

TERRITORIS

REVISTA del DEPARTAMENT de CIÈNCIES de la TERRA

Universitat de les Illes Balears / Segona època · Núm 8 · 2012 / ISSN: 1139-2169



Universitat de les Illes Balears

TERRITORIS

Revista del Departament de Ciències de la Terra

**Número especial
Mercedes Laita, in memoriam**

Miquel Grimalt Gelabert
(editor)

Joan Estrany Bertos
Antoni Ordinas Garau
(coeditors)

Palma, 2012

Universitat de les Illes Balears

TERRITORIS

Revista del Departament de Ciències de la Terra

Número especial

Mercedes Laita, in memoriam

Miquel Grimalt Gelabert
(editor)

Joan Estrany Bertos
Antoni Ordinas Garau
(coeditors)

Palma, 2012

Territoris és la revista que edita el Departament de Ciències de la Terra de la Universitat de les Illes Balears. Té com a principal objectiu difondre la recerca que, des de diferents perspectives i escales, estudia les interrelacions que es produeixen al territori, així com la temàtica pròpia de la ciència geogràfica i de les disciplines afins. Es publica amb una periodicitat anual i en doble format: com a revista miscel·lània i com a monografia. Els treballs que s'hi presentin han de ser inèdits i han d'estar redactats d'acord amb les normes establertes. La publicació dels originals està condicionada per la valoració positiva obtinguda a partir del sistema de revisió externa.

TERRITORIS

Segona època. Número 8
Revista del Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears

CONSELL DE REDACCIÓ

Director: Pere J. Brunet Estarellas
Secretari: Jesús M. González Pérez
Consell de Redacció: Macià Blázquez Salom
Guillem X. Pons Buades
Miquel Seguí Llinàs
Jaume Servera Nicolau

CONSELL CIENTÍFIC:

Salvador Antón Clavé (Universitat Rovira i Virgili), Roy Bradshaw (University of Kent), Knut Bjørn Lindkvist (Universitetet i Bergen), Gemma Cànoves (Universitat Autònoma de Barcelona), Roger W. Caves (San Diego State University), Georges Cazes (Université Paris I – Sorbonne), Jean Michel Dewailly (Université de Lyon), Cels García García (Universitat de les Illes Balears), Sten Engelstoft (University of Copenhagen), Rémy Knafou (Université Paris VII), Rubén C. Lois González (Universidade de Santiago de Compostela), Francisco López Palomeque (Universitat de Barcelona), Joan Nogué i Font (Universitat de Girona), José Ojeda Andújar (Universidad de Sevilla), Ana Olivera Poll (Universidad Autónoma de Madrid), Josep Oliveras Samitier (Universitat Rovira i Virgili), Josep M^a Panareda Clapé (Universitat Autònoma de Barcelona), Luis Pomar Gomà (Universitat de les Illes Balears), Gerda Priestley (Universitat Autònoma de Barcelona), Joan Romero González (Universitat de València), Vicenç Rosselló Verger (Universitat de València), Rocío Rueda (Universidad Autónoma del Estado de Morelos), Eugenio Ruiz Urestarazu (Universidad del País Vasco), Onofre Rullán Salamanca (Universitat de les Illes Balears), Xosé M. Santos Solla (Universidad de Santiago de Compostela), Thomas Schmitt (Universität Bochum), Joana M^a Seguí Pons (Universitat de les Illes Balears), Miguel Ángel Troitiño Vinuesa (Universidad Complutense de Madrid), José Fernando Vera Rebollo (Universitat d'Alacant), Florencio Zoido Naranjo (Universidad de Sevilla)

© del text: els autors, 2012

© de l'edició: Universitat de les Illes Balears, 2012

Coberta: Jaume Falconer

Primera edició: abril de 2012

Edició: Edicions UIB. Cas Jai. Campus universitari. Cra. de Valldemossa, km 7.5. 07122 Palma (Illes Balears)

<http://edicions.uib.es>

Fotografia de la coberta: Miquel Salamanca Salamanca

Impressió: Taller Gràfic Ramon. Gremi Forners, 18. Polígon Son Castelló. 07009 Palma

ISSN: 1139-2169

DL: PM 524-1998

No es permet la reproducció total o parcial d'aquest llibre ni de la coberta, ni el recull en un sistema informàtic, ni la transmissió en qualsevol forma o per qualsevol mitjà, ja sigui electrònic, mecànic, per fotocòpia, per registre o per altres mètodes, sense el permís dels titulars del copyright.

SUMARI

In memoriam

MIQUEL GRIMALT GELABERT

7

Paisatge i canvi territorial en el món rural de les Illes Balears

JAUME BINIMELIS SEBASTIÁN I ANTONI ORDINAS GARAU

11

Esquema de información de clima para turismo aplicado al balneario Pehuen Co, Argentina

M. LUJÁN BUSTOS I M. CINTA PICCOLO

29

Análisis de las disponibilidades hídricas en las cuencas hidrográficas de la
comunidad de Madrid: situación actual y previsiones futuras

ROSA CAÑADA TORRECILLA, ENCARNA GALÁN GALLEGO I FELIPE FERNÁNDEZ GARCÍA

41

Dinàmica de l'acumulació temporal de sediment fi al llit del torrent
de na Borges (Mallorca)

JOAN ESTRANY I CELS GARCIA

63

Caracterización del régimen bioclimático medio del área metropolitana de Madrid,
mediante la aplicación de la temperatura fisiológica (PET)

FELIPE FERNÁNDEZ GARCÍA, ENCARNA GALÁN GALLEGO I ROSA CAÑADA TORRECILLA

83

Subministrament urbà d'aigua i pluviometria (1976-2007) a Palma, Mallorca

ANTONI GINARD BUJOSA I MIQUEL GRIMALT GELABERT

103

Ciclo diario de la precipitación en las Islas Baleares

JOSÉ A. GUIJARRO

117

Primavera y canvi climàtic

AGUSTÍ JANSÀ CLAR

129

Clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison para los días de precipitación mayor o igual a 200 mm en la isla de Mallorca

JOAN LLOP GARAU I GABRIEL ALOMAR GARAU

143

Reducción del riesgo de extremos pluviométricos en España: últimos avances

JORGE OLCINA CANTOS

153

La toponimia del *Mapa topogràfic de Menorca* a escala 1:5.000. Una anàlisi geogràfica

ANTONI ORDINAS GARAU, JOANA M. PETRUS BEY I JAUME SERVERA NICOLAU

177

Influencia de los factores geográficos en las inundaciones de los valles cantábricos navarros

JAVIER M. PEJENAUTE GOÑI

193

Sobre las anomalías de precipitaciones en las Islas Baleares durante 2008

CLIMENT RAMIS NOGUERA, VÍCTOR HOMAR SANTANER I ROMUALDO ROMERO MARCH

213

Pluges torrencials a la vall de Soller: 1951-2000

JOAN ROSSELLÓ GELI

227

Los tráficos internacionales y las compañías de bajo coste en las Islas Baleares.

Movilidad versus sostenibilitat

JOANA M. SEGUÍ PONS I MARÍA ROSA MARTÍNEZ REYNÉS

241

Los extremos térmicos en el litoral mediterráneo: Evolución y factores de forzamiento

JAVIER SIGRÓ RODRÍGUEZ, MANOLA BRUNET INDIA I ENRIC AGUILAR ANFRONS

265

In memoriam

Mercedes Laita (1947-2008)

Mercedes Laita va iniciar la seva trajectòria científica al Departament de Ciències de la Terra com a alumna de Geografia entre els cursos 1985-86 a 1989-90, i va obtenir la llicenciatura. Tot just finalitzat el segon cicle, va obtenir una beca de formació de personal investigador de la qual va gaudir de 1991 a 1994, i d'aquesta manera va estar plenament vinculada amb les tasques d'investigació i docència.

Més tard fou professora ajudanta d'escola universitària (1995-1997), titular d'escola universitària (1997-2001) i, posteriorment, catedràtica d'escola universitària, sempre a l'àrea de geografia física. La seva tasca dins la institució universitària al llarg de 18 anys ha seguit un camí ben marcat en el camp de la investigació i de la docència.

La seva tasca com a investigadora ha estat prolífica i diversa en diferents aspectes de la climatologia, sempre centrats en l'àrea de la Mediterrània occidental, i no ha perdut en cap moment la perspectiva de la globalitat de la circulació atmosfèrica.

L'anàlisi de la relació entre les configuracions de pressió i la precipitació (o la seva absència) fou tractada en la memòria d'investigació, que va llegir el 1994: «Configuraciones típicas de presión atmosférica media en el Mediterráneo occidental asociadas a meses secos en las Islas Baleares». Els resultats foren parcialment publicats (Laita, Grimalt 1994).

Una fita fonamental en la seva carrera científica fou la seva tesi doctoral sobre el *El fenómeno del Niño y su influencia climática en el Mediterráneo occidental*, innovadora en molts aspectes i de factura particularment acurada tant de forma com de contingut. Es tracta d'un estudi avançat en el temps, ja que a l'inici de la dècada de 1990 el tema de les teleconnexions havia estat poc treballat.

Mercedes Laita va enllestir la recerca d'una connexió entre dos mons geogràficament tan inconnexos com la Mediterrània occidental i la conca de l'oceà Pacífic i ho féu amb un rigor metodològic encomiable. El seu estudi no es va reduir simplement a l'establiment de les possibles correlacions dels episodis d'El Niño amb elements del clima amb una component atzarosa, com la precipitació, sinó que en la seva anàlisi va introduir paràmetres com la vorticitat a la Mediterrània occidental, que en l'època hagué de calcular a partir d'una laboriosa lectura visual de les anàlisis de pressió en superfície del trentenni 1961-1990.

De la tesi doctoral, que, com a conjunt, va romandre inèdita, en derivaren tot un seguit de publicacions entre les quals destaca *Vorticity and pressure anomalies in the western Mediterranean during El Niño/Southern Oscillation extremes*, publicada a l'*International Journal of Climatology* (1997), així com d'altres en obres d'abast nacional (Laita, Grimalt 1995a; 1995b; 1995c; Laita 1998).

Implicada en el bessó del que seria el Grup d'Investigació del Departament de Ciències de la Terra, va participar en estudis sobre altres aspectes de la climatologia mediterrània, que abasten des del clima històric (Grimalt, Laita, Rodríguez 1994), fins a la distribució de les precipitacions intenses (Grimalt, Laita, Ruiz 2001; Grimalt et al. 2006), o la relació entre pluviometria i aspectes hidrològics (Ginard, Grimalt, Laita 2001; Rosselló, Laita 2007).

Altres aspectes del clima de les Illes Balears han estat tractats en les seves publicacions, des del ben nodrit corpus bibliogràfic existent sobre climatologia i meteorologia de les illes (Grimalt, Laita 1995), al règim d'embat (Alomar, Grimalt, Laita 2004) i els trets genèrics del clima balearic en obres de caràcter didàctic com l'*Atlas de les Illes Balears* que va publicar la Conselleria d'Educació (1996) o l'*Atlas* en CD-ROM editat a la nostra universitat (1999). La relació entre les seves investigacions i el canvi climàtic també es va veure reflectida en ambdues publicacions (Laita, Grimalt 1995a; Alonso, Laita 2000).

Membre activa de l'Associació Espanyola de Climatologia, fou una dels responsables del III Congrés que aquesta associació va celebrar a Mallorca a l'octubre de 2002. De la seva dedicació personal i tasca organitzativa en va dependre en gran mesura l'èxit de l'esdeveniment que es va plasmar en un voluminós llibre d'actes que reuneix un important nombre d'aportacions i del quan fou coeditora (Guijarro et al. 2002)

Sovint el record del perfil del professorat universitari queda restringit a la investigació i les publicacions, mentre que la docència –tasca fonamental en la professió– queda relegada en un segon terme. En aquest àmbit, la professora Laita va desenvolupar una feina sistemàtica en el camp de l'ensenyament de la climatologia, amb dedicació a les assignatures de Climatologia General i Climatologia Analítica, bàsiques en la formació dels titulats en Geografia a la Universitat de les Illes Balears. I com a bona mostra del seu mestratge fructífer queden els nombrosos alumnes que han seguit la investigació en el camp del clima després d'haver rebut les seves classes o que es dediquen a tasques professionals relacionades amb el món del temps i el clima. També és ressenyable la seva tasca docent en l'assignatura optativa Climatologia de les Latituds Mitjanes i Geografia Física, així com en l'assignatura d'Impactes Ambientals del Turisme a l'Escola Superior de Turisme que contribuï a impartir durant diversos anys. Igualment va participar en els ensenyaments de tercer cicle amb els cursos de doctorat Avaluació dels Impactes del Canvi Climàtic i de l'Adaptació i Caracterització del Clima Històric a partir de Fonts Documentals i Estadístiques. A més, va contribuir amb el seu mestratge a nombrosos títols propis i cursets de l'Institut de Ciències de l'Educació i d'extensió universitària.

Finalment, s'ha de lloar la implicació de la doctora Laita en la tasca corporativa del Departament de Ciències de la Terra, com a membre assidu en els seus consells, col·laboradora en la revista *Territoris*, i sobretot com a membre de la Comissió Redactora del Grau en Geografia, tasca en la qual estava implicada plenament quan malauradament ens va deixar.

Miquel Grimalt Gelabert
editor

Publicacions de Mercedes Laita:

- Brunet, P. (coordinador), Beltrán, M. R., Bover, F., Corbí, A. M.; Duran, M., Ginés, J., Laita, M., Llabrés, C. M., Martí, A., Mascaró, C. M., Morell, M., Servera, J., Tejedor, M. J. (1989): «Evolució dels centres mitjans ponderats de població i habitatge a Mallorca (1950-1986)». *Treballs de Geografia*, 42, 109-116.
- Laita, M., Mascaró, C., Marí, A., Menorca, P. (1989): II Cicle de Conferències de Climatologia i Meteorologia. *Treballs de Geografia*, 42, 141-146.
- Laita, M., Grimalt, M. (1994): «Análisis objetivo del campo de presión en el Mediterráneo occidental y clasificación del mismo para meses secos en las Islas Baleares». A: Justicia, A.; Domínguez, R., García, E. (ed.): *Perfiles actuales de la geografía cuantitativa en España*. Ed. Universidad de Málaga/AGE, 117-128.
- Grimalt, M., Laita, M., Rodríguez, R. (1994): «Periodización de las sequías históricas en Mallorca (ss. XIV-XIX)». A. Pita, M.; Aguilar, M. (ed.): *Cambios climáticos en España*. M. F., Ed. Universidad de Sevilla/AGE. 129-146.
- Grimalt, M., Laita, M. (1995): *Bibliografía básica de ciencias sociales a les Balears: climatologia i meteorologia*. Govern Balear. Conselleria de Cultura, Educació i Esports, Palma. 122 pàg.
- Laita, M., Grimalt, M. (1995a): «¿Podrían estar apareciendo indicios del cambio climático en variables dinámicas del Mediterráneo occidental?». *Revista de Meteorología*, Bol. De la A. M. E., 18-19, 23-24.
- Laita, M., Grimalt, M. (1995b): «Climatologia de la pressió, vent i vorticitat durant el trentenni 1961-1990 a la Mediterrània occidental». *Revista de Ciència*, 16, 93-100.
- Laita M., Grimalt, M. (1995c): «Relación entre perturbaciones b́aricas del Mediterráneo occidental y extremos del fenómeno “El Niño/Oscilación del Sur”». (ENOS) A: Creus, J. (ed.): *Situaciones de riesgo climático en España*. CSIC/AGE. 215-222.
- Laita, M. (1996): «Climatologia de les Illes Balears». *Atles de les Illes Balears*. Conselleria de Cultura, Educació i Esports. Govern Balear. 176 pàg.
- Laita, M., Grimalt, M. (1997): «Vorticity and pressure anomalies in the western Mediterranean during El Niño/Southern Oscillation extremes». *International Journal of Climatology*, 17, 475-482.
- Laita, M. (1998): «El Niño y su influencia en el régimen de lluvias en Baleares». *Territoris*, 1, 189-201.
- Laita, M. (1999): «Climatologia de les Illes Balears». *Atles de les Illes Balears* (CD-ROM). Govern Balear, «Sa Nostra» i UIB.
- Alonso, S., M. Laita (2000): *Desde el pasado hacia el futuro del clima de la Tierra*. A: Programa Internacional de Correlación Geológica: Desarrollo y perspectivas en España. Instituto Tecnológico y Minero de España. Ministerio de Ciencia y Tecnología. 11-18.
- Grimalt, M., Laita M., Ruiz M. (2001): «Pautes espacials de distribució d'aiguades intenses al llevant de Mallorca (1930-1995)». A: *Manacor 700 anys*. Ajuntament de Manacor.
- Ginard, A., M. Grimalt, M. Laita (2001): «Pluviometria i aportacions d'aigües superficials al sumministrament urbà de Palma (1975-1999)». A: *Qüestions de Balears 2015*. Número 3. Actes de les I Jornades Tècniques Balears 2015: La gestió de l'aigua. «Sa Nostra» Caixa de Balears, 169-178

- Guijarro, J. A.; Grimalt, M., Laita, M., Alonso, S. (ed.) (2002): *El agua y el clima. L'aigua i el clima*. Asociación Española de Climatología. 594 pàg.
- Alomar-Garau, G., Grimalt, M., Laita, M. (2004): «La percepción geográfica del régimen de brisas en Mallorca. De la experiencia directa a los datos instrumentales». A: Diego, C. et al. (ed.): *El clima entre el mar y la montaña*. Asociación Española de Climatología. Santander. Pàg. 551-559.
- Guijarro, J. A., Grimalt, M., Laita, M., Alonso, S. (2004): *El agua y el clima. L'aigua i el clima*. Asociación Española de Climatología. Palma. 35 pàg.
- Grimalt, M., Laita, M., Rosselló, J., Caldenteny, J., Arrom, J. M. (2006). «Distribución espacial y temporal de las precipitaciones intensas en Mallorca». A: Cuadrat Prats, J. M. [et al.] (ed.). *Clima, sociedad y medio ambiente* (2006). Asociación Española de Climatología. Pàg. 411-420.
- Rosselló, J., Laita, M. (2007): *Precipitació i escorrentia a la vall de Sóller*. I Jornades d'Estudis Locals. Ajuntament de Sóller. 71-76.

***Paisatge i canvi territorial
en el món rural de les Illes
Balears***

Jaume Binimelis Sebastián

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears

Antoni Ordinas Garau

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears

PAISATGE I CANVI TERRITORIAL EN EL MÓN RURAL DE LES ILLES BALEARS

Jaume Binimelis Sebastián
Antoni Ordinas Garau

RESUM: La transformació econòmica, social i territorial produïda a les Illes Balears és un efecte de l'impacte del procés de desenvolupament basat en el turisme de masses. S'analitzen les fases del canvi territorial en el món rural balear i les seves principals manifestacions, com la colonització residencial impulsada per la demanda estrangera i els nous usos turístics i recreatius que caracteritzen el nou estadi postproductivista, alhora que es descriu la percepció que té el món agrari balear d'aquesta nova realitat.

PARAULES CLAU: paisatge, món rural, canvi territorial, Illes Balears.

ABSTRACT: The economic, social and territorial transformation produced in the Balearic Islands is an effect of the impact of the development process based on mass tourism. The phases of territorial change in the rural Balearic world and their main consequences were analyzed, as were the residential colonization stimulated by the foreign demand and the new tourism-based and recreational uses that characterize the new postproductivist status. Furthermore, it describes the agrarian Balearic world's perspective of this new reality.

KEYWORDS: landscape, rural world, territorial change, Balearic Islands.

1. Introducció

A inicis del segle XXI, no hi ha dubtes sobre el fet que la transformació econòmica, social i territorial produïda a les Balears és un efecte de l'impacte del procés de desenvolupament basat en el turisme de masses. L'activitat turística ha provocat una ruptura radical en la dinàmica de les estructures preexistents, i ha accelerat la introducció de nous models de comportament en tots els àmbits. La personalitat de les Illes ha trontollat en un període de temps molt curt: en poc més de quaranta anys s'ha

consolidat el pas d'una societat tradicional, rural i agrària, característica del sud de la Mediterrània, a una societat urbana i moderna. Els darrers vint anys de transformació del model econòmic i també territorial i social s'han caracteritzat, entre altres coses, per la visualització del canvi als espais rurals d'interior, la qual cosa no significa que el camp hagués restat immòbil en relació amb els canvis de tot tipus que s'havien produït a la segona meitat del segle XX.

El procés de canvi rural és un procés global de transformació que podem dividir

en dues etapes. En una primera etapa, als anys seixanta i setanta, es produeix l'ajustament de l'agricultura illenca al nou marc d'una societat urbana emergent. La segona etapa, que s'iniciarà amb l'entrada d'Espanya a la Unió Europea, marcarà l'inici d'allò que s'anomena transició postproductivista, la qual marcarà profundament la realitat rural illenca. Es produeix un desballestament de gran part dels subsectors agrícoles i assistim a l'extensificació dels processos productius i a la diversificació econòmica del medi rural, així com a la producció de mercaderies de valor ambiental. La diversificació econòmica del medi rural ha suposat aquests darrers vint anys una intensificació del procés de rururbanització. Aquest procés es fonamenta sobretot en l'ús residencial, principal motor del canvi dels espais rurals. No obstant això, consideram que el turisme rural i l'agroturisme han de ser incorporats a la definició de la darrera etapa de construcció del territori, ja que suposen un nou element de colonització basat igualment en una nova forma d'especialització del turisme.

2. Canvi socioeconòmic *versus* canvi territorial

Encara que es poden assenyalar multitud de matisos, paral·lelament a la implantació del turisme, l'evolució del model territorial de les Illes (molt especialment a Mallorca) permet establir quatre grans fases.

