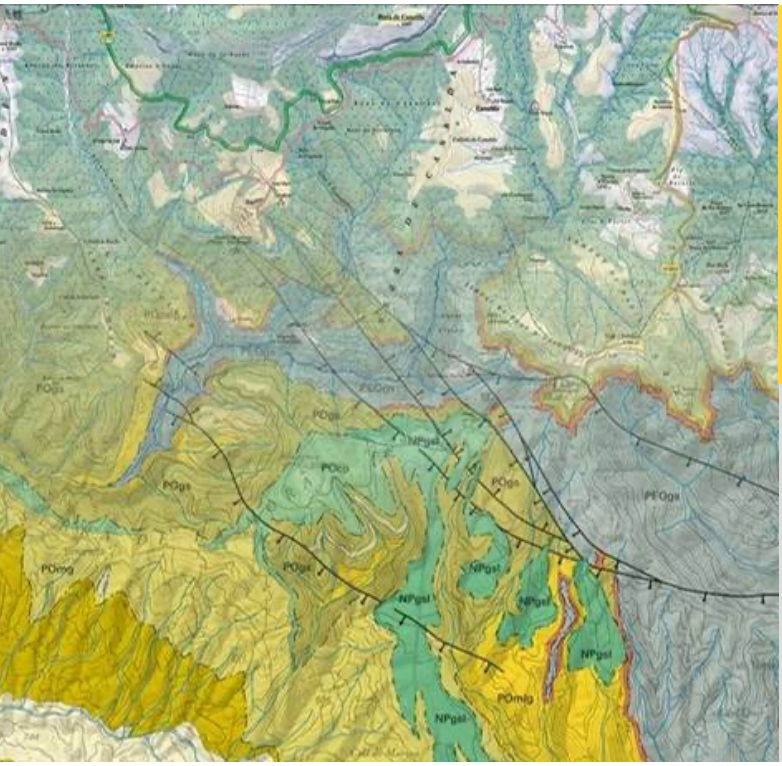
Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

ICGC Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya



Treballs d'assistència tècnica per l'operació i millora d'un sistema regional d'avís d'esllavissades en temps real. Informe anual 2024.

Centre de Recerca Aplicada en Hidrometeorologia (CRAHI).

Codi: AP-0004/25
Febrer 2025

Índex

1 Objecte del projecte 3

2 Tasques del projecte 4

3 Accés a la informació d'avisos i manteniment del sistema 5

3.1 Càlcul de la precipitació en temps real 5

3.2 Càlcul dels avisos d'esllavissades 6

3.3 Manteniment del sistema 6

4 Millora del servei 7

4.1 Incorporació de les previsions de models de predicció meteorològica 7

4.2 Millora dels algorismes de càlcul del mapa d'avisos 8

4.3 Millora del disseny i adaptació del sistema web de visualització de les noves funcionalitats 9

4.4 Generació i enviament de missatges automàtics 13

5 Conclusió 15

Referències 16

1 Objecte del projecte

Durant la primera anualitat del Servei d'Assistència Tècnica per a l'"Operació i millora d'un sistema regional d'avís d'esllavissades", el sistema s'ha operat entre l'01 de desembre de 2023 i el 30 de novembre de 2024 utilitzant les dades de precipitació del Servei Meteorològic de Catalunya. Aquestes dades de precipitació s'han pogut utilitzar gràcies a l'acord al que s'ha arribat entre aquesta institució i l'Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya (ICGC) per al seu ús en el marc d'aquest projecte.
Com s'explicava a l'informe final del Servei d'Assistència Tècnica per la "Implementació d'un sistema d'avís d'esllavissades en temps real" (Berenguer et al., 2023), el sistema d'alerta d'esllavissades que s'ha utilitzat com a punt de partida d'aquest projecte es basa en les versions de Berenguer et al. (2015) i Palau et al. (2020; 2022): a partir de la combinació de la susceptibilitat del terreny (amb una resolució de 30 m) i de la magnitud de la situació de precipitació (expressada a partir de 3 corbes intensitat-durada llindar), s'avalua el nivell d'avís d'esllavissades en 4 classes: nivells molt baix, baix, moderat i alt (Figura 1).

Aquest informe s'ha preparat com un resum executiu dels resultats de les tasques del projecte durant la primera anualitat, i se centra en les millores introduïdes al sistema.

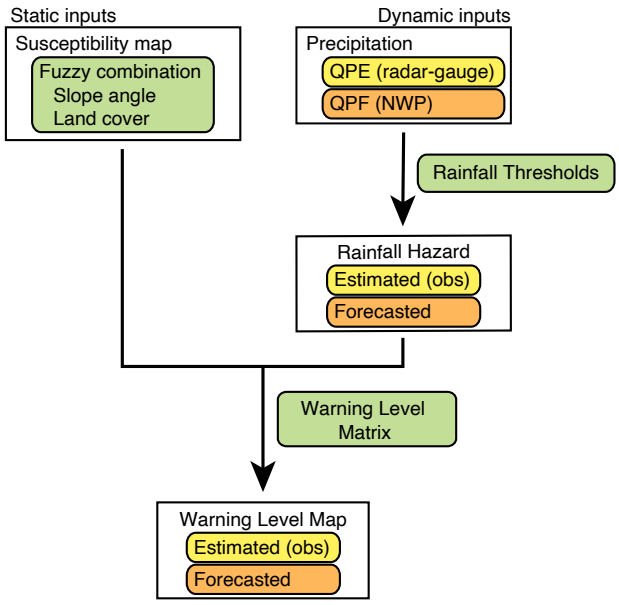


Figura 1. Esquema conceptual del sistema d'avisos d'esllavissades aplicat en el marc del projecte en el que s'han incorporat les previsions de precipitació de models de predicció meteorològica. Font: Adaptat de Palau et al. (2020).

