

Rafael Azcárraga Servert

Publicación

A - 57

Separata

**PREDICCIÓN NUMÉRICA,
ANÁLISIS OBJETIVO
Y SELECCIÓN DE DATOS.
SU APLICACIÓN EN ESPAÑA**



INM

A 57SR

**Servicio Meteorológico Nacional
M a d r i d - 1976**

AEMET-BIBLIOTECA



1012953

R-4980

Fig. INM. A-57-SR

CB.1012953

Ministerio del Aire
Subsecretaría de Aviación Civil

SERVICIO METEOROLOGICO NACIONAL

Publicación A - 57 Separata

Predicción numérica, análisis objetivo y selección de datos. Su aplicación en España

por

Rafael Azcárraga Servet
Meteorólogo



22 FEB. 1996

Instituto Nacional de Meteorología
Sección de Publicaciones
Madrid - 1976

Ministerio del Aire
Subsecretaría de Aviación Civil

SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL

Publicación A-57 Separata

Selección de datos. Su aplicación en España
y Predicción numérica. Análisis objetivo y

por

Rafael Acosta Sáenz
Meteorólogo

28 FEB 1978



Depósito Legal: M. 26.851-1976
I.S.B.N. 84-500-1.491-3
C.D.U.: 551.509.313 (460) =6
Imprime E.G.S.

Madrid - 1978

PREDICCIÓN NUMÉRICA, ANÁLISIS OBJETIVO Y SELECCIÓN DE DATOS. SU APLICACIÓN EN ESPAÑA

Conferencia pronunciada por el meteorólogo D. RAFAEL AZCÁRRAGA el día 28 de abril de 1966 en el Instituto Nacional de Meteorología

Uno de los progresos más notables alcanzados en el campo de la Meteorología a lo largo de los diez a quince últimos años ha sido, sin duda, la introducción de los métodos de predicción numérica del tiempo.

Empleo de computadores electrónicos

Las primeras predicciones meteorológicas basadas en observaciones sinópticas fueron hechas en Francia hace poco más de cien años por el famoso astrónomo Le Verrier. En esencia, fue una manera de enfocar el problema científicamente. Sin embargo, los métodos usados fueron bastante primitivos. Se estudiaban los sistemas de presión y después se predecían los movimientos de los ciclones y anticiclones con la ayuda de los cambios de presión durante el tiempo pasado y las isobaras. Nuevos progresos se hicieron cuando, en Noruega, después de la primera guerra europea, V. Bjerknes y colaboradores introdujeron los conceptos de masas de aire y frentes. Aproximadamente en la misma época L. A. Richardson, en Inglaterra, intentó predecir los mapas de presión en superficie a partir de observaciones sinópticas usando las ecuaciones de movimiento. El intento de Richardson fracasó por varias razones, siendo una de ellas el que al ser los cálculos muy complicados se necesitaba mucho tiempo para concluirlos con el inconveniente de que el período del pronóstico había pasado antes de que se pudiera hacer uso de los resultados; un pronóstico tardío es una cosa inservible. Cuando se dispuso de computadores, C. G. Rossby que por aquel tiempo era profesor de Meteorología en la Universidad de Chicago, se puso en contacto con el famoso matemático von Neumann, que había tenido una parte muy activa en el desarrollo de los computadores. El resultado fue que el primer programa para cálculo con computadores fue puesto a punto por Rossby y sus colaboradores (J. Charney, Ph. Thompson y N. Phillips en Estados Unidos, A. Eliassen y R. Fjørtoft en Oslo y B. Bolin en Suecia).

La idea básica es estudiar la ecuación de movimiento en una forma adecuada y especialmente el considerar la variación con la latitud de la rotación de la tierra.

