

EL SISTEMA DE PREDICCIÓN POR CONJUNTOS PARA EL CORTO PLAZO DEL INM (SREPS)

José A. García-Moya⁽¹⁾, Alfons Callado⁽¹⁾, Carlos Santos⁽¹⁾, Daniel Santos-Muñoz⁽¹⁾, Juan Simarro⁽¹⁾

⁽¹⁾ Instituto Nacional de Meteorología, j.garciamoya@inm.es

1. INTRODUCCION

La atmósfera es un sistema altamente no lineal que presenta una conducta caótica. Esto hace que la predecibilidad, o sea, la capacidad de la atmósfera de ser predicha, varíe de unas situaciones a otras. De acuerdo con la teoría de Lorenz del caos atmosférico, según que el estado presente de la atmósfera se encuentre más o menos lejos de sus atractores así será la predecibilidad.

La historia de la predicción numérica del tiempo se ha basado en la integración de modelos que representan las ecuaciones diferenciales que simulan el comportamiento de la atmósfera. Sin embargo, en los últimos años se ha comprobado como la calidad de estos modelos tenía un comportamiento asintótico, es decir, cada vez es más difícil mejorar la calidad de los modelos.

En los años 80 el Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF) empezó a estudiar el tema de la predecibilidad de la atmósfera y de cómo podía medirse ésta. Se empezaron a hacer experimentos con conjuntos de integraciones del modelo numérico que partían de estados iniciales ligeramente diferentes unos de otros. El resultado es una población de modelos con los que se hacen predicciones de parámetros meteorológicos en forma probabilística.

Entonces se conocen como modelos deterministas aquéllos que se integran una sola vez para cada predicción partiendo de un estado inicial único calculado a partir de las observaciones. Con estos modelos se obtiene una única predicción para cada lugar.

El Sistema de Predicción por Conjuntos o "Ensemble Prediction System" (EPS) del ECMWF se puso operativo en los años 90 y su objetivo es la predicción probabilística a medio plazo, o sea, entre 3 y 10 días. Esta misma técnica se aplica a las predicciones estacionales que se hacen también en el centro.

Sin embargo, los modelos deterministas no sólo son inadecuados para el medio plazo, sino que también, y dependiendo del fenómeno que queremos predecir, pueden serlo en el corto plazo. Por ejemplo, en el caso de la precipitación, que es una variable de

distribución altamente irregular en el espacio y en el tiempo, los sistemas de predicción por conjuntos pueden ayudar a mejorar las predicciones incluso en el corto plazo.

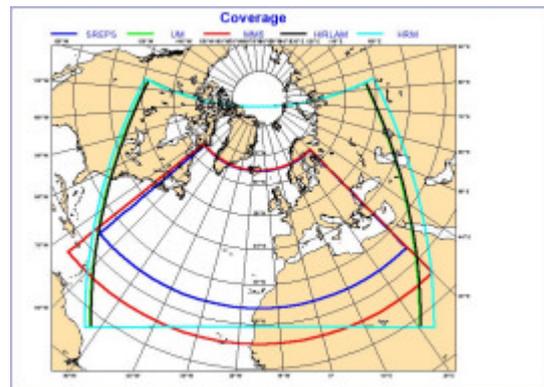


Fig. 1.- Areas de los modelos en SREPS

El Instituto Nacional de Meteorología decidió en 2003 poner en marcha un sistema de predicción por conjuntos para el corto plazo (SREPS), o sea, entre 0 y 72 horas de predicción. Después de unos estudios previos se decidió usar la técnica multimodelo como herramienta más conveniente para un sistema adecuado al corto plazo y tendente a la predicción de fenómenos de precipitación convectiva intensa como los que ocurren en otoño en la costa mediterránea española.

