

SECCIONES VERTICALES: OBTENCIÓN INTERACTIVA Y APLICACIONES A LA PREDICCIÓN

Fermín Elizaga Rodríguez
Antonio García Méndez

(Servicio de Técnicas de Análisis y Predicción, S.T.A.P.; -INM-)

RESUMEN

Se han desarrollado dos nuevos comandos SAIDAS que permiten obtener secciones verticales de forma interactiva tanto a partir de radiosondeos como a partir de modelos numéricos (INM, CEPPM). Se expone el método de cálculo, en especial las distintas interpolaciones utilizadas, y se comenta la influencia que esas interpolaciones pueden tener en el resultado final. Se muestran ejemplos de la aplicación de las secciones verticales en situaciones meteorológicas concretas.

1. Introducción.

El objetivo de este trabajo es la introducción de las secciones verticales como herramienta operativa en el entorno SAIDAS para la diagnosis y predicción.

En muchas ocasiones el estudio de secciones horizontales (mapas sobre superficies isobáricas, por ejemplo) pone de manifiesto la existencia de importantes características, de las que interesaría conocer su estructura vertical completa por las implicaciones que pueden tener de cara a la predicción. Para poder conocer esa estructura vertical se han desarrollado dos comandos que nos permiten obtener secciones verticales a lo largo de cualquier eje elegido, tanto para datos de radiosondeos como para salidas de modelos numéricos.

En la primera parte del trabajo se explican los procedimientos de interpolación necesarios y

la influencia que tienen en el resultado, mientras que la segunda parte se dedica a mostrar la ayuda que las secciones verticales pueden suponer en distintas situaciones meteorológicas.

2. Método de cálculo.

Tanto en el caso de las secciones verticales obtenidas a partir de sondeos como a partir de modelos numéricos, podemos sintetizar el proceso de cálculo en tres etapas:

a) Lectura de los datos originales.

b) Procesado de estos datos para obtener a partir de ellos matrices bidimensionales interpoladas horizontal y verticalmente.

c) Contorneo de estas matrices de datos interpolados.

2.1. Lectura de los datos.

La lectura es diferente si se trata de modelos o de sondeos. En el caso de **secciones verticales obtenidas a partir de sondeos**, se buscan automáticamente las estaciones que formarán parte de la sección dentro de un pasillo de anchura definida entre los puntos inicial y final. Una vez seleccionadas las estaciones, se ordenan de menor a mayor en función de la distancia al primer punto. Se leen entonces los datos del sondeo realizado por cada una de estas estaciones. El resultado se almacena en matrices en las que cada columna contiene los datos de una estación y las filas son los niveles en los que hay datos. Se generan de esta forma 6 matrices: P (presión), Z (geopotencial), T (temperatura), TD (temperatura del punto de rocío), SPD (velocidad del viento) y DIR (dirección del viento). Estas matrices no son regulares ya que las estaciones no están igualmente espaciadas en la horizontal y, además, no todas las estaciones registran los mismos niveles en la vertical.

En el caso de **secciones obtenidas a partir de modelos** se leen para todos los niveles solicitados los campos de T, Z, RH (humedad relativa), U (componente u del viento) y V (componente v del viento), realizándose posteriormente una interpolación bilineal en todos los niveles a los puntos que formarán parte de la sección (estos puntos se obtienen en función de los puntos inicial y final y de la resolución requerida y son equivalentes a las estaciones de radiosondeo). Estas matrices son regulares en la vertical, ya que cada punto contiene los mismos niveles, pero no en la horizontal ya que debido al radio variable de la Tierra los puntos en la horizontal no están igualmente espaciados. Este proceso se aplica cuando se quieren obtener secciones de una serie de campos predeterminados, pero pueden obtenerse también secciones de cualquier campo meteorológico. En este caso se genera una sola matriz con el campo solicitado. En ambos casos se genera también una matriz de presiones, P, con tantas columnas como puntos en la horizontal y cuyas filas son el valor de la presión en cada uno de los niveles (ver Nota Técnica del STAP núm. 8).

