

Publicacions breus del Servei Meteorològic de Catalunya



Servei Meteorològic
de Catalunya

ELS LLAMPS

2

DETECCIÓ I SEGUIMENT DE TEMPESTES



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient
i Habitatge

Biblioteca de Catalunya. Dades CIP:

--

© Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient i Habitatge
Servei Meteorològic de Catalunya

Segona edició: 2008
Tiratge: 500 exemplars

Impressió: Valant 2003

Autor del text: Servei Meteorològic de Catalunya

Dipòsit legal:

INTRODUCCIÓ

En els últims anys, la detecció de tempestes ha esdevingut un repte considerable per al conjunt dels països industrialitzats. Aquesta necessitat ha comportat el desenvolupament de diversos sistemes destinats a l'estudi, la previsió i la protecció davant les tempestes. Avui en dia la majoria de serveis meteorològics disposen d'equips de detecció remota de llamps.

Malgrat que, a nivell científic, actualment es té un bon coneixement sobre les tempestes, aquestes segueixen essent un fenomen força imprevisible i de conseqüències sovint desastroses: inundacions, pedregades, incendis, impactes de llamps, etc. A més, a mesura que la nostra societat esdevé cada cop més dependent de la tecnologia, les tempestes són un important factor de pèrdues a nivell econòmic (talls de llum, problemes en les telecomunicacions, danys en equipaments, pèrdues de dades, etc.).



Llamps a Sant Adrià de Besos. Autor: Nicolau Pineda.



Fotografia d'una tempesta a Blanes el 15 d'agost de 1923.
Autor: Josep Pons. Fons fotogràfic de l'antic Servei Meteorològic de Catalunya.

APUNTS HISTÒRICS

Els llamps i els trons són un dels fenòmens naturals que més ha fascinat la humanitat al llarg de la seva història. La majoria de civilitzacions antigues van incorporar-los a les seves creences religioses. El déu Seth a l'antic Egipte era qui llançava els llamps, Lei Tsu era el déu del tro a la Xina i, a l'Índia, Indra transportava els llamps amb el seu carro. Els llamps foren presents a l'antiga Grècia amb Zeus i a Roma amb Júpiter. També els trobem a la mitologia escandinava, on el déu Thor produïa trons a cops de martell.

L'estudi científic de l'electricitat atmosfèrica es remunta a mitjan segle XVIII, amb investigadors com Benjamin Franklin, entre d'altres, inventor del parallamps. El coneixement dels llamps ha evolucionat força des d'aquells primers experiments on es va demostrar que els núvols de tempesta estaven carregats d'electricitat. A finals del segle XIX es va descobrir l'efecte de la gàbia de Faraday, segons el qual, a l'interior d'una caixa feta de material conductor, el camp elèctric és nul, i queda protegit d'una possible descàrrega. Aquest s'aplica en la protecció contra llamps en edificis, avions, cotxes, etc.

Els sistemes de detecció remota de llamps són força recents, ja que els primers són de la dècada dels 60. L'any 1969, un llamp va impactar l'Apollo XII en ple llançament i va estar a punt d'avortar la missió. Aquest incident va posar de relleu la necessitat de millorar el coneixement dels fenòmens elèctrics atmosfèrics i va incentivar el desenvolupament dels sistemes de detecció i protecció, que han evolucionat fins als sistemes actuals.

LES TEMPESTES

Tot i que s'han vist llamps en tempestes de sorra o de neu, i fins i tot en núvols de partícules d'erupcions volcàniques, el principal generador de llamps és el cumulonimbus, que és el típic núvol de tempesta. Aquest es forma quan, en condicions d'inestabilitat atmosfèrica, grans masses d'aire calent i humit s'elevan i es condensen, produint núvols plens de vapor d'aigua, aigua líquida i gel. Aquest núvol gegantí, a les nostres latituds, pot superar altituds de 12 km.

