sido resueltos con una **resolución horizontal típica de 100 km** ($\sim 1^\circ$) y con 30 niveles verticales en la atmósfera.

Esta discretización del sistema impide que puedan modelarse y resolverse procesos atmosféricos u oceánicos con escalas espaciales o temporales menores que la resolución del modelo, por ejemplo, nubes individuales en los modelos atmosféricos o remolinos de escala intermedia en los modelos oceánicos. El efecto

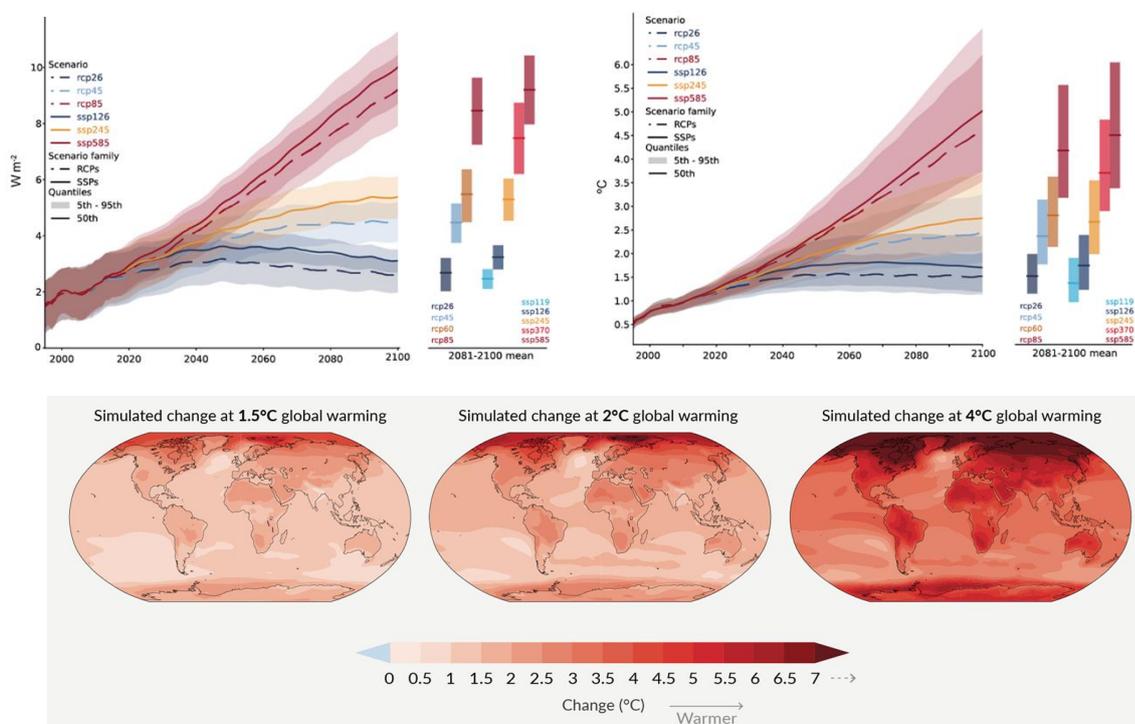


Figura 1. Forzamiento de los distintos escenarios SSP-RCP (arriba a la izquierda), cambio (incremento) proyectado en la temperatura media global (arriba a la derecha) y para las distintas regiones del globo (abajo) bajo los niveles de calentamiento 1.5 °C, 2 °C y 4 °C. FUENTE: Adaptado del IPCC-AR6.

de estos procesos sub-rejilla debe calcularse en paralelo a la resolución dinámica mediante una representación paramétrica en función de valores de las variables básicas resueltas por el modelo. Este procedimiento se llama parametrización y supone la principal fuente de **incertidumbre en el proceso de modelización** del sistema climático, ya que existen diferentes parametrizaciones para un mismo proceso, desarrolladas en distintos centros internacionales de modelización numérica del clima. Por ello, el proceso de generación de escenarios de cambio climático debe considerar distintos GCMs que permitan muestrear esta fuente de incertidumbre.

Estas **proyecciones multi-modelo multi-escenario** constituyen el punto de partida para el proceso de regionalización, conducente a refinar la resolución de esta información sobre regiones geográficas específicas.

2. Escenarios Climáticos Regionalizados

La resolución típica de los GCMs utilizados para generar proyecciones globales de cambio climático (~100 km) no permite modelar ni simular procesos locales inducidos, por ejemplo, por la orografía de la región o la frontera y contraste tierra-mar. Por otra parte, esta resolución no es adecuada para poder analizar los posibles impactos del cambio climático a escala regional o local en distintos sectores socioeconómicos (ecosistemas, agricultura, hidrología, energía, infraestructuras, costa, etc.), ya que dicha resolución no permite resolver las heterogeneidades regionales determinantes para estos sectores. Los **escenarios regionalizados de cambio climático** son proyecciones del clima futuro sobre una región geográfica o territorio determinado, elaboradas con una resolución espacial adecuada para tener en cuenta la heterogeneidad climática de la región de interés. Estas proyecciones regionales se obtienen a partir de las proyecciones globales de cambio climático, realizando un paso adicional llamado **regionalización (o downscaling)**, que permita proyectar a escala local los cambios simulados por el modelo a escala global (véase Gaertner y otros, 2012, para una descripción breve de las metodologías de proyección regional de cambio climático).

