

Historia reciente de la Meteorología:

LA METEOROLOGÍA Y LOS ORDENADORES ELECTRONICOS

Mariano Medina e Isabel

In memoriam

Nota de la RAM. *Un lector de la RAM nos ha sugerido que recuperemos algún artículo histórico de la meteorología. Aquí traemos uno. Nos retrotraemos al comienzo de los años 70s. El inicio de la predicción numérica del tiempo, modelos atmosféricos simples y sencillos, predicciones artesanales y ordenadores con pocos recursos. Mariano Medina nos relata así lo que se pensaba en su tiempo. Hemos recuperado un artículo suyo para ver lo que ya es historia de la meteorología contada por el primer “hombre del tiempo”. Estamos en el año 1972.*

Pretendemos en estas líneas divulgar sucintamente algunas ideas sobre el impacto que han supuesto los ordenadores en la Ciencia de! Tiempo, convirtiéndola, de la ciencia <natural> que era antaño, en una autentica tecnología

SIMULACION MATEMÁTICA DE LA ATMOSFERA

Hemos hablado en el número anterior de la **Revista** del análisis y pronóstico numéricos del mapa de olas, que se basan en un modelo matemático (definido por medio de ecuaciones diferenciales), del medio real de que se trate, en este caso el mar. Pero este concepto de **modelo** es aplicable a cualquier otro medio físico cuyas leyes de comportamiento y evolución puedan expresarse matemáticamente. Por ejemplo, a la atmósfera. Y hay que advertir que la «simulación matemática» de ésta y el cálculo de su evolución, es decir, predicción meteorológica numérica, son muy anteriores a los métodos descritos para preparación objetiva de mapas de olas. Sus primeras tentativas se remontan a 1922, o los ensayos de L. F. Richardson, que fracasaron en la práctica por falta de ordenador electrónicos en aquella época, lo que hizo imposible el cálculo a mano de una ingente masa de datos en un plazo inferior al de la validez del pronóstico meteorológico buscado. (Se dice que un equipo de matemáticos tardaría **un año** en calcular numéricamente el mal previsto **del día siguiente**).

La evolución del medio atmosférico viene gobernada por las leyes de la mecánica de fluidos, conocidas desde hace ya mucho tiempo y que se han venido y se vienen aplicando en la predicción meteorológica clásica de una manera empírica y subjetiva con resultad satisfactorios.

Lo que podríamos llamar «revolución numérica» de la meteorología, no lo es tal más que por los métodos empleados en el cálculo del estado inicial atmosférico (análisis) en el de su evolución (pronosis), que exigen el empleo de potentes ordenadores. Pero la teoría en que se fundamenta el citado cálculo es la **clásica**, y sus ecuaciones, las que de forma empírica y cualitativa se utilizan desde hace ya mucho tiempo en la predicción sinóptica.

