

Causes meteorològiques i contextualització climàtica de la precipitació del temporal Glòria¹

Joan Albert López-Bustins
jlopezbustins@ub.edu

Javier Martín-Vide
jmartinvide@ub.edu

*Grup de Climatologia
Departament de Geografia
Universitat de Barcelona*

Resum

Els fenòmens extrems de precipitació són propis del clima mediterrani. Estudiar les causes meteorològiques d'aquests fenòmens, així com el seu context climàtic actual i futur, ens permet reduir el risc climàtic que aquests suposen. En aquest treball s'analitza l'episodi del temporal Glòria, que va afectar Catalunya al gener de 2020. Se superaren els 400 mm a la serralada Transversal i el massís del Montseny. La situació sinòptica va estar caracteritzada per una forta advecció de l'est, que afavorí ratxes màximes de vent i fort onatge al litoral, amb la presència d'una depressió aïllada en nivells alts (DANA). Els totals pluviomètrics no foren excepcionals en relació amb altres episodis històrics recents, sinó que el temporal fou extraordinari quant a la seva duració i afectació generalitzada a tot Catalunya. En el futur, els impactes d'aquests temporals estarien més relacionats amb la gestió del territori i, en particular, del litoral, que no pas amb un increment de la seva freqüència.

Paraules clau: Catalunya, llevantada, precipitació torrencial, situació sinòptica, temporal Glòria.

Resumen: *Causas meteorológicas y contextualización climática de la precipitación del temporal Gloria*

Los fenómenos extremos de precipitación son propios del clima mediterráneo. Estudiar las causas meteorológicas de estos fenómenos, así como su contexto climático actual y

1. Els autors volen manifestar el seu agraïment al Servei Meteorològic de Catalunya (SMC, Departament de Territori i Sostenibilitat) per haver cedit les dades de precipitació diària, que han permès fer la cartografia climàtica del treball. L'estudi està inserit en les línies de recerca del projecte CLICES (CGL2017-83866-C3-2-R, AEI/FEDER, UE), del grup de recerca consolidat "Grup de Climatologia" (2017 SGR 1362, Generalitat de Catalunya) i de l'IdRA-UB (Institut de Recerca de l'Aigua de la Universitat de Barcelona).

futuro, nos permite reducir el riesgo climático que estos suponen. En este trabajo se analiza el episodio del temporal Gloria, que afectó a Catalunya en enero de 2020. Se superaron los 400 mm en la cordillera Transversal y el macizo del Montseny. La situación sinóptica estuvo caracterizada por una fuerte advección del este, que favoreció rachas máximas de viento y fuerte oleaje en el litoral, con la presencia de una depresión aislada en niveles altos (DANA). Los totales pluviométricos no fueron excepcionales en relación con otros episodios históricos recientes, sino que el temporal fue extraordinario en cuanto a su duración y afectación generalizada en Catalunya. En el futuro, los impactos de estos temporales estarían más relacionados con la gestión del territorio y, en particular, del litoral, que con el incremento de su frecuencia.

Palabras clave: temporal Gloria, Catalunya, precipitación torrencial, situación sinóptica, temporal de levante.

Abstract: *Meteorological causes and climatic contextualization of the precipitation of the storm Gloria*

Extreme precipitation phenomena are a component of the Mediterranean climate. The analysis of the meteorological causes of these phenomena, as well as their present and future climatic context, will enable us to attenuate the impact of these natural hazards. The present paper analyses the episode involving Storm Gloria, which affected Catalonia in January 2020. Total precipitation surpassed 400 mm in the Transversal and the Montseny mountain ranges. The synoptic situation was characterised by a strong easterly advection, which favoured maximum-intensity gusts winds and a strong waves on the coast, with a closed upper-level low. The rainfall totals were not exceptional in relation to other recent historic episodes; in fact, what was extraordinary were the duration of the event and its impact throughout Catalonia. In the future, the potential impacts of extreme episodes like Gloria might be more closely related to the management of the territory and, in particular, the coastline, than with the greater frequency of this kind of phenomena.

Keywords: Catalonia, Levant storm, Storm Gloria, synoptic situation, torrential precipitation.

* * *

1. Introducció

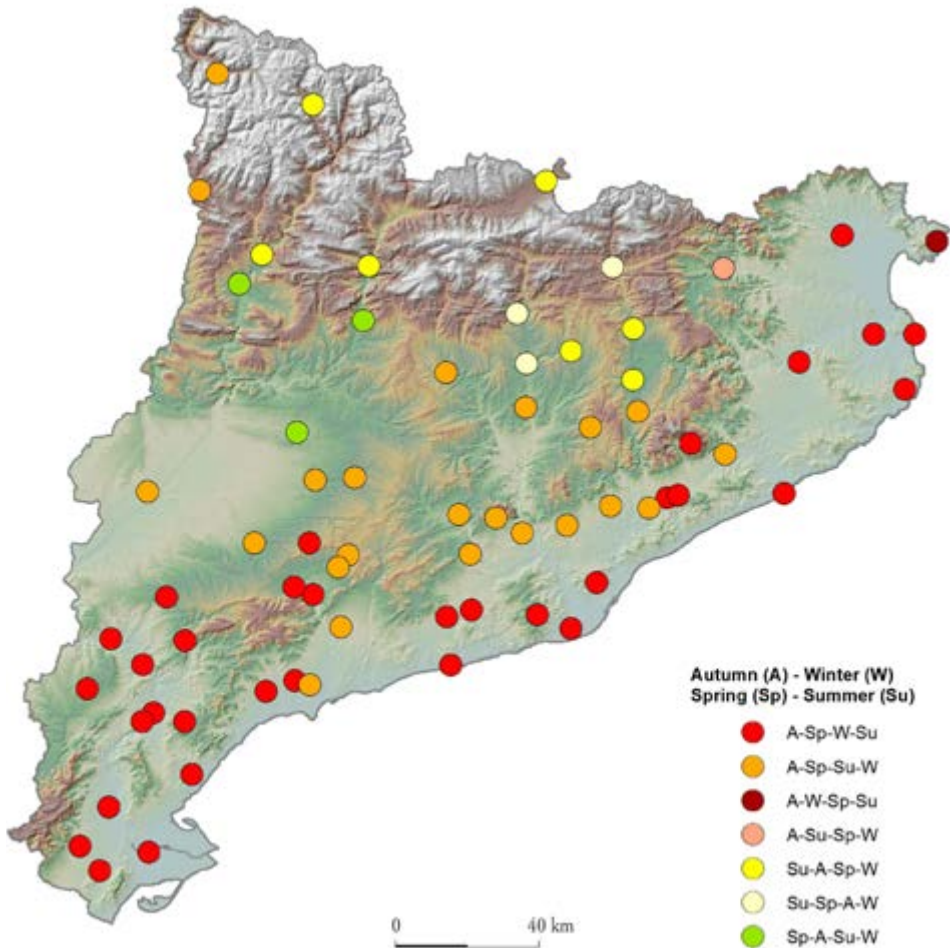
Catalunya té un clima mediterrani arreu del seu territori a excepció de la comarca de la vall d'Aran, on la seva xarxa hidrogràfica vessa a l'Atlàntic, amb un clima d'influència marítima de latituds mitjanes. El clima mediterrani s'ubica en aquella transició geogràfica entre el domini temperat i humit de les latituds mitjanes i l'àrea àrida i desèrtica del cinturó dels anticiclons subtropicals a la part occidental de les principals masses continentals. Concretament, els règims de circulació atmosfèrica de la conca mediterrània mostren un cicle estacional lligat a la circulació temperada i humida de l'oest a l'hivern i a una de subtropical a l'estiu. Cal afegir-hi la gran complexitat geogràfica de la conca