Societat agrària i inicis del turisme (1930-1950, 1960)

La situació anterior a l'aparició del turisme està definida per la persistència d'una base econòmica i social de caràcter arcaic i aparentment immutable, formada per un gran contingent de treballadors del camp (més del 50% de la població activa era

agrària abans del 1950). El domini de la gran propietat coexistia amb una estructura de petita i mitjana propietat, juntament amb artesans i petits industrials i comerciants. Durant la primera meitat del segle XX es mantenia l'economia agrària en un entramat social més aviat estàtic i conservador, tancat i respectuós de la tradició.

La societat tradicional s'assentava i actuava en un territori configurat per uns espais rurals de producció agrària situats a l'interior de les Illes (el litoral i la muntanya es consideraven àrees marginals), amb el predomini d'uns usos del sòl i uns sistemes d'aprofitament de caràcter extensiu.

Malgrat la persistència del model tradicional, de predomini agrari, la dècada dels cinquanta representa, certament, una vertadera etapa transitòria, amb efectes territorials importants. Es produeix una primera pèrdua de població activa agrària, amb un flux de treballadors que va del camp (sempre els més joves) cap a altres sectors i un èxode rural intern cap a les zones urbanes més dinàmiques. En aquest sentit, l'augment dels establiments hotelers a l'entorn de la ciutat de Palma és un bon punt de referència.

El 1960 s'iniciava la primera gran onada de turisme, la presència del qual es va incrementar progressivament fins a la crisi econòmica del 1973. A les Balears, l'especialització econòmica basada en el turisme de masses ha actuat com un factor de canvi sobre el model econòmic i territorial precedent, a través de la formació d'una societat moderna, urbana i de serveis, en el transcurs d'una sola generació i ha introduït, per la seva rapidesa, elements d'heterogeneïtat i de falta d'integració.

Productivisme agrícola i desenvolupament urbà i turístic (1960-1980)

El desenvolupament d'una economia molt especialitzada en els serveis turístics, i dependent de la conjuntura exterior, s'ha

traduït en la superació (en molts aspectes definitiva) dels models tradicionals. L'omnipresent agricultura extensiva de secà entrava en un declivi irrecuperable. L'herència del sector primari només pareixia conservar la vitalitat per un momentani creixement de la superfície dedicada als cultius intensius de reguiu, com a resposta a la demanda del nou mercat urbà i turístic.

El daltabaix en la producció agrària es manifestava amb un transvasament de la població activa a la construcció i els serveis, directament o indirecta relacionats amb la dedicació turística, el qual buidava d'actius les zones rurals. De fet, entre la població autòctona, només sobrevisqueren al camp les persones més grans de quaranta anys. Fins i tot, entre els anys 1960 i 1973, les creixents exigències d'un mercat laboral centrat en l'activitat turística originaven l'arribada d'un gran contingent d'immigrants per satisfer la demanda de mà d'obra en sectors com l'hoteleria o la construcció, per la qual cosa s'alterà l'homogeneïtat social tradicional.

Durant aquest període, la destinació turística principal és Mallorca. A finals dels anys seixanta i principis dels vuitanta el pes relatiu afecta principalment l'illa d'Eivissa, que inicia el seu creixement en el sector del turisme, mentre que l'illa de Menorca s'incorporarà plenament al procés a la dècada dels vuitanta. Majoritàriament, el creixement turístic se centra en el turisme hotelier, concentrat en àrees litorals. Globalment, el canvi en el model territorial es caracteritza per diversos factors: el creixement de les zones urbanes, la dinamització de les àrees litorals i l'aparició de nous espais marginals.

El pes de les principals zones urbanes (sobretot de Palma) augmentava sobre el territori, tant en població com en funcions urbanes, i es convertien en centres articuladors. D'altra banda, la població i les

activitats econòmiques es desplaçaven des de l'interior cap a la costa, de manera paral·lela al turisme de sol i platja. Al mateix temps, les zones de l'interior, tot i que tenien la major representativitat en termes de superfície total, es constituïen en els nous espais marginals. Les àrees rurals i agràries, que havien estat el suport de l'economia tradicional, perdien el protagonisme i es convertien en reserves de residència, d'activitats d'oci o d'espai natural protegit (en nom d'un proteccionisme que reclama la conservació del paisatge com a valor de canvi turístic). Els principals exemples són la serra de Tramuntana de Mallorca o es Amunts d'Eivissa, les zones menys afectades, en principi, pel desenvolupament turístic, residencial i urbanístic, les quals romanien d'alguna manera al marge del procés general a causa de les dificultats d'accessibilitat i de la inexistència de grans platges a les seves costes. A Menorca, que es va incorporar més tardanament a l'explotació massiva del turisme, el nivell d'impacte ambiental sobre el territori ha estat menor que a les altres illes; possiblement, aquesta circumstància i la voluntat de conservació va permetre la declaració de l'illa Reserva de la Biosfera (1994).

Turisme, residència i abandonament de l'agricultura (1980-1990)

A la dècada dels anys vuitanta, després d'uns anys d'estancament i de descens del turisme de masses, es constata un nou període de creixement. L'estabilització dels establiments hotelers se substitueix progressivament per la generalització de la implantació d'apartaments, legals o il·legals, destinats a la demanda turística. Paral·lelament a la saturació de les antigues zones turístiques litorals, se'n consoliden altres de noves.

Des del 1985 es detecta un alarmant descens i envelliment dels actius agraris, i

fins i tot un retrocés de les abans rendibles explotacions dedicades al reguiu. S'inicia un abandonament generalitzat de l'agricultura, tant de secà com de reguiu. L'alternativa al procés de fossilització dels paisatges i de les activitats a les àrees rurals està representada per l'agricultura a temps parcial i l'agricultura d'oci. Al mateix temps, s'incrementa l'expansió de les grans zones urbanes cap a les seves respectives corones exteriors. Als espais rurals, la colonització urbana pren la forma de segona (o primera) residència de la població local, amb l'aparició dels primers residents estrangers a l'interior i dels inicis del turisme rural.

Rururbanització i societat turística (1990-2007)

En els darrers anys, es manté absolutament l'especialització turística. La desaparició de les activitats agràries és un fet incontestable, tal vegada només matisable per l'aparició de l'agricultura a temps parcial i d'oci, i pel manteniment que fan els jubilats del paisatge agrari. S'ha consolidat la funció residencial a les àrees rurals, tant de població local com de residents estrangers, i el procés generalitzat de rururbanització s'esdevé a tot el territori. No obstant això, en aquesta darrera fase, un altre agent significatiu de la colonització territorial del turisme és el creixement dels establiments de turisme rural.

3. Manifestacions del canvi territorial al món rural

A la realitat illenca del binomi format pel medi rural i el turisme s'hi arriba a través de diversos camins, com la proliferació d'oferta turística als espais d'interior sota la denominació genèrica de turisme rural, la percepció de les activitats recreatives com una de les solucions als problemes del camp i la

progressiva instal·lació dels habitatges de vacances al medi rural, situacions que tenen relació amb les diferents estratègies de defensa i mecanismes d'ajustament de les explotacions agràries familiars.

3.1. La colonització residencial al món rural

El *tercer boom* és l'expressió usada als anys noranta per definir l'etapa de fort creixement econòmic que es fonamenta en la depredació del territori, i que es manifesta a través de les puntes d'inflexió d'indicadors macroeconòmics i d'altres indicadors de caràcter demogràfic, ambiental i territorial arrossegats pel fort creixement de l'arribada de turistes a les Balears i en aquest cas, més concretament, de turistes anomenats *residencials*, els quals sobretot no s'allotgen en establiments turístics regulats per normativa. Aquest fenomen ha generat una polèmica sobre el seu nombre i la seva catalogació (hi ha qui empra el terme «places d'ús turístic» per oposició al terme «places turístiques»), el qual fa referència a les places regulades per la Conselleria de Turisme del Govern de les Illes Balears). El fet, però, és que s'estima que aquestes places representen entre el 25% i el 40% del nombre total de places. Entre els indicadors utilitzats pels qui han definit el *tercer boom* destaca el procés de difusió de la funció residencial dins l'espai rural.

En el cas de Mallorca, la irrupció dins del camp illenc d'activitats residencials és un fenomen que es produeix des de la dècada dels anys setanta. A la dècada dels vuitanta la proliferació d'habitatges de nova construcció dins del sòl rústic adquirí la màxima intensitat, sobretot dins de la franja rural-urbana de Palma, que abasta un vast territori que va cap a l'est, des d'Inca fins a Lluçmajor. La xarxa viària radial de l'illa facilità i marcà bona part de la difusió de les noves funcions residencials dins del camp

illenc. També fou intensa l'activitat constructora en indrets més allunyats, com Sóller i Pollença, a la serra de Tramuntana. Si de manera general podem afirmar que el procés de rururbanització experimentat pel camp illenc durant la dècada dels vuitanta fou generat per una demanda autòctona urbana, durant la dècada dels noranta, l'activitat constructora i immobiliària, que visqué una segona fase de màxima intensitat, és sustentada per la satisfacció, en canvi, d'una demanda al·loctona (Binimelis et al. 2006).

Prèviament, a la dècada dels setanta, l'hàbitat rural tenia una distribució territorial que encara responia a les pautes pròpies d'un territori modelat per l'agricultura. Es tracta, doncs, d'un model de distribució territorial de l'hàbitat que respon bàsicament a condicionaments agraris, ja que aleshores l'agricultura era l'activitat primera i quasi única del món rural. Així, la major densitat d'hàbitat es localitza al Raiguer, al voltant dels nuclis urbans tradicionals de població, cosa que recorda des d'aquesta òptica els patrons *thunians* de localització agrícola. D'altra banda, a les àrees hortícoles que creixen durant les dècades posteriors, en l'inici del turisme de masses, també hi trobam àrees de forta densitat d'hàbitat. Aquesta és la resposta a les necessitats de l'agricultura moderna i capitalitzada que s'imposa en aquestes àrees (molins, construccions per a infraestructures d'extracció d'aigua, magatzems agrícoles, etc.) com encara podem observar al prat de Sant Jordi, a Muro i sa Pobla o també a la depressió de Campos. Mentrestant, la resta de l'hàbitat reflecteix el conjunt de processos de transformació agrària que han tingut lloc dins del passat recent o més llunyà. Bàsicament, l'hàbitat és fruit de la desagregació de la propietat que va tenir lloc al segle XIX, però també a la primera meitat del segle XX. Observam densitats altes als entorns de les valls de Sóller i de Pollença

que, d'altra banda, són els únics indrets dins de la serra de Tramuntana on s'estableix la petita propietat. També són més altes les densitats al Raiguer i al Pla, àrees de domini també de l'explotació mitjana i petita, mentre que l'hàbitat rural, a principis dels setanta, té una baixa representació a la Marina de Lluçmajor, a l'àrea de son Real i de sa Canova, al rerepaís costaner de les serres del Llevant, des de la península d'Artà fins a sa Vall, a ses Salines.

Entre els anys setanta i el final dels vuitanta es produeix un creixement de 19.807 noves edificacions a l'espai rural, la qual cosa equival a un augment del 58,3%. D'altra banda, entre el 1987 i el 2002 l'augment va ser de 13.400 edificacions, la qual cosa suposà un creixement relatiu del 26% respecte del 1987. Les dades s'han de valorar des de l'òptica del valor relatiu. Per aquesta raó, podem considerar que el procés de canvi rural de Mallorca (amb la transformació de parcel·les d'ús agrari en parcel·les d'ús residencial i de lleure) viu el seu període més intens entre el 1973 i 1987 i, com ho vàrem demostrar, dins aquest primer període els anys vuitanta foren els més intensos (Binimelis 1996). Entre el final dels vuitanta i l'inici del nou segle, l'increment del nombre d'edificacions amb funcions residencials ha crescut, però no amb la intensitat de l'etapa anterior. Per tant, el capítol més intens de transformació funcional de l'espai rural no es produeix a la dècada dels anys noranta, sinó més aviat a les dècades dels anys setanta i vuitanta.

A Menorca, a la meitat dels anys noranta, la colonització urbana de l'espai rural responia, en la seva plasmació, al model territorial tradicional de l'illa. L'aparició de funcions urbanoresidencials al si del camp és del tot més feble que a l'illa més gran de l'arxipèlag, Mallorca. Les xifres mostraven que el fenomen no havia adquirit fins aleshores les dimensions que havia adquirit a Mallorca i també a les Pitüses, tot

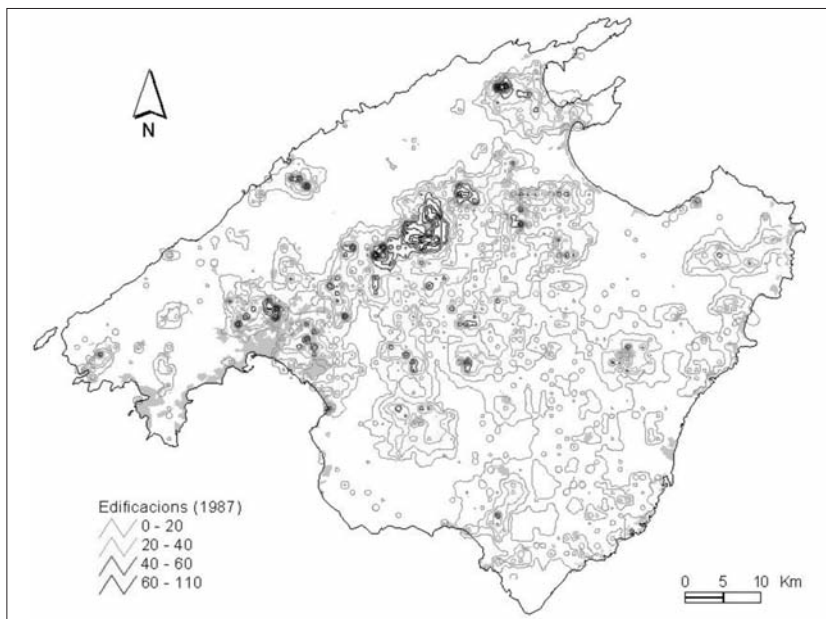


Fig. 1. Distribució de les edificacions en sòl rústic el 1987 a Mallorca.

Font: Binimelis (2006)

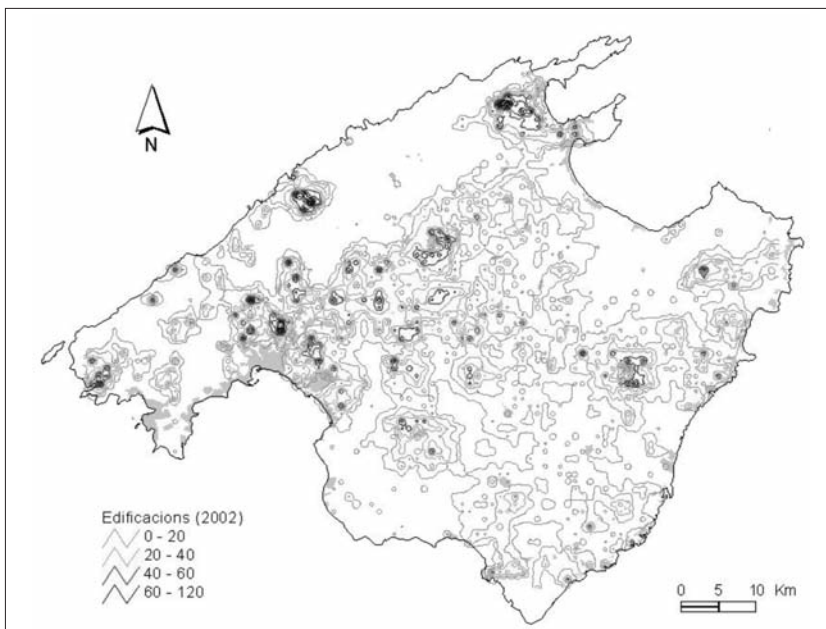


Fig. 2. Distribució de les edificacions en sòl rústic el 2002 a Mallorca.

Font: Binimelis (2006)

i que, per la magnitud demogràfica i espacial de l'illa, la demanda urbana mai no va ser la mateixa que s'havia generat a Mallorca. També hem d'assenyalar que el turisme, com a activitat remodeladora del model socioeconòmic i territorial, havia aparegut de manera massiva més recentment. Per tant, el fenomen era escàs, recent i no responia al nou model econòmic –la terciarització– al qual havia conduït el turisme. I per això mateix, els nuclis turístics emergents tenien un escàs poder d'expansió.

L'aparició de funcions urbanoresidencials dins del camp segueix l'eix longitudinal que uneix Maó i Ciutadella, els dos principals nuclis del sistema urbà, així com els nuclis urbans de segon ordre, és a dir, ens trobam davant del mateix eix que separa dos territoris diferenciats entre si: Tramuntana i Migjorn. Es tracta, per tant, d'un seguit d'aurèoles rururbanes que es desenvolupen al voltant dels nuclis urbans units per aquest eix longitudinal. Lògicament, la influència de les aurèoles és més extensa com més gran és el pes demogràfic del nucli. Per tant, la formació d'àrees rururbanes era més aviat un fet propi de les terres de Migjorn, des de sempre les més humanitzades. D'altra banda, tot i la disposició de les aurèoles entorn dels nuclis urbans, aquestes es projectaven transversalment cap a migjorn, respecte de l'hipotètic eix longitudinal de què hem parlat. Es formen corredors rururbans que uneixen els nuclis urbans tradicionals amb els nuclis turísticourbans emergents de la costa. Aquesta disposició de les àrees rururbanes només és transgredida per algunes petites àrees com les que es disposen al nord entorn del port de Fornells i l'arenal d'en Castell.

En resum, podem afirmar que la colonització urbanoresidencial del camp menorquí era un fenomen recent i d'escassa magnitud a la meitat dels anys noranta. Territorialment, aquestes àrees es desenvolupen en terres de migjorn, i es disposen

sobretot en forma d'aurèola entorn dels nuclis urbans, directament proporcionals al pes que tenen. Tot i així, a cops, es formen corredors rururbans que uneixen aquestes aurèoles rururbanes amb les quals, de manera incipient, es localitzen als voltants dels nuclis turístics.

Quant a les Pitiüses, el fenomen havia adquirit dimensions considerables a la meitat dels anys noranta. Per la magnitud demogràfica i espacial de les illes, la demanda urbana mai no serà la mateixa que s'havia generat a Mallorca. Ara bé, per la raó que acabem d'esmentar, el pes del fenomen no solament es pot explicar per la demanda interna sinó pel fet que les Pitiüses eren també el territori objecte de consum per part de població urbana d'origen extern –població europea–. En resum, el fenomen a les Pitiüses semblava més paregut al mateix que s'esdevenia a Mallorca que al que es produïa a Menorca. Com que no hi havia un sistema urbà fortament polaritzat en uns quants nuclis de població i a causa del secular caràcter dispers de l'hàbitat pitiús, la proliferació de funcions urbanoresidencials dins de l'espai rural es presentava difuminada, sense grans concentracions aureolars. Tot i així, als voltants dels principals centres urbans, que són també els principals centres turístics –Vila, Sant Antoni i Santa Eulària–, sí que observam una certa concentració que disminueix en allunyar-se'n. D'altra banda, l'expansió urbana es produïa sobretot dins del paisatge més humanitzat: les àrees rururbanes s'espargien al llarg dels eixos viaris, els quals es disposen al llarg de les valls i costers que trobam entre els diferents accidents orogràfics, coincidint també amb les àrees de conreu, d'hàbitat dispers i d'estructura agrària fragmentada.

La demanda estrangera d'espai residencial

La demanda estrangera d'espai residencial va tenir molta importància als

anys noranta, i va contribuir a un nou capítol de forta intensitat de transformació dels espais rurals, per la proliferació d'habitatges de nova planta. En el cas de Mallorca, segons el registre de contractes i abonats als serveis d'enllumenat de GESA per a ús particular i de residència, el 1999 es va arribar fins a un total de 40.636 contractes signats per estrangers, la qual cosa indicava que hi havia prop de 41.000 habitatges unifamiliars que pertanyien a estrangers. A més, si aquesta xifra la multiplicam per un coeficient indicador de la grandària de les estructures familiars europees –famílies nuclears amb un o dos fills– el nombre d'estrangers que residien a l'illa, sia de manera intermitent o definitiva, oscil·lava entre els 120.000 i els 160.000. Fins a cinc trets essencials definien el comportament espacial del nou resident estranger:

a) Litoral. Els municipis del litoral se situen al capdavant en nombre de residents estrangers.

b) Palma. L'hegemonia de la capital insular actua sempre com a element distorsionador en el repartiment de variables i funcions. En aquest cas no és una excepció; Palma ocupa un lloc preeminent, tenint en compte el nombre d'abonats a GESA, com a lloc de residència d'estrangers i també com a destí d'inversions estrangeres.

c) L'eix de llevant. En el cas de Mallorca, el municipis del llevant de l'illa –també algun de la banda de migjorn com Lluçmajor–, municipis litorals i modelats verticalment per les serres de Llevant juguen un paper cabdal. Són els casos de Capdepera, Manacor, Felanitx i també Artà, Sant Llorenç, Son Servera i Santanyí. Entre les serres i les urbanitzacions del litoral s'ha creat un rerepaís costaner format per habitatges unifamiliars dispersos de propietat estrangera dins les zones aturonades i agrícolament pobres de les marines i el vessant oriental de les serres.

d) L'eix occidental. Està format pels municipis turístics de Calvià i d'Andratx. Formen amb Palma un contínuum urbà morfològic i funcional que també es manifesta a partir de l'anàlisi de l'entramat immobiliari estranger a l'illa.

e) Les parcel·les de propietat estrangera, en general, estaven per sota de la parcel·la mínima exigible des de l'òptica de les normatives urbanístiques. Eren habituals les agrupacions de parcel·les, amb les quals s'aconseguia la grandària suficient per superar el límit de la parcel·la mínima.