2 Tasques del projecte

El projecte s'ha organitzat en les tasques següents:

- Tasca 1: Accés a la informació d'avisos i manteniment del sistema.
    - Subtasca 1.1: Càlcul de la precipitació en temps real
    - Subtasca 1.2: Càlcul dels avisos d'esllavissades
    - Subtasca 1.3: Manteniment del sistema

- Tasca 2: Millora del servei.
    - Subtasca 2.1: Incorporació de les previsions de models de predicció meteorològica.
    - Subtasca 2.2: Millora del mapa de susceptibilitat del terreny
    - Subtasca 2.3: Millora de l'anàlisi de llindars de pluja
    - Subtasca 2.4: Millora dels algorismes de càlcul del mapa d'avisos
    - Subtasca 2.5: Millora del disseny i adaptació del sistema web de visualització de les noves funcionalitats
    - Subtasca 2.6: Generació i enviament de missatges automàtics

- Tasca 3: Avaluació dels resultats obtinguts i informe final.

3 Accés a la informació d'avisos i manteniment del sistema

Aquesta tasca consisteix fonamentalment en l'operació del sistema al llarg de la durada del projecte. El sistema va entrar en funcionament a la signatura del contracte (01 de desembre de 2023) i s'ha mantingut en funcionament des de llavors.
La Taula 1 presenta la llista de dades d'entrada i sortida del sistema i de les seves resolucions espacial i temporal.

Taula 1. Detalls de les dades d'entrada i de sortida del sistema d'avís d'esllavissades.

	Descripció	**Resolució**	**Referència principal**
Mapa de susceptibilitat	Obtingut combinant el pendent i la cobertura del terreny	30 m	Palau et al. (2020)
Camp de pluja	Acumulació QPE	1 km, 1 h	Velasco-Forero et al. (2009)
	Acumulació QPF	3 km, 1h, 0-48 h (cada 12 hores)	SMC
Nivell d'avís	Calculat pel sistema d'avisos d'esllavissades	30 m, 1 h	Palau et al. (2022)
Nivell d'avís màxim en una àrea	Sobre un polígon (sub-conca o municipi)	Polígon, 1h	Palau et al. (2020)

3.1 Càlcul de la precipitació en temps real

El sistema re-calcula el nivell d'avís d'esllavissades cada cop que es reben noves dades de precipitació. Aquestes dades es reben als servidors del CRAHI de la UPC, i es processen per calcular les sèries de precipitació utilitzades pel sistema.

A la versió inicial del sistema, les dades de precipitació consistien en les estimacions generades pel Servei Meteorològic de Catalunya a partir de les observacions pluviomètriques i les estimacions per radar. La resolució espacial i temporal d'aquestes dades de precipitació són 1 km i 1 hora, i a cada pas de temps es generen les sèries de

24 hores, que s'utilitzen per estimar el nivell de perill d'aquesta precipitació per comparació amb 3 corbes intensitat-durada.

3.2 Càlcul dels avisos d'esllavissades

Combinant el nivell de perill de la precipitació amb la susceptibilitat del terreny (amb una resolució de 30 m), s'estima el nivell d'avís d'esllavissades a partir d'una matriu de confusió pre-fixada. El mapa resultant s'actualitza amb una freqüència d'1 hora i té la mateixa resolució espacial (30 m) que el mapa de susceptibilitat utilitzat.

A partir d'aquest mapa, els resultats s'integren territorialment per sub-conques, per municipis i per comarques.

Cada vegada que el nivell d'avís d'esllavissades és significatiu (moderat o alt) en una nova comarca, el sistema envia automàticament un correu electrònic amb la llista de noves comarques i municipis amb un nivell d'avís significatiu.

3.3 Manteniment del sistema

El sistema s'ha mantingut operatiu des de la data d'inici del servei. S'ha donat accés als avisos d'esllavissades a través d'una plataforma web que permet l'anàlisi de la situació tant en temps real com en mode històric.

Les incidències que s'han produït (la gran majoria relacionades amb la disponibilitat dels productes al visor web), s'han resolt amb un temps de resposta de menys de 2 dies.

4 Millora del servei

4.1 Incorporació de les previsions de models de predicció meteorològica

Una de les millores principals del sistema a desenvolupar en el marc del projecte és l'extensió de les sèries de precipitació observada (passada) amb les previsions de pluja generades per un model numèric de predicció meteorològica.

En aquest cas, s'han utilitzat les previsions de pluja generades pel Servei Meteorològic de Catalunya amb la seva configuració de 3 km del model meteorològic WRF. A l'SMC, aquest model s'actualitza cada 12 hores i genera previsions amb resolució horària i fins a 72 hores d'antelació.

