



**Universitat**  
de les Illes Balears

# **La Mediterrània occidental, una regió d'adversitats meteorològiques i punt calent del canvi climàtic**

**Dr. Romualdo Romero March**

Catedràtic de Física de la Terra

Grup de Meteorologia

Departament de Física

**Lliçó inaugural**  
Any acadèmic 2021-22

# **La Mediterrània occidental, una regió d'adversitats meteorològiques i punt calent del canvi climàtic**

**Dr. Romualdo Romero March**

Catedràtic de Física de la Terra

Grup de Meteorologia

Departament de Física

Senyor Rector Magnífic, Senyora Presidenta, resta d'autoritats i representants, familiars, companys i amics que m'escoltau des d'aquest auditori o a través de les xarxes,

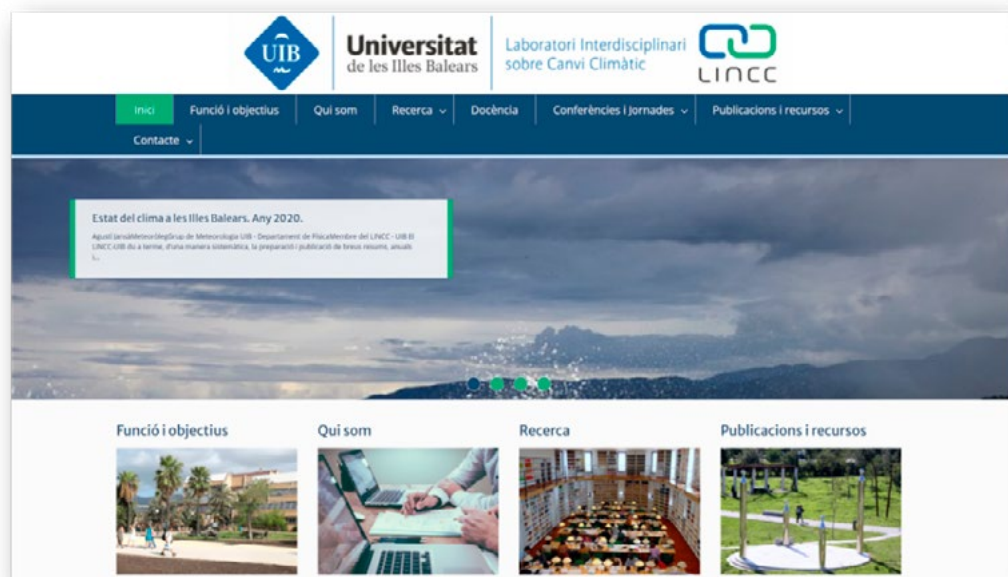
És per a mi un immens honor haver estat triat enguany per impartir la lliçó inaugural del curs. Ho entenc com un clar compromís del nou equip rectoral amb els problemes mediambientals que, de manera creixent, afecten la nostra comunitat i la societat del segle XXI en general. La UIB és, des de fa tres anys, entitat observadora de la Convenció marc de les Nacions Unides sobre el canvi climàtic (CMNUCC), fet que comporta que pot participar amb aportacions i propostes en els acords internacionals contra les emissions de CO<sub>2</sub> i altres gasos d'efecte hivernacle causants del problema.

Un any abans, amb l'Acord executiu de 24 d'octubre de 2017, es creava el Laboratori Interdisciplinari sobre Canvi Climàtic de la UIB (LINCC UIB), un ens investigador que té la finalitat de potenciar la difusió, docència, recerca i transferència de coneixement sobre el canvi climàtic. El LINCC no només ha assolit aquests objectius inicials —i per això ara vull expressar un agraïment especial a l'equip directiu, els doctors Damià Gomis, Pau de Vilchez i Catalina Torres— sinó que ha fet que la nostra universitat exerceixi avui en dia un paper fonamental com a pont (...un pont amb forts fonaments, construïts d'un material gairebé indestructible: el coneixement científic) entre l'Admi-

nistració pública, la societat civil i el sector privat, per definir polítiques públiques que garanteixin la sostenibilitat de la nostra societat.

No ens ha de resultar estrany que el LINCC UIB estigui integrat per membres dels departaments de Física, Geografia, Biologia, Química, i Ciències Matemàtiques i Informàtica i investigadors de l'IMEDEA, però també per membres de departaments com Dret Públic, Economia Aplicada, Filosofia i Treball Social, o Pedagogia Aplicada i Psicologia de l'Educació. El problema del canvi climàtic és multifactorial i presenta interaccions complexes i impactes sobre molts de sectors. Qui avui us parla és un humil físic, especialista en el que podríem dir que és la part de la intrincada cadena de processos on comença tot després de l'acció humana: el sistema atmosfèric. Necessàriament de manera abreujada, tenc el plaer de presentar-vos algunes pinzellades d'un tema (la fenomenologia extrema mediterrània i els possibles efectes del canvi climàtic) que m'apassiona i que he pogut desenvolupar professionalment gràcies a dos grans mestres com són els professors ja jubilats, emèrits d'aquesta universitat, Climent Ramis i Sergio Alonso, i gràcies als meus companys del Grup de Meteorologia i a diferents col·legues externs.

«La Mediterrània occidental: una regió d'adversitats meteorològiques i punt calent del canvi climàtic». Aquest podria ser perfectament el títol de la lliçó inaugural en qualsevol de les nombroses uni-



Laboratori Interdisciplinari sobre Canvi Climàtic de la UIB (lincc.uib.eu)

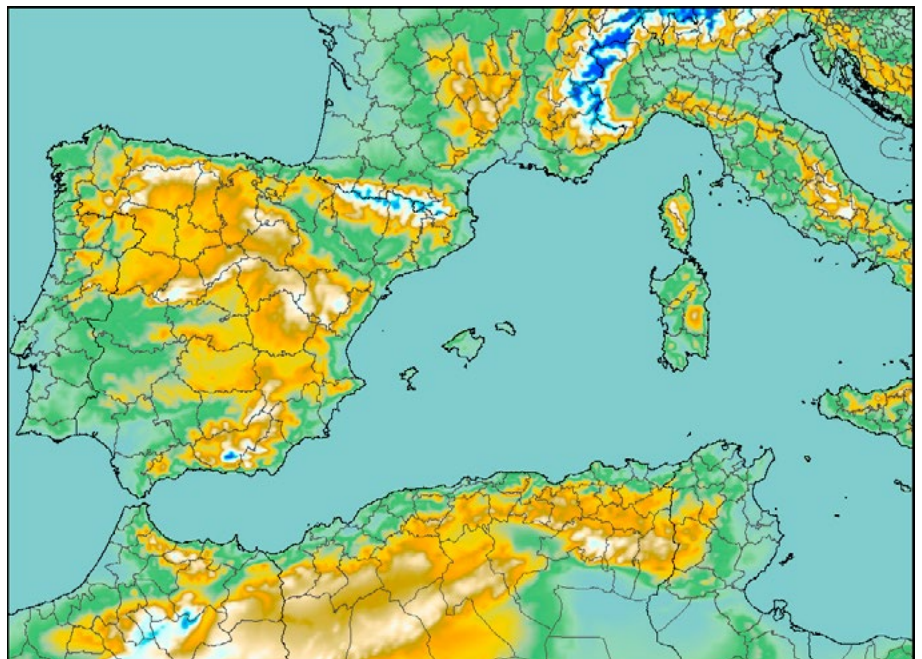
versitats dels països riberencs de la nostra mar, per molt que els exemples que jo pugui utilitzar avui corresponguin principalment a l'entorn de les Balears. Compartim uns factors geogràfics que determinen crucialment el clima de la regió i les seves manifestacions adverses. Els factors geogràfics són decisius en moltes altres parts del món: llevau, per exemple, l'aigua calenta del golf de Mèxic, rebaixau l'altura del sec altioplà a l'oest o disposau una serralada al nord que separi les planes nord-americanes del Canadà, i el centre-sud dels Estats Units deixaria de ser la meca mundial dels tornados.

