

Predicción de la convección en los modelos HARMONIE-AROME y ECMWF

<https://doi.org/10.31978/639-19-010-0.335>

Javier Calvo Sánchez¹ (fcalvos@aemet.es)
Daniel Martín Pérez¹ (dmartinp@aemet.es)
Gema Morales Martín¹ (gmoralesm@aemet.es)
Alberto Jiménez de Mingo¹ (ajimenezd@aemet.es)
Carmen Lucía Calvo Gil¹ (ccalvog@aemet.es)

¹AEMET / Departamento de Desarrollo y Aplicaciones / Área de Modelización

RESUMEN

La convección es uno de los fenómenos meteorológicos más difíciles de predecir. Los modelos numéricos no hidrostáticos que se integran a escalas convectivas o *convection-permitting* han supuesto una mejora significativa en la simulación de la convección comparados con los modelos de escala sinóptica, que necesitan parametrizar la convección profunda. Se estudia el comportamiento de los modelos HARMONIE-AROME y del IFS del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF) utilizando métodos objetivos como la verificación puntual y la verificación espacial, así como métodos subjetivos.

Se ve que los modelos *convection-permitting* como HARMONIE-AROME reproducen mucho mejor el ciclo diurno de la precipitación que los modelos que parametrizan la convección profunda como el del Centro Europeo. En promedio, el ciclo 40 obtiene mejores resultados que el ciclo 38 tanto con la verificación puntual como con la verificación espacial. El ciclo 38 tiende a producir más actividad convectiva y también a producir más falsas alarmas. Otro resultado interesante es que la resolución efectiva de HARMONIE para la precipitación parece estar en torno a los 50 km.

PALABRAS CLAVE: HARMONIE-AROME; ECMWF; modelo *convection-permitting*; verificación de la predicción; verificación espacial.

1. INTRODUCCIÓN

Los modelos numéricos de predicción son las herramientas básicas en las que se basan las predicciones meteorológicas. Por otra parte la predicción de la precipitación es uno de los aspectos más importantes de la predicción meteorológica y a la vez es uno de los fenómenos más difíciles de predecir y muchas veces condiciona nuestra habilidad para hacer predicciones fiables. Cuando la precipitación está asociada a grandes sistemas sinópticos como los frentes y grandes bajas que tienen lugar en invierno, la predecibilidad es mayor, pero cuando la precipitación está asociada a fenómenos convectivos, disminuye mucho a no ser que haya un forzamiento orográfico claro. Dentro de los modelos, podemos distinguir dos grandes tipos: los modelos globales, que pueden tener resoluciones tan finas como la del modelo del Centro Europeo (ECMWF) que llega a los 9 km, y los modelos regionales o de área limitada (LAM) cuyo dominio es regional, lo que permite aumentar la resolución para tratar de resolver fenómenos de menor escala como la convección. Actualmente la mayoría de los LAM operativos son modelos no hidrostáticos *convection-permitting*. Un ejemplo de estos modelos es el modelo HARMONIE-AROME (BENGTSSON *et al.*, 2017) operativo en AEMET desde

julio de 2017 (CALVO *et al.*, 2018; Díez *et al.*, 2018). Con el eufemismo *convection-permitting* nos referimos a que estos modelos tratan la convección profunda de forma explícita (resuelta) pero en realidad operan a resoluciones a las que la convección profunda no está totalmente resuelta.

2. VERIFICACIÓN OBJETIVA

La forma más habitual de evaluar la calidad de las predicciones de un modelo es comparar las predicciones con las observaciones que se realizan en las estaciones meteorológicas. Es lo que conocemos como verificación puntual (fig. 1a). Para ello se interpolan las salidas del modelo a los puntos donde disponemos de observaciones y luego se calculan distintos estadísticos que evalúan la magnitud de los errores y la bondad de las predicciones. El principal problema es que la resolución espacial de la red de observaciones suele ser mucho menor que la resolución de los modelos. Por otra parte, este método no es adecuado para comparar modelos con distinta resolución por el problema de la doble penalización (fig. 1b). Es decir, una buena predicción ligeramente desplazada respecto a la observación sería contabilizada como una falsa alarma y un evento no detectado.