La percepció per part del món agrari balear dels habitatges de vacances

Gran part dels habitatges construïts durant aquestes dècades de forta expansió immobiliària dins del camp mallorquí són actualment habitatges que es lloguen a turistes durant els mesos de temporada turística, d'abril a octubre. Tècnicament, s'anomenen habitatges turístics de vacances. Aquest procés és el responsable de la conversió de les terres per produir en terrenys per construir. Per tant, les parcel·les agrícoles no són valorades per la seva hipotètica renda agrària, sinó per la seva potencial renda immobiliària. L'encariment del preu de la terra i el desballestament de les activitats agràries és la conseqüència final de la nova activitat turístico-immobiliària.

En general, els propietaris rurals i els pagesos estan a favor de la irrupció d'activitats residencials dins del sòl rústic. La perspectiva urbanística genera adeptes entre els propietaris rurals de les Illes, com a solució a les seves propietats. Els propietaris rurals ja no creuen que el camp sigui un espai per a la producció, sinó que només és possible considerar-lo un espai per a la reproducció. Per alguns aquesta és l'única possibilitat que garanteix la gestió del territori. A més, la reparcel·lació i venda per a usos residencials

també és l'única solució per a les grans propietats (Binimelis, Ordinas 2008).

L'ús dels nous habitatges com a oferta d'ús turístic és un fenomen que ha tingut un gran desenvolupament en les dues darreres dècades. Per a alguns aquesta és una bona solució que pot permetre al propietari rural obtenir les rendes que no li proporciona l'agricultura. També pot ser l'estímul que eviti la venda del patrimoni familiar a ciutadans estrangers de major poder adquisitiu. No obstant això, moltes vegades són els propietaris rurals estrangers els qui converteixen les seves propietats en habitatges turístics o de vacances.

El procés de conversió dels espais rurals illencs en espais residencials per a usos recreatius s'inicià ara tot just fa una vintena d'anys en alguns indrets com Pollença, municipi turístic de valors paisatgístics altament valorats, mentre que en espais rurals d'interior el procés es més recent, com en el cas d'Ariany. Tot aquest procés ha incidit força sobre el comportament del mercat de terres. Ara les parcel·les rústiques es valoren en funció de les seves possibilitats immobiliàries i no en funció de la seva renda agrària. Sens dubte aquest és un dels factors que més ha contribuït al desmantellament de l'agricultura illenca. Les activitats recreatives i residencials són incompatibles amb les activitats agràries tradicionals. Paradoxalment, els nous habitants d'origen urbà que es traslladen a l'espai rural seguint el mite de l'idil·li rural entren en conflicte amb els habitants tradicionals que continuen mantenint les activitats agràries.

3.2. L'espai rural com a recurs turístic: el turisme en l'espai rural

El desenvolupament d'activitats recreatives dins l'espai rural, com el turisme rural, l'agroturisme el turisme actiu, el turisme verd, etc. es considera, des d'una

òptica teòrica, un dels eixos possibles del desenvolupament rural, és a dir, un dels eixos fonamentals que dotarà l'espai rural d'una estructura productiva diversificada. Es persegueix la diversificació perquè aquesta és l'única alternativa vàlida per donar oportunitats als habitants de l'espai rural i evitar el desballestament del malmès teixit social rural.

El turisme rural i l'agroturisme formen part del que comunament es denomina turisme alternatiu. Amb aquest nom es designa el conjunt de l'oferta turística que s'allunya de l'oferta tradicional majoritària del turisme massificat i institucionalitzat. Per tant, en la denominació *turisme alternatiu* s'engloben les modalitats pròpies d'una demanda de caràcter més elitista, que no cerca bombolles ambientals o entorns estandarditzats.

D'altra banda, el turisme rural i l'agroturisme són concebuts com a dispositius per reanimar socialment i econòmicament les àrees rurals deprimides. Fins i tot són formes d'oferta turística potenciades des de Brussel·les, per la creença ferma que poden suposar un alleujament per a les petites explotacions agràries familiars, minimitzar l'èxode rural i oferir, a més, una alternativa que contribueixi a conservar el patrimoni cultural i paisatgístic dels espais agraris. Però malgrat la seva validesa, considerem que les esmentades interpretacions teòriques no reflecteixen a la pràctica el que realment és el turisme rural i l'agroturisme a les Illes Balears.

Segons el nostre punt de vista, el turisme rural, l'agroturisme i el turisme d'interior són tipus d'oferta turística que, juntament amb altres fenòmens paral·lels, protagonitzen la darrera etapa de la construcció del model territorial d'origen turístic implantat a les Balears. Aquesta darrera fase de la definició del model es caracteritza per la colonització dels espais rurals.

Com que el turisme rural i l'agroturisme són una oferta turística més elitista, segueixen un patró de desenvolupament i de comportament espacial molt semblant al de la demanda rural-residencial d'origen estranger. Un paral·lelisme que es pot copsar fins i tot des de la perspectiva de la seva difusió en el temps. La majoria de les instal·lacions de turisme rural que actualment estan actives han estat creades a la dècada dels noranta. Per tant, com el cas de la demanda estrangera de residències a la ruralia insular, és un fenomen recent. La regulació del turisme en l'espai rural s'ha de relacionar amb la integració de l'Estat espanyol dins de la Unió Europea i la participació de l'Estat en l'esperit que es desprèn de les polítiques agràries i rurals de Brussel·les des de la meitat dels anys vuitanta. El turisme en l'espai rural es considera com una eina que permetrà la diversificació econòmica dels espais rurals extrems i la fixació de població en aquests espais.

De fet, l'evolució del nombre de places regulades de turisme en espai rural a les Illes

Balears s'inicia l'any 1994, i des de llavors té un creixement sostingut fins arribar a la xifra de 3.930 places el 2006; lluny, per tant, del total de l'oferta turística global, ja que no arriba a l'1%.

S'observa una clara coincidència temporal entre el turisme rural i la demanda estrangera de residència en àrees rurals, i les pautes de distribució espacial també ofereixen comportaments semblants. Així, és possible detectar diverses zones on el turisme rural i l'agroturisme adquireixen una singularitat especial:

a) En primer lloc, la major concentració d'establiments d'agroturisme i de turisme rural es troba a la serra de Tramuntana, sobretot als municipis situats entorn de l'eix Palma-Sóller.

b) Un segon grup d'establiments se situa als municipis de l'est de l'illa. Es tracta, una altra vegada, d'una zona orogràficament accidentada, per on discorren les serres de Llevant.

c) Un tercer grup forma un cinturó entorn de l'arenal de sa Ràpita - es Trenc, al

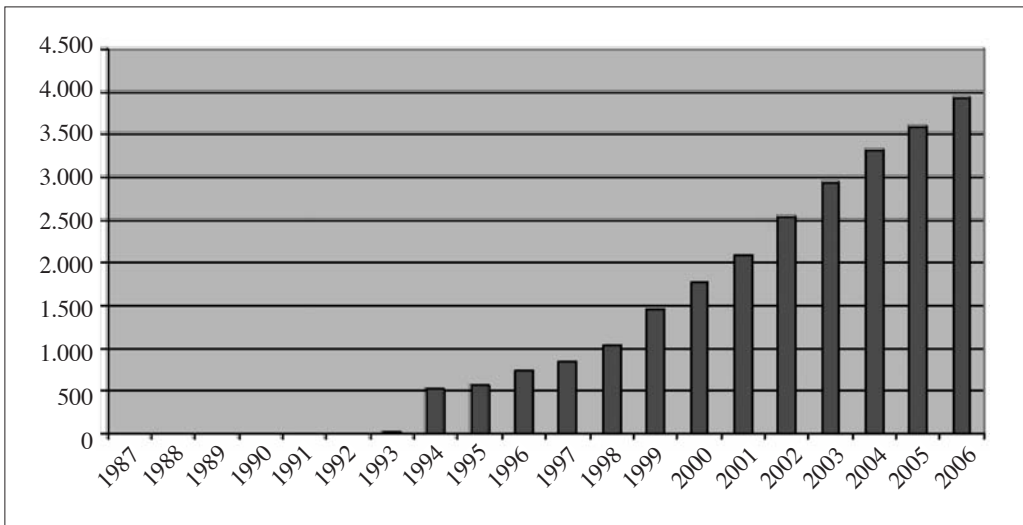


Fig. 3. Evolució del nombre de places en allotjaments de turisme en l'espai rural (1987-2006).

sud de l'illa, coincidint amb un dels escassos racons on el litoral ha estat protegit.

d) Finalment, un grup d'establiments se situa als voltants de l'elevació de Randa (al centre) o a la comarca del Raiguer, al peu de la serra de Tramuntana, situada a l'eix Palma-Alcúdia.

e) En el cas de les illes menors, la situació és molt semblant, tant pel que fa a les dates d'inici de l'activitat com al pes del subsector sobre el conjunt dels establiments turístics, cosa que es tradueix en un nombre baix tant d'establiments com de places en relació amb el pes demogràfic i territorial de Menorca i Eivissa. A Formentera aquest tipus de turisme hi és absent.

La percepció per part del món agrari del turisme en l'espai rural

El turisme rural i l'agroturisme, de la mateixa manera que la demanda residencial estrangera, es localitzen en àrees on l'agricultura, tradicionalment de secà, ha estat abandonada o subsisteix de manera marginal. Per contra, són zones amb un paisatge privilegiat que, alhora o per separat, se situen arran de la muntanya i el litoral, principals característiques de qualitat paisatgística. Fins i tot se'n pot constatar el desenvolupament en punts de l'interior que coincideixen amb franges de costa en les quals l'activitat turística concentrada té una implantació reduïda.

Tot i que la gran majoria dels pagesos és conscient del desenvolupament d'establiments turístics dins l'espai rural, una bona part no té una opinió formada sobre les possibilitats que pot tenir aquest fet com a alternativa a la vocació agrària tradicional de l'espai rural insular. No distingeixen turisme rural d'agroturisme, i els redueixen simplement a establiments turístics en l'espai rural. El seu desenvolupament és vist com una solució del manteniment de grans patrimonis immobiliaris en espai rural, és a dir, l'alternativa vàlida per a les possessions, les

grans propietats rurals que gaudeixen de cases rurals de gran volum arquitectònic i també d'una arquitectura amb caràcter.

El turisme rural, en primer lloc, es percep com la solució a la conservació del patrimoni rural i, a la vegada, com una manera de permetre que les persones visquin al camp. És a dir, hi ha una idea elitista dels establiments turístics en l'espai rural, que s'identifica més amb el turisme rural que no pas amb l'agroturisme. Es té la ferma convicció que aquests establiments només es poden fer en antigues cases de possessió restaurades com a marc ideal que doni a l'establiment el *glamour* necessari per atreure una demanda turística de qualitat i d'alt poder adquisitiu.

Lògicament, el desenvolupament d'aquest tipus d'establiment requereix una gran capacitat financera que no està a l'abast dels titulars d'explotacions familiars del camp insular. És a dir, la inversió necessària per a la transformació i restauració de les cases de possessió antigues només està a l'abast d'un grup reduït de propietaris rurals. A més, la inversió difícilment procedirà de l'acumulació de capital procedent de l'activitat agrària. Però no solament la gran inversió necessària és un factor que limita el desenvolupament d'establiments turístics en l'espai rural. L'edat del pagès i la formació necessària per gestionar l'establiment també l'impedeixen. Paral·lelament, la desconfiança envers les potencialitats de les activitats recreatives s'argumenta d'una manera diferent, tot i que principalment es fa al·lusió a la possible saturació de l'oferta de places en establiments turístics rurals. Tanmateix, l'ambigüitat del fenomen del turisme rural fa que hi hagi propietaris que l'hagin confós amb la transformació d'habitatges de nou encuny en habitatges vacacionals per a turistes estrangers. D'aquesta manera han convertit els habitatges en places d'oferta turística il·legal.

D'altra banda, els pagesos convençuts encara ara que la vocació funcional de l'espai rural és l'agricultura no consideren el procés de substitució funcional de les activitats productives per activitats recreatives com una solució, sinó en tot cas com la causa darrera del desballestament de l'agricultura. Altres propietaris rurals, allunyats fa estona del món productiu agrícola, conceben en els seus plantejaments l'espai rural com el nou receptacle de les activitats recreatives –entre les quals ocupa un lloc destacat la caça–, lligades a la creixent conscienciació ambiental que correspon a una demanda urbana desitjosa d'espais rurals per a la recreació i l'oci.

3.3. La transformació de l'agricultura: del model productivista al nou estadi postproductivista

Amb el nom de transició postproductivista es fa referència al trànsit del model d'agricultura industrialitzada que quallà en el món occidental després de la Segona Guerra Mundial a un nou model (no tant a la pràctica com en la teoria) en què l'extensificació dels processos productius, la diversificació econòmica del medi rural i la producció de mercaderies de valor ambiental són els principis que es defensen. A les Illes, durant els anys cinquanta s'inicia l'etapa de l'agricultura moderna i industrialitzada.

Als anys seixanta i setanta es produeix l'ajustament de l'agricultura il·lenca al nou marc d'una societat urbana emergent. Per tant, l'agricultura, a finals de la dècada dels cinquanta, amb l'empenta de l'Administració (Servicio Nacional del Trigo, SENPA, agències d'extensió agràries, etc.), passa de seguir un model d'agricultura tradicional a seguir un model d'agricultura moderna, capitalitzada, que substitueix l'energia de l'home i de la tracció animal pel consum d'energies fòssils, i introdueix l'ús massiu de fertilitzants químics i altres *inputs* industrials i determinats canvis de cultius i

de ramats i de sistema de cultiu. L'augment de les hectàrees de reguiu és l'indicador més clar d'aquesta etapa que es caracteritzarà per un augment de la productivitat i per la necessitat d'alimentar amb productes com la carn i la llet els centres urbans i turístics cada cop més importants.

Després, a finals dels vuitanta, quan la integració a la Unió Europea de l'Estat espanyol va coincidir amb el final de la política proteccionista de preus de garantia, s'inicià una nova etapa dins de la filosofia de les polítiques agràries i rurals de la Unió Europea que va marcar profundament la realitat rural il·lenca. Es va produir un desballestament de gran part dels subsectors agrícoles, fins i tot dels que havien tingut gran força durant les dècades de l'agricultura moderna, com ara el subsector ramader.

La integració a la Unió Europea, el problema de les quotes lleteres, les exigències draconianes de les normatives de Brussel·les en matèria sanitària de les explotacions de bovines i els preus de la llet en un mercat cada cop més integrat en un circuit global, han marcat la crisi del sector ramader. Aquesta crisi, a Campos, ha conduït a una severa transformació de les explotacions agràries de l'indret. S'ha passat de sistemes agraris intensius a sistemes agraris extensius, és a dir, s'ha produït una transició de l'hegemonia de l'alfals i de la ramaderia bovina per a llet al domini del cereal i de la ramaderia ovina. Moltes explotacions agràries han estat abandonades, com a conseqüència dels processos de desagrarització, i a més moltes de les antigues cases i boveres s'han transformat en segones residències i habitatges vacacionals d'ús turístic per a estrangers. En resum, el cereal substituï l'alfals, les boveres es reciclaren com a segones residències, i ara els pous alimenten les piscines. Un altre cop ens trobam davant la substitució de funcions agràries per activitats lligades a la recreació,

el turisme i el lleure. L'abandó de les explotacions ramaderes de llet també és perceptible a l'àrea del prat de Sant Jordi, a Palma, i a Son Mesquida, a Felanitx; el cultiu de melons i d'all, a Vilafranca, ha estat substituït també per l'agricultura extensiva de cereal, fortament mecanitzada. L'explotació de petites dimensions ha estat substituïda per l'explotació de grans dimensions, en què l'arrendament per un preu simbòlic i a cops gratuït és el que permet formar explotacions de cents de quarterades en un espai de temps curt. El

manteniment de les actuals explotacions agràries es fa difícil, ja que la successió generacional és impossible i els processos d'extensificació dels sistemes agraris són cada cop més evidents, fet que duu implícita una creixent concentració de les explotacions i un progressiu abandó de moltes terres conreades.

L'horta de sa Pobla i Muro també ha estat envaïda per nous usos, a través de la conversió de molins, magatzems o cases en segones residències o bé de la construcció de bell nou de cases de dues plantes, de gran

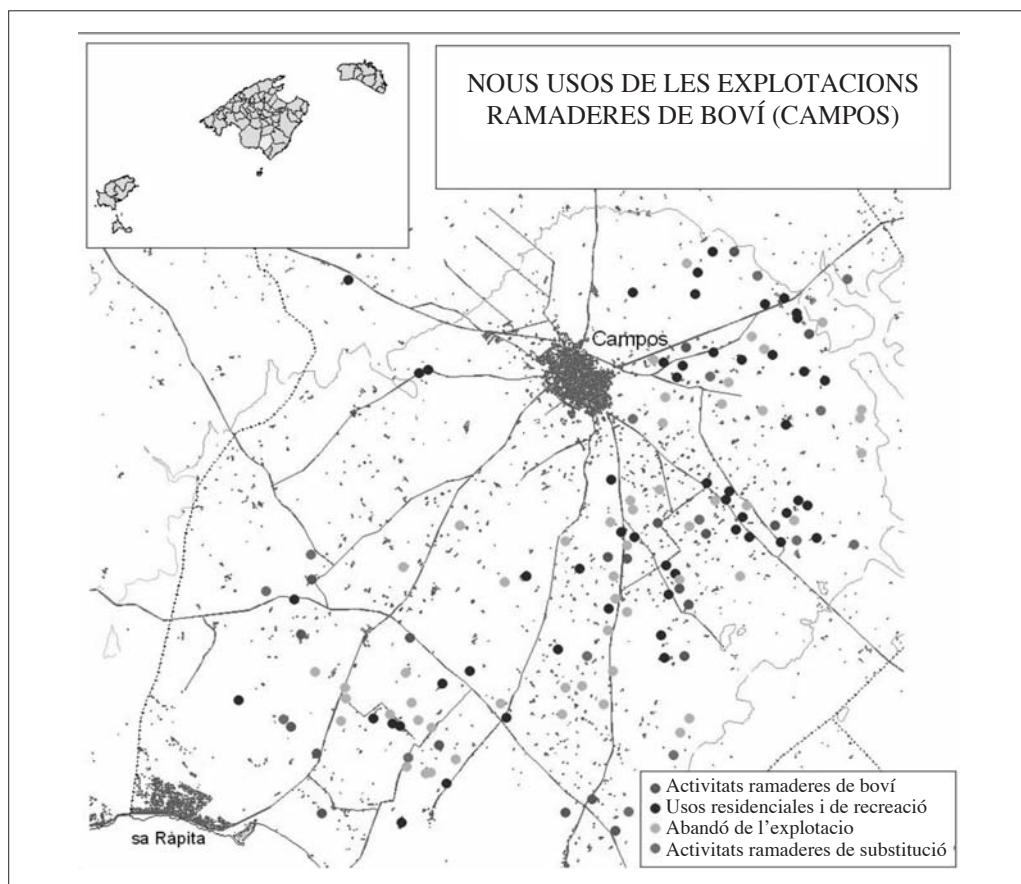


Fig. 4. Nous usos de les explotacions ramaderes de boví (Campos).

Font: Binimelis, Ordinas, Arrom (2007)

volum, allunyades de la tipologia de construcció tradicional. Això sí, folrades de pedra, tot en conjunt d'una rusticitat forçada i molt artificiosa. No obstant això, subsisteixen illots d'agricultura intensiva de producció d'hortalisses sota plàstic o fins i tot cultius hidropònics a Son Mesquida i també a l'oest del municipi de Manacor.

4. Conclusions

L'espai rural i el seu paisatge es troben immersos en un procés de canvi global impulsat per:

a) El declivi econòmic i social del sector agrari, que es tradueix en la desaparició de la generació de pagesos a temps complet. El camp de les Illes en l'actualitat no té possibilitats de successió generacional. La pervivència de l'activitat i del paisatge es deu exclusivament a l'agricultura a temps parcial i a les explotacions gestionades pels agricultors jubilats. Aquest procés coincideix amb el trastorn que ha suposat des de la segona meitat dels anys vuitanta la integració de l'Estat espanyol a la Unió Europea en un moment de canvi de model de política agrària. La Política Agrícola Comunitària (PAC) i les polítiques agràries i rurals passen de l'estímul del productivisme a la defensa de pràctiques postproductivistes, més respectuoses amb el medi ambient i introductores de models d'activitat agrària més extensius. No obstant això, aquest fet ha tingut també una gran transcendència en el desballestament dels subsectors d'agricultura intensiva que durant les dècades dels anys seixanta i setanta havien estat l'avantguarda i l'esperança de bona part dels pagesos illencs, com és el cas de la ramaderia intensiva de bovi a l'illa de Mallorca.

b) La saturació del model turístic (sol i platja) i territorial tradicional ha comportat

la recerca de modalitats turístiques alternatives i desestacionalitzadores, entre les quals hi ha totes les varietats del turisme en l'espai rural (agroturisme, turisme rural i turisme d'interior i habitatges turístics en l'espai rural). Aquest fenomen es materialitza en la recerca de noves activitats que dinamitzin i rendibilitzin econòmicament l'espai rural com ara: la proliferació d'habitatges residencials que molt sovint s'han convertit en allotjaments turístics i alhora en residències per a ús i gaudi de la població autòctona i per al mercat immobiliari estranger.

c) Tot plegat té com a conseqüència la transformació d'un paisatge rural dedicat bàsicament a activitats agràries en un paisatge cada cop més urbanitzat, amb nous usos i funcions, sobretot residencials, però també turístiques, com a única via de la rendibilització o optimització econòmica de l'espai rural.