La ecuación de movimiento se puede escribir en una forma simple del siguiente modo:

$$\frac{du}{dt} - v 2 \omega \sin \varphi = \alpha \frac{\partial p}{\partial x} + F_x \quad (1)$$

$$\frac{dv}{dt} + u 2 \omega \operatorname{sen} \varphi = -\alpha \frac{\partial p}{\partial y} + F_y \quad (2)$$

Usando la ecuación hidrostática $-\rho g \partial x = \partial p$ y poniendo $2 \omega \operatorname{sen} \varphi = f$ nos encontramos:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} = fv + \alpha \frac{\partial p}{\partial x} + F_x \quad (3)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} + w \frac{\partial v}{\partial z} = -fu - \alpha \frac{\partial p}{\partial y} + F_y \quad (4)$$

Diferenciando (3) con respecto a y , y (4) con respecto a x , y restamos (3) de (4), introducimos

$$\zeta = \frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y}$$

velocidad vertical con respecto a la tierra y despreciamos las velocidades verticales, obtenemos:

$$\begin{aligned} & \frac{\partial (\zeta)}{\partial t} + u \frac{\partial (\zeta)}{\partial x} + v \frac{\partial (\zeta)}{\partial y} + w \frac{\partial \zeta}{\partial z} + \alpha \frac{\partial f}{\partial x} = \\ & = -(\zeta + f) \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) - \left(\frac{\partial \alpha}{\partial x} \cdot \frac{\partial p}{\partial y} - \frac{\partial \alpha}{\partial y} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \right) - \left(\frac{\partial F_y}{\partial x} - \frac{\partial F_x}{\partial y} \right) \quad (5) \end{aligned}$$

Teniendo en cuenta que $\frac{\partial f}{\partial t} = 0$, $\alpha \frac{\partial f}{\partial x} = 0$; y $v \frac{\partial f}{\partial y} = \frac{df}{dt}$ queda

$$\frac{d(f + \zeta)}{dt} = -(\zeta + f) \cdot \operatorname{Div.} V - \text{término solenoidal} - \text{fricción (rozamiento)} \quad (6)$$

Se elige el nivel de 500 mbs. porque allí la divergencia es pequeña, el término $\zeta + f$ es igual a la vorticidad absoluta.

Es posible calcular los cambios en u y v a partir de la distribución de u , v y p , pero este cálculo lleva consigo la diferencia de fv y de $\alpha \frac{\partial p}{\partial x}$; estos términos son

muy grandes y casi iguales. Todos los términos en la ecuación (6) son relativamente pequeños. Como una primera aproximación despreciamos los 3 sumandos del segundo término de la ecuación (6); entonces:

$$\frac{d}{dt} (f + \zeta) = 0 \quad (7); \text{ y si ponemos } v = -\frac{1}{f} \frac{1}{\zeta} \frac{\partial p}{\partial x} = \frac{g}{f} \frac{\partial z}{\partial x}$$

tenemos la aproximación geostrófica.

Teníamos

$$\zeta = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right) \text{ Esto es, aproximadamente:}$$

$$\zeta = \frac{g}{f} \left(\frac{\partial^2 Z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Z}{\partial y^2} \right) = \frac{g}{f} \nabla^2 Z$$

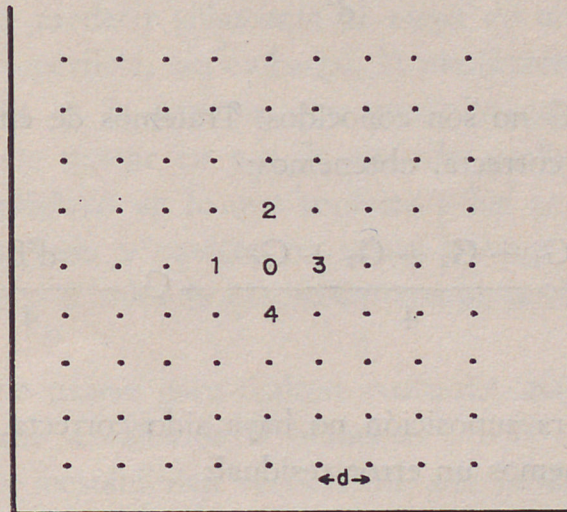
Sustituyendo en (7) y desarrollando:

$$\frac{g}{f} \frac{\partial \nabla^2 z}{\partial t} + u \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{g}{f} \nabla^2 z + f \right) + v \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{g}{f} \nabla^2 z + f \right) = 0$$

$$\text{ó } \frac{\partial \nabla^2 z}{\partial t} = \frac{f}{g} \left(u \frac{\partial}{\partial x} + v \frac{\partial}{\partial y} \right) \left(\frac{g}{f} \nabla^2 z + f \right)$$

La ecuación quiere decir que $\nabla^2 z$, que es proporcional a la vorticidad geostrófica relativa ζ , puede cambiar solamente a causa de la advección de vorticidad absoluta.