Uno de los enfoques metodológicos para aumentar la resolución de los modelos climáticos globales es la **regionalización dinámica**, basada en el uso de **modelos climáticos regionales (RCM)**, del inglés Regional Climate Model). Los RCMs se "anidan" a un modelo global en la zona de interés, tomando como condiciones de contorno los valores del modelo global a lo largo de toda la integración y resolviendo las ecuaciones de la atmósfera a una mayor resolución, incluyendo por tanto procesos regionales. A nivel global, estas actividades están amparadas bajo la iniciativa **CORDEX** (del inglés COordinated Regional Downscaling Experiment), impulsada por el Programa Mundial de Investigaciones Climáticas (**WCRP**, por sus siglas en inglés). Las proyecciones regionales de CORDEX disponibles hasta la fecha se basan en los escenarios y modelos globales de CMIP5, utilizados como referencia científica en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC (AR5; IPCC, 2013). Las proyecciones de CORDEX constituyen además la base científica para la evaluación del cambio climático regional llevada a cabo en los capítulos regionales del sexto y último informe del Grupo de Trabajo I del IPCC (AR6-WGI; IPCC, 2021). Actualmente, los distintos centros de modelización que integran la iniciativa EURO-CORDEX están produciendo la nueva generación de proyecciones regionales a partir de simulaciones globales del conjunto CMIP6. En el ámbito europeo, las proyecciones regionales de cambio climático han sido desarrolladas y actualizadas en el contexto de diversos proyectos de investigación europeos: PRUDENCE (2001-2004; 50 km), ENSEMBLES (2004-2009; 25 km), y más recientemente **EURO-CORDEX** (Jacob y otros, 2020; ~12 km), este último como componente europeo de la iniciativa CORDEX.

Otra estrategia complementaria es la **regionalización estadística**, que se basa en establecer relaciones empíricas entre los valores de los modelos globales (predictores) y los valores observados de las variables de interés (predictandos, por ejemplo, precipitación, temperatura o velocidad del viento) en las localidades o

regiones en las que se desea obtener las proyecciones. Estas técnicas son menos costosas computacionalmente que la regionalización dinámica, por lo que es posible realizar un gran número de realizaciones/simulaciones utilizando diferentes métodos estadísticos y a partir de múltiples GCMs y RCMs, y diversos escenarios. Esta flexibilidad facilita la exploración de un rango amplio de combinaciones posibles y permite analizar por separado las principales fuentes de incertidumbre: escenarios, modelos globales, y técnicas de regionalización (véase, por ejemplo, San Martín y otros, 2017). Sin embargo, es necesario utilizar una metodología adecuada que garantice que las proyecciones obtenidas no están contaminadas por artefactos estadísticos del proceso de downscaling (predictores inadecuados, problemas de extrapolación, consistencia entre el reanálisis y los GCMs, etc.), dando lugar a proyecciones no plausibles. Aunque existen distintas guías^{1,2}, con indicaciones e instrucciones para la preparación y uso de escenarios regionales, existen numerosos aspectos todavía no resueltos (capacidad de extrapolación de las técnicas, etc.) que hacen necesaria una gran experiencia en este campo para poder aplicar las metodologías de validación más actuales que permitan minimizar el impacto de estos problemas (descartando técnicas sospechosas; véase Gutiérrez y otros 2019 para una descripción de la metodología adoptada en proyecto VALUE).

2.1 Regionalización Dinámica: La iniciativa EURO-CORDEX

La iniciativa CORDEX persigue generar proyecciones regionales a nivel mundial, así como fomentar el intercambio de conocimiento con la comunidad que utiliza información climática regional. Es una iniciativa del World Climate Research Programme (WRCP) donde se han definido dominios específicos basados en el criterio de expertos y que comparten la misma malla geográfica y condiciones de contorno para todos los modelos regionales. La mayoría de los experimentos se llevaron a cabo en una malla de 0.44° y 0.22°; sin embargo, en algunos experimentos como el realizado para Europa (EURO-CORDEX, Figura 2), la resolución estándar es de 0.11° (Jacob y otros, 2014; Casanueva y otros, 2015).

¹ IPCC-TGICIA, 2003: Guidelines for Use of Climate Scenarios Developed from Regional Climate Model Experiments. L. O. Mearns , F. Giorgi , P. Whetton , D. Pabon , M. Hulme , M. Lal.

² IPCC-TGICA, 2007: General Guidelines on the Use of Scenario Data for Climate Impact and Adaptation Assessment. Version 2. T.R. Carter.

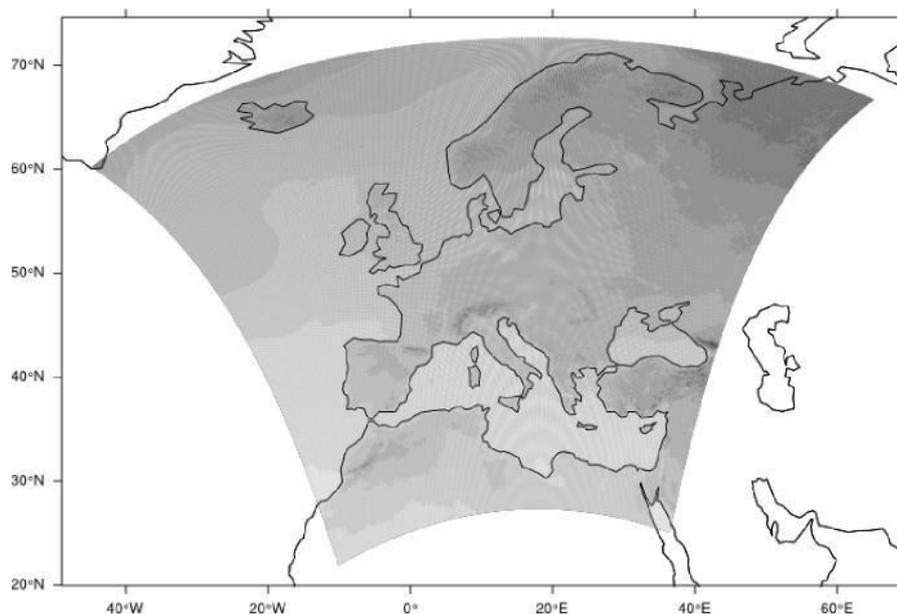


Figura 2. Dominio de simulación de los RCM enmarcados en EURO-CORDEX

En concreto, EURO-CORDEX proporciona en la actualidad proyecciones con distintos modelos climáticos regionales (RCMs), anidados a distintos modelos climáticos globales del CMIP5, para el escenario histórico (historical) y los escenarios de emisiones RCP4.5 y RCP8.5, según se muestra en la Tabla 1. Actualmente, los diversos centros de modelización que forman parte de EURO-CORDEX están elaborando una nueva generación de proyecciones regionales basadas en las simulaciones globales del conjunto CMIP6.

