

IMPACTO DE LA CONFIGURACIÓN NOAH-MP EN SIMULACIONES CLIMÁTICAS CON WRF EN LA PENÍNSULA IBÉRICA

Nicolas TACORONTE¹, David DONAIRE-MONTAÑO¹, Matilde GARCÍA-VALDECASAS OJEDA^{1,2}, Emilio ROMERO-JIMÉNEZ¹, Yolanda CASTRO-DÍEZ^{1,2}, María Jesús ESTEBAN-PARRA^{1,2} y Sonia R. GÁMIZ-FORTIS^{1,2}

¹Departamento de Física Aplicada, Universidad de Granada, Granada, España,

²Instituto Interuniversitario de Investigación del Sistema Tierra en Andalucía (IISTA-CEAMA), Granada, España
nicotacor@ugr.es

RESUMEN

Este estudio evalúa la integración de configuraciones optimizadas del modelo WRF acoplado con Noah-Multiparameterization (Noah-MP) para mejorar las simulaciones climáticas en la Península Ibérica (PI). El objetivo es analizar la sensibilidad de WRF-Noah-MP a diferentes combinaciones de parámetros y su impacto en la simulación de variables climáticas clave, como la temperatura mínima, temperatura máxima y precipitación, esenciales para la comprensión del clima en la región. Se han realizado 20 experimentos, cada uno explorando diversas configuraciones de Noah-MP que afectan a procesos como la resistencia estomática, la escorrentía y la transferencia de radiación. A través de un análisis de sensibilidad y una evaluación espacial de las simulaciones, se han identificado las combinaciones óptimas que permiten una mejor representación de las variables climáticas en la PI.

Los resultados indican que las configuraciones adecuadas de WRF-Noah-MP mejoran significativamente la simulación de las temperaturas mínimas y máximas, lo cual es crucial para comprender las respuestas climáticas bajo condiciones extremas de sequía y humedad, mientras que para la precipitación no se observan cambios significativos. Estos hallazgos subrayan la importancia de ajustar cuidadosamente los parámetros de Noah-MP para optimizar las simulaciones climáticas en la PI. Este enfoque contribuye a mejorar las predicciones climáticas, proporcionando una base sólida para la gestión de recursos naturales y la adaptación a los desafíos climáticos en la región.

Palabras clave: Weather Research and Forecasting Model, Noah-Multiparameterization, temperatura, precipitación, Península Ibérica.

ABSTRACT

This study evaluates the integration of optimized configurations of the WRF model coupled with Noah-Multiparameterization (Noah-MP) to improve climate simulations in the Iberian Peninsula (IP). The objective is to analyze the sensitivity of WRF-Noah-MP to different parameter combinations and their impact on the simulation of key climate variables, such as minimum temperature, maximum temperature, and

precipitation, which are essential for understanding the region's climate. A total of 20 experiments were conducted, each one exploring various Noah-MP configurations affecting processes like stomatal resistance, runoff, and radiation transfer. Through sensitivity analysis and spatial evaluation of the simulations, optimal parameter combinations were identified that allow for a more accurate representation of climate variables in the IP.

The results indicate that suitable WRF-Noah-MP configurations significantly improve the simulation of minimum and maxima temperatures, which is crucial for understanding climate responses under extreme drought and wet conditions, while no significant changes are observed for precipitation. These findings underscore the importance of carefully adjusting Noah-MP parameters to more accurately capture climate variations in the IP. This approach contributes to improved climate predictions, providing a solid foundation for natural resource management and adaptation to climate challenges in the region.

Key words: Weather Research and Forecasting Model, Noah-Multiparameterization, temperature, precipitation, Iberian Peninsula.

1. INTRODUCCIÓN

En el contexto de la Península Ibérica (PI), caracterizada por su terreno complejo y sus condiciones climáticas diversas, la modelización de variables como la temperatura y la precipitación es fundamental para entender y mitigar los efectos de la variabilidad y el cambio climático (Pereira et al., 2021). Para ello, el modelo Weather Research and Forecasting (WRF) acoplado con el modelo de suelo Noah-Multiparameterization (Noah-MP; Niu et al., 2011) ha demostrado ser una herramienta valiosa, permitiendo la representación detallada de procesos de la superficie terrestre y sus interacciones con la atmósfera, lo que puede mejorar las simulaciones climáticas regionales (Campbell et al., 2019).