mediterrània, que té tres penínsules al vessant nord, i la seva singularitat, quasi semitancada a l'Atlàntic, que afavoreix una gran diversitat de subclimes, basats en una notable varietat de comportaments atmosfèrics, principalment, pluviomètrics. Els factors geogràfics modifiquen la dinàmica de la circulació i provoquen, en certes regions de la conca, una distribució estacional de la precipitació que difereix de la típica mediterrània. Específicament, a Catalunya, a sotavent de la influència atlàntica, la tardor és l'estació més plujosa a la major part del territori, especialment, al litoral i prelitoral, mentre l'hivern és relativament sec (Martín-Vide i Olcina Cantos, 2001); com a fet destacable, a gran part del Pirineu i Prepirineu, arribant fins a la plana de Vic, l'estiu, i a vegades la primavera, és l'estació que rep més precipitació (fig. 1). Aquesta diversitat de règims pluviomètrics estacionals afavoreix que els fenòmens extrems de precipitació puguin tenir lloc al llarg de tot l'any. Els mapes pluviomètrics de Catalunya sempre s'han representat mostrant mitjanes anuals per distingir la Catalunya humida (≥ 700 mm) de la Catalunya seca (< 700 mm). La part més occidental de la depressió Central registra els valors més baixos, per sota dels 400 mm, mentre la part més humida de Catalunya seria els Pirineus, amb valors que superen els 1.200 mm en diversos punts. En termes generals, les meitats sud i oest de Catalunya composarien la Catalunya seca, mentre la Catalunya humida seria tot el Pirineu i les terres de Girona. Aquestes mitjanes pluviomètriques no ens permeten saber quin comportament temporal ha tingut la precipitació, és a dir, les quantitats anuals poden haver precipitat durant uns pocs dies de l'any, i de caràcter torrencial, o poden haver-se repartit durant tot l'any en episodis moderats. Per tant, per a una bona gestió dels recursos hídrics en el cas del clima mediterrani són més important els mapes d'índexs pluviomètrics que els de magnitud (López-Bustins, 2018). En el cas de Catalunya, trobem alts valors d'irregularitat pluviomètrica temporal a les zones litorals i prelitorals de Catalunya, sobretot, a la plana de l'Empordà i al delta de l'Ebre (López-Bustins *et al.*, 2008), per la disposició perpendicular dels relleus a les llevantades (serralada Transversal i els Ports, respectivament) (López-Bustins i Lemus-Cánovas, 2020).

L'ocurrència d'episodis torrencials afavoreix uns valors més elevats dels índexs pluviomètrics (Lemus-Cánovas i López-Bustins, 2016); doncs, aquests episodis, que acumulen 100 mm o més en 24 hores, acostumen a tenir una freqüència de 6 casos, aproximadament, per any a Catalunya (Martín-Vide i Llasat, 2000; López-Bustins *et al.*, 2016). Al País Valencià, aquesta freqüència és pràcticament el doble (11 casos per any; Riesco i Alcover, 2003). Els episodis més intensos registrats a Europa han estat a la riba de la mar Lígur, a la Safor i a les valls pirinenques de l'Alta Cerdanya i el Vallespir, on s'han superat en alguna ocasió els 800 mm en un dia segons Peñarrocha *et al.* (2002). L'episodi més torrencial registrat a Catalunya fou el del 13 d'octubre de 1986, i el màxim pluviomètric es localitzà a Cadaqués (Alt Empordà) amb 430 mm en 24 h. Aquests episodis tenen una clara estacionalitat, assolint la seva màxima freqüència a la tardor,

moment de l'any en què s'afavoreix un alt gradient tèrmic vertical entre la superfície càlida de la mar Mediterrània i l'arribada de les primeres glopades d'aire polar en alçada. En el calendari climatològic, podem ubicar el pic de freqüència màxima de les pluges torrencials durant la segona dècada de dies del mes d'octubre, és a dir, de l'11 al 20 d'octubre (López-Bustins *et al.*, 2016); doncs, serien els dies de l'any més proclius a l'esdeveniment d'aquests episodis. Aquests dies són sovint definits per una configuració sinòptica característica conformada per vents de l'est sobre la península Ibèrica i la presència d'aire fred en alçada (DANA, depressió aïllada a nivells alts) (Martín-Vide *et al.*, 2008). Al mateix temps, aquestes situacions es defineixen per un valor negatiu de l'índex de teleconnexió atmosfèrica WeMO (*Western Mediterranean Oscillation*; Martín-Vide i López-Bustins, 2006), el qual és molt sensible a les llevantades.

Figura 1. Els règims pluviomètrics estacionals de les 70 sèries pluviomètriques històriques del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC)



A: tardor; W hivern; Sp: primavera; Su: estiu

Els vents de l'est mediterranis s'afavoreixen, principalment, quan s'ubica una depressió al golf de Cadis i/o un anticicló a la plana centreeuropea; aquestes dues zones geogràfiques són precisament els nodes del dipol baromètric de la WeMO.

