

# Desenvolupament de la climatologia dels medicans

Autora: Xènia Nebot i Roquet

Supervisors: Dra. María del Carmen Llasat Botija, [carmell@meteo.ub.edu](mailto:carmell@meteo.ub.edu), Dr. Raül Marcos Matamoros, [rmarcos@meteo.ub.edu](mailto:rmarcos@meteo.ub.edu)

Facultat de Física, Universitat de Barcelona, Martí i Franquès 1, 08028 Barcelona, Spain\*.

**Abstract:** En determinades circumstàncies atmosfèriques es desenvolupen a la conca del mar Mediterrani uns ciclons que s'assimilen als huracans tropicals, especialment en les seves característiques físiques durant la fase madura, que es denominen "medicans". Estan associats a forts vents i tempestes, que afecten especialment el sistema costaner i poden causar danys personals i materials. L'objectiu d'aquest treball és desenvolupar una climatologia i analitzar la distribució espacial i temporal d'aquest fenomen. Amb aquest fi s'ha creat un catàleg d'episodis per al període que comprèn des de 1969 fins a l'actualitat, a partir de nombroses referències. A més del catàleg, en aquest estudi també es vol donar a conèixer l'estat de l'art sobre els medicans. Com que les dades meteorològiques aconseguides a partir de la bibliografia són heterogènies, el catàleg s'ha ampliat a partir de les dades de la reanàlisi ERA5. Aquest catàleg ampliat, amb unes dades homogènies, ha estat analitzat i estudiat per caracteritzar-los. Els resultats mostren que tot i no apreciar-se cap cicle interanual ni tendència en els anys estudiats, és un fenomen amb una distribució estacional marcada, amb una gran presència d'esdeveniments a la tardor i un mínim d'activitat a l'estiu. També presenta una distribució espacial heterogènia, de manera que hi ha regions del Mediterrani més susceptibles a patir les conseqüències d'aquest fenomen de temps sever a les seves costes densament poblades.

## I. INTRODUCCIÓ

Els *medicanes*, que com diu el seu nom, -del prefix "medi-" de Mediterrani i el sufix "-canes" de la paraula anglesa *hurricanes*-, són petits huracans que succeeixen en aquesta àrea. Segons la terminologia proposada pel Termcat, en català són coneguts com a medicans o huracans mediterranis. Les característiques físiques i geogràfiques de la regió Mediterrània, reconeguda com una de les àrees més propenses a la ciclogènesi del món (Tous et al., 2013), són ideals per al desenvolupament d'aquests fenòmens (Hodges, 2002).

Els medicans tenen una gran capacitat destructiva, i, en general, afecten severament les costes perquè, tot i formar-se al mar, és inevitable que per les dimensions del Mediterrani, acabin tocant terra en algun punt (Scicchitano et al., 2021). Un exemple és el cas del cicló Cleòpatra succeït entre els dies 17 i 23 de novembre de 2013, que va afectar les regions de Sardenya i Calàbria, a Itàlia. Va provocar greus inundacions en diverses parts de l'illa, va afectar milers de persones i va causar la pèrdua de la vida a 18. En total, a la regió de Sardenya es va calcular que els danys van arribar a mil milions d'euros (Mylonas et al., 2018). Aquest exemple posa de manifest l'elevada vulnerabilitat que presenten les costes del Mediterrani, densament poblades, a aquest fenomen.

El present estudi parteix del TFG de Ciències Ambientals (Nebot, 2020), en el qual es comença a elaborar una llista de medicans a partir de bibliografia. En aquest treball s'ha actualitzat la base de dades des de 1969 fins a 2021 i, posteriorment, s'ha completat a partir de les dades de la reanàlisi de l'ERA5, a fi de poder caracteritzar-ne la climatologia i possibles tendències. Aquesta part es mostra en els capítols de Metodologia i Resultats, mentre que la primera part es focalitza en presentar l'estat de l'art sobre els coneixements dels medicans.

## II. ESTAT DE L'ART SOBRE ELS CONEIXEMENTS DELS MEDICANS

L'interès per aquest fenomen ha anat creixent, i en l'actualitat són nombrosos els estudis que els investiguen. Els medicans són definits com a ciclons de nucli càlid desenvolupats sobre el mar Mediterrani amb característiques

semblants als ciclons tropicals (Miglietta i Rotunno, 2019). A més, Tous i Romero (2011) afirmen que com els huracans, els medicans provoquen canvis bruscos de pressió i vent a les zones afectades, però normalment no assoleixen les mateixes intensitats. També afegeixen que en ambdós casos, les imatges de satèl·lit mostren un ull central al voltant del qual hi ha una massa densa de núvols distribuïda en simetria axial. D'aquesta definició ja se'n pot extreure una idea de les característiques morfològiques, que completen Miglietta i Rotunno (2019): presència d'un "ull" en el qual el temps és majoritàriament tranquil, una anomalia del nucli càlid que és màxima prop de la superfície, un cisallament del vent en la vertical feble, una rotació ciclònica forta al voltant del mínim de pressió i una paret de cèl·lules convectives des de les quals s'estenen bandes de pluja. Tots aquests factors porten a un augment local del nivell del mar i marejada de tempesta. Tanmateix, aquests autors també afirmen que, a diferència dels ciclons tropicals, la seva vida útil es limita a uns quants dies, a causa de l'extensió limitada del mar Mediterrani, que és la seva principal font d'energia; a més, només aconsegueixen característiques tropicals durant un curt període, mentre que les característiques extratropicals predominen durant la major part de la seva vida. L'extensió horitzontal es limita generalment a uns pocs centenars de quilòmetres, i la intensitat rarament supera la categoria 1 de força de l'huracà.

Quan es parla de medicans, la qüestió que genera més incògnites entre els autors és la dels factors que fan que esdevingui un medicà i no una borrasca o cicló extratropical.

En l'estudi de Gutiérrez-Fernández et al., (2018) expliquen que en la seva fase inicial, aquest tipus de ciclons no es diferencia dels ciclons extratropicals comuns, ja que ambdós tenen origen en les baixes pressions extratropicals a nivells baixos de l'atmosfera que porten associat un potent tàlveg a capes mitjanes i altes. La diferenciació ocorre quan es produeixen els processos de transició tropical i, per tal que tinguin lloc, cal que la baixa en superfície i el tàlveg en altura quedin alineats, fet que està produït per un cisallament del vent en la vertical feble, afavorint una forta convecció. La formació de grans cèl·lules convectives al voltant d'un vòrtex ciclònic afavoreix l'alliberament de calor latent cap al centre del cicló, cosa que propicia la formació del nucli càlid.

Així, quan el medicà arriba a la fase madura, els processos d'instabilitat baroclínica propis de les nostres latituds no són necessaris (Emanuel, 2005). És per aquest motiu que Tous i Romero (2013) afirmen que els medicans es distingeixen dels sistemes ciclònics mediterranis ordinaris en el seu mecanisme de manteniment en fase madura. És a dir, mentre que les tempestes hivernals ordinàries són d'origen baroclínic (es mantenen a partir de l'energia potencial disponible associada a gradients de temperatura horitzontals a gran escala), els medicans operen sobre el desequilibri termodinàmic entre el mar i l'atmosfera. En definitiva, aquests autors afirmen que la seva font d'energia és l'alliberament massiu de calor latent que es produeix des dels sistemes convectius arrelats sobre una capa límit humitejada contínuament. En concordança, Pytharoulis (2018), a través de les simulacions del seu estudi, va observar que els medicans tenien una vida més llarga i un aprofundiment de la pressió quan els models introduïen temperatures més càlides a les aigües superficials del mar.

Queda palès, doncs, que els medicans presenten una primera fase amb característiques baroclíniques, però que en un determinat punt de la seva formació abandonen aquestes característiques per adoptar-ne unes de barotròpiques, típiques de latituds més baixes.

Indagant més a fons en la tropicalització, s'estudia la relació que hi ha entre la temperatura superficial de l'aigua del mar (SST, "sea surface temperature") i la de l'atmosfera. Com en l'estudi de Cavicchia et al. (2014a), on afirmen que els mecanismes dinàmics implicats són similars als responsables de la gènesi dels huracans i, a més, arriben a la conclusió que l'activació de medicans es caracteritza per la presència d'anomalies fredes de temperatura a l'alta troposfera que augmenten la instabilitat atmosfèrica, juntament amb un cisallament dèbil del vent en l'altura, un alt contingut d'humitat i una alta vorticitat a nivells baixos.

Finalment, en aquest mateix sentit, Tous i Romero en els seus estudis de 2011 i 2013, afirmen que és essencial l'existència d'un desequilibri tèrmic entre el mar i l'atmosfera i presenten uns llindars necessaris per al desenvolupament dels medicans: una SST superior a 15°C i valors positius elevats de la contribució diabàtica a la tendència local de la temperatura potencial equivalent superficial com a mesura de la transferència de calor entre el mar i l'aire.

#### a. Climatologia

L'estacionalitat molt marcada d'aquest fenomen és un aspecte que gran part dels autors afirmen, dient que s'esdevenen en especial cap a l'últim quadrimestre de l'any (Cavicchia et al., 2014a, Nastos et al., 2017, Tous i Romero, 2013, Romero i Emanuel, 2013). Depenent de l'estudi, se situa el pic d'esdeveniments en diferents mesos: a Cavicchia et al. (2014a) s'afirma que el nombre màxim de casos es produeix a començament de l'hivern, seguit per un nombre rellevant durant la tardor; en canvi, a Nastos et al. (2017) s'afirma que dins del mateix any els medicans es produeixen principalment al setembre i octubre, mesos que corresponen a tardor, seguits de desembre i gener, mesos que corresponen a hivern. Tanmateix, a una conclusió que sí que arriben en comú és que a l'estiu hi ha un mínim d'esdeveniments.