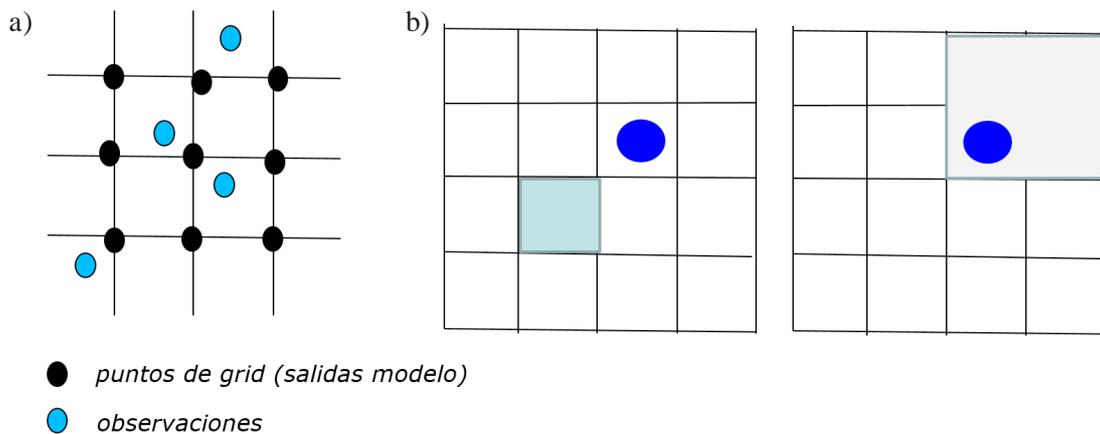


Figura 1. a) Verificación puntual en la que las salidas del modelo se interpolan a los puntos donde se dispone de observaciones y b) problema de la doble penalización que penaliza a los modelos de mayor resolución espacial.

Un ejemplo del efecto de la doble penalización puede verse en la figura 2 en la que las salidas del modelo HARMONIE-AROME son promediadas para distintas escalas y se calculan los errores de los distintos promedios comparando con las observaciones puntuales. Vemos que los resultados mejoran al aumentar la escala del promedio al menos hasta 22,4 km.

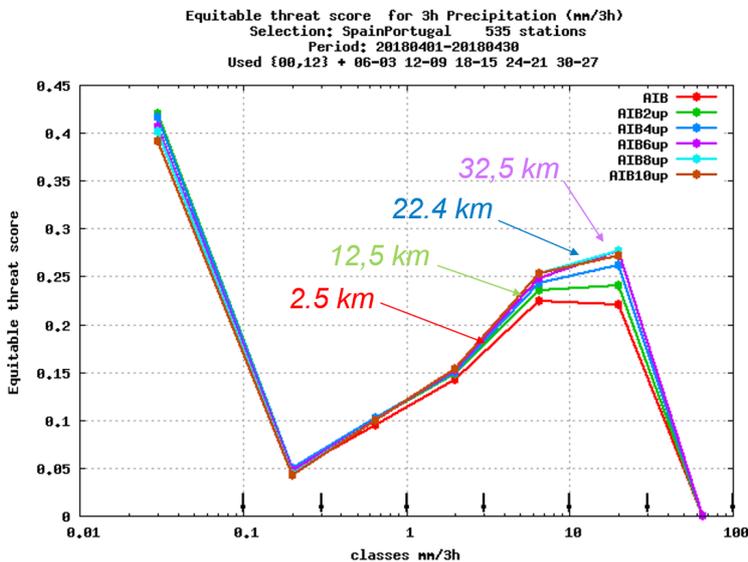


Figura 2. Equitable Threat Score (mejor cuanto mayor sea su valor) para distintas intensidades de precipitación y para distintos promedios de las salidas del modelo cuya resolución es 2,5 km.

A pesar del problema de la doble penalización, la figura 3 nos da una idea del comportamiento de los distintos modelos. El Centro Europeo tiende a producir zonas más extensas de precipitación pero puede subestimar bastante los máximos. En cambio HARMONIE-AROME reproduce mejor los máximos pero tiende a producir más falsas alarmas, especialmente el ciclo 38.

