

## EL CEPMPM: DIEZ AÑOS DE COOPERACION METEOROLOGICA EUROPEA

Por L. BENGTTSSON\*

### *Antecedentes*

El Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio (CEPMPM) quedó establecido oficialmente el 1 de noviembre de 1975, fecha en que su Convenio había sido lo suficientemente ratificado para poder entrar en vigor. Sin embargo, tal como señaló Knighting\*\* (1978), esto fue precedido de un largo período de cuidadosa planificación y preparación que se inició en octubre de 1967, cuando el Consejo de Ministros de la Comunidad Europea adoptó una resolución en la cual se promovía un programa común de investigación científica y técnica. El problema de extender de una forma útil la predicción meteorológica hacia el plazo medio fue singularizado como uno de los proyectos, en que el esfuerzo conjunto de la comunidad europea se consideró esencial y donde, según diferentes valoraciones, el beneficio superaría con creces a los gastos.

Ya en 1955, John von Neumann había marcado una estrategia general para la modelización y predicción atmosféricas. Neumann consideró que el problema de la predicción podía dividirse convenientemente en tres categorías, según la escala cronológica de la predicción. En una primera categoría entraba la predicción a corto plazo de los desplazamientos, determinados fundamentalmente por el estado inicial de la atmósfera. La segunda implicaba la predicción a un plazo mucho más largo de las características del movimiento en su gran parte independientes del estado inicial, y que, por lo tanto, incluyen el problema de la simulación climática. Entre estos dos extremos había otra categoría de predicción para la cual resultaba necesario considerar los detalles tanto del estado inicial como de los forzamientos externos. El método lógico fue abordar estos problemas en aquel orden.

A principios del decenio de los 70 ya había una experiencia suficiente en la predicción a corto plazo y en la simulación climática mediante modelos numéricos, como para justificar un intento serio de abordar el problema de la predicción a plazo medio que está incluido en la tercera, y quizá la más difícil, de las tres categorías citadas antes. En los documentos de planificación que llevaban a la creación del CEPMPM, se consideraba que la predicción a plazo medio debía de incluir un período con una antelación de cuatro a diez días, pero quizá un intervalo cronológico más natural sería desde dos días hasta dos semanas.

En muchos aspectos, la predicción a plazo medio era un candidato ideal para la cooperación. Los problemas científicos y técnicos que plantea son formidables, y sólo algunos países disponen de suficientes expertos científicos y técnicos para poder abordarlos. Además, el ordenador y otros recursos necesarios exceden las posibilidades normales disponibles a nivel nacional. Las predicciones a plazo medio son menos críticas, en cuanto al factor cronológico se refiere, que las predicciones a plazo corto, y bajo el punto de vista operativo la desventaja que supone realizarlas lejos de las oficinas meteorológicas es muy pequeña, a condición de que existan unos enlaces de telecomunicación rápidos y eficientes.

---

\* Director del CEPMPM.

\*\* KNIGHTING, E. (1978). El Centro Europeo de Predicciones Meteorológicas a Plazo Medio. *Boletín de la OMM* 27 (1) págs. 17-23.

## Los objetivos del Centro

Resulta conveniente recordar los objetivos del Centro tal como aparecen en su Convenio. Estos objetivos son:

- Desarrollar modelos dinámicos de la atmósfera con vistas a realizar predicciones del tiempo a medio plazo por métodos numéricos;
- Preparar, de forma rutinaria, los datos necesarios para la realización de predicciones del tiempo a medio plazo;
- Realizar investigaciones científicas y técnicas encaminadas hacia un mayor perfeccionamiento de estas predicciones;
- Recopilar y archivar datos meteorológicos apropiados;
- Poner a disposición de las oficinas meteorológicas de los Estados Miembros, en la forma más apropiada, los resultados de los estudios e investigaciones del primer y tercer objetivo, así como los datos a que se hace referencia en los objetivos segundo y cuarto;
- Poner a disposición de las oficinas meteorológicas de los Estados Miembros para sus propias investigaciones, una proporción suficiente de su capacidad de cálculo automático dando prioridad al campo de la predicción numérica. La asignación de estas proporciones será determinada por el Consejo;
- Ayudar en la ejecución de los programas de la Organización Meteorológica Mundial;
- Ayudar a la mejora de la formación profesional superior del personal científico de los servicios meteorológicos de los Estados Miembros en el campo de la predicción numérica del tiempo.