Para tratar de resolver esta ecuación numéricamente, se traza sobre un mapa de isobaras analizado una cuadrícula cuyos puntos estén igualmente espaciados una distancia ∂ ; de esta manera sustituimos los valores $\frac{\partial z}{\partial y}$, etc., etc., por diferencias finitas en 0.



$$\left(\frac{\partial z}{\partial x} \right)_0 \approx \frac{z_3 - z_0}{2d}$$

$$\left(\frac{\partial z}{\partial y} \right)_0 \approx \frac{z_2 - z_4}{2d} \text{ y } \left(\frac{\partial^2 z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 z}{\partial x^2} \right)_0 \approx \nabla^2 z$$

$$\nabla^2 z = \frac{\frac{z_2 - z_0}{d} - \frac{z_0 - z_4}{d}}{d} + \frac{\frac{z_3 - z_0}{d} - \frac{z_0 - z_1}{d}}{d} = \frac{z_1 + z_2 + z_3 + z_4 - 4z_0}{d^2}$$

Así tenemos $\nabla^2 z$; multiplicando por g/f y añadiendo f se obtiene la vorticidad absoluta; analizando las siloíneas de vorticidad absoluta y trasladando estas líneas con el viento geostrófico a lo largo de los contornos durante el tiempo elegido de una hora, se obtiene el campo previsto de vorticidad absoluta. La diferencia entre los valores previstos e inicial de la vorticidad absoluta es el cambio de vorticidad relativa $\Delta \zeta$, ya que f no varía en un punto fijo.

Los valores de $(\Delta \zeta)$ se transforman en variaciones de $\nabla^2 z$, multiplicando por f/g en cada punto.

Entonces debe integrarse numéricamente pasando de cambios en $\nabla^2 z$ a cambios en z . Más tarde veremos un método de llevar a cabo esta integración numérica. Finalmente, añadiendo el cambio en altura obtenido al cambio de z original, se obtiene una nueva distribución del contorno que es el campo previsto. Después se repite el proceso tantas veces como se desee, o hasta que los resultados obtenidos sean de algún valor.

El problema de la integración consiste en hallar una función $G(x,y)$ cuando $\nabla^2 G$ se conoce en cada punto de la cuadrícula. También es necesario conocer los valores de G en los límites. El único camino a seguir es aproximarlos e incrementar el área de modo que la influencia de los límites se reduce a un mínimo. Aquí suponemos que los valores en los límites son conocidos. Como $\nabla^2 G$ es una función conocida, $F(x,y)$, podemos escribir:

$$\frac{G_1 + G_2 + G_3 + G_4 - 4 G_0}{d^2} = F(x,y)$$

donde los valores de G no son conocidos. Tratemos de encontrar estos valores. Si nuestra suposición es correcta, obtenemos:

$$\frac{G_1 + G_2 + G_3 + G_4}{4} - G_0 - \frac{d^2 F}{4} = 0$$

En caso de que nuestra suposición no haya sido correcta, y esto ocurre la mayoría de las veces, obtenemos un error residual:

$$\frac{G_1 + G_2 + G_3 + G_4}{4} - G_0 - \frac{d^2 F}{4} = E_0$$

Se ha visto que si añadimos E_0 a G_0 en cada punto para obtener nuevos valores supuestos de G_s , volvemos a calcular los restos y repetimos el proceso varias veces, los resultados tenderán a los valores correcto del campo de G , independientemente de la hipótesis iniciales. Este proceso se conoce con el nombre de método de relajación y consiste en ir eliminando paulatinamente lo que la solución supuesta tenga de artificiosa.