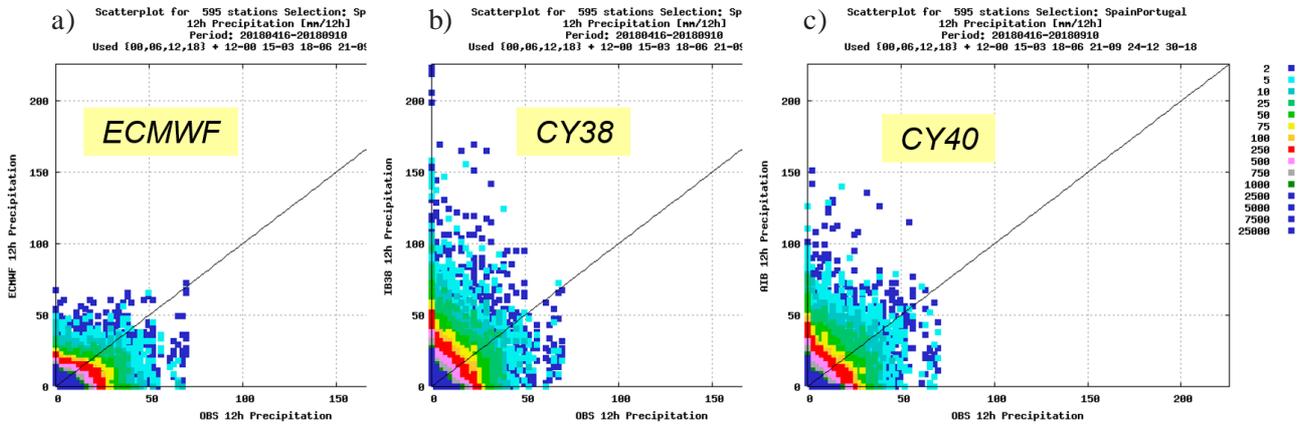


Figura 3. Eventos observación-predicción para la precipitación acumulada en 12 horas y para el periodo abril-septiembre de 2018. a) Comparación del ECMWF, b) HARM ciclo 38 y c) HARM ciclo 40.

3. CICLO DIURNO DE LA PRECIPITACIÓN

Si representamos la precipitación media observada en función de la hora del día para un periodo relativamente largo, vemos que esta presenta un claro ciclo diurno (fig. 4) con un máximo entre las 15 y las 18 UTC. Pese a los esfuerzos realizados en la mejora de este aspecto en las parametrizaciones de la convección vemos que, por ejemplo, el ECMWF tiende a adelantar la ocurrencia de este máximo unas 3 horas, en cambio en las dos versiones de HARMONIE-AROME la ocurrencia del máximo queda bien reproducida por el modelo.

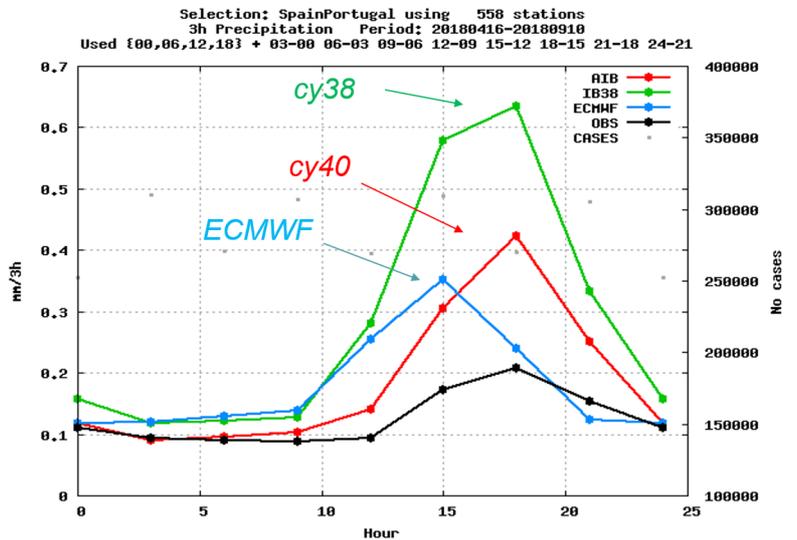


Figura 4. Precipitación promedio para un periodo de 5 meses en función de la hora del día. Comparación de las observaciones (en negro) con las salidas del ECMWF (en azul) y de dos versiones del modelo HARMONIE-AROME (ciclo 40 en rojo y ciclo 38 en verde).

4. VERIFICACIÓN DE HARMONIE-AROME. COMPARACIÓN DE LA VERSIÓN 38 FRENTE A LA VERSIÓN 40

En la figura 5 comparamos las distribuciones espaciales de la precipitación acumulada durante el mes de abril de 2018 de las predicciones y de las observaciones. El análisis de las observaciones está descrito en PERALES *et al.* (2017). El problema es que este análisis tiene una resolución bastante menor que los modelos y parece que subestima la precipitación en las zonas montañosas por la resolución espacial de la red de observaciones. Los modelos reproducen bastante bien la distribución espacial y no hay muchas diferencias entre ellos.

