

CICLO ESTACIONAL EN LA SUPERFICIE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA DE ACUERDO AL REANÁLISIS DE MESOESCALA IPRA UTILIZANDO ASIMILACIÓN DE DATOS CON WRFDA

Jon SÁENZ¹, Gabriel IBARRA-BERASTEGI², Agustín EZCURRA¹, Javier DÍAZ DE ARGANDOÑA³

¹*Depto. de Física Aplicada II. Universidad del País Vasco UPV/EHU*

²*Depto. de Ingeniería Nuclear y Mecánica de Fluidos. Universidad del País Vasco UPV/EHU*

³*Depto. de Física Aplicada I. Universidad del País Vasco UPV/EHU*

jon.saenz@ehu.es, gibarra@ehu.es, agustin.ezcurra@ehu.es, javier.argandona@ehu.es

RESUMEN

Se ha simulado el periodo 1990-2002 sobre la Península Ibérica con una resolución horizontal de 15 km utilizando el modelo WRF anidado dentro del reanálisis ERA40. Se han realizado dos integraciones. En la primera (NO_DA) el modelo de mesoescala recibe información por las fronteras del dominio. En el segundo caso (IPRA), se ha asimilado información procedente de sensores en superficie, sondeos verticales y reportes de aviación cada 12 horas (00Z y 12Z) mediante el sistema 3DVAR de WRFDA. Las observaciones empleadas para la asimilación son aquellas marcadas como libres de error por el proceso de reanálisis ERA40. Los resultados de esta comunicación muestran las diferencias en los ciclos estacionales de temperatura o precipitación. La diferencia más marcada entre ambas integraciones indica que la asimilación de observaciones produce una mejor representación de la temperatura superficial sobre las zonas de tierra de la Península, corrigiendo en parte el sesgo frío del modelo que aparece durante verano.

Palabras clave: modelo mesoescala, asimilación de datos 3DVAR, reanálisis regional, ciclo estacional, Península Ibérica.

ABSTRACT

The period 1990-2000 has been simulated using the WRF model over the Iberian Peninsula with 15km horizontal resolution. The WRF model was nested inside the ERA40 Reanalysis. Two integrations with WRF have been carried out. In the first one (NO_DA), the mesoscale model received reanalysis information through the boundaries of the domain. In the second one (IPRA), 3DVAR assimilation of surface variables, air reports and vertical soundings has been carried out every 12 hours (00Z and 12Z). The observations assimilated into the mesoscale integrations are the ones tagged as error-free in the analysis feedback files. Results shown explore the differences found between the two simulations regarding surface temperature or precipitation at the different seasons of the year. The most remarkable difference found implies that assimilation of observations leads to a clearly improved representation of surface temperature over land areas, correcting the summer cold bias observed on the model outputs over the area.

Key words: mesoscale model, 3DVAR data assimilation, regional reanalysis, seasonal cycle, Iberian Peninsula.

1. INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la climatología, es importante la obtención de conjuntos de datos homogéneos que representen de la mejor manera posible el estado de las variables climatológicas sobre una región del espacio y sobre intervalos largos de tiempo. Dentro de esta línea de trabajo, hace ya muchos años que se acuñó el concepto de reanálisis. Un reanálisis consiste en la asimilación de un período largo de observaciones procesando todas aquellas observaciones disponibles para ese período mediante un sistema de asimilación invariable, con el fin de minimizar al máximo posible el efecto que las variaciones en los sistemas de asimilación operacionales tienen en la climatología que se puede obtener a partir de la sucesión de análisis operativos. A partir de la década de los 90 del siglo XX la climatología ha dispuesto de varias iniciativas de reanálisis globales, como es el caso del reanálisis del NCEP (Kalnay et al., 1996) o el reanálisis ERA40 (Uppala et al., 2005), entre otros. A pesar del cuidado empleado en la generación de estos productos, aún quedan aspectos por mejorar, tal y como se demuestra en una serie de publicaciones de los últimos años (Thorne y Vose, 2010 y referencias incluidas).

Sin embargo, estos reanálisis globales no proporcionan la resolución necesaria a escala regional en zonas de topografía compleja, por lo que ha sido también relativamente frecuente en los últimos años anidar modelos de mesoescala en el seno de los campos proporcionados por los reanálisis globales, con el fin de obtener estimaciones regionales de diversas variables tales como precipitación, temperatura, etc... con altas resoluciones espaciales. Estos campos de alta resolución se emplean como líneas de base para estudios de cambio climático a nivel regional, bases de datos de entrenamiento de modelos estadísticos de regionalización, etc...

