

## TÉCNICAS DE ANÁLISIS OBJETIVO APLICADAS AL CAMPO DE PRECIPITACIÓN MESOESCALAR

Joan BECH y Maria del Mar PLA  
*Servei de Meteorologia de Catalunya*  
*Departament de Medi Ambient. Generalitat de Catalunya*

### RESUMEN

En los últimos cuarenta años la evolución de la predicción numérica del tiempo ha comportado el desarrollo de sofisticados métodos de análisis objetivo para la inicialización de los modelos de pronóstico. En este trabajo se presentan algunos de estos métodos de análisis y se aplican luego a la elaboración de análisis de precipitación de mesoescala para diversas escalas temporales.

**Palabras clave:** análisis objetivo, análisis de precipitación, mesoescala.

### ABSTRACT

In the last forty years the evolution of numerical weather prediction has contributed significantly to develop techniques of objective analysis used in the initialization process of forecast models. In this paper several objective analysis are discussed and later they are used to derive mesoscale precipitation analysis different time scales.

**Key words:** objective analysis, precipitation analysis, mesoscale.

### 1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la Predicción Numérica del Tiempo (PNT) durante los años 50 impulsó en gran medida el avance de las técnicas de análisis objetivo (AO) en las ciencias de la atmósfera. Dada la baja densidad de las redes de observación utilizadas en la PNT, algunos métodos de interpolación tradicionales –como, por ejemplo, ajustes de tipo polinomial– se mostraron incapaces de proporcionar un análisis adecuado para inicializar los modelos numéricos. Por ello se descartaron métodos habitualmente usados en otros ámbitos como la interpolación bilineal (que minimiza las diferencias del análisis en los puntos de observación) o el ajuste por esplines cúbicos o quínticos (que maximiza la suavidad del campo analizado).

Los modelos de predicción numérica utilizan las técnicas de AO para, a partir de un conjunto de observaciones, determinar de forma adecuada las condiciones iniciales de la atmósfera. A partir de esas condiciones, los modelos numéricos de escala sinóptica o de mesoescala realizan los cálculos de pronóstico propiamente dicho, usando a menudo información adicional como condiciones de contorno procedentes de otros modelos de menor resolución (ver por ejemplo CODINA *et al.*, 1997, para el caso del modelo MASS).

Fuera del ámbito de la PNT, las técnicas de AO se usan como herramientas de diagnóstico espacial con la finalidad de derivar un campo analizado a partir de un conjunto de observaciones puntuales que generalmente están distribuidas de modo irregular.

En este trabajo se muestran algunos ejemplos de análisis de precipitación de mesoescala obtenidos por el método de correcciones sucesivas aplicados a diversas escalas temporales. La metodología expuesta puede aplicarse fácilmente a otras variables y escalas espacio-temporales teniendo siempre en cuenta las longitudes y tiempos característicos particulares de cada caso.

## 2. METODOLOGÍA

### 2.1. Método de Correcciones Sucesivas

Un método usual de AO es el conocido como el Método de Correcciones Sucesivas (ver, por ejemplo, THIEBAUX y PEDDER, 1987). De hecho se trata de una familia de métodos que tienen en común la modificación iterativa del campo analizado a partir de la diferencia entre las observaciones originales y el valor analizado en los puntos de observación.

La descripción del Método de Correcciones Sucesivas según DALEY (1991) sigue el siguiente esquema. Se parte del conjunto de  $K$  observaciones  $f_0(r_k)$  siendo  $r_k$  la posición de cada observación. El campo inicial analizado en cada punto  $r_i$  puede expresarse como una combinación lineal de las observaciones  $f_0(r_k)$ . Cada observación  $k$  contribuirá al valor analizado en el punto  $i$  con un determinado peso  $W_0(r_{ik})$  que en general disminuye con la distancia. Suponiendo que no hay errores asociados a las observaciones, el campo inicial puede expresarse como:

$$f_A^0(r_i) = \sum_{k=1}^K W_0(r_{ik}) f_0(r_k) \quad (1)$$

El cálculo del campo analizado en la iteración  $j+1$  a partir del campo de la iteración anterior se obtiene a través de la diferencia entre las observaciones  $f_0(r_k)$  y el valor que toma en cada punto de observación  $r_k$  el campo de la iteración  $j$ :

$$f_A^{j+1}(r_i) = f_A^j(r_i) + \sum_{k=1}^K W_{j+1}(r_{ik}) [f_0(r_k) - f_A^j(r_k)] \quad (2)$$