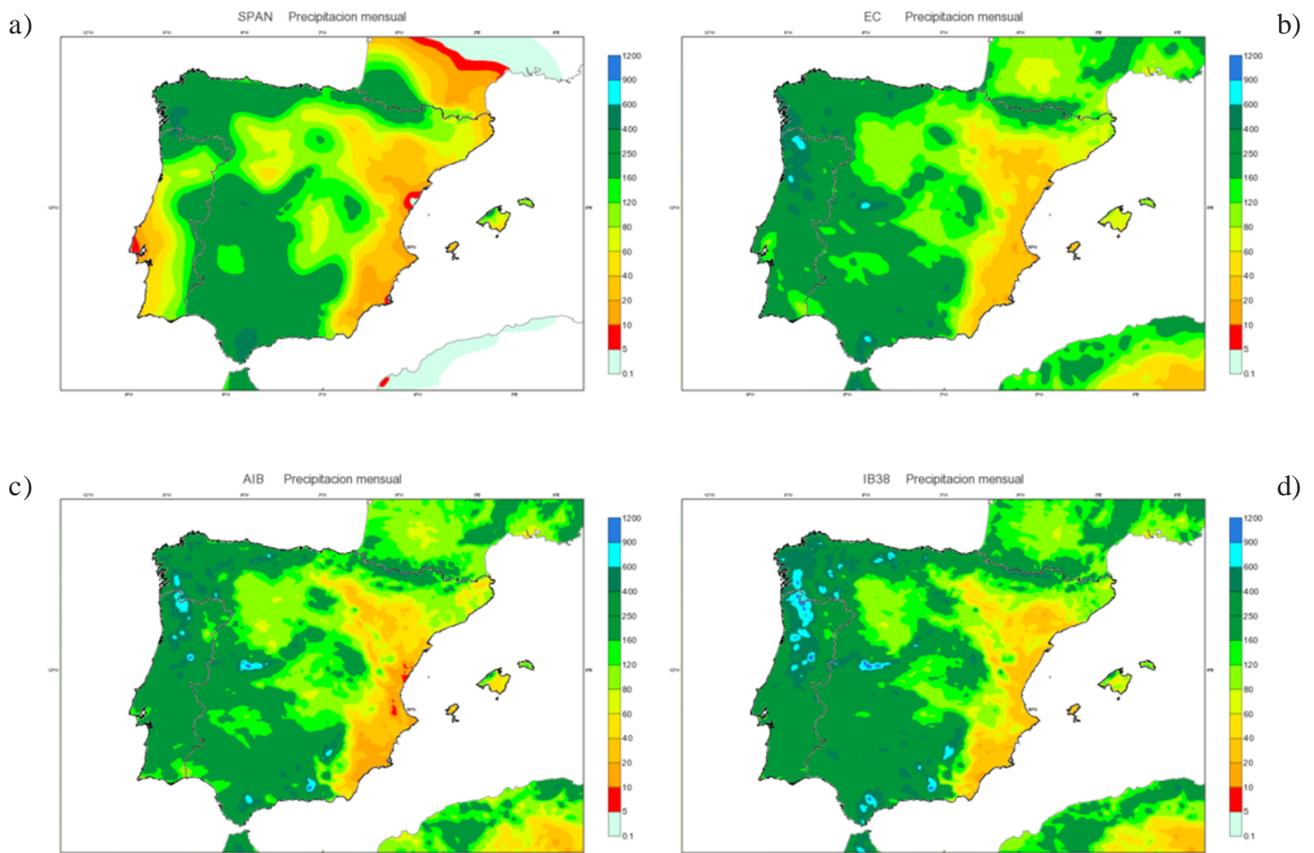


Figura 5. Precipitación acumulada para el mes de marzo de 2018: a) análisis de las observaciones, b) ECMWF, c) HARMONIE ciclo 40 y d) HARMONIE ciclo 38.