No obstante, los modelos de alta resolución muestran con todo algunos problemas que, en el caso de la Península Ibérica, son en algunos casos notables. Se trata de un sesgo frío del modelo MM5, especialmente en verano, en el centro y sur de la Península Ibérica (Fernández et al., 2007). En general, un estudio detallado de la respuesta de los modelos de mesoescala al forzamiento diabático (superficial y en altura) indica (Díaz de Argandoña et al., 2010) que aún hay fenómenos de pequeña escala que no son correctamente simulados por los modelos de mesoescala y, por tanto, no aparecerán de forma correcta en las simulaciones regionales. Esto es particularmente cierto para campos como la humedad, ya que los modelos no respetan las condiciones de balance asociadas al ciclo hidrológico (Fernández-Ferrero et al., 2009).

Por todo ello, recientemente han aparecido algunas iniciativas orientadas a desarrollar reanálisis regionales siguiendo la misma filosofía que los reanálisis globales. Es decir, estos trabajos consisten en procesar todas las observaciones disponibles sobre una zona determinada para simular el estado de la atmósfera con alta resolución mediante un modelo de mesoescala dotado de capacidades de asimilación de datos. La idea es que todos aquellos fenómenos no adecuadamente representados por el modelo de mesoescala sean incluidos en los análisis regionales a partir de la asimilación de observaciones. Tal es el caso, por ejemplo, del North-American Regional Reanalysis (Mesinger et al., 2006) o el Baltic Reanalysis (Luhamaa et al., 2011).

En este trabajo se presentan los resultados preliminares de una iniciativa similar que nuestro grupo se encuentra desarrollando para la Península Ibérica, anidando el modelo WRF en los campos del reanálisis ERA40, asimilando observaciones mediante la metodología 3DVAR de WRFDA.

2. DATOS Y METODOLOGÍA

2.1. Datos

Las condiciones de contorno utilizadas en la integración se han obtenido en forma de ficheros GRIB del servidor de datos MARS del ECMWF. Los ficheros GRIB se han obtenido con una

resolución horizontal de $1,125^\circ$ tanto para campos superficiales como para campos tridimensionales hasta el nivel vertical de 50 hPa. Los ficheros de observaciones en formato BUFR se han obtenido a partir del tipo “analysis feedback”.

Durante la verificación se han empleado los datos del conjunto en forma de malla E_OBS (Haylock et al., 2008; van de Besselaar, 2011), con una resolución horizontal de $0,250^\circ$.

2.2. Metodología

El reanálisis se está ejecutando sobre el dominio indicado en la figura 1, y cubre la Península Ibérica, gran parte de las áreas marinas adyacentes, parte de África del Norte y Francia, con una malla de $15 \times 15 \text{ km}^2$. La figura 2 muestra el estado actual de la integración. Una integración (IPRA12) se ha llevado a cabo durante el período 1990-2002 con asimilación de observaciones cada 12 horas (00Z y 12Z) utilizando el método 3DVAR de WRFDA (Barker et al., 2004; Huang et al., 2009). Otra integración con el mismo conjunto de parametrizaciones pero sin asimilación de observaciones (IPRA_NODA) cubre el mismo período 1990-2002 y nos permite identificar el impacto de la asimilación en las simulaciones. Finalmente, una tercera integración (IPRA6) aún en realización cubrirá el período 1960-2002 y en ella se asimilan observaciones cada 6h (00Z, 06Z, 12Z y 18Z). La Figura 2 representa la media de la temperatura sobre todo el dominio para ambas integraciones IPRA6 e IPRA12 en el estado actual de ejecución (Junio 2012, pasado 1980).

