

Análisis de la fiabilidad de proyecciones con cobertura global para la región Galicia – Norte de Portugal

Código: E.3.1

Acción: A.3.1

Interreg



Cofinanciado por
la Unión Europea
Cofinanciado pela
União Europeia

España – Portugal

CAPTA

Cofinanciado por la Unión Europea a través del Programa Interreg VI-A España-Portugal (POCTEP) 2021-2027. Las opiniones son de exclusiva responsabilidad del autor que las emite.

ÍNDICE

ÍNDICE..... 2

1.RESUMEN..... 3

2. INTRODUCCIÓN 3

3. DATOS y MÉTODOS 4

4. RESULTADOS 5

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES 7

REFERENCIAS 8

1. RESUMEN

Los modelos climáticos globales (GCM) son una pieza fundamental en el estudio del clima moderno, sin embargo, originalmente, no están hechos para reproducir el clima a una escala regional. Para solucionar este inconveniente se han propuesto dos soluciones. Por un lado, los propios modelos se han ido mejorando constantemente en términos de procesos físicos y químicos, esquemas de parametrización, resolución y componentes del sistema climático implementados, dando lugar al término “modelo del sistema terrestre”. Por otro lado, los resultados de los modelos globales se han perfeccionado a escala regional utilizando modelos de área limitada o métodos estadísticos en lo que se conoce como *downscaling* dinámico o estadístico. Sin embargo, para ambas aproximaciones es difícil corregir errores que resultan de una representación errónea de la circulación a gran escala en el modelo global.

Con respecto a la frontera oceánica prácticamente todos los modelos muestran valores de SST similares a los de OISST $\frac{1}{4}$, tanto en la costa como en el océano, por lo que cualquiera de los modelos es un buen candidato para ser usado en procesos de bajada de escala para la fachada oeste de la Península Ibérica. En el caso de la frontera fluvial, de los 31 modelos testeados, sólo 5 de ellos cumplieron las condiciones de calidad exigibles relativas tanto a la distribución de datos como a la capacidad del modelo de identificar eventos extremos.

2. INTRODUCCIÓN

El proceso de bajada de escala (*downscaling*) dinámica, aparte de ser muy demandante de recursos computacionales, es altamente complejo, ya que además de las limitaciones y errores propios de los modelos utilizados, estos pueden heredar los errores de los modelos de baja resolución a través de las *condiciones de contorno*.

Por ello, en el presente análisis se realizará un estudio detallado de la precisión de cada uno de los modelos globales para generar unas condiciones de contorno lo más fiables posible. De esta manera, se analizará la frontera oceánica, aquella en la que el área de estudio se comunica con el océano; así como la frontera fluvial, la cual es la principal entrada de agua dulce a la zona de estudio y por lo tanto un factor importante para el análisis de las corrientes de densidad.

Conocer la temperatura de la superficie del mar (SST) es de vital importancia, ya que pueden afectar a los ecosistemas marinos, especialmente en zonas de alta productividad como los Sistemas de Afloramiento de Borde Oriental (EBUS, por sus siglas en inglés). En este sentido, es fundamental disponer de modelos de alta resolución para estudiar los patrones de SST lo más cerca posible de la costa, donde la influencia del afloramiento es mayor. Así, el principal objetivo del presente trabajo es evaluar la capacidad de 23 Modelos de Circulación General (GCMs) de la fase seis del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP6) para reproducir la huella del afloramiento en la SST dentro de los EBUS, mediante una comparación con la base de datos de Interpolación Óptima de Temperatura Superficial del Mar (OISST $\frac{1}{4}$) de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA) para el período común 1982–2014 [1].