Los valores de los pesos están normalizados entre sí según la expresión:

$$W_j(r_{ik}) = \frac{w_j(r_{ik})}{\sum_{k=1}^K w_j(r_{ik})} \quad (3)$$

Históricamente se han utilizado diversas funciones para calcular el peso. Una de las primeras en usarse operativamente fue obtenida por CRESSMAN (1959). En ella se define una cierta región de influencia dentro de un radio  $L_j$  más allá del cual no se tiene en cuenta las observaciones y el peso se hace 0:

$$\left. \begin{aligned} w_j(r_{ik}) &= \frac{L_j^2 - r_{ik}^2}{L_j^2 + r_{ik}^2}, r_{ik} < L_j \\ w_j(r_{ik}) &= 0, r_{ik} > L_j \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

donde  $r_{ik}$  es la distancia entre el punto  $r_i$  i la observación del punto  $r_k$ .

Otro método muy utilizado en AO fue desarrollado por BARNES (1964). En este caso el peso  $w(0)$  también vale la unidad y  $L_j$  es la distancia a la cual el peso vale  $e^{-1/2}$ :

$$w_j(r_{ik}) = \exp\left(-\frac{r_{ik}^2}{2L_j^2}\right) \quad (5)$$

## 2.2. Longitud característica y paso de malla

KOCH *et al.* (1983) investigaron la relación óptima entre las longitudes de influencia en sucesivas iteraciones de un análisis de Barnes. Definiendo el factor  $g$  como el cociente entre  $L_j^2$  y  $L_{j+1}^2$  concluyeron que:

$$L_{j+1}^2 = \gamma^{j+1} L_0^2 \quad (6)$$

Igualmente resulta interesante fijar criterios para determinar el valor del radio de influencia a partir de la distribución de las observaciones. El radio de influencia estará relacionado con la longitud característica mínima que puede resolver la red de observaciones (ACHTEMEIER, 1989). Por ello, en general, dependerá en cada caso de la distribución espacial de los puntos de observación. Análogamente, el paso de malla, o distancia entre los nodos donde se realiza el análisis, también depende de las observaciones. Suele tomarse un valor de paso de malla comprendido entre la distancia máxima entre estaciones y la mínima. Para simplificar puede tomarse la distancia media entre estaciones.

## 3. EJEMPLOS DE ANÁLISIS DE PRECIPITACIÓN MESOESCALAR

### 3.1. Precipitación Mesoescalar

Aplicaremos, a continuación, la metodología expuesta con carácter general al dominio espacial de lamesoescala para el caso de la precipitación. Como es sabido ésta presenta una elevada variabilidad espacial (ver por ejemplo GUPTA y WAYMIRE, 1993; BACCHI *et al.*, 1996) acrecentada, si cabe, en zonas con topografía compleja (ALPERT y SHAFIR, 1989; BARROS y LETENMAIER, 1993) a causa de las circulaciones locales.

Se han utilizado para los análisis de lluvia datos de la red de estaciones automáticas meteorológicas XMET (Xarxa d'Estacions Meteorològiques Automàtiques) y XVPCA (Xarxa de Vigilància, Previsió i Control de la Contaminació Atmosfèrica) del Departamento de Medio Ambiente (DMA) de la Generalitat de Catalunya. En total son 81 estaciones con una distancia (expresada en grados) mínima, media y máxima entre ellas de  $0.02^\circ$ ,  $0.12^\circ$  y  $0.33^\circ$  respectivamente. Trabajando en coordenadas geográficas de latitud y longitud, hemos optado por una malla regular de  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ .

### 3.2. Análisis de Cressman sin campo inicial

La Figura 1 presenta un análisis de precipitación realizado con datos de las estaciones automáticas del DMA para el período que abarca desde el 1 de enero hasta el 12 de julio de 1999. El análisis usa un peso de tipo Cressmann y asume un campo inicial de lluvia nula, celdas de tamaño  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  y 7 iteraciones con radios 7,6,5,4,3,2 y 1 unidades de longitud de la malla ( $0.1^\circ$ ) respectivamente.