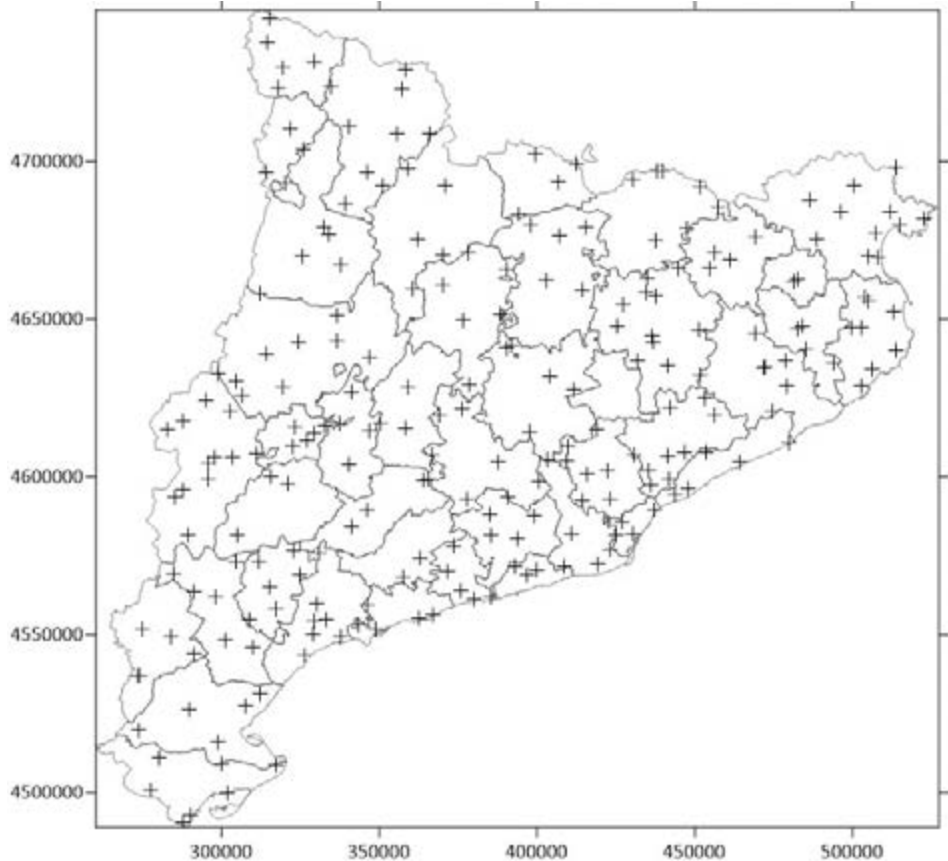
A vegades, es poden produir episodis extrems de precipitació a Catalunya fora de la temporada tardorenca. Aquest és el cas del temporal Glòria durant el mes de gener de 2020. L'episodi, des d'un punt de vista pluviomètric, va tenir una durada de quatre dies, des del 20 al 23 de gener i va afectar greument, sobretot, el litoral mediterrani de tota la península Ibèrica. Cal estudiar el motiu pel qual va tenir un episodi d'aquesta intensitat i característiques fora del període habitual, així com les seves causes i impactes. L'objectiu del present treball és analitzar aquest episodi torrencial des del punt de vista meteorològic –conèixer les causes sinòptiques– i climàtic –avaluar-lo en relació amb episodis històrics–, i intentar explicar la magnitud del seu impacte al litoral català i estudiar-ne la seva excepcionalitat i relació amb l'actual i futur context de canvi climàtic.

2. Dades i metodologia

S'han recollit les dades pluviomètriques diàries dels quatre dies que va durar el temporal Glòria (del 20 al 23 de gener de 2020) de totes les estacions automàtiques i manuals del Servei Meteorològic de Catalunya (SMC) en correcte funcionament durant tot l'episodi. S'han considerat 186 observatoris de la xarxa d'estacions automàtiques (XEMA) i 51 observatoris de la xarxa d'observadors meteorològics (XOM) (manuals); en total, 237 estacions (fig. 2). Per homogeneïtzar els registres automàtics i manuals s'ha considerat el dia pluviomètric 7-7 UTC. Aquestes dades ens permetran descriure l'episodi Glòria des del punt de vista pluviomètric amb quatre mapes de precipitació diària i un mapa de precipitació total de l'episodi. Un darrer mapa serà el percentatge d'aportació pluviomètrica del temporal Glòria a la mitjana anual per al període 1950-2015 de les 70 sèries pluviomètriques històriques del SMC (2016) (fig. 1). Tots els mapes es cartografiaran fent una interpolació de tipus *Kriging*, la qual és la més recomanable per estimar valors en l'espai continu quan els punts amb valor real segueixen una distribució espacial irregular (Krigé, 1951).

Seguidament, s'analitzaran els mapes del temps de superfície i alçada a 500 hPa per descriure l'evolució de la situació sinòptica de l'episodi. Concretament s'estudiaran els mapes sinòptics de la reanàlisi NCEP (NOAA, EUA) de les 00 UTC. Aquests mapes es complementaran amb els valors de l'índex de la WeMO (WeMOi) que va predir l'eina WeMOTool (Arbiol-Roca, 2020). L'eina WeMOTool es va desenvolupar pel potencial predictiu que té la WeMO per a l'esdeveniment d'episodis torrencials a la façana oriental de la península Ibèrica en la seva fase negativa. La WeMOTool calcula els valors del WeMOi durant les properes 144 hores a partir de la sortida de pressió atmosfèrica en superfície del model meteorològic GFS (*Global Forecast System*) executat pel *National Weather Service* (EUA).

Figura 2. Localització de les 237 estacions pluviomètriques operatives a Catalunya durant l'episodi del temporal Glòria del 20 al 23 de gener de 2020



Per últim, a la discussió de l'article s'avaluarà com estan canviant els episodis extrems com el temporal Glòria en l'actualitat, i com canviaran en el futur, quant a intensitat i magnitud segons les darreres projeccions climàtiques per a la conca mediterrània.

3. Descripció de l'episodi meteorològic

Les 237 estacions pluviomètriques es troben ben repartides per tota la geografia catalana, cobrint el territori de totes les comarques sense excepció (fig. 2). El nombre d'estacions que registraren $\geq 0,1$ mm a Catalunya, i en percentatge sobre el total, durant els dies del període 18-24 de gener de 2020, respectivament, foren: 167 (70%), 95 (40%), 200 (84%), 237 (100%), 237 (100%), 208 (88%) i 63 (27%). Per tant, pluviomètricament, l'episodi queda acotat del 20 al 23 de gener, quan es produeixen precipitacions generalitzades arreu del territori, en més del 80% de les estacions meteorològiques.

L'origen del temporal Glòria es remunta al 17 de gener, quan l'Agència Estatal de Meteorologia li va posar aquest nom a una borrasca extratropical localitzada al nord de l'arxipèlag de les Açores, que preveia que produiria fenòmens extrems de vent, pluja, neu i alteració marítima, a partir del 19 de gener, a gran part del nord i l'est de la península Ibèrica i a les Illes Balears. Com a borrasca, l'episodi Glòria tingué una vida curta. Recolzada per un solc en alçada es va desplaçar des del Cantàbric al sud de les Illes Balears, però ja, pràcticament, sense un reflex clar en superfície (Martín-Vide, 2020); sense caracteritzar-se per ser una depressió profunda. Fins i tot, la pressió atmosfèrica, a nivell del mar, a Catalunya durant tot l'episodi va ser superior a la normal, de més de 1.020 hPa i, puntualment, de més de 1.025 hPa. El solc en altura es va convertir en una DANA, anomenada sovint "gota freda" en la bibliografia, que amb certa freqüència causa precipitacions importants a les latituds mediterrànies. No obstant això, l'element clau en el volum elevat de precipitació i, sobretot, en la força del vent va ser un gradient bàric molt fort entre el sud de la península Ibèrica i les Illes Britàniques a causa d'un potentíssim anticicló damunt seu, allargassat d'oest a est, el qual va assolir 1.050 hPa al seu centre la nit del 19 de gener, valor rècord en 300 anys sobre la regió londinenca (Martín-Vide, 2020). L'ampli i comprimit feix d'isòbares entre les restes del Glòria i la vora meridional de l'anticicló va ser, doncs, clau.