En el caso de las rías gallegas, el aporte de agua dulce juega un papel esencial en la dinámica estuarina, modulando tanto la circulación interna como la estratificación de la columna de agua. Aunque las rías se caracterizan por una fuerte influencia marina debida a su morfología abierta y su orientación, los

caudales fluviales procedentes de los ríos que desembocan en ellas regulan la posición del frente salino y controlan en gran medida la intensidad de la estratificación, especialmente en primavera e invierno. Este aporte fluvial es de especial relevancia durante eventos extremos, los cuales puede resultar en una fuerte mortandad de diferentes especies de interés comercial que se cultivan en las rías [2]. En este trabajo se evalúa la capacidad de 31 Modelos de Circulación Regional (RCMs) para reproducir las precipitaciones en la estación húmeda (noviembre-marzo) en la zona de estudio, comparando las salidas históricas del modelo con datos de precipitación de MeteoGalicia.

3. DATOS Y MÉTODOS

3.1 ANÁLISIS DE LA FRONTERA OCEÁNICA.

Para el análisis de la frontera oceánica, se consideraron como conjunto de datos de referencia los datos diarios de SST de la base de datos de Interpolación Óptima de Temperatura Superficial del Mar de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA OISST $\frac{1}{4}$; <https://www.ncdc.noaa.gov/oisst>) con una resolución de $0,25^\circ$. Los valores diarios de SST se promediaron a escala mensual, ya que esta es la resolución temporal de los modelos de circulación general (GCMs).

Los valores mensuales de SST se extrajeron de 23 GCMs disponibles en el marco del proyecto CMIP6, incluyendo el High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP), para el período 1982–2014, común con OISST $\frac{1}{4}$ [3-7]. Dado que algunos GCMs del CMIP6 presentan diferentes resoluciones horizontales, se realizó una interpolación bilineal para convertir los datos de SST a una malla común de $0,25^\circ \times 0,25^\circ$, con el fin de facilitar la comparación con OISST $\frac{1}{4}$. La Tabla 1 muestra una descripción detallada de los modelos utilizados en este estudio, a partir de la información obtenida del sitio web oficial: https://wcrp-cmip.github.io/CMIP6_CVs/docs/CMIP6_source_id.html.

El modelo NICAM16-8S se presenta como modelo de control debido a sus características especiales [1]. Se consideraron dos experimentos distintos: (i) Historical y (ii) Hist-1950. Ambos son variantes del mismo experimento, pero mientras que Historical comienza en 1850, Hist-1950 lo hace en 1950. Además, las simulaciones Hist-1950 están disponibles en resoluciones alta y estándar, con una resolución atmosférica mínima de 25–50 km en latitudes medias, una resolución oceánica de $0,25^\circ$, y un acoplamiento mínimo diario entre océano y atmósfera. Puede encontrarse más información sobre ambos experimentos en: <https://es-doc.org/>.

Modelo Número	Nombre	Experimento ID	Resolución Océano (°)	Resolución Atmósfera (°)
1	AWI-CM-1-1-MR	Historical	0.25	1
2	CMCC-CM2-HR4	Historical	0.25	1
3	CNRM-CM6-1-HR	Historical	0.25	1
4	GFDL-CM4	Historical	0.25	1
5	GFDL-ESM4	Historical	0.5	1
6	HadGEM3-GC31-MM	Historical	0.25	1
7	ICON-ESM-LR	Historical	0.5	2.5
8	MPI-ESM1-2-HR	Historical	0.5	1
9	BCC-CSM2-HR	Hist-1950	0.5	0.5
10	CESM1-CAM5-SE-HR	Hist-1950	0.1	0.25
11	CMCC-CM2-HR4	Hist-1950	0.25	1
12	CMCC-CM2-VHR4	Hist-1950	0.25	0.25
13	CNRM-CM6-1-HR	Hist-1950	0.25	1
14	EC-Earth3P	Hist-1950	1	0.8
15	EC-Earth3P-HR	Hist-1950	0.25	0.5
16	ECMWF-IFS-HR	Hist-1950	0.25	0.25
17	ECMWF-IFS-MR	Hist-1950	0.25	0.5
18	FGOALS-f3-H	Hist-1950	0.1	0.25
19	HadGEM3-GC31-HH	Hist-1950	0.1	0.5
20	HadGEM3-GC31-HM	Hist-1950	0.25	0.5
21	MPI-ESM1-2-HR	Hist-1950	0.5	1
22	MPI-ESM1-2-XR	Hist-1950	0.5	0.5
23	NICAM16-8S	HighSST-Present	None	0.5

Tabla 1. Lista de los Modelos Climáticos Globales (GCMs) del proyecto CMIP6 (<https://www.wcrp-climate.org/wgcm-cmip/wgcm-cmip6>).