## Organización

El organismo rector del CEPMPM es un Consejo compuesto por un máximo de dos delegados por cada Estado Miembro. Este Consejo tiene tres órganos asesores sobre las materias financieras, científicas y técnicas. El Consejo y sus órganos asesores se reúne una o dos veces al año. El Centro está dividido en tres departamentos, y su director es nombrado por el Consejo.

### Porcentajes de las contribuciones presupuestarias al CEPMPM para el periodo 1985-1987

#### *Estados Miembros*

Bélgica	3,06
Dinamarca	1,82
República Federal de Alemania	22,41
España	5,96
Francia	18,43
Grecia	1,23
Irlanda	0,53
Italia	11,33
Yugoslavia	2,16
Países Bajos	4,64
Austria	2,17
Portugal	0,72
Suiza	3,17
Finlandia	1,51
Suecia	3,44
Turquia	1,76
Reino Unido	15,66

En la actualidad, hay 17 Estados Miembros (véase la tabla adjunta), y además se ha firmado un acuerdo especial de cooperación con Islandia. El Centro está financiado por las contribuciones proporcionales al Producto Nacional Bruto de cada Estado Miembro, cifra que se revisa cada tres años. Las contribuciones de los Estados Miembros para el año 1985 ascienden a un total de 8.465.000 libras esterlinas, de las cuales casi el 95 por 100 corresponde a gastos de personal, equipos de cálculo automático y gastos asociados.

La sede del Centro se encuentra en Shinfield Park, cerca de Reading y a unos 15 km de Bracknell. El edificio de más de 6000 m<sup>2</sup> y los terrenos fueron facilitados por el Reino Unido, y está ocupado desde 1979 (*Boletín de la OMM* 28 (4) págs. 342-345), año en el que el Centro comenzó a elaborar predicciones operativas.

### *El sistema de predicción*

El sistema de predicción del Centro consta de dos componentes: un modelo tipo de la circulación general y un sistema completo de asimilación de datos. Desde un principio el Centro comenzó a desarrollar un modelo que pudiese describir la evolución del tiempo en todas las escalas cronológicas; de hecho, el mismo modelo (pero con una resolución horizontal diferente), ha sido utilizado para la predicción de intensos fenómenos meteorológicos a pequeña escala (tales como tifones), así como para la simulación climática para períodos de hasta diez años. Igualmente, el sistema de asimilación de datos fue concebido no sólo para la utilización de datos de observaciones convencionales, tales como datos de radiosondeos, sino también para la información asinóptica procedente de los satélites y de las aeronaves. El sistema de asimilación de datos del CEPMPM fue utilizado con éxito para la elaboración de análisis cuatro veces al día durante el Experimento Meteorológico Mundial. Estos conjuntos de datos, formados por más de 70.000 campos mundiales, han sido muy utilizados por científicos de todo el mundo.

El primer modelo numérico utilizado por el CEPMPM fue un modelo de rejilla con 15 niveles verticales y una resolución horizontal de 1,875 grados de latitud y longitud. Este modelo se utilizó para la predicción operativa desde septiembre de 1979 hasta abril de 1983. El esquema en diferencias finitas conserva la enstrofia potencial durante la advección de vorticidad, una condición que resulta importante cuando se trata de extender la predicción más allá de varios días. En abril de 1983, el modelo de rejilla fue sustituido por un modelo que utiliza una representación espectral en la horizontal y un llamado truncamiento triangular en el número de onda 63. Se encontró que la técnica espectral resultaba más precisa que el modelo de rejilla para el mismo gasto de cálculo. También se aumentó el número de niveles verticales a 16. Por último, en mayo de 1985, se puso en funcionamiento un modelo espectral de muy alta resolución, por el cual el truncamiento espectral se extendió hasta el número de onda 106. En total esto es equivalente a un modelo de rejilla que tenga una resolución horizontal de unos 100 km.