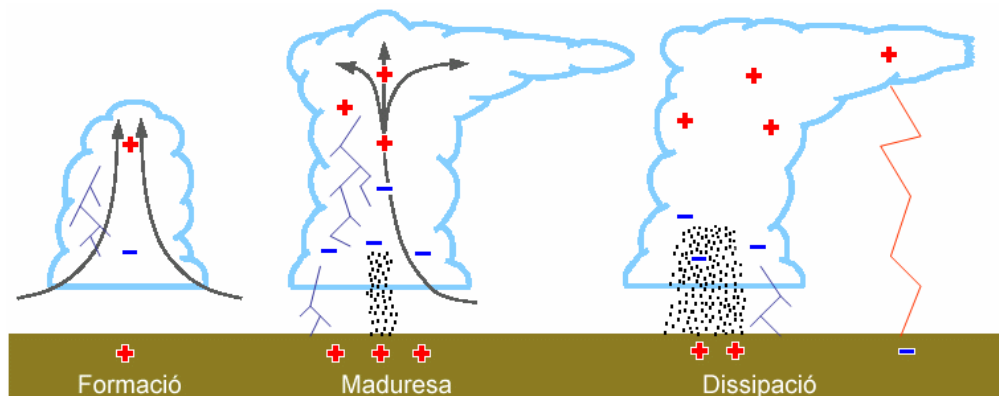


Figura 1. Fases d'una tempesta.

La figura 1 esquematitza les fases per les quals passa una tempesta. En el procés de formació del núvol es produeix una separació de càrregues, i es forma un dipol intern. La càrrega negativa s'acumula a altituds de 6-8 km on la temperatura està entre -10° i -20°C , mentre que la càrrega positiva és més difusa i es concentra a major altitud. Sovint, però, també s'acumulen càrregues positives a la base del núvol, i aleshores es forma un tripol.

LES TEMPESTES

Les càrregues de la base del núvol fan que, per inducció electrostàtica, s'acumulin càrregues de polaritat contrària a la superfície que tenen a sota. Quan el camp elèctric supera un cert llindar, s'origina la descàrrega elèctrica, que actua com a pont entre diferents regions de càrrega. Quan la descàrrega es produeix entre les dues/tres regions de càrrega del núvol o entre dos núvols propers, es parla d'una descàrrega núvol-núvol (*intra-cloud* en anglès). Si la descàrrega es produeix entre el núvol i la superfície, aquesta s'anomena núvol-terra (*cloud-to-ground* en anglès).

En l'estadi de maduresa, que s'assoleix quan es produeix el màxim desenvolupament vertical del núvol, les descàrregues núvol-núvol, que s'havien iniciat en la fase de formació, arriben al seu màxim. Així mateix, apareixen les primeres descàrregues núvol-terra.

La tempesta entra finalment en una fase de dissipació, on culmina l'activitat núvol-terra. Aquest període és el de màxima repercussió en superfície: llamps, calamarsa i/o pedra i pluja intensa, etc. La majoria de descàrregues núvol-terra acostumen a transferir càrrega negativa, mentre que la fracció de descàrregues que transfereixen càrrega positiva és menor, i són més comunes en la zona d'enclusa dels núvols de tempesta.

ELS MECANISMES D'ELECTRIFICACIÓ DEL NÚVOL

Els mecanismes d'electrificació d'un núvol, basats en l'intercanvi de càrregues elèctriques entre partícules, avui en dia encara no són perfectament coneguts. Les teories formulades fins ara s'ocupen d'alguns dels processos que intervenen en l'electrificació, però manca una teoria general capaç d'explicar l'elevada electrificació que hi ha en un núvol de tempesta.

Teoria de la convecció: els forts corrents ascendents dels processos convectius transporten càrregues positives de la superfície cap a les parts més altes del núvol. D'altra banda, els corrents descendents de la part externa del núvol transporten càrregues negatives a parts inferiors del núvol. Es forma, així, una estructura dipolar (vegeu la figura 2).

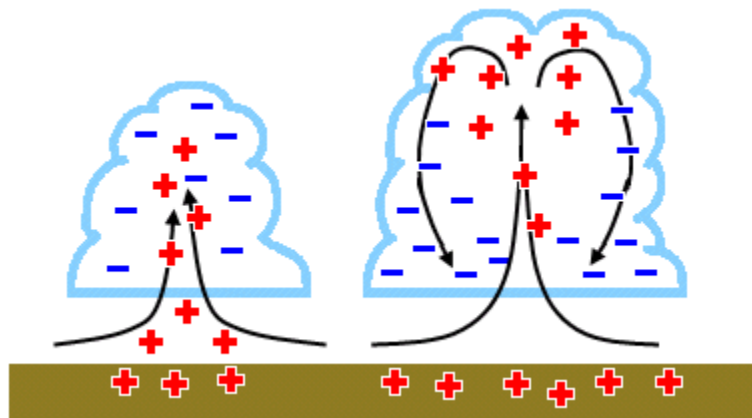


Figura 2. Teoria de la convecció.