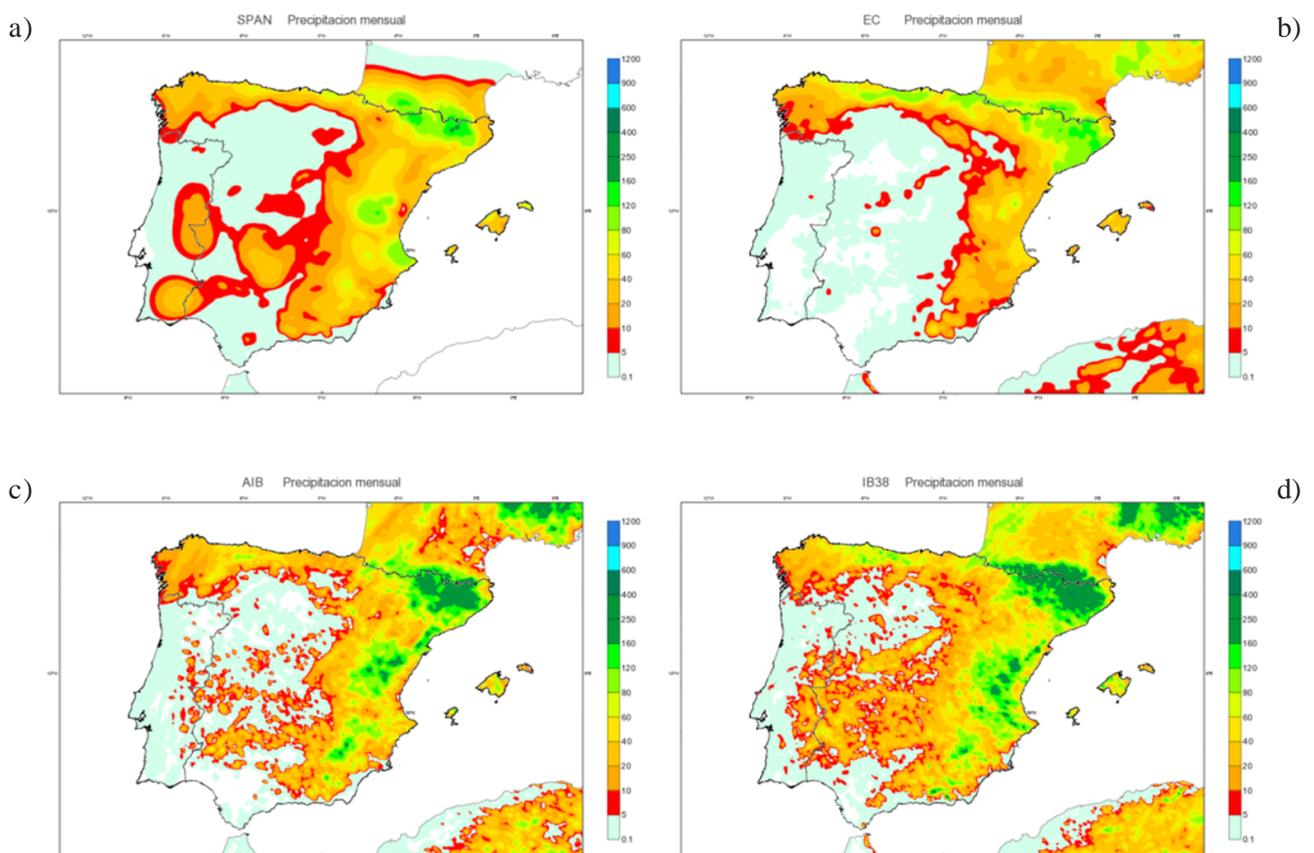


Figura 6. Igual que la fig. 5 para la precipitación acumulada durante el mes de agosto de 2018.

En la figura 6 representamos la precipitación para el mes de agosto de 2018 más dominado por situaciones de tipo convectivo. El problema aquí es la insuficiente resolución de las observaciones para representar bien la precipitación convectiva. En este caso las diferencias entre los modelos son mayores: el IFS subestima bastante la convección en el SW y el ciclo 38 tiende a producir más precipitación convectiva que el ciclo 40.

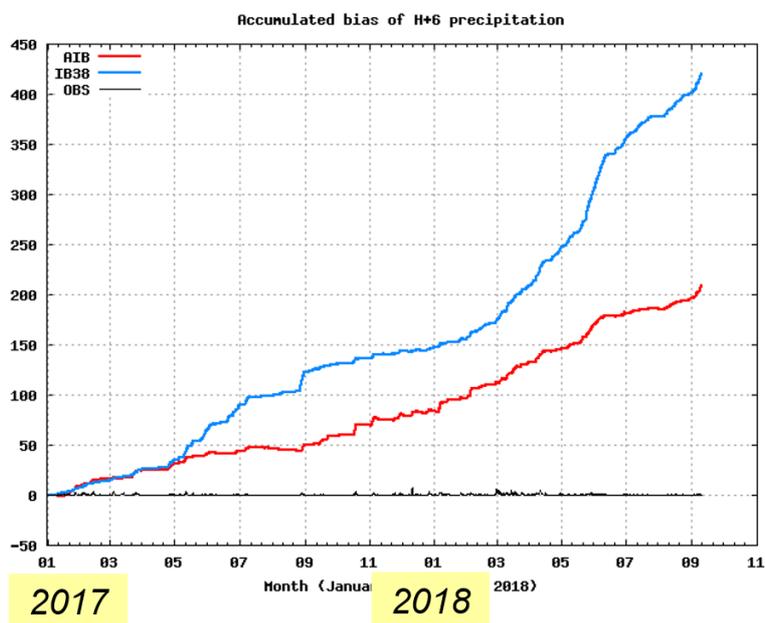
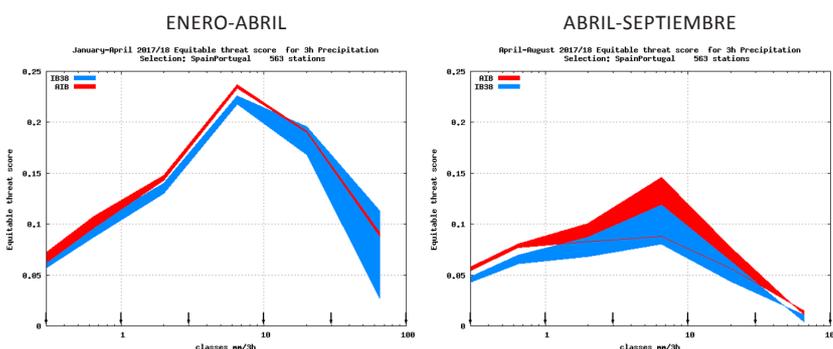


Figura 7. Sesgo acumulado de la precipitación para el periodo enero 2017-septiembre 2018: comparación del ciclo 38 (en azul) y el ciclo 40 (en rojo) del modelo HARMONIE-AROME.

