

APLICACIÓN DEL MÉTODO DE MONTECARLO A LA PREDICCIÓN NUMÉRICA DEL TIEMPO (*)

J. A. García-Moya
E. Rodríguez

(Servicio de Predicción Numérica, -INM-)

RESUMEN

Debido al desarrollo alcanzado por los modelos de predicción numérica del tiempo se ha llegado a un punto en el que la principal fuente de error de dichos modelos tiene que ver con la incertidumbre en las condiciones iniciales. Para tratar de paliar esta fuente de error sistemático se han experimentado diversos métodos. El que da mejores resultados es el llamado "Método de predicción mediante poblaciones ('Ensemble prediction')". En esta comunicación se trata de explicar someramente los fundamentos del método así como los productos de información al predictor que parecen resumir mejor la información contenida en la población.

1. Introducción.

El desarrollo de los modelos de predicción numérica del tiempo durante las pasadas décadas ha corrido parejo al de los grandes ordenadores. A medida que salían al mercado nuevos ordenadores más potentes las técnicas de discretización y las parametrizaciones físicas introducidas en los modelos hacían que los errores de éstos disminuyeran notablemente.

Al mismo tiempo se ampliaba el período de predicción de manera que, actualmente, varios centros en el mundo (entre ellos el Centro Europeo) hacen predicciones operativas de hasta diez días.

Sin embargo, a pesar de la mejora continua en las técnicas de discretización y en las parametrizaciones físicas, la curva de mejoras de los modelos empieza a hacerse asintótica. Es decir,

que cada vez es más difícil obtener rendimientos notables con las nuevas versiones de los modelos numéricos.

De acuerdo con esto se ha empezado a estudiar el problema de la predicción del tiempo a medio plazo bajo el prisma de la **predictabilidad de la atmósfera**, es decir, se ha empezado a pensar que por mucho que los ordenadores se hagan rápidos y potentes y por mucho que se mejoren los modelos, la atmósfera tiene un componente intrínseco que la hace, hasta cierto punto impredecible.

A partir del trabajo clásico de *Lorenz (1965)* en el que se estudia la conducta caótica de un sistema físico regido por un tipo especial de ecuaciones diferenciales que pueden hacerse corresponder con las que rigen la atmósfera (*E. Rodríguez y J. A. García-Moya, 1992*) se llegó a la conclusión de que la conducta caótica de la

(*) En la separata de este volumen hay varias imágenes en color correspondientes a esta comunicación.

atmósfera está muy relacionada con la incertidumbre en las condiciones iniciales y con el período de predicción.

Desde el punto de vista de la predicción del tiempo a medio plazo la incertidumbre principal proviene de las condiciones iniciales (*Molteni y Palmer, 1992*).

Si tenemos en cuenta la irregular cobertura de las observaciones a lo largo de la superficie del globo (mucho menor densidad en el Hemisferio Sur y sobre los océanos) y las diferencias entre los equipos de inedita utilizados para realizar aquéllas llegamos a la conclusión de que los análisis objetivos que sirven para inicializar las integraciones de los modelos no representan más que aproximadamente el estado real de la atmósfera en ese momento. Teniendo en cuenta que pequeñas diferencias entre el análisis objetivo y la atmósfera pueden amplificarse durante el período de predicción dando campos previstos completamente erróneos, es necesario abordar el problema de la predicción a medio plazo desde un punto de vista diferente.

Se trataría entonces de realizar no una sino varias integraciones del modelo partiendo de diferentes condiciones iniciales obtenidas todas ellas añadiendo perturbaciones al análisis objetivo e integrar los resultados de dichas integraciones de manera que puedan resultar útiles a los predictores operativos.

Esto es lo que se conoce con el nombre de **predicción mediante poblaciones** (*ensemble prediction*). En esta comunicación vamos a tratar de explicar el fundamento teórico de este modelo y a mostrar algunos de los productos que tratan de resumir la información contenida en la población de integraciones del modelo.

La comunicación se basa principalmente en el trabajo que en el Centro Europeo viene desarrollando la Sección de Predictabilidad y que se explica con todo detalle en *Palmer y otros, 1992*.

Lo que queremos es explicar la técnica de manera comprensible para el predictor operativo y que, al mismo tiempo, empiece a familiarizarse con los productos usuales de ella, ya que, en el invierno de 1992-93 el Centro Europeo va a realizar un experimento operativo que consistirá en la realización, dos veces por semana, de un conjunto de 32 integraciones del modelo y la difusión a los países miembros de algunos productos seleccionados que resuman la información de la población.

2. Predicción mediante poblaciones (Ensemble prediction).

Se trata entonces de realizar un conjunto de integraciones de un modelo de predicción a partir de condiciones iniciales generadas como perturbaciones del análisis.

En principio, por tanto, no parece más que un problema de tiempo de cálculo ya que por lo demás no son más que varias integraciones del modelo. Sin embargo, el problema surge cuando se plantea la manera de elegir dichas condiciones iniciales.

Si se obtienen éstas sumando al análisis perturbaciones generadas al azar, éstas deberían ser infinitas, ya que si no no podemos asegurar que se han tenido en cuenta todas las posibilidades. Estudios hechos de esta manera, aunque con un número finito de elementos, han demostrado que no existe buena correlación entre los errores del modelo y los resultados de poblaciones construidas con condiciones iniciales a partir de perturbaciones generadas al azar.

Entonces lo que se plantea es la manera de elegir adecuadamente las condiciones iniciales de la población de manera que ésta sea lo menos numerosa posible, pero al mismo tiempo contemple las principales incertidumbres del análisis objetivo que pueden amplificarse durante el período de predicción. Es evidente que la solución a este problema se obtiene si se perturban los modos más inestables presentes en el análisis, o sea, aquéllos que más se van a amplificar durante la integración.

Para encontrar dichos modos es necesario hacer una primera integración del modelo a partir del análisis objetivo. Lógicamente esta integración inicial debe hacerse, no con el modelo operativo, sino con el modelo con el que van a hacerse las integraciones de los miembros de la población.

Es evidente, que lo mejor sería que todas las integraciones del método se hicieran con la versión operativa del modelo, pero eso resulta imposible desde un punto de vista operativo ya que el tiempo total del proceso sería enorme. Entonces la solución está en elegir un modelo: más sencillo que en el caso del experimento del Centro Europeo sería el T63L19 o el T106L19. Otra alternativa sería el uso de un modelo cuasigeostrofico (T21L3, p. ej.) o la combinación de ambos.

El diagrama de flujo de todo el proceso se muestra en la Figura 1, para el caso del experimen-

to del Centro Europeo. Como se ve en ella el proceso comienza con la integración a partir del análisis objetivo de un modelo cuasigeostrófico (T21L3) para obtener alrededor de 1.500 vectores propios de la matriz de evolución de los diferentes campos, de ellos se seleccionan los 32 que dan lugar a los modos más inestables, de la situación meteorológica (esta selección puede hacerse de acuerdo con el área, o con cualquier otro criterio). Después se ponderan de acuerdo con los errores del proceso de interpolación óptima (OI) y con los errores conocidos del "first guess" para obtener 64 perturbaciones del análisis objetivo.

Con este sistema de perturbaciones se realizan 64 integraciones del modelo cuasigeostrófico dándose una predicción del error de la predicción operativa a partir de la dispersión de

los miembros de esta población (el método detallado de cálculo de este índice lo explicaremos en el apartado siguiente).

Con la información proporcionada por esta población inicial de integraciones cuasigeostroficas se hace un análisis *cluster* para obtener las 32 perturbaciones que más influyen en la evolución de la situación meteorológica en particular y entonces se re'alizan las integraciones con el modelo de ecuaciones primitivas para obtener la población definitiva.

A partir de ésta se obtienen los productos de *post-proceso* que van a servir para informar sobre la bondad de la predicción operativa que se ha realizado a partir del análisis objetivo. Dichos productos se detallan en el siguiente apartado.

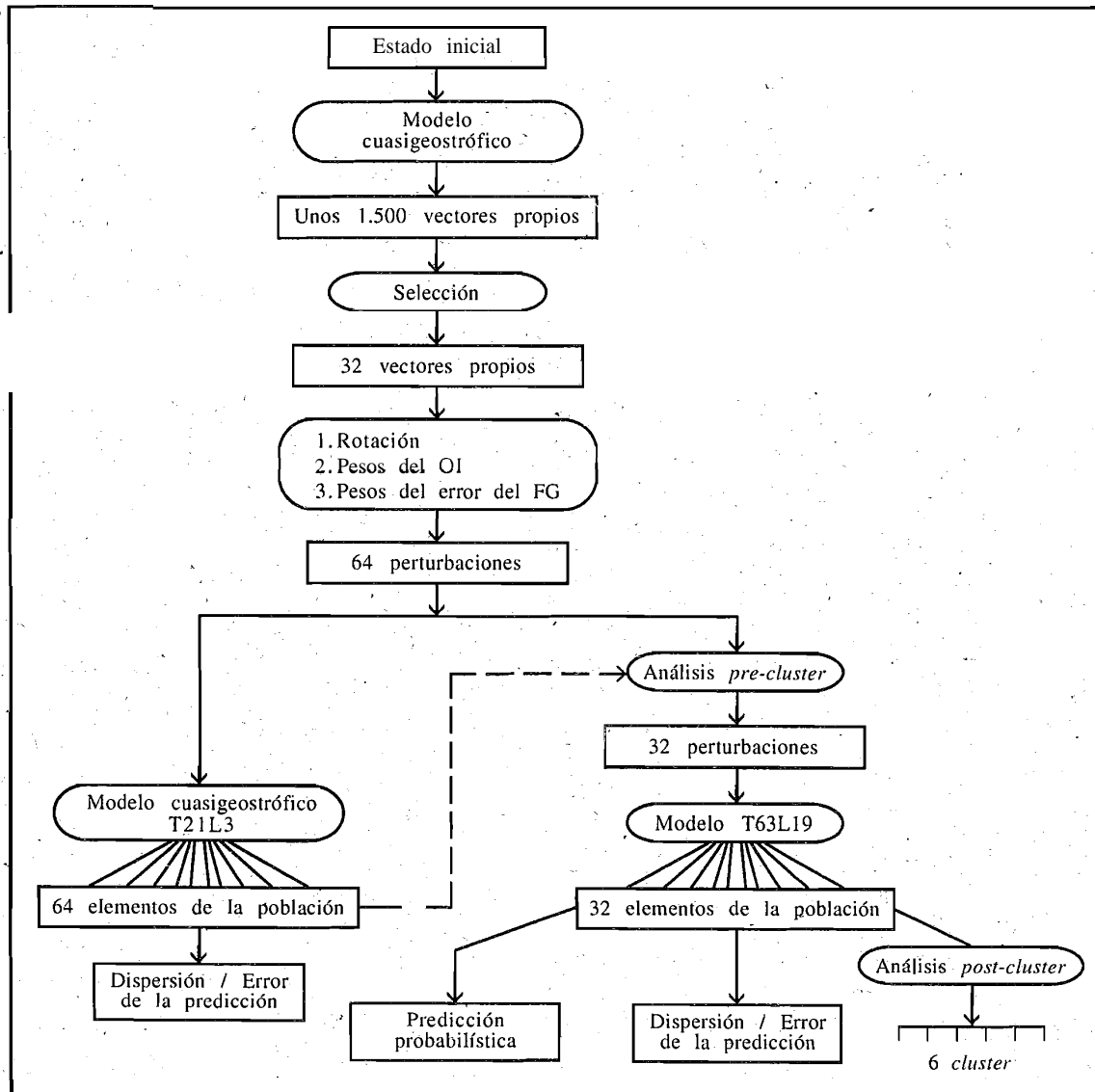


Figura 1.- Diagrama de flujo del proceso de construcción de una predicción mediante poblaciones

3. Productos de información al predictor operativo.

Teniendo en cuenta lo que se ha explicado en el apartado anterior, lo primero que se nos ocurre como índice de información sobre la población es la difluencia de sus miembros, es decir, la diferencia entre los campos previstos con cada una de las condiciones iniciales. Desde un punto de vista cualitativo está claro que si las predicciones de la población son muy diferentes significa que el resultado de la predicción operativa es muy dependiente de las condiciones iniciales y, teniendo en cuenta la incertidumbre de éstas, lo más probable es que el error sea mayor. Por otra parte, si las predicciones de la población son muy parecidas significa que la predicción operativa depende poco de las condiciones iniciales y, por tanto, lo más probable es que el error de la predicción sea pequeño (Figura 2).

Es evidente que lo anterior no es una medida exacta del error de la predicción sino una predicción del valor de éste y, como tal predicción, puede ser inexacta.

En la práctica, para calcular esta predicción del error de la predicción lo que se hace es calcular las trayectorias de los miembros de la población en el espacio de las fases y después la distancia entre las distintas trayectorias. Estas distancias se relacionan con un índice de bondad de la predicción operativa.

Este índice, sin embargo, se considera muy pobre para la cantidad de información que resume por lo que se han ideado otros tipos de productos que pueden dar más información al predictor operativo sobre los miembros de la población. Estos productos son: mapas de parámetros sinópticos, Predicciones de variables meteorológicas en un lugar determinado, parámetros meteorológicos en forma probabilística y mapas de distribución de probabilidad de las desviaciones de los campos respecto de la climatología.

3.1. Mapas de parámetros sinópticos.

De todos los productos obtenidos en la integración de los elementos de la población se eligen algunos campos sinópticos (por ejemplo, geopotencial de 500 hPa, temperatura de 850 hPa, etc.) y algunos períodos de predicción significativos (p. ej., 5 días) y se aplica un análisis cluster

de manera que los 32 elementos de la población y la predicción operativa se agrupan en 4 ó 6 cluster de manera que se presenten sólo los campos medios de dichos cluster (ver Imágen B6-1, en la separata del libro) junto con una información sobre la varianza de los miembros de dicho cluster y el número de elementos de la población agrupados en él. Asimismo, se señala en cuál de los cluster se encuentra la predicción operativa. De esta manera se tiene una información de cómo están agrupados los elementos de la población y cuáles son las alternativas más probables de la evolución de la situación. En el caso particular de la mencionada Imágen B6-1 puede verse que los cluster 1 y 2 agrupan respectivamente a 15 y 14 miembros de la población, estando la predicción operativa dentro del cluster 1.

De esta manera puede afirmarse que la evolución más probable es la dada por la predicción operativa quedando pequeñas posibilidades de que la dorsal cálida penetre hasta Francia (cluster 3) y de que la vaguada fría alcance de lleno a la Península (cluster 4).

3.2. Predicciones en un lugar determinado de variables meteorológicas.

Se trata de presentar productos como el de la Imágen B6-2 (en la separata del libro), en la que puede verse la evolución durante los diez días de la integración de la temperatura de 850 hPa en tres lugares determinados definidos por sus coordenadas geográficas. Se dibujan además las curvas que encierran el 90, 70 y 50% de los elementos de la población de manera que puede verse perfectamente si la integración operativa sigue o no el camino marcado por la mayoría de los elementos de la población y tomar una decisión en consecuencia.

3.3. Parámetros meteorológicos en forma probabilística.

En la Imágen B6-3 (en la separata del libro), se presenta un mapa con gráficas en lugares determinados que representan la probabilidad respecto de los elementos de la población de que una determinada variable se desvíe de su valor climatológico (hacia valores menores y mayores). En las gráficas individuales se presenta también el valor dado por la predicción de control y por el análisis de verificación.

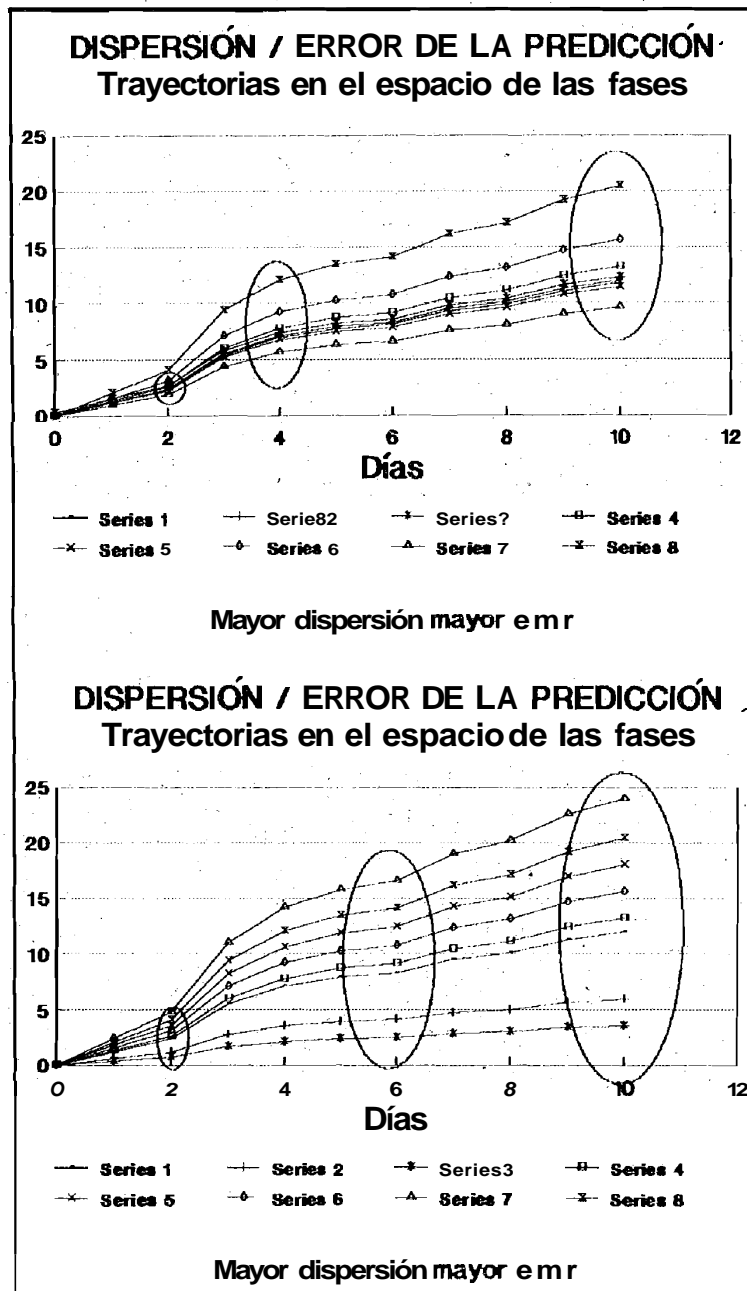


Figura 2.- Relación entre la dispersión de los elementos de una población en el espacio de las fases y el error previsto de la predicción de control

3.4. Mapas de distribución de probabilidad de desviaciones del parámetro respecto de la climatología.

En la Imagen B6-4 (en la separata del libro) se presenta como ejemplo de este tipo de productos el mapa de la distribución de probabilidad de que la temperatura de 850 hPa esté diez grados por encima y por debajo del valor climatológico en cada punto de rejilla. Asimismo se presentan los mapas de anomalías de la predicción de control y del análisis correspondiente.

Conclusiones.

- La predicción a medio plazo mediante poblaciones se presenta como el mejor método para evitar la incertidumbre que las condiciones iniciales introducen en las integraciones de modelos de predicción del tiempo.
- Con este método se persigue el doble fin de obtener una medida de la bondad de la predicción antes de la verificación y de enmarcar la predicción operativa en un rango de probabilidades.
- Se mantiene el problema de la cantidad de tiempo de cálculo que se necesita para hacer un conjunto de 32 integraciones de un modelo suficientemente aproximado al operativo (por ejemplo T106L31Cy36 en el caso del Centro Europeo).

Desarrollos futuros.

Los principales aspectos del método en los que se debe seguir investigando para mejorar los resultados son:

- El método para la elección de las perturbaciones de las condiciones iniciales.
- Cuando la capacidad de cálculo de los ordenadores aumente suficientemente, realizar las integraciones de la población con el mismo modelo operativo.
- Elaboración de productos de *post-proceso* que sean más útiles al predictor operativo para resumirle toda la información contenida en la publicación.

Referencias.

- Lorenz, E.N. (1965). *A study of the predictability of a 28-variable atmospheric model.*
- Molteni, F.; Palmer, T. (1992). *Predictability and non-modal finite-time instability of the northern winter circulation. Proceedings of ECMWF workshop on new developments in predictability.*
- Palmer, T. y otros (1992). *Ensemble prediction. Technical Memorandum, no. 188. 18 pp.*
- Rodríguez, E.; García-Moya, J.A. (1992). *Parametrizaciones, predecibilidad y modelo de Lorenz. En este libro.*