ELS MECANISMES D'ELECTRIFICACIÓ DEL NÚVOL

Teoria de la precipitació: la transferència de càrrega elèctrica es produeix en els xocs entre partícules de precipitació polaritzades. Les col·lisions fan que les partícules d'aigua descendents es carreguin negativament mentre que els cristalls de gel ascendents es carreguen positivament (vegeu la figura 3.A).

Teoria no inductiva: també es basa en les col·lisions entre partícules, però a diferència de la teoria de la precipitació, la polaritat de la càrrega transmesa depèn de la temperatura ambient. Amb aquesta teoria es pot explicar el model de núvol tripolar, on hi ha càrregues positives en les zones inferiors del núvol. Mentre que per sota d'una temperatura de -10°C (alçades de més de 6-7 km) les partícules de gel es carreguen negativament, en zones del núvol de menor alçada les partícules es carreguen positivament (vegeu la figura 3.B).

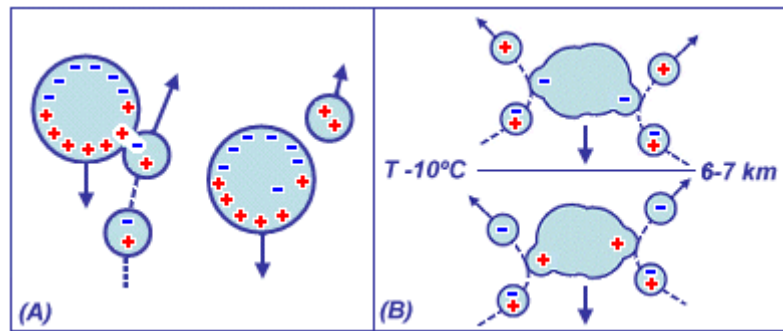


Figura 3. (A) Teoria de la precipitació, (B) teoria no inductiva.

EL LLAMP

Malgrat la seva curta durada, el llamp engloba una sèrie de processos que s'esquematitzen a la figura 4. Un cop el núvol està polaritzat i la superfície terrestre s'ha carregat per inducció (A), s'inicia la descàrrega amb un traçador descendent (el traçador esglaonat), que a través d'una sèrie de petits impulsos, va formant la típica estructura ramificada dels llamps (B).

A mesura que el traçador esglaonat s'acosta a terra, se'n forma un d'ascendent (el traçador de connexió). Ambdós traçadors es troben i es forma un canal ionitzat altament conductor, per on es genera la descàrrega de retorn (C). Aquesta es desplaça a una velocitat d'un terç de la velocitat de la llum i origina un fort corrent elèctric, amb una durada aproximada de 100 microsegons. La descàrrega genera un augment sobtat de la temperatura amb un pic de fins a 30.000 K, i l'augment sobtat de pressió associat a la calor es tradueix en una ona de pressió de l'aire: el tro.

Si el procés acaba aquí, tenim un llamp de descàrrega simple. Sovint, si encara hi ha càrrega disponible, es poden produir més descàrregues (llamp de descàrrega múltiple). Aquestes descàrregues secundàries (F) són lleugerament diferents de la primera. S'inicien amb un traçador ràpid (E), que baixa sense pausa pel canal ionitzat de la primera descàrrega (D). S'han arribat a observar llamps múltiples de fins a 15 descàrregues.

