

## ¿CUÁNTO TIEMPO DE *SPIN-UP* ES REALMENTE NECESARIO PARA SIMULACIONES CLIMÁTICAS REGIONALES?

José María LÓPEZ-ROMERO<sup>1</sup>, Juan José GÓMEZ-NAVARRO<sup>1</sup>, Laura PALACIOS-PEÑA<sup>1</sup>, Raquel LORENTE-PLAZAS<sup>1</sup>, Pedro JIMÉNEZ-GUERRERO<sup>1</sup>, Juan Pedro MONTÁVEZ<sup>1</sup>, Sonia JEREZ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Física. Universidad de Murcia*

**jm.lopezromero@um.es, montavez@um.es**

### RESUMEN

Un factor de incertidumbre poco estudiado en los modelos climáticos regionales (RCM) es el período de *spin-up* necesario para garantizar que todas las variables del modelo alcancen un equilibrio físico.

En el estudio, analizamos la sensibilidad de las simulaciones climáticas regionales con el tiempo de *spin-up*. Para ello, se han llevado a cabo varias simulaciones con el modelo WRF para un período de 1 año con el dominio de Euro-CORDEX a 0.44° de resolución espacial. Todos los experimentos simulan el mismo año, con la misma configuración de modelo, y solo difieren en el periodos de *spin-up* que varían entre 0 horas y 2 años siendo este último el de referencia. El período de *spin-up* "óptimo" lo definimos como el período más corto que presenta igualdades significativas con el periodo de referencia (2 años de *spin-up*) según el test no paramétrico de Kolmogorov-Smirnov. Hemos estudiado tanto variables atmosféricas como las de suelo.

Los resultados muestran que el tiempo de *spin-up* para variables atmosféricas es de 0-12 horas para casi todo el dominio. No obstante, encontramos algunas zonas concretas que necesitan 1 semana e incluso algunos meses. La temperatura del suelo necesita al menos 6 meses de *spin-up para gran parte del dominio*. Sin embargo, en las zonas del norte donde abunda el hielo no es suficiente con 1 año. La humedad del suelo es la variable que más tiempo necesita para estabilizarse. Hemos visto que 1 año no es suficiente para conseguir igualdades significativas con el periodo de referencia en casi todo el dominio. Este estudio pone de manifiesto la relevancia de estudiar los periodos de *spin-up* para obtener simulaciones climáticas más fiables.

**Palabras clave:** *Spin-up*, modelo regional, WRF, Euro-CORDEX

### ABSTRACT

A widely discussed topic within regional climate models (RCM) is the spin-up period necessary to ensure that all variables in the model reach a physical equilibrium.

This study, we analyzed the sensitivity of regional climate experiments with spin-up time. For this, several regional climate simulations have been carried out with the WRF model for a period of 1 year with the Euro-CORDEX domain. All the experiments simulate the same year, with the same model configuration, and only differ in the spin-up periods ranging from 0 hours to 2 years. The "optimal" spin-up period is defined as the shortest period that presents significant equalities with the

reference period (2 years spin-up) according to the nonparametric Kolmogorov-Smirnov test. The sensitivity to the spin-up period is assessed for both atmospheric variables and soil variables..

The results show that the spin-up time for atmospheric variables is 0-12 hours for almost the entire domain. However, we find some specific areas that need 1 week and even some months. The temperature of the soil needs for a large part of the domain at least 6 months of spin-up and the areas of the north where there is abundant ice is not enough even with 1 year. Soil moisture is the variable that needs more time. For soil moisture we have seen that not even 1 year is enough to achieve significant equalities with the reference period in almost the entire domain.