2. PRODUCTOS DETERMINISTAS

El sistema está completamente desarrollado y se integra operativamente una vez al día (00 UTC) y hasta 72 horas. Se basa en la integración de cinco modelos de área limitada, a saber, HIRLAM, HRM (del DWD, el Instituto Meteorológico de Alemania), MM5, UM (del UKMO, el Instituto Meteorológico Británico) y LM (del consorcio COSMO). Como condiciones iniciales y de contorno se usan los campos de cuatro modelos globales, a saber, ECMWF, GME (del DWD), NCEP y UM (del UKMO). La combinación produce una población de 20 miembros con lo que se generan las predicciones probabilísticas. El modelo LM está en fase de implementación.

Los modelos se integran con una resolución horizontal de unos 25 Km y 40 niveles en la vertical.

En la figura 1 se observan las áreas de integración de los diferentes modelos usados en el SREPS.

El seguimiento del sistema se hace a través de un servidor web, en la intranet del INM, en el que se presentan cada día tanto los resultados deterministas de los miembros como los productos probabilísticos deducidos del sistema.

Las salidas deterministas consisten en la predicción de cada uno de los modelos de área limitada con cada una de las condiciones de contorno dadas por los modelos globales. Se obtienen para cada miembro las predicciones cada 3 horas del geopotencial, temperatura, humedad específica, viento (a distintos niveles isobáricos) y variables en superficie (como precipitación y nieve convectiva y de gran escala, temperatura y humedad a 2 metros, viento a 2 metros). Estas predicciones se almacenan en una base de datos. Esta base de datos permite realizar los productos probabilistas propios del sistema además de verificaciones de todo tipo.

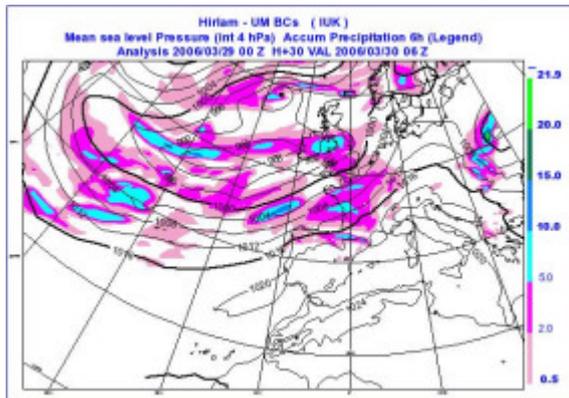


Fig. 2.- Precipitación acumulada en 6 horas prevista por el modelo Hirlam con condiciones de contorno del modelo UM.

3. PRODUCTOS PROBABILISTICOS

Los productos probabilísticos se calculan a partir del conjunto de predicciones deterministas. En éstos se indica la probabilidad estimada de que ocurra algún suceso meteorológico. Los sucesos se han escogido en función de su relevancia en la predicción de fenómenos adversos. Actualmente se realizan predicciones probabilísticas de precipitaciones acumuladas en 6 horas superiores a 1, 5, 10 y 20 mm, viento medio a 10 metros superior a 10, 15 y 20 m/s, variaciones, tanto positivas como negativas, de la temperatura a 2 m en 24 horas superiores a 2, 6 y 12 °C. Está previsto incorporar la predicción de nieve.

La estimación de la probabilidad se calcula dividiendo en cada caso el número de salidas deterministas que dan como cierto un determinado suceso (en cada punto de rejilla y cada 3 horas) entre

el número total de predicciones deterministas de que se disponga. El sistema incorpora una corrección de desviación sistemática y un procedimiento estadístico (Bayesian Model Average) que optimiza la asignación de probabilidades en función de la habilidad de cada modelo. Este ajuste está en fase de implementación.

Previamente al cálculo de las probabilidades se interpola horizontalmente las salidas de cada uno de los modelos deterministas en un área común.

En la figura 3 se da la probabilidad de precipitación acumulada en 6 horas superior a 5 mm correspondiente al área de la Península Ibérica. En este caso se observa que más de un 90% de los modelos dan como cierto que se superen 5 mm en 6 horas en un área del noroeste peninsular, mientras que en áreas del Atlántico la probabilidad se queda por debajo del 40%. Corresponde a un frente frío de poca actividad.