Aquesta situació projecta un futur en què el manteniment residual de certs elements patrimonials i activitats agràries es concep com a recurs turístic. La percepció que actualment es té d'aquesta situació és la necessitat de mantenir l'agricultor com a expert i gestor ambiental encarregat del manteniment d'un paisatge rural que es pretén que sigui idíl·lic perquè pugui seguir funcionant com a recurs territorial turístic al servei del monocultiu de l'activitat turística que en qualsevol de les seves modalitats, més o menys desenvolupades a les Illes, requereix que el paisatge rural segueixi aplegant aquesta funció.

Bibliografia

BINIMELIS SEBASTIÁN, J. (coord.) [et al.] (1996). *Estudio sobre la problemática del SNU. Dinámica Ocupacional en el SNU. Análisis funcional*

para la isla de Mallorca. Palma: GAAT - Conselleria de Medi Ambient i Ordenació del Territori del Govern Balear.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J. (1996). «Caracterització, tipificació i pautes de distribució de les àrees rururbanes a l'illa de Mallorca». Tesi doctoral inèdita, vol. 3, pàg. 1270. Palma: Universitat de les Illes Balears.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J. (1998). «Mètodes qualitius per a l'anàlisi de les àrees rururbanes». *Treballs de la Societat Catalana de Geografia*, núm. 46, pàg. 37-65.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J. (2002). «Canvi rural i colonització estrangera a Mallorca». A: PICORNELL, M., POMAR, A. (coord.). *L'espai turístic. Planificació, gestió, recursos, sostenibilitat, noves modalitats*, pàg. 207-236. Palma: INESE.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J. (2004). «Implosión residencial y cambio rural en Mallorca. Nuevas reflexiones a partir del análisis de Trueque». A: *XII Coloquio de Geografía Rural ¿Qué futuro para los espacios rurales?*, pàg. 499-510. Lleó: Grupo de Trabajo de Geografía Rural de la AGE - Universidad de León.

BINIMELIS, J. (2006). «La difusión residencial en el espacio rural de la isla de Mallorca en la década de los noventa. Nuevas aportaciones para una correcta interpretación del llamado "tercer boom" turístico». *Scripta Nova. Revista electrónica de geografía y ciencias sociales*, 15 de noviembre de 2006, vol. X, núm. 225. Barcelona: Universitat de Barcelona. <<http://www.ub.es/geocrit/sn/sn-225.htm>>.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J., GINARD BUJOSA, A., SEGUÍ PONS, J. (1999). «Le tourisme rural dans la dernière etape du nouveau modèle territorial de l'île de Majorque». *Insula. International Journal of Island Affairs*, número especial, pàg. 61-64.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J., ORDINAS GARAU, A. (2002). «Vindicación de la toponimia como instrumento para el

estudio del Cambio Rural. Rururbanización y neotoponimia en los municipios de Selva e Inca (Mallorca)». A: *XI Coloquio de Geografía Rural. Los espacios rurales entre el hoy y el mañana*, pàg. 285-294. Santander: Grupo de Trabajo de Geografía Rural de la AGE - Universidad de Cantabria.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J., ORDINAS GARAU, A. (2008). *La pagesia illenca als albirs del segle XXI. Agricultura i postproductivisme a les Illes Balears*, pàg. 249. Pollença: El Gall Editor. (Els Fiders, 13).

BINIMELIS SEBASTIÁN, J., ORDINAS GARAU, A., ARROM MUNAR, J. M. (2007). «Changement et transformation d'un système d'élevage insulaire avec l'intégration dans l'Union Européenne. L'exemple de la commune de Campos». A: *Ruralia* (revista electrònica), 2006, pàg. 20.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J., RIERA BARCELÓ, A., SASTRE CANALS, B. (1999). «Propietat estrangera i transformació de l'espai rural a Lloret de Vistalegre». A: *III Jornades d'Estudis Locals*, pàg. 281-285. Lloret de Vista Alegre: Mancomunitat del Pla.

BINIMELIS SEBASTIÁN, J.; RIERA PUIGSERVER J. (2003). «Postproductivisme i PAC. Retirada de terres (set aside) i ajudes al conreu d'herbacis a Mallorca». *Turisme, Territori i Medi Ambient*, núm. 1, pàg. 19-24.

CALDENTHEY BRUNET, J. (2005). «La franja periurbana: caracterització i perspectives de futur». A: *Espai, fet urbà i societat a Manacor: III Jornades d'estudis locals de Manacor*, pàg. 87-98. Manacor: Ajuntament de Manacor.

CÀNOVES VALIENTE, G. [et al.] (2003). «Los turistas del turismo rural. Análisis de los casos de Cataluña, Galicia y Baleares». A: *La Geografía y la gestión del turismo. Actas. VIII Coloquio de Geografía del Turismo, Ocio y Recreación*, pàg. 185-

199. Santiago de Compostel·la: Universidad de Santiago de Compostela.

CÀNOVES VALIENTE, G., VILLARINO PÉREZ, M. (2000). «Turismo en espacio rural en España: actrices e imaginario colectivo». *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, núm. 37, pàg. 51-77.

COL·LECTIU PAGÈS (2000). «La rururbanización analizada desde otra òptica. Mallorca en venta en el diario de anuncios económicos Trueque». A: *X Congreso Nacional de Geografía*, pàg. 197-204. Lleida: Grupo de Trabajo de Geografía Rural de la AGE - Universitat de Lleida.

PICORNELL, C., PICORNELL, M. (2002). «L'espai turístic de les illes Balears. Un cicle de vida d'una àrea turística?». A: PICORNELL, M.; POMAR, A. (coord.). *L'espai turístic. Planificació, gestió, recursos, sostenibilitat, noves modalitats*, pàg. 31-96. Palma: INESE.

ROZAS AZAGRA I. (2000). «Les propietats rurals d'estrangers a Felanitx». A: *I Jornades d'Estudis Locals de Felanitx. Actes Commemoratius 700 aniversari fundació de la Vila de Felanitx*, pàg. 260-269. Felanitx: Ajuntament de Felanitx - Consell Insular de Mallorca.

*Esquema de información
de clima para turismo
aplicado al balneario
Pehuen Co, Argentina*

M. Luján Bustos

Centro en Cambio Climático
mlbustos@criba.edu.ar

M. Cinta Piccolo

Centro en Cambio Climático
Departamento de Geografía y
Turismo
ofpiccol@criba.edu.ar

ESQUEMA DE INFORMACIÓN DE CLIMA PARA TURISMO APLICADO AL BALNEARIO PEHUEN CO, ARGENTINA*

M. Luján Bustos
M. Cintia Piccolo

RESUMEN: El objetivo del trabajo es efectuar los primeros estudios sobre el bioclima del balneario de Pehuen Co, al suroeste de la provincia de Buenos Aires (Argentina). Se utiliza el Esquema de Información de Clima para Turismo (CTIS en inglés) para identificar los meses con mayor potencial turístico. Se modifica el CTIS para adaptarlo a las características climáticas del balneario. Este esquema puede ser aplicado por los agentes turísticos o turistas para identificar de forma rápida y sencilla los mejores meses según la actividad que deseen realizar.

PALABRAS CLAVE: esquema de información de clima para turismo, bioclima, Pehuen Co (Argentina).

ABSTRACT: This paper aims to conduct the first studies on bioclimates in Pehuen Co Beach, located in the southwest part of the province of Buenos Aires (Argentina). The Climate Tourism Information Scheme (CTIS) was used to identify the months with the greatest potential for tourism. The CTIS is modified in order to suit the climate conditions on the beach. This scheme can be used by tour operators or tourists to identify quickly and easily the best months for the activities in which they wish to take part.

KEYWORDS: Climate Tourism Information Scheme, bioclimates, Pehuen Co (Argentina).

Introducción

Los viajes turísticos se han incrementado notablemente. Según la Organización Mundial de Turismo (2009), el turismo internacional aumentó un 2% en el año 2008 y en América del Sur un 6% con respecto al 2007. La decisión de elegir el destino principal al momento de realizar un viaje de turismo es fundamental para las personas interesadas en disfrutar un viaje de placer (OMT, 2008). Esta decisión es motivada

entre otras cosas por los atractivos que posea el lugar. Uno de ellos, en la mayoría de las ocasiones, es el clima (Gómez Martín, 1999; Scott y McBoyle, 2001; Cengiz *et al.*, 2008).

Se han desarrollado numerosos índices bioclimáticos para evaluar el confort de un sitio turístico. Estos pueden utilizarse para promover visitas fuera de la temporada alta y reducir así el turismo estacional, para competir con destinos similares o para proporcionar información a los potenciales visitantes (Scott *et al.*, 2004). En general, los índices de clima

* La investigación que ha dado lugar al presente trabajo se desarrolla en el marco de la beca de estudio otorgada por el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Argentina.

para el turismo se pueden clasificar en tres categorías (Matzarakis, 2006): índices elementales, que son valores que no tienen pertinencia termo-fisiológica (temperatura del aire, precipitación, etc); índices bioclimáticos, que utilizan más de un parámetro meteorológico (Humidex, Temperatura Equivalente Fisiológica, etc.) y los índices combinados, es decir, que adoptan los dos índices anteriores, por ejemplo el esquema de información de clima para turismo (CTIS) o el índice de clima para turismo (TCI).

El CTIS propuesto por Matzarakis (2007) es una metodología útil y de fácil interpretación por todos los usuarios de las playas costeras. Se basa en las distribuciones de frecuencias de los parámetros meteorológicos cada 10 días, y los representa mediante una escala cromática. El CTIS incorpora variables como la sensación

térmica (índice de temperatura fisiológicamente equivalente (PET) entre 22 y 34 °C), estrés por calor (PET mayor a 38 °C), estrés por frío (PET menor de 18 °C), visibilidad y nubosidad, niebla, bochorno, lluvia, cantidad de lluvia (mayor a 5 mm) y viento (velocidades mayores de 8 m/s). Su escala cromática se encuentra asociada a rangos numéricos que varían entre 0 y 100, siendo 0 lo más confortable y 100 lo más desconfortable (Fig. 1).

El TCI es uno de los índices más difundidos dentro de los estudios de clima aplicado al turismo. Esto se debe a la combinación de varios parámetros meteorológicos que influyen directamente sobre el bienestar humano. Fue desarrollado por Mieczkowski (1985) y utiliza una combinación de siete parámetros que se miden fácilmente en cualquier estación meteorológica. Tres de estos

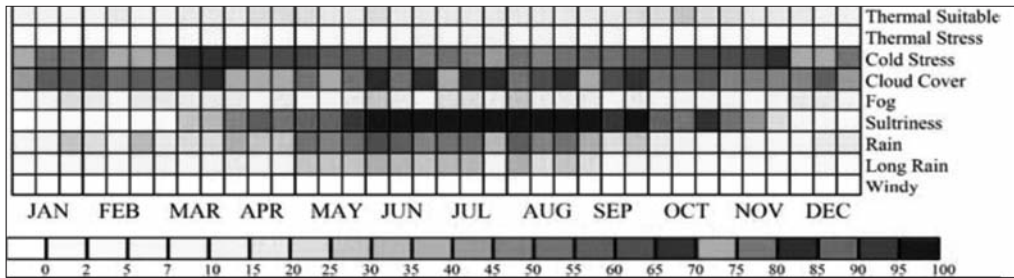


Fig. 1. CTIS aplicado en el lago Sun Moon (Taiwán) (Lin y Matzarakis, 2008).

parámetros son independientes (precipitación, viento e insolación) y dos en una combinación bioclimática: el índice de confort horario y el índice de confort diario. De acuerdo a Matzarakis (2007), el TCI posee ciertas debilidades al no incluir las radiaciones de onda corta y onda larga. Además se basa en la opinión subjetiva del investigador y no se ha probado empíricamente en los turistas o en el turismo de mercado (de Freitas *et al.*, 2004).

En los últimos años se han realizado pruebas empíricas de este índice. Por ejemplo, Scott y McBoyle (2001) aplicaron el TCI en varias ciudades de Estados Unidos y Canadá y lo compararon con las curvas de costo del alojamiento. Ellos concluyeron que el TCI proporciona una medida útil de la relación entre el clima y el turismo. A la misma conclusión llegaron Amelung y Viner (2006) cuando utilizaron el TCI para predecir la demanda turística en las Islas Baleares y lo

compararon con la cantidad de pernociaciones en el lugar. Ellos encontraron que cuando aumentaban las pernociaciones también lo hacían los valores del TCI. Este índice es uno de los más completos para aplicar en un lugar turístico, pero carece de algunos elementos importantes, como por ejemplo cantidad de días con precipitaciones.

En Argentina estos métodos no han sido aplicados, pero se han realizado clasificaciones bioclimáticas reconociendo los meses con mayor bienestar (Brazol, 1954). También se propusieron clasificaciones bioclimáticas y su distribución espacial en verano e invierno (Hoffmann y Medina, 1971). Buenos Aires es una de las provincias argentinas con mayor desarrollo turístico. Marini y Piccolo (2000) estudiaron el confort climático en ciudades turísticas al Sur de esta provincia. Ellos concluyeron que Necochea y Claromecó, localizadas en el Este de la región, ofrecen la mayor cantidad de horas bajo condiciones de confort (Fig. 2).

En el Suroeste de la provincia Piccolo y Diez (2008) encontraron una relación entre el confort humano en horas de trabajo y el número de personas atendidas en las guardias hospitalarias en dos puertos dentro del estuario de Bahía Blanca (Fig. 2). El clima urbano en la ciudad de Bahía Blanca lo estudiaron Capelli de Steffens *et al.* (2005). Investigaron el confort térmico en verano e invierno y la relación con el arbolado urbano, concluyendo en la necesidad de crear superficies verdes para mitigar la sensación de agobio en el verano.

El turismo de playa y pesca en el Sur de la provincia de Buenos Aires es muy importante y en consecuencia es necesario saber las características bioclimáticas de cada lugar enfocando el estudio directamente al turismo. Por ejemplo, el bioclima del balneario de Monte Hermoso (Figura 2) fue investigado por Varela (1982) que

estudió la brisa de mar en esta playa revelando como ésta aumentaba el desconfort en las tardes. También por Huamantínco Cisneros y Piccolo (2008), quienes estudiaron el confort estival en esta playa y concluyeron en el aumento del desconfort cuando sopla viento desde el Norte.

Cerca de 900 personas viven en forma permanente en la villa balnearia de Pehuen Co (38° 59'51" S y 61° 33'16" W) (Figura 2) incrementándose al triple los fines de semana y durante la época estival la visitan más de 600.000 turistas (Dirección de Turismo de Coronel Rosales). Su costa es baja y arenosa, con un ancho promedio de playa de 143 m, enmarcada por una línea de médanos frontales vegetados en su mayoría. Presenta una temperatura media anual de 13.6 °C. Las temperaturas en primavera-verano presentan un promedio de 16.7 °C, mientras que en otoño-invierno es 9.9 °C. La precipitación media anual de esta zona es 437 mm. Normalmente, las lluvias se concentran en primavera-verano, decrecen en otoño y se hacen mínimas en invierno. Los vientos predominantes son del N y NW (Capelli de Steffens y Campo de Ferreras, 1994), soplando con mayor intensidad en los meses de primavera y verano, principalmente en diciembre y enero. Su velocidad media varía de 2 a 7 m/s. En este balneario no se han efectuado estudios sobre las características bioclimáticas a pesar de que se encuentra en un constante crecimiento urbano. Por ello el presente trabajo propone aplicar el CTIS en la localidad de Pehuen Co para identificar los meses con mayor potencial para el turismo.

2. Método

Se propone modificar el CTIS propuesto por Matzarakis (2007) con una variable que incorpore información más relevante de las características ambientales de Pehuen Co. El

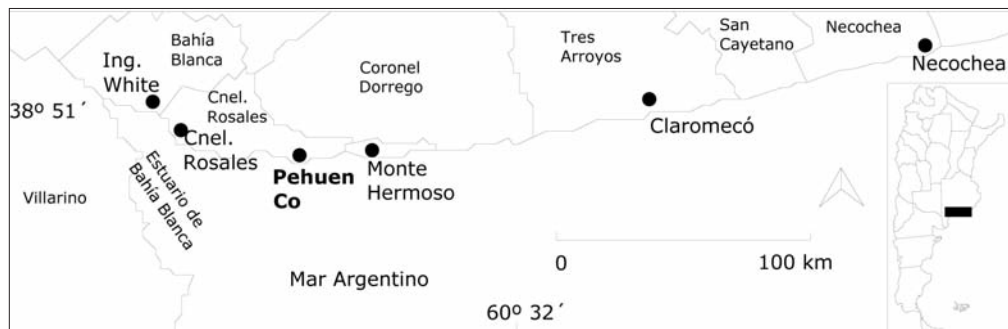


Fig. 2. Localización del área de estudio en el Sur de la provincia de Buenos Aires (Argentina).

esquema original del CTIS (Matzarakis, 2007) usa como variable el PET, aunque para el turismo de playa es más completo el índice de Mieczkowski (1985). Por ello se cambia el PET, utilizado en el cálculo del CTIS, por el TCI (Mieczkowski, 1985). Este último índice utiliza la insolación, la temperatura y la humedad relativa de las horas del día, momento en el cual los turistas se encuentran al aire libre. De esta forma las variables utilizadas en el CTIS serán el TCI (incluye sensación térmica, viento, insolación y precipitaciones), el porcentaje de días con lluvia, el porcentaje de días con ráfagas mayores a 6 m/s y la temperatura del agua.

Para el cálculo del TCI se utilizaron los registros de la estación meteorológica ubicada en la villa balnearia Pehuen Co. El período de estudio es desde abril de 2005 a febrero de 2009, con intervalos de muestreo de 5 minutos. En el índice se utiliza una combinación de siete parámetros, tres de los cuales son independientes y dos en una combinación bioclimática. Se aplica mediante la siguiente fórmula (Mieczkowski, 1985):

$$TCI = 2(4Cld + Cla + 2R + 2S + W)$$

Donde Cld es el índice de confort horario (°C), calculado mediante la temperatura

máxima del aire (°C) y la mínima humedad relativa (%). Ambos elementos se registran en las horas del mediodía coincidiendo con la mayor actividad de los turistas al aire libre durante la temporada estival. Cla es el índice de confort diario (°C), calculado con la temperatura del aire (°C) y humedad relativa (%) media diaria. R es la precipitación (mm), S la insolación diaria (hs) y W la velocidad media del viento (m/s). Para todas las variables se utilizó la ponderación indicada por Mieczkowski (1985). Las categorías en que se divide este índice varían de -20 a 100, siendo el valor más alto el ideal (Cuadro I).

El TCI incluye la sensación de confort térmico calculada mediante dos índices bioclimáticos, el Cld y el Cla, descritos anteriormente. Ambos índices relacionan la humedad relativa media y mínima y la temperatura media y la máxima de cada día. Esto descarta los valores de la noche donde los turistas se encuentran generalmente en lugares cerrados (Mieczkowski, 1985).

La insolación es utilizada en el turismo como un factor positivo, pero en los últimos años, debido a los riesgos que presenta para la piel y metabolismo en general, ha disminuido su potencial (Mieczkowski, 1985). Asimismo, la cantidad de horas de sol será beneficiosa para aumentar las oportunidades

Cuadro I. Categorías del TCI (Mieczkowski, 1985).

Valor numérico del índice	Categoría
90 – 100	Ideal
80 – 89	Excelente
70 – 79	Muy bueno
60 – 69	Bueno
50 – 59	Aceptable
40 – 49	Marginal
30 – 39	Desfavorable
20 – 29	Muy desfavorable
10 – 19	Extremadamente desfavorable
9 – -9	Imposible
-10 – -20	

que tendrá un turista para concurrir a la playa. Por ello es importante su inclusión dentro del TCI en relación a la cantidad de horas de luz (Morgan *et al.*, 2000).

El CTIS permite integrar diferentes tipos de variables con el objetivo de facilitar la elección de los turistas al momento de decidir su destino. Es un esquema basado en una escala cromática que se fundamenta en las distribuciones de frecuencia de los parámetros y valores (por ejemplo sensación térmica o precipitaciones) (Matzarakis, 2007). Como ya se mencionó, para representar de forma sencilla los resultados utiliza una escala cromática. Esta es de orden inverso a la propuesta en el TCI. Por ello se invierten los valores del índice de Mieczkowski.

En el CTIS se incluye como variable el porcentaje de días en el mes con precipitaciones. Un aumento en la cantidad de precipitaciones es un efecto negativo para el turismo (Cengiz *et al.*, 2008). Por ello es necesario saber la cantidad o porcentaje mensual de días con precipitación. Esta variable dará mayor información al momento de planificar la fecha de una visita al lugar en cuestión.

El viento cumple dos funciones antagónicas en una playa en verano. Por un lado aumenta el disfrute del aire libre otorgando bienestar y reduciendo la sensación térmica (Morgan *et al.*, 2000), pero también genera un efecto de estrés cuando supera los 4 m/s (Mieczkowski, 1985 y de Freitas, 1990). En esta zona del sudoeste bonaerense, el viento es un factor predominante (Capelli de Steffens *et al.*, 2005). Por este motivo el viento se incorpora de dos formas dentro del CTIS. En el cálculo del TCI se incluye el valor medio del viento y en el CTIS el porcentaje mensual de días con ráfagas que superan los 6 m/s. Este último valor es el límite que proponen Morgan *et al.* (2000) para que el viento pase de factor de bienestar a factor de estrés.

