

UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS

MEMÒRIA FINAL DE MÀSTER

**Exploració dels ambients
meteorològics associats a
MEDICANES**

Autora:
Maria TOUS

Director:
Dr.Romualdo ROMERO

Índex

1	Introducció	1
2	Què són els medicanes?	5
2.1	Ciclons a la Mediterrània	5
2.2	Què és un huracà?	6
2.2.1	On i quan els podem trobar?	8
2.2.2	Com es formen?	9
2.2.3	Quina és la seva estructura?	11
3	Procediments de detecció	13
3.1	Detecció de ciclons MEDEX	13
3.2	Detecció de medicanes per satèl·lit	15
3.2.1	El satèl·lit Meteosat	16
3.2.2	Visualització d'imatges	18
3.2.3	Creació de la base de dades	23
4	Ambients Meteorològics	27
4.1	Paràmetres meteorològics	28
4.2	Índex empíric de probabilitat de formació d'huracans	33
5	Resultats	39
5.1	Distribució temporal i espacial	40
5.2	Variables meteorològiques	43
5.2.1	Climatologia	43
5.2.2	Evolució	49
5.2.3	Seqüenciació d'un cas: gener de 1995	55
6	Conclusions	59

Referències Bibliogràfiques	61
A Events	63
B Climatologia	67
C Dinàmica	73

Abstract

A la Mediterrània es generen, ocasionalment, depressions que a les imatges de satèl·lit tenen una estructura similar als ciclons tropicals i que fins i tot poden arribar a la intensitat dels huracans. A aquests fenòmens els anomenem “medicanes”. Malgrat les dimensions geogràfiques dels oceans tropicals i la mar Mediterrània són clarament diferents, els mecanismes precursors d’aquestes pertorbacions, basats en el desequilibri termodinàmic mar-atmosfera, són similars. Aquests fets ens fan pensar en l’existència d’un paral·lelisme físic entre ambdues situacions.

A partir d’imatges històriques 1982-2005 del satèl·lit Meteosat, s’ha tractat d’identificar aquests casos. S’han elaborat diferents llistes, cada una d’elles acotant més els criteris de selecció en base a l’estructura del cicló en el canal infraroig. Alguns d’aquests criteris són, per exemple, la mida del cicló, la claretat de l’existència d’un ull i el temps de vida del sistema. Aquesta identificació s’ha realitzat de manera subjectiva. En total, s’han identificat dotze casos de medicanes.

Una bona caracterització dels ambients meteorològics precursors dels medicanes ens pot ajudar a entendre els mecanismes de gènesi i millorar les prediccions. En aquest treball, compararem els valors de diverses variables meteorològiques d’interés en els casos de medicane amb els ciclons catalogats a la base de dades del projecte MEDEX per tractar d’identificar quins són els ambients que afavoreixen la gènesi i desenvolupament de medicanes envers la resta de ciclons mediterranis. En aquest sentit, la humitat relativa a nivells mitjos, la contribució diabàtica a la tendència local de temperatura potencial equivalent superficial, i un índex empíric derivat a partir de la gènesi de ciclons tropicals es presenten com a possibles paràmetres discriminatius.

CAPÍTOL 1

Introducció

L'àrea mediterrània (fig.1) és una zona ciclogènica molt activa. Els sistemes muntanyosos que l'envolten i els fluxes atmosfèrics que l'afecten, fan que el nombre de ciclons que s'hi desenvolupen sia un dels més elevats del món, així com també cal destacar que alguns d'aquests ciclons es creen molt ràpidament, fet pel qual es solen anomenar “bombes meteorològiques” (Conte (1986); Homar et al. (2002)). Tots aquests fets fan que sovint tenguin unes característiques que els fan ser destructius sobre el medi que els envolta: pluges torrencials (amb riades, inundacions, etc.) i vendavals són alguns dels trets més freqüents en aquests ciclons d'alt impacte.

MEDEX, Experiment Mediterrani sobre ciclons que produeixen temps d'alt impacte a la Mediterrània, és un projecte internacional d'investigació i desenvolupament, aprovat per l'OMM (Organització Meteorològica Mundial) al 2000 dins el Programa d'Investigació Meteorològica Mundial. L'objectiu principal d'aquest projecte és millorar el coneixement i la predicció dels ciclons que produeixen temps advers d'alt impacte social a la Mediterrània. La climatologia d'aquests ciclons es fa utilitzant les dades de les reanàlisis de l'ERA-40, que inclou la caracterització tridimensional de l'atmosfera en termes de variables termodinàmiques.

Els Medicanes, o com també se'ls coneix “Mediterranean tropical-like cyclones”, són ciclons que es desenvolupen sobre la mar Mediterrània (Ernest and Matson (1983); Reale and Atlas (2001); Jansà (2003)) amb unes característiques similars a la dels ciclons tropicals, que es sustenten amb el desequilibri termodinàmic entre la mar i l'atmosfera. Les anàlisis sinòptiques



Figura 1.1: *L'àrea mediterrània.*

dels casos estudiats mostren que el paper precursor es troba en una depressió profunda, freda i aïllada situada en els nivells mitjos i alts de la troposfera. El fet que hi hagi pocs casos de medicane identificats fa pensar que, per a la seva formació, calen altres condicions meteorològiques molt especials en comparació a les depressions ciclòniques ordinàries.

La petita mida dels medicanes i les característiques marítimes dels processos implicats en el desenvolupament i intensificació d'aquestes pertorbacions fan que siguin difícils o impossibles de detectar en la climatologia del projecte MEDEX; sols seria possible amb camps d'anàlisi sobre malles de dades de molta resolució i una gran densitat d'observacions sobre la mar Mediterrània, fet pel qual, en l'actualitat i en la pràctica, esdevengui impossible. És per aquest motiu que se'ls ha assignat un projecte propi: "MEDICANES: Meteorological Environments, Numerical Predicatability and Risk Assessment in the Present and Future Climate" (MEC, CGL2008-01271/CLI).

Els objectius del projecte MEDICANES són: (1) Caracteritzar els ambients meteorològics que propicien el desenvolupament i sustentació dels medicanes mitjançant climatologies dinàmicament orientades, construint per a

aquest propòsit una base de dades d'events a partir d'imatges de satèl·lit; (2) Examinar i millorar la predictibilitat numèrica dels medicanes mitjançant sistemes de predicció per conjunts a mesoscala; (3) Desenvolupar tècniques específiques de post-procés que permetin descriure apropiadament les prediccions probabilístiques, amb especial atenció als fenòmens extrems; i (4) Avaluar quantitativament la perillositat derivada dels medicanes i la seva incertesa sota les condicions del clima present i futur, mitjançant l'aplicació de les tècniques numèriques desenvolupades en (2) i (3) al subconjunt d'ambients favorables proporcionats per les reanàlisis de l'ERA-40 i una llarga col·lecció de simulacions de MCG (Models de Clima Global).

En aquesta memòria final de màster es treballarà l'objectiu 1 del projecte. El segon capítol tracta de familiaritzar al lector sobre quin tipus de ciclons podem trobar sobre la Mediterrània, i què són els huracans i els medicanes, degut a que aquests termes estaran presents al llarg d'aquest treball. El tercer capítol descriu els diferents mètodes de detecció de ciclons i medicanes que utilitzarem per tal de crear una base de dades sobre la qual treballar. En el quart capítol es defineixen les característiques dels camps que utilitzarem per extreure i calcular un conjunt de variables meteorològiques, les quals també es defineixen en aquest apartat. En el cinquè capítol és on es presenten els resultats més significatius d'aquest estudi, identificant quines són les variables meteorològiques que millor discriminen els casos de medicane envers la resta de ciclons mediterranis. En un principi, centrarem la vida de cada medicane a un dels primers instants de la seva fase madura (entenent que les hores prèvies han estat quan l'ambient tenia les condicions adients necessàries per a que el medicane es formàs i desenvolupàs), aproximant-lo a una de les hores de sortida dels camps d'anàlisi de l'ECMWF ('European Center for Medium-Range Weather Forecasts'): 00, 06, 12 ò 18 UTC. Els resultats es mostraran a l'apartat 5.2.1. A continuació s'estudiarà l'evolució d'aquests paràmetres durant tota la vida del cicló, i els resultats es mostren a l'apartat 5.2.2. Finalment, el sisè capítol és per resumir les conclusions d'aquest treball i descriure quines vies d'investigació estan previstes.

CAPÍTOL 2

Què són els Medicanes?

Ens referim al terme Medicanes com una conjunció dels mots “MEDIteranean hurriCANES”, encara que també se’ls coneix com a “Mediterranean tropical-like cyclones” degut a les semblances amb aquests. Són ciclons que es desenvolupen sobre la mar Mediterrània però que tenen unes característiques semblants a la dels ciclons tropicals o fins i tot d’huracans.

2.1 Ciclons a la Mediterrània

La Mediterrània és una de les zones ciclogèniques més actives del món (Pettersen (1956); Hoskins and Hodges (2002); Wernli and Schwierz (2006)). La majoria dels ciclons que s’hi desenvolupen són principalment de tres tipus: les baixes tèrmiques, les baixes de sotavent i els ciclons baroclins.

Les baixes tèrmiques es produeixen degut a l’encalentiment del sol, i per aquest motiu es desenvolupen sobre els continents. D’aquesta manera, les capes baixes d’aire augmenten la seva temperatura i s’expandeixen, disminuint la seva pressió superficial. Aquest fet crea una convergència de l’aire cap al centre de la baixa que, per continuïtat, es veu forçat a ascendir, provocant la circulació típica de les baixes tèrmiques. Com és d’esperar, aquests fenòmens ocorren especialment durant l’estiu (mesos de juny, juliol i agost). Una de les característiques més notòries d’aquests tipus de ciclons és que la seva durada és de poc més d’unes hores.

Per altra part, quan els corrents d'aire es troben alguna barrera orogràfica, les ascendències i descendències associades també estan considerades com abruptes i faciliten (o generen) l'aparició dels ciclons, especialment a sota-vent de les muntanyes. Una de les característiques que fa que la Mediterrània sia una de les zones ciclogènèticament més actives del planeta és que es troba envoltada de sistemes muntanyosos de gran importància (fig.1), com per exemple els Alps, els Pirineus i els Atles, fixant-nos simplement en la conca occidental. Degut a la presència dels Alps, el Golf de Gènova és, dins la Mediterrània occidental, la zona on més ciclons baroclins es creen (un promig de 37.4 events cada any, Campins et al. (2010)).

Però quan realment es parla de ciclogènesi mediterrània, especialment l'associada a fenòmens de temps sever, s'està parlant dels ciclons baroclins. De manera molt resumida, el desenvolupament d'aquests ciclons es pot entendre a partir de l'oposició de masses d'aire de característiques diferents al llarg dels fronts de temperatura, típics de les latituds mitjanes. Hi ha dos tipus de fronts: els càlids i els freds. Degut a les distintes propietats d'ambdós, quan el front càlid avança cap a l'aire fred, tendeix a “cavalcar” a sobre, és a dir, es crea un moviment suau ascendent de la massa d'aire càlid. En contra, quan el front fred avança cap a l'aire càlid, el que fa és “empènyer-lo”, motiu pel qual, les ascensions d'aire càlid associades esdevenen més brusques i sovint son les precursors de les tempestes (veure fig. 2.1).

Els ciclons baroclins tenen una durada que pot anar d'hores a dies, i de característiques també molt diverses: des d'alguns que passen completament desapercebuts per a la població en general, fins a events d'alt impacte social i econòmic, com són els que deriven en ventades, tempestes, calabruixos o “flash floods”, és a dir, inundacions sobtades que generament ocorren en zones d'orografia complexa, després de plogudes de gran quantitat d'aigua en un temps reduït.

2.2 Què és un huracà?

Un huracà és un tipus de cicló tropical. Un cicló tropical és un sistema de baixa pressió que es forma a latituds pròximes als tròpics, amb activitat plujosa i elèctrica, els vents del qual roten anti-horàriament a l'hemisferi nord.

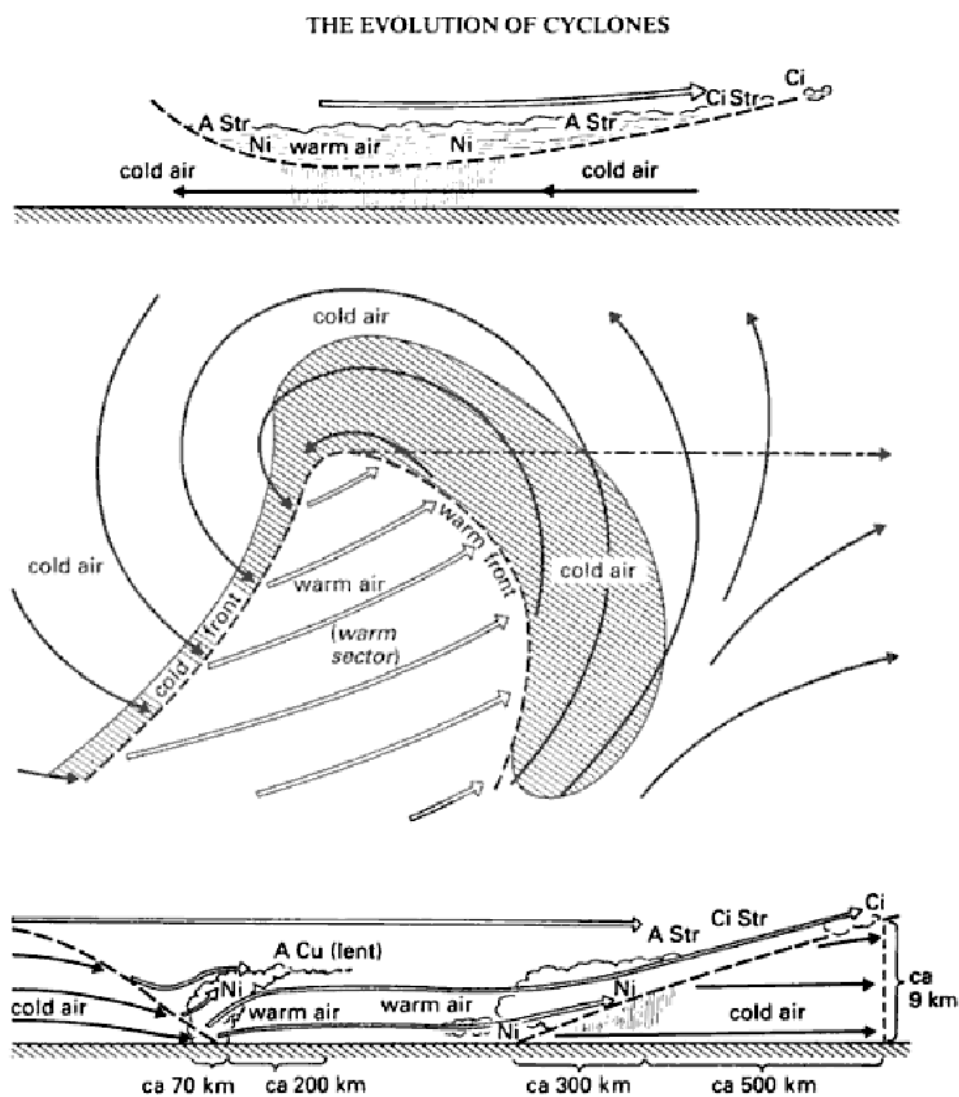


Figura 2.1: Esquema de la formació idealitzada d'un cicló. (Bjerkens and Solberg (1926))

Depenent de la velocitat dels vents associats a nivell de la mar s'anomenen de diferents maneres:

- Depressió tropical, amb vents sostinguts menors o iguals a 17 m/s.
- Tempesta tropical, amb vents sostinguts superiors a 17 m/s i inferiors o iguals a 33 m/s. Les tempestes tropicals tenen nucli càlid.
- Huracà, amb vents sostinguts superiors a 34 m/s. També tenen nucli càlid.

Una altra diferenciació important entre aquestes tres categories de ciclons tropicals es pot apreciar en la seva organització. La depressió tropical agrupa nuvolositat i pluja, però les bandes espirals no estan ben delimitades. La tempesta tropical és un sistema atmosfèric amb una millor estructura, amb bandes de núvols i pluges en espiral convergents cap al centre del sistema. L'huracà, per la seva part, és un sistema totalment organitzat en tota la troposfera amb bandes en espiral de pluja ben delimitades.

L'escala Saffir-Simpson defineix i classifica la categoria d'un huracà en funció de la velocitat sostinguda dels vents d'aquest. La categoria 1 és la menys intensa (vents d'entre 34 a 42 m/s), i la categoria 5 és la més intensa (vents superiors a 70 m/s), (Taula 2.1). La categoria d'un huracà no està relacionada necessàriament amb els danys que ocasiona. Els huracans 1 o 2 poden causar efectes severos depenent dels fenòmens atmosfèrics que preodueixen (p.e. tornados i pluges torrencials), el tipus de regió afectada i la velocitat de desplaçament de l'huracà. Els huracans de categories 3, 4 o 5 estan considerats com a severos.

2.2.1 On i quan els podem trobar?

S'anomena "temporada d'huracans" a l'època de l'any en què és freqüent el desenvolupament d'huracans. A l'Atlàntic, la temporada d'huracans dura entre l'1 de juny i el 30 de novembre. Les zones on es poden formar els huracans es mostren en la fig. 2.2, on destaquen la Conca nordoccidental Atlàntica, el nord-oest de la Conca del Pacífic, Nord de l'oceà Índic (incloent

Category	Wind Speed	Storm surge
	km/h (mph)	m (ft)
5	≥ 250 (156)	> 5.5 (18)
4	210-249 (131-155)	4.0-5.5 (13-18)
3	178-209 (111-130)	2.7-3.7 (9-12)
2	154-177 (96-110)	1.8-2.4 (6-8)
1	119-153 (74-95)	1.2-1.5 (4-5)
Tropical Storm	63-117 (39-73)	0-0.9 (0-3)
Tropical Depression	0-62 (0-38)	0 (0)

Taula 2.1: *Classificació dels huracans (i altres ciclons tropicals) segons l'escala Saffir-Simpson, que relaciona la categoria que reb l'huracà amb la velocitat sostinguda màxima dels vents en superfície. La columna de la dreta "Storm surge" es refereix a l'amplitud de l'augment del nivell de la mar a les zones costeres situades en el flanc d'entrada del cicló tropical.*

la badia de Bengala i la mar d'Aràbia), sudoest de l'oceà Índic, sudoest de la conca indo-australiana, i la conca australiana i sudoest del Pacífic.

Depenent de la regió geogràfica on es formi, a l'huracà se l'anomena de diferents maneres: "cicló" si es forma en la Badia de Bengala i a l'oceà Índic nord, "tifó" si es forma a l'oest de l'oceà Índic (Japó, Corea, Xina,...), "Willy-Willy" a Austràlia o "Baguio" a Filipines. El terme "huracà" és propi de l'Atlàntic nord, Carib i Golf de Mèxic.

