Escola d'Enginyeria de Telecomunicació i Aeroespacial de Castelldefels

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

TREBALL FINAL DE GRAU

TÍTOL DEL TFG: Analysis of the stability indices during the major floods in the NE Iberian Peninsula since 1871

TITULACIÓ: Grau en Enginyeria d'Aeroports

AUTOR: Artur Reynés Martí

DIRECTOR: David Pino González

DATA: 8 de juliol del 2016

Title: Analysis of the stability indices during the major floods in the NE Iberian Peninsula since 1871.

Author: Artur Reynés Martí

Director: David Pino González

Date: 8th July 2016

Overview

Floods are one of the main natural hazards affecting worldwide population. The Western Mediterranian region is one of the areas in risk of suffering these phenomena. In this region, floods have lead in high damages in the infrastructures and agriculture terrains. Moreover, these metrological phenomena have lead in hundreds of human fatalities. For that reason, is required to take over a wide research of historical, hydraulical, hydrological and meteorological in order to analyze which was the source and to be able to predict these hazards in the future. We have focused our study in the meteorological reconstruction of these historical floods.

By using the 'Prediflood' database, we have selected the 23 most catastrophic floods that affected the Northeast of Iberian Peninsula between 1874 and 2000. Then, using NOAA 6 hourly 20th Century V2 Reanalysis Data Composites we have analyzed the Convective Available Potential Energy (CAPE) and its evolution during all these years, the convective timescale (τ_c). With this calculus and the hypothesis of several authors we have tried to conclude if these floods were convective equilibrium episodes or non-equilibrium ones.

As a result, we have observed that τ by itself do not guarantee a correct definition of one of these regimes. Helped with CAPE, this difference could be easily determined. At the same time, it is also relevant that the hypothesis of previous authors about limit value of τ_c. in order to determine the regimen have been refused because the values were higher than expected.

Then, we have studied the spatial evolution of convective timescale between floods with similar characteristics of CAPE and τ_c in the same season of the year with the intention to observe if τ_c varies in the same way in Catalonia and its surroundings.

The obtained results in this chapter demonstrate low relation between episodes of similar characteristics. This fact have lead us to write several conclusions and eventual recommendations which would have to allow an study with better reliability, obtaining this way conclusive results.

Títol: Analysis of the stability indices during the major floods in the NE Iberian Peninsula since 1871.

Autor: Artur Reynés Martí

Director: David Pino González

Data: 8 de juliol del 2016

Resum

Les inundacions són un dels majors desastres naturals que pateix la població mundial. L'oest del mar Mediterrani és una de les àrees que més pateix aquest fenomen. En aquesta regió han provocat grans danys tant a les infraestructures com als terrenys agrícoles a més a més de ser les causants de centenars de morts. És necessari dur a terme una recerca històrica, hidràulica, hidrològica i meteorològica per veure quin o quins van ser els causant d'aquestes inundacions per tenir la capacitat de preveure-les en un futur i aplicar-hi les mesures necessàries. En aquest estudi ens hem centrat en una petita part del vessant meteorològic d'aquests episodis històrics.

Utilitzant la base de dades "Prediflood, hem seleccionat les 23 inundacions més catastròfiques que han afectat la zona d'estudi entre els anys 1874 i 2000. Després, utilitzant el NOAA 6 hourly 20^{th} Century V2 Reanalysis Data Composites, hem analitzat la "Convective Available Potential Energy" (CAPE) i la seva evolució en el temps, l'escala de temps convectiva (τ_c). Amb el càlcul de la τ_c i les hipòtesis de diversos autors s'ha intentat determinar si els episodis estudiats podien ser catalogats com a episodis d'equilibri convectiu o de no equilibri.

Com a resultat de l'estudi s'ha observat que τ_c per si sol no dóna suficients garanties per determinar un dels dos règims i que, amb l'ajut de la CAPE, aquesta determinació pot ser més senzilla. També cal destacar que les hipòtesis d'autors anteriors sobre el valor límit de τ_c per determinar el règim han quedat descartades a l'obtenir valors molt més alts dels previstos.

Posteriorment, s'ha estudiat l'evolució espacial de l'escala de temps convectiva entre episodis de característiques semblants de CAPE i τ_c en la mateixa estació de l'any amb la intenció d'observar si τ_c varia de la mateixa manera per Catalunya i els seus voltants durant tot l'episodi.

Els resultats obtinguts en aquest apartat demostren poca relació entre episodis de característiques semblants. Aquest fet ens ha portat a escriure un seguit de conclusions i recomanacions a dur a terme que haurien de permetre un estudi amb millor fiabilitat obtenint així resultats més concloents.

Índex

1. Introducció 1
1.1. Situació i conques 3
2. Metodologia 7
2.1. Inundacions estudiades 7
2.2. Règims d'equilibri segons l'escala de temps convectiva 9
2.2.1. Règim d'equilibri convectiu 10
2.2.2. Règim de no equilibri 10
2.2.3. Determinació del règim 10
3. Resultats 11
3.1. Evolució temporal de l'escala convectiva 11
3.1.1. Episodis d'hivern 12
3.1.2. Episodis d'estiu 14
3.1.3. Episodis de tardor 20
3.2. Distribució espacial de l'escala de temps convectiva 31
3.2.1. Episodis d'hivern 32
3.2.2. Episodis d'estiu 36
3.2.2.1. Evolució de τ_c en episodis de no equilibri amb τ_c elevada 37
3.2.2.2. Evolució de τ_c en episodis de no equilibri amb τ_c reduïda 41
3.2.3. Episodis de tardor 45
4. Conclusions 47
5. Referències 49

1. Introducció

Les inundacions són un dels majors desastres naturals que pateix la població mundial. Actualment, més de 800 milions de persones viuen en àrees amb un gran risc d'esdevenir inundades. Són les causants de milers de morts i desapareguts i enormes pèrdues que se situen a prop dels 40 bilions d'euros anuals. (IPCC, 2012 [1]; Munich Re Group, 2003 [2]).

Només a Europa, entre els anys 1998 i 2009, es van comptabilitzar més de 213 inundacions les quals van causar un total de 1126 morts, el desplaçament de mig milió de persones i més de 60 bilions d'euros de pèrdues econòmiques dedicades a la neteja, la reconstrucció i l'ajuda als desplaçats i afectats (EEA, 2010 [3]).

A la zona mediterrània hi trobem grans àrees molt poblades a prop de la costa degut a la creixent urbanització de finals del segle XX. La costa espanyola n'és un gran exemple amb la costa Brava i Daurada a Catalunya o la costa Blanca a Alacant. Amb el boom de la construcció i el turisme, la costa ha quedat sobreedificada. Aquest fet, doncs, ha fet augmentar darrerament les probabilitats de patir inundacions que puguin resultar catastròfiques o, fins i tot, mortals.

Concretament, Catalunya és una regió amb estius càlids on la presència de muntanyes a prop del Mediterrani pot fer augmentar la probabilitat del fenomen de la convecció. També és clar que a finals de primavera, amb el desgel, la neu és un agent important a l'hora d'augmentar el cabal dels rius. Si se li suma una pluja moderada i continuada, tot i la poca probabilitat de tempestes, podria ser suficient per desbordar algun riu i inundar les àrees annexes

Les inundacions són esdeveniments poc freqüents i molt difícils de preveure perquè hi intervenen múltiples factors: les condicions atmosfèriques, l'orografia, el tipus de conca, i l'acció humana, que ha anat modificant el terreny.

En un futur proper el canvi climàtic pot propiciar que les pluges intenses i les possibles inundacions associades que es puguin produir al nord est de la península Ibèrica canviïn la seva freqüència i intensitat. S'estima que la freqüència de pluges intenses a Catalunya i la seva magnitud augmentaran a les properes dècades. Concretament, pel període entre el 2070 i el 2100, els models pronostiquen un descens del 15% de la quantitat total de pluja anual però al mateix temps, un increment del 15-30% del nombre de dies amb forta precipitació (Barrera i Cunillera, 2011 [4]). En zones costaneres com el Maresme on hi ha rieres que són transitables i s'inunden degut a grans quantitats de pluja en poc temps, suposaria grans problemes pels vianants, els vehicles o les cases pròximes si les inundacions fossin cada cop més presents i més fortes.

L'ús de dades històriques i informació de les inundacions que van succeir en el passat pot incrementar els coneixements dels perills que comporten i podria ser molt útil per intentar minimitzar els efectes d'episodis futurs. D'aquesta manera es podria assimilar una situació meteorològica actual a alguna del passat i

poder preveure, salvant les diferències, una possible situació de risc. En aquest sentit, la directiva 2007/60/CE del Parlament Europeu i del Consell, relativa a l'avaluació i gestió dels riscs d'inundació, exigeix als països membres de la UE que avaluïn el risc d'inundació a les regions costaneres i les conques hidrogràfiques mitjançant la recopilació d'informació sobre aquestes zones (per exemple l'historial d'inundacions) i la determinació del grau de probabilitat de que es produeixin inundacions significatives en el futur i les seves conseqüències.

Desafortunadament a Espanya la qualitat de la recopilació sobre inundacions històriques no ha estat mai gens bona. Així doncs la seva utilitat és limitada per intentar preveure noves inundacions així com els riscos que se'n derivin. La base de dades PREDIFLOOD (Barriendos et al., 2014 [5]) intenta millorar l'estudi de les inundacions històriques a Catalunya basant-se en una gran col·lecció d'informació. Per part de les inundacions recollides en aquesta base de dades s'han fet reconstruccions hidràuliques, hidrològiques i meteorològiques que milloraran el coneixement i produiran eines per tenir una millora de la prevenció i agilitzar els processos d'avisos en cas de risc per la població.

Les inundacions poden estar produïdes per precipitacions de diferents característiques en condicions de diferent estabilitat atmosfèrica. Aquesta inestabilitat atmosfèrica o la intensitat de la convecció es poden quantificar amb diversos paràmetres com per exemple la temperatura vertical total (VT) o l'índex K (KI) ([Ruiz-Bellet et al., 2015 [6] i Romero, 2015 [7]). Un dels paràmetres, però, més utilitzats és l'energia potencial de convecció disponible (en anglès *convective available potential energy*) [CAPE]. La CAPE és la quantitat d'energia [J/kg] que tindria una parcel·la d'aire si ascendís verticalment a una certa altura de l'atmosfera degut a la diferència de temperatura respecte la temperatura ambient. Es calcula de la següent manera:

$$\mathrm{CAPE} = \int \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{T_o}} (\mathrm{T_a} - \mathrm{T}) \mathrm{dz} \qquad \textbf{(1.1)}$$

on T_0 és una temperatura de referència, T_a és la temperatura de l'ambient, T és la temperatura de la parcel·la d'aire i g l'acceleració de la gravetat.

La CAPE és, efectivament, la flotabilitat positiva d'una parcel·la d'aire i és un dels indicadors de la inestabilitat atmosfèrica (Moncrieff i Miller, 1976 [8]). Tot i això hi ha autors que discrepen que la CAPE sigui un bon indicador de les propietats convectives de l'atmosfera (Zipser, 2003 [9]). Per aquesta raó, alguns d'ells han definit nous mètodes per calcular la inestabilitat de l'atmosfera a una regió determinada. Un d'aquests nous índexs serà amb el qual es treballarà principalment en aquest treball. Es tracta de l'escala de temps convectiva (en anglès *convective timescale* [τ_c]).

L'escala de temps convectiva relaciona la CAPE generada per processos de llarga escala amb la CAPE que és consumida per convecció (Done et al., 2006 [10] i Molini et al., 2011 [11]). Amb aquesta variable el que es contempla és no

només el valor de CAPE sinó també l'evolució de d'aquesta amb el temps. Aquests autors han demostrat que la inestabilitat de l'atmosfera es pot estimar utilitzant aquest índex.

La τ_c podria ser molt útil a l'hora d'investigar la inestabilitat atmosfèrica perquè a part d'estar totalment relacionada amb la CAPE, indicaria de quina manera aquesta es va consumint. Més endavant, s'explicaran aquests dos processos de consum de la CAPE per així entendre quan parlem d'una atmosfera en equilibri i quan no segons el valor de τ_c.

Els objectius del treball són els següents:

- Estudiar si l'escala de temps convectiva és un bon indicador de la inestabilitat de l'atmosfèrica.
- Visualitzar el comportament de la variable τ_c durant les hores anteriors a la inundació, durant el període de pluges i durant les hores posteriors de l'episodi de pluges. Varia de la mateixa manera en tots els episodis?
- Determinar si el comportament de l'escala de temps convectiva canvia segons l'època de l'any. Segueix un patró diferent a les inundacions de la tardor que a inicis d'estiu o a ple hivern?
- Veure si els valors de l'escala de temps convectiva segueixen, o no, una tendència semblant als episodis d'inundacions de les diferents conques en que es divideix el territori català.

1.1. Situació i conques

En aquest estudi analitzarem les majors inundacions, en termes antròpics, que s'han produït a Catalunya, una regió situada al nord-est de la península Ibèrica. És una regió d'uns 32000 km^2 molt complexa orogràficament. Està delimitada pel mar Mediterrani al sud i a l'est amb una costa d'alguns centenars de quilòmetres. Al nord hi ha a un gran sistema muntanyós, els Pirineus, amb màxims que sobrepassen els 3000 m. A més a més, Catalunya té la influència de l'oceà Atlàntic, que sovint porta fronts freds.

La regió té un clima temperat, però la influència del Mediterrani i dels vents i fronts provinent del nord fan que el temps sigui canviant. Als mesos càlids (estiu i principis de tardor) l'aire humit i calent que entra des del Mediterrani cap al territori, al trobar-se amb sistemes muntanyosos com els Pirineus o les serralades costaneres poden contribuir a afavorir la inestabilitat mitjançant la convecció i la formació de núvols de desenvolupament vertical. Aquesta situació afavoreix la possibilitat d'aparició de núvols convectius, que poden produir pluges i ruixats de caràcter fort.

A continuació es presenta un mapa del nord est de la península Ibèrica. Seguint Pino et al. (2015) [12], s'ha dividit la regió en deu unitats situades a Catalunya més una onzena unitat situada al Pirineu aragonès. Aquesta àrea, a

l'Aragó, va patir una de les inundacions més desastroses de la història recent d'Espanya al (Gracia i Torrontegui, 1996 [13]).

Aquestes onze unitats hidrològiques són les següents:

1. Rieres de la costa nord.
2. Rieres de la costa central.
3. Rieres de la costa sud.
4. Sistema de la Tordera i el Besòs.
5. Sistema Foix, el Gaià i el Francolí.
6. Sistema de la Muga i el Fluvià.
7. Riu Ter.
8. Sistema del Llobregat.
9. Sistema del Segre i la Noguera, els majors afluents del riu Ebre.
10. Capçalera de la Garona, que continua cap a França.
11. Rieres d'Aràs.

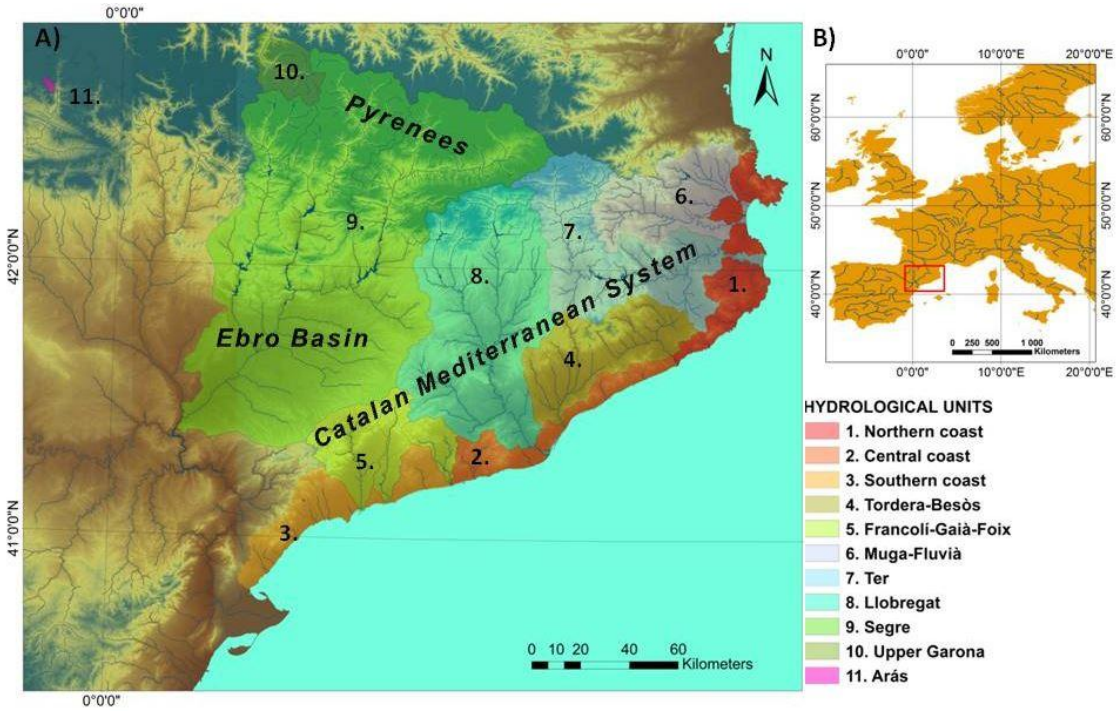


Fig. 1.1 Unitats hidrològiques utilitzades per aquest projecte (Pino et al., 2015 [12])

Les conques situades als indrets on durant l'hivern neva, són més propenses a patir inundacions als mesos entre el final de la primavera i l'inici de l'estiu degut al desglaç. Si a aquest fet se li afegeix un episodi de pluja continuada, podria ser una combinació adient per a una possible inundació.

Per altra banda, a les zones costaneres on moltes de les seves rieres i rierols són seques gairebé sempre, excepte quan hi ha pluges torrencials, és factible que les inundacions es produeixin en èpoques amb forts corrents convectius, amb tempestes i pluges torrencials.

A continuació es presenta una taula amb algunes característiques de cadascuna de les conques (Pino et al., 2015 [12]).

Taula 1.1 Característiques de les conques utilitzades per aquest projecte (Pino et al., 2015 [12])

Unitat hidrològica	Regió	Àrea (km^2)	Llargada corrent principal (km)	Punt més alt de la unitat hidrològica (m)	Règim fluvial	Cabal mig del corrent principal ($m^3 \cdot s^{-1}$)
1. Costa nord	Costa	325	35	800	Intermitent – efímer	-
2. Costa central	Costa	75	20	500	Intermitent – efímer	-
3. Costa sud	Costa	250	35	950	Intermitent – efímer	-
4. Besòs – Tordera	Costa	1935	55	1395	Pluja	5
5. Francolí – Gaià – Foix	Costa	1570	85	800	Pluja	1
6. Muga – Fluvià	Costa	1980	95	1214	Pluja	10
7. Ter	Pirineu	2010	210	2400	Pluja i neu	25
8. Llobregat	Pirineu	4950	170	1295	Pluja i neu	20
9. Segre	Pirineu	12435	2655	2843	Pluja i neu	100
10. Capçalera Garona	Pirineu	640	45	1870	Pluja i neu	20
11. Aràs	Pirineu	19	8	2000	Pluja i neu	No data

2. Metodologia

La base de dades PREDIFLOOD (Barriendos et al., 2014 [5]) té l'objectiu de classificar les inundacions produïdes a Catalunya entre els segles XI i XXI mitjançant una recerca a través de fonts locals, literatura científica, informes tècnics o fonts instrumentals entre altres. En aquests moment conté 4032 casos d'inundacions en 1474 esdeveniments.

Les inundacions es classifiquen depenent dels danys i les destrosses que han causat i que se separa en cinc nivells diferents:

- 1: una inundació normal: sense desbordament ni danys.
- 2: sense desbordament, causant danys menors.
- 3: una inundació extraordinària: amb desbordament i danys.
- 4: una inundació extraordinària: amb desbordament, i danys importants.
- 5: una inundació catastròfica: amb desbordament, causant danys importants i també destrucció.

Algunes de les inundacions incloses a la base de dades poden ser reconstruïdes. Aquesta reconstrucció té 3 parts diferenciades: la reconstrucció hidràulica, la reconstrucció hidrològica i la reconstrucció meteorològica.

2.1. Inundacions estudiades

Els casos de fortes inundacions en els que es prestarà atenció en aquest estudi entre l'any 1874 i el 2000 són 23. Han estat seleccionades considerant els següents criteris dels investigadors Jordi Tuset (Universitat de Lleida) i Mariano Barriendos (Universitat de Barcelona).

- S'han escollit els dos episodis més catastròfics de cada una de les unitats hidrològiques en que s'ha dividit el territori estudiat. És a dir, les inundacions que han provocat més danys a les infraestructures i també i han causat més mortalitat. Amb aquest criteri l'episodi de 1994 apareix dues vegades ja que a l'interval estudiat la zona es va inundar i recuperar dues vegades. Per això s'ha escollit també el següent episodi més catastròfic per una de les unitats, juny de l'any 2000. Precisament aquest episodi és l'únic del qual en tinc record personalment ja que, al poble d'Esparreguera (Baix Llobregat), on visc, les riuades i inundacions van causar la caiguda d'un pont a l'autovia A2 provocant dues morts. Tots aquests episodis estan marcats en vermell a la Taula 2.1.

- A més, s'han inclòs dos episodis que afecten els Pirineus (Noguera Pallaresa, 1894 i riu Garona, 1963 marcats amb groc a la Taula 2.1. ja que amb el criteri del primer punt no havia resultat cap episodi representatiu de la zona. En aquesta zona són molt comuns els episodis de d'inundacions sobtades (*flash floods*).