Además se incorporó al cálculo del CTIS la temperatura del agua de mar. Este parámetro se incluye dentro de los índices de bioclima para turismo propuesto por Morgan *et al.* (2000). De acuerdo a las encuestas de preferencia, temperaturas del agua entre 22 y 26 °C son las ideales para los turistas (Cuadro II). En la metodología aquí propuesta se utilizará una clasificación en base a estos rangos (Cuadro III).

Cuadro II. Categorías de preferencias de las temperaturas del agua de baño (Morgan *et al.*, 2000).

Descripción	Temperatura del agua de baño en °C
Fría	menor a 10
Fresca	10 - 15
Ni fría ni calida	16 - 21
Calida	22 - 26
Caliente	27 - 32
Muy caliente	mayor a 32

Cuadro III. Clasificación propuesta para la temperatura del agua de baño.

Categoría nueva del CTIS	Temperatura del agua de baño (°C)
Imposible	Menor de 10 y mayor de 32
Extremadamente desfavorable	
Muy desfavorable	
Desfavorable	10 - 15
Marginal	16 - 21 y 27 - 32
Aceptable	
Bueno	
Muy bueno	
Excelente	22 - 26
Ideal	

3. CTIS aplicado a Pehuen Co

Al calcular el TCI se obtiene un valor de confort térmico para cada mes y año (Cuadro IV). Con algunas variaciones, todos los años presentan una distribución de “máxima de

verano” (Fig. 3) según los seis modelos propuestos por Scott y McBoyle (2001). Esta variación representa los lugares donde el verano es la época más agradable del año para el turismo. En la mayor parte del año el índice se encuentra en los rangos de Muy

Cuadro 4. Valores mensuales de TCI en Pehuen Co entre 2005 y 2009.

TCI	Enero	Febr.	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Sept.	Octubre	Nov.	Dic.
2005				83	73	63	62	65		85	70	88
2006	86	91	88	82	72	67	65	68	71	84	88	89
2007	72	78	84		70	65	65	63	71	68	90	95
2008	92	91	87	84	79	66	66	75	73	92	94	92
2009	84	86										
Promedio	84	87	86	83	74	65	65	68	72	82	86	91

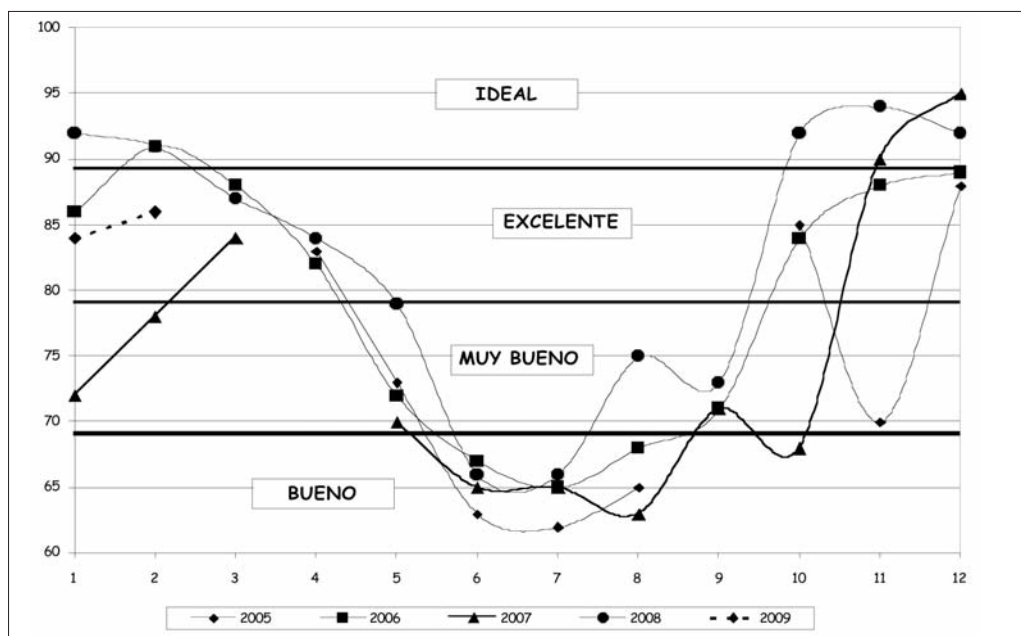


Fig. 3. TCI mensual en Pehuen Co para el período de estudio.

bueno y Excelente. En Diciembre de 2007 y 2008 se presentaron valores en el rango de Ideal (95 y 92 respectivamente). Los meses de invierno (junio, julio y agosto) poseen los valores más bajos del índice, y a pesar de ello se ubican en el rango de Bueno. Algunos meses presentan descensos del TCI muy marcados a pesar de las temperaturas altas.

Por ejemplo, en noviembre de 2005, en que las precipitaciones superaron los 200 mm y el viento alcanzó un valor medio de 30 km/h, el índice sólo llegó a 70 (Cuadro IV).

Para la representación de los valores del TCI dentro del CTIS, se invierten los rangos. En la escala cromática queda representado de la siguiente forma:

Meses del año	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Valores del TCI en el CTIS	84	87	86	83	74	65	65	68	72	82	86	91

En cuanto a las precipitaciones, el promedio anual de días en el mes con lluvias (Fig. 4) muestra que enero, seguido por febrero y marzo son los meses con más días de lluvias del año. Esto es perjudicial para los turistas que buscan disfrutar del aire

libre. Noviembre es el mes más lluvioso, pero acumulados en menos días, lo cual es bueno para el turismo por la mayor cantidad de días soleados. Las precipitaciones son máximas en verano y disminuyen hacia el invierno.

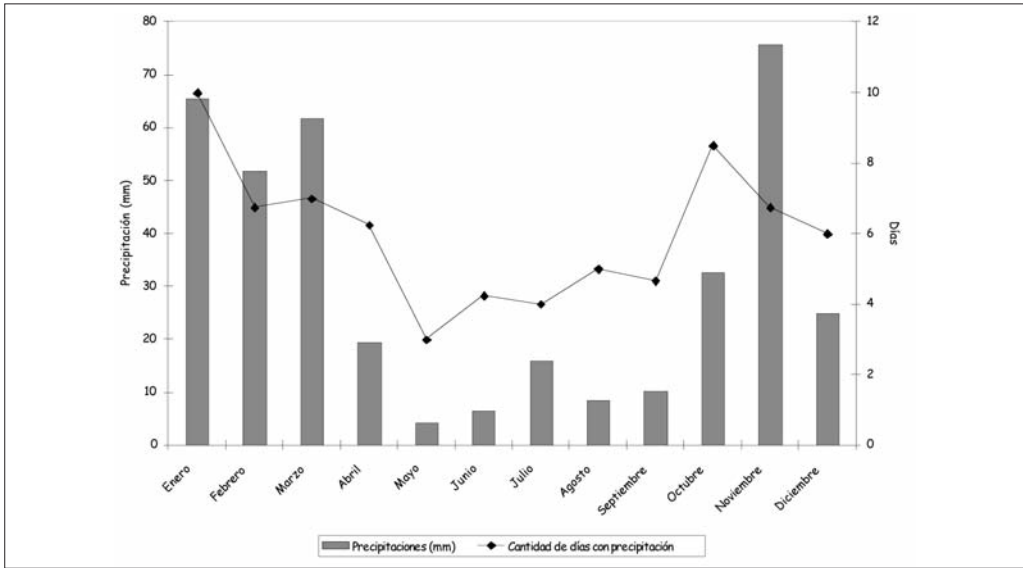


Fig. 4. Promedio mensual de las precipitaciones y de la cantidad de días con lluvia para la localidad de Pehuen Co (período 2005 y 2009).

Al aplicar el CTIS a Pehuen Co (Cuadro V), se observa que presenta valores en todos los rangos cromáticos, con una escala que varía de 0 a 100, siendo los valores más bajos los más positivos para que los turistas puedan desarrollar sus actividades al aire libre. El mes ideal para la visitas de turistas es diciembre (Cuadro V) y no enero o febrero, que coinciden con la mayor afluencia de visitantes (Dirección de Turismo de Coronel Rosales). Estos resultados son de gran importancia para planificar el turismo estival.

Aunque diciembre es el mes ideal de acuerdo al CTIS, presenta gran cantidad de días con viento. El resto de las variables en ese mes son ideales o muy buenas para el confort de los turistas. En cambio, en enero y febrero disminuyen los valores a causa del aumento de las lluvias y días con viento. En los meses de invierno, si bien los resultados del TCI y la temperatura del agua son muy bajos, los días de viento y de lluvias disminuyen considerablemente. Esto puede ser aplicado por los planificadores de turismo para ofrecer ciertas actividades al aire libre, como por ejemplo competiciones pedestres.

Cuadro V. CTIS para información turística en Pehuen Co.

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12										
TCI																							
% de días con lluvias																							
% de días con viento > a 6 m/s																							
Temperatura del agua																							
S/D	0	2	5	7	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
S/D	IDEAL				EXCELENTE				BUENO				ACEPTABLE		MARGINAL		MUY DESFAVORABLE		EXTREMAMENTE DESFAVORABLE		IMPOSIBLE		

4. Conclusiones

El mayor recurso económico y turístico de la población de Pehuen Co es su balneario, dado que la mayor parte de las actividades se generan al aire libre. Es por ello de extrema necesidad el conocimiento de las condiciones biometeorológicas a las que se puede exponer un turista.

En este trabajo se presenta un CTIS para ser aplicado directamente por los agentes turísticos para realizar una lectura sencilla y rápida de las fortalezas y debilidades de cada destino turístico. Con este esquema fácilmente se pueden detectar los mejores meses para la actividad turística que se busca realizar o fomentar en un sitio turístico. Por ejemplo, para la práctica de windsurf se puede utilizar el CTIS para seleccionar los meses con viento mayor de 6 m/s y sensaciones térmicas confortables.

La temperatura o las precipitaciones por sí solas no demuestran el verdadero confort de un lugar. Es por ello necesario utilizar índices bioclimáticos (Matzarakis *et al.*, 2005). El TCI presenta carencias de datos que son importantes para el uso turístico, como la temperatura del agua de baño. Se propone la utilización del CTIS complementado con el TCI y las variables seleccionadas, con el fin de conocer el confort climático para fines turísticos en la localidad de Pehuen Co.

Bibliografía

- AMELUNG, B. y VINER, D. (2006): «Mediterranean Tourism: Exploring the Future with the Tourism Climatic Index». *Journal of sustainable tourism* n° 14(4), pp. 349-366.
- BRAZOL, D. (1954): «Bosquejo bioclimático de la República Argentina». *Meteoros* n° 4, pp. 381-394.
- CAPELLI DE STEFFENS, A. y CAMPO DE FERRERAS, A. (1994): *La transición climática en el Sudoeste Bonaerense*. Sigeo, Serie monografías, Bahía Blanca, Argentina.
- CAPELLI DE STEFFENS, A., PICCOLO, M. y CAMPO DE FERRERAS, A. (2005): *Clima urbano de Bahía Blanca*. Universidad Nacional del Sur, Bahía Blanca, Argentina.
- CENGIZ, T. *et al.* (2008): «Climate Comfortable for Tourism: A Case Study of Canakkale». *BALWOIS* 2008, pp.1-9, Macedonia.
- DE FREITAS, C. R. (1990): «Recreation climate assessment». *International Journal of Climatology* n° 10, pp. 89-103.
- DE FREITAS, C. R., SCOTT, D. y MCBOYLE, G. (2004): «A new generation climate index for tourism». En Matzarakis, A.; De Freitas, C. R. y Scott, D. (eds.), *Advances in Tourism Climatology*. Freiburg.

- GÓMEZ MARTÍN, B. (1999): «La relación clima-turismo: consideraciones básicas en los fundamentos teóricos y prácticos». *Investigaciones geográficas* n° 21, pp. 21-34.
- HOFFMANN, J. y MEDINA, L. (1971): «Ensayo de una clasificación bioclimática en la República Argentina». *Meteorológica* n° II, pp. 150-170.
- HUAMANTINCO CISNEROS, M. y PICCOLO, M. (2008): «El confort estival de Monte Hermoso». En *V Jornadas del sudoeste bonaerense*, Bahía Blanca, Argentina.
- LIN, T. P. y MATZARAKIS, A. (2008): «Tourism climate and thermal comfort in Sun Moon Lake, Taiwán». *International Journal of Biometeorology* n° 52, pp. 281-290.
- MARINI, M. y PICCOLO, M. (2000): «El confort estival en diversos estuarios del Sudoeste Bonaerense». *III Jornadas Nacionales de Geografía Física*, Actas, págs. 169-176, Universidad Católica de Santa Fe.
- MATZARAKIS, A. (2006): «Weather and climate related information for tourism». *Tourism and Hospitality Planning & Development*, n° 3, pp. 99-115.
- MATZARAKIS, A. (2007): «Assessment method for climate and tourism based on daily data». En: A. Matzarakis, C. de Freitas y D. Scott (Eds.), *Developments in Tourism Climatology*, págs. 52-58.
- MATZARAKIS, A., KARATARAKIS, N. y SARANTOPOULOS, A. (2005): «Tourism climatology and tourism potential for Crete, Greece». *Annalen der Meteorologie*, n° 41(2), pp. 616-619.
- MIECZKOWSKI, Z. (1985): «The tourism climate index: a method for evaluating world climates for tourism». *The Canadian Geographer*, n° 29, pp. 220-33.
- MORGAN, R. et al. (2000): «An improved user-based beach climate index». *Journal of Coastal Conservation* n° 6, pp. 41-50.
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE TURISMO (2008): «International Recommendations for Tourism Statistics 2008». *United Nations Publication*, Series M, n° 83 (1).
- ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE TURISMO (2009): *Barómetro OMT del turismo mundial*. Volumen 7(1).
- PICCOLO, M. y DIEZ, P. (2008): «Cold and heat impact on human comfort in the Bahía Blanca estuary harbours (Argentina)». *Cuadernos de investigación geográfica* n° 34, pp. 119-131.
- SCOTT, D. y MCBOYLE, G. (2001): «Using a 'tourism climate index' to examine the implications of climate change for climate as a natural resource for tourism». En Matzarakis A. y C. de Freitas (Eds.), *Proceedings of the First International Workshop on Climate, Tourism and Recreation*. International Society of Biometeorology, Commission 5, Halkidi, Greece, pp. 69-98.
- SCOTT, D., MCBOYLE G. y SCHWARZENTRUBER M. (2004): «Climate change and the distribution of climatic resources for tourism in North America». *Climate Research* n° 27, pp. 105-117.
- VARELA, P. (1982): «Un estudio de la brisa de mar en Monte Hermoso e Ingeniero White». *Geofísica* n° 17, pp. 73-85.

*Análisis de las
disponibilidades hídricas
en las cuencas
hidrográficas de la
comunidad de Madrid:
situación actual y
previsiones futuras*

Rosa Cañada Torrecilla
rosa.canada@uam.es

Encarna Galán Gallego
encarna.galan@uam.es

Felipe Fernández García
felipe.fernandez@uam.es

ANÁLISIS DE LAS DISPONIBILIDADES HÍDRICAS EN LAS CUENCAS HIDROGRÁFICAS DE LA COMUNIDAD DE MADRID: SITUACIÓN ACTUAL Y PREVISIONES FUTURAS

Rosa Cañada Torrecilla
Encarna Galán Gallego
Felipe Fernández García

RESUMEN: El objetivo fundamental del trabajo es la modelización espacio-temporal de las disponibilidades hídricas anuales en diferentes subcuencas hidrográficas del Tajo, tanto en el momento actual como en diferentes escenarios de cambio climático, a través de la aplicación de un SIG. Como punto de partida se aborda el análisis de las entradas (precipitación) y salidas (ETP) del ciclo hidrológico, a fin de determinar la lluvia útil. La información generada en esta primera fase de la investigación se integra en el Sistema de Información Geográfica y, mediante la aplicación de técnicas geoestadísticas y de análisis espacial, se realiza el modelado de la precipitación útil en la Comunidad de Madrid y áreas circundantes.

PALABRAS CLAVE: disponibilidades hídricas, subcuencas hidrográficas del Tajo, cambio climático, modelado espacial y temporal, Comunidad de Madrid.

ABSTRACT: The fundamental aim of this work is the spatial and temporal modelling of the water availability in different subcatchments of the Tajo River at present and in different climate change scenarios through the implementation of a GIS. The starting point is an analysis of inputs (precipitation) and outputs (PET) of the hydrologic cycle, in order to determine the useful rain. The information generated in this first phase of research will be integrated into the Geographic Information System. The modelling of water availability in Madrid was achieved by applying geostatistical techniques and spatial analyses.

KEYWORDS: water availabilities, Tajo watersheds, climate change, spatial and temporal modelling, Community of Madrid.

1. Introducción

El calentamiento global es un hecho incuestionable que provocará cambios en la distribución espacial y temporal de las precipitaciones y consecuentemente afectará

de manera adversa a los recursos hídricos (Cañada, 2007). En España, tal como se ha puesto de manifiesto en diversos estudios a escala peninsular y regional, la temperatura del aire ha mostrado indudables signos de calentamiento en el conjunto del período

instrumental, siendo la tasa de calentamiento superior al promedio mundial y al europeo. Este incremento se hace especialmente significativo a partir de la década de los setenta (Brunet *et al.*, 2007; Fernández García, 2007; Martín Vide *et al.*, 2005). Para el caso concreto de la Meseta Meridional, donde se inserta nuestra zona, el análisis de las variaciones y tendencias observadas en la serie regional de las temperaturas máxima y mínima media anual durante el siglo XX muestra como resultados más relevantes: 1º) Elevación tanto de las temperaturas máximas como de las mínimas, si bien ésta es más acusada y significativa en las máximas (el incremento térmico experimentado durante el citado periodo por las temperaturas diurnas se cifra en 0,71 °C); 2º) La evolución temporal muestra fases paralelas a las planetarias, estando caracterizada la del tramo final (1972/73-1996) por un significativo aumento tanto en las temperaturas máximas como en las mínimas, de 1,62 °C y 1,49 °C respectivamente (Galán *et al.*, 2001). Resultados similares se obtuvieron sobre 7 observatorios de primer orden de la región (Cañada *et al.*, 2001).

Las proyecciones del clima futuro, recogidas en el último Informe del IPCC, muestran como la Cuenca Mediterránea será una de las regiones que, en mayor medida, sufrirá los efectos negativos del Cambio Climático (IPCC, 2007). Circunscribiéndonos a la Península Ibérica, ésta se calentará a lo largo del siglo XXI a razón de 0,4 °C/década en invierno y 0,7 °C/década en verano, en el escenario A2 y 0,4 °C/década en invierno y 0,6 °C/década en verano en el escenario B2. El calentamiento será mayor en el interior de la Península, con incrementos de 5 °C a 7 °C en verano y de 3 °C a 4 °C en invierno (Castro *et al.*, 2005). Respecto a las precipitaciones, cabe señalar que, si bien las tendencias de cambio no son uniformes, todos los modelos coinciden en

una reducción significativa de los totales anuales con el tiempo. Dichas reducciones son máximas en primavera y, asimismo, más acusadas en el escenario A2 que en B2 (Castro *et al.*, *opus cit.*). Por otro lado, junto a este descenso de las precipitaciones, se prevé un aumento en la frecuencia, duración e intensidad de las sequías, riesgo climático con especial incidencia en la Península Ibérica, en general, y en la Meseta Meridional, en particular, puesto que esta región es uno de los espacios peninsulares que, con mayor frecuencia y, efectos más negativos, padece secuencias secas (Galán, 2004)

Los cambios producidos en estos elementos climáticos afectarán a otras variables del ciclo hidrológico, como la escorrentía o la recarga de acuíferos, lo que causará una disminución de las disponibilidades de agua y un aumento de la demanda en los sistemas de regadío, en el futuro. En la Comunidad de Madrid las aguas subterráneas suponen un tercio de los recursos hídricos totales (Alcolea y García, 2006).

En la *Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por Efecto del Cambio Climático* (MIMAN, 2005), siguiendo las investigaciones de Ayala e Iglesias (Ayala-Carcedo *et al.*, 2001), se estimó que para el 2060, simulaciones con aumentos de temperatura de 2,5 °C y disminuciones de precipitación de un 8%, producirían una reducción global media de los recursos hídricos de un 17% y podrían superar el 20% o el 22% para los escenarios previstos para final de siglo XXI.

En el libro *Blanco de Agua en España* (MIMAM, 2000) bajo una hipótesis de duplicación del CO₂ para 2030, con un aumento de temperatura de 1 °C y una disminución de un 5% de la precipitación anual, se estimó una disminución media de las aportaciones hídricas entre el 5% y el 14%. El estudio del CEDEX (1998) utilizando el modelo SIMPA obtuvo resultados similares.

En el futuro la falta de recursos hídricos afectará a muchos sistemas naturales y al bienestar humano. Se producirán cambios en la oferta y en la demanda de agua, cambios en las oportunidades para utilizar el medio ambiente con fines de recreación y turismo, cambios en la pérdida de bienes y vidas a causa de fenómenos hidrológicos extremos, etc. Los impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos podrán influir en las perspectivas del desarrollo sostenible y podrán ampliar las desigualdades existentes (Lamela *et al.*, 2006, 2007).

Nuestro trabajo pretende contribuir a mejorar la ordenación y planificación del medio ambiente hídrico en la Comunidad de Madrid, un territorio muy densamente poblado, 6.081.689 habitantes en 2001 (IE, 2009), y por lo tanto, muy vulnerable, con una intensa urbanización y con una gran demanda de agua para abastecimiento urbano.