2.2.2 Com es formen?

Els ciclons tropicals es formen sobre grans extensions d'aigua càlida del tròpic a partir de pertorbacions atmosfèriques pre-existents, com per exemple sistemes de baixa pressió i ones tropicals. Les ones tropicals es formen cada tres o quatre dies sobre les aigües de l'oceà atlàntic, prop de la línia equatorial. Els ciclons tropicals també es poden formar a partir de fronts freds i, ocasionalment, d'un centre de baixa pressió en els nivells alts de l'atmosfera.

Per a que una tempesta tropical es pugui intensificar i arribar al grau d'hu-



Figura 2.2: *Distribució espacial de les zones on es poden crear i evolucionar els huracans.*

racà, com a mínim s'han de complir les següents condicions:

1. Existència d'una pertorbació atmosfèrica (ona tropical) amb tempestes associades.
2. Temperatures oceàniques càlides (iguals o superiors a 26°C) des de la superfície de la mar fins una fondària de 15 metres.
3. Vents febles a nivells alts de l'atmosfera, que no canviïn considerablement en direcció ni velocitat en un cert espessor atmosfèric.

Quan el cicló tropical entra en contacte amb les aigües càlides de la mar es produeix un intercanvi d'energia (en forma de calor sensible i, sobretot, latent) entre l'aigua i el sistema ciclònic. Aquesta energia es transforma en energia cinètica de rotació i altres processos termodinàmics.

Els vents dels nivells baixos de l'atmosfera, prop de la superfície marina, tenen una component cap a l'àrea de baixa pressió, és a dir, conflueixen cap a

un lloc determinat. Les aigües càlides subministren a l'entorn de la pertorbació la humitat i la calor necessàries per a que es desencadenin els processos de formació de núvols i, generalment, pluja i activitat elèctrica. Aleshores es formen bandes de pluja i els cims dels núvols que s'han format s'eleva fins a alts nivells de la troposfera. Si els vents als nivells alts es mantenen febles, el cicló tropical pot continuar intensificant-se fins arribar a la categoria d'huracà. Aquests ambients precursors contrasten fortament amb els dels ciclons baroclins extratropicals esmentats a l'apartat 2.1, els quals es sustenten en els contrastos horitzontals de temperatura i, conseqüentment, en la presència de vents forts en altura.

2.2.3 Quina és la seva estructura?

Les principals parts d'un huracà són (fig.2.3):

- L'ull. És un sector de calma, amb poca nuvolositat i d'aproximadament entre 30 i 65 km de diàmetre.
- La paret de l'ull. Està composta de núvols densos (cumulonimbus), on es localitzen els vents més intensos de l'huracà, i forta activitat tempestuosa.
- Bandes de núvols/pluja. Tenen forma d'espiral al voltant del seu centre.

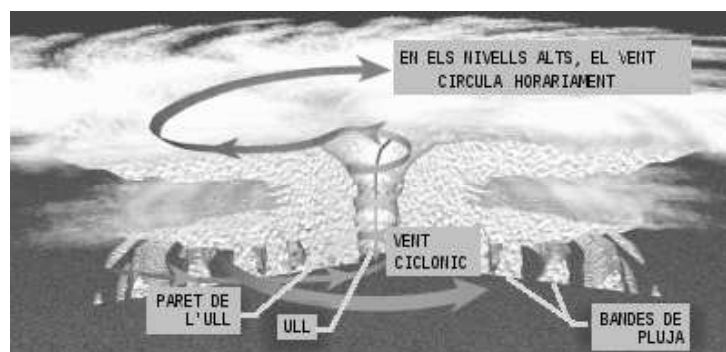


Figura 2.3: Estructura d'un huracà.

Les bandes de pluja convergeixen cap al centre de l'huracà en sentit anti-horari en el nostre hemisferi. A nivells alts de l'atmosfera, el vent circula en forma horària (anticiclònica), contrari a com ho fa a nivells baixos. L'aire descendeix cap al centre de l'huracà formant l'ull.

La grandària (diàmetre) típica d'un huracà és de 480 km d'amplada, encara que aquest valor pot variar considerablement d'un cas a un altre. Cal remarcar que la grandària no és un indicador (al manco, no necessàriament) de la intensitat de l'huracà.

La velocitat i la trajectòria de l'huracà depenen de complexes interaccions entre aquest, l'atmosfera i la mar. Típicament, un huracà es desplaça a velocitats d'entre 24 a 32 km/h.

CAPÍTOL 3

Procediments de detecció dels medicanes

Es disposa d'una base de dades històrica de medicanes? Quins sistemes de detecció hi ha disponibles? Quines condicions meteorològiques influeixen més o menys en la gènesi de medicanes?

3.1 Detecció de ciclons MEDEX

El projecte MEDEX, Experiment Mediterrani sobre ciclons que produeixen temps d'alt impacte a la Mediterrània, és un projecte internacional que pretén millorar el coneixement i la predicció dels ciclons que produeixen temps advers d'alt impacte social a la Mediterrània. En aquest projecte s'ha creat una base de dades a partir dels camps de reanàlisis de l'ERA-40. Les dades de l'ERA-40 es troben distribuïdes sobre una malla de resolució 1.125 graus en latitud i longitud (aprox. 110 km), i el període en què hi ha dades comprèn entre 1957 i 2002, disponibles cada 6 hores (00, 06, 12 i 18 UTC).

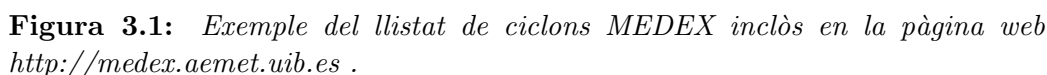
La detecció de ciclons es du a terme a través d'un algorisme desenvolupat en l'“Agencia Estatal de Meteorología” (AEMET) i descrit per Picornell et al. (2001). Sense entrar en massa detalls sobre aquest procés de detecció, sí que està bé saber com funciona, per veure els motius pels quals no és capaç de detectar els medicanes, i saber com s'hauria de reajustar aquest procediment per poder identificar els casos que ens interessin. Aquest procediment es pot

resumir en tres punts:

1. Detectar els mínims de pressió. Aquests punts reben la categoria de centres potencials de ciclons, en cada anàlisi.
2. Estudiar el comportament del camp de pressió en cada una de les vuit direccions principals (E, NE, N, NW, W, SW, S i SE) a partir dels punts detectats anteriorment. Es demanarà que, en al manco sis de les vuit direccions, es compleixi que el gradient de pressió (calculat fins una distància de 850 km, en intervals de 50 km) en algun interval sia superior a 0.5 hPa/100 km. Aquest criteri equival a un vent geostròfic de velocitat 5 m/s.
3. Reagrupar mínims. Si dos mínims de pressió es troben a una distància inferior a quatre punts de malla (en les latituds mediterrànies és equivalent a uns 170 km) només es tindrà en compte el què tengui la major circulació (el càlcul de la circulació s'ha realitzat prèviament, juntament amb altres paràmetres meteorològics).

Posteriorment a aquesta detecció, els centres ciclònics segueixen altres processos d'agrupament i classificació. Així doncs, diversos centres ciclònics a diferents nivells verticals poden formar part d'un mateix cicló, o el que serà el mateix, centres ciclònics amb el mateix codi de cicló. Si en dos pasos de temps consecutius, dos centres ciclònics es troben a una distància inferior al desplaçament que es produiria degut al vent a 700 hPa sobre el centre del pas de temps anterior, es considera que el centre del pas de temps posterior és una continuació de l'anterior i, per tant, també se li assignarà el mateix codi de cicló. A més, es contempla la possibilitat que a partir d'un cicló "pare" se'n derivin dos de "fills", i viceversa, que a partir de dos ciclons se'n formi un de sol.

El resultat dels principals paràmetres meteorològics (com poden ser el gradient de pressió, la temperatura, la humitat, la circulació, etc.) al voltant de cada centre ciclònic es pot consultar lliurement en la pàgina web: <http://medex.aemet.uib.es> (fig. 3.1).



Com hem dit anteriorment, el procediment de detecció de ciclons utilitzat en el projecte MEDEX no és útil per detectar medicanes degut a la seva petita escala.

És per aquest motiu que hem realitzat una detecció subjectiva dels medicaments a través d'imatges de satèl·lit.

3.2.1 El satèl·lit Meteosat

El satèl·lit METEOSAT és un satèl·lit geostacionari controlat per EUMETSAT (European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites). Forma part d'una xarxa internacional de satèl·lits geostacionaris: Meteosat (EUMETSAT, longitud.0E), GOES-E (EUA, 75°W), GOES-W (EUA, 135°W), GMS (Japó, 140°E), GOMS (Rússia, 76°E) i INSAT (Índia, 74°E)), situats sobre l'equador. Aquests sis satèl·lits giren al voltant de la Terra amb la mateixa velocitat angular que aquesta gira sobre sí mateixa, fet pel qual sempre es troben en la mateixa posició en relació a un punt sobre la superfície de la terra i permeten observar sempre la mateixa zona de l'atmosfera i de la superfície terrestre. El Meteosat es troba situat a una altitud de 36000 km sobre el punt d'intersecció de l'equador i el meridià de Greenwich (0°N, 0°E). La cobertura útil de les imatges va des d'aproximadament 60°N fins 60°S, degut a la corbatura de la terra, amb major resolució en el punt subsatèl·lit sobre l'equador, i disminuint cap als pols (fig. 3.2).

El primer de la primera generació de satèl·lits Meteosat (Meteosat-1) va ser llançat el novembre de 1977. Des d'aleshores, diversos enviaments s'han anat succeïnt al llarg del temps. El darrer d'ells s'anomena Meteosat-7, va ser llançat en setembre de 1997 i es preveu que es mantingui operatiu fins el 2013. Aquesta generació de satèl·lits proporciona informació durant les 24 hores del dia, cada 30 minuts, provinent dels tres canals espectrals dels quals es compona l'instrument principal del Meteosat, el "Meteosat Visible and InfraRed Imager" (MVIRI). Aquests tres canals corresponen al canal visible (VIS), infraroig (IR) i el vapor d'aigua (WV) de l'espectre electromagnètic.

Al 2002 es va llançar el primer dels satèl·lits de segona generació. Aquesta nova generació de satèl·lits permet la recepció de 12 canals amb major resolució espacial i la transmissió d'informació en cicles de 15 minuts. Està previst que al 2011 es llenci el primer dels satèl·lits de tercera generació, millorant encara més el nombre de canals fins a 16 i també la resolució espacial.

En el nostre cas només utilitzarem la informació provinent dels successius Meteosat de primera generació. Donarem per suposat que el calibratge dels diferents satèl·lits ja haurà estat tengut en compte per EUMETSAT i que, per tant, les imatges que ens proporcionen són comparables entre elles.

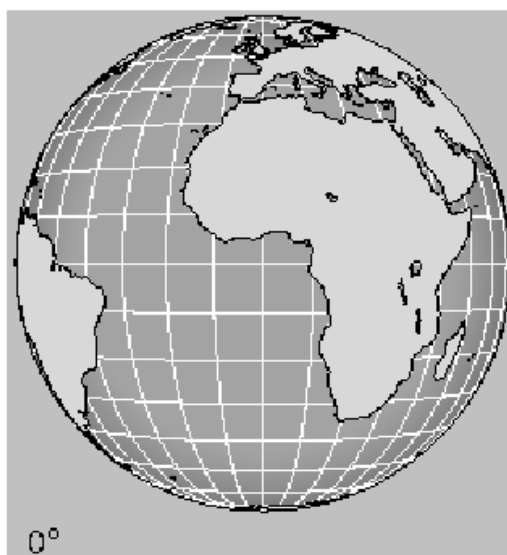


Figura 3.2: *Camp de visió del satèl·lit Meteosat.*

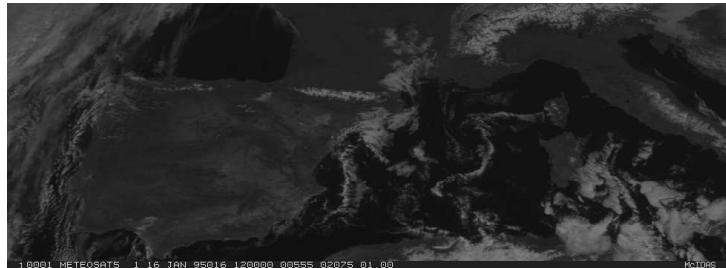
3.2.2 Visualització d'imatges

Els tres canals en què el satèl·lit Meteosat envia informació són el VIS, IR i WV (fig. 3.3).

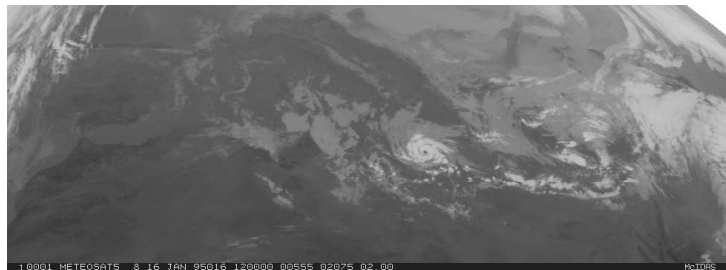
Les imatges visibles (fig. 3.3(a)) capten l'energia solar reflectida des del sistema Terra-Atmosfera entre les longituds d'ona 0.5 i 0.9 micres, i es visualitzen a través d'una escala de grisos, des del negre fins al blanc. La resolució en el punt subsatèl·lit és de $2.5 \times 2.5 \text{ km}^2$, fet pel qual si l'estructura a identificar és menor, el radiòmetre integra el senyal per a tot el píxel, convertint-lo amb un únic to de gris. Els cossos apareixeran més o menys brillants en la imatge depenent de la seva reflectivitat, de la intensitat de la radiació solar i de l'angle d'elevació del sol respecte a l'horitzó terrestre. La reflectivitat (o albedo) és el factor principal (fig. 3.4): Un cos apareixerà més brillant quant major sia la seva reflectivitat, i viceversa. Referent als altres dos factors, s'ha de tenir en compte que la imatge sofrirà canvis depenent del lloc, l'hora i l'època de l'any en què ens trobem. També s'han de tenir en compte altres fenòmens com és l'aparició d'imatges especulars: Malgrat en condicions normals la superfície de l'aigua sia mala reflectora, hi ha condicions (com per exemple en situacions de vent molt feble, amb la superfície de la mar lleugerament rugosa) per les quals l'energia reflectida pot augmentar considerablement.

Tot i que en algun cas ens proporciona les imatges més espectaculars, té dues gran mancances: la temporal i la superficial. La mancança temporal ens condiciona a tenir imatges tractables únicament durant les hores en què el sol il·lumina la superfície que ens interessa (per la nit, les imatges són completament fosques). La mancança superficial fa que si existeix una capa de núvols en un nivell superior al que volem estudiar no disposem de cap informació al respecte. A més a més, en cas de poder visualitzar alguna estructura de medicane, tampoc podríem extreure part de la informació que ens interessa, com per exemple, l'alçada màxima a la què han arribat els desenvolupaments nuvolosos, o la temperatura dels núvols.

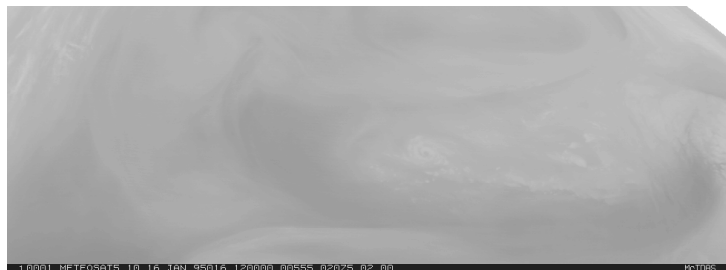
El canal infraroig (fig. 3.3(b)) treballa amb unes longituds d'ona d'entre 3 i 30 micres, i una resolució espacial de $5 \times 5 \text{ km}^2$ en el punt de subsatèl·lit. En l'interval de longituds d'ona en què aquest canal treballa, la majoria dels cossos tenen una reflectivitat pràcticament nula, la radiació solar és menyspreable, i l'emissivitat de la mar, la terra i els núvols és pràcticament la



(a) Imatge del canal visible.



(b) Negatiu de la imatge (com es sol visualitzar) del canal infraroig.



(c) Imatge del canal vapor d'aigua.

Figura 3.3: Exemples d'imatges Meteosat de dia 16 de gener de 1996 a les 12.00 UTC: (a) VIS (Mediterrània occidental), (b) IR (tota la Mediterrània) i (c) WV (tota la Mediterrània).

Cumulonimbos 92% (grandes y espesos)	Arena 60% (Arenas Blancas, Nuevo México,USA)
Cumulonimbos 86% (pequeños hasta 6 Km)	Estratos 42% (poco espesos sobre mar)
Nieve fresca 80% - 85%	Cirros 36% (aislados sobre tierra)
Agua 50% - 80% (sol cerca del horizonte)	Cirroestratos 32% (aislados sobre tierra)
Cirroestratos 74% (espesos, con nubes más bajas)	Cúmulos de buen tiempo 29% (mas de 80% y sobre tierra)
Cúmulos y estratocúmulos .. 69% (más del 80% y sobre tierra)	Hierba 20% - 25%
Estratocúmulos 68% (más del 80% y sobre tierra)	Tierras secas 15% - 25%
Estratos 64% (espesos y sobre mar)	Tierras húmedas 10%
Estratocúmulos 60% (dentro de capas nubosas sobre mar)	Bosques 5% - 10%
Nieve vieja 50% - 60%	Agua 3% - 5% (sol cerca del cenit)

Figura 3.4: *Albedos promitjos per a diferents superfícies.*

unitat, fet pel qual es poden considerar com cossos negres. La radiància per cada longitud d'ona (B_λ) que emet el cos, comportant-se com a cos negre, segueix la llei de Planck (equació 3.1), i depèn de la temperatura en què es troba. El satèl·lit medeix la radiació que arriba del sistema Terra-Atmosfera en l'interval 10.5-12.5 micres, aprofitant la “finestra atmosfèrica” que existeix en torn a les 11 micres (fig. 3.5 i 3.6). Únicament es veu afectada per una petita absorció deguda fonamentalment al vapor d'aigua.

$$B_\lambda(T) = \frac{C_1 \lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{C_2}{\lambda T}\right) - 1} \quad (3.1)$$

on $C_1 = 1.19 \times 10^{-8} (W m^{-2} ster^{-1} cm^4)$, $C_2 = 1.439 (K cm)$, T la temperatura de la superfície emissora, i λ la longitud d'ona en qüestió.