El modelo NICAM16-8S (Nonhydrostatic Icosahedral Atmospheric Model) se diferencia de otros modelos del CMIP6 principalmente por su altísima resolución espacial, operando con una malla no hidrostática de hasta 14 km o menor, lo que le permite representar de forma explícita procesos convectivos sin necesidad de parametrizaciones. Esto mejora significativamente la simulación de fenómenos meteorológicos extremos y la estructura de la nubosidad. A diferencia de los modelos tradicionales que emplean una malla latitud-longitud, NICAM16-8S utiliza una malla icosaédrica global que evita las distorsiones en los polos. Sin embargo, este nivel de detalle implica un alto coste computacional, por lo que su uso se limita a experimentos específicos como modelo de referencia para comparar con otros GCMs de menor resolución.

3.1 ANÁLISIS DE LA FRONTERA FLUVIAL.

Para una correcta descripción del forzamiento fluvial, el proceso más fiable consiste en usar datos diarios de precipitación de modelos regionales lo más precisos posible e introducirlos en un modelo de generación de escorrentía para la obtención de un caudal detallado de entrada de los ríos [2]. En el presente análisis se obtuvieron datos diarios de precipitación con una resolución espacial de 0,11° a partir de simulaciones de Modelos Climáticos Regionales (RCMs) realizadas en el marco de la iniciativa CORDEX (<http://www.euro-cordex.net/>). Actualmente, la iniciativa EURO-CORDEX ofrece numerosas

simulaciones RCM correspondientes a diferentes escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero.

Se evaluará la capacidad de 31 RCMs para reproducir las precipitaciones durante la estación húmeda (de noviembre a marzo) en la zona de estudio, comparando los datos de las simulaciones históricas de cada modelo con datos de campo obtenidos mediante pluviómetros de la base de datos de MeteoGalicia (www.meteogalicia.gal). Esta comparación se realizará analizando toda la distribución de los datos de precipitación (test de Perkins) y los eventos extremos (aquellos que superan el percentil 99, test P99).

4. RESULTADOS

4.1 ANÁLISIS DE LA FRONTERA OCEÁNICA.

Para el análisis de la frontera oceánica se ha examinado la capacidad de cada GCM del CMIP6 para reproducir los valores de SST de OISST $\frac{1}{4}$, prácticamente todos los modelos muestran valores de SST similares a los de OISST $\frac{1}{4}$, tanto en la costa (Figura 1a) como en el océano (Figura 1b), presentando una ligera subestimación en la mayoría de los casos.