A l'aplicació al sistema d'avís d'esllavissades, les sèries de precipitació observada s'han ampliat amb 48 hores de pluja prevista. Això permet generar previsions del nivell d'avís d'esllavissades per temps de previsió entre 0 hores (estimació) i 48 hores.

La Figura 2 mostra el canvi del funcionament del sistema a l'incorporar-hi les prediccions del model meteorològic WRF al càlcul del perill associat a la precipitació: en mode d'observació, el sistema només utilitza la precipitació observada per calcular el nivell d'avís d'esllavissades de l'instant actual (per tant, no utilitza previsions meteorològiques); en canvi, en mode de previsió, la sèrie de pluja observada s'amplia amb 48 hores de prediccions de precipitació horària del model meteorològic. Amb aquesta nova configuració, el sistema d'alertes d'esllavissades s'executa 48 vegades (una cada hora) per calcular el nivell d'avís des de l'instant actual fins a la previsió amb 48 hores d'antelació.

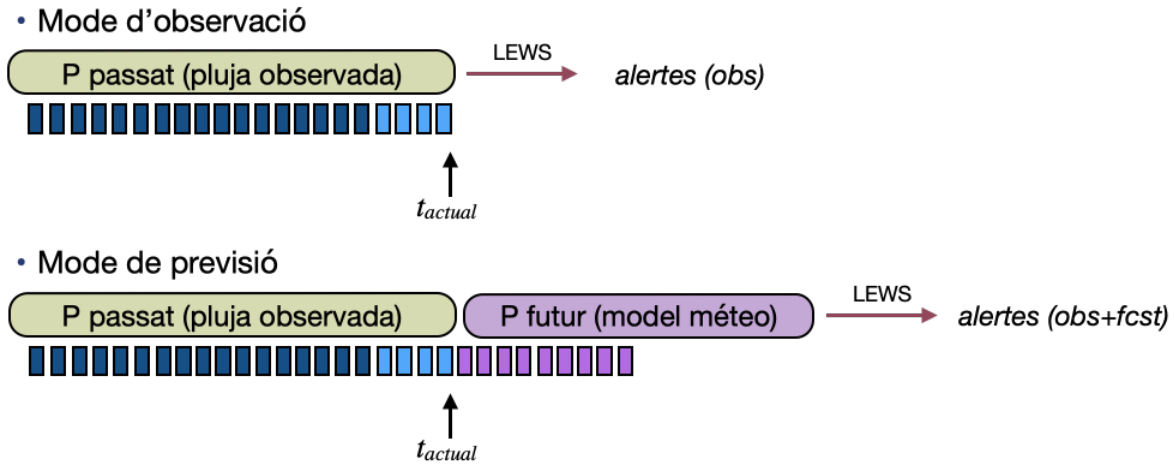


Figura 2. Esquema conceptual dels dos modes de funcionament del sistema: en mode d'observació, el sistema calcula el nivell l'avís d'esllavissades a l'instant present a partir de les observacions (passades) de precipitació de les últimes 24 hores; en mode de previsió, el sistema calcula les previsions del nivell d'avís d'esllavissades des de l'instant actual i fins a una antelació màxima de 48 hores, combinant les observacions de les últimes 24 hores i previsions de precipitació per les properes 48 hores.

Aquesta millora del sistema es va aplicar durant el mes de juliol de 2024.

4.2 Millora dels algorismes de càlcul del mapa d'avisos

Durant la primera anualitat, s'ha re-programat completament el sistema informàtic encarregat del càlcul dels avisos d'esllavissades. La nova versió s'ha organitzat com una llibreria de Python, en què el sistema s'ha organitzat en 4 mòduls:

- Mòdul de susceptibilitat (defineix el suport dels resultats)
- Mòdul de processat de la precipitació.
- Mòdul de càlcul del perill de la precipitació. Es basa en la configuració dels llindars Intensitat-Durada de la precipitació. Amb la nova configuració, permet tenir en compte la variabilitat espacial dels llindars.
- Mòdul de càlcul del nivell d'avís d'esllavissades (per combinació de susceptibilitat i perill de precipitació).

La nova llibreria és altament configurable i permet una gran flexibilitat en la combinació de diferents alternatives pels diferents mòduls.

Aquesta nova versió del sistema es va posar en funcionament en temps real durant el mes de setembre de 2024.

4.3 Millora del disseny i adaptació del sistema web de visualització de les noves funcionalitats

Durant la primera anualitat s'han aplicat diverses millores en la plataforma web de visualització del nivell d'avís d'esllavissades en temps real.

4.3.1 Mòdul de resum (0-48 hores)

S'ha afegit un mòdul de resum que presenta les previsions del nivell d'avís d'esllavissades en 4 horitzons temporals:

- Nivell màxim d'avís de les últimes 24 hores en base a observacions de precipitació (Figura 3).
- Nivell màxim d'avís previst per les properes 6 hores (Figura 4).
- Nivell màxim d'avís previst per les properes 6-24 hores (Figura 5).
- Nivell màxim d'avís previst per les properes 24-48 hores (Figura 6).

L'avantatge d'aquest mòdul és que presenta de manera succinta la situació actual a partir de les previsions (amb resolució horària) del nivell d'avís d'esllavissades (veure apartat 4.1).