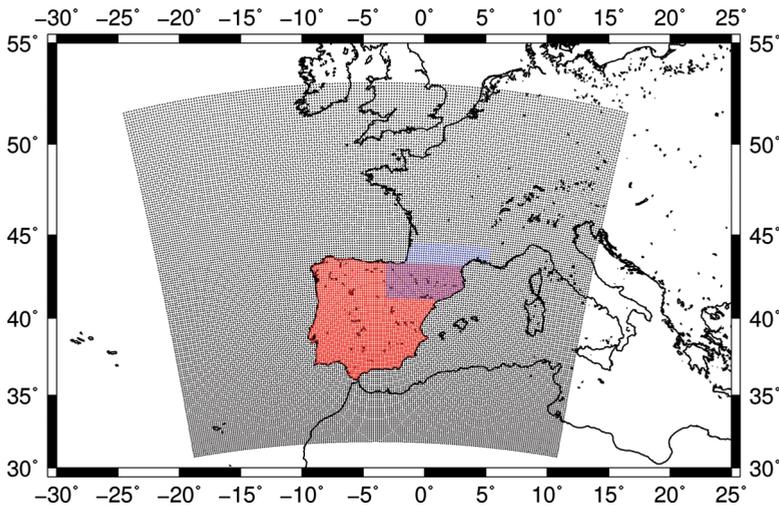


FIG. 1: Dominio cubierto por el reanálisis (puntos negros). Las máscara roja (Península Ibérica) y azul (Pirineos) corresponden a las zonas donde se han realizado verificaciones de medias areales, presentadas en esta comunicación.

En todas estas integraciones se emplea el modelo WRF versión 3.1 anidado en ERA40. Las matrices de covarianza de *background* se han preparado utilizando una integración específica de 13 meses que cubría todo el año 1990 y enero de 1991. Las matrices de covarianza de *background* se han preparado utilizando el método CV5 de WRFDA. La matriz de covarianza de *background* varía de forma estacional, y se calcula para cada mes a partir de los resultados del mes correspondiente y el mes anterior y posterior (es decir, la matriz de febrero se calcula a partir de los errores entre 12h y 24h de la integración de enero, febrero y marzo).

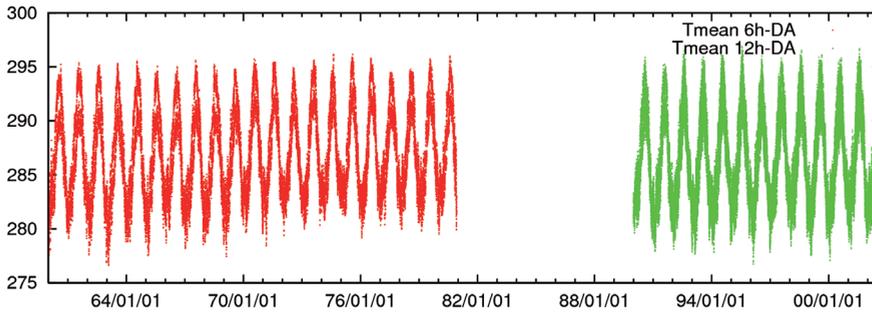


FIG. 2: Temperatura media a 2m sobre todo el dominio para la integración con asimilación cada 6h (1960 a 1980 en la actualidad, IPRA6, rojo) y para la integración con asimilación cada 12h (1990-2002, IPRA12, verde).

En todas las integraciones (IPRA_NODA, IPRA12, IPRA6 y las correspondientes a la preparación de la matriz de covarianza de *background*) se han utilizado las siguientes parametrizaciones (Skamarock et al., 2008):

- Microfísica: WRF-5class
- Radiación: CAM (onda larga y onda corta)
- Suelo: Difusivo térmico de cinco capas.
- Capa superficial: Similaridad Eta
- Capa límite planetaria: Mellor-Yamada-Janjic
- Cúmulos: Betts-Miller-Janjic.

Se lanzan integraciones de 24h de duración, arrancando de condiciones iniciales a las 00Z y a las 12Z para cada ciclo de análisis. Cada una de las integraciones (arrancada en el instante de tiempo t) guarda un campo de *background* a las 12h desde el inicio de la integración, y las observaciones de una ventana de 1h alrededor del tiempo $t+12$ se asimilan mediante el uso de WRFDA para dar lugar al análisis del instante de tiempo $t+12$. Los análisis, los incrementos de análisis y las integraciones de cada segmento se están almacenando para futuros análisis sobre estas salidas. Los campos que representan flujos (por ejemplo la precipitación o la evaporación) se calculan como diferencias del valor de $t+6h$ menos los valores correspondientes para el instante t .

Con vistas a la verificación, se ha llevado a cabo el análisis de los ciclos estacionales de invierno (D, E, F), primavera (M, A, M), verano (J, J, A) y otoño (S, O, N) de las variables analizadas para todas las integraciones cuyos resultados se plantean en esta comunicación (IPRA_NODA e IPRA12). Los ciclos estacionales de estas integraciones se comparan con los correspondientes a las observaciones en el mismo intervalo de tiempo (1990-2002). Adicionalmente, se calculan las diferencias entre las medias (sesgo) y los coeficientes de correlación punto a punto entre los campos simulados y las observaciones. En lo sucesivo se mostrará una selección de los resultados disponibles.