**Key words:** Spin-up, Regional Model, WRF, Euro-CORDEX

## 1. INTRODUCCIÓN

Los Modelos Climáticos Regionales (RCM) necesitan información de los forzamientos externos (Jerez et al., 2018), de las condiciones de contorno (CC) y de las condiciones iniciales (CI) (Giorgi and Mearns 1999). Las CC o las CI pueden introducirse mediante datos de reanálisis, un Modelo de Circulación Global (GCM) o por cualquier base de datos cuadrículada en un dominio más grande. Es muy importante que las CI sean realistas en una simulación meteorológica. Sin embargo, no es tan importante en una simulación climática. El *spin-up* es el tiempo de simulación necesario para que el modelo regional alcance el equilibrio físico y genere su propia variabilidad interna siendo independiente de las CI. En general, las variables atmosféricas tardan unas pocas horas o unos pocos días en alcanzar el equilibrio físico en el RCM (Lo et al., 2008). Por el contrario, las variables del suelo necesitan un período de *spin-up* mucho más largo (Christensen 1999). Sin embargo, estos dos conjuntos de variables no son independientes porque, debido a su memoria, la humedad del suelo juega un papel importante en la temperatura (Koster and Suarez 2001). Pero, ¿de cuánto tiempo estamos hablando realmente?

Por una parte, averiguar cuál es el tiempo óptimo de *spin-up* nos permitiría saber cuánto periodo de tiempo tenemos que eliminar antes de poder empezar con nuestro análisis de resultados. Hasta que no se alcance el equilibrio físico, las salidas del modelo no se pueden tomar como resultados válidos. Por otra parte, los modelos climáticos necesitan mucha capacidad computacional. Los modelos se paralelizan en el espacio para reducir dicho tiempo. No obstante, estos métodos no son perfectos por lo que se pierde poder computacional en el escalado de la paralelización (Jerez et al., 2009). Además, si tenemos un tiempo de *spin-up* óptimo, podemos partir nuestras simulaciones temporalmente en diferentes trozos. Si cada uno de los trozos tiene suficiente tiempo de *spin-up*, estos cortes no afectarán a la estadística climática. Lógicamente, alcanzar el caso ideal de *spin-up* puede ser tan costoso como simular el período sin particiones. Se necesita un compromiso entre la precisión en el tiempo de los trozos y el tiempo computacional.

En este contexto, los objetivos de este documento son: cuantificar el tiempo de *spin-up* para optimizar el periodo de tiempo que tiene que ser descartado al comienzo de las simulaciones y determinar el tiempo necesario para unir de forma coherente los

trozos al paralelizar en el tiempo y el espacio en una simulación climática regional alimentada con un GCM que cumpla con los requisitos de Euro-CORDEX.

## 2. MÉTODOS

El modelo utilizado para nuestro estudio es Weather Research Forecast (WRF) versión 3.6.1 (<http://www.wrf-model.org>). El modelo global es CMIP5-experiment r1i1p1 MPI-ESM-LR historical run (Giorgetta et al. 2012a, Giorgetta et al. 2012b). Nos basamos en el dominio europeo descrito en Euro-CORDEX (<http://www.euro-cordex.net>) (Jacob et al. 2014). La resolución espacial, tanto latitudinal como longitudinal, es de  $0.44^\circ$  y la resolución temporal de los datos es diaria.

La microfísica utilizada ha sido el esquema de Lin (Lin et al. 1983), el modelo de suelo utilizado es Noah (Tewari et al. 2004) que considera cuatro capas de suelo con 0.05m, 0.25m, 0.5m y 1.5m de profundidad promedio. El esquema radiativo para onda corta y onda larga ha sido RRTMG (Iacono et al. 2008). El esquema de cúmulos ha sido Grell 3D ensemble (Grell 1993) y (Grell y Devenyi 2002), el esquema de capa límite es de la Universidad de Yonsei (Hong et al. 2006).

El diseño experimental consiste en simulaciones del año 1982 con diferentes periodos de *spin-up*. Los experimentos se denotan de acuerdo al tiempo de *spin-up* que tienen. Por lo tanto, para un periodo de *spin-up* de 6 meses, la simulación se inicializa el 1 de junio de 1981 hasta el 1 de enero de 1983 dándole solo la información de las CC cada 6 horas. Una vez terminada la simulación, los 6 primeros meses son considerados tiempo de *spin-up* y por tanto eliminados. Tomamos como referencia el que tiene 2 años de *spin-up*, es decir, 3 años simulados en total. Todas las estadísticas se llevaron a cabo en el año 1982.