En el cas de la Mediterrània occidental, ens ha tocat viure en una conca quasi tancada, envoltada pels prominents sistemes orogràfics de la península Ibèrica, el nord d'Àfrica, França, Itàlia i de les illes de Còrsega i Sardenya, que podríem dir que tanquen la conca per l'est. Els forts pendents de les massivament urbanitzades costes mediterrànies són, de fet, un tret característic de la regió que provoca inundacions sobtades al llarg dels curts rius i torrents quan la precipitació és extraordinària. Els grans sistemes muntanyosos, com els Pirineus, els Alps o l'Atlas, exerceixen un paper fonamental modulant i canalitzant els fluxos d'aire; sovint estimulen, a sotavent dels corrents dominants, la formació de centres de baixa pressió, principals inductors del que col·loquialment denominam «temps inestable».

Un altre factor singular de la nostra regió és la presència d'una aigua anormalment càlida després

del llarg estiu, ric en insolació i en prolongats períodes de calma. El potencial d'evaporació i l'efecte termoregulador d'aquesta aigua al final de l'estiu i durant la tardor són més que notables, i configuren la denominada «massa d'aire mediterrània», dotada d'aire càlid i molt humit a les capes més baixes, les que estan en contacte amb la mar. Quan els visitants de la Península (o vosaltres mateixos quan tornau d'unes vacances continentals) descriuen el trànsit des de l'avió a la terminal, o de la terminal al taxi, com una experiència similar a haver entrat en una sauna, no estan sinó reconeixent haver sucumbit als efectes de la massa d'aire mediterrània. L'energia latent continguda en aquestes capes baixes resulta fenomenal, ja que, si aquest alt contingut de vapor d'aigua es condensàs, per exemple, en forma de nígul de tempesta, donaria lloc a 2.500 joules d'energia sensible per cada gram d'aigua que hagués canviat de fase!

Finalment, la Mediterrània occidental resulta que està estratègicament situada dins el globus terraqüi, tant per la seva latitud (entre 35 i 45 graus), a cavall entre les zones septentrionals fredes i les tropicals molt més suaus, com per la disposició de les grans masses oceàniques i continentals que té al seu voltant. Això determina el famós clima mediterrani, amb estius secs i calorosos i hiverns temperats i moderadament plujosos. En definitiva, un clima generalment plàcid i que en gran mesura ha possibilitat una història de civilitzacions d'èxit i d'activitats econòmiques pròsperes, entre les quals destaca avui en dia el turisme, nodrit d'uns atributs



Visió general de la Mediterrània occidental i zones contigües (font pròpia)

climàtics, paisatgístics i culturals únics en el món. Però aquesta ubicació també incentiva el contrast sobre la nostra vertical, la lluita, podríem dir, entre masses d'aire amb característiques de temperatura i d'humitat molt marcades i canviants al llarg de l'any: destaquen, a part de la ja esmentada massa d'aire autòctona, la massa continental tropical africana, la marítima tropical del sector atlàntic, i les masses marítima i continental d'origen polar o àrtic. La massa d'aire en la qual ens trobem immersos determinarà les condicions predominants, si bé són les fronteres entre masses les que presenten una dinàmica més activa i un tipus de temps més variable i interessant.

L'ocurrència ocasional però impactant de fenòmens atmosfèrics adversos respon a una delicada superposició, o còctel, d'ingredients. Veurem, cas per cas, que aquests ingredients tenen a veure amb els perfils verticals de temperatura, humitat i vent o amb els contrastos en el pla horitzontal d'aquestes variables, així com amb la presència de factors dinàmics de major escala capaços de combinar-los i sostenir-los en el temps. A més, sol fer falta un mecanisme d'iniciació, perquè, per molt que el carregador estigui ben ple de pólvora fresca, sense el gallet, sense l'espurna inicial, l'energia no podrà alliberar-se. El fi últim de les circulacions de menor escala generades, amb els seus patrons típics de precipitació, pressió, vent, etc., és dissipar els desequilibris verticals i horitzontals anteriors en la incessant lluita que lliura la nostra atmosfera contra un Sol que escalfa la Terra de manera desigual en l'espai i el temps.

Per descomptat, perquè el resultat adquireixi un caire de fenomen catastròfic (per exemple, precipitacions torrencials, vents violents o temperatures extremadament altes o baixes respecte al que és normal a la regió) la combinació d'ingredients ha de ser total, perfecta, i amb cadascun en la justa mesura. Utilitzant un símil gastronòmic, per elaborar una paella inoblidable necessitarem una bona varietat d'arròs, un bon sofregit, un bon brou, un temps de cocció adequat i hi ha qui diu que una bona dosi d'amor per part del cuiner. Basta que falli algun d'aquests ingredients perquè la nostra paella no passi de ser un plat ordinari.

En la nostra meteorologia d'ingredients hi haurà èpoques o llocs especialment propicis perquè aquests es combinin òptimament, d'acord amb el que dicta el clima de cada regió (per exemple, ja sabem que a la Mediterrània occidental l'estació de tempestes i precipitacions extremes és la tardor), però l'atmosfera no té consciència del calendari, de la ubicació ni de la història climàtica quan es tracta d'actuar. Si a les Balears, per exemple, es donen condicions per a una tempesta forta, diguem que un mes de gener, l'atmosfera no diu: eh!..., què faig?..., atura't!..., ara no és època de tempestes! Tornant a l'exemple culinari, encara que tots confiaríem en la destresa de la padrina mallorquina o de l'amic valencià, ningú no diu que la paella de les nostres vides no pugui ser obra de l'estudiant noruec, si la selecció de productes i els passos de la recepta són els ideals. Veurem que el canvi climàtic implica canvis profunds en els patrons de circulació i en les variables atmosfèriques, per la qual cosa s'espera —si és que ja no succeeix— un augment en la freqüència i intensitat dels fenòmens extrems.