De la mateixa manera que presenten una estacionalitat, també hi ha regions del Mediterrani que són més propenses a

la seva formació. Els medicans es desenvolupen majoritàriament a la Mediterrània occidental i a la zona més àmplia del mar Jònic, i es debiliten en arribar a la Mediterrània oriental, on el risc és més baix (Cavicchia et al., 2014a, Nastos et al., 2017, Tous i Romero, 2013).

Pel que fa a la tendència, l'únic estudi en el qual es fa una anàlisi d'una sèrie prou llarga, és a Nastos et al. (2017) que arriben a la conclusió que amb la gran variabilitat interanual de medicans, la tendència és estadísticament insignificant durant el període examinat.

#### b. Escenaris de futur

Són diversos els estudis que investiguen com pot comportar-se en el futur aquest fenomen, gran part dels quals arriben a conclusions similars: a través de diferents mètodes acaben afirmant que es pot esperar un descens en el nombre de medicans per any, però que els que ocorrin poden ser més intensos, amb un nucli càlid més profund i una estructura tropical més robusta (Romero i Emanuel, 2013, Romera et al., 2017, González Alemán, et al., 2019, Gutiérrez-Fernández et al., 2020). Aprofundint-hi més, quan se n'estudia la tendència per estacions, s'observa que hi ha incerteses de la possible ocurrència a la tardor. Hi ha estudis que troben una disminució dels casos generalitzada, però que és probable que els medicans es tornin més intensos a la tardor en relació amb la primavera i l'hivern (González Alemán et al., 2019). Altres afirmen que tot i que disminuirà el nombre de casos per any, la reducció serà més acusada a l'hivern que a la tardor (Romero i Emanuel, 2013, Gutiérrez-Fernández et al., 2020). Fins i tot, certs estudis afirmen que hi haurà una reducció a l'hivern però un augment a la tardor (Tous i Romero 2013, Romera et al., 2017).

Finalment, l'únic estudi en què es fa referència a la tendència de futur de la distribució espacial és el de Romero i Emanuel (2013), en el qual afirmen que hi ha una tendència a la disminució de la gènesi dels medicans d'oest a est, és a dir, que afirmen que la disminució serà més marcada a l'oest, on s'esperen menys de 10 casos per segle.

### III. METODOLOGIA.

#### a. Creació de la base de dades de medicans.

Per iniciar aquest estudi s'ha completat el llistat de possibles medicans (començat a Nebot, 2020) entre 1969 i 2021 i se n'ha fet una anàlisi estadística. La selecció de casos que formen part d'aquest llistat es fa a partir de la recerca bibliogràfica i, posteriorment, es contrasta cas per cas amb les imatges del satèl·lit Meteosat a través de la pàgina web de l'*European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT). Finalment, es comprova si els medicans compleixen els criteris establerts per Tous i Romero (2011), que són: 1) existència d'un "ull" ben definit, 2) simetria de la massa de núvols al voltant de l'ull; 3) continuïtat de la massa del núvol, 4) diàmetre inferior a 300 km, 5) durada superior a 6 hores. Tanmateix, conscients de les limitacions que comporten aquests criteris, es va considerar que altres esdeveniments que no compleixen estrictament tots els criteris i que han estat ben documentats bibliogràficament, també poden estar a la base de dades. De fet, els mateixos Tous i Romero en el seu estudi de 2011, apliquen l'excepció descrita anteriorment, afegint a la seva

base de dades medicans a partir de la bibliografia. S'entén com a casos ben documentats bibliogràficament els que han estat identificats com a medicans en publicacions prèvies.

En el primer registre hi ha un total de 68 esdeveniments, que inclouen: la data en què s'ha esdevingut el cicló; el seu nom, en cas que en tingui; la intensitat: alta o moderada, seguint els criteris que defineixen Gaertner et al. (2016), en què s'estableix la frontera de la intensitat del vent en 25.5 m/s (equivalent a 90 km/h o 48.6 kts); la velocitat del vent; la pressió; el diàmetre del cicló; l'estació de l'any i la zona en què ha tingut incidència. Lamentablement, no és possible obtenir tota aquesta informació per a tots els casos, fet que s'ha tingut en compte a l'hora de fer l'anàlisi.

L'anàlisi de les dades aconseguides a partir de la bibliografia s'ha fet amb l'eina Python i té com a objectiu veure quines característiques presenten: freqüència anual, mensual i estacional, dimensions, pressió i força del vent.

A aquesta base de dades inicial, s'hi ha aplicat un segon filtratge dels esdeveniments, fet que ha portat a un llistat actualitzat d'un total de 65 medicans, ja que durant la primera anàlisi estadística es va observar que hi havia alguns esdeveniments que mostraven incongruències, i fent una recerca més a fons d'aquests casos, s'ha vist que han estat catalogats com a ciclons ordinaris per la bibliografia.

#### **b. Creació de la base de dades de medicans a partir de les dades de reanàlisi de l'ERA5**

S'ha elaborat una nova base de dades de medicans, constituïda per 65 casos i completada a partir de les dades de reanàlisi de l'ERA5 que produeix l'European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) a través del Servei de Canvi Climàtic de Copernicus. ERA5 proporciona estimacions per hora d'una gran quantitat de variables atmosfèriques, terrestres i oceàniques (ECMWF, s.d.). En aquest estudi s'han utilitzat dades diàries en superfície amb una resolució temporal horària i una resolució de pas de malla de 0.25 graus d'arc, tant de latitud com de longitud.

Per poder elaborar-la, el primer que s'ha fet ha estat estudiar les variables més indicades per poder caracteritzar els medicans. Per fer-ho es va triar un dels medicans del llistat inicial, en concret l'episodi dels dies 6 al 9 de novembre del 2014 (Qendresa) i, a partir d'aquest, es va anar analitzant cadascuna de les variables. S'ha triat aquest medicà perquè hi ha una bona quantitat de bibliografia que l'estudia i es poden contrastar els resultats obtinguts de la reanàlisi.

En primera instància es van estudiar un total de deu variables, però després d'un filtratge segons la qualitat de la informació, s'han conservat les següents: pressió a nivell del mar, ratxa de vent instantània a 10 m, temperatura de l'aigua superficial del mar, taxa de precipitació mitjana diària i dues variables referents a l'onada: l'alçada significativa de les onades combinant el "swell" (mar de fons) i les onades generades pel vent local i, d'altra banda, l'alçada significativa de les onades generades pel vent local.

Totes les variables meteorològiques triades per a l'anàlisi són de dades en superfície, ja que aquest estudi té l'objectiu de descriure, entre d'altres, la distribució espacial i les característiques dels medicans per tal de poder determinar les àrees del Mediterrani que poden estar més afectades.

Simultàniament, s'ha automatitzat el procés de lectura i interpretació de les dades amb Python per poder extreure'n el

màxim o mínim, de cada una de les variables diàries, durant el temps que va durar cada esdeveniment, amb les seves respectives coordenades, a més dels mapes de la distribució d'aquestes variables.

Un cop triades les variables que es volen estudiar i el codi de Python automatitzat, s'ha descarregat cada variable per al total dels 65 medicans.

Amb totes aquestes dades s'ha configurat un nou catàleg que conforma una base de dades uniforme, amb la mateixa quantitat d'informació per tots els medicans, de manera que l'anàlisi estadística d'aquestes dades permet extreure una aproximació acurada a la climatologia d'aquest fenomen.

#### **c. Anàlisi de la base de dades de reanàlisi.**

La nova base de dades està formada pel número del medicà, la data de cada dia en el qual hi ha un medicà i els respectius mínims i màxims de les variables seleccionades per a l'estudi amb les coordenades d'aquests. En total, la nova llista està conformada per 20 columnes i 264 files, a més d'un total de 1362 mapes.

Després d'estudiar tots els mapes creats a partir de la reanàlisi, s'ha decidit centrar l'estudi dels medicans en el dia de màxima activitat, ja que en els dies previs o anteriors sovint es desdibuixa la baixa, i els màxims i mínims de l'àrea estudiada no corresponen al medicà.

El dia de màxima activitat ha estat triat seguint diferents factors, primer s'ha triat el dia en què els mapes de pressió a nivell del mar mostren clarament una baixa aïllada i, en el cas que hi hagi diferents dies que compleixin aquest requisit, s'ha escollit el que tingués la pressió més baixa. A més, aquesta tria s'ha fet amb el suport d'imatges de satèl·lit, per tal d'observar en quin dia el medicà presentava la morfologia que el caracteritza.

Per tant, per a l'anàlisi, es torna a tenir una llista únicament amb 65 files, corresponents al nombre final de medicans. A l'annex 2 hi ha una adaptació del llistat amb una mostra de les dades que inclou.