ANALISIS OBJETIVO

Si se comparan los análisis de un mismo mapa hechos por diferentes meteorólogos con experiencia, se podrá observar grandes diferencias entre unos y otros. Estas diferencias serán pequeñas en zonas donde haya una gran densidad de datos y mayores en regiones, tales como océanos y áreas afines, donde la densidad es menor. Ya que los análisis ejercen una gran influencia en las predicciones numéricas, se ha intentado desarrollar una técnica objetiva para analizar los mapas. En el SMHT, Dr. Bo Döös ha dedicado bastante tiempo a este problema. En un mapa se calculan las alturas de varios puntos de la cuadrícula distribuidos regularmente en la zona estudiada. Estos cálculos se basan en interpolar entre los valores observados en algunos otros puntos para lo que se emplea una fórmula de interpolación. Sin embargo, los valores interpolados se pueden mejorar teniendo en cuenta los valores obtenidos en los pronósticos previos y también hasta cierto punto empleando datos estadísticos, simples o complicados, obtenidos de casos anteriores. La fórmula de interpolación y los datos apropiados se suministran al computador y de esta manera se hacen los análisis de forma completamente objetiva. El computador también ha sido programado para comprobar los datos y escribirlos de manera que un experto pueda comprobar si hay indicios de que algunos datos son erróneos. Actualmente, nuestros expertos están trabajando en un método para suministrar todos los datos que llegan por teletipo al computador, el cual separará los datos que sean útiles de los que no lo sean, haciendo después el análisis y finalmente la predicción; todo de forma automática. Por algún tiempo se pensó en predecir solamente el mapa de altura. El próximo paso es predecir el mapa de superficie, sin embargo, la predicción del tiempo ha de hacerla un meteorólogo que es la persona que puede interpretar los mapas y que dispondrá de tiempo para pensar en vez de gastarlo analizando mapas. Nuestros predictores son muy optimistas en lo que respecta a los «ayudantes» que han encontrado en los computadores y parecen no temer la hora en que estos «ayudantes» aprendan a hacer por sí solos la predicción completa del tiempo, haciendo su trabajo innecesario.

El computador puede usarse para realizar cualquier mapa que esté basado en datos que den los valores actuales de la humedad a 850 y 700 mbs., y también un mapa que muestre la inestabilidad vertical del aire hasta el nivel de 500 mbs. Este mapa lo usamos para la predicción de tormentas. Toda esta labor será pronto transferida a nuestro computador el cual puede hacer el trabajo de forma fácil y rápida.

Hemos encontrado que todos los cálculos para una predicción pueden separarse en sumas, restas, multiplicaciones y divisiones. Todo esto puede hacerse mensualmente pero no terminados a tiempo para que sean útiles en un servicio meteorológico.

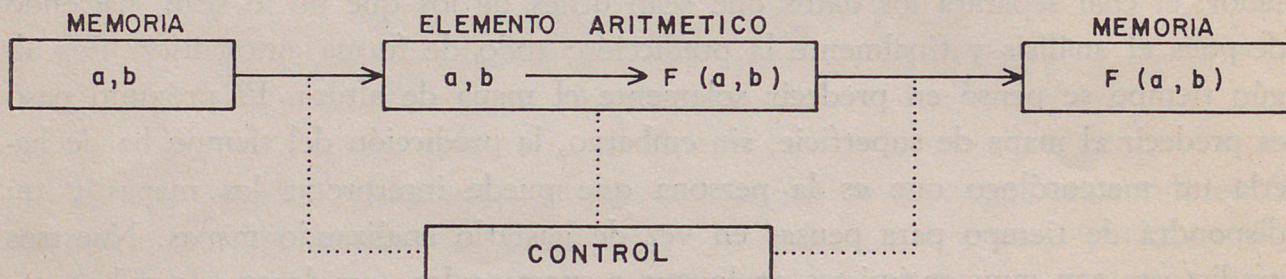
Sin embargo, un computador electrónico puede hacer las mismas operaciones; ahora intentaré dar una idea de cómo uno de estos computadores funciona.

Tellus, Vol. 4 n.º 3, pág. 169.1. A computador, hasta la pág. 171.2. A problema.

I. Un computador

Un computador electrónico digital es un instrumento extremadamente complejo y que contiene miles de componentes lo que acarrea la aplicación de las técnicas más avanzadas en ingeniería electrónica. Afortunadamente, es posible llegar a comprender la estructura de la máquina sin necesidad de conocer el diseño y construcción por el que esta estructura está realizada, del mismo modo que es posible conocer la estructura lógica de un automóvil sin necesidad de comprender la construcción de sus componentes o la manera en que ellos realizan el trabajo.

Los elementos básicos de un computador electrónico digital son (i) la unidad aritmética, (ii) la memoria, (iii) el control. Además, debe haber un órgano que sea el encargado de suministrar y obtener los datos del computador, es decir, un dispositivo de entrada-salida. Ilustremos con un ejemplo simple la manera en que estos elementos trabajan. Sean a y b dos números que en un cierto momento durante un cálculo, deben combinarse para dar un número derivado, $F(a, b)$: por ejemplo, $F(a, b) = a + b$, $a - b$, ó $a \times b$, etc. Inicialmente, a y b se almacenan en la memoria; entonces el control dispone las cosas para que sean transferidos a la unidad aritmética, instruye a este elemento para que produzca $F(a, b)$, y devuelve este número a la memoria (véase fig. I).



La unidad aritmética contiene un pequeño número de registros, análogos al dial de que va previsto un calculador ordinario de mesa, cada una de los cuales contiene un número (es decir, una serie de dígitos) en cada instante. No se requieren muchos registros si, como en la mayoría de los computadores, la unidad aritmética hace sólo una operación en un momento dado. Cuando un número que está contenido en un registro no se necesita, el control puede borrarlo o enviarlo a un sitio específico en la memoria. Si este lugar específico contiene ya otro número, éste queda borrado y el que proviene del registro ocupa su lugar.

La utilidad de un computador de alta velocidad depende en gran parte de que su control es muy versátil y de la capacidad de la memoria. Cada cálculo, de envergadura suficiente para justificar el uso de un computador arrastra consigo una gran cantidad de números intermedios que sin representar el resultado final, se manejan durante los pasos intermedios del cálculo y son dejados a un lado

para ser usados más tarde. Además, en algunos problemas el dato inicial así como el resultado final, puede implicar el uso de muchos números. Si el aparato ha de funcionar como un computador de alta velocidad, es esencial limitar la necesidad de parar el aparato con objeto de suministrarle o retirarle números antes de que el cálculo esté terminado; verdaderamente, la máquina no debe interrumpirse en absoluto mientras esté haciendo los cálculos. Para dar una sucesión de operaciones completamente automáticas debe haber un control que elabore las instrucciones necesarias sin interrupción y una memoria de gran capacidad que pueda abarcar simultáneamente una gran cantidad de datos.

Los cálculos necesarios para resolver un problema dado, puede formularse como una serie de órdenes que indiquen, paso a paso, cada operación aritmética que deba realizarse, incluyendo los cambios de datos suministrados y sacados de la memoria. Las órdenes se transforman en números de acuerdo con una clave definida, y se conservan en la memoria (así se establece un enlace entre el control humano de los cálculos y el control de la máquina). De este modo la máquina retiene tanta información lógica como información numérica (ambos tipos de información se expresan en la forma de series de dígitos). Como las órdenes están ahora localizadas en la memoria, pueden ser separadas y transferidas, dicho sea de esta manera, al órgano de control, el cual dispone las cosas para que estas órdenes se lleven a cabo una detrás de otra, en la forma que son leídas.

Hemos discutido ahora las características principales de la estructuración lógica de un computador; independientemente del dispositivo de entrada y salida de datos, está formado de lo siguiente:

- (i) Una unidad aritmética, que consiste de unos cuantos registros, cada uno de los cuales retiene en cada instante un solo número (serie de dígitos). La unidad aritmética es responsable de realizar operaciones aritméticas básicas tales como suma, multiplicación, división.
- (ii) Una memoria capaz de almacenar gran cantidad de números, provista de elementos para leer y alterar su contenido a medida que los cálculos se están realizando.
- (iii) Un control variable, que responde a una serie de órdenes almacenadas en la memoria.

Con respecto a la velocidad con que un computador hace los cálculos, puede decirse que estando las operaciones controladas por circuitos electrónicos y por tanto de gran rapidez, la unidad de tiempo más empleada en estos menesteres es el microsegundo (una millonésima de segundo). Una idea aproximada de la duración de la mayoría de cualquier tipo de cálculo puede obtenerse si suponemos que para cada multiplicación (o división) se necesitan 500 microsegundos, y 65 microsegundos para cada orden (incluyendo multiplicaciones y divisiones). Por ejemplo, para hacer un cálculo meteorológico típico (la predicción barotrópica de 24 horas), llevada a cabo con el computador de Princeton se necesitaron 1.960.000 multiplicaciones y un total de 42.300.000 órdenes. La duración de estos cálculos

es por tanto $500 \times 1.960.000 + 65 \times 42.300.000$ microsegundos, o aproximadamente 62 minutos. Esto explica el porqué un cálculo largo y complicado, que intentado a mano sería impracticable, es factible para un computador.