Noah-MP, una extensión del modelo de superficie terrestre Noah, ofrece múltiples opciones de parametrización físicas. La utilidad y adaptabilidad de Noah-MP se evidencian en su aplicación en un amplio rango de estudios, desde la predicción numérica del tiempo hasta la modelización climática de alta resolución. Además, su integración en el modelo WRF (conocida como WRF-Noah-MP) ha permitido avances significativos en la simulación de eventos críticos como sequías, incendios o efectos de islas de calor urbano (He et al., 2023; Abolafia-Rosenzweig et al., 2024). Una configuración óptima de WRF-Noah-MP permite mejorar la representación de propiedades del suelo, que influyen en las características térmicas e hidráulicas de este (Niu et al., 2011). El uso combinado de estos modelos también destaca por su capacidad de optimizar la simulación de variables climáticas cruciales, como la temperatura y la precipitación, a través de configuraciones que incorporan detalles del suelo, mejorando así las predicciones climáticas y facilitando la toma de decisiones para la gestión de los recursos naturales (Warrach-Sagi et al., 2013; Yeste et al., 2020). El objetivo de este trabajo es optimizar la configuración de WRF-Noah-MP para maximizar su efectividad en la modelización del clima de la PI, lo que resulta esencial para una eficaz gestión climática.

2. MÉTODOS

El modelo regional WRF en la versión 3.9.1.1 (Skamarock et al., 2008) ha sido configurado utilizando dos dominios anidados. El dominio externo, d01, abarcó la región EURO-CORDEX (Jacob et al., 2014), con una resolución de 50 km, mientras que el dominio interno, d02, se centró en la PI, con una resolución de aproximadamente 10 km (Fig. 1). WRF emplea varios esquemas de parametrización, incluyendo WSM3 para microfísica, BMJ para cúmulos, CAM3 para radiación, y ACM2 para la capa límite planetaria (García-Valdecasas Ojeda et al., 2020). Para describir los procesos de la superficie del suelo, se ha utilizado el modelo Noah-MP. Se utilizan como datos de entrada del WRF los datos del reanálisis ERA5 para los años 2005 (considerado como año seco en la PI) y 2010 (considerado como año húmedo). Las simulaciones climáticas para los dos años (seco y húmedo) han sido realizadas con un spin-up de 30 años para equilibrar los campos de humedad y temperatura del suelo (Hu et al., 2023).

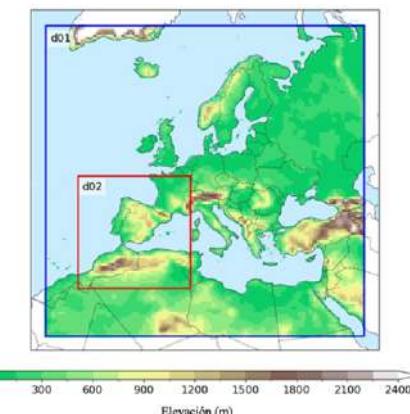


Fig. 1: Dominios considerados para las simulaciones con WRF.

Para evaluar el impacto de las configuraciones de los parámetros de Noah-MP en las simulaciones climáticas de WRF, se llevaron a cabo 20 experimentos (Tabla 1) que exploraron diferentes combinaciones de parámetros del esquema Noah-MP. Las opciones de parámetros exploradas en estos experimentos incluyeron: vegetación dinámica (DVEG), resistencia estomática del dosel (CRS), coeficiente de arrastre de la capa superficial (SFC), factor de humedad del suelo para la resistencia estomática (BTR), escorrentía (RUN), agua líquida superenfriada (FRZ), permeabilidad del suelo congelado (INF), transferencia de radiación del dosel (RAD), albedo de la superficie de nieve en el suelo (ALB), condición de límite inferior para la temperatura del suelo (TBOT) y resistencia superficial a la evaporación/sublimación (RSF).

Los tipos de combinaciones se definieron de la siguiente manera:

1. Experimento 0: Utilizó la configuración por defecto de Noah-MP, sin ajustes en los parámetros.
2. Experimentos 1-10: Incluyeron ajustes básicos basados en estudios previos, como los presentados por Chang et al. (2019), para evaluar el impacto de

modificaciones sencillas en parámetros individuales y comprobar su sensibilidad.

3. Experimentos 11-19: Consistieron en combinaciones avanzadas de parámetros, donde múltiples opciones fueron ajustadas simultáneamente para evaluar la interacción entre ellas y su efecto acumulativo en las simulaciones.