3. RESULTADOS

La figura 3 muestra la precipitación media invernal (1990-2002) tal y como se obtiene a partir del conjunto E-OBS (izquierda, la integración IPRA12 (centro) y la integración IPRA_NODA (derecha). Se observa que la mayor resolución de las integraciones de mesoescala permite obtener mejor detalle

del impacto de la topografía en la precipitación esperable sobre los sistemas montañosos. Ambas integraciones captan bien el gradiente occidente a oriente del campo de precipitación invernal.

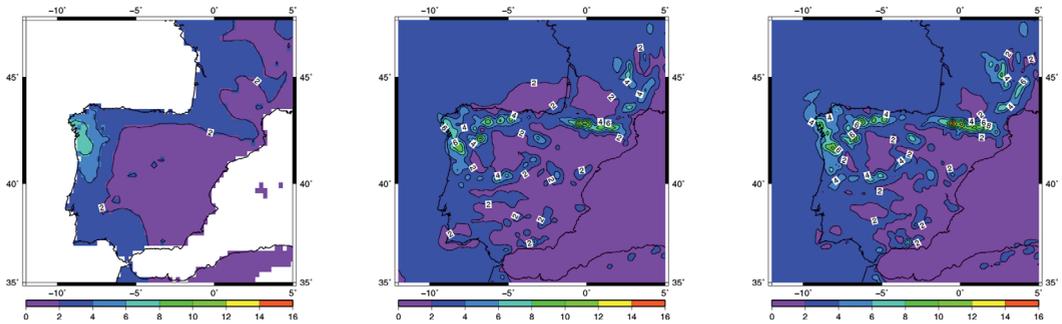


FIG. 3: Precipitación media invernal (mm/día) sobre la Península Ibérica de acuerdo con los datos de E-OBS (izquierda), la simulación IPRA12 con asimilación de datos (centro) y la simulación IPRA_NODA sin asimilación de datos (derecha).

Para el caso de la temperatura invernal (figura 4) se aprecia, como en el caso de la precipitación, una mayor respuesta de las integraciones a los accidentes topográficos, aunque en este caso, el efecto es menos marcado que en el caso de la precipitación invernal.

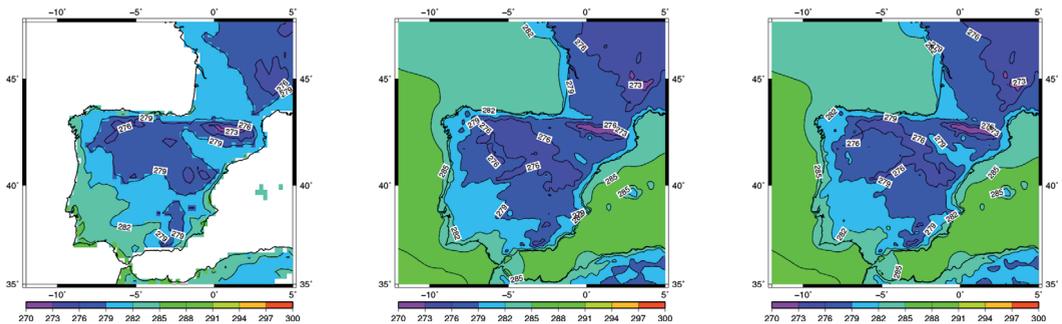


FIG. 4: Temperatura media (K) invernal sobre la Península Ibérica de acuerdo con los datos de E-OBS (izquierda), la simulación IPRA12 con asimilación de datos (centro) y la simulación IPRA_NODA (derecha).

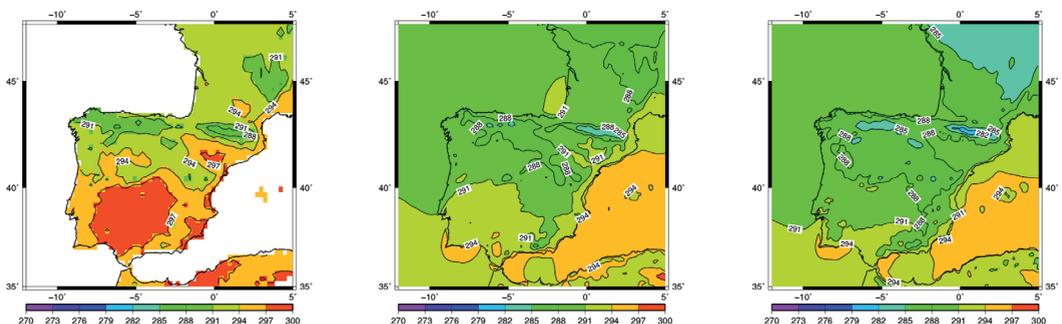


FIG. 5: Temperatura media (K) estival sobre la Península Ibérica de acuerdo con los datos de E-OBS (izquierda), la simulación IPRA12 con asimilación de datos (centro) y la simulación IPRA_NODA (derecha).