EL LLAMP

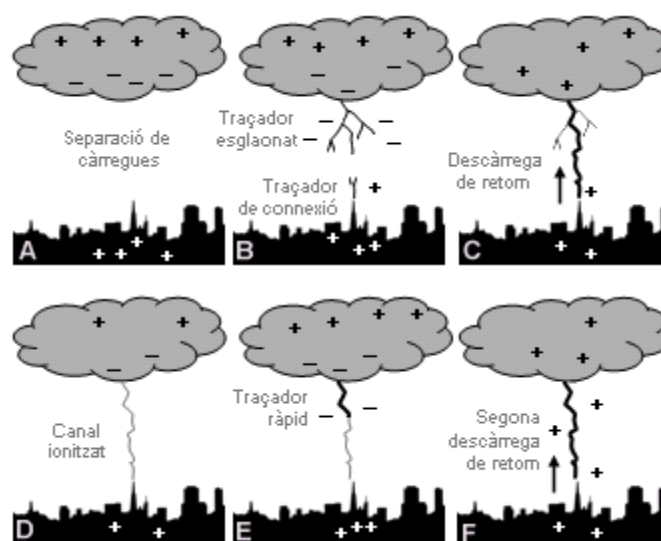


Figura 4. Fases del llamp.

En un 30% dels casos el traçador ràpid (E) no segueix tot el camí ionitzat i es bifurca prop de la superfície. Per tant, les successives descàrregues d'un mateix llamp poden impactar en diversos punts. Cal remarcar que el conjunt del procés és tan ràpid que l'ull humà no distingeix aquestes descàrregues secundàries de la primera i, per tant, a simple vista no podem diferenciar els llamps de descàrrega simple i múltiple. Com a molt es pot percebre un efecte de parpelleig. El temps entre descàrregues successives és d'unes desenes de mil·lisegons. En termes mitjans, entre descàrregues de retorn sol aparèixer un corrent continu de l'ordre de 100-500 ampers i el pic de corrent de la descàrrega pot arribar fins a uns 200 kA en pocs microsegons.

DETECCIÓ REMOTA DE TEMPESTES

Els radars meteorològics utilitzen la reflectivitat dels hidrometeors per detectar i caracteritzar els núvols, però no donen cap informació sobre la naturalesa elèctrica dels núvols. Hi ha altres sistemes més específics per detectar tempestes, que es basen en la mesura de les radiacions emeses pels llamps, ja siguin núvol-núvol o núvol-terra.

Sistemes de prevenció

Aquests sistemes mesuren les variacions en el camp electrostàtic que es produeixen durant la formació de la tempesta. Són pràctics a l'hora d'anticipar l'arribada d'una tempesta i en la generació automàtica d'alertes, però el seu radi d'acció es limita a una vintena de quilòmetres. Així, aquests sistemes són útils per a la protecció d'emplaçaments sensibles (centrals elèctriques, indústries, aeroports, complexos d'oci a l'aire lliure, etc.) però a l'àmbit meteorològic són d'ús limitat.

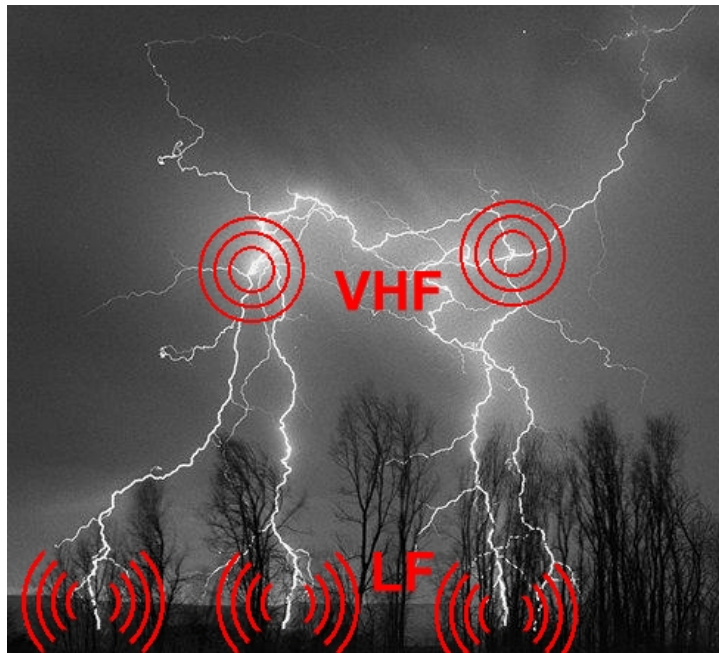


Sistema de prevenció PREVISTORM. Font: INGESCO.

