

INTERPRETACION DE LOS MAPAS DE PREDICCIÓN NUMÉRICA DEL TIEMPO A GRAN ESCALA PARA LA ELABORACION DE PREDICIONES LOCALES

SIMPOSIO DE VARSOVIA, 11 - 16 OCTUBRE 1976

Introducción

En gran número de países se emplean hoy en día los métodos numéricos para la predicción de las características a gran escala de la atmósfera para diversos períodos cronológicos. Los mapas obtenidos se utilizan ampliamente en la predicción de vientos en los niveles altos para la aviación, así como para estudios de contaminación; pero debido a que estos métodos sólo proporcionan las características a gran escala, cuando se requieren, además de los vientos, los detalles del tiempo local, es preciso recurrir a la interpretación técnica de dichos mapas. En los centros de predicción se dispone ya de muchos de estos mapas, que o bien se obtienen en el propio centro o se reciben a través del sistema mundial de telecomunicaciones (SMT) de la Vigilancia Meteorológica Mundial. Por ello, en los últimos años ha aumentado considerablemente el interés en la utilización eficaz de los mapas de predicción numérica del tiempo (PNT) para la elaboración de las predicciones locales. Teniendo en cuenta este interés, la vigesimoséptima reunión del Comité Ejecutivo (Ginebra, 1975) aprobó una propuesta de la Comisión de Ciencias Atmosféricas de organizar un simposio para ayudar a los meteorólogos que trabajan en los centros de predicción a familiarizarse con las técnicas recientemente desarrolladas de interpretación de los mapas de PNT a gran escala para la realización de predicciones a escala local.

Este simposio tuvo lugar en Varsovia del 11 al 16 de octubre de 1976, por amable invitación del representante permanente de Polonia en la OMM. Muchos de los trabajos indicaron las posibilidades actuales, las perspectivas futuras y las dificultades y peligros que es posible encontrar. Con objeto de poder resumir los puntos principales tratados en el simposio y formular recomendaciones para futuros estudios, al final se organizó una mesa redonda presidida por el Dr. L. Bengtsson, presidente del Comité de Programas del Simposio.

Sería imposible resumir en un breve artículo todos los trabajos presentados. Estos ya se han publicado (*Papers presented at the WMO Symposium on the Interpretation of Broad-scale NWP Products for Local Forecasting Purposes*. OMM — Núm. 450) y se pueden adquirir de la forma usual al precio de 30.— fr. suizos. Sin embargo, se ha intentado hacer una valoración de los temas presentados al simposio y describir los puntos tratados en la mesa redonda.

Mapas de predicción numérica del tiempo a gran escala.

En muchas de las oficinas de predicción de todo el mundo se dispone ya de mapas de predicción numérica del tiempo. El mapa consiste en

esencia en una predicción de las configuraciones de la circulación a gran escala para diversos períodos cronológicos y diversos niveles de la atmósfera. Los métodos numéricos se estudian desde hace ya muchos años, pero con la aparición del ordenador electrónico se han convertido en una realidad para la elaboración diaria de la predicción. Estos métodos utilizan las ecuaciones fundamentales del movimiento y de la termodinámica aplicadas a la atmósfera. En principio, es posible efectuar predicciones para todas las variables de la atmósfera: temperatura, viento, humedad, etc., pero en la práctica existen limitaciones tanto para el número de variables como para su densidad espacial. Esto es debido a varias razones: por una parte, los ordenadores tienen una capacidad limitada y por otra, la física de la atmósfera es excesivamente compleja. Teniendo en cuenta estas dos razones, resulta necesario limitar las predicciones a los sistemas atmosféricos en una escala sinóptica que tenga una resolución *máxima* de 50 a 100 kilómetros horizontalmente y de 50 a 100 mb verticalmente. A esta escala sinóptica, se puede admitir el equilibrio hidrostático, lo cual simplifica en parte las expresiones matemáticas.