El primer computador sueco fue bautizado con el nombre de Besk. Fue puesto a punto por un grupo de científicos y técnicos nombrados por el gobierno sueco. Más tarde estos computadores fueron transferidos o comprados por una compañía privada sueca, Atvidaberg, que tenía experiencia en computadores eléctricos. Posteriormente, siguieron desarrollando el computador Besk y ahora está siendo fabricado y vendido bajo el nombre Facit.

El Instituto meteorológico noruego ha comprado uno y lo ha instalado en tal Instituto. Otros computadores Facit están instalados en Estocolmo y recientemente un computador Facit ha sido alquilado por el SMHI para investigación y trabajo rutinario.

Ahora voy a dar unas indicaciones acerca del computador y su modo de funcionar. El sistema decimal, que es el que usamos comúnmente, no se usa; en su lugar se emplea un sistema binario, barajando sólo dos cifras: 0 y 1; 0 equivale a 0 y 1 equivale a 1, 10 equivale a 2, 11 a 3, 100 a 4, 101 a 5, 110 a 6, 111 a 7, 1000 a 8, 1001 a 9, 1010 a 10, etc. Si sumamos 2 y 3 tenemos:

$$\begin{array}{r} 10 \\ 11 \\ \hline 101 \end{array} = 5; \text{ si sumamos 4 y 5}$$

$$\text{tenemos: } \begin{array}{r} 100 \\ 101 \\ \hline 1001 \end{array} = 9.$$

Las cifras decimales se introducen en la máquina por medio de una cinta perforada que se lee a alta velocidad. Los números se transforman al sistema binario y se envían a la memoria. Hay una serie de elementos electrónicos que dejan o no pasar la corriente y son las que se usan para distinguir entre + y —, ó entre

0 y 1. Hay dispositivos para sumar números $\begin{array}{r} a \\ b \\ \hline a \\ b \end{array}$ y para restar. Las multiplicaciones pueden hacerse como si fueran sumas repetidas o por otros métodos más rápidos pero más complicados.

Hay memorias de varios tipos. Las de ferrita están compuestas de cristales que están polarizados de acuerdo con la figura. Otras memorias están hechas de cinta magnética. El órgano directo de la máquina es una parte muy importante. Cuida de las instrucciones y ordena a la máquina el sacar números de una memoria especial sumándolos a otras o transcribiéndolos a la máquina de escribir. Ciertos programas pueden ser escritos de una vez para siempre y almacenados en el computador. La ventaja principal estriba en la rapidez del proceso. En el computador Facit una suma tarda aproximadamente 50 seg. Hay otras máquinas más rápidas. El computador IBM 7090 puede hacer una suma aproximadamente en

5 microsegundos. Este computador también se usa para preparar los mapas previstos del servicio meteorológico militar sueco. En el Smhi disponemos de otro computador sueco que suma en 9 segundos. Está fabricado por la compañía de aeroplanos SAAB, muy conocida por sus reactores Lansen y Draken y también por el automóvil SAAB. El computador SAAB D 21 no es tan rápido como el IBM 7090, pero es suficiente para hacer en 20 minutos los cálculos de una predicción de 24 horas. Los gastos de este computador son pequeños si se comparan con los de IBM 7090. Está transistorizado y no necesita mucha energía. Es muy eficaz y las piezas de recambio se le pueden cambiar fácilmente. No necesita mucho espacio pudiendo ser instalado con facilidad en una habitación de 4×6 metros. Los resultados se escriben en una máquina eléctrica de escribir o los análisis se pueden trazar sobre un mapa con la ayuda de una máquina adicional simple.

Los mapas previstos se basan en la suposición de que el flujo es no divergente, barotrópico. Han sido propuestos otros modelos que en cierto modo son más reales. En los modelos baroclínicos se introducen varias capas en las que se suponía existiera densidad variable y componentes verticales de velocidad. En principio estos modelos son más parecidos a la atmósfera real que el modelo barotrópico pero los problemas matemáticos son más complejos y los cálculos han de durar más tiempo. Los resultados obtenidos con el modelo baroclínico no habían alcanzado los obtenidos con el modelo barotrópico hasta que recientemente el Dr. Fjörtoft de Oslo pretendió que los resultados obtenidos con su modelo baroclínico superaron los obtenidos con el modelo barotrópico. El uso inmediato de los mapas previstos estriba en la predicción de la intensificación y debilitamiento de los sistemas de presión. Solamente los modelos baroclínicos nos pueden dar una información acerca del desarrollo termodinámico de una borrasca pero también el modelo barotrópico nos puede informar acerca de la intensificación o debilitamiento dinámico de las borrascas. Las predicciones numéricas pueden hacerse para cualquier período pero la exactitud de la predicción decrece rápidamente a medida que el período se incrementa y nadie tiene aún fe en pronósticos más largos de cuatro o cinco días. Sin embargo, en nuestro servicio se usan predicciones numéricas para un período de tres días; estas predicciones sirven como base para pronósticos de temperatura para un período de cinco días durante la época invernal.

Ahora planeamos estudiar el uso de predicciones numéricas para 4-5 días, junto con métodos estadísticos, para hacer pronósticos de 30 días.

Un uso inmediato de los mapas previstos es el pronóstico de los vientos en altura.

El computador que hace el mapa previsto está también programado para calcular el viento a 500 mbs. entre dos puntos cualesquiera con el fin de ser usado por la aviación tanto civil como militar. Este trabajo es muy simple y rápido, y es más digno de fiar que si el mismo trabajo lo hiciera a un meteorólogo.

El Instituto Meteorológico noruego, como se ha mencionado anteriormente, posee su propio computador, un modelo Facit EDB. Independientemente, nosotros alquilamos por cierto tiempo un computador Saab D 21 en Estocolmo, pero espe-

ramos poseer uno propio en nuestras oficinas con la idea de hacer nuestros cálculos más fácilmente y con menos pérdida de tiempo. También planeamos suministrar al computador todos los informes climatológicos y sinópticos de Suecia; este computador se encargará de comprobar los datos y transcribir los valores en forma adecuada para su publicación en los boletines diarios y mensuales así como en los resúmenes anuales. Sin embargo, todo esto necesitará varios años de programación.

También quiero hacer algún comentario acerca de la cuestión económica. Nuestro computador SAAB D 21 vale con todo el equipo necesario, tales como máquinas de escribir eléctrica, una máquina impresora capaz de escribir una línea completa de una sola vez, 600 líneas en un minuto, suficientes memorias de cinta y ferrita y un transcriptor de mapas, menos de dos millones de coronas suecas o veinticinco millones de pesetas. Los gastos anuales de mantenimiento, personal necesario y recambios se estiman en un 5 por 100 del coste. Al principio, usaremos solamente el 50 por 100 de tiempo de funcionamiento del computador, mientras el resto será empleado por otros organismos oficiales. De todos modos tendremos prioridad porque nuestra labor es muy urgente; una pérdida de tiempo significaría una disminución en la eficiencia de nuestro trabajo. Creemos que en el futuro podremos prescindir de varios de nuestros ayudantes o emplearlos en otros trabajos. Algunos se dedicarán a perforadores, pero habrá un ahorro de personal, quizás cinco, seis o más; aun así habrá un incremento considerable en el rendimiento de nuestro trabajo.

El uso de los métodos numéricos de predicción está acabando de empezar. Aunque se necesite mucho tiempo para su desarrollo, es un hecho que el método está en marcha y prevalecerá. Es difícil prever si esta técnica será empleada solamente por unos pocos Centros y sus descubrimientos distribuidos de forma adecuada a otros servicios menos importantes, o si el sistema será usado por cada uno de los diferentes servicios meteorológicos. Por ahora, se necesita más investigación y es deseable que tal investigación se lleve a cabo en diferentes lugares con objeto de encontrar la solución más idónea del problema. Esta es la razón por la que continuamos trabajando en este campo. Otra razón es que encontramos en ello una gran ayuda para nuestro trabajo. Podemos llevar a cabo nuestra tarea de manera más eficiente y económica que cuando se usan los métodos convencionales de trazado de mapas a mano y posterior análisis.