Por el contrario, para la temperatura estival (figura 5), resulta evidente que el modelo subestima la temperatura en el sur de la Península Ibérica en ambas configuraciones (IPRA12 e IPRA_NODA), aunque la subestimación es más notable en el caso de la integración IPRA_NODA sin asimilación de datos. Con el fin de resaltar los sesgos de los análisis anteriores, las figuras 6 y 7 representan los sesgos de las climatologías de la precipitación y la temperatura invernales de las integraciones sin asimilación de datos y con asimilación de datos respecto a las observaciones de la malla E-OBS. Para el caso de la precipitación invernal (figura 6) se observa que los sesgos no son muy grandes y aparecen especialmente en las cumbres más abruptas (Pirineos, Picos de Europa y Sistema Central). Idéntico análisis se puede obtener en el caso de la temperatura invernal (figura 7). El sesgo es pequeño, inferior a 3° en ambas integraciones.

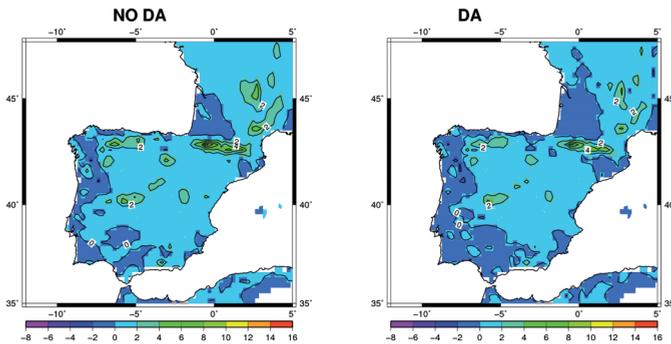


FIG. 6: Sesgo (mm/día) de la precipitación invernal simulada por las integraciones IPRA_NODA (izquierda) e IPRA12 (derecha).

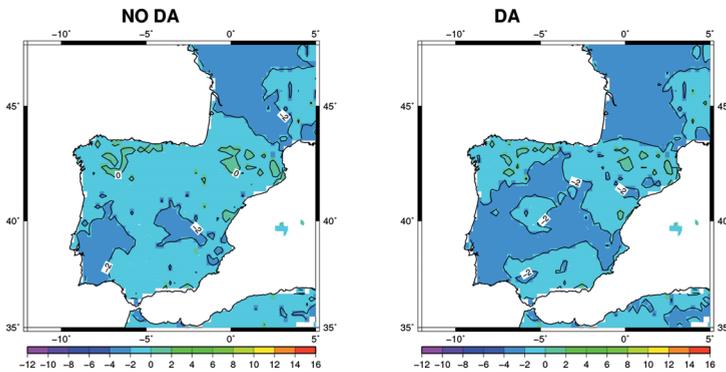


FIG. 7: Sesgo (K) de la temperatura invernal simulada por las integraciones IPRA_NODA (izquierda) e IPRA12 (derecha).

Por el contrario, en el caso de la temperatura estival (figura 8), el sesgo del modelo sobre las zonas del Sur y Centro de la Península es notable, alcanzando valores superiores a 6° en el caso de la integración con asimilación de datos y mayores que 8° en algunas zonas para la integración sin asimilación. Es claro, por tanto, que en verano el modelo subestima la temperatura real y que ese efecto se corrige solamente en parte utilizando la asimilación de datos. No obstante, el impacto de la asimilación es notable, ya que el área cubierta por sesgos elevados se reduce notablemente en el caso de la integración IPRA12 (DA) respecto al caso sin asimilación (IPRA_NODA).