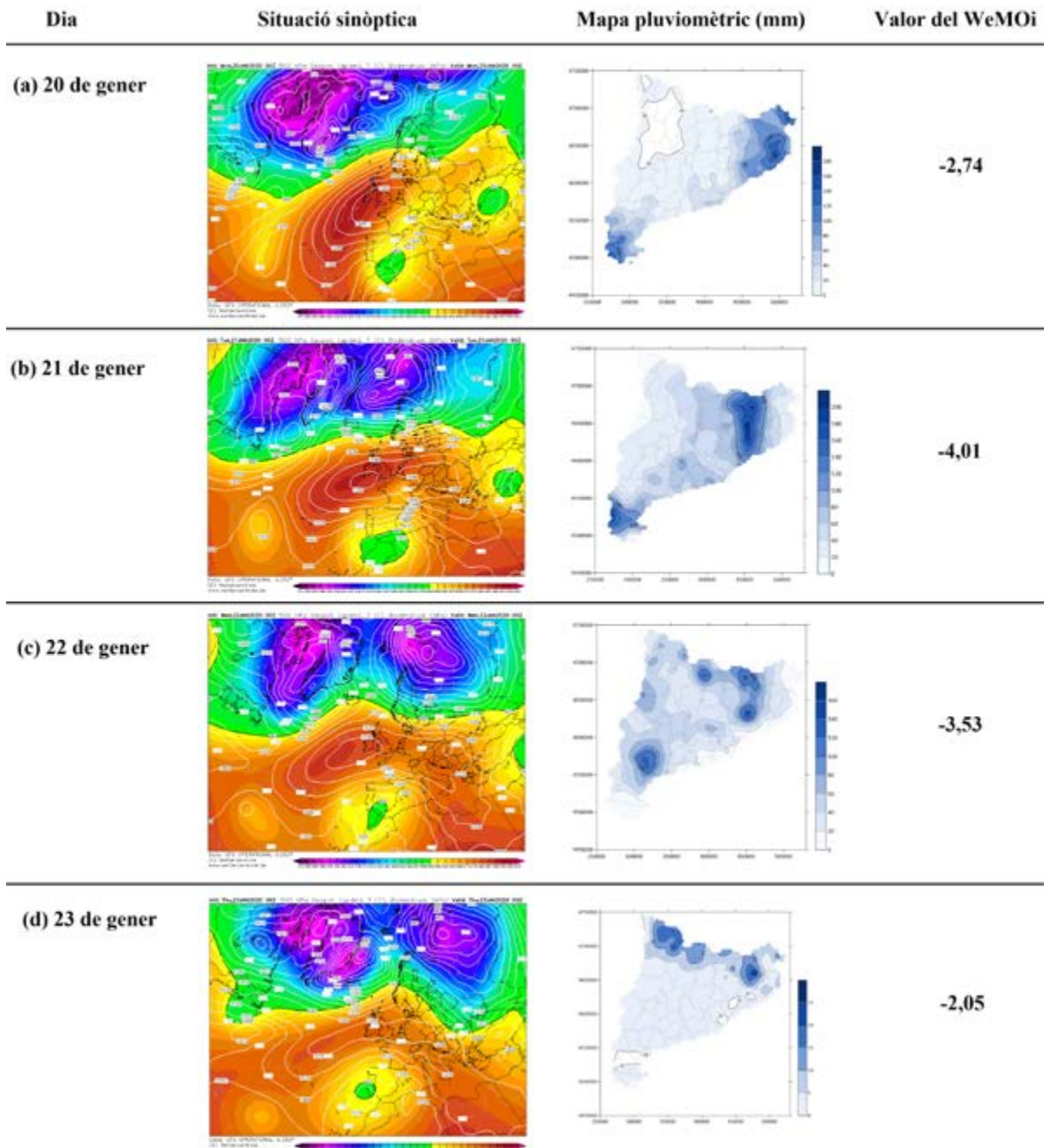
Analitzant la situació sinòptica dia a dia, el 20 de gener la península Ibèrica estava sotmesa a una advecció de l'est amb una DANA (fig. 3a). És una situació sinòptica típica de la tardor (Martín-Vide *et al.*, 2008), que aporta grans quantitats de precipitació quan la superfície del mar es troba encara relativament càlida essent un reservori energètic important de transmissió de calor latent (Pastor *et al.*, 2015). Aquesta situació sinòptica típica de fortes pluges a Catalunya també es pot arribar a donar fora del seu calendari habitual, com va ser el cas del temporal Glòria. La circulació normal de l'oest es trobava bloquejada i desviada cap a latituds subpolars sobre la península Escandinava. Un potent anticicló desplaçat des de l'Atlàntic subtropical s'ubicà entre les Illes Britàniques i França conformant un front de retrocés sobre la península Ibèrica (Millán *et al.*, 2005); és a dir, una forta llevantada sobre la façana mediterrània de la Península: Catalunya, País Valencià i la Regió de Múrcia. El dipol baromètric de la WeMO (San Fernando –SO Espanya– i Pàdua –NE Itàlia–) tenia una diferència superior a 20 hPa, en la seva fase oposada o negativa, comportant un valor extremadament negatiu del WeMOi (-2,74). Els valors iguals o inferiors a -2 són considerats com a extrems negatius del WeMOi i només tenen lloc de mitjana en menys del 4% dels dies de l'any (López-Bustins *et al.*, 2020). Les precipitacions torrencials superiors a 100 mm es localitzaren als extrems NE i S de Catalunya. La resta de l'àrea d'estudi mostrà majoritàriament precipitacions moderades, per sota dels 40 mm. El màxim de precipitació diària es localitzà a Cassà de la Selva (Gironès) amb 192,8 mm.