Esta resolución, sin embargo, no es satisfactoria para la predicción de los parámetros del tiempo local. Incluso la hipótesis del equilibrio hidrostático no es válida cuando se trata de predecir los fenómenos locales del tiempo. Por ello, para la predicción de las características a mesoescala tales como nubes, visibilidad, etc., se requieren métodos numéricos diferentes. Sin embargo, suponiendo que se disponga de los métodos adecuados, las características previstas a escala sinóptica deberían servir de ayuda para la predicción a mesoescala.

Predicción del tiempo

La expresión «predicción del tiempo local» significa la predicción de los parámetros tales como nubosidad, precipitación, visibilidad y temperatura. En vista de las limitaciones antes mencionadas de los métodos numéricos, es necesario tratar en dos etapas el problema de la predicción del tiempo local. En primer lugar, hay que realizar la *predicción* de las características a gran escala o a escala sinóptica, y después, hay que *interpretar* los resultados anteriores para obtener los parámetros meteorológicos necesarios para preparar la predicción del tiempo local.

Para efectuar esta interpretación existen dos procedimientos fundamentales. El primero, requiere el desarrollo de modelos dinámicos a mesoescala con resolución muy fina. Estos modelos se utilizan en el ajuste de los resultados de la predicción a gran escala, introduciendo, por ejemplo, las condiciones específicas en los límites y las peculiaridades topográficas; estos modelos sirven simplemente para aumentar la precisión de los resultados obtenidos a gran escala, y no se pueden utilizar para predecir los fenómenos transitorios. El segundo procedimiento, consiste en la aplicación de métodos estadísticos en la interpretación de las predicciones numéricas a gran escala. En este caso, se emplean como predictores las observaciones locales y los parámetros previstos a gran escala, pero para usar este procedimiento es preciso disponer de predicciones numéricas de varios años. En general, un predictor local experimentado obtiene mejores resultados en predicciones de hasta doce horas, pero para períodos más largos el método estadístico da mejores resultados, con la ventaja adicional de

que permite determinar la probabilidad del acontecimiento que se espera. Tiene, en cambio, la desventaja de que no permite la predicción de acontecimientos extremos.

Además de estos dos procedimientos para resolver el problema de la predicción local, se han ideado otros métodos en que el predictor modifica directamente las predicciones numéricas para elaborar la predicción final. Para ésto puede ser precisa la intervención humana en la elaboración de la predicción a gran escala y también sobre los datos producidos por la máquina para efectuar las predicciones del tiempo local.

Desarrollo de técnicas de elaboración de modelos a mesoescala

La manera más atractiva de atacar el problema de la predicción del tiempo local es la de utilizar directamente las ecuaciones de predicción, pero, independientemente de la resolución que se emplee, siempre habrá un límite inferior en la escala por debajo del cual no son detectables los fenómenos que ocurran, los que, por tanto, deberán ser tratados de forma no determinista. Los estudios teóricos han demostrado que la propagación de errores a partir del régimen no especificado del flujo a pequeña escala afecta rápidamente a la escala especificada de movimiento. La predictibilidad es aproximadamente igual al período de existencia de los sistemas meteorológicos individuales, lo que significa que un sistema de predicción para un modelo a mesoescala se debe tratar de forma completamente distinta que un modelo para predecir el flujo sinóptico. Hasta aquí, la estrategia ha consistido en considerar los modelos a mesoescala como *modelos respuesta o modelos pasivos* que son controlados por los cálculos de las configuraciones del campo a gran escala.

Las variables utilizadas en estas técnicas de elaboración de modelos se dividen en dos grupos: uno, se obtiene a partir de las predicciones de la circulación a gran escala, y son, por tanto, variables cronológicas en el intervalo de integración; y el otro grupo, es el que resulta de la predicción con el modelo a mesoescala.

Los modelos a mesoescala desarrollados hasta ahora se han limitado a una, dos o tres dimensiones. El estudio de las escalas demuestra que, en la mayoría de los casos, no tiene sentido utilizar un modelo completo en tres dimensiones a no ser que cada elemento de la malla pueda ser del orden de los 10 km. Los modelos a mesoescala se han utilizado en muchas aplicaciones, tales como el estudio de la capa límite de la atmósfera, la brisa marina y el flujo del aire sobre las montañas.

Los modelos tridimensionales exigen relativamente mucho tiempo de tratamiento en el ordenador. Aunque los modelos a mesoescala se basan en la hipótesis del equilibrio hidrostático, se han diseñado modelos de otros tipos. Con objeto de evitar el empleo de intervalos cronológicos excesivamente cortos para eliminar las ondas sonoras que se propagan verticalmente, los términos de la ecuación que describen las ondas sonoras se tratan de forma implícita. De esta forma es posible utilizar los intervalos cronológicos que se emplean en los modelos hidrostáticos.

Discusión en mesa redonda — Se formularon varias recomendaciones en relación con los modelos a mesoescala. Entre ellas se destacan las siguientes:

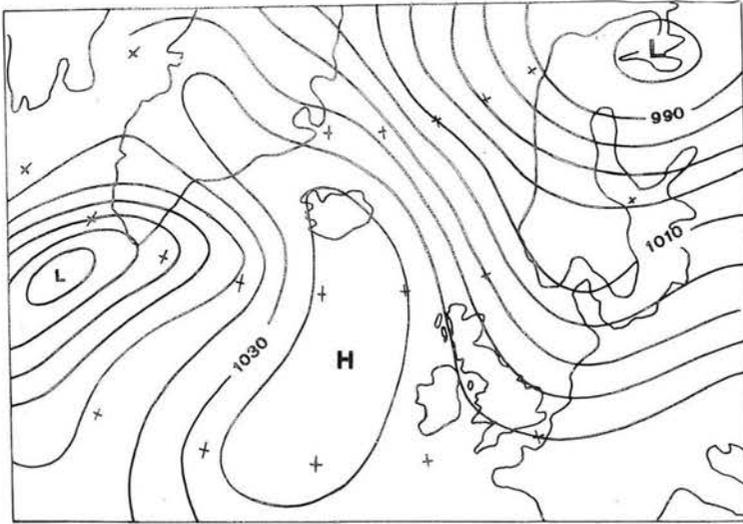
- Se debería dedicar mucha más actividad para conseguir un conocimiento teórico más profundo de los modelos a mesoescala. Estas actividades deberían incluir el estudio de la predictibilidad.
- Se debe aclarar lo referente a las necesidades eventuales de datos para los modelos a mesoescala. Esto se puede estudiar mediante experimentos numéricos análogos a los Experimentos de Simulación de Sistemas de Observación (ESSO), que se llevan a cabo dentro del programa del GARP.
- Se deberían realizar estudios comparativos entre diferentes modelos a mesoescala, basándose en situaciones a gran escala bien definidas para las que sea posible disponer de observaciones a mesoescala (por ejemplo, imágenes de radar y observaciones de nubes por satélite).
- Los modelos a mesoescala se deberían utilizar para el estudio de la parametrización de los procesos cuya escala es menor que la malla de los modelos a gran escala.

Interpretación estadística de las predicciones numéricas a gran escala

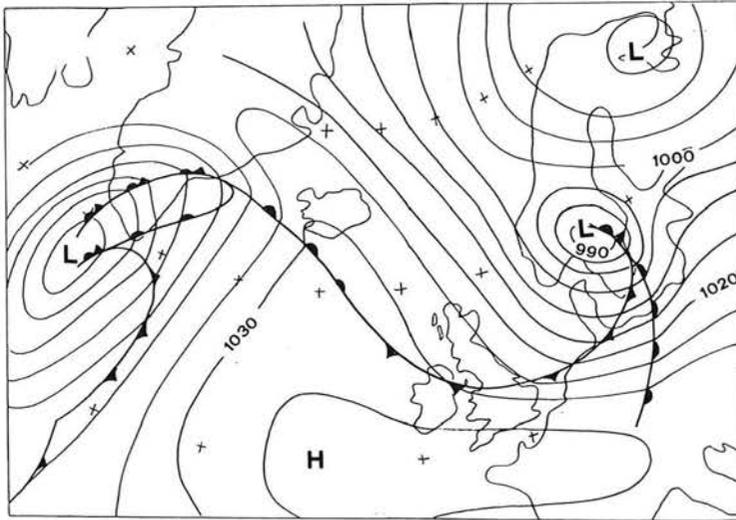
En varios de los trabajos presentados al simposio, se demuestra que las predicciones numéricas de las características a gran escala de la atmósfera son ya lo suficientemente aceptables para que se puedan utilizar para la interpretación del tiempo local aplicando métodos estadísticos. En estos métodos no se requieren los datos originales, ya que el punto de partida son las predicciones numéricas de las características a gran escala. Se ha observado que en las zonas subtropicales, en donde los resultados obtenidos no son tan buenos como en las latitudes medias y altas, se consiguen resultados útiles con los métodos de interpretación estadística.