Alguns exemples de fenòmens meteoroclimàtics extrems (fonts diverses)

Els fenòmens extrems són, per definició, molt poc probables, la qual cosa dificulta la seva completa comprensió i predicció des de l'àmbit científic, i l'assimilació del risc per part de la població. Però és que un únic temporal pot tenir un cost en vides humanes i pèrdues econòmiques tan elevat com desenes de temporals ordinaris. O una llarga sequera pot sotmetre activitats com l'agricultura a un estrès tal que faci inservibles estratègies d'adaptació que varen ser planificades pensant solament en una progressiva disminució de les precipitacions. Alguns predictors meteorològics s'enfrontaran, estant de servei, potser una sola vegada durant la vida, a temporals o situacions de gran magnitud. Pot ser que pensin que ni tan sols varen ser entrenats per al que tenen davant. Als humans les situacions extraordinàries i doloroses se'ns apareixen com a inversemblants, increïbles: no poden ser veritat! Us hauríeu imaginat al començament d'aquest segle que dos avions s'estavellarien contra les torres bessones de Nova York fent-les desaparèixer per sempre? O que dos potents tsunamis a Àsia provocarien desenes de milers de morts entre població local i turistes i un accident nuclear sense precedents en un dels països més avançats i segurs tecnològicament? O que un virus descontrolat paralitzaria el món? I que, a més, tots aquests esdeveniments els podríem veure per televisió? Jo tampoc, la veritat.

En el cas dels fenòmens meteorològics extrems, al final tot és una qüestió de probabilitats; sent aquestes petites, no són mai nul·les. Com diu un col·lega especialista en tornados i altres fenòmens convectius dels Estats Units, «*It is not a matter of if, it is a matter of when*» ('La qüestió no és si succeirà, sinó quan'). La població, i per descomptat els nostres dirigents, han d'estar sempre preparats per al pitjor escenari, per inversemblant que sembli. Les polítiques, els recursos i les inversions haurien de dirigir-se en major mesura cap a una millor comprensió i predicció dels riscos meteorològics (necessitam més recerca i desenvolupament en la matèria), cap a instruments de mitigació i com-

pensació dels danys més àgils i més ben dotats, i cap a planificacions més raonables de l'ocupació i ús del territori. Des del punt de vista de les conductes individuals, caldria saber reconèixer millor el risc i ser humil davant el poder de la naturalesa. Sabíeu, per exemple, que un bon nombre de morts per inundacions locals ocorren dins el vehicle? Moltes serien evitables en virtut dels principis físics més elementals, que ens ensenyen que basta un corrent de tot just 60 centímetres que travessa la carretera per fer d'un vehicle una clovella a la deriva i a mercè de l'aigua.

A l'hora de descriure les circulacions atmosfèriques responsables del temps advers, resulta útil classificar-les per la seva grandària horitzontal. L'espectre de dimensions possibles és enorme i comprèn des d'ones planetàries, amb grandàries d'uns 5.000-10.000 quilòmetres, fins a remolins turbulents de tan sols unes desenes de metres. Resulta interessant l'associació gairebé perfecta que existeix entre aquesta escala de grandàries i els corresponents temps de vida de les circulacions. Així, les ones planetàries tenen uns períodes de fins a algunes setmanes, mentre que els remolins turbulents són tan efímers que es dissipen al cap d'alguns segons. Tal disposició, en diagonal, dels fenòmens atmosfèrics dins el diagrama d'escala horitzontals i temporals és atractiva i pràctica, però en realitat alberga un fet frustrant: un bon nombre dels fenòmens adversos que ens afecten se situen en el rang de la meso- i microescala (per exemple, una línia de torbonada pot mesurar no més de 100 quilòmetres, i un tornado té un diàmetre de tot just alguns centenars de metres). Com que els models meteorològics i climàtics estàndard que s'utilitzen per predir el temps i projectar el clima no poden operar a tanta resolució com seria desitjable (els primers utilitzen cel·les de càlcul d'alguns quilòmetres de costat per a un horitzó de predicció de diversos dies, mentre que els segons han de limitar-se a cel·les de desenes de quilòmetres en projectar el clima durant dècades o segles), necessàriament no podran resoldre explícitament molts dels fenòmens.

Afortunadament, aquesta no és una batalla perduda ni de molt. En primer lloc, la millora en els recursos computacionals és constant, i permet incrementar any rere any la resolució màxima dels models. En aquest sentit, aplaudim la iniciativa de l'equip rectoral, tot d'una que va prendre possessió al mes de juny passat, d'aprofitar la convocatòria per a equipament científicotècnic 2021, finançada amb els nous fons europeus, per coordinar la sol·licitud d'una nova infraestructura HPC a la UIB que substitueixi l'ordinador FONERS actual. En segon lloc, com ja s'ha comentat, la gènesi, la intensitat i l'organització dels fenòmens adversos depenen normalment de circulacions superiors, les quals quedaran resoltes de manera més satisfactòria pels models. Quan, per exemple, l'AEMET indica risc convectiu a l'interior de Mallorca durant l'horabaixa, malgrat no poder precisar ni en quines localitats ni a quina hora exactament es formaran les tempestes, de fet explota aquestes relacions entre escales. I en la projecció climàtica ho fem mitjançant el disseny de tècniques de regionalització, dinàmiques i estadístiques, que, alimentades pels patrons de circulació general i continental, ben re-

solts pels models climàtics, són capaces de produir projeccions futures del clima a escala local.

Aquestes millores no estan lliures d'incerteses, que poden fins i tot exacerbar-se per a les circulacions de petita escala, per la qual cosa fa ja dues dècades que es va migrant des de la predicció o projecció determinista cap a la de tipus probabilístic. La incertesa i la seva expressió (quantitativa o qualitativa) al costat del missatge principal és part inherent del mètode científic. Cada vegada més sentireu prediccions meteorològiques a les quals s'adhereix un percentatge de probabilitat d'ocurrència i, si alguna vegada heu llegit els informes de l'IPCC sobre canvi climàtic, notareu una profusió de termes de l'estil de «virtualment cert», «molt probable», «probable», «tan probable com improbable», etc. Si em permeteu una recomanació, desconfieu del paracientífic o del tertulià que, interessadament, qüestiona la validesa i robustesa dels resultats científics pel mer fet de no poder ser expressats amb un 100 per cent de probabilitat.