La situació sinòptica del 21 de gener sobre la península Ibèrica (fig. 3b) fou la mateixa del dia anterior, però amb el flux mediterrani de l'est reforçat per un pont anticiclònic entre l'alta pressió de les Illes Britàniques i una alta pressió a Europa central, també molt potent. Hi hagué un fort gradient bàric a la façana mediterrània de la Península, arribant a la màxima intensitat de l'episodi quant a diferència bàrica, a ratxes màximes de vent (ratxes superiors a 100 km/h arreu del litoral) i a acumulació de precipitació. El dipol bàric de la WeMOi superà els 30 hPa de diferència donant lloc a un valor del WeMOi de $-4,01$, essent puntualment (19 UTC) de $-4,26$, un dels valors més extrems que s'han registrat del WeMOi durant les darreres dècades. Martín-Vide i López-Bustins (2006) només detectaren 29 dies amb un valor del WeMOi inferior a -4 durant el període 1951-2000; quelcom que confirma l'excepcionalitat de l'episodi. Se superarà el llindar de precipitació torrencial extrema de 200 mm (López-Bustins *et al.*, 2016) en alguns punts de l'eix N-S conformat pel Pirineu oriental, la serralada Transversal i els massissos de les Guilleries i el Montseny, essent el màxim pluviomètric al pantà de Sau (Osona) amb 211,3 mm. Aquesta orografia perpendicular als fluxos de l'est de llevant es ben delimitada per les isohietes torrencials (≥ 100 mm), actuant de pantalla orogràfica (López-Bustins i Lemus-Cánovas, 2020), així com als Ports, on també hi ha una disposició N-S del relleu. Fou un dia de precipitacions intenses (≥ 50 mm) i torrencials (≥ 100 mm) a la major part de Catalunya, sobretot, a les conques internes i la desembocadura de l'Ebre. Les Terres de Ponent i el Pirineu occidental romangueren més al marge amb precipitacions per sota de 40 mm. Totes les estacions meteorològiques registraren precipitació, sense excepció, esdevenint un temporal de pluja i vent generalitzat a tot Catalunya; les ratxes màximes de vent aquell dia es registraren a les cotes altes del Montseny per sobre dels 140 km/h, a diferència del que és habitual, que és al Pirineu.

La situació sinòptica del 22 de gener sobre la península Ibèrica canvià lleugerament, doncs, la baixa en alçada es va acabar reflectint en superfície, passant a ser una advecció de l'est sobre Catalunya i una baixa dinàmica o freda cap el sud-oest de la península Ibèrica (fig. 3c). Es mantingué una diferència bàrica superior a 20 hPa entre San Fernando –baixa ben formada al golf de Cadis– i Pàdua –pont anticiclònic centreeuropeu– donant lloc a vents sostinguts de l'est sobre el litoral català amb un valor del WeMOi encara molt negatiu ($-3,53$). Es repetiren valors de precipitació torrencial al Pirineu oriental i el massís del Montseny, i a la serra de Montsant, essent el màxim a Viladrau (Osona), amb 163,6 mm. L'episodi de pluja i neu fou generalitzat a l'interior i Pirineu, respectivament, per sobre dels 40 mm; registrant-se les precipitacions més moderades per sota dels 20 mm a la línia de costa en trobar-se l'episodi en una fase més madura d'evolució. Sense excepció, les 237 estacions meteorològiques registraren dia de pluja ($\geq 0,1$ mm) durant la jornada.

La situació sinòptica del 23 de gener sobre la península Ibèrica continuà essent a Catalunya d'advecció de l'est (fig. 3d), però en una fase de dissipació

Figura 3. (a) Mapes en superfície i a 500 hPa de la reanàlisi del model GFS a les 00 UTC (esquerra), mapa pluviomètric de Catalunya en mm (centre) i valor de l'índex de la WeMO (WeMOi) predit per l'eina WeMOTool (dreta) del dia 20 de gener de 2020; (b) ídem que (a), però per al dia 21 de gener de 2020; (c) ídem que (a), però per al dia 22 de gener de 2020; (d) ídem que (a), però per al dia 23 de gener.