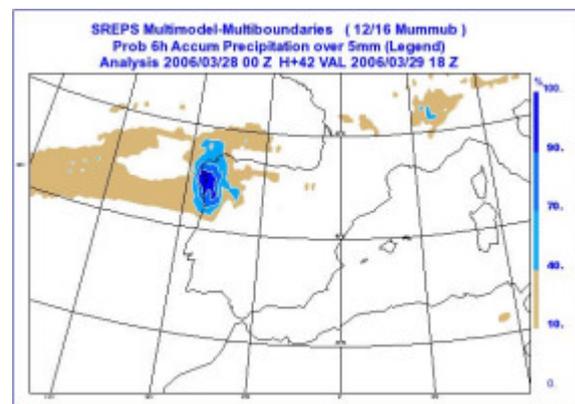


Fig. 3.- Probabilidad de precipitación acumulada en 6 horas superior a 5 mm

4. VERIFICACION

La verificación se realiza comparando los productos que proporcionan tanto los modelos deterministas como las probabilidades obtenidas a partir de estos con los análisis del ECMWF. Se está trabajando en una verificación contra observaciones.

La verificación de los modelos deterministas se realiza diariamente sobre algunos parámetros típicos, actualmente geopotencial y temperatura en 500 hPa, y presión reducida a nivel del mar. No obstante, dado que se dispone de una base de datos, se puede realizar una verificación más exhaustiva. La verificación diaria permite una monitorización de los modelos, y es una herramienta muy útil en el desarrollo del sistema.

En este trabajo se muestra una verificación de dos meses, Enero y Febrero de este año. Dicha verificación muestra que los resultados del sistema son muy prometedores, sobre todo en lo que respecta

a calibración de la población y verificación de las predicciones probabilísticas.

En la figura 4 se observa la verificación del geopotencial en 500 hPa correspondiente al 24 de marzo de 2006. Cada color representa un modelo, y cada figura (triángulo, círculo, cruz, rombo) una condición de contorno. Se proporciona el error cuadrático medio y la tendencia para los alcances 0, 24, 48 y 72 horas. El error cuadrático medio se calcula a partir de la suma de los cuadrados de las diferencias entre las predicciones y el análisis para cada punto de rejilla del área de verificación, y por tanto es una medida de la desviación de la predicción respecto del análisis verificante. La tendencia es la diferencia entre los valores medios en el área de verificación de las predicciones y del análisis, de manera que un valor positivo indica que la predicción da un valor más alto por término medio y lo contrario en caso de ser un valor negativo.

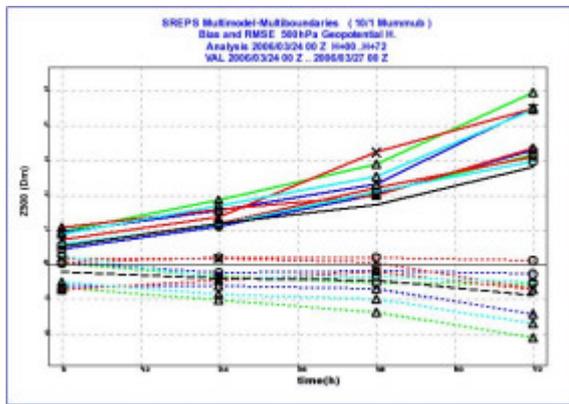


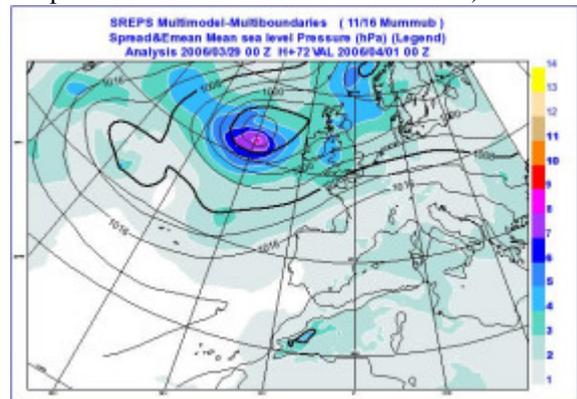
Fig. 4.- Verificación determinista de geopotencial en 500 hPa, error cuadrático (rmse) y tendencia (bias).