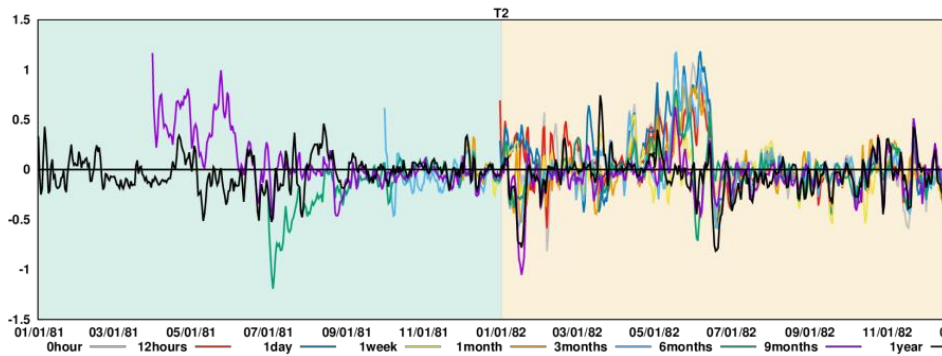
Hemos tomado seis variables representativas. La temperatura a dos metros (T2), la radiación de onda corta incidente (SWDOWN) y las componentes zonal y meridional del viento a diez metros (U10 y V10) como variables atmosféricas y la humedad del suelo (SMOIS) y la temperatura del suelo (TSLB) como variables de suelo para cuatro capas.

Para determinar el *spin-up* óptimo para cada punto del dominio, se ha calculado la función de probabilidad acumulada (FDA) en el tiempo. Como la función de distribución es desconocida y no tiene por qué seguir una distribución normal, hemos elegido una prueba no paramétrica: la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un valor de  $p$  de 0,05. Con esta prueba buscamos las igualdades significativas entre las FDA de una simulación y la de referencia. Si varias simulaciones coinciden en que un punto es significativamente igual, nos quedamos con el tiempo de *spin-up* más corto.

## 3. RESULTADOS

La figura 1 muestra la diferencia entre las series de estudio y la de referencia que es la de *spin-up* de 2 años para la variable T2. Las series son el promedio espacial de puntos de tierra del dominio. No hay muchas diferencias en promedio. Se observa el ruido de la serie poco después de que se inicia la variable que está relacionado con la variabilidad interna de cada simulación. Se puede observar que algunas series se separan del cero después de un tiempo oscilando alrededor de él, es decir, después de

asumir que se había alcanzado el equilibrio físico. Diferencias en la variabilidad interna podrían establecer la significancia para la captura del *spin-up*.

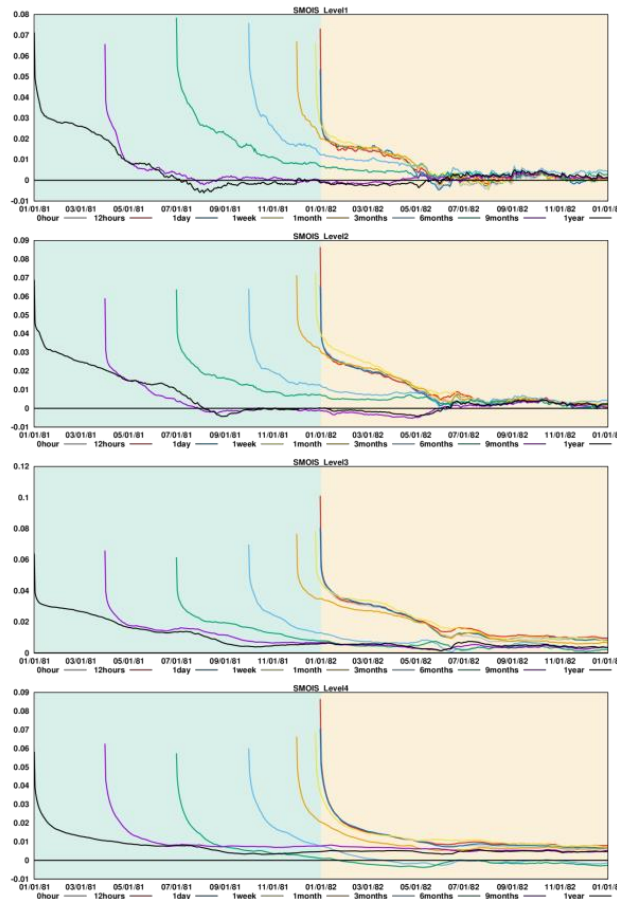


*Fig 1: Diferencia entre la serie diaria de referencia y los distintos periodos de spin-up para T2 espacialmente promediada considerando todos los puntos de tierra del dominio. Las líneas de colores representan una simulación diferente y el sombreado verde y amarillo representan el periodo de spin-up y el año de simulación respectivamente.*