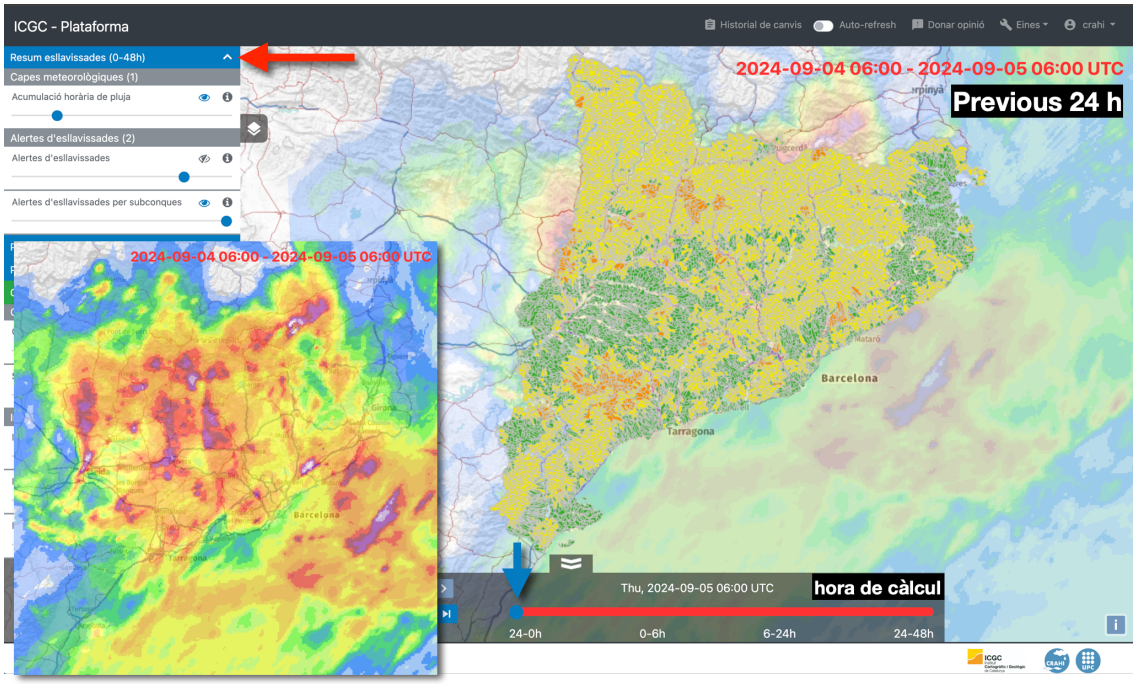


Figura 3. Nivell de d'avís d'esllavissades generat el 05 de setembre de 2024 a les 06:00 UTC per les últimes 24 hores (des del 04 de setembre a les 06:00 UTC fins el 05 de setembre a les 06:00 UTC). La figura inferior esquerra mostra la pluja acumulada durant el mateix període (en aquest cas, calculada a partir de les observacions).

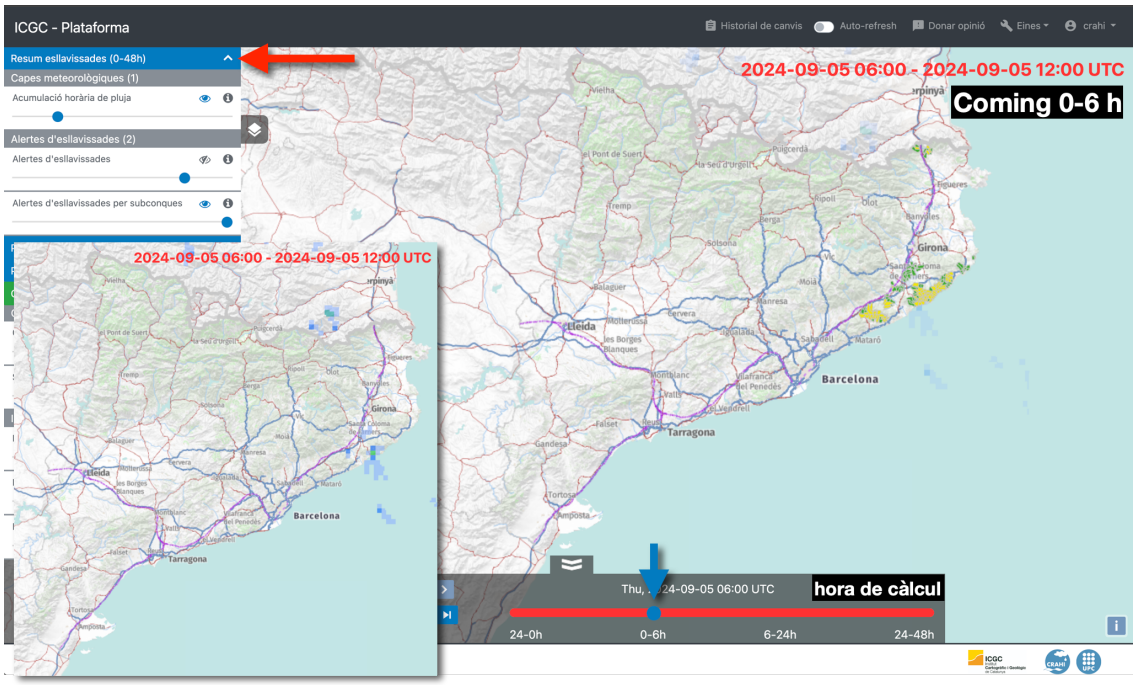


Figura 4. Nivell d'avís d'esllavissades generat el 05 de setembre de 2024 a les 06:00 UTC per les properes 6 hores (des del 05 de setembre a les 06:00 UTC fins el 05 de setembre a les 12:00 UTC). La figura inferior esquerra mostra la pluja prevista pel mateix període (en aquest cas, calculada a partir de les previsions del model numèric de predicció meteorològica).