#	GCM	RCM	Institución
1	CNRM-CM5_r1i1p1	CCLM4-8-17	CLMcom
2	CNRM-CM5_r1i1p1	ALADIN53	CNRM
3	CNRM-CM5_r1i1p1	HIRHAM5	DMI
4	CNRM-CM5_r1i1p1	REMO2015	GERICS
5	CNRM-CM5_r1i1p1	IWRF381P	IPSL
6	CNRM-CM5_r1i1p1	RACMO22E	KNMI
7	CNRM-CM5_r1i1p1	RCA4	SMHI
8	EC-EARTH_r12i1p1	CCLM4-8-17	CLMcom
9	EC-EARTH_r12i1p1	ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	CLMcom
10	EC-EARTH_r12i1p1	HIRHAM5	DMI
11	EC-EARTH_r12i1p1	RegCM4-6	ICTP
12	EC-EARTH_r12i1p1	WRF381P	IPSL
13	EC-EARTH_r12i1p1	RACMO22E	KNMI
14	EC-EARTH_r12i1p1	HadREM3-GA7-05	MOHC
15	EC-EARTH_r12i1p1	RCA4	SMHI
16	EC-EARTH_r3i1p1	HIRHAM5	DMI
17	CM5A-MR_r1i1p1	HIRHAM5	DMI
18	CM5A-MR_r1i1p1	REMO2015	GERICS
19	CM5A-MR_r1i1p1	WRF381P	IPSL
20	CM5A-MR_r1i1p1	RACMO22E	KNMI

21	CM5A-MR_r1i1p1	RCA4	SMHI
22	HadGEM2-ES_r1i1p1	CCLM4-8-17	CLMcom
23	HadGEM2-ES_r1i1p1	ALADIN63	CNRM
24	HadGEM2-ES_r1i1p1	HIRHAM5	DMI
25	HadGEM2-ES_r1i1p1	RegCM4-6	ICTP
26	HadGEM2-ES_r1i1p1	WRF381P	IPSL
27	HadGEM2-ES_r1i1p1	RACMO22E	KNMI
28	HadGEM2-ES_r1i1p1	HadREM3-GA7-05	MOHC
29	HadGEM2-ES_r1i1p1	RCA4	SMHI
30	MPI-ESM-LR_r1i1p1	CCLM4-8-17	CLMcom
31	MPI-ESM-LR_r1i1p1	ALADIN63	CNRM
32	MPI-ESM-LR_r1i1p1	HIRHAM5	DMI
33	MPI-ESM-LR_r1i1p1	HIRHAM5	ICTP
34	MPI-ESM-LR_r1i1p1	RACMO22E	KNMI
35	MPI-ESM-LR_r1i1p1	HadREM3-GA7-05	MOHC
36	MPI-ESM-LR_r1i1p1	REMO2009	MPI-CSC
37	MPI-ESM-LR_r2i1p1	RCA4	SMHI
38	MPI-ESM-LR_r3i1p1	REMO2015	GERICS
39	NorESM1-M_r1i1p1	ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	CLMcom
40	NorESM1-M_r1i1p1	ALADIN63	CNRM
41	NorESM1-M_r1i1p1	HIRHAM5	DMI
42	NorESM1-M_r1i1p1	REMO2015	GERICS
43	NorESM1-M_r1i1p1	WRF381P	IPSL
44	NorESM1-M_r1i1p1	RACMO22E	KNMI
45	NorESM1-M_r1i1p1	HadREM3-GA7-05	MOHC
46	NorESM1-M_r1i1p1	RCA4	SMHI

Tabla 1. Proyecciones regionales obtenidas con distintos acoplamientos de modelos globales (GCMs.), y regionales (RCMs) de la iniciativa EURO-CORDEX con una resolución de 0.11° y proyecciones para RCP4.5 y RCP8.5.

2.2 Regionalización Estadística.

A escala europea, el proyecto VALUE (<http://www.value-cost.eu>) realizó un análisis comparativo de las distintas técnicas de ajuste de sesgos y regionalización estadística, analizando distintos aspectos, como la representación de extremos (Hertig y otros, 2018), de aspectos temporales (Maraun y otros, 2018) y espaciales (Widmann y otros, 2018), o la representatividad de procesos atmosféricos relevantes para el clima de Europa (por ejemplo, la NAO o situaciones de bloqueo; Soares y otros, 2018). Este proyecto contó con la participación del Grupo de Meteorología de Santander (CSIC-UC) y de AEMET, que han contribuido con distintas técnicas basadas en funciones de transferencia y en análogos, cubriendo así un amplio espectro de métodos. Uno de los resultados principales de estos proyectos es que ninguna técnica es superior al resto, sino que para distintos aspectos (temporales, extremos, etc.) unas técnicas son mejores que otras. Por tanto, es necesario considerar un conjunto de técnicas estadísticas de regionalización (y no una única técnica) para poder representar adecuadamente esta fuente adicional de

incertidumbre (véase Gutiérrez y otros 2019 para una descripción de las metodologías y resultados de VALUE).

En el caso particular de las técnicas estadísticas para el ajuste de sesgos, ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) ha promovido en los últimos años una metodología sistemática para la corrección de sesgos en proyecciones climáticas, orientada a su aplicación en estudios de impacto sectoriales que requieren consistencia multivariable y multiescala. Su tercera fase, conocida como ISIMIP3 (Lange, 2019; Lange 2021), incorpora avances significativos respecto a versiones anteriores, incluyendo la corrección simultánea de múltiples variables y el mantenimiento de las relaciones internas entre ellas. Esta metodología ha sido diseñada para su implementación operativa sobre grandes conjuntos de modelos climáticos, lo que la convierte en una herramienta de referencia para la generación de datos climáticos ajustados en distintos contextos. Frente a otros enfoques más centrados en la evaluación comparativa de métodos, como los impulsados por el proyecto VALUE, ISIMIP3 aporta un marco práctico y reproducible especialmente adecuado para iniciativas de proyección climática a gran escala.