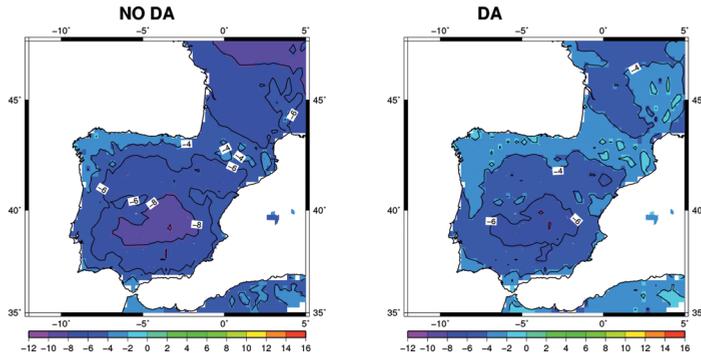


FIG. 8: Sesgo (K) de la temperatura estival simulada por las integraciones IPRA_NODA (izquierda) e IPRA12 (derecha).

Finalmente, el coeficiente de correlación de los datos diarios (sin eliminar el ciclo estacional) muestra que la simulación de la precipitación es bastante buena para el caso de las zonas occidentales de la Península y que en algunas zonas mediterráneas la asimilación de datos produce una mejora sustancial (figura 9, fila superior). Por el contrario, la simulación de la precipitación en zonas mediterráneas aún es susceptible de mejora incluso en el caso de la simulación con asimilación.

La simulación con asimilación (IPRA12) produce unos coeficientes de correlación sin eliminar el ciclo estacional francamente buenos sobre toda la Península en el caso de la temperatura (figura 9, fila inferior), bastante mejores que en el caso de la simulación sin asimilación IPRA_NODA.

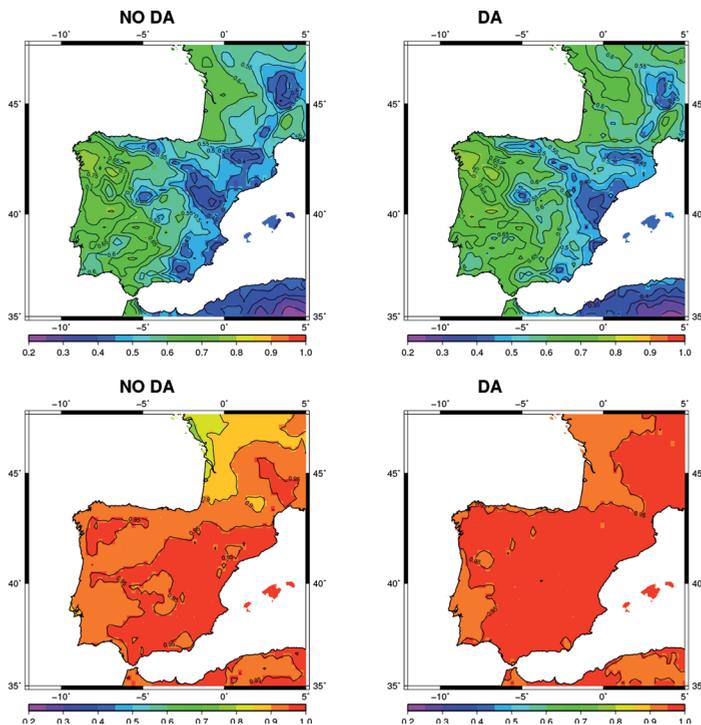


FIG. 9: Coeficiente de correlación de los valores diarios de precipitación (arriba) y temperatura (abajo) simulado por las integraciones IPRA_NODA (izquierda) e IPRA12 (derecha, columnas DA).

Se han estudiado también los coeficientes de correlación a escala diaria de la simulación respecto a las observaciones tras eliminar los ciclos estacionales de las variables temperatura y precipitación. Dado que solamente se dispone de 12 años para generar los ciclos estacionales a escala diaria, es necesario eliminar el ruido intradiario de los ciclos estacionales para cada punto de malla (observaciones y modelo). Para ello se ha estimado el ciclo diario de cada variable en cada punto y se ha filtrado por medio de un filtro Kolmogorov-Zurbenko de 11 puntos y 3 iteraciones (Eskridge et al., 1997) con condiciones de contorno periódicas tanto para las observaciones como para las simulaciones. La Figura 10 muestra el coeficiente de correlación de las anomalías diarias y se puede apreciar que existe una parte sustancial de la varianza que no es aportada por el ciclo estacional, particularmente para la simulación con asimilación de datos. Esto tampoco es de extrañar, ya que los campos no se generan por una metodología estadística que descansa sustancialmente en la información aportada por el ciclo estacional. El valor de la correlación que con el tamaño muestral disponible permite rechazar con una confianza del 99,9% la hipótesis nula de que el valor en cada punto de malla del coeficiente de correlación podría ser nulo es de 0.07 para precipitación y de 0.12 para temperatura, y para estimar estos límites se ha considerado un método Monte Carlo que tiene en cuenta las autocorrelaciones de las anomalías. Para evaluar estos límites se ha escogido el valor de la autocorrelación máxima sobre todo el dominio. Por tanto, esta hipótesis de autocorrelación nula se puede rechazar para todos los puntos de malla.