DETECCIÓ REMOTA DE TEMPESTES

Sistemes de detecció de llamps

Les descàrregues elèctriques atmosfèriques generen emissions electromagnètiques en un ampli rang de l'espectre. Les descàrregues a l'interior dels núvols o entre núvols generen bàsicament radiació en VHF (*Very High Frequency*), mentre que les descàrregues núvol-terra emeten radiació de baixa freqüència (LF, *Low Frequency*).



Radiacions emeses per les descàrregues núvol-núvol i núvol-terra.

Sistemes de detecció terrestre

Les tècniques de detecció terrestre es poden dividir en tres grans grups, segons el rang de l'espectre electromagnètic que fan servir per detectar l'activitat elèctrica atmosfèrica.

En les freqüències més baixes (VLF, *Very Low Frequency*) trobem el sistema *ATDnet* del servei meteorològic de la Gran Bretanya (Met Office), sistema que cobreix tot Europa però que no és tan precís ni eficient com els sistemes que treballen en freqüències superiors. En freqüències baixes (LF) el detector més usat és l'*IMPACT*. El trobem a la xarxa que cobreix tots els Estats Units i Canadà, a la xarxa de la *Agencia Estatal de Meteorología*, i en d'altres països europeus. Aquest sensor localitza les descàrregues núvol-terra per triangulació de l'azimut del senyal rebut per cada sensor (tècnica que rep el nom de *Direction Finding*).



El sensor IMPACT més septentrional d'Europa a Noruega. Font: NORDLIS.

DETECCIÓ REMOTA DE TEMPESTES

Finalment, cal indicar que hi ha sistemes que treballen a altes freqüències (VHF, *Very High Frequency*), com l'utilitzat pel Servei Meteorològic de Catalunya (SMC). Aquest sistema de detecció de llamps combina el mateix sistema de detecció LF de l'*IMPACT* per les descàrregues núvol-terra, amb un sensor de VHF que serveix per detectar les descàrregues núvol-núvol.



Estació de detecció LS8000 de l'SMC.

Les descàrregues núvol-núvol no provoquen danys directes en superfície, però en meteorologia són molt interessants, ja que apareixen durant els primers estadis de formació de la tempesta. En aquest moment encara no hi ha descàrregues núvol-terra i per tant són molt útils per poder fer pronòstics a molt curt termini (~10 min.).

DETECCIÓ REMOTA DE TEMPESTES

Detecció de llamps des de satèl·lits

Els sistemes de detecció de llamps embarcats en satèl·lits es basen en la identificació de les emissions òptiques. Aquests sensors tenen un abast global i han permès veure com cauen molts més llamps sobre els continents que sobre els oceans. Segons les dades de l'OTD (*Optical Transient Detector*) de la NASA (vegeu la figura 5), a la zona de Catalunya cauen entre 6 i 8 llamps per km^2 cada any.

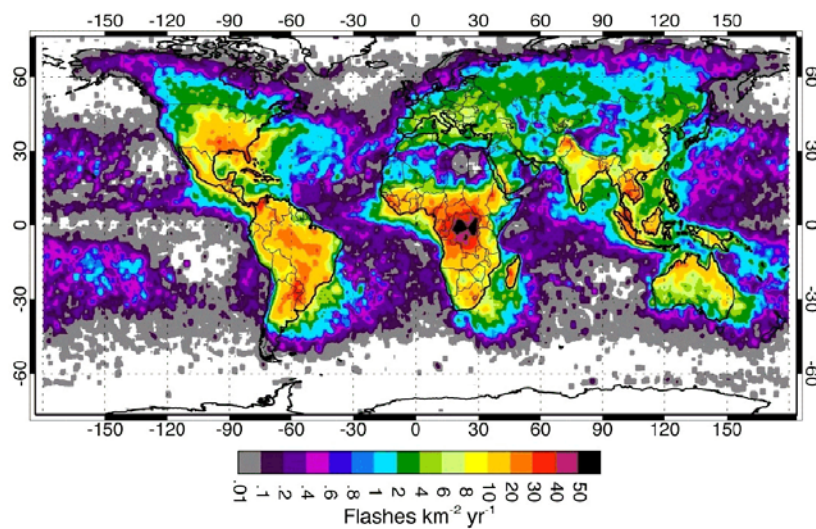


Figura 5. Distribució dels llamps (llamps/ km^2 any) a escala global a partir de les observacions de l'OTD. Font: MSFC/ NASA.