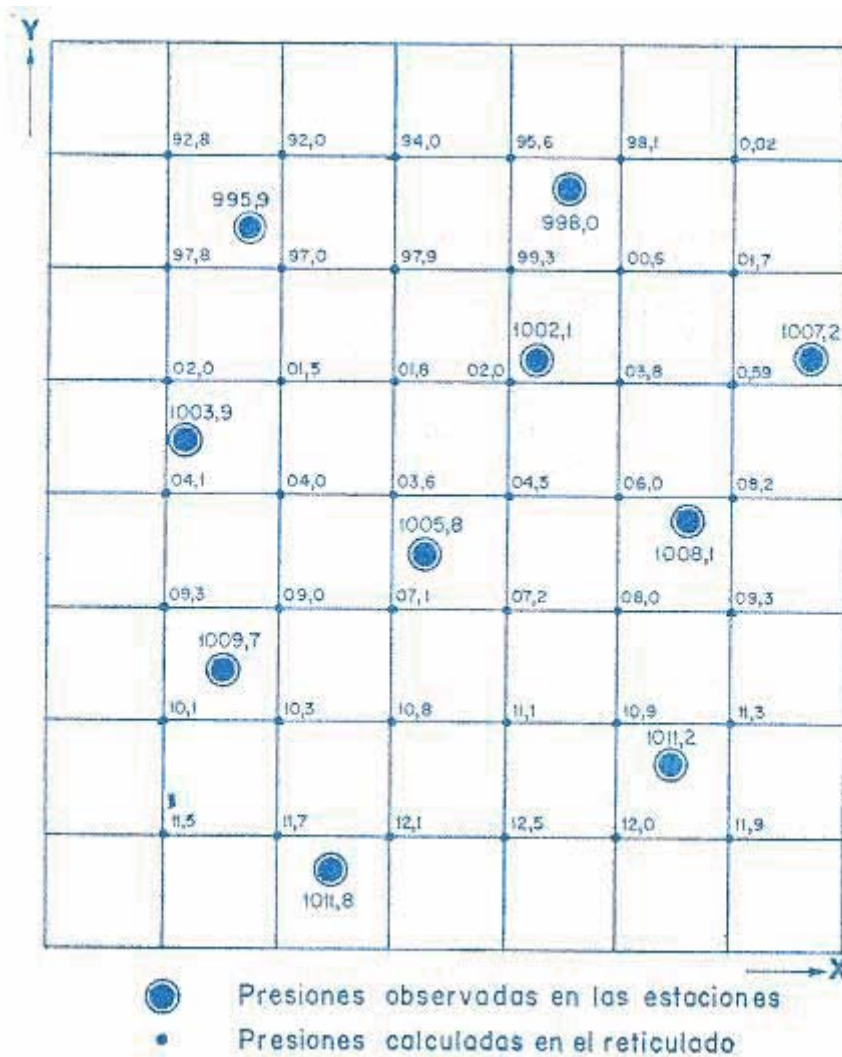
Un **modelo** muy simplificado de la atmósfera sería el de una película fluida deslizándose sobre una esfera que girase alrededor de un eje, con sendas fuentes frías en los polos y una cálida en el ecuador. Tal modelo elemental correspondería a una atmósfera de dos dimensiones solamente, por lo que hay que perfeccionarlo introduciendo en él el movimiento de diversas capas o películas superpuestas, lo que implica la aparición de flujos verticales de compensación entre ellas y, por tanto, el cálculo de la velocidad vertical d aire, originadora de las nubes y precipitaciones.

ANALISIS DE LA ATMÓSFERA EN UN RETICULO

No vamos a entrar en el estudio, ni siquiera en la descripción de las ecuaciones físico-matemáticas que responden a las leyes del medio atmosférico. Diremos tan sólo cómo se aplican a la preparación de mapas meteorológicos por medio de un ordenador.

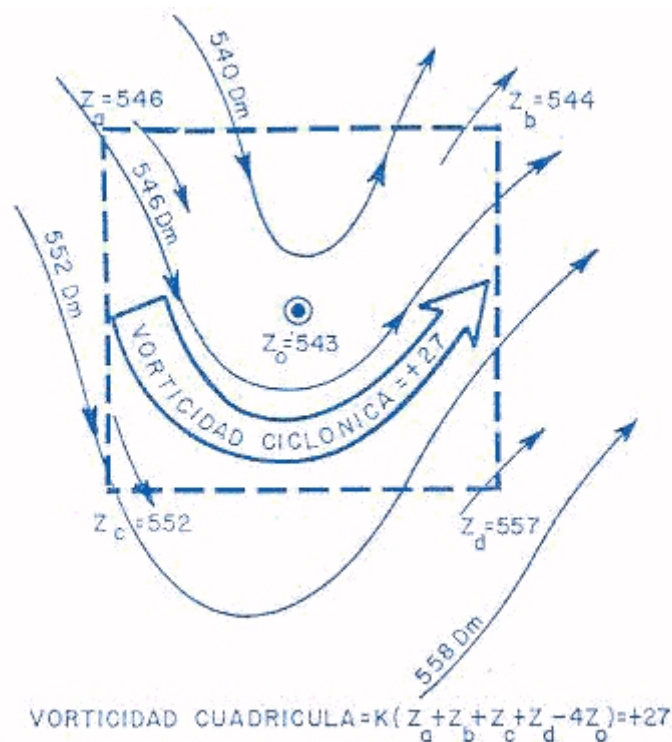
El conocimiento del estado inicial de la atmósfera, que resulta de las observaciones sinópticas en superficie o en altitud, es muy irregular en el espacio (recordemos los datos que pueden obtenerse, a escala planetaria, en los desiertos, en la faja intertropical o en el hemisferio austral). No se prestan, pues, a su tratamiento numérico con un ordenador. Por tanto, el primer paso que efectúa éste es la conversión de los datos obtenidos por las estaciones meteorológicas en valores sobre los puntos de un reticulado, con lo que se consigue una distribución regular en el espacio de la variable meteorológica que se analiza, como se ve en la figura esquemática que acompañamos y que se refiere al caso de la presión en superficie. El campo a analizar se convierte así en un reticulado de valores, de tal modo que pueden deducirse sus componentes según dos ejes cartesianos paralelos a sus lados, así como sus derivadas a lo largo de ellos, que en la figura serían los gradientes de la presión según **OX** y **OY**. Y todo ello de uno manera numérica (diferencias finitas) que realiza automáticamente el ordenador. Estos cálculos objetivos permiten resolver las ecuaciones que describen matemáticamente el modelo atmosférico, lo que constituye el análisis **en tiempo real** (condiciones iniciales). Y dependiendo dichas ecuaciones del tiempo cronológico se puede extrapolar éste para un valor futuro (24, 36, 72 horas), resultando entonces, al repetir los cálculos, un **mapa previsto** numéricamente.

Los reticulados empleados constan de unos 3.000 puntos, separados entre sí, del orden de 400 km, que cubren la mayor parte del hemisferio norte hasta unos 15 grados de latitud sobre una proyección estereográfica polar.



LA CONSERVACION DE LOS TORBELLINOS

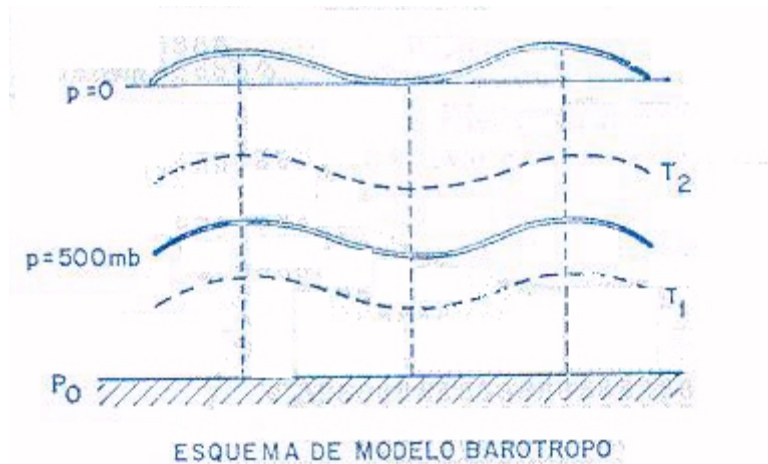
La noción de torbellino es fundamental en los modelos dinámicos de la atmósfera. En efecto, éstos constituyen los engranajes básicos de la circulación: la totalidad del medio atmosférico es, globalmente, un gigantesco torbellino que gira de W a E; sus elementos fundamentales a escala planetaria son los grandes anticiclones y depresiones semipermanentes (torbellinos con circulaciones opuestas) y las depresiones móviles o borrascas de las latitudes medias (asimismo, torbellinos de menor escala). Es decir, que el transporte de las partículas del fluido atmosférico se realiza por medio de los citados engranajes turbillonarios.



Por otra parte, el concepto matemático de éstos (o en palabras más técnicas, la **vorticidad**), puede aplicarse a cualquier punto de la atmósfera y calcularse numéricamente a partir de los vientos que la rodean (función de las isolíneas) pudiendo resultar una magnitud positiva (vorticidad ciclónica) o negativa (anticiclónica). En el esquema damos un ejemplo de cálculo de la vorticidad para una cuadrícula. Lo más interesante de todo ello para la predicción numérica es que el torbellino o vorticidad es aproximadamente conservativo, es decir su valor no varía con el tiempo, y ello constituye la hipótesis de trabajo fundamental que se introduce en el ordenador para la preparación de mapas previstos.

EL MODELO BAROTROPO

Es el más sencillo de todos. En él, el medio atmosférico se asimila a una capa de dos dimensiones, concretamente a la superficie isobárica de 500 mb, que biseca aproximadamente la atmósfera, de manera que el comportamiento y evolución de ésta responden a los del flujo medio del aire. Pero, además, dicha superficie isobárica goza de una notable propiedad: la vorticidad o torbellino de sus puntos no varía con el tiempo, por lo que le es plenamente aplicable la hipótesis de trabajo a que antes aludíamos (véase el número anterior de la Revista). En el modelo barótropo las superficies isotermas son paralelas a las isobaras, lo que constituye una simplificación en los cálculos. (Véase el esquema.)

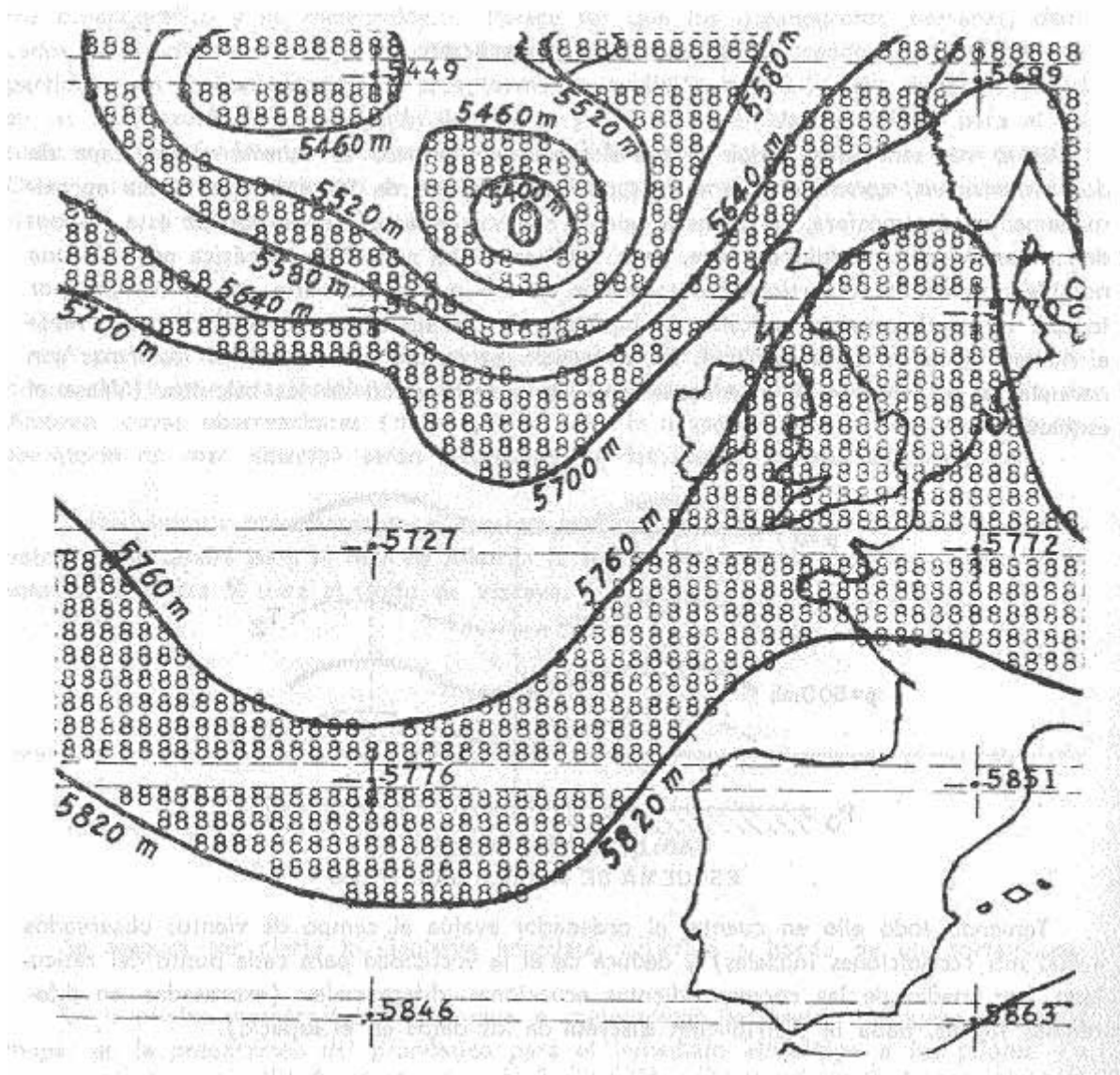


Teniendo todo ello en cuenta, el ordenador evalúa el campo de vientos observados a 500 mb (condiciones iniciales) y deduce de él la vorticidad para cada punto del reticulado, por medio de las correspondientes ecuaciones diferenciales (expresadas en diferencias finitas, dada la distribución discreta de los datos en el espacio).

A continuación desplaza, teniendo en cuenta el campo de vientos, y para un período de tiempo de una hora, las isolíneas de vorticidad; en otras palabras, obtiene el campo de su variación para cada punto del reticulado y a partir de éste, el de vorticidades previstas al final del plazo considerado de una hora.

Seguidamente, e invirtiendo las operaciones, el ordenador calcula a partir del campo de vorticidades previstas el de vientos previstos, y dada la relación geostrófica de éstos con la presión, la futura configuración de la superficie isobárica de 500 mb por medio de sus líneas de nivel (isohipsas).

Los cálculos que anteceden se repiten sucesivamente el número de veces necesario hasta alcanzar el plazo de predicción (24, 36 ó 72 horas). Al final el ordenador da salida al mapa previsto de 500 mb, trazado automáticamente por medio de un «sombreado» de las áreas comprendidas entre las isohipsas, como aparecen en el fragmento del mapa adjunto, de manera que éstas se pueden trazar sencillísimamente a mano, tal como se ve también en el mapa citado.



Advertiremos que un pronóstico a veinticuatro horas, preparado con arreglo al modelo barótropro, puede invertir unos ocho minutos de cálculo en un ordenador potente y que los resultados son mejores que los de los mapas previstos «a mano», siendo bastante más exactos si la previsión se alarga hasta treinta y seis horas.

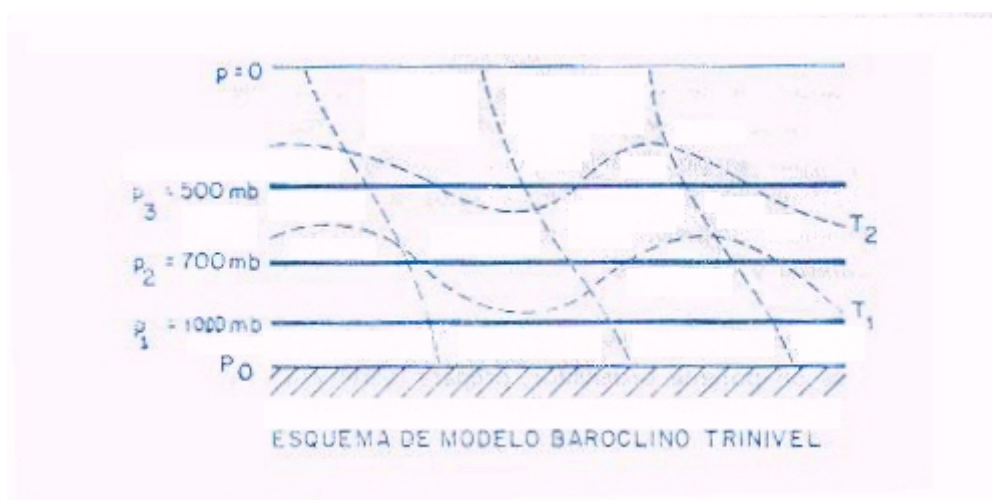
MODELO BAROCLINOS

El modelo barótropro permite pronosticar la configuración de la superficie isobárica de 500 mb a partir de sí misma, como hemos explicado. Es decir, que se parte de la configuración de una atmósfera «de dos dimensiones». Pero ello no es suficiente, ya que una cosa es disponer de un mapa futuro y otra prever el tiempo que va a hacer. Al no tener en cuenta el modelo barótropro los movimientos verticales del aire, renuncia, de antemano, por ejemplo, al pronóstico de las precipitaciones.

Por todo ello ha habido que introducir posteriormente modelos más perfeccionados, en los que se tiene en cuenta la tercera dimensión de la atmósfera, mediante el cálculo no de un solo nivel isobárico, sino del de tres, cuatro o cinco, lo que implica un corte vertical de la atmósfera.

Tales modelos, hoy ampliamente empleados, se denominan **baroclinos**.

En ellos la ecuación de conservación de la vorticidad o torbellino no basta para resolver el problema de la evolución de una atmósfera de tres dimensiones (esquemática por varios niveles o capas isobáricas), ya que no tiene en cuenta los flujos verticales entre ellos. Por tanto, debe introducirse una ecuación termodinámica que pueda expresar la variación de la temperatura en cada punto del reticulado y, con ella la configuración de las superficies isotermas que, al contrario de lo que ocurre en el modelo barótrofo, no son ya paralelas a la isobárica. Estas, en una atmósfera baroclina, están tanto más separadas verticalmente cuanto más caliente sea el aire comprendido entre ellas. Por tanto, puede deducirse la temperatura del aire a partir de la diferencia de altitudes entre dos niveles isobáricos, para cada punto del reticulado y viceversa. También es posible calcular las velocidades verticales teniendo en cuenta no sólo los flujos de compensación que se producen al deslizarse uno sobre otro los niveles isobáricos considerados, sino también la evolución del campo de temperaturas, ya que un enfriamiento del nivel superior corresponde a una ascendencia y viceversa.



Los procesos numéricos implicados en los modelos baroclinos son, pues, bastante más complejos que en el barótrofo, lo que es natural, ya que permiten el pronóstico simultáneo de varias superficies isobáricas (dos, tres o cinco, según se trate de modelos bi, tri. o pentanivel). La figura que acompañamos representa esquemáticamente el corte vertical de un modelo baroclino trinivel, para las superficies isobáricas de 1.000, 700 Y 500 mb. Un ordenador puede efectuar el cálculo de un pronóstico a veinticuatro horas para tres niveles en unos veinte minutos.

LA PREVISION NUMERICA A LARGO PLAZO

Los actuales métodos de predicción son, en gran parte, cinemáticos, basándose en considerar las isolíneas algo así como hilos deformables, cuya configuración futura es posible conocer por extrapolación, bien sea ésta subjetiva o bien numérica, pero en todo caso un buen pronóstico requiere un conocimiento, lo más exacto posible, del estado inicial y éste, hoy día, es imperfecto. Aún cuando se llenasen de observaciones en la altitud las enormes extensiones oceánicas de, por ejemplo, el hemisferio austral, la densidad de los cuadrículados actuales dejaría filtrar los fenómenos de escala inferior a la sinóptica. (Células meso-convectivas, de 10 a 100 Km y convectivas, de 1 a 10). En ellos entran en juego diversos parámetros que no tienen intervención en los modelos

matemáticos de la atmósfera, como son la vegetación, la humedad, la capa de nieve que puede cubrir el suelo, o la temperatura de éste, si se trata del océano. Es decir, las interacciones térmicas entre la atmósfera y su límite inferior.

Para obtener buenos pronósticos a un plazo mayor que los actuales (del orden de una semana o más) son precisos modelos matemáticos que contengan las citadas interacciones, ya que es inconcebible un modelo realista puramente cinemático, y que no tenga en cuenta las transferencias de energía, verdadero «combustible» de la atmósfera (véase, por ejemplo, en el núm. 4 de la Revista, «La temperatura del mar y la predicción a largo plazo»).

Quizá el instrumental ideal para la observación de las condiciones iniciales de la atmósfera sea en el futuro el satélite meteorológico, que podría registrar todos los fenómenos, sea cual sea su escala. Ejemplo de ello es la detección de determinados ciclones tropicales que se filtrarían entre las redes sinópticas de observación. Unidos los avances de la «meteorología espacial» a los del cálculo numérico en todos sus aspectos (modelos energéticos más realistas y ordenadores más potentes y veloces), podrían llevarnos en pocos años a una verdadera «revolución tecnológica» de la meteorología, dando así lugar a pronósticos exactos a largo plazo (una semana o diez días) fundados en análogos procedimientos a los seguidos hoy en la preparación de mapas previstos a cuarenta y ocho horas.

Y hoy día, en nuestro Servicio Meteorológico Nacional, la Sección de Cálculo Automático, que dispone de un potente ordenador, prepara sistemáticamente mapas de 500 mb previstos a tres días para todo el hemisferio septentrional.

Referencias del trabajo.

Revista de Meteorología Marítima publicado por el SMN del Ministerio de Aire. Nº 8 Junio de 1972 y 9 de Septiembre de 1972.