Existen dos métodos fundamentales para la interpretación estadística, y en el simposio se discutió ampliamente sobre cuál de ellos es el más satisfactorio. En el primer método, que es desde luego el generalmente preferido, el tiempo local se especifican a partir de ecuaciones de regresión múltiple, que se han deducido de los parámetros *observados* de la circulación, pero que se aplican a las predicciones numéricas. El segundo método, cuya aplicación en EE. UU. ha dado muy buenos resultados, se basa en archivar los datos obtenidos de los modelos numéricos y correlacionarlos con los del tiempo observado. El American Weather Service denomina «model output statistics» (MOS) (modelo estadístico de salida) a este sistema. Una ventaja del método MOS es que cualquier predisposición e inexactitud del modelo numérico así como de la climatología local, son automáticamente integrados en el sistema de predicción, a condición de que las características del modelo permanezcan estáticas durante el período de preparación y aplicación de la estadística.

Se ha comprobado que, en estas condiciones, el método MOS da efectivamente mejores resultados que el primero, pero, teniendo en cuenta que los modelos se van perfeccionando continuamente, se consideró que no es conveniente introducir el método MOS antes de que el modelo tenga un desarrollo suficiente. En caso contrario, un Servicio Meteorológico se podría encontrar en una situación en que le resultase difícil perfeccionar el modelo a gran escala, ya que las modificaciones que se pudieran efectuar le impondrían la necesidad de tener que revisar todo el sistema de interpretación estadística.



a. Predicción por ordenador para las 00.00 TMG del 6 de diciembre de 1975.



b. Predicción por ordenador modificada. Hora de verificación 00.00 TMG del 6 de diciembre de 1975.

Este ejemplo muestra cómo puede el predictor mejorar un mapa de predicción numérica a gran escala. El mapa (*figura superior*) presenta una predicción de 24 horas por ordenador basada en datos para las 00.00 TMG del 5 de diciembre de 1975. Tanto el análisis como la tendencia barométrica para 06.00 TMG indicaban que al nordeste de Islandia se estaba formando una fuerte borrasca, que, aunque no era muy extensa, tenía considerable importancia para las predicciones locales. Basándose en esta información, el predictor procedió a ajustar el mapa del ordenador. Este mapa de superficie (*figura inferior*) de predicción subjetiva de 18 horas, basado en la predicción de 24 horas del ordenador y en los subsiguientes datos de 06.00 TMG, indicaba una intensa depresión sobre la parte sur de Escandinavia. Aunque aquí no se reproduce, el mapa de verificación para 00.00 TMG del 6 de diciembre de 1975, mostraba una similitud muy grande con el mapa modificado, tanto por lo que se refiere a la posición de la depresión como a su profundidad. (Tomado del trabajo de Knut A. Bjorheim y Sigbjorn Gronas, del Instituto Meteorológico Noruego, presentado al simposio de Varsovia).

La utilización de los métodos clásicos de regresión no permite predecir los valores extremos, por lo que, cuando las necesidades del usuario son tales que esta predicción de valores extremos es importante, habrá que emplear métodos más elaborados.

