

2. TÈCNiques D'ESTIMACIÓ DE LA PRECIPITACIÓ A PARTIR D'IMATGES DE SATÈL·LIT

En la bibliografia hi podem trobar diferents tècniques per estimar la precipitació en una àrea concreta basades en el tractament de les imatges de satèl·lit. Anem a fer un repàs ràpid de les tècniques existents, per passar posteriorment a descriure les tècniques que hem seleccionat per aquest treball.

2.1. Tècniques existents

Des dels inicis de la teledetecció s'ha fet servir diferents tècniques per estimar la precipitació a partir d'imatges de satèl·lit. En una primera divisió aquestes tècniques les podem classificar dins dos grups, aquelles que utilitzen la zona visible o infraroja de l'espectre electromagnètic, i les que utilitzen la zona de les microones. Les primeres es caracteritzen perquè la radiació no és capaç de travessar els núvols, tant en les longituds d'ona corresponents a la zona visible ($0.34 \mu\text{m} < \lambda < 0.70 \mu\text{m}$) com a la zona infraroja ($0.70 \mu\text{m} < \lambda < 12.0 \mu\text{m}$) i, per tant, les estimacions s'han de fer a partir de la radiació emesa i reflectida pel cim del núvol. En conseqüència, totes les tècniques basades en aquests tipus de radiació han de ser forçosament indirectes en no detectar directament la precipitació. Això és el que fa que aquestes tècniques no puguin ser universals, és a dir, que una tècnica que funcioni bé per a latituds tropicals pot no fer-ho en latituds mitjanes, o a l'inrevés, o que una tècnica que funcioni per fer prediccions horàries no ho faci per estudis climatològics (Marrocu et al., 1993; Kidder i Vonder Haar, 1995).

Entre les tècniques que utilitzen la radiació visible i/o infraroja podem fer una segona divisió, agrupant-les en quatre grups o famílies segons el procediment que fan servir, i que podem anomenar:

- Tècniques basades en un índex de núvol (*cloud index*).
- Tècniques biespectrals.
- Tècniques de seguiment de la vida de cada núvol (*life history*).
- Tècniques amb models dels núvols.

Les tècniques que fan servir un índex de núvol són les més antigues, i també les més utilitzades. Bàsicament classifiquen cada píxel de la imatge com a “núvol” o “no núvol” i assignen una certa quantitat de precipitació a cada píxel identificat com a núvol per cada període de temps estudiat. Entre elles podem citar la de Barrett (1970), que és la més antiga; la de Follansbee (1973), que només utilitza imatges visibles, com ho fa la de Kilonsky i Ramage (1976), i finalment la d'Arkin, formulada inicialment el 1979 i modificada posteriorment pel mateix autor i els seus col·laboradors (Arkin, 1979; Arkin et al., 1989, 1994a, 1994b). Aquesta darrera tècnica és, sens dubte, la més utilitzada actualment i la descriurem més endavant ja que es tracta d'una de les que avaluem en aquest treball.

Les tècniques biespectrals fan servir, com el seu nom indica, dues longituds d'ona diferents, intentant aprofitar la informació que porta cada una d'elles per separat. Normalment es fa servir el visible i l'infraroig i s'utilitzen, sobretot, per discriminar aquells núvols que porten pluja d'aquells que no en porten. La tècnica d'aquest tipus més utilitzada és la de Lovejoy i Austin, que en la seva primera versió data de 1979.

El tercer grup de tècniques intenta seguir el cicle vital de cada cel·la convectiva per separat, i d'aquí el seu nom de cicle de vida. Entre elles la més utilitzada és la de Griffith i Woodley (Griffith et al., 1978, 1981). La tècnica segueix cada cel·la convectiva per separat i li assigna una quantitat de precipitació diferent segons el moment de vida en què es trobi. Una cel·la que estigui creixent proporciona més quantitat de precipitació, a igualtat de condicions, que una que estigui decreixent, és a dir, desfent-se. La tècnica és complexa d'aplicar de forma que altres autors han plantejat simplificacions de la mateixa (Negri, Adler i Wetzel, 1984; Griffith et al., 1987).

Finalment, direm que les tècniques que s'anomenen de models de núvols, intenten introduir conceptes de física dels núvols en la tècnica per millorar les estimacions de precipitació. Gruber (1973) i Wylie (1979) proposaren tècniques d'aquest tipus, però les

més utilitzades són la tècnica de Scofield i Oliver (1987) i la "Convective-Stratiform Technique, CST" (Adler i Negri, 1988), que intenta separar la precipitació de tipus convectiu d'aquella que ve de núvols de tipus estratiforme, d'aquí el seu nom. Ambdues tècniques són complexes d'aplicar i continuen evolucionant actualment.

Les tècniques que fan servir les microones es limiten a fer-ho de manera passiva, actualment, ja que la utilització del radar des d'un satèl·lit per objectius climatològics encara queda fora de les possibilitats tècniques. A diferència de les radiacions infraroges i visibles, les radiacions en la zona de les microones si que poden travessar els núvols, i "veure" directament la precipitació, i per tant, en principi, ser una millor opció per estimacions de la mateixa a partir de mesures de satèl·lit. El problema que tenen és precisament el que els hi dona l'avantatge, el treballar en la zona de les microones. Com la longitud d'ona d'aquestes és més gran que en les ones visibles o infraroges, la seva intensitat és menor, i per tant ha de cobrir una àrea més gran per captar suficient energia, això és tradueix en una resolució espacial menor o la utilització d'antenes més grans. Això s'ha solucionat instal·lant els sensors en satèl·lits d'òrbita polar, que en estar a poca altitud permeten una bona resolució espacial, a canvi de perdre resolució temporal. Ens hem de limitar a una o dues imatges per dia. La segona opció, seria instal·lar els sensors en satèl·lits geoestacionaris, però això implicaria antenes massa grans per les possibilitats tècniques actuals. De totes maneres aquesta és la única opció vàlida si volem estudiar un fenomen tan irregular com la precipitació, encara que la informació a partir dels satèl·lits polars també resulta molt útil, si més no, de manera complementaria (Kidder i Vonder Haar, 1995; Sobrino, 2000).

2.2. Tècniques seleccionades

A l'hora d'escollir quines tècniques fer servir en el nostre treball, es va optar en primer lloc per descartar les tècniques en la zona de les microones, ja que la seva poca periodicitat temporal no semblava gaire escaient en una climatologia tant irregular com la de la regió mediterrània quan parlem de precipitacions. En segon lloc, i tenint en compte que les imatges visibles només estan disponibles les hores diürnes, i per tant no permeten un tractament continu, també es va descartar en un primer moment la seva utilització. En conseqüència, es va optar per les tècniques que fan servir exclusivament imatges infraroges de les que es disposa les 24 hores del dia.

Entre les tècniques que fan servir imatges infraroges, es van descartar per a ser aplicades en aquest treball aquelles tècniques més antigues, i que d'alguna manera ja

estan incloses en les més noves, així com aquelles que necessitaven informació complementària de la que difícilment podíem disposar, com ho és la informació de radiosondatges, necessària per aplicar tècniques com la CST (Convective-Stratiform-Technique, Adler i Negri, 1988).

De les tècniques restants es va escollir per aplicar en primer lloc la tècnica d'Arkin (1979). Es basa fonamentalment en un estudi empíric que relacionava estadísticament la precipitació estimada des de radars sobre la superfície terrestre i les imatges infraroges, sense tenir present cap concepte de física dels núvols. És una tècnica simple d'aplicar, la més utilitzada durant aquests darrers anys, ja que se segueix emprant, junt amb altres dades (Huffman et al, 1997) per estimar la precipitació en el GPCP (Global Precipitation Climatology Project), i es la base d'estimació del GPI (GOES Precipitation Index) que es publica regularment als EEUU.

Una altra tècnica que també ha estat aplicada, i per a la que s'analitzen els seus resultats més endavant, és la tècnica que hem anomenat NAW (Negri, Adler i Wetzell, 1984). Es tracta d'una tècnica més complexa que l'anterior, i la vam escollir degut a que considera certs aspectes de la física de núvols i, a més, apareix en la literatura com una evolució de les tècniques de seguiment de la vida dels sistemes nuvolosos sense arribar a ser necessària una gran infraestructura de càlcul. D'altra banda, la seva elecció ha estat motivada en el fet de que ja s'havia aplicat la tècnica NAW en la nostra regió a uns episodis de pluja particulars (Jorge i Rivera, 1997) i que altres autors havien presentat els resultats de la seva utilització a una altra zona del Mediterrani (Marrocu et al., 1993).

Donat que les dues tècniques anteriors ja fa uns anys que s'estan aplicant, vam intentar cercar una tècnica més actual en la bibliografia. Ens vam decidir per la tècnica "Autoestimator" (Vicente et al., 1998) ja que és tracta d'una tècnica relativament nova, que s'ha aplicat només a predicció a curt termini, i que encara no s'ha aplicat a l'estimació de la precipitació a períodes llargs de temps i, ni de bon tros a la regió mediterrània. D'entrada es pot considerar una tècnica d'índex de núvols, com les anteriors, però, permet introduir criteris de física de núvols i de l'evolució temporal dels mateixos, i per tant potser seria millor considerar-la com una tècnica de model de núvols. Recordem que totes tres tècniques triades han estat dissenyades per a unes zones climàtiques diferents de les nostres.

2.2.1. Tècnica d'Arkin

De les tècniques utilitzades en aquest treball la tècnica d'Arkin és la més antiga, així com també la més simple d'aplicar com ja s'ha dit, per això començarem amb ella la descripció específica de les tècniques aplicades.

Des dels primers moments dels satèl·lits artificials es va fer evident el seu potencial per determinar la precipitació sobre la superfície terrestre. Kilonsky i Ramage ja usaren el 1976 la freqüència de núvols amb una alta reflectivitat per determinar la precipitació mensual sobre algunes regions de l'oceà Pacífic, utilitzant imatges en les zones visible i infraroja proporcionades pels primers satèl·lits meteorològics d'òrbita polar. El principal desavantatge d'aquest mètode, i dels mètodes basats en radiacions de llarga longitud d'ona que el seguien, era la baixa resolució temporal de les imatges, una o dues per dia, deguda a la utilització de satèl·lits d'òrbita polar (Arkin i Ardanuy, 1989).

Els satèl·lits geoestacionaris proporcionaven la solució a aquest handicap, amb una resolució temporal d'una imatge cada hora, o cada mitja hora, a canvi d'una menor resolució espacial. En estudis climàtics o meteorològics, la relativa baixa resolució espacial no significa cap problema important en la majoria de casos, sempre que les regions estudiades es trobin a la franja de latituds entre els 40°N i els 40°S, ja que en les regions polars la curvatura de la Terra impedeix utilitzar les seves imatges.

El GARP Atlàntic Tropical Experiment (GATE) va marcar el primer intent seriós i sistemàtic d'utilització de les imatges infraroges captades des d'un satèl·lit geoestacionari. L'experiència realitzada a l'Atlàntic tropical va consistir en comparar les imatges infraroges obtingudes pel satèl·lit americà SMS 1 i la precipitació mesurada mitjançant radar sobre l'oceà en una àrea determinada. D'ella es deduí la relació entre la freqüència de núvols molt freds, i per tant molt alts, i la quantitat de precipitació recollida. Aquesta ha estat la base de totes les tècniques que utilitzen imatges IR per determinar la precipitació.

La tècnica original d'Arkin calcula un "índex de núvols" com la fracció de temps que una determinada regió ha estat coberta per núvols alts, i li associa una determinada quantitat de precipitació. Arkin (1979) en l'experiència GATE va veure que 3 mm/h era la quantitat que més estava d'acord entre les observacions i les estimacions. Per determinar si un pixel en concret correspon o no a un núvol alt es pren una temperatura com llindar (T_h), agafant-se tots els pixels més freds que aquesta com corresponents a núvol, i tots els altres com no corresponents a núvols i, per tant, sense precipitació. En el GATE la millor temperatura llindar va correspondre a 235 K, tot i que hi havia un marge

de temperatures per a les quals els resultats eren acceptables. Matemàticament es pot resumir com:

$$GPI = 3 \times f \times \Delta t \quad (2.1)$$

on GPI és l'estimació de la precipitació en mm, f és la fracció de l'àrea estudiada més freda que la temperatura llindar escollida, i Δt és el temps en hores.

Val a dir que el mateix autor de la tècnica reconeixia que només era vàlida en principi per a la regió on s'havia determinat, i que en tot cas caldria recalibrar-la si es volia utilitzar en altres zones. En la regió tropical estudiada inicialment la major part de precipitació correspon a núvols convectius, que són al mateix temps molt alts, i per tant molt freds, i molt gruixuts, és a dir, amb fort desenvolupament vertical. A més, no hi havia efectes orogràfics que poguessin afectar els resultats al fer-se sobre l'oceà. D'aquesta manera la relació entre pixels molt freds i precipitació és clara i d'aquí les bones correlacions que es van trobar. En altres regions una part important dels núvols poden no ser convectius, i la precipitació tenir per tant un origen diferent, i d'aquí la necessitat de la recalibració de la tècnica.

En la figura 2.1 tenim una mostra de l'aplicació de la tècnica d'Arkin a una única imatge, corresponent a la tarda-vespre del 31 d'agost de 1994, on s'aprecien les tempestes d'evolució diürna típiques de final d'estiu en la zona mediterrània. Les zones acolorides de blau correspondrien a aquells núvols més freds de 235 K, i que per tant la tècnica els hi assignaria una intensitat de precipitació de 3 mm/h.

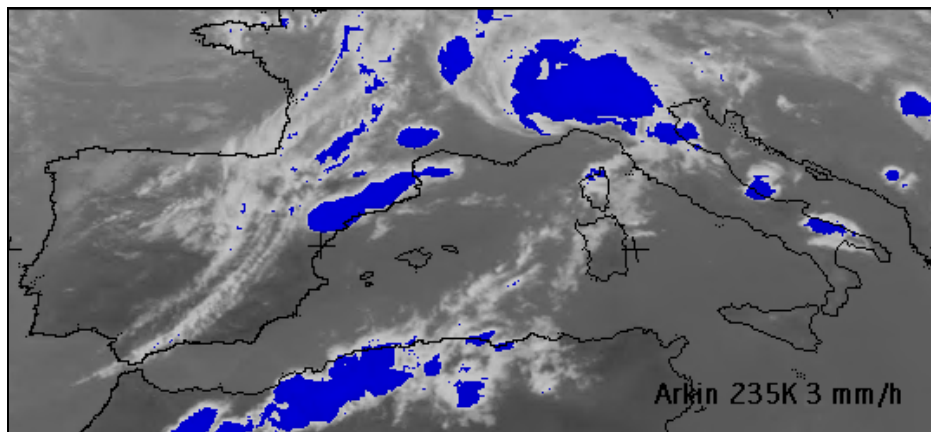


Figura 2.1. Exemple d'aplicació de la tècnica d'Arkin.

2.2.2. Tècnica NAW

La necessitat de millorar la tècnica d'Arkin ha portat aquests últims anys a diferents autors a intentar introduir paràmetres físics en l'estimació de la pluja. Un dels intents més elaborats és la tècnica de Woodley i Griffith (Griffith et al, 1978, 1981). Aquests autors identifiquen en primer lloc cadascun dels núvols en una imatge infraroja de satèl·lit i, un cop identificats, en fan el seu seguiment en imatges successives. És a dir, estudien el cicle vital de cada cel·la convectiva, en un intent de seguir les seves variacions, tot volent reflectir el fet que quan un núvol convectiu creix proporciona una major quantitat de precipitació que quan està en fase madura, és a dir, quan ja no creix o s'està desfent, encara que la seva grandària o la seva temperatura siguin comparables. A més a més, cada un dels núvols es divideix en zones, assignant-se major quantitat de precipitació al seu nucli, considerat com aquella part més freda i, per tant, més alta del mateix. El mètode dona resultats acceptables si la precipitació prové majoritàriament de cel·les convectives aïllades.

Aquesta tècnica té dos inconvenients greus. Per una banda és bastant normal que en créixer els núvols convectius s'ajuntin amb cel·les veïnes també en creixement, i per tant es fa impossible el seguiment individual de cada núvol per separat. Tampoc és estrany que les encluses de les cel·les convectives madures emmascarin noves cel·les en creixement, i per tant aquestes no es detecten per satèl·lit. Per altra banda, la necessitat d'estudiar al mateix temps una sèrie d'imatges, complica enormement el tractament informàtic de les mateixes, i allarga considerablement el temps de càlcul, tot i que amb els nous ordinadors aquest inconvenient s'ha reduït considerablement.

Negri, Adler i Wetzell (Negri et al., 1984) estudiaren la tècnica original de Woodley i Griffith i demostraren que podia modificar-se sense haver de tenir en compte la història del núvol, i demostrant que aquesta modificació no empitjorava els resultats significativament si es treballava en períodes prolongats de temps. D'aquesta manera es pot treballar imatge a imatge, evitant-se els inconvenients citats

A l'igual que en la tècnica d'Arkin, el procediment discrimina els píxels en funció de la seva temperatura. En principi s'assigna un píxel com núvol si la seva temperatura és més freda que una determinada temperatura llindar, però, a diferència de la tècnica d'Arkin, no es tracta cada píxel independentment, sinó que s'agrupen en "clusters". El mètode comença buscant el píxel més brillant (més fred) de la imatge, que es pren com "centre" del núvol, un cop localitzat es miren tots els píxels veïns, i s'assignen al núvol o no en funció de la seva temperatura. El procés continua, fins que ja no hi ha píxels veïns que puguin considerar-se com a núvol. Seguidament es busca un nou "centre", en la

imatge, continuant fins que ja no quedi cap pixel amb una temperatura per sota de la temperatura lliardar. D'aquesta manera la imatge queda dividida en una sèrie de "núvols", i zones lliures d'ells. En cada "núvol" es discriminen tres zones, el 10% dels pixels més freds es considera que formen el nucli del núvol, i s'hi assigna la major quantitat de precipitació (la tècnica original hi associava el 50% de tota la precipitació). La segona zona correspondria al 40% següent més fred, on s'hi associa una menor quantitat de precipitació a cada un dels pixels (originalment era el 50% restant de la precipitació), i finalment a la tercera zona, que correspondria al 50% dels pixels del núvol amb temperatures més altes, no s'hi assigna precipitació. La versió original d'aquesta tècnica prenia com a temperatura lliardar 253 K, i assignava 9 mm/h als pixels corresponents al nucli del núvol (posteriorment es va modificar a 8 mm/h), al següent 40% més fred hi assignava 1.8 mm/h (posteriorment 2.0 mm/h) i 0 mm/h a la resta (Negri et al., 1984; Negri i Adler, 1993; Levizani et al., 1990, 1997; Jorge i Rivera, 1997).

En la figura 2.2 es mostra un exemple d'aplicació de la tècnica NAW, la mateixa situació meteorològica de la figura 2.1, podent-se observar les diferències amb l'aplicació de la tècnica d'Arkin. L'aplicació de la tècnica ha identificat com a núvol tots aquells pixels més freds de 253 K. Els tres nivells de color que es mostres corresponen a les tres zones que la tècnica diferencia en cada núvol, el 10% més fred, amb una intensitat de precipitació de 8 mm/h, el 40% següent més fred, amb 2 mm/h, i el 50% restant amb 0 mm/h.

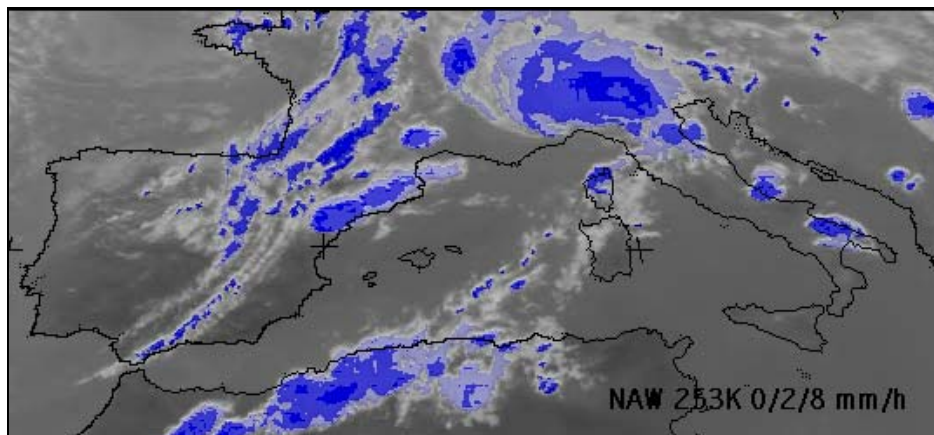


Figura 2.2. Exemple d'aplicació de la tècnica NAW a la mateixa situació meteorològica de la figura 2.1.

2.2.3. Tècnica “Autoestimator”

La tècnica de Vicente-Scofield-Menzel (1998), també anomenada “Autoestimator”, té un origen diferent de les altres dues, ja que s'ha formulat per poder fer previsions gairebé instantànies de pluges intenses i, per tant, poder preveure inundacions. És a dir, no s'ha creat per estudis climatològics, i la nostra intenció és poder veure fins a quin punt s'hi adapta.

La tècnica original intenta fixar un algorisme pràcticament automàtic que a partir d'una imatge de satèl·lit pugui donar la precipitació en cada un dels punts de la imatge. El principi físic és molt semblant al de les altres dues tècniques, com més fred és un píxel de núvol més alt està aquest i, en conseqüència, pot correspondre a un núvol amb un gran desenvolupament vertical, que probablement proporcioni forta precipitació. La seva aplicació va plantejar-se inicialment a través dels següents passos:

1. *Correlacionar dades d'imatges IR amb dades de radar meteorològic.* Per fer això es van escollir 6800 píxels corresponents a les planes centrals dels Estats Units i al Golf de Mèxic, en el moment en què hi havia sistemes convectius clarament definits en ells. Aquests píxels al seu temps s'estudiaven amb dades de radar meteorològic, podent-se relacionar la temperatura del cim dels núvols amb la precipitació real mesurada a través del radar. Aquests radars s'havien calibrat per la seva banda amb pluviòmetres. El tractament estadístic i calibració d'aquestes dades va portar a l'equació:

$$R = 1.1183 \times 10^{11} \times \exp(-0.036382 \times T^{1.2}) \quad (2.2)$$

on R és la intensitat de precipitació en mm/h, i T la temperatura absoluta en Kelvins.

2. *Admetre la impossibilitat que una equació de regressió establerta per una situació determinada en unes condicions climàtiques concretes es pugui aplicar de manera general.* Per tant, s'introdueixen diferents factors per modificar-ne el seu ús. En primer lloc és té en compte el contingut d'humitat ambiental, és a dir, el fet que una mateixa tempesta pot proporcionar més precipitació en una atmosfera carregada d'humitat que en una de seca. Per a aplicar aquest factor

introdueix un factor multiplicador de la quantitat total de precipitació, que a la pràctica la redueix si l'ambient és sec, i la deixa igual si és humit. A més, s'introdueix una limitació de precipitació màxima tenint en compte la màxima precipitació horària històricament registrada en la regió geogràfica en estudi..

3. *Distingir d'alguna manera els casos en que diversos núvols donen quantitats diferents de precipitació, encara que estiguin a la mateixa temperatura i les mateixes condicions atmosfèriques.* Per fer-ho s'introdueixen dos factors que de fet actuen com dues màscares, un d'ells de caràcter temporal i l'altre de caràcter espacial.

- En primer lloc es té en compte un factor temporal per comparació de dues imatges successives. Com se sap les cel·les convectives proporcionen la major quantitat de precipitació en el moment en que estant desenvolupant-se, és a dir, creixent i, per tant, augmentant el seu desenvolupament vertical. En canvi proporcionen poca precipitació en el moment en que s'estan desfent, disminuint la seva grandària (Strahler, 1982). D'aquesta manera la tècnica només assigna la precipitació calculada per l'equació anterior als pixels que estan a igual o menor temperatura que el pixel de la imatge anterior, i assigna precipitació zero a aquells pixels que s'han escalfat.

- L'aplicació del factor temporal implica necessàriament disposar de les imatges successives, cosa que no sempre és possible per problemes amb el satèl·lit. En aquest cas es pot fer una anàlisi de gradient espacial, assignant precipitació només a aquells pixels que són més freds que els pixels del seu entorn, és a dir, que corresponen a nuclis de creixement del núvol.

Com ja hem dit la tècnica s'utilitza en els EEUU per preveure xàfeces intensos en temps real i fer prediccions per a les hores següents, dins un mètode automatitzat conegut com "Autoestimator". Els resultats són força variables depenent de la resolució espacial que es desitgi, millorant quant més grans són les àrees, i del tipus de precipitació que s'estudiï, obtenint-se pobres correlacions per pluja originada per núvols de tipus estratiforme.

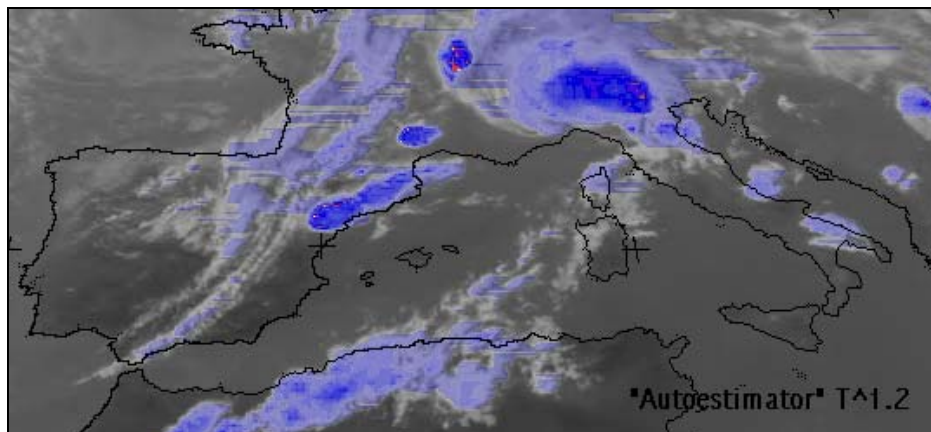


Figura 2.3. Exemple d'aplicació de la tècnica "Autoestimator" a la mateixa situació meteorològica de les figures 2.1 i 2.2.

A l'igual que en les dues tècniques anteriors, en la figura 2.3 es mostra l'aplicació de la tècnica de Vicente, Scofield i Menzel, a la mateixa situació meteorològica de les figures 2.1 i 2.2. S'observen clarament les diferències amb les dues imatges anteriors. Aquesta tècnica assigna precipitació en funció de la temperatura, i, per tant, hi ha tot un gradient d'acoloriment que mostra l'increment en la quantitat de precipitació assignada a cada un dels pixels. Els punts vermells indiquen els pixels més freds, i per tant també aquells llocs on la precipitació serà màxima segons la tècnica.