- Finalment s'ha afegit l'episodi de la inundació de la zona de Biescas al Pirineu aragonès perquè també es considera situat al nord est de la península Ibèrica. Aquest episodi va causar 87 morts i està marcat de color verd a la Taula 2.1.

El criteri per fer la selecció és antròpic ja que els episodis triats són els que van causar més destrucció a les construccions humanes i més morts. Per aquesta raó, les inundacions en zones no poblades no formen part d'aquest estudi tot i que potser podrien haver estat més violentes i més fatals si s'haguessin produït en zones poblades.

Taula 2.1 Unitats hidrològiques afectades per cada inundació (Romero, 2015 [7])

	Flood date	Hydrological unit										
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	23/09/1874											
2	22-24/06/1875											
3	24-25/07/1894											
4	04/07/1897											
5	15-18/01/1898											
6	21/09/1901											
7	21-24/10/1907											
8	29-30/09/1913											
9	06-07/10/1919											
10	11-17/10/1932											
11	25-28/10/1937											
12	17-18/10/1940											
13	15/12/1943											
14	02-12/10/1951											
15	25/09/1962											
16	03/08/1963											
17	20-21/09/1971											
18	05-07/01/1977											
19	06-08/11/1982											
20	28/09-05/10/1987											
21	10-11/10/1994											
22	07/08/1996											
23	10/06/2000											

Com s'ha dit a la introducció, en aquest estudi ens centrarem en el paràmetre de l'escala de temps convectiva (τ_c).

Degut als dubtes d'algun membre de la comunitat científica sobre l'eficiència de la CAPE coma a indicador de la inestabilitat, Done et al. (2006) [10] va introduir l'escala de temps convectiva,

2.2. Règims d'equilibri segons l'escala de temps convectiva

Done et al. (2006) [10] proposa que l'escala de temps convectiva és capaç de determinar, depenent del seu valor, quin dels dos règims predomina en cada episodi d'inundacions.

Aquesta escala de temps convectiva queda definida com la raó a la qual la CAPE està sent consumida per la convecció. També ens indica com varia la CAPE en funció del temps. Recordem que la CAPE es calcula de la següent manera:

$$\mathrm{CAPE} = \int \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{T_o}} (\mathrm{T_a} - \mathrm{T}) \mathrm{dz} \quad \textbf{(2.2)}$$

Done et al. (2006) [10] defineix l'escala de temps convectiva com la relació entre la CAPE i la seva evolució al llarg del temps utilitzant la següent fórmula:

$$\tau_c = \frac{\mathrm{CAPE}}{\left(\frac{\mathrm{dCAPE}}{\mathrm{dt}}\right)} \quad \textbf{(2.3)}$$

A partir d'aquesta escala es proposen dos règims d'inestabilitat atmosfèrica diferents.

2.2.1. Règim d'equilibri convectiu

El primer règim, anomenat d'equilibri convectiu, està caracteritzat perquè hi ha un balanç entre la generació de CAPE per fenòmens de gran escala i la destrucció de CAPE degut a la precipitació. La CAPE en aquest primer règim serà baixa degut al seu consum per convecció continuat. És per aquest motiu que es parla d'un règim d'equilibri (Arakawa i Schubert, 1974 [14]; Emanuel et al., 1994 [15]); Molini et al,, 2011 [11] i Done et al., 2006 [10]).

2.2.2. Règim de no equilibri

En aquest segon règim, anomenat règim de no equilibri es genera CAPE com a resultat de processos de gran escala i no és consumida de manera continuada per precipitació. Es a dir, la CAPE es genera durant una període de temps que pot ser des d'hores fins a algun dia i es consumeix de manera ràpida, un cop CIN desapareix, com a resultat de precipitacions intenses. En aquest règim, CAPE aconsegueix valors molt més alts que en el d'equilibri (Charney i Elyassen, 1964 [16]; Ooyama, 1971 [17] i Romero, 2015 [7]).

2.2.3. Determinació del règim

En aquest estudi s'indicarà l'escala convectiva en hores. Com que s'estableixen aquests dos tipus de règims, és obvi que a partir d'algun valor de τ_c límit serà el punt on deixarem de parlar d'un règim en equilibri per passar a parlar d'un règim de no equilibri. Done et al. (2006) [10] posa aquest llindar inicialment a les 24 hores i ho considera així argumentant que una l'escala sinòptica típica es mou sobre les 24 hores o més. Tot i això ja proposa la rebaixa del límit fins les 6 hores. L'argument és que sobre el terreny els canvis associats al cicle diürn són més apropiats tractar-los amb una escala de 6 hores. Molini et al. (2011)

[11] conclou que els canvis que hi ha relatius amb la inestabilitat i la convecció, que poden produir grans quantitats de CAPE, es produeixen durant el cicle diürn. Per tant les 24 hores proposades anteriorment no són adequades i continua amb aquest llindar a les 6 hores.

Zimmer et al. (2011) [18] postula que hi ha un llindar màxim per diferenciar la precipitació dels dos règims però no es pot reduir tota la incògnita a un sol nombre. Si l'escala de temps convectiva està entre 3 i 12 no es pot decidir de quin dels dos règims es tracta. Valors més alts significarien que es tracta d'un episodi de règim de no equilibri i valors menys significarien episodis de règim estacionari. Segons Molini et al. (2011) [11], un episodi d'equilibri donaria una precipitació de més durada i en una superfície major que no pas en un episodi de no equilibri, on aquesta precipitació seria en un temps menor, de més intensitat i en un espai més reduït.

La CAPE s'ha obtingut de la base de dades del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), específicament del Twentieth Century Reanalysis, que conté aquest paràmetre des de 1851 fins a 2012 (Compo et al., 2011 [19]) amb una resolució temporal de 6 h i espacial de 2ºx2º. A partir de l'evolució de CAPE es calcula l'escala de temps convectiva.

Degut a la resolució horitzontal i el domini escollit (des dels 30ºN als 60ºN de latitud i des dels 20ºO als 20ºE de longitud), els valors de CAPE per a cada interval de temps es distribueixen a una matriu de 16 files per 21 columnes. Estudiarem l'evolució temporal de CAPE i de l'escala convectiva a tot el domini i en un punt concret, que considerarem representatius de Catalunya. Aquest punt està a 42ºN i 2ºE. L'evolució temporal en cada un dels 23 episodis seleccionats s'analitzarà al següent apartat de resultats.

3. Resultats

3.1. Evolució temporal de l'escala convectiva

En aquest primer apartat de resultats s'ha analitzat l'evolució de l'escala de temps convectiva amb cadascun dels episodis escollits anteriorment. Com s'ha dit anteriorment, s'ha calculat aquest índex en un punt central del territori de Catalunya, concretament a les coordenades 42ºN i 2ºE.

Tot seguit es presenten un recull de gràfiques de diferents episodis estudiats. En elles es representa l'escala convectiva en funció del temps en hores. L'eix horitzontal està separat per intervals de 24 unitats que representen cada un dels dies estudiats. A l'haver-hi dades cada sis hores hi ha representats 4 punts en cada interval. També es poden observar dues dates. La de l'esquerra del gràfic és la data en la que comença l'estudi a les 00:00 UTC d'aquell dia. La de la dreta és la data de l'últim dia sencer de l'estudi.

Els valors de l'escala de temps convectiva representats a la gràfica es poden trobar de dos colors: grana i blau. El color grana, situat al centre de les

representacions, significa que durant aquell interval de temps les coordenades 42ºN i 2ºE van restar inundades per l'aigua que va caure. El color blau, en canvi, situat als extrems de les gràfiques, representa el contrari.

La diferenciació d'aquestes dues zones a les gràfiques és una ajuda visual per a la seva interpretació. Així es pot visualitzar com l'escala de temps convectiva varia les hores abans a la inundació, o sigui, a les hores on s'ha hagut de produir un canvi de temps que ha donat lloc al negament. És clar que els valors de T_c en aquests punts haurien de ser diferents als valors obtinguts a l'inici de l'estudi, ja siguin 48 o 72 hores abans de considerar la inundació del territori.

3.1.1. Episodis d'hivern

Dels 23 episodis que s'estudien n'hi ha 4 que tenen lloc durant els mesos d'hivern (desembre, gener i febrer). Són els de 1898, 1932, 1943 i 1977. Dos d'ells són a mitjans de desembre (1932 i 1943) i els altres dos succeeixen a mitjans del mes de gener (1898 i 1977).

En aquests mesos d'hivern no s'observa una tendència clara en el comportament de la variable segons quan es produeix la inundació i tampoc en quins són els valors màxims i mitjans que s'obtenen en cada cas. Les figures que apareixen seguidament (3.1-3.4) corresponen als episodis del mes de gener de 1898 i 1977 en les quals es demostra aquesta falta de tendència.

Com es pot observar, ni tan sols els episodis del mateix mes tenen un comportament que es podria considerar semblant.

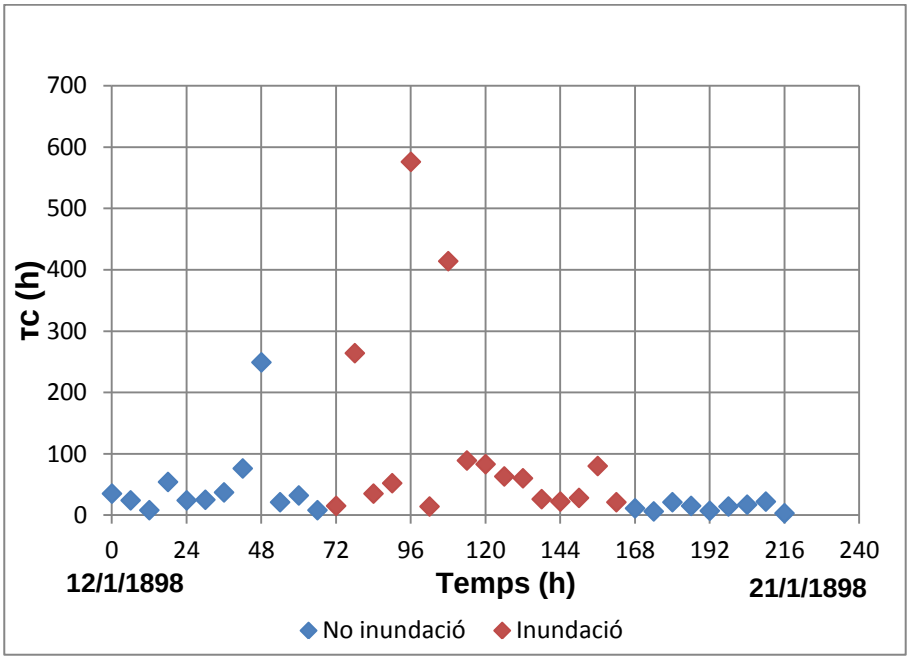


Fig. 3.1 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1898

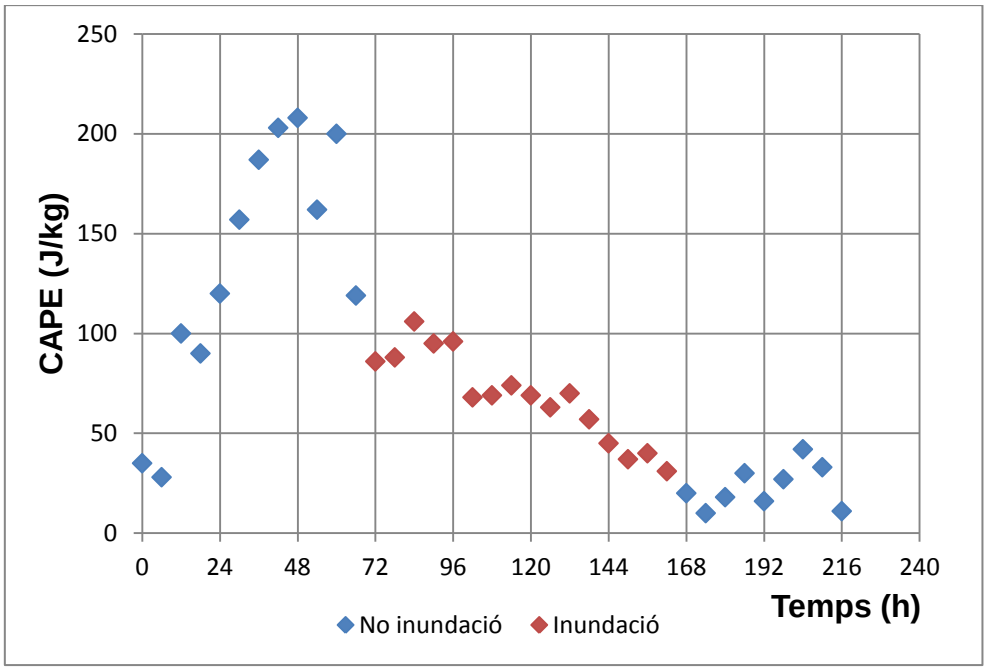


Fig. 3.2 Evolució de CAPE a l'episodi del 1898

La CAPE en ambdós casos es mou per sota dels 200 J/kg tot i que en l'episodi de 1898 (Fig. 3.2) aquesta s'hi aproxima molt. Això ens indicaria que en aquest episodi estaríem parlant d'un episodi més proper al règim de no equilibri, mentre que el de 1977 (Fig. 3.4) seria d'equilibri. L'escala de temps convectiva és molt variable però en l'episodi on la CAPE és més elevada (Figs. 3.1 i 3.2) aquesta també aconsegueix valors molt més elevats.

Pel que fa a l'escala de temps convectiva, la única característica que es manté en ambdues figures (Figs. 3.1 i 3.3) és el seu comportament els dies abans de considerar la zona inundada, on hi ha valors entre 0 i 50 h tret d'una excepció al segon dia a la Fig. 3.1. A partir d'aquí, però, no hi ha cap patró que esdevingui igual. Ni tan sols l'escala de temps convectiva un cop passada la inundació és igual ens els dos casos. A la Fig. 3.1 els valors de τ_c estan molt propers a les 0 h mentre que a la Fig. 3.3 els valors s'aproximen més a les 50 h.

Els màxims de τ_c al 1898 (Fig. 3.1) són molt més elevats superant les 500 h mentre que a l'episodi de 1977 (Fig. 3.3) τ_c no supera les 75 h. També cal destacar la durada de la inundació, sent de quatre dies al 1898 i de dos dies i mig al 1977.

Una primera observació que es pot fer mirant aquests casos dels mesos d'hivern és que una CAPE elevada es relaciona amb una τ_c elevada i, a priori, indicaria que es tracta d'un episodi de no equilibri. Pel que fa a la distinció dels dos règims tenint en compte únicament els valor de τ_c en els intervals previs i a l'inici de considerar la zona inundada, es podria concloure que una escala de temps convectiu de més d'un centenar d'hores significaria trobar-se en un episodi de règim de no equilibri.

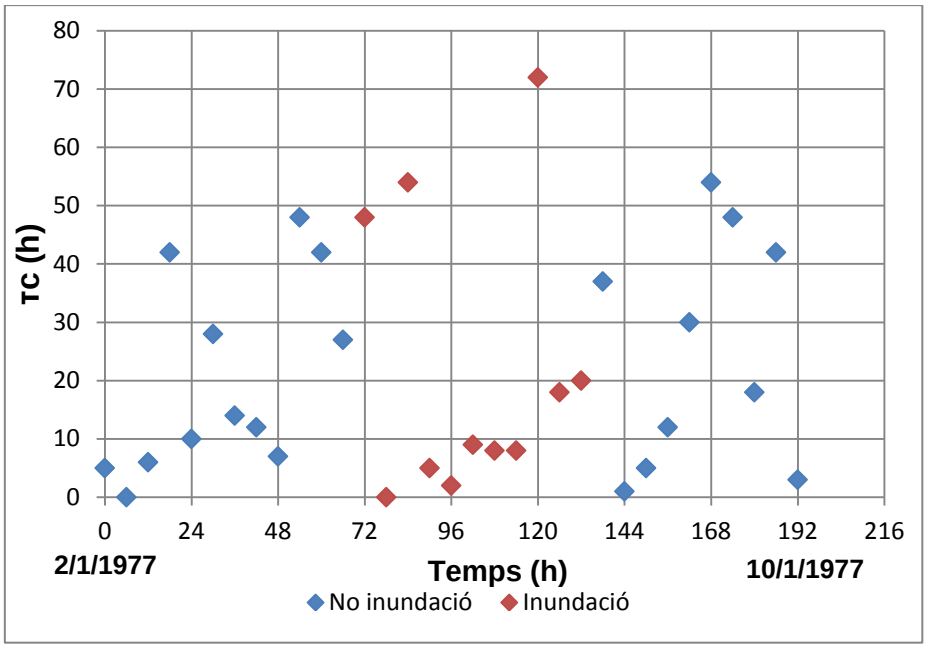


Fig. 3.3 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1977

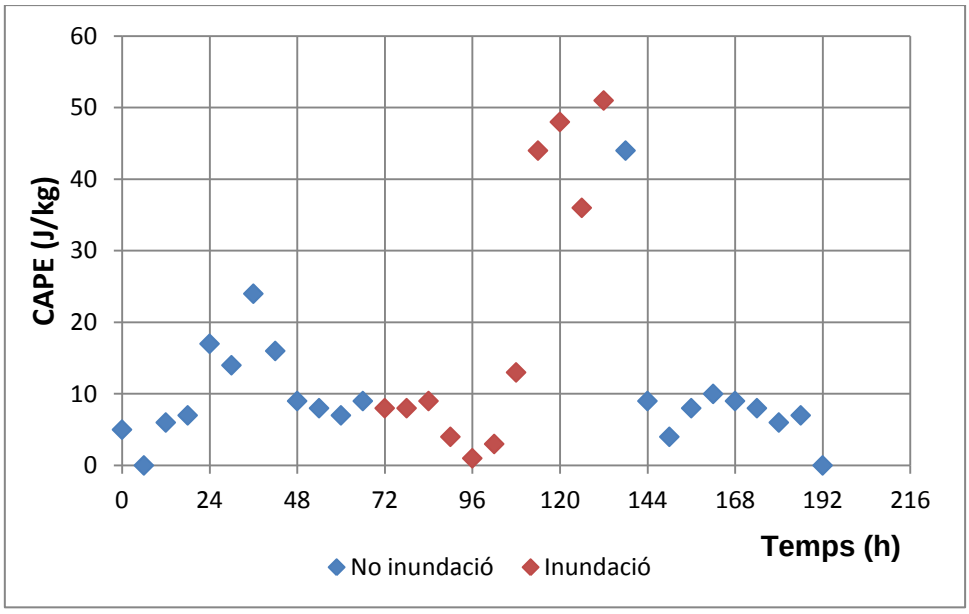


Fig. 3.4 Evolució de CAPE a l'episodi del 1977

3.1.2. Episodis d'estiu

Ens els mesos de juny, juliol i agost es produeixen sis episodis: 1875, 1894, 1897, 1963, 1996 i 2000.

N'hi ha dos a cada mes. Els de 1875 i 2000 (Figs. 3.11 i 3.12) són del mes de juny, els del 1894 (Figs. 3.7 i 3.8) i 1897 (Figs. 3.5 i 3.6) són del mes de juliol i

els del 1963 (Figs. 3.9 i 3.10) i 1996 tenen lloc al mes d'agost. Cal destacar que cinc dels sis episodis tenen lloc a conques situades a l'alta muntanya (Pirineus) mentre que el restant (juny del 2000) va afectar a la part mitja i baixa del Llobregat així com a la costa del sud de Tarragona.

Tal i com passa als mesos d'hivern és molt complicat, a primer cop d'ull, trobar una tendència que es mantingui estable ja no només en tots els episodis sinó en els que tenen lloc al mateix mes i a la mateixa conca.