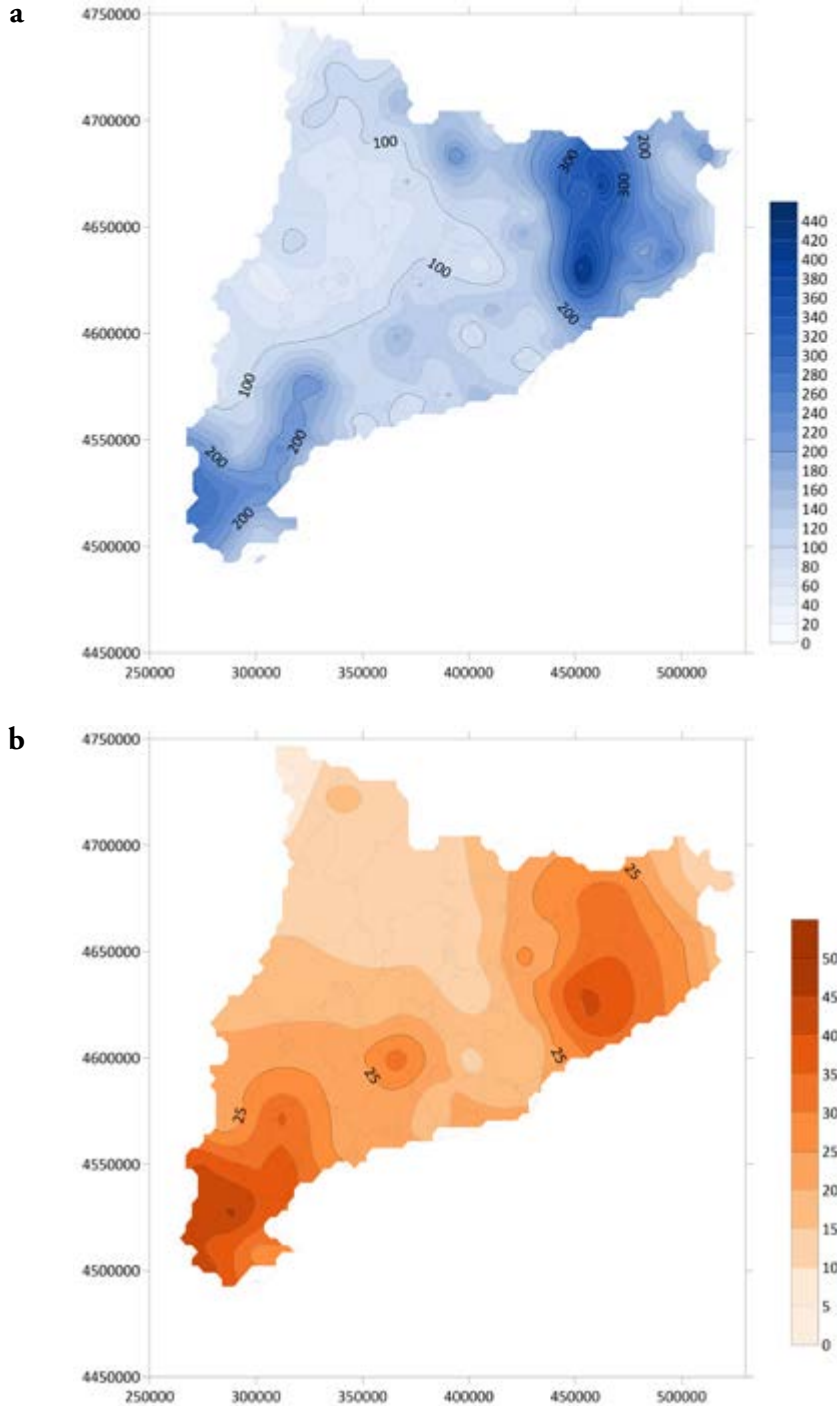


de l'episodi i amb el traç quelcom desfigurat de les isòbares. Es mantingué un cert flux de llevant sobre Catalunya, virant al SE, però una velocitat del vent ja disminuïda. La diferència bàrica del dipol de la WeMO es reduí a uns 15 hPa i el valor del WeMOi augmentà fins a -2,05, tot i que continuà essent un valor extremadament negatiu. Pràcticament, arreu de l'àrea d'estudi es registrà dia de pluja (gairebé el 90% de les estacions), però amb valors inferiors a 5 mm majoritàriament. Només el Pirineu continuà acumulant precipitació en forma de neu amb valors per sobre dels 10 mm. El total de l'episodi va deixar més d'un metre de neu al Pirineu oriental, i la cota de neu va baixar en algun moment de l'episodi al voltant dels 700 m.

En el còmput total de l'episodi, es registraren més de 100 mm pràcticament a tota Catalunya, a excepció de la vall d'Aran, que queda a sotavent dels vents del Mediterrani i registrà els totals més baixos, per sota de 20 mm, i la depressió Central, amb valors mínims al voltant de 60 mm. Les isohietes de més de ≥ 200 mm es distribueixen meridionalment i concèntrica al voltant de la serralada Transversal (Batet de la Serra, Garrotxa, 407 mm) i el massís del Montseny (Puig Sesolles, Vallès Oriental, 429 mm) (fig. 4a). Els Ports, juntament amb una prolongació cap a la serra de Montsant i les muntanyes de Prades, també superaren els 200 mm, amb el màxim pluviomètric de 285,7 mm a Horta de Sant Joan (Terra Alta). Aquestes dues àrees de Catalunya registraren en aquest episodi gairebé la meitat del que hi plou durant tot l'any (fig. 4b). Són les àrees que tenen una major influència de la WeMO i, al mateix temps, presenten una major irregularitat pluviomètrica (Lemus-Cánovas i López-Bustins, 2016). La concentració de la precipitació en uns pocs dies de l'any dispara la connotació pluviomètrica irregular típica del clima mediterrani, especialment, de la façana oriental de la península Ibèrica (Martín-Vide, 2004). Aquestes dues àrees estan caracteritzades per aquesta disposició perpendicular dels relleus als fluxos de l'est, permetent la major concentració de precipitació en aquests enclavaments en afavorir un major i continuat ascens orogràfic (López-Bustins i Lemus-Cánovas, 2020).

Els grans episodis de precipitació a Catalunya acostumen a tenir una evolució de sud a nord (López-Bustins, 2007), a causa del gir antihorari de convergència en superfície de les pertorbacions atmosfèriques a l'hemisferi nord. N'és característic l'episodi més extrem registrat durant les darreres dècades, el del 19-22 setembre de 1971 (Llasat, 1990; Martín-Vide i Llasat, 2000), quan se superà durant quatre dies consecutius el llindar de torrencialitat extrema de 200 mm. S'inicià el 19 de setembre a les Terres de l'Ebre (Xerta, 217 mm) i acabà el 22 de setembre al cap de Creus (Cadaqués, 285 mm). En el cas del temporal Glòria, també va haver-hi una evolució de sud a nord, ja que, el 19 de gener de 2020 plogué només a l'extrem sud de Catalunya, registrant-se més de 40 mm en alguns punts del delta de l'Ebre, i el darrer dia, el 23 de gener, les precipitacions es localitzaren a l'extrem nord de Catalunya. És extraordinari el fet que durant quatre dies consecutius es regressin valors del WeMOi extremadament negatius

Figura 4. (a) Mapa pluviomètric total de l'episodi del temporal Glòria (20-23 de gener) a Catalunya (en mm); (b) mapa de l'aportació pluviomètrica del temporal Glòria al total anual mitjà (en %)



($\leq -2,00$), quelcom que només succeeix durant 10-15 dies a l'any de mitjana, i se superessin els 100 mm durant tres dies consecutius, la meitat dels casos que es donen de mitjana a Catalunya cada any. A més, se superaren els 200 mm el dia de més intensitat del temporal, el 21 de gener, quelcom que succeeix menys d'un cas a l'any (0,8) (López-Bustins *et al.*, 2020), arribant a valors realment excepcionals del WeMOi, per sota de -4 . Al rànquing d'episodis de ≥ 200 mm en 24 h de l'estudi de López-Bustins *et al.* (2020) per al període de 66 anys (1951-2016), el temporal Glòria (pantà de Sau, Osona, 21 de gener, 211,3 mm) ocuparia una modesta 42a posició, quelcom que ens evidencia que aquests episodis de precipitació són més freqüents del que la societat pot recordar; per exemple, uns mesos abans, a finals d'octubre de 2019, l'Espuga del Francolí (Conca de Barberà) superà àmpliament aquest màxim del dia 21 de gener del temporal. No obstant, l'excepcionalitat del temporal Glòria rau en la duració i la intensitat de l'episodi, així com les importants destrosses ocasionades al litoral a causa d'un fort temporal marítim arran de les ratxes màximes i sostingudes del vent de llevant (el gradient bàric del dia 21 de gener assolir els 15 hPa en el curt transecte entre el cap de la Nau i el cap de Creus).

4. Valoració climàtica actual i futura de l'episodi pluviomètric

El temporal Glòria fou excepcional pels seus efectes al litoral català, amb danys materials i econòmics molt elevats. La destrucció de passejos marítims o la inundació gairebé total del delta de l'Ebre són imatges impactants que evidencien el seu caràcter virulent. Al' hora de valorar climàticament el temporal cal distingir els tres elements que el defineixen: precipitació, vent i estat de la mar. Tant el vent com l'onatge van assolir rècords absoluts a diferents indrets del litoral: persistència rècord de velocitats mitjanes horàries molt elevades, del dia 19 al 21 de gener, a la costa barcelonina, i valors històrics de l'alçada significant de l'onatge a València i les Illes Balears. Amb relació a la precipitació, objecte d'estudi d'aquest article, no es van assolir rècords diaris, només en alguns pocs observatoris amb sèries relativament curtes, d'entre 20 i 30 anys, ni horaris, tot i que hi va haver registres destacables. Pel contrari, és molt remarcable la generalitat de les pluges, que van afectar amb valors acumulats abundants o molt elevats a tot Catalunya, el que no és freqüent en un temporal de llevant; la llarga durada de l'episodi i el moment de l'any, en ple hivern. Per causa de la persistència del temporal, es van acumular valors, identificats en aquest estudi, superiors als 400 mm al nord-est del país. Respecte al moment de l'any, l'ocurrència d'un temporal com el Glòria al primer mes de l'any té un període de retorn superior al segle. La informació històrica recull només algun cas de precipitacions torrencials continuades a Catalunya al gener, com, per exemple, el del 15 al 18 de gener de 1898 (Barriendos *et al.*, 2014). Quant a acumulació diària, en el treball de López-Bustins *et al.* (2020), només es recullen dos

episodis diaris en un mes de gener durant el període d'estudi 1951-2016, que superaren els 200 mm de torrencialitat extrema equivalents al temporal Glòria: el 6 de gener de 1977 (Girona, el Gironès, 233 mm) i el 29 de gener de 1996 (Fogars de Montclús, el Vallès Oriental, 206,5 mm); ambdós episodis també tingueren valors inferiors a -2 del WeMOI.