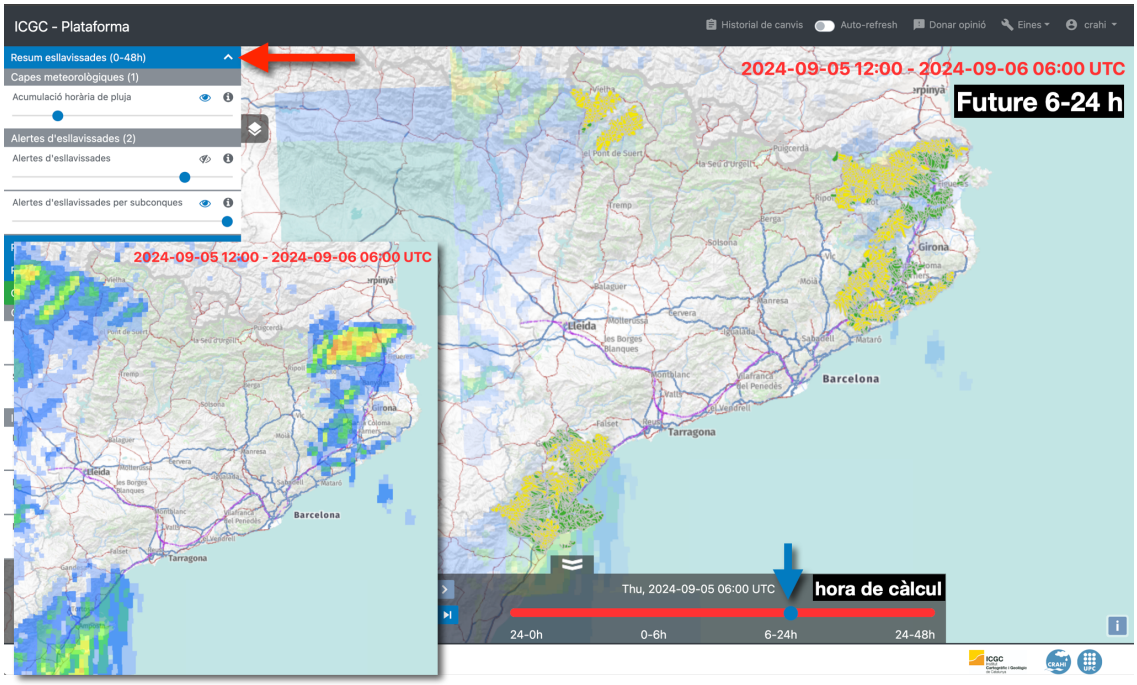


Figura 5. Nivell d'avís d'esllavissades generat el 05 de setembre de 2024 a les 06:00 UTC en el rang de previsió entre 6 i 24 hores (des del 05 de setembre a les 12:00 UTC fins el 06 de setembre a les 06:00 UTC). La figura inferior esquerra mostra la pluja prevista pel mateix període (en aquest cas, calculada a partir de les previsions del model numèric de predicció meteorològica).