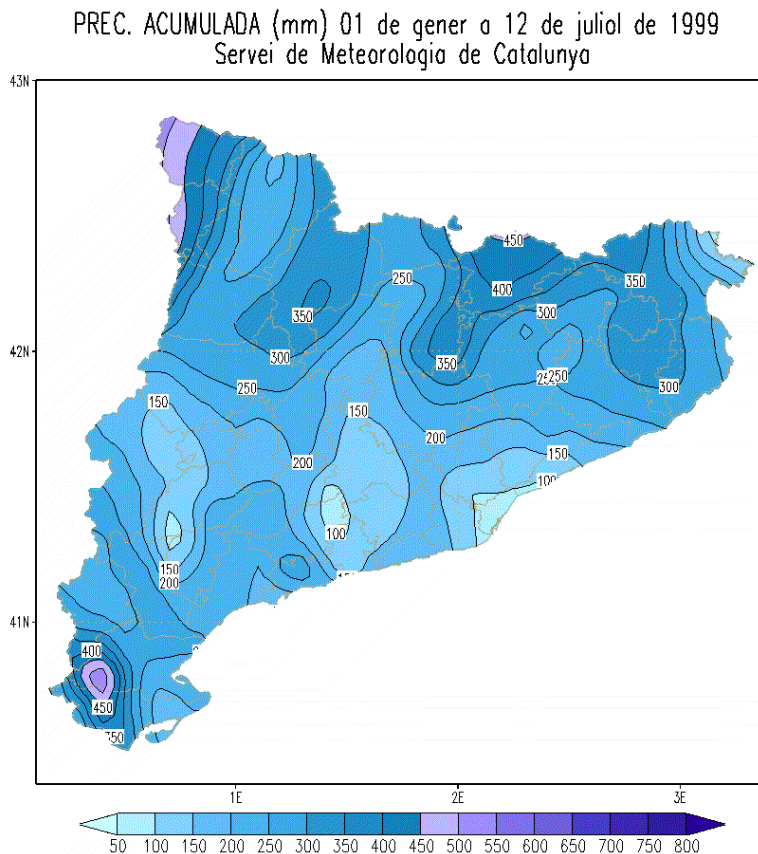


Figura 1. Análisis de precipitación (mm) usando un peso tipo Cressmann y asumiendo un campo inicial de lluvia nula, celdas de tamaño  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$  y 7 iteraciones con radios 7,6,5,4,3,2 y 1 respectivamente.

### 3.3. Análisis de Barnes sin campo inicial

El segundo ejemplo corresponde al análisis de precipitación del 3 de diciembre de 1998. Aquel día un temporal de levante provocó lluvias destacables en gran parte de Catalunya, especialmente en el prelitoral y litoral, concretamente en la Costa Central, donde se superaron los 100 mm en 24 h en diversos observatorios.

Usando el peso tipo Barnes, suponiendo campo inicial nulo y realizando una primera iteración con un radio de influencia igual a 5 unidades de la malla ( $0.1^\circ$ ) aparece un campo de isoyetas muy suavizado (Fig.2). Comparando los registros de las estaciones con el análisis, se observa como éste tan sólo reproduce de forma general el patrón de precipitación (el máximo y mínimo se sitúan correctamente, pero no su valor).