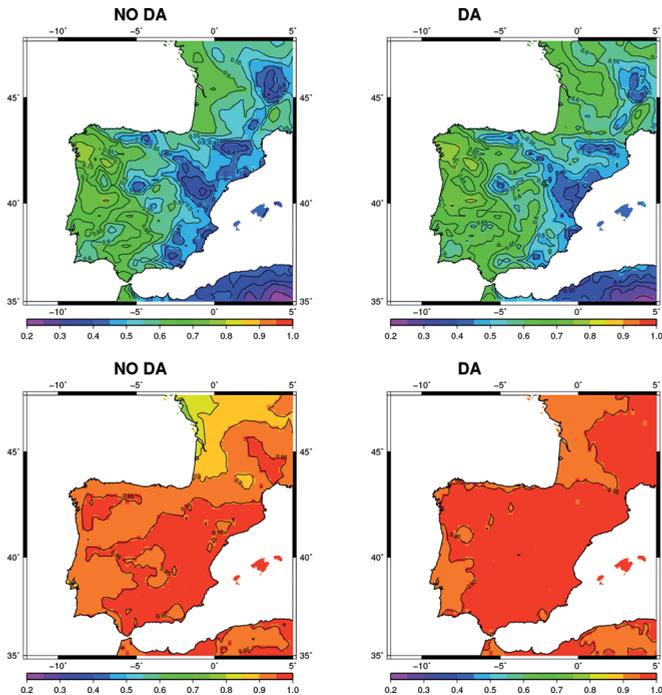


FIG. 10: Coeficiente de correlación de los valores diarios de precipitación (arriba) y temperatura (abajo) simulado por las integraciones IPRA_NODA (izquierda) e IPRA12 (derecha, columnas DA) tras eliminar el ciclo estacional.

4. CONCLUSIONES

Las simulaciones con el modelo producen en ambos casos (precipitación y temperatura) una climatología realistas sobre la Península Ibérica, con mayor grado de detalle sobre los grandes accidentes

orográficos que algunos conjuntos observacionales de no muy alta resolución. La comparación de las simulaciones con las observaciones indica que el mayor sesgo aparece en el caso de la temperatura estival sobre el Sur de la Península, sesgo que se corrige en gran parte (aunque no completamente) si se emplea asimilación de datos. Los coeficientes de correlación en escala diaria indican que la simulación con asimilación de datos es muy buena en el caso de la temperatura y algo peor en el caso de la precipitación, particularmente en zonas mediterráneas. En todo caso, el uso de la asimilación de datos produce mejoras sobre la simulación de precipitaciones en zonas del centro de la Península.

El grupo que está desarrollado esta iniciativa tiene la intención de ubicar las integraciones en algún repositorio de datos abierto a todos los usuarios interesados de forma gratuita una vez terminadas éstas y tras un proceso exhaustivo de validación de los resultados incluyendo la publicación en alguna revista referida por pares.

Agradecimientos

Los autores agradecen a ECMWF y AEMET el permiso para acceder al sistema de archivo MARS del ECMWF mediante el proyecto especial SPESIPRA. RES e I2BASQUE han permitido el uso de sus recursos computacionales. Los autores agradecen a los creadores de los sistemas de simulación WRF y análisis WRFDA por permitir el acceso libre a los mismos a la comunidad de investigadores del mundo. Los autores agradecen la financiación por parte de los proyectos CGL2008-03321 (Plan Nacional I+D+i), CTP10-03 PYNATEO y UPV/EHU mediante los proyectos UFI11/55 y GIU11/01. Los comentarios de los revisores han sido muy interesantes y han permitido mejorar la comunicación.