2.2. Proceso de los datos.

A partir de este momento se realizan las mismas operaciones en el caso de los sondeos y en el de los modelos. Usando las matrices anteriores se calculan las mismas matrices para los campos pedidos. Estas matrices se interpolan en

la vertical a puntos igualmente espaciados. Las matrices así obtenidas se interpolan luego en la horizontal a puntos igualmente espaciados mediante polinomios de Lagrange (ver el siguiente punto). El resultado son matrices regulares igualmente espaciadas en la vertical y en la horizontal.

2.3. Contorneo de los datos.

Se utiliza el *software* original tanto para el contorneo como para el ploteo de barbas de viento. En el caso de las barbas de viento no se interpolan los datos a una matriz regular, sino que solamente se plotean los datos originales.

3. Esquemas de interpolación.

Para llegar al resultado final son necesarias varias interpolaciones: interpolación bilineal a los puntos que formaran parte de la sección (aplicable sólo en el caso de las secciones verticales de modelos), interpolación logarítmica lineal a puntos igualmente espaciados en la vertical e interpolación mediante polinomios de Lagrange a puntos igualmente espaciados en la horizontal (estas dos últimas aplicables tanto a sondeos como a modelos).

3.1. Interpolación bilineal horizontal.

Se utiliza para seleccionar los puntos que formarán parte de la sección en el caso de los modelos. Para ello se localizan los cuatro puntos de *grid* que rodean al punto donde se desea calcular el valor interpolado y se calculan las coordenadas Lat/Lon del punto *grid* situado al Noroeste del punto de interpolación. Se leen después los valores del campo en esos cuatro puntos y se aplica la siguiente expresión:

$$ZZ(\psi, \lambda) = (1-\mu)(1-\nu)R_{11} + \mu(1-\nu)R_{21} + (1-\mu)\nu R_{12} + \mu\nu R_{22} \quad [1]$$

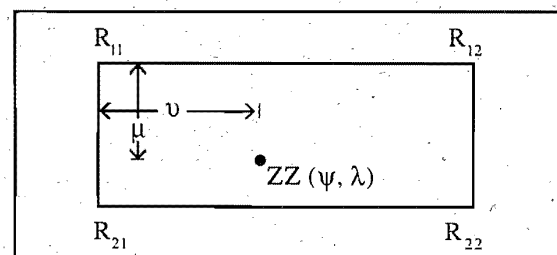


Figura 1.- Esquema de la interpolación bilineal

donde:

μ : distancia normalizada a la unidad desde el punto de interpolación hasta el paralelo que pasa por el punto de *grid* situado al Noroeste (ver Fig. 1).

ν : distancia normalizada a la unidad entre el punto de interpolación y el meridiano que pasa por el punto de *grid* situado al Noroeste (ver Figura 1).

$R_{11}, R_{12}, R_{21}, R_{22}$: valores del campo en los puntos de *grid* superior izquierdo, superior derecho, inferior izquierdo e inferior derecho que rodean al punto de interpolación.

ZZ : valor del campo interpolado.

Las latitudes y longitudes de los puntos donde realizar la interpolación se obtienen a lo largo de la línea que une el punto inicial y final (eje de la sección) en función de la resolución requerida.

3.2. Interpolación logarítmico lineal en la vertical.

En este paso, partiendo de matrices que contienen datos desigualmente espaciados en la vertical se obtienen matrices de datos regulares en la vertical, estando los puntos igualmente espaciados en altura geométrica.

Para ello se interpolan los datos originales linealmente a niveles de presión que corresponden a niveles igualmente espaciados en la vertical (dada la relación logarítmica que existe entre la altura geométrica y la presión, esto es lo mismo que realizar una interpolación logarítmico lineal).

La presión en los niveles de interpolación viene definida por:

$$FP(i) = \left[\frac{NR-i}{NR-1} (p_{if}^k - p_{sp}^k) + p_{sp}^k \right]^{1/k}; i=(1, NR) \quad [2]$$

y $k = R/C_p$, p_{if} y p_{sp} son la presión en el nivel inferior y en el superior de la sección respectivamente, mientras que NR es el número de niveles de interpolación.