LA XARXA DE DETECCIÓ DE LLAMPS DEL SMC

El Servei Meteorològic de Catalunya va inaugurar, l'abril de 2003, la Xarxa de Detecció de Descàrregues Elèctriques atmosfèriques (XDDE). El sistema permet la detecció en temps real de les tempestes, així com el pronòstic a molt curt termini de la seva trajectòria. Aquesta eina dóna suport a la vigilància de situacions meteorològiques de risc, amb la qual cosa s'aconsegueix un millor assessorament a protecció civil, així com al cos de bombers per la lluita contra els incendis forestals. De la informació derivada de la XDDE se'n poden beneficiar altres usuaris com són les companyies elèctriques, els gestors de xarxes de telecomunicacions, grans infraestructures, complexos d'oci a l'aire lliure, etc. D'altra banda, aquestes dades donaran un nou impuls a la recerca en l'àmbit de l'electricitat atmosfèrica que es du a terme al nostre país.



Llamps al Port de Tarragona. Autor: Ramon Llaberia.

LA XARXA DE DETECCIÓ DE LLAMPS DEL SMC

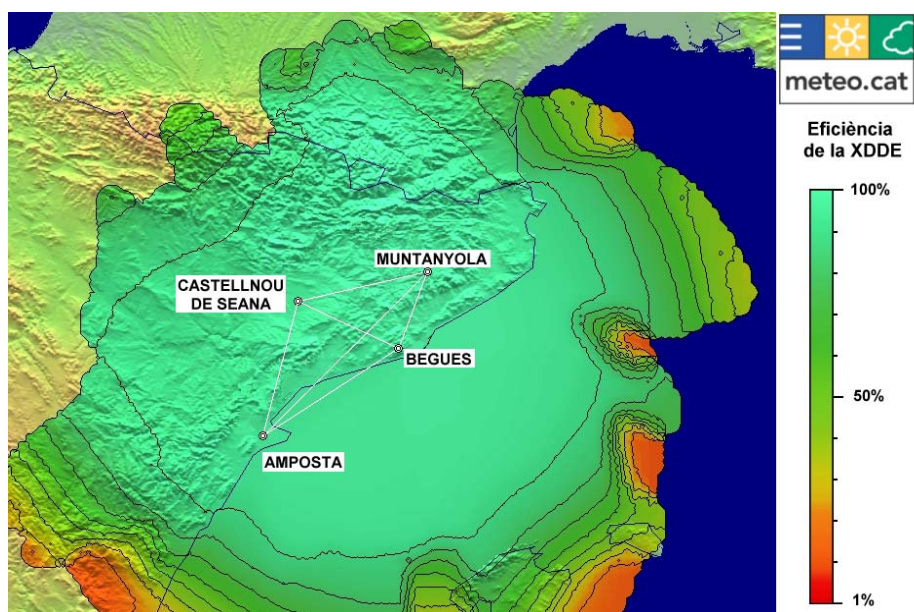


Figura 6. Disposició dels sensors de la XDDE i estimació teòrica de la eficiència de detecció de la xarxa de l'SMC.

La XDDE està formada per quatre estacions remotes i un sistema de processament central que es troba a la seu de l'SMC. Les estacions estan situades a Begues (el Baix Llobregat), Castellnou de Seana (el Pla d'Urgell), Muntanyola (Osona) i Amposta (el Montsià) (vegeu la figura 6). La disposició dels detectors està pensada per proporcionar una bona cobertura a tot Catalunya, amb un error en la localització dels llamps inferior a un quilòmetre per bona part del territori català.

LA XARXA DE DETECCIÓ DE LLAMPS DEL SMC

El sistema central de la XDDE processa les dades rebudes de les [quatre](#) estacions i les envia als terminals de vigilància. Aquests terminals permeten la representació geogràfica de les descàrregues i la consulta de les seves característiques elèctriques, així com el seguiment de cel·les de tempesta en temps real (vegeu la figura 7).