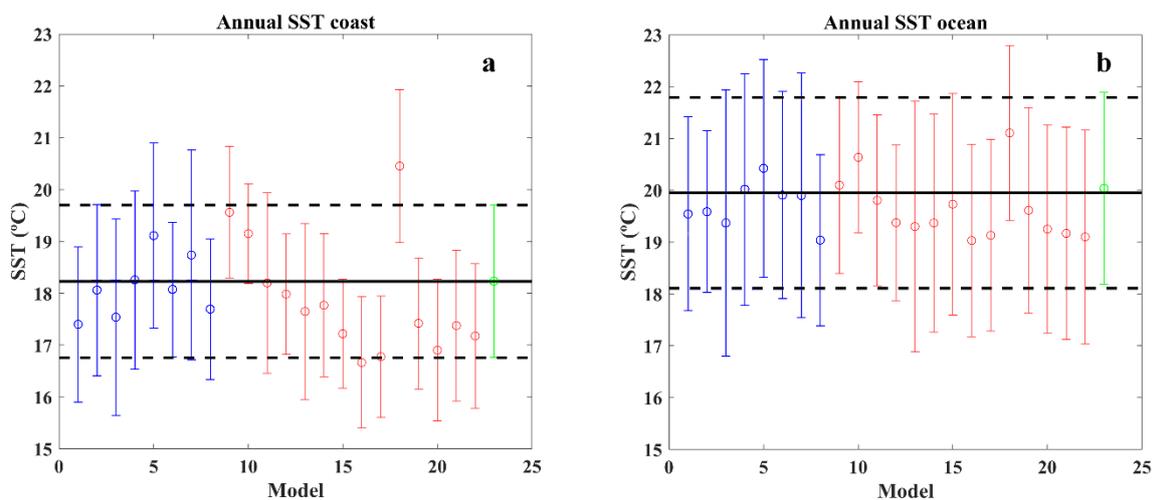


Figura 1. Valor medio de la SST (± 1 desviación estándar) en el sistema de afloramiento de Canarias para OISST $\frac{1}{4}$ (línea negra continua) y para cada modelo del CMIP6 en: (a) puntos costeros y (b) puntos oceánicos. El número y el color de cada modelo corresponden a la Tabla 1.

Este buen comportamiento de los modelos globales para el sistema de afloramiento canario es una excepción, ya que en el resto de los principales sistemas de afloramiento mundiales (Benguela, Humboldt y California) el rendimiento de los modelos es mucho peor [1]. Así, la mayoría de los GCMs del CMIP6 sobrestiman la SST cercana a la costa en todos los sistemas de afloramiento de borde oriental (EBUS), con la excepción del sistema de Canarias. Para California y Humboldt la capacidad de los modelos depende de la región de estudio, mientras el caso de Benguela, ningún modelo reproduce adecuadamente la huella de la SST.

4.2 ANÁLISIS DE LA FRONTERA FLUVIAL.

En la tabla siguiente se muestran los diferentes modelos regionales a los que se ha impuesto una doble condición relativa a su capacidad para reproducir la distribución de lluvias (test de Perkins) y a su capacidad para detectar eventos extremos (test P99).

Global//regional climate model	Perkin's test (%)	p ⁹⁹
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_CLMcom//CCLM4-8-17	93	Yes
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_RMIB-UGent//ALARO-0	–	–
CNRM-CERFACS-CNRM-CM5_SMH//RCA4	–	–
ICHEC-EC-EARTH_CLMcom//ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	93	–
ICHEC-EC-EARTH_DMI//HIRHAM5	94	–
ICHEC-EC-EARTH_KNMI//RACMO22	91	Yes
ICHEC-EC-EARTH_SMH//RCA4	–	–
IPSL-IPSL-CM5A-MR_DMI//HIRHAM5	–	–
IPSL-IPSL-CM5A-MR_GERICS//REMO2015	–	–
IPSL-IPSL-CM5A-MR_IPSL-INERIS//WRF331F	–	–
IPSL-IPSL-CM5A-MR_KNMI//RACMO22E	–	–
IPSL-IPSL-CM5A-MR_SMH//RCA4	–	–
MOHC-HadGEM2-ES_CLMcom//CCLM4-8-17	93	Yes
MOHC-HadGEM2-ES_CLMcom//ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	93	–
MOHC-HadGEM2-ES_CNRM//ALADIN63	–	–
MOHC-HadGEM2-ES ICTP//RegCM4-6	–	Yes
MOHC-HadGEM2-ES_SMHI//RCA4	–	–
MPI-M-MPI-ESM-LR_CLMcom//CCLM4-8-17	91	Yes
MPI-M-MPI-ESM-LR_CLMcom//ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	93	–
MPI-M-MPI-ESM-LR_CNRM//ALADIN63	–	–
MPI-M-MPI-ESM-LR_DMI//HIRHAM5	–	–
MPI-M-MPI-ESM-LR ICTP//RegCM4-6	–	Yes
MPI-M-MPI-ESM-LR_KNMI//RACMO22E	–	–
MPI-M-MPI-ESM-LR_MPI-CSC//REMO2009	–	–
MPI-M-MPI-ESM-LR_SMHI//RCA4	–	–
NCC-NorESM1-M_CLMcom//ETH-COSMO-crCLIM-v1-1	93	–
NCC-NorESM1-M_CNRM//ALADIN63	–	–
NCC-NorESM1-M_GERICS//REMO2015	–	–
NCC-NorESM1-M_IPSL//WRF381P	93	Yes
NCC-NorESM1-M_KNMI//RACMO22E	–	–
NCC-NorESM1-M_SMHI//RCA4	–	–