Se puede comprobar fácilmente que estos niveles de presión corresponden a niveles de alturas equiespaciados. En efecto, partiendo de la relación hidrostática

$$\frac{\partial z}{\partial p} = - \frac{\alpha}{g} \quad [3]$$

y usando la definición de temperatura potencial se llega a

$$\delta z = - \frac{R\theta}{g} \left(\frac{p}{p_0} \right)^k \frac{\delta p}{p} \quad [4]$$

Integrando esta ecuación entre dos niveles 1 y 2 y usando un valor promedio de θ se obtiene

$$z_2 - z_1 = \Delta z = CTE (p_1^k - p_2^k) \quad [5]$$

Entonces, si escogemos los puntos 1 y 2 como los puntos inferior y superior de la sección y usamos intervalos de la forma

$$\frac{NR-i}{NR-1} (p_{if}^k - p_{sp}^k); i=(1, NR) \quad [6]$$

para calcular los niveles de presión, éstos se corresponderán con niveles de alturas equiespaciados.

En la Fig. 2 se observan dos gráficos, uno con la relación $z-p$ y otro con la relación $z-(p/p_0)^k$

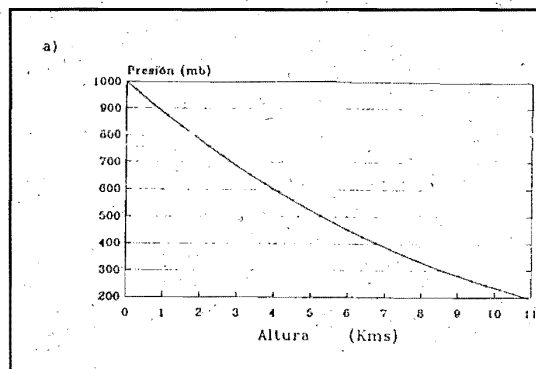


Fig. 2a.- Relación $z-p$

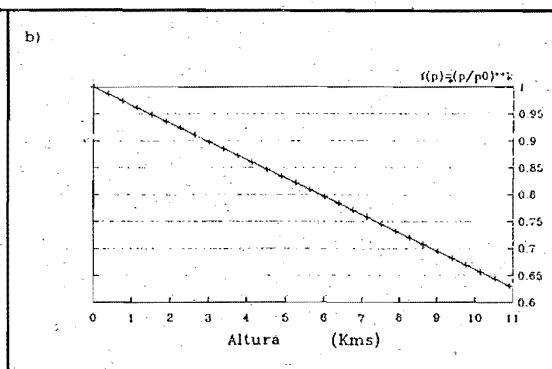


Fig. 2b.- Relación $z-(p/p_0)^k$

donde se pone de manifiesto cómo se pasa de una relación logarítmica a una relación lineal.

A partir de estos niveles de presión se realiza una interpolación lineal aplicando la siguiente fórmula:

$$ZZ(K,I) = ZZ(\text{MIN},I) + \frac{[FP(K) - P(\text{MIN},I)]}{[P(\text{MAX},I) - P(\text{MIN},I)]} [ZZ(\text{MAX},I) - ZZ(\text{MIN},I)] \quad [7]$$

donde MAX y MIN hacen referencia a los valores de presión en el nivel más alto y en el más bajo, respectivamente, entre los que se encuentra uno de los niveles FP(i).

3.3. Interpolación en la horizontal usando polinomios de Lagrange.

La técnica de interpolación de Lagrange se utiliza cuando queremos interpolar los valores de una función a una serie de puntos a partir de los valores conocidos de esa función en puntos desigualmente espaciados.

En el caso que nos ocupa la interpolación se realiza para cada uno de los niveles en la vertical que se obtienen en el paso anterior por interpolación lineal logarítmica, pasándose del número de puntos original en la horizontal a 100 puntos.

La fórmula de Lagrange para interpolar el valor de una función F(x) en un punto x a partir de los valores conocidos de la función F en n puntos x_i es:

$$F(x) \approx P(x) = \sum_{i=1}^n F(x_i) L_i(x) \quad [8]$$

donde

$$L_i(x) = \prod_{j \neq i} \frac{(x - x_j)}{(x_i - x_j)} \quad [9]$$

En el caso que nos ocupa trabajamos con polinomios de Lagrange de segundo grado, esto es, para calcular el valor interpolado en un punto x usamos los valores conocidos de la función en 3 puntos x_i de forma que la fórmula queda:

$$F(x) \approx P(x) = F(x_1) \frac{(x - x_2)(x - x_3)}{(x_1 - x_2)(x_1 - x_3)} + F(x_2) \frac{(x - x_1)(x - x_3)}{(x_2 - x_1)(x_2 - x_3)} + F(x_3) \frac{(x - x_1)(x - x_2)}{(x_3 - x_1)(x_3 - x_2)} \quad [10]$$

Los 3 puntos que se eligen están situados uno a la izquierda del punto de interpolación y dos a la derecha (izquierda y derecha vienen definidas por el primer y el último punto del corte respectivamente).