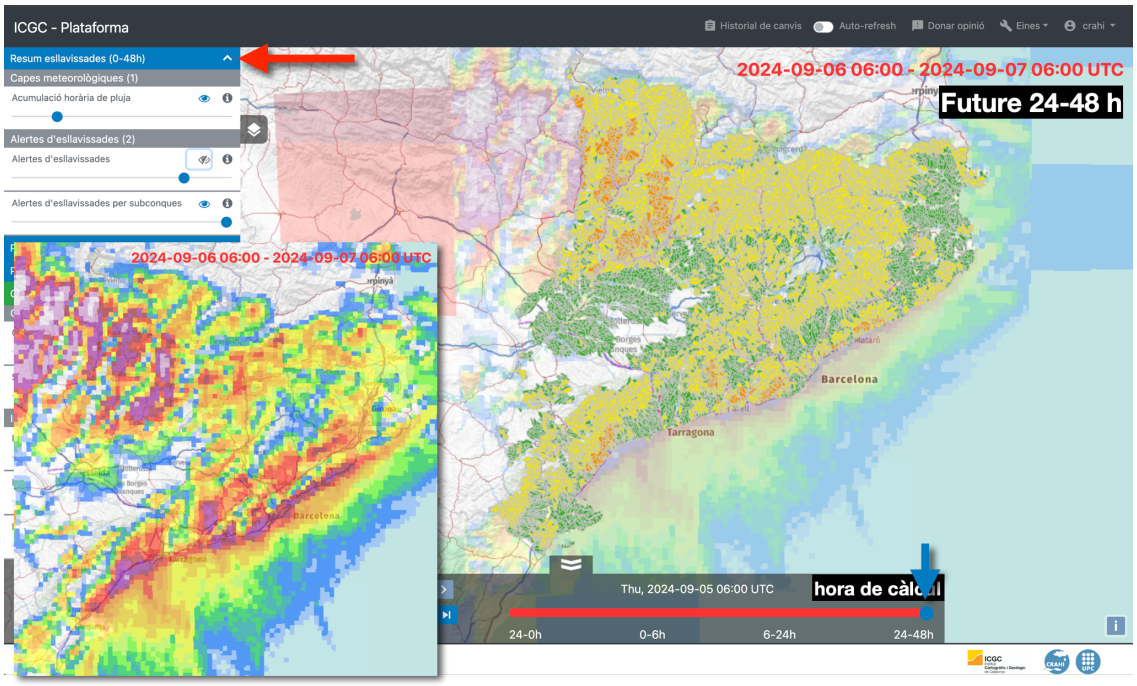


Figura 6. Nivell d'avís d'esllavissades generat el 05 de setembre de 2024 a les 06:00 UTC en el rang de previsió entre 24 i 48 hores (des del 06 de setembre a les 06:00 UTC fins el 07 de setembre a les 06:00 UTC). La figura inferior esquerra mostra la pluja prevista pel mateix període (en aquest cas, calculada a partir de les previsions del model numèric de predicció meteorològica).

4.3.2 Mòdul de productes horaris

Un cop s'han inclòs les previsions de precipitació per la generació de previsions del nivell d'avís d'esllavissades, s'ha començat a adaptar el mòdul de productes horaris per a què, a cada pas de temps, es diferenciï l'evolució del nivell d'avís d'esllavissades estimat a partir d'observacions de precipitació respecte les previsions del nivell d'avís (calculades a partir de previsions de pluja).

Amb aquest objectiu, la barra temporal d'aquest mòdul s'ha dividit en dues parts: en blanc es mostra el període d'estimacions (a partir de la pluja estimada en el passat), i en vermell el nivell d'avís previst per les properes 12 hores, en base a previsions de pluja (Figura 7).

Actualment, la versió del sistema que inclou aquesta millora es troba en fase de proves (versió de desenvolupament), i s'espera que entrarà en operació durant el primer trimestre de 2025.

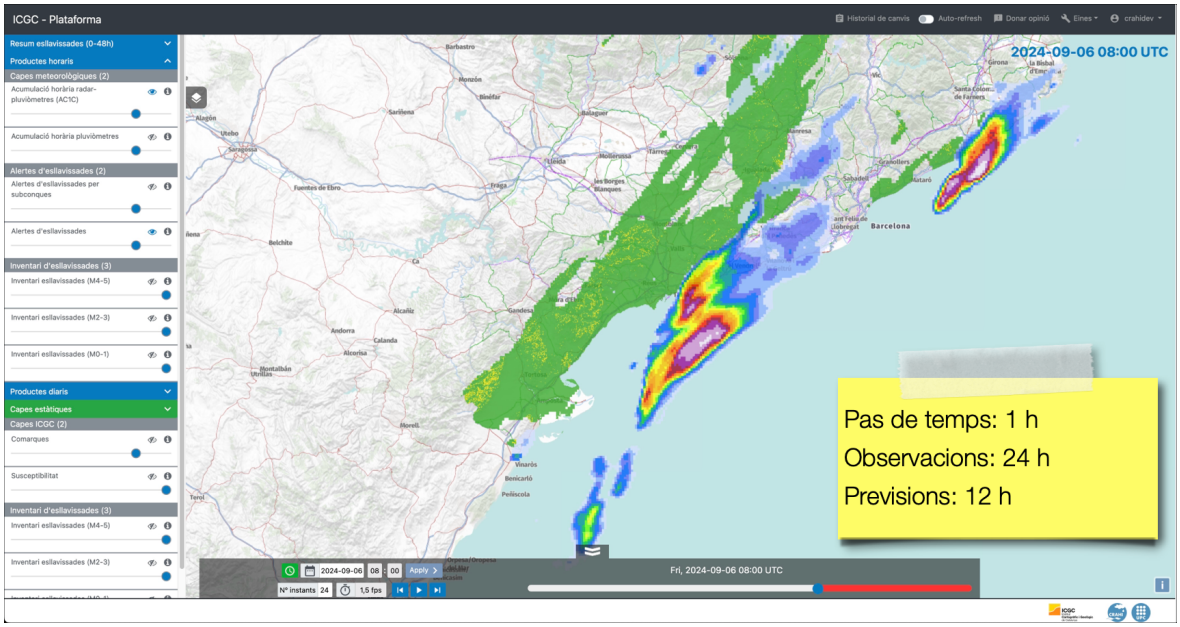


Figura 7. Estimació del nivell d'avís d'esllavissades del dia 06 de setembre de 2025 a les 08:00 UTC presentat en el mòdul de Productes horaris de la plataforma web. La part blanca de la barra temporal mostra l'evolució del nivell d'avís d'esllavissades de les últimes 24 hores (a partir d'observacions de precipitació), i la part vermella l'evolució prevista per les properes 12 hores (a partir de les previsions de pluja del model numèric de predicció meteorològica).