Tabla 2. Modelos climáticos regionales (RCMs) forzados por modelos climáticos globales (GCMs) obtenidos del programa EURO-CORDEX. La columna del test de Perkins muestra los modelos con una capacidad superior al 90 % para reproducir los valores in situ durante la estación húmeda (NDJFM) según dicho test. La columna P99 indica los modelos cuyas precipitaciones extremas (por encima del percentil 99) se encuentran dentro del rango de los valores medios in situ \pm la desviación estándar. Los modelos que cumplen ambas condiciones están marcados en negrita.

Puede observarse que de los 31 candidatos solo 5 modelos cumplen ambas condiciones de calidad siendo, por lo tanto, buenos candidatos para usarse en procesos de reducción de escala.

5. RESUMEN Y CONCLUSIONES

Los modelos climáticos globales (GCM) son esenciales para estudiar el clima, pero no están diseñados para escalas regionales. Para abordar esto, se han mejorado los modelos y se han utilizado técnicas de "downscaling" dinámico o estadístico. En el estudio, se evaluaron 23 modelos CMIP6 para analizar la temperatura superficial del mar (SST) en la costa oeste de la Península Ibérica, comparándolos con datos de OISST. Además, se evaluaron 31 modelos regionales (RCMs) de CORDEX para analizar la frontera fluvial.

Mientras que para el análisis de la frontera oceánica la mayor parte de los modelos superaron los test de calidad, en el caso de la frontera fluvial, sólo 5 de los 31 modelos analizados superaron los tests de calidad.

Debe tenerse en cuenta que la frontera fluvial es especialmente problemática en el caso de los ríos que desembocan en las Rías Baixas, ya que la mayor parte de las cuencas tienen una dimensión similar a la de un punto de malla en las iniciativas CMIP5 y CMIP6 (del orden de $1^\circ \times 1^\circ$), por eso en el análisis realizado se usó la base Euro-Cordex, que es un producto derivado de los modelos generales que constituyen CMIP5 y CMIP6. Por desgracia, esos productos Euro-Cordex, que generan datos con una precisión de $0.1^\circ \times 0.1^\circ$, no se han desarrollado en su totalidad hasta la fecha, por lo cual en el transcurso del presente proyecto se decidió realizar un proceso de reducción de escala dinámica propio [8]. utilizando el modelo climático regional WRF-ARW v4.3.3 [9], aplicado a datos derivados del proyecto CMIP6. De esta manera, se han obtenido las variables necesarias con una resolución espacial de aproximadamente 10 km para el área de estudio. Las condiciones iniciales y de contorno obtenidas de [10] proporcionan una resolución espacial de 1.25° y un paso de tiempo de 6 horas. En este conjunto de datos, se consideró un ensamble multimodelo (18 GCMs) del proyecto CMIP6 para abordar la tendencia a largo plazo, reduciendo así la incertidumbre en las proyecciones futuras en comparación con modelos individuales. Mientras tanto, se utilizó el modelo individual CMIP6 MPI-ESM1-HR para conservar la variabilidad climática interna, ya que estudios previos corroboraron el buen rendimiento de este modelo (Richter y [10,11])