Uno de los objetivos de la verificación es ayudarnos a evaluar las mejoras que se van introduciendo en el modelo. En la figura 7 se comparan los sesgos (predicción-observación) acumulados para dos versiones del modelo HARMONIE-AROME a lo largo del periodo enero 2017-septiembre 2018. Vemos que al principio, donde dominan los sistemas de gran escala, los errores son parecidos para las dos versiones pero luego en primavera cuando la componente convectiva va tomando mayor relevancia, empiezan a diverger produciendo el ciclo 38 mayor sobrestimación. Algo parecido sucede a lo largo de 2018 aunque este año es mucho más húmedo que 2017.

De todas formas, en el caso de la precipitación es conveniente utilizar estadísticos que tengan en cuenta que esta variable tiene un rango amplio de variación y que los rangos de precipitaciones altas son mucho menos frecuentes. Se suele recurrir a la verificación categórica separando la variable en distintos intervalos de la variable y al uso de estadísticos que no penalicen los eventos raros. Tal es el caso del *Equitable Threat Score* (ETS), un estadístico que mide la fracción de eventos que fueron predichos correctamente. En la figura 8 se comparan los ETS de las dos versiones separando la verificación para los meses fríos y los meses cálidos. En los gráficos se aprecia que las predicciones son mejores (mayor valor del ETS) en los periodos fríos. Vemos que en promedio son mejores las predicciones del ciclo 40 para todas las categorías y que las dos versiones difieren más en los meses cálidos cuando la componente convectiva es más importante. Las mayores diferencias entre el ciclo 38 y el 40 es que la primera tiende a producir más falsas alarmas. A pesar de que en promedio la versión 40 produce mejores resultados, en días concretos puede ser mejor la versión 38 que la 40, a consecuencia de los problemas de predecibilidad inherentes a la convección. Por esta razón, en el caso de la convección es mejor recurrir a métodos probabilísticos y/o a la comparación de las predicciones de las dos versiones del modelo para tener una idea de la predecibilidad de cada situación

Figura 8. *Equitable Threat Score* de la precipitación acumulada en 3 horas para los ciclos 38 (en azul) y 40 (en rojo) del modelo HARMONIE-AROME. La zona sombreada la define las curvas correspondientes a las temporadas 2017 y 2018 que tuvieron características meteorológicas bastante distintas.



5. EVALUACIÓN SUBJETIVA

A pesar de que la verificación objetiva es obligatoria para evaluar la calidad de las predicciones, es difícil poder resumir en unos pocos estadísticos toda la información contenida en las predicciones y es conveniente completar esta verificación con la evaluación subjetiva, especialmente poniendo el foco en casos de especial relevancia meteorológica. En la figura 9 comparamos las predicciones de nubes de las dos versiones de HARMONIE-AROME y del modelo ECMWF frente a la imagen del canal IR 10.8 del Meteosat. Los modelos estiman una imagen equivalente a la del satélite a partir de sus variables de predicción. Se trata de una baja profunda con sistemas nubosos de gran escala con convección embebida y convección de masa de aire en la zona central de la baja. Las mayores diferencias entre los modelos se encuentran en la zona más convectiva que está menos desarrollada en el modelo del Centro Europeo, luego en el ciclo 40 de HARMONIE y mucho más vigorosa en el ciclo 38, que muestra cierta tendencia a la sobrestimación de la convección. En líneas generales, las mayores diferencias entre el ciclo 38 y 40 se producen para situaciones en las que el forzamiento de gran escala es más débil en las que el ciclo 38 tiende a producir más falsas alarmas (no mostrado).