A partir d'aquesta última llista s'ha fet un estudi general de tot el Mediterrani per observar com es distribueixen temporalment els diferents casos al llarg dels anys i determinar si existeix alguna tendència. Per poder estudiar-la de manera consistent, s'ha fet a partir de l'any 1981, en què s'inicia la base de dades d'imatges del satèl·lit Meteosat i, per tant, els casos que han ocorregut a partir d'aquell any són els que s'han pogut contrastar amb imatges. Tanmateix, abans d'aquest any només consten dos medicans, un dels quals va succeir l'any 1969, que pot falsejar la tendència, ja que no n'hi ha cap altre de registrat fins deu anys més tard.

També s'ha estudiat la distribució estacional i mensual del fenomen i la seva evolució per dècades. L'estudi de l'estacionalitat s'ha fet seguint les estacions climàtiques.

A partir de la geolocalització dels medicans segons els mínims de pressió a nivell del mar s'ha analitzat la distribució espacial i temporal per tres àrees concretes: el Mediterrani occidental, el centre i el Mediterrani oriental. L'occidental comprèn tota la regió que banya la península Ibèrica, França, les costes del Marroc, Algèria i el nord de Tunísia i fins a les costes de Còrsega i Sardenya. La regió central inclou els mars Tirrè, Adriàtic i Jònic, Sicília, Malta, la costa est de Tunísia i Líbia. Finalment, l'àrea oriental s'estén des del mar Egeu fins a les costes de Turquia i Egipte.

A més, en les anàlisis de la distribució anual de casos de medicans en què s'ha estudiat la tendència s'ha aplicat el test de Mann-Kendall, que inclou les estimacions del pendent de Sen. Mann-Kendall és un test no paramètric que prova si la tendència és creixent o decreixent, i el mètode Sen, no paramètric, que estima el pendent d'una tendència lineal (Salmi, et al., 2002).

Posteriorment, s'ha dut a terme l'estudi de l'evolució temporal de les variables a través de gràfiques de dispersió per les tres regions definides i les diferents estacions de l'any. També se n'ha fet un càlcul de la mitjana, màxim i mínim, i s'ha estudiat com es distribueixen espacialment en el mapa.

De la ratxa de vent instantània a 10 m s'ha analitzat la intensitat dels medicans. En l'estudi de la intensitat del vent s'han fet dues classificacions diferents agafant aquests valors com a llindars; la primera és la classificació de Gaertner et al. (2016), ja esmentada anteriorment, que estableix en 25.5 m/s la frontera entre medicans d'intensitat moderada i alta. La segona classificació és la de Hart (2003), que defineix numèricament el moment en què es desenvolupa un medicà. Entre altres paràmetres, Hart estableix la frontera entre cicló i huracà en una velocitat del vent de 32 m/s.

En aquest estudi, la frontera que estableix Hart s'ha utilitzat per saber quina quantitat de medicans arribaven a una intensitat equiparable als huracans de categoria 1, ja que els altres paràmetres establerts no s'ajusten prou a ciclons petits com els del Mediterrani i, per això, hi ha investigacions que els rebutgen obertament, com Tous et al, (2013).

Finalment, s'ha analitzat el cas d'estudi del novembre de 2011, un medicà batejat Rolf. En la primera part s'ha exposat el cas, és a dir, els esdeveniments meteorològics i les seves conseqüències i, després, se n'ha fet una caracterització a partir de les variables de reanàlisi de l'ERA5 estudiades en aquest treball.

#### IV. RESULTATS

##### a. Anàlisi de la base de dades de bibliografia

Com s'ha comentat, les variables que s'han pogut obtenir a partir de la bibliografia de pressió, vent o dimensions dels medicans són poc uniformes. Només es disposa d'informació de les tres variables per 28 medicans. Considerant tota la informació que s'ha trobat, el diàmetre dels medicans es troba entre 200 km i 300 km; el vent entre 18 m/s i 42.7 m/s.

##### Freqüència espacial i temporal

Si bé la informació bibliogràfica no és útil per la caracterització meteorològica dels medicans, sí que ho és per la seva identificació i localització aproximada. Tanmateix, i per poder geolocalitzar millor els medicans, s'han utilitzat les dades de pressió de l'ERA5.

Des de 1969 fins a 2021 s'han comptabilitzat un total de 65 medicans, que es repeteixen anualment sense cap patró aparent: hi ha anys consecutius en què no n'hi ha cap cas i d'altres en què hi ha un nombre destacable d'esdeveniments seguits. En el període 1981-2021 hi ha una mitjana d'1.54 medicans per any, i la recta de regressió indica una tendència insignificant a disminuir amb un pendent de -0.00017 med./any (figura 1). En aplicar el test de Mann-Kendall

s'obté com a resultat que no hi ha cap tendència, amb una estimació del pendent nul·la.

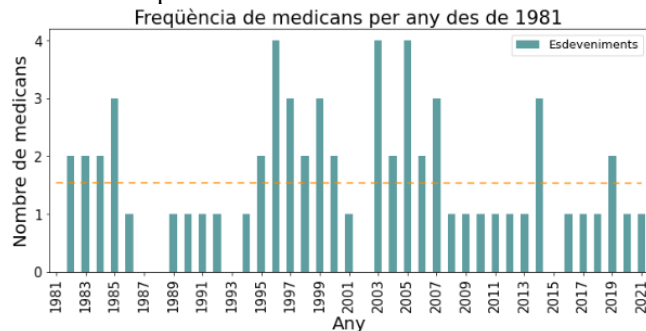


Figura 1: Distribució anual dels medicans registrats a la base de dades en tot el mar Mediterrani des de 1981 fins a 2021.

Pel que fa a l'època de l'any, hi ha un clar predomini dels mesos de setembre i octubre, amb un total de 16 i 17 medicans respectivament, seguits per desembre i gener, amb un total de 10 i 6 casos, mesos que corresponen a les estacions climàtiques de tardor i hivern, que són les que tenen més episodis registrats, constituint entre totes dues estacions un total del 86.2% (56 medicans) del total (figura 6).

En la distribució dels medicans per dècades hi ha una disminució dels casos en l'última dècada en relació amb les dues anteriors: en la dels 1990 i dels 2000 hi ha un total de 18 i 20 medicans, però en el 2010, els casos baixen fins a 12.

De l'estudi de l'estacionalitat per dècades s'ha observat que tant les estacions de primavera com hivern mantenen un nombre més o menys estable de medicans: a la primavera hi ha 2 medicans per dècada, exceptuant l'última, que baixa a un esdeveniment, i l'hivern es manté entre 3, 4 i 5 medicans en cada dècada. En canvi, a la tardor sí que s'aprecia un augment dels casos, sobretot en les primeres tres dècades, que passa de 5 (anys 80) a 9 (anys 90) i fins a 14 medicans en la dècada dels 2000; tanmateix, hi ha una baixada fins a 8 esdeveniments a la tardor, en l'última dècada.

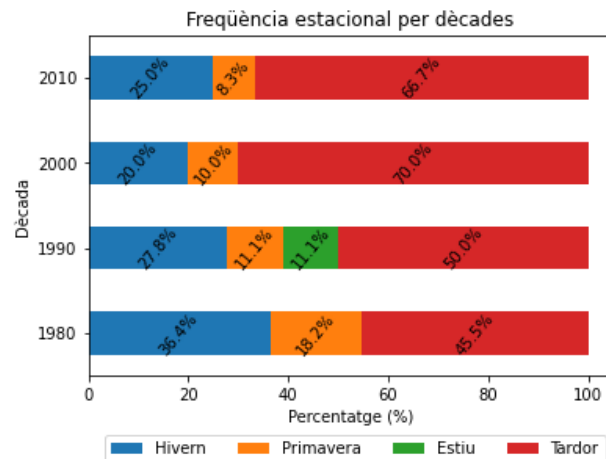


Figura 2: Estacionalitat dels medicans registrats a la base de dades per dècades.

Observant les mateixes dades en percentatge (figura 2) i tenint en compte que el total de medicans per dècada varia, hi ha una aparent disminució de casos en la primavera, amb una reducció progressiva dècada rere dècada, passant d'un 18.2%, és a dir 2 medicans dels 11 esdevinguts en la dècada dels anys 80, a un 8.3% en la segona dècada del segle actual (1 medicà dels 12 totals). L'hivern també presenta una aparent disminució relativa dels casos, i passa d'un 36.4% als anys 80

al 20% dels 2000, tot i que en l'última dècada ha tornat a augmentar lleugerament fins a un 25%.

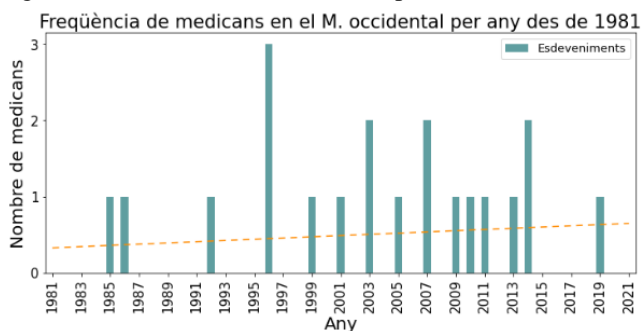
Per altra banda, quan s'analitza la tardor en percentatge, s'aprecia que manté una tendència a l'augment igual que la que manté en valors absoluts: des d'un 45.5% als anys 80 fins a un 70% als 2000 i, de la mateixa manera, durant la dècada dels anys 10 ha baixat a un 66.7%.