REFERENCIAS

- [1] Varela, R., deCastro, M., Rodríguez-Díaz, L., Dias, J.M., Gómez-Gesteira, M. (2022) Examining the Ability of CMIP6 Models to Reproduce the Upwelling SST Imprint in the Eastern Boundary Upwelling Systems, *Journal of Marine Science and Engineering*, 10, (12), <https://doi.org/10.3390/jmse10121970>.
- [2] Des, M., Fernandez-Novoa, D., deCastro, M., Gomez-Gesteira, J.L., Sousa, M.C., and Gomez-Gesteira, M., 2021. Modeling salinity drop in estuarine areas under extreme precipitation events within a context of climate change: effect on bivalve mortality in Galician Rías Baixas. *Sci. Total Environ.* 790, 148147. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148147>.
- [3] Haarsma, R.J.; Roberts, M.J.; Vidale, P.L.; Senior, C.A.; Bellucci, A.; Bao, Q.; Chang, P.; Corti, S.; Fučkar, N.S.; Guemas, V.; et al. High Resolution Model Intercomparison Project (HighResMIP v1.0) for CMIP6. *Geosci. Model Dev.* 2016, 9, 4185–4208. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-4185-2016>.
- [4] Richter, I.; Tokinaga, H. An overview of the performance of CMIP6 models in the tropical Atlantic: Mean state, variability, and remote impacts. *Clim. Dyn.* 2020, 55, 2579–2601. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05409-w>.

-
- [5] Li, J.F.; Xu, K.; Jiang, J.H.; Lee, W.; Wang, L.; Yu, J.; Stephens, G.; Fetzer, E.; Wang, Y. An Overview of CMIP5 and CMIP6 Simulated Cloud Ice, Radiation Fields, Surface Wind Stress, Sea Surface Temperatures, and Precipitation Over Tropical and Subtropical Oceans. *J. Geophys. Res. Atmos.* 2020, 125, e2020JD032848. <https://doi.org/10.1029/2020jd032848>.
- [6] Halder, S.; Parekh, A.; Chowdary, J.S.; Gnanaseelan, C.; Kulkarni, A. Assessment of CMIP6 models' skill for tropical Indian Ocean sea surface temperature variability. *Int. J. Clim.* 2020, 41, 2568–2588. <https://doi.org/10.1002/joc.6975>.
- [7] Eyring, V.; Bony, S.; Meehl, G.A.; Senior, C.A.; Stevens, B.; Stouffer, R.J.; Taylor, K.E. Overview of the Coupled Model Intercomparison Project Phase 6 (CMIP6) experimental design and organization. *Geosci. Model Dev.* 2016, 9, 1937–1958. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1937-2016>.
- [8] Thomas, B., Costoya, X., Decastro, M., Insua-Costa, D., Senande-Rivera, M., Gomez-Gesteira, M., 2023. Downscaling CMIP6 climate projections to classify the future offshore wind energy resource in the Spanish territorial waters. *J. Clean. Prod.* 433, 139860. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.139860>.
- [9] Skamarock, W.C., Klemp, J.B., Dudhia, J., Gill, D.O., Liu, Z., Berner, J., , 2021. A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. NCAR/TN-556+STR. <http://doi.org/10.5065/1dfh-6p97>.
- [10] Xu, Z., Han, Y., Tam, C.Y., Yang, Z.L., Fu, C., 2021. Bias-corrected CMIP6 global dataset for dynamical downscaling of the historical and future climate (1979–2100). *Sci. Data* 8 (1), 293. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-01079-3>.
- [11] Richter, I., Tokinaga, H., 2020. An overview of the performance of CMIP6 models in the tropical Atlantic: mean state, variability, and remote impacts. *Clim. Dyn.* 55 (9-10), 2579–2601. <https://doi.org/10.1007/s00382-020-05409-w>.