Para una información más detallada de los distintos procesos de interpolación, consúltese la Nota Técnica del S.T.A.P. núm. 8.

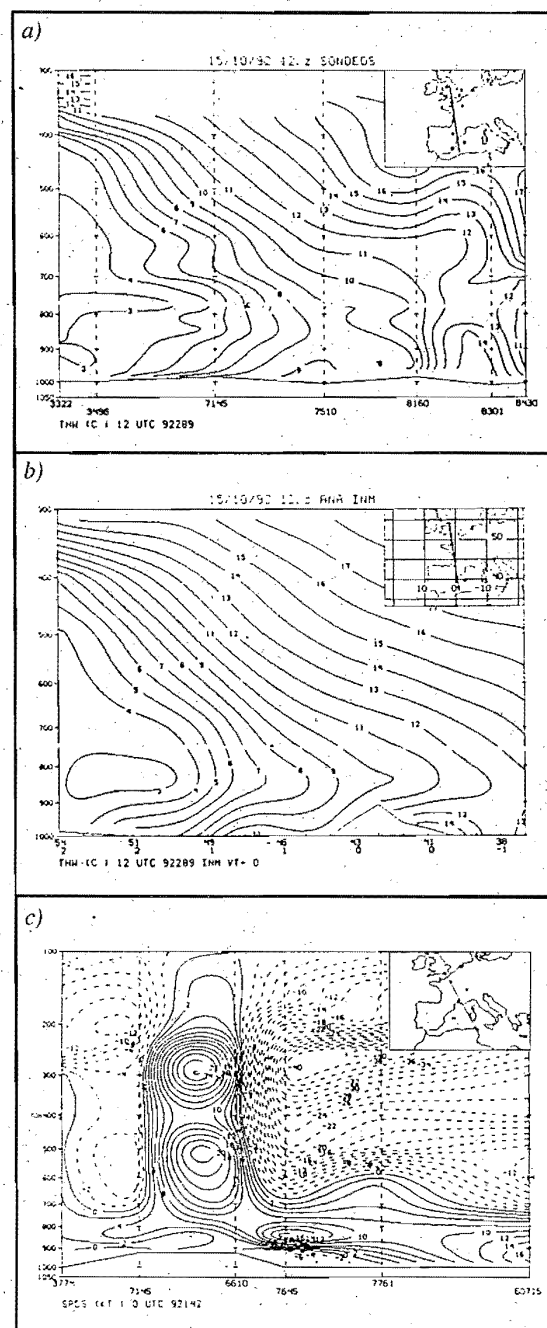


Figura 3.- Secciones verticales: a) temperatura potencial del húmedo (THW) en °C usando radiosondeos el 15-10-92 a 12Z; b) THW en °C usando el análisis objetivo del modelo LAM-INM el 15-10-92 a 12Z, y c) viento paralelo al eje de la sección (Kt) usando radiosondeos el 21-5-92 a 00Z.

4. Efecto de las interpolaciones.

Cuando se dispone de pocos datos originales a lo largo del eje de la sección, como es el caso cuando se usan los sondeos, las interpolaciones que deben realizarse y, sobre todo, la interpolación horizontal por polinomios de Lagrange, pueden conducir a resultados inesperados, apareciendo estructuras que no son reales ("artifacts"). En las Figs. 3a y b se muestra una comparación entre secciones obtenidas con sondeos y con modelo; aunque a nivel general no existen grandes diferencias, la sección obtenida con sondeos muestra estructuras de menor escala que deben ser puestas en entredicho. Las estructuras que caen entre dos estaciones no son en muchas ocasiones reales ya que para calcular el valor en esos puntos se están usando tres estaciones que pueden estar separadas bastantes km y alejadas al mismo tiempo del eje de la sección.