Se han realizado esfuerzos muy importantes para el desarrollo de una descripción detallada de los diferentes procesos físicos, que se hacen cada vez más importantes a medida que las predicciones se extienden hacia el plazo medio.

El proceso fundamental que gobierna la atmósfera terrestre es la radiación solar de onda corta que recibe y el enfriamiento debido a la radiación de onda larga que emite al espacio. El calentamiento es mayor en las latitudes tropicales, mientras que el enfriamiento predomina en las latitudes polares, especialmente en el hemisferio de invierno. Una gran parte de la radiación solar neta recibida es absorbida por la superficie terrestre más que por la atmósfera. Sin embargo, la evaporación de la humedad y el calentamiento de la superfi-

cie hacen que gran parte de esa energía se transfiera a la atmósfera en forma latente y, en menor grado, como calor sensible. Así pues, el calentamiento directo dominante de la atmósfera resulta que es el calor latente desprendido con la convección tropical profunda.

Los flujos radiativos en el modelo del CEPMPM se calculan para cinco intervalos espectrales, dos para la radiación solar y tres para la radiación terrestre. Se incluyen los efectos del vapor de agua, ozono, CO<sub>2</sub>, así como de aerosoles seleccionados. El modelo predice la nubosidad en función de la humedad, de la estabilidad estática y de la actividad convectiva. El esquema de nubosidad del Centro se ha ido desarrollando gradualmente, y varios Estados Miembros están utilizando la nubosidad prevista como un parámetro de salida directa del modelo. La predicción de los límites de la nubosidad y la emisión de cirrus por los grupos de nubes convectivas profundas se introdujo en mayo de 1985 con el nuevo modelo espectral de alta resolución.

El tratamiento de los procesos físicos en la capa límite merece una considerable atención en la predicción a plazo medio. El cálculo de los flujos en la capa límite se basa en la teoría de la semejanza de Monin-Obukov, la cual supone que los gradientes de viento y de la energía interna son funciones universales de un parámetro de estabilidad que se determina a partir de datos empíricos. La longitud de rugosidad sobre tierra depende de la vegetación y de la orografía a subescala de rejilla. Sobre el mar la longitud de rugosidad viene dada por la fórmula de Charnock.

El modelo trata separadamente la convección profunda y la somera. El manejo correcto de la convección es esencial, no sólo para la predicción tropical en sí, sino también para el mantenimiento general de los sistemas de circulación tropical a gran escala, que son importantes para la circulación a gran escala en las latitudes más altas.

La predicción del tiempo a plazo medio requiere unas observaciones mundiales de gran calidad, así como una buena cobertura y resolución. Así pues, el continuo perfeccionamiento de las predicciones a plazo medio depende mucho del Sistema Mundial de Observación. Unas buenas observaciones de la atmósfera en zonas oceánicas remotas resultan tan importantes como las buenas observaciones sobre tierra, de manera que los sistemas de observación que facilitan una cobertura homogénea de datos para zonas extensas son de importancia especial.

Por esta razón el CEPMPM ha dedicado esfuerzos de investigación considerables para desarrollar un sistema cuatridimensional de asimilación de datos, para hacer un uso eficaz de los sondeos de temperatura y humedad procedentes de los satélites de órbita polar, así como para la utilización de las observaciones de viento procedentes de los satélites geoestacionarios.

