

ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ACUMULADA EN ÁREAS EXTENSAS A PARTIR DE IMÁGENES IR DE SATÉLITE

Ramon TARRUELLA y Juan JORGE

Depto. Física Aplicada, E.U.P. Manresa, UPC.

RESUMEN

Las observaciones a partir de satélites geosíncronos permiten la estimación de la precipitación en áreas extensas mediante diversas técnicas para diferentes períodos de tiempo. En este trabajo se presenta el uso de imágenes infrarrojas captadas desde el satélite METEOSAT a lo largo de todo un año seguido con el propósito de estimar la precipitación acumulada en la región del Mediterráneo occidental.

Palabras clave: lluvia, precipitación, METEOSAT, climatología.

ABSTRACT

The observations made by geosynchronous satellites allow us to estimate large-scale, time-averaged rainfall, and there are some techniques to use. In this work the use of METEOSAT infrared images is investigated for an annual period in Western Mediterranean with the purpose of estimate the accumulated precipitation.

Key words: rainfall, precipitation, METEOSAT, climate.

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

La estimación de la precipitación a partir de imágenes infrarrojas de satélite presenta ventajas y desventajas respecto al sistema tradicional basado en una red de observatorios en tierra. La principal ventaja es el hecho de abarcar de manera instantánea el conjunto del territorio en estudio, independientemente de su situación (océanos, altas montañas, lugares inhóspitos o poco habitados, ...). Su principal desventaja es la necesidad de calibrar cada técnica en función de la región climática donde se pretende aplicar, ya que la determinación de la precipitación a partir de imágenes infrarrojas es indirecta, a partir de la temperatura de la parte superior de las nubes.

El principal objetivo de este trabajo es determinar hasta que punto estas técnicas son capaces de estimar la precipitación en nuestra región, en medidas puntuales, o quizás de más importancia, en el conjunto de un territorio extenso, en periodos diarios o por décadas.

2. METODOLOGÍA

A continuación presentamos las tres técnicas de análisis utilizadas y la referencia de los datos que han sido utilizados en la comparativa de dichas técnicas.

2.1. Técnica de Arkin

Es una técnica muy simple de aplicar. Asigna precipitación a cada uno de los pixels de una imagen en función de si su temperatura es inferior a una determinada temperatura umbral, que en la técnica original es de 235 K, asignando 3 mm/h de precipitación en caso afirmativo, y 0 mm/h en caso negativo. Tiene su origen en la experiencia GATE (1979), realizada sobre el Atlántico tropical utilizando el satélite americano SMS 1, relacionando la presencia de nubes muy frías, y en consecuencia muy altas sobre un determinado punto con la precipitación recogida en el mismo (ARKIN, 1979). Hay que añadir que el mismo autor de la técnica indica que ésta sólo es válida en principio para la región donde se había determinado, y que en todo caso habría que recalibrarla si se aplicaba a otras regiones climáticas.

2.2. Técnica NAW

Esta técnica es una evolución de la propuesta inicialmente por Woodley y Griffith (GRIFFITH *et al.*, 1978). Estos autores intentan identificar en las imágenes infrarrojas de satélite cada célula convectiva por separado, siguiendo su ciclo de vida en imágenes sucesivas. Este seguimiento complica enormemente la implementación de esta técnica y Negri, Adler y Wetzel (NEGRI *et al.*, 1984) la modificaron eliminando la necesidad de este seguimiento. Al igual que la técnica de Arkin la de Negri, Adler y Wetzel (a partir de ahora NAW), asigna precipitación a cada uno de los pixels de una imagen en función de su temperatura (253 K), pero a diferencia de aquella no los trata individualmente sino que los agrupa en “clusters”. En cada “cluster” la técnica discrimina tres zonas. En primer lugar todos los pixels más fríos que T_{10} (temperatura más alta del 10 % de los pixels del cluster más fríos), se consideran el núcleo de la nube con la mayor parte de la precipitación (el 50 % del total, 8 mm/h). En segundo lugar el 40 % de los pixels del cluster entre T_{10} y T_{50} (la mediana de las temperaturas de los pixels del cluster), con el 50 % restante de precipitación (2 mm/h), y finalmente el 50 % de los pixels menos fríos, donde la técnica no asigna precipitación. Dado que la técnica identifica dos isotermas en el interior de cada nube, permite la posibilidad de aplicar discriminantes por incremento de temperatura, comparando T_{10} y T_{50} , con el objetivo de eliminar aquellas nubes que aunque sean muy frías tengan poco desarrollo vertical para proporcionar precipitación.

2.3. Técnica “Autoestimator”

La técnica de Vicente-Scofield-Menzel (1998), también llamada “Autoestimator”, tiene un origen diferente de las anteriores, ya que se ha ideado para poder hacer previsiones a corto plazo con el objetivo de prever inundaciones provocadas por fuertes aguaceros. Aquí se intenta ver su posible aplicación en climatología. La técnica original intenta crear un algoritmo prácticamente automático que a partir de una imagen infrarroja de satélite pueda indicar la precipitación en cada uno de los puntos del territorio reflejado en la imagen. La técnica fue calibrada en las llanuras centrales de los EEUU y sobre el Golfo de México, relacionando las precipitaciones recogidas con las imágenes de satélite correlativas, llegando a una ecuación empírica

$$R = 1,1183 \cdot 10^{11} e^{-0,036382 T^{1,2}}$$

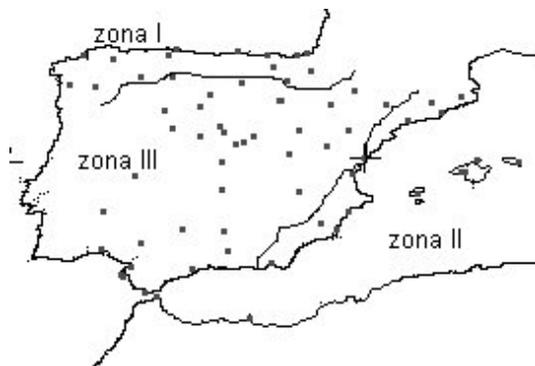


Figura 1: Observatorios y zonas climáticas utilizadas.

donde R es la intensidad de precipitación en mm/h, y T la temperatura absoluta en Kelvin. Además los autores indican la posibilidad de aplicar diferentes filtros, por evolución temporal, comparando dos imágenes sucesivas, o por gradiente espacial, comparando la temperatura de un pixel con la de sus vecinos.

2.4. Datos

Las imágenes utilizadas en este estudio fueron cedidas por la ESA y corresponden a la banda del infrarrojo térmico del satélite Meteosat-5, abarcando el período desde julio 1994 a junio 1995, ambos incluidos.

Como datos de tierra se ha utilizado la red principal de observatorios del Instituto Nacional de Meteorología (figura 1). El territorio estudiado comprende la España peninsular, las Islas Baleares, Ceuta y Melilla. Este territorio se ha dividido en tres zonas siguiendo aproximadamente los criterios de Font (1983).

3. RESULTADOS

3.1. Aplicación de la técnica de Arkin

Se ha aplicado la técnica tanto con la temperatura umbral original como con temperaturas inferiores y superiores, entre 230 y 260 K. Las cantidades de precipitación estimadas por la técnica en el conjunto de los observatorios se han contrastado con las cantidades realmente recogidas en ellos. En las gráficas de la figura 2 podemos apreciar los coeficientes de correlación obtenidos en el periodo anual, agrupando los datos día a día y por décadas.

Como se puede apreciar la técnica presenta unas correlaciones aceptables en todos los casos, particularmente si se agrupan los datos por décadas. El conjunto del territorio y la zona III (centro y sur de la España peninsular) superan 0.80 de coeficiente de correlación, comparable a los altos que se encuentran en la bibliografía para un gran número de imágenes no seleccionadas.

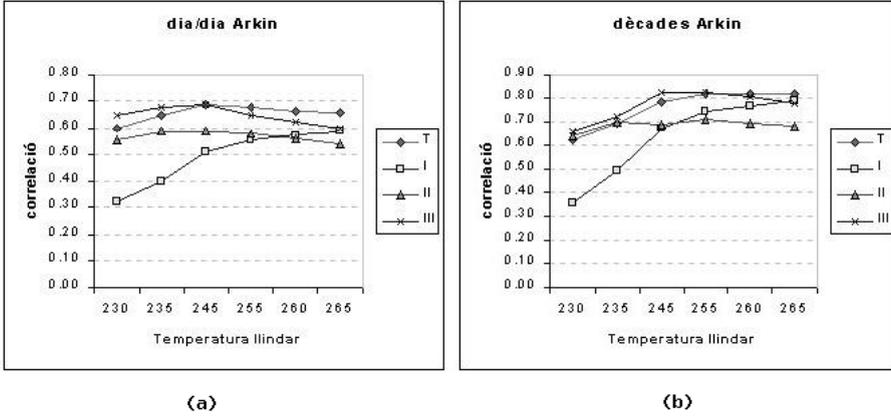


Figura 2: Técnica de Arkin: (a) Día a día. (b) Décadas.

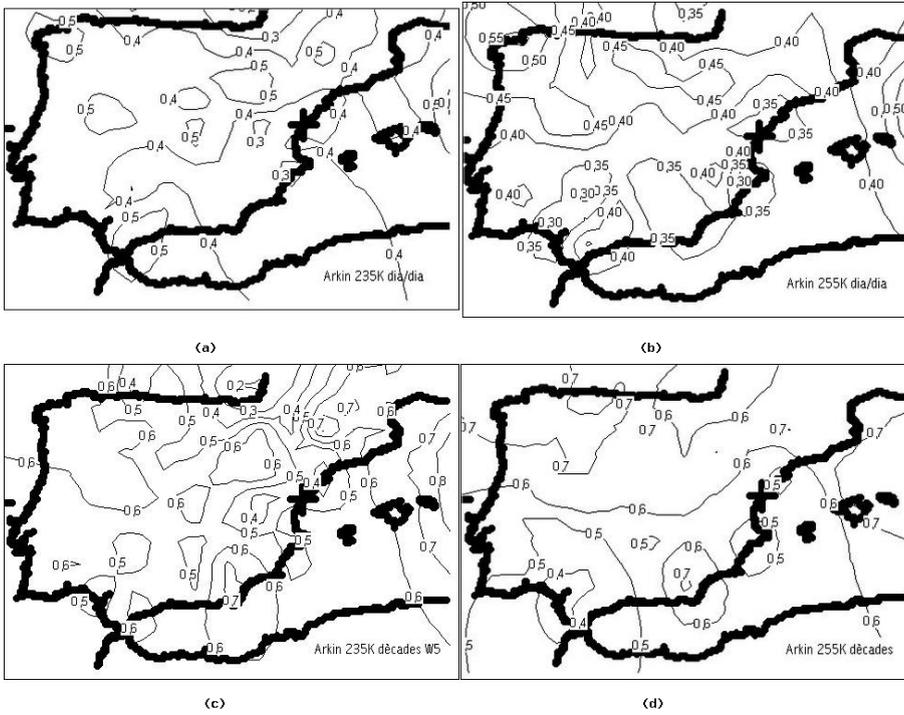


Figura 3: Técnica de Arkin: día a día. (a) $T_h = 235$ K. (b) $T_h = 255$ K; por décadas, (c) $T_h = 235$ K. (d) $T_h = 255$ K.

Uno de los objetivos de aplicar la técnica día a día es el de conocer su aplicabilidad en cada observatorio en particular, y a partir de esta información mediante interpolación poder construir mapas de adecuabilidad de las técnicas en las diferentes regiones. Para estas interpolaciones se ha utilizado el programa informático *SigmaPlot 5.0*. Se han representado isolíneas de coeficientes de correlación sobre un perfil del territorio estudiado, como se puede apreciar en la figura 3 para distintas temperaturas umbrales, contrastando las precipitaciones cada día o cada década.

Como se observa en los mapas las correlaciones son mayores en períodos de diez días, que en períodos diarios. Se asocia claramente un mínimo en la zona del Levante que contrasta con las mayores correlaciones sobre las Baleares, situadas justo enfrente. Probablemente sea debido a la alta irregularidad espacial y temporal de las precipitaciones en la zona del litoral mediterráneo. Se aprecian, asimismo, máximos mas o menos bien definidos en Galicia, la zona de Almería y el Valle del Ebro, con mínimos en el litoral Atlántico andaluz. Las correlaciones más altas se obtienen en conjunto para una temperatura umbral entre 245 K y 255 K, dependiendo de si se comparan día a día o por décadas.

3.2. Aplicación de la técnica NAW

Siguiendo los mismos criterios que en el apartado anterior, se ha aplicado la técnica NAW al conjunto del territorio estudiado, agrupando los datos día a día y también por décadas. Como esta técnica permite muchas más variaciones que la técnica de Arkin, se limitó el número de temperaturas umbral estudiadas para no alargar excesivamente el desarrollo del estudio. Consecuentemente se aplicó la temperatura original de 253 K, y temperaturas ligeramente por encima y por debajo de la misma. Se ha utilizado la asignación de precipitación propuesta originalmente por los autores y también la propuesta por Levizani (1990), por haber proporcionado mejores resultados en los estudios preliminares.

En las gráficas de la figura 4 se muestran las correlaciones que proporciona la técnica, agrupando los datos día a día, y en décadas, en la totalidad de los observatorios y en cada zona por separado, en todo el período estudiado. Se observa en las gráficas como la aplicación de un discriminante sólo incrementa los coeficientes de correlación en la zona II (litoral mediterráneo), empeorándolos en los demás casos. Como en la técnica de Arkin, agrupar las precipitaciones en décadas aumenta significativamente la capacidad del método para estimar correctamente la precipitación, tanto en el conjunto de los observatorios como para cada una de las tres zonas por separado.

Uno de los objetivos al escoger el periodo diario estaba en comprobar la aplicabilidad de la técnica en cada observatorio en particular, y a partir de aquí y como ya se ha comentado construir mapas intentando representar esta aplicabilidad en el territorio. En los mapas de las figuras 5 y 6 se han representado estas correlaciones como en la técnica anterior. Se muestra el efecto de cambiar la temperatura umbral, así como el de aplicar, o no, un discriminante por incremento de temperatura de 10 DC, trabajando día a día o por décadas.

Observando los mapas se aprecia un máximo de correlaciones hacia las Islas Baleares, un segundo máximo relativo en el Valle del Ebro, y en algunos casos en Galicia, mientras que se presentan mínimos relativos en las costas del Levante peninsular y en el golfo de Vizcaya. La aplicación de un discriminante por incremento de la temperatura de 10 DC empeora las correlaciones. Incre-

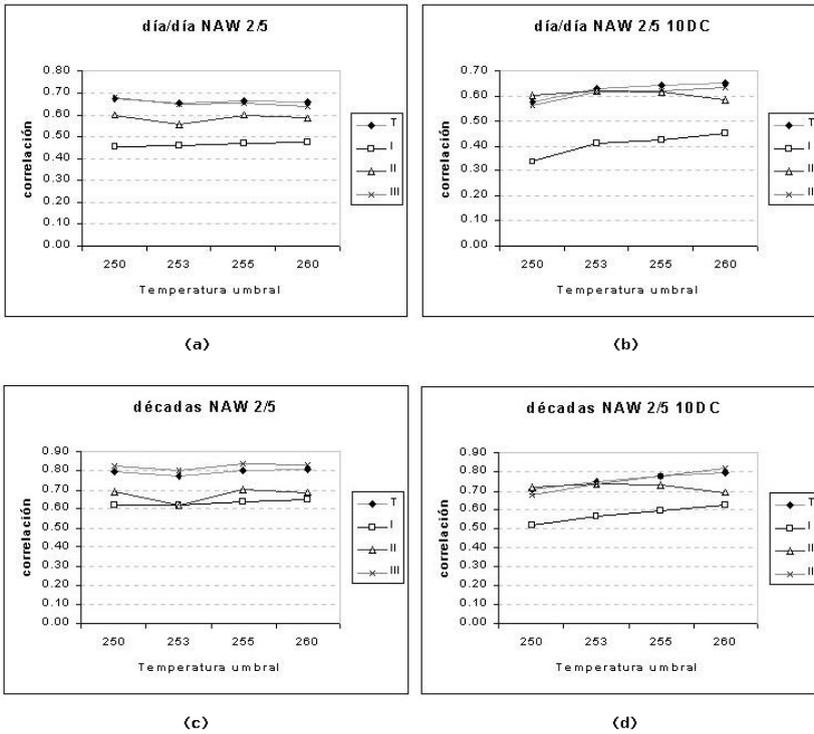


Figura 4: Técnica NAW. (a) día a día. (b) con un discriminante $\Delta T=10$ DC; (c) por décadas. (d) con un discriminante $\Delta T=10$ DC.

mentar la temperatura umbral a 260 K supone un aumento de los coeficientes de correlación en zonas del norte peninsular y un decremento en el sur.

3.3. Aplicación de la técnica “Autoestimator”

Con la técnica “Autoestimator” (VICENTE *et al.*, 1998) se ha seguido el mismo esquema que con las dos anteriores, es decir, se ha estimado según la técnica la precipitación en cada uno de los observatorios, y se ha comparado con la realmente medida en él. El mismo procedimiento se ha repetido agrupando los datos por décadas antes de hacer la comparación. En un segundo paso se han sumado las estimaciones correspondientes al conjunto de los observatorios y se ha comparado con la suma de las precipitaciones realmente recogidas en los mismos, tanto día a día como por décadas. El mismo procedimiento se ha repetido para cada una de las tres zonas en que hemos dividido el territorio en estudio.

La técnica se ha aplicado en su versión original y modificando el exponente de la temperatura. En

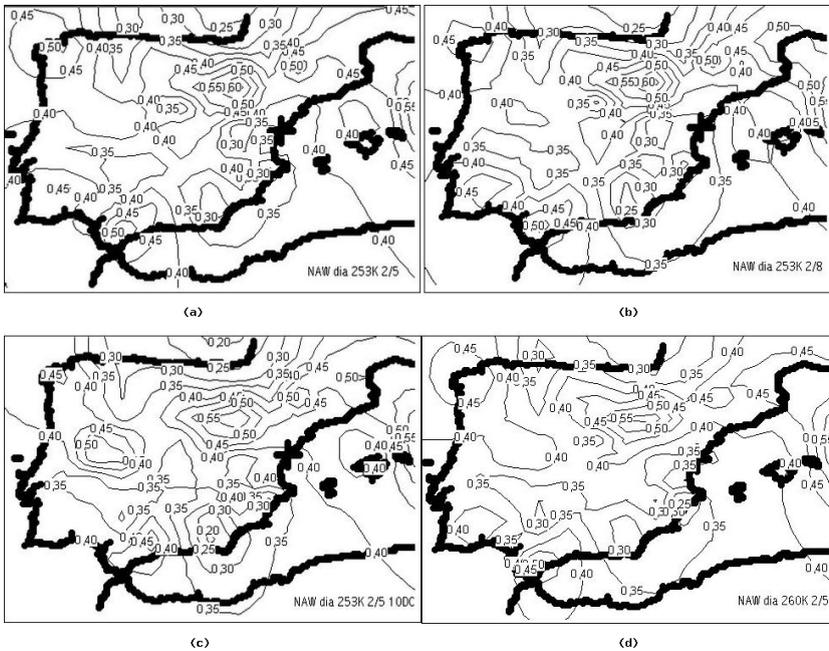


Figura 5: Técnica NAW: día a día. $T_h = 253$ K. (a) Asignación de Levizani; (b) asignación original; (c) asignación de Levizani con un discriminante de 10 DC. (d) $T_h = 260$ K, asignación de Levizani.

la figura 7 se representa los resultados para el conjunto del territorio y cada una de las tres zonas, mostrando el efecto de variar el exponente de la temperatura en la ecuación original y de aplicar un filtro espacial, 3×3 .

Los resultados son comparables a los de las dos técnicas anteriores, siendo la zona y (norte y noroeste de la península) la que presenta peores correlaciones en comparaciones día a día, mientras que si las comparaciones se hacen por décadas es la zona II la que presenta menores correlaciones. En ambos casos el conjunto del territorio y la zona III (centro y sur de la península) presentan las correlaciones mas altas. El exponente original de la temperatura no presenta en ningún caso los coeficientes de correlación más altos, que corresponden a exponentes entre 1.00 y 1.10.

En los mapas de la figura 8 se pueden ver representadas las correlaciones obtenidas aplicando los datos día a día y por décadas a cada observatorio por separado.

Al igual que en las técnicas anteriores agrupar los datos por décadas aumenta sensiblemente los índices de correlación. Un exponente unidad para la temperatura proporciona correlaciones mayores que el exponente original en el norte, este y oeste de la península, siendo más altas con el exponente original en el Valle del Ebro y en el sur.

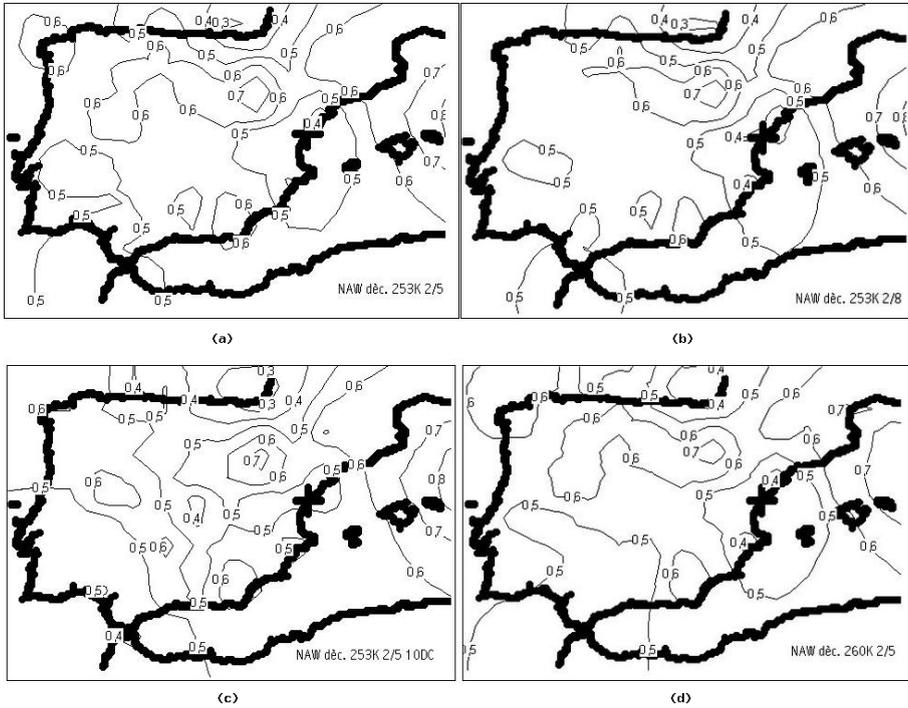


Figura 6: Técnica NAW: por décadas. $T_h = 253$ K. (a) Asignación de Levizani; (b) asignación original; (c) asignación de Levizani con un discriminante de 10 DC. (d) $T_h = 260$ K, asignación de Levizani.

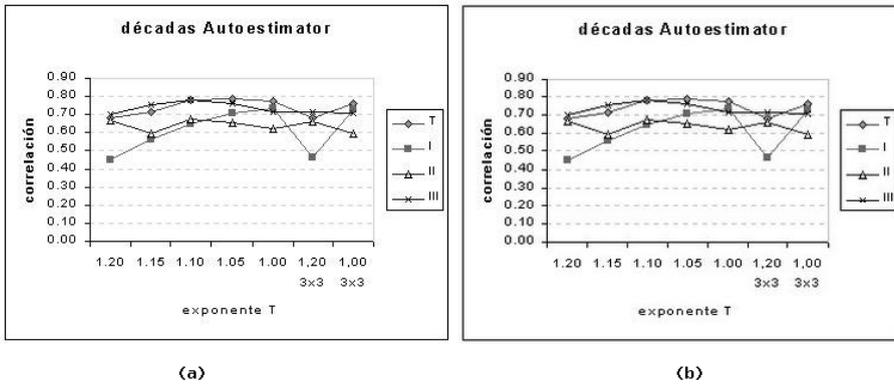


Figura 7: Técnica “Autoestimator”. Diferentes exponentes de la temperatura ζ ”. Aplicando en dos casos un filtro espacial, (a) día a día; (b) por décadas.

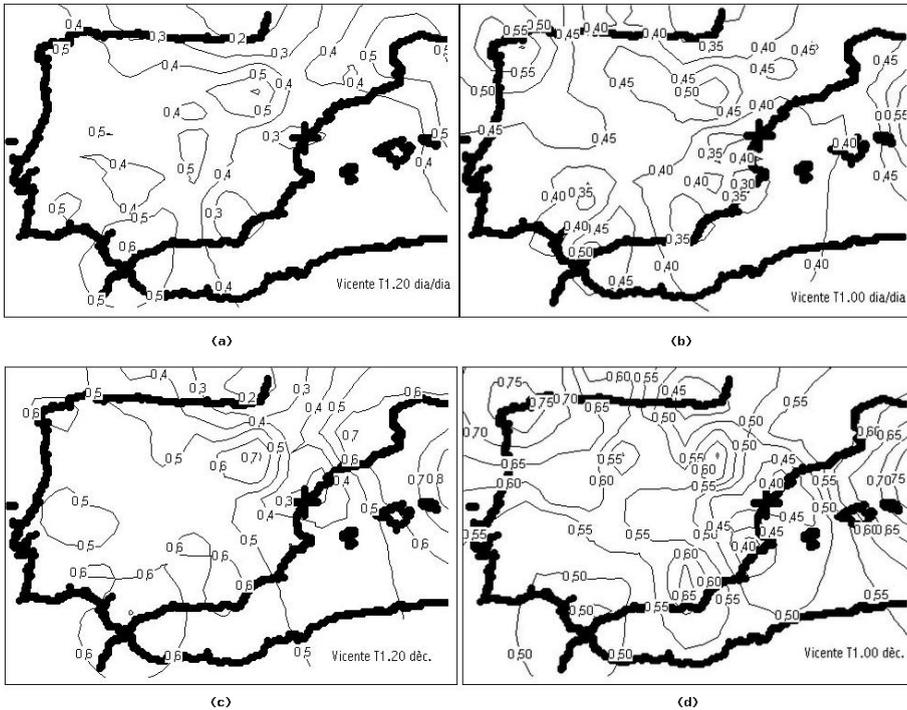


Figura 8: Técnica “Autoestimator”. Isolíneas de correlación. Período anual. Día a día, (a) $c = 1.20$; (b) $c = 1.00$; Décadas (c) $c = 1.20$; (d) $c = 1.00$.

4. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones ha que se puede llegar en la aplicación de técnicas de estimación de la precipitación basadas en imágenes del infrarrojo térmico son:

- estas técnicas presentan facilidad de uso y de implementación una vez calibradas en cada región.
- es necesaria una calibración de las mismas para que proporcionen estimaciones realistas de la precipitación.
- agrupar los datos en períodos de diez días mejora sensiblemente las correlaciones.
- las técnicas estiman correctamente la precipitación en una zona extensa en la mayoría de casos estudiados, no pudiendo decirse lo mismo en medidas puntuales.
- las diferencias entre las tres técnicas aplicadas no son destacables excepto para períodos y zonas concretas.

5. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se enmarca dentro de las actividades del proyecto IMPACTE (2000-2002), financiado por el Departament de Medi Ambient (DMA) y el Departament d'Universitats, Recerca y Societat de la Informació (DURSI) de la Generalitat de Catalunya. Las imágenes utilizadas fueron cedidas por la Agencia Espacial Europea (Dr. J. Leber y Dra. E. Oriol, ESA Meteosat Exploitation Project).

6. REFERENCIAS

ARKIN, P.A. (1979): The relationship between fractional coverage of high cloud and rainfall accumulations during GATE over the B-scale array. *Monthly weater review*, 107, 1382-1387.

ESA (1997): *Four Seasons. CD collection n° 3*.

FONT TULLOT, I. (1983): *Climatologia de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología. Madrid.

GRIFFITH, C.G., W.L. WOODLEY, P.G. GRUBE, y D.W. MARTIN (1978): Rain estimation from geosynchronous satellite imagery: Visible and infrared studies. *Mon. Wea. Rew.* 106, 1153-1171.

INM (1994, 1995, 1996, 1997): *Calendario Meteorológico*. MOP, Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente. Madrid.

JORGE, J. y J.J.RIVERA (1997): Comparison between forecast models of heavy rainfall to predict floods Case study: NW of the Mediterranean zone. *Proceedings of the 16th EARSeL Symposium, Remote Sensing'96*.

JORGE, J., J.MERCADÉ y R.TARRUELLA (2000): Building rainfall and global radiation maps through METEOSAT images. *Proceedings of 3rd Conference on applied Climatology Tools for the environment and man of the year 2000*. CDRom. Pisa.

LEVIZZANI, V., F.PORCÙ, F.S.MARZANO, A.MUGNAI, E.A.SMITH, y F.PRODI (1996): Investigating a SSM/I algorithm to calibrate METEOSAT infrared instantaneous rainrate estimates. *Meteorol.Appl.*, 3, 5-17.

NEGRI, A.J., R.F.ADLER, y P.J.WETZEL (1984): Rain estimation from satellites: An examination of the Griffith-Woodley technique. *J.Appl.Meteorol.*, 23, 102-116.

TARRUELLA, R., y J. JORGE (1998): Comparison between raingauge measurements and isopleth maps from IR Meteosat images. *Ninth Conference on Satellite Meteorology and Oceanography*, Paris, 2, 405-407.

TARRUELLA, R., y J.JORGE (1999): Construcción de mapas de precipitación con imágenes METEOSAT. *La Climatología Española en los Umbrales del Siglo XXI*, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC, serie A, n°1),, 537-545.

VICENTE, G.A., R.A.SCOFIELD y W.P.MENZEL (1998): The operational GOES Infrared Rainfall Estimation Technique. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 79, 9, 1883-1898.