Esto se observa claramente en la Fig. 3c, donde aparece un máximo entre dos estaciones de sondeos en el viento paralelo a la sección debido al uso de una estación que está bastante alejada del eje de la misma; ese máximo se debe a la presencia de un pequeño valor positivo en la estación 6610, mientras que las estaciones 7645 y 7145 dan valores negativos. Al realizar la interpolación aparece el máximo positivo que no es real. Este tipo de problemas desaparece prácticamente en las secciones obtenidas de los modelos, ya que el número de puntos en la horizontal es bastante mayor.

5. Aplicación de las secciones verticales.

En este punto se mostrarán algunos ejemplos seleccionados del uso de las secciones verticales para diferentes situaciones.

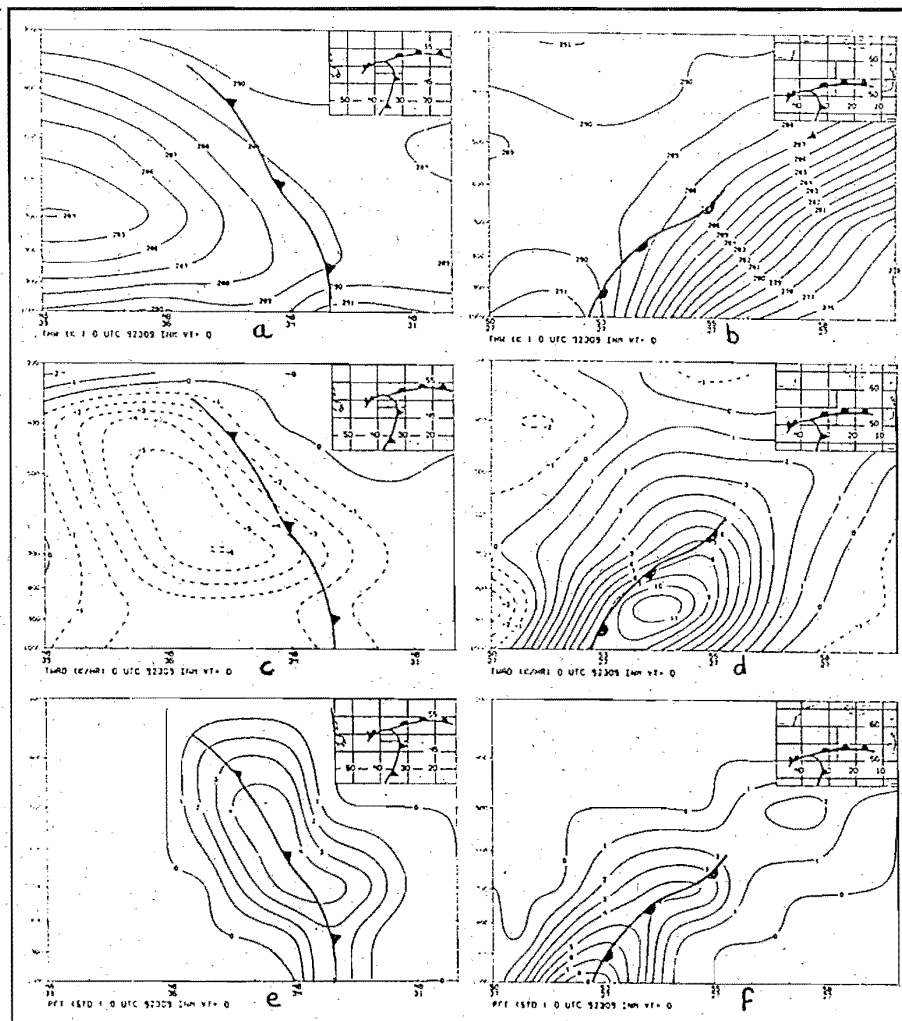


Figura 4.- Secciones de THW en K (a y b), TWAD en K/12 h (c y d) y PFT en $10^{-5} K km^2$ (e y f) a través de un frente frío y un frente cálido obtenidas con el análisis del modelo LAM-INM el 4-11-92 a 00Z (ver texto).

5.1. Aplicación a frentes fríos y cálidos.

Aquí solamente se tratará de obtener secciones de campos relevantes en relación con los frentes; para una información detallada de la posición que los campos meteorológicos tienen respecto de los distintos frentes se deberá revisar la Nota Técnica 7 elaborada por el S.T.A.P.