2. Datos y metodología

La investigación se inicia con la selección del área objeto de estudio y recopilación de la información climática sobre la que, posteriormente, se realizará el tratamiento estadístico y cartográfico.

A) *Zona de Estudio*. La cuenca hidrográfica de la comunidad de Madrid se inserta casi en su totalidad en la cuenca del Tajo (7.983 Km²), solamente los arroyos existentes en la ladera norte del Puerto de Somosierra, pertenecen a la cuenca del Duero, aunque su extensión e importancia es muy limitada. La superficie de la Comunidad de Madrid es muy pequeña si la insertamos en la Cuenca del Tajo (14,4%), los ríos, arroyos, discurren desde la Sierra en una dirección norte-sur y desembocan en el Tajo, que atraviesa el límite sur y sureste de la Comunidad de Madrid (Alcolea y García, *opus cit.*).

Las cuencas seleccionadas para nuestro trabajo (Figura 1) son la del Alberche, con sus afluentes el Cofio (que nace en Ávila) y el Perales; la del Guadarrama con su afluente el Aulencia; la del Jarama con tres de sus afluentes, Lozoya, Guadalix y Manzanares; las del Henares y Tajuña cuyos ríos desembocan en el Jarama por su margen derecha y, por último, la cuenca del Tajo intermedio que corresponde al Tajo entre Bolarque y Aranjuez. Es una superficie muy extensa (Cuadro I), que comprende no sólo la Comunidad de Madrid, sino también territorios de las provincias limítrofes, Ávila, Toledo, Cuenca y Guadalajara.

Cuadro I. Superficie ocupada por las cuencas hidrográficas de la Comunidad de Madrid

Zonas	Superficie km ²
Alberche	4109
Guadarrama	1709
Jarama-Manzanares	4802
Henares	4136
Tajuña	2608
Tajo Medio	2781
Total	20145

Fuente: Confederación hidrográfica del Tajo.

B) *Fuentes de información (Base de datos)*. Dado que el análisis de la evolución temporal de las disponibilidades hídricas constituye uno de los objetivos específicos de la investigación, la base de datos manejada está integrada por dos tipos de información: los datos referidos al clima actual (datos observados), por un lado, y las proyecciones del clima futuro, por otro. En el primer caso, el número de observatorios objeto de análisis se sitúa en 95 y la información climática correspondiente a los mismos se ha tomado de las publicaciones del INM (*Valores normales de precipitación y temperatura del período internacional 1961-1990*) y del Sistema de Información Geográfico Agrario (SIGA), tal como detallamos más adelante.

Las proyecciones utilizadas proceden de la base de datos TYN SC 1.0 a la cual se puede acceder desde la dirección <http://www.cru.uea.ac.uk/>. Es un grid de una resolución espacial de 10 minutos con información mensual de 5 variables climáticas: temperatura media, amplitud térmica, precipitación, presión de vapor y nubosidad, para un periodo temporal desde 2001-2100.

Las simulaciones están basadas en los resultados de los modelos CGCM2 (Canadá), CSIRO (Australia), PCM (EEUU) y HadCM3 (Reino Unido) bajo los supuestos de cuatro escenarios de emisiones SRES (A1FI, A2, B2, B1) (MITCHELL *et al.*, 2004).

En esta investigación nos hemos circunscrito a los datos del modelo HadCM3 (Hadley Centre Coupled Model versión 3), modelo acoplado atmósfera-oceano, y a dos escenarios climáticos, A2 y B2. El número de nodos utilizado para nuestro ámbito de estudio ha sido 350 con información de temperatura y precipitación mensual.

C) *Método de estudio*. El procedimiento lógico seguido para alcanzar los objetivos previamente formulados podemos sintetizarlo en las siguientes fases:

1ª) Establecimiento de los regímenes medios mensuales y anuales de precipitación y temperatura en los dos períodos temporales contemplados en el estudio (2041-2070 y 2071-2100) y para los dos escenarios de emisiones considerados (A2 y B2).

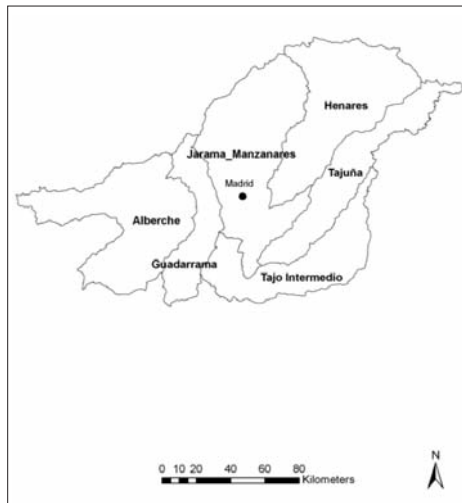


Fig. 1. Cuencas hidrográficas seleccionadas

2ª) Cálculo de la Evapotranspiración Potencial (ETP), a escala mensual y anual. Este cometido se ha llevado a cabo ejecutando el programa “*Modelo de Balance Hídrico de Thornthwaite*”, software libre disponible en la dirección <http://www.usgs.gov/pubprod>. Las variables de entrada, requeridas por el modelo, son: temperatura, precipitación mensual y latitud del lugar. Para el cálculo de la ETP el programa tiene implementada la ecuación de Hamon (Hamon, 1961): $ETP = 13,97 \times d \times D^2 \times W_t$, donde ETP es la evapotranspiración potencial en mm de un mes determinado, d es el número de días del mes, D es el número de horas de luz al día y W_t es la densidad del vapor de agua saturado expresado en gr/m^3 , cuyo cálculo se realiza mediante la siguiente fórmula:

$$W_t = \frac{4,95 \times e^{0,062 \times T}}{100}$$

donde T es la temperatura media mensual ((McCabe y Markstrom, 2007).

Mediante este procedimiento se obtuvo la ETP para los 350 puntos de la rejilla, en cada uno de los escenarios de cambio climático con los que se trabaja. De igual forma, se calculó el valor de ETP en 62 estaciones meteorológicas a partir de los promedios térmicos correspondientes al período 1961-90, suministrados por el INM. Posteriormente, y con la finalidad de conseguir la más amplia cobertura espacial de cara a la modelización de la precipitación útil, se incluyeron otros 33 observatorios con sus respectivos valores anuales de precipitación y ETP, elaborados, en este caso, por el Sistema de Información Geográfico Agrario (SIGA) del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. En total, pues, el número de observatorios utilizados en el análisis espacial de las disponibilidades hídricas actuales se elevó a 95.

3ª) Determinación de la lluvia útil, definida como la diferencia entre la precipitación (P) y

la evapotranspiración potencial (ETP). En el presente trabajo, que constituye una primera aproximación al estudio de los recursos hídricos en nuestra Comunidad, hemos optado por considerar únicamente la ETP, si bien está en fase de realización un análisis más ajustado y completo de las aportaciones hídricas utilizando la evapotranspiración real (ETR), procedimiento seguido en algunos de los estudios anteriormente citados (MIMAM, *opus cit.*).

4ª) Modelización espacial y temporal de la precipitación útil anual, mediante la aplicación de técnicas geoestadísticas y de análisis espacial implementadas en un Sistema de Información Geográfica. Para ello, utilizamos la extensión *Spatial Analyst* del programa ArcGIS 9.3., realizándose dicho modelado tanto para los datos proyectados, en los diferentes supuestos, como para los observados. De este modo, pueden establecerse las pertinentes comparaciones entre la situación actual de los recursos hídricos en la Comunidad de Madrid y la prevista para finales del siglo XXI, en función de la posible evolución temporal de los mismos. La modelización de las variables climáticas ha sido ensayada por el grupo de Climatología de la UAM en diferentes trabajos (Fernández y Galán, 1993; Fernández *et al.*, 1996) y, en particular, la aplicación del análisis espacial implementada en el programa ArcGIS (Fernández, 2005).

El método utilizado en la interpolación ha sido el kriging ordinario, cuya fórmula es $\hat{Z}(S_o) = \sum_{s \in \mathcal{S}} \lambda_s Z(s)$, donde $\hat{Z}(S_o)$ es el valor pronosticado de un lugar, λ_s es un peso desconocido que tenemos que calcular para cada valor observado y $Z(s)$ es el valor observado de un lugar (Cañada, 2007). Para disminuir la influencia de puntos lejanos en el proceso de interpolación y dada la marcada diferencia existente entre los registros del sector serrano y el resto de la Comunidad, consideramos, tras diversas

pruebas, que el número de datos a interpolar fueran 6. El modelo seleccionado ha sido el esférico porque es el que mejor se ajustaba a los datos de partida.

En la interpolación utilizamos información de 350 puntos de rejilla aunque a la hora recortar la superficie interpolada por la cobertura geográfica de las cuencas hidrográficas los puntos se redujeron a 78.

Análisis y discusión de los resultados

3.1. Disponibilidades hídricas actuales

El promedio regional de precipitación útil, resultado de la interpolación, evidencia el déficit hídrico “estructural” que, en términos generales, padece la Comunidad madrileña y áreas circundantes. No obstante,

este valor medio enmascara grandes diferencias espaciales, reflejadas en unos valores extremos que oscilan entre los + 902 y -451 mm (Cuadro II).

La variabilidad espacial de la lluvia útil, estrechamente ligada a la propia variabilidad de las precipitaciones y de la ETP, constituye, sin duda, uno de los rasgos más característicos de la zona. Como puede apreciarse en la figura 2, la distribución espacial de esta variable sigue, a grandes rasgos, la disposición de las grandes unidades de relieve, poniendo claramente de manifiesto el papel fundamental que este factor geográfico desempeña en el reparto espacial de los elementos climáticos. En efecto, la influencia de la altura queda patente en un aumento de las precipitaciones y en un descenso de las temperaturas (y, por consiguiente, de la ETP), determinando así que la cantidad de agua útil varíe de manera acusada entre las altas cumbres serranas, la

Cuadro II. Disponibilidades hídricas actuales.

Estadísticos Descriptivos	1961-1990
Media	-133'
Desviación Típica	221
Máximo	902
Mínimo	-451

rampa de la sierra y los páramos y campiñas (Fernández García, 1975; Fernández García *et al.*, *opus cit.*)

La referida figura 2 muestra claramente el dominio de las condiciones de aridez en un extenso sector de nuestra Comunidad, quedando localizadas las zonas con excedente hídrico en las elevadas cumbres del Sistema Central y en sus alrededores. El Cuadro III, corrobora este aspecto y nos permite cuantificar las variaciones espaciales de las disponibilidades hídricas a las que hemos hecho mención. Así,

podemos observar cómo el área deficitaria, con lluvia útil inferior a 0 mm, comprende el 75% del territorio; el 25% restante presenta un balance de agua positivo. La superficie con superávit hídrico se va reduciendo progresivamente a medida que aumenta el intervalo: el área con lluvia útil hasta 400 mm representa el 21%, mientras que sólo el 1% del territorio registra valores superiores a los 600 mm; el máximo excedente se localiza en torno a Navacerrada con 902 mm de precipitación útil.

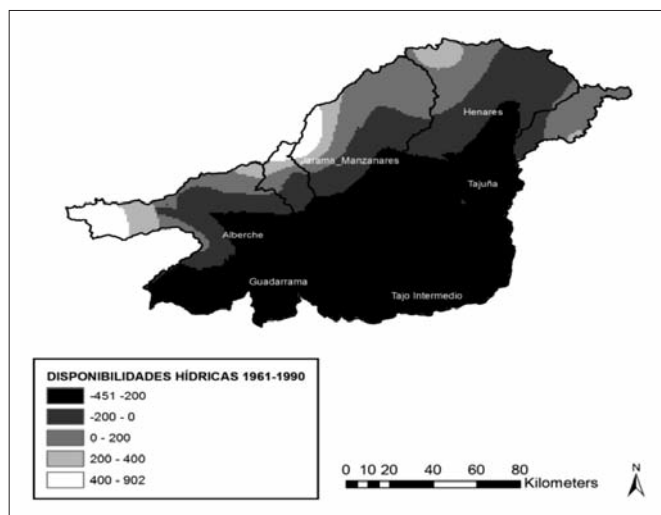


Figura 2. Disponibilidades hídricas actuales.

Cuadro III. Superficie ocupada por la lluvia útil en la actualidad.

Precipitación útil (mm)	Nº de píxeles	%
-451- -200	10.667	52,9
-200- 0	4.563	22,6
0- 200	3.284	16,3
200- 400	929	4,7
400- 902 (*)	707	3,5

(*) El 2,5% del territorio comprendido entre 400-600 mm. Sólo el 1% se sitúa entre los 600 y el máximo valor (902 mm)

3.2. Disponibilidades hídricas en futuros escenarios de cambio climático

El aumento térmico previsto determinará una elevación de la evapotranspiración potencial y, ello, unido al descenso de las precipitaciones, se traducirá en una reducción progresiva de las disponibilidades hídricas a lo largo del presente siglo, aunque la magnitud del déficit hídrico difiere notablemente de uno a otro escenario (Cuadro IV, figuras 3 a 6).

Al comparar las medias de ambos escenarios, observamos que son mucho más extremas en el escenario A2 que en el B2, y superiores a finales de siglo que a mediados. Por ejemplo para el escenario A2 el promedio pasa de -536 mm a -916 mm a finales de siglo, y para el escenario B2, de -498 a -654 mm. También aumenta la variabilidad espacial entre periodos (cuadro IV).

Cuadro IV. Disponibilidades hídricas (mm) proyectadas según escenarios y horizontes temporales.

Estadísticos descriptivos	MODELO HADCM3			
	Escenario A2		Escenario B2	
	2041-2070	2071-2100	2041-2070	2071-2100
Media	-536	-916	-498	-654
Desviación Típica	213	247	208	226
Máximo	-3,4	-226	64	43
Mínimo	-905	-1284	-841	-1001

En cuanto a la distribución espacial, el aspecto más destacado en el escenario A2 es que las condiciones de déficit hídrico se hacen extensible a todo el territorio en el horizonte 2041-2070. Como puede observarse en el mapa correspondiente, toda la superficie muestra registros negativos de precipitación útil. En el 80% del territorio, aproximadamente, el déficit de agua alcanza valores entre 200 y 800 mm, profundizándose aún más este déficit en el extremo SO (precipitación útil < -800 mm).

Condiciones menos desfavorables se observan en diversos sectores de la sierra de Guadarrama y Gredos (7% del territorio), con déficits menos intensos (Fig. 3, Cuadro Va).

La falta de agua se acentúa con el paso del tiempo y, en el 2071-2100, el 45,7% del territorio supera los 1.000 mm de déficit hídrico (Fig. 4), los valores con respecto al primer periodo aumentan en todas las regiones (Cuadro Vb).

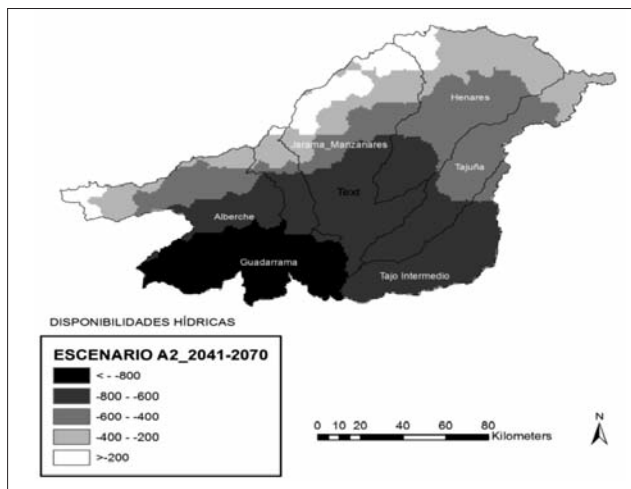


Fig. 3. Disponibilidades hídricas escenario A2 2041-2070.

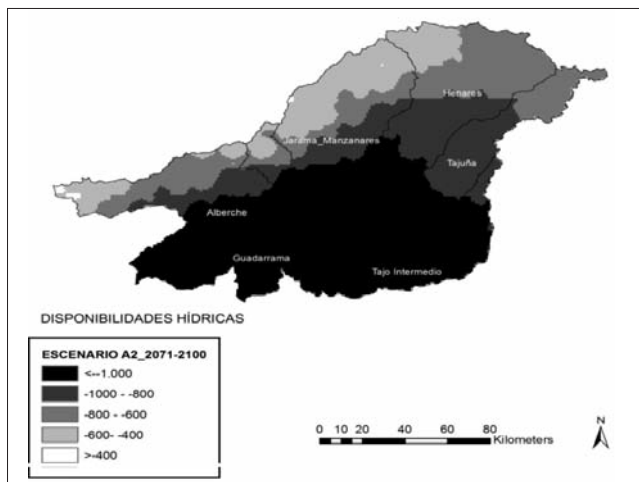


Fig. 4. Disponibilidades hídricas escenario A2 2071-2100.

El escenario B2 es menos extremo que el A2 desde el punto de vista de los recursos hídricos. De hecho existen algunas zonas en torno a Navacerrada (son insignificantes, apenas representan el 0,005% de superficie) donde no hay déficit hídrico, con unos valores máximos de lluvia útil de 64 mm para el periodo 2041-2070 y de 43 mm para 2071-2100 (Cuadro IV, Cuadro Vc y Vd).

Durante 2041-2070 no existe ningún sector por debajo de -841 mm de lluvia útil.

El 34% del territorio está comprendido entre 0 y -400 mm y el 66% entre -400 y -841 mm (Fig. 5, Cuadro Vc).

En la última treintena del siglo XXI se acentúa el estrés hídrico. La superficie con un déficit superior a 800 mm representa el 34%, alcanzándose valores máximos de 1001 mm (Cuadro IV). Entre -800 y -200 mm de precipitación útil se encuentra el 63% de la superficie y solamente hay un 4% con déficit inferior a 200 mm (Fig. 6, Cuadro Vd).

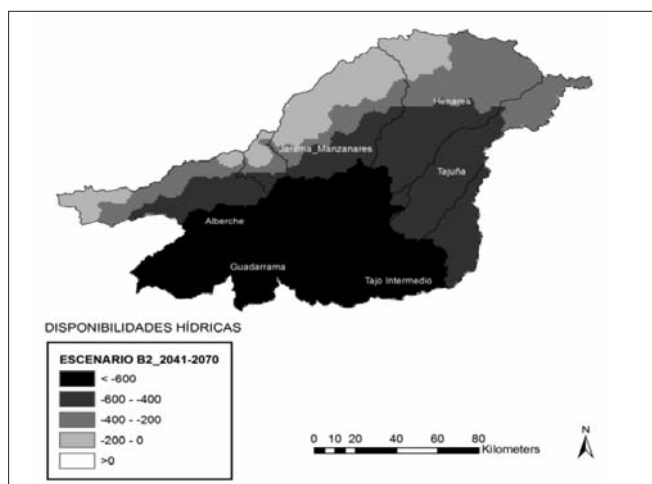


Fig. 5. Disponibilidades hídricas escenario B2 2041-2070.

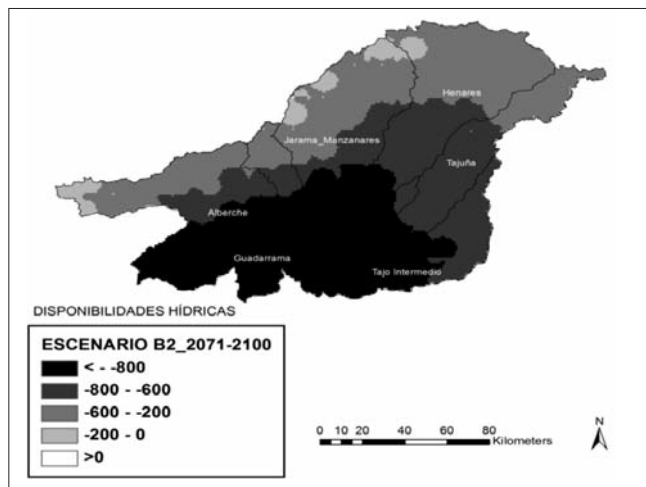


Fig. 6. Disponibilidades hídricas escenario B2 2071-2100.

Cuadro V. Superficie cubierta por la lluvia útil según proyecciones futuras.

a. Escenario A2. Horizonte 2041-2070

mm	Nº de píxeles	%
< -800	2869	14,2
-800- -600	7163	35,5
-600- -400	4899	24,3
-400- -200	3753	18,7
> -200	1466	7,3

b. Escenario A2. Horizonte 2071-2100

mm	Nº de píxeles	%
< -1000	9202	45,7
-1000- -800	4004	19,9
-800- -600	4126	20,5
-600- -400	2767	13,7
> -400	51	0,2

c. Escenario B2. Horizonte 2041-2070

mm	Nº de píxeles	%
< -600	7571	37,6
-600- -400	5829	28,9
-400- -200	4528	22,5
-200 - 0	2221	11
> 0	1	0,005

c. Escenario B2. Horizonte 2071-2100

mm	Nº de píxeles	%
< -800	6777	33,6
-800- -600	5682	28,2
-600- -200	6930	34,4
-200 - 0	760	3,8
> 0	1	0,005

3.3. Diferencias entre las disponibilidades hídricas actuales y futuras

3.3.1. Diferencias entre los dos horizontes temporales en ambos escenarios

Las diferencias en los promedios, siempre negativas, se sitúan en 353 mm para el A2 y 156 mm para el B2, lo que

representa una reducción en la precipitación útil del 63% y 31%, respectivamente, entre ambos periodos (Cuadro VI).

Espacialmente, las máximas reducciones se elevan hasta los 416 mm en el escenario A2 y 202 mm en el B2, mientras que las mínimas reducciones oscilan entre los 220 mm y los 16 mm en los mismos escenarios.