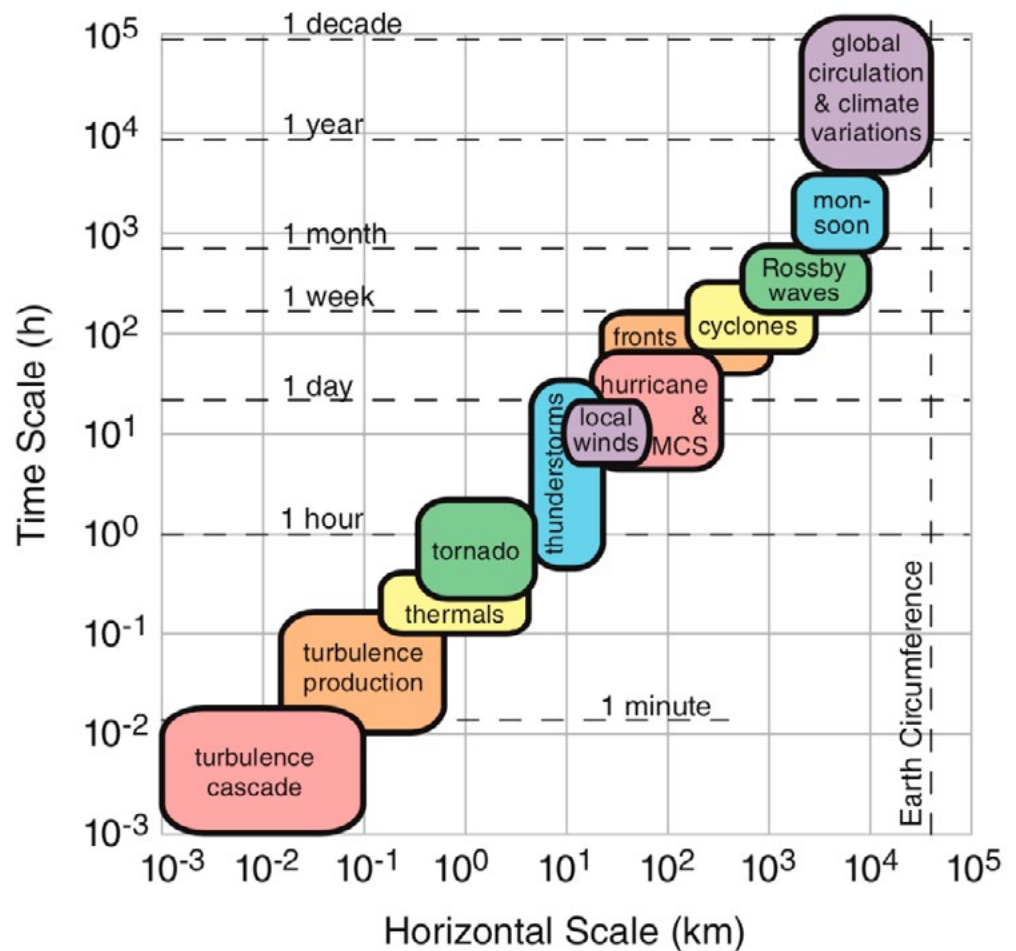
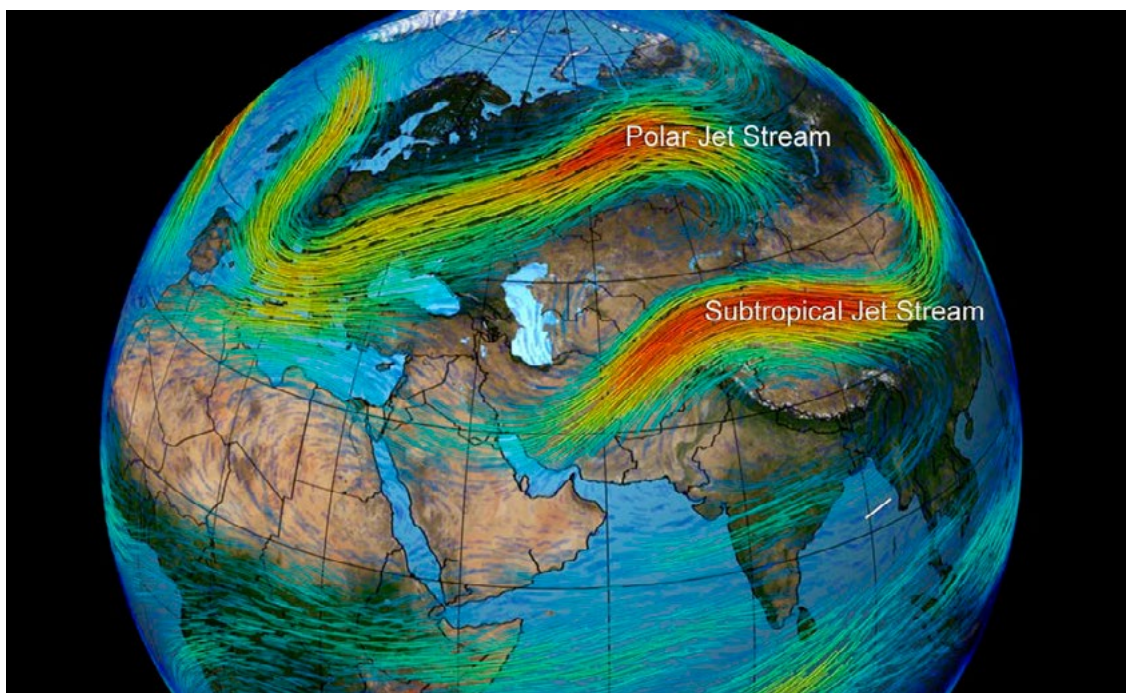


Diagrama d'escala horitzontal i temporal de les circulacions atmosfèriques (font: Stull 2017)

No puc deixar passar aquesta oportunitat sense fer ressaltar alguns progressos recents del Grup de Meteorologia en tots aquests aspectes: dos projectes finançats per les darreres convocatòries del Pla estatal d'R+D+I orientades als reptes de la societat, i dues tesis doctorals. Concretament, el projecte EPICC liderat pel doctor Daniel Argüeso fa simulacions quilomètriques per estudiar els efectes del canvi climàtic sobre la precipitació extrema a la Mediterrània occidental. El projecte TRAMPAS, liderat per qui us parla, dissenya un nou model numèric meteorològic apte per simular des de petites circulacions tèrmiques fins a grans borrasques extratropicals, el primer model de la seva classe íntegrament «*made in Spain*». D'altra banda, la tesi de la doctora Maria Francesca Cardell, presentada al mes de juliol passat, ha implementat una nova cadena de regionalització climàtica dinámicoestadística que dona resposta a quins seran els impactes del canvi climàtic en un escenari d'altres emissions com l'actual sobre els esdeveniments extrems a Europa i sobre dos sectors estratègics del sud del continent (la producció vitivinícola i el turisme). Finalment, la tesi del doctor Alejandro Hermoso, defensada a principi d'aquest mateix mes, ha aconseguit nous avanços en les estratègies de predicció per conjunts (és a dir, de tipus probabilístic) aplicades als episodis meteorològics mediterranis d'alt impacte social.

En el nostre viatge a través del món de les escales, del més gran al més petit, ens detenim en primer lloc en els processos de meandrització dels corrents en jet de l'oest. El corrent polar marca la frontera de separació entre l'aire fred d'origen polar i l'aire temperat dels extratropicals, mentre que el corrent subtropical separa l'aire extratropical del tropical més càlid. A grans trets, on aquests grans rius atmosfèrics circumplanetaris s'ondulin cap al nord s'estarà sota influència anticiclònica i immersos en masses d'aire càlid. A la Mediterrània occidental aquesta situació comportarà absència de precipitacions i, si ocorre a l'estiu, època en la qual s'hi sumen la forta insolació i vents molt febles, provocarà onades de calor. L'ondulació cap al sud del corrent en jet comporta situacions borrascoses i entrada d'aire fred. El temps serà humit i, a l'hivern, implicarà onades de fred i nevades en cotes baixes. Podria afirmar-se que els professionals de la meteorologia i aficionats locals somiam sovint amb la isoterma de +25 i -5 graus a uns 1.500 metres d'altura en aquestes estacions, respectivament, perquè marquen el límit més enllà del qual la calor i el fred en superfície es tornen extrems.



Corrents en jet  
amb les seves  
ondulacions  
característiques  
(font: NASA)



Predir en el dia a dia per a un termini de fins a una o dues setmanes l'estat dels corrents en jet i la disposició de les grans masses d'aire resulta relativament fàcil per als models. Més interessant seria poder anticipar la prevalença o tendència a la repetició d'uns mateixos patrons durant setmanes o mesos, la qual cosa a vegades ha donat lloc a termes famosos com «l'any de la neu» o «la terrible onada de calor de 2003», aquesta darrera amb milers de morts a Europa. Les prediccions estacionals es mostren com una eina prometedora per a aquesta comesa, encara que la forta dinàmica interna de l'atmosfera en latituds mitjanes no facilita precisament la tasca. Ja en el context de l'escalfament global, s'espera un afebliment i migració progressius del corrent en jet cap al nord i ondulacions d'aquest més acusades, paral·lelament a l'augment significatiu, d'uns quants graus al final del segle, de la temperatura característica de les masses d'aire que ens afecten. Com en moltes altres zones del món, les nits i els dies càlids i la intensitat de les onades de calor han augmentat i continuaran augmentant en el futur, al ritme de la pujada de les temperatures mitjanes, que en el cas de les Balears ha estat més elevada a la primavera i l'estiu que a la tardor i l'hivern. Al compàs de l'augment dels extrems càlids, les nits i els dies freds, així com la potència de les onades de fred, seguiran disminuint amb altíssima probabilitat. Per altra part, l'excitació del cicle hidrològic en un planeta més càlid implica més precipitació en zones plujoses com el nord d'Europa, però una pèrdua d'aquest recurs en zones semiàrides com el sud del continent. Així, s'espera una disminució progressiva de les precipitacions mitjanes a la regió mediterrània, tendència que a les Balears encara no es detecta nítidament en les observacions per mor de la forta variabilitat interanual i interdecadal. Tots els escenaris apunten a un futur amb sequeres més greus a la Mediterrània, problema exacerbat pel comentat augment de les temperatures.

Amb una grandària aproximada de 1.000 quilòmetres i un cicle de vida de 3-5 dies tenim els que segurament són els principals inductors dels episodis adversos a la nostra regió fora de l'estiu: els ciclons mediterranis. Ciclò s'entén aquí com el terme genèric per designar una zona de baixa pressió en superfície; podríem també utilitzar depressió o borrasca per designar-la. El mecanisme baroclínic o mecanisme per excel·lència per a la formació dels ciclons extratropicals consisteix en l'existència de forts contrastos tèrmics entre masses d'aire, acompanyats per un enfortiment en altura del corrent en jet. La ciclogènesi i posterior evolució que succeeix al llarg d'aquesta frontera tèrmica actuarà barrejant horitzontalment i verticalment aquestes masses d'aire a través de l'enroscament dels fronts fred i càlid i gràcies també als corrents verticals. Un cicló madur d'aquest tipus podria assimilar-se a una gran aspiradora que atreu l'aire des de totes direccions i el fa circular en sentit contrari a les agulles del rellotge entorn del seu centre i n'estimula també els ascensos, especialment prop del nucli i al llarg dels fronts nuvolosos.

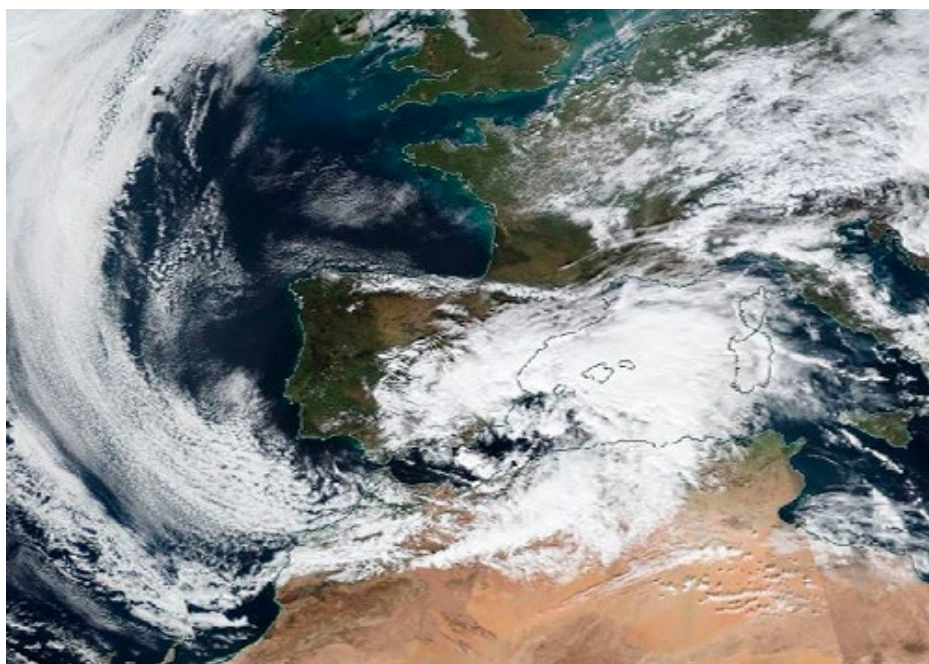
Quan la ciclogènesi sigui intensa, la pressió central de la pertorbació serà molt baixa i els vents al seu voltant molt forts, potser destructius, sobretot si sofreixen un realç topogràfic (aquest és el cas de les zones afectades per la tramuntana o el mes-tral). Les pluges seran també persistents, i els valors acumulats en zones muntanyoses poden ser enormes. Dos exemples notables són el supercicló del 9 al 12 de novembre de 2001, potser el fenomen més destructiu a gran escala a les Balears de l'època moderna, i la borrasca Glòria del 19 al 22 de gener de 2020, encara que en aquest cas el factor determinant del fort temporal marítim va ser la inusual diferència de pressió entre el sud de la Mediterrània occidental i les illes Britàniques. Fins i tot quan els ciclons mediterranis assoleixen es-

cassa entitat en termes d'intensitat, grandària o dimensió vertical (i són inofensius, per tant, des del punt de vista dels vents generats), poden exercir un paper rellevant en l'organització del flux i l'alliberament d'instabilitat que ocorre en els sistemes precipitants intensos. De fet, hi ha molt pocs casos d'inundació mediterrània, tractats posteriorment, en què no es detecti algun cicló —pot ser que una simple depressió topogràfica de sotavent— en els voltants de la regió afectada.

Els models numèrics han estat crucials per entendre la gènesi i mecànica dels ciclons mediterranis, i amb les resolucions actuals, que mostren perfectament els processos baroclínics i els principals elements del relleu muntanyós, pot dir-se que les agències meteorològiques poden anticipar el cicle de vida de les depressions i les seves trajectòries més probables amb hores o dies d'antelació. Una possible excepció són els processos de ciclogènesi molt ràpida, o «ciclogènesi explosiva», que resultin en depressions molt profundes i relativament petites, especialment quan aquestes es gesten sobre zones marítimes, on les observacions de qualitat de partida per als models són escasses. En relació amb els estudis que analitzen els efectes del canvi climàtic sobre la freqüència i intensitat dels ciclons mediterranis, ha d'admetre's que són encara escassos i no prou conclouents. S'imposa la idea que el desplaçament del corrent en jet cap a latituds més septentrionals implicarà més situacions anticiclòniques a costa de les perturbacions

ciclòniques. No obstant això, amb l'escalfament de la mar Mediterrània i la major disponibilitat de vapor d'aigua (un reconegut ingredient ciclogènètic per l'alliberament de calor latent de condensació), el nombre de ciclons intensos podria ser proporcionalment major que en l'actualitat. O, si més no, els ciclons futurs guanyarien eficiència des del punt de vista de la producció de precipitació. Un exemple il·lustratiu d'aquesta mena d'expectatives, en aquest cas d'origen atlàntic, és la borrasca Filomena, que va cobrir amb copioses nevades pràcticament la meitat del territori peninsular al mes de gener passat.

Pot ser que molts de vosaltres hàgiu sentit parlar també dels huracans mediterranis o medicans, un subtipus especial de cicló mediterrani que, si bé poc freqüent (se'n registren anualment 2 o 3 casos en tota la conca mediterrània), és potencialment molt perillós quan toca costa o travessa illes. Les illes Balears s'han vist afectades directament o indirectament per medicans amb una recurrència mitjana d'uns cinc anys. El cas de la matinada del 2 d'octubre de 1986 va afectar greument l'arbratge de la ciutat de Palma i va devastar les instal·lacions de la fira nàutica (els cops de vent al cim de la serra d'Alfàbia varen arribar als 170 km/h). Els medicans ocupen un graó inferior en el diagrama d'escalas, atès que fan no més d'uns 200 o 300 quilòmetres de diàmetre i, en comparació amb els ciclons extratropicals, solen ser menys longeus. Amb aquesta grandària, i en desplaçar-se de ma-



Borrasca Glòria del 19-22  
de gener de 2020  
(font: NASA)

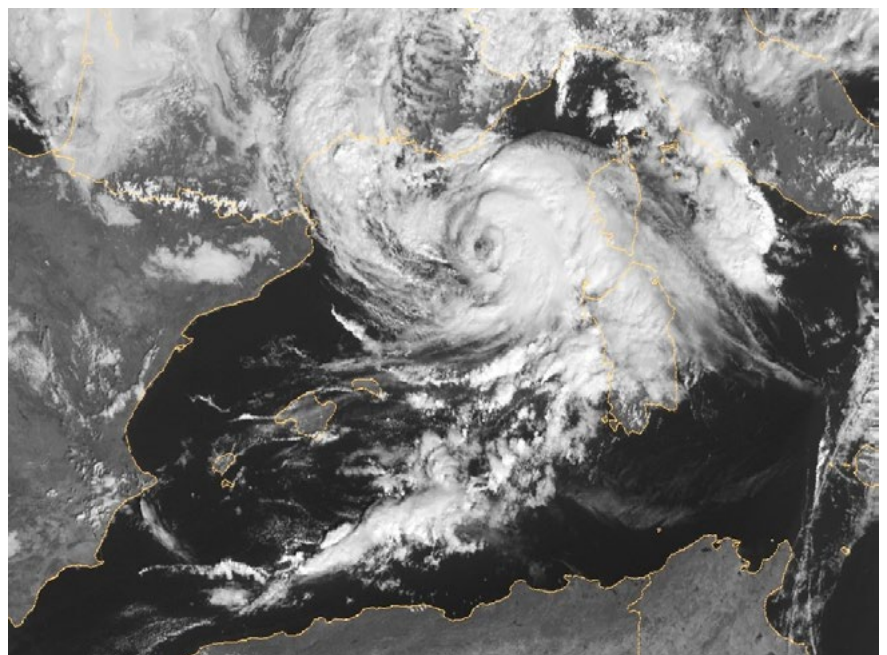
nera relativament ràpida seguint els vents d'altura, els seus efectes en les zones que troben en el seu camí, en forma de forts vents i ruixats intensos, seran més aviat de curta durada.

Però l'aspecte distintiu d'aquestes perturbacions (marítimes per naturalesa i més freqüents a la tardor) és el mecanisme de gènesi, similar al dels ciclons tropicals: necessiten inestabilitat en la vertical (aire fred en altura que contrasta amb l'aire càlid i molt humit en nivells baixos, sustentat pels fluxos de calor sensible i latent des de la mar), atmosferes humides en tots els nivells i vents que no canviïn molt en la vertical. De fet, gradients horitzontals de temperatura i forts vents en altura significarien ara un ambient hostil per a la seva formació. La font darrera d'energia per a la gènesi i intensificació d'un medicà és, igual que per a l'huracà clàssic de les zones tropicals, l'alliberament organitzat i sostingut de calor latent en els potents sistemes nuvolosos que s'enrosquen al voltant de l'ull. No sorprèn, per tant, el seu aspecte característic en les imatges de satèl·lit, que recorda el d'un huracà o..., per als més llépols, el d'una ensaïmada.

Com podeu imaginar-vos, atesa la seva petita grandària relativa, alguns medicans escapen a la perícia dels models numèrics. A vegades els models els formen correctament, però no reproduïxen el detall de la seva trajectòria, un aspecte crucial per a una bona predicció dels possibles efectes en costes poblades. Un altre fet curiós és una certa propensió dels models a inventar-se medicans

falsos que després no ocorren en el món real, o que no passen de ser petites borrasques frustrades en el seu intent de convertir-se en veritables medicans. Si bé el caràcter marítim del fenomen i el fet que depengui de múltiples processos físics el mantindran sempre una miqueta esquiu, s'espera que, amb l'increment progressiu de la resolució horitzontal i vertical dels models, els medicans es puguin anar capturant cada vegada millor. I quins són els efectes esperables del canvi climàtic? Els nostres estudis de regionalització apunten a un futur amb un 5-10 per cent de medicans menys que en l'actualitat, en resposta a les més esporàdiques entrades d'aire fred en altura sobre la Mediterrània. No obstant això, existeix un alt consens entre els models climàtics utilitzats que, en incrementar-se el potencial termodinàmic per una mar més calenta, el nombre de medicans de gran intensitat, fins i tot amb una magnitud no observada en el clima actual, augmentarà.

Si hi ha unes adversitats d'origen meteorològic per les quals la Mediterrània occidental és mundialment coneguda, aquestes són, sens dubte, les precipitacions intenses i els consegüents processos d'inundació en les nostres conques d'escàs recorregut i fort pendent. En principi, les borrasques externes situades sobre l'Atlàntic o la península Ibèrica podrien generar pluges importants quan els fronts càlid i fred desfilen sobre la nostra regió, però aquestes situacions només són efectives cap als Pirineus, el sud de França i el nord d'Itàlia, on els vents lligats als fronts, del sector sud, tindran

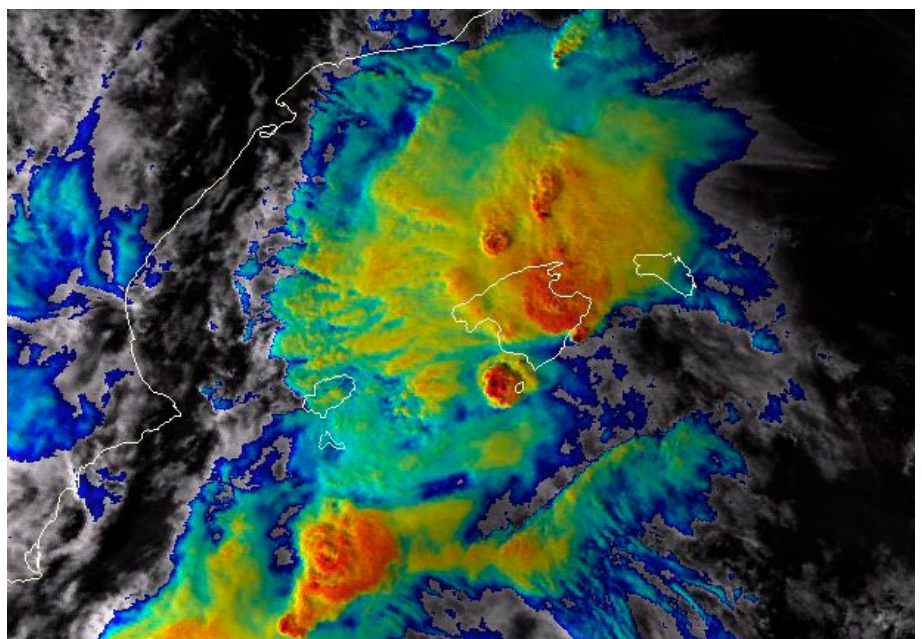


Medicà del  
8 de novembre  
de 2011  
font: EUMETSAT)

un extens recorregut marítim. En la resta del territori i a les illes Balears en particular, la gènesi de pluges inusuals o bé exigeix la formació d'un cicló local, preferiblement intens i de moviment lent (situació que pot ocórrer en qualsevol època de l'any, excepte en ple estiu), o bé apareix lligada a una situació depressionària general, més marcada en altura i amb entrada d'aire relativament fred, que des de finals d'agost fins a ben entrat novembre, en combinació amb la massa d'aire mediterrània, actua d'incubadora per a sistemes o complexos convectius de mesoescala. Aquests darrers no són més que agrupacions organitzades de tempestes, amb formes variades (des de disposicions lineals fins a quasicirculars) i grandàries que van des de les desenes als pocs centenars de quilòmetres. En el cas mediterrani i durant la tardor, aquests sistemes posseeixen una perfecta eficiència en la conversió de la humitat atmosfèrica en precipitació. A més, en adquirir a vegades un caràcter quasies-tacionari, perquè es regeneren i maduren sempre sobre el mateix lloc les cèl·lules convectives que els componen, els valors acumulats locals poden ser extraordinaris. Tal és el cas dels gairebé 800 mm en 24 hores a Gandia i Oliva (València) el 3 de novembre de 1987, o els gairebé 400 mm en tot just 5 hores que hem estimat al nord de Sant Llorenç (Mallorca) el fatídic horabaixa del 9 d'octubre de 2018.

Com a perfecta incubadora d'aquests sistemes de precipitació intensa tenim les famoses DANAs, col·loquialment conegudes com a «gotes fredes».

Si bé ni totes les DANAs acaben provocant inundacions ni totes les precipitacions extraordinàries són resultat de DANAs, sí que és cert que una DANA, o depressió aïllada en nivells alts (d'uns 1.000 quilòmetres de grandària), amb l'aire fred en el seu si que proveeix d'instabilitat la columna atmosfèrica en contrastar amb l'aire càlid i humit de nivells baixos, i amb el seu lent moviment i molt gradual dissipació que la fa romandre sobre la Mediterrània occidental diversos dies, resulta ser l'escenari ideal per derivar en fortes precipitacions i el creixement sobtat de rius i torrents. Els models meteorològics presenten escassa dificultat per predir amb dies d'antelació la formació d'aquestes o altres circulacions depressionàries de gran escala. Més difícil, en canvi, és poder identificar els episòdics mecanismes d'iniciació de la convecció i ser capaç de precisar quan i on es generaran les primeres cèl·lules de tempesta i el seu grau d'organització i longevitat posterior, ja que aquestes característiques (de menor escala) no sols depenen de l'orografia costanera o de factors continentals com la convergència de brises (ben resolt) sinó de la presència de fronts i línies de convergència sobre les regions marítimes que poden passar fàcilment desapercibudes en les observacions i els models. En un futur no gaire llunyà, una vegada iniciades les primeres tempestes i gràcies a l'assimilació contínua en els models d'una informació única i insubstituïble com és la proveïda pels radars meteorològics, es podran emetre prediccions rutinàries de cicle curt (horitzons d'algunes hores) per anar vigilant la possible evolució del sistema



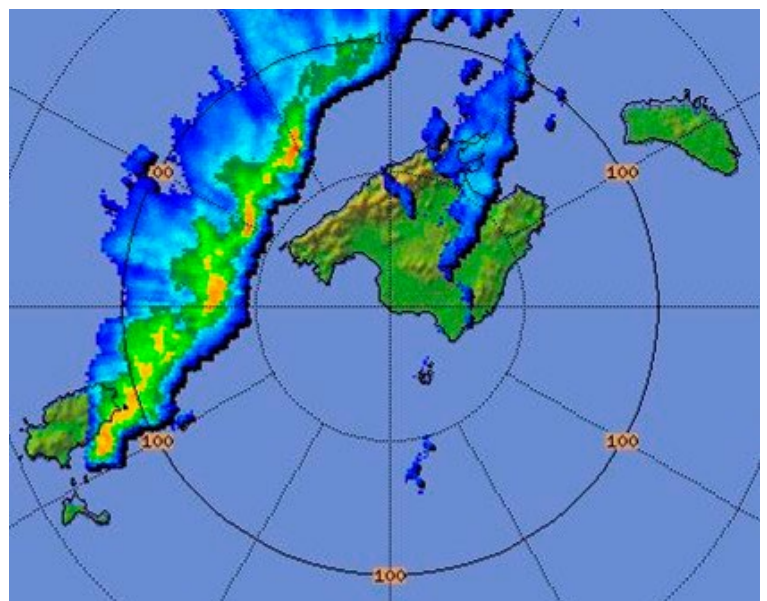
Sistemes convectius del 9  
d'octubre de 2018  
(font: NOAA)

convectiu i anar perfilant i millorant les alertes per a la població. Des del punt de vista de la projecció climàtica, cal destacar que, si bé el futur ens ofereix una major prevalença de situacions de bon temps i, per tant, un increment del nombre de dies amb precipitació escassa o nul·la, els exercicis de regionalització i les primeres simulacions climàtiques quilomètriques indiquen que les precipitacions extremes diàries i horàries també s'incrementarien en moltes zones de la Mediterrània occidental.

No és necessari que les cèl·lules de tempesta s'associïn formant sistemes molt més grans perquè puguin ocasionar fenòmens violents. Una simple tempesta unicel·lular, de pocs quilòmetres quadrats d'extensió i un cicle de vida de tot just una hora, podrà deixar-se notar amb forts ritmes de precipitació (no són rars valors en excés de 100 mm/h), però també amb pedra o fortes ratxes de vent i, per descomptat, amb la caiguda de llamps. No obstant això, la zona afectada serà més aviat reduïda (pot ser que en el barri o municipi veí no caigui ni una sola gota) i en general durant només alguns minuts, coincidents amb la fase de maduresa o de major vigor del núvol convectiu. Una tempesta multicel·lular, composta per diverses cèl·lules alhora, cadascuna en una fase diferent del seu cicle de vida, podrà desplegar aquests fenòmens en una zona més àmplia i durant més temps, a mesura que la dissipació d'unes cèl·lules es veu compensada pel naixement d'altres de noves. Però el grau d'autoorganització màxim i que pot derivar amb major probabilitat en fenòmens molt violents com pedra

de grans dimensions i vents destructius, tornados inclosos, és el que s'aconsegueix en les supercèl·lules i en les línies de torbonada. Les primeres són tempestes constituïdes per una sola gran cèl·lula amb una inusual capacitat de regeneració, que la fa durar diverses hores, dotada d'un mesocicló que la fa girar al voltant de si mateixa i que incorpora en el seu si forts corrents verticals. Un cas notable és la tempesta que va devastar cases, cultius i moltes hectàrees de bosc als termes de Banyalbufar, Esporles i Valldemossa el 29 d'agost de l'any passat. La línia de torbonada és una agrupació lineal, a vegades amb forma d'arc, composta de tempestes de qualsevol dels tipus anteriors i que sol avançar a gran velocitat en el sentit transversal a aquesta. Molts dels presents deuen recordar el temporal que va col·lapsar la ciutat de Palma l'horabaixa del 4 d'octubre de 2007 amb vents molt forts, emergents des d'una «paret» impressionant de núvols de tempesta, i almenys amb un tornado a la zona de Can Valero. Es tractava d'una línia de torbonada que va entrar per la badia després de formar-se hores abans davant les costes de Múrcia i que va fregar en el seu camí l'illa d'Eivissa.

Les tempestes violentes depenen, per descomptat, dels ambients dotats de gran inestabilitat (combinació d'aire fred en altura i aire càlid i humit en nivells baixos) i d'un mecanisme d'iniciació de la convecció que pugui ajudar a proveir de suficient elevació les partícules de nivells baixos per alliberar aquesta inestabilitat. La presència de capes seques a pocs quilòmetres d'altura no és un element negatiu i pot, fins i tot, ser



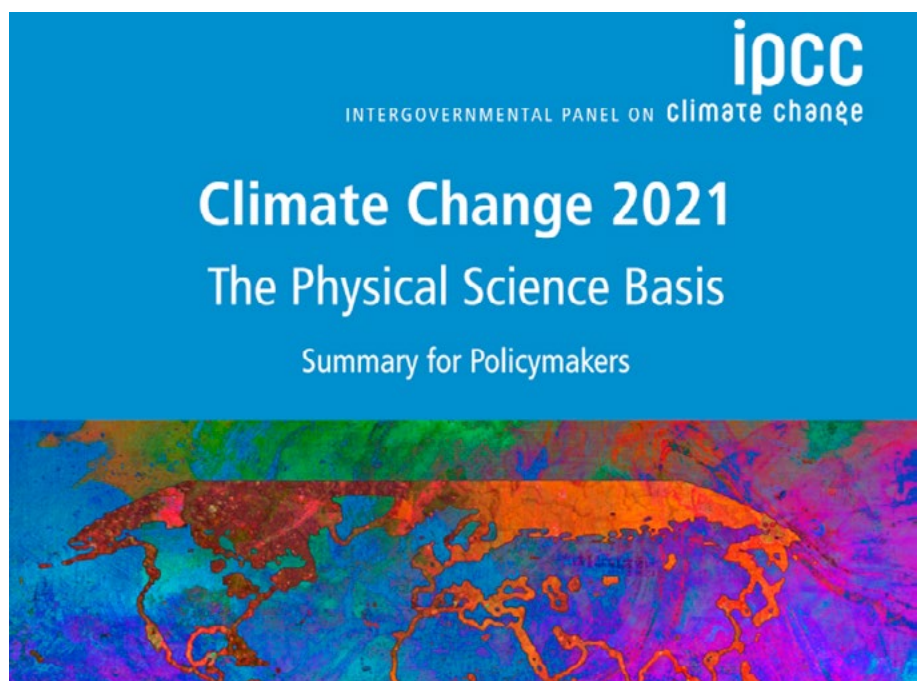
Línia de torbonada  
del 29 d'octubre de 2013  
(font: AEMET)

un element potenciador de la intensitat. Però un factor igualment imprescindible per a la gènesi d'aquestes tempestes és la presència de perfils verticals amb forts augments del vent amb l'altura. En el cas de les supercèl·lules, a més, la direcció del vent també ha de canviar notablement al llarg de la vertical. Els models numèrics d'aplicació predictiva s'enfronten de nou als problemes derivats de la insuficient resolució numèrica i del dèficit d'unes condicions inicials de qualitat a petites escales, sobretot en zones marítimes. Les mateixes receptes i perspectives que hem fet ressaltar per al cas de les inundacions mediterrànies serien vàlides en aquest cas. I respecte dels pocs estudis realitzats fins ara sobre els efectes del canvi climàtic en latituds similars a la nostra, aquests contraposen dos senyals de signe oposat: l'empobriment dels ambients propicis per l'afebliment dels vents en altura, i la potenciació d'aquests per la presència de més inestabilitat en la columna atmosfèrica. L'escenari més probable, per consegüent, seria un futur amb menys dies amb tempestes violentes a la Mediterrània occidental, però durant aquells episodis d'incursió del corrent en jet sobre la nostra regió, la probabilitat de fenòmens locals de gran virulència (ratxes de vent huracanades, esclafits, tornados i pedra enorme) seria especialment acusada.

I és així, senyores i senyors passatgers d'aquest vol a través de les escales del temps aduers mediterrani, que ens endinsam en el tram final del viatge: les escales subhèctomètriques. En general aquestes manquen d'importància directa per a la lliçó d'avui, excepte si consideram també uns éssers diminuts, no precisament composts de substància atmosfèrica, que fan aproximadament entre 1 i 2 metres d'alçada, i que col·lectivament han tingut, tenen i tindran una rellevància meteorològica i climàtica de primer ordre: els éssers humans, tots nosaltres. Fa poques setmanes es feia públic el darrer informe AR6 del Panel Intergovernamental sobre el Canvi Climàtic, l'IPCC, sobre les bases físiques del canvi climàtic, referència incontestable en aquesta matèria. Es constata una vegada més el paper preponderant de l'activitat humana en els canvis climàtics esdevinguts durant el darrer segle i amb més intensitat des dels anys vuitanta, es reforça la seguretat que aquests canvis continuaran i s'amplificaran fins a límits perillosos o irreversibles durant el segle actual si no s'actua ràpidament i decididament, i es presenta de nou la regió mediterrània com un punt calent del planeta. El sistema climàtic té una memòria a llarg termini i una inèrcia tan potents que una part important del futur climàtic de la nostra regió està ja escrita, però és a les nostres mans, i a les dels nostres responsables, poder evitar que aquest futur ens mostri la pitjor de les cares possibles.

Ànims en la tasca i moltes gràcies per la vostra atenció!

Darrer informe de l'IPCC  
sobre les bases físiques  
del canvi climàtic  
(font: IPCC)





**Universitat**  
de les Illes Balears

# Lliçó inaugural

Any acadèmic 2021-22