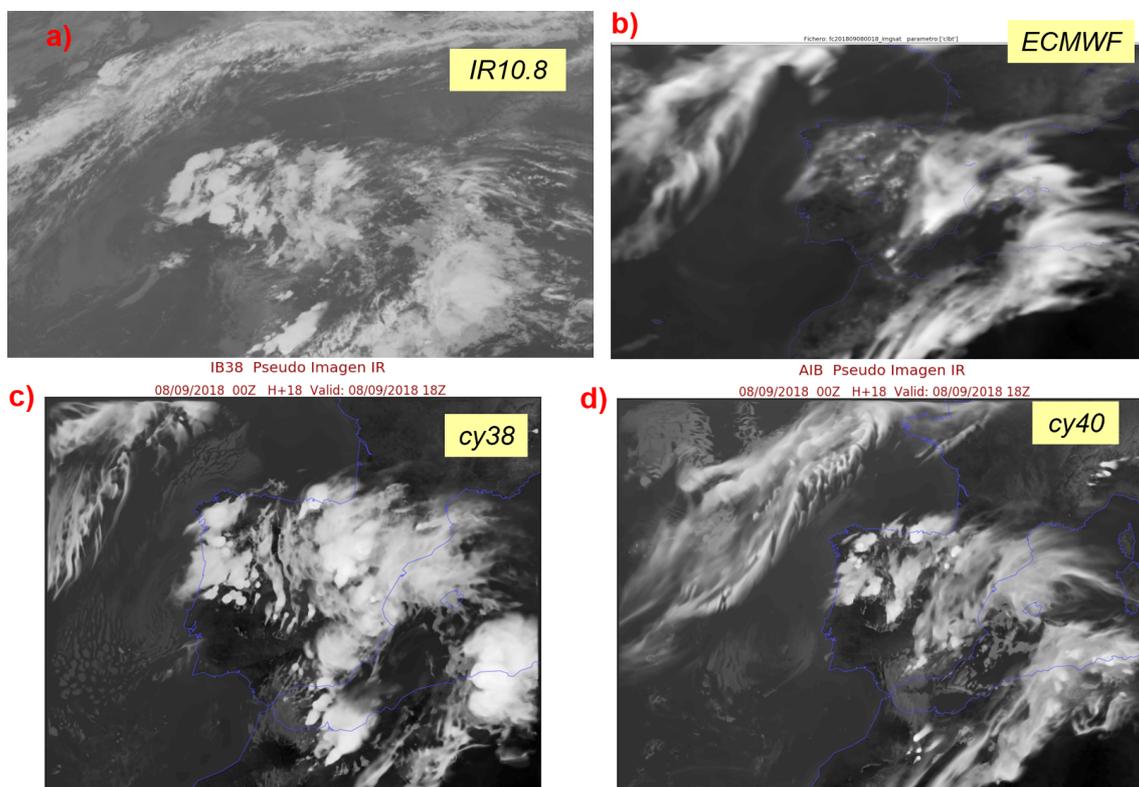


Figura 9. Comparación de las nubes predichas y observadas para el día 8 de septiembre de 2018 a las 18 UTC, caracterizado por sistemas convectivos bastante desarrollados.
a) Meteosat 10.8, b) ECMWF, c) HARM ciclo 38 y d) HARM ciclo 40.

6. VERIFICACIÓN ESPACIAL

Para completar la verificación puntual se utiliza la verificación espacial que trata de evaluar si los modelos son capaces de reproducir no solo la intensidad de la precipitación sino también las estructuras del campo que se quiere verificar. Este método también permite evaluar los modelos a distintas escalas espaciales, tratando de estimar la escala para la cual el modelo tiene valor añadido. En la figura 10 se muestra el *Fractional Skill Score* (EBERT, 2017) calculado para distintas intensidades y para distintas escalas. Las predicciones se comparan con el análisis de precipitación realizado a partir de la red de estaciones de AEMET (PERAL *et al.*,

2017). El problema con este análisis es que la resolución espacial es del orden de 20 a 30 km, menor que la resolución nominal de los modelos. La verificación se ha realizado utilizando el paquete de verificación HARP, incluido dentro del sistema de predicción HARMONIE-AROME (ZINGERLE *et al.*, 2018). En la gráfica se aprecia que el ciclo 40 produce valores más altos del FSS (mejores resultados) que el ciclo 38 para todas las categorías y para todas las escalas estudiadas. Por otra parte se ve que al aumentar el tamaño de la escala analizada mejoran los resultados, aunque al pasar de 40 a 50 km el incremento es poco significativo. A la vista de los resultados, podemos concluir que la escala efectiva para la precipitación debe de estar en torno a los 50 km.

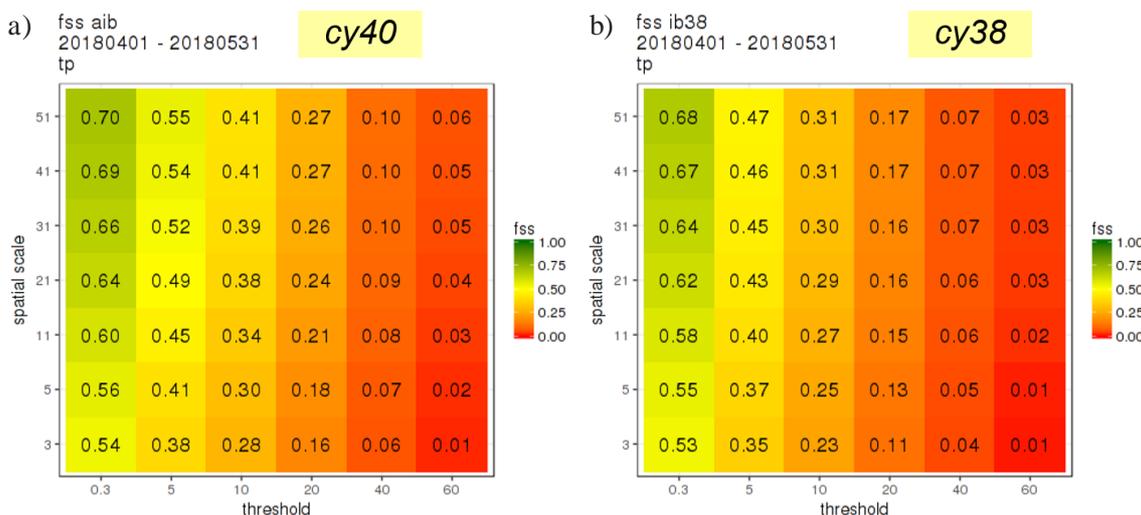


Figura 10. *Fractional Skill Score* (verificación espacial) para el periodo abril-mayo de 2018 utilizando el análisis de la precipitación de la red de estaciones de AEMET. Se comparan las versiones 38 y 40 de HARMONIE-AROME y la verificación se separa para distintas categorías de precipitación y para distintas escalas espaciales.

7. CONCLUSIONES

La convección es uno de los fenómenos meteorológicos más difíciles de predecir. Los modelos numéricos no hidrostáticos que se integran a escalas convectivas o *convection-permitting* han supuesto una mejora significativa en la simulación de la convección comparados con los modelos de escala sinóptica, que necesitan parametrizar la convección profunda. Como ejemplo, HARMONIE-AROME reproduce mejor el ciclo diurno de la precipitación que el ECMWF, que tiende a adelantarla. Al mismo tiempo estos modelos han supuesto en cierta medida un cambio de paradigma, ya que la variabilidad a estas escalas es mucho mayor y disminuye la predecibilidad, siendo necesarias las aproximaciones probabilistas.

Se estudia el comportamiento de los modelos HARMONIE-AROME y ECMWF en la predicción de los fenómenos convectivos, utilizando métodos objetivos como la verificación puntual y la verificación espacial, así como métodos subjetivos. Se ha mostrado que la verificación espacial es más adecuada que la verificación puntual, la cual no es adecuada para comparar modelos de distintas resoluciones (problema de la doble penalización). El problema con la verificación espacial es que la resolución de las observaciones pluviométricas es baja comparada con la de los modelos que queremos evaluar. Para este estudio, el uso de los productos de radar sería más apropiado, ya que las observaciones tienen buena resolución espacial. Sin embargo, también tendríamos que tener en cuenta los problemas de calibración y de ruido de estas medidas.

El estudio también muestra que la predecibilidad disminuye bastante para fenómenos convectivos, para los que es recomendable recurrir a métodos probabilísticos. En este sentido las diferencias entre los ciclos 38 y 40 de HARMONIE nos dan una idea de la predecibilidad de las distintas situaciones meteorológicas. En

promedio el ciclo 40 obtiene mejores resultados que el ciclo 38, tanto con la verificación puntual como con la verificación espacial. El ciclo 38 tiende a producir más actividad convectiva y también a producir más falsas alarmas. No obstante, en periodos particulares cualquiera de las versiones puede ser mejor que la otra lo que da idea de la incertidumbre del fenómeno. Otro resultado interesante es que la resolución efectiva de HARMONIE para la precipitación parece estar en torno a los 50 km.

REFERENCIAS

BENGTSSON, L. *et al.*, 2017. The HARMONIE-AROME Model Configuration in the ALADIN-HIRLAM NWP System. *Monthly Weather Review*, 145, 5, 1919-1935.

CALVO, J., MARTÍN, D., MORALES, G. y VIANA, S., 2018. HARMONIE-AROME, modelo operativo de escala convectiva de AEMET. Parte I: Modelo de predicción y validación. XXXV Jornadas Científicas de la AME. doi: <https://doi.org/10.30859/ameJrCn35>.

DÍEZ, M., SÁNCHEZ, J. y CAMPINS, J., 2018. HARMONIE-AROME, modelo operativo de escala convectiva de AEMET. Parte II: Asimilación de datos. XXXV Jornadas Científicas de la AME. doi: <https://doi.org/10.30859/ameJrCn35>.

PERAL, C., NAVASCUÉS, B. y RAMOS, P., 2017. Serie de precipitación diaria en rejilla con fines climáticos. Nota técnica 24 de AEMET. Disponible en <http://www.aemet.es>.

ZINGERLE, C., DECKMYN, A., SASS, B. y SINGLETON, A., 2018. HARP status and plans. Joint 28th ALADIN Workshop & HIRLAM All Staff Meeting. http://www.umr-cnrm.fr/aladin/IMG/pdf/harp_status_toulouse_2018.pdf.

EBERT, E. E. *et al.*, 2017. WWRP/WGNE Joint Working Group on Forecast Verification Research. <http://www.cawcr.gov.au/projects/verification>.