En la Fig. 4 se muestran secciones verticales de temperatura potencial del termómetro húmedo (THW), advección de temperatura potencial del húmedo (TWAD) y parámetro frontal térmico (PFT) tanto a través de un frente frío como de un frente cálido (los ejes de las secciones aparecen marcados en los gráficos), habiéndose dibujado la posición de los frentes sobre los gráficos.

Las secciones de THW (Fig. 4 a y b) definen claramente la pendiente de los frentes, situándose el frente frío por delante de la zona de máximo gradiente de isolíneas y por detrás del sector cálido, y el frente cálido por detrás de la zona de máximo gradiente y por delante del sector cálido. En las secciones de la advección de THW (Fig. 4 c y d) se observa cómo el máximo de advección fría queda por detrás del frente frío, penetrando esa advección fría en el sector cálido

por delante del frente frío, mientras que en el frente cálido el máximo de advección cálida queda por delante del frente.

Las secciones del PFT (Fig. 4 e y f) señalan con exactitud la situación del frente a distintos niveles, retrasándose la señal con la altura en el caso del frente frío (se trata de un frente frío tipo anafrente) y adelantándose en el caso del frente cálido.

5.2. Estructura de una depresión aislada usando radiosondeos.

En los casos en que puedan aplicarse, cuando la zona de interés esté bien cubierta por estaciones de radiosondeo, podemos utilizar las secciones verticales obtenidas a partir de datos de los sondeos para el estudio.

En este ejemplo se mostrará la estructura vertical de una depresión aislada situada sobre Francia el 21 de mayo de 1992.

La estructura vertical de temperatura y de temperatura potencial aparece en la Fig. 5b, donde se marca también el eje de la sección (como

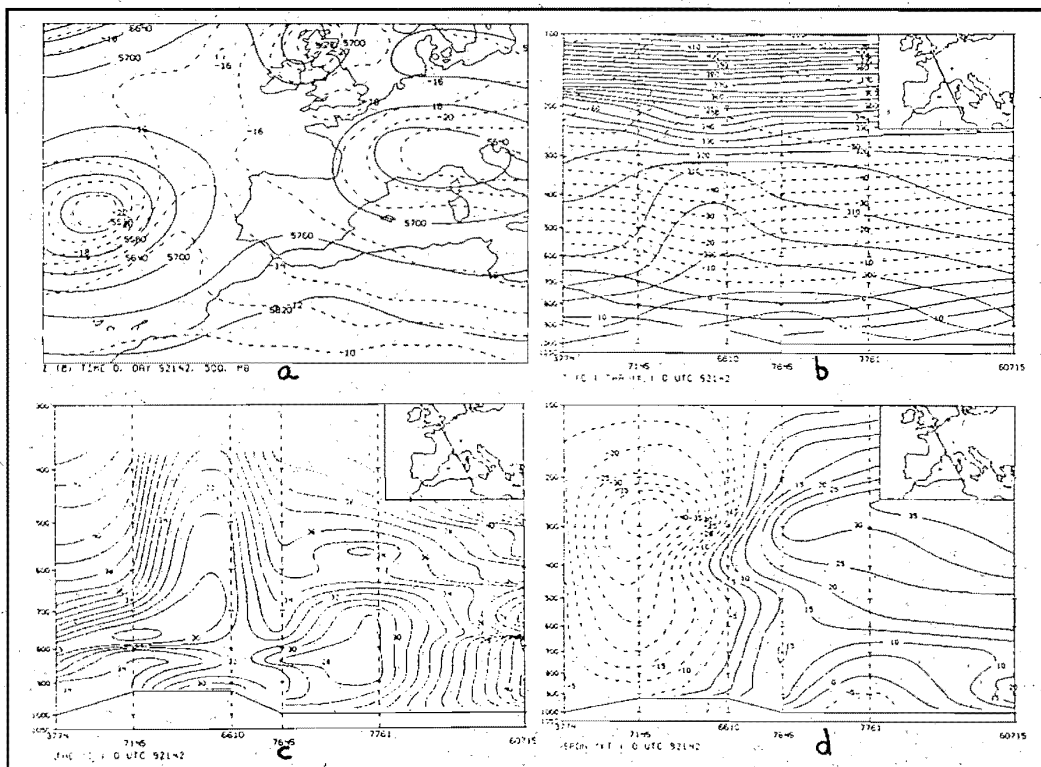


Figura 5.- a) Geopotencial (m) y temperatura (°C) en 500 mb; b) sección de temperatura potencial (K) en línea continua y temperatura (°C) en línea discontinua; c) sección de temperatura potencial equivalente (°C); d) sección de viento normal al eje de la sección (Kt). Secciones obtenidas a partir de sondeos del 21-5-92 a 00Z.