Paralelamente, en los últimos años han surgido numerosas metodologías de regionalización/downscaling basadas en Machine Learning que permiten abordar con precisión las complejas y no lineales relaciones entre predictores de gran escala y predictandos locales. AEMET ha realizado numerosos estudios intercomparativos incluyendo algunas de estas nuevas técnicas (Hernanz y otros, 2022a; 2022b; 2022c; 2023), dando lugar finalmente a una Nota Técnica (Correa y otros, 2023) en la que se explica la evaluación y selección de las técnicas estadísticas de regionalización y de los GCMs más adecuados. Para temperatura máxima y mínima, se ha optado por una técnica clásica de regresión lineal múltiple basada en tipos de tiempo o días análogos (MLR-ANA), mientras que para precipitación se ha seleccionado una técnica basada en Machine Learning conocida como eXtreme Gradient Boost (XGB). Además, se ha aplicado a ambas técnicas la corrección de sesgos Quantile Delta Mapping (QDM; Cannon y otros, 2015).

Por su parte, el CSIC, a través del Instituto de Física de Cantabria, ha desarrollado DeepESD, una metodología de downscaling basada en técnicas de aprendizaje profundo, que combina redes neuronales convolucionales con una capa densa. DeepESD ha sido evaluada en comparación con modelos climáticos regionales tradicionales, mostrando una mejora significativa en la representación de variables como la temperatura y la precipitación (Baño-Medina et al., 2022).

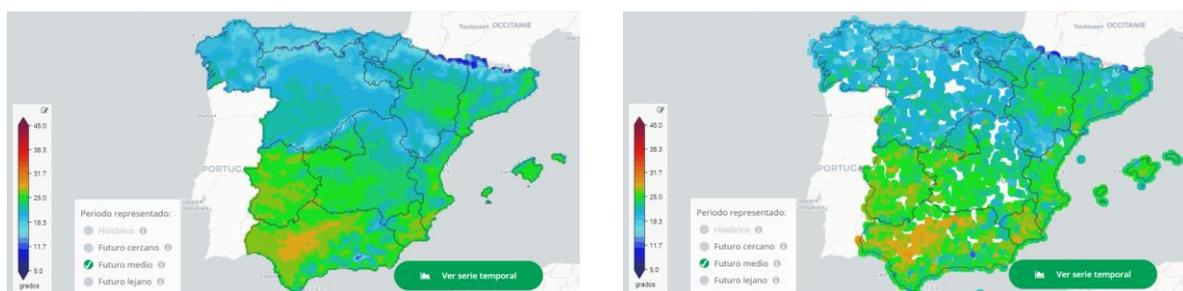
3. El Conjunto de Datos de Escenarios-PNACC 2024

3.1 Proyecciones regionales de cambio climático

La Tabla 2 muestra las proyecciones regionales disponibles en Escenarios-PNACC 2024, que incluye tres fuentes complementarias de información:

- **Proyecciones en rejilla** provenientes de las regionalizaciones dinámicas (RCMs), generadas en la iniciativa **EURO-CORDEX** a partir de las simulaciones globales de CMIP5 (véase Sec. 2.1). Este conjunto de datos ha sido interpolado desde su resolución original (0.11°) hasta una resolución de 0.05° (5 km), mediante un procedimiento de corrección de sesgos basado en el método ISIMIP3 (Lange, 2021), utilizando como referencia la rejilla observacional ROCIO_IBEB. La cobertura de este conjunto de proyecciones incluye la España peninsular y las Islas Baleares. Las proyecciones originales de ERUO-CORDEX (0.11°) se distribuyen a través del Earth System Grid Federation (ESGF, <http://cordex.org/data-access/esgf>; véanse las condiciones de uso de estos datos³), usando los siguientes criterios de filtrado: *Project=CORDEX, Domain=EUR-11*.
- **Proyecciones en rejilla** provenientes de la regionalización estadística a partir de la última generación de modelos globales de CMIP6, obtenidas mediante la aplicación de las técnicas estadísticas MLR-ANA+QDM, XGB+QDM y DeepESD (véase Sec. 2.2) utilizando como referencia observacional la rejilla ROCIO_IBEB a 0.05° (5 km) en península y Baleares, y la rejilla ROCIO+_CAN a 0.025° (2.5 km) en las Islas Canarias. Las proyecciones originales de CMIP6 (~1°) se distribuyen a través del Earth System Grid Federation (ESGF; véase <https://pcmdi.lnl.gov/CMIP6>).
- **Proyecciones puntuales**, provenientes de la regionalización estadística a partir de la última generación de modelos globales de CMIP6, obtenidas aplicando las mismas técnicas de regionalización estadística sobre un conjunto de estaciones puntuales de la red de AEMET consistente en 3460 estaciones de temperatura y 5803 estaciones de precipitación en península y Baleares, y 244 estaciones de temperatura y 460 de precipitación en las Islas Canarias.

Esta información está disponible en el visor de escenarios de cambio climático de AdapteCCa (<http://escenarios.adaptecca.es>), donde se pueden visualizar los resultados en forma de mapas de medias climatológicas o en forma de series



temporales interanuales, con distintas opciones de agregación geográfica seleccionables directamente sobre el mapa. El visor también permite descargar la información a escala diaria. La Figura 3 muestra algunos ejemplos de mapas para ilustrar la resolución espacial de las rejillas y la distribución espacial de los datos puntuales.