Les imatges IR es presenten com un conjunt de pixels amb un valor d'entre 0 i 255, dins d'una escala de grisos des del blanc fins el negre, i formen un mapa tèrmic de la superfície de la Terra i dels cims dels núvols, on els valors inferiors de radiància equivalen a temperatures baixes. Per poder-les comparar fàcilment amb les imatges VIS i per a que la seva interpretació sia més familiar, s'acostuma a invertir els seus valors, de forma que les superfícies amb temperatures inferiors apareguin més brillants (colors clars) que les càlides

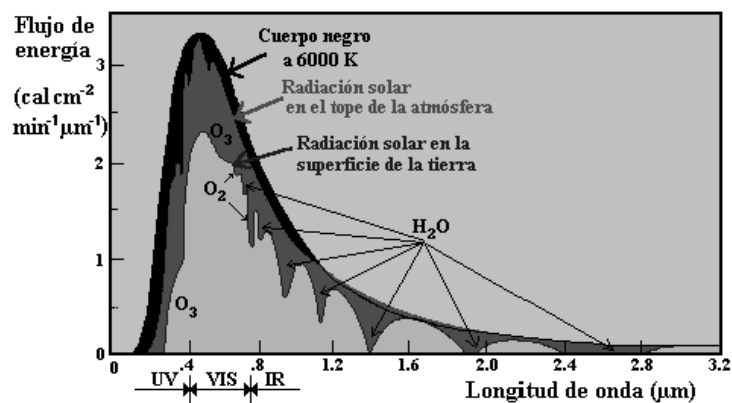


Figura 3.5: Distribució espectral de la radiació solar.

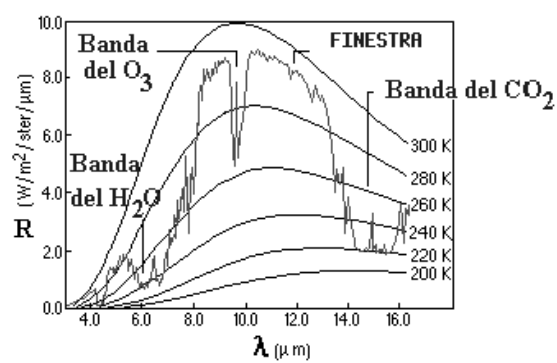


Figura 3.6: Finestra atmosfèrica de l'espectre infraroig.

(colors foscos).

S'ha de tenir en compte que si la superfície nuvolosa no és contínua, per les encletxes passarà radiació procedent de les superfícies que hi ha per davall seva. Per aquest motiu, quan s'integra tota l'energia per ajustar-se a la mida del pixel, apareixerà com una superfície més càlida del que realment li correspon al núvol per la seva posició. També s'ha de tenir en compte que els núvols alts i primers (especialment els cirrus) tenen una transmisivitat no nul·la, fet pel qual també passarà radiació provinent de totes les superfícies que té per davall i apareixerà més càlida del que està.

El canal IR ens proporciona imatges fàcilment interpretables sobre els cims dels núvols (i la temperatura del sol i la mar, si no hi ha núvols) durant tot el període de recerca. Reescalant l'equació de Stefan-Boltzman, les dades d'aquest canal es poden traduir fàcilment a temperatures: als cossos freds els hi corresponen els valors baixos de radiació, mentre que als càlids els elevats. Aquesta interpretació ens serà de gran utilitat en properes parts de l'estudi.

A diferència de les imatges VIS i IR, que utilitzen bandes de l'espectre electromagnètic on l'absorció pels gasos és petita, les imatges de vapor d'aigua (fig. 3.3(c)) utilitzen una banda on la radiació terrestre és absorbida pel vapor d'aigua atmosfèric. El sensor del Meteosat mideix essencialment la radiació efectiva de la radiació IR emesa en la banda espectral entre 5.7 i 7.1 micres. El valor total de la radiació depèn de varies fonts (superfície, núvols i gasos), però en l'interval de longituds d'ones que s'utilitza, l'absorció pel vapor d'aigua és tan alta (fig. 3.6) que les contribucions des de la superfície i des de les capes més baixes de la troposfera són generalment insignificants.

En general, les imatges WV són representatives del contingut d'humitat de la troposfera mitja i alta, però sense referenciar cap nivell en particular. Les tonalitats grises obscures i negres corresponen amb les temperatures més altes (aire sec a tots els nivells, o humits sols a nivells baixos), i els tons clars i blancs amb les temperatures radiatives més baixes (humitat a tots els nivells o núvols densos a nivells mitjos i alts). La fig. 3.7 resumeix les característiques de cada un dels canals d'operació del satèl·lit.

CANAL VIS	CANAL IR	CANAL WV
Il·luminació	Temperatura del cim	Perfil d'humitat
Espessor		Altura del núvol
Estat físic		
Concentració		
Superfícies subjacents		

Figura 3.7: Factors que afecten a la brillantor en els diferents canals del satèl·lit (VIS, IR i WV).

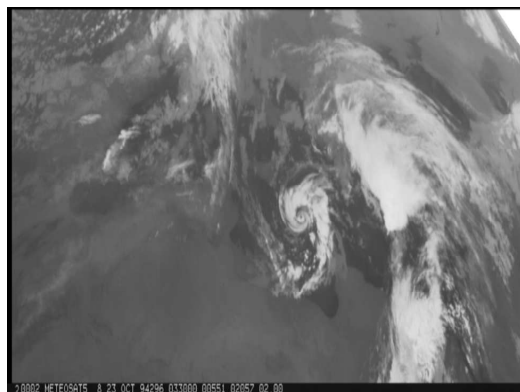
3.2.3 Creació de la base de dades

Hem fixat els límits del període d'estudi entre febrer de 1982 i desembre de 2005. Després d'avaluar els pros i contres de cada canal, junt amb el volum d'imatges que volem visualitzar inicialment, consideram que per a la creació d'aquesta base de dades inicial és suficient que ens fixem amb les imatges IR, degut a la seva continuïtat temporal i la facilitat d'interpretació.

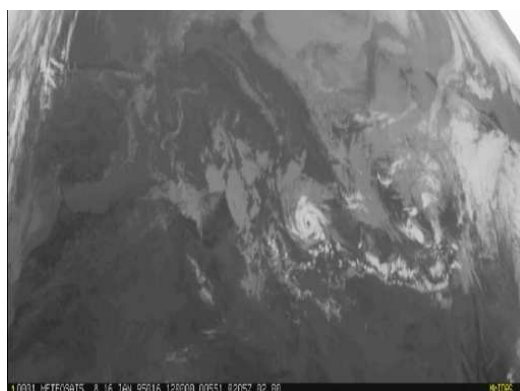
La visualització de totes les imatges de satèl·lit disponibles per a la creació d'una base de dades de casos de medicanes ha estat duta a terme mitjançant el muntatge de pel·lícules mensuals (on cada fotograma és una imatge IR, és a dir, cada 30 minuts) focalitzades sobre la Mediterrània. En elles s'han cercat estructures similars a les descrites en la secció 2 d'aquest treball, prestant especial atenció a no confondre-les amb petits ciclons baroclins o topogràfics.

La falta d'una definició concreta dels medicanes, junt amb una mancança inicial en la pràctica de detecció i classificació de ciclons mediterranis mitjançant imatges de satèl·lit, va suposar incloure inicialment estructures ciclòniques de diversa naturalesa, a més dels propis medicanes. Per pal·liar aquests problemes, un grup d'experts meteoròlegs format per membres de la Universitat de les Illes Balears (UIB) i les Delegacions Provincials de l'AEMET de les Illes Balears i Madrid, ens hem anat reunint periòdicament per acotar el màxim possible els events seleccionats a la categoria de medicanes.

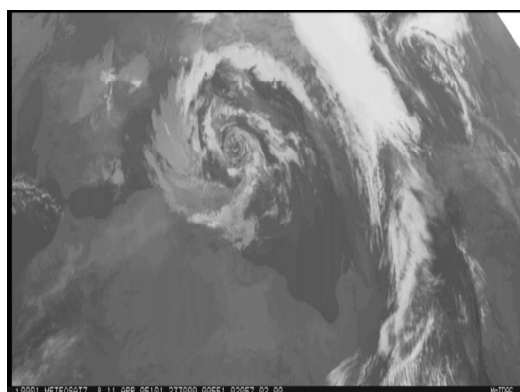
En la fig. 3.8 podem observar tres imatges de satèl·lit corresponents a episodis de temps sever. La fig. 3.8(a) correspon a la d'un cicló dels anomenats "cicló coma", degut a la seva forma. Al observar el procés de formació d'a-



(a) Dia 23 d'octubre de 1994, a les 03.30h.



(b) Dia 16 de gener 1995, a les 12.00h .



(c) Dia 11 d'abril de 2005, a les 23.30h.

Figura 3.8: *Imatges de satèl·lit de diferents events associats a temps sever. Les imatges (a) i (c) no corresponen a events de medicane; la imatge (b) sí correspon a un event de medicane.*

quest cicló, podem comprovar com s'ajusta al model descrit anteriorment en la fig. 2.1 i, per tant, ja descartam la possibilitat que sia un medicane.

La fig. 3.8(b) correspon a la d'un "tropical-like cyclone". El seu procés de formació no es correspon als models teòrics habituals (explicats anteriorment) i, en canvi, en estudis anteriors (per exemple, Pytharoulis et al. (2000)), s'ha comprovat que té les característiques pròpies dels huracans. Per tant, aquest cas sí que s'ha de considerar com medicane.

La fig. 3.8(c) torna a correspondre a un altre event de cicló baroclí (no medicane). Altra vegada, la seva formació s'ajusta als models habituals, i no compleix cap de les quatre primeres condicions establertes a continuació (la seva durada sí que és superior a les 6 hores).

Finalment, després de moltes deliberacions i de la identificació i classificació de la majoria de ciclons observats, s'han establert cinc condicions que, a partir de les imatges de satèl·lit, es considera que els medicanes han de complir. Són les següents:

1. Continuïtat de la massa de núvols.
2. Existència d'un ull ben definit.
3. Simetria de la massa de núvols al voltant de l'ull.
4. Mida (diàmetre) inferior a 300 km.
5. Durada superior a les 6 hores.

A partir d'aquests criteris s'han identificat sis events que els compleixen a la perfecció. Una imatge de cada cas es troba a l'apèndix A.

Essent conscients de les grans restriccions que aquests criteris suposen, i degut a l'existència d'estudis documentats bibliogràficament per meteoròlegs d'alt prestigi mundial, també s'ha considerat que altres events que no compleixen estrictament tots els criteris (però gairebé), formin també part de la

base de dades sobre la qual treballarem. D'aquesta manera, el llistat de casos identificats s'eleva a dotze (Taula 3.1).

1983-09-28	1991-12-05	1999-12-10
1984-04-07	1995-01-15	1998-01-26
1984-12-29	1996-09-12	1999-03-19
1985-12-14	1996-10-07	2003-05-27

Taula 3.1: *Data d'un moment madur dels medicanes detectats. En gris, els casos que compleixen tots els criteris establerts.*

Al tractar-se d'un nombre reduït de casos de medicane, en alguns dels estudis posteriors també s'inclouran el conjunt d'events que s'ha mantingut com a dubtosos durant més temps, elevant el nombre de casos estudiats fins a quatre-cents deu (anomenant-los "casos dubtosos").

Per a la georeferenciació, s'ha utilitzat el programa McIDAS (Man computer Interactive Data Access System), desenvolupat per la University of Wisconsin-Madison Space Science and Engineering Center (SSEC), dissenyat per ser utilitzat especialment sobre dades observacionals i de satèl·lit.

CAPÍTOL 4

Caracterització dels ambients meteorològics

Diversos anàlisis sinòptics realitzats sobre casos coneguts de medicanes (per exemple, Pytharoulis et al. (2000); i Homar et al. (2003)) ens mostren com les seves estructures no es troben deslligades de la circulació atmosfèrica general, sinó que parteixen d'una pertorbació baroclina de llarga escala que afecta la Mediterrània, i és sols en la fase madura que es deslliga per a crear el seu propi desenvolupament i vida. Generalment, els medicanes s'originen en condicions de ciclons profunds, amb cut-off (circulació tancada a nivells alts, que s'extén cap a la superfície) i de “cold-core” (amb nucli fred, on les isoterms interiors són més fredes que les exteriors) en la troposfera mitja i alta, provinents de la “ruptura” de les ones de Rossby (ones planetàries que resulten de la conservació de la vorticitat potencial).

Quan una baixa s'aproxima cap a la Mediterrània (o es forma a sobre), l'aire de les capes inferiors ascendeix, generalment a través de grans desplaçaments verticals, en què l'aire es refreda i augmenta la seva humitat relativa fins promoure la saturació i alliberació (potser massiva) de calor latent de condensació, fet pel qual es converteix en un sistema susceptible a desencadenar l'evolució d'un medicane. Suposant que la cisalla de vent vertical no sia gran, la intensitat potencial local (que representa la velocitat màxima del vent superficial que pot arribar a assolir) augmenta, i s'intensifica el desequilibri termodinàmic mar-atmosfera. Aquest aire humit pot inhibir la formació de corrents convectives descendents, que són un dels factors que impedeixen la ciclogènesi tropical. Experiments numèrics realitzats per Emanuel (2005),

utilitzant un model no hidrostàtic, mostren que aquestes baixes profundes amb cut-off són l'escenari ideal per incubar els ciclons amb “warm-core” (cor càlid) de petita escala, com són els medicanes.

Malgrat el que s'acaba d'argumentar, l'existència d'aquestes baixes fredes i profundes sobre la Mediterrània és més freqüent que no pas els events reals de medicanes. Per aquest motiu és de suposar que, a més, es necessiten unes condicions meteorològiques molt especials per a que es puguin arribar a desenvolupar. Aquestes condicions encara no són conegudes del tot i són difícils de determinar degut als pocs casos d'estudi que es tenen. Per aquest motiu, en aquest treball es proposen un conjunt de variables meteorològiques que, per comparació amb les climatologies del projecte MEDEX, tractaran de discriminar els factors precursors i no precursors dels ciclons de gran escala associats als medicanes.

Per al càlcul de les variables meteorològiques en torn als events de medicane, farem servir les sortides dels camps d'anàlisi de l'ECMWF disponibles cada 6 hores. Aquests camps d'anàlisi tenen una resolució espacial que varia entre els 170 i els 55 km lat/lon, depenent de l'any.

4.1 Paràmetres meteorològics

En capítols anteriors s'ha citat el terme “circulació” com una de les característiques dels ciclons que ens dóna una idea de la força que té, relacionant els termes de grandària i rotació del sistema (Sinclair (1997)). Per a cada cicló, el projecte MEDEX calcula la circulació geostrofica com el producte de la vorticitat geostrofica (és a dir, aquella produïda pels vents que estan d'acord, en direcció i velocitat, amb la distribució de les isòbares) per l'àrea del cicló:

$$C = \sum_{i=1}^N \zeta_{g_i} \cdot A_i \quad (4.1)$$

Aquest sumatori es realitza sobre el tot el nombre “grid cells” (cada una d'àrea A_i) que estan incloses dins el domini del cicló, és a dir, fins la corba

on la vorticitat geostrofica sia nul·la. Segons el seu valor, els ciclons MEDEX queden classificats com febles (circulació inferior a 3 cgu , on $1\text{cgu} = 10^7\text{m}^2\text{s}^{-1}$), moderats (entre 3 i 7 cgu) o intensos (superior a 7 cgu).

Per altra part, com ja s'ha detallat el l'apartat 2.2.2 del treball, hi ha un conjunt de paràmetres meteorològics de gran escala que sabem que estan relacionats amb la gènesi i desenvolupament dels ciclons tropicals, i per extensió suposam que també dels medicanes. Així doncs, l'existència de vorticitat a nivells baixos, alts nivells d'humitat a nivells troposfèrics mitjos o poca ciçalla vertical en els vents en el conjunt de la troposfera, són factors que afavoririen la formació dels medicanes, com també és bàsic que hi haguí un desequilibri tèrmic entre la mar i l'atmosfera.

Els paràmetres meteorològics en què ens fixarem són:

- AVOR850: Vorticitat absoluta al nivell de 850 hPa (en 10^{-5}s^{-1}).
- RH600: Humitat relativa al nivell de 600 hPa (en %).
- DIAB1000: Contribució diabàtica a la tendència local de temperatura potencial equivalent superficial (en $^{\circ}\text{C}/12\text{h}$).
- VSHEAR8525: Mòdul de la diferència del vent entre els nivells de 850 i 250 hPa (en m/s).
- SST: Temperatura Superficial de la mar (en $^{\circ}\text{C}$).

El valor d'aquests paràmetres s'ha promitjat en un quadrat de $600 \times 600 \text{ km}^2$ centrat al centre ciclònic detectat.

L'AVOR850 (vorticitat absoluta al nivell de 850 hPa) és una magnitud associada a la rotació dels fluids, en aquest cas, de l'aire. La vorticitat absoluta (η , eq.4.2) es calcula com a combinació (suma) de la vorticitat relativa (ζ , eq.4.3) i la vorticitat planetària (f), també coneguda com el paràmetre de Coriolis. La vorticitat relativa es refereix al moviment rotacional de l'aire relatiu al sistema terrestre (en rotació i, per tant, no inercial), i.e. al que anomenam vent. La vorticitat planetària és la associada al moviment de rotació terrestre. Les equacions que les caracteritzen són:

$$\eta = \zeta + f \quad (4.2)$$

$$\zeta = \hat{k} \cdot \vec{\nabla} \times \vec{V} \quad (4.3)$$

on $\vec{V}$ és el vent. A l'hemisferi nord, valors positius indiquen rotació ciclònica respecte l'eix vertical (sentit antihorari).

La RH600 (humitat relativa al nivell de 600 hPa) és la relació entre la quantitat de vapor d'aigua contingut en un volum d'aire i la que aquest tindria si estigués saturat. S'expressa en tant per cent, on 0 representa la sequedat absoluta i 100 la saturació. L'equació que la caracteritza (en tant per 1) és:

$$H = \frac{e}{e^*} = \frac{r}{r^*} \left(\frac{1 + r/\epsilon}{1 + r^*/\epsilon} \right) \quad (4.4)$$

on e és la pressió del vapor (real), r és la proporció de mescla entre la massa del vapor d'aigua i la massa seca ($r = M_v/M_d$, en g/kg), $\epsilon = R_d/R_v$, essent R_d i R_v el valor de les constants de l'aire sec i vapor d'aigua, respectivament), i els paràmetres amb asterisc ($\square^*$) representen els valors corresponents a la saturació.