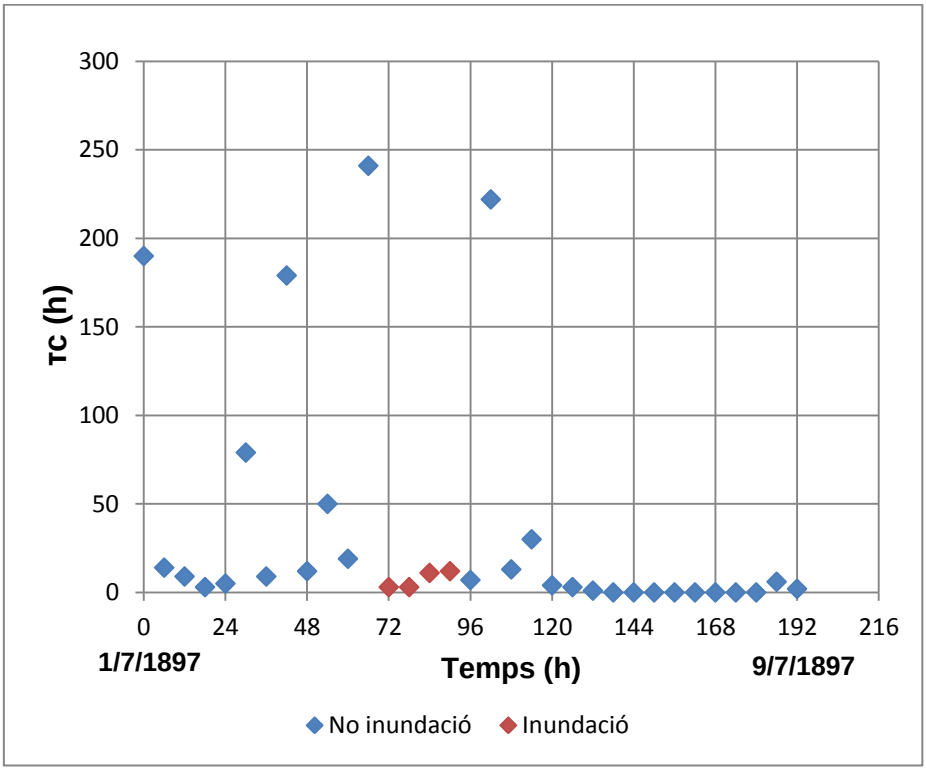


Fig. 3.5 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1897

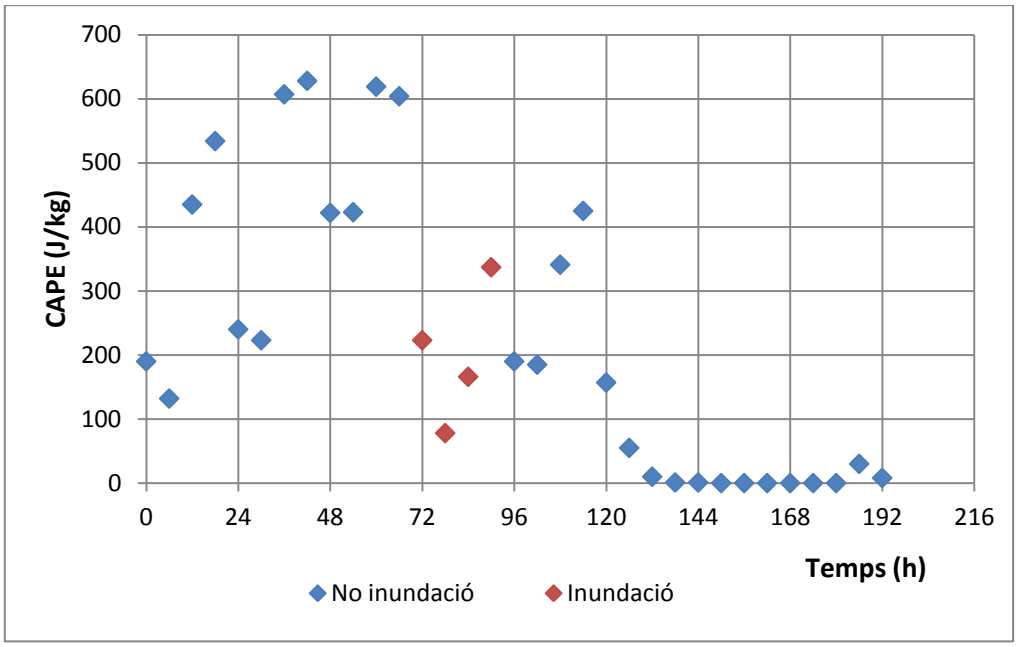


Fig. 3.6 Evolució de CAPE a l'episodi del 1897

En qualsevol cas parlem d'inundacions molt més curtes comparades amb les dels mesos d'hivern. Tots els episodis són de 24 hores excepte el de 1894 que té una durada de 48 hores.

Si comparem les gràfiques de CAPE dels mesos d'estiu amb els d'hivern, observem que els episodis del mesos més freds (Figs. 3.2 i 3.4) tenen valors de CAPE més reduïts pel que fa als mesos més càlids. Per exemple, als episodis de 1898 (Fig. 3.2) i 1977 (Fig. 3.4) la CAPE màxima es troba a 200 J/kg i 50 J/kg respectivament. En canvi, al 1897 (Fig. 3.6) el màxim de CAPE es troba més amunt dels 600 J/kg o al 1963 (Fig. 3.10), que aquest màxim supera en escreix els 1100 J/kg.

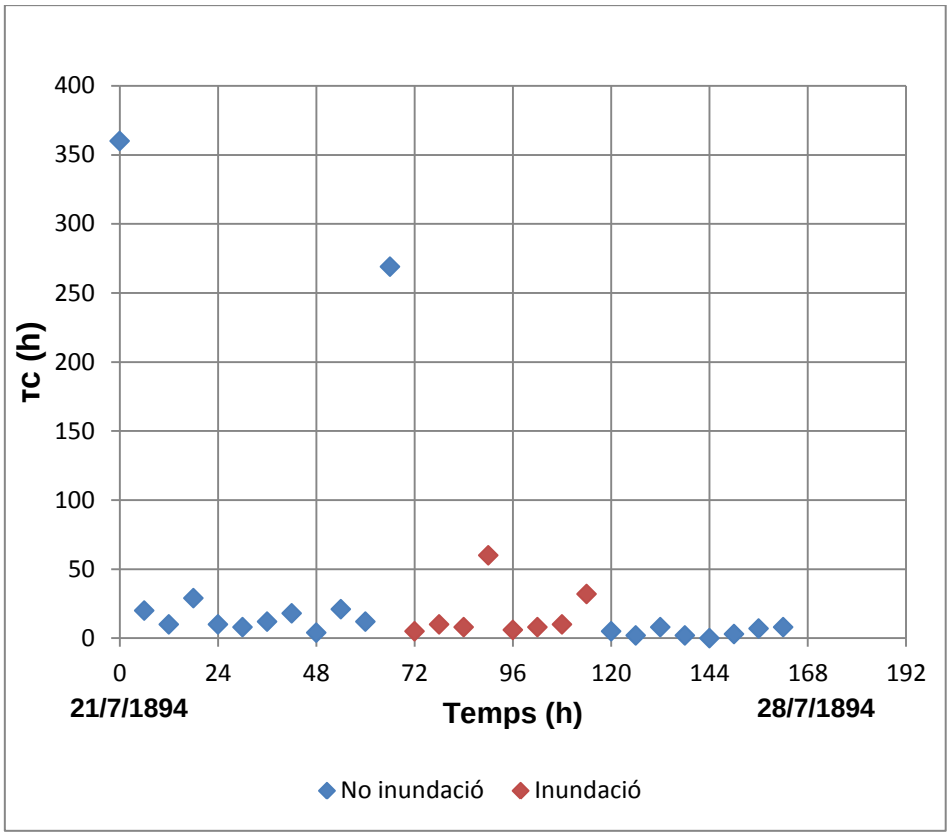


Fig. 3.7 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1894

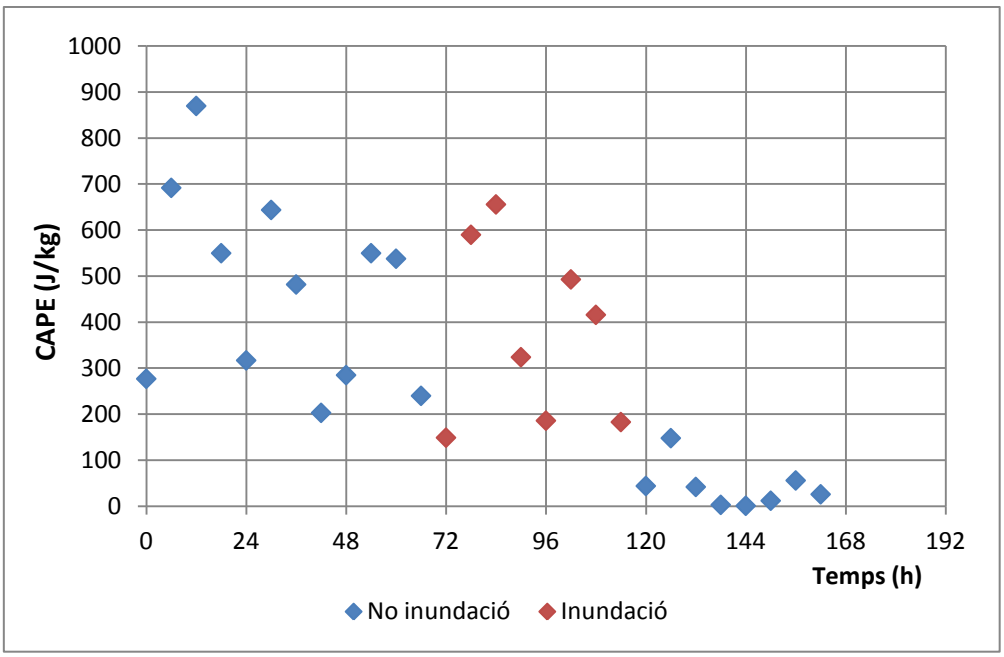


Fig. 3.8 Evolució de CAPE a l'episodi del 1894

Podríem concloure, també, exceptuant l'episodi de 1897 (Fig. 3.5), que en tots ells el comportament de T_C després de la inundació és sempre igual, mantenint-

se força constant i sempre per sota dels nivells de la variable quan la zona estava inundada.

Pel que fa al comportament de τ_c a les hores i dies previs anteriors a haver-hi la zona inundada trobem diferents tendències. Les del 1897 (Fig. 3.5) i 1996 tenen valors alts relatius però sense ser continus des de dos dies abans de la inundació. En els altres quatre estudis τ_c es manté relativament molt baixa amb un màxim que és més o menys pronunciat segons el cas depenent de l'episodi. Per exemple, és molt més abrupte al 1894 (Fig. 3.7), quan passa d'unes 25 hores a unes 270 hores, que no pas al 1963 (Fig. 3.9) o al 2000 (Fig. 3.11) quant l'augment és com a molt de dues desenes.

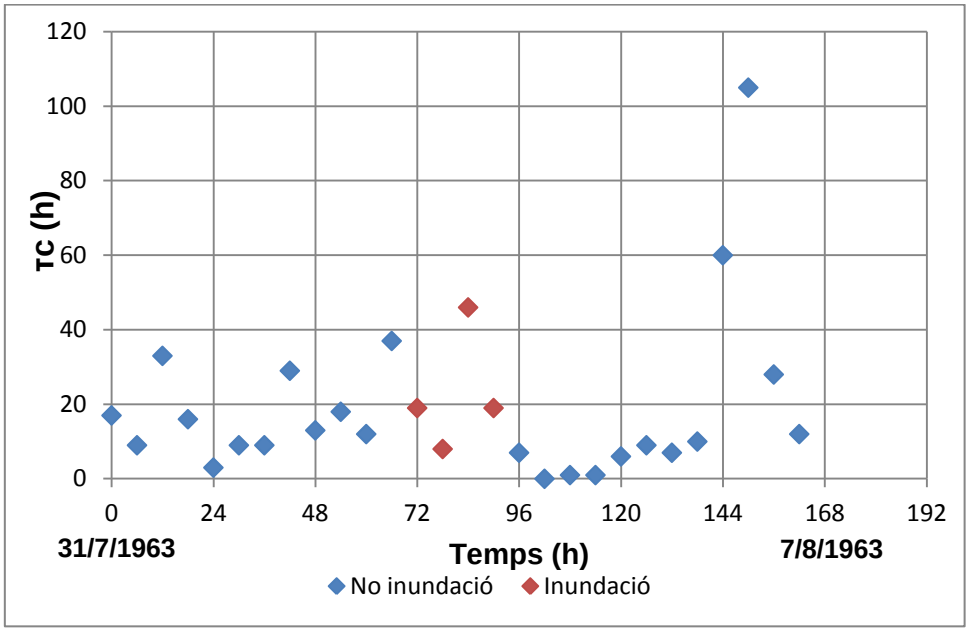


Fig. 3.9 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1963

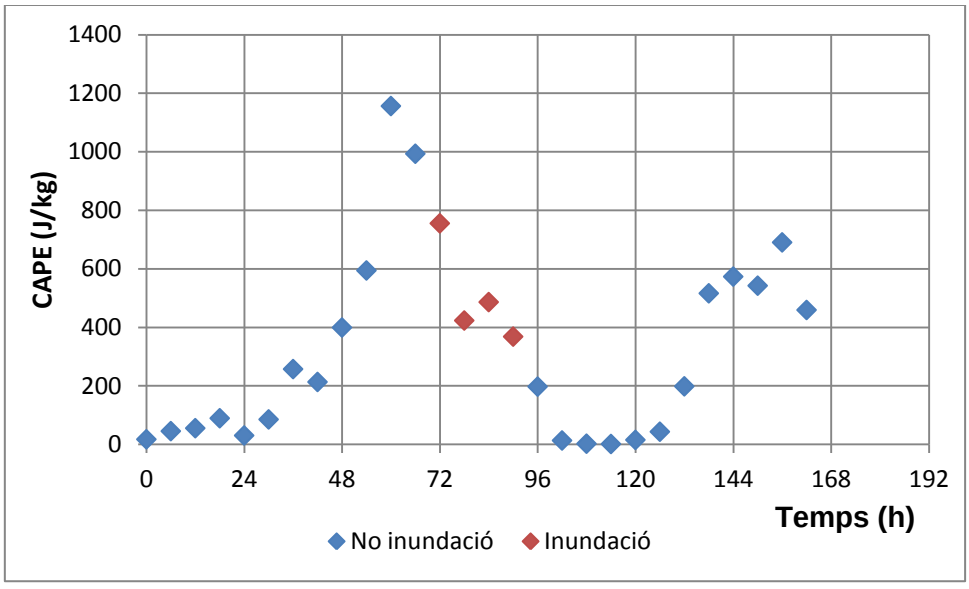


Fig. 3.10 Evolució de CAPE a l'episodi del 1963

Pel que fa a la relació de cada un dels episodis amb un dels dos règims (equilibri convectiu o no equilibri), ara trobem diferències respecte les conclusions parcials extretes als mesos d'hivern. En els episodis de 1963 (Figs. 3.9 i 3.10) i 2000 (Figs. 3.11 i 3.12) l'escala de temps convectiva és força reduïda no superant mai les 50 hores. Aquest fent comparat amb els processos de l'hivern indicaria que parlem d'un règim més proper a l'equilibri. Tot i això, la CAPE és molt elevada superant els 600 J/kg. A l'episodi de 1897 (Figs. 3.5 i 3.6) la τ_c és més elevada i se situa per sobre de les 150 hores mentre que en l'episodi de 1894 (Figs. 3.7 i 3.8) aquesta és relativament baixa (vora les 50 hores) però té un màxim de 250 just abans de la inundació. La CAPE a aquí segueix sent elevada movent-se entre els 500 i els 600 J/kg.

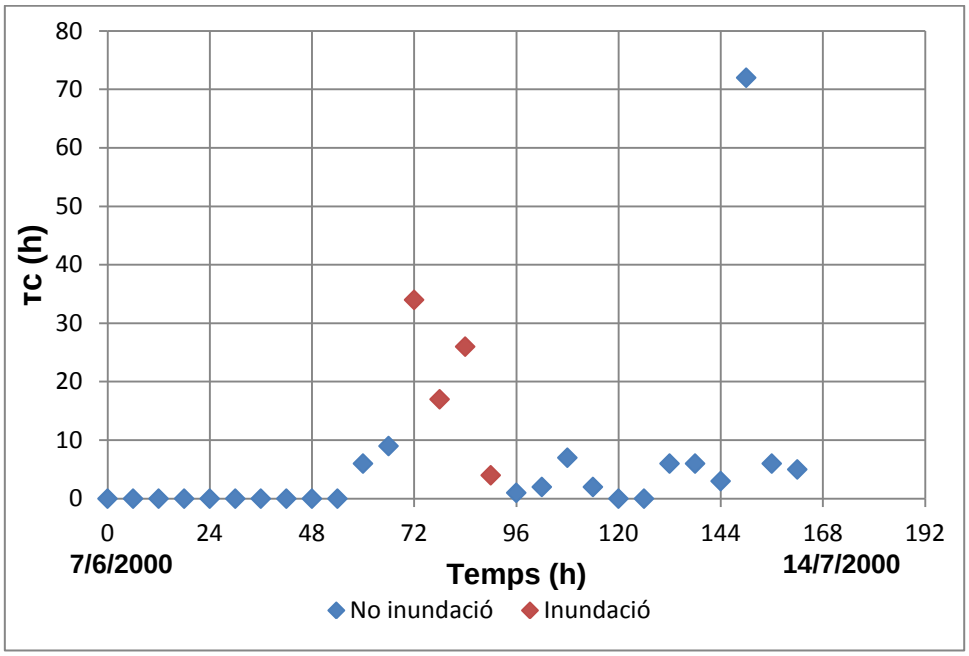


Fig. 3.11 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 2000

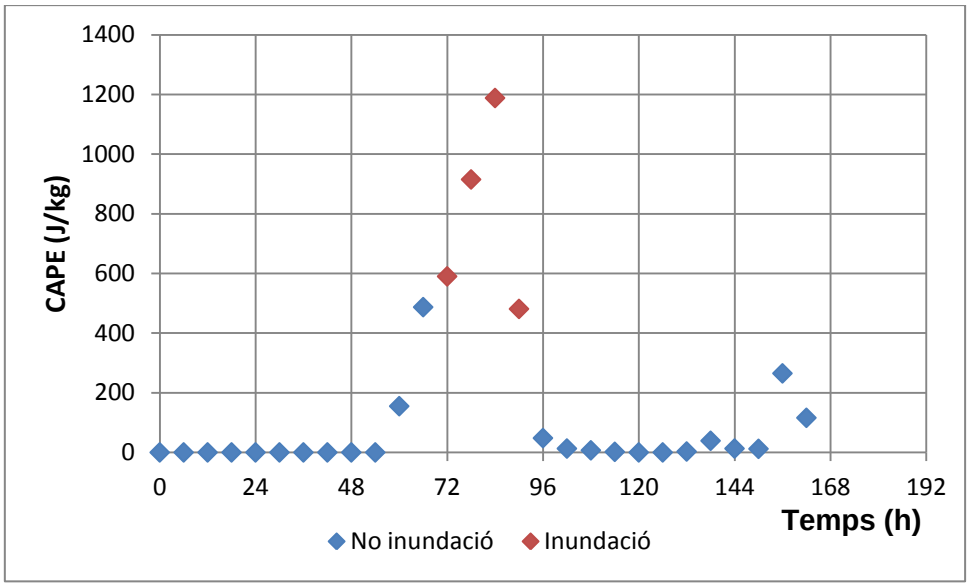


Fig. 3.12 Evolució de CAPE a l'episodi del 2000

Com a última característica destacable cal dir que els màxims de l'escala de temps convectiva es troben a la part de la gràfica de zona no inundada, ja sigui abans o després d'aquesta. Aquests màxims varien entre les 100 hores i les 300 hores. En els intervals de les zones inundades, aquest màxim relatiu se situa per sota de les 50 hores excepte a l'episodi d'Arás al 1996, on augmenta fins quasi bé les 100 hores.

Vistos aquests resultats ara és més complicat desxifrar quin episodi segueix cada règim. Mirant únicament l'escala de temps convectiva, per la diferència d'hores que hi ha, els episodis de 1963 i 2000 respondrien a l'equilibri convectiu mentre que el de 1897 seria de no equilibri.

Si es combinen les dues variables, CAPE i τ_c, els episodis de 1897 i 1894 presenten característiques més semblants amb valors elevats d'ambdues variables. Així doncs, aquests dos episodis serien considerats de no equilibri. Pel que fa al 1963 i 2000, és més complicat de respondre ja que τ_c és relativament baixa (<50 h) però la CAPE és gran (>800 J/kg). Aquesta CAPE és inclús major que els episodis de 1897 i 1894 i haurien de respondre al règim de no equilibri tot i els reduïts valors de l'escala de temps convectiva.

3.1.3. Episodis de tardor

Als mesos de tardor (setembre, octubre i novembre) hi ha 13 episodis: sis d'ells tenen lloc al mes de setembre (1874 (Figs. 3.13 i 3.14), 1901 (Figs. 3.19 i 3.20), 1913 (Figs. 3.21 i 3.22), 1962 (Figs. 3.25 i 3.26), 1971 (Figs. 3.17 i 3.18) i 1982) mentre que els altres set succeeixen al mes d'octubre (1907, 1919 (Figs. 3.15 i 3.16), 1937 (Figs. 3.23 i 3.24), 1940, 1951 1987 i 1994).

Com a observació i tenint en compte els casos d'inundacions que tenen lloc a l'estiu, en aquest cas, dels 13 episodis només n'hi ha un, el de 1937, que

únicament afecta en zones de muntanya. N'hi ha d'altres com els del 1982 i el 1994 que també afecten zones de muntanya com la conca del Segre però també comporten afectació a altres conques més properes a la costa.

Igual que en els mesos de primavera i estiu, és difícil trobar una tendència clara de l'escala de temps convectiva que es mantingui al llarg de tots els episodis. A més a més, al treballar encara amb més casos, encara es dificulta més la tasca. Es poden observar tendències relativament regulars en tres, quatres o, fins i tot, cinc episodis. Tot seguit se n'intentaran mostrar algunes.

El episodis dels mesos de tardor tenen durades diverses. Cal destacar que només l'episodi del 1901 té una durada de 24 hores, que era la majoritària a l'estiu. Ara, però, la majoria duren més de dos dies arribant, fins i tot, als cinc dies (1907).

Segons el comportament de τ_c a 42ºN i 2ºE podem observar dues tendències majoritàries a les hores prèvies dels episodis d'inundacions i a l'inici de considerar la zona inundada.

La primera corrent ens indica que als intervals previs o just quan comença la inundació existeix un màxim relatiu de τ_c. Són màxims que no superen les 100 hores excepte en un episodi (1874). Aquests episodis són els de 1874 (Figs. 3.13 i 3.14), 1919 (Figs. 3.15 i 3.16), 1971 (Figs. 3.17 i 3.18) i 1994. A continuació es mostren aquests exemples.

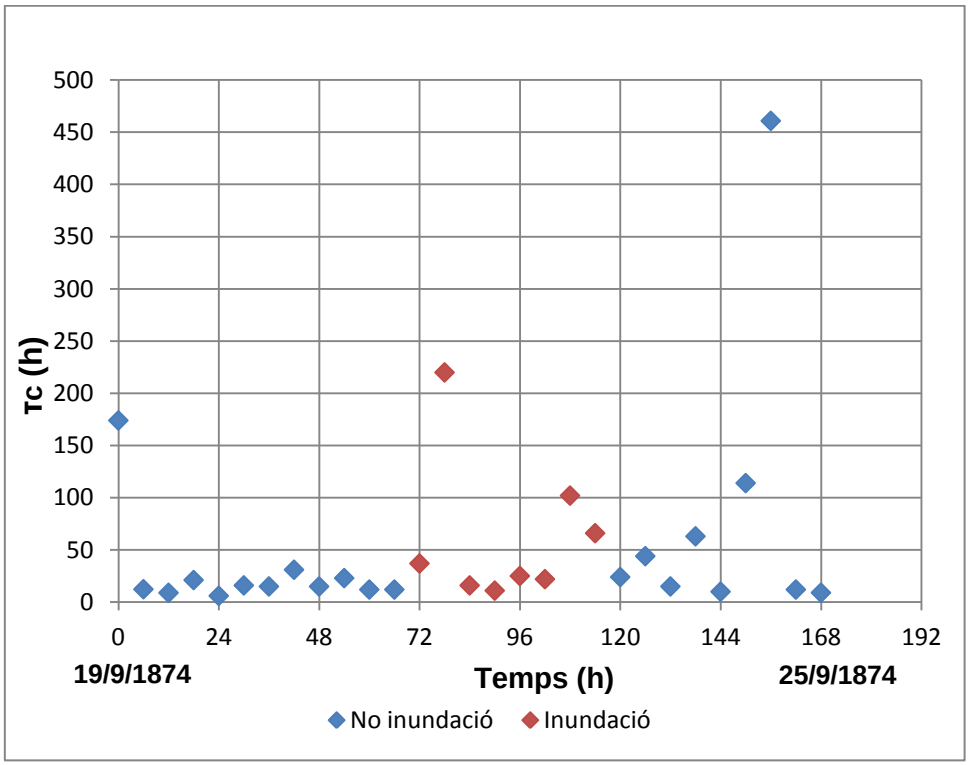


Fig. 3.13 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1874

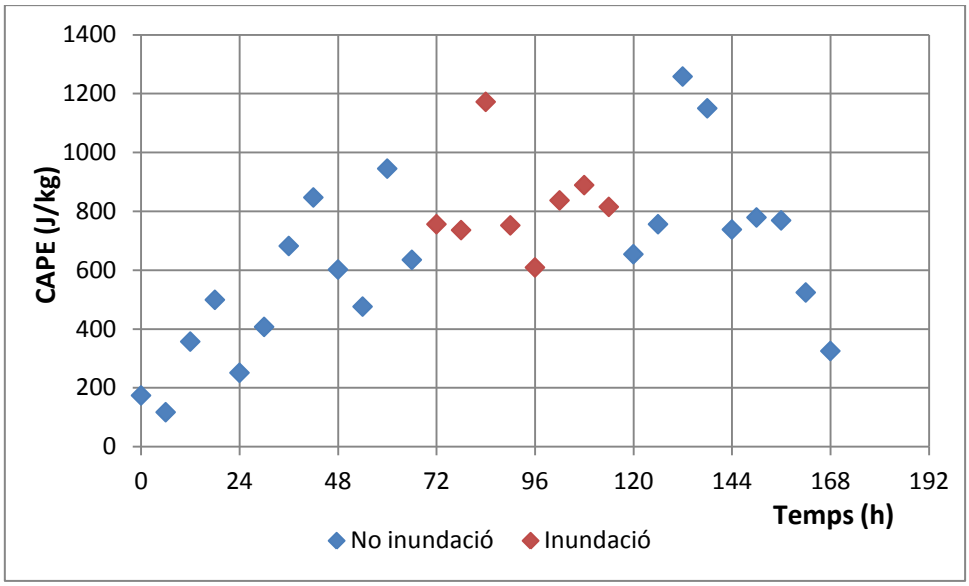


Fig. 3.14 Evolució de CAPE a l'episodi del 1874

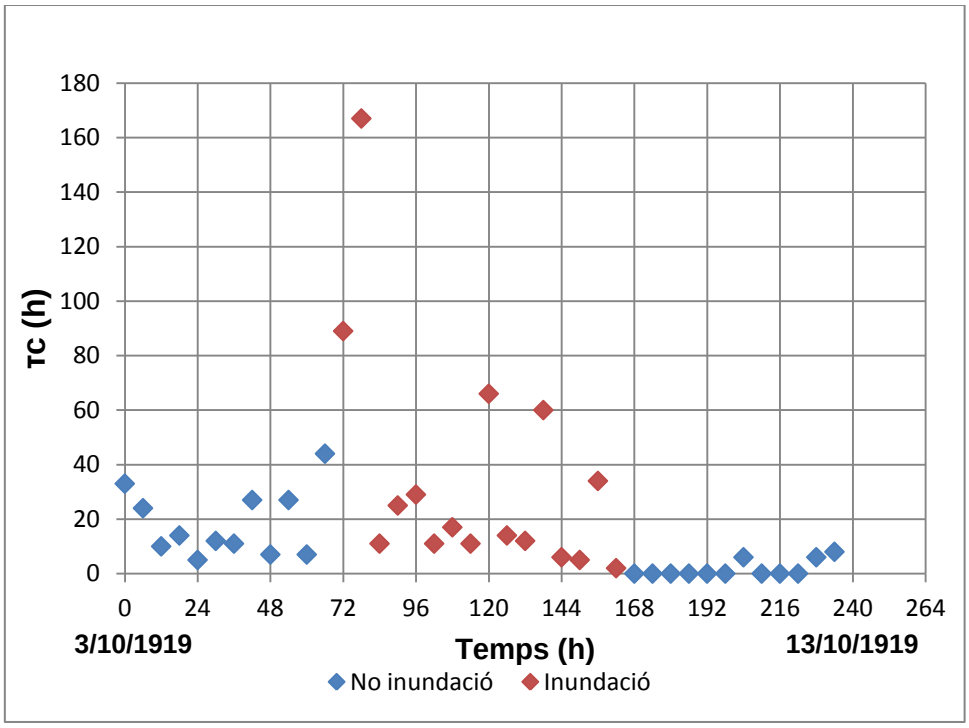


Fig. 3.15 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1919

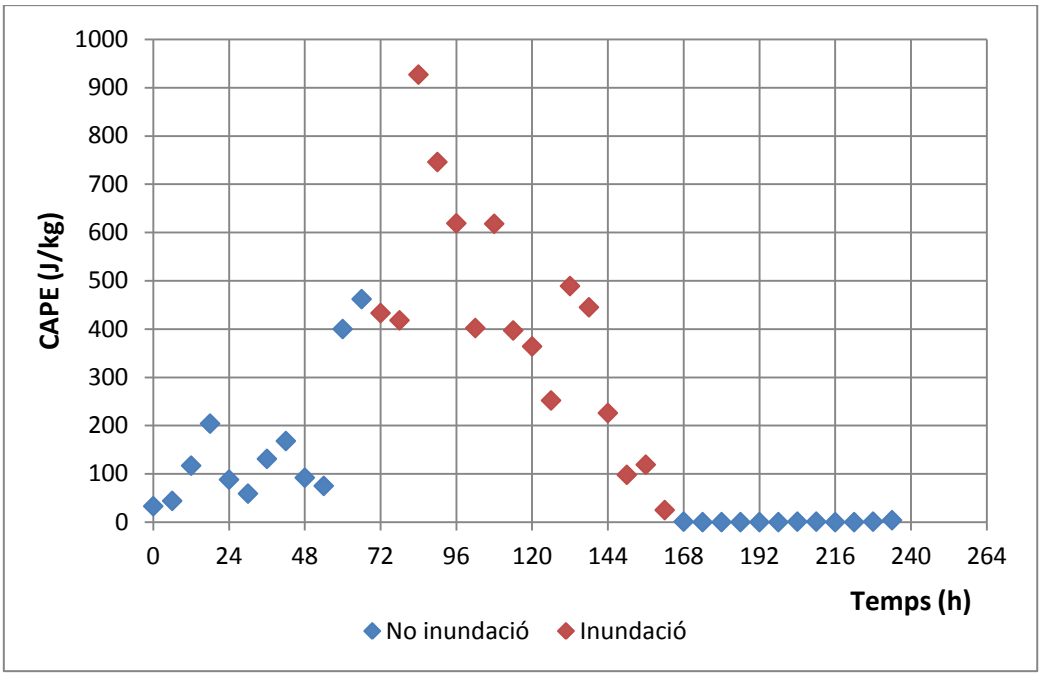


Fig. 3.16 Evolució de CAPE a l'episodi del 1919

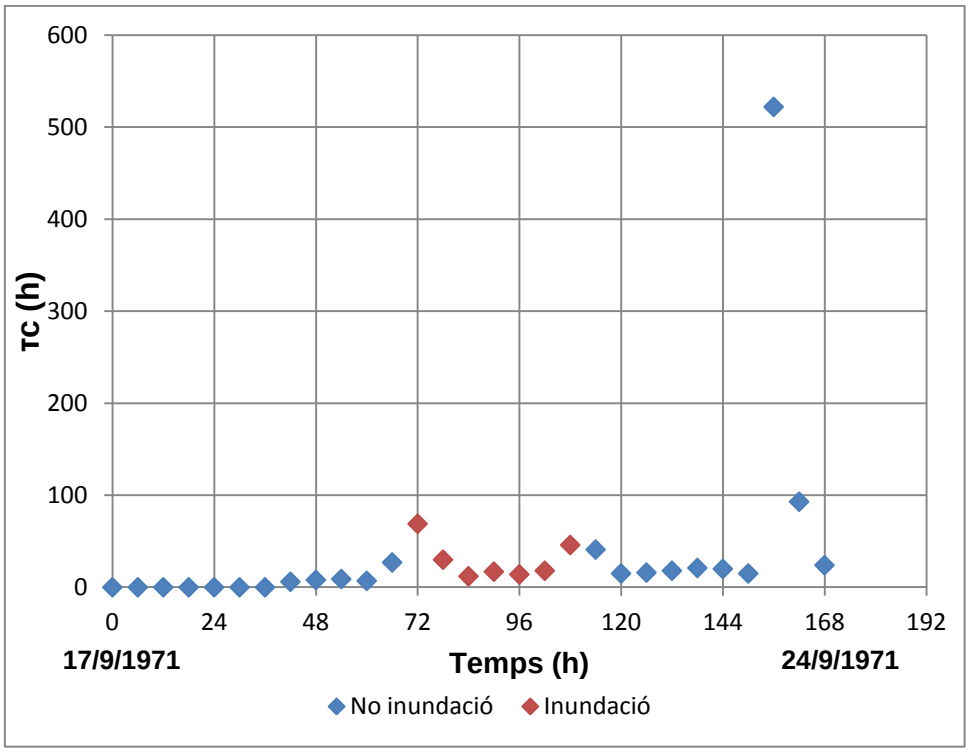


Fig. 3.17 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1971

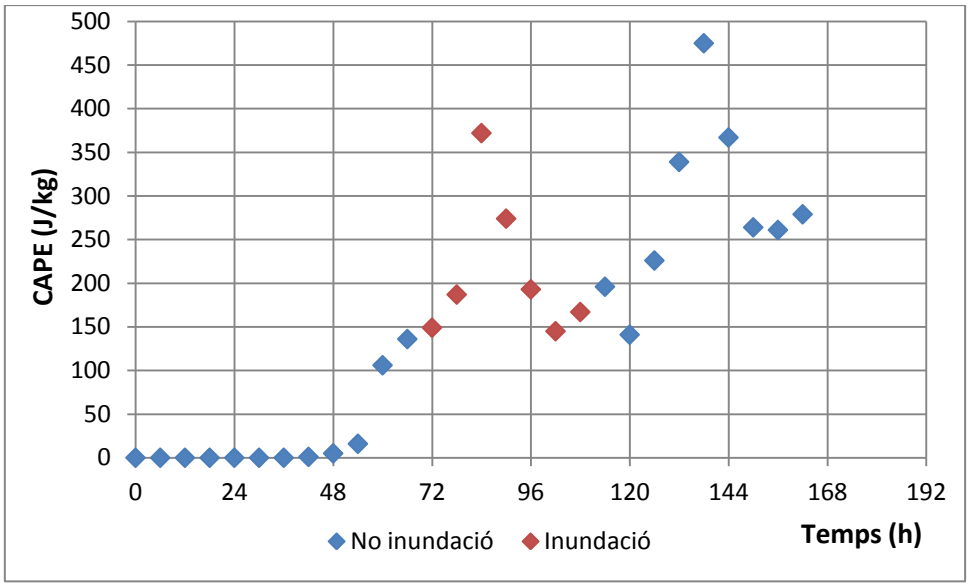


Fig. 3.18 Evolució de CAPE a l'episodi del 1971

En aquests tres episodis (1874, 1919 i 1971), segons els valors de l'escala de temps convectiva i la CAPE en els intervals previs a la inundació i just al considerar l'inici d'aquesta, trobem tres tendències diferenciades. L'episodi del 1971 (Figs. 3.17 i 3.18) amb una τ_c que es mou sempre per sota de les 80 h i amb una CAPE que no supera els 200 J/kg es podria considerar que es troba en règim d'equilibri convectiu.

L'episodi de 1919 (Figs. 3.15 i 3.16) té una τ_c semblant al cas anterior. Tot i això apareix un màxim de 160 h a l'inici de la inundació. Aquest fet podria fer dubtar de quin dels dos règims estem parlant però la CAPE se situa sempre entre els 400 i els 600 J/kg en els intervals previs abans de la inundació, augmentant a més de 1000 J/kg quan aquesta ja ha començat. Es considera doncs que aquest episodi és més proper al règim de no equilibri que no pas al d'equilibri.

Per últim, l'episodi de 1874 (Figs. 3.13 i 3.14) té una CAPE molt elevada però una τ_c menor que 50 hores. És cert que té un màxim de 200 h però es produeix quan la inundació ja està força avançada. Degut a aquestes característiques no es veu clar a quin dels dos règims es podria apuntar.

L'altre grup d'episodis amb característiques similars el formen episodis on l'escala de temps convectiva es manté inferior a les 50 h durant les hores prèvies a la inundació i a l'inici d'aquesta. A més a més, no contenen cap màxim relatiu de la variable estudiada en aquests intervals de temps. Aquests episodis són els de 1901 (Figs. 3.19 i 3.20), 1913 (Figs. 3.21 i 3.22), 1937 (Figs. 3.23 i 3.24), 1940, 1951 i 1962 (Figs. 3.25 i 3.26). La gràfica de τ_c de 1901, com es veu a la figura 3.19, té dos punts que no es corresponen amb les característiques d'aquest grup d'episodis. S'ha considerat que aquests dos punts succeeixen just 24 i 30h abans de que es consideri la inundació i als intervals següents la τ_c torna a ser inferior a les 50 h ja fins al final de l'episodi.

A continuació es mostren unes gràfiques on es demostra aquest comportament de τ_c.

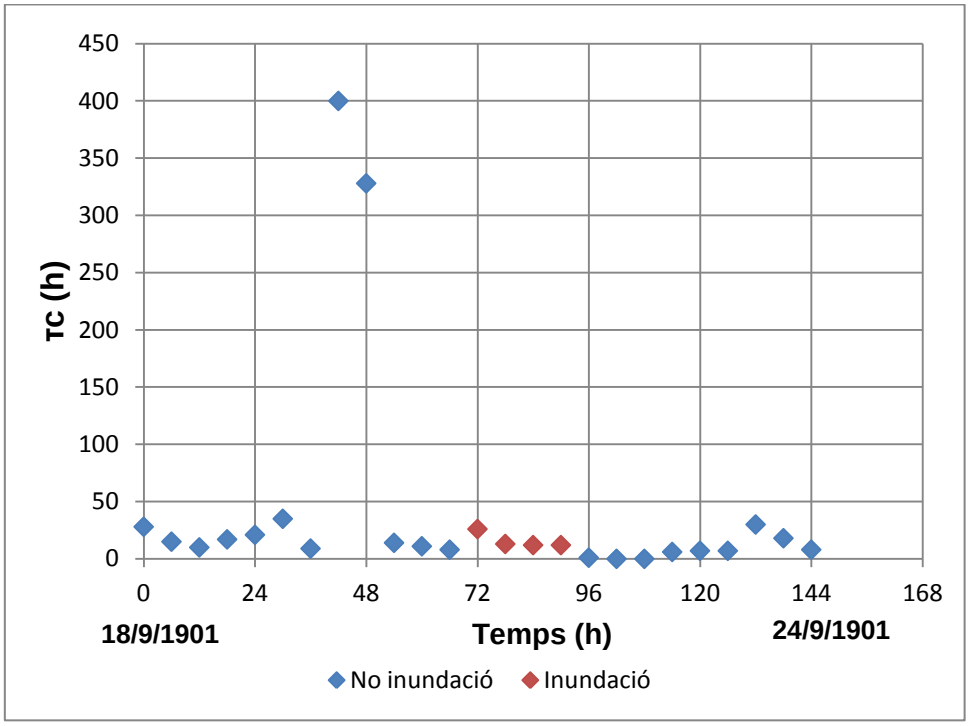


Fig. 3.19 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1901

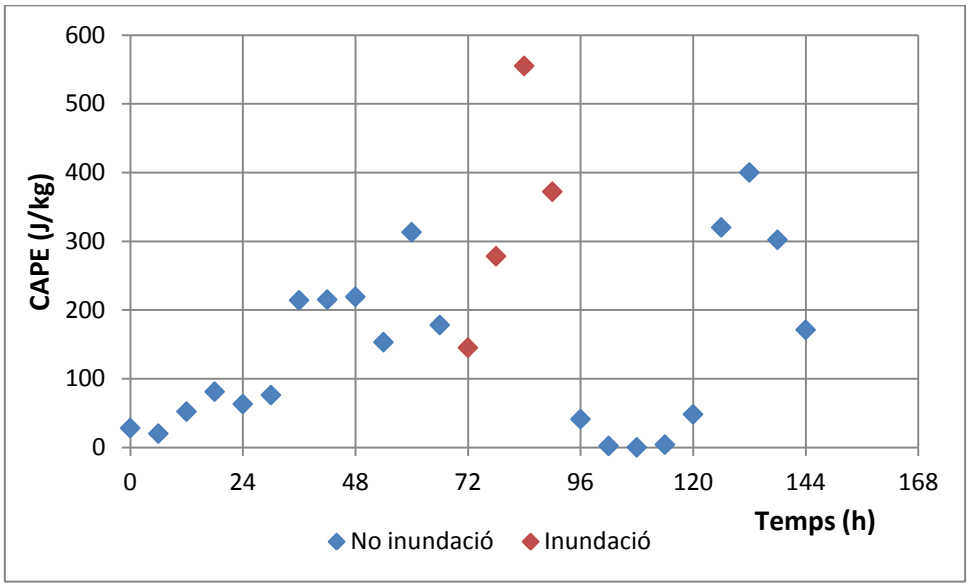


Fig. 3.20 Evolució de CAPE a l'episodi del 1901

D'aquests últims quatre episodis, segons al règim convectiu al que poden pertànyer es troben dos tipus diferenciats.

En els episodis de 1913, 1937 i 1962, en les 24 hores prèvies i les posteriors a considerar la zona inundada l'escala de temps convectiva es troba sempre per sota de les 50 h. A més a més, sobretot en els episodis de 1913 (Fig. 3.22) i 1962 (Fig. 3.26), la CAPE també és molt baixa amb valors de màxims de 60 h en el primer cas i de 10 h en el segon cas. Al 1937 (Fig. 3.24) el comportament de CAPE és força estrany perquè és en aquests intervals previs on obté un mínim relatiu arribant a ser de 0 J/kg quan es considera l'inici de la inundació. És per això que aquests tres casos podrien ser tractats de règim d'equilibri convectiu.

Per altra banda, l'episodi de 1901 (Fig. 3.20) té una CAPE que es mou entre els 200 i els 300 J/kg però la τ_c és menor de 50 h. A més a més, apareix la circumstància que l'escala de temps convectiva pateix un màxim d'unes 400 h just un dia abans de considerar la zona inundada. Per aquests fets, la classificació d'aquest episodi en un dels dos règims es faria amb poca seguretat i, com el de 1874, es deixa en un terme mig i no es classifica.

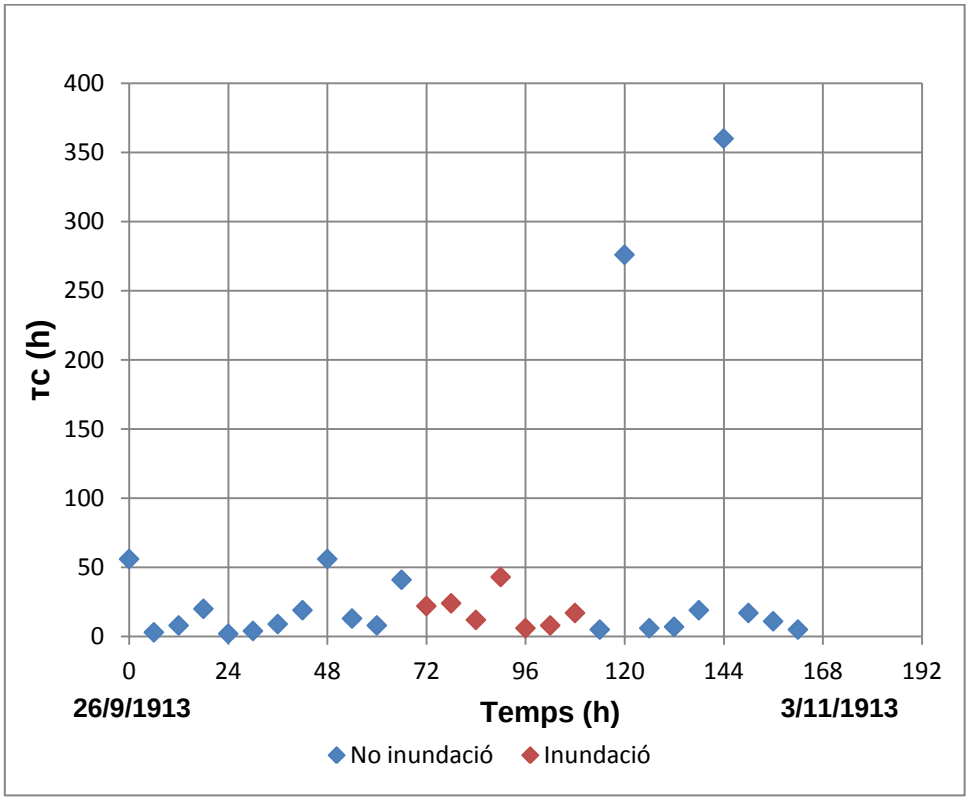


Fig. 3.21 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1913

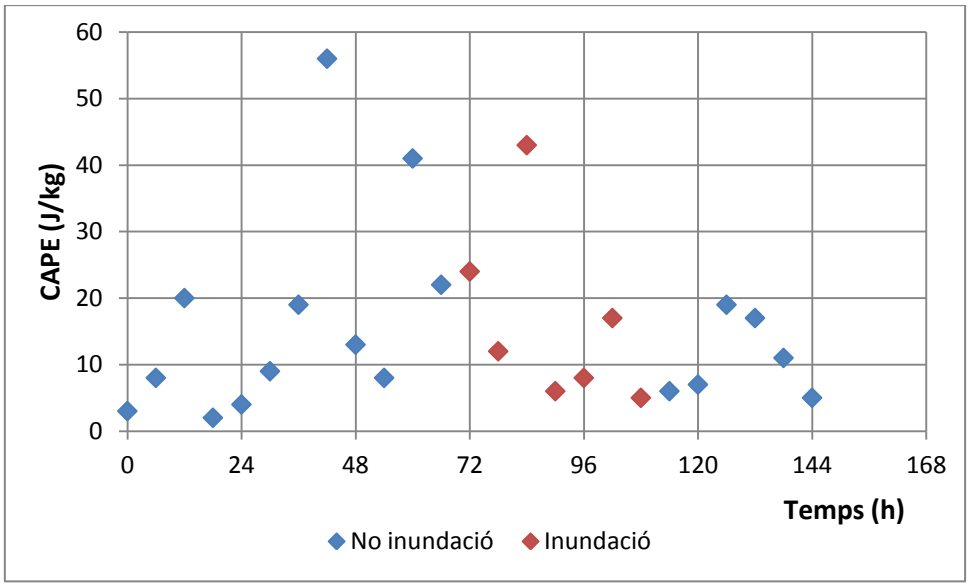


Fig. 3.22 Evolució de CAPE a l'episodi del 1913

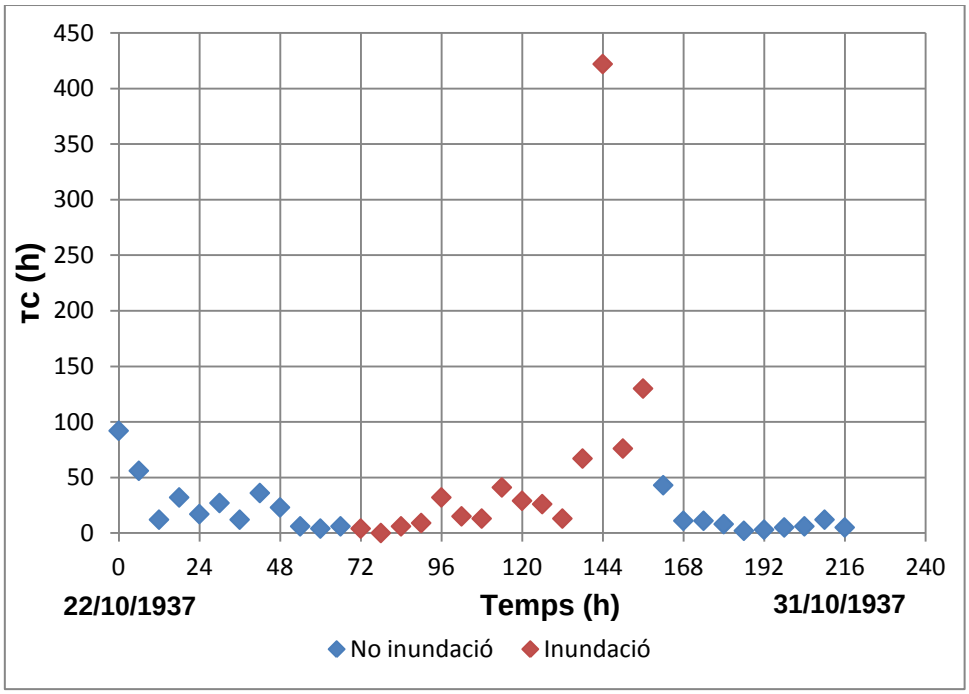


Fig. 3.23 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1937

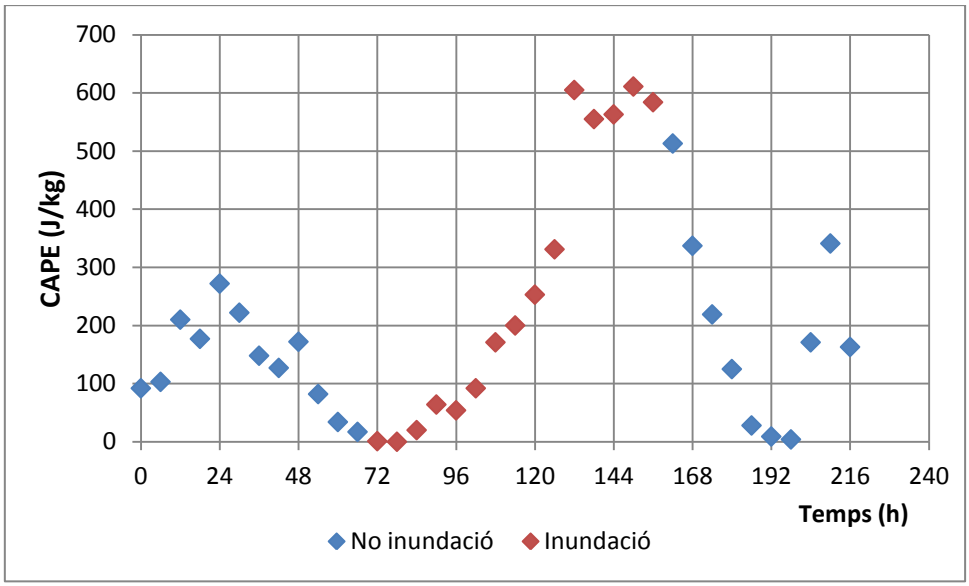


Fig. 3.24 Evolució de CAPE a l'episodi del 1937

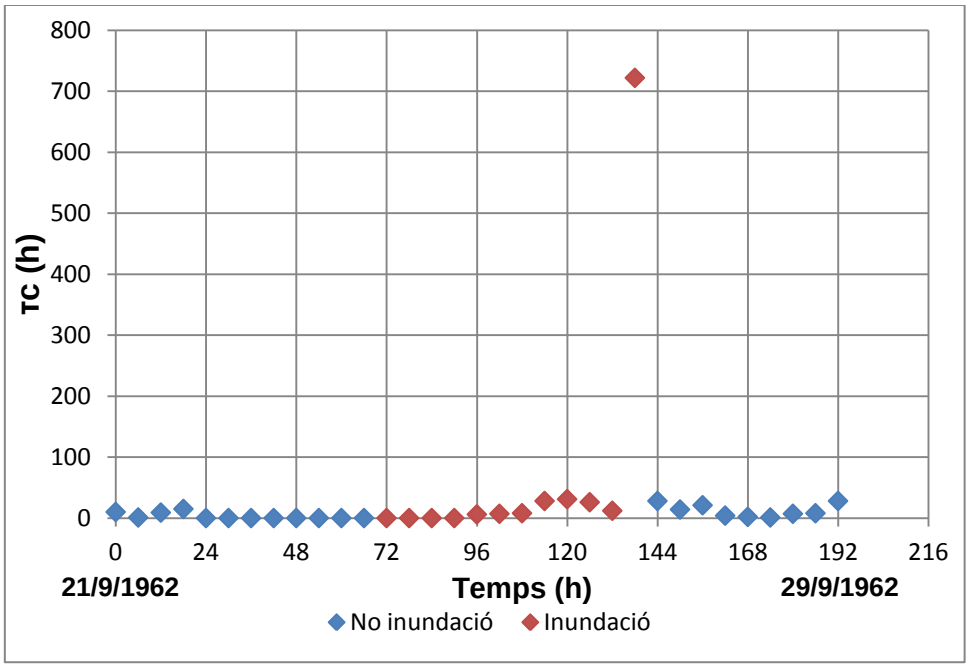


Fig. 3.25 Evolució de l'escala de temps convectiva a l'episodi del 1962

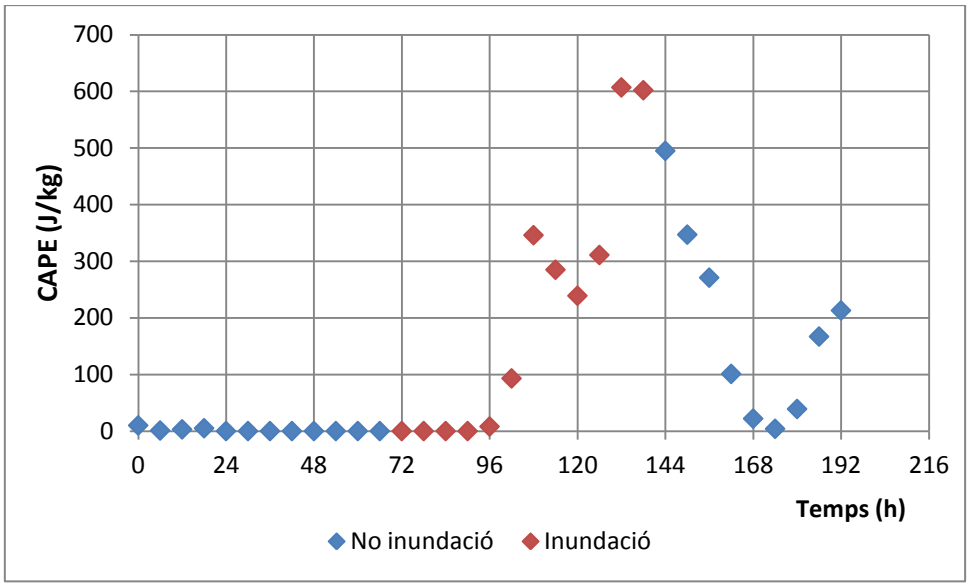


Fig. 3.26 Evolució de CAPE a l'episodi del 1962

Pel que fa als intervals de temps posteriors a la inundació, trobem tendències totalment diferents en cada cas i comportaments de τ_c que no segueixen cap línia estable. Evidentment, per la prevenció dels danys que puguin ocasionar aquestes inundacions, és més útil i important tenir en compte les variables abans de que es consideri la zona inundada.

Tot seguit es presenta una taula resum de resultats amb els episodis vistos de l'evolució temporal de la escala convectiva en el punt amb les coordenades 42º N-2ºE i el règim al qual pertanyen tot i la gran incertesa. Aquesta taula està elaborada amb els valors dels intervals previs a considerar la zona inundada (24 hores abans) i els posteriors a considerar-la.

Taula 3.1 Taula resum dels episodis estudiats amb el règim d'equilibri al qual pertanyen

Número d'episodi	Any	Estació	Escala de temps convectiva (τ_c) (h)	CAPE (J/kg)	Règim
5	1898	Hivern	≤ 100 (màxims de 260 un dia abans i just a la inundació)	≈ 100-200	No equilibri
18	1977	Hivern	≤ 50	≤ 30	Equilibri
4	1897	Estiu	≈ 150-250	≈ 600	No equilibri
3	1894	Estiu	≤ 50 (màxim de 260 just abans inundació)	≈ 500-600	No equilibri
16	1963	Estiu	≤ 50	≈ 800-1000	No equilibri
23	2000	Estiu	≤ 50	≈ 600-1000	No equilibri
1	1874	Tardor	≤ 50 (màxim 200 amb la zona inundada)	≈ 600-1200	-
9	1919	Tardor	≈ 70-90 (màxim de 160 amb la zona inundada)	≈ 500-600	No equilibri
17	1971	Tardor	≤ 80	≈ 150-250	Equilibri
6	1901	Tardor	≤ 50 (màxim de 400 un dia abans)	≈ 200-300	-
8	1913	Tardor	≤ 50	≈ 0-60	Equilibri
11	1937	Tardor	≤ 50	≈ 100-200	Equilibri
15	1962	Tardor	≤ 20	≈ 0-10	Equilibri

A la vista dels resultats obtinguts amb aquestes gràfiques és evident que no es pot concloure amb molta certesa si l'escala de temps convectiva és un bon indicador pel que fa a preveure inundacions i si aquestes seran més o menys devastadores i, si per ella sola, si permet la identificació clara dels dos tipus de règims prèviament explicats. A més a més, amb l'ajuda de CAPE a l'hora d'establir a quin dels règims pertany cada episodi existeix una gran incertesa la qual no pot ser rebaixada. Un factor considerat clau en aquesta incertesa és

que l'obtenció de les dades de CAPE sigui cada sis hores ja que són intervals massa amplis on molts canvis existents no hi són contemplats.

És evident que els valors obtinguts en els càlculs sobrepassen en escreix el límit de 6 h proposat per Molini et al. (2011) [11] per saber a quin dels dos tipus de règim (estacionari o no estacionari) ens trobàvem. Done augmentava aquest límit a les 24 h i Zimmer et al. (2011) [18] l'establia entre 3 i 12 h.

Segons l'equació de τ_c (2.2) els valors finals de τ_c que generalment són més grans que els esperats depenen o, del valor total de CAPE en l'interval estudiat o, de la petita diferència entre la CAPE de l'interval estudiat i de l'interval anterior. Aquí s'ha observat que el principal problema a l'estudi és la informació de CAPE, que només es té cada sis hores. Hi ha el convenciment que és un interval massa gran perquè existeixi fiabilitat en els resultats. Amb intervals de menys hores es podria seguir més l'evolució de l'escala de temps convectiva i no es trobarien tants salts o, si més no, podrien tenir una certa explicació.

Molini et al. (2011) [11] fa un estudi amb la variació de CAPE per a l'obtenció de τ_c on l'interval de treball és d'una hora. Això sí, la duració dels resultats mostrats són de com a molt 19 hores i ja es pot observar que, per exemple, la corba de τ_c, canvia varis cops de trajectòria. Lògicament amb les dades cada 6 hores es perd força informació a l'hora d'obtenir resultats.

També s'ha demostrat que la variable τ_c no es comporta de la mateixa manera per episodis de la mateixa època de l'any o de la mateixa zona. Evidentment, fixar-nos en τ_c no tenint en compte les conques en les que s'ha dividit el territori, utilitzant només valors d'unes coordenades centrals de Catalunya no és la millor manera d'estudiar-ho. Per aquest motiu s'ha estudiat la distribució horitzontal de l'escala de temps convectiva.

3.2. Distribució espacial de l'escala de temps convectiva

Igual que en l'apartat anterior s'han intentat extreure conclusions respecte τ_c però obviant el valor numèric concret i focalitzant més l'estudi en intentar trobar patrons espacials de comportament semblants. Evidentment, en aquest cas, diferenciar tendències segons la zona en la que es va produir la inundació segueix sent complicat ja que les dades de CAPE estan discretitzades per cada grau de longitud i latitud.

Per a cada episodi no es mostren tots els mapes obtinguts de l'escala convectiva sinó aquells intervals centrats al voltant dels dies en que es va produir la inundació.

També cal destacar que s'ha agafat un valor màxim de τ_c de 150 h per a l'escala de colors per fer els mapes més llegibles i les relacions entre episodis més fàcils d'observar.

Es separaren tres apartats per cada estació de l'any amb els resultats obtinguts i les seves conclusions pertinents.

3.2.1. Episodis d'hivern

En tots els episodis el màxim de l'escala de temps convectiva apareix sobre Catalunya el mateix dia que es considera la inundació a les 06:00 UTC (Fig. 3.30). Pel que fa als intervals de temps previs a considerar la zona inundada es veu una estabilitat en els valors de τ_c que ronda les 40 o 50 h amb una excepció d'un màxim de 80 h o més (Figs. 3.27-3.29). Durant els dies que dura la inundació, al nord est de la península Ibèrica τ_c és elevada (Figs. 3.31-3.33), sempre per sobre de les 60 h. Quan la inundació es dóna per acabada, durant els dies següents l'escala de temps convectiva es manté per sota de les 20 h (Figs. 3.34 i 3.35).

Com a exemple d'un d'aquests episodis de l'estació hivernal, es mostra l'episodi del gener de 1898, que va causar inundacions a les zona costanera central i a les conques dels rius Tordera i Besòs i del Llobregat (Figs. 3.27-3.29). L'estudi d'aquest episodi comença el 12 de gener de 1898 a les 00:00 UTC. La inundació es decreta el dia 15 de gener a les 00:00 UTC i es dóna per acabada el dia 18 de gener a les 18:00. Finalment, aquest estudi finalitza el dia 21 de gener. S'observa que τ_c arriba com a molt a les 40 h.

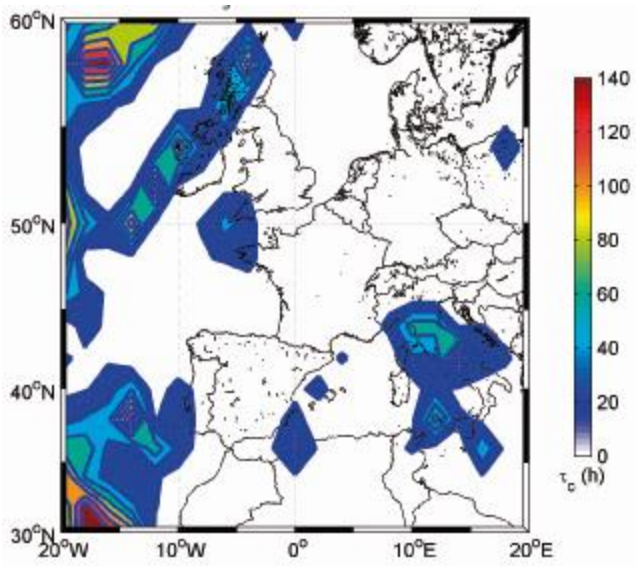


Fig. 3.27 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 12 de gener de 1898 a les 12:00 UTC

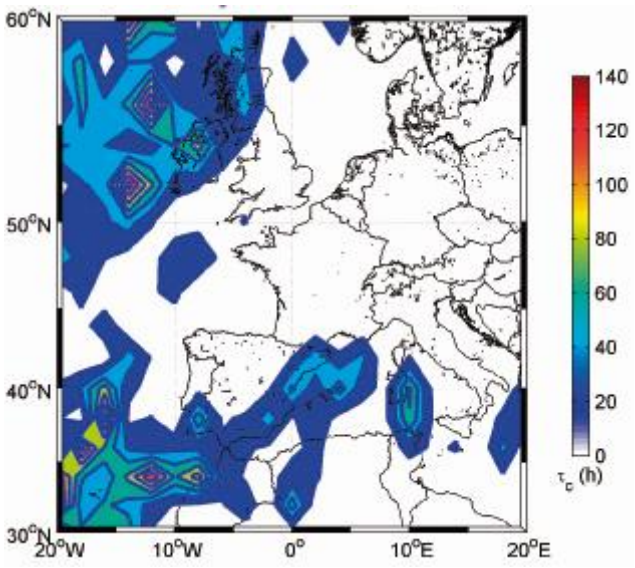


Fig. 3.28 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 12 de gener de 1898 a les 18:00 UTC

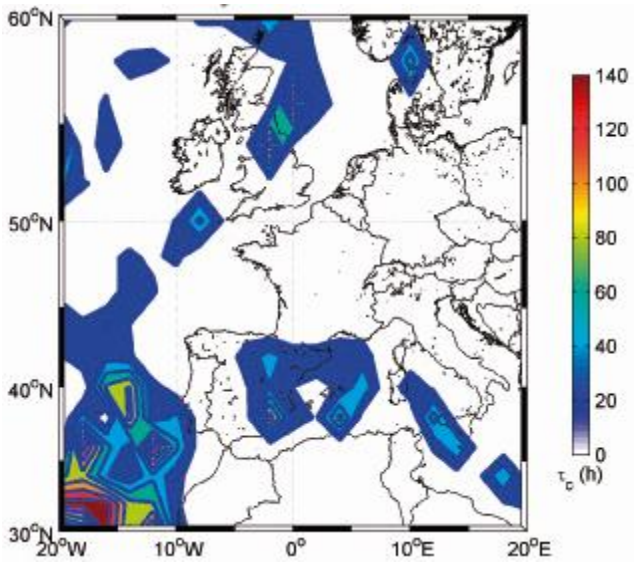


Fig. 3.29 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 13 de gener de 1898 a les 00:00 UTC

A continuació hi ha la figura 3.30 amb el màxim de l'inici de considerar la zona inundada, el dia 15 de gener, amb valors que superen les 150 h.

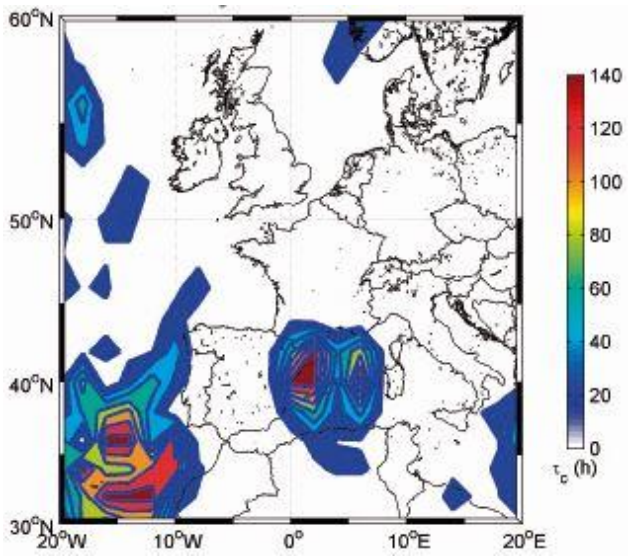


Fig. 3.30 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 15 de gener de 1898 a les 06:00 UTC

Durant els dies que dura la inundació, fins el dia 19 de gener, els mapes ens indiquen una escala de temps convectiva elevada. Els valors de l'escala arriben sempre a les 150 h.

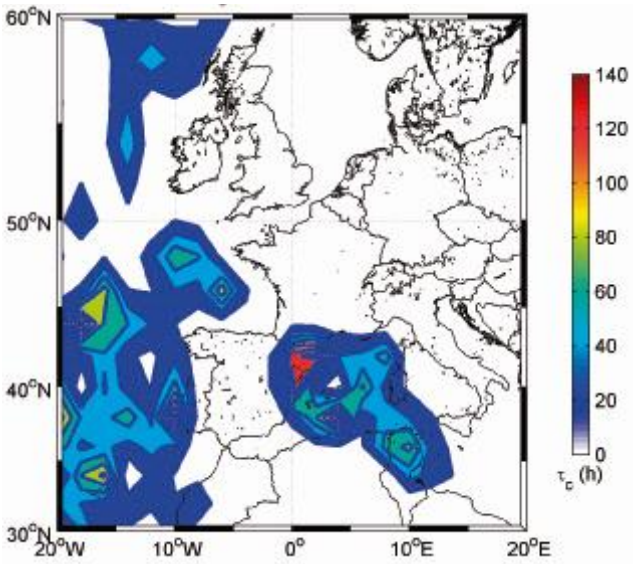


Fig. 3.31 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 16 de gener de 1898 a les 12:00 UTC

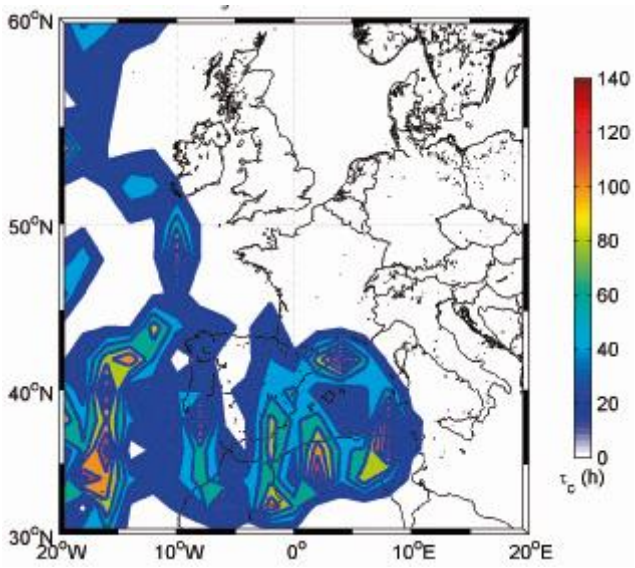


Fig. 3.32 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 16 de gener de 1898 a les 18:00 UTC

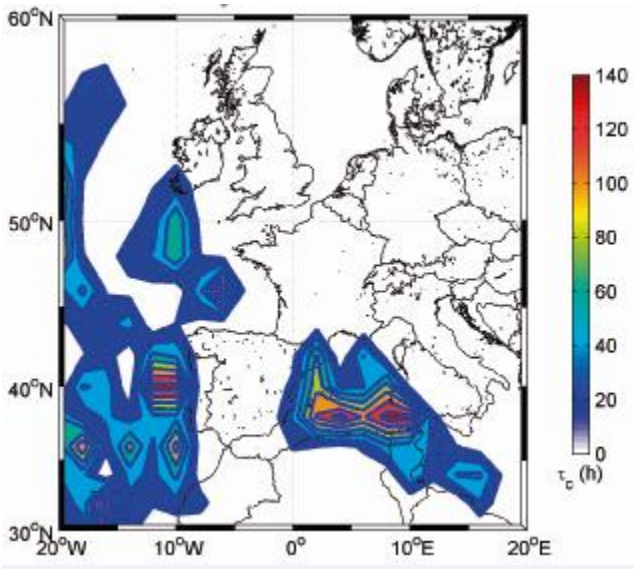


Fig. 3.33 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 17 de gener de 1898 a les 00:00 UTC

Finalment, un cop la inundació desapareix, l'escala de temps convectiva sobre Catalunya esdevé per sota de les 20 h de forma estable i fins al final de l'estudi.

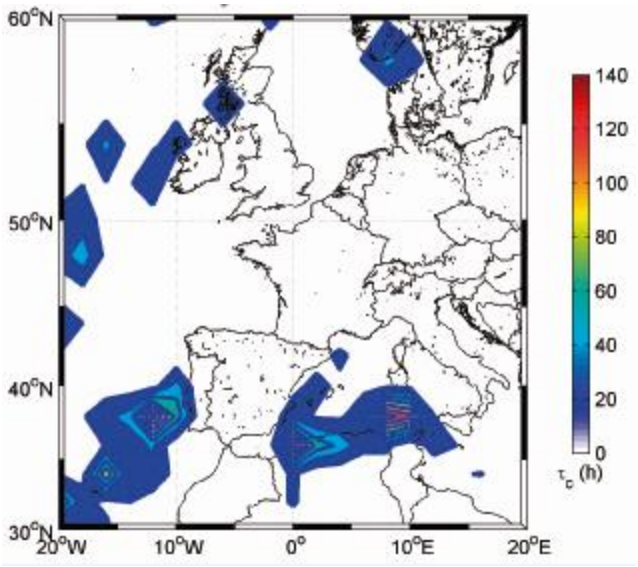


Fig. 3.34 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 19 de gener de 1898 a les 00:00 UTC

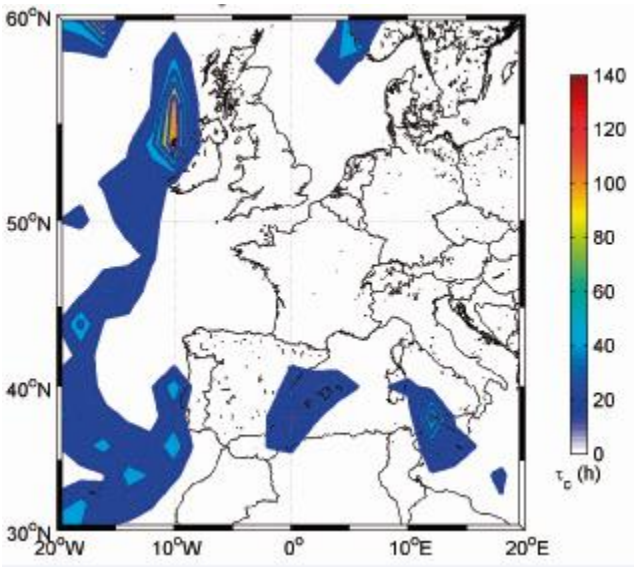


Fig. 3.35 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva el dia 19 de gener de 1898 a les 06:00 UTC

3.2.2. Episodis d'estiu

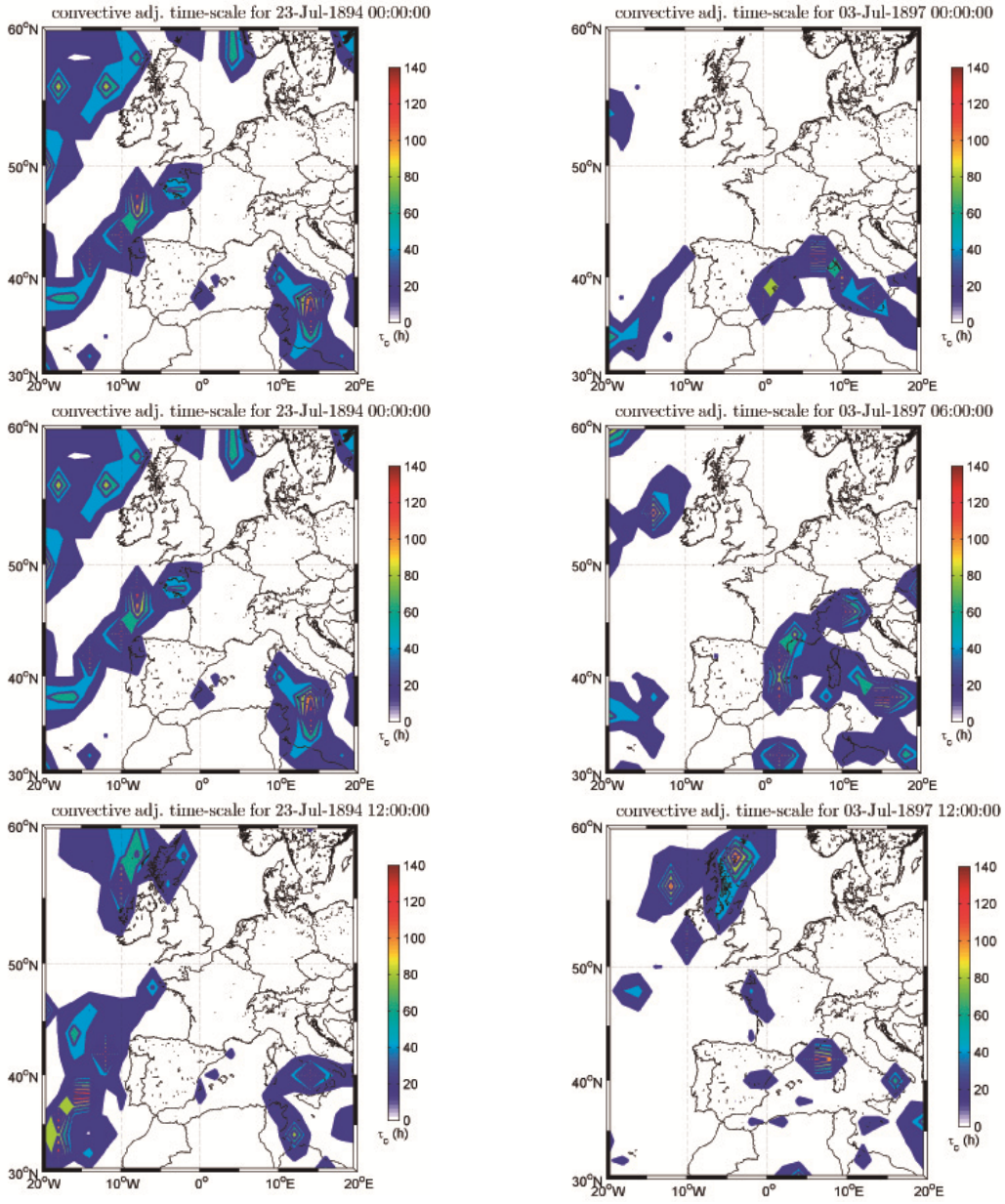
Els casos de l'estiu són inundacions curtes que poques vegades superen les 24 hores de durada.

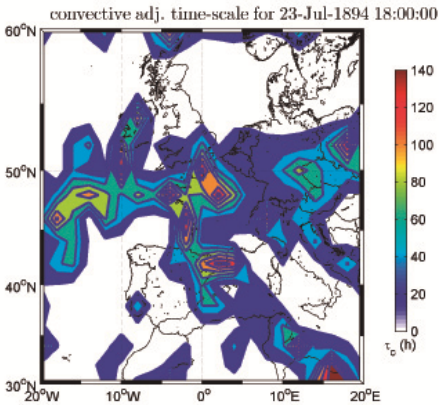
Seguint amb el que s'ha observat a l'anterior apartat de l'evolució temporal de la escala convectiva**,** dels quatre casos mostrats als mesos d'estiu tots ells es consideren del règim de no equilibri. Els de 1897 i 1894 tenen una escala de temps convectiva per sobre de les 150 h (Figs. 3.5 i 3.7) i una CAPE que supera els 500 J/kg (Figs. 3.6 i 3.8) mentre que els episodis de 1963 i 2000, tot

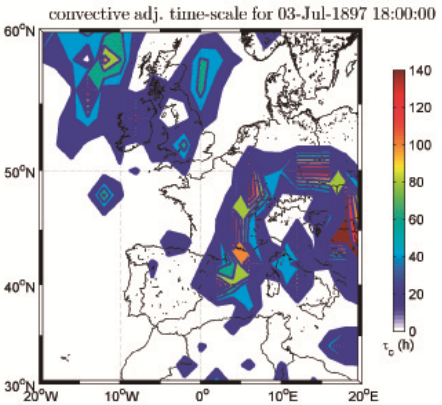
i tenir una CAPE també molt elevada (Figs. 3.10 i 3.12), la seva τ_c és menor de 50 h (Figs. 3.9 i 3.11). En els mesos d'estiu, doncs, tots els episodis són de no equilibri però hi destaca un fet important relacionat amb l'escala de temps convectiva: Hi ha dos episodis amb una τ_c relativament elevada (1897 i 1894) i uns altres dos amb una τ_c relativament reduïda (1963 i 2000).

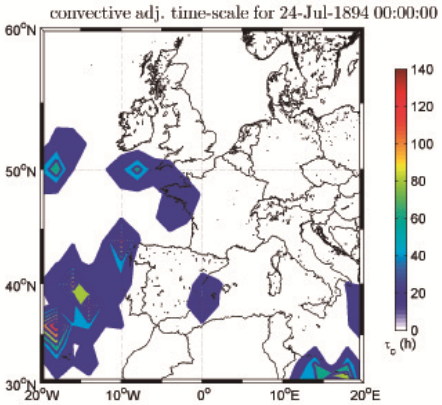
Tot seguit es veurà l'evolució de l'escala de temps convectiva d'ambdós tipus per observar-ne l'evolució temporal. A la primera figura (Fig. 3.36) es mostren les figures de τ_c des de 24 hores abans de considerar la zona inundada fins a 24 hores després d'acabar-se la inundació en el cas de 1894 i fins a 30 hores després el 1897.

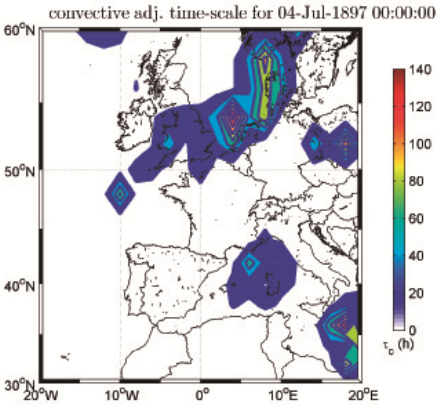
3.2.2.1. *Evolució de τ_c en episodis de no equilibri amb τ_c elevada*

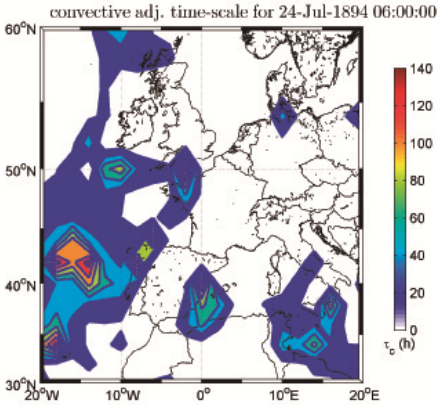


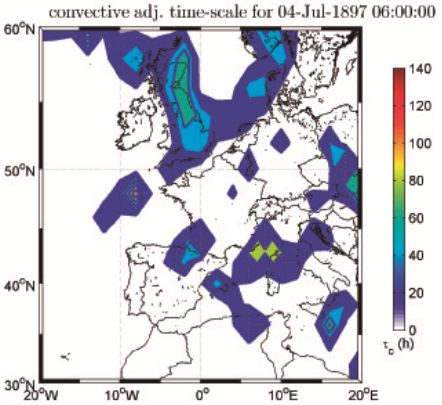

convective adj. time-scale for 23-Jul-1894 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

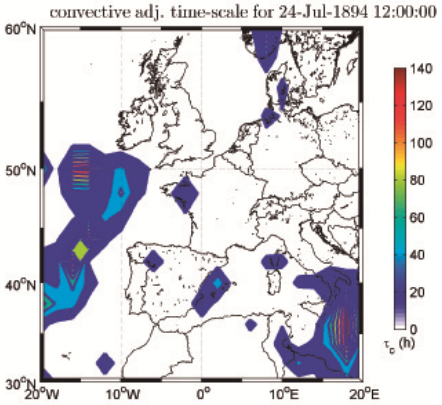

convective adj. time-scale for 03-Jul-1897 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

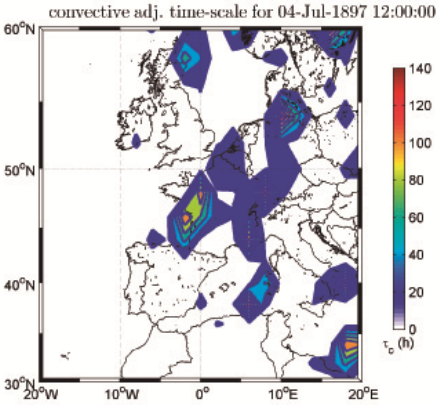

convective adj. time-scale for 24-Jul-1894 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

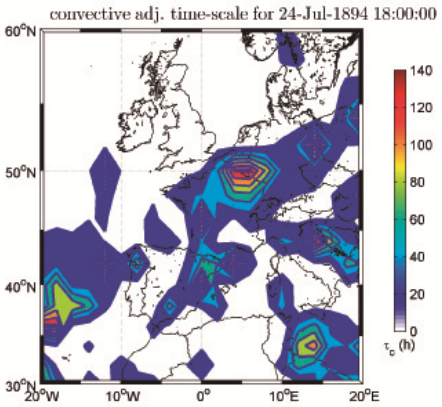

convective adj. time-scale for 04-Jul-1897 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

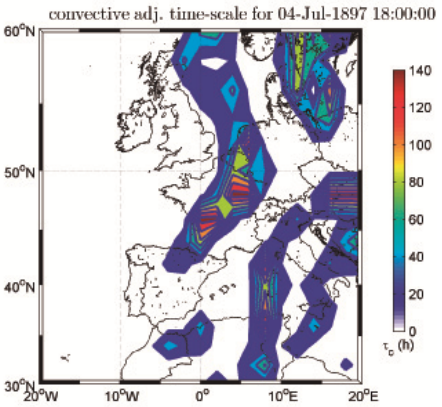

convective adj. time-scale for 24-Jul-1894 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

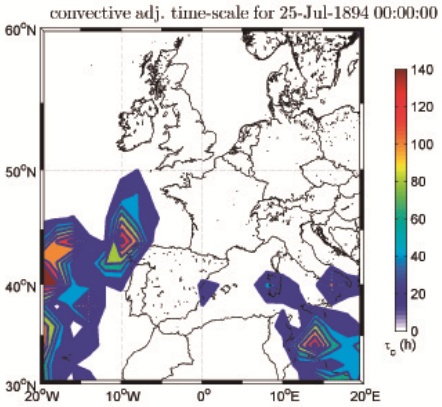

convective adj. time-scale for 04-Jul-1897 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

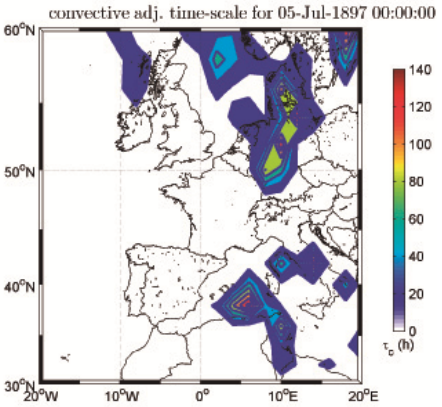

convective adj. time-scale for 24-Jul-1894 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

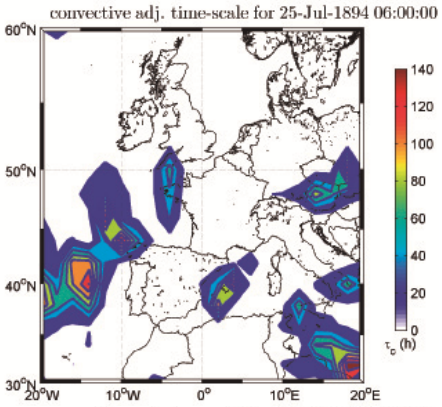

convective adj. time-scale for 04-Jul-1897 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

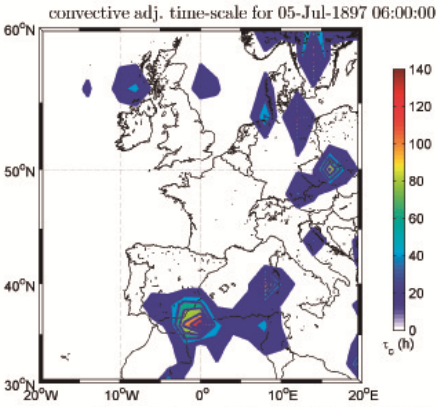

convective adj. time-scale for 24-Jul-1894 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

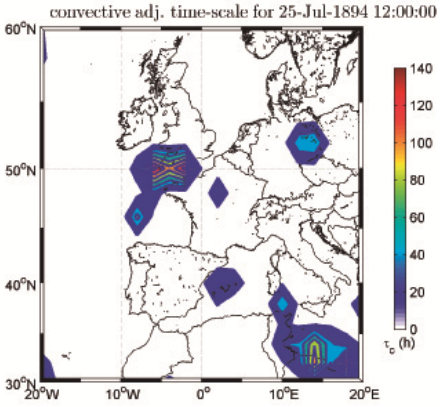

convective adj. time-scale for 04-Jul-1897 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

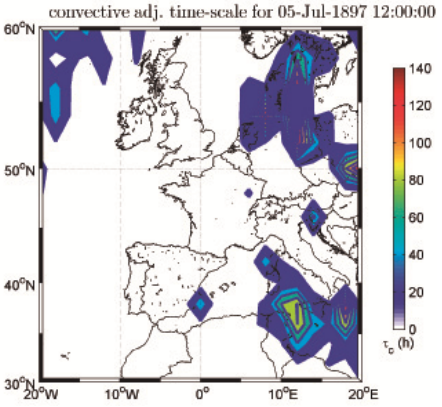

convective adj. time-scale for 25-Jul-1894 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

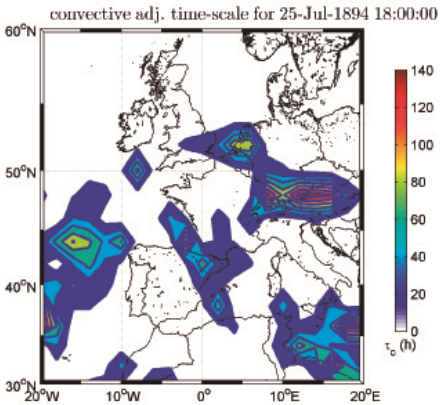

convective adj. time-scale for 05-Jul-1897 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

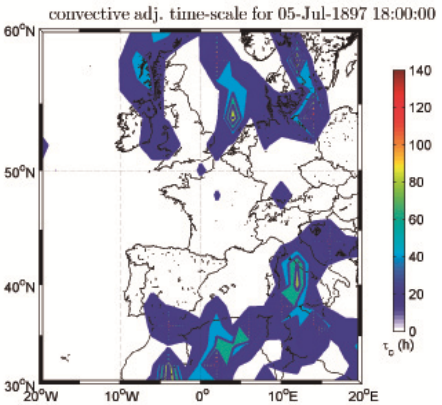

convective adj. time-scale for 25-Jul-1894 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

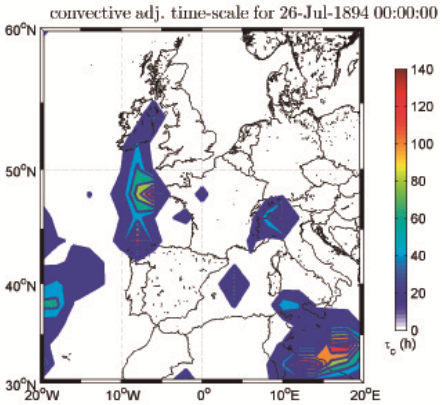

convective adj. time-scale for 05-Jul-1897 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

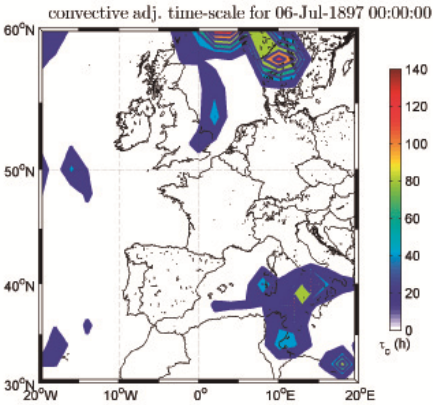

convective adj. time-scale for 25-Jul-1894 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

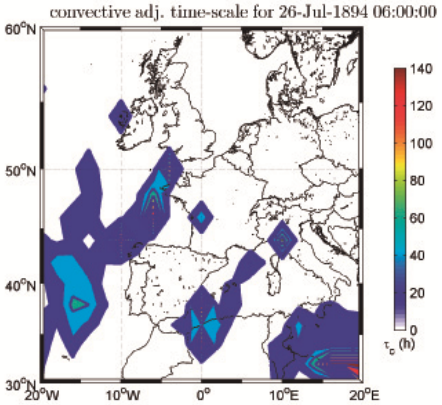

convective adj. time-scale for 05-Jul-1897 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

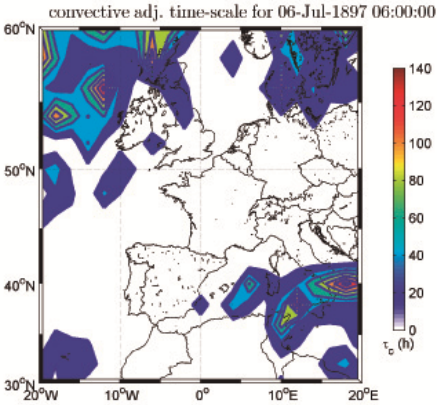

convective adj. time-scale for 25-Jul-1894 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

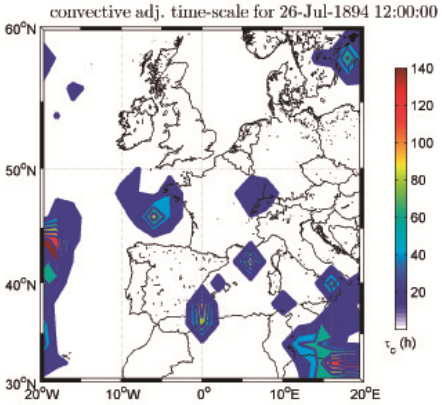

convective adj. time-scale for 05-Jul-1897 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

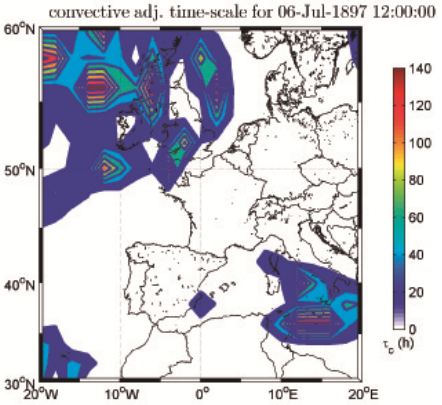

convective adj. time-scale for 26-Jul-1894 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 06-Jul-1897 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 26-Jul-1894 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 06-Jul-1897 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 26-Jul-1894 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
τc (h)


convective adj. time-scale for 06-Jul-1897 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

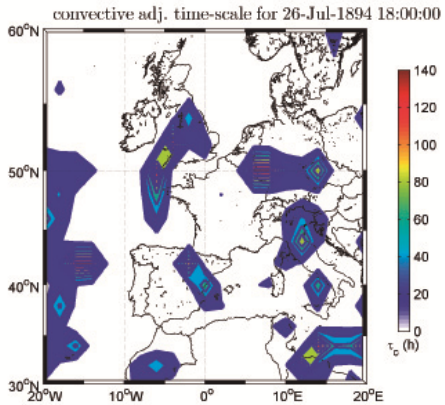
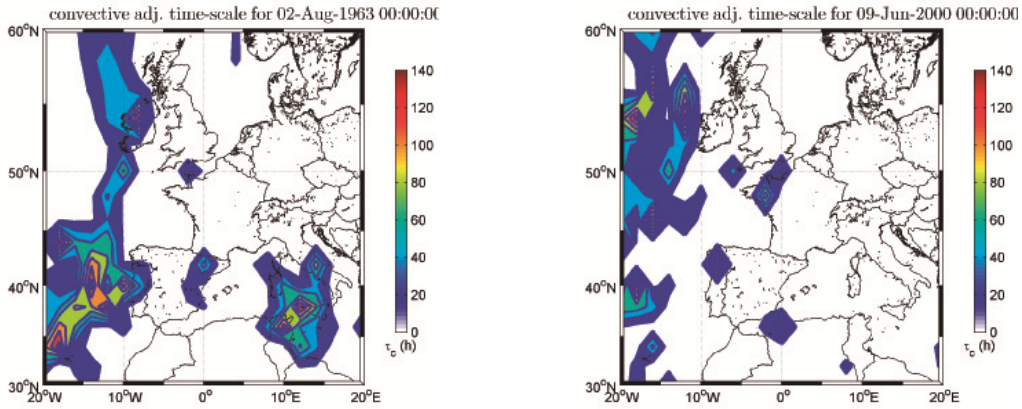


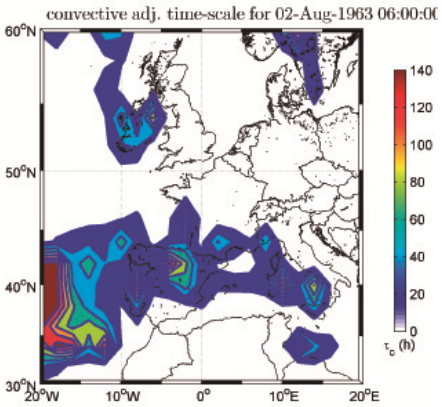
Fig. 3.36 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva dels episodis de 1894 (columna esquerra) i 1897 (columna dreta).

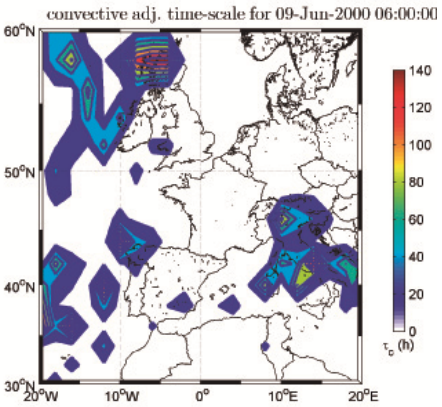
En aquesta primera comparació de dos episodis amb la τ_c elevada s'observa que durant l'interval previ a qualificar la zona inundada al voltant del nord est de la península Ibèrica l'escala de temps convectiva mostra valors elevats. A part d'aquests moments inicials, a la resta de l'episodi la distribució superficial de CAPE i τ_c, són diferents excepte a l'àrea d'estudi que es 0 per els dos episodis.

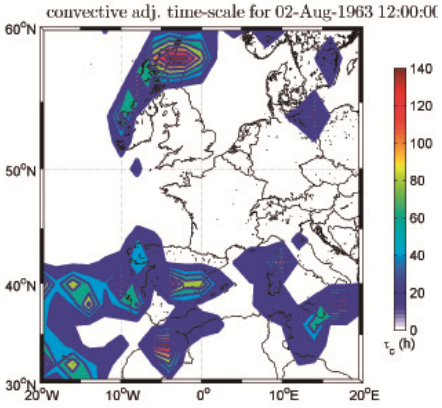
3.2.2.2. Evolució de τ_c en episodis de no equilibri amb τ_c reduïda

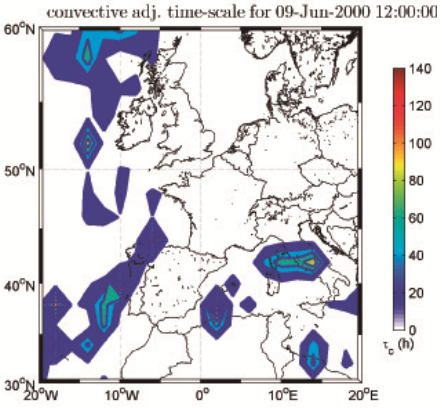
En aquesta segona figura (Fig. 3.37) es mostren les figures es mostren les figures de τ_c des de 24 hores abans de considerar la zona inundada fins a 24 hores després d'acabar-se la inundació en els casos de 1963 i 2000.

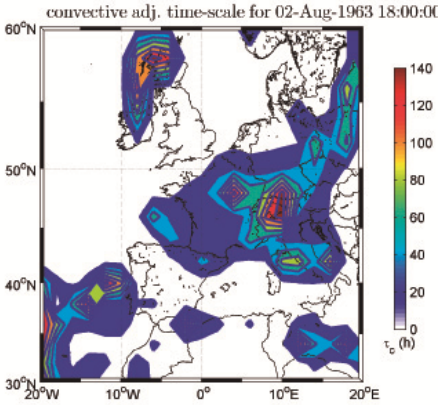


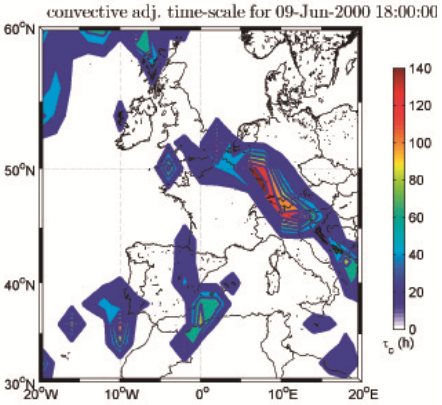

convective adj. time-scale for 02-Aug-1963 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

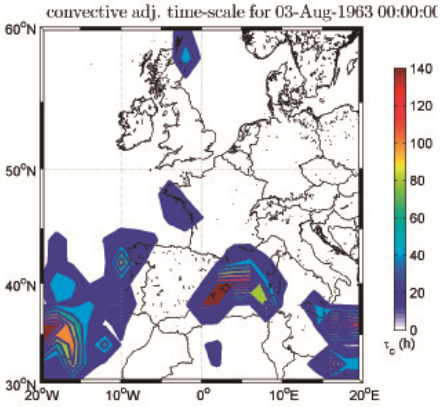

convective adj. time-scale for 09-Jun-2000 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

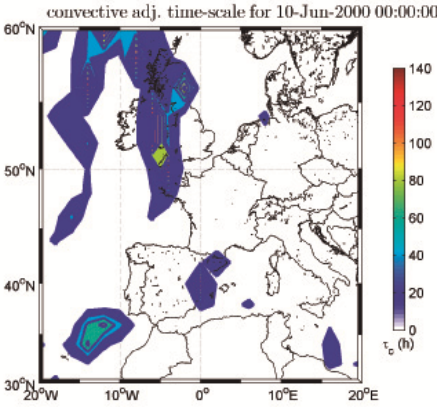

convective adj. time-scale for 02-Aug-1963 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

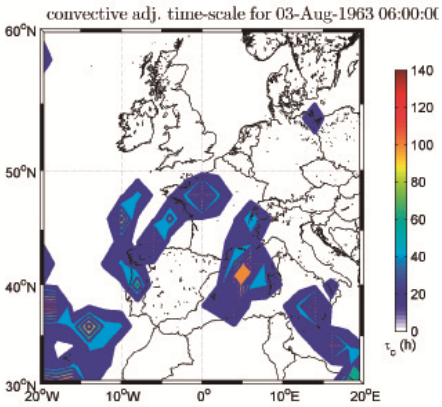

convective adj. time-scale for 09-Jun-2000 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

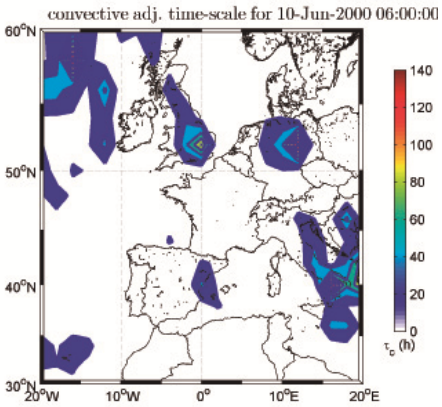

convective adj. time-scale for 02-Aug-1963 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

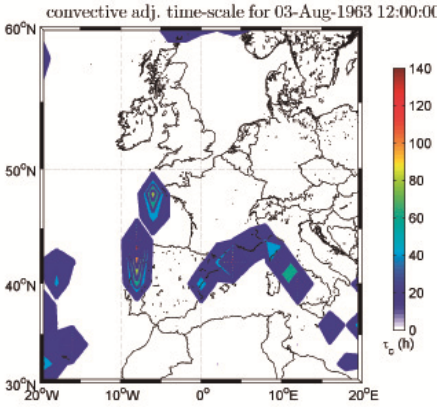

convective adj. time-scale for 09-Jun-2000 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

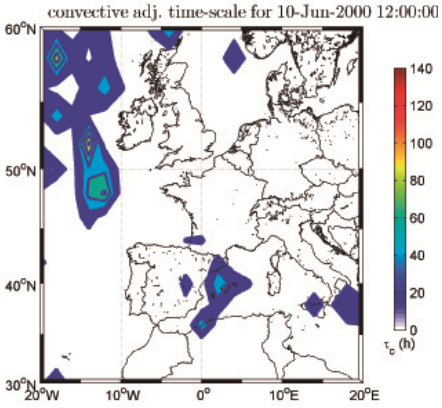

convective adj. time-scale for 03-Aug-1963 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

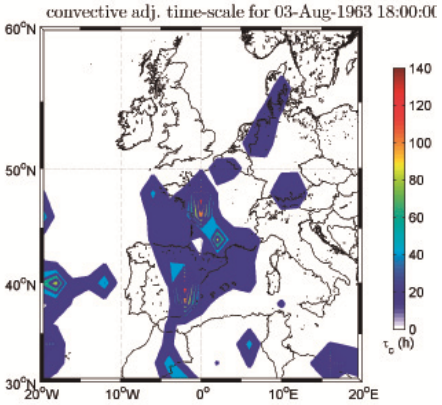

convective adj. time-scale for 10-Jun-2000 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

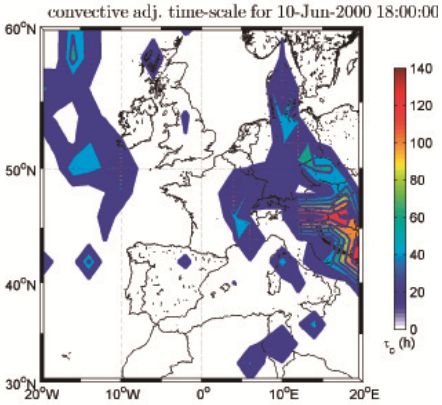

convective adj. time-scale for 03-Aug-1963 06:00:0
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

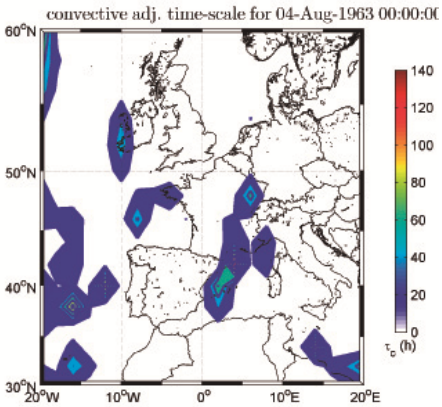

convective adj. time-scale for 10-Jun-2000 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

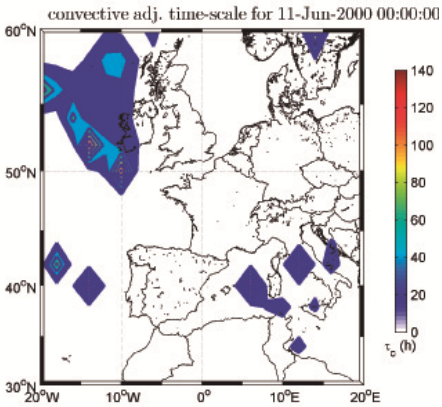

convective adj. time-scale for 03-Aug-1963 12:00:0
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

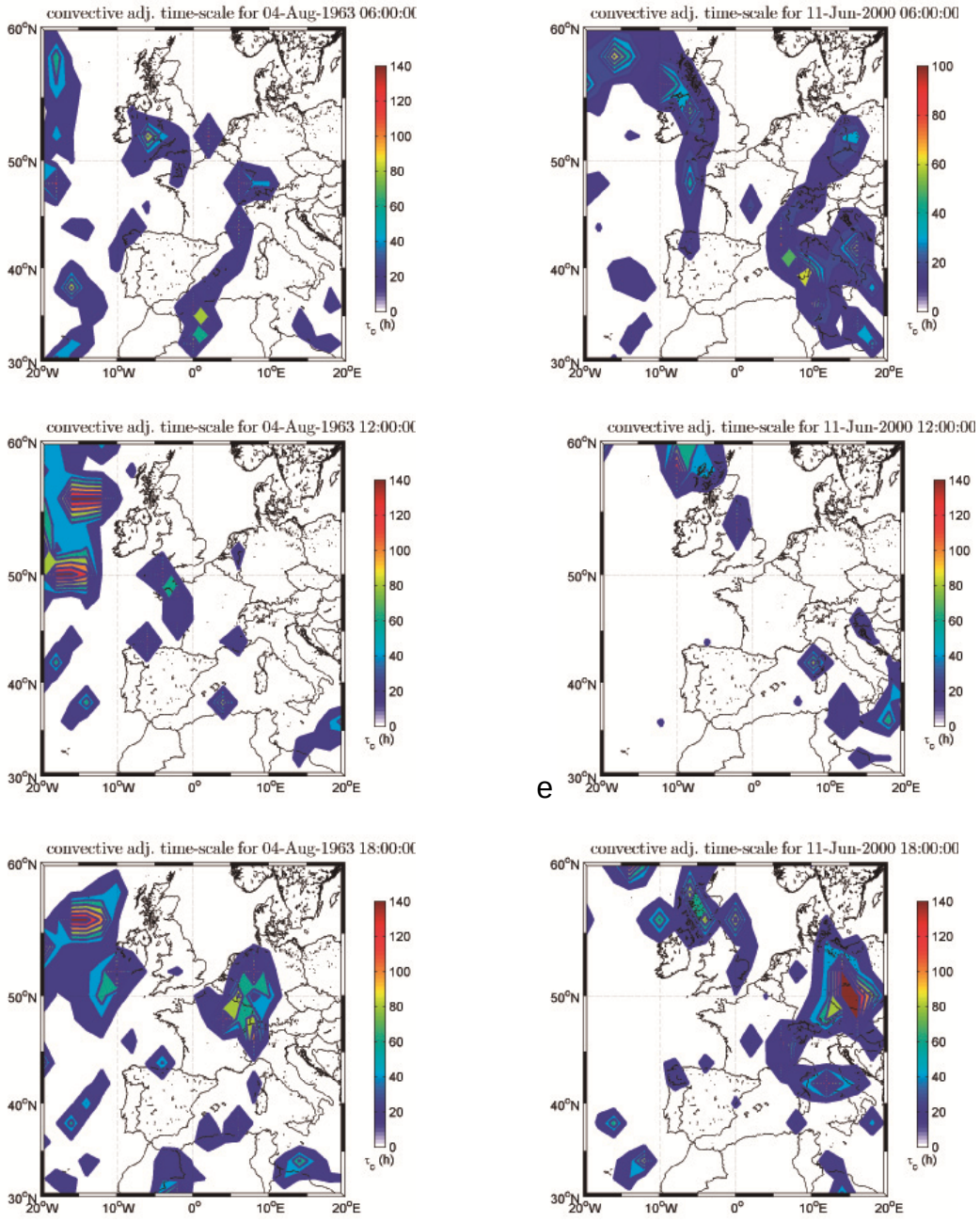

convective adj. time-scale for 10-Jun-2000 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 03-Aug-1963 18:00:0
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 10-Jun-2000 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 04-Aug-1963 00:00:0
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 11-Jun-2000 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)



e

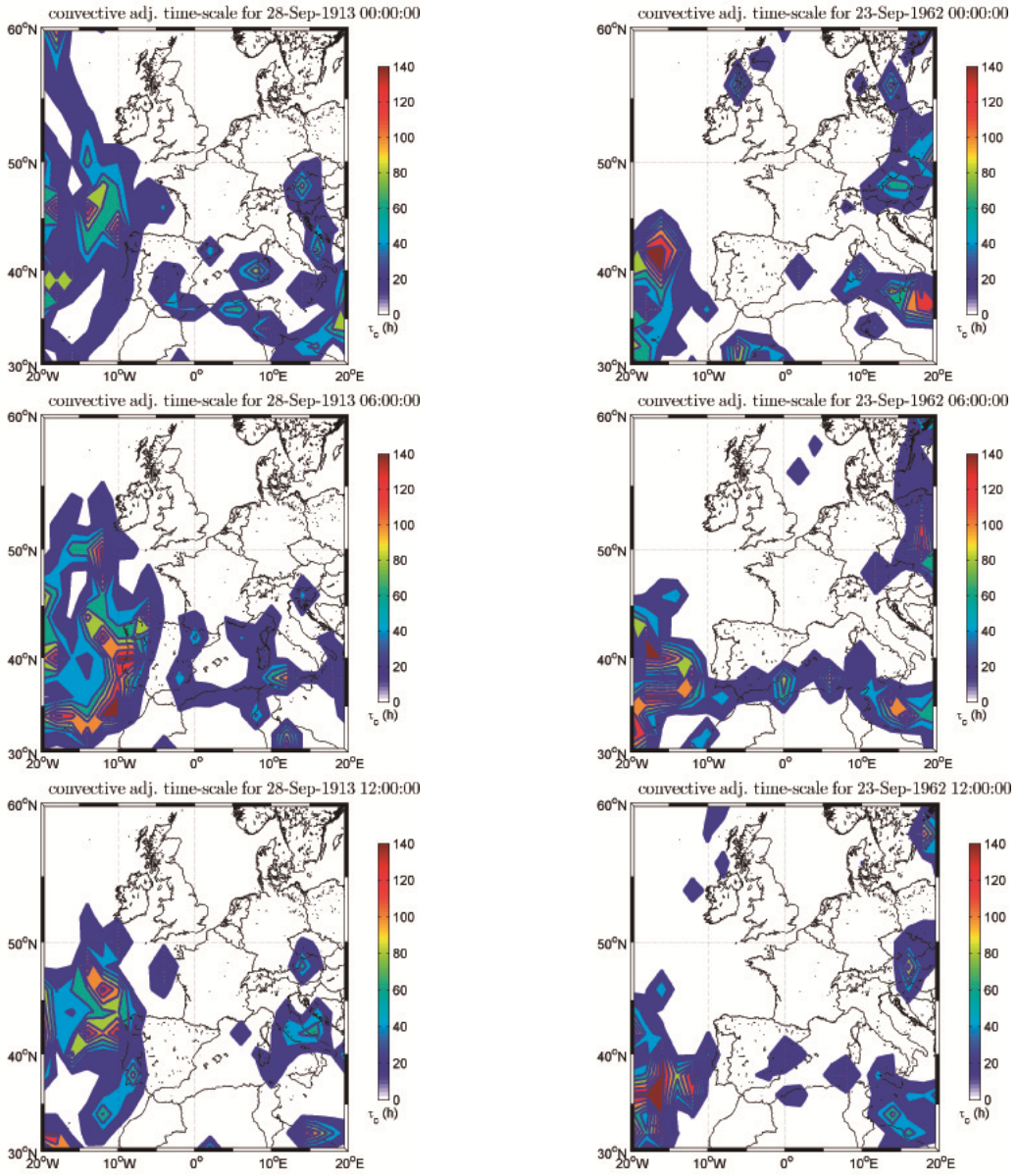
Fig. 3.37 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva dels episodis de 1963 (columna esquerra) i 2000 (columna dreta).

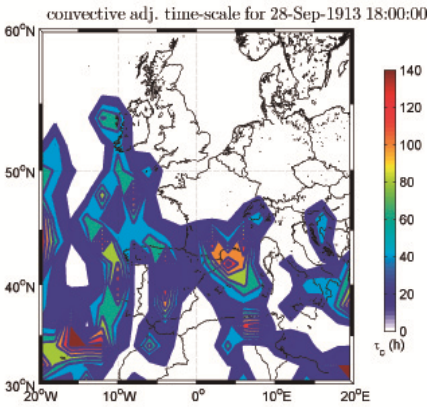
En aquesta figura els episodis han estat classificats, també, com a episodis de no equilibri degut a tenir una CAPE molt elevada. No es veu una correspondència en tots aquests mapes però cal destacar que l'episodi de l'agost de 1963 (Fig. 3.37 esquerra) durant els intervals previs i durant la inundació les zones acolorides són majors que la seva comparació amb les imatges de la dreta.

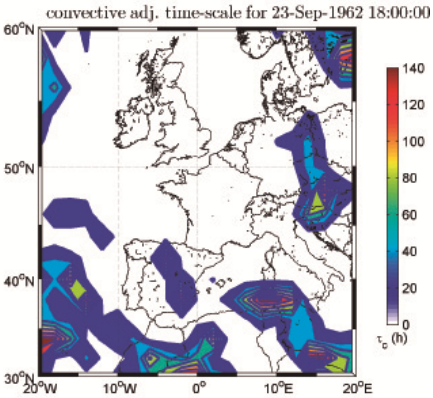
3.2.3. Episodis de tardor

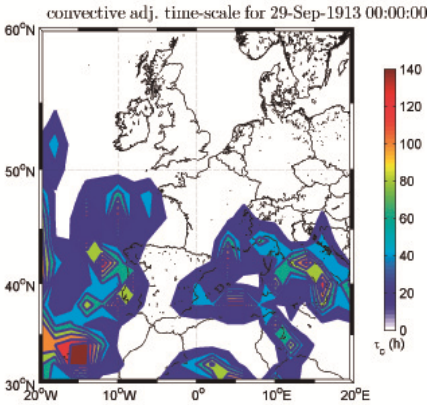
Com a exemple dels mesos de tardor, es mostrarà una comparativa entre els episodis de 1913 i 1962, que són episodis de règim d'equilibri ja que tant CAPE com τ_c són molt reduïdes.

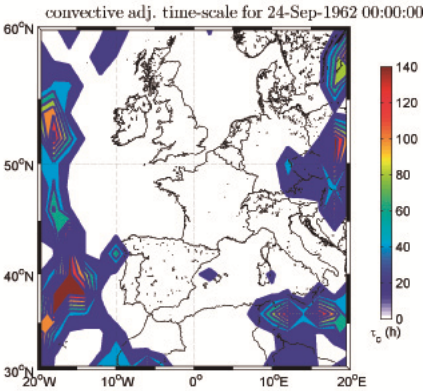
La figura 3.38 consta de la comparació dels dos episodis durant les 24 h abans de considerar la zona inundada i les primeres 24 h on aquesta és considerada a la zona.

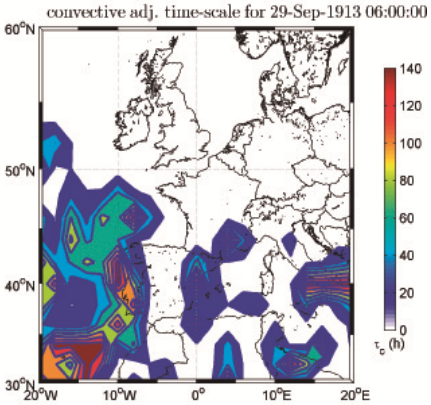


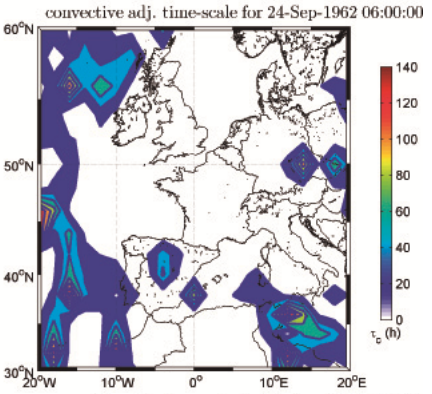

convective adj. time-scale for 28-Sep-1913 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

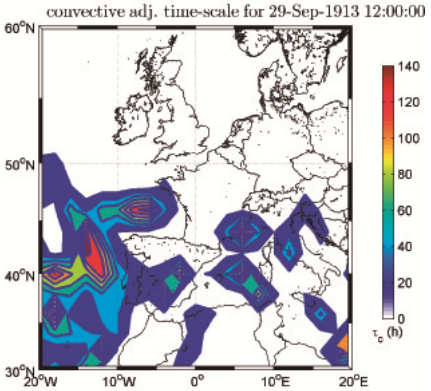

convective adj. time-scale for 23-Sep-1962 18:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

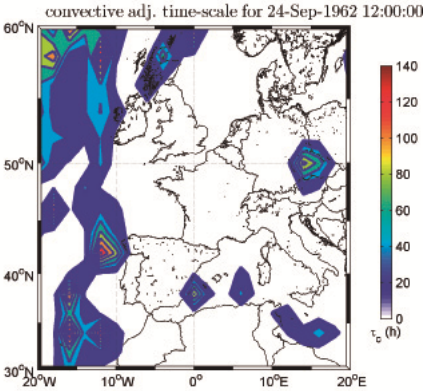

convective adj. time-scale for 29-Sep-1913 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 24-Sep-1962 00:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 29-Sep-1913 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 24-Sep-1962 06:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 29-Sep-1913 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)


convective adj. time-scale for 24-Sep-1962 12:00:00
60°N
50°N
40°N
30°N
20°W
10°W
0°
10°E
20°E
140
120
100
80
60
40
20
0
τc (h)

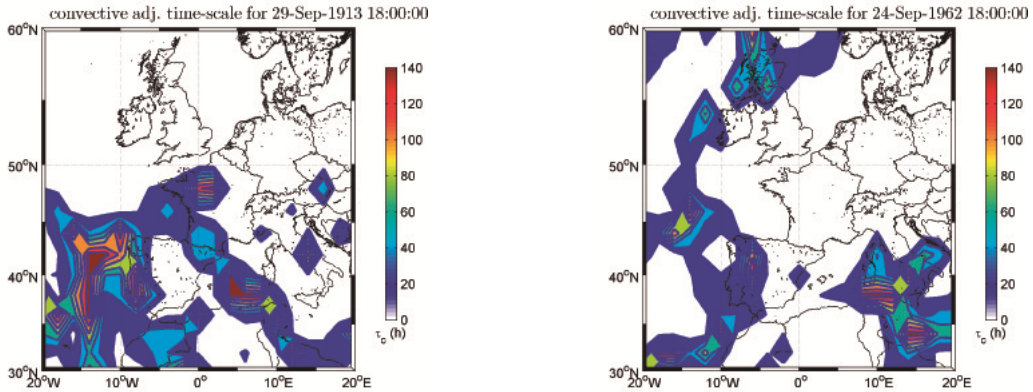


Fig. 3.38 Distribució espacial de l'escala de temps convectiva dels episodis de 1913 (columna esquerra) i 1962 (columna dreta).

La figura 3.38 mostra una major afectació de l'escala de temps convectiva sobre Catalunya a l'episodi de 1913 que no pas al 1962. Això demostra que els episodis que semblaven tenir característiques de CAPE i τ_c semblants no es comporten de la mateixa manera.

Per aquest motiu, la comparació de més episodis de la mateixa estació tardorenca qualificats d'igual manera a la taula 3.1 sembla ser que no aportarien nous resultats ni noves conclusions a la investigació.

4. Conclusions

En aquest projecte s'ha estudiat la relació de la CAPE i l'escala de temps convectiva (τ_c) amb, segons la base de dades PREDIFLOOD, 23 de les inundacions més devastadores que han tingut lloc al nord est de la península Ibèrica entre els anys 1874 i 2000.

Els paràmetres de CAPE utilitzats han estat obtinguts de NOAA 20th Century Reanalysis i seguint a Done et al. (2006) [10] s'ha calculat l'escala de temps convectiva per estudiar l'existència dels dos règims (el règim d'equilibri convectiu i el règim de no equilibri) en els episodis seleccionats.

La primera part de l'estudi s'ha analitzat l'escala de temps convectiva a les coordenades 42ºN i 2ºE, un punt central de Catalunya. S'ha observat que l'estació de l'any no és una característica remarcable per determinar quin dels dos règims hi predomina. Es troben episodis, per exemple, dels mesos d'hivern on al 1898 la τ_c és molt elevada (règim de no equilibri) mentre que al 1977 la τ_c és més reduïda (règim d'equilibri).

Inclús el valors de CAPE en els episodis de la mateixa estació no segueixen cap tendència. Sí que és cert, però, que ens els episodis hivernals aquesta no supera quasi bé mai els 200 J/kg, límit que determina l'inici de la convecció i que relacionaria els episodis amb els règim d'equilibri. En canvi als mesos

d'estiu i sobretot tardor, trobem episodis ens els quals CAPE és major del 1000 J/kg i menor de 10 J/kg.

Per altra banda, observant els resultats obtinguts dels valors de l'escala de temps convectiva en els episodis estudiats mostren molt poca relació amb els valors proposats per Done et al. (2006) [10], Molini et al. (2011) [11] o Zimmer et al. (2011) [18]. En aquest estudi els valors resultants són força majors que els que preveien aquests tres treballs. És per aquest motiu que la determinació d'un règim o altre és complexa. A més a més, interpretar quin és el valor límit de l'escala de temps convectiva per passar d'un episodi de règim d'equilibri a un de règim de no equilibri difereix molt de les propostes dels tres citats anteriorment. No es pot concretar un límit concret però seguint els resultats sí que seria superior a les 6 h proposades per Molini et al. (2011) [11] o Zimmer et al. (2011) [18]. S'acostaria més a les 24 h que proposa Done et al. (2006) [10] però tot i això seria un valor superior.

Per tal d'analitzar l'evolució de l'escala convectiva a una escala major, s'ha estudiat la distribució horitzontal de l'escala.

No s'ha observat, inclús comparant els episodis considerats del mateix règim i estació de l'any, una relació i un comportament clar pel que fa a l'evolució de l'escala de temps convectiva a nivell de l'est europeu.

Un cop realitzat aquest projecte es troben vàries propostes a millorar per tal d'obtenir uns resultats òptims de cara a resoldre les hipòtesis plantejades en un inici.

- Separar el comportament de l'escala de temps convectiva per les unitats hidrològiques establertes és complicat. Potser utilitzant menys unitats o realitzant un mapa més gran podria ser una solució.

- Es tenen les dades de CAPE cada sis hores. Vista la variació que té la τ_c en la majoria dels episodis és probable que aquests intervals siguin massa grans i no es vegi bé el seu comportament. Aconseguir intervals de menor quantitat d'hores seria important.

- Seguint amb l'obtenció de dades, ens preguntem fins a quin punt és útil observar i estudiar des de dos o tres dies abans les inundacions.

- És evident que hi ha episodis d'inundacions, sobretot els que es produeixen a començaments d'estiu a les unitats hidrològiques més interiors, els quals poden tenir causants que no estiguin relacionats únicament amb la CAPE o la τ_c. Un d'aquests efectes seria els desgel i la conseqüent crescuda dels rius que pot provocar. Afegir el desgel a fortes pluges pot causar inundacions severes.

A partir d'aquí creiem que millorant aquests punts seria possible resoldre d'una manera més acurada les hipòtesis plantejades inicialment, encara que aquestes no siguin del tot vàlides.

5. Referències

[1] Intergovernmental Panel on Climate Change, *"Climate Change 2014: Impacts, adaptation and vulnerability",* Cambridge, UK and New York, USA, 1-32 (2014).

[2] Munich Re Group. *Annual review: natural catastrophes 2002*. Technical Report Munich Re Group Munich, Germany (2003).

[3] European Environment Agency (EEA), "Mapping the impacts of natural hazards and technological accidents in Europe. An overview of the last decade", *EEA Technical Report*, no. 13/2010, 146pp (2010).

[4] Barrera, A., i Cunillera, J., *"Primer informe sobre la generació d'escenaris climàtics regionalitzats per Catalunya durant el Segle XXI*", Servei Meteorològic de Catalunya (2011).

[5] Barriendos,M., Ruiz-Bellet, J.L., Tuset, J., Mazón, J., Balasch, J.C., Pino, D., i Ayala, J.L., "The prediflood database of historical floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula) AD 1035-2013, and its potential applications in flood analysis", *Hydrology and Earth System Sciences* (2014).

[6] Ruiz-Bellet, J.L., Balasch, J.C., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J., i Pino, D., "Historical, hydraulic, hydrological and meteorological reconstruction of 1874 Santa Tecla flash floods in Catalonia (NE Iberian Peninsula)", *Journal of Hydrology* (524), 279-295 (2015).

[7] Romero, L., "Synoptic study of flood events in the northeast of the Iberian Peninsula during the last 150 years*"* (2015).

[8] Moncrieff, M. W. i Miller, M. J., "The dynamics and simulation of tropical cumulonimbus and squall lines*", Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* (102), 373-394 (1976).

[9] Zipser, E.J., "Some views on 'Hot Towers' after 50 years of tropical field programs and two years of TRMM data", *Meteorology Monthly* (2003).

[10] Done, J.M., Craig, G.C., Gray, S.L., Clark, P.A. & Gray, M.E.B., "Mesoscale simulation of organized convection: Importance of convective equilibrium", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* (132), 737-756 (2006).

[11] Molini, L., Parodi, A., Rebora, N., & Craig, G.C., "Classifying severe rainfall events over Italy by hydrometeorological and dynamical criteria", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* (137), 148-154 (2011).

[12] Pino, D., Ruiz-Bellet, J.L., Balasch, J.C., Romero-León, L., Tuset, J., Barriendos, M., Mazon, J., & Castelltort, X., "Meteorological and hydrological analysis of major floods in NE Iberian Peninsula", *Journal of Hydrology* (2015).

[13] Gracia, M. i Torrontegui, J., "Al menos 86 muertos en la riada de Biescas", *Diario El País*, 9 d'agost de 1996 (1996).

[14] Arakawa, A. i Schubert, W. H., "Interaction of a Cumulus Cloud Ensemble with the Large-Scale Environment, Part I", *Journal of the Atmospheric Sciences* (31), 674-701 (1974).

[15] Emanuel, K. A., Neelin, J. D. i Bretherton, C. S., "On large-scale circulations in convecting atmospheres", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* (120), 1111-1143 (1994).

[16] Charney, J. G. i Eliassen, A., "On the Growth of the Hurricane Depression", *Journal of the Atmospheric Sciences* (21), 68-75 (1964).

[17] Ooyama, K., "A theory on parameterizationof cumulus convection", *Journal of the Meteorological Society of Japan* (49), 744-756 (1971).

[18] Zimmer, M., Craig, G. C., Keil, C. i Wernli, H., "Classification of precipitation events with a convective timescale and their forecasting characteristics", *Geophysical Reasearch Letters* (38) (2011).

[19] Compo, G. P., Whitaker, J. S., Sardeshmukh, P.D., Matsui, N., et al. "The Twentieth Century Reanalysis Project", *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society* (137), 1-28 (2011),