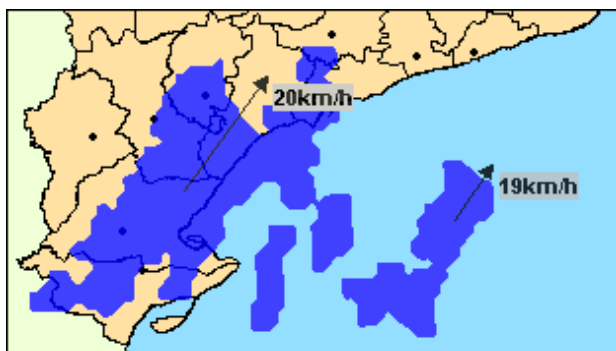


Figura 7. Exemple de tempestes amb vector de velocitat i desplaçament.

D'altra banda, la informació també s'envia a una base de dades, on es poden fer consultes i generar informes d'episodis passats. A la figura 8 es presenta un exemple de consulta a la base de dades.

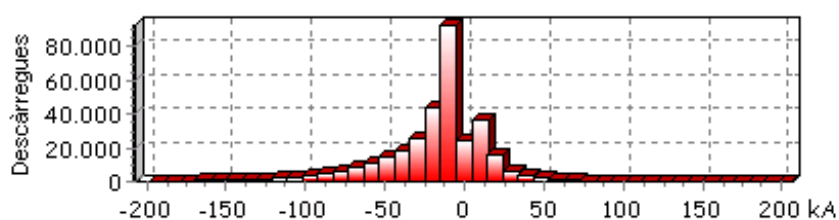


Figura 8. Histograma dels corrents de pic de les descàrregues núvol-terra de l'any 2007.

LA XARXA DE DETECCIÓ DE LLAMPS DEL SMC

En les tasques de vigilància meteorològica, la informació de llamps complementa la subministrada per altres eines com els satèl·lits, els radars meteorològics i les estacions meteorològiques automàtiques. Les tempestes s'identifiquen i es caracteritzen a partir de les imatges del canal de l'infraroig del Meteosat. D'altra banda, amb els radars meteorològics s'estimen les intensitats de precipitació. Les dades de llamps afegeixen informació elèctrica a aquesta caracterització, i permeten delimitar les parts més actives de les tempestes (vegeu la figura 9). Així com la informació del satèl·lit s'actualitza cada 15 minuts i la de radar cada 6 minuts, la informació de l'activitat elèctrica és a temps quasi real, fet que també ajuda a omplir els buits temporals que presenten altres eines.

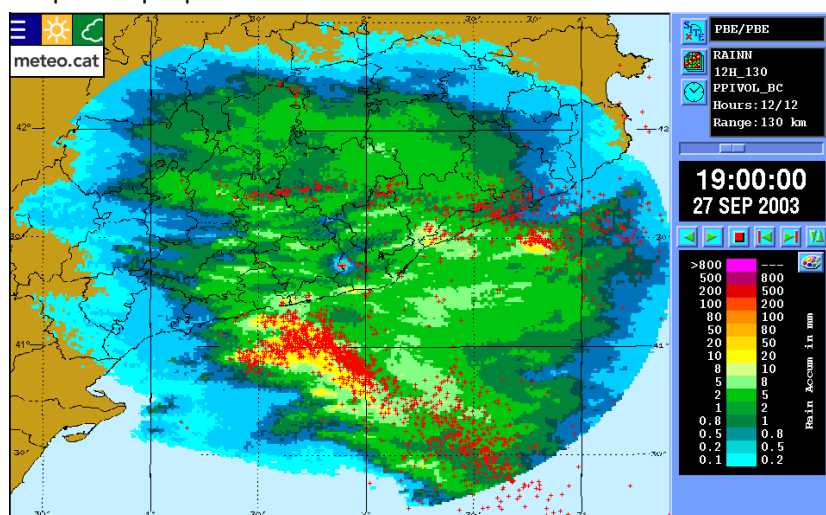


Figura 9. Combinació de pluja estimada amb radar (acumulació en 12 h) i llamps (creuetes vermelles) del dia 27 de setembre de 2003.