referencia se muestra en la Fig. 5a el geopotencial y la temperatura en 500 mb en esta situación; vemos cómo la estructura es la típica de estas depresiones, apareciendo una campana en el campo de temperatura potencial por debajo de la depresión y una campana invertida por encima, indicando la existencia de aire frío en la troposfera por debajo y aire cálido en la estratosfera por encima. La estructura del campo de temperatura nos muestra lo mismo, estando en este caso las campanas invertidas con respecto a las de temperatura potencial, como es lógico. La campana de temperatura potencial por debajo de la depresión nos indica también que en esa zona la estabilidad es menor que en los alrededores, ya que la temperatura potencial aumenta más lentamente con la altura (el gradiente vertical de temperatura es menor dentro de la campana que fuera de ella).

Para obtener las zonas con inestabilidad potencial podemos usar la temperatura potencial equivalente, cuya sección vertical se muestra en la Fig. 5c. Se observa nuevamente la campana por debajo de la depresión asociada a baja estabilidad potencial y dos zonas de inestabilidad potencial: una situada por encima de la estación 07145, al Noroeste del centro de la baja y otra en la parte derecha de la Figura, sobre el Mediterráneo, en las que la temperatura potencial equivalente disminuye con la altura.

Por último, la Fig. 5d muestra la estructura vertical del viento en las proximidades de la depresión. Los valores positivos corresponden a vientos con componente Suroeste y los negativos a vientos con componente Nordeste. La circulación ciclónica alrededor de la baja se extiende a todos los niveles, con dos máximos de viento, uno al Noroeste de 40 Kt en 300 mb y otro al Sudeste de 35 Kt al mismo nivel. Destaca la asimetría en la estructura de los máximos de viento, ya que mientras el situado al Noroeste se encuentra muy localizado, disminuyendo rápidamente la fuerza del viento al alejarnos del eje, en el situado al Sudeste los vientos van aumentando más lentamente según nos acercamos al eje, presentando una mayor extensión horizontal. Sobre el Mediterráneo y a

bajos niveles aparece otra zona de circulación ciclónica poco profunda.

Conclusiones.

Poder disponer de secciones verticales representa una gran ayuda en la diagnosis y en la predicción ya que, en unión de secciones horizontales como pueden ser los mapas sobre superficies isobáricas, nos permiten obtener una visión tridimensional y comprender mejor los distintos mecanismos que pueden estar actuando en diferentes situaciones. La posibilidad de obtener esas secciones de forma interactiva, tanto para sondeos como para modelos y, dentro de éstos, tanto para análisis como para predicciones, es fundamental desde el punto de vista operativo.

La interpolación por polinomios de Lagrange puede provocar la aparición de estructuras de menor escala que no son reales ("artifacts") en el caso de las secciones obtenidas con sondeos, debido a que las estaciones están separadas entre sí bastantes km y en algunos casos alejadas del eje de la sección.

Podemos obtener de forma rápida, por ejemplo, la profundidad de los estratos con inestabilidad potencial y la posible existencia de tapaderas que limiten el desarrollo de núcleos convectivos, la estructura vertical de la descarga fría detrás de un frente, la distribución del forzamiento dinámico a distintos niveles y, de forma general, la distribución en la vertical de los distintos campos que pueden ayudarnos en el estudio de cada una de las situaciones.

Referencias.

- Elizaga Rodríguez, F.; García Méndez, A. (1992). *Obtención de secciones verticales en el SAIDAS: aplicaciones a la diagnosis y predicción*. S.T.A.P. Nota Técnica núm. 8.
- García Méndez, A.; Elizaga Rodríguez, F. (1992). *Sistemas frontales: localización a partir de modelos numéricos*. S.T.A.P. Nota Técnica núm. 7.