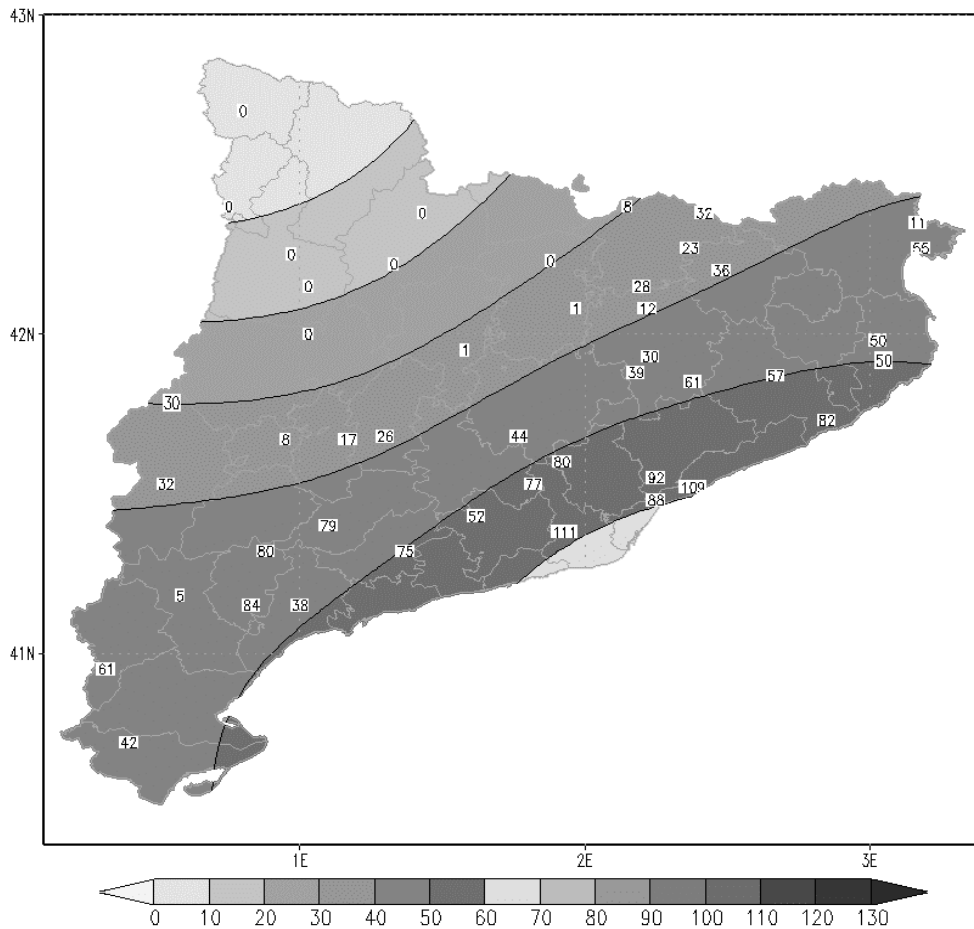


Figura 2. Análisis de Barnes realizando una única iteración de la precipitación (mm) acumulada el 3 de diciembre de 1998. Se muestran los datos registrados en las estaciones y la rotulación de las isoyetas de 30 y 50 mm.

De acuerdo con la ecuación (6) se ha tomado el factor  $\gamma=0.4$ . Partiendo del mismo radio inicial de 5 unidades, el factor  $\gamma$  elegido comporta que las dos iteraciones siguientes empleen radios de 3.16 y 2 unidades de malla respectivamente. El campo de isoyetas obtenido ahora muestra mucho más detalle (Fig.3), delimitándose correctamente las zonas con precipitación inferior a 10 mm y aproximando mucho mejor la zona del máximo de la costa.