DIAB1000 és la contribució diabàtica a la tendència local de temperatura potencial equivalent superficial. La temperatura potencial (θ , eq. 4.5) representa la temperatura que tendria la massa d'aire després d'un descens adiabàtic fins el nivell de 1000 hPa.

$$\theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^{\frac{R}{C_p}(1-0.24r)} \quad (4.5)$$

on T és la temperatura de l'aire, R és la constant dels gasos aplicada a l'aire sec, C_p és la calor específica de l'aire sec a pressió constant, i r és la proporció de mescla (g/kg) de vapor d'aigua. La θ és una variable que es conserva per a desplaçaments adiabàtics d'aire no saturat, és a dir:

$$\frac{d\theta}{dt} = 0 \quad (4.6)$$

Si afegim la condició que pugui haver-hi saturació, per a processos adiabàtics humits reversibles (no s'inclou la possibilitat de què hi hagi pluja), ha de seguir existint l'equilibri termodinàmic i s'ha de conservar l'entropia del sistema, que en el nostre cas consideram composta d'aire sec i d'aigua en estat líquid i vapor.

Tenint en compte l'equació de Clausius-Clapeyron per a la calor latent

$$L_v = T(S_v^* - S_l) \quad (4.7)$$

i les definicions de les respectives entropies específiques ($S_{d,v,v^*,l}$: entropia de l'aire sec, del vapor d'aigua, del vapor d'aigua en equilibri amb l'aigua líquida, i l'aigua líquida, respectivament), l'entropia total del sistema es pot escriure com:

$$S = (C_{pd} + r_t C_l) \ln T - R_d \ln P_d + \frac{L_v r}{T} - r R_v \ln H \quad (4.8)$$

també anomenada “entropia humida”. Aquesta entropia és una variable que es conserva durant tot el procés, i es sol expressar en termes de la temperatura potencial equivalent θ_e definida com:

$$\underbrace{(C_{pd} + r_t C_l)}_{constants} \ln \theta_e \equiv S + \underbrace{R_d \ln P_0}_{constant} \quad (4.9)$$

Per tant, l'expressió que ens permet calcular el valor de la θ_e és:

$$\theta_e = T \left(\frac{P_0}{P_d} \right)^{\frac{R_d}{C_{pd} + C_l r_t}} H^{-\frac{r R_v}{C_{pd} + C_l r_t}} \exp \left[\frac{L_v r}{(C_{pd} + C_l r_t) T} \right] \quad (4.10)$$

Com és d'esperar, si r és igual a 0 (aire sec), l'expressió 4.10 es redueix a la temperatura potencial que havíem calculat en 4.5. Generalment, l'expressió 4.10 s'aproxima a la temperatura potencial pseudoequivalent (θ_{ep}):

$$\theta_e \approx \theta_{ep} = T \left(\frac{1000}{P} \right)^{0.2854(1-0.28r)} \exp \left[r(1 + 0.81r) \left(\frac{3376}{T^*} - 2.54 \right) \right] \quad (4.11)$$

que es conserva per a processos pseudoadiabàtics, és a dir, aquells pels quals s'ignora l'efecte de l'aigua líquida r_l , que s'elimina a mesura que es va condensant, fet pel qual el procés deixa de ser reversible.

Per tant, la temperatura potencial equivalent (realment, pseudoequivalent) representa la temperatura que assoleix la partícula d'aire després d'un ascens adiabàtic sec fins el LCL (nivell de condensació per elevació), ascens pseudoadiabàtic fins al nivell de 0 hPa i finalment un descens adiabàtic sec fins el nivell de referència, generalment situat als 1000 hPa.

DIAB1000, com ja hem dit anteriorment, és la variació de temperatura potencial equivalent superficial (1000 hPa) degut a la contribució diabàtica (la contribució adiabàtica és nul·la, al ser una variable conservativa). Aquest mecanisme diabàtic està relacionat amb els fluxos de calor sensible i latent (i.e. evaporació) mar-atmosfera que, com s'ha explicat en el capítol anterior, és el mecanisme d'alimentació d'energia de l'ambient d'un cicló tropical:

$$\begin{aligned} \frac{d\theta_e}{dt} &= DIAB1000 \\ \frac{\partial \theta_e}{\partial t} &= Adv. + DIAB1000 \end{aligned} \quad (4.12)$$

on Adv. representa l'advecció de la temperatura potencial ($Adv. = -\vec{v} \Delta \vec{\nabla} \theta_e$, essent $\vec{v}$ el vent en superfície). Degut a la discretització temporal dels camps pels quals podem calcular el valor dels diferents paràmetres (anàlisi de l'ECMWF cada 6 hores), la DIAB1000 que podem calcular ve donada per:

$$DIAB1000 = \left[\frac{\theta_e(t + 6h) - \theta_e(t - 6h)}{12h} - Adv.(t) \right] \cdot 12h \quad (4.13)$$

en la que el terme d'advecció “Adv.(t)” es formula a través de diferències finites centrades a l'instant t i el factor de la dreta (multiplicar per 12 h) té

el propòsit de reescalar a $^{\circ}\text{C}/12h$.

Els paràmetres VSHEAR8525 i SST tenen una interpretació directa.

4.2 Índex empíric de probabilitat de formació d'huracans

En una teoria d'interacció aire-mar que explica la mecànica i energètica dels ciclons tropicals (Emanuel (2003)) es mostra que l'estat estacionari d'aquestes depressions pot idealitzar-se com una màquina de Carnot. Amb aquesta similitud, el cicle energètic d'un cicló tropical madur segueix un procés d'expansió isotèrmica (amb addició d'entalpia), expansió adiabàtica, compressió isotèrmica i compressió adiabàtica.

Prenent com a referència la fig. 4.1, l'aire del cicló tropical es comença a moure seguint una trajectòria en espiral des de l'exterior (punt a en fig. 4.1) cap al centre de la depressió. Aleshores, experimenta una disminució de pressió i la seva entropia incrementa obeint la transferència d'entalpia des de la superfície de la mar (majoritàriament en forma d'evaporació) i la dissipació d'energia cinètica en la capa límit planetària. Al mateix temps, el seu moment angular disminueix degut a la fricció amb la superfície de la mar. La temperatura en aquest tram $a-b$ gairebé no canvia. En les parets de l'ull de l'huracà (punt b), el flux es torna ascendent seguint aproximadament superfícies d'entropia i moment angular constants, mentre que la pressió òbviament decreix. Aquest tram és aproximadament adiabàtic i lliure de fricció. Posteriorment, en la perifèria del sistema, l'aire descendeix (tram $o-o'$) i l'entropia adquirida en el tram convergent inicial es perd cap a l'espai per radiació electromagnètica mentre que s'adquireix moment angular per mescla amb l'ambient. Aquest tram és pràcticament isoterm. Finalment, el cicle es tanca entre els punts o' i a , conservant-se el moment angular i sense gaire entropia disponible per a la producció d'energia cinètica.

La diferència entre la màquina teòrica i els ciclons tropicals és que en el cas dels segons, l'absorció de calor ocorre majoritàriament en forma de calor latent de vaporització, adquirit des de la superfície de la mar pels corrents

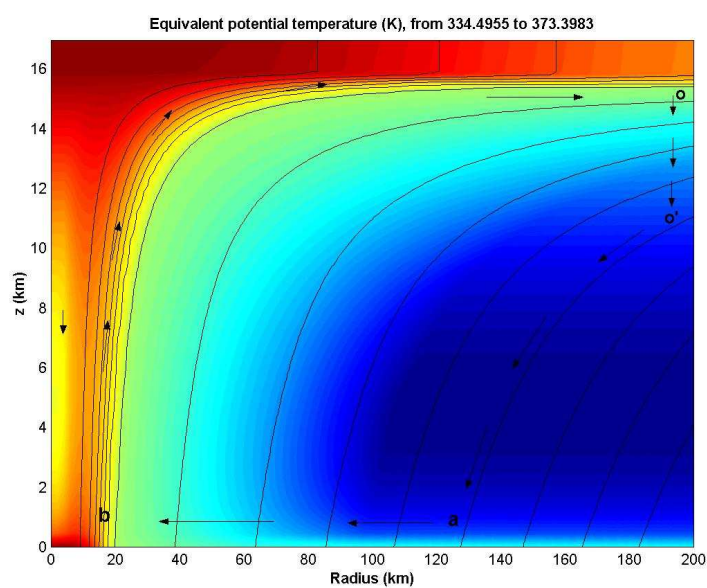


Figura 4.1: Secció vertical d'un cicló tropical, mostrant els camps de temperatura potencial equivalent (sombrejat, augmentant de valor cap al dins) i de moment angular absolut específic en torn a l'eix del cicló (línies, augmentant cap a fora). (Romero and Emanuel (2006))

d'aire convergents. L'altra diferència fonamental és que l'energia disponible en el cicle de Carnot tradicional s'utilitza per a realitzar treball sobre el seu ambient, mentre que en els ciclons tropicals, el treball es consumeix en la dissipació turbulenta en la capa fronterera.

Tenint en compte aquests fets, es pot obtenir el valor de la intensitat màxima que pot assolir el vent en superfície d'un cicló tropical ($V_{max} = MAXWS$), si aquest es forma, a partir de les condicions atmosfèriques i la temperatura de la mar:

$$|V_{max}^2| \approx \frac{C_k}{C_D} \frac{T_S - T_0}{T_0} (k_0^* - k) \quad (4.14)$$

On C_k i C_D són els coeficients adimensionals de transferència de moment i entalpia que apareixen en la formulació tradicional dels fluxos superficials entre la mar i l'atmosfera; T_S és la temperatura de la superfície de la mar (superfície calenta del cicle de Carnot), T_0 és la temperatura mitjana de la zona superior del cicló (superfície freda del cicle de Carnot), k és l'entalpia humida específica de l'aire proper a la superfície, i k_0^* és el valor de l'entalpia per a l'aire en contacte amb la mar, que es considera saturat de vapor d'aigua a la temperatura de la mar. A més, utilitzant l'anomenada relació del vent gradient, que relaciona vent i gradient de pressió, es pot calcular la pressió mínima central que assoliria aquest cicló potencial (MINCP).

A partir d'aquestes dades, podem calcular dues variables més:

- MAXWS: Intensitat potencial o velocitat màxima teòrica que podria assolir un medicane madur si s'arribàs a desenvolupar, d'acord amb la Teoria d'Interacció Aire-Mar que assimila el funcionament d'un cicló tropical com un cicle de Carnot, (en m/s).
- MINCP: Pressió mínima central que teòricament podria assolir un medicane madur si s'arribàs a desenvolupar, d'acord amb la Teoria d'Interacció Aire-Mar que assimila el funcionament d'un cicló tropical com un cicle de Carnot, (en hPa).

Aquests valors també els promitjarem en un quadrat de 600 x 600 km² centrat al centre ciclònic detectat.

Malgrat encara existeix un gran desconeixement teòric pel que fa a la gènesi dels ciclons tropicals, el mateix Emanuel ha formulat un índex empíric de gènesi (I) ajustat als episodis de gènesi observats de manera rutinària durant dècades sobre els oceans tropicals, on combina alguns factors que regulen aquest procés i que ja han estat citats anteriorment. Aquest índex (I, amb unitats de nombre de ciclons per dècada i per àrea de $2.5 \times 2.5^\circ$) ve donat per:

$$I = |10^5 \eta|^{3/2} \left(\frac{H}{50} \right) \left(\frac{V_{max}}{70} \right)^3 (1 + 0.1 V_{shear})^{-2} \quad (4.15)$$

Calculat en unitats del S.I, on η és la vorticitat absoluta en la troposfera baixa (AVOR850), H és la humitat relativa (en %) en la troposfera mitja (RH600), la V_{max} és la calculada en l'equació 4.14 (MAXWS), i V_{shear} és el mòdul de la diferència dels vents a 850 i 250 hPa (VSHEAR8525). A partir de la definició, es pot comprovar que η , H i V_{max} són ingredients afavoridors de la gènesi, mentre que valors elevats de la ciçalla vertical V_{shear} actuen com a inhibidors. L'ajust d'aquest índex s'ha dut a terme a través de l'estudi d'un gran nombre de ciclons tropicals sobre l'Atlàntic i Pacífic. Aquest índex, que permet descriure satisfactòriament la probabilitat de gènesi d'huracans observats (valors elevats d'aquest índex representen alta probabilitat de gènesi d'huracans), també serà utilitzat en el nostre estudi de medicanes.

A partir d'aquest índex calcularem:

- GENPDF: el valor promig de l'índex I dins un quadrat de 600×600 km² centrat sobre l'event a estudiar.
- GENPDFmax: el valor màxim de l'índex I dins un quadrat de les mateixes característiques abans descrites.
- GENPDFmax24h: el valor màxim de GENPDFmax durant les 24 hores prèvies.

Resumint, les variables meteorològiques que nosaltres calcularem per cada cas de medicane són: AVOR850, RH600, DIAB1000, VSHEAR8525, SST,

MAXWS, MINCP, GENPDF, GENPDF_{max} i GENPDF_{max24h}.

El valor d'aquestes variables el calcularem sobre el punt de malla més pròxim, utilitzant els camps de les reanàlisis de l'ERA-40. Per estudiar la climatologia, aquests valors es calcularan únicament per un instant de temps en què l'event en qüestió es trobi en un estat madur, mentre que per estudiar la dinàmica, els calcularem per a tot el seu cicle de vida.

CAPÍTOL 5

Resultats: comparació entre ciclons MEDEX i MEDICANES

En la primera part de l'estudi de medicanes, s'ha realitzat una comparació d'ambients meteorològics entre els ciclons intensos típics de la mediterrània i els medicanes. Degut a que aquesta comparació s'ha realitzat amb els resultats de la base de dades del projecte MEDEX (recordem que es treballa sobre camps de reanàlisi de l'ERA-40, operatiu des de 1957 fins l'agost de 2002), les dades dels ambients meteorològics dels casos de medicane també es basaran en els camps de reanàlisi de l'ERA-40. Per aquest motiu, només es tendran en compte els events de medicane corresponents a aquest període.

Per altra part, del gran nombre de ciclons que es produeixen a la Mediterrània, prestarem especial atenció al ciclons intensos (ciclons amb circulació major o igual a 7 cgü) degut a que sabem que els medicanes tenen valors de vorticitat elevats. Anualment, a la Mediterrània, es generen un promig de 47 ciclons intensos a l'any, el que representa el 2.6 % de tots els ciclons que es generen a la Mediterrània (fig. 5.1).

En aquest estudi, i com és habitual en altres estudis climatològics, al parlar de l'estiu fem referència als mesos de Juny, Juliol i Agost; la tardor, als mesos de Setembre, Octubre i Novembre; l'hivern, als mesos de Desembre, Gener i Febrer; i la primavera, a Març, Abril i Maig.

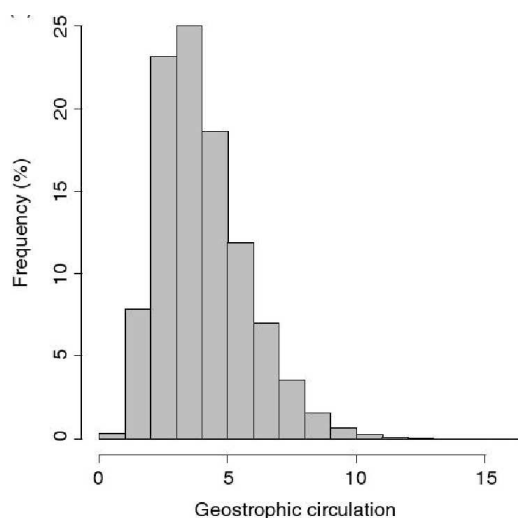


Figura 5.1: *Histograma de la circulació geotròfica (en cgü) dels ciclons mediterranis MEDEX a partir de les dades de reanàlisi ERA-40, durant el període 1957-2002. (Campins et al., 2010)*

5.1 Distribució temporal i espacial

L'estudi climatològic dels ciclons intensos a la Mediterrània (MEDEX) ha determinat que aquests es donen majoritàriament durant l'hivern, amb dos nuclis ciclogènètics molt diferenciats: al Golf de Gènova (principalment) i a l'entorn de Xipre (fig. 5.2). En aquestes zones s'ajunten dos factors molt importants a l'hora de generar i intensificar els ciclons: per una part, són les zones de sotavent d'importantes cadenes muntanyoses per als fluxos i entrades fredes del nord i nordoest, i per altra part, les diferències tèrmiques entre la mar i el continent es fa molt latent, afavorint el desenvolupament de les inestabilitats pròpies dels ciclons baroclins, que són els més freqüents en aquesta època de l'any.

Fixant-nos amb la fig. 5.3 podem comprovar com els medicanes són més freqüents en les estacions fredes (tardor i hivern), al igual que la resta de ciclons intensos a la Mediterrània. Aquesta distribució representa un canvi respecte els ciclons tropicals, la temporada dels quals recordem que està considerada entre juny i novembre.

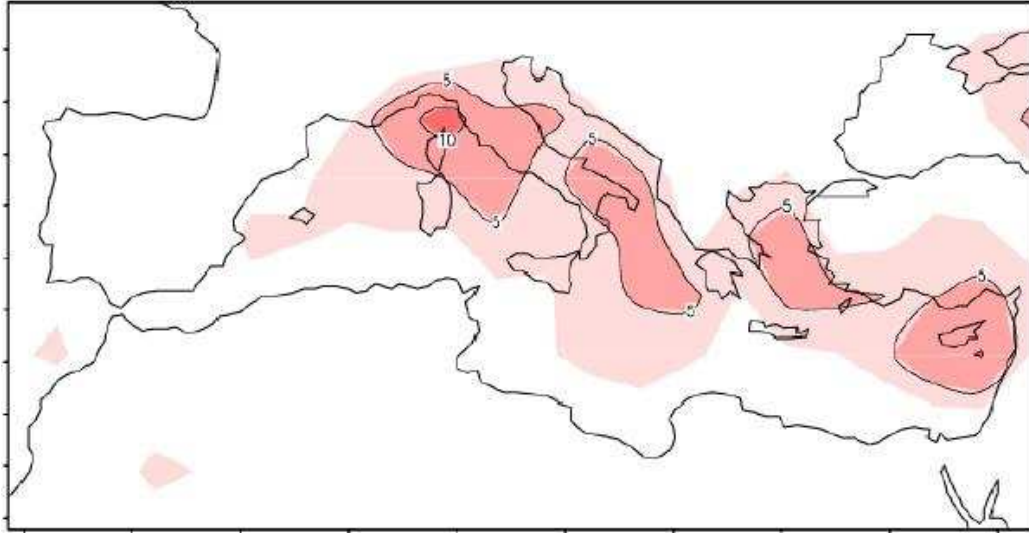


Figura 5.2: *Freqüència estacional (hivern) de centres ciclònics. Els contorns corresponen a 2.5 (sombrejat), 5, 10, 20 events en hivern per àrea de $2.25 \times 2.25^\circ$. (Tous et al. (2009))*

En la fig.5.4 podem observar la localització d'almanco un cicló intens MEDEX sobre gairebé cada punt de malla de la reanàlisi ERA-40 (punts blaus). Si en lloc d'aquests ciclons intensos, els casos que localitzem són els de la llista de medicanes dubtoses fins els darrers moments (descrits en l'apartat 3.2.3, punts vermells), observam com en un estat madur, la majoria dels casos es troben a la Mediterrània central i occidental. És d'esperar que la distribució dels casos de medicanes s'aproximi a aquesta darrera, i efectivament ho fa: Els punts grocs corresponen a un instant de l'estat madur dels 11 medicanes detectats en el capítol 3 (11 dels 12 medicanes detectats, degut a que un d'ells no correspon al període de l'ERA-40 que arriba fins a agost de 2002) i clarament es troben sobre la Mediterrània central i occidental.

És de destacar que malgrat el centre ciclogènic més intens es troba situat al golf de Gènova, no és detecta cap medicane prop d'aquesta immediació, sinó que es situen especialment al sud i sud-est d'Itàlia (mar Jònica) o sobre la Mediterrània més occidental (mar Balear). També crida l'atenció que no s'ha detectat cap cas en les proximitats de Xipre, tot i que està considerada una de les zones ciclogènèticament més actives. Clarament, la dinàmica de

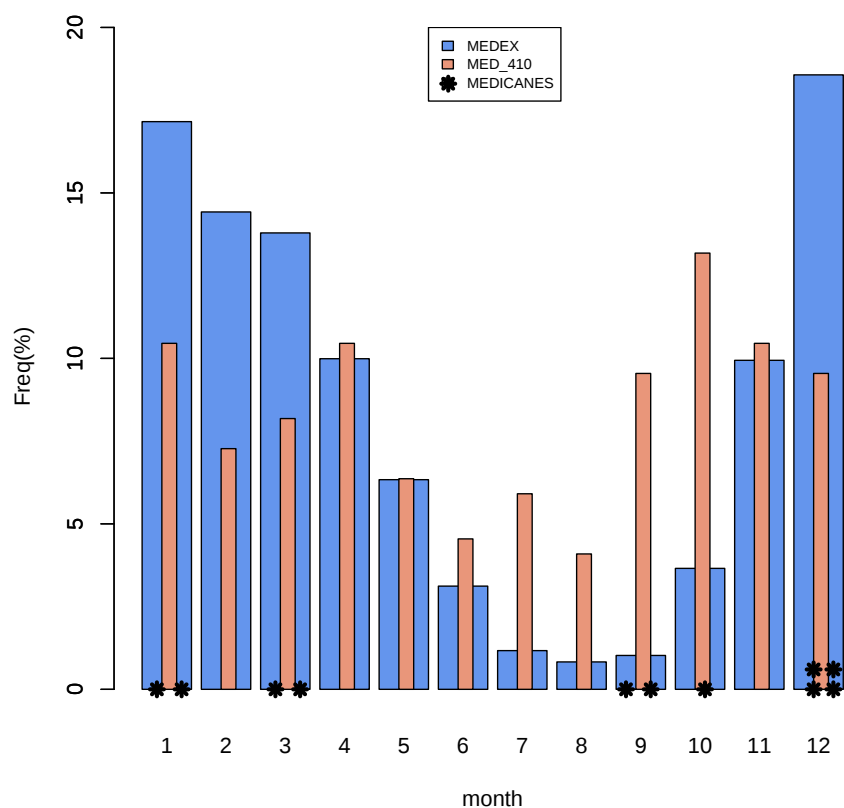


Figura 5.3: *Distribució temporal d'events: ciclons intensos MEDEX (blau), llistat dubtós de medicanes (taronja), medicanes (estrelles).*

medicanes i ciclons baroclins o topogràfics és diferent.

S'entén doncs, que per a que es pugui formar el medicane és necessari que l'aire fred continental travessi una massa significativament gran de mar (o s'allunyi suficientment de la costa) per a que es pugui donar el suficient flux d'energia com per a que es dugui a terme el seu desenvolupament.

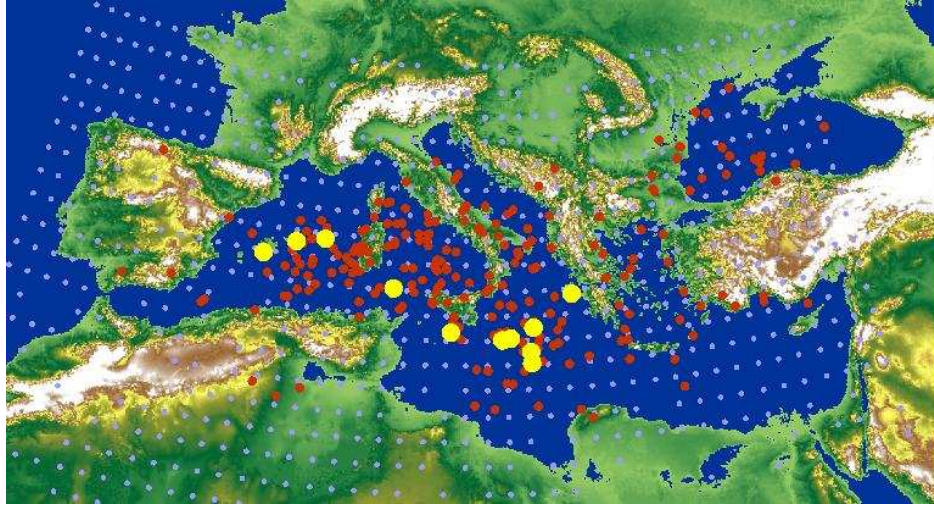


Figura 5.4: *Distribució espacial d'events: ciclons intensos MEDEX (blau), llistat dubtós de medicanes (taronja), medicanes (estrelles).*

5.2 Variables meteorològiques

5.2.1 Climatologia de les variables meteorològiques

Com ja s'ha comentat en l'apartat 4, cal recordar que per fer les climatologies dels ambients meteorològics que acompanyen els medicanes, s'ha pres un únic instant de la seva vida madura.

Comparant els ambients meteorològics descrits en l'apartat 4.1 obtenim resultats com els que es mostren a continuació (el resultat complet es mostra en l'apèndix B). Aquí es mostren les distribucions de freqüències envers el valor de la SST (fig.5.5), la DIAB1000 (fig.5.6) i el GENPDFmax24h (fig.5.7).

En la fig.5.5 podem observar com la distribució de SST per ciclons intensos MEDEX té dos màxims: el principal situat al voltant dels 15°C, i un de secundari prop dels 7°C. La major part dels ciclons intensos a la Mediterrània es formen durant els mesos d'hivern, època on la SST és la més freda. Tot i així, els valors típics en aquesta estació oscil·len entre els 10-15°C (entre els 21-30°C a l'estiu), fet pel qual atribuïm el màxim secundari als ciclons atlàntics que el domini del projecte MEDEX també inclou (en la fig 5.4, la

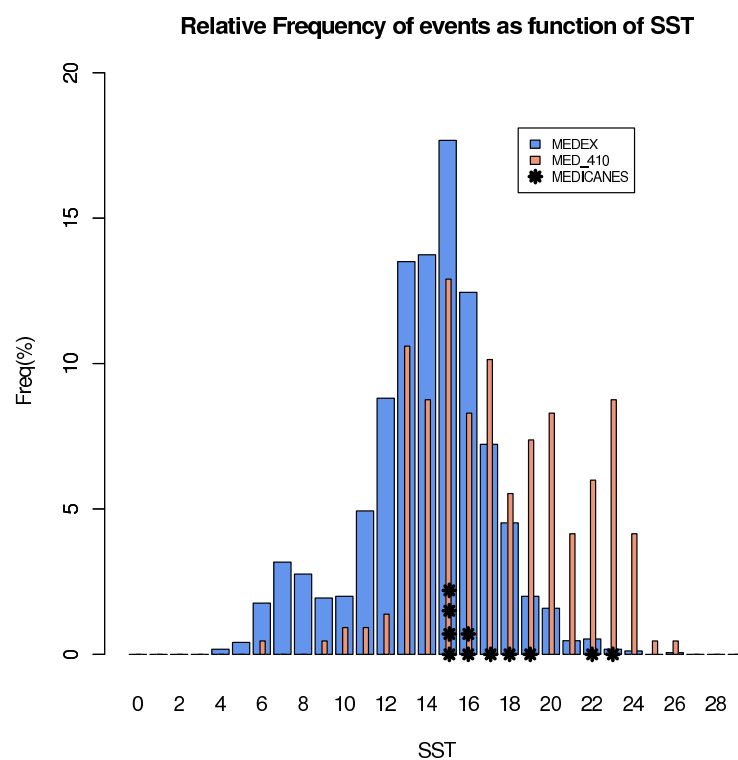


Figura 5.5: *Freqüència relativa d'events, en funció de SST (en °C): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

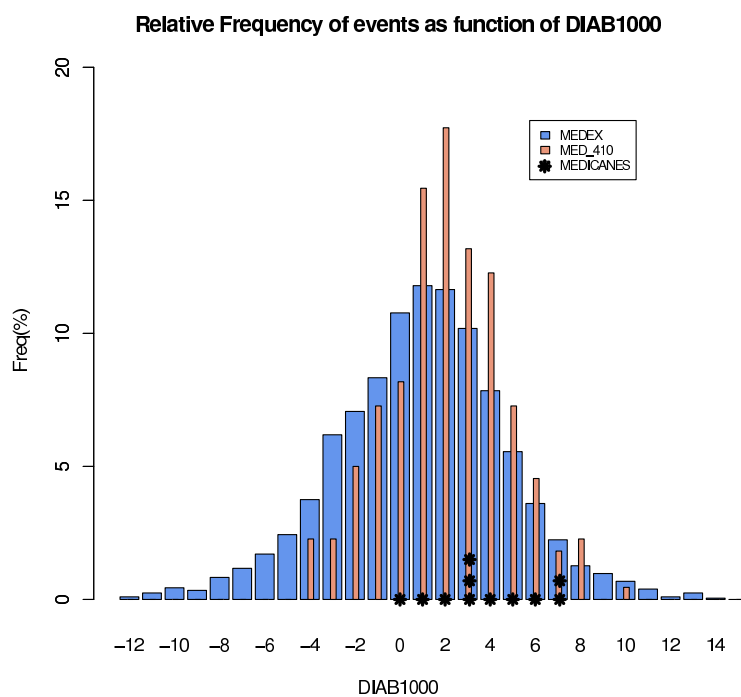


Figura 5.6: *Freqüència relativa d'events, en funció de DIAB1000 ($^{\circ}\text{C}/12\text{h}$): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

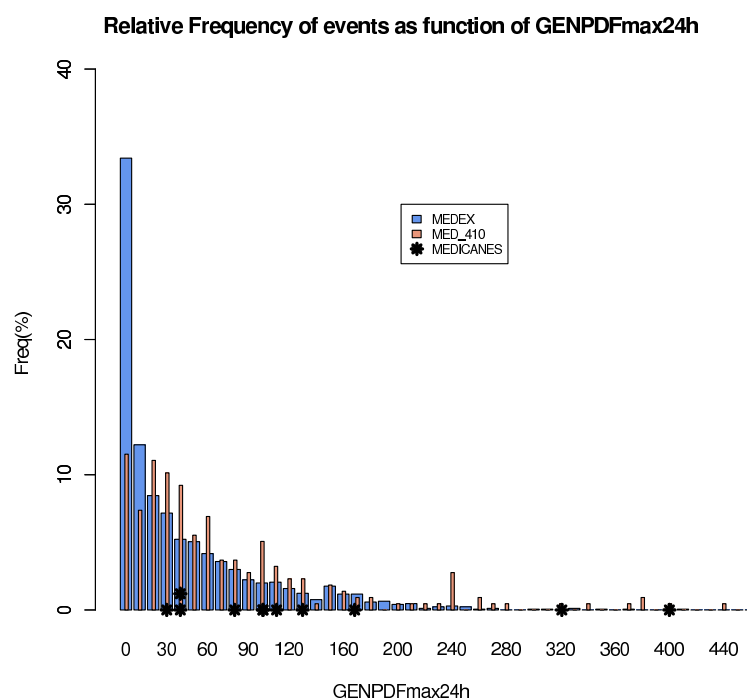


Figura 5.7: *Freqüència relativa d'events, en funció de GENPDFmax24h: ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

zona atlàntica del nord i nordoest de la península ibèrica). En tots els casos de medicane es troba una SST compresa entre els 15°C i 24°C.

Aquest fet ens mostra una gran diferència amb els huracans, que recordem que la mínima SST per a que es desenvolupin és de 26°C (que es dona durant l'estiu i la tardor). Això és degut a que malgrat en la Mediterrània es tenen temperatures més suaus, el factor desencadenant no és tant la SST sinó la diferència de temperatures entre la superfície de la mar i l'aire. En el cas dels oceans, aquesta diferència sols es pot dur a terme quan la SST és superior a 26°C, però a la Mediterrània, degut a les grans masses d'aire fred que penetren dins la conca des de latituds superiors, aquesta diferència de temperatures es pot assolir amb SST inferiors.

Per altra part, en la fig.5.6 s'observa certa tendència dels casos dubtosos a valors més elevats de la DIAB1000 que la resta de ciclons intensos MEDEX. Cal notar que els medicanes, a més de superar aquesta tendència, tenen tots valors positius.

Si recordam el significat del terme DIAB1000 ens fixam que al ser la contribució diabàtica al canvi de temperatura potencial equivalent superficial, representa el flux de calor que intercanvien l'atmosfera i la mar. Interpretant les equacions corresponents podem comprovar com els valors positius representen que el flux va des de la mar cap a l'atmosfera, com intuïem que passaria degut als estudis previs en què relacionen els medicanes amb els huracans. Però essent així, el que no s'entén, és com pot haver-hi casos on DIAB1000 és pràcticament nul. Doncs bé, aquest fet podria ser degut a que, com s'ha dit anteriorment, en aquest anàlisi sols s'ha tingut en compte un instant de la vida ja madura del medicane, i que el valor de DIAB1000 ha disminuït respecte el seu màxim, que s'espera que es doni durant la fase del desenvolupament del medicane.

Finalment, en la fig.5.7 també es pot observar la tendència a valors més elevats del GENPDFmax24h pels casos dubtosos i, sobretot, pels medicanes. Concretament, el valor inferior que es troba per un medicane està situat a 30. Com és lògic, i reforça la idea original de la construcció d'aquest índex, la majoria dels ciclons intensos mediterranis tenen un valor pràcticament nul. En els casos de medicane, la interpretació és que la probabilitat que es

formàs un event de característiques similars als huracans s'allunya del zero. Però altra volta, aquest índex segueix essent inferior al que ens agradaria o esperaríem tenir per als casos de medicane, és a dir, que els casos de medicane estiguin associats a valors significativament superiors a la resta, per poder establir la relació directa de valor elevat i gran probabilitat de gènesi de medicane. Al igual que per a la DIAB1000, l'explicació podria ser la mateixa: l'instant avaluat correspon a un moment de la seva fase madura i el seu valor ha disminuït respecte el seu màxim, que s'espera que sia durant els moments inicials del desenvolupament del cicló.

Referent a la resta de paràmetres, els resultats dels quals es troben a l'annex B, destaquen els baixos valors de VSHEAR8525 (tot i que, en general, la majoria dels ciclons intensos també tenen valors baixos) i els alts valors de MAXWS.

Els desenvolupaments dels ciclons baroclins es caracteritzen per importants cisalles verticals del vent (just el contrari que pels medicanes), però quan el cicló ja es troba en un estat madur i molt intens, com és el cas dels MEDEX intensos, el vent a nivells baixos ja ha agafat molta força i la diferència amb els nivells alts disminueix. Per aquest motiu, els valors que trobam en aquest anàlisi són baixos, però si l'haguéssim calculat durant el període de formació, esperaríem trobar valors més elevats en els MEDEX intensos.

Per la seva part, comparant els valors de MAXWS amb els dels huracans, el rang entre 30-45 m/s (que és on es troben situats els medicanes) correspon a unes velocitats de 78-100 mph, el que significa que, en condicions ideals de gènesi i desenvolupament, el hipotètic huracà format podria assolir categories d'entre 1 i 2 segons l'escala Saffir-Simpson (fig. 2.2).

En general, podem intuir certes tendències (encara que no tan clares com seria desitjable) en la distribució de SST, DIAB1000 i les diferents variants del GENPDF (especialment del GENPDF_{max24h}).

Finalment, recordar una vegada més, que tots aquests resultats són durant un instant de la fase madura del medicane, elegit seguint un criteri subjectiu, i és possible que el valor que el representa no sia prou significatiu. En el següent apartat tractarem d'eliminar aquest problema. Tot i així, les distribucions

dels ciclons intensos MEDEX, la dels quatre-cents deu casos dubtosos i la dels medicanes, no presenten diferències suficientment clares, motiu pel qual no hem pogut trobar cap paràmetre clarament discriminant.

5.2.2 Evolució de les variables meteorològiques

Seguint la trajectòria de l'ull (o el centre ciclònic precursor) durant tot el període de vida del medicane, des de que som capaços d'intuir les primeres traces fins que el rastre desapareix completament, calculam el valor dels paràmetres i índexos meteorològics. Tal i com hem fet abans, el conjunt de resultats es troba en l'apèndix C i aquí es mostren sols els de SST, DIAB1000 i GENPDF_{max24h}:

En les fig. 5.8, 5.9 i 5.10 es pot observar com, clarament, els valors típics dels medicanes es troben per damunt de la mitjana dels casos de ciclons intensos MEDEX, i fins i tot, pràcticament en tots els casos, per sobre del tercer quartil.

En la fig. referent a la SST podem observar com, com era d'esperar, els majors valors de SST corresponen als tres medicanes de la tardor. En aquesta estació, l'aigua encara no ha tengut temps de refredar-se massa, i per aquest motiu les temperatures es troben al voltant dels 20°C. En el cas oposat es troba el medicane primaveral (1999/03) que és el que té una SST de les més baixes, entenent que la mar encara no ha rebut suficient radiació solar com per encaletir-la.

En els medicanes de l'hivern podem observar com les SST són superiors als 15°C, especialment en els instants inicials i si extrapolam cap a enrera en el temps. Recordem que per a l'hivern, els 15°C és la cota superior de la SST típica a la Mediterrània, però si a més tenim en compte la diferència de temperatures oest-est (la SST augmenta d'oest a est), que la Mediterrània occidental o central tengui una SST igual o superior a aquest valor implica que és un valor atípicament elevat.

Comparant la dinàmica de la SST amb la seva climatologia (fig. 5.5) observam com en aquesta darrera s'han infraestimat certs valors dels casos de

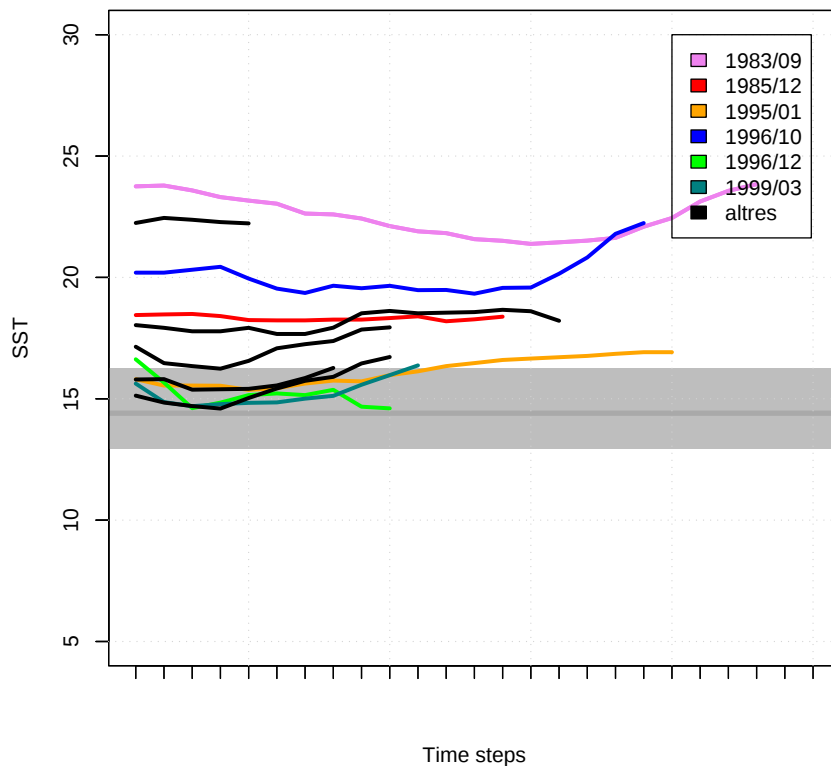


Figura 5.8: *Valors de SST (en °C) al centre del cicló, durant la seva vida (time steps = 6h), dels sis casos que compleixen tots els requisits per a ser considerats medicanes (color) i la resta de casos (negre) de la base de dades. La línia grisa obscura respresenta el valor mig de la distribució de ciclons intensos MEDEX i els límits de la zona sombrejada, els quartils 1r i 3r (veure histograma de la fig. 5.5).*

medicane, que per a que fossin més significatius haurien de ser un o dos graus superiors, ja que el càlcul s'ha dut a terme en un dels instants més freds de la SST. Tot i així, els resultats que ens donen més informació són els inicials (o fins i tot, alguns passos de temps abans dels que vénen representats en la gràfica).

Per tant, el que hem pogut comprovar és que en hiverns on la SST és major de 15°C, el risc de medicanes augmenta.

En el cas de DIAB100 observam com els valors que s'assoleixen durant els

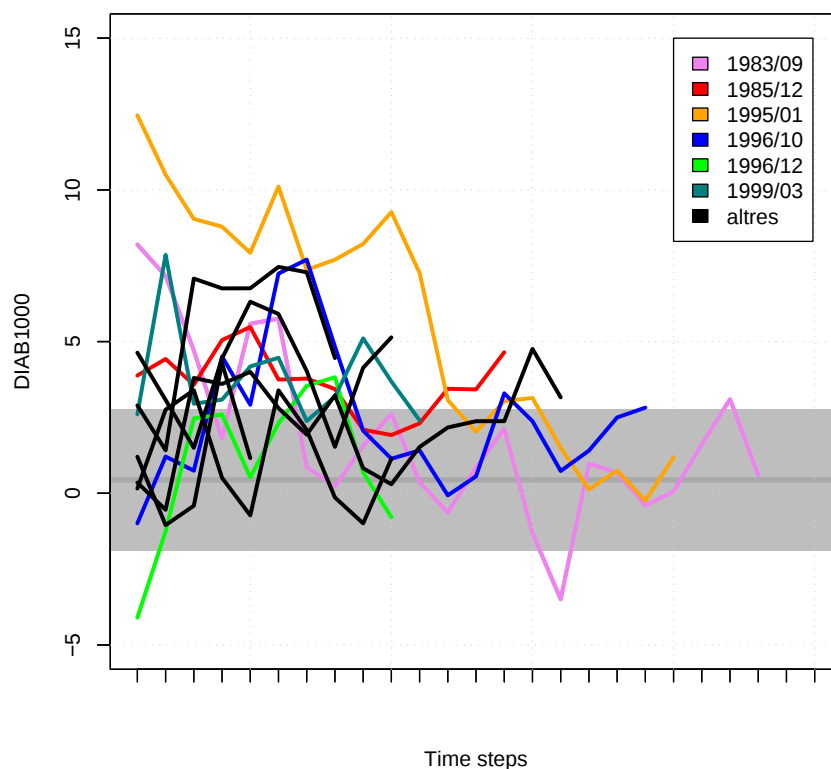


Figura 5.9: *Valors de DIAB1000 ($^{\circ}\text{C}/12\text{h}$) al centre del cicló, durant la seva vida (time steps = 6h), dels sis casos que compleixen tots els requisits per a ser considerats medicanes (color) i la resta de casos (negre) de la base de dades. La línia grisa obscura respresenta el valor mig de la distribució de ciclons intensos MEDEX i els límits de la zona sombreada, els quartils 1r i 3r (veure histograma de la fig. 5.6).*

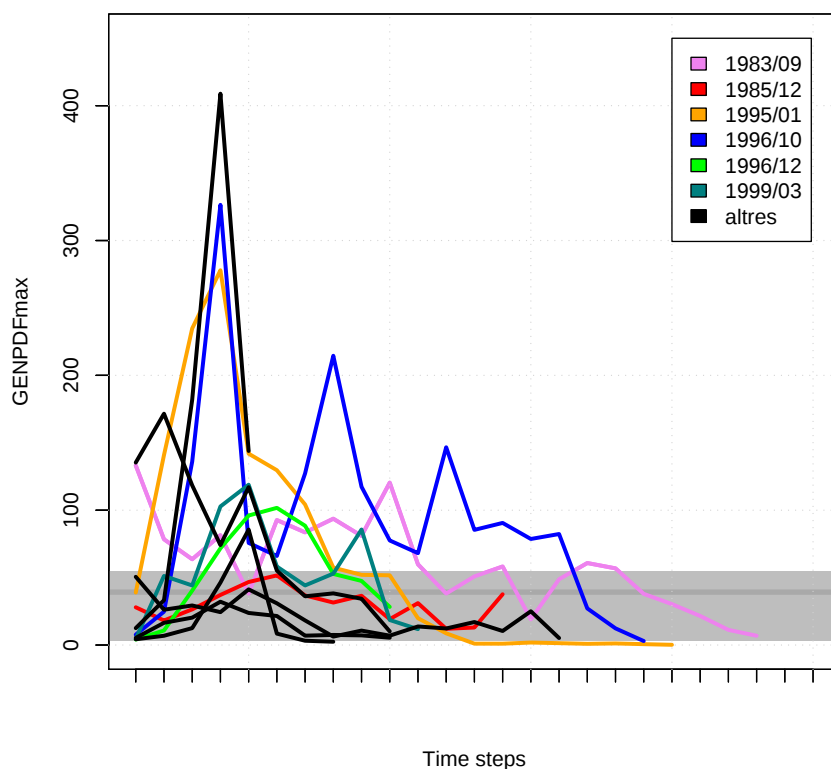


Figura 5.10: *Valors de GENPDFmax al centre del cicló, durant la seva vida (time steps = 6h), dels sis casos que compleixen tots els requisits per a ser considerats medicanes (color) i la resta de casos (negre) de la base de dades. La línia gris obscura respresenta el valor mig de la distribució de ciclons intensos MEDEX i els límits de la zona sombrejada, els quartils 1r i 3r (veure histograma de la fig. B.9).*

events de medicane són fins i tot majors als que els representaven a la fig. 5.9 degut a que, com ja hem dit anteriorment, només s'havia pres un instant per a calcular les mesures corresponents. En aquest cas, on es veu l'evolució del valor de DIAB1000 al llarg del medicane, observam que els valors màxims es troben al voltant dels $7^{\circ}\text{C}/12\text{h}$. De fet, el mínim valor dels màxims es troba en $5^{\circ}\text{C}/12\text{h}$, valor molt superior a la resta de ciclons intensos mediterranis.

Però el cas que clarament destaca és el corresponent a l'event 1995/01, amb valors que superen els $12^{\circ}\text{C}/12\text{h}$ (i és esperable que durant els instants anteriors, aquesta quantitat fos superior), amb tres pics diferenciats fins valors de $10^{\circ}\text{C}/12\text{h}$. Aquest cas és un dels més estudiats i referenciats en quant a estudis de “tropical-like cyclons” a la Mediterrània (e.g. Pytharoulis et al. (2000), Emanuel (2005), etc.).

Aquesta contribució diabàtica deguda a la transferència de calor sensible i latent entre la mar i l'aire és la desencadenant dels huracans i, en aquest cas, dels medicanes, i serà més alta quant major sia la diferència de temperatures entre ambdós ambients.

També l'índex GENPDF (en qualsevol de les seves varietats: GENPDF, GENPDFmax i GENPDFmax24h) mostra un comportament singular durant els casos de medicane. A excepció del cas (1983/09), dins els quatre primers passos de temps, es produeix una pujada i una baixada abruptes del valor d'aquest índex. Si l'event té una durada prou llarga, existeix una successió de pics. Aquesta successió representaria la realimentació que ha tingut el medicane per mantindre's viu.

El cas 1983/09 presenta un comportament lleugerament diferent, degut a que comença amb una davallada del valor del GENPDF i no és fins prop del desè pas de temps quan trobem el pic característic. Aquest fet es deu a que aquest paràmetre s'ha calculat a partir de l'instant en què, segons les imatges de satèl·lit, es pot intuir on es troba el que serà l'ull del medicane. En aquest cas en qüestió, la creació del medicane és la revitalització d'una pertorbació provinent de la desaparició d'un cicló baroclí, és a dir, s'ha creat un cicló baroclí i quan pareix que està a punt de desaparèixer, es revitalitza com a medicane. Per aquest motiu, els valors provinents dels primers passos de temps corresponen encara a la fase de cicló baroclí, mentre que a partir

d'aproximadament el desè pas, són els referents al medicane.

Un altre aspecte que crida l'atenció és que els valors màxims d'aquest índex els assolixen el medicane de setembre de 1996 (en la fig. 5.10, en negre) i el medicane 1996/10. Fins aquest moment, aquests events havien passat desapercebuts, amb valors típics dels medicanes, mentre que aquí apareixen amb un comportament destacable (especialment si en lloc de GENPDFmax observam el GENPDF, fig. C.8). En el cas de 1996/10, cada un dels pics que es veuen representats com a augment del GENPDFmax correspon a un moment d'intensificació del medicane (difícil de veure en imatges de cada 6 hores, però fàcilment identificable en les animacions creades del satèl·lit Meteosat).

En general, els paràmetres AVOR850, VSHEAR8525, SST, DIAB1000, MAXWS, i les diferents aplicacions del GENPDF, mostren comportaments distintius dels casos de medicane enfront els ciclons intensos MEDEX (annex C): Trobam valors especialment baixos pels casos d'AVOR850, RH600 i VSHEAR8525, mentre que per la resta són especialment elevats, com ja hem mostrat en les figures anteriors.

Després d'observar el comportament de tots els paràmetres meteorològics que s'han tingut en compte en aquest estudi (al tractar-se, a priori, d'elements importants durant la gènesi i desenvolupament dels ciclons tropicals i, per extensió, dels medicanes), no se n'ha trobat cap que mostri diferències suficientment clares com per poder-lo considerar element completament discriminant envers la resta de ciclons intensos mediterranis. En aquests moments, DIAB1000 i l'índex empíric GENPDF (i les seves variants) són els que mostren diferències suficientment clares entre uns i altres. En vuit dels onze casos estudiats en aquest treball, l'índex GENPDF és molt superior als valors habituals. Per tant, el que podríem dir és que si al calcular el valor d'aquest índex en un ambient meteorològic determinat obtenim un valor elevat, la gènesi d'un medicane és possible.

5.2.3 Seqüenciació de les variables meteorològiques al llarg del cicle de vida del medicane de gener de 1995

A continuació, relacionam l'evolució dels valors estudiats amb les diferents fases del desenvolupament del medicane. En el cas de la SST no s'han observat canvis suficientment significants com per relacionar les seves variacions amb les diferents fases del medicane. Per tant, ens centrarem en l'estudi de DIAB1000 i GENPDF_{max}.

El cas que prendrem com exemple és el medicane ocorregut entre dia 14 i 16 de gener de 1995. Aquest medicane neix a la mar Jònica, al sud d'Itàlia i oest de Grècia, desplaçant-se en direcció sud-sudoest fins arribar a la costa de Líbia el dia 17, on desapareix.

Com podem observar en la fig. 5.11, la visualització clara de l'ull del medicane es dona per primera vegada en la imatge corresponent a les 06h de dia 15 de juny. A partir de les darreres hores de dia 16 i principis del 17, la continuïtat de la massa de núvols al voltant del centre del medicane (una de les condicions establertes per poder distingir, a través d'imatges de satèl·lit, si és o no és medicane) deixa d'existir, motiu pel qual deixariem de poder-lo considerar com a tal.

Al fixar-nos amb la fig. 5.12, el primer que podem observar són els alts valors de DIAB1000 durant tot l'episodi del medicane, entre dia 14 i dia 16. A partir de dia 17, i especialment a partir de dia 18, els valors que s'obtenen són similars als d'events de ciclons intensos MEDEX, destacant un quart màxim, molt menor que la resta, durant dia 17.

El primer valor que tenim representat en la gràfica és el màxim absolut. Aquest valor tan elevat de transferència de calor sensible i latent entre la mar i l'aire es produeix per la gran diferència de temperatures que hi ha entre ambdues (a major diferència de temperatures, major és el flux de calor sensible i latent), i per valors moderats/alts del vent superficial. A continuació, distingim un màxim de DIAB1000 a les 06h de dia 15 i un tercer màxim situat a les 06h de dia 16. A partir de les darreres hores de dia 16, els valors són similars als dels ciclons intensos MEDEX, indicant la desaparició

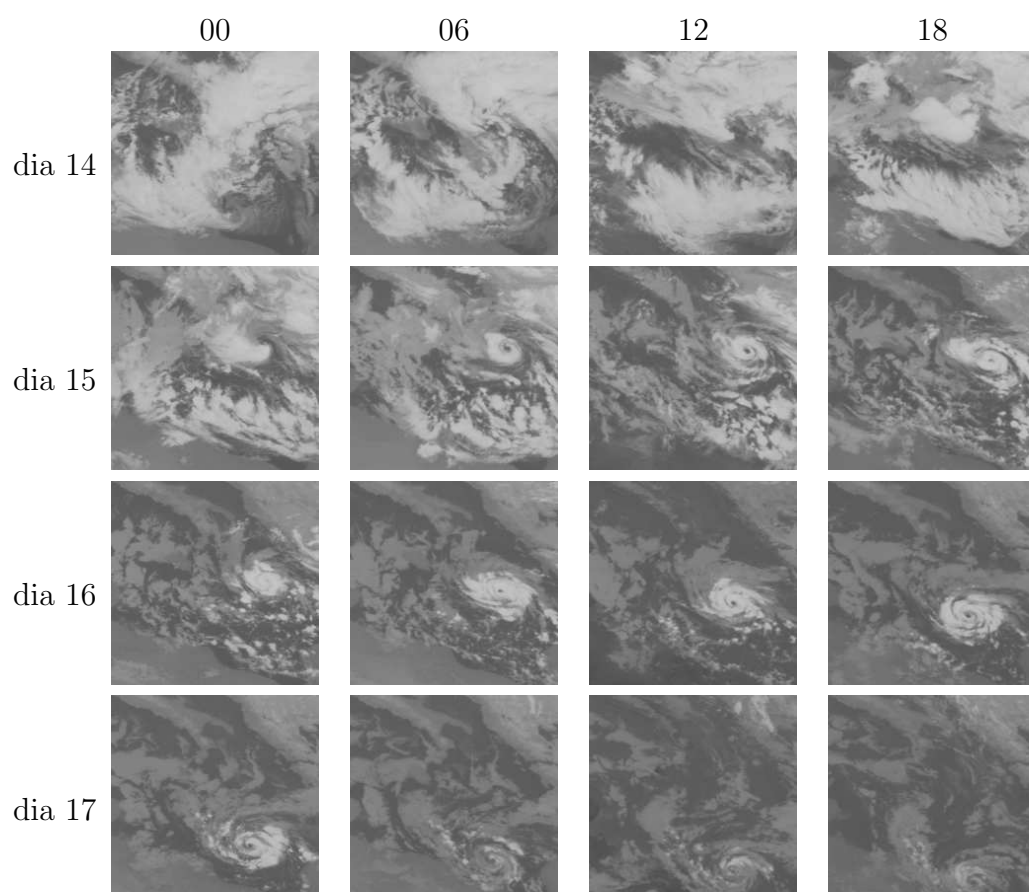
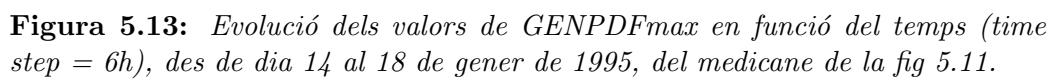
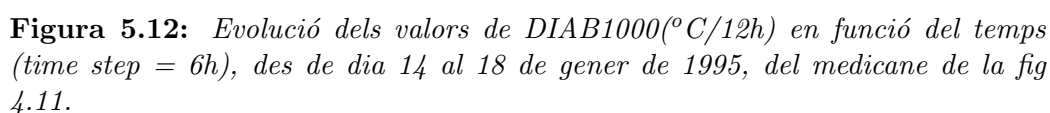


Figura 5.11: *Evolució del medicane corresponent a gener de 1995, situat al sud d'Itàlia. L'inici de la fase madura es dona a les 06h de dia 15, identificat per l'aparició de l'ull del medicane.*



del medicane.

Malgrat a primera vista semblaria que el màxim corresponent a les 06h de dia 15 és el causant directe de la gènesi del medicane (al coincidir en el temps el valor màxim amb l'aparició de l'ull del medicane), no és així. Entre la transferència de calor i la gènesi del medicane madur passa un cert temps. Així doncs, el màxim absolut de la gràfica (en aquest cas, el primer que tenim) és el que correspon a la creació del medicane. Aleshores, no podem saber quin és realment el valor màxim de DIAB1000 que ha ocasionat la seva creació, ni el moment en què aquest s'ha produït, encara que per comparació amb la resta de casos intuïm que es donaria entre un i dos passos de temps abans dels graficats, és a dir, aproximadament un dia i mig abans de la fase madura.

El segon i el tercer màxim, corresponen a transferències de calor que permeten la sustentació del medicane com a tal. Com podem observar en qualsevol de les figures de la secció anterior, la durada d'aquest medicane és la segona més elevada dels que hem detectat durant el període d'estudi. El quart màxim apareix quan el medicane es troba prop de la costa de Líbia, on aquesta entrada a terra no permet continuar amb la sustentació necessària per a que no desapareixi.

En quant al GENPDFmax (fig. 5.13), destaca un màxim a les 18h de dia 14 i una suavització de la baixada abrupta del màxim entre les 06 i 12h de dia 15. A partir de les darreres hores de dia 16, els valors es mantenen constants al mateix valor que el tercer quartil de la distribució dels ciclons intensos MEDEX durant 12 hores. Posteriorment, aquests valors disminueixen fins fer-se zero. Per tant, identifiquem quatre punts singulars per a l'estudi: el màxim principal (a les 18h de dia 14), la primera suavització (entre les 06 i les 12h de dia 15), el mantindre's a un valor constant (a les 00h de dia 16) i el valor nul (a les 00h de dia 17).

El primer màxim es produeix aproximadament mig dia (12 hores) abans de l'aparició de l'ull del medicane (aquest resultat s'ha comprovat per als 11 medicanes estudiats), motiu pel qual podem establir aquesta relació. La resta de singularitats detectades corresponen, altra vegada, als processos de sustentació del medicane.

CAPÍTOL 6

Conclusions i treball futur

A partir d'imatges de satèl·lit s'han establert cinc criteris necessaris per a poder catalogar un cicló mediterrani com a medicane. D'aquesta manera, s'han pogut trobar dotze casos en el període d'estudi, a partir dels quals s'ha estudiat quins ambients meteorològics afavoreixen la seva gènesi, comparant valors amb els associats de ciclons intensos MEDEX.

Degut a les semblances entre els medicanes i els ciclons tropicals, ens hem basat en el coneixement d'aquests darrers per fixar-nos en certes variables enfront altres. Per exemple, sabem que per a que un cicló tropical es formi, cal que la humitat relativa a nivells mitjos sia elevada, que existeixi alta vorticitat a nivells baixos, una gran diferència de temperatures entre la mar i l'aire a nivells alts, i poca ciçalla vertical del vent entre nivells baixos i alts.

A més de verificar que aquestes condicions també es compleixen pels medicanes, hem pogut comprovar certes diferències. La més notòria és la relativa a quina és la SST mínima per a que la diferència de temperatures sia suficient per crear un medicane/cicló tropical. En el cas dels ciclons tropicals, la SST mínima a partir de la qual es poden formar està considerada els 26°C (recordem que la temporada d'huracans a l'Atlàntic és entre juny i novembre). En els medicanes s'han trobat SST molt menors, fins a 15°C (la majoria dels casos es generen durant la tardor i hivern).

S'ha pogut constatar el comportament singular d'algunes variables meteorològiques, com la de DIAB1000 i GENPDF durant les hores anteriors a l'aparició del medicane: dia i mig abans en el cas de DIAB1000, i mig dia

abans en el GENPDF. A més, si el medicane té una llarga durada, es pot observar com tant la transferència de calor entre la mar i l'aire (DIAB1000) com el valor de l'índex GENPDF augmenten durant la vida del medicane, indicant la continuïtat dels processos necessaris per a la seva sustentació i evitant que desapareixi abans d'arribar a la costa.

Aquest índex GENPDF, desenvolupat a partir de comparar el mecanisme de manteniment dels ciclons tropicals amb el cicle de Carnot i estudiar el comportament de nombrosos ciclons tropicals, comparteix també significat en el cas dels medicanes: alts valors de l'índex indiquen una major probabilitat de gènesi de medicane.

Com a treball futur es pretén continuar amb la línia de recerca del projecte "MEDICANES: Meteorological Environments, Numerical Predicatability and Risk Assessment in the Present and Future Climate" (MEC, CGL2008-01271/CLI). La següent passa a fer serà l'estudiar si els models meteorològics (especialment l'MM5) són capaços de reproduir aquests medicanes, de petita escala, a partir de camps de circulació general, i avaluar aquesta capacitat segons la resolució espacial dels camps d'entrada al model.

Aquests anàlisis són fonamentals per poder continuar amb la línia de recerca planejada. Per a aconseguir-ho, es realitzaran simulacions a alta resolució (7.5 km) amb forçaments de contorn provinents dels camps de l'ECMWF, amb una resolució d'aproximadament 85 km. Els GCM de clima futur tenen una resolució típica de 250 km (de 125 km en els millors dels casos). Per tant, abans de simular escenaris de clima futur a alta resolució (per poder detectar els medicanes), ens hem d'assegurar que els models són capaços de reproduir-los, amb forçaments de baixa resolució. Per realitzar aquest estudi, interpolarem els camps de l'ECMWF a la resolució dels MCG.

Referències Bibliogràfiques

- Bjerkens, J. and H. Solberg, 1926: Mid-latitude weather systems. *Harper Collins Academic*.
- Campins, J., A. Genovés, M. Picornell, and A. Jansà, 2010: Climatology of Mediterranean cyclones using the ERA-40 dataset. *Int.J.Climatol.*
- Conte, M., 1986: The meteorological bomb in the Mediterranean: a synoptic climatology. *WMO TD*.
- Emanuel, K., 2003: Tropical cyclones. *Annu.Rev.Earth Planet.Sci.*
- Emanuel, K., 2005: Genesis and maintenance of Mediterranean hurricanes. *Adv.Geosc.*
- Ernest, J. and M. Matson, 1983: A Mediterranean tropical storm? *Weather*.
- Homar, V., C. Ramis, and S. Alonso, 2002: A deep cyclone of african origin over the western mediterranean: diagnosis and numerical simulation. *Ann.Geophys.*
- Homar, V., R. Romero, D. Stensrud, C. Ramis, and S. Alonso, 2003: Numerical Diagnosis of a Small, Quasi-Tropical Cyclone over the Western Mediterranean: Dynamical vs. boundary factors. *Quart.J.R.Meteorol.Soc.*
- Hoskins, B. and K. Hodges, 2002: New perspectives on the Northern Hemisphere Winter Storm Tracks. *J.Atmos.Sci.*
- Jansà, A., 2003: Miniciclons a la Mediterrània. *IX Jornades de Meteorologia Eduard Fontserè*.
- Pettersen, S., 1956: Weather Analysis and Forecasting. *Mac Graw Hills Book Company*.

- Picornell, M., A.Jansà, A.Genovés, and J.Campins, 2001: Automated database of mesocyclones from the Hirlam(INM)-0.5 analyses in the western mediterranean. *Int.J.Climatol.*, (21), 335–354.
- Pytharoulis, I., G. Craig, and S. Ballard, 2000: The hurricane-like Mediterranean cyclone of January 1995. *Meteorol.Appl.*
- Reale, O. and R. Atlas, 2001: Tropical cyclone-like vortices in the extratropics: observational evidence and synoptic analysis. *Weather Forecast.*
- Romero, R. and K. Emanuel, 2006: Space-time probability density of Mediterranean hurricane genesis in the light of an empirical tropical index. *5^a Assamblaia Luso-Esoanhola de Geodesia e Geofisica.*
- Sinclair, M., 1997: Objective identification of cyclones and their circulation intensity, and climatology. *Weather and Forecasting.*
- Tous, M., A. Genovés, J. Campins, M. Picornell, A. Jansà, and R. Mizuta, 2009: Mediterranean Cyclones in a changing climate. Results from JMA-GSM model. *11th Plinius Conference on Mediterranean Storms.*
- Wernli, H. and C. Schwierz, 2006: Surface Cyclones in the ERA-40 dataset (1958-2001). Part I: Novel Identification Method and Global Climatology. *J.Atmos.Sci.*

APÈNDIX A

Events de medicanes



Figura A.1: *Imatge corresponent al canal IR del satèl·lit Meteosat pel medicane de setembre-octubre de 1983.*

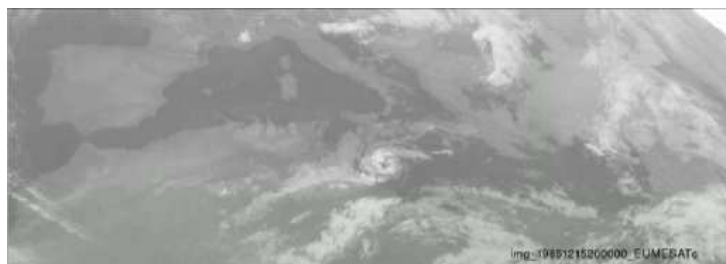


Figura A.2: *Imatge corresponent al canal IR del satèl·lit Meteosat pel medicane de desembre de 1985.*

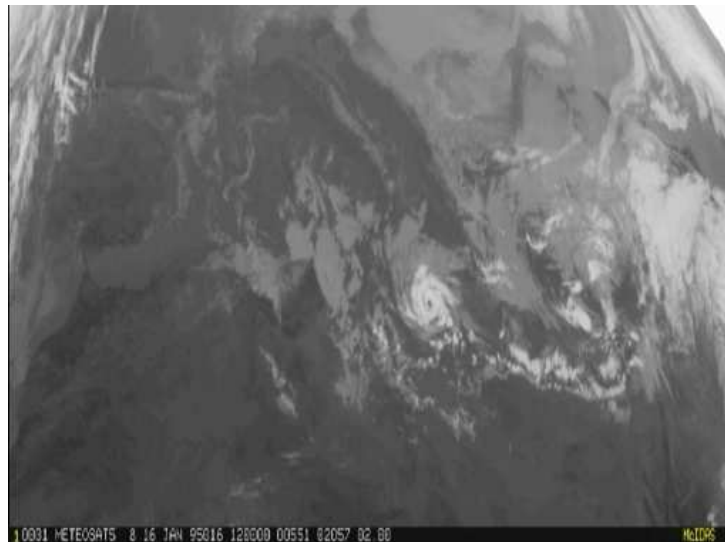


Figura A.3: *Imatge corresponent al canal IR del satèl·lit Meteosat pel medicane de gener de 1995.*

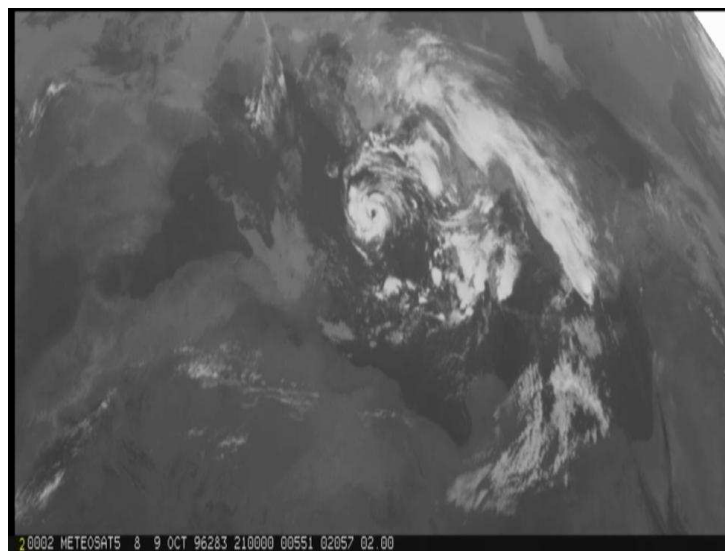


Figura A.4: *Imatge corresponent al canal IR del satèl·lit Meteosat pel medicane d'octubre de 1996.*

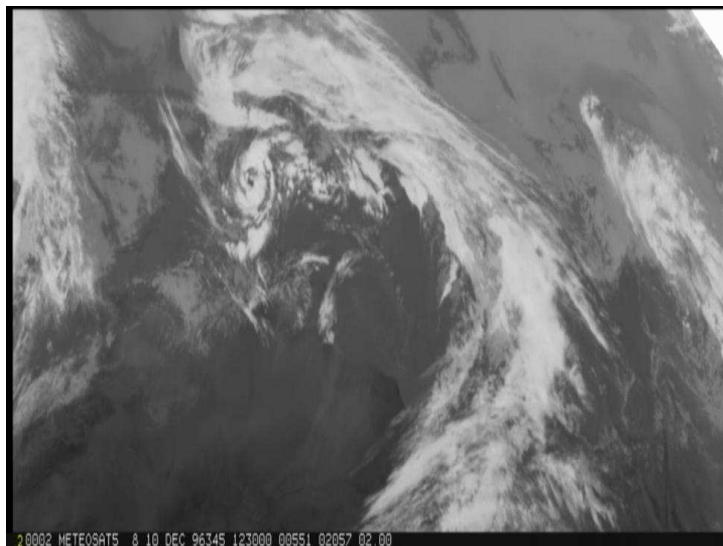


Figura A.5: *Imatge corresponent al canal IR del satèl·lit Meteosat pel medicane de desembre de 1996.*

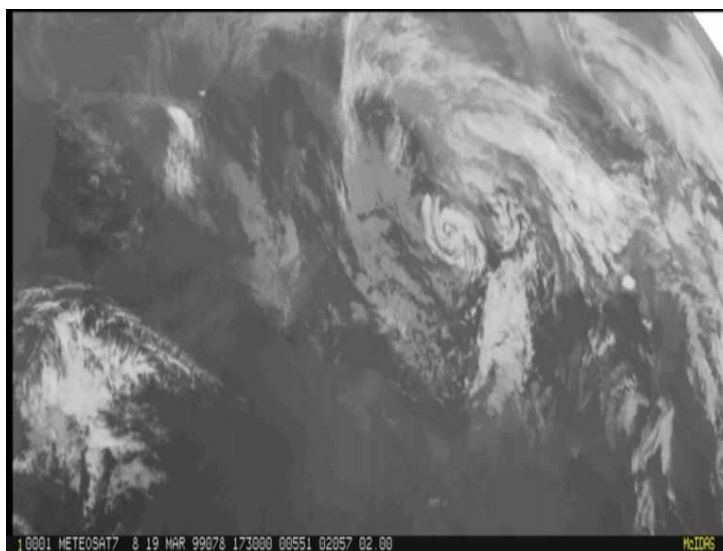


Figura A.6: *Imatge corresponent al canal IR del satèl·lit Meteosat pel medicane de març de 1999.*

APÈNDIX B

Climatologia de paràmetres meteorològics

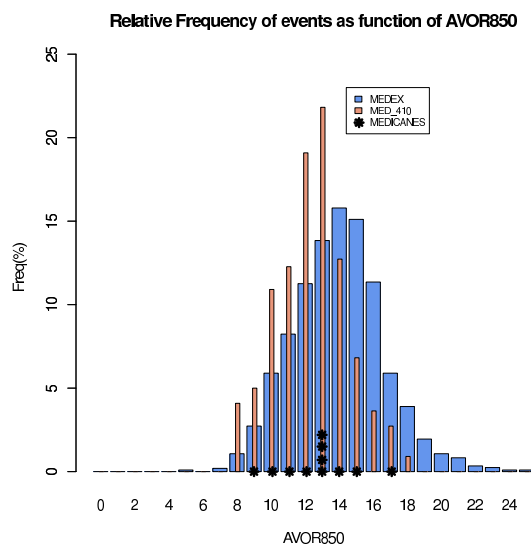


Figura B.1: *Freqüència relativa d'events, en funció d'AVOR850 (en $10^{-5}s^{-1}$): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

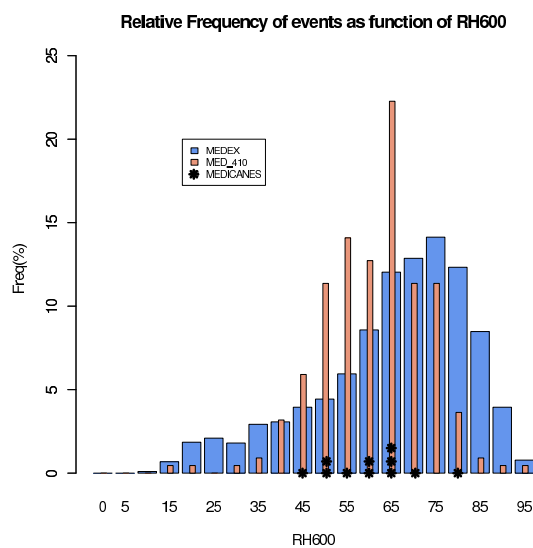


Figura B.2: *Freqüència relativa d'events, en funció de RH600 (en %): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

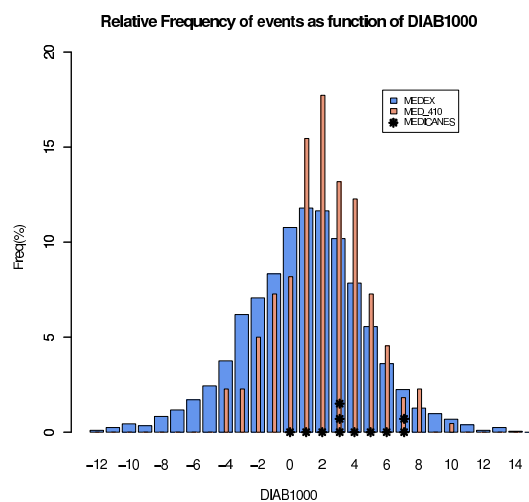


Figura B.3: *Freqüència relativa d'events, en funció de DIAB1000 (en °C/12h): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

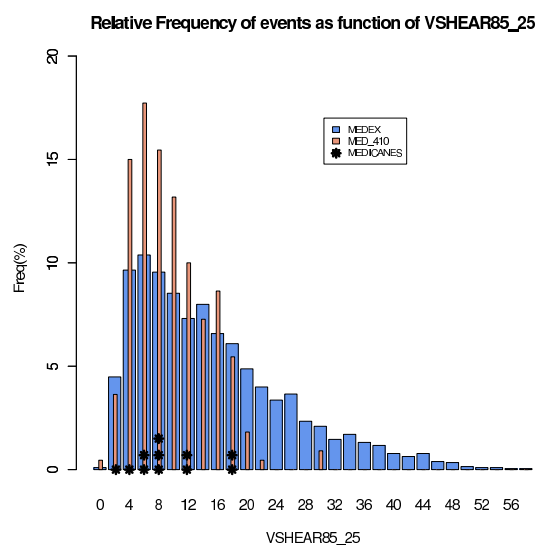


Figura B.4: *Freqüència relativa d'events, en funció de VSHEAR8525 (en m/s): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

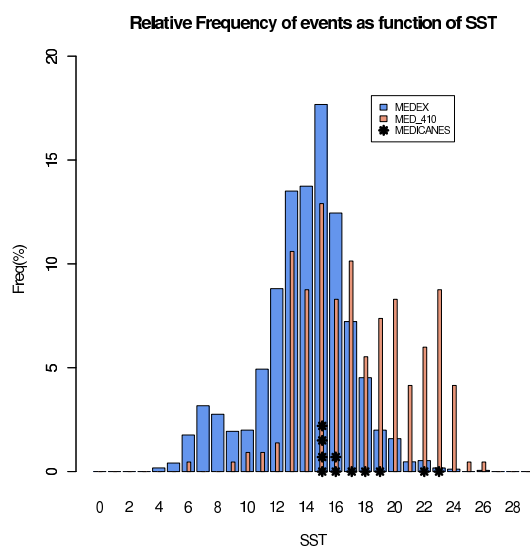


Figura B.5: *Freqüència relativa d'events, en funció de SST (en °C): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

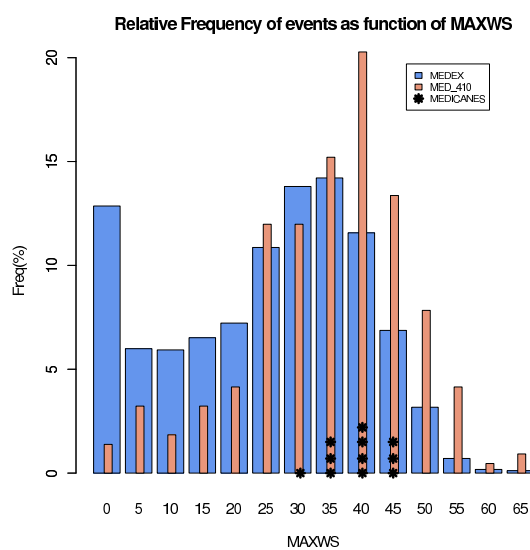


Figura B.6: *Freqüència relativa d'events, en funció de MAXWS (en m/s): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

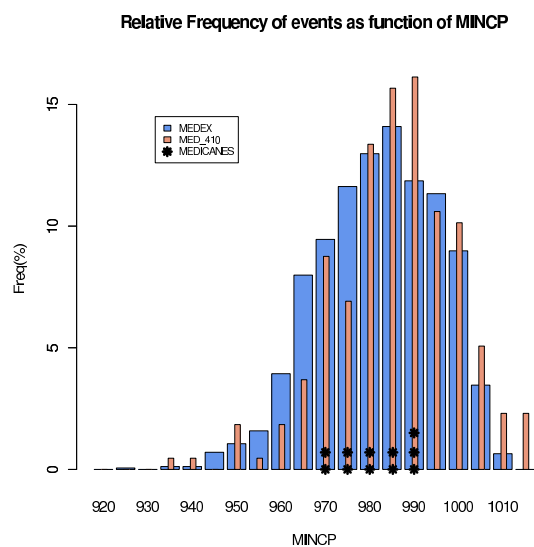


Figura B.7: *Freqüència relativa d'events, en funció de MINCP (en hPa): ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

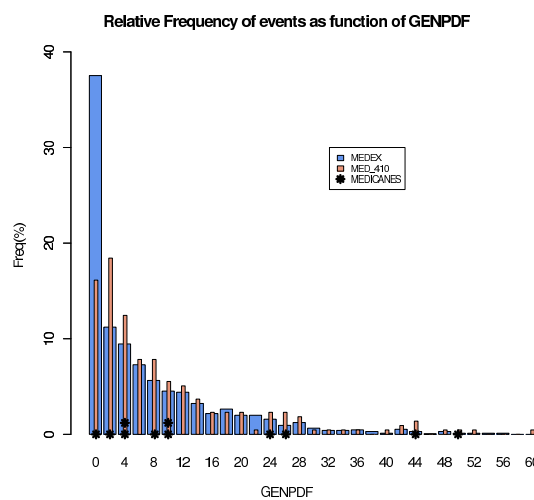


Figura B.8: *Freqüència relativa d'events, en funció de GENPDF: ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

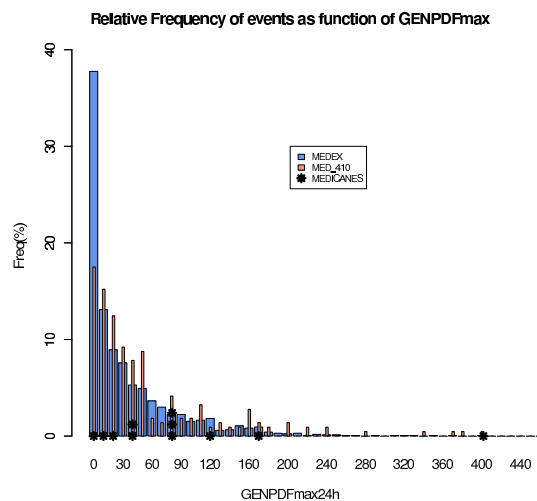


Figura B.9: *Freqüència relativa d'events, en funció de GENPDFmax: ciclons intensos MEDEX (blau), llistat dubtós de medicanes (taronja), medicanes (estrelles).*

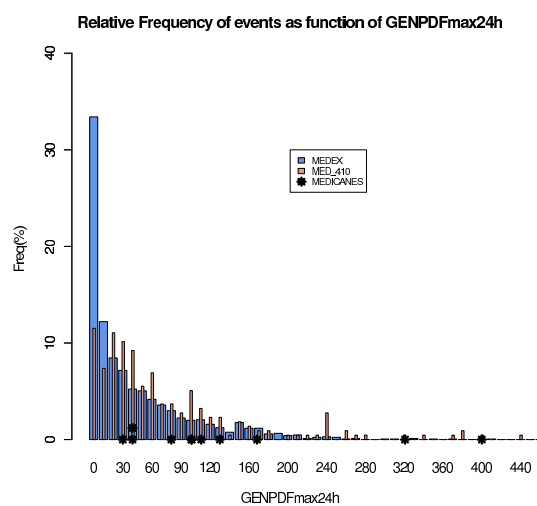


Figura B.10: *Freqüència relativa d'events, en funció de GENPDFmax24h: ciclons intensos MEDEX (blau), llistat de medicanes dubtosos (taronja), medicanes (estrelles).*

APÈNDIX C

Dinàmica de paràmetres meteorològics associats a medicanes

	VARIABLE	UNITATS	HISTOGRAMA
C1	AVOR850	$10^{-5} s^{-1}$	B1
C2	RH600	%	B2
C3	DIAB1000	$^{\circ}C/12h$	B3
C4	VSHEAR8525	m/s	B4
C5	SST	$^{\circ}C$	B5
C6	MAXWS	m/s	B6
C7	MINCP	hPa	B7
C8	GENPDF	-	B8
C9	GENPDF _{max}	-	B9
C10	GENPDF _{max24h}	-	B10

Taula C.1: *Taula-llegenda de les figures de l'apèndix C.*

Valors de (VARIABLE, Tab. C), en (UNITATS, Tab. C), al centre del cicló, durant la seva vida (time steps = 6h), dels sis casos que compleixen tots els requisits per ser considerats medicanes (color) i la resta de casos (negre) de la base de dades.

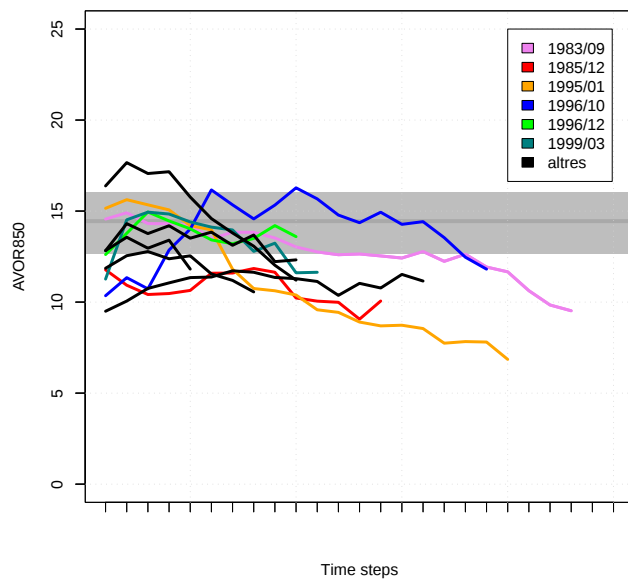


Figura C.1: *Valors de AVOR850 (en $10^{-5}s^{-1}$).*

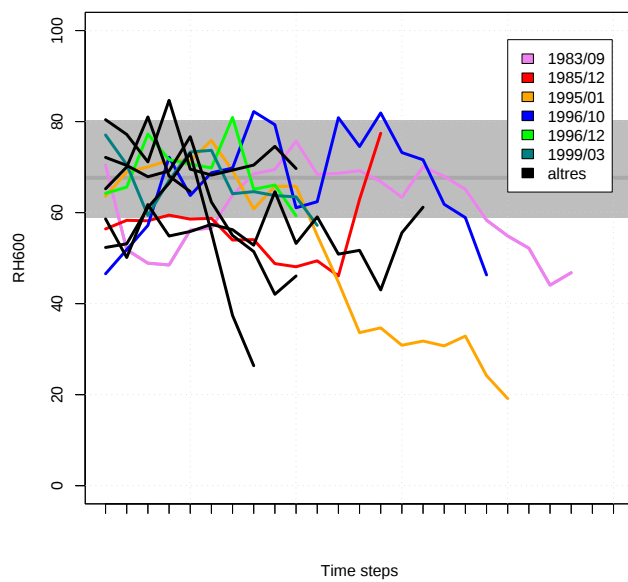


Figura C.2: *Valors de RH600 (en %).*

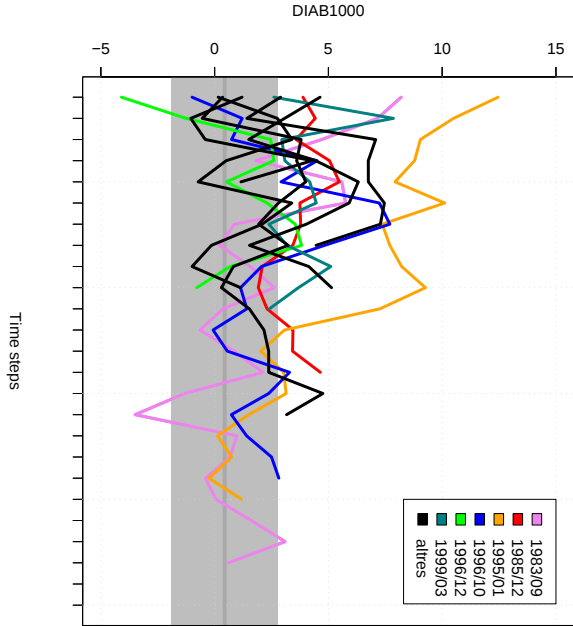


Figura C.3: *Valors de DIAB1000 (en °C/12h).*

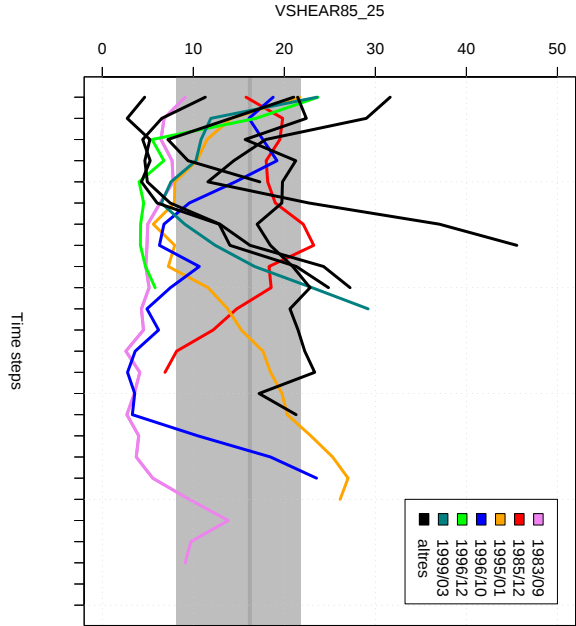


Figura C.4: *Valors de VSHEAR8525 (en m/s).*

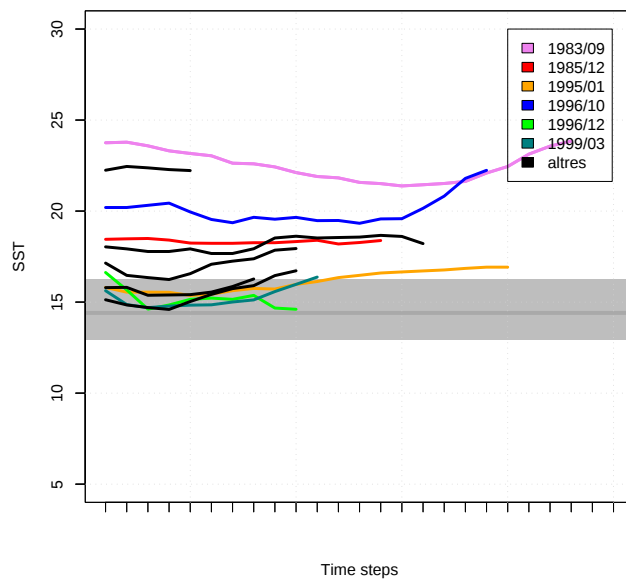


Figura C.5: *Valors de SST (en °C).*

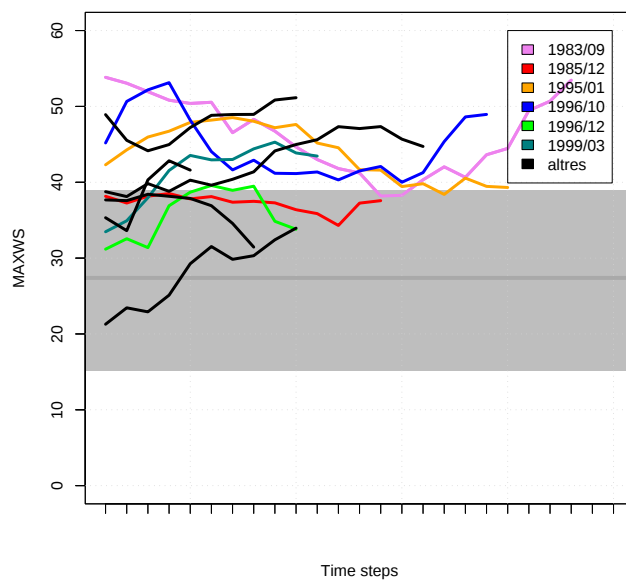


Figura C.6: *Valors de MAXWS (en m/s).*

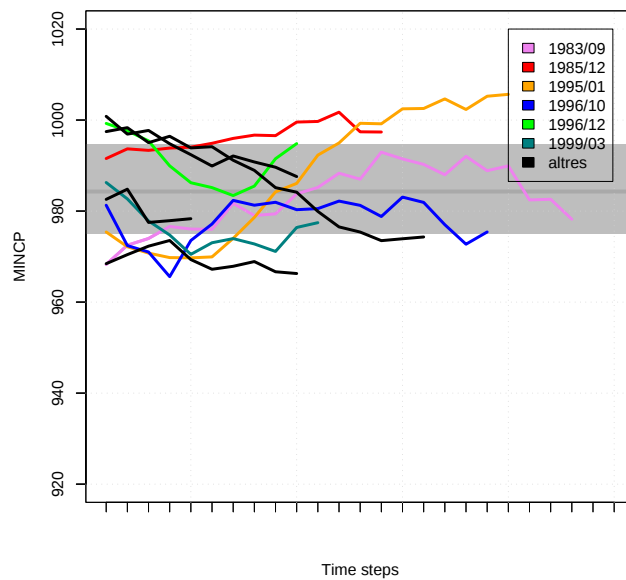


Figura C.7: *Valors de MINCP (en hPa).*

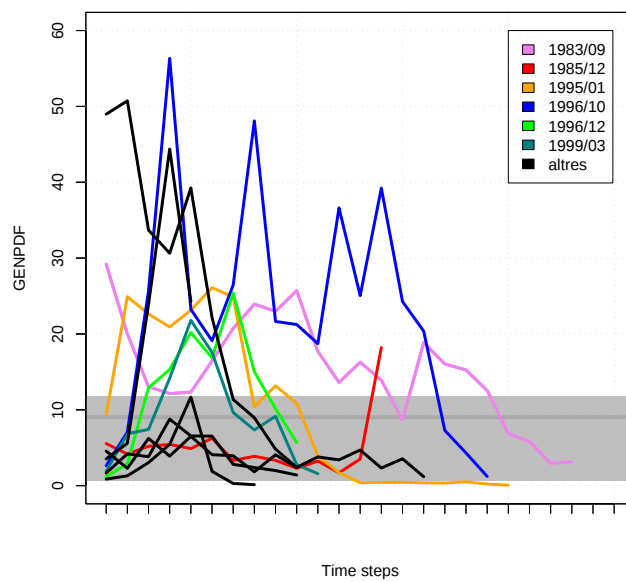


Figura C.8: *Valors de GENPDF.*

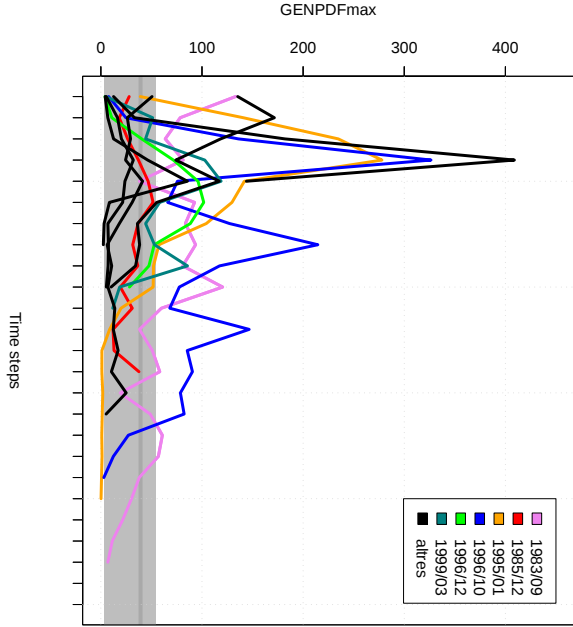


Figura C.9: *Valors de GENPDFmax.*

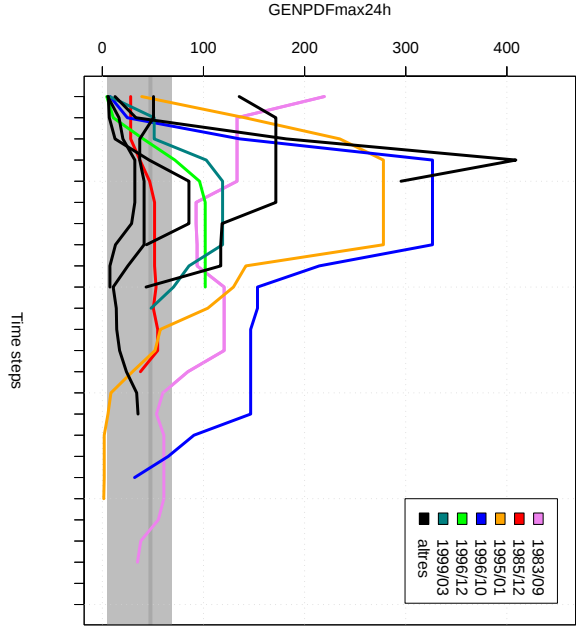


Figura C.10: *Valors de GENPDFmax24h.*