

ESTIMACION DE AVENIDAS POR PREVISION DE PRECIPITACIONES MEDIANTE IMAGENES METEOSAT

J. Jorge Sánchez

Universitat Politècnica de Catalunya. Avda. Bases de Manresa, 61-73. 08240 Manresa. Tel 93-8772088. Fax. 93-8741607. e-mail: jorge@fa.upc.es

RESUMEN.- La periodicidad con que se realizan los análisis meteorológicos y la rapidez con que suelen desarrollarse los aguaceros en el Levante español entran en oposición y dificultan la previsión de avenidas. Se han aplicado cuatro modelos de predicción de precipitaciones intensas (Negri-Adley-Wetzel technique, convective-stratiform technique, Interactive Flash Flood Analyzer y Variable Threshold Temperature) utilizando únicamente imágenes infrarrojas del satélite MIETEOSAT para dos episodios con resultado de inundación. En todos los casos se han obtenido sobrevaloraciones de la precipitación en relación a la extensión geográfica del suceso sin que se detectaran los máximos puntuales que se produjeron.

ABSTRACT.- The frequency of meteorological analysis enters in opposition with the speed with which they are accustomed to develop the thunderstorms in the Levante (Spain) and they hinder the forecast of inundation to an agreement. Forecast models of heavy rainfall have been applied (Negri-Adley-Wetzel technique, convective-stratiform technique, Interactive Flash Flood Analyzer and Variable Threshold Temperature) to two episodes of happened flood using IR images of the NMTEOSAT satellite only. In all the cases overestimates of the precipitation in relation to the geographical extension of the event has been obtained without the punctual maxima are detected that they took place.

1.- INTRODUCCION

Los técnicos que trabajan en la definición de los recursos hidráulicos, su regulación y la protección de los márgenes y aquéllos que definen los seguros de las zonas inundables, entre muchos otros, deben conocer los caudales que ríos y torrentes llevan en las avenidas, su frecuencia y su incidencia sobre el territorio.

Dos son los métodos para estimar el caudal en una avenida, el primero basado en una correlación de datos históricos entre caudales medidos y superficie de la cuenca hidrográfica, y el segundo que hace la estimación a partir de las lluvias observadas a su alrededor. Aunque más rápido, el primer método es menos preciso.

Este método da estimaciones demasiado grandes debido a que las lluvias máximas no se producen por un igual en todos los puntos que vierten sus aguas a la cuenca ni las características de la cuenca son las mismas en todos ellos (p.e. cuenca del Ebro). Para cuencas homogéneas (p.e. las del litoral de Cataluña) las estimaciones resultan por defecto. La estimación de caudales máximos a partir de las lluvias puede realizarse mediante el llamado "método racional" (Junta d'Aigües, 1994). Según éste, el caudal correspondiente a un período de retorno lo da la fórmula:

$$Q = (C \cdot I \cdot A / 3,6) \cdot K$$

donde Q es el caudal (m³/s); A es el área de la cuenca (km²); I es la máxima intensidad

media de la lluvia (mm/h), durante un tiempo igual al tiempo de concentración de la cuenca, con el mismo período de retorno que el caudal buscado; C es el coeficiente de escorrentía, que determina la parte de la lluvia máxima que llega en el punto estudiado, en el momento de caudal máximo y K es un coeficiente de uniformidad que se estima experimentalmente. La previsión de máxima intensidad de la lluvia resulta difícil a partir de los análisis meteorológicos habituales; además, la periodicidad con que éstos se realizan y la rapidez con que suelen desarrollarse los aguaceros en el Levante español entran en oposición. Por ello, cabe utilizar las imágenes de satélite, la información de radar si está disponible, y aplicar alguno de los diversos modelos de previsión de precipitación propuestos.

2.- METODOLOGIA

Inferir la precipitación a partir de la observación de las nubes en imágenes IR de satélite (intensidad de pixel vs cantidad de agua precipitable) conlleva, en primer lugar, la identificación de los sistemas convectivos de mesoescala o de aquellos embolsamientos de aire frío existentes. Para ello, se siguen las fases siguientes:

- i) determinación de las nubes susceptibles de producir tormentas o "candidate cloud" (no se consideran pixels con temperaturas asociadas superiores a -20°C);
- ii) cálculo de un parámetro de desviación térmica o "slope parameter", definido como $S = T_{\text{av}} - T_{\text{min}}$, donde T_{av} es la temperatura media de los ocho pixeles más próximos; y
- iii) test "cirrus-thunderstorm discrimination". La localización de T_{min} es clasificada como convectiva si $S > 0.568 (T_{\text{min}} - 217.0)$.

Considerando suficientemente probada la discriminación que se obtiene mediante los pasos anteriores, e independientemente de las técnicas para analizar el desplazamiento de una tormenta, se debe operar, a continuación, según los modelos presentados en la bibliografía en relación a la previsión de precipitaciones intensas. En particular, se van a comparar dos técnicas que señalan las zonas de máxima precipitación, "Interactive Flash Flood Analyzer (IFFA)" y "Variable Threshold Temperature (VTT)", y otras dos que además cuantifican la precipitación, "Negri-Adley-Wet, el technique (NAWT)" y "convective-stratiform technique (CST)". Todas ellas han sido aplicadas en el proyecto STORM (Storm Tracking and Observation for Rainfall-Runoff Monitoring) dentro del Programa sobre Medio Ambiente de la Unión Europea, cuyo objetivo era la combinación de la información procedente de diversos sensores para predecir inundaciones en cuencas del área mediterránea (Llasat y Jorge, 1994). De forma esquemática, podemos presentar las técnicas anteriores de la forma siguiente:

Interactive Flash Flood Analyzer (IFFA). Se discrimina la estructura interna de los sistemas convectivos por aplicación de una función de realce de la imagen denominada curva Mb sobre el campo de temperaturas de la cima de la nube (Scofield, 1987).

La posición más cálida de la imagen es visionaria utilizando una relación casi lineal entre la temperatura y el nivel de gris de la imagen (gris más claro cuanto más frío) hasta llega, aproximadamente a la temperatura del eje del cumulonimbo (Cb), alrededor de -30°C . Por debajo de esta temperatura, se utilizan varios niveles discretos de gris para mostrar la temperatura del yunque del Cb. Una relación lineal (de -60°C a -80°C) permite diferenciar las porciones más frías, donde se presupone se provocaran las mayores intensidades de precipitación.

Para la cuantificación de la precipitación se necesita, además, analizar los cambios producidos entre imágenes consecutivas ("tracking") e información meteorológica en tiempo real, tal como el nivel de la base de la nube y la altura y temperatura en la tropopausa.

Variable Threshold Temperature (VTT). Aplicada para diferenciar áreas con/sin lluvia. Se basa en una correlación lineal empírica entre un umbral de precipitación instantánea y la temperatura más fría observada en la cima de la nube. Se asocia el umbral de precipitación con los píxeles en donde la temperatura mantiene una diferencia de 17 K con la temperatura mínima detectada en el agregado nuboso (Cheng, 1993).

Negri-Adler-Wetzel technique (NAWT). La mitad del volumen de agua que precipitará se distribuye uniformemente entre los píxeles del 10% de área más fría y la otra mitad entre los píxeles del 50% de área más fría, exceptuando los anteriores (Negri et al., 1984). La precipitación para las áreas más frías (independientemente de la historia de la nube) se estima en:

$$\begin{array}{ll} D_{ij} = 4.5 \text{ mm} & T_{ij} < T_{10\%} \\ D_{ij} = 0.9 \text{ mm} & T_{10\%} < T_{ij} < T_{50\%} \\ D_{ij} = 0 \text{ mm} & T_{ij} > T_{50\%} \end{array}$$

Convective-stratiform technique (CST). A partir del modelo de nube de Adler y Mack, se asigna una intensidad de precipitación media, R, bajo el área del agregado nuboso dada por la relación:

$$R = 74.89 - 0.266 T_c \quad \text{mm/h}$$

donde T_c es la temperatura corregida debida al ángulo de visión del sensor (Adler y Negri, 1988). Una correlación empírica para el satélite GOES resulta:

$$(T_{\min} - T_c) = 0.283 T_{\min} - 56.6 \text{ K}$$

Es necesario resaltar que la corrección geométrica debe hacerse sobre las isolíneas resultantes (isoyetas) después del tratamiento de las imágenes que los diferentes algoritmos proponen.

3.- CASOS ESTUDIADOS

Se han analizado dos episodios de precipitaciones diferentes; por un lado se ha estudiado el episodio que tuvo lugar el 12 de octubre de 1988, correspondiente a lluvias de origen convectivo (Pivera y Jorge, 1993) y el acaecido a lo largo de los días 9, 10 y 11 de octubre de 1994 originado por un embolsamiento de aire frío hacia los 1000 m de altitud.

En ambos episodios se dieron las características asociadas a una inundación catastrófica: (a) la máxima lluvia acumulada excede los 200 mm, (b) la máxima cantidad en 24 h excede los 100 mm, (c) el área con una lluvia total igual o superior a 100 - es mayor de 2000 km², (d) uno o más ríos se desbordan (Llasat y Rodríguez, 1992).

En particular, el 12 de noviembre de 1988 se produjeron inundaciones en todo el Levante con una precipitación máxima registrada de 213 mm en 24 h. De entre las mayores cantidades registradas en poblaciones de la costa y de la zona próxima a ésta podemos referir, por comarcas catalanas, 190 mm en el Barcelonés, 197 mm en el Baix Llobregat, 179 mm en el Vallés y 166 mm en la Garrotxa, mientras que en el sur de Tarragona la lluvia fue escasa (1.2 mm 2n Tortosa). Los ríos Llobregat, Besós i Fluviá se desbordaron.

El segundo episodio refleja claramente la potencia del mismo las siguientes cifras de

precipitación registrada en algunas estaciones pluviométricas catalanas: Alforja, 426.2 mm; Tortosa, 189.0 mm; La Bisbal d'Empordá, 303.0 ..; Port de Llangá, 185.0 mm- L'Estartit, 244.2 mm; Girona, 181.0 mm; Rasquera, 240.0 mm; CastellterQol, 179.4 mm; Torrelles de Foix, 233.5 mm; Moiá, 171.0 mm. El río Llobregat tuvo diversos puntos en que salió de su curso habitual.

Las imágenes estudiadas corresponden al sensor IR del satélite Meteosat-3 en el primer episodio y del Meteosat-5 en el segundo. Dado el carácter menos estable en el tiempo del origen del primer episodio, sólo se compararon 6 escenas del mismo, mientras que del segundo episodio han sido 58 las escenas analizadas.

4.- RESULTADOS

Las figuras 1 y 2 muestran las características de los agregados nubosos más extensos analizados mediante las cuatro técnicas antes mencionadas. Recordemos que el agregado nuboso se ha definido con una temperatura de radiancia igual o inferior a los -20°C en su interior.

De la observación de los múltiples slots analizados, se pueden sintetizar las siguientes diferencias encontradas entre los modelos aplicados:

- a) En general, todos los modelos denotan la misma zona de lluvia dentro del agregado nuboso pero se diferencian por la discriminación que hacen de la estructura interna del sistema nuboso.
- b) La técnica IFFA diferencia con bastante detalle la estructura interna del sistema convectivo, llegándose a localizar, tras la correspondiente georreferenciación, los lugares de máxima precipitación. Resulta una técnica apropiada para la previsión en tiempo casi-real si se le superpone la información meteorológica disponible que permita cuantificar la precipitación.
- c) La técnica VTT diferencia de forma sencilla dentro de los sistemas convectivos la -ona con precipitación, coincidiendo con la isoyeta de 20 mm/h, pero para los sistemas frontales minimiza mucho la misma. Por lo tanto, debe descartarse esta técnica dentro de un sistema automático de alerta meteorológica.
- d) La técnica NAWT discrimina zonas de distinta precipitación y, a pesar de que asocia cantidades medias superiores a las registradas puntualmente, en cuencas hidrológicas extensas la recogida de aguas promedio no está muy alejada de los valores asociados (4.5 mm/ h/2).
- e) La técnica CST tampoco recoge adecuadamente los valores registrados puntualmente ya que los uniformiza, a pesar de sobredimensionar los valores medios (zonas de 350 km² con precipitaciones de 20,6 mmi/h).

Como mejoras en la aplicación de los modelos que aportan información más relevante para la previsión de avenidas, IFFA (localización geográfica) o NAWT (cantidades promedio sobre la cuenca), cabe proponer para su aplicación en un sistema de previsión de inundaciones:

- i) adecuar la información adicional para calibrar el modelo IFFA a nuestra región geográfica (estas técnicas no son miméticamente transferibles de una localización a otra) y
- ii) redefinir la temperatura umbral para la identificación de una nube con probabilidad 100 de producir lluvia.

AGRADECIMIENTOS

Las escenas correspondientes al episodio de los días 9, 10 y 11 de octubre de 1994 han sido

facilitadas por el equipo del Dr. José Luis Casanovas, Universidad de Valladolid, al que quiero agradecer aquí su desinteresada colaboración.

5.- REFERENCIAS

- Adler, R.F. & Mack, R.A. 1984. Thunderstorm cloud height-rainfall rate relations for use with satellite rainfall estimation techniques. *J.Clim.Appl.Meteor.* **23**: 280-296.
- Cheng, M. 1993. Meteosat infrared and visible precipitation characteristics and its application to delineate instantaneous precipitation areas. Submitted to *Q.J.R.M.S.*
- Junta d'Aigües. 1994. Recomanacions sobre mètodes d'estimació d'avingudes màximes. Dept. de Política Territorial i Obres Públiques, Generalitat de Catalunya, Barcelona.
- Llasat, M.C. y Rodriguez, R. 1992. Extreme rainfall events in Catalonia. The case of 12 november 1988. *Natural Hazards*. **5**: 133-151.
- Llasat, M.C. and Jorge, J. 1994. Contribution of the University of Barcelona, to the task 3. 1: techniques for the information coming from Meteosat satellite images and raingauge measurements. En *Final report of STORM project*.
- Negri, A.J., Adler, R.F. and Wetzel, P.J. 1984. Rain estimation from satellites: an examination of the Griffith-Woodley technique. *J. Clim.Appl.Meteor.* **23**: 102-116.
- Rivera, J.J. y Jorge, J. 1993. Cinemática de sistemas convectivos que producen precipitaciones intensas. En 5 Reunión Científica de la Asociación Española de Teledetección. Las Palmas de Gran Canaria. AET.
- Scofield, R.A. 1987. The NESDIS operational convective precipitation estimation technique. *Monthly Weather Re.* **115**: 1773-1792.

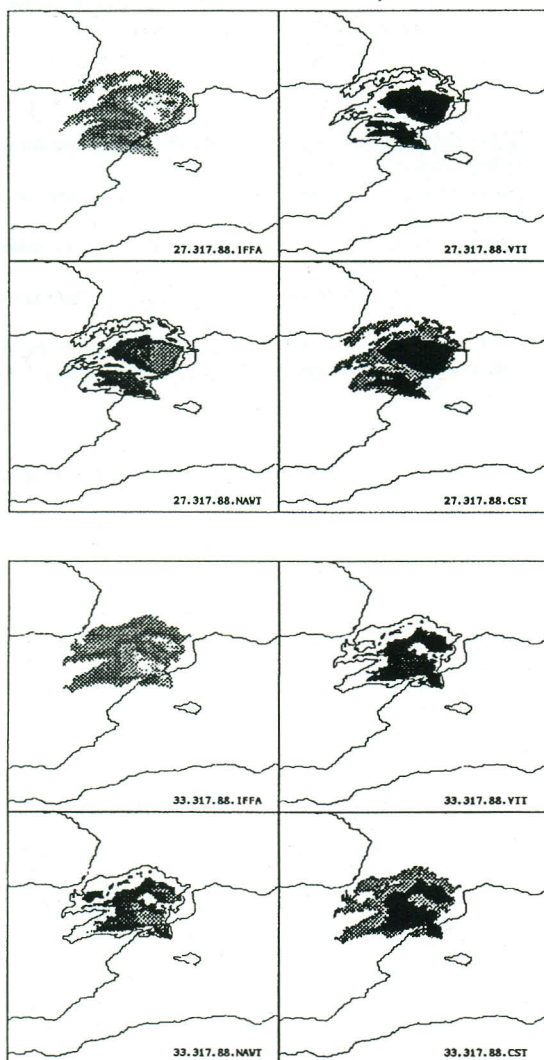


Figura 1.- Episodio del 12 de noviembre de 1988 (slots 27 y 33)

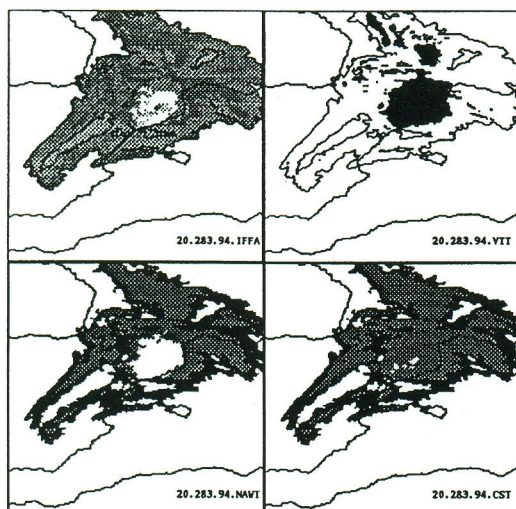
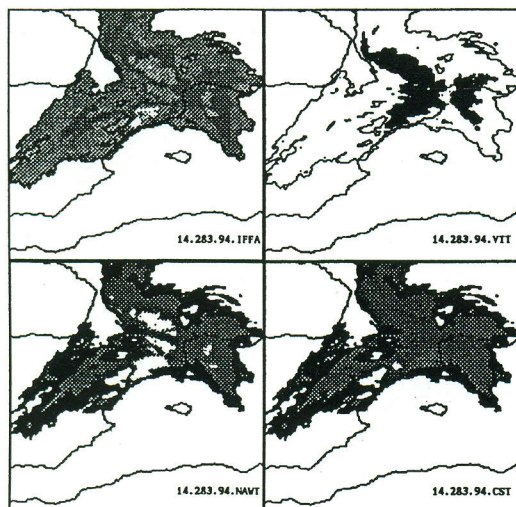


Figura 2.- Episodio del 10 de octubre de 1994 (slots 24 y 30)