Se hace mayor énfasis en la verificación de los productos probabilísticos. En la monitorización del sistema se dispone diariamente de verificaciones probabilísticas. Un primer paso a la hora de evaluar una situación concreta es estimar la dispersión del conjunto de miembros deterministas y la predicción media. Para este fin se han escogido el geopotencial en 500 hPa y la presión en superficie. En la figura 5 se observa la dispersión en escala de colores y el valor medio de la presión a nivel del mar en línea continua para un alcance de 72 horas correspondiente al 29 de marzo de 2006. Las mayores dispersiones se dan en los sistemas de bajas presiones y vaguadas en altura, indicando que son los menos predecibles. Los sistemas de altas presiones son mucho más predecibles, con dispersiones muy bajas. En la figura 5 se observa una

baja en superficie al oeste de las Islas Británicas con un máximo de dispersión de 8 hPa.

La verificación propiamente dicha se realiza diariamente con una serie de índices de verificación propios de predicciones probabilísticas. Se han escogido histogramas de rango o de Talagrand, diagramas de dispersión-destreza, diagramas de fiabilidad y curvas ROC entre otros.

Los diagramas de Talagrand son útiles para evaluar cuando un conjunto de predicciones deterministas se ajusta a la misma distribución de probabilidad que la verificación (en este caso los análisis del ECMWF). Constituyen una buena medida del realismo de un conjunto. Se generan ordenando para cada punto de rejilla los valores de una variable dada (por ejemplo temperatura en el nivel de 500 hPa) de las



predicciones de cada miembro, obteniéndose un total de 17 rangos en el caso de disponer de 16 miembros. El análisis verificante pertenece necesariamente a un solo rango. El diagrama de Talagrand es el histograma de los rangos del análisis verificante.

Fig. 5.- Dispersión (spread) y valor medios (emean) de la presión reducida a nivel del mar para un alcance de 72 horas correspondiente al 29 de marzo de 2006

Un conjunto ideal sería aquel en el que el análisis verificante es un candidato a ser un miembro más, lo cual implica que el diagrama de Talagrand deber ser plano en este caso. Un conjunto con poca dispersión tiene un diagrama de Talagrand en forma de U, mientras que uno con excesiva dispersión tiene forma de campana de Gauss.

En la figura 6 se observa el diagrama de Talagrand correspondiente al período de Enero y Febrero de 2006 del geopotencial en 500 hPa para un alcance de 24 horas. Es un buen resultado, indicando una dispersión equilibrada.

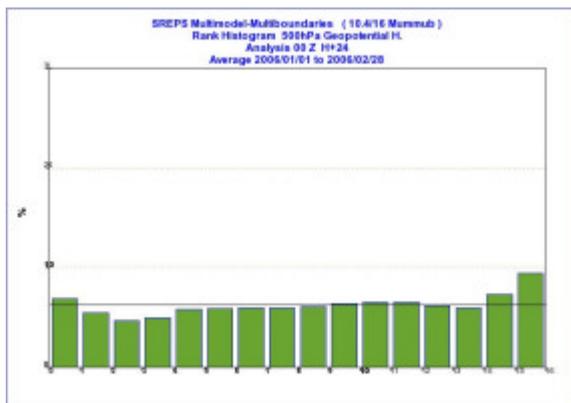


Fig. 6.- Histograma de rango o Talagrand, correspondiente al período de Enero y Febrero de 2006, geopotencial en 500 hPa, alcance 24 horas.

Otra medida interesante es estimar la relación entre la dispersión del conjunto y el error cuadrático medio. Se demuestra (1) que en un conjunto idealizado (en el que el análisis verificador no se distingue de un miembro del conjunto desde el punto de vista estadístico) la dispersión es similar al error cuadrático de la predicción media (promedio de la población).