Cuadro VI. Estadísticos descriptivos de las diferencias de precipitación útil entre los dos horizontes temporales (2071-2100/2041-2070) en ambos escenarios.

Estadísticos descriptivos	Diferencias entre períodos temporales	
	Escenario A2	Escenario B2
Media	-353	-156,3
Desviación Típica	41,2	28,6
Máximo	-220,0	-16,0
Mínimo	-416	-201,7

La distribución espacial de las diferencias entre ambos periodos en el escenario A2, muestra reducciones máximas en un amplio sector que abarca la parte centro meridional de las diferentes cuencas hidrográficas, con valores por encima de los 350 mm.

En el extremo opuesto se encuentra el sector del Sistema Central (Somosierra, Guadarrama y Gredos), con una clara

orientación NE-SO, con descensos menos acusados, inferiores a 300 mm (Fig. 7).

Respecto al escenario B2, las diferencias entre mediados y finales de siglo XXI son más reducidas que en el escenario A2, presentado idéntico comportamiento espacial. Las mayores diferencias entre periodos están entre los 150 y 200 mm, y las menores, por debajo de 100 mm (Fig. 8).

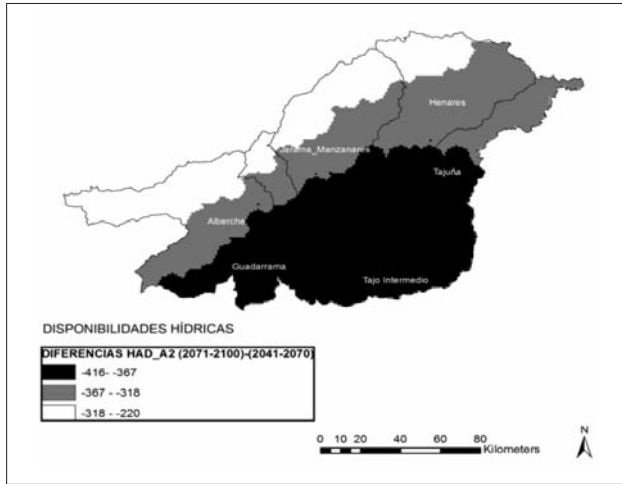


Fig. 7. Diferencias en las disponibilidades hídricas en el escenario A2 entre 2071-2100/2041-2070.

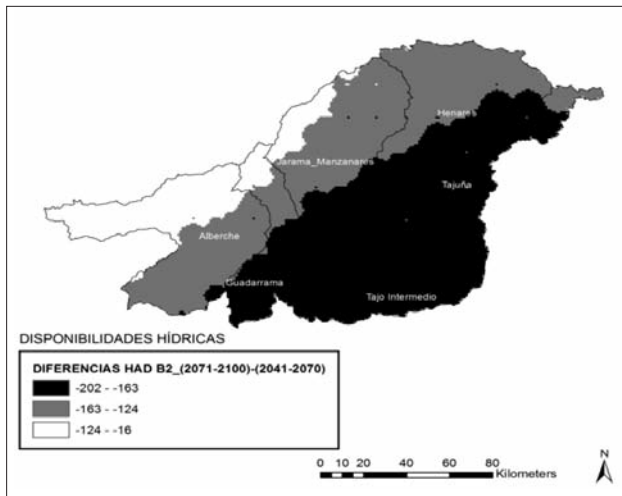


Fig. 8. Diferencias en las disponibilidades hídricas en el escenario B2 entre 2071-2100/2041-2070.

3.3.2. *Diferencias en la lluvia útil entre la situación actual y la proyectada para el último tercio del siglo XXI*

El aumento del déficit en el último tercio del siglo XXI, respecto a la situación actual, se multiplica por siete en el escenario A2 (el promedio espacial de precipitación útil pasa de -133 a -916 mm) y por cinco, en el

escenario B2 (el promedio de precipitación útil pasa de -133 a -654 mm).

Las reducciones máximas de la precipitación útil se sitúan en 1347 mm en el escenario A2 y 1104 mm en el escenario B2 y las reducciones mínimas en 492 mm en el A2 y 261 mm en el B2 (Cuadro VII).

Cuadro VII. Estadísticos descriptivos de las diferencias entre valores actuales de precipitación útil (mm) y los proyectados para los escenarios A2 y B2 (horizonte temporal: 2071-2100).

Estadísticos descriptivos	Diferencias con A2	Diferencias con B2
Media	-782,8	-520,8
Desviación Típica	122,9	111,2
Máximo	-491,8	-260,9
Mínimo	-1.346,9	-1.104,0

Desde el punto de vista espacial en el escenario A2 las diferencias superiores a 1000 mm se localizan en puntos aislados del extremo suroeste de la cuenca del Alberche y en puntos aislados del Sistema Central, que representan un 4% del territorio. Descensos entre 800 mm y 1000 mm se registran en un amplio sector de la zona meridional, con una superficie del 39%. La mayor parte del territorio, el 50%, presenta reducciones comprendidas entre 600 y 800 mm. Las menores pérdidas, inferiores a 600 mm, aparecen en algunos sectores muy localizados de las cuencas altas del Henares

y Manzanares, donde cubren una extensión del 7% (Fig. 9).

En el escenario B2 el reparto espacial de las diferencias adquiere una disposición similar al escenario A2, si bien la magnitud de los valores es inferior. Más de la mitad del territorio, el 67,4% registra reducciones entre los 400 y los 600 mm (Fig. 10). Las reducciones más bajas, con valores inferiores a 400 mm, ocupan el 13,3% del territorio, que igual que en el escenario A2, abarcan las cuencas altas del Henares, del Manzanares y la cuenca media del Tajuña.

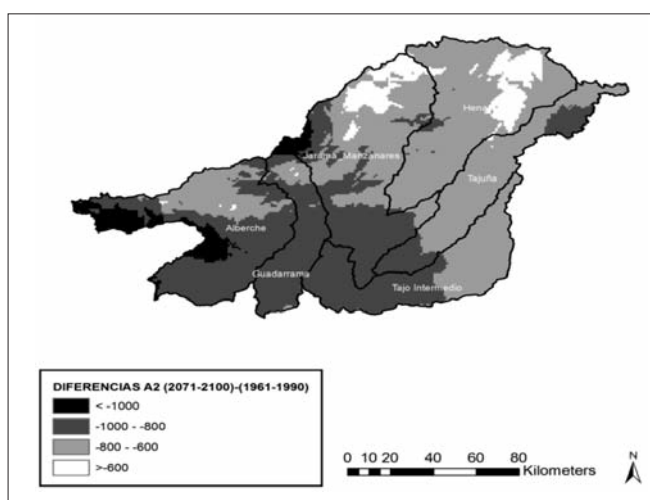


Fig. 9. Diferencias entre la situación actual y el escenario A2.

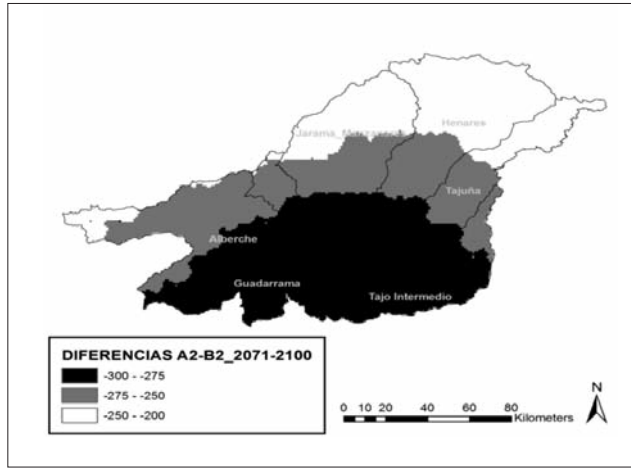


Fig. 10. Diferencias entre la situación actual y el escenario B2.

Por último, el análisis comparativo de las disponibilidades hídricas en las dos hipótesis de trabajo para el último tercio del presente siglo arroja como conclusión más importante que la lluvia útil, negativa en

ambos casos, es un 40% inferior en el A2 (-916 mm de lluvia útil) que en el B2 (-654 mm de lluvia útil), situándose la diferencia promedio en -262 mm (Cuadro VIII).

Cuadro VIII. Estadísticos descriptivos de las diferencias de precipitación útil (mm) entre los escenarios A2 y B2 para el horizonte 2071-2100.

Estadísticos descriptivos	Diferencias entre escenarios
Media	-261,9
Desviación Típica	24,6
Máximo	-199,8
Mínimo	-296,9

Desde el punto de vista espacial (Fig. 11) en el 41% del territorio la caída de precipitación útil del escenario B2 al A2 presenta valores superiores a 275 mm; en un 30% éstos oscilan entre 200 y 250 mm y, finalmente, las diferencias más bajas entre los dos escenarios las encontramos en la parte septentrional, englobando al 29% de la superficie.

4. Comparación de la lluvia útil por cuencas hidrográficas

En los dos escenarios (A2 y B2) y en los dos horizontes temporales (2041-2070/2071-2100) las cuencas con un promedio de déficit hídrico más alto serán las del Tajo Intermedio, Guadarrama y Alberche (cuadros IX y X y figuras 12, 13, 14 y 15).

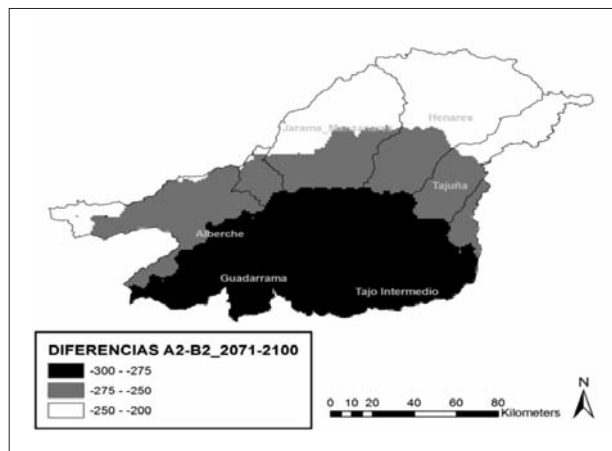


Fig. 11. Diferencias de la lluvia útil entre los escenarios A2 y B2 en el periodo 2071-2100.

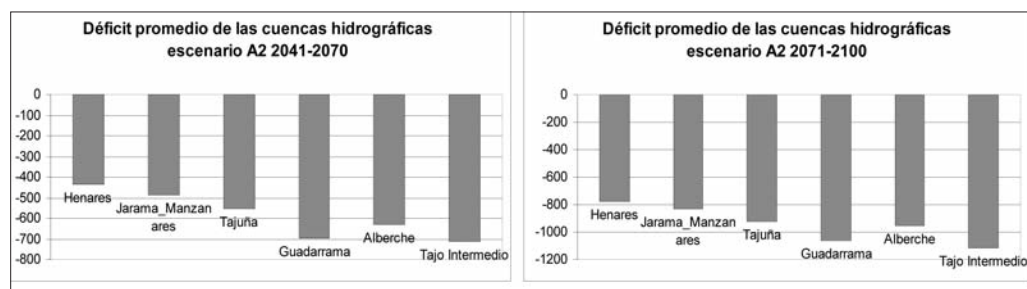


Fig. 12 y 13. Disponibilidades hídricas por cuencas hidrográficas escenario A2 (periodos 2041-2070/2071-2100).

Hay que resaltar que la única cuenca hidrográfica que tendrá algunas zonas con superávit de agua en el escenario B2, será la del Jarama-Manzanares, con unos valores máximos de lluvia útil de 64 mm en el periodo 2041-2070 y de 43 mm en 2071-2100. En el escenario A2, esta misma cuenca registra los valores de déficit más bajos, si los comparamos con los de las restantes cuencas; el déficit alcanza 3 mm en la treintena 2041-2070 y 226 mm en la última treintena del presente siglo. No es de extrañar este comportamiento, ya que en la cuenca alta del Manzanares es donde se producen las mayores aportaciones de precipitación de la Comunidad de Madrid.

La cuenca del Alberche es la que presentará los mayores déficits, fluctuando entre 905 mm y 1284 mm en las treintenas 2041-2070 y 2071-2100, respectivamente, y en el escenario A2, y entre 841 mm y 1002 mm para las mismas treintenas en el escenario B2 (Cuadros IX y X).

La cuenca del Tajo Intermedio está muy castigada por la falta de agua, es la cuenca que tiene una menor amplitud en sus valores de lluvia útil, pero la que tiene un mayor promedio, que oscila en el escenario A2 entre -714 mm en el periodo 2041-2070 y -1117 mm en el periodo 2071-2100, y en el escenario B2 entre -642 y -832 mm en los mismos horizontes temporales.

Cuadro IX. Estadísticos descriptivos de las cuencas hidrográficas (Modelo Had3CM escenario A2).

Cuencas hidrográfica	Periodo 2041-2070				Periodo 2071-2100					
	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitud	Media	Desviación Típica	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitud	Media	Desviación Típica
Henares	-725	-114	611	-436	152	-1112	-407	705	-775	177
Jarama_Manzanares	-817	-3	814	-487	235	-1226	-226	1000	-832	274
Tajuña	-784	-314	470	-554	125	-1192	-638	554	-925	150
Guadarrama	-880	-162	719	-696	207	-1269	-445	824	-1062	244
Alberche	-905	-104	801	-629	227	-1284	-347	937	-952	267
Tajo Intermedio	-848	-504	344	-714	79	-1255	-869	386	-1117	86

Cuadro X. Estadísticos descriptivos de las cuencas hidrográficas (Modelo Had3CM escenario B2).

Cuencas hidrográfica	Periodo 2041-2070				Periodo 2071-2100					
	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitud	Media	Desviación Típica	Valor mínimo	Valor máximo	Amplitud	Media	Desviación Típica
Henares	-655	-61	594	-379	146	-830	-193	637	-538	156
Jarama_Manzanares	-744	-64	808	-421	230	-933	43	977	-573	252
Tajuña	-711	-262	450	-490	118	-901	-420	481	-666	127
Guadarrama	-813	-96	717	-626	206	-982	-199	783	-782	230
Alberche	-841	-35	806	-561	228	-1002	-99	903	-684	254
Tajo Intermedio	-777	-441	336	-642	78	-963	-615	348	-832	78

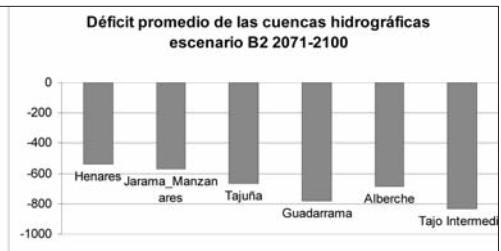


Fig. 14 y 15. Disponibilidades hídricas por cuencas hidrográficas escenario B2 (periodos 2041-2070/2071-2100).

En las figuras 16 y 17 se plasman las medias de los dos horizontes temporales en los dos escenarios de emisiones, A2 y B2.

Consideraciones finales

1. En la actualidad, el promedio regional de precipitación útil, evidencia el déficit

hídrico “estructural”, que en términos generales padece la Comunidad de Madrid y áreas circundantes, no obstante este valor medio enmascara grandes diferencias espaciales entre la zona de la sierra y la zona de los valles; reflejadas en unos valores extremos de precipitación útil que oscilan entre +902 y -451 mm.

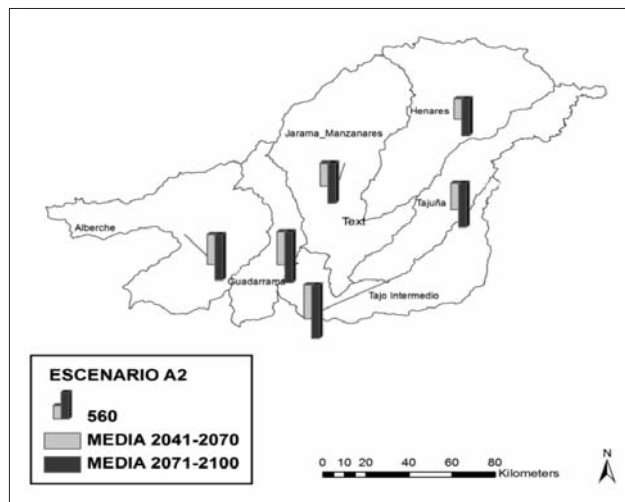


Fig. 16. Disponibilidades hídricas medias de los dos horizontes temporales en el escenario A2.

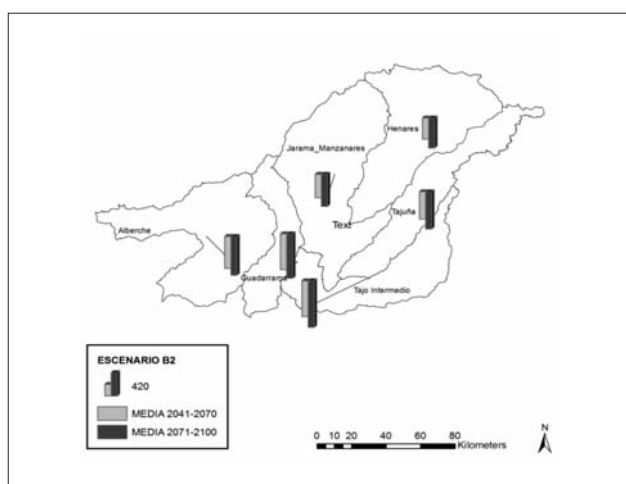


Fig. 17. Disponibilidades hídricas medias de los dos horizontes temporales en el escenario B2.

2. La extensión superficial excedentaria en agua, que en el momento actual representa el 25% del territorio, desaparece por completo en el horizonte 2041-2070, bajo el escenario A2 y, es prácticamente inexistente en el B2 (el porcentaje de territorio con precipitación útil > 0 es insignificante).

3. La evolución temporal futura de la lluvia útil se caracteriza por un progresivo

agravamiento del déficit hídrico, tanto en lo que se refiere a la magnitud del mismo como al porcentaje de territorio afectado. Por ejemplo, el área cubierta por precipitación útil < -200 mm, representa el 53% del territorio en la actualidad; en el horizonte 2041-2070 este porcentaje se eleva hasta 89% y 93% en los escenarios B2 y A2 respectivamente. En el 2071-2100, todo el

territorio registra un déficit de agua superior a los 200 mm en el A2, afectando al 96% del mismo en el B2. La profundización del déficit a lo largo del presente siglo es manifiesta, tal como se refleja en los promedios y valores extremos correspondientes a los distintos períodos temporales. A modo de ejemplo, baste comparar la situación actual con la de finales de siglo: el promedio espacial de la precipitación útil pasa de -133 mm a -916 mm (A2) y a -654 mm (B2). Así pues, el déficit se multiplica casi por siete, en el primer caso, y por cinco en el segundo.

4. Las diferencias entre los dos horizontes temporales en ambos escenarios son siempre negativas, siendo del 63% en el A2 y del 31% en el B2. Su distribución espacial muestra las máximas reducciones en un amplio sector que abarca la parte centro meridional de las distintas cuencas hidrográficas y las mínimas en el Sistema Central.

5. Si comparamos la lluvia útil actual con la proyectada para final de siglo en los dos escenarios de emisiones, habrá una reducción mucho mayor en el escenario A2 (783 mm) que en el escenario B2 (521 mm). Espacialmente las máximas diferencias se localizan en puntos aislados de la cuenca del Alberche y del Sistema Central y las mínimas en algunos sectores de la cuenca del Henares y Manzanares.

6. Las cuencas con déficit hídricos más acusados son las del Tajo Intermedio, Guadarrama y Alberche.

Este trabajo se ha llevado a cabo en el seno del *Grupo Geoclima* de la Universidad Autónoma de Madrid y en el marco del *Proyecto Programa de desarrollo territorial y gestión del agua en la Comunidad de Madrid* (S2007/HUM-0474).

Bibliografía

ALCOLEA MORATILLA, M. A. y GARCÍA ALVARADO, J. M. (2006): «El Agua en la Comunidad de Madrid». *Observatorio Medioambiental*, nº 9, pp. 63-96.

AYALA-CARCEDO F. J. y IGLESIAS LÓPEZ, A. (2001): *Impactos del cambio climático sobre los recursos hídricos, el diseño y la planificación hidrológica en España peninsular*. Instituto Tecnológico y Geominero de España.

BRUNET, M. *et al.* (2007): «Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005». *Journal of Geophysical Research* nº, vol. 112.

CAÑADA TORRECILLA, R. (2007): «Análisis Geoestadístico». En MORENO, A. (ed.): *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Manual de Autoaprendizaje con ArcGIS*. 2ª edición, Ra-Ma, pp. 753-880.

CAÑADA TORRECILLA, R. (2007): «El cambio climático: impactos y opciones de mitigación». En LAMELA, A. LAMELA, A. (dir.): *Estrategias para la Tierra y el Espacio: Geoísmo y Cosmoísmo*, T.II, Madrid, Espasa Calpe, pp. 15-120.

CAÑADA, R. *et al.* (2001): «Análisis de las tendencias de las temperaturas máximas y mínimas medias anuales en la meseta sur española durante el siglo XX». En PÉREZ, A., LÓPEZ, E. y TAMAYO (eds.): *El tiempo del clima*. AEC, serie A, nº 2, 53-63.

CASTRO, M., MARTIN VIDE, J. y ALONSO, S. (2005): «El clima de España: pasado, presente y escenarios de clima para el siglo XXI». En MORENO, J. M. (dir/coord.): *Evaluación preliminar general de los impactos en España por efecto del Cambio Climático*, Ministerio de Medio Ambiente, Madrid.