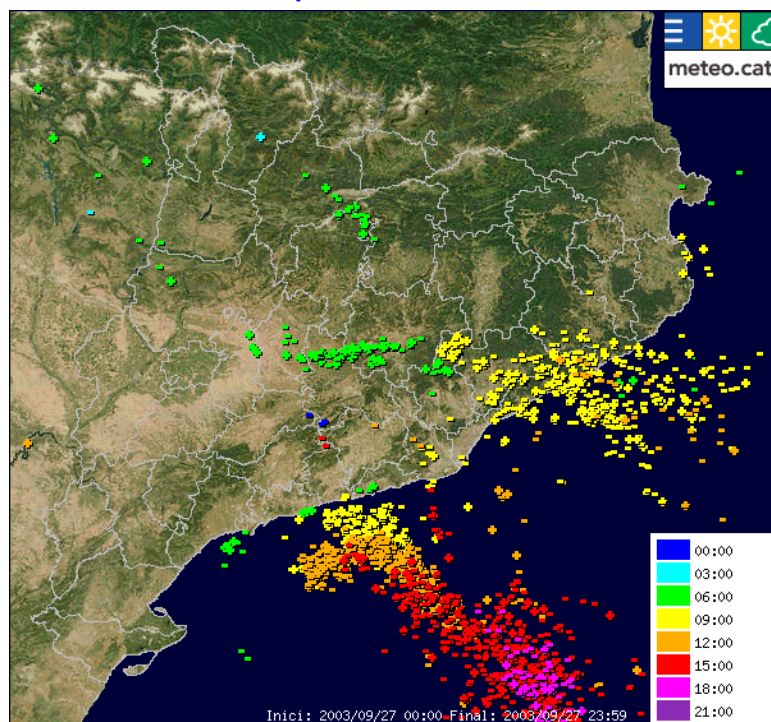
LLAMPS A CATALUNYA

Figura 10. Densitat anual de llamps (nombre de llamps per km^2) en graella de 20 x 20 km (mitjana 2004-2007).

LLAMPS AL WEB DE METEOCAT

L'SMC difon les dades de la XDDE a través del seu web amb un mapa de llamps que s'actualitza cada hora.

<http://www.meteo.cat>



El símbol del llamp correspon a la seva polaritat, i hi ha llamps de càrrega negativa (-) i de càrrega positiva (+). Les 24 hores del dia estan dividides en 8 franges de 3 hores, i el color dels símbols indica el tram horari al qual correspon el llamp. L'hora està expressada en temps universal (TU).

PRECAUCIONS EN CAS DE TEMPESTA

En cas de tempesta, tingueu presents les recomanacions següents:

En sentir tronar, cal buscar refugi, ja sigui en una edificació o en un vehicle tancat. Cal evitar refugiar-se sota d'un arbre o d'un objecte aïllat, i cal mantenir-se'n a una distància prudencial. Si la tempesta ens sorprèn a camp obert, en carenes o cims de muntanya on nosaltres som l'objecte que sobresurt, cal ajupir-se i tapar-se les orelles. No s'ha de córrer, per evitar generar corrents d'aire.

Cal evitar el contacte amb elements conductors, com els metalls i l'aigua. Així, ens hem de desprendre d'objectes metàl·lics (piolets, pals de golf, etc.) i allunyar-nos de reixes metàl·liques, vies de tren, línies elèctriques o altres estructures metàl·liques. També cal allunyar-se de rius, llacs i superfícies humides. Si som al mar, cal sortir de l'aigua i no hem de romandre a coberta d'una embarcació.

Si la tempesta ens sorprèn al cotxe o a casa, malgrat que estiguem més segurs, també cal prendre precaucions. A casa cal tancar portes i finestres, apagar la llar de foc i desendollar els aparells elèctrics. Al cotxe, cal tancar les finestres i els accessos d'aire. Si estem circulant, es recomana no parar la marxa del cotxe i intentar mantenir una velocitat prudent.

Cal esperar mitja hora després de sentir l'últim tro abans de reprendre les activitats a l'aire lliure. Finalment, es recomana consultar el pronòstic del temps per poder organitzar millor les activitats i evitar riscos.



**Servei Meteorològic
de Catalunya**



Generalitat de Catalunya
Departament de Medi Ambient
i Habitatge

Berlín, 38-46 4t · 08029 Barcelona
<http://www.meteo.cat>