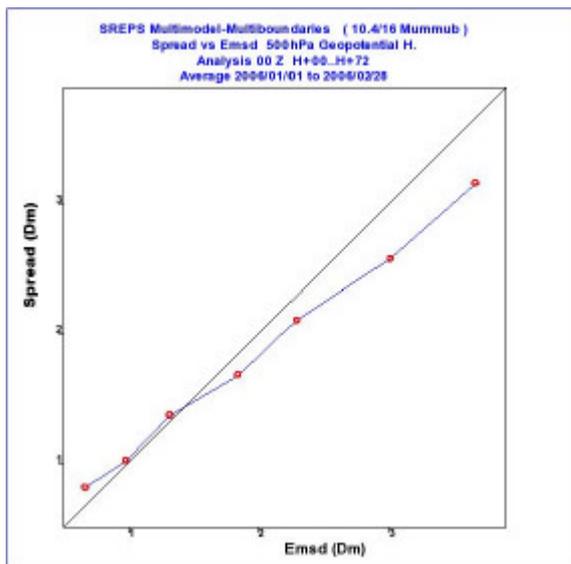


Fig. 7.- Diagrama de error cuadrático medio y dispersión, correspondiente al período de Enero y Febrero de 2006, geopotencial en 500 hPa, alcances 0, 12, 24, 36, 48, 60 y 72 horas.

Nuevamente, la verificación correspondiente a los meses de Enero y Febrero de 2006 indica una buena relación entre dispersión y error cuadrático de la predicción media. La dispersión es en este caso, ligeramente inferior al error cuadrático medio a partir de predicciones a 48 horas, y ligeramente superior por debajo de 12 horas.

Otro aspecto a tener en cuenta es la relación entre las falsas alarmas y los aciertos. Un sistema de predicción fiable debe dar pocas falsas alarmas, al

tiempo de tener un buen porcentaje de aciertos. La importancia de este equilibrio se acentúa en casos de tener que predecir sucesos cuya frecuencia de ocurrencia es baja, como son los fenómenos adversos.

Para evaluar este aspecto en sistemas de predicción probabilísticos son útiles los diagramas ROC (del inglés 'relative operating characteristic'). Un buen sistema de predicción probabilístico es aquel en el que la curva se acerca mucho a la esquina superior izquierda, sistema ideal con frecuencia de falsas alarmas 0 y frecuencia de aciertos 1. El área entre la curva ROC y el eje de falsas alarmas es una medida de la destreza de las predicciones.

Además, el diagrama ROC permite una comparación entre un sistema de predicción probabilístico (representado por una curva en el diagrama) y uno determinista (representado por un punto). Si el sistema determinista queda por encima de la curva ROC, este se puede considerar mejor que el probabilista. No obstante en términos prácticos, un sistema probabilístico proporciona una información muy útil imposible de obtener de un sistema determinista (por ejemplo, el valor relativo).

En la figura 9 se presenta la curva ROC (para el período de Enero y Febrero de 1996) de la precipitación acumulada en 24 superior a 20 mm para un alcance de 48 horas.

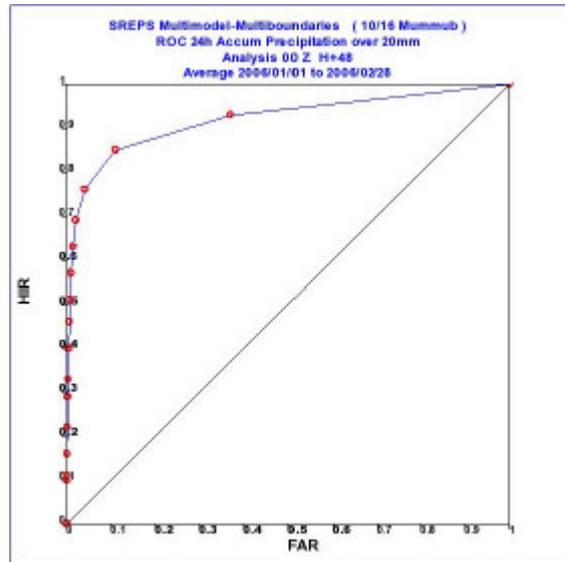


Fig. 9.- Diagrama ROC para la precipitación acumulada en 24 horas correspondiente al período de Enero y Febrero de 2006 y alcance de la predicción de 48 horas. FAR es la frecuencia de falsas alarmas y HIR la frecuencia de aciertos.