#### *El sistema de cálculo automático*

La primera generación de cálculo del CEPMPM, instalada en 1978, se basaba en un Cray 1-A, con una capacidad de desarrollo de unos 100 MFLOPS (millones de instrucciones de "puntos flotantes" por segundo). En 1983 este sistema fue sustituido por un ordenador dual Cray X-MP, que a su vez será reemplazado a finales de 1985 por una nueva versión (el Cray X-MP/48). La velocidad del Cray X-MP/48 será unas diez veces superior a la del Cray 1-A.

El Cray X-PM está conectado a través de un enlace de datos, la Red de Acoplamiento Flojo (LCN). También está directamente acoplado a dos procesadores mezcladores, un Cyber 835 y un Cyber 855. Un miniordenador VAX 11/750 se encarga de las aplicaciones

gráficas, y un IBM 4341, con una masa de almacenamiento adosada, se utiliza para el archivo de los datos del Centro. La conexión interna con los ordenadores Cyber se realiza mediante un sistema Gandalf, y la comunicación externa a través de un RC 8000. Es a través de esta máquina (que posteriormente será sustituido por un sistema VAX), con la que el Centro adquiere sus datos de observación procedentes del SMT (mediante enlaces con Bracknell y Offenbach) y con la que transmite sus análisis y predicciones a los Estados Miembros.

#### Detalles del sistema de cálculo automático del CEPMPM

<i>Ordenador</i>	<i>Memoria</i>	<i>Disco o cinta de almacenamiento</i>	
Cray X-MP/48	64 Mbits	21 unidades de disco	10,3 Gbits
Cyber 835	256 Mbits (SSD)*	24 unidades de disco	10,3 Gbits
Cyber 855	4 Mbits	9 unidades de disco	
IBM 4341	8 Mbits	5 unidades de disco	12,5 Gbits
		cartucho de cintas	
		6 unidades de disco	105 Gbits
VAX 11/750	6 Mbits	2 unidades de disco	0,33 Gbits
		1 unidad de cinta	
2 X Re 8000	384 Kbits cada uno	1 unidad de cinta	0,132 Gbits
		2 unidades de disco	
(4 Vax 11/750	(4 Mbits cada uno)	(8 unidades de disco)	(3,1 Gbits)

\* Medio de almacenamiento en estado-sólido.

#### *Predicciones operativas*

Dentro de su programa general de trabajo, el CEPMPM realiza una predicción diaria para un plazo de validez de diez días, partiendo del análisis de las 12 TMG. Actualmente no se hacen otras predicciones operativas. Hacia las 17 TMG se hace diariamente un análisis válido para las 18h del día anterior, el cual proporciona la primera aproximación para el análisis de las 00 TMG que se realiza a las 18 TMG de cada día. Análogamente, los análisis para las 06 y las 12 TMG se realizan hasta las 18.30 y las 20h, de manera que el análisis final tiene un lapso de cierre de unas ocho horas. A partir de este análisis se elabora la predicción para los diez días; normalmente la predicción se termina a las 02 TMG.

#### *Difusión de los productos de predicción*

Las predicciones se distribuyen a los Estados Miembros en forma digital. Actualmente el Centro distribuye más de 10.000 productos diarios. Un producto está definido como un parámetro (p.e. el geopotencial), para un determinado nivel (p.e. 500 hPa), para un período de validez (p.e. período de validez 240 horas) y para una zona determinada (p.e. la zona europea). A través del SMT se distribuye diariamente una selección de los productos del CEPMPM a todos los usuarios del mundo.