Un cop estudiada la freqüència temporal dels medicans en tot el Mediterrani, s'ha fet per les tres subregions explicades anteriorment. Gràcies a la geolocalització dels mínims de pressió a nivell del mar (figura 3) s'ha determinat que en el Mediterrani occidental hi ha registrats un total de 21 medicans, els quals corresponen al 32.31% del total; en el central hi ha un total de 40 casos, que corresponen al 61.54%; i, finalment, a l'oriental només hi ha registrats 4 casos, que constitueixen el 6.15%.



**Figura 3:** Distribució espacial dels medicans que constitueixen el registre des de 1969 fins al 2021.

L'estudi del Mediterrani occidental s'ha fet, en una primera anàlisi, amb la totalitat dels medicans registrats. Però per mantenir la consistència se n'ha fet una de més acotada des de 1981 fins al 2021, que exclou únicament un medicà ocorregut l'any 1979. Des de l'any 1981 i fins l'actualitat hi ha una mitjana de 0.49 casos per any, amb una lleugera tendència a l'augment (0.008 med./anys) (figura 4). Mann-Kendall determina que la tendència no és estadísticament significativa, amb una estimació del pendent de Sen nul·la.

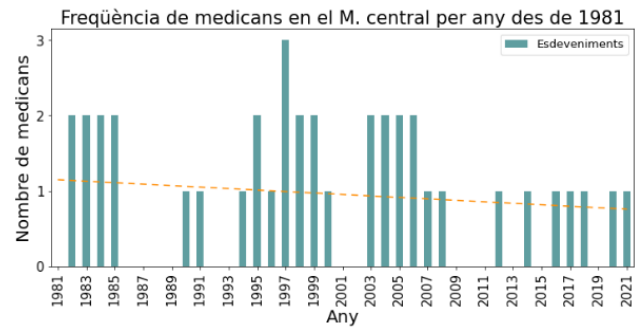


**Figura 4:** Distribució anual dels medicans registrats en la base de dades en el Mediterrani occidental des de 1981 fins a 2021.

Quant a la freqüència mensual, està clarament dominada pel mes d'octubre, amb 8 esdeveniments, seguida pels mesos de novembre, desembre i gener, amb 3 casos cadascun. L'estacionalitat és similar a la del total del Mediterrani (figura 6), però no hi ha cap cas a l'estiu i el percentatge de la tardor i l'hivern són lleugerament superiors.

El Mediterrani central s'ha estudiat tenint en compte la distribució anual des de l'any 1969 però, com ha passat en l'anàlisi general i en el Mediterrani occidental, per mantenir la consistència s'ha fet una segona anàlisi de la distribució des de 1981, és a dir, sense tenir en compte el cas de 1969. Des de 1981 hi ha una mitjana de 0.95 medicans per any i, en

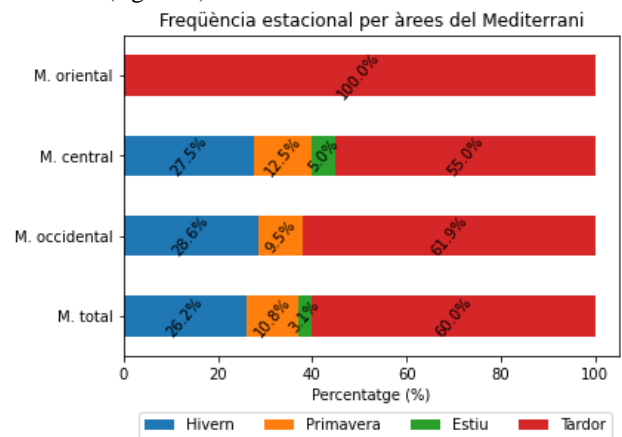
aquest cas, la tendència és decreixent (figura 5), amb un pendent de -0.01 med./any. El test de Mann-Kendall, de nou ha resultat no haver-hi una tendència estadísticament significativa, amb una estimació del pendent de Sen nul·la.



**Figura 5:** Distribució anual dels medicans registrats en la base de dades en el Mediterrani central des de 1981 fins a 2021.

En la freqüència mensual domina clarament el mes de setembre, amb un total de 13 casos, seguit pel desembre amb un total de 7 medicans. La freqüència estacional varia poc en relació amb la del general del Mediterrani, amb un lleuger increment del percentatge de les estacions d'hivern i primavera i una disminució a l'estiu i a la tardor (figura 6).

En l'àrea del Mediterrani oriental només hi ha registrats un total de quatre medicans, amb una mitjana de 0.1 casos per any des de 1981, nombre que s'ha considerat insuficient per estudiar-ne la tendència. La distribució mensual torna a estar dominada per l'octubre, amb un total de 3 esdeveniments, seguit pel mes de setembre, amb un únic medicà, de manera que l'estacionalitat està dominada per la tardor, amb un 100% dels casos (figura 6).



**Figura 6:** Estacionalitat dels medicans registrats en la base de dades per les diferents àrees del Mediterrani.

### b. Anàlisi de la base de dades de reanàlisi de l'ERA5

S'ha analitzat la distribució temporal i espacial de les següents variables proveïdes per l'ERA5: pressió a nivell del mar, ratxa de vent instantània a 10 m, taxa de precipitació mitjana, la SST i l'alçada de les onades.

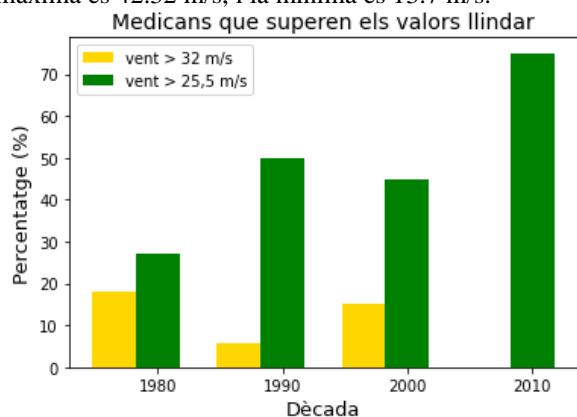
### Caracterització dels medicans

De totes les variables s'ha estudiat la evolució temporal a través de gràfiques de dispersió. Després d'analitzar-les, l'única variable que mostra un patró és la SST (figura 9), en la resta no se n'ha trobat cap, com s'exemplifica a l'annex 1.



La pressió mínima a nivell del mar té una mitjana de 1000.38 hPa i, una mínima de 981 hPa; a més, cal posar l'èmfasi en que la pressió màxima a la qual hi ha registrat el centre d'un medicà, que és de 1016.5 hPa, que correspon a una baixa relativa, ja que, si no, es consideraria una alta pressió. Però no és l'únic cas, hi ha un total de 3 medicans la pressió mínima dels quals és de més de 1013.25 hPa, tots succeïts en mesos de tardor i abans del 2007 (annex 1a).

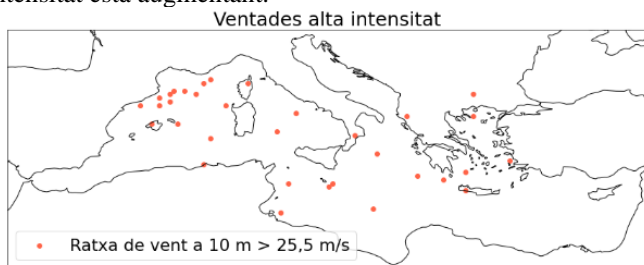
La intensitat dels medicans ha estat estudiada amb la variable que descriu la ratxa de vent instantània a 10 m d'alçada. La mitjana de les ventades màximes és de 25.5 m/s, la màxima és 42.32 m/s, i la mínima és 13.7 m/s.



**Figura 7:** Intensitat dels medicans. Percentatge de medicans que superen els valors llinar per dècades.

A la figura 7, en observar el percentatge de medicans que superen la intensitat d'huracà de categoria 1 (32 m/s), es pot apreciar que en l'última dècada no n'hi ha hagut cap cas; en canvi, en les dècades anteriors sí que s'ha esdevingut algun cas que ha superat aquest valor. Però quan s'imposa el llinar de 25.5 m/s que marca la diferència entre un medicà d'intensitat elevada i un de moderada intensitat, s'aprecia que en l'última dècada, un 75% (9 dels 12 medicans) han estat d'intensitat elevada, mentre que en la dècada dels 80 no arriba ni al 30% (3 dels 11 medicans). En les dècades del 1990 i 2000 es manté el nombre de 9 medicans que assolixen aquest llinar; això no obstant, com que en aquestes dècades hi ha més medicans, els percentatges són inferiors als de l'última dècada.

Per tant, sembla que, tot i que hi ha menys medicans en l'última dècada, la quantitat de casos que assolixen una alta intensitat està augmentant.



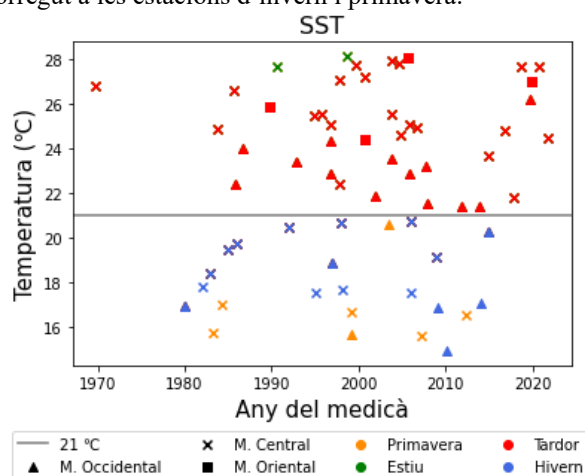
**Figura 8:** Posició de les ventades que han superat els 25.5 m/s.

A més, per estudiar la intensitat del vent, s'han geolocalitzat en el mapa els punts en els quals s'han assolit les ventades de més de 25.5 m/s (figura 8). La majoria de les localitzacions se situen sobre el mar, destacant l'àrea situada davant de la costa de Catalunya i al nord de les illes Balears, en la qual hi ha una densitat destacable de punts en què s'ha

superat aquest valor llinar. En concret, en aquesta àrea s'hi concentren el 29.4% del total. Per altra banda, en els llocs en què la ventada màxima se situa sobre terra es tracta majoritàriament d'illes o bé de localitzacions molt properes al mar.

La següent variable estudiada és la SST. En aquest cas, cal fer l'apreciació que el punt de temperatura màxima rarament coincideix amb el cicló, i que la SST normalment varia entre 1°C a 5°C, entre el centre del cicló i el punt on s'ha localitzat la màxima. La SST mitjana dels dies en què hi ha hagut un medicà és de 22.43 °C, amb una màxima de 28.11°C i una mínima de 14.95 °C, l'únic valor que es troba per sota dels 15 °C.

En aquest cas, el diagrama de dispersió sí que presenta un patró de temperatures en relació amb l'estació de l'any (figura 9). S'aprecia que per sobre dels 21°C només se situen els medicans que han ocorregut a la tardor i a l'estiu; en canvi per sota d'aquesta temperatura només hi ha els que han ocorregut a les estacions d'hivern i primavera.



**Figura 9:** SST màxima estimada dels medicans del catàleg des de 1969 fins al 2021.

Una altra variable que s'ha estudiat és la taxa de precipitació mitjana diària. Amb una mitjana de 70.5 mm/dia; la majoria de les taxes de precipitació mitjana se situen entre els 20 i els 100 mm/dia, excepte uns quants esdeveniments que estan per sobre d'aquestes quantitats, arribant a un màxim de 123.25 mm/dia, o per sota, amb un mínim de 9.4 mm/dia.



**Figura 10:** Distribució espacial de les localitzacions on s'ha produït la taxa de precipitació mitjana màxima.

En aquest cas, quan s'analitzen en el mapa els punts en què s'ha estimat la taxa de precipitació mitjana màxima (figura 10), s'aprecia que, de nou, la majoria estan situats sobre el mar, destacant, de nou, l'àrea situada entre el golf de Lleó i les illes Balears. Això no obstant, hi ha nombrosos

casos en què se situa sobre terra, com en l'àrea del mar Egeu i les illes Gregues, i el mar Jònic i el sud d'Itàlia.

Finalment, s'han estudiat les variables relacionades amb l'onada. Com era d'esperar, l'alçada de l'onada que té els dos components és superior que la que només és generada pel vent, amb unes màximes de 8.18 m i 7.93 m, una mitjana de 3.46 m i 3.19 m i una mínima de 0.7 m i 0.58 m respectivament, de manera que l'aportació del swell és molt petita a l'alçada total de l'onada. Cal fer l'apreciació que el màxim resultant és un cas aïllat, ja que és l'únic que assolix aquesta alçada, la resta estan per sota dels 6 m d'alçada (annex 1b, només s'hi mostra l'alçada de l'onada generada pel vent local).

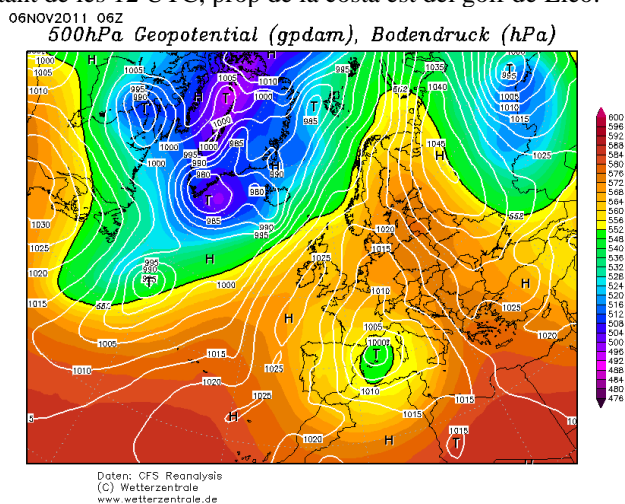
Pel que fa a la localització dels punts en què es registra l'alçada màxima de l'onada, s'observa que la majoria estan situats a alta mar, és a dir, lluny de la costa, excepte en el mar Egeu, al voltant de les illes Gregues, i a Menorca, on se situen els punts més propers a la costa (annex 1c).

#### d. Cas d'estudi: Medicà Rolf

##### 1. Exposició de l'esdeveniment

El medicà Rolf va esdevenir entre els dies 6 i 8 de novembre de 2011 en l'àrea del mediterrani occidental; més en concret, el seu recorregut va ser des de les illes Balears fins al sud de França, on va tocar terra (Dafis et al., 2018).

Ricchi et al., (2016) descriuen la formació del medicà: el Rolf es va desenvolupar a partir d'una baixa pressió aïllada en capes mitjanes de l'atmosfera sobre la península Ibèrica el 5 de novembre de 2011, que portava associada una gran i profunda depressió a l'Atlàntic, a l'oest de la Gran Bretanya. El 7 de novembre, les baixes pressions en superfície i en altura es van alinear mentre creuaven les illes Balears en direcció est, convertint-se així en un cicló extratropical profund, que va desenvolupar un nucli càlid. L'endemà va seguir el seu desplaçament cap al nord. Va ser en aquest moment en què el medicà Rolf va assolir la màxima intensitat. Finalment, va tocar terra el 9 de novembre al voltant de les 12 UTC, prop de la costa est del golf de Lleó.



**Figura 11:** Geopotencial a 500 hPa i isòbares de pressió en superfície del dia 6 de novembre a les 06:00 UTC. Font: Wetterzentrale. Top Karten. Reanàlisi CFSR.

A més, aquests autors també afirmen que el medicà Rolf va ser particularment intens, amb una duració especialment

llarga, que va provocar un gran temporal marítim amb ventades a 10 m d'alçada de 30 m/s, generant onades de fins a 8 m i una gran quantitat de precipitació a les zones costaneres.

En l'anàlisi sinòptica d'aquest esdeveniment s'aprecien les diferents fases de la formació dels medicans descrites en l'estat de l'art. Entre els dies 4 i 5 de novembre s'aprecia en els mapes que hi ha un tàlveg a 500 hPa que acaba esdevenint una depressió aïllada, amb un eix lleugerament inclinat cap a l'oest respecte a la baixa en superfície, fins que, finalment, el dia 6 de novembre al voltant les 06 UTC, la depressió aïllada a 500 hPa s'alinea amb la baixa en superfície (figura 11). Aquesta alineació vertical es manté fins al dia 9 de novembre quan entre les 00 i les 06 UTC es desdibuixen les baixes pressions (Wetterzentrale. Top Karten. Reanàlisi CFSR).

Cal afegir que no s'ha de confondre aquest medicà amb el sistema de baixes pressions pel qual va venir precedit. La borrasca va ocórrer entre els dies 4 al 6, i va provocar importants inundacions a Espanya, França i Itàlia (Llasat, et al., 2014, Silvestro, et al., 2012).

En total, el medicà Rolf va tenir un radi al voltant dels 150 km, amb unes ventades màximes estimades a 900 hPa de 46 m/s, amb la fase de característiques tropicals que va durar aproximadament dos dies i mig (Ricchi et al., 2016) i la seva intensitat màxima va ocórrer el dia 8 de novembre entre les 00 i les 03 UTC (Miglietta et al., 2013).

##### 2. Caracterització a partir de les dades de reanàlisi de l'ERA5

Tot i que el medicà Rolf va mantenir la fase amb característiques tropicals durant més d'un dia, aquest estudi només s'ha centrat en el dia 8 de novembre, que ha estat el dia de màxima intensitat del medicà.

A partir de les dades de reanàlisi s'ha obtingut que el dia 8 hi va haver una pressió mínima mitjana de 1002.18 hPa, amb una ventada màxima a 10 m de 27.29 m/s, una taxa de precipitació mitjana màxima de 84.69 mm/dia, una alçada de l'onada generada pel vent local més el *swell* de 4.27 m, l'alçada de l'onada generada únicament pel vent local és de 3.9 m i la SST màxima és de 21.42 °C.

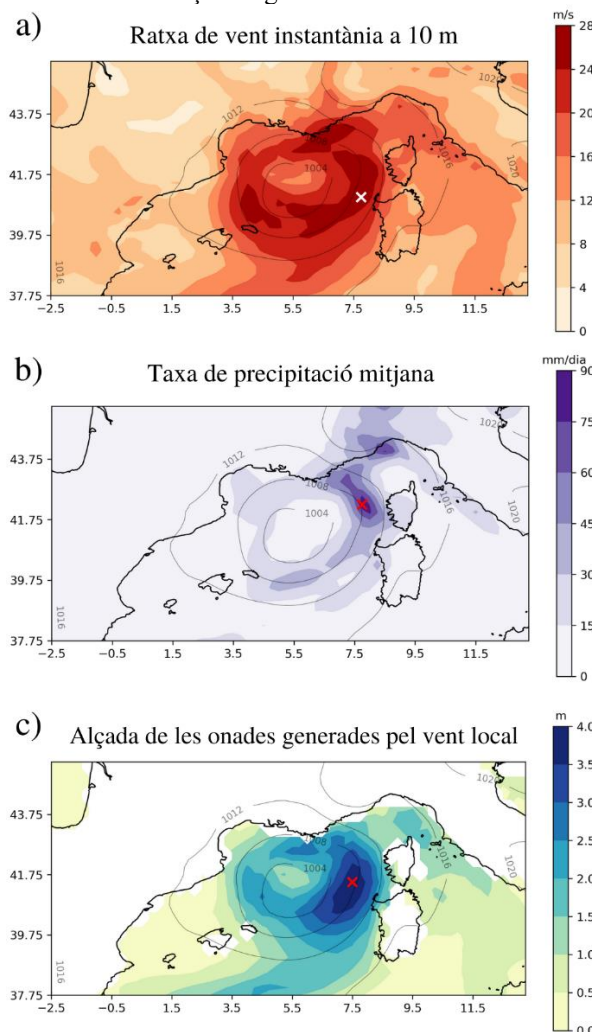
Tanmateix, totes aquestes xifres fan referència a un punt concret del Mediterrani, però els medicans, com ja s'ha explicat anteriorment, tenen unes característiques de simetria axial que fan que per estudiar-los s'hagi de tenir en compte una àmplia àrea al voltant del centre de l'huracà Mediterrani.

En la representació gràfica del vent (figura 12a) s'aprecia clarament aquesta simetria al voltant del centre. El punt on s'ha esdevingut el punt de vent màxim està situat a l'oest de la costa de Sardenya; tanmateix, en aquesta figura s'observa que, tenint en compte la rotació ciclònica dels medicans, les àrees del sud de França i l'illa de Menorca també estan fortament colpejades per ventades de més de 20 m/s.

En analitzar la precipitació (figura 12b) es torna a apreciar la forma del medicà. La precipitació del dia 8 es va centrar en les costes de Sardenya, Còrsega i el sud de França, i es va estendre fins al nord d'Itàlia; a més, en les illes Balears encara hi ha certa precipitació, tot i que ja no tan intensa.

En observar la figura 12c on hi ha representada l'alçada màxima de l'onada generada pel vent local, s'aprecia que el punt on s'ha produït el màxim és a l'oest de l'illa de Còrsega. Si es té en compte el gir ciclònic, aquestes onades es

dirigeixen cap al sud de França. No obstant això, les illes de Sardenya, Còrsega i Menorca estan rebent a les seves costes unes onades d'una alçada significativa d'entre 1.5 m a 3.0 m.



**Figura 12:** Medicà Rolf el dia 8 de novembre de 2011. Dades de reanàlisi de l'ERA5.

Per tant, s'ha de tenir en compte que els medicans afecten una àrea important al voltant del centre del cicló que pot afectar les costes de diferents països.

## V. DISCUSSIÓ

Dels resultats obtinguts, es pot concloure que els medicans no presenten cap patró temporal pel que fa a distribució interanual, i que, a més, no presenten cap tendència estadísticament significativa en els anys estudiats.

De la freqüència estacional dels medicans en general, se n'ha observat una important presència durant la tardor, que és escassa a l'estiu; dinàmica que coincideix amb la de l'estudi de Nastos et al. (2017). En l'estudi de la distribució estacional per dècades s'aprecia un canvi, amb una possible disminució dels casos en la primavera en el transcurs dels anys de l'estudi. També hi ha, aparentment, una disminució de casos a l'hivern i un augment considerable a la tardor. No obstant això, en l'última dècada aquesta tendència deixa de ser tan clara, amb un lleuger increment dels casos a l'hivern.

Els medicans no es formen de manera uniforme per tot el Mediterrani, sinó que hi ha zones en què aquesta ciclogènesi singular ocorre més sovint. S'observa un pic d'activitat en el

mar Jònic, corresponent a l'àrea del Mediterrani central, seguit per una distribució més uniforme de casos entre els mars que banyen les costes de l'est de la península Ibèrica i l'oest de la península Itàlica, juntament amb l'àrea al sud del mar Jònic que banya les costes de Tunísia i Líbia. Finalment, els punts on s'observa una activitat mínima estan situats a l'est de l'illa de Creta i en el mar Adriàtic.

Els resultats assolits en aquest estudi coincideixen en gran part amb les afirmacions de Cavicchia et al. (2014a), Nastos et al. (2017) i Tous i Romero (2013), ja que en tots els casos s'arriba a la conclusió que en el Mediterrani oriental hi ha un mínim d'activitat i en el centre i la part més occidental és on n'hi ha més.

Quan s'estudia la distribució estacional per les diferents regions, s'aprecia que tant l'àrea del Mediterrani occidental com el central presenten una distribució estacional semblant a la de la totalitat del Mediterrani, amb una majoria d'esdeveniments a la tardor, seguida per l'hivern, la primavera i, finalment, l'estiu, amb lleugeres variacions dels percentatges. En el Mediterrani oriental s'hi aprecia una dinàmica diferent, amb la totalitat dels medicans esdevinguts a la tardor. Tot i que aquest resultat no es pot considerar remarcable, ja que hi ha molt poques dades i en cap cas poden ser conclouents, encara que podrien presentar un indici.

També s'ha de remarcar que pel que fa a la freqüència mensual, en el sector occidental el mes amb més casos és l'octubre, fet amb què coincideix amb l'oriental, però en el sector central el mes amb més casos és setembre i, en canvi, el mes d'octubre, baixa fins a la tercera posició en nombre de medicans.

D'altra banda, en l'estudi de les diferents variables s'han trobat certs aspectes que resulten interessants.

En l'estudi de la pressió s'ha vist que per al desenvolupament del medicà no calen unes condicions de baixa profunda, ja que, en certes circumstàncies, una baixa relativa pot portar al desenvolupament del medicà si les condicions en són favorables. Tanmateix, gran part dels esdeveniments són baixes pressions al voltant de 1000 hPa

Pel que fa a l'estudi de la intensitat dels medicans, els que arriben a superar la velocitat de 32 m/s i, per tant, assolir la intensitat d'huracà de categoria 1, són molt pocs. Per tant, la classificació de Gaertner et al. (2016) és més apropiada per l'estudi de la intensitat.

Quan s'observa l'evolució de la intensitat, s'aprecia que el percentatge de medicans que han assolit la velocitat de 25.5 m/s (intensitat elevada) ha anat augmentant, tot i que en valors absoluts es manté igual en les últimes tres dècades. De manera que no es pot afirmar rotundament que la intensitat estigui augmentant, ja que, tot i que hi hagi un percentatge més elevat de casos que arriben als 25 m/s, no n'hi ha cap que hagi assolit els 32 m/s en l'última dècada. Aquest fet pot portar a pensar que el que pot estar passant és que cada cop hi ha menys medicans d'intensitat moderada.

Aquest fet està en concordança amb allò que alguns investigadors han afirmat en els seus estudis, com González-Alemán et al. (2019), que afirmen que els medicans podran desenvolupar nuclis càlids més profunds i duradors.

Els resultats obtinguts de la SST concorden amb Tous i Romero (2013), en el fet que, per tal que es desenvolupi un medicà, la temperatura de l'aigua del mar ha de ser superior als 15°C. En aquest estudi, en tots els medicans menys un, la SST de l'àrea al voltant del medicà és superior a aquesta



temperatura. A més, cal fer èmfasi en el fet que la tardor és una de les estacions en què la SST és més elevada i que la majoria dels medicans es produeixen en aquesta estació.

Si es va un pas més enllà i es comparen les SST de les diferents regions del Mediterrani, s'observa que a l'àrea central és on es troben les SST més elevades que, a la vegada, té una temperatura mitjana semblant a la del Mediterrani Oriental, i les temperatures més baixes es troben en el Mediterrani occidental (SST CEAMed, s.d.). Quan aquesta distribució de les SST es compara amb les àrees on hi ha més incidència de medicans, no sorprèn trobar que la regió on hi ha un màxim d'incidència sigui el mar Jònic, que correspon a una de les àrees més càlides del Mediterrani. Tanmateix, en observar l'àrea oriental queda palès que no es pot establir únicament una relació entre la SST amb la formació dels medicans, ja que hi ha un mínim d'activitat i la SST és similar a la de la regió central. En aquest mateix aspecte Pytharoulis (2018) afirma que tot i que la SST té una gran influència en la intensitat i durada dels medicans, quan se'n vol estudiar l'evolució futura, no es pot determinar unilateralment pels canvis de la SST. L'afirmació d'aquest autor es pot aplicar en el cas del Mediterrani oriental, ja que la SST no és l'única variable que determina l'àrea d'incidència dels medicans.

En el cas de la precipitació s'ha de remarcar que, tot i que no es tracta de taxes de precipitació mitjana extraordinàriament altes, depenent d'on tingui incidència pot provocar problemes i, fins i tot, alguna inundació. Tenint en compte que, segons l'atles climàtic de Catalunya d'entre 1961 i 1990 del meteo.cat, la precipitació mitjana del mes de setembre a Barcelona, que és un dels mesos més plujosos, és d'entre 50 i 70 mm, els medicans comporten de mitjana, aproximadament, aquesta quantitat al dia.

Pel que fa als resultats obtinguts en aquest estudi, en el mapa de distribució de la taxa de precipitació mitjana, només hi ha marcats els punts on hi ha hagut les màximes, però observant els mapes obtinguts de l'ERA5 s'observa que la precipitació afecta una àrea important al voltant del centre del cicló. De manera que es fa difícil constatar totes les àrees afectades per la precipitació provocada pels medicans.

De les variables referents a les onades es pot apreciar que, del total de l'alçada de l'onada, la major part és generada pel vent local, ja que l'aportació del *swell* o mar de fons a aquesta alçada és mínima. Les onades són generades per tres factors relacionats amb el vent: la intensitat amb la qual bufa el vent; la persistència, és a dir, el temps que es manté aquest vent bufant i, finalment, el "fetch", que és la distància que recorre aquest vent per sobre del mar (Martínez, 2006). De manera que com més alts siguin els valors d'aquests tres factors més gran serà l'onada produïda. A través d'aquests factors, i sabent que els medicans produeixen vents forts, és d'esperar que generin onades de grans magnituds.

Finalment, els medicans poden tenir unes conseqüències socioambientals incertes de cara al futur, ja que no es pot determinar si aquest fenomen està disminuint o augmentant la freqüència, almenys amb les eines emprades en aquest estudi, a conseqüència que, com s'ha mencionat anteriorment, no s'ha determinat cap tendència estadísticament significativa. D'altra banda, hi ha certs indicis que porten a pensar que estan augmentant d'intensitat, fet que pot comportar que es converteixin en un risc creixent, és a dir, en un perill en

augment per als éssers humans i per als recursos naturals dels quals es nodreix la societat.

Les costes del Mediterrani estan molt densament poblades, amb grans ciutats a tocar del mar, que es poden veure greument afectades si un medicà arriba a tocar de les seves costes. Però, a part de grans nuclis de població, en el litoral també hi ha àrees de gran interès natural que es veuen molt afectades a causa de la seva vulnerabilitat, com el delta de l'Ebre, ja que tot i que no es caracteritzen per portar pluges extraordinàriament importants, poden generar temporals marítics en forma de ventades i grans onades que afecten directament el paisatge litoral.

## VI. CONCLUSIONS

Els medicans presenten una variabilitat interanual marcada sense ciclicitat multianual en els anys de l'estudi, però amb un cicle anual de la freqüència estacional marcat. A més, també presenten una distribució espacial, amb àrees del Mediterrani on els medicans ocorre més sovint.

En el Mediterrani central és on hi ha registrat el nombre més gran de medicans i l'oriental, el que en té menys casos. Aquestes dues regions tenen una SST similar, fet que porta a pensar que haurien de tenir una freqüència de medicans similars, però no és així. La diferència ve marcada pel fet que a la regió central hi arriba la influència de l'oceà Atlàntic i, en canvi, a l'àrea més oriental, no. El recent estudi d'Insua-Costa et al. (2022) relaciona directament les grans quantitats de precipitació que se solen registrar durant esdeveniments puntuals al Mediterrani amb l'aportació de grans quantitats d'humitat de fonts remotes, com pot ser l'oceà Atlàntic. De fet, afegeix que el Mediterrani, per ell mateix, normalment no proporciona suficient humitat per produir precipitacions catastròfiques. Tot i que els medicans no es caracteritzen per portar associades quantitats de precipitació extraordinàries, s'ha constatat en l'estat de l'art que es necessiten grans quantitats d'humitat en capes baixes per a la seva formació. En el sector més occidental del Mediterrani és possible que no hi hagi tants casos registrats perquè la SST és més baixa.

En el mateix sentit, la SST també té relació amb la distribució estacional d'aquest fenomen. Com ja s'ha dit, la cicloïnesi dels medicans està estretament lligada a la SST del Mediterrani i la tardor, juntament amb l'estiu, són les estacions en què és més elevada. El fet que en la tardor hi hagi el màxim d'activitat i, en canvi, a l'estiu n'hi hagi el mínim, pot estar relacionat amb la dinàmica general de l'atmosfera. Com afirma Campo (2013), durant la tardor es donen unes condicions atmosfèriques concretes, com la presència de masses d'aire humides i càlides que presenten un alt grau d'instabilitat estàtica, que produeixen pluges intenses. Aquesta instabilitat és necessària perquè es produeixin sistemes convectius ben organitzats. A més, cal afegir que a l'estiu hi ha un domini de les altes pressions; en canvi, a la tardor hi ha una transició entre el domini de les altes pressions cap a les baixes (de l'hivern), portant a més situacions de tálvegs i dorsals, que poden portar a una instabilitat atmosfèrica (Sempere, 2022).

Finalment, en aquest estudi s'ha analitzat la tendència en la distribució interanual dels medicans i ha resultat no estadísticament significativa. Aquest fet pot ser causat per una sèrie massa curta. Com que no hi ha cap tendència, no s'ha pogut concloure si la freqüència amb la qual ocorren els

medicans augmentarà o disminuirà en un futur. Tanmateix, de la caracterització de la intensitat dels medicans n'ha resultat un aparent augment, que pot venir de l'escalfament de la SST durant les últimes dècades; no obstant això, aquest és un aspecte que s'ha de comprovar i que pot ser objecte d'un futur estudi. A més, cal tenir en compte que es tracta de dades de reanàlisi que aporten cert grau d'incertesa.

Per concloure, es pot afegir que el fet que els medicans puguin estar augmentant d'intensitat podria tenir unes conseqüències directes sobre els sistemes costaners.

## VII. REFERÈNCIES

- Campo, I. 2013: Masa de agua precipitable, índices de inestabilidad e isocero en el Mediterráneo Occidental durante el Periodo de Observación Especial HyMeX-SOP1 (otoño de 2012). Treball Final de Màster de Meteorologia. Universitat de Barcelona (UB).
- Cavicchia, L. et al., 2014a: A long-term climatology of medicanes. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. *Clim Dyn* 43:1183–1195.
- Centro De Estudios Ambientales Del Mediterráneo, s.d. Mediterranean Sea Surface Temperature Climatology. Recuperat el 7/6/2022 de: [Mediterranean Sea Surface Temperature- Climatology - CEAMed](#)
- Dafis et al., 2018: Remote sensing of deep convection within a tropical-like cyclone over the Mediterranean Sea. *Atmospheric Science Letters*. Royal Meteorological Society.
- Emanuel, K., 2005: Genesis and maintenance of “Mediterranean hurricanes, European Geosciences Union. *Advances in Geosciences*, 2, 217-220.
- European Centre for Medium-Range Weather Forecasts, s.d. *ECMWF Reanàlisi v5 (ERA5)*. <https://www.ecmwf.int/en/forecasts/dataset/ecmwf-reanalysis-v5>
- Gaertner, M. A. et al., 2016: Simulation of medicanes over the Mediterranean Sea in a regional climate model ensemble: impact of ocean–atmosphere coupling and increased resolution. *Clim Dyn*, 51, 1041–1057.
- GonzálezAlemán, J. J., et al., 2019: Potential increase in hazard from Mediterranean hurricane activity with global warming. *Geophysical Research Letters*, 46, 1754–1764.
- Gutiérrez-Fernández, J. et al., 2018: Evolución futura de los ciclones con características tropicales en la cuenca Mediterránea: Efectos de utilizar modelos de alta resolución o con acoplamiento atmósfera-océano” *Variabilidad y cambio climático. Predicción de tiempo y clima orientada a impactos*. Pàg. 451-457.
- Gutiérrez-Fernández, J. et al., 2020: Impact of ocean-atmosphere coupling on future projection of Medicanes in the Mediterranean Sea. *International Journal of Climatology*. DOI: 10.1002/joc.6955
- Hart, R. E., 2003: A Cyclone Phase Space Derived from Thermal Wind and Thermal Asymmetry. *MONTHLY WEATHER REVIEW*, 131, 585-616
- Hoskins, B. J., i Hodges, K. I., 2002: New Perspectives on the Northern Hemisphere Winter Storm Tracks. *American Meteorological Society. Journal Of The Atmospheric Sciences*. Volume 59. Pàg. 1041-1061
- Insua-Costa, D. et al., 2022: A global perspective on western Mediterranean precipitation extremes. *Climate and Atmospheric Science*
- Llasat, M.C. et al., 2014: The 6 november 2011 flood event in Catalonia: analysis using the DRIHM infrastructure. A E. Ferrari i P. Versace (eds.) *Monitoring, modelling and early warning of extreme events triggered by heavy rainfall* (pàg. 157 -165). 5th International workshop on Hydrological Extremes MEDFRIEND group.
- Martínez, F. X., 2006: *Meteorología aplicada a la navegación*. Edicions de la Universitat Politècnica de Catalunya, SL.
- Miglietta et al., 2013: Analysis of tropical-like cyclones over the Mediterranean Sea through a combined modeling and satellite approach. *Geophysical Research Letters*, 40, 2400–2405.
- Miglietta, M. M. i Rotunno, R., 2019: Development mechanisms for Mediterranean tropical-like cyclones (medicanes). *Q. J. Royal Meteorological Society*
- Mylonas, M. P. et al, 2018: Investigation of the Mediterranean Cyclone Cleopatra using the WRF model: Sensitivity analysis and ensemble forecasting approach. Preprints.
- Nastos, P.T. et al., 2017: Mediterranean tropical-like cyclones: Impacts and composite daily means and anomalies of synoptic patterns. *Atmospheric Research*, 208, 156-166.
- Nebot, X., 2020: Canvis en la dinàmica dels medicans per la influència de la crisi climàtica. Treball Final de Grau de Ciències Ambientals. Universitat de Barcelona.
- Pytharoulis, I., 2018: Analysis of a Mediterranean tropical-like cyclone and its sensitivity to the sea surface temperatures. *Atmospheric Research*, 208, 167-179.
- Ricchi et al., 2016: Sensitivity of a Mediterranean Tropical-Like Cyclone to Different Model Configurations and Coupling Strategies. *Atmosphere* 2017, 8, 92. <https://doi.org/10.3390/atmos8050092>
- Romera, R. et al., 2017: Climate change projections of medicanes with a large multi-model ensemble of regional climate models. *Global and Planetary Change* 151. 134-143.
- Romero, R., Emanuel, K., 2013: Mediane risk in a changing climate. *J. Geophys. Res.- Atmos.* 118, 5992–6001.
- Salmi, T. Et al., 2002: Detecting trends of annual values of atmospheric pollutants by the Mann-Kendall test and sen's slope estimates -the excel template application makesens. Helsinki. Published by Finnish Meteorological Institute.
- Scicchitano, G., et al., 2021: Comparing impact effects of common storms and Medicanes along the coast of south-eastern Sicily. *Marine Geology* 439
- Sempere, V. 2022: Aplicació de la metodologia self organizing maps (SOMs) per a l'estudi de les reanàlisi de l'ERA5. Treball Final de Màster de Meteorologia. UB.
- Servei Meteorològic de Catalunya (2008) *Atlas climàtic de Catalunya 1961-1990*. Recuperat el 7/6/2022 de: [https://www.meteo.cat/climatologia/atles\\_climatic/](https://www.meteo.cat/climatologia/atles_climatic/)
- Silvestro, F. et. al., 2012: A hydrological analysis of the 4 November 2011 event in Genoa. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, vol. 12, pàg. 2743–2752. doi:10.5194/nhess-12-2743-2012
- Tous, M i Romero, R., 2011: Medicanes: cataloguing criteria and exploration of meteorological environments. *Tethys, Journal of Mediterranean Meteorology & Climatology*, 8, 53-61.
- Tous, M i Romero, R., 2013: Meteorological environments associated with mediane development. *Royal Meteorological Society. International Journal of Climatology*. 33: 1- 14
- Tous, M., Romero, R. and Ramis, C. 2013: Surface heat fluxes influence on mediane trajectories and intensification. *Atmospheric Research*, 123, 400-411.
- Wetterzentrale. Top karten. Archivo, reanàlisi. CFSR (1979-) <https://www.wetterzentrale.de/reanalysis.php?map=1&model=cfsr&var=1&jaar=2011&maand=11&dag=06&uur=0600&h=0&tr=360&nmaps=24#mapref>

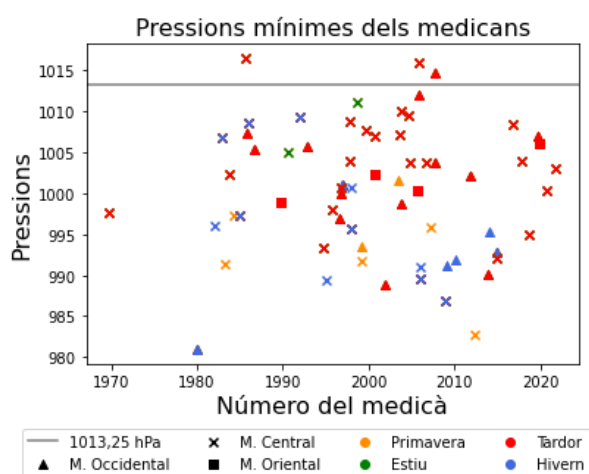
## VIII. AGRAÏMENTS

En primer lloc, m'agradaria donar les gràcies a la meua tutora, la Dra. María del Carmen Llasat Botija, per haver acceptat supervisar aquest estudi que feia temps que despertava el meu interès i, a la vegada, tot l'esforç i la implicació que ha mostrat per guiar-me en la investigació dels medicans. També vull agrair al meu tutor Raül Marcos Matamoros, tota l'ajuda i la paciència que m'ha mostrat, ja que sense ell no ho hauria pogut fer tot el que es requeria en Python. A més, també li vull agrair a la meua mare, Marta Roquet i Abenoza, que m'hagi ajudat i recolzat al llarg de tot el treball. Finalment, vull agrair als meus companys Víctor Sempere i Jordi Rovira també per la seva ajuda i consells amb el Python.

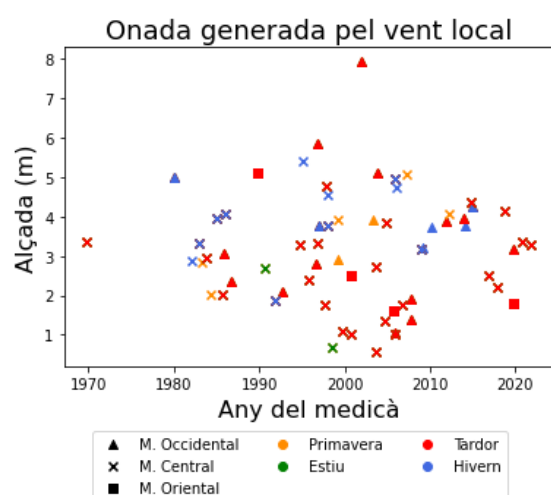
## ANNEX

### Annex 1:

a) Registre de les pressions mínimes estimades dels medicans del catàleg des de 1969 fins al 2021.



b) Alçada de l'onada màxima estimada generada pel vent local dels medicans del catàleg des de 1969 fins al 2021.



c) Distribució espacial de les localitzacions on s'ha produït l'alçada màxima de l'onada generada pel vent local.



**Annex 2:** Resum del catàleg de medicans. Inclou la data de màxima intensitat, la regió en la qual ha ocorregut i les variables de la pressió mínima, la ratxa màxima a 10 m i la taxa de precipitació mitjana màxima. Les dades de les variables meteorològiques han estat obtingudes a partir de la reanàlisi de l'ERA5.

Data	Regió	P mín (hPa)	V. màx (m/s)	Precip (mm/día)
23/09/1969	M. Centr	998	27	109
22/12/1979	M. Occi	981	37	55
24/01/1982	M. Centr	996	24	72
01/12/1982	M. Centr	1007	23	53
27/03/1983	M. Centr	991	26	50
27/09/1983	M. Centr	1002	32	84
06/04/1984	M. Centr	997	24	89
29/12/1984	M. Centr	997	25	81
18/09/1985	M. Centr	1017	22	54
28/10/1985	M. Occi	1007	23	67
15/12/1985	M. Centr	1009	25	43
01/10/1986	M. Occi	1005	21	69
05/10/1989	M. Orien	999	34	113
23/08/1990	M. Centr	1005	24	73
05/12/1991	M. Centr	1009	18	36
12/10/1992	M. Occi	1006	18	39
23/10/1994	M. Centr	993	25	62
14/01/1995	M. Centr	989	32	94
28/09/1995	M. Centr	998	25	63
12/09/1996	M. Occi	997	28	98
05/10/1996	M. Centr	1001	25	55
07/10/1996	M. Occi	1000	30	94
08/12/1996	M. Occi	1001	28	90
25/09/1997	M. Centr	1009	19	69
30/10/1997	M. Centr	1004	28	121
07/12/1997	M. Centr	996	30	123
26/01/1998	M. Centr	1001	30	70
07/08/1998	M. Centr	1011	16	50
18/03/1999	M. Centr	992	29	76
27/03/1999	M. Occi	994	31	51

13/09/1999	M. Centr	1008	15	52
11/09/2000	M. Centr	1007	16	37
09/10/2000	M. Orien	1002	21	80
11/11/2001	M. Occi	989	42	98
26/05/2003	M. Occi	1002	30	60
16/09/2003	M. Centr	1007	20	109
28/09/2003	M. Centr	1010	15	46
18/10/2003	M. Occi	999	30	77
20/09/2004	M. Centr	1010	16	63
04/11/2004	M. Centr	1004	25	104
16/09/2005	M. Orien	1000	20	44
23/10/2005	M. Occi	1012	16	46
27/10/2005	M. Centr	1016	14	9
14/12/2005	M. Centr	990	32	81
01/02/2006	M. Centr	991	27	44
25/09/2006	M. Centr	1004	24	108
22/03/2007	M. Centr	996	27	30
17/10/2007	M. Occi	1015	18	88
26/10/2007	M. Occi	1004	31	47
04/12/2008	M. Centr	987	35	64
26/01/2009	M. Occi	991	26	49
29/01/2010	M. Occi	992	24	18
08/11/2011	M. Occi	1002	27	85
14/04/2012	M. Centr	983	30	73
19/11/2013	M. Occi	990	32	48
20/01/2014	M. Occi	995	30	42
07/11/2014	M. Centr	992	27	95
02/12/2014	M. Occi	993	26	75
31/10/2016	M. Centr	1008	28	57
17/11/2017	M. Centr	1004	22	113
28/09/2018	M. Centr	995	32	95
11/09/2019	M. Occi	1007	31	88
25/10/2019	M. Orien	1006	17	53
17/09/2020	M. Centr	1000	27	106
29/10/2021	M. Centr	1003	22	92