Un factor complementario a la curva ROC es la fiabilidad (1). En un diagrama de fiabilidad se representa la frecuencia con la que se observa un suceso (condicionada a que se haya predicho) frente a la probabilidad con la que se predice. En la figura 10 se observa el diagrama de fiabilidad para la

predicción de precipitación acumulada en 24 horas superior a 20 mm, indicando una buena fiabilidad, si bien, en este caso el sistema es ligeramente sobrepredictivo (la curva está por debajo de la diagonal).

5. CONCLUSIONES

El método empleado permite disponer de una representación razonable tanto de los errores del modelo como en las condiciones iniciales y de contorno. Los errores del modelo vienen dados en el uso de diversos modelos de área limitada (HIRLAM, HRM, MM5, UM y LM), y la incertidumbre de las condiciones iniciales y de contorno en los modelos deterministas globales (ECMWF, AVN, GME y UM). Los resultados que se obtienen son esperanzadores, y mejoran los de trabajos similares (1,2).

Las desventajas de este método es la dificultad de su implementación operativa (varios modelos que deben mantenerse operativamente y actualizarse cada cierto tiempo), de manera que es caro en términos de recursos humanos. A diferencia de otros sistemas de predicción por conjuntos, no se dispone de experimento de control.

En el futuro se realizarán dos pasadas diarias (00 y 12 UTC), y se incluirá el modelo LM. Se está trabajando en eliminar la tendencia y calibrar el conjunto con la técnica bayesiana BMA. La verificación se ampliará con el uso de observaciones, no sólo análisis del ECMWF.

(1) D. Hou, E. Kalnay, K. Droegmeier, 2001: Objective Verification of the SAMEX '98 Ensemble Forecasts

(2) T. N. Palmer et al., 2004: Development of a european multimodel ensemble system for seasonal-to-interannual prediction (DEMETER)

(3) E. Kalnay, 2003: Atmospheric Modeling, Data assimilation and predictability, Cambridge University Press.

(4) I. T. Jolliffe, D. B. Stephenson, 2003: Forecast Verification.

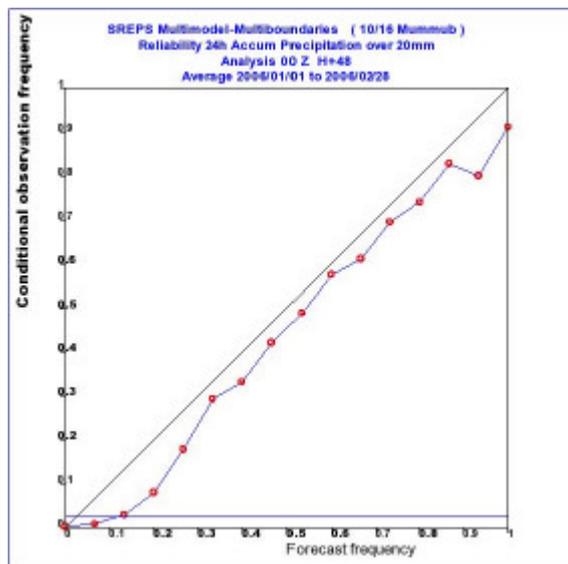


Fig. 10.- Diagrama de fiabilidad para la precipitación acumulada en 24 horas correspondiente al período de Enero y Febrero de 2006 y alcance de la predicción de 48 horas.

6. BIBLIOGRAFIA