Hi ha un alt consens, a partir de les projeccions climàtiques, de l'augment de la temperatura en les properes dècades a nivell planetari, a la conca de la Mediterrània i, inserides en ella, la península Ibèrica i Catalunya. Les projeccions regionalitzades de l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMet) i del SMC coincideixen en la continuació de la pujada tèrmica al llarg del segle actual. En relació amb la precipitació anual, les projeccions tenen un grau d'incertesa gens menyspreable, tot i que apunten cap a una disminució, que, a nivell estacional, probablement serà més destacada a l'estiu. El desplaçament cap al nord del cinturó d'anticiclons subtropicals, per una expansió de la cèl·lula de Hadley a causa de l'escalfament global, en seria la causa dinàmica de la davallada pluviomètrica (Gillett i Stott, 2009). En aquest sentit, pràcticament tota la conca de la Mediterrània rebrà menys precipitació a mida que avanci el segle, tal com han destacat els darrers informes de l'IPCC, com el Cinquè IPCC (Christensen *et al.*, 2013) o l'informe especial d'escalfament global 1,5°C (Hoegh-Guldberg *et al.*, 2018). En aquesta mateixa direcció, el *Tercer informe sobre el canvi climàtic a Catalunya* (Martín-Vide, 2016) indica una certa reducció dels totals de precipitació cap a mitjans de segle respecte als de finals del segle xx. Una qüestió diferent a l'evolució dels totals pluviomètrics és la relativa a les precipitacions torrencials, intenses i abundoses, sobre les quals no es pot afirmar—com a vegades s'ha fet— que la torrencialitat de la pluja tendirà a augmentar a la Mediterrània durant les properes dècades. Certament, la temperatura de les aigües superficials del mar serà més alta que avui dia, però aquest és només un dels requisits que afavoreix les precipitacions intenses. Si les condicions dinàmiques en altura no són apropiades, amb una atmosfera més estable, o si no hi ha un flux marítim molt intens, com en el cas del temporal Glòria, no n'hi haurà. Malgrat que la intensitat mitjana de la precipitació no augmentés durant les properes dècades, sí que al litoral els efectes dels ruixats i tempestes intenses podrien produir danys molt considerables, atesa la pujada del nivell marí amb l'escalfament global (per exemple, en el cas del temporal Glòria les pressions superiors a les normals van atenuar l'alçada de l'onatge), i la intensificació de les activitats de tota mena davant del mar (urbanes, turístiques, nàutiques, de lleure, etc.).

5. Conclusions

El temporal Glòria va ser extraordinari quant a precipitació, vent i onatge a Catalunya. Des d'un punt de vista estrictament pluviomètric, la durada d'aquest compreu quatre dies consecutius, des del 20 al 23 de gener, amb

acumulacions totals que superaren els 400 mm a la serralada Transversal i el massís del Montseny, i els 275 mm als Ports. Aquestes unitats de relleu tenen la peculiaritat, en el context orogràfic català, d'actuar com una barrera perpendicular als vents humits de llevant, afavorint-ne el moviment vertical de l'aire. La màxima intensitat pluviomètrica va tenir lloc el 21 de gener, quan se superaren els 200 mm, lllindar de la precipitació torrencial extrema, al massís de les Guilleries. La situació sinòptica d'aquest dia més intens del temporal va estar caracteritzada per un intens flux de llevant en superfície causat per un fort gradient bàric entre el centre d'Europa (1.045 hPa) i el sud-oest de la península Ibèrica (1.015 hPa), i la presència d'una DANA en el mapa de 500 hPa. El valor del WeMOi, molt sensible a la detecció d'adveccions de l'est sobre Catalunya, fou excepcionalment negatiu, inferior a -4; un valor que només s'ha assolit en comptades ocasions durant les darreres dècades.

En un context històric recent, els estudis climatològics sobre precipitacions torrencials a Catalunya identifiquen un nombre significatiu d'episodis que superen els totals pluviomètrics del temporal Glòria. Per tant, el que és realment extraordinari d'aquest temporal és l'afectació general a tot Catalunya, la seva persistència durant dies –destacant la força del vent de component E– i, sobretot, el moment de l'any, el mes de gener. Per al futur, hi ha certa coincidència entre les projeccions climàtiques sobre una disminució total de la precipitació en les regions de clima mediterrani del planeta, així com un increment de la seva variabilitat pluviomètrica. No obstant, els majors impactes que puguin tenir els episodis extrems, com el Glòria, sobre Catalunya en el futur estaran més relacionats amb la gestió del territori i, específicament, del litoral, que no pas en un increment de la freqüència d'aquests. Doncs, malgrat l'augment de la temperatura de les aigües de la mar Mediterrània, un futur desplaçament del cinturó dels anticiclons subtropicals a les latituds mediterrànies, consistent amb l'escalfament global, no afavoriria la inestabilitat atmosfèrica necessària per originar temporals de llevant amb precipitacions torrencials.

Bibliografia

- ARBIOL-ROCA, L. (2020). "Torrential rainfall prediction: WeMOTool". *EGU General Assembly 2020*, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-8549.
- BARRIENDOS, M.; J. L. RUIZ-BELLET; J. TUSET; J. MAZÓN; J. C. BALASCH; D. PINO; J. L. AYALA (2014). "The Prediflood database of historical floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula) AD 1035–2013, and its potential applications in flood analysis". *Hydrology and Earth System Sciences*, núm. 18, p. 4807-4823.
- CHRISTENSEN, J. H.; K. KRISHNA KUMAR; E. ALDRIAN; S.-I. AN; I. F. A. CAVALCANTI; M. DE CASTRO; W. DONG; P. GOSWAMI; A. HALL; J. K. KANYANGA; A. KITOH; J. KOSSIN; N.-C. LAU; J. RENWICK; D. B. STEPHENSON; S.-P. XIE; T. ZHOU (2013). "Climate Phenomena and their Relevance for Future Regional Climate Change", dins: T. F. STOCKER; D. QIN; G.-K. PLATTNER; M. TIGNOR; S. K. ALLEN; J. BOSCHUNG; A. NAUELS;