4.3.3 Mòdul de capes estàtiques

Durant la primera anualitat, s'ha inclòs la informació de l'inventari històric d'esllavissades com una capa estàtica del sistema. Aquesta informació es pot visualitzar juntament amb als productes de qualsevol dels mòduls dinàmics (com la resta d'informació del mòdul de capes estàtiques). La informació es mostra com tres capes independents, organitzades en funció de la magnitud: M0-M1, M2-M3, M4-M5 (Figura 8).

En paral·lel al desenvolupament d'aquesta funcionalitat de la plataforma web, s'ha aplicat un sistema per poder actualitzar dinàmicament la informació de l'inventari. Amb aquest objectiu, s'ha creat un usuari de la base de dades on s'emmagatzema aquesta informació per l'ICGC, qui envia la informació actualitzada un cop a la setmana.

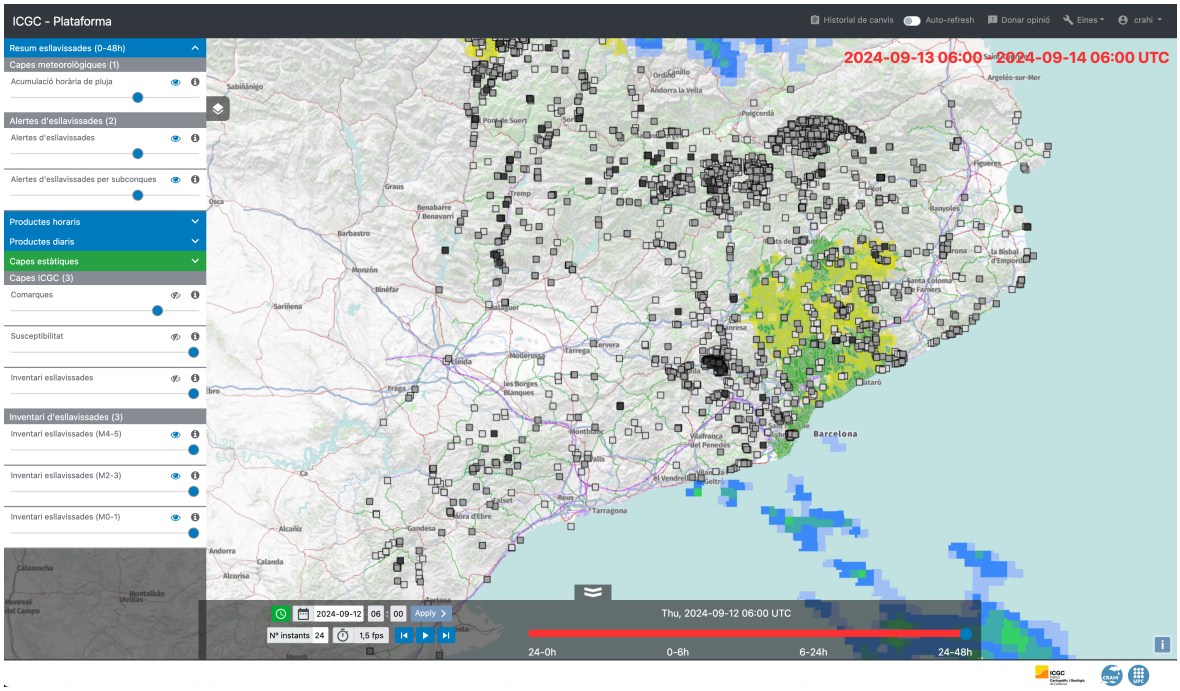


Figura 8. Captura de la plataforma amb l'inventari d'esllavissades al mòdul de capes estàtiques.

4.4 Generació i enviament de missatges automàtics

Des de l'inici del projecte, s'han enviat 392 correus electrònics d'avís d'esllavissades (cada cop que el nivell d'avís és mitjà o alt a una nova comarca) en 117 dies diferents.

Aquests missatges inclouen els mapes de precipitació estimada a l'última hora i del nivell d'avís d'esllavissades, i la llista de comarques (i municipis de cada comarca) en què el nivell d'avís és moderat o alt (Figura 9).

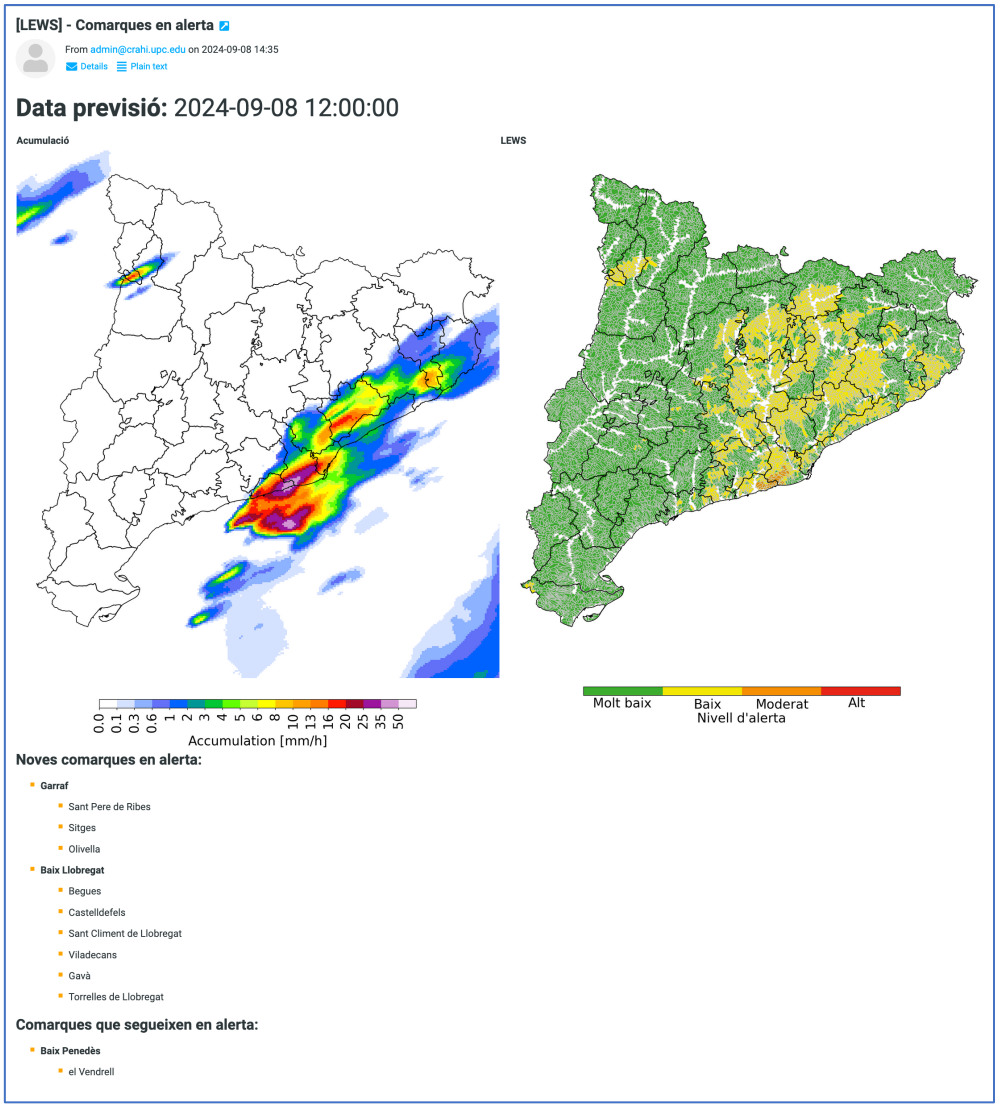


Figura 9. Missatge automàtic enviat el dia 08 de setembre de 2024 pel nivell d'avís d'esllavissades a les 12:00 UTC.

5 Conclusió

L'objectiu d'aquest projecte és l'operació i millora del sistema d'avís d'esllavissades, i l'anàlisi dels resultats obtinguts. Per assolir aquest objectiu, cal la col·laboració entre la UPC i l'ICGC tant per la discussió sobre les diferents components del sistema (mapa de susceptibilitat i llindars de precipitació), sobre la plataforma web de presentació dels resultats en temps real i enviament de missatges, i l'avaluació dels resultats.

Des de l'inici del projecte, les diferents components del sistema han estat funcionant de manera contínua (amb molt poques interrupcions i resoltes amb períodes de temps molt curts). En paral·lel, s'han anat aplicant les millores descrites en aquest informe:

- Re-programació del sistema com una llibreria modular, altament configurable.
- Extensió de les sèries de precipitació amb les previsions d'un model numèric de predicció meteorològica.
- Millores de la plataforma web d'accés a les previsions del nivell d'avís d'esllavissades en temps real (nou mòdul de resum de les previsions, millora del mòdul de productes horaris i actualització automàtica de l'inventari d'esllavissades que es visualitza com una capa estàtica).

Així doncs, el projecte està avançant d'acord amb el pla previst inicialment.

Referències

Berenguer, M., D. Sempere-Torres, and M. Hürlimann, 2015: Debris-flow forecasting at regional scale by combining susceptibility mapping and radar rainfall, **Natural Hazards and Earth System Sciences**, 15, 587-602.

ICGC, 2021: Guia per l'elaboració d'Estudis d'Identificació de Riscos Geològics per a urbanisme (EIRG). AP-0001/21, 71 pp.

Palau, R. M., M. Hürlimann, M. Berenguer, D. Sempere-Torres, 2020: Influence of the mapping unit for regional Landslide Early Warning Systems. Comparison between pixels and polygons in Catalonia (NE Spain). **Landslides**, 17, 2067-2083.

Palau, R.M., M. Berenguer, M. Hürlimann, D. Sempere-Torres, 2022: Evaluation of a regional-scale landslide early warning system during the January 2020 Gloria storm in Catalonia (NE Spain). **Landslides**, 19, 1599–1616, doi: 10.1007/s10346-022-01854-2.

Velasco-Forero, C., D. Sempere-Torres, E. Cassiraga, J.J. Gómez-Hernández, 2009: A non-parametric automatic blending methodology to estimate rainfall fields from rain gauge and radar data. **Advances in Water Resources**, 32, 986-1002.

Barcelona, 6 de maig de 2025

Marc Berenguer

Anna Berruezo

Víctor González