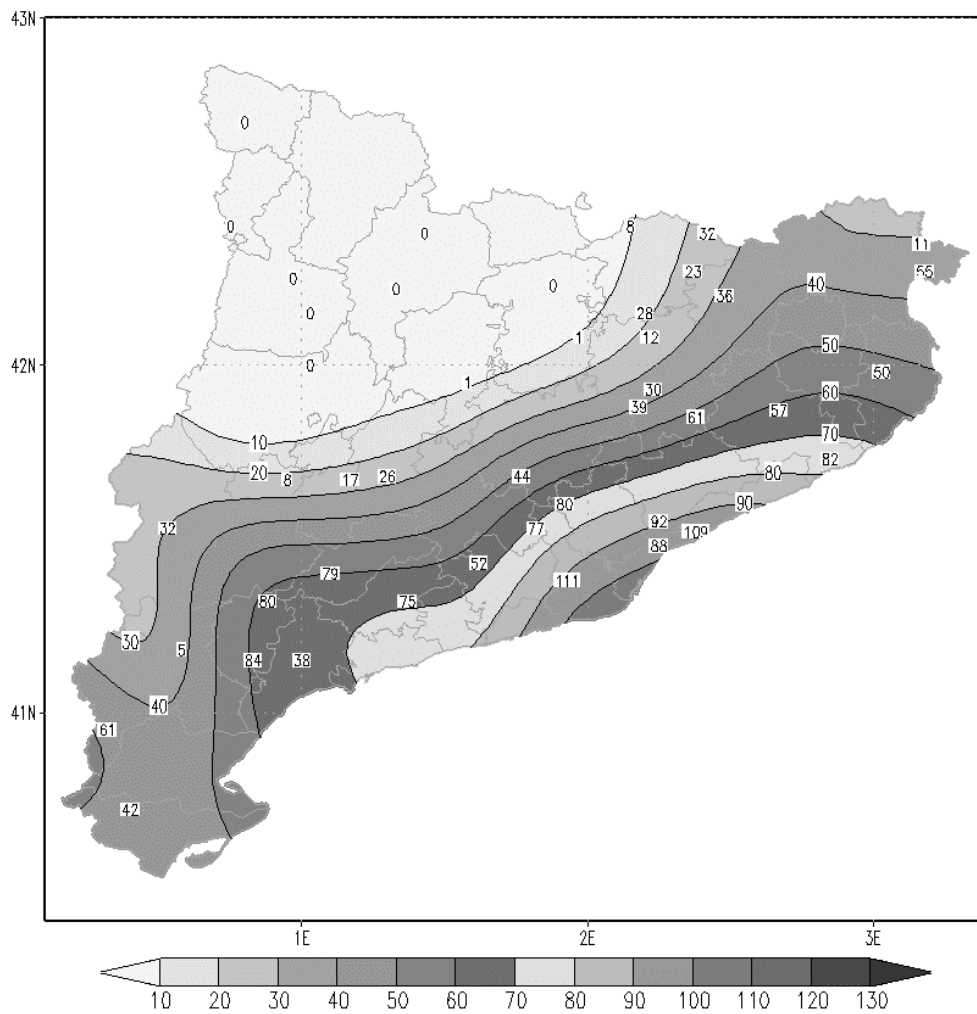


Figura 3. Análisis de Barnes realizando tres iteraciones de la precipitación (mm) acumulada el 3 de diciembre de 1998. Se muestran los datos utilizados y las isoyetas rotuladas.

### 3.4. Análisis de Barnes con campo inicial

Hasta ahora hemos asumido que el campo inicial era desconocido y por ello lo hemos supuesto nulo en los ejemplos anteriores. Si *a priori* disponemos de información sobre cómo puede ser el campo a analizar, podemos usarla en forma de campo inicial. Partiendo del mapa de precipitación media mensual del mes de agosto (CLAVERO *et al.*, 1996), se ha elaborado un mapa inicial digitalizado de características similares a los analizados anteriormente (con resolución  $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ ). El campo inicial se ha modificado con el método de las correcciones sucesivas usando un peso tipo Barnes con tres iteraciones como en el apartado anterior usando la precipitación mensual del mes de agosto de 1998. El análisis se ha restado al propio mapa climatológico, obteniéndose un mapa de anomalías (Fig.4). Puede apreciarse cómo en general la precipitación estuvo por encima de la normal, especialmente en el Pirineo Occidental.

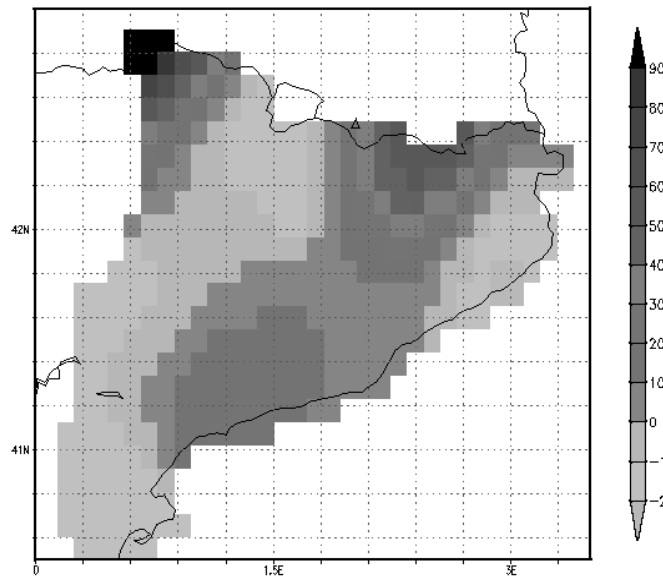


Figura 4. Diferencia (mm) entre la precipitación del mes de agosto de 1998 analizada por el método de Barnes usando un campo inicial y el valor climatológico para ese período.

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

En este trabajo se han mostrado diversos métodos de análisis objetivo habituales en la PNT y se han presentado ejemplos de análisis de tipo Cressmann y Barnes con y sin campo inicial aplicados al análisis de precipitación mesoescalar. El uso de un campo inicial permite introducir información sobre el patrón de distribución espacial del campo analizado, intentando reproducir detalles locales que pueden no aparecer explícitamente en las observaciones a causa de su baja densidad.