En la figura 2 mostramos las diferencias de las series para las cuatro capas de SMOIS. Las series tardan mucho más en equipararse con la serie de referencia de 2 años de *spin-up* que en el caso de la T2. Además, en las capas profundas, las series no llegan al cero sino a una constante que depende de la fecha en la que se haya iniciado la simulación. Los únicos periodos que llegan cerca del cero en la última capa son los de 3 y 6 meses, es decir, los periodos donde no hay hielo en el modelo cuando se inicia la simulación. También en la tercera capa son estas simulaciones las que más cerca del cero se quedan junto con las simulaciones más largas.

En la figura 3, utilizamos la prueba de Kolmogorov-Smirnov con un valor de  $p$  de 0.05 para determinar las igualdades significativas en cada simulación con el período de referencia. Tomamos el período de *spin-up* más pequeño que cumple este criterio. Esta es una forma objetiva de poder determinar el tiempo de *spin-up* que necesita cada variable en cada punto. Hemos realizado esta operación para cuatro variables atmosféricas (T2, SWDOWN, U10 y V10) y para las cuatro capas de dos variables de suelo (SMOIS y TSLB). Cada color discreto corresponde a un tiempo de *spin-up*. Los valores en blanco son aquellos en los que la prueba no ha encontrado igualdades significativas. En la figura 3, vemos que las variables atmosféricas no necesitan mucho tiempo de *spin-up*. Por ejemplo, 1 semana de *spin-up* es suficiente para casi todos los puntos del dominio e incluso 0 horas es suficiente para el oeste del dominio en el U10 y el V10. El SWDOWN no necesita tiempo de *spin-up*, excepto para algunas

regiones específicas como Francia y las áreas contiguas al noreste del Mar Muerto que son necesarias en el orden de meses.



*Fig 2: Diferencia entre la serie diaria de referencia y los distintos periodos de spin-up para SMOIS espacialmente promediada. Las líneas de colores representan una simulación diferente y el sombreado verde y amarillo representan el periodo de spin-up y el año de simulación respectivamente. Arriba tenemos la capa 1 y abajo la capa 4.*

El caso de la T2 es más complejo porque en casi todo el dominio es suficiente con horas o días pero el norte de la Península Ibérica y la Península Escandinava necesita el orden de 6 meses. Para la variable TSLB hay una separación entre la mitad noreste del dominio y el suroeste. El primero necesita mucho más tiempo de *spin-up* que el segundo. Para la primera capa, los tiempos para el noreste son del orden de meses mientras que para la mitad suroeste son días. Sin embargo, desde la segunda capa, necesitamos al menos 6 meses para inicializar correctamente casi todo el dominio, excepto la parte noreste, donde ni siquiera un año parece ser suficiente. El caso de

SMOIS es el más desfavorecido. En todas las capas está claro que no es suficiente ni siquiera un año de *spin-up* para lograr el equilibrio físico, excepto en regiones muy específicas del dominio como, por ejemplo, el Reino Unido, el este de la Península Ibérica o el sur de Islandia.

#### 4. CONCLUSIÓN

Las simulaciones climáticas regionales tienen una variabilidad interna que hace que el sistema evolucione de forma diferente independientemente del período de *spin-up*.

