Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

Millores i evolució del programari EHIMI per l'any 2025

Informe final

Barcelona, desembre de 2025
Informe CRAHI-INF-2025-02-01

ÍNDEX

1. Objecte del projecte 3

2. Càlcul dels factors de calibració dels radars de l'XRAD 3

2.1. Radar de CDV 5

2.2. Radar de LMI 6

2.3. Radar de PBE 8

2.4. Radar de PDA 9

2.5. Resum de la calibració dels 4 radars analitzats i resultats obtinguts amb el producte composat 11

3. Estudi de l'orientació (azimut i elevació) dels radars de la XRAD 11

4. Anàlisi dels sectors amb bloquejos per factors externs 14

5. Adaptació del programari per a la ingestió de dades en format Rainbow 16

6. Millora dels productes combinats radar-pluviòmetres 17

6.1. Modificacions sobre el producte d'acumulació diària per combinació radar-pluviòmetres 17

6.1.1. Comparació de mètodes per obtenir el producte combinat d'acumulació diària amb mapes 18

6.1.2. Anàlisi de la qualitat del producte combinat d'acumulació diària per validació creuada 19

6.1.3. Implementació operacional del producte CMP24KG alternatiu 21

6.2. Proposta d'un mètode de combinació radar-pluviòmetres que incorpori informació de l'altitud 21

6.2.1. Obtenció d'un MDT adequat a l'esquema conceptual d'interpolació 22

6.2.2. Anàlisi preliminar de la influència de l'altitud en la precipitació 23

6.2.3. Mètode d'interpolació proposat 24

6.2.4. Exemples d'aplicació 25

6.2.5. Anàlisi pel mètode de validació creuada per avaluar el mètode de combinació que incorpora l'altitud (COMBIGRH) 30

7. Índex de qualitat dels productes de precipitació acumulada 32

7.1. Metodologia per obtenir l'índex de qualitat 33

7.2. Índex de qualitat de la imatge composada 35

7.3. Exemples de mapes d'índex de qualitat resultants 36

8. Noves funcionalitats de l'eina web per visualitzar els productes radar 39

8.1. Inclusió de noves capes i canvis al visor 40

8.2. Còmput personalitzat d'acumulació en un interval al mòdul "Productes xarxa (CMP)" 40

8.3. Llistat d'alertes més recents 40

9. Conclusions 42

9.1. Actualització de paràmetres de la XRAD a l'EHIMI 42
9.2. Adaptació del programari per a la ingestió de dades en format Rainbow..... 42
9.3. Índex de qualitat dels productes de precipitació acumulada 42
9.4. Millora dels productes combinats radar-pluviòmetres 43
9.5. Noves funcionalitats de l'eina web de visualització dels productes de radar 44

Desenvolupament de millores i manteniment de la plataforma EHIMI a l'SMC

1. Objecte del projecte

L'objectiu del projecte consisteix en portar a terme les tasques descrites al Plec de Prescripcions Tècniques per al Desenvolupament De Millores i Evolució del Programari Eina de Previsió Hidrometeorològica Integrada (EHIMI), operatiu a la Xarxa de Radars Meteorològics (XRAD) del Servei Meteorològic de Catalunya per l'any 2025.

Les tasques principals del projecte han sigut les següents:

- T1: Actualització de paràmetres de l'XRAD a l'EHIMI
  - Càlcul de factors de calibració pels diferents radars
  - Estudi de l'orientació dels radars
  - Anàlisi dels sectors amb bloquejos per factors externs
- T2: Adaptació del programari per a la ingestió de dades en format Rainbow
- T3: Índex de qualitat dels productes de precipitació acumulada
- T4: Refinament dels productes combinats radar-pluviòmetres
- T5: Noves funcionalitats de l'eina web per visualitzar els productes de radar

2. Càlcul dels factors de calibració dels radars de l'XRAD

L'estudi de la calibració dels radars s'ha portat a terme sobre tots els episodis de pluja significatius enregistrats entre gener i desembre de 2025. S'han estimat els factors de calibració dels radars de CDV, LMI, PBE, i PDA en base a la comparació de les estimacions de precipitació radar co-localitzades amb les observacions pluviomètriques de la XEMA seguint la metodologia habitual (descrita a l'informe de 2020).
L'anàlisi de la calibració s'ha fet sobre la llista d'episodis de la Taula 1. S'han estimat els valors de FC (factor multiplicatiu relacionat amb la pendent de la recta de regressió entre les acumulacions de radar i de pluviòmetres) i C (biaix dels valors de reflectivitat assumint una relació Z-R de Marshall-Palmer). Aquests valors s'han obtingut a partir de (1) les acumulacions totals d'episodi, i (2) les intensitats horàries de pluja corresponents a valors d'intensitats inferiors a 10 mm/h.

Els resultats obtinguts en els 26 episodis analitzats es mostren a l'Annex 1.

Taula 1. Episodis emprats per l'anàlisi del factor de calibració. Pmax és la pluja màxima acumulada al llarg de l'episodi en algun dels pluviòmetres de la XEMA.

Episodi	Nombre de dies	P_{max} [mm] / estació
20250207 – 20250208	2	64.6 / XS
20250212 – 20250212	1	34.5 / UG
20250222 – 20250222	1	27.5 / U3
20250306 – 20250309	4	131.5 / DN
20250311 – 20250314	4	61.8 / Y6
20250318 – 20250325	8	154.7 / DN
20250402 – 20250402	1	34.5 / YK
20250412 – 20250416	5	57.6 / X6
20250419 – 20250419	1	35.7 / VO
20250426 – 20250427	2	30.7 / YU
20250504 – 20250506	3	84.2 / D2
20250508 – 20250514	7	85.5 / YP
20250519 – 20250519	1	30.2 / WR
20250630 – 20250707	8	171.1 / DN
20250712 – 20250712	1	102.0 / WP
20250723 – 20250724	2	84.2 / CL
20250818 – 20250820	3	44.7 / VO
20250827 – 20250829	3	43.4 / W9
20250831 – 20250901	2	75.0 / KP
20250908 – 20250909	2	95.4 / YU
20250912 – 20250913	2	97.4 / XC
20250921 – 20250921	1	116.6 / VU
20250928 – 20250929	2	305.9 / UU
20251011 – 20251016	6	298.4 / C9
20251106 – 20251106	1	81.9 / X9
20251214 – 20251217	4	232.5 / X1

2.1. Radar de CDV

Els resultats obtinguts pel radar de Creu del Vent es presenten a la Taula 2. S'hi pot observar que en la majoria dels episodis la comparació entre les observacions dels pluviòmetres amb les estimacions del radar mostren que el radar subestima els valors observats, amb factors multiplicatius que es troben entre FC=1.3 i C = 3 dB(Z), tant quan s'han estimat a partir dels totals d'episodi com quan s'ha estimat a partir de les intensitats inferiors a 10 mm/h.

Taula 2. Episodis emprats per l'anàlisi del factor de calibració. P_{max} és la pluja màxima registrada en algun dels pluviòmetres de la XEMA fins a 60 km del radar (40 km en el cas dels episodis d'hivern).

		Acumulació d'episodi		Intensitats < 10 mm/h	
Episodi	P_{max} [mm]	FC [-]	C [dBZ]	FC [-]	C [dBZ]
20250207 – 20250208	46.0 / WP	2.11	5.19	2.36	5.97
20250212 – 20250212	17.0 / UH	3.78	9.24	3.00	7.63
20250222 – 20250222	27.5 / U3	2.54	6.48	2.45	6.23
20250306 – 20250309	80.7 / D3	3.99	9.62	3.26	8.21
20250311 – 20250314	56.2 / XD	1.63	3.40	1.78	4.01
20250318 – 20250325	67.4 / XT	2.06	5.02	2.24	5.60
20250402 – 20250402	34.5 / YK	2.17	5.38	2.09	5.12
20250412 – 20250416	57.6 / X6	1.47	2.68	1.62	3.35
20250419 – 20250419	35.7 / VO	1.36	2.14	1.18	1.15
20250426 – 20250427	28.2 / VU	1.82	4.16	2.00	4.82
20250504 – 20250506	84.2 / D2	1.42	2.44	1.42	2.44
20250508 – 20250514	64.7 / XV	1.51	2.86	1.52	2.91
20250519 – 20250519	23.5 / XR	1.22	1.38	1.18	1.15
20250630 – 20250707	75.9 / WW	1.28	1.72	1.11	0.73
20250712 – 20250712	102.0 / WP	3.30	8.30	2.21	5.51
20250723 – 20250724	84.2 / CL	2.31	5.82	1.66	3.52
20250818 – 20250820	44.7 / VO	1.85	4.27	1.48	2.72
20250827 – 20250829	24.9 / MW	1.16	1.03	1.17	1.09
20250831 – 20250901	28.1 / W5	1.53	2.96	1.31	1.88
20250908 – 20250909	83.8 / U4	3.34	8.38	2.92	7.45
20250912 – 20250913	97.4 / XC	2.93	7.47	2.03	4.92
20250921 – 20250921	116.6 / VU	2.76	7.05	1.88	4.39
20250928 – 20250929	31.3 / C6	1.64	3.44	2.20	5.48
20251011 – 20251016	52.3 / D9	1.89	4.42	1.93	4.57
20251106 – 20251106	41.0 / XF	2.93	7.47	2.78	7.10
20251214 – 20251217	51.6 / C6	2.00	4.82	2.05	4.99

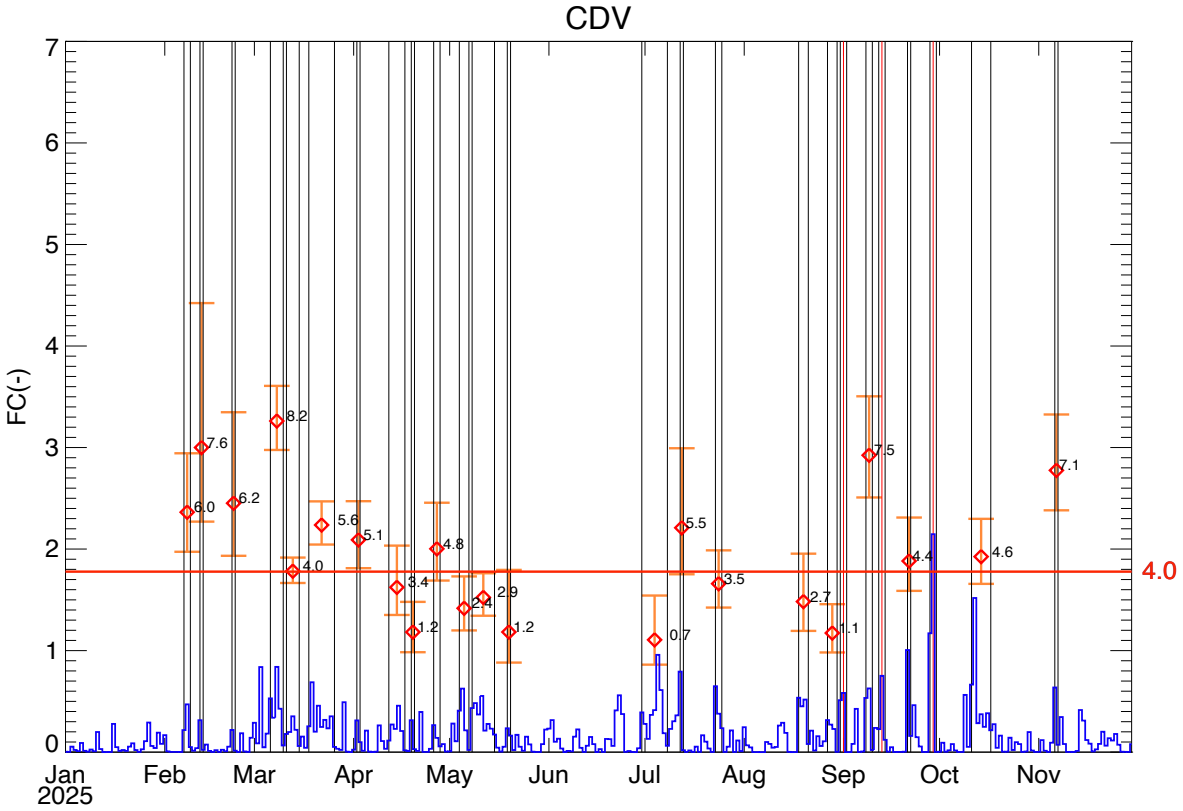


Figura 1. Comparació Radar-Pluviòmetres: gràfic temporal dels factors de calibració obtinguts en els episodis analitzats pel radar de CDV. L'eix y representa el factor en termes de pluja, però el valor que acompanya al punt és el valor en dBZ. Les línies taronges indiquen l'interval de confiança de FC. La línia vermella representa l'estimació proposada per un FC operatiu; i la línia lila es correspon al valor d'FC operatiu als radars durant l'any 2025. Com a referència per veure la importància dels episodis, s'inclou una sèrie temporal on per cada dia es representa l'acumulació màxima diària en algun dels pluviòmetres de la XEMA.

2.2. Radar de LMI

Els resultats del factor de calibració obtinguts pel radar de La Miranda pel període analitzat es presenten a la Taula 3.

Taula 3. Episodis emprats per l'anàlisi del factor de calibració. P_{max} és la pluja màxima registrada en algun dels pluviòmetres de la XEMA fins a 60 km del radar (40 km en el cas dels episodis d'hivern).

		Acumulació d'episodi		Intensitats < 10 mm/h	
Episodi	P_{max} [mm]	FC [-]	C [dBZ]	FC [-]	C [dBZ]
20250212 – 20250212	10.6 / YL	3.84	9.35	2.88	7.35
20250306 – 20250309	86.0 / D8	7.55	14.05	6.91	13.43
20250311 – 20250314	61.8 / Y6	2.87	7.33	3.04	7.73
20250318 – 20250325	60.8 / YD	2.80	7.15	3.38	8.46
20250402 – 20250402	17.2 / UA	2.25	5.63	1.96	4.68
20250412 – 20250416	55.6 / XY	2.16	5.35	2.18	5.42
20250419 – 20250419	23.1 / WL	1.96	4.68	1.79	4.05

20250426 – 20250427	11.6 / D9	3.42	8.54	3.18	8.04
20250504 – 20250506	24.3 VY	2.44	6.20	2.30	5.79
20250508 – 20250514	60.4 / U6	3.03	7.70	2.51	6.39
20250519 – 20250519	30.2 / WR	1.90	4.46	1.94	4.60
20250630 – 20250707	19.7 / W8	2.81	7.18	1.37	2.19
20250712 – 20250712	82.3 / XP	4.17	9.92	3.01	7.66
20250723 – 20250724	46.2 / YD	2.38	6.03	1.87	4.35
20250818 – 20250820	19.7 / YX	1.70	3.69	1.97	4.71
20250827 – 20250829	17.0 / WL	1.95	4.64	1.74	3.85
20250831 – 20250901	19.6 / D7	1.73	3.81	1.24	1.49
20250908 – 20250909	68.7 / C9	6.27	12.76	3.97	9.58
20250921 – 20250921	36.0 / UU	4.01	9.65	3.34	8.38
20250928 – 20250929	305.9 / UU	4.08	9.77	3.02	7.68
20251011 – 20251016	298.4 / C9	5.61	11.98	4.48	10.42
20251106 – 20251106	61.4 / VB	8.81	15.12	6.72	13.24
20251214 – 20251217	232.5 / X1	5.33	11.63	5.05	11.25

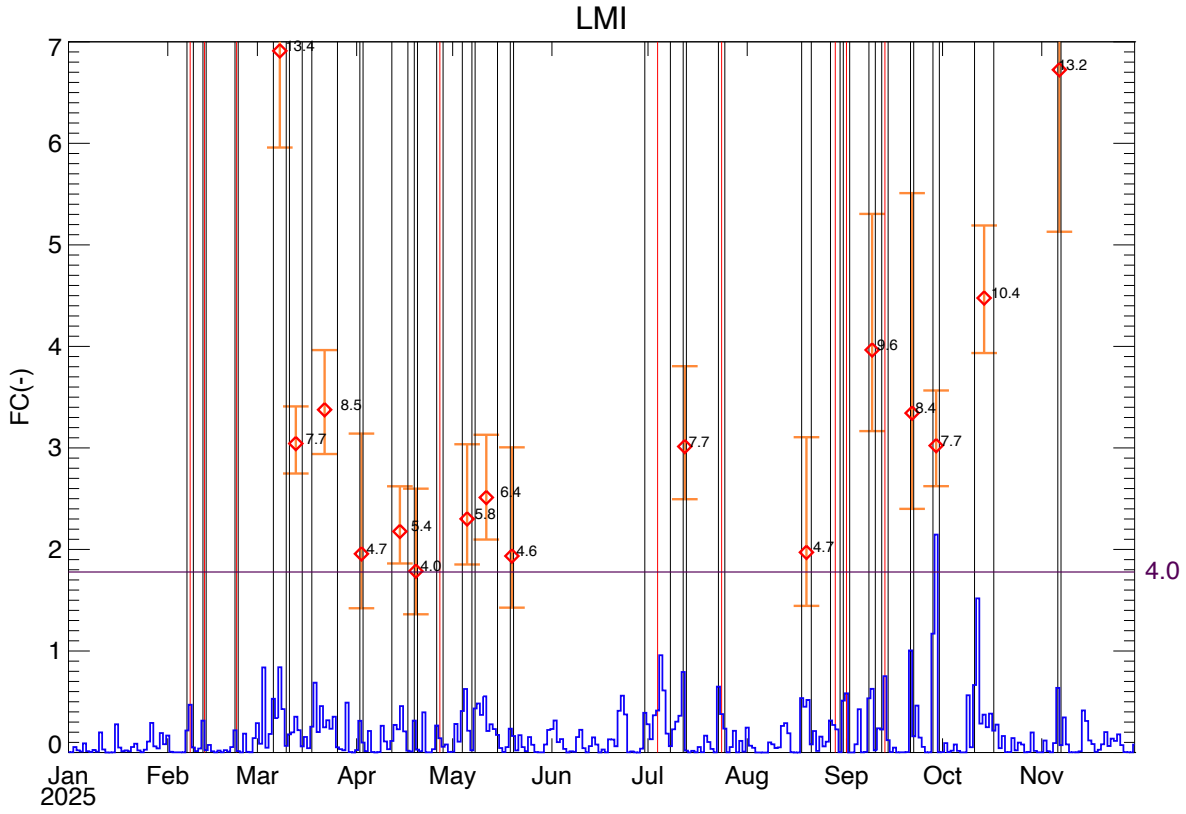


Figura 2. Comparació Radar-Pluviòmetres: gràfic temporal dels factors de calibració obtinguts en els episodis analitzats pel radar de LMI. L'eix y representa el factor en termes de pluja, però el valor que acompanya al punt és el valor en dBZ. Les línies taronges indiquen l'interval de confiança de FC. La línia

vermella representa l'estimació proposada per un FC operatiu; i la línia lila es correspon al valor d'FC operatiu als radars durant l'any 2025. Com a referència per veure la importància dels episodis, s'inclou una sèrie temporal on per cada dia es representa l'acumulació màxima diària en algun dels pluviòmetres de la XEMA.

2.3. Radar de PBE

Els factors de calibració obtinguts pel radar de Puig Bernat per tots els episodis analitzats es presenten a la Taula 4.

Taula 4. Episodis emprats per l'anàlisi del factor de calibració. P_{max} és la pluja màxima registrada en algun dels pluviòmetres de la XEMA fins a 60 km del radar (40 km en el cas dels episodis d'hivern).

		Acumulació d'episodi		Intensitats < 10 mm/h	
Episodi	P_{max} [mm]	FC [-]	C [dBZ]	FC [-]	C [dBZ]
20250207 – 20250208	46.0 / WP	3.19	8.06	3.25	8.19
20250212 – 20250212	34.5 / UG	2.91	7.42	2.87	7.33
20250222 – 20250222	18.4 / D2	2.92	7.45	2.98	7.59
20250306 – 20250309	80.7 / D3	4.48	10.42	3.50	8.71
20250311 – 20250314	38.3 / UJ	1.87	4.35	1.82	4.16
20250318 – 20250325	58.7 / VP	2.44	6.20	2.63	6.72
20250402 – 20250402	34.5 / YK	3.20	8.08	3.18	8.04
20250412 – 20250416	9.8 / VP	1.46	2.63	1.41	2.39
20250419 – 20250419	10.0 / WW	1.99	4.78	1.89	4.42
20250426 – 20250427	28.2 / VU	2.40	6.08	2.16	5.35
20250504 – 20250506	84.2 / D2	2.19	5.45	2.18	5.42
20250508 – 20250514	44.5 / UP	2.04	4.95	1.96	4.68
20250519 – 20250519	11.3 / UJ	2.12	5.22	1.67	3.56
20250630 – 20250707	75.9 / WW	2.04	4.95	1.45	2.58
20250712 – 20250712	102.0 / WP	3.22	8.13	2.86	7.30
20250723 – 20250724	81.3 / VV	2.74	7.00	2.29	5.76
20250818 – 20250820	11.1 / UG	1.31	1.88	1.45	2.58
20250827 – 20250829	34.9 / UG	1.67	3.56	1.53	2.96
20250831 – 20250901	29.3 / UP	2.48	6.31	2.29	5.76
20250908 – 20250909	59.1 / DK	3.50	8.71	3.11	7.88
20250912 – 20250913	97.4 / XC	2.57	6.56	1.86	4.31
20250921 – 20250921	116.6 / VU	2.97	7.56	2.56	6.53
20251011 – 20251016	52.3 / D9	2.11	5.19	2.14	5.29
20251106 – 20251106	81.9 / X9	4.75	10.83	2.55	6.50
20251214 – 20251217	66.6 / VV	2.06	5.02	2.17	5.38

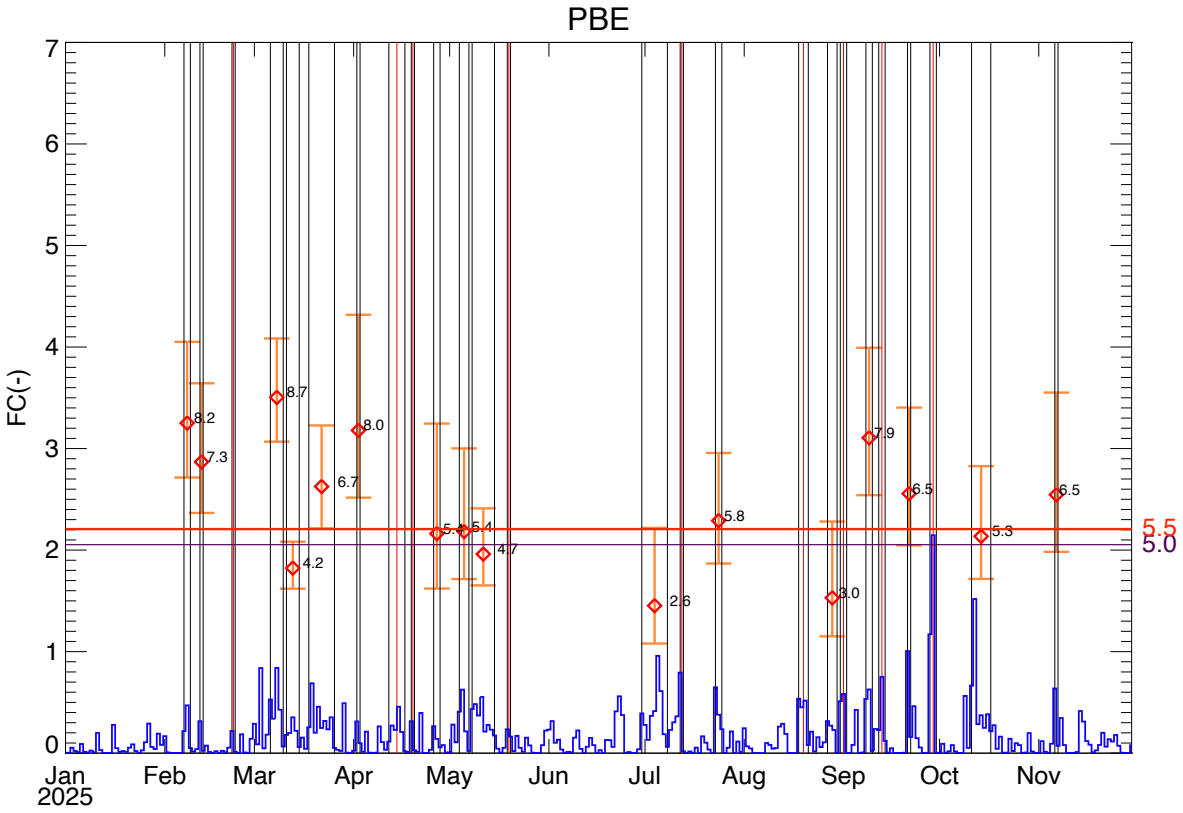


Figura 3. Comparació Radar-Pluviòmetres: gràfic temporal dels factors de calibració obtinguts en els episodis analitzats pel radar de pbe. L'eix y representa el factor en termes de pluja, però el valor que acompanya al punt és el valor en dBZ. Les línies taronges indiquen l'interval de confiança de FC. La línia vermella representa l'estimació proposada per un FC operatiu; i la línia lila es correspon al valor d'FC operatiu als radars durant l'any 2025. Com a referència per veure la importància dels episodis, s'inclou una sèrie temporal on per cada dia es representa l'acumulació màxima diària en algun dels pluviòmetres de la XEMA.

2.4. Radar de PDA

Els resultats del factor de calibració obtinguts pel radar de Puig d'Arques pel període analitzat es presenten a la Taula 5.

Taula 5. Episodis emprats per l'anàlisi del factor de calibració. P_{max} és la pluja màxima registrada en algun dels pluviòmetres de la XEMA fins a 60 km del radar (40 km en el cas dels episodis d'hivern).

		Acumulació d'episodi		Intensitats < 10 mm/h	
Episodi	P_{max} [mm]	FC [-]	C [dBZ]	FC [-]	C [dBZ]
20250207 – 20250208	64.6 / XS	2.38	6.03	2.35	5.94
20250212 – 20250212	13.5 / XS	2.80	7.15	2.74	7.00
20250222 – 20250222	17.7 / DJ	2.78	7.10	3.01	7.66
20250306 – 20250309	131.5 / DN	5.00	11.18	4.28	10.10
20250311 – 20250314	32.8 / XS	1.18	1.15	1.36	2.14
20250318 – 20250325	154.7 / DN	3.84	9.35	3.07	6.72
20250412 – 20250416	26.8 / WT	1.44	2.53	1.45	2.58

20250419 – 20250419	7.3 / W9	2.40	6.08	2.11	5.19
20250426 – 20250427	30.7 / YU	3.23	8.15	2.84	7.25
20250504 – 20250506	79.1 / XJ	1.98	4.75	1.96	4.68
20250508 – 20250514	85.5 / YP	2.79	7.13	2.72	6.95
20250630 – 20250707	171.1 / DN	2.25	5.63	2.23	5.57
20250712 – 20250712	46.3 / J5	1.93	4.57	1.50	2.82
20250723 – 20250724	58.5 / YB	2.58	6.59	2.72	6.95
20250818 – 20250820	36.5 / W9	1.53	2.96	1.58	3.18
20250827 – 20250829	43.4 / W9	2.03	4.92	1.87	4.35
20250831 – 20250901	75.0 / KP	5.68	12.07	3.64	8.98
20250908 – 20250909	95.4 / YU	2.91	7.42	3.38	8.46
20250912 – 20250913	51.3 / UO	3.86	9.39	3.28	8.25
20250921 – 20250921	33.9 / UQ	2.77	7.08	2.86	7.30
20251011 – 20251016	48.3 / DO	4.70	10.75	2.75	7.03
20251106 – 20251106	47.1 / DN	4.09	9.79	3.29	8.28
20251214 – 20251217	32.9 / XJ	4.09	9.79	3.57	8.84

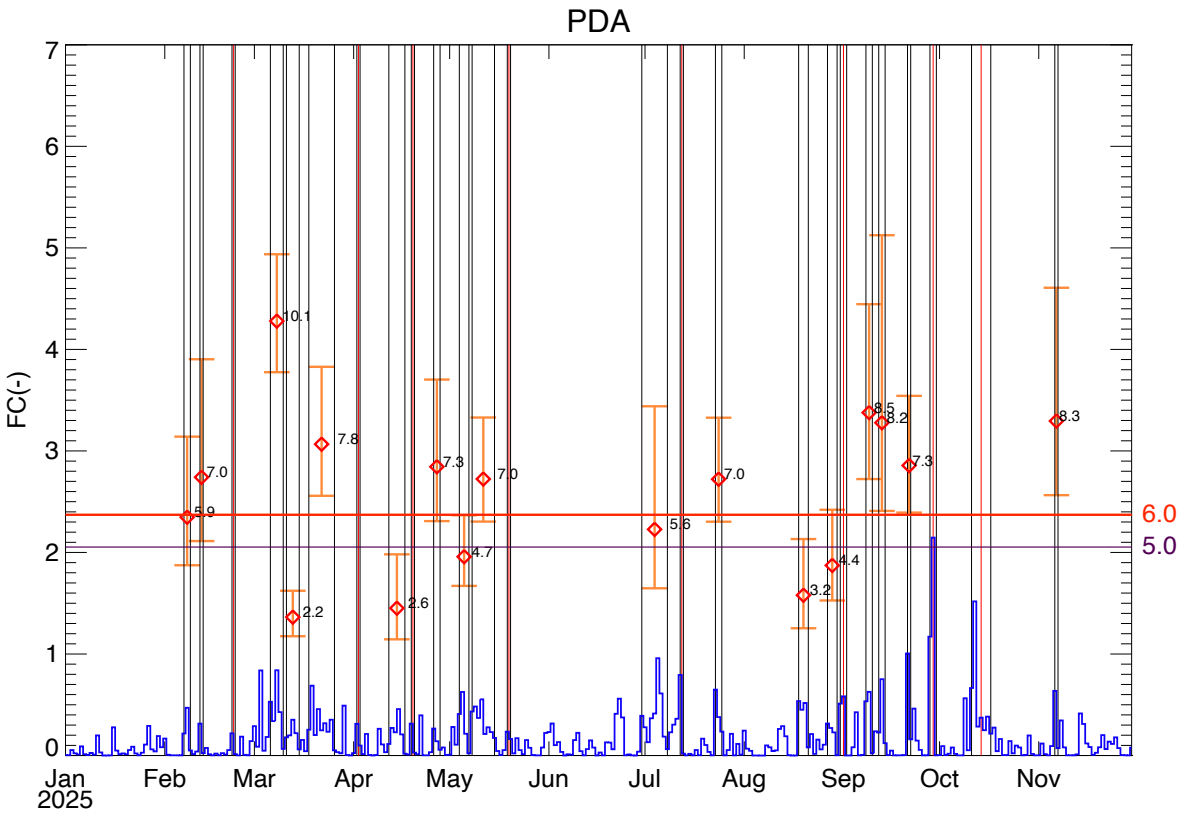


Figura 4. Comparació Radar-Pluviòmetres: gràfic temporal dels factors de calibració obtinguts en els episodis analitzats pel radar de PDA. L'eix y representa el factor en termes de pluja, però el valor que acompanya al punt és el valor en dBZ. Les línies taronges indiquen l'interval de confiança de FC. La línia

vermella representa l'estimació proposada per un FC operatiu; i la línia lila es correspon al valor d'FC operatiu als radars durant l'any 2025. Com a referència per veure la importància dels episodis, s'inclou una sèrie temporal on per cada dia es representa l'acumulació màxima diària en algun dels pluviòmetres de la XEMA.

2.5. Resum de la calibració dels 4 radars analitzats i resultats obtinguts amb el producte composat

El número d'episodis de pluja de l'any 2025 ha augmentat molt respecte anys anteriors. S'han analitzat 26 episodis en comparació amb els 15 (2024), 14 (2023), 11 (2022) i 17 (2021) d'anys anteriors.

A partir dels resultats obtinguts, es proposa modificar els factors de calibració actualment aplicats pels radars de CDV, PBE i PDA que es presenten a la Taula 6. Els resultats obtinguts per LMI mostren la necessitat d'un manteniment exhaustiu del radar, ja que les estimacions de precipitació han subestimat els registres pluviomètrics molt més que la resta de radars. Durant una de les reunions, l'equip de l'SMC va informar de que s'havien executat aquest tipus d'operacions durant el mes de novembre, de manera que per proposar actualitzar el factor de calibració caldrà esperar a nous episodis de precipitació.

Taula 6. Factors de calibració (en dB(Z)) actuals i proposats pels 4 radars de la XRAD.

	CDV	LMI	PBE	PDA
Aplicats actualment	4.0 dB	4.0 dB	5.0 dB	5.0 dB
Proposats	4.0 dB	-	5.5 dB	6.0 dB

3. Estudi de l'orientació (azimut i elevació) dels radars de la XRAD

El control de l'orientació dels radars es fa comparant (1) els ecos mitjans obtinguts a partir de les dades en dies sense precipitació amb (2) els ecos de terra procedents de l'aplicació de l'algorisme que simula la intercepció del feix radar amb el terreny, aquest representat amb un Model Digital d'Elevacions (MDE). En primer lloc, s'executen les simulacions topogràfiques associades a diferents errors d'azimut (al voltant del 0) i elevació (al voltant de l'elevació nominal del primer PPI). Cadascuna d'aquestes matrius (en dBZ) es compara amb la matriu d'ecos mitjans procedent de les dades observades, i es calcula el coeficient de correlació de Pearson (només pels valors de les matrius que superen 10 dBZ). Els errors en azimut i elevació estimats són aquells que maximitzen la correlació entre el mapa de reflectivitat simulat amb aquests errors i el mapa de reflectivitat observat.

Ara bé, tant el mètode de simulació (definició dels paràmetres del feix, errors en la topografia) com l'estimació dels errors maximitzant la correlació tenen un cert grau d'incertesa. Per això, els resultats s'acompanyen d'una forquilla d'error donada per una tolerància de 0.02 en el paràmetre de correlació respecte el màxim. És a dir, la forquilla d'error inclou els punts (azimut; elevació) que proporcionen les majors correlacions, no menors a 0.02 respecte el màxim aconseguit.

Per a aquesta anàlisi, s'han identificat els dies sense precipitació del període entre gener i mitjans de desembre de 2025, intentant no incloure els dies amb propagació anòmala clara. Per cadascun dels radars, s'ha fet l'anàlisi diària pels dies identificats com de no pluja (els resultats es presenten a l'Annex 2).

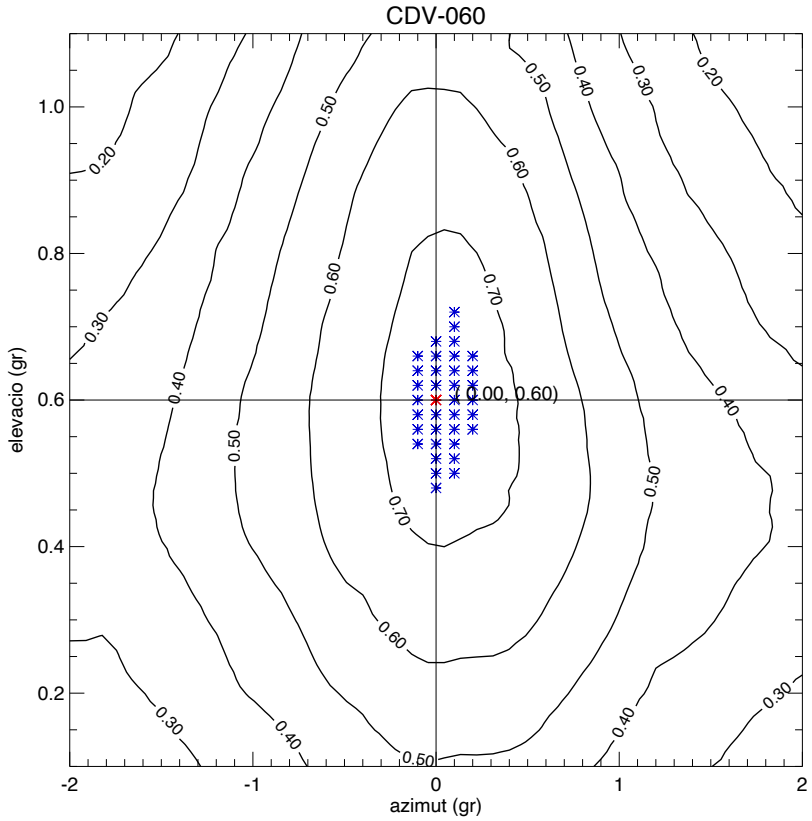


Figura 5. Mapa de correlació entre les matrius d'ecos de terreny observades i simulades pel radar de CDV per una elevació de 0.60º (per tot el període). El punt vermell correspon al punt de màxima correlació, mentre que els punts blaus corresponen als punts on la correlació es troba dins d'una tolerància de 0.02.

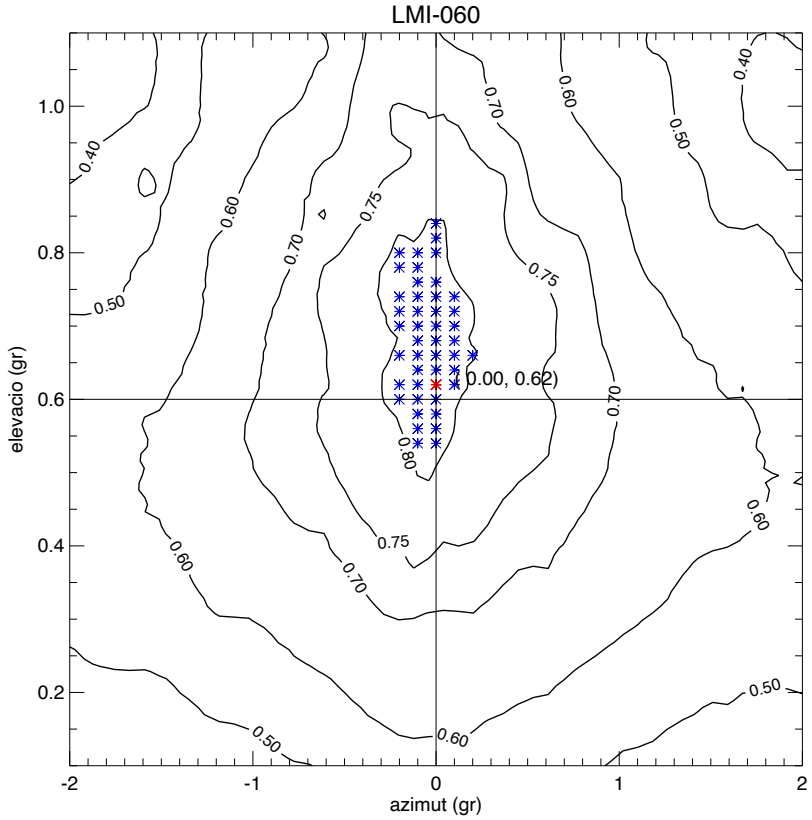


Figura 6. Mapa de correlació entre les matrius d'ecos de terreny observades i simulades pel radar de LMI per una elevació de 0.62º (per tot el període). El punt vermell correspon al punt de màxima correlació, mentre que els punts blaus corresponen als punts on la correlació es troba dins d'una tolerància de 0.02.

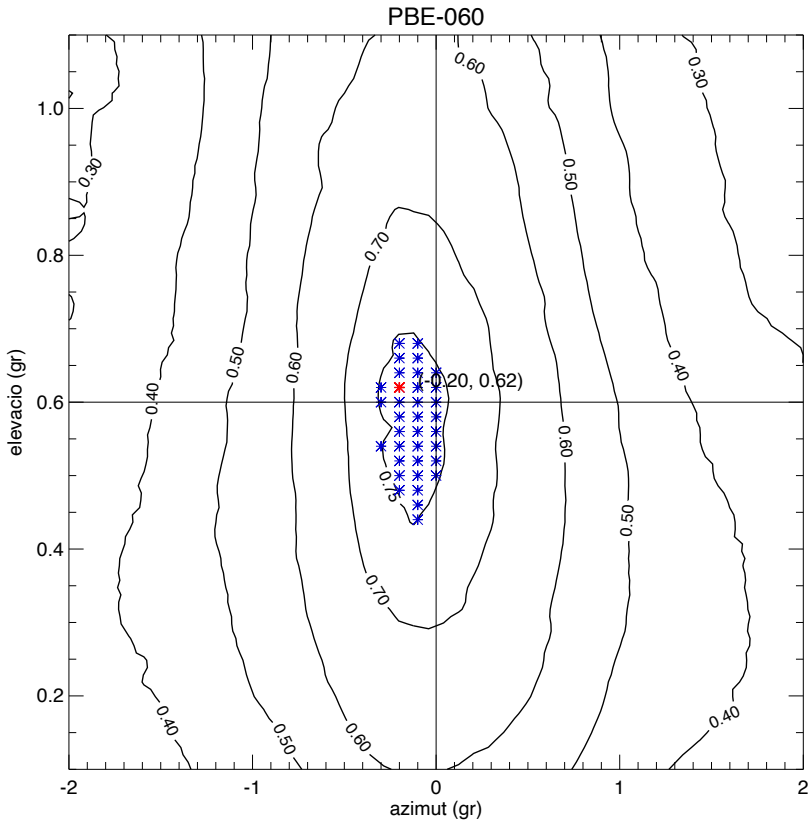


Figura 7. Mapa de correlació entre les matrius d'ecos de terreny observades i simulades pel radar de PBE per una elevació de 0.62º (per tot el període). El punt vermell correspon al punt de màxima correlació, mentre que els punts blaus corresponen als punts on la correlació es troba dins d'una tolerància de 0.02.

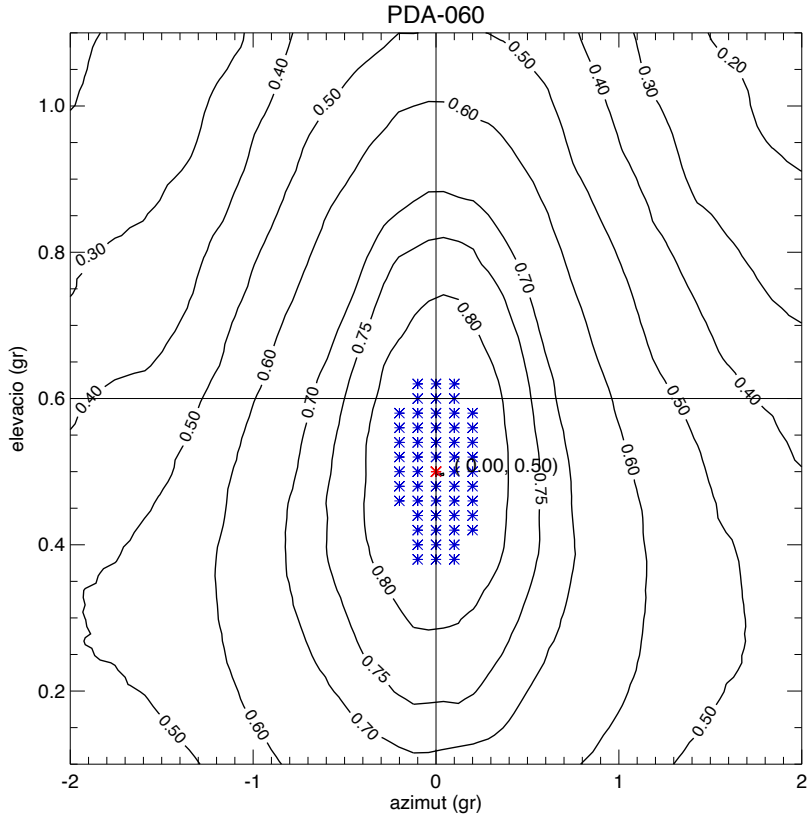


Figura 8. Mapa de correlació entre les matrius d'ecos de terreny observades i simulades pel radar de PDA per una elevació de 0.60º (per tot el període). El punt vermell correspon al punt de màxima correlació, mentre que els punts blaus corresponen als punts on la correlació es troba dins d'una tolerància de 0.02.

D'aquesta manera, els resultats obtinguts durant el període analitzat (també resumits a la Taula 7) mostren que l'orientació actual dels radars és bona, i que els errors són inferiors a 0.20º en azimut i 0.02º en elevació.

Taula 7. Resum de l'anàlisi de l'orientació dels radars de la XRAD durant el període gener-novembre de 2025.

	CDV	LMI	PBE	PDA
Azimut (òptim)	0.0º	0.0º	-0.2º	0.0º
Azimut (min / max)	-0.1º / 0.2º	-0.2º / 0.2º	-0.3º / 0.0º	-0.2º / 0.2º
Elevació (òptim)	0.60º	0.62º	0.62º	0.50º
Elevació (min / max)	0.48º / 0.72º	0.54º / 0.84º	0.44º / 0.68º	0.38º / 0.62º
Màxima correlació	0.75	0.82	0.77	0.85

Les úniques excepcions són l'elevació del radar de PDA, en què, de manera semblant al que s'ha obtingut els darrers anys, s'ha estimat que l'elevació efectiva és al voltant de 0.50º (el que implicaria que el radar està apuntant 0.10º per sota de l'elevació programada), i el radar de PBE, en què s'ha estimat un error d'azimut de 0,2º en sentit antihorari (tot i que es considera un error menor.

4. Anàlisi dels sectors amb bloquejos per factors externs

A diferència d'altres anys, l'anàlisi dels azimuts afectats per interferències s'ha realitzat en base al sistema automàtic desenvolupat en el Projecte EHIMI 2024, i que es va aplicar operativament als 4 radars de la XRAD des de principis de 2025. Això permet fer un processat radar més acurat. Ara bé, aquesta detecció només és efectiva quan no plou; per tant, en els casos de presència de pluja, es continuava fent ús de d'una màscara prefixada d'azimuts contaminats. El problema principal d'aquesta màscara és que convé actualitzar-la amb freqüència: els azimuts contaminats poden fer-se presents o desaparèixer sense aportar cap indici per fer una interpretació raonable. De fet, l'ús de la màscara prefixada pot resultar poc efectiva, i no només pel risc de quedar-se desfasada; analitzar períodes de temps grans per definir-la pot ser contraproduent.

Una de les tasques realitzades durant l'any 2025 ha estat actualitzar aquesta màscara d'azimuts contaminats de manera diària, i lligar-la amb els resultats proporcionats per l'algorisme de detecció automàtica en dies previs.

La metodologia operativa per tractar amb els azimuts contaminats és la següent:

1) Identificació dels azimuts afectats per interferències per cada radar a cada volum de reflectivitat (en casos de no pluja). Aquesta informació queda enregistrada en els fitxers radar processats (format sav).
2) Obtenció d'un resum diari (dia anterior) dels azimuts contaminats de cada radar. Creació d'un gràfic (fitxer pdf) i un fitxer de text (Figura 9).

3) De manera diària, es defineix un filtre estàtic a partir del resum diari dels dies previs: s'obtenen els azimuts que s'han detectat amb una freqüència significativa. Actualment s'analitzen 10 dies previs efectius: es cerquen els 10 dies més propers a la data en qüestió que hagin permès una identificació efectiva per manca de pluja. La freqüència s'ha establert en 80%: és a dir, detecció positiva en 8 dels 10 dies previs. Es crea un gràfic resum i un fitxer de text similars als del punt anterior (Figura 10).

4) Tal com s'ha comentat, el processat EHIMI utilitza els resultats més actualitzats d'aquest filtre (azimuts seleccionats) per realitzar la correcció per substitució horitzontal en casos de pluja. En casos de no pluja, fa el mateix processat però sobre els azimuts que hagin estat identificats per la pròpia imatge.

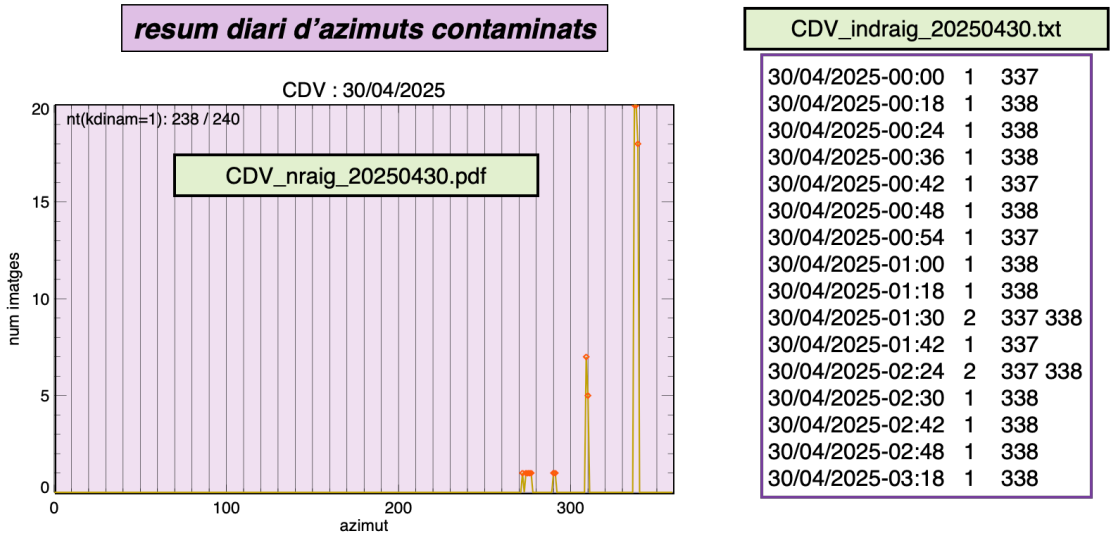


Figura 9. Fitxers creats en el resum diari d'azimuts contaminats (per cada radar). El gràfic presenta el nombre d'imatges en què s'ha identificat cada azimut durant el dia. El fitxer de text ofereix informació dels instants en què s'ha produït la identificació dels azimuts.

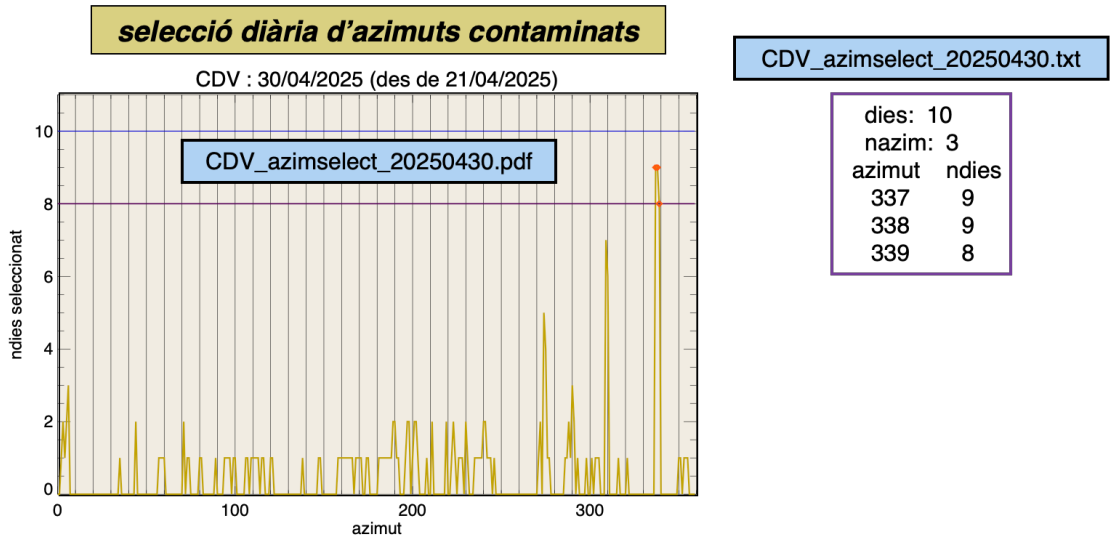


Figura 10. Fitxers creats en la selecció definitiva d'azimuts contaminats a partir dels resultats obtinguts en dies previs. El gràfic presenta el nombre de dies en què cada azimut ha estat identificat en els dies previs. El fitxer de text ofereix la mateixa informació pels azimuts que han estat seleccionats.

La següent taula mostra quins han estat aquests azimuts identificats com a contaminats pels diferents radars durant els darrers mesos de l'any 2025. Vegi's que existeix certa estabilitat en els azimuts afectats.

Taula 8. Azimuts identificats com a contaminats en la selecció diària, per una mostra de dies dels darrers mesos de l'any 2025.

Data	CDV	PBE	PDA	LMI
30/10/2025		267	108; 251-253	-
10/11/2025	310	267-268	107-109;251-253	-
20/11/2025	309	267	107-109;251-253	-
30/11/2025	309	267-268	108; 251-253	-
10/12/2025	-	267-268	107-109;251-253	-
20/12/2025	-	267-268	107-109;251-253;312-313	-

5. Adaptació del programari per a la ingestió de dades en format Rainbow

S'ha adaptat el mòdul de lectura del programari GRcat de processat radar per tal que pugui rebre fitxers d'entrada raw en format Rainbow. Aquesta adaptació s'ha fet emprant fitxers Rainbow provinents dels fitxers raw originals en format Iris, i s'ha comprovat que els resultats obtinguts amb a partir dels fitxers en els dos formats coincideixen. En el moment tingui lloc el canvi definitiu dels processadors radar, caldrà supervisar els fitxers definitius Rainbow generats pels nous processadors i la seva ingestió al sistema de processat. Si bé és possible que s'hagin de fer algunes (petites) adaptacions per treballar amb el format definitiu, el gruix .

També s'ha treballat en l'exportació de diferents productes EHIMI en formats estàndard internacionals. En tancar aquest informe, aquesta tasca està sent supervisada per l'SMC per verificar que aquests formats s'adapten a les seves necessitats. Es tracta dels següents productes:

1) Volum polar processat (dBZ): Es tracta dels diferents PPIs corregits (llarg+curt abast) i del producte PlujaTerra (que també té dades de dBZ i ve a ser un CAPPI). Es guarda cada capa en un fitxer diferent. S'ha pres com a referència el format NetCDF CFRadial2 "CF2 NetCDF Format for RADAR and LIDAR data in Radial Coordinates" proposat pel National Center for Atmospheric Research (NCAR, EEUU)[1]. S'han pres de referència una sèrie de fitxers d'accés oberts descarregats directament d'NCAR amb els volums radar de reflectivitat i velocitat Doppler.

2) Imatge composada CMP (dBZ), en coordenades cartesianes: Composició dels radars XRAD prenent el producte PlujaTerra de cada radar, en coordenades UTM31. Es tracta d'una matriu de 480x480 amb resolució de 1000 m. S'ha emprat el format HDF5 utilitzat pel projecte d'EUMETNET OPERA[2].

3) Acumulacions Radar (mm), en coordenades cartesianes: Matriu de 480x480 amb resolució de 1000 m. La matriu es troba centrada al radar respectiu. S'ha emprat el mateix format HDF5 dels fitxers OPERA, fent modificacions pel fet de tractar-se d'una variable diferent. Tots els productes d'acumulació es crearien amb aquest format, incloent la combinació radar-pluviòmetres.

[1] https://www.eol.ucar.edu/sites/default/files/files_live/private/CfRadialDoc-v2.0-20180430.pdf
[2] https://www.eumetnet.eu/wp-content/uploads/2021/07/ODIM_H5_v2.4.pdf

6. Millora dels productes combinats radar-pluviòmetres

El mètode de combinació radar-pluviòmetres que s'utilitza operacionalment per obtenir els diferents productes d'acumulació és el Kriging amb Deriva Externa (KED). Als darrers anys (2023 i 2024) es va procedir a realitzar una modificació sobre aquest mètode, de manera que la versió actual realitza els càlculs relatius al kriging emprant unitats lineals (mm) en comptes d'unitats logarítmiques (transformació provisional a dBZ). Tanmateix, en la nova versió es varen limitar al màxim els casos en què no s'aplicava el mètode KED i s'utilitzava un mètode alternatiu (per manca de pluja en pluviòmetres, incoherències amb l'acumulació radar, etc). Als informes del projecte EHIMI del 2023 i 2024 es van incloure anàlisis de validació creuada que mostraven que el mètode KED en la nova versió (anomenat KEDlin) era preferible a la resta de mètodes analitzats.

Aquest nou mètode ja estava operatiu a principis de 2025. Tot i que per norma general els camps de pluja que genera són bastant satisfactoris, en el marc del projecte s'han analitzat dues alternatives:

- Reducció d'artefactes en alguns casos d'acumulació diària. Els tècnics de l'SMC han identificat artefactes en algunes acumulacions diàries (producte 24KG). La majoria d'aquests artefactes consisteixen en acumulacions de pluja nul·la en zones properes a altres zones amb acumulacions de pluja significatives, i en alguns casos aquests dubtes sobre la qualitat del producte es van veure corroborats per la presència en la zona de mesures d'altres pluviòmetres (no utilitzats en el càlcul).
- Possibilitat d'incloure l'altitud en l'estimació de l'acumulació de precipitació en base a la combinació de les estimacions radar amb les observacions pluviomètriques.

6.1. Modificacions sobre el producte d'acumulació diària per combinació radar-pluviòmetres

Analitzats els casos en què els tècnics de l'SMC van identificar artefactes als productes d'acumulació diària , es va veure que es aquests artefactes es devien principalment a dos factors:

1) La pròpia essència del mètode d'interpolació KED, que permet que hi hagi variacions abruptes en el camp de pluja (la qual cosa queda reflectida en un correlograma espacial que decau a distàncies petites), i que acaba incorporant amb força pes la variabilitat del camp radar.
2) Diferències importants entre les mesures dels pluviòmetres i el camp radar a la zona, aportant una configuració particular que indueix al mètode d'interpolació a forçar l'estimació, generant un camp de pluja amb gradients superiors als estimats pel radar.

La manera òptima de procedir seria detectar i corregir les incoherències importants entre les mesures dels pluviòmetres i l'estimació radar, i posteriorment calcular la combinació. Ara bé, aquesta detecció no respon a criteris trivials, i en cas de poder-se realitzar, la correcció necessària tampoc és evident i requeriria un processat addicional (principalment sobre l'estimació radar) que en l'estat actual de coneixement no es pot proporcionar.

Per tant, s'ha optat per una solució efectiva sobre el problema identificat. Donat que els casos detectats responen principalment al producte d'acumulació diària (calculat a partir de les acumulacions de 24 hores del producte radar i mesurades pels pluviòmetres), es va pensar que l'acumulació de 24 acumulacions horàries oferiria un mètode alternatiu que podria resultar satisfactori. Si bé les incoherències radar-pluviòmetres que conformen la font dels

errors seguirien existint en bona part dels casos, amb freqüència quedarien limitades a pocs passos de temps (1 o 2 hores), i l'efecte negatiu quedaria suavitzat a l'integrar les 24h. A més a més, els patrons espacials de precipitació de les acumulacions horàries donen lloc a un correlograma espacial amb distàncies de decorrelació normalment més curtes que les acumulacions de 24 hores, de manera que el mètode KED pot adaptar-se més bé a les diferències entre el camp de precipitació radar i les mesures pluviomètriques. Així doncs, aquesta configuració alternativa del mètode per l'estimació de les acumulacions diàries del és més satisfactòria des del punt de vista formal.

A continuació s'inclouen uns exemples dels camps d'acumulació diària obtinguts en alguns casos, comparant aquest nou producte amb el que es troba fins ara en operació. Posteriorment, es comparen les dues alternatives quantitativament amb una anàlisi de validació creuada, emprant bona part dels casos significatius de l'any 2025.

6.1.1. Comparació de mètodes per obtenir el producte combinat d'acumulació diària amb mapes

La Figura 12 i la Figura 12 mostren les acumulacions diàries obtingudes amb les dues configuracions analitzades pels episodis del 12 de febrer de 2025 i del 10 de maig de 2025, respectivament. Aquests són dos dels casos en què es van identificar els artefactes descrits anteriorment. A les dues figures s'hi presenten les acumulacions diàries obtingudes amb les configuracions 24KG (l'acumulació diària per combinació de la precipitació diària mesurada als pluviòmetres i estimada a partir de les observacions de radar) i 24AC1C (resultat de sumar les 24 acumulacions obtingudes combinant les dades horàries de pluviòmetres i radar). A les figures s'hi marquen els artefactes al producte 24KG (zones sense pluja entre pluviòmetres amb acumulacions significatives), i es pot observar que amb l'alternativa 24AC1C es redueix molt l'extensió de les zones sense precipitació.

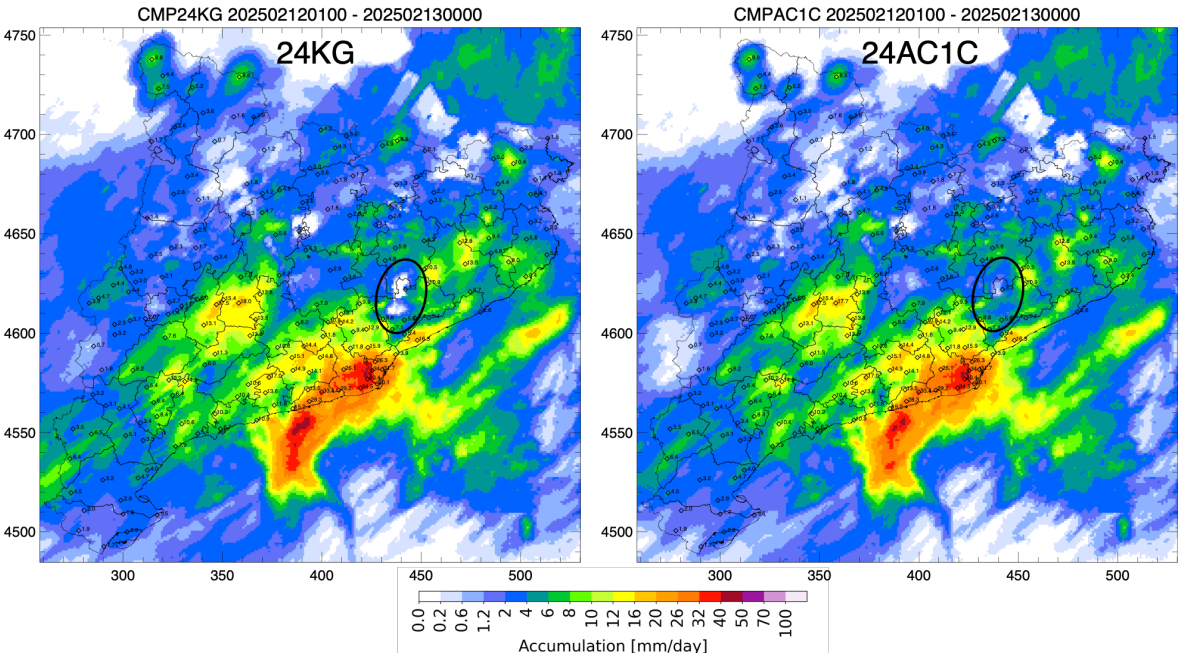


Figura 11. Comparació de mapes d'acumulació de pluja diària, entre la configuració actual (24KG) i l'alternativa de suma de 24 acumulacions horàries (24AC1C). Dia 12/02/2025.

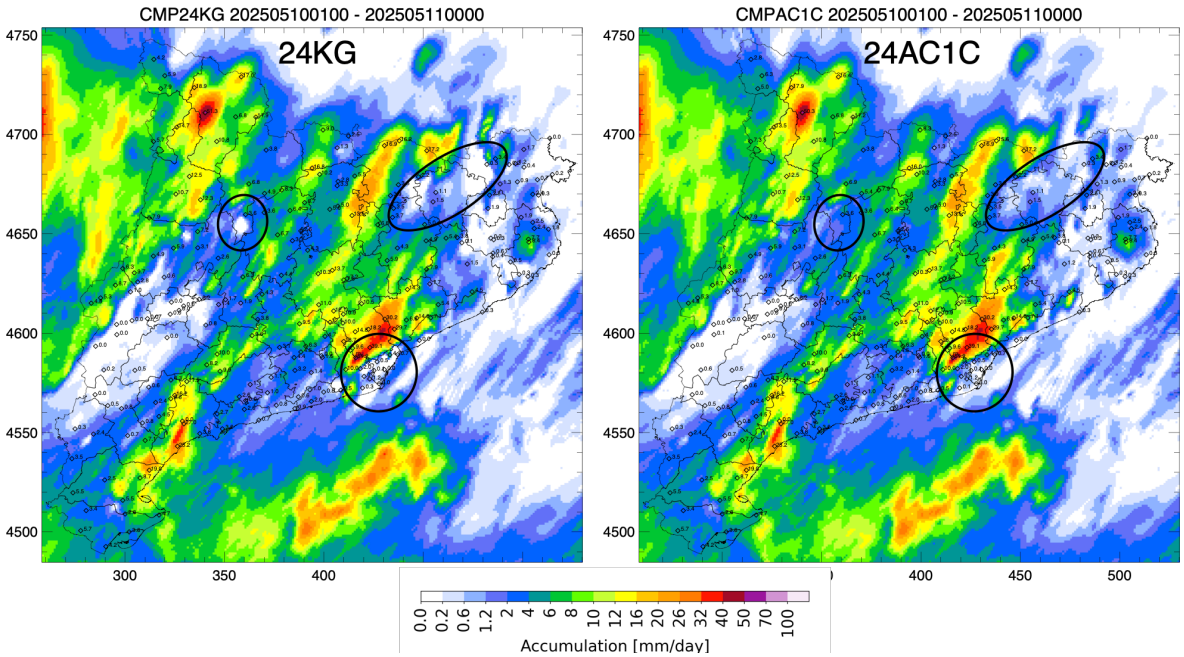


Figura 12. Comparació de mapes d'acumulació de pluja diària, entre el mètode actual (24KG) i el mètode alternatiu de suma de 24 acumulacions horàries (24AC1C). Dia 10/05/2025.

6.1.2. Anàlisi de la qualitat del producte combinat d'acumulació diària per validació creuada

Seguint l'estratègia utilitzada en informes anteriors (per exemple de l'any 2024), s'ha analitzat la qualitat de les acumulacions diàries generades amb un mètode de validació creuada (leave-one-out cross validation). S'han utilitzat la majoria dels dies amb pluja significativa de l'any 2025, pels dos mètodes a comparar:

- Mètode actual: KED sobre pluja diària amb la configuració 24KG. Recordem que el codi del fitxer és CMP (per ser la composició radar) i 24KG (per ser 24h i kriging KED)
- Mètode alternatiu: Suma de 24 productes KED realitzats sobre acumulacions horàries, i que aquí s'ha anomenat 24AC1C. AC1C és el codi emprat en els fitxers per les combinacions radar-pluviòmetres de 1h.

Per cada dia d'anàlisi, s'han calculat 4 estadístics que avaluen la qualitat de l'estimació:

1) Biaix: diferència mitjana entre les estimacions i les observacions als pluviòmetres.
2) Factor R/G, que representa la relació mitjana entre les acumulacions totals estimades i observades als pluviòmetres.
3) Coeficient de correlació de Pearson (sense restar la mitjana).
4) RMSE: Arrel de l'error quadràtic mitjà.

A continuació es mostren els gràfics temporals d'aquests 4 estadístics. Per tal de tenir una idea de la magnitud de cada episodi (dia), s'ha fet una classificació en 3 tipus i s'ha inclòs un fons de tonalitat grisa, amb els següents criteris:

a) Important (gris fosc); quan es compleixen les 2 condicions següents:
   - Algun pluviòmetre amb pluja diària superior a 40 mm.
   - Més de 20 pluviòmetres amb acumulació superior a 20 mm.

b) Mig (gris intermig); quan es compleixen les 2 condicions següents:

- Algun pluviòmetre amb pluja diària superior a 20 mm.
- Més de 10 pluviòmetres amb acumulació superior a 10 mm.

c) Menor (gris clar); quan no s'assoleix la condició (b).

Els resultats de la Figura 13 no permeten assegurar que un mètode sigui superior a l'altre. Els 4 estadístics proporcionen resultats similars en bona part dels episodis, i en els casos en què s'aprecien diferències significatives, o bé són compensades per altres casos, o bé són compensades en observar algun altre estadístic.

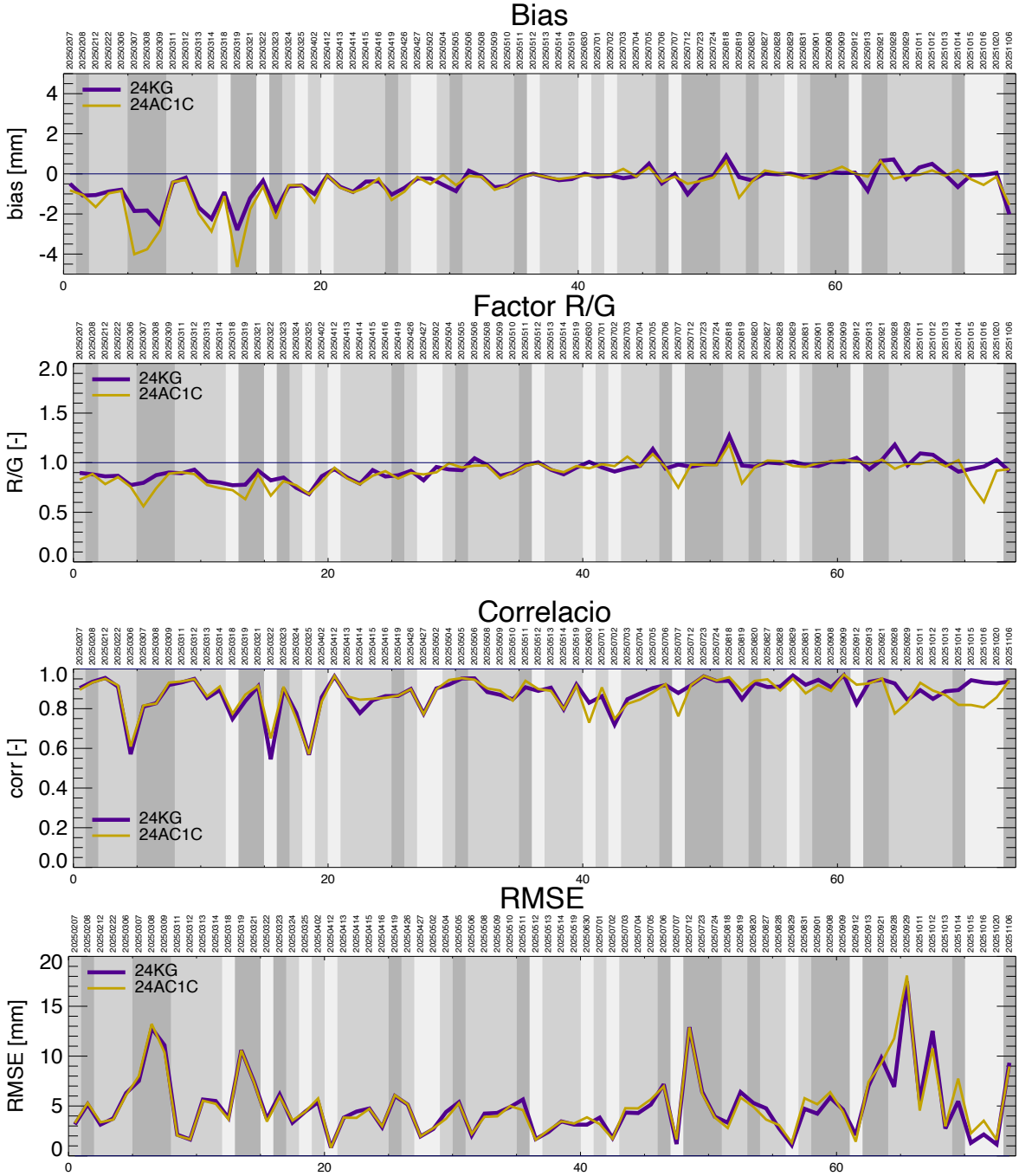


Figura 13. Resultats obtinguts pels 4 estadístics d'anàlisi dels resultats de la validació creuada, per comparar les dues configuracions del producte d'acumulació diària per combinació radar-pluviòmetres. Cada punt es correspon a un dia (en total s'han analitzat 74 dies de precipitació). La tonalitat de gris indica la importància de l'episodi.

Per tant, no creiem que sigui necessari anar més enllà en aquesta anàlisi per tal d'identificar de manera rigorosa o global quin dels dos mètodes és superior. Els resultats obtinguts són massa similars.

Aquests resultats no justificarien el canvi de mètode per l'estimació del producte combinat d'acumulació diària. Ara bé, l'observació visual els mapes de pluja generats sí que permeten afirmar que els problemes que han promogut aquest estudi han sofert una disminució; es a dir, de manera visual els problemes detectats s'han suavitzat. Per aquest motiu, el canvi al nou mètode consistent en acumular 24 productes horaris sembla recomanable.

6.1.3. Implementació operacional del producte CMP24KG alternatiu

A partir de l'anàlisi de diferents casos amb la configuració del mètode 24AC1C, es va acordar amb l'equip tècnic de l'SMC l'aplicació de la solució plantejada.

Sobre aquest plantejament, es va requerir que es realitzés un filtre addicional sobre els pluviòmetres que entren al càlcul de les combinacions horàries: que només s'utilitzessin els pluviòmetres amb disponibilitat de dades al llarg de tot el dia; és a dir, eliminar del càlcul els pluviòmetres que en alguna de les 24h no haguessin proporcionat mesures.

Al tancament d'aquest informe, el mòdul que encapsula el càlcul d'aquest producte alternatiu està desenvolupat i en operació al servidor de desenvolupament. Actualment genera el producte diari respectant el nom del producte antic CMP24KG (generació en directoris diferents), i no genera fitxers pels productes de combinació horària. Durant les primeres setmanes de gener del 2026 s'implementarà en el servidor operatiu.

6.2. Proposta d'un mètode de combinació radar-pluviòmetres que incorpori informació de l'altitud

La incidència de l'altitud en la intensitat de precipitació és un fenomen freqüentment observat arreu, però és molt complex i difícil d'analitzar fora d'un àmbit estrictament local, i sembla bastant evident que la situació mesoescalar i el tipus de pluja que se'n pugui derivar condicionen el grau influència de la topografia. D'aquí que aquest tema no hagi estat gaire estudiat en l'àmbit global de Catalunya. Per altra banda, les zones de muntanya tenen certa representació en les xarxes de pluviòmetres (més en la XEMA que en la xarxa de l'Agència Catalana de l'Aigua), però la seva densitat i cobertura global són molt menors que en les zones més planeres i poblades.

En la definició de tasques a realitzar durant l'any 2025 dins del projecte EHIMI, es va considerar oportú estudiar l'aplicació d'un mètode de combinació radar-pluviòmetres que incorporés la informació de l'altitud. Valorant el coneixement limitat en relació a la influència d'aquesta informació topogràfica en la precipitació, es va considerar més adequat treballar únicament amb un període diari.

L'objecte d'aquesta tasca no és la generació d'un producte operacional (a curt termini), sinó disposar d'un producte complementari per valorar si la incorporació d'aquesta nova informació produeix millores en certs casos, i si aquests casos s'observen amb freqüència.

En aquesta tasca s'ha desenvolupat un mètode que combina la informació de pluviòmetres amb el camp de pluja radar i amb la informació de l'altitud. S'ha aplicat el mètode sobre els episodis més significatius de l'any 2025, i els resultats s'han posteriorment analitzat amb la tècnica de la validació creuada.

6.2.1. Obtenció d'un MDT adequat a l'esquema conceptual d'interpolació

La informació altimètrica de la que es disposa ve donada per l'altitud respecte el nivell del mar. Però sembla inadequat emprar aquesta altitud com a informació directa per forçar el mètode d'interpolació. La influència de l'altitud en la precipitació només sembla factible des d'una perspectiva relativa i local (influència fins a pocs km), i això no es correspon amb l'escala de treball que abasta Catalunya, la qual incorpora diferents sistemes muntanyosos de diferents grandàries i altituds característiques.

S'ha pensat que la informació que millor pot representar el factor de l'altitud en la precipitació ve donada per una altitud relativa respecte els punts menys elevats de l'àrea d'influència, és a dir, les valls properes. Per norma general, l'altitud en les valls dels rius principals varia en poca magnitud en relació a la variació que es dona en els vessants muntanyosos propers. Tenint en compte aquestes observacions, s'ha processat el Model Digital del Terreny (MDT) original per tal d'obtenir una alçada que representi de manera aproximada aquesta elevació relativa respecte les valls properes. A aquest MDT processat se l'ha anomenat "prominència", terme comunament emprat per quantificar l'alçada efectiva de les muntanyes.

Els passos per obtenir aquest MDT prominència per ser emprat en el mètode d'interpolació han estat els següents:

- Obtenció d'un MDT adaptat estrictament al marc de geo-referència de la matriu radar (composició radar CMP), que té una resolució espacial de 1000 m en coordenades UTM31. S'ha processat un MDT amb resolució superior, i s'ha calculat l'altura mitjana en cada píxel.
- Obtenció de l'MDT prominència. Per cada píxel, s'obté l'alçada màxima respecte els píxels propers que es troben situats a una distància màxima de 10 km.
- Finalment s'ha establert un llindar sobre la prominència que permeti minimitzar els errors derivats de treballar amb una resolució espacial baixa, produïts principalment en les valls més encaixonades. També permet oferir una distinció clara entre píxels de vall i píxels de muntanya. Aquest llindar s'ha fixat en 300 m, i proporciona una prominència efectiva.

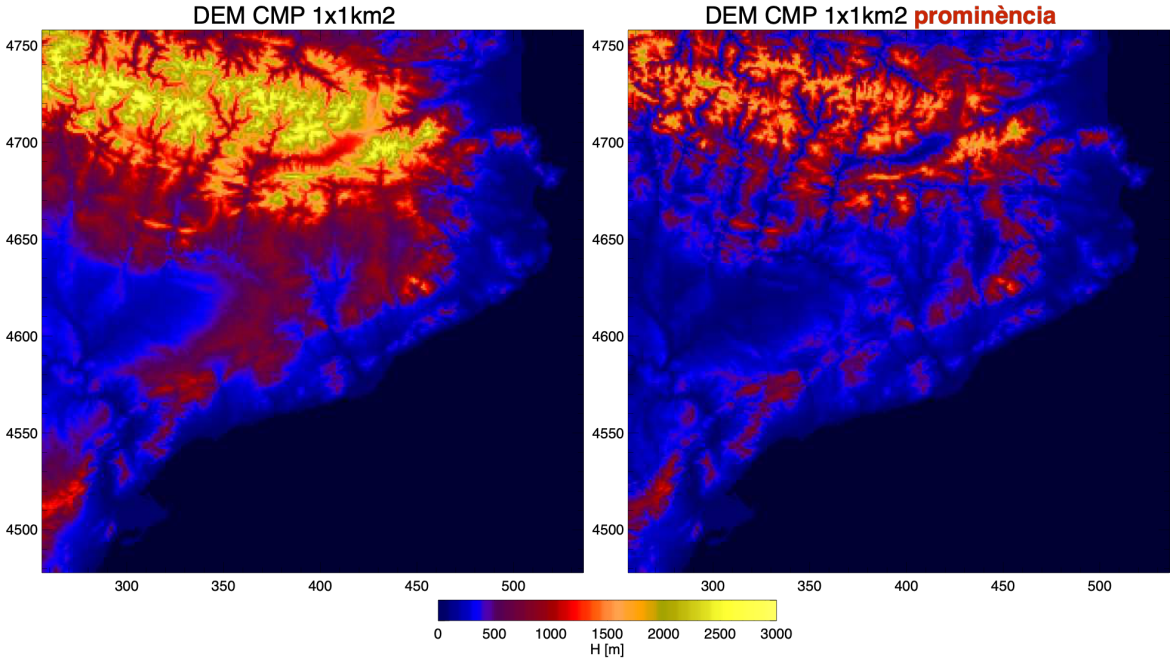


Figura 14. MDT ajustat al marc de treball donat per la composició radar CMP (esquerra). MDT prominència (dreta).

6.2.2. Anàlisi preliminar de la influència de l'altitud en la precipitació

Amb l'objectiu d'analitzar, ni que sigui de manera qualitativa, si existeix una relació entre l'altitud i la precipitació, s'ha realitzat un estudi bàsic amb episodis mesurats per la XEMA durant l'any 2025. Concretament, s'han escollit episodis rellevants del període gener-novembre del 2025.

L'estratègia ha estat comparar el total de pluja d'aquests episodis en pluviòmetres considerats de muntanya, respecte el total mesurat en pluviòmetres propers que se situïn en zones de vall (o hagin estat catalogats d'aquesta manera). Els pluviòmetres de vall són els que tenen una altitud de prominència inferior a 300 m. A cada pluviòmetre de muntanya se li han assignat els pluviòmetres de vall més propers (distància inferior a 25 km), i s'ha calculat un factor d'altitud (FH) entre la precipitació del pluviòmetre de muntanya i la precipitació mitjana dels pluviòmetres de vall associats:

$$FH(pluvio) = P(pluvio) / mitjana\ ([P(vall_1), ..., P(vall_n)])$$

Excepte a la Vall d'Aran, tots els pluviòmetres de muntanya de la XEMA han tingut assignats un o més pluviòmetres de vall (Figura 15).

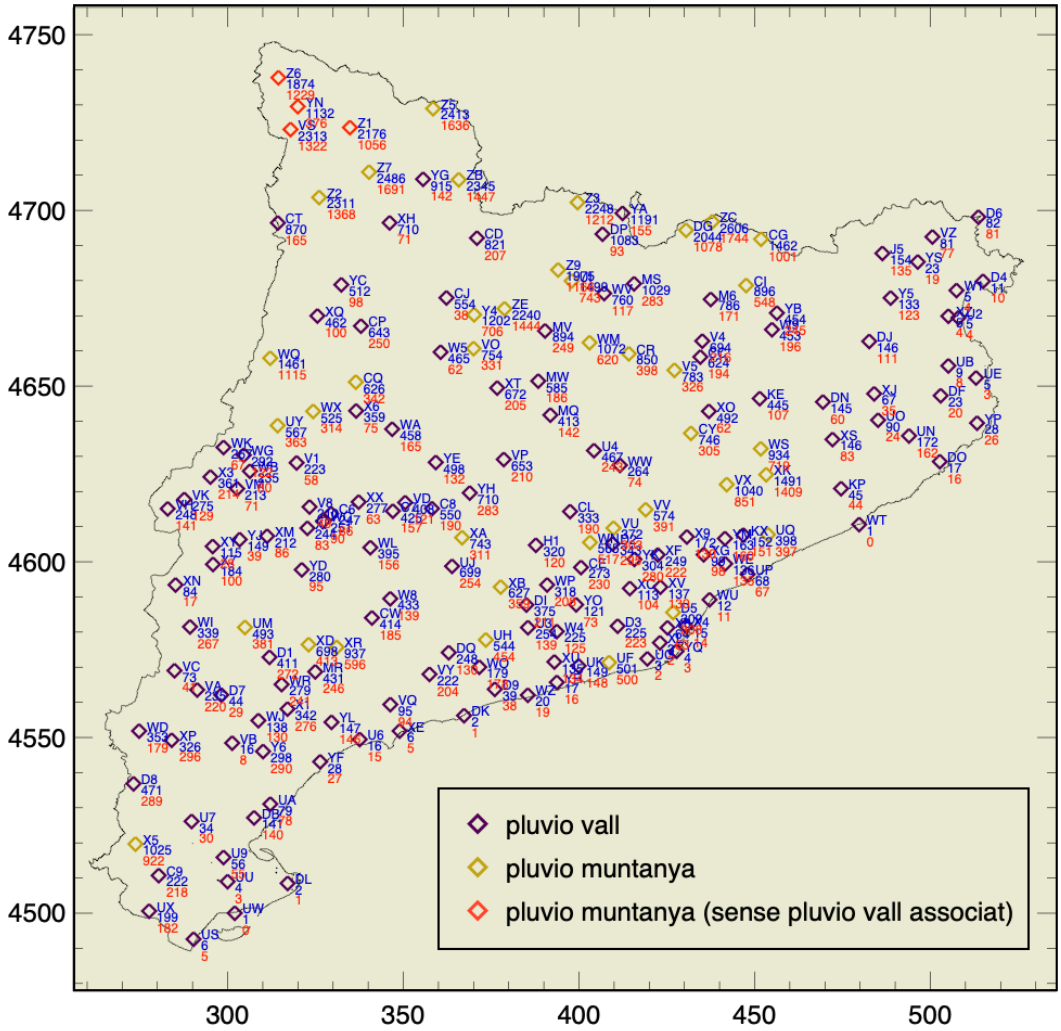


Figura 15. Pluviòmetres de la xarxa XEMA amb la classificació feta segons l'altitud de prominència. Els pluviòmetres vermells no disposen de cap pluviòmetre de vall proper. Els valors que acompanyen el codi de cada pluviòmetre són l'altitud original (blau) i la prominència (vermell), obtinguts a partir de l'MDT processat de resolució de 1000 m.

La Figura 16 mostra que, en termes generals, l'altitud és un factor que impulsa una tendència a incrementar la precipitació. Aquesta afirmació només pot fer-se per acumulacions de períodes de temps grans (mesos), però es tracta d'un resultat motivador que justifica continuar amb la proposta i incloure la informació de l'altitud en el mètode d'interpolació, per acumulacions diàries.

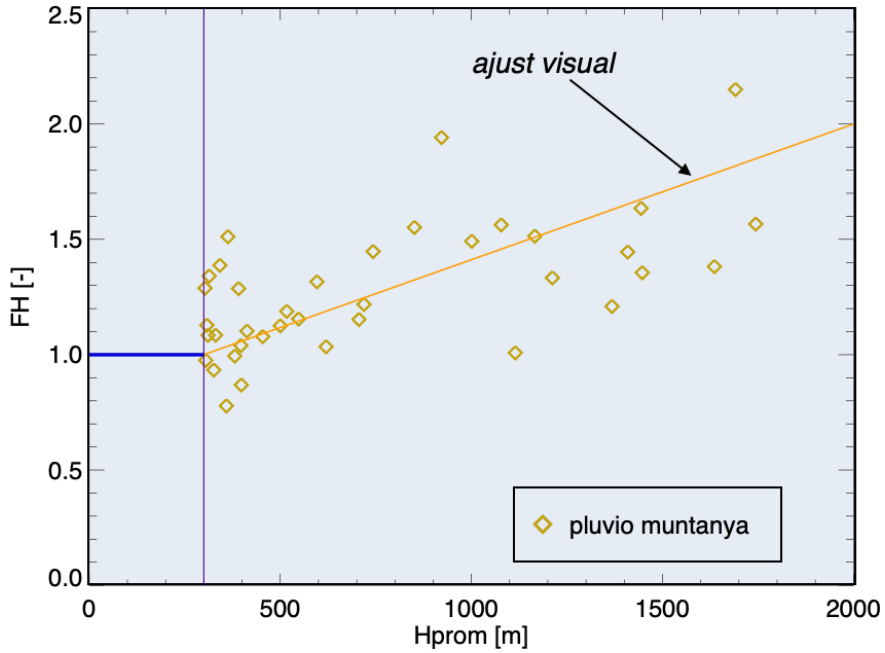


Figura 16. Factor d'altitud obtingut en l'anàlisi del període gener-novembre 2025, en funció de l'altitud de prominència. Els pluviòmetres de muntanya tenen una prominència superior a 300 m.

6.2.3. Mètode d'interpolació proposat

El mètode proposat combina les mesures dels pluviòmetres amb l'acumulació radar i l'MDT d'altitud de prominència. Està basat en el mètode proposat per Yoon & Bae (2013)[3], però conté diferències en la manera de calcular les diferents interpolacions. Consisteix en els següents passos (Figura 17):

1) Interpolació de les acumulacions mesurades pels pluviòmetres afegint la informació de l'altitud. S'empra el mètode de Kriging amb Deriva Externa (KED), associant la deriva a l'altitud de prominència efectiva (respecte 300 m).
2) Interpolació de les acumulacions radar en els punts dels pluviòmetres, seguint la mateixa tècnica anterior (KED amb prominència efectiva).
3) Aplicació del mètode Conditional Merging (Sinclair & Pegram, 2005[4]), on les interpolacions parcials que permeten obtenir la matriu residu consisteixen en els camps de pluja obtinguts en els passos 1) i 2), mentre que el camp principal ve donat per l'acumulació radar.

[3] Yoon, S.S., Bae, D.H. (2013): Optimal rainfall estimation by considering elevation in the han river basin, south korea. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, 52, 802–818.

[4] Sinclair, S., Pegram, G. (2005): Combining radar and rain gauge rainfall estimates using conditional merging. **Atmospheric Science Letters**, 6, 19–22.

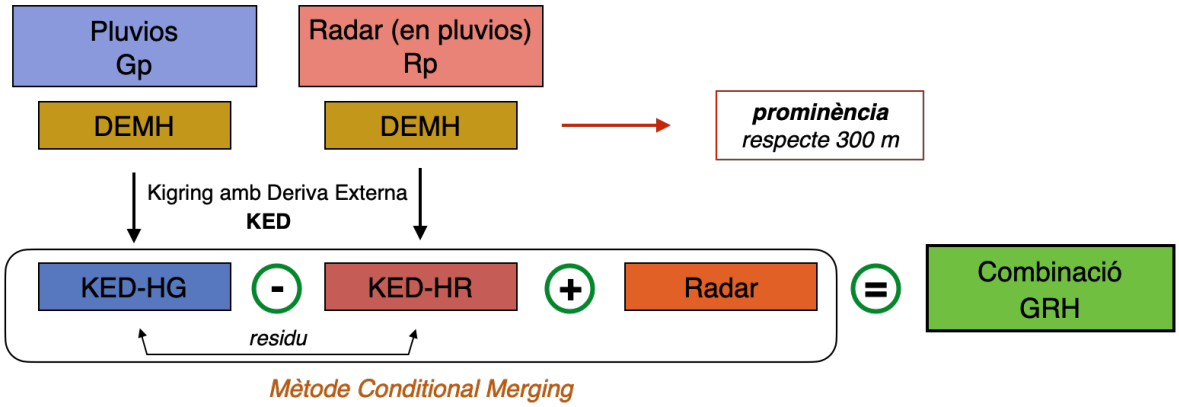


Figura 17. Esquema del mètode d'interpolació proposat per combinar informació radar, de pluviòmetres i d'altitud.

6.2.4. Exemples d'aplicació

A continuació es mostren alguns exemples dels camps de pluja obtinguts amb el mètode de combinació que incorpora l'altitud (l'anomenem CombiGRH). En les figures també es mostren els camps obtinguts amb altres mètodes d'interpolació (el mètode actualment operacional KEDLIN i el Conditional Merging convencional), així com el camp de pluja acumulada del radar (sense participació de pluviòmetres).

Els camps de pluja obtinguts amb el mètode CombiGRH reflecteixen amb freqüència un increment de la precipitació en les zones elevades, respecte les zones més deprimides dels voltants. Normalment això s'observa millor en els casos en què existeix una àmplia zona amb pluja generalitzada, principalment alsls Pirineus (on els gradients d'altitud són prou grans). En altres casos, els matisos induïts per l'altitud poden quedar dissimulats per altres factors i no sempre queden reflectits en els mapes de pluja.

Les diferències entre aquest mètode i el mètode KEDLIN són en molts casos significatives. Les figures següents també inclouen uns mapes que representen aquestes diferències. En canvi, el mètode Conditional Merging convencional proporciona resultats més similars al mètode CombiGRH, però amb una component donada per l'altitud que queda reflectida lluny dels pluviòmetres. És a dir, el mètode CombiGRH sembla heretar fortament l'essència del mètode Conditional Merging afegint un matís degut a l'altitud.

S'ha inclòs el cas de dia 7 de juliol (Figura 19) per tal de mostrar que el mètode proposat pot produir errors considerables en dies amb presència important de calamarsa. Aquestes situacions han estat freqüents durant el mesos de juliol i agost del 2025, i l'acumulació radar sobreestima en gran manera la pluja. En aquests casos, el mètode CombiGRH (com la versió original del Conditional Merging) tendeix a respectar fortament el camp radar fora de la zona d'influència immediata dels pluviòmetres.

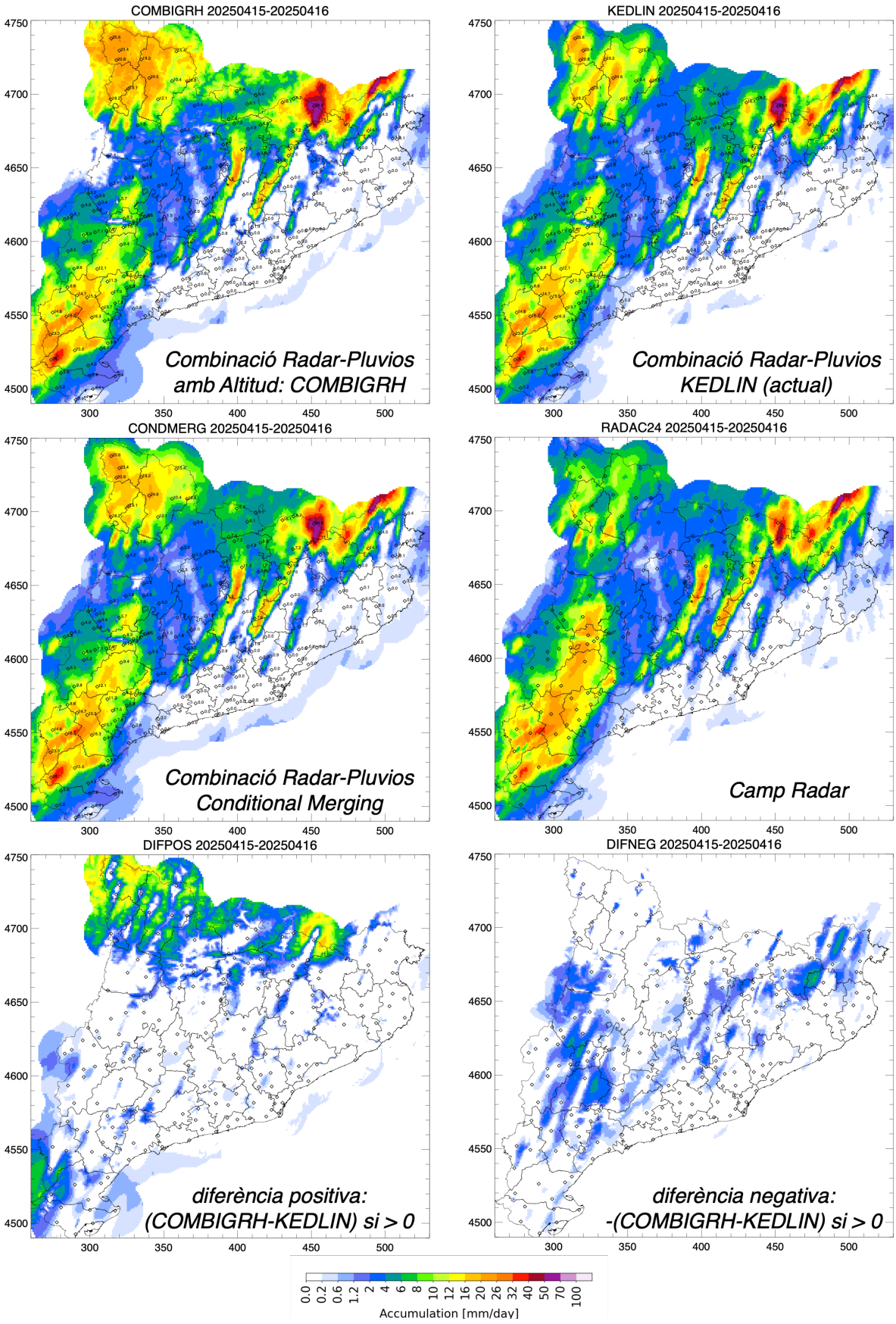


Figura 18. Acumulació diària del 15/04/2025 utilitzant diferents mètodes.

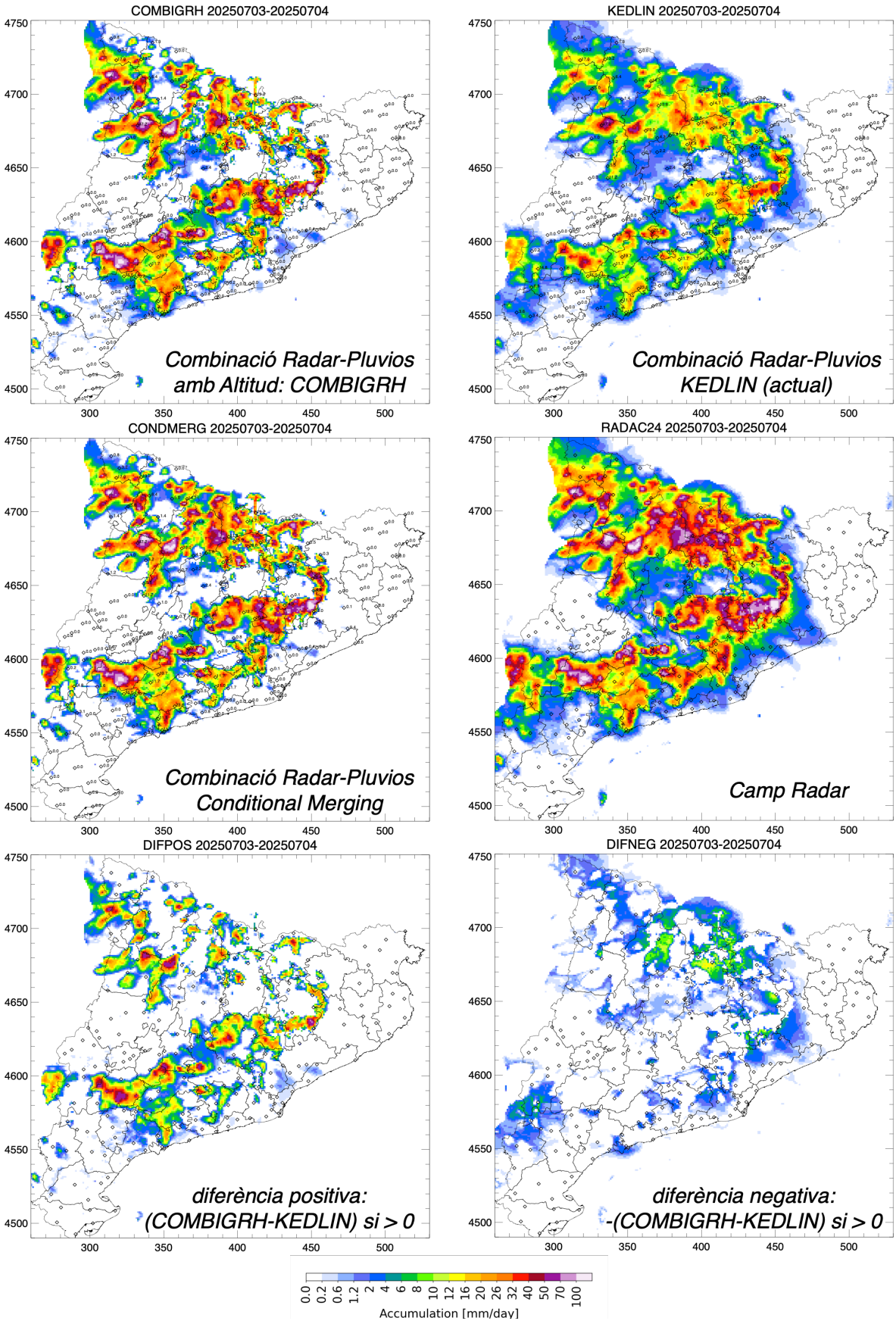


Figura 19. Acumulació diària del 03/07/2025 utilitzant diferents mètodes.

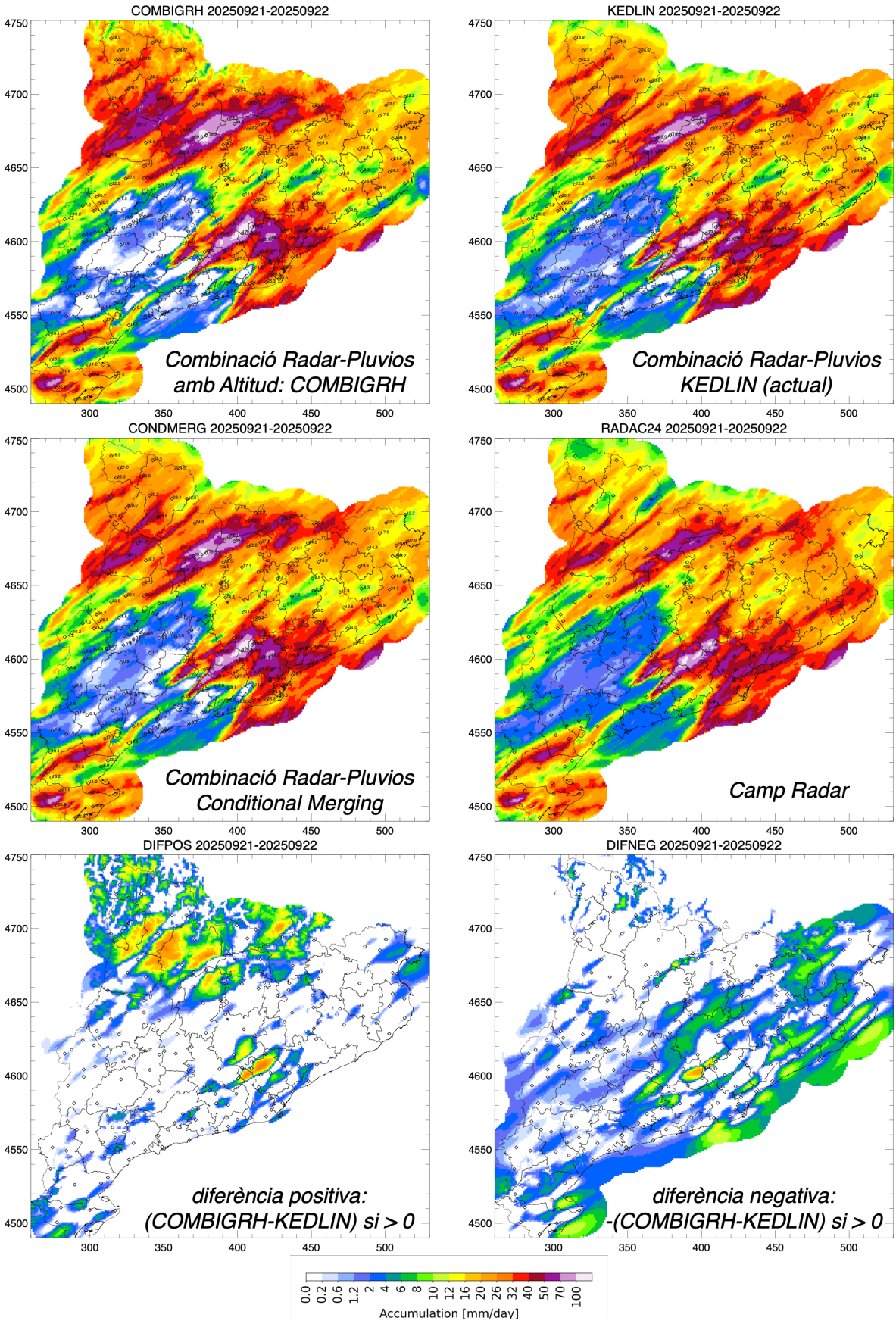


Figura 20. Acumulació diària del 21/09/2025 utilitzant diferents mètodes.

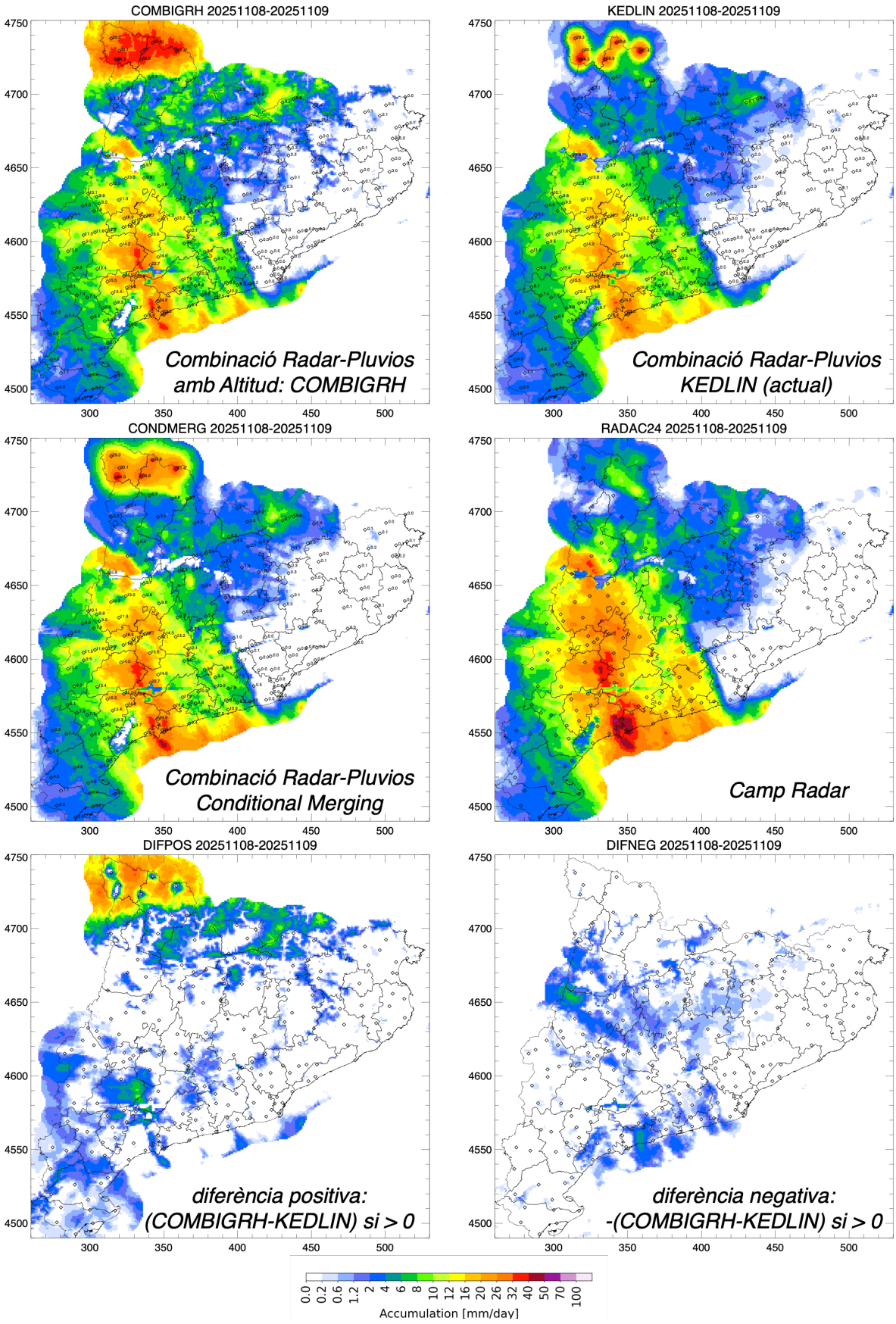


Figura 21. Acumulació diària del 08/11/2025 utilitzant diferents mètodes.

6.2.5. Anàlisi pel mètode de validació creuada per avaluar el mètode de combinació que incorpora l'altitud (COMBIGRH)

De manera semblant al que s'ha explicat a l'apartat 6.1.2, s'ha fet una anàlisi quantitativa dels resultats obtinguts amb el mètode proposat aplicant un mètode de validació creuada. En aquest cas, els mètodes a comparar són els següents:

- Mètode actual: aquí l'anomenem KEDLIN però coincideix amb el mètode 24KG de l'apartat 6.1.2.
- Mètode CONDMERG: Conditional Merging convencional, serveix de referència addicional.
- Mètode que inclou l'altitud: COMBIGRH.

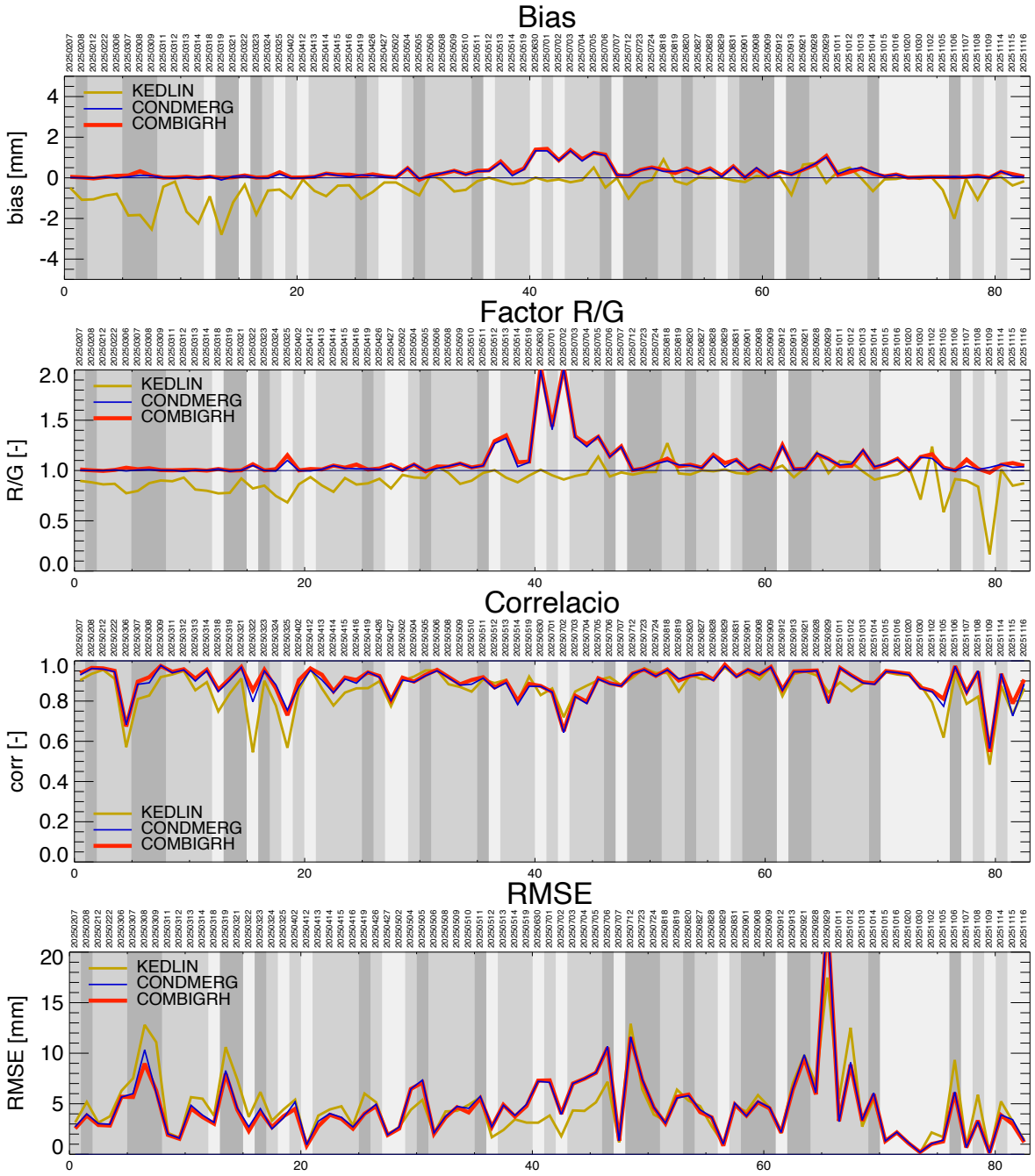


Figura 22. Resultats obtinguts pels 4 estadístics d'anàlisi de la validació creuada, per avaluar el mètode de combinació radar-pluviòmetres que incorpora informació de l'altitud. El producte de treball és l'acumulació de pluja diària. Associat a cada punt es mostra el dia de l'acumulació. El nivell de gris indica la importància relativa de l'episodi (apartat 6.1.2).

La Figura 22 mostra els resultats obtinguts per cadascun dels paràmetres de qualitat. El més destacable és constatar que el mètode COMBIGRH proporciona gairebé sistemàticament els mateixos resultats que el mètode CONDMERG. Com que ambdós mètodes es basen en la tècnica de Conditional Merging, calia esperar similitud en els resultats. Però aquesta gran concordança de resultats resulta sorprenent perquè en observar els mapes d'acumulació de l'apartat 6.2.4 s'aprecien diferències notables entre els dos mètodes en zones apartades dels pluviòmetres.

Pensem que l'efecte de l'altitud només esdevé significatiu en zones concretes del territori i, tot i així, aquest efecte no té la mateixa rellevància en tots els dies analitzats (el mètode s'adapta a les dades de cada episodi). A més a més, els estadístics avaluats s'avaluen sobre la totalitat de pluviòmetres, de manera que, com que l'efecte de l'altitud afecta pocs pluviòmetres, aquests la majoria de vegades acaben tenint poca incidència en el valor de l'estadístic.

Per aquest motiu hem fet una anàlisi similar que representi exclusivament els resultats dels pluviòmetres on la incidència de l'altitud pugui ser significativa; és a dir, s'ha repetit el càlcul dels estadístics escollint només els pluviòmetres considerats de muntanya (44 dels 186 pluviòmetres de la XEMA).

Els resultats es mostren a la Figura 23. El to gris assignat a cada episodi indica qualitativament la seva magnitud (apartat 6.1.2). Però s'ha afegit un to gris-negre per indicar els episodis que no es poden considerar vàlids per aquesta anàlisi, a causa de que no són gaire importants en les zones d'influència dels pluviòmetres de muntanya. Els episodis descartats no acompleixen algun dels dos criteris següents:

- Algun pluviòmetre de muntanya amb pluja diària superior a 20 mm.
- Més de 5 pluviòmetres de muntanya amb acumulació superior a 10 mm.

Aquests nous resultats evidencien unes diferències majors entre els mètodes a comparar. Els mètodes COMBIGRH i CONDMERG presenten majors diferències, sobretot en termes de biaix i factor R/G. De manera gairebé sistemàtica, els resultats són millors en el cas del mètode COMBIGRH, mentre que el mètode CONDMERG presenta una tendència a subestimar la pluja. Pel que fa al mètode KEDLIN, la diferència respecte el COMBIGRH és encara major, i la tendència a subestimar és elevada.

Amb aquest enfocament centrat en els pluviòmetres de muntanya, tot i que la solidesa estadística és menor, es pot concloure que el mètode operacional presenta certa tendència a subestimar la precipitació en zones de muntanya. Aquest fet hauria quedat emmascarat pel fet d'haver centrat les anàlisis en l'àmbit global del territori.

En general, quan es compara el mètode COMBIGRH amb el mètode de combinació KEDLIN (que és el mètode de referència), podem extreure conclusions similars a les que es varen exposar en informes EHIMI d'anys anteriors (2023 i 2024): de manera global el mètode CONDMERG (i COMBIGRH) proporciona millors resultats que el mètode KEDLIN; ara bé, existeixen una sèrie d'episodis, principalment els que responen a tempestes d'àmbit molt local o amb presència de calamarsa, en què el mètode CONDMERG pot proporcionar resultats molt allunyats de la realitat. Per tant, el mètode KEDLIN és preferible com a opció operacional.

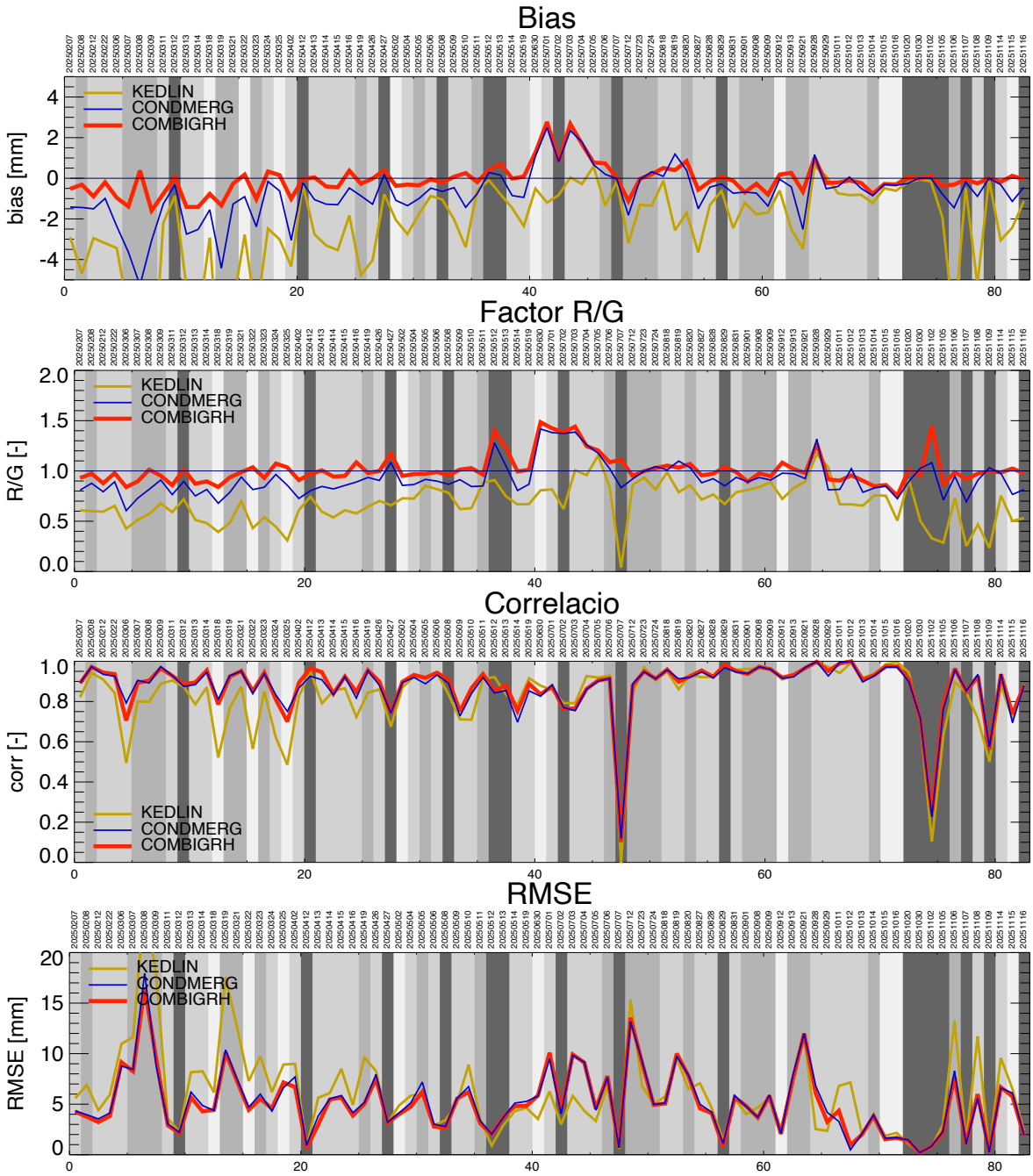


Figura 23. Resultats obtinguts pels 4 estadístics utilitzats per avaluar la qualitat dels mètodes de combinació radar-pluviòmetres. El producte de treball és l'acumulació de pluja diària. Només s'han considerat els **pluviòmetres de muntanya**. Cada punt dels gràfics correspon a un dia. El to gris indica la importància relativa de l'episodi (apartat 6.1.2). El to gris-negre indica que es tracta d'un episodi amb acumulacions poc significatives en zones de muntanya.

7. Índex de qualitat dels productes de precipitació acumulada

Una de les tasques desenvolupades en el Projecte EHIMI del 2024 va ser incorporar una matriu de qualitat que acompanyés al producte d'acumulació diària donat per la combinació radar-pluviòmetres. Aquest producte de qualitat fou dissenyat mirant d'incorporar factors que afecten l'error de les estimacions de precipitació acumulada en superfície a cada pas

involucrat en el càlcul del producte final: processat radar individual, composició de radars, acumulació diària radar i combinació radar-pluviòmetres.

En el projecte actual, es va decidir continuar amb el desenvolupament d'aquest mateix producte de qualitat, però incidint en els productes de qualitat associats a les imatges radar processades. En particular, es volia aconseguir un índex de qualitat que mostrés de manera més detallada els problemes de mesura de cada radar.

A continuació es mostra la metodologia seguida per aconseguir aquest índex de qualitat de la imatge radar.

7.1. Metodologia per obtenir l'índex de qualitat

S'ha decidit basar l'índex de qualitat radar en 3 variables que es consideren força determinants en la qualitat de la mesura radar:

1) Bloqueig orogràfic. A partir de l'estimació de l'apantallament del terreny, aconseguida per simulació de l'apantallament teòric de cada radar sobre un MDT d'alta resolució.
2) Distància al radar. El problema principal lligat a la distància és l'increment del volum de mostreig. També existeix el problema d'increment de l'alçada, però aquest factor s'incorpora en el següent punt.
3) Alçada de la mesura radar. Treballant amb informació volumètrica, el PPI més baix que no es troba contaminat per ecos de terra conté la mesura més determinant en el processat radar i l'obtenció de la reflectivitat corregida i representativa de la pluja al terra. La metodologia proposada considera l'alçada d'aquest PPI no contaminat respecte el terreny (emprant informació d'un MDT).

Per cadascuna d'aquestes variables s'ha definit una funció que relaciona el valor de la variable amb un índex de qualitat parcial. Com que no disposem de criteris rigorosos per definir objectivament aquetes funcions, s'han definit d'acord amb l'experiència. Convé tenir present que les dades de reflectivitat radar han sofert un processat amb l'objectiu de corregir els fenòmens que afecten l'estimació de pluja en superfície a partir de les observacions del radar, entre els que s'hi troben les pròpies variables que s'han inclòs en l'índex de qualitat (cas de l'apantallament i l'alçada). Així doncs, es proposa una primera versió de les funcions de qualitat (veure Figura 24, Figura 25 i Figura 26), i podran anar-se revisant amb l'experiència aportada pels resultats.

A partir del producte dels índexs parcials es calcula l'índex de qualitat global:

$$IQ = IQ_{apant} \cdot IQ_{dist} \cdot IQ_{hmesura}$$

A partir del valor d'IQ calculat amb aquesta expressió, s'han afegit les següents modificacions en determinades zones on s'hi donen fenòmens que poden afectar la qualitat de les estimacions del radar:

- Zones afectades per azimuts contaminats per interferències: En el processat es realitza una estimació per interpolació de les observacions veïnes no afectades del mateix PPI. S'aplica un factor reductor de 0.80 sobre l'índex provisional.
- Imatge de llarg abast: Donat que es tracta d'un únic PPI, es realitza un processat radar bàsic. S'aplica un factor reductor de 0.70 sobre l'índex provisional.
- Zona cega de les proximitats del radar: En la conversió a coordenades cartesianes, es realitza una estimació per interpolació de la reflectivitat en la zona cega de les

proximitats del radar (2 km). S'aplica un factor reductor de 0.50 sobre l'índex provisional.

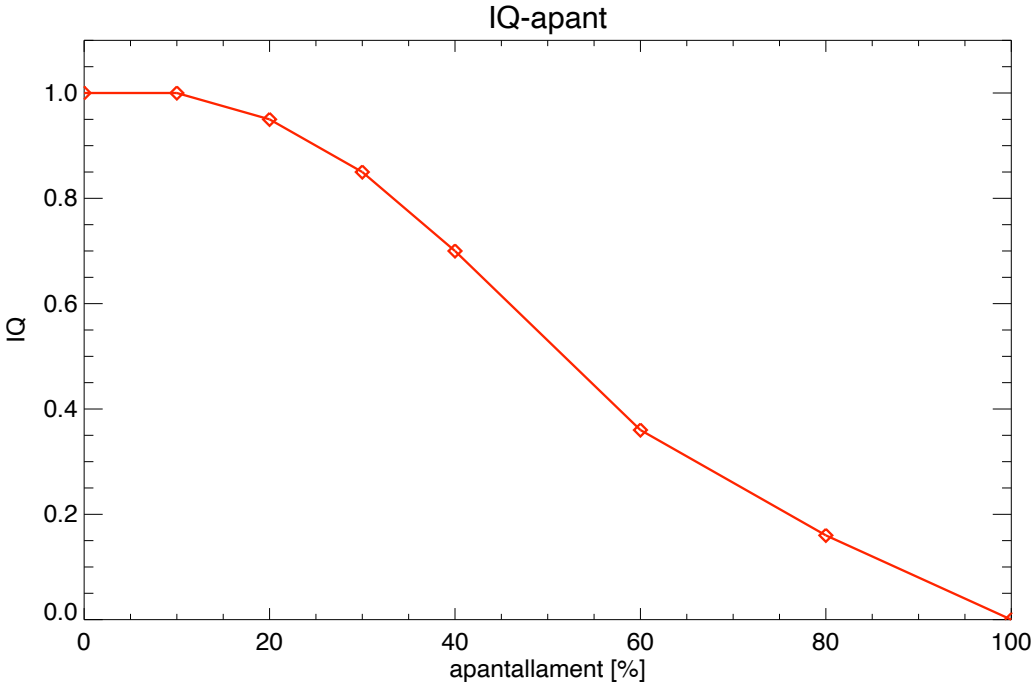


Figura 24. Funció d'índex de qualitat parcial per l'apantallament orogràfic.

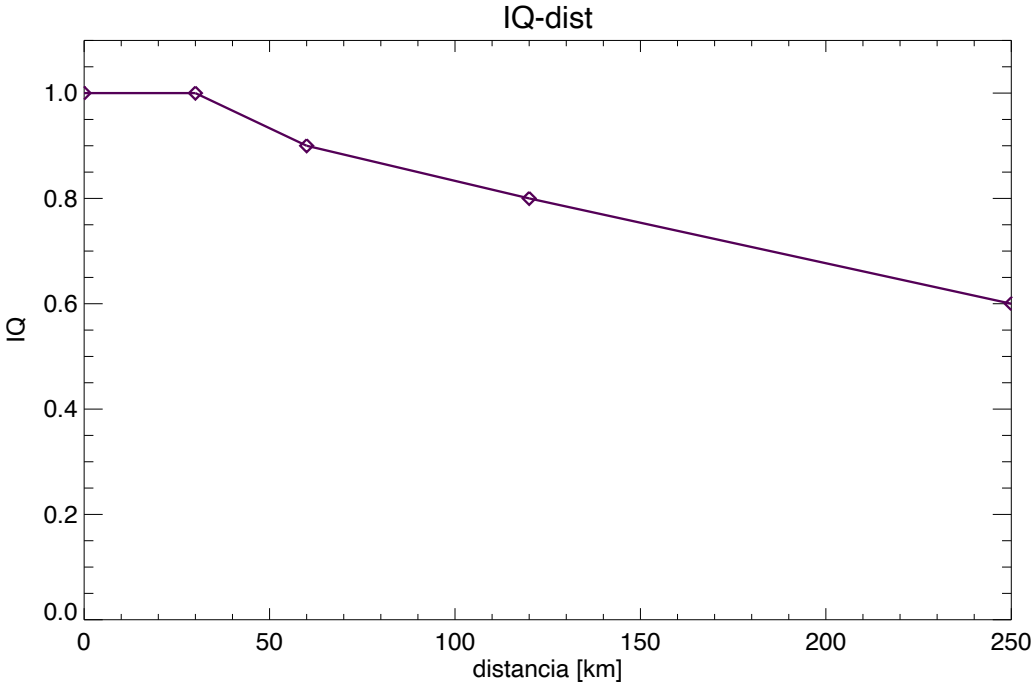


Figura 25. Funció d'índex de qualitat parcial per la distància.

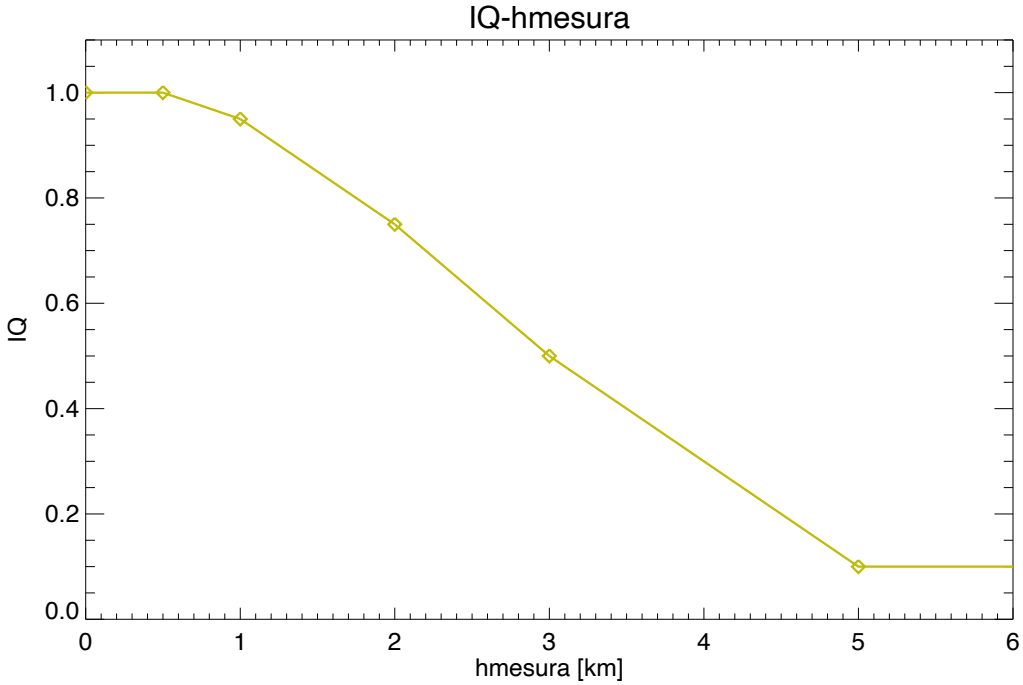


Figura 26. Funció d'índex de qualitat parcial per l'alçada de mesura respecte el terreny.

7.2. Índex de qualitat de la imatge composada

L'obtenció del producte de pluja en superfície a partir de la composició de les observacions dels diferents radars requereix definir una màscara de problemes per cada radar, que és dinàmica i actualment té aquestes condicions:

- Apantallament orogràfic superior a 0.40.
- Zones afectades per azimuts contaminats per interferències o bloquejos.
- Zones afectades per ecos de terra en algun PPI.

La imatge composada s'obté a partir dels radars disponibles, assignant a cada píxel de la matriu cartesiana el valor de la imatge processada d'un dels radars, seguint una sèrie de criteris:

- Si en el píxel algun dels radars no es troba afectat per problemes de mesura: màxim dels valors dels radars sense problemes.
- Si en el píxel tots els radars es troben afectats per problemes de mesura: màxim dels valors del radars disponibles.

Amb aquesta metodologia s'obtenen imatges composades, tant pel processat de curt abast com pel processat de llarg abast. Finalment s'obté una imatge composada que integra ambdues imatges, fent que la imatge de curt abast predomini en el seu domini.

L'índex de qualitat de la imatge composada s'obté, directament, fent la composició de la qualitat dels radars implicats, així:

- Cas de pluja: A cada píxel s'assigna l'índex de qualitat associat al radar escollit en el procés de composició.
- Cas de no pluja: A cada píxel s'assigna el màxim índex de qualitat dels radars que han intervingut en la composició (radars no afectats o radars disponibles, segons el cas).

7.3. Exemples de mapes d'índex de qualitat resultants

A continuació es mostren uns exemples per veure quin és l'aspecte que prenen aquests mapes de qualitat radar. Es mostren uns casos d'un instant amb pluja residual, i posteriorment es mostren els casos associats a un instant amb pluja que afecta una bona part del territori, per tots els radars (incloent la composició).

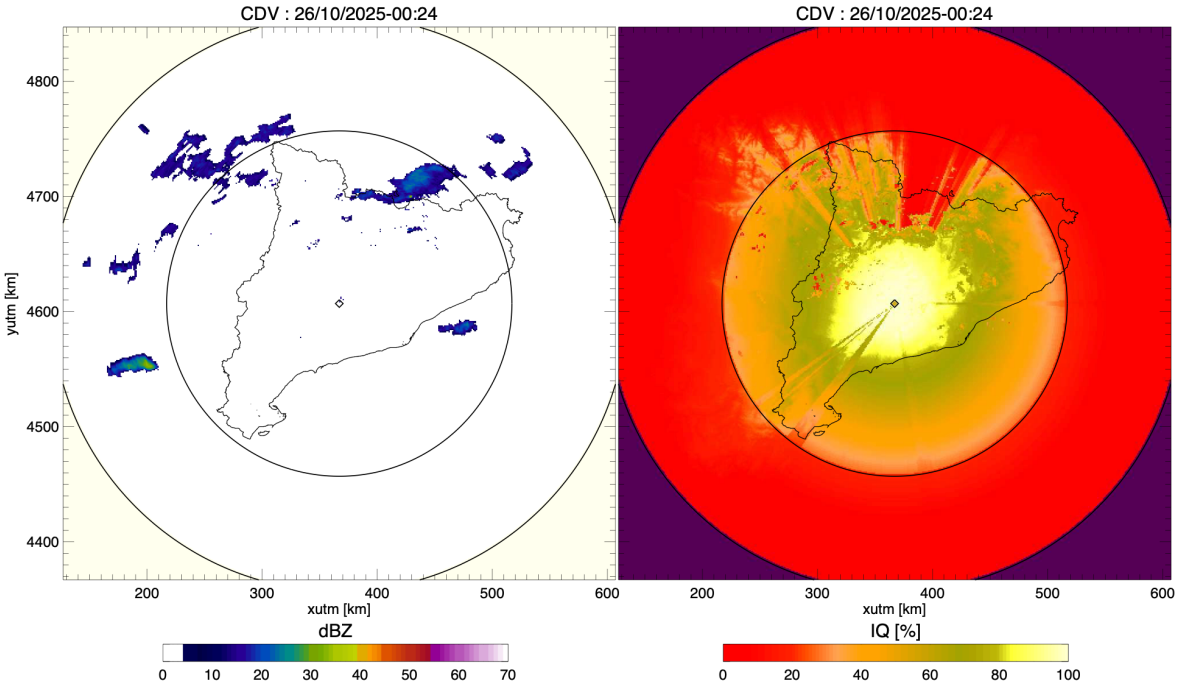


Figura 27. Mapa de reflectivitat i mapa d'índex de qualitat. Imatge 26/10/2025-00:24. Radar CDV.

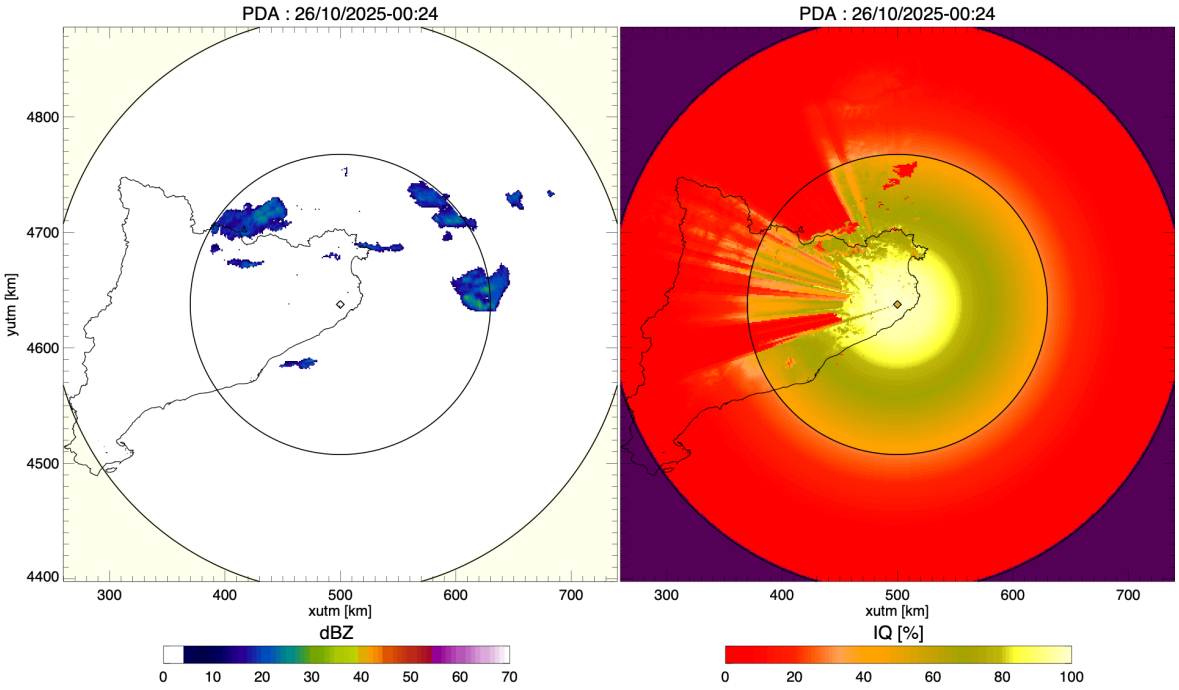


Figura 28. Mapa de reflectivitat i mapa d'índex de qualitat. Imatge 26/10/2025-00:24. Radar PDA.

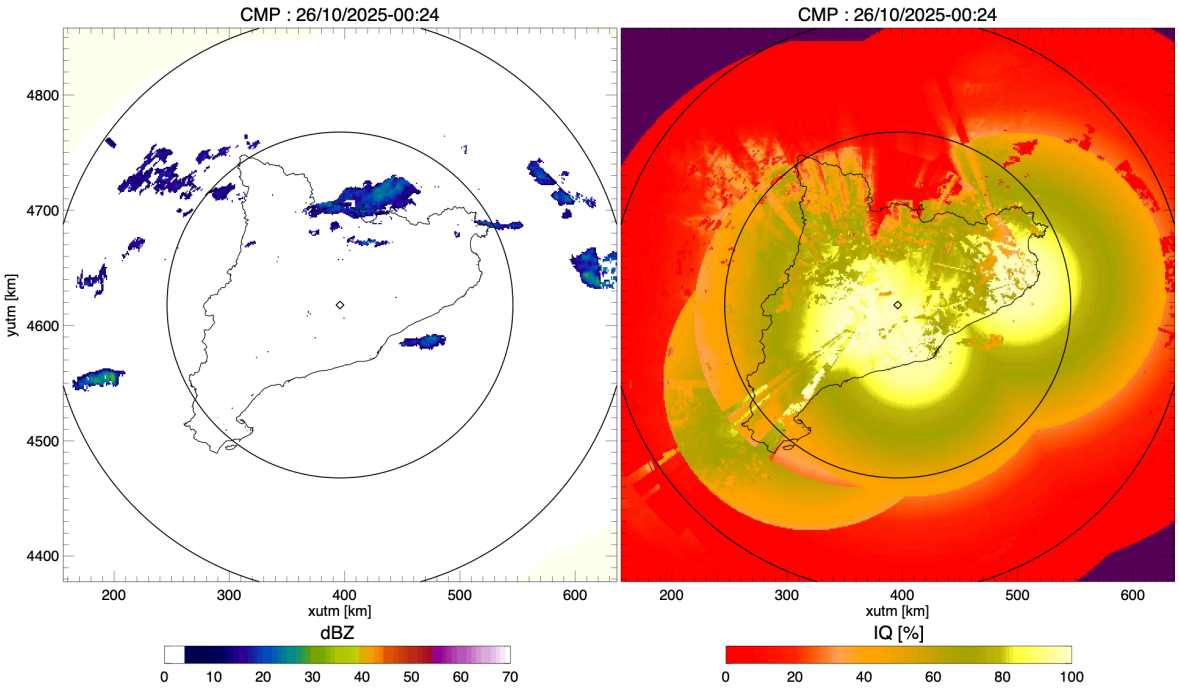


Figura 29. Mapa de reflectivitat i mapa d'índex de qualitat. Imatge 26/10/2025-00:24. Composició radar CMP.

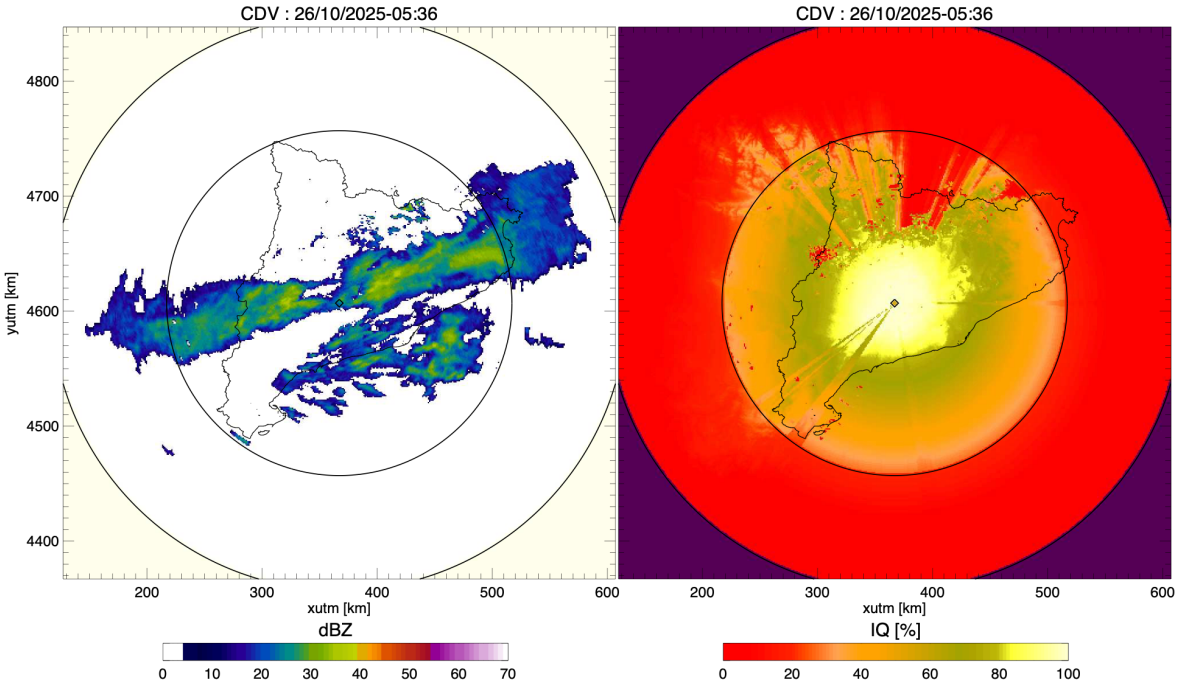


Figura 30. Mapa de reflectivitat i mapa d'índex de qualitat. Imatge 26/10/2025-05:36. Radar CDV.

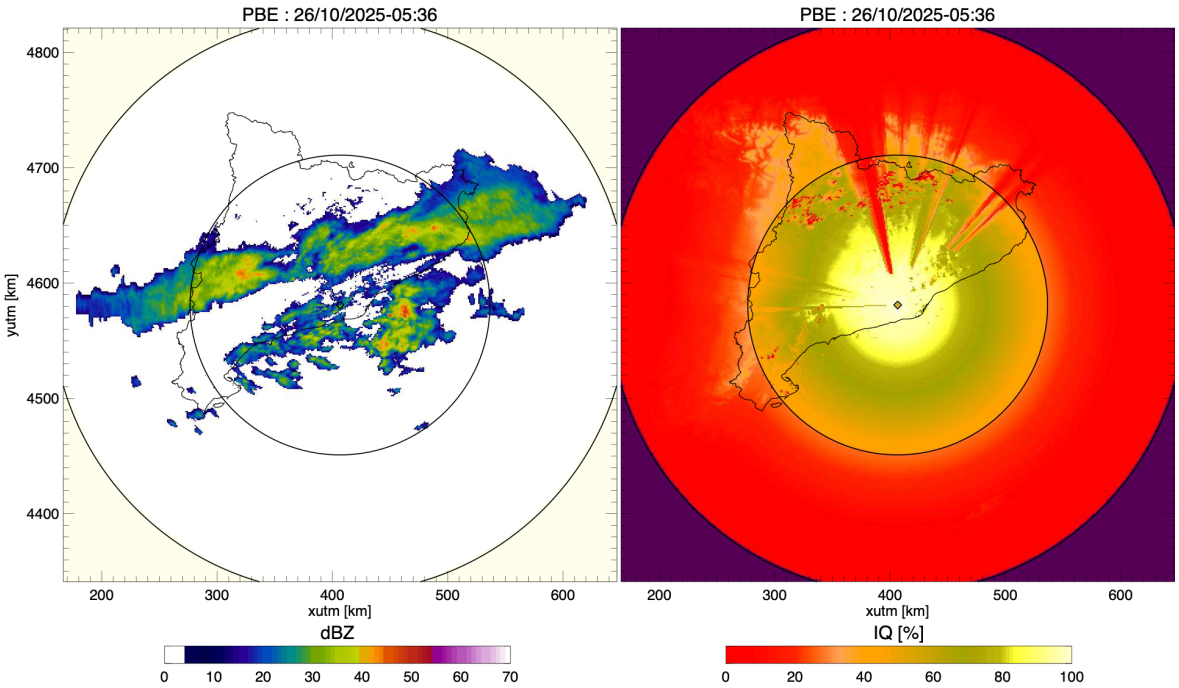


Figura 31. Mapa de reflectivitat i mapa d'índex de qualitat. Imatge 26/10/2025-05:36. Radar PBE.

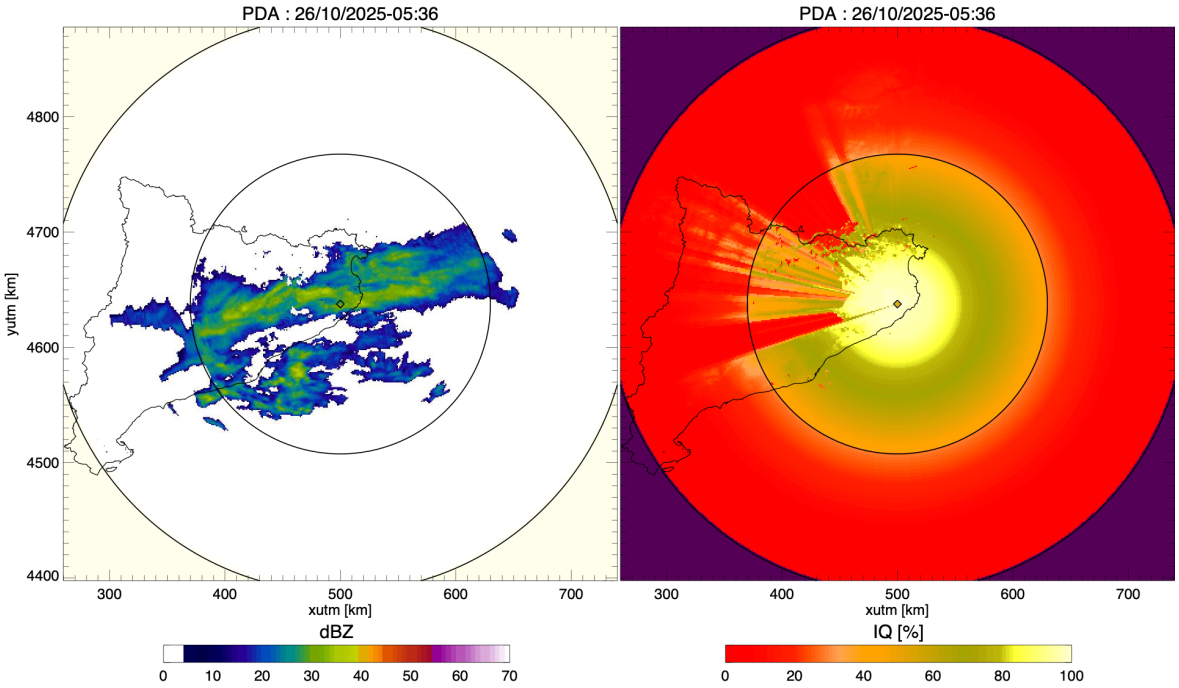


Figura 32. Mapa de reflectivitat i mapa d'índex de qualitat. Imatge 26/10/2025-05:36. Radar PDA.

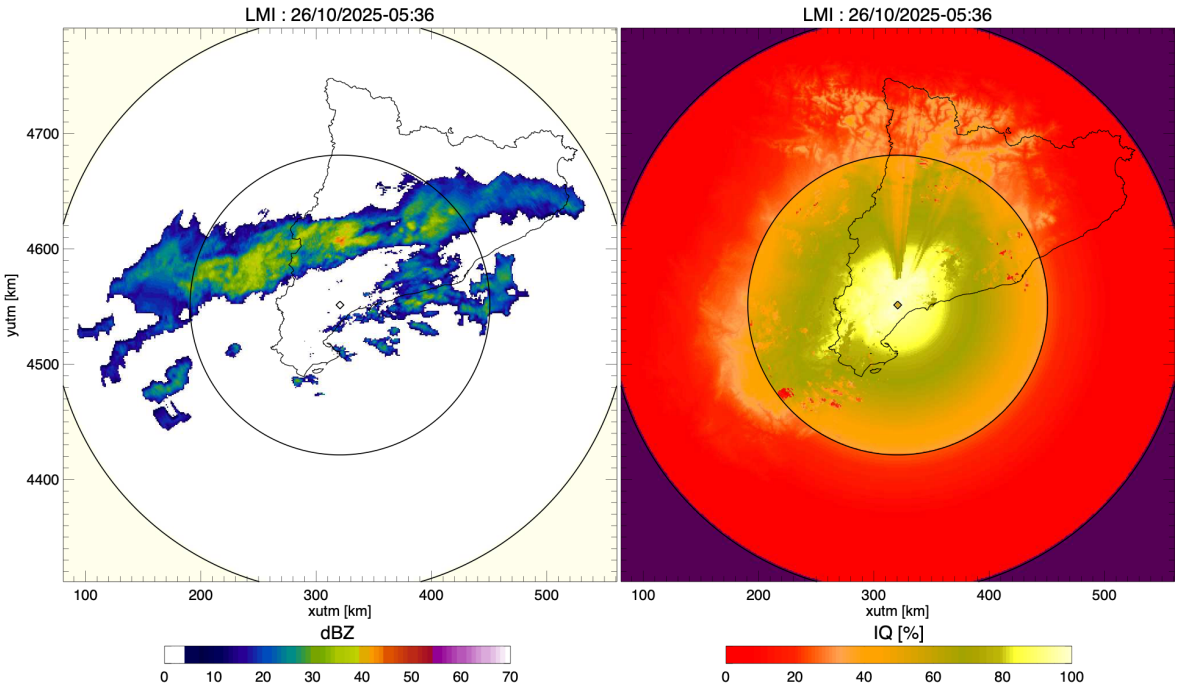


Figura 33. Mapa de reflectivitat i mapa d'índex de qualitat. Imatge 26/10/2025-05:36. Radar LMI.

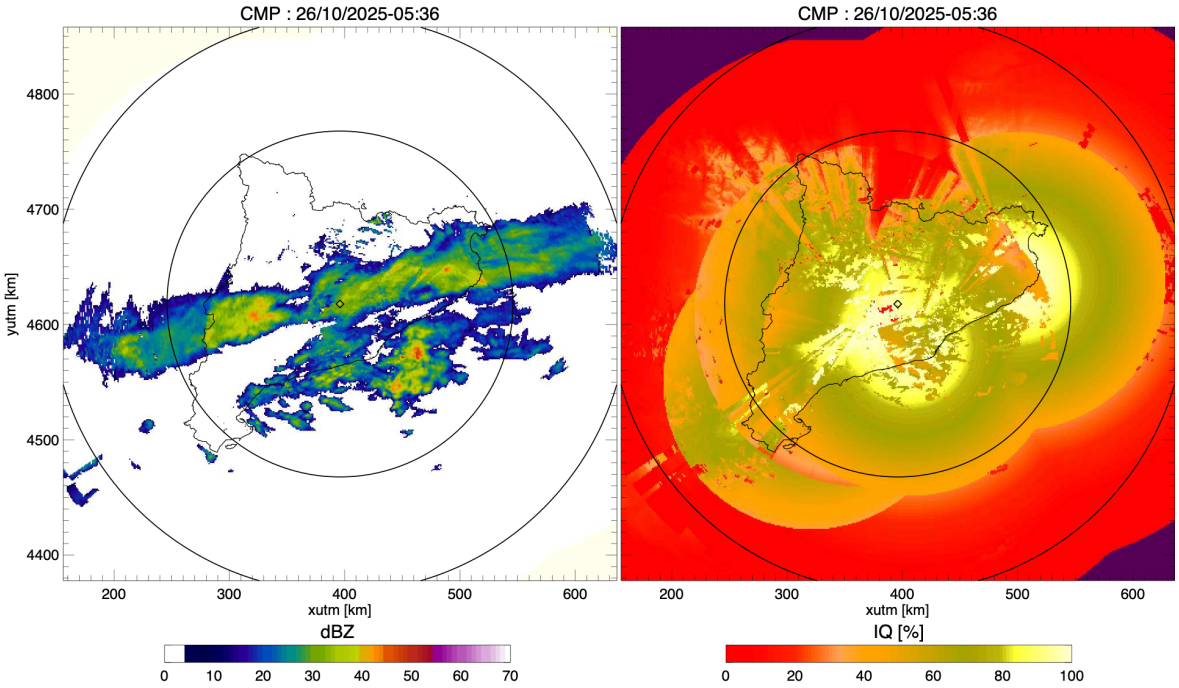


Figura 34. Mapa de reflectivitat i mapa d'índex de qualitat. Imatge 26/10/2025-05:36. Composició radar CMP.

8. Noves funcionalitats de l'eina web per visualitzar els productes radar

Durant l'any 2025 s'ha mantingut l'operació de l'eina web per visualitzar els productes radar (accessible a la URL http://gebrada.upc.es/smc-visor/), i s'ha avançat en els desenvolupaments identificats al contracte.

8.1. Inclusió de noves capes i canvis al visor

- S'ha afegit la capa d'acumulacions de 6 minuts (AC6M) al visor.
- S'ha completat i revisat les descripcions dels diversos productes al visor.
- S'ha solucionat l'error que feia desaparèixer els límits comarcals quan s'augmentava el nivell de zoom a banda d'altres problemes puntuals amb els mapes cartogràfics de base.
- S'han agrupat les capes estàtiques, abans repetides a tots els grups, en un grup fix al que s'hi pot accedir en qualsevol moment.

A banda d'aquests canvis, s'ha treballat en col·laboració amb els tècnics de l'SMC, en afegir les observacions pluviomètriques 30-minutals de la XEMA i de la xarxa de l'ACA en el mòdul d'acumulacions 30-minutals -"Productes xarxa (CMP)"-. Al finalitzar el projecte, s'ha identificat la font de les dades i el sistema web està preparat per la seva visualització. La inclusió d'aquestes dades queda pendent per desenvolupaments futurs.

8.2. Còmput personalitzat d'acumulació en un interval al mòdul "Productes xarxa (CMP)"

A partir dels hietogrames puntuals generats al clicar el mapa de precipitació al mòdul "Productes xarxa (CMP)", s'ha afegit la funcionalitat que permet seleccionar l'interval de temps d'anàlisi i calcular l'acumulació de precipitació. Aquest càlcul es fa a partir de les acumulacions de 6 minuts (no es visualitzen) i està disponible quan s'han seleccionat els productes d'acumulació de 30 minuts, 3 hores o 12 hores.

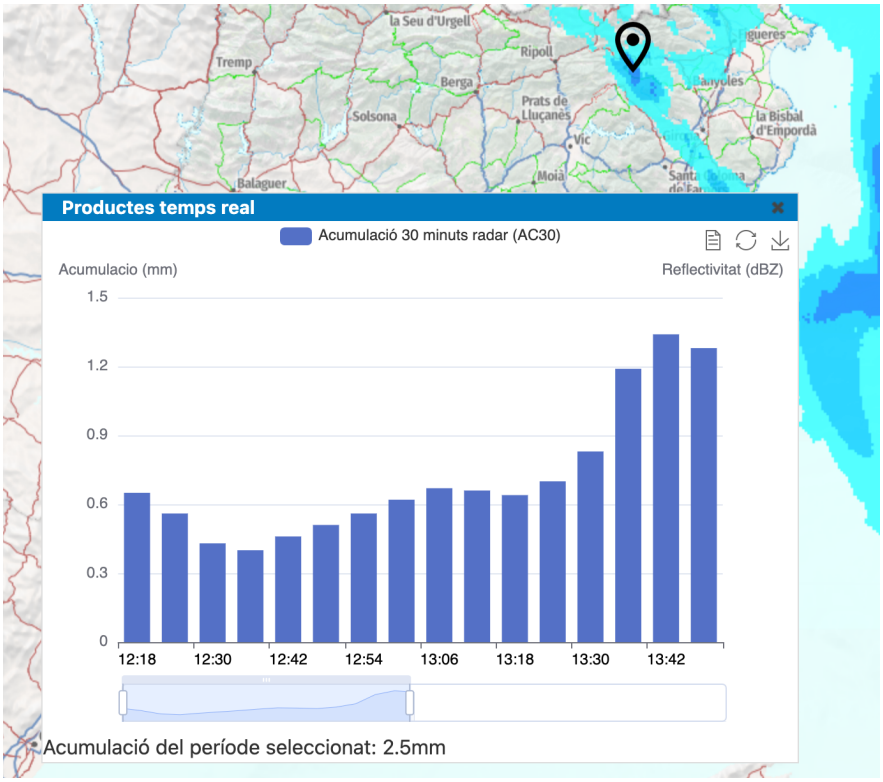


Figura 35. Interfície del visor que permet seleccionat l'interval de temps pel que es vol obtenir l'acumulació.

8.3. Llistat d'alertes més recents

S'ha avançat amb la inclusió d'un llistat de les alertes comarcals més recents (últimes 24 hores). Per assolir aquest objectiu s'han realitzat els desenvolupaments següents:

- Al mòdul "Productes temps real" s'hi ha inclòs un nou grup de capes amb les alertes generades pels nous llindars:
  - Alertes comarques 20mm/30min
  - Alertes comarques 30 min
  - Alertes comarques 3 hores
  - Alertes comarques 12 hores
- S'ha creat una base de dades on guardar la informació de les alertes a la que s'hi pot ràpidament.
- S'ha creat una API d'ús intern per obtenir les dades d'aquestes alertes.
- S'ha adaptat l'eina web per visualitzar els productes de radar perquè accedint a l'API sigui capaç de mostrar una llista de les alarmes més recents.

Aquestes funcionalitats han permès preparar una primera versió del desenvolupament per mostrar les alertes de les últimes 24 hores al visor. Aquestes alertes es resumeixen per comarques, i les alertes de manera que les alertes a cada comarca són consultables (Figura 36). Tanmateix, la funcionalitat encara no es troba en funcionament a la versió operativa de la plataforma. Per finalitzar aquest desenvolupament (es posarà en producció durant el mes de gener de 2026), es seguiran els passos següents:

- Es validaran les dades que es mostren.
- S'automatitzarà l'entrada de dades a la base de dades.
- S'ampliarà l'interval de temps de les alertes que es mostren per tal que es visualitzin les que s'han generat en les últimes 24 hores.

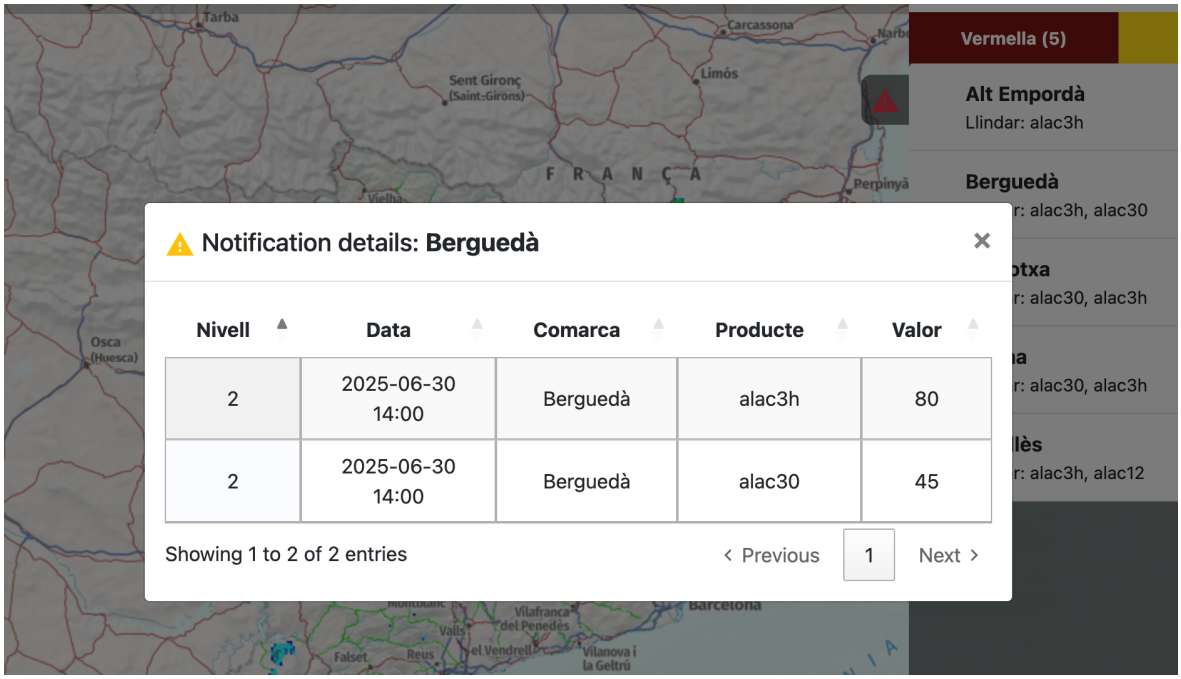


Figura 36. Interfície del visor que permet consultar les notificacions d'alertes i els seu detalls.

9. Conclusions

L'informe presenta els resultats del projecte i resumeix l'estat dels desenvolupaments realitzats. L'execució del projecte s'ha fet en coordinació amb l'equip de l'SMC, fet que ha permès un diàleg fluid i l'adaptació de les tasques del projecte a les necessitats de l'SMC al llarg de l'any.

En general, les tasques previstes en el Plec de Prescripcions Tècniques s'han desenvolupat tal i com estava previst i s'han aconseguit els objectius previstos. Durant les properes setmanes i en coordinació amb l'equip tècnic de l'SMC, es portaran els resultats que estan pendents d'aplicació al servidor operatiu.

9.1. Actualització de paràmetres de la XRAD a l'EHIMI

L'estudi de la calibració dels radars mostra que cal aplicar un factor de calibració per compensar la subestimació de la precipitació. Es proposa augmentar els factors respecte dels proposats a l'informe de 2024 i esperar a l'anàlisi d'episodis de precipitació nous abans de modificar la calibració d'LMI. En aquest sentit, es proposa considerar la possibilitat d'excloure'l del producte de composició, com a mínim a les zones cobertes per altres radars.

L'anàlisi de l'orientació dels radars de la XRAD mostra que els errors en azimut i elevació detectats no són significatius en cap dels 4 radars operatius de la XRAD. Tot i així, podria ser convenient revisar l'orientació en azimut del radar de PBE, ja que s'ha estimat un error de 0,20º en sentit antihorari.

L'algorisme automàtic per a la identificació d'azimuts afectats per interferències ha estat en funcionament des de principis de 2025. En dies sense precipitació, aquesta informació s'utilitza en el processat de les observacions de reflectivitat per corregir les observacions afectades. Durant l'any 2025, s'ha ampliat l'aplicació del sistema a les situacions amb precipitació, actualitzant la màscara d'azimuts a corregir per defecte amb els resultats de l'algorisme de detecció automàtica en dies previs.

9.2. Adaptació del programari per a la ingestió de dades en format Rainbow

Com a part d'aquesta tasca, s'han ampliat les funcions de lectura i escriptura del mòdul GRcat de processat de dades radar de l'EHIMI i s'hi han afegit les capacitats següents:

- Lectura de scans volumètrics polars en format Rainbow.
- Escriptura de volums polars processats en format NetCDF, d'acord amb les especificacions CFRadial2 d'NCAR.
- Escriptura de dades cartesianes en superfície (específicament, camp de reflectivitat en superfície i acumulacions radar) en format HDF5, d'acord amb les especificacions ODIM H5 del projecte OPERA d'EUMETNET.

En tancar aquest informe, aquesta tasca està sent supervisada per l'SMC per verificar que aquests formats s'adapten a les seves necessitats

9.3. Índex de qualitat dels productes de precipitació acumulada

L'objectiu final d'aquest índex de qualitat és que acompanyi al producte d'acumulació diària donat per la combinació radar-pluviòmetres, i s'obté integrant matrius de qualitat resultants

a cada pas del càlcul: processat radar individual, composició de radars, acumulació diària radar i combinació radar-pluviòmetres.

Aquest any, els desenvolupaments s'han centrat en el mòdul de càlcul de l'índex de qualitat de les imatges radar processades per cada radar. En la nova versió, l'índex de qualitat pren valors entre 0 (qualitat mínima) i 1 (qualitat màxima) i es calcula com el producte dels índexs parcials associats a tres variables que afecten la qualitat de la mesura radar: el grau de bloqueig orogràfic, la distància al radar i l'alçada de la mesura. S'ha definit una primera versió de les funcions contínues que relacionen la qualitat amb aquestes tres variables. Finalment, aquests mapes de qualitat de cada radar s'utilitzen per generar el mapa de qualitat de la imatge composada.

Aquest desenvolupament és part del mòdul de processat de les dades volumètriques de radar, i els resultats del mapa de qualitat s'estan generant operativament.

Queda pendent la discussió amb l'equip tècnic de l'SMC sobre la configuració definitiva de les funcions de qualitat i, també, el format amb què cal exportar el mapa amb l'índex de qualitat. Un cop s'hagin pres aquestes decisions, es procedirà a incloure els nous desenvolupaments en el càlcul del mapa de qualitat dels productes d'acumulació derivats.

9.4. Millora dels productes combinats radar-pluviòmetres

S'ha fet una modificació del mètode de càlcul del producte d'acumulació diària per combinació radar-pluviòmetres per tal que es calculi com la suma de les 24 acumulacions horàries (suma dels 24 fitxers CMPAC1C del dia). S'ha vist que amb aquest canvi es reduïen molt els artefactes observats quan el càlcul es feia combinant les acumulacions diàries de radar i pluviòmetres. Mentrestant, des del punt de vista quantitatiu, amb la nova configuració els resultats són molt semblants als que s'obtenien amb la configuració que ha funcionat fins ara.

Al tancament d'aquest informe, la nova configuració està funcionant al servidor de desenvolupament en paral·lel a la línia de producció convencional. Els fitxers que s'estan generant mantenen el nom original, però es desen en un directori diferent. Abans de posar aquesta configuració en funcionament operatiu, cal consensuar amb l'equip de l'SMC com es farà la transició cap a l'ús del nou producte.

També s'ha treballat en el desenvolupament d'un mètode que incorpora la informació de l'altitud del terreny en el càlcul d'acumulacions per combinació de dades de radar i pluviòmetres. El mètode aplicat utilitza la informació de l'altitud efectiva relativa a la de les valls properes, amb una resolució d'1 km i definida sobre la mateixa malla que el producte de precipitació radar.

Els resultats obtinguts amb el nou mètode mostren un efecte clar de l'altitud en els productes d'acumulació. A l'anàlisi de validació creuada sobre tots els pluviòmetres de la XEMA, però, aquest efecte queda molt atenuat. Això és degut a que el número de pluviòmetres a altituds significatives és petit respecte del total. Les diferències (sobretot des del punt de vista del biaix) són més importants, i semblen indicar un bon funcionament del mètode desenvolupat. Tanmateix, el mètode està afectat per problemes importants de sobreestimació en situacions amb calamarsa, que fan que, de moment, no sigui viable implementar-lo operativament.

9.5. Noves funcionalitats de l'eina web de visualització dels productes de radar

En el marc del projecte s'han inclòs noves capes al visor, s'han corregit errors pendents i s'ha inclòs la descripció de totes les capes. A més a més, s'ha implementat la funcionalitat que permet calcular la pluja acumulada en un punt sobre l'interval de temps seleccionat per l'operador. Aquests desenvolupaments es troben operatius al sistema web.

Finalment, s'ha avançat en afegir un resum comarcal de les alertes generades a les últimes 24 hores en base als diferents productes d'acumulació. Queden pendents els últims passos per posar aquesta funcionalitat a la versió operativa del sistema web, i s'espera poder concloure'ls durant el mes de gener de 2026.

Barcelona, desembre de 2025

Anna Berruezo
Carles Corral
Marc Berenguer