CEDEX (1998): *Estudio sobre el impacto potencial del cambio climático en los recursos hídricos y demandas de agua*

de riego en determinadas regiones de España. Madrid, Informe técnico para el Ministerio de Medio Ambiente.

CONFEDERACIÓN HIDROGRÁFICA DEL TAJO. *Descripción general de la cuenca*. Accesible en la dirección: <http://www.chtajo.es/>

FERNANDEZ GARCIA, F. (1975): «El clima de la provincia de Madrid». *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, Madrid, pp. 65-95.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2005): «Creación de nuevos mapas a partir del MDE. Aplicación de las uncciones de análisis de superficies». En MORENO, A. (ed.): *Sistemas y Análisis de la Información Geográfica. Manual de Autoaprendizaje con ArcGIS*. 1ª edición, Ra-Ma, pp. 623-642.

FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (2007): «Cambios observados en el clima. Evidencias del fenómeno». En Ministerio de Medio Ambiente: *Informe del Cambio Climático en España. Estado de Situación*. OCC, Ministerio de Medio Ambiente.

FERNÁNDEZ, F. y GALÁN GALLEGO, E. (1993): «La precipitación en el valle del Tietar: aspectos metodológicos». Homenaje al Prof. Albentosa, pp. 91-111.

FERNÁNDEZ, F. *et al.* (1996): «Delimitación espacial de la precipitación útil en la Comunidad de Madrid mediante la utilización de un sistema de información geográfica». En MARZOL, M. V., DORTA, P. y VALLADARES, P. (Edseds.): *Clima y agua. La gestión de un recurso escaso*. MEC y Gob. Canarias, 311-324.

GALÁN GALLEGO, E. (1981): «El clima de la provincia de Toledo y suroeste de Ávila». *Estudios Geográficos*, Madrid, nº 162, pp. 19-49.

GALÁN GALLEGO, E. (2004): «Sequías climáticas en la Meseta Meridional». En *Historia, Clima y Paisaje*. Estudios geográficos en memoria al profesor Antonio López Gómez. Universidades de Valencia, Autónoma de Madrid y Alicante.

GALÁN, E. *et al.* (1999): «Evolución de las precipitaciones anuales en la Meseta meridional durante el siglo XX». En RASO, J. M. Y MARTÍN VIDE., J. (eds.): *La climatología española en los albores del siglo XXI*. AEC, serie A, nº 1, 169-180.

GALÁN, E. *et al.* (2001): «Annual temperature evolution in Southern Plateau of Spain from the construction of Regional Times Series». En BRUNET, M. y LÓPEZ, D. (Edseds): *Detecting and Modelling Regional Climate Change*. Berlín, Springer, pp. 119-131.

INSTITUTO DE ESTADÍSTICA (2009): *Anuario Estadístico de la Comunidad de Madrid. 1985-2009*. Madrid, Dirección General de Economía, Estadística e Innovación Tecnológica. Consejería de Economía y Hacienda. Comunidad de Madrid.

LAMELA, A. *et al.* (2006): «El geoísmo y las directrices mundiales para una mejor gestión del agua». *Nimbus*, nº 17, pp. 91-124.

LAMELA, A. *et al.* (2007): «La utilización sostenible de los recursos hídricos». En LAMELA, A. (dir.): *Estrategias para la Tierra y el Espacio: Geoísmo y Cosmoísmo*, Madrid, Espasa Calpe, pp. 123-187.

McCABE, G. y MARKSTROM, S. (2007): *A Monthly Water-Balance Model Driven by a Graphical User Interface*. Virginia, U.S. Geological Survey, 6 pp.

MITCHELL, T. *et al.* (2004): *A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: the observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100)*. Tyndall Centre for Climate Change Research, Working Paper, 55, 30 pp.

MIMAN (2000): *El libro Blanco del Agua en España*. Madrid, Ministerio de Medio Ambiente, 637 pp.

MIMAN (2005): *Evaluación Preliminar General de los Impactos en España por*

Efecto del Cambio Climático. Madrid, 840 pp.

SOLOMON, S., D., QIN, M., MANNING, Z., CHEN, M., MARQUIS, K. B., AVERYT, M., TIGNOR y H .L. MILLE (eds.) (2007): *Climate Change 2007.The*

Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. United Kingdom y New York, 996 pp.

*Dinàmica de l'acumulació
temporal de sediment fi al
llit del torrent de na
Borges (Mallorca)*

Joan Estrany

Universitat de les Illes Balears
Departament de Ciències de la Terra

Cels Garcia

Universitat de les Illes Balears
Departament de Ciències de la Terra

DINÀMICA DE L'ACUMULACIÓ TEMPORAL DE SEDIMENT FI AL LLIT DEL TORRENT DE NA BORGES (MALLORCA)

Joan Estrany
Celso Garcia

RESUM: Aquest article avalua la magnitud i variabilitat espaciotemporal de l'acumulació temporal de sediment fi al torrent de na Borges (319 km²), Mallorca, amb l'objectiu d'elucidar les causes dels problemes de sedimentació i contribuir a la construcció d'un balanç integrat de sediments. L'índex de la resuspensió de sediment fi a partir de l'agitació de l'aigua i el llit varià espacialment i temporalment, oscil·lant entre 0 i 13 kg m⁻², amb una mitjana de 2,4 kg m⁻², mentre que l'emmagatzematge total fou de 515,2 t i l'específic de 20,6 t km⁻¹. Aquests resultats foren comparats amb les exportacions de sediment en suspensió al llarg del torrent, i va resultar que les dinàmiques d'acumulació prevalgueren sobre les d'exportació per mor de les pèrdues per transmissió i la baixa energia condicionada per l'escàs pendent. Tot en un sistema fluvial amb baixa competència de transport com és na Borges, un riu mediterrani temporal on predominen les aportacions d'aigües subterrànies i afectat pels sistemes tradicionals de conservació dels sòls que limiten la transferència de sediments.

PARAULES CLAU: acumulació temporal de sediment fi als llits, predominança d'aigües subterrànies, sistemes combinats de sanejament, sistemes fluvials mediterranis, Mallorca.

ABSTRACT: This paper assesses the magnitude and spatial and temporal variability of fine-grained sediment storage in the main stem of the Na Borges River (319 km²) in Mallorca. The main aim is to elucidate the causes of sedimentation problems and contribute to the establishment of an integrated sediment budget. Estimates of channel storage obtained from the water and bed agitation procedure varied both spatially and temporally, ranging between 0 and 13 kg m⁻², with the average being 2.4 kg m⁻². The total amount of sediment stored on the channel bed was 164 t, whilst the mean specific bed sediment storage was 6.5 t km⁻¹. These results were compared with estimates of suspended sediment loads along the river and reflect a more active deposition than transport. The nature of stream-aquifer interactions in a low-energy, temporary Mediterranean river affected by traditional soil conservation practices, together with flooding and wastewater discharges, define the varying spatial and temporal channel bed storage conditions along the watercourse.

KEYWORDS: bed storage, groundwater dominance, sediment budget, combined sewer overflows, Mediterranean fluvial systems, Mallorca.

1. Introducció

La deposició i l'emmagatzematge temporal de sediment fi al llits dels rius són responsables d'un nombre destacat de problemes ambientals. L'increment de l'emmagatzematge o acumulació de sediment pot comportar nombrosos efectes nocius en els hàbitats aquàtics i és, per exemple, un factor important en els canvis generalitzats en les poblacions de macròfits (Clarke, Wharton 2001) i invertebrats (Scullion 1983). La recerca desenvolupada fins a dia d'avui en l'emmagatzematge de sediment en suspensió als llits dels rius destaca pel seu potencial i importància ja que sovint representa un component destacat dels balanços de sediments per a les conques de drenatge (Walling, Collins 2008). En molts casos, l'acumulació de sediment en localitzacions intermèdies dins d'una conca pot ser de magnitud similar o fins i tot excedir l'exportació de sediment en suspensió d'aquella conca (Walling et al. 1998). A més, una bona informació sobre la transferència de sediments i l'emmagatzematge és del tot necessària per implementar una gestió sostenible dels sistemes fluvials tenint en compte la imminent aplicació de la Directiva marc de l'aigua (Unió Europea 2000).

Els rius on predominen les aportacions d'aigües subterrànies són reconeguts per les seves aigües cristal·lines (Sear et al. 1999) atès que tenen baixes concentracions de sediment en suspensió provocades per aquestes aportacions d'aigua subterrània, que és lliure de sediment i permet la dilució del sediment en suspensió generat per les crescudes. Tot i això, el predomini d'aigües subterrànies als rius mediterranis es caracteritza per l'alternança estacional de cabals influents i efluents amb conseqüències directes en el règim de transport de sediment (Estrany et al. 2009a).

Recentment hi ha hagut un increment dels problemes de sedimentació en aquests rius que han provocat nivells de terbolesa molt superiors –particularment durant períodes de cabal base– amb la deposició d'importants quantitats de sediment fi als llits i marges, la qual cosa pot causar seriosos problemes d'anòxia que degraden l'hàbitat del canal (Menció, Mas-Pla 2008). La incertesa envolta les causes precises d'aquests problemes de sedimentació. Així, en alguns casos, s'han atribuït a la reducció del cabal causada per la sobreexplotació dels aqüífers, la qual cosa provoca una reducció de l'erosió del canal i de la seva capacitat de transport i incrementa, per tant, la deposició de sediment. Altres possibles causes involucren els canvis d'usos del sòl i provoquen un increment de la mobilització i transferència de sediment als canals i llits. Per afegitó, en ambients mediterranis els canvis d'usos del sòl dels darrers cinquanta anys estan protagonitzats per un increment del sòl urbà (Pons-Esteva 2000). Això ha implicat una sèrie de perills físics i biològics per mor de la naturalesa espasmòdica del règim fluvial urbà (Shaw 1994) que poden causar, entre altres coses, un increment de la mobilització i transferència de sediment als canals i llits. Qualsevol intent per avaluar la importància relativa d'aquestes causes potencials en l'increment de la incidència dels problemes de sedimentació en rius mediterranis on predomina l'aportació d'aigües subterrànies implica reconèixer l'absència de registres a llarg termini de transport de sediment que permetin valorar la magnitud dels canvis i una manca general d'informació sobre les exportacions de sediment en suspensió, les fonts de sediment predominants i les dinàmiques del sediment fi en aquests sistemes fluvials. A més, des del punt de vista del canvi global, les conques de drenatge mediterrànies sofreixen un major nombre de problemes ambientals ja que la pressió que l'home hi ha fet des de

temps immemorials dificulta el discerniment entre l'origen natural o antròpic del sediment en suspensió (Woodward 1995).

Amb aquest rerefons, els autors estan desenvolupant una línia de recerca d'ençà del 2004 a la conca del torrent de na Borges (Mallorca) amb l'objectiu d'establir un balanç d'aigua i sediments (Estrany, Garcia 2004). Es tracta d'una conca mediterrània on predominen les aportacions d'aigües subterrànies (Estrany et al. 2010) amb uns nivells clinomètrics baixos (pendent mitjà del 6%) i un ús del sòl majoritàriament agrícola tot i l'increment notable de l'ús urbà.

Aquest estudi pretén quantificar l'emmagatzematge temporal de sediment en suspensió al llit del torrent de na Borges, el qual fou analitzat al llarg del seu canal principal durant el període comprès entre novembre de 2004 i abril de 2005 amb l'objectiu final d'elucidar les causes dels problemes de sedimentació i contribuir a la construcció d'un balanç de sediments.

2. Àrea d'estudi

La conca del torrent de na Borges s'estén a la part nord-oriental de l'illa de Mallorca, i és la tercera conca en extensió, amb un total de 319 km² (fig. 1). El seu vessant sud-occidental drena les serres centrals i l'oriental, les serres de Llevant. Les altituds oscil·len entre els 300 i 500 msnm a les zones de capçalera on el pendent mitjà dels canals és del 8%. Aigües avall, el canal principal mostra un pendent mitjà molt suau (0,3%) al llarg dels 27 km fins a la desembocadura al mar a la platja de sa Canova, a la badia d'Alcúdia.

La geologia i geomorfologia de Mallorca es caracteritza per una topografia d'alternança de *horsts* i *grabens* que es configurà a partir d'un sistema de falles entre el Miocè superior i el Pleistocè inferior (Jenkins et al. 1990). A partir d'aquesta

caracterització, poden descriure's cinc unitats de relleu bàsiques a la conca de na Borges (fig. 1b):

1) Les serres centrals ocupen el vessant sud-oest de la conca. Són constituïdes per un relleu estructural suau compost per materials bàsicament calcaris amb una significativa complexitat tectònica. Aquests relleus es combinen amb grans àrees planes subsidents compostes per turbidites miocèniques que es disposen discordantment sobre el substrat deformat mesozoic-cenozoic.

2) Les serres de Llevant, les quals ocupen el vessant oest, formen una sèrie de muntanyes i turons construïts principalment per calcàries i dolomies juràsiques.

3) El pla de Son Pou és una depressió plana que ocupa la part central de la conca i que es compon de materials al·luvials del Quaternari suportats en una capa impermeable del Miocè inferior i mitjà.

4) La marina de Petra i el pla de Son Valls són plataformes tabulars esculloses del Miocè superior compostes per calcarenites i calcisiltites, materials recoberts per terra rossa i afectats per importants processos càrstics. La marina de Petra encercla el vessant nord-est de les serres de Llevant, fent que els tributaris que drenen aquesta part de la conca hagin incidit a la plataforma mitjançant falles E-O que han format canons càrstics (Silva et al. 2005).

5) El barranc de na Borges és un canó càrstic que també incideix a la plataforma però seguint falles normals de direcció NE-SO. A més, durant el Pleistocè, l'extrema aridesa reduí de manera significativa la cobertura vegetal i permeté un procés d'incisió fluvial molt actiu que, combinat amb processos càrstics, culminà amb la formació d'un llarg i profund canó càrstic (Rosselló 1964) que ocupa actualment els darrers 17,4 km del canal principal de na Borges amb més de 100 m d'incisió.

La interacció entre aigües superficials i subterrànies està determinada per les

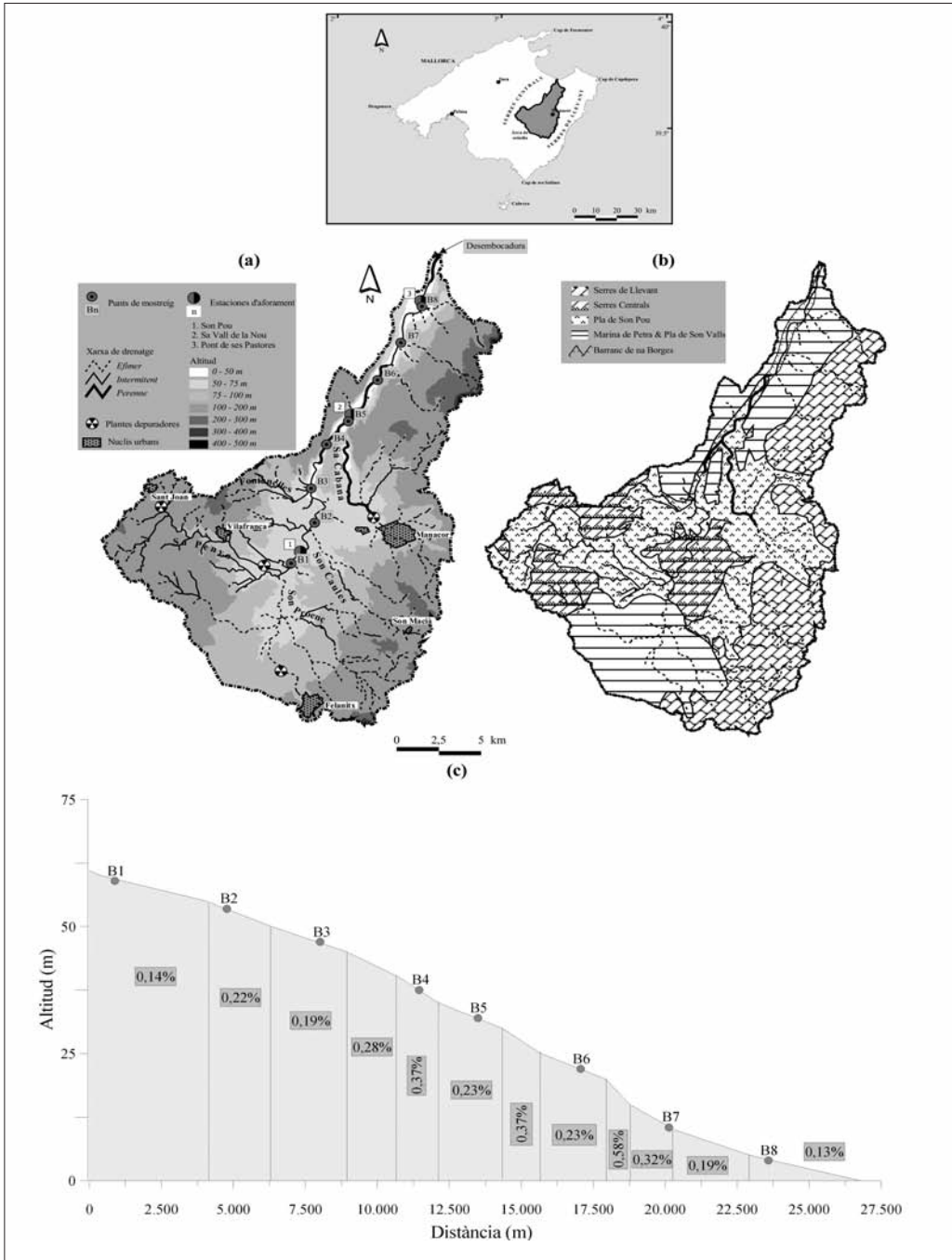


Fig. 1. Localització de la conca del torrent de na Borges a Mallorca. (a) Mapa de la conca de na Borges amb els punts de mostreig de l'emmagatzematge temporal de sediment en suspensió; (b) unitats de relleu, i (c) perfil longitudinal, pendent i punts de mostreig.

característiques hidrogeològiques i geomorfològiques juntament amb l'activitat antròpica, i en resulten diferents règims fluvials a la conca. Així, les zones de capçalera de totes les subconques i els tributaris que drenen les serres de Llevant i la marina de Petra són efímers perquè l'elevat grau de fracturació, fissuració i carstificació afavoreixen la infiltració i percolació a través d'aqüífers penjats no connectats als canals. Les àrees baixes i planes del pla de son Pou estan cobertes per sòls profunds desenvolupats en sediments al·luvials quaternaris suportats per una capa impermeable del Miocè mitjà i superior que forma un aqüífer superficial no confinat on el flux subterrani sosté un cabal influent però amb un règim intermitent per mor de l'elevada evaporació i baixa precipitació durant l'estiu. Alguns trams, a més, caracteritzats per un règim intermitent, poden convertir-se sobtadament en efímers a causa de canvis litològics que activen les pèrdues per transmissió. Aquest procés s'observa principalment als tributaris que drenen el pla de Son Valls (tributaris de Son Caules i Son Proenç), on el flux d'aigua no arriba al canal principal; tret que ocorre un episodi de crescuda important o durant anys molt humits. Els primers 5 km del barranc de na Borges presenten un règim perenne amb cabal influent alimentat per surgències càrstiques desenvolupades a la plataforma tabular escullosa del Miocè superior i suportats per la capa impermeable del Miocè inferior-mitjà. Aigües avall aquesta capa és progressivament substituïda pels sediments porosos del Miocè mitjà-superior. En conseqüència, les pèrdues per transmissió tenen lloc progressivament al llarg dels 12 km restants del barranc de na Borges, on diferents graus d'intermitència s'enregistren segons els esmentats canvis litològics i les condicions hidrometeorològiques dominants a l'àrea mediterrània.

El clima de na Borges està classificat com a mediterrani, i és subsec a la capçalera i subhúmit a les serres de Llevant. La precipitació mitjana anual pel període 1970-2006 fou de 571,6 mm, amb un coeficient de variació interanual del 25,9%. Les dades foren proporcionades per 12 estacions meteorològiques localitzades a la conca i gestionades per l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET). La tardor és l'estació més plujosa, seguida per l'hivern, la primavera i l'estiu. Les diferències topogràfiques i la disposició N-S de la conca produeixen un coeficient de variació espacial de la precipitació del 13,4%, amb un valor màxim al nord de 733,2 mm (serres de Llevant) i un mínim al sud de 506,7 mm (pla de Son Valls). Les tempestes d'intensitat elevada poden assolir els 150 mm en 24 hores amb un període de retorn de 50 anys, principalment a les muntanyes ja que el volum i la intensitat de precipitació es veuen reforçats pel relleu (Romero, Ramis 2002). La temperatura mitjana anual (1970-2006, segons dades de l'AEMET) és de 16,5 °C a Manacor (83 msnm).

La conca és predominantment rural, amb una població de 47.458 habitants el 2001. Més del 80% de la conca és explotada per l'agricultura de secà. A més, l'agricultura ha modificat les zones deprimides a través del drenatge subsuperficial assistit o albellonatge (Estrany 2009a). Aquesta actuació antròpica abasta un 12% de la conca majoritàriament al pla de son Pou i incrementa el cabal del torrent de na Borges des de l'aqüífer superficial no confinat format a la capa impermeable del Miocè inferior-mitjà. Les zones més abruptes són modificades per marjades i parats. El marjament és una pràctica aplicada i coneguda arreu, mentre que els parats normalment estan constituïts per una doble paret de pedra seca i construïts perpendicularment a les corbes de nivell ben enmig

dels tàlvegs dels canals efímers amb l'objectiu de laminar les crescudes espasmòdiques i retenir sediment. Les garrigues i zones forestals ocