INTEGRACIÓ DE DADES DE RADAR I PLUVIÒMETRES PER A LA PREDICCIÓ METEOROLÒGICA D'AVINGUDES

Tomeu Rigo A [1]; Aleix Serra [1] i Marc Berenguer [2]

(1) Servei Meteorològic de Catalunya Cr. Berlín, 38. 08029 Barcelona. tomeur@meteo.cat
(2) Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia Jordi Girona 1-3, Edifici ParcUPC K2M, S104. 08034 Barcelona. marc.berenguer@crahi.upc.edu

PARAULES CLAUS: radar, pluviòmetres, xarxa, estimació quantitativa de precipitació, predicció.

INTRODUCCIÓ

Tot i que avui en dia les prediccions numèriques són molt acurades, encara no ho són tant com per poder donar un camp de precipitació ajustat a la realitat, a escales temporals horàries i espacials de pocs quilòmetres. Aquest fet es magnifica especialment en episodis de pluges intenses, molt habituals al nostre territori (Llasat et al, 2005) i és aquí on juga un paper clau l'estimació quantitativa de precipitació (EQP). En el present document, es mostra el procés de generació de les diferents EQP que es fan al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC), amb resolucions que van des de la semi-horària fins a diària. Aquests productes es generen mitjançant la combinació de les dades de la xarxa de radars meteorològics (XRAD) i de les estacions meteorològiques automàtiques (XEMA). Amb aquesta finalitat, des de l'any 2001 l'SMC, l'Agència Catalana de l'Aigua (ACA) i el Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia (CRAHI) de la Universitat Politècnica de Catalunya treballen de manera conjunta per tal de desenvolupar una sèrie de productes que facilitin les tasques de predicció de pluges fortes i les conseqüents avingudes hidrològiques a partir d'eines i productes automàtics. En aquest document es presenten les dues xarxes de l'SMC, les correccions que es fan a cada una d'elles, la combinació de les mateixes en un producte únic, i, per acabar, l'ús de la combinació com a eina de predicció.

QUÈ SÓN LA XEMA I LA XRAD?

La XEMA és una xarxa d'estacions meteorològiques automàtiques composta per 170 estacions, donant informació en temps gairebé real de diferents variables, entre elles la temperatura, la humitat, la pressió, i la precipitació, semi-horària o horària (tot i que es disposen de valors a resolució minutal, que es fan servir per fer alertes d'intensitat). A la figura 1 es mostra la distribució actual de les diferents estacions. A la mateixa figura s'afegeixen les estacions de dues xarxes més, de caràcter hidrològic, i que estan gestionades per l'Agència Catalana de l'Aigua i la Confederación Hidrográfica del Ebro (CHE). Les dades d'aquestes dues últimes xarxes es reben també al SMC, però no tenen el mateix caràcter de funcionalitat que les pròpies, ja que els pluviòmetres no se sotmeten als mateixos manteniments i les seves dades no passen els mateixos controls de qualitat.

Tot i que la cobertura donada per la XEMA és prou gran (la densitat de pluviòmetres és comparable a la de molts països europeus) i la informació pluviomètrica es rep cada cop més ràpidament, la representativitat de les observacions pluviomètriques és encara insuficient per capturar l'evolució del camp de precipitació a les resolucions més altes. És aquí on entra en joc la XRAD, especialment per situacions de pluges molt intenses.

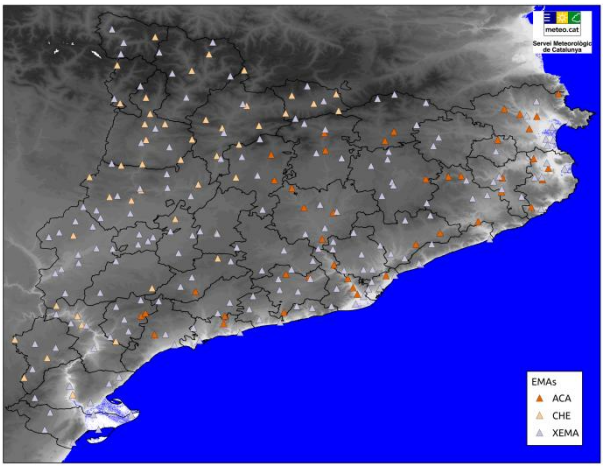

Figura 1 – Mapa amb la posició de les diferents estacions meteorològiques automàtiques de les xarxes del SMC, de l'ACA, i de la CHE.

La XRAD és una xarxa de 4 radars meteorològics de banda C que té com a funció principal donar cobertura a tot el territori català, en referència a les precipitacions. Cada radar genera un volum amb dades de reflectivitat (relació entre energia

retornada al radar pels objectes que es troba el feix, i l'energia enviada inicialment pel mateix radar), i es generen cada 6 minuts. La resolució espacial és de 500 metres, tot i que normalment els productes amb què es treballa ho fan amb resolucions d'1 o 2 quilòmetres. A més, cada radar treballa en dos modes: un de vigilància, que arriba fins a un rang d'uns 250 quilòmetres, i que es genera al principi de cada volum, i, un altre de quantitatiu, amb la informació volumètrica, amb 15 nivells d'elevació, cobrint una gran part de l'atmosfera fins a 20 quilòmetres d'altitud i 150 de rang. A la figura 2 es mostra la composició de la XRAD.

Tot i que a simple vista sembla que amb una xarxa de radars ja tenim resolt el "problema" del seguiment de situacions de precipitacions, la realitat ens mostra que és ben diferent. De fet, enumerant alguns dels possibles problemes que ens podem trobar, citarem els següents (Gekat et al., 2004; Michelson et al., 2005; Bebbington et al., 2007; Bech et al., 2007; SMC, 2013): errades mecàniques i/o electròniques, de comunicacions i/o elèctriques, observacions d'ecos no meteorològics (muntanyes, edificis, aerogeneradors avions, ocells, vaixells, onades marines, interferències electromagnètiques...), ocultació d'ecos meteorològics per apantallament (per l'efecte de les muntanyes o bé, per la precipitació molt intensa o en forma de calamarsa o pedra), la combinació dels diferents elements de la xarxa (cal recordar que cada element té una estructura pròpia, donada pel lloc on està situat) a l'hora de fer la composició, extrapolació de les observacions del radar a la superfície, la conversió de reflectivitat en intensitat de precipitació i en precipitació acumulada.

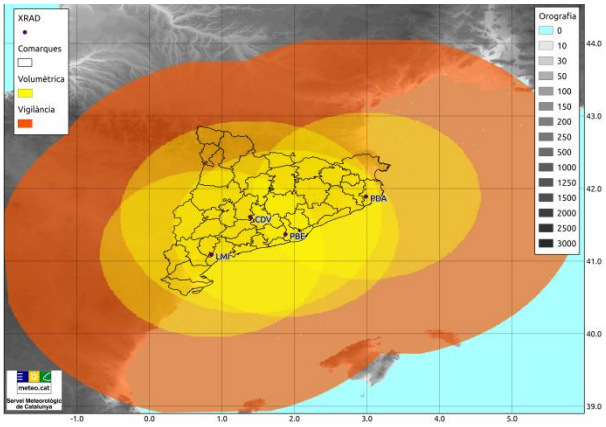

Figura 2 – Mapa amb la posició dels diferents elements de la XRAD, així com la cobertura per a mesures qualitatives (groc) i únicament per vigilància (taronja)

CONTROL DE QUALITAT I CORRECCIONS

Com ja s'ha avançat anteriorment, en ambdues xarxes es fa un seguiment per tal de conèixer la qualitat de les dades i corregir-les, en el cas que sigui necessari. En aquest punt es presenten breument les diferents parts d'aquest procés per cada xarxa.

En el cas de les observacions pluviomètriques de la XEMA, hi ha un primer filtratge automàtic, descartant valors que són extremadament anòmals, procés conegut com a filtre de rang (SMC, 2011). A continuació, s'apliquen els següents criteris: completesa de les dades, i coherències temporal, interna, espacial, i visual (comparant amb dades de teledetecció).

Pel que fa a la XRAD, els processos són tots exclusivament automàtics excepte un: l'aplicació d'un factor de correcció de la reflectivitat, que s'explicarà més endavant. El primer control es refereix a l'arribada de les dades i que arriben en temps real (no més de 6 minuts respecte al programat). A continuació s'apliquen una sèrie d'algorismes de correcció de les observacions de reflectivitat radar, que són l'inici de l'EHIMI (Eina Hidrometeorològica Integrada). Es poden resumir en: eliminació de taques especulars (de mida petita i que per la forma no poden estar associades a precipitació), control de l'estabilitat del senyal, total disponibilitat del volum, errades en l'apuntament, correcció de la subdetecció causada als bloquejos orogràfics, eliminació dels ecos no meteorològics i reconstrucció del camp als punts on hi ha influència orogràfica, (Corral et al., 2009).

CAMP DE PRECIPITACIÓ ESTIMAT

Un cop els volums de la xarxa, generats de forma gairebé simultània han estat corregits, es procedeix a la composició d'un producte de reflectivitat que engloba tota la cobertura mostrada a la figura 2, tot i que la millor qualitat es troba a la zona del curt abast. Aquest producte és el que es presenta a la web pública del SMC. La generació d'aquest producte es fa per màxim valor de qualsevol radar a cada punt. Aquest fet implica la introducció de nous errors, associats a l'observació d'ecos de precipitació en altura i que a la composta es considera que es troben en superfície.

Un cop disposem del camp de reflectivitat, es converteix en intensitat de precipitació i, a continuació, en camp de precipitació acumulada. És important esmentar en aquest punt, que la conversió que passa de reflectivitat a precipitació acumulada inclou el fet del moviment de les

estructures precipitants en el temps, fent que el camp sigui més continu (com es mostra a la figura 3). A l'SMC es treballa amb diferents intervals temporals, cadascun dels quals té una funcionalitat diferent: semi-horària, generada cada 6 minuts, només conté informació de la XRAD i serveix per fer avisos de superacions de llindars de pluges intenses (figura 4); horària, sense i amb la integració de les dades de la XEMA, que permet fer un seguiment de l'episodi en temps gairebé real; diàries (al final de cada dia), mostren el conjunt de l'episodi, permetent que es pugui disposar d'una fotografia d'un episodi. Com a excepció, per a episodis de llarga durada, es poden generar camps de més d'un dia.

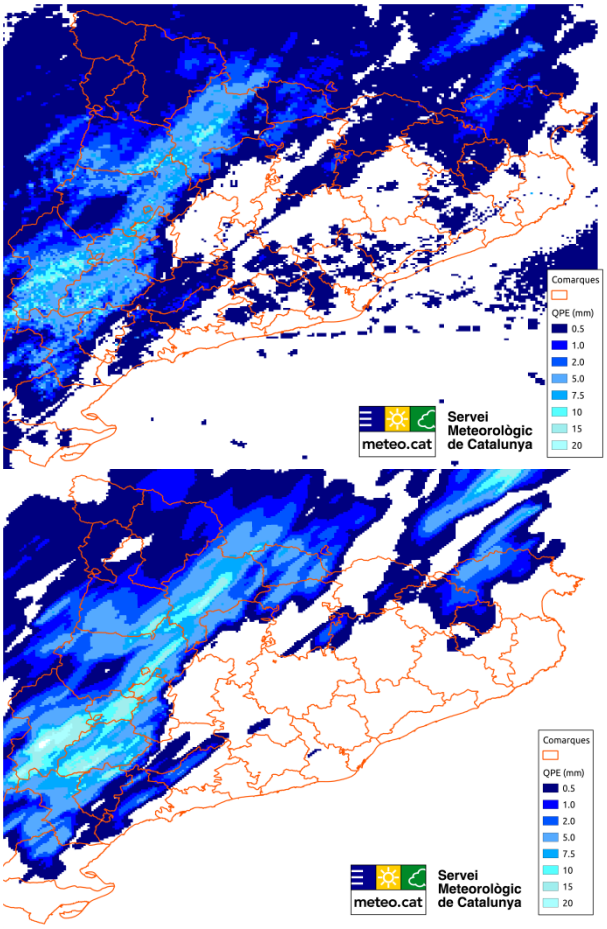

Figura 3 – Estimació de precipitació horària per a les 15 UTC del dia 4 d'octubre de 2013. A dalt, sense les correccions EHIMI. A sota, amb les correccions EHIMI.

La integració de les dades de la XEMA dins el camp de precipitació estimat per la XRAD no es fa de forma trivial, sinó que s'han intentat seguir una sèrie d'aspectes, per tal que el resultat sigui el més realista possible (Velasco-Forero et al., 2009, Sempere-Torres et al. 2012). En resum, aquests aspectes són:

- Cal disposar d'un 80% o més dels pluviòmetres amb informació completa, sense que aquest volum no arribi més tard de 2 hores
- Hi ha d'haver coherència entre el camp estimat pel radar i les observacions de la XEMA
- Hi ha d'haver prou informació de pluviòmetres per a poder participar en el producte

Al parlar de l'aplicació de les correccions a la XRAD, s'ha deixat de nomenar que hi ha un component no directament automàtic, sinó que el punt de vista de l'equip tècnic de teledetecció de l'SMC s'hi inclou subjectivament, d'acord amb dos criteris: l'error que hi ha entre l'estimació del radar amb les correccions i els valors dels pluviòmetres, i, per altra banda, l'experiència de l'equip, d'acord amb l'època de l'any, l'estat de cada radar. A la figura 5 es pot veure la variació estacional de la qualitat de les observacions radar, mesurades a partir del biaix (Trapero et al., 2009; Bordoy et al., 2010) calculat a partir de les dades de la XRAD en front de les de la XEMA, amb uns valors òptims durant l'estiu i que van decaient fins a arribar a un mínim a l'hivern. Això és degut a què el tipus de precipitació que es produeix durant l'estació més freda és més difícil de detectar per la XRAD, per diversos motius, entre els que destaquen la pròpia morfologia de la precipitació, i del desenvolupament vertical de la precipitació. En canvi, a les èpoques més càlides, amb tempestes fortes el comportament de la XRAD és força bo, ja que l'efecte que pot provocar l'atenuació donada per una tempesta sobre un radar és compensada per la visió que tenen la resta d'elements de la xarxa.

Per acabar aquest punt, ens referirem a l'últim producte que es genera de forma automàtica: el camp diari de precipitació estimada. Un cop ha acabat el dia, i després d'un temps (4 hores) que es considera òptim per a què s'hagin rebut un gran volum de dades de la XEMA (que un 80% dels registres de les estacions estiguin completes), es dispara el procés de generació del camp diari del dia anterior. El primer que s'ha de tenir en compte és que el resultat d'aquest camp no és igual a la suma dels camps horaris, per una sèrie de raons que es detallen a continuació. El procediment de generació del producte és el següent: es fa una suma del producte horari d'estimació radar sense la integració amb dades de la XEMA; tot seguit, es fa el mateix per les dades de la XEMA, disposant de dos camps diaris que s'integraran fent servir els mateixos algorismes de combinació que els horaris; aquí s'ha de tenir en compte que, sobretot a l'estiu, l'àrea afectada per precipitació durant una hora

pot ser molt petita i per tant no es consideri la contribució dels pluviòmetres per la seva poca consistència.

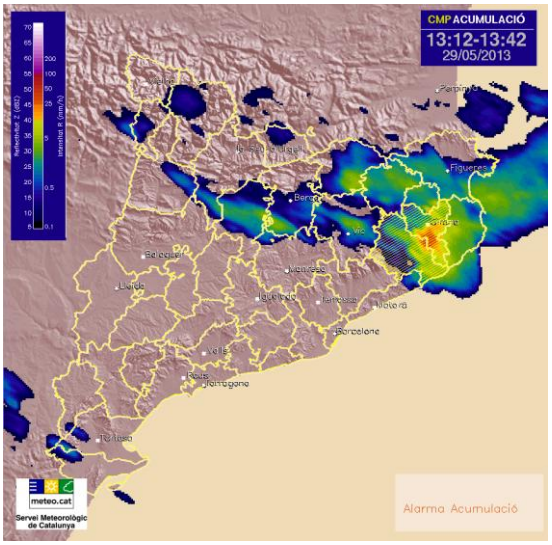

Figura 4 – Estimació de precipitació semi-horària per al dia 29 de maig de 2013 a les 13:42 UTC, amb una alerta per acumulació a les comarques de Gironès i Selva.

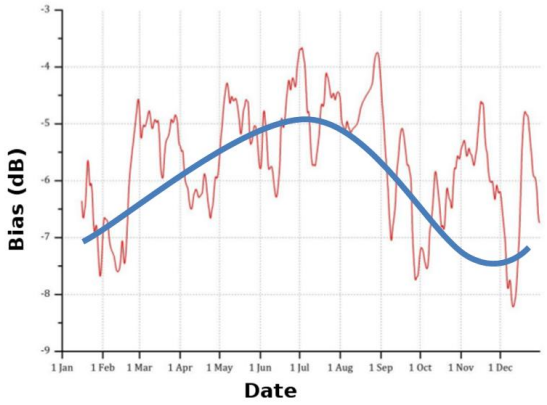

Figura 5 – Evolució diària del biaix en mitjana al llarg d'un any, considerant el període 2008-2013. En blau, corba de la tendència.

Tot i que aquest últim producte sembli el final de la cadena, es pot dir que això no és cert del tot, ja que s'ha d'incloure un darrer producte: l'acumulació diària un cop s'han considerat tots els controls de qualitat de l'equip de control de qualitat de dades. Això es deu a que quan hi ha episodis molt importants o bé una dada és dubtosa, cal fer un procediment més laboriós a l'hora de donar la validació final, i el valor que es considera com a real del pluviòmetre. Aquest procés pot acabar després d'una setmana i és per aquest motiu que es torna a generar, 7 dies després, el producte diari però amb les validacions definitives. Tot i que a la majoria de dies no s'aprecien diferències significatives a simple vista, aquestes solen ser-hi presents i, en alguns casos, poden resultar molt clares (veieu les figures 7.a i 7.b). Per tant, podem dir que aquest producte és el resultat final del procés.

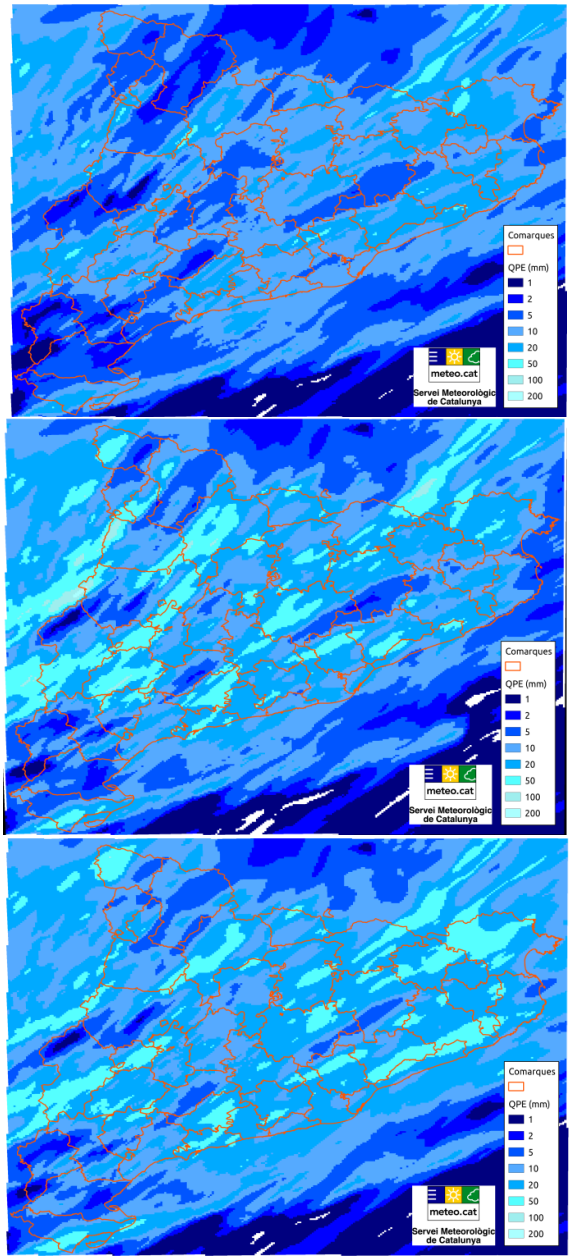

Figura 6.a, b, c – Camp de precipitació estimada sense contribució de la XEMA, per al dia 4 d'octubre de 2013 (dalt); el mateix però amb el sumatori dels camps horaris amb contribució de la XEMA (mig); el mateix però amb el camp diari integrant la XEMA (baix)

L'ÚS DE LA EQP PER A PREDICCIÓ D'INUNDACIONS

Tot i que l'EQP diària té altres utilitats (com ara, la gestió de boscos en períodes estivals per conèixer

el risc d'incendis, o conèixer l'afectació de zones durant episodis de pluja), la funció bàsica és com a eina gairebé immediata per a la predicció de pluges intenses que poden donar lloc a inundacions.

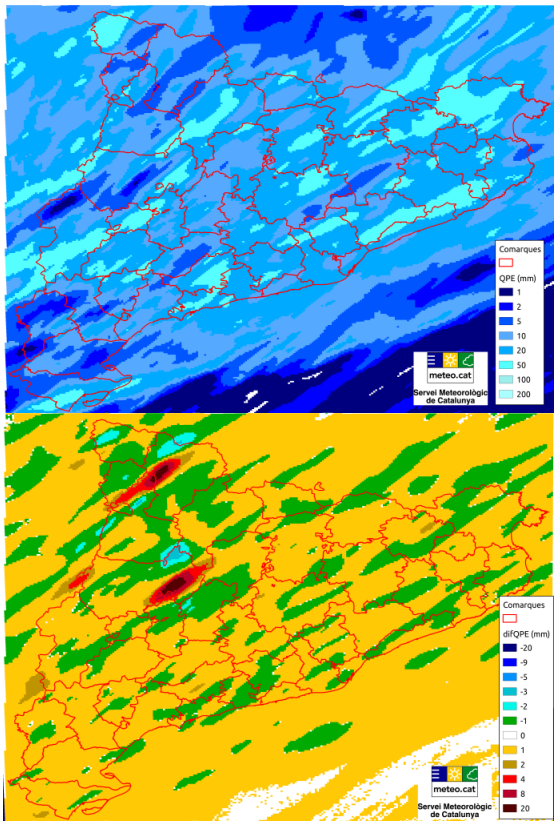

Figura 7.a,b – El mateix que a la figura 6.c, però el camp s'ha generat 7 dies després (dalt). Diferències entre els camps diaris generats set dies després i al dia actual. Els colors càlids indiquen un increment per al producte final, els freds una reducció (baix).

En aquest sentit, a l'SMC es treballa per dues vies. La primera, fent ús directe (figura 4) del producte semi-horari per identificar pluges molt intenses en un breu període de temps. La segona seria la repetició del procés mostrat a la secció anterior, de forma diària, és a dir: generació de productes dels productes d'EQP horari, diari i diari 7 dies a posteriori, per validar aquestes dades i veure si, després d'un període de test, s'ha de canviar el factor de correcció d'un o més radars, o bé de tot el conjunt. L'aplicació d'un canvi ve donada quan a l'evolució del biaix (o logaritme de la proporció de pluja estimada pels pluviòmetres i l'estimada pels radars), com es mostra a la figura 5, comença a donar signes d'un canvi en el comportament.

Per altra banda, les dades de l'EQP horària amb la integració dels valors de la XEMA inclosos té un gran valor en l'àmbit hidrològic. Per aquest motiu, aquests camps s'utilitzen per generar productes d'alertes hidrològiques, bé sigui per alertes de crescudes de rius (figura 8.a), bé sigui per a la identificació de zones inundables (figura 8.b). Aquests últims productes s'envien de manera automàtica a l'ACA per a que es puguin gestionar i prendre les decisions que es creguin adients.

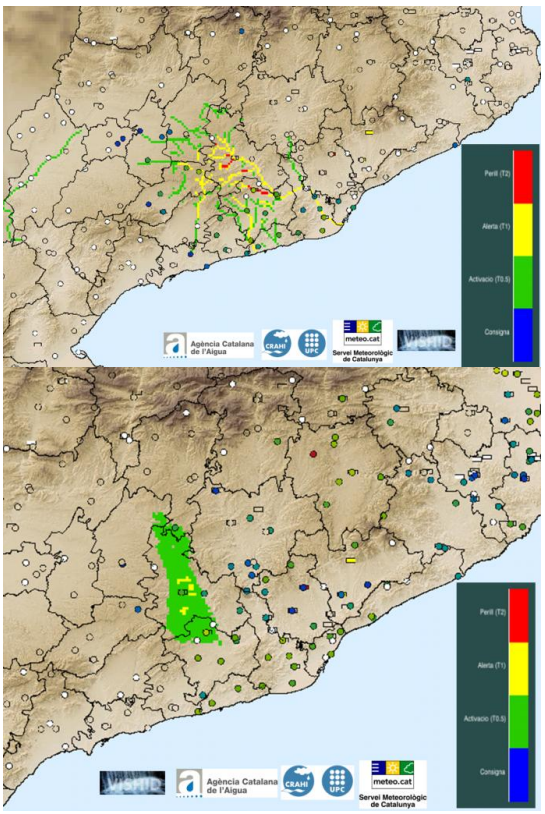

Figura 8.a,b – Exemple d'alertes de crescudes de rius per pluges intenses (dalt). Exemple d'alertes de probabilitats d'inundació per pluges intenses (baix)

COMENTARIS FINALS

Les pluges intenses que es donen en períodes curts, o bé aquelles d'intensitats moderades però que acumulen grans quantitats en períodes més llargs són uns dels fenòmens naturals que produeixen més danys arreu del Món, i en concret a Catalunya. Per aquest motiu, és necessari disposar d'eines per poder fer un seguiment dels sistemes de precipitació que les poden produir, així com estimar de forma acurada la precipitació que cau al territori.

L'ús combinat de les dades de la XRAD amb les de la XEMA permet disposar d'un camp estimat de precipitació realista per a tot el territori català.

A l'SMC es generen camps amb diferents resolucions temporals, amb usos diversos, però centrats a ser una eina que faciliti la tasca de

generació d'avisos tant a nivell meteorològic (avisos d'observació, figura 9) com hidrològic.

Per a arribar a l'estat actual de l'eina, s'ha hagut de seguir un procés que va començar a l'any 2001 i que ha implicat una racionalització i optimització dels recursos. A més, s'ha treballat des de diferents àmbits ACA, SMC i CRAHI, per assolir una eina que sigui d'utilitat per a la societat catalana.

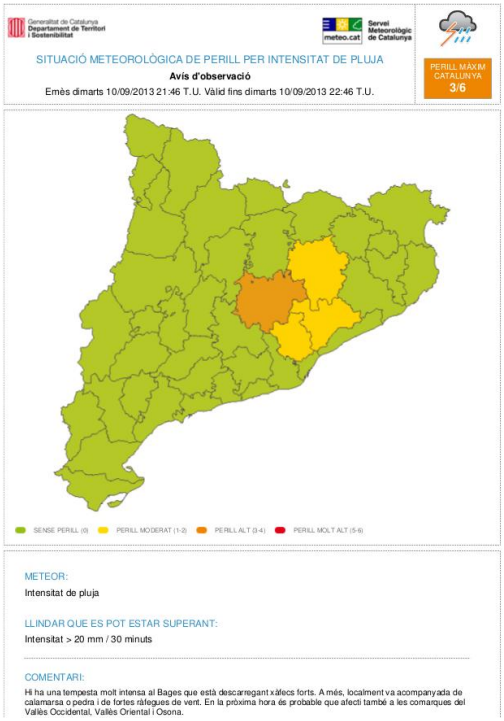

Figura 9 – Exemple d'avís d'observació emès pel SMC a partir de la informació proporcionada pel producte QPE.

AGRAÏMENTS

Estem molt agraïts als companys del SMC que han contribuït amb les seves aportacions, tant a l'hora del desenvolupament de l'eina, com en l'escriptura del present document.

BIBLIOGRAFIA

BEBBINGTON, D., RAE, S., BECH, J., CODINA, B., PICANYOL, M., 2007. Modelling of weather radar echoes from anomalous propagation using a hybrid parabolic equation method and NWP model data. Natural Hazards and Earth System Sciences, 7, pp. 391–398.

BECH, J., GJERTSEN, U., HAASE, G., 2007. Modelling weather radar beam propagation and topographical blockage at northern high latitudes. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 133, pp. 1191–1204.

BORDOY, R., BECH, J., RIGO, T., PINEDA, N., 2010. Analysis of a method for radar rainfall estimation considering the freezing level height. Tethys, 7, 25–39.

CORRAL, C., VELASCO, D., FORCADELL, D., and SEMPERE-TORRES, D., 2009. Advances in radar-based flood warning systems. The EHIMI system and the experience in the Besòs flash-flood pilot basin. Flood Risk Management: Research and Practice, Taylor and Francis, P. Samuels, Ed., 1295-1303.

GEKAT, F., MEISCHNER, P., FRIEDRICH, K., HAGEN, M., KOISTINEN, J., MICHELSON, D. B., HUUSKONEN, A., 2004. The state of weather radar operations, networks and products. In: Weather radar. Principles and advanced applications, P. Meischner, (Ed.), 1–51, Springer-Verlag.

LLASAT, M. C., BARRIENDOS, M., BARRERA, A., RIGO, T., 2005. Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. Journal of Hydrology, 313, 32-47.

MICHELSON, D. B., ANDERSSON, T., KOISTINEN, J., COLLIER, C. G., RIEDL, J., SZTURC, J., GJERSTEN, U., NIELSEN, A., OVERGAARD, S., 2000. BALTEX Radar Data Centre products and their methodologies, SMHI Reports Meteorology and Climatology.

SMC, 2011. Les Estacions Meteorològiques Automàtiques (EMA). Publicacions breus del Servei Meteorològic de Catalunya, Generalitat de Catalunya, 40 pp.

SMC, 2013. Xarxa de Radars del Servei Meteorològic de Catalunya. Publicacions breus del Servei Meteorològic de Catalunya, Generalitat de Catalunya, 24 pp.

SEMPERE-TORRES, D., BERENGUER, M., VELASCO-FORERO, C. A., 2012: Blending of radar and gauge rainfall measurements. A preliminary analysis of the impact of measurement errors, IAHS Red Book, 351, 219-224.

TRAPERO, L., J. BECH, T. RIGO, N. PINEDA, D. FORCADELL, 2009. Uncertainty of precipitation estimates in convective events by the Meteorological Service of Catalonia radar network. Atmospheric Research, 93, 1–3, 408-418.

VELASCO-FORERO, C. A., SEMPERE-TORRES, D., CASSIRAGA, E. F., GOMEZ-HERNANDEZ, J. J., 2009. A non-parametric automatic blending methodology to estimate rainfall fields from rain gauge and radar data, Adv. Water Resour., 32, 986–1002.