## Productos del CEPMPM difundidos por el SMT

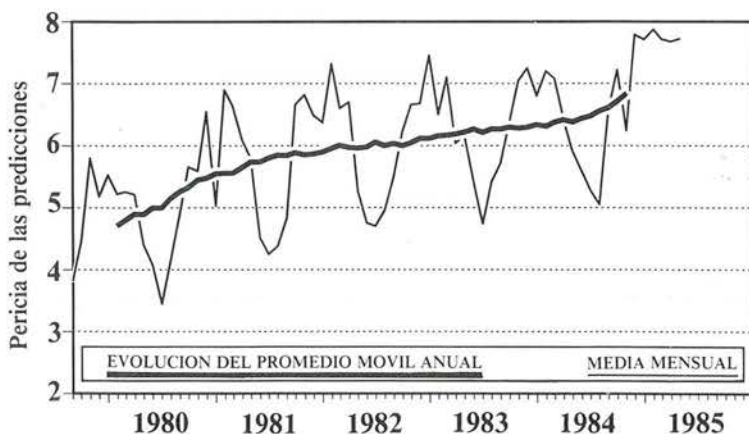
	<i>Hemisferio norte y sur (desde 20° de latitud)</i>	<i>Trópicos (35°N hasta 35°S)</i>
Presión a nivel del mar Nivel de 500 hPa	Desde análisis hasta predicción para el 5° día	
Viento a 850 hPa Viento a 200 hPa		Desde análisis hasta predicción para el tercer día

### Resultados de las predicciones operativas

Desde que el Centro inició las predicciones operativas, en septiembre de 1979, se ha venido experimentando un mejoramiento considerable en la calidad de las predicciones. Esto se ha confirmado tanto por evaluaciones objetivas como por evaluaciones subjetivas, llevadas a cabo por los usuarios de los Estados Miembros y por cualquier otro tipo de usuarios. Esto se ha demostrado claramente por el estudio de intercomparación llevado a cabo por la CCA\*; también se demostró que las predicciones del Centro son las más precisas entre todas aquéllas que participaron en la intercomparación.

Las mejoras se deben al continuo desarrollo de los procedimientos de predicción, incluyendo tanto el modelo como el sistema de asimilación de datos. El mayor cambio en el modelo tuvo lugar en mayo de 1985, pero aún tienen que ser evaluados de manera más completa los efectos de este cambio; los resultados del primer mes de funcionamiento del nuevo modelo espectral de alta resolución son muy alentadores.

### PERICIA DE LAS PREDICCIONES DEL CEPMPM Septiembre 79 - Mayo 85



\* Serie de publicaciones de la OMM sobre investigación de la predicción a plazo corto y medio, No. 7 (1984).

También se han realizado mejoras similares en lo que respecta a las predicciones para el hemisferio sur y para los trópicos, aunque desde un punto de partida mucho más bajo. Mientras que el límite de predicciones útiles para el hemisferio norte es de seis a siete días, los correspondientes valores son de cuatro a cinco días para el hemisferio sur y de tres días para los trópicos.

#### *Utilización de las predicciones en los Estados Miembros*

Mientras que la predicción operativa se elabora en el sistema de cálculo del Centro, los productos de predicción en forma de campos cifrados se difunde a través de líneas de telecomunicación a los sistemas de cálculo de los 17 Estados Miembros que sufragan el CEPMPM. Los productos a plazo medio se han convertido en una parte integral de la predicción rutinaria de las oficinas de predicción europeas. Los Estados Miembros no sólo utilizan las predicciones del Centro como una fuente adicional de referencia, sino que, con frecuencia, son una parte de los esquemas de interpretación objetiva (estadística), o son valores límite para sus propios modelos de área limitada, o para conducir otros modelos (por ejemplo, modelos del mar y de oleaje para su utilización en la optimización de rutas marítimas). Los beneficiarios principales de las predicciones a plazo medio interpretadas por los Servicios Meteorológicos de los Estados Miembros están en los sectores de la agricultura, la marina, la construcción y la ingeniería pesada, la planificación energética, las diversiones y el turismo, el transporte terrestre, el medio ambiente y la contaminación.

Además de los productos operativos normalizados, el sistema de predicción del Centro también produce una gama de productos que son experimentales por naturaleza; entre ellos está la nubosidad, los vientos interpolados a 10 m de la superficie, las temperaturas interpoladas al nivel de 2 m sobre el suelo, campos suavizados mediante filtrado para evitar las características de pequeña escala (que no pueden predecirse correctamente en las últimas etapas de la predicción), campos promediados cronológicamente, etc. Estos productos adicionales también se ponen a disposición de los Estados Miembros, y pueden ser presentados directamente a los predictores o utilizarse para otros fines (por ejemplo, con parámetros de entrada para esquemas de predicción estadística). De esta forma, el Centro está ayudando a los Estados Miembros a mejorar la "relación con el usuario" produciendo numéricamente campos necesarios para las predicciones que demandan los usuarios finales.