Ex p	DVE G	CR S	SF C	BT R	RU N	FR Z	IN F	RA D	AL B	TBO T	RS F
0	4	1	1	1	3	1	1	3	2	2	1
1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
4	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
5	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
6	2	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1
7	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1
8	2	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1
9	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1
10	2	1	1	3	1	1	1	1	1	1	1
11	5	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
12	5	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
13	5	1	1	2	1	1	2	1	1	1	3
14	5	1	1	2	4	1	2	1	1	1	3
15	5	2	1	2	4	2	2	1	1	1	3
16	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1
17	2	1	1	3	1	1	1	1	2	1	1
18	2	1	1	3	1	1	1	3	2	1	1
19	2	1	1	3	1	1	1	3	2	2	1

Tabla 1: Lista de experimentos con las combinaciones de parámetros utilizadas para el modelo Noah-MP.

Cada configuración del modelo WR-Noah-MP se ha evaluado en función de su capacidad para simular las variables temperatura mínima (T2MIN), temperatura máxima (T2MAX) y precipitación, comparándolas con datos observacionales de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) (Peral et al., 2017).

La sensibilidad de las variables climáticas a los parámetros de Noah-MP se ha analizado utilizando seis métricas: la desviación estándar (SD), el error de sesgo medio (MBE), el error medio normalizado (NME), los percentiles 5 y 95 y el coeficiente de correlación de Pearson (COR). Para cada variable, los experimentos

fueron ordenados según el valor obtenido en cada métrica por separado con el fin de obtener un ranking promedio (\bar{R}) de todos los estadísticos para cada experimento, cuyo valor viene dado por:

$$\bar{R} = \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R_i \quad (1)$$

donde R_i representa el ranking para la métrica estadística i . Además, los experimentos han sido agrupados en base al valor de los parámetros en su configuración en el Noah-MP. Así, los rankings promedios de los experimentos que comparten un mismo valor de cada parametrización considerada, han sido promediados y representados siguiendo la metodología de Chang et al. (2019).

Posteriormente, a partir del análisis espacial de diferencias significativas para las variables T2MIN, T2MAX y precipitación, mediante un test t de Student (Wilks, 2011), se han reducido las 20 configuraciones iniciales a una configuración óptima de Noah-MP.

3. RESULTADOS

En la Fig. 2, se presentan los rankings medios de los diferentes experimentos agrupados según el valor de los parámetros de las distintas configuraciones de Noah-MP, para T2MIN, T2MAX y precipitación, para los dos años considerados (2005 y 2010). Los círculos concéntricos representan la escala del ranking promedio (de 8 a 14 para una mejor visualización de los resultados), lo que podría denominarse la escala de rendimiento de los experimentos, donde las posiciones más cercanas al centro indican un mejor desempeño del parámetro asociado, y las posiciones más alejadas del centro, un peor desempeño. Los resultados muestran que los parámetros que producen resultados más dispares en el ranking promedio según su valor seleccionado, y por tanto, podrían ser más influyentes en la configuración Noah-MP, en el sentido de generar simulaciones climáticas más dispares, son CRS, FRZ y DVEG para T2MIN, RAD, SFC, CRS y BTR para T2MAX, y CRS, RUN, BTR, RSF, SFC, INF para precipitación.

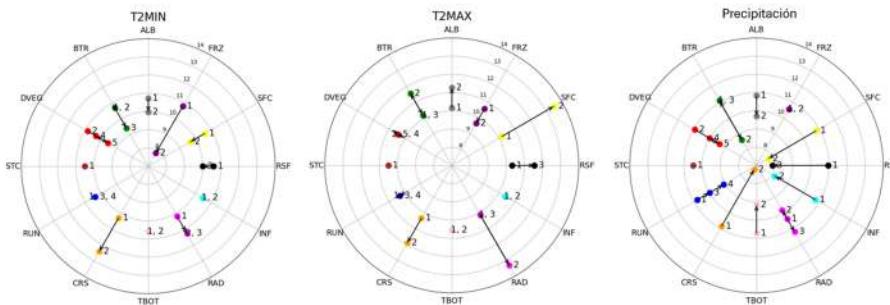


Fig. 2: Distribución de los rankings medios de los experimentos (círculos concéntricos) agrupados y promediados según el valor de cada parámetro en la configuración Noah-MP (puntos coloreados) para las variables T2MIN, T2MAX y precipitación, considerando tanto el año seco como el húmedo.