³ http://is-enes-data.github.io/CORDEX_RCMs_info.html

Figura 3. Ejemplos de visualización de la información en rejilla (izquierda) y puntual (derecha) de Escenarios-PNACC 2024 con el visor de escenarios de cambio climático de AdapteCCa para un ejemplo ilustrativo (proyecciones de temperatura máxima a finales de siglo, 2071-2100).

Las proyecciones obtenidas mediante técnicas de regionalización estadística no incluyen datos para las variables de viento, radiación solar y humedad, debido a la falta de observaciones representativas y suficientemente densas. Esta limitación afecta tanto a las proyecciones provenientes de CMIP6 como a las proyecciones ajustadas de EURO-CORDEX a 0.05°. Por ello, para mantener la disponibilidad de estas variables, se incluyen las proyecciones originales sin ajustar de EURO-CORDEX a 0.11°, exclusivamente para viento, radiación y humedad.

GCM	RCM Previsto CORDEX	SDM			
		Temperatura		Precipitación	
		RegBA	DeepESD	RegBA	DeepESD
ACCESS-CM2_r1i1p1f1		X	X	X	X
CMCC-CM2-SR5_r1i1p1f1	X	X	X	X	X
CNRM-ESM2-1_r1i1p1f2	X	X	X	X	X
EC-Earth3-Veg_r1i1p1f1	X	X	X	X	X
IITM-ESM_r1i1p1f1		X	X	X	X
KACE-1-0-G_r1i1p1f1		X	X	X	X
MIROC6_r1i1p1f1	X	X	X	X	X
MPI-ESM1-2-HR_r1i1p1f1	X	X	X	X	X
MRI-ESM2-0_r1i1p1f1		X	X	X	X
NorESM2-MM_r1i1p1f1	X	X	X	X	X
UKESM1-0-LL_r2i1p1f2		X	X	X	X

Tabla 2. Escenarios-PNACC 2024: Proyecciones regionales previstas a partir de métodos dinámicos (RCM CORDEX) y disponibles mediante métodos estadísticos (SDM) de regionalización (en columnas) a partir de las proyecciones de distintos modelos globales (GCM, en filas).

Todos los conjuntos de datos resultantes de la aplicación de técnicas estadísticas están disponibles en el [Archivo de escenarios climáticos del Plan Nacional de](#)

[Adaptación al Cambio Climático \(PNACC\)](#), mientras que en el [Visor de Escenarios de Cambio Climático de AdapteCCa](#) se recogen los resultados de ESD-RegBA, desarrollada por AEMET, para los índices dependientes de temperatura, y de deepESD, desarrollada por CSIC, para los índices dependientes de precipitación y la evapotranspiración potencial.

3.2 Referencias observacionales

Por otra parte, los datos observacionales representativos del clima regional en España, consistentes en datos diarios de temperatura máxima, mínima y precipitación, provienen de dos fuentes:

- **Observaciones en rejilla** ROCIO_IBEB (Peral y otros, 2017), desarrollada en AEMET. Esta rejilla tiene una resolución de 5 km (0.05°) sobre península y Baleares. Siguiendo la misma metodología descrita en (Peral y otros, 2017) se desarrolló la rejilla observacional ROCIO+_CAN con una resolución de 2.5 km (0.025°) sobre las Islas Canarias.
- **Observaciones en estaciones** de la red de AEMET: 3460 estaciones de temperatura y 5803 estaciones de precipitación en península y Baleares, y 244 estaciones de temperatura y 460 de precipitación en las Islas Canarias.

4. Problemas Frecuentes en el Uso de Proyecciones Regionales

La complejidad de la información climática regional disponible para llevar a cabo estudios de impacto y adaptación al cambio climático (proyecciones obtenidas con distintos modelos, para distintos escenarios, en rejilla o puntuales), 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.

4.1 Acceso a los datos

Los datos de proyecciones regionales y globales del clima generados en los distintos proyectos e iniciativas nacionales e internacionales se almacenan normalmente en formatos específicos para datos climáticos (normalmente, en ficheros binarios en formato NetCDF) que son de difícil lectura para los usuarios de otros ámbitos. Por otra parte, el acceso a estos datos se realiza a través de 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 *Escenarios-PNACC 2024* se ha tenido en cuenta este problema y, además de los servicios de acceso a los datos proporcionados por AEMET, se ha desarrollado un portal de visualización y acceso a estos datos (<http://escenarios.adaptecca.es>). Este portal está orientado a la comunidad de estudios de impactos y adaptación al cambio climático y permite visualizar y seleccionar fácilmente la información relevante para una cierta región geográfica (una provincia, cuenca hidrográfica, zona LIC, etc.).

4.2 Condiciones de uso de los datos

Los datos de proyecciones globales y regionales suelen ser de uso libre (licencia *unrestricted*) para actividades de investigación (por ejemplo, los datos de CMIP5 y CORDEX). Estas licencias suelen incluir unos términos de descarga de responsabilidad e indicaciones para agradecer su uso en publicaciones. Sin embargo, el uso comercial puede estar limitado para algunos modelos (licencia *non-commercial*) por lo que su uso en estudios de consultoría y para otras actividades comerciales estaría limitado, incluso si estos datos se obtienen a través de una tercera parte como *Escenarios-PNACC 2024*. Por ejemplo, los términos de uso de CORDEX se detallan en http://cordex.dmi.dk/joomla/images/CORDEX/cordex_terms_of_use.pdf

4.3 Elección de datos en rejilla o puntuales (por localidades)

En Escenarios-PNACC se distinguen dos tipos principales de información climática regional: datos en rejilla y datos puntuales. La información proveniente de modelos climáticos regionales de EURO-CORDEX se proporciona en rejillas regulares que cubren la España peninsular y las Islas Baleares con diferentes resoluciones espaciales: ~5 km para los datos ajustados mediante corrección de sesgos, y ~10 km para los datos originales sin ajustar. Estos últimos incluyen exclusivamente las variables de humedad, radiación solar y viento (véase Sec. 3.1). Cabe señalar que esta información no está disponible para las Islas Canarias, ya que el dominio geográfico de EURO-CORDEX no incluye dicha región (véase Figura 2). Por otra parte, los métodos de regionalización estadística a partir de CMIP6 proporcionan información en rejilla de ~5 km de resolución en península y Baleares y de ~2.5 km en las Islas Canarias. Además, se incluye información puntual en un subconjunto de estaciones de la red de AEMET, en las cuales los métodos estadísticos han sido previamente calibrados y aplicados.