#### *Suministro de tiempo de cálculo para los Estados Miembros*

El 25 por 100 de los recursos del ordenador Cray y el 10 por 100 de los recursos del Cyber están a disposición para su uso por parte de los Estados Miembros. El lapso de ordenador se distribuye entre los países de acuerdo con una fórmula especial que sólo en parte es proporcional a su PNB. El 10 por 100 del lapso concedido a los Estados Miembros está disponible para proyectos especiales de investigación. Los científicos pueden solicitar este lapso a través de cualquier Estado Miembro.

#### *Suministro de los datos archivados*

El Centro está construyendo gradualmente un archivo de datos brutos y procesados (análisis mundiales y predicciones). Se ha desarrollado, cubriendo un período de cinco años, un conjunto especial de datos que incluye observaciones básicas seleccionadas y análisis mundiales para siete niveles normalizados. La OMM ha contribuido económicamente al desarrollo de este conjunto de datos que actualmente se está enviando a un gran número de

usuarios de todo el mundo. El Centro también está reanalizando los datos del Experimento Meteorológico Mundial utilizando la versión más reciente de su sistema de asimilación de datos. A medida que los archivos del Centro se vayan desarrollando gradualmente, su valor para la comunidad científica será cada vez mayor.

### *Programa de formación profesional*

Cada año el Centro imparte un curso superior de dos meses de duración, sobre predicción numérica del tiempo. El curso también está abierto a científicos procedentes de Estados no Miembros; dieciseis de estos científicos participaron en los cursos de los dos últimos años.

El Centro también organiza anualmente un seminario científico, así como cursillos prácticos sobre distintas materias.

### *Planes futuros*

Los estudios de predictibilidad hechos recientemente por Lorenz\* indican que el límite de la fiabilidad de las predicciones puede ampliarse entre dos y cuatro días sólo mediante mejoras en el modelo. Puede esperarse una mejora del orden de dos días debido a la realimentación positiva del modelo mediante la asimilación de datos. El Centro mantendrá su satisfactoria estrategia de "fuerza bruta" a base de continuas mejoras en el sistema completo de predicción. Los principales problemas están relacionados con el tratamiento de la orografía, la parametrización de la capa límite y la convección profunda y la convección somera. El continuo progreso en el desarrollo de superordenadores probablemente hará posible pasar un modelo global con una resolución de unos 50 km antes del final de este decenio.

La calidad del Sistema Mundial de Observación es crucial para la predicción a plazo medio. En un proyecto sufragado por la OMM, el Centro ha desarrollado recientemente un sistema para su vigilancia. Mediante intercomparaciones de predicciones a plazo muy corto (primera aproximación de los análisis), con observaciones específicas en periodos de un mes aproximadamente, pueden identificarse los errores sistemáticos en las observaciones. Han sido identificados varios casos de observaciones de radiosondas con errores importantes sistemáticos, y los responsables han sido informados para que tomen las medidas correctoras correspondientes. Se cree que instituyendo un control de calidad sistemático de las observaciones se acabará alcanzando una mejor calidad de las observaciones y, en consecuencia, mejores predicciones.

## **FENOMENOS METEOROLOGICOS SIGNIFICATIVOS EN 1984 - PARTE II**

*Por H. TABA*

### **Características generales de la circulación del hemisferio sur**

Las configuraciones de la circulación en el hemisferio sur, en 1984, mostraron regiones de persistencia en donde las anomalías de la circulación prevalecieron durante varios

\*LORENZ, E. (1982). *Atmospheric predictability experiments with large numerical model*. Tellus **34**, págs. 505-513.