De los dos tipos de peso usados, parece que el de Barnes, menos propenso a gradientes espúreos, es más apropiado para la precipitación aunque el análisis en los puntos de observación converge más lentamente que en el caso de Cressman. En cualquier caso sería recomendable realizar algún tipo de correlación cruzada entre el análisis y otro conjunto de datos o parte de los usados con la finalidad de establecer la bondad del análisis de una forma cuantitativa.

Los métodos usados son muy simples desde el punto de vista computacional y permiten obtener resultados rápidamente, siendo apropiados para la visualización y el análisis en tiempo real. No es extraño, pues, que algunos métodos operativos se basen en estos esquemas para obtener un análisis de precipitación a partir de pluviómetros (MILLS *et al.*, 1997) o combinando éstos con observaciones radar como campo inicial (PEREIRA *et al.*, 1999).

Otros métodos algo más sofisticados basados en el principio de interpolación estadística (interpolación óptima, krigging, etc..) son también usados (MICHELSON *et al.*, 1998) tanto en tiempo real como para análisis espaciales de tipo climatológico, permitiendo fácilmente “forzar” los análisis con información externa correlacionada de algún modo con el campo a analizar (precipitación con la altitud, etc..).

## BIBLIOGRAFÍA

- ACHTEMEIER G.L. (1989): “Modification of a successive corrections objective analysis for improved derivative calculations”. *Mon. Weat. Rev.*, **117**, 78-86
- ALPERT, P. y SHAFIR, H. (1989): “Meso-gamma-scale distribution of orographic precipitation: numerical study and comparison with precipitation derived from radar measurements”. *J. Appl. Meteor.*, **28**, 1105-1117
- BACCHI, B.; RANZI, R. y BORGA, M. (1996): “Recognition of the statistical character of spatial patterns of rainfall cells”. *J. Geophys. Res.*, **101D**, 26277-26286
- BARNES S. (1964): “A technique for maximizing details in numerical map analysis”. *J. Appl. Meteor.*, **3**, 395-409
- BARROS, A.P. y LETTENMAIER, D. P. (1993): “Dynamic modeling of the spatial distribution of precipitation in remote mountainous areas”. *Mon. Wea. Rev.*, **121**, 1195-1214
- CODINA B., SAIROUNI, A.; BECH, J. y REDAÑO, A. (1997): “Operational Application of a nested mesoscale numerical model in Catalonia”, *INM/WMO International Symposium of Cyclones and Hazardous Weather in the Mediterranean*, pp. 657-667
- CLAVERO PARICIO P.; MARTÍN VIDE, J. y RASO NADAL, J. M. (1996): *Atlas Climàtic de Catalunya*, Barcelona, Institut Cartogràfic de Catalunya, 42 mapas.
- CRESSMAN G. (1959): “An operational objective analysis system”, *Mon. Wea. Rev.*, **88**, 367-374
- DALEY R. (1991): *Atmospheric data analysis*, Cambridge, Cambridge University Press, 457 p.
- GUPTA, V. K. y WAYMIRE, E. C. (1993): “A statistical analysis of mesoscale rainfall as a random cascade”. *J. Appl. Meteor.*, **32**, 251-267
- KOCH, S.E.; DES JARDINS, M. y KOCIN, P.J. (1983): “An interactive objective map analysis scheme for use with satellite and conventional data”, *J. Clim. Appl. Meteorol.*, **22**, 1487-1503
- MICHELSON, D. *et al.* (1998) “MESAN: Precipitation Objective Analysis System”, Nordköping, Swedish Meteorological and Hydrological Institute, 22 p.
- MILLS G.A. *et al.* (1997): “A national objective daily rainfall analysis system”, BMRC Techniques Development Report No. 1, Bureau of Meteorology, Melbourne, Australia, 30 p.
- PEREIRA, Fo. A.J. *et al.* (1999): “Mesoscale precipitation fields. Part II: Hydrometeorologic Modeling”. *J. Appl. Met.*, **38**, 102-125
- THIEBAUX, H.J. y PEDDER, M. A. (1987): *Spatial Objective Analysis with Applications in Atmospheric Science*, London, Academic Press, 299 p.