Los datos en rejilla tienen una mayor cobertura espacial, pero no son representativos de un punto o localidad particular que pueda ser de interés para un estudio, sino del promedio del área que abarca cada punto de rejilla. Esta característica resulta especialmente problemática en regiones de orografía compleja, donde un mismo punto de rejilla puede comprender una gran variabilidad geográfica que escapa a estos datos “promedio” de rejilla.

Por otra parte, los datos puntuales son representativos de las localidades para las cuales se dispone de información. El problema es que puede no existir ninguna localidad cercana/representativa para un estudio dado. Si se dispone de información histórica en el punto o puntos de interés (por ejemplo, la serie histórica de precipitaciones en la cabecera de una cuenca para un estudio de hidrología) sería posible aplicar las técnicas estadísticas en estos puntos, para regionalizar las proyecciones globales de cambio climático.

Estas características hacen que para cada estudio particular resulte más adecuado un tipo de datos u otro.

4.4 Corrección de sesgos de los modelos (técnicas de “bias correction”)

Los datos de los modelos climáticos globales y regionales no pueden ser utilizados de forma directa para estudios de impacto, ya que contienen sesgos importantes cuando se comparan con las observaciones. En consecuencia, se hace necesario un proceso de calibración antes de utilizar estos datos en aplicaciones reales (ver, por ejemplo, Casanueva y otros 2015, para un análisis de los sesgos de los datos de CORDEX sobre España). Un estudio en el marco de la iniciativa VALUE (véase Gutiérrez y otros 2019; <http://www.value-cost.eu>) ha llevado a cabo una inter-

comparación de técnicas de corrección de sesgos sobre Europa. En total, se han comparado las ventajas y limitaciones de más de 20 técnicas, que incluyen desde técnicas simples basadas en el método delta (apropiado para datos mensuales o anuales), hasta técnicas más sofisticadas basadas en ajustes de cuantil (quantile-mapping), que resulta apropiado cuando es necesario corregir datos diarios. En Escenarios-PNACC 2024 se ha aplicado un ajuste empírico de cuantiles (EQM; Cannon y otros, 2015) para alinear mejor las proyecciones derivadas de CMIP6 con las observaciones, en particular las obtenidas a partir de las técnicas de regionalización/downscaling basadas en tipos de tiempo o días análogos (MLR-ANA) y en eXtreme Gradient Boosting (XGB).

En los últimos años, el proyecto ISIMIP (Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project) ha desarrollado un enfoque estandarizado y coherente para la corrección de sesgos en proyecciones climáticas, con el objetivo de facilitar su uso en estudios de impacto multisectoriales y multivariables. En particular, su tercera fase metodológica, conocida como ISIMIP3 (Lange, 2019; Lange 2021), introduce mejoras sustanciales respecto a enfoques anteriores, como la corrección conjunta de múltiples variables climáticas, la preservación de las relaciones físicas entre ellas y la aplicación sistemática a grandes conjuntos de modelos. Estas características lo convierten en una referencia actualizada y robusta para el ajuste estadístico de proyecciones climáticas, superando algunas de las limitaciones identificadas en estudios comparativos previos como los desarrollados en el proyecto VALUE. Por esta razón, en Escenarios-PNACC 2024 las proyecciones de EURO-CORDEX se incluyen tras una corrección de sesgos mediante el método ISIMIP3 (Lange, 2021), utilizando como referencia observacional tanto la rejilla de ROCIO_IBEB como los datos puntuales en estaciones. La excepción la constituyen las variables de humedad, radiación solar y viento (véase Sec. 3.1), que se proporcionan sin corrección de sesgos y a una resolución espacial de aproximadamente 10 km. Esto se debe a la ausencia de una base observacional suficientemente densa y representativa que permita aplicar de forma fiable cualquier técnica estadística de calibración.

4.5 Selección de un subconjunto representativo de modelos

Cuando se llevan a cabo estudios de cambio climático en una región concreta un primer paso suele consistir en la evaluación de los distintos modelos disponibles, en cuanto a su capacidad para representar adecuadamente tanto los procesos atmosféricos relevantes que afectan a la región, como el clima regional para las variables de interés (típicamente precipitación, temperatura o viento). Este proceso de evaluación ha de llevarse a cabo cuidadosamente para no descartar erróneamente ningún modelo. Flato y otros (2013) proporciona una referencia básica para este proceso, tanto en el caso de modelos globales como de técnicas de regionalización (Sec. 9.6). Knutti y otros (2010) describen buenas prácticas para la evaluación y combinación de modelos. A nivel regional, Brands y otros (2013) proporcionan un análisis de los modelos del CMIP5 sobre Europa. Por otra parte, Casanueva y otros (2015) proporcionan una evaluación de los modelos de EURO-CORDEX sobre la península Ibérica.

Por otra parte, dado que la generación de simulaciones regionales dinámicas conlleva un alto coste computacional, el proyecto EURO-CORDEX ha llevado a cabo un proceso exhaustivo de evaluación de los modelos climáticos globales

(GCMs) de CMIP6, con el objetivo de seleccionar un conjunto mínimo de seis modelos que sirva de base para la producción de la próxima generación de proyecciones regionales. Con el objetivo de alinear Escenarios-PNACC con las actividades de regionalización en curso a nivel europeo, se ha adoptado como conjunto mínimo de referencia para la regionalización estadística nacional el mismo grupo de seis modelos de CMIP6 seleccionados por EURO-CORDEX. Además, dado que el coste computacional de las técnicas estadísticas no es tan alto como el de las técnicas dinámicas, y con el fin de ampliar el conjunto de modelos utilizados para mejorar el muestreo de las incertidumbres asociadas, AEMET ha realizado una comparación de modelos utilizando la herramienta interactiva GCMeval (Parding y otros, 2020; <https://gcmeval.met.no/>) descrita en Correa y otros (2023), obteniendo un conjunto ampliado de 11 GCMs (ver Tabla 2).

4.6 ¿Qué son los “runs” de un modelo (por ejemplo “r1p1i1f1”)?

Para tener en cuenta la variabilidad natural del clima se repiten varias veces las simulaciones variando las condiciones iniciales de forma que se tienen distintas presentaciones igualmente plausibles de la evolución futura del clima proyectada con el modelo. Esto permite caracterizar la incertidumbre debida a la variabilidad natural, pudiendo así acotar el efecto del cambio climático de una manera más eficaz. Cada una de estas simulaciones tiene un código diferente r1, r2, etc., en la codificación estándar “r1p1i1f1” de los modelos de CMIP6 y CORDEX (‘p’ se refiere a distintas realizaciones con física perturbada, ‘i’ se refiere a la forma de inicialización y ‘f’ se refiere al forzamiento). Diversos estudios han mostrado que esta fuente de incertidumbre puede ser tan importante como la debida a los escenarios o los modelos, principalmente en horizontes temporales próximos (Deser y otros, 2012; Fig. 11.8, Cap. 11, IPCC-AR5 WGI). Esta fuente de incertidumbre comenzó a analizarse como una fuente de incertidumbre adicional del diseño experimental en el CMIP5 y continúa en CMIP6.

Normalmente no es necesario tener en cuenta esta fuente de incertidumbre cuando se consideran estudios multi-modelo, salvo que quiera considerarse explícitamente la variabilidad natural, y suele considerarse una única realización de cada modelo (típicamente “r1i1p1f1”).

4.7 Tratamiento de la incertidumbre: ¿Basta un único escenario?

Tal como muestra la Figura 1, 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 SSP2-4.5 y SSP3-7.0, 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 interés⁴ (ver Hawkins y 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. En Escenarios-PNACC 2024 se contemplan los

⁴ Un análisis regional para distintas variables puede verse en <http://ncas-climate.nerc.ac.uk/research/uncertainty>

escenarios SSP1-2.6, SSP2-4.5, SSP3-7.0 y SSP5-8.5 para las proyecciones de CMIP6 y RCP-4.5 y RCP-8.5 para las proyecciones de EURO-CORDEX.

5. Contribuciones y Agradecimientos

Agradecemos al World Climate Research Programme (WCRP) y a los grupos de modelización involucrados por la producción de los conjuntos de datos de proyecciones climáticas globales (CMIP5 y CMIP6) y regionales (CORDEX-CMIP5), a través de las iniciativas CMIP (<https://wcrp-cmip.org>) y CORDEX (<https://cordex.org>), respectivamente. Agradecemos también la Earth System Grid Federation (ESGF, <https://esgf.llnl.gov>) por albergar y dar acceso a estos datos, y a las múltiples agencias financiadoras que apoyan este trabajo. También agradecemos a AEMET y al CSIC por haber contribuido con datos y con las técnicas de regionalización estadística que forman parte de esta versión de Escenarios-PNACC 2024.

6. Referencias

Baño-Medina, J., R. Manzanar, E. CimaDevilla, J. Fernández, J. González-Abad, A. S. Cofiño, and J. M. Gutiérrez, 2022: Downscaling multi-model climate projection ensembles with deep learning (DeepESD): Contribution to CORDEX EUR-44. *Geosci. Model Dev.*, **15**, 6747–6758, <https://doi.org/10.5194/gmd-15-6747-2022>.

Brands, S., S. Herrera, J. Fernández, y J. M. Gutiérrez. 2013. "How Well Do CMIP5 Earth System Models Simulate Present Climate Conditions in Europe and Africa?" *Climate Dynamics* 41: 803–817. <https://doi.org/10.1007/s00382-013-1742-8>.

Cannon, A.J., Sobie, S.R. & Murdock, T.Q. (2015) Bias correction of GCM precipitation by quantile mapping: how well do methods preserve changes in quantiles and extremes? *Journal of Climate*, 28, 6938–6959. Available from: <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00754.1>

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.

Deser, C. y otros (2012) Uncertainty in climate change projections: The role of internal variability. *Climate Dynamics* 38(3):527-546 DOI10.1007/s00382-010-0977-x

Fernández J, y otros (2017) "Regional Climate Projections over Spain: Atmosphere. Future Climate Projections", *CLIVAR Exchanges* 73:45-52. Disponible en <http://www.clivar.org/documents/exchanges-73>

Fernández, J. y otros (2012) "Escenarios-PNACC 2012: Resultados de regionalización dinámica. En "Cambio climático: Extremos e Impactos". Publicaciones de la AEC. Serie A, n8, 63-72. <http://www.meteo.unican.es/node/73108>

Flato, G., J. Marotzke, B. Abiodun, P. Braconnot, S.C. Chou, W. Collins, P. Cox, F. Driouech, S. Emori, V. Eyring, C. Forest, P. Gleckler, E. Guilyardi, C. Jakob, V. Kattsov, C. Reason and M. Rummukainen, 2013: Evaluation of Climate Models. In: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

Gaertner, M.A., Gutiérrez, J.M., y 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.

Herrera, S., J. Fernández, y J. M. Gutiérrez. 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.

Gutiérrez, J.M. y otros (2012): Escenarios-PNACC 2012: Descripción y Análisis de los Resultados de Regionalización Estadística. En "Cambio climático: Extremos e Impactos". Publicaciones de la AEC. Serie A, n8, 125-134.

<http://www.meteo.unican.es/node/73082>

Gutiérrez JM, Maraun D, Widmann M, y otros (2019). 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*.
<https://doi.org/10.1002/joc.5462>

Hawkins, E., y R. Sutton. 2009. "The Potential to Narrow Uncertainty in Regional Climate Predictions." *Bulletin of the American Meteorological Society* 90 (8): 1095–1108. <https://doi.org/10.1175/2009BAMS2607.1>.

Hernanz, A., García-Valero, J. A., Domínguez, M., Ramos-Calzado, P., Pastor-Saavedra, M. A., & Rodríguez-Camino, E. (2022a). Evaluation of statistical downscaling methods for climate change projections over Spain: Present conditions with perfect predictors. *International Journal of Climatology*, 42(2), 762–776.
<https://doi.org/10.1002/joc.7271>

Hernanz, A., García-Valero, J. A., Domínguez, M., & Rodríguez-Camino, E. (2022b). Evaluation of statistical downscaling methods for climate change projections over Spain: Future conditions with pseudo reality (transferability experiment). *International Journal of Climatology*, 42(7), 3987–4000. <https://doi.org/10.1002/joc.7464>

Hernanz, A., García-Valero, J. A., Domínguez, M., & Rodríguez-Camino, E. (2022c). Evaluation of statistical downscaling methods for climate change projections over Spain: Present conditions with imperfect predictors (global climate model experiment). *International Journal of Climatology*, 42(13), 6793–6806.
<https://doi.org/10.1002/joc.7611>

Hernanz, A., Correa, C., Domínguez, M., Rodríguez-Guisado, E., & Rodríguez-Camino, E. (2023). Comparison of machine learning statistical downscaling and regional climate models for temperature, precipitation, wind speed, humidity and radiation over Europe under present conditions. *International Journal of Climatology*, 43(13), 6065–6082. <https://doi.org/10.1002/joc.8190>

Hertig E, y otros (2018) Comparison of statistical downscaling methods with respect to extreme events over Europe: Validation results from the perfect predictor experiment of the COST Action VALUE. *International Journal of Climatology*.
<https://doi.org/10.1002/joc.5469>

IPCC (2007). *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. <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg1>

IPCC (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [T.F. Stocker, D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
<https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1>

IPCC (2021). Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. <https://doi.org/10.1017/9781009157896>

IPCC (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>

Jacob, D., Teichmann, C., Sobolowski, S. et al. Regional climate downscaling over Europe: perspectives from the EURO-CORDEX community. *Reg Environ Change* 20, 51 (2020). <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01606-9>

Knutti, R., G. Abramowitz, M. Collins, V. Eyring, P.J. Gleckler, B. Hewitson, y L. Mearns, 2010: Good Practice Guidance Paper on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections. In: Meeting Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Expert Meeting on Assessing and Combining Multi Model Climate Projections [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, and P.M. Midgley (eds.)]. IPCC Working Group I Technical Support Unit, University of Bern, Bern, Switzerland.

https://wg1.ipcc.ch/guidancepaper/IPCC_EM_MME_GoodPracticeGuidancePaper.pdf

Lange, S. (2019) Trend-preserving bias adjustment and statistical downscaling with ISIMIP3BASD (v1.0). *Geoscientific Model Development*, 12, 3055–3070. <https://doi.org/10.5194/gmd-12-3055-2019>

Lange, S., Büchner, M. (2021): ISIMIP3b bias-adjusted atmospheric climate input data (v1.1). ISIMIP Repository. <https://doi.org/10.48364/ISIMIP.842396.1>

Maraun, D. y otros (2018) The VALUE perfect predictor experiment: evaluation of temporal variability. *International Journal of Climatology*, DOI: 10.1002/joc.5222

Meinshausen, M., Nicholls, Z. R. J., Lewis, J., Gidden, M. J., Vogel, E., Freund, M., Beyerle, U., Gessner, C., Nauels, A., Bauer, N., Canadell, J. G., Daniel, J. S., John, A., Krummel, P. B., Luderer, G., Meinshausen, N., Montzka, S. A., Rayner, P. J., Reimann, S., Smith, S. J., van den Berg, M., Velders, G. J. M., Vollmer, M. K., and Wang, R. H. J.: The shared socio-economic pathway (SSP) greenhouse gas concentrations and their extensions to 2500, *Geosci. Model Dev.*, 13, 3571–3605, <https://doi.org/10.5194/gmd-13-3571-2020>, 2020.

Montávez, J.P. (2017) "Regional climate projections over Spain: Atmosphere. Present climate evaluation". *CLIVAR Exchanges*, No. 73, 39-44. Disponible en <http://www.clivar.org/documents/exchanges-73>

Parding, K. M., Dobler, A., McSweeney, C. F., Landgren, O. A., Benestad, R., Erlandsen, H. B., Mezghani, A., Gregow, H., Rätty, O., Viktor, E., El Zohbi, J., Christensen, O. B., Loukos, H. (2020), GCMeval – An interactive tool for evaluation and selection of climate model ensembles. *Climate Services*, Volume 18, 100167.

<https://doi.org/10.1016/j.cliser.2020.100167>

Peral, C., Navascués, B. and Ramos, P. (2017) Serie de precipitación diaria en rejilla con fines climáticos. AEMET Nota Técnica nº 24. https://www.aemet.es/documentos/es/conocermas/recursos_en_linea/publicaciones_y_estudios/publicaciones/NT_24_AEMET/NT_24_AEMET.pdf

Ruane, A.C., y 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>.

Soares, P.M.M. y otros (2018) Process based evaluation of the VALUE perfect predictor experiment of statistical downscaling methods. *International Journal of Climatology*, in press.

Taylor KE, Stouffer RJ, y Meehl GA (2012) An overview of CMIP5 and the experiment design. *Bull Am Meteorol Soc* 93(4):485–498. doi:10.1175/BAMS-D-11-00094.1

Weigel, A.P., Knutti, R., Liniger, M.A., y 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>.

Widmann, M. y otros (2018) Validation of spatial variability in downscaling results from the VALUE perfect predictor experiment. *International Journal of Climatology*, in press.