Con el objetivo de seleccionar una configuración Noah-MP completa, se ha estudiado la distribución espacial de las diferencias entre los datos simulados y las observaciones de AEMET para las distintas variables consideradas, en los años 2005 y 2010. Para la precipitación no se aprecian cambios significativos entre las diferentes configuraciones, por lo que se muestran sólo los resultados para T2MIN y T2MAX. La Fig. 3 muestra los mapas espaciales de diferencias para la T2MIN y el porcentaje de área de la PI con diferencias no significativas con un α de 0.05. Para esta variable, los experimentos con mayor habilidad en 2005 fueron el experimento 17 (83.17% del área de la PI mostrando diferencias no significativas), el experimento 3 (82.71%) y el experimento 18 (81.08%). En 2010, destacaron el experimento 0 (80.71%), el experimento 18 (76.87%) y el experimento 15 (78.96%). Estos resultados sugieren que el experimento 18 es consistente en su habilidad para simular la T2MIN en los dos años considerados.

Para T2MAX (Fig. 4), los experimentos con mayores áreas sin diferencias significativas frente a las observaciones en 2005 fueron el Experimento 15 (90.97%), y el Experimento 8 (87.45%). Tras estos existe un gran número de experimentos con porcentajes de áreas altos, mayores al 86%, entre los que se encuentran los experimentos 6, 7, 9, 17 y 18. En 2010, los experimentos destacados fueron el Experimento 15 (95.50%), el Experimento 2 (89.11%) y, con porcentajes mayores al 85% experimentos como el 1, 5, 6, 7, 8, 9, 18 y 19.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

El análisis de sensibilidad de los parámetros del modelo Noah-MP en la simulación de temperatura mínima (T2MIN), temperatura máxima (T2MAX) y precipitación sobre la Península Ibérica utilizando WRF revela que algunos parámetros son cruciales.

- La opción 3 de BTR, que emplea el Modelo de Biosfera Simple con potencial matricial, muestra los mejores resultados para T2MIN y T2MAX, mientras que la opción 2 (Community Land Model) es superior para la precipitación, en línea con lo expuesto por Barlage et al. (2015) sobre el rendimiento de los enfoques basados en potencial matricial.
- Para SFC, la opción 1, que utiliza la teoría de similitud de Monin-Obukhov, simula mejor TMAX, en concordancia con Yang et al. (2011). Sin embargo, la opción 2 de SFC (original de Noah), optimiza la simulación de TMIN y precipitación, respaldada también por Pilotto et al. (2015), a pesar de exhibir limitaciones al realizar un análisis espacial (experimentos 4 y 16).
- En la parametrización de la escorrentía, RUN 3 (drenaje libre original de Noah) supera a RUN 1 y 2 (TOPMODEL), contrariamente a los resultados de Niu et al. (2011) y Barlage et al. (2015). La mejor opción, no obstante, es RUN 4 (BATS) que mejora la dinámica de escorrentía.
- Activar DVEG (opción 5) ha demostrado mejorar la simulación en comparación con mantenerlo desactivado, coincidiendo con You et al. (2020), quienes destacaron el beneficio del modelo de vegetación dinámica en algunas regiones.

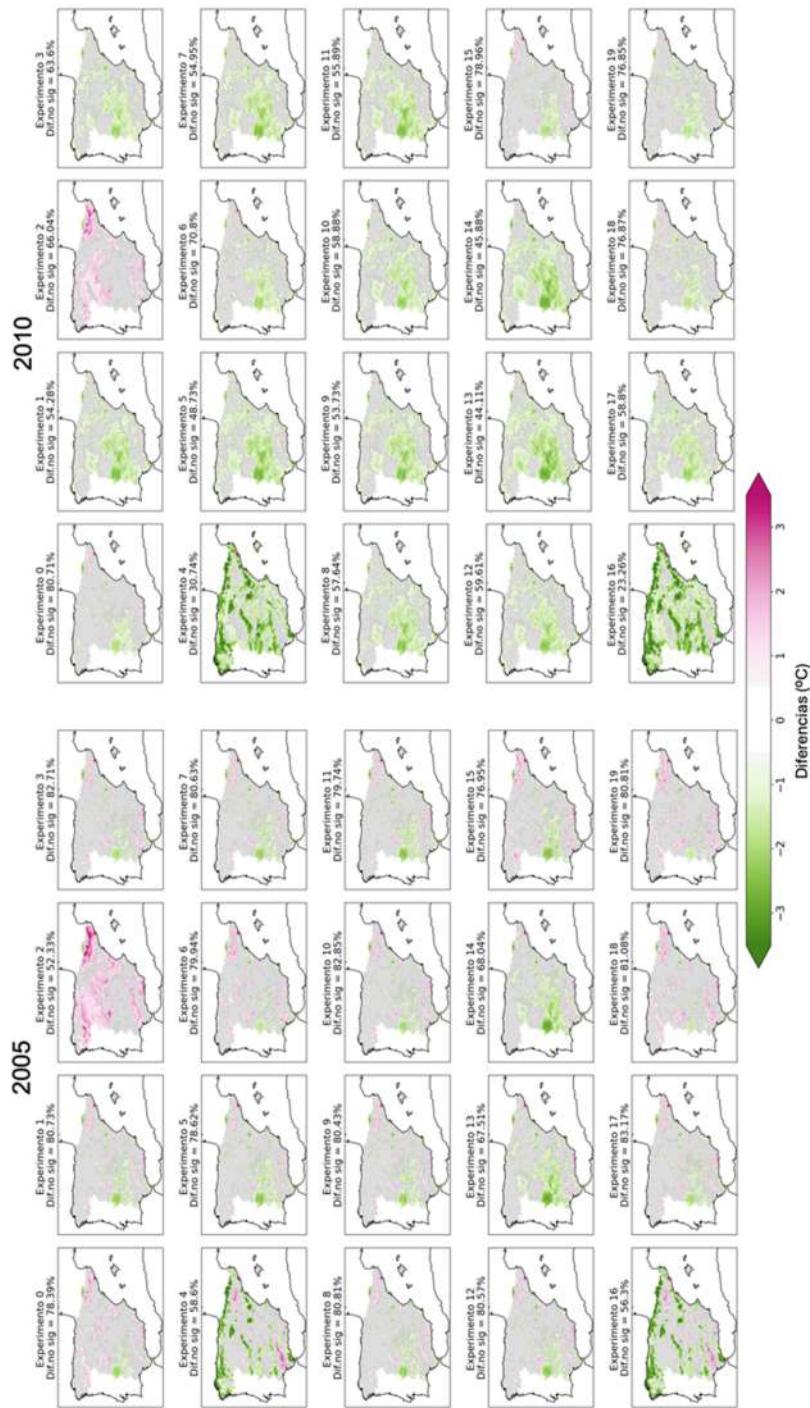


Fig. 3. Diferencias entre los experimentos WRF y las observaciones AEMET para T2MIN: (a) 2005 (b) 2010. Las áreas marcadas con puntos indican regiones donde las diferencias no son estadísticamente significativas (α de 0.05). Encima de cada gráfica se muestra el porcentaje de área de la PI que muestra diferencias no significativas para cada experimento.

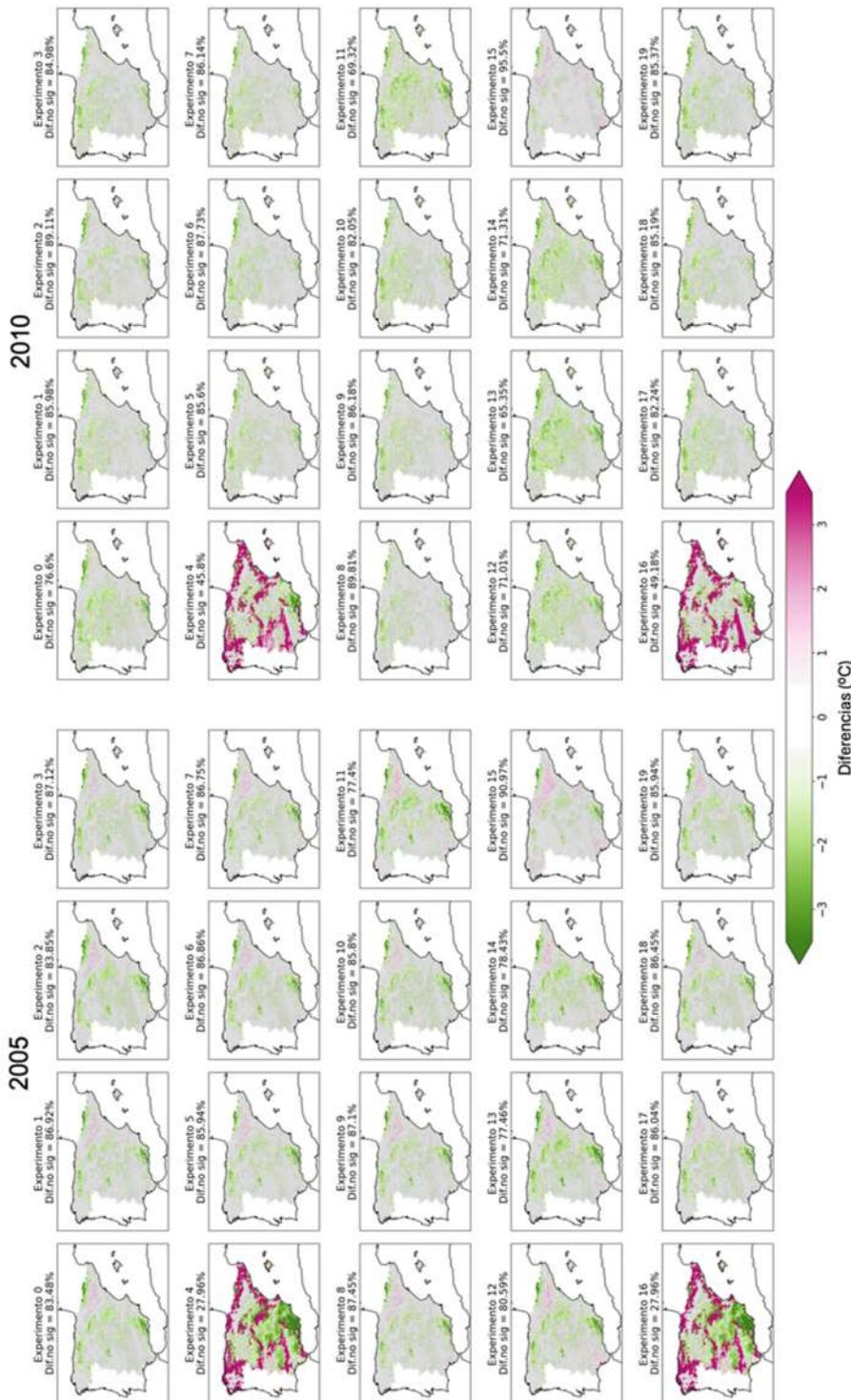


Fig. 4: Como la Fig. 3 pero para T2MAX.

- La opción 1 de CRS, basada en el esquema Ball-Berry, es eficaz tanto para T2MIN como para T2MAX, similar a lo encontrado por Zhang et al. (2016).
- Finalmente, RAD = 1 fue óptimo para TMIN, mientras que tanto RAD = 1 como RAD = 3 funcionaron bien para TMAX, en contraste con Gan et al. (2019), que observaron mejores resultados con RAD = 3.

El estudio espacial de las diferencias significativas de la T2MIN, T2MAX y precipitación simuladas respecto a los datos observacionales de AEMET, ha mostrado que los experimentos que muestran mayor área de la PI con diferencias no significativas varían entre variables y entre el año seco y año húmedo. Sin embargo, se puede concluir que el experimento 18 resulta entre los que muestran mejores resultados (porcentaje de área con diferencias no significativas por encima del 80%) para todas las variables, tanto para el año seco 2005 como para el año húmedo 2010. Por tanto, la combinación de parámetros del Noah-MP asociada al experimento 18 podría ser considerada como una configuración óptima para la simulación de las variables climáticas primarias en la PI, permitiendo capturar las variaciones de temperatura y precipitación de manera efectiva y consistente.

AGRADECIMIENTOS

Financiación: Este trabajo se ha realizado dentro del marco del proyecto **PID2021.126401OB.I00**, financiado por MICIU/AEI/ 10.13039/501100011033 y por FEDER, UE. N. Tacoronte agradece la ayuda para su contrato predoctoral PRE2022-102458 financiada por MICIU/AEI /10.13039/501100011033 y por el FSE+.

REFERENCIAS

- Abolafia-Rosenzweig, R., He, C., Chen, F., Zhang, Y., Dugger, A., Livneh, B., & Gochis, D. (2024). Evaluating Noah-MP simulated runoff and snowpack in heavily burned Pacific-Northwest snow-dominated catchments. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 129(9), e2023JD039780.
- Barlage, M., Tewari, M., Chen, F., Miguez-Macho, G., Yang, Z. L., & Niu, G. Y. (2015). The effect of groundwater interaction in North American regional climate simulations with WRF/Noah-MP. *Climatic Change*, 129, 485-498.
- Campbell, P. C., Bash, J. O., & Spero, T. L. (2019). Updates to the Noah land surface model in WRF-CMAQ to improve simulated meteorology, air quality, and deposition. *Journal of advances in modeling earth systems*, 11(1), 231-256.
- Chang, M., Liao, W., Wang, X., Zhang, Q., Chen, W., Wu, Z., & Hu, Z. (2019). An optimal ensemble of the Noah-MP land surface model for simulating surface heat fluxes over a typical subtropical forest in South China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 281, 107815.
- Gan, Y., Liang, X. Z., Duan, Q., Chen, F., Li, J., & Zhang, Y. (2019). Assessment and reduction of the physical parameterization uncertainty for Noah-MP land surface model. *Water Resources Research*, 55(7), 5518-5538.
- García-Valdecasas Ojeda, M., Rosa-Cánovas, J. J., Romero-Jiménez, E., Yeste, P., Gámez-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2020). The role of the surface evapotranspiration in regional climate modelling: Evaluation and near-term future changes. *Atmospheric Research*, 237, 104867.

- He, C., Valayamkunnath, P., Barlage, M., Chen, F., Gochis, D., Cabell, R., ... & Ek, M. (2023). Modernizing the open-source community Noah with multiparameterization options (Noah-MP) land surface model (version 5.0) with enhanced modularity, interoperability, and applicability. *Geoscientific Model Development*, 16(17), 5131-5151.
- Hu, W., Ma, W., Yang, Z. L., Ma, Y., & Xie, Z. (2023). Sensitivity Analysis of the Noah-MP Land Surface Model for Soil Hydrothermal Simulations Over the Tibetan Plateau. *Journal of Advances in Modeling Earth Systems*, 15(3), e2022MS003136.
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., ... & Yiou, P. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional environmental change*, 14, 563-578.
- Niu, G. Y., Yang, Z. L., Mitchell, K. E., Chen, F., Ek, M. B., Barlage, M., ... & Xia, Y. (2011). The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 1. Model description and evaluation with local-scale measurements. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D12).
- Peral García, M. C., Navascués, B., & Ramos Calzado, P. (2017). Serie de precipitación diaria en rejilla con fines climáticos.
- Pereira, S. C., Carvalho, D., & Rocha, A. (2021). Temperature and precipitation extremes over the iberian peninsula under climate change scenarios: A review. *Climate*, 9(9), 139.
- Pilotto, I. L., Rodríguez, D. A., Tomasella, J., Sampaio, G., & Chou, S. C. (2015). Comparisons of the Noah-MP land surface model simulations with measurements of forest and crop sites in Amazonia. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 127, 711-723.
- Skamarock, W. C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D. O., Barker, D. M., Duda, M. G., ... & Powers, J. G. (2008). A description of the advanced research WRF version 3. *NCAR technical note*, 475(125), 10-5065.
- Warrach-Sagi, K., Schwitalla, T., Wulfmeyer, V., & Bauer, H. (2013). Evaluation of a climate simulation in Europe based on the WRF-NOAH model system: precipitation in Germany. *Climate Dynamics*, 41, 755-774.
- Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences*. Academic press.
- Yang, Z. L., Niu, G. Y., Mitchell, K. E., Chen, F., Ek, M. B., Barlage, M., ... & Xia, Y. (2011). The community Noah land surface model with multiparameterization options (Noah-MP): 2. Evaluation over global river basins. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 116(D12).
- Yeste, P., Ojeda, M. G. V., Gámiz-Fortis, S. R., Castro-Díez, Y., & Esteban-Parra, M. J. (2020). Integrated sensitivity analysis of a macroscale hydrologic model in the north of the Iberian Peninsula. *Journal of Hydrology*, 590, 125230.
- You, Y., Huang, C., Yang, Z., Zhang, Y., Bai, Y., & Gu, J. (2020). Assessing Noah-MP parameterization sensitivity and uncertainty interval across snow climates. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 125(4), e2019JD030417.
- Zhang, G., Chen, F., & Gan, Y. (2016). Assessing uncertainties in the Noah-MP ensemble simulations of a cropland site during the Tibet Joint International Cooperation program field campaign. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(16), 9576-9596.