- Y. XIA; V. BEX; P. M. MIDGLEY [ed.]. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge: Cambridge University Press, p. 1217-1308.
- GILLET, N. P.; P. A. STOTT (2009). "Attribution of anthropogenic influence on seasonal sea level pressure". *Geophysical Research Letters*, doi:10.1029/2009GL041269.
- HOEGH-GULDBERG, O.; D. JACOB; M. TAYLOR; M. BINDI; S. BROWN; I. CAMILLONI; A. DIEDHIU; R. DJALANTE; K. L. EBI; F. ENGELBRECHT; J. GUIOT; Y. HIJIOKA; S. MEHROTRA; A. PAYNE; S. I. SENEVIRATNE; A. THOMAS; R. WARREN; G. ZHOU (2018). "Impacts of 1.5°C Global Warming on Natural and Human Systems", dins: V. MASSON-DELMOTTE; P. ZHAI; H.-O. PÖRTNER; D. ROBERTS; J. SKEA; P. R. SHUKLA; A. PIRANI; W. MOUFOUMA-OKIA; C. PÉAN; R. PIDCOCK; S. CONNORS; J. B. R. MATTHEWS; Y. CHEN; X. ZHOU; M. I. GOMIS; E. LONNOY; T. MAYCOCK; M. TIGNOR; T. WATERFIELD [ed.]. *Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. Ginebra: Organització Meteorològica Mundial, p. 175-311.
- KRIGE, D. G. (1951). "A statistical approach to some basic mine valuation problems on the Witwatersrand". *The Journal of the Chemical, Metallurgical and Mining Society of South Africa*, núm. 52, p. 119-139.
- LEMUS-CÁNOVAS, Marc; J. Albert López-BUSTINS (2016). "Variabilidad espacio-temporal de la precipitación en el sur de Cataluña y su relación con la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO)", dins: J. OLCINA; A. M. RICO; E. MOLTÓ [ed.]. *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alacant: Asociación Española de Climatología, p. 225-236.
- LLASAT, M. Carmen (1990). "Influencia de la orografía y de la inestabilidad convectiva en la distribución espacial de lluvias extremas en Cataluña". *Acta Geológica Hispánica*, núm. 25, p. 197-208.
- LÓPEZ-BUSTINS, Joan Albert (2007). *L'oscil·lació de la Mediterrània occidental i la precipitació als Països Catalans*. Tesi doctoral, Departament de Geografia Física i Anàlisi Geogràfica Regional, Universitat de Barcelona, p. 400.
- (2018). "Lluvias fuertes, pero mal repartidas. El caso del clima mediterráneo". *Biblio3W Revista Bibliográfica de Geografía y Ciencias Sociales*, vol. 23, núm. 1243.
- LÓPEZ-BUSTINS, J. Albert; Marc LEMUS-CÁNOVAS (2020). "The influence of the Western Mediterranean Oscillation upon the spatiotemporal variability of precipitation over Catalonia (northeastern of the Iberian Peninsula)". *Atmospheric Research*, núm. 236, 104819.
- LÓPEZ-BUSTINS, J. Albert; Montserrat SALVÀ-CATARINEU; Thomas CERNOCKY (2008). "Càlcul i cartografia de la irregularitat pluviomètrica temporal a Catalunya mitjançant tècniques SIG". *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, núm. 65, p. 569-579.
- LÓPEZ-BUSTINS, J. A.; J. MARTÍN-VIDE; M. PROHOM; M. J. CORDOBILLA (2016). "Variabilidad intraanual de la Oscilación del Mediterráneo Occidental (WeMO) y ocurrencia de episodios torrenciales en Cataluña", dins: OLCINA, J.; A. M. RICO; E. MOLTÓ [ed.]. *Clima, sociedad, riesgos y ordenación del territorio*. Alacant: Asociación Española de Climatología, p. 171-182.
- LÓPEZ-BUSTINS, J. A.; L. ARBIOL-ROCA; J. MARTÍN-VIDE; A. BARRERA-ESCODA; M. PROHOM (2020). "Intra-annual variability of the Western Mediterranean Oscillation (WeMO) and occurrence of extreme torrential precipitation in Catalonia (NE Iberia)". *Natural Hazards and Earth System Sciences*.

- MARTÍN-VIDE, Javier (2004). "Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain". *International Journal of Climatology*, núm. 24, p. 959-971.
- [ed.] (2016). *Tercer Informe sobre el canvi climàtic a Catalunya*. Barcelona: Generalitat de Catalunya i Institut d'Estudis Catalans.
- MARTÍN-VIDE, Javier (2020). "Precipitaciones torrenciales a Catalunya: el temporal Glòria i perspectives de futur", dins: M. CANALS; J. MIRANDA. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans.
- MARTÍN-VIDE, Javier; M. Carmen LLASAT (2000). "Las precipitaciones torrenciales en Cataluña". *Serie Geográfica*, núm. 9, p. 17-26.
- MARTÍN-VIDE, Javier; Jorge OLCINA CANTOS (2001). *Climas y tiempos de España*. Madrid: Alianza Editorial.
- MARTÍN-VIDE, Javier; J. Albert López-BUSTINS (2006). "The Western Mediterranean Oscillation and rainfall in the Iberian Peninsula". *International Journal of Climatology*, núm. 26, p. 1455-1475.
- MARTÍN-VIDE, J.; A. SÁNCHEZ-LORENZO; J. A. LÓPEZ-BUSTINS; M. J. CORDOBILLA; A. GARCIA-MANUEL; J. M. RASO (2008). "Torrential rainfall in northeast of the Iberian Peninsula: synoptic patterns and WeMO influence". *Advances in Science and Research*, núm. 2, p. 99-105.
- MILLÁN, M. M.; M. J. ESTRELA; J. MIRÓ (2005). "Rainfall Components: Variability and Spatial Distribution in a Mediterranean Area (Valencia Region)". *Journal of Climate*, núm. 18, p. 2682-2705.
- PASTOR, F.; J. A. VALIENTE; M. J. ESTRELA (2015). "Sea surface temperature and torrential rains in the Valencia region: modelling the role of recharge areas". *Natural Hazards and Earth System Sciences*, núm. 15, p. 1677-1693.
- PEÑARROCHA, D.; M. J. ESTRELA; M. MILLÁN (2002). "Classification of daily rainfall patterns in a Mediterranean area with extreme intensity levels: the Valencia region". *International Journal of Climatology*, núm. 22, p. 677-695.
- RIESCO, J.; V. ALCOVER (2003). *Predicción de precipitaciones intensas de origen marítimo mediterráneo en la Comunidad Valenciana y la Región de Murcia*. Madrid: Centro de Publicaciones, Secretaría General Técnica, Ministerio de Medio Ambiente.
- SMC-SERVEI METEOROLÒGIC DE CATALUNYA (2016). *Butlletí Anual d'Indicadors Climàtics BAIC (2015)*. Barcelona: Departament de Territori i Sostenibilitat.