En general, se señaló que los métodos estadísticos dan buenos resultados, y es alentadora la observación de que la implantación de estos métodos se puede llevar a cabo a un coste relativamente bajo y con medios de cálculo limitados. Esta solución constituye un buen punto de partida para un país con escasos recursos.

Discusión en mesa redonda — Durante la discusión se puso de manifiesto que los países no deberían concentrarse únicamente en la elaboración de modelos a mesoescala o en el desarrollo de métodos estadísticos. Los modelos estadísticos tienen sus limitaciones, ya que para utilizarlos es necesaria la existencia de archivos climatológicos de largos períodos cronológicos. Además, la elección de predictores debe tener una base física y no en la utilización exclusiva de los métodos estadísticos. Para la obtención de estos predictores puede ser de gran ayuda un modelo a mesoescala.

También se recomendó que se preste mayor atención a la cuestión de en qué medida la incorporación de los errores sistemáticos de la predicción numérica a gran escala afecta a la predicción local final, en los dos métodos fundamentales de interpretación estadística.

Se debe estudiar la predicción estadística de los fenómenos raros (extremos). Además, en la reunión se recomendó la organización de un simposio para tratar de los métodos probabilístico y estadístico aplicados a la confección de predicciones con plazos de varios días. Al organizar este simposio habrá que recordar que ya han transcurrido más de diez años desde la última conferencia internacional dedicada específicamente a este tema. Durante este período se han hecho notables avances tanto en la metodología como en su aplicación. Los temas que se sugieren para este simposio son, entre otros: predicción estadístico-dinámica del tiempo; predicción estadística del tiempo; cuantificación de la incertidumbre en la predicción del tiempo; y verificación y evaluación de las predicciones meteorológicas.

Modificación manual de los resultados numéricos

Un problema muy importante es el de encontrar la mejor forma de utilizar los diferentes resultados obtenidos por el ordenador dentro del contexto práctico de los Servicios Meteorológicos Nacionales. A este respecto, se pueden hacer varias preguntas. ¿Es factible, por ejemplo, planificar un sistema completamente automático en el cual el papel del predictor humano quede reducido a entregar al usuario una hoja de papel? ¿Se puede conseguir que un teleimpresor, u otro dispositivo que presente gráficamente los datos de salida del ordenador, realice por completo la función del predictor? o bien ¿Serán capaces los meteorólogos de mejorar la predicción numérica y de realizar interpretaciones subjetivas de las características de las predicciones numéricas a gran escala, para la obtención de la predicción local, que sean superiores a las que se consiguen con los sistemas automáticos de interpretación?

En opinión general, los delegados se mostraron de acuerdo en que los predictores pueden aportar mejoras subjetivas a las predicciones numéricas de las características a gran escala, incluso cuando se utilizan modelos de alta resolución basados en las ecuaciones generales. Los predictores tienen a su disposición, en general, más observaciones: aquellas que, o bien se han utilizado en las integraciones numéricas, o bien se han recibido después de la hora límite fijada para la entrada de datos en el ordenador. También disponen de información cualitativa, tal como la observación de las nubes por satélites o las imágenes de radar. En particular, en aquellos casos en que se utilizan los modelos más sencillos, casi geostroáficos, con resolución limitada, las deficiencias sistemáticas del modelo pueden ser corregidas subjetivamente, mientras que en zonas en las que se dispone de pocos datos, como es el caso de los océanos del sur, la intervención humana es absolutamente necesaria. De los resultados presentados al simposio, se deduce que evidentemente las predicciones elaboradas por el hombre trabajando con la máquina son mejores que las del hombre sólo o las de la máquina sola (ver *Figura* de la pág. 197).

Procesos totalmente automáticos

Es extremadamente difícil automatizar por completo, y de forma que se obtengan resultados satisfactorios, los procesos de interpretación local. Ya se dispone de los medios técnicos para ello; por ejemplo, se pueden elaborar predicciones numéricas del tiempo en forma escrita, y es posible confeccionar automáticamente mapas de tiempo significativo. También es posible incluir en las predicciones estadísticas automatizadas la probabilidad de un suceso particular, como efectivamente se hace en el sistema MOS desarrollado en EE. UU. Hay que tener presente, sin embargo, que estos sistemas sólo indican la probabilidad para un fenómeno local dado, suponiendo que *la predicción de la circulación a gran escala es correcta*. Si se desea que la información sobre la probabilidad sea realmente útil, en el cálculo de ésta hay que incluir las propiedades indeterministas de la circulación a gran escala. A falta de predicciones estocástico-dinámicas apropiadas, es de gran utilidad la consulta de las predicciones a gran escala realizadas por diferentes servicios meteorológicos. Esta información puede ser utilizada fácilmente por los predictores, pero es muy difícil incorporarla a un sistema automático.

Por lo que se puede prever en el momento actual, durante un largo período de tiempo el predictor humano será insustituible en la realización de la predicción final, aunque su labor sufrirá modificaciones.

Los recientes progresos en la tecnología de los ordenadores y en los equipos periféricos de presentación gráfica, están consiguiendo que estas modificaciones en la labor de los predictores sean ya una realidad. Con los nuevos sistemas, el predictor puede observar el flujo de datos y ejercer un proceso de control sobre ellos mediante el sistema de presentación en video conectado al ordenador. En situaciones meteorológicas críticas, puede iniciar los cálculos empleando modelos particulares a mesoescala, así como examinar y elegir la información resultante que se debe distribuir entre los usuarios. Esta forma de trabajar se puede describir como una colaboración íntima entre el predictor y el ordenador para la predicción meteorológica.

Un proceso hombre-máquina altamente integrado exigirá una labor de reeducación, ya que a muchos predictores les faltan los conocimientos necesarios sobre la elaboración de los modelos numéricos y la tecnología del ordenador. Este entrenamiento también se podría lograr mediante alguna forma de rotación en los puestos de trabajo entre predictores y especialistas en diseño de moledos. En el futuro, el trabajo del predictor en estos sistemas requerirá sin duda una formación más amplia. Sin embargo, el predictor no debe convertirse en un diseñador de modelos en detrimento de su habilidad y sus conocimientos básicos de física de la atmósfera.

Discusión en mesa redonda — Se formularon varias recomendaciones. Se debe conseguir una cooperación más estrecha entre predictores, diseñadores de modelos y expertos en ordenadores, al objeto de diseñar y desarrollar sistemas de colaboración hombre-ordenador para la predicción del tiempo. También sería conveniente organizar prácticas y cursos para que los predictores puedan recibir el entrenamiento necesario en el uso de los productos de los ordenadores. Se deben promover experiencias para hallar formas alternativas y más concisas de presentación al predictor de la información suministrada por el ordenador. Sería de utilidad que los Servicios Meteorológicos que ya emplean los métodos de intervención humana, publicaran sus experiencias en este terreno, para que pudieran beneficiarse de ellas otros Servicios. En aquellos Servicios que no dispongan de medios de cálculo para predicción numérica del tiempo a gran escala, será necesaria la recepción de la predicción numérica en forma digital, a fin de utilizarla en un sistema de cálculo para interpretación del tiempo local.

Conclusiones

En muchos de los países Miembros se está concediendo creciente atención al problema de la interpretación de mapas de predicción numérica para la elaboración de las predicciones del tiempo local. No es necesario señalar que este campo es de la máxima importancia, debido a que la predicción del tiempo es quizá el objetivo final de todos los esfuerzos de la meteorología, y si no se presta la suficiente atención al mejoramiento este último eslabón de la cadena, serán muy pobres los beneficios que se obtengan de todo el trabajo invertido en el establecimiento de un sistema mundial de observación y de varios complejos sistemas de telecomunicación y de predicción numérica.

Reconocimiento

Este artículo ha sido preparado por la división de ciencias atmosféricas de la Secretaría de la OMM, y está basado en los trabajos presentados al simposio de Varsovia, en los comentarios y notas del Doctor L. Bengtsson, presidente del Comité de Programas del Simposio, y en las discusiones que se desarrollaron durante el simposio y en la mesa redonda con que finalizó.