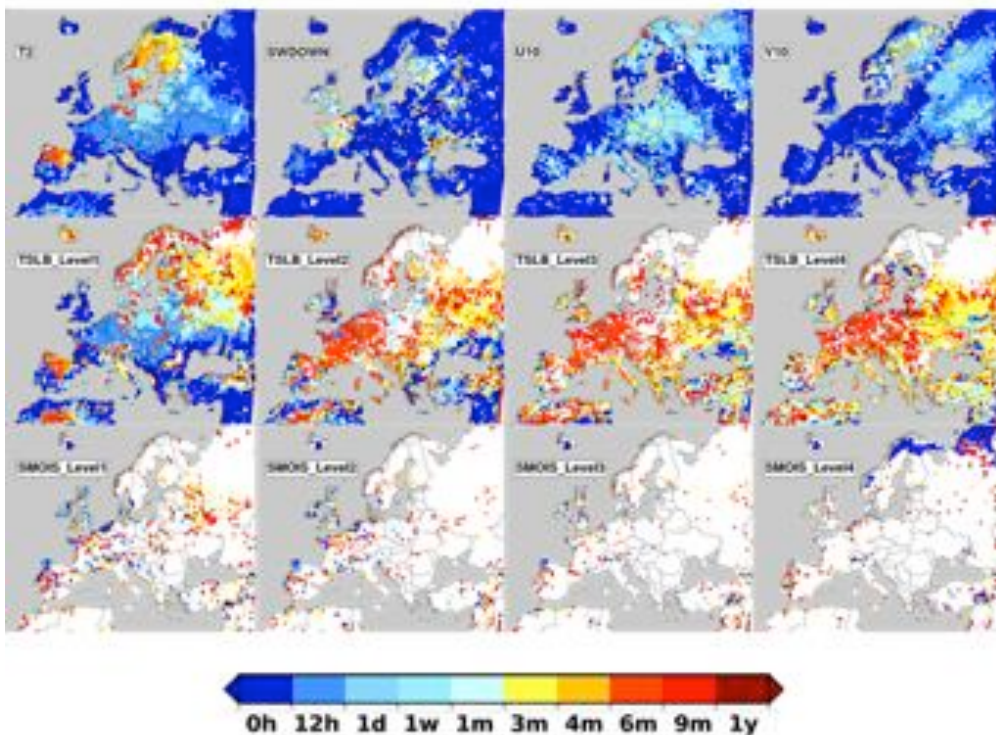


Fig 3: Período de *spin-up* óptimo para T2, SWDOWN, U10, V10 en la primera fila, las cuatro capas TSLB en la segunda fila y las cuatro capas SMOIS en la última fila. Los colores representan el tiempo de *spin-up* óptimo.

Esto se ve claro en la serie de T2 donde las simulaciones con 0 y 12 horas de *spin-up* pueden dar resultados muy diferentes. Con la serie de SMOIS podemos ver que el período de *spin-up* depende de la época del año en la que se inicie la simulación. Si comienza cuando el modelo tiene menos hielo, este tiempo será menor. Para las variables atmosféricas, unas pocas horas o días de *spin-up* son suficientes para alcanzar el equilibrio físico, excepto en algunas regiones específicas para T2. Sin embargo, el tiempo de *spin-up* para las variables del suelo es mucho mayor. Para TSLB necesitamos al menos 6 meses para la mayoría del dominio, excepto para la primera capa, que es más pequeña. Sin embargo, el período de *spin-up* requerido para

el SMOIS es más largo que 1 año. Es decir, hay variables donde no se puede esperar un equilibrio físico en un periodo de tiempo razonable.

Por lo tanto, la decisión de dividir o no las simulaciones tiene que estar determinada por el tipo de fenómenos que se desea analizar en estas simulaciones. Si el investigador está interesado en estudiar fenómenos en los que la retroalimentación con el suelo carece de importancia, un mes de *spin-up* puede ser suficiente. Si el científico está interesado en estudiar situaciones donde interviene la primera capa del suelo, necesitará al menos 6 meses de *spin-up*. Sin embargo, si el interés está en estudiar los fenómenos que involucran la SMOIS o las capas más profundas del suelo, es muy recomendable no dividir las simulaciones.

Si respetamos este tiempo de *spin-up*, podemos optimizar el tiempo inicial que hay que desechar y también podremos paralelizar nuestras simulaciones climáticas en tiempo y espacio. Los errores que esta partición puede cometer son menores que la variabilidad interna del modelo, por lo que no afectan las estadísticas climáticas.

### AGRADECIMIENTOS

Grupo de modelización atmosférica regional (MAR), Universidad de Murcia. Agradecemos a los fondos FEDER de la Unión Europea y el proyecto REPAIR-CGL2014-59677-R (Ministerio de Ciencia e Innovación de España). José María López-Ropmero agradece la beca FPI (Ref: BES-2015-074062).

### REFERENCIAS

- Christensen, O. B. (1999). Relaxation of soil variables in a regional climate model. *Tellus A*, 51(5), 674-685.
- Giorgetta, M., Jungclaus, J., Reick, C., Legutke, S., Brovkin, V., Crueger, T., ... & Stevens, B. (2012). Forcing data for Regional Climate Models based on the MPI-ESM-LR model of the Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M): The CMIP5 historical experiment. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. [https://doi.org/10.1594/WDCC/RCM\\_CMIP5\\_historical-LR](https://doi.org/10.1594/WDCC/RCM_CMIP5_historical-LR)
- Giorgetta, M., Jungclaus, J., Reick, C., Legutke, S., Brovkin, V., Crueger, T., ... & Stevens, B. (2012). Forcing data for Regional Climate Models based on the MPI-ESM-LR model of the Max Planck Institute for Meteorology (MPI-M):

- The CMIP5 rcp85 experiment. World Data Center for Climate (WDCC) at DKRZ. [https://doi.org/10.1594/WDCC/RCM\\_CMIP5\\_rcp85-LR](https://doi.org/10.1594/WDCC/RCM_CMIP5_rcp85-LR)
- Giorgi, F., & Mearns, L. O. (1999). Introduction to special section: Regional climate modeling revisited. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *104*(D6), 6335-6352.
- Grell, G. A. (1993). Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review*, *121*(3), 764-787
- Grell, G. A., & Dévényi, D. (2002). A generalized approach to parameterizing convection combining ensemble and data assimilation techniques. *Geophysical Research Letters*, *29*(14).
- Hong, S. Y., Noh, Y., & Dudhia, J. (2006). A new vertical diffusion package with an explicit treatment of entrainment processes. *Monthly weather review*, *134*(9), 2318-2341.
- Iacono, M. J., Delamere, J. S., Mlawer, E. J., Shephard, M. W., Clough, S. A., & Collins, W. D. (2008). Radiative forcing by long-lived greenhouse gases: Calculations with the AER radiative transfer models. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *113*(D13).
- Jacob, D., Petersen, J., Eggert, B., Alias, A., Christensen, O. B., Bouwer, L. M., ... & Georgopoulou, E. (2014). EURO-CORDEX: new high-resolution climate change projections for European impact research. *Regional environmental change*, *14*(2), 563-578.
- Jerez, S., López-Romero, J. M., Turco, M., Jiménez-Guerrero, P., Vautard, R., & Montávez, J. P. (2018). Impact of evolving greenhouse gas forcing on the warming signal in regional climate model experiments. *Nature communications*, *9*(1), 1304.
- Jerez, S., Montavez, J. P., & Giménez, D. (2009, May). Optimizing the execution of a parallel meteorology simulation code. In *Parallel & Distributed Processing, 2009. IPDPS 2009. IEEE International Symposium on* (pp. 1-6). IEEE.
- Koster, R. D., & Suarez, M. J. (2001). Soil moisture memory in climate models. *Journal of hydrometeorology*, *2*(6), 558-570.
- Lin, Y. L., Farley, R. D., & Orville, H. D. (1983). Bulk parameterization of the snow field in a cloud model. *Journal of Climate and Applied Meteorology*, *22*(6), 1065-1092.
- Lo, J. C. F., Yang, Z. L., & Pielke, R. A. (2008). Assessment of three dynamical climate downscaling methods using the Weather Research and Forecasting (WRF) model. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, *113*(D9).
- Tewari, M., Chen, F., Wang, W., Dudhia, J., LeMone, M. A., Mitchell, K., ... & Cuenca, R. H. (2004, January). Implementation and verification of the unified NOAA land surface model in the WRF model. In *20th conference on weather analysis and forecasting/16th conference on numerical weather prediction* 1115.