REFERENCIAS

- Barker, D.M., Huang, W., Guo, Y.R., y Xiao, Q.N. (2004) "A Three-Dimensional (3DVAR) Data Assimilation System For Use With MM5: Implementation and Initial Results" *Mon. Wea. Rev.*, 132, pp. 897–914.
- Díaz de Argandoña, J., Ezcurra, A., Sáenz, J., Campistron, B., Ibarra-Berastegi, G. y Saïd, F. (2010) "Atmospheric Tides over the Pyrenees. Observational study and numerical simulation" *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 136, pp.1263-1274.
- Esckridge, R. E., Ku, J. Y., Rao, S. T., Porter, P. S. y Zurbenko, I. G. 1997: Separating Different Scales of Motion in Time Series of Meteorological Variables. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, 1473–1483.
- Fernández, J., Montávez, J.P., Sáenz, J., González-Rouco, J. F. y Zorita E. (2007) "Sensitivity of MM5 Mesoscale Model to Physical Parameterizations for Regional Climate Studies: Monthly Seasonal Cycle", *J. Geophys. Res.* 112, D04101.
- Fernández-Ferrero, A., Sáenz, J., Ibarra-Berastegi, G., y Fernández, J. (2009) "Evaluation of statistical downscaling in short range precipitation forecasting", *Atmos. Res.*, 94, pp. 448-461.
- Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones P.D. y New, M. (2008) "A European daily high-resolution gridded dataset of surface temperature and precipitation." *J. Geophys. Res.*, 113, D20119.
- Huang, X.Y., Xiao, Q., Barker, D.M., Zhang, X., Michalakes, J., Huang, W., Henderson, T., Bray, J., Chen, Y., Ma, Z., Dudhia, J., Guo, Y., Zhang, X., Won, D.J., Lin, H.C. y Kuo Y.H., (2009) "Four-Dimensional Variational Data Assimilation for WRF: Formulation and Preliminary Results". *Mon. Wea. Rev.*, 137, pp. 299–314.
- Kalnay, E., M. Kanamitsu, R. Kistler, W. Collins, D. Deaven, L. Gandin, M. Iredell, S. Saha, G. White, J. Woollen, Y. Zhu, M. Chelliah, W. Ebisuzaki, W. Higgins, J. Janowiak, K. C. Mo, C. Ropelewski, J. Wang, A. Leetmaa, R. Reynolds, R. Jenne, y D. Joseph, (1996) "The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project". *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, pp. 437-471.
- Luhamaa, A., Kimmel, K., Männik, A., Rööm, R. (2011) "High resolution re-analysis for the Baltic Sea region during 1965-2005 period" *Clim. Dyn.*, 36, pp. 727-738

- Mesinger, F., DiMego, G., Kalnay, E., Mitchell, K., Shafran, P. C., Ebisuzaki, W., Jovic, D., Woollen, J., Rogers, E., Berbery E. H., Ek, M. B., Fan, Y., Grumbine, R., Higgins, W., Li, H., Lin, Y., Manikin, G., Parrish, D. y Shi, W. (2006) "North American Regional Reanalysis" *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 87, pp. 343–360.
- Skamarock, W.C., Klemp, J. B., Dudhia, J., Gill, D.O., Barker, D. M., Duda, M. G., Huang, X.Y., Wang, W., Powers, J. G. (2008) "A Description of the Advanced Research WRF Version 3", NCAR Technical Note NCAR/TN-475+STR, Boulder, Colorado.
- Thorne, P. W. y Vose, R.S. (2010) "Reanalyses Suitable for Characterizing Long-Term Trends" *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 91, pp. 353–361.
- Uppala, S. M., Kallberg, P. W., Simmons, A. J., Andrae, U., Bechtold, V. D., Fiorino, M., Gibson, J. K., Haseler, J., Hernández, A., Kelly, G. A., Li, X., Onogi, K., Saarinen, S., Sokka, N., Allan, R. P., Andersson, E., Arpe, K., Balmaseda, M. A., Beljaars, A. C. M., Van De Berg, L., Bidlot, J., Bormann, N., Caires, S., Chevallier, F., Dethof, A., Dragosavac, M., Fisher, M., Fuentes, M., Hagemann, S., Holm, E., Hoskins, B. J., Isaksen, L., Janssen, P. A. E. M., Jenne, R., McNally, A. P., Mahfouf, J. F., Morcrette, J. J., Rayner, N. A., Saunders, R. W., Simon, P., Sterl, A., Trenberth, K. E., Untch, A., Vasiljevic, D., Viterbo, P. y Woollen, J. (2005) "The ERA-40 re-analysis", *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.* 131, pp. 2961-3012.
- van den Besselaar, E.J.M., Haylock, M.R., van der Schrier, G. y Klein Tank, A.M.G. (2011) "A European Daily High-resolution Observational Gridded Data set of Sea Level Pressure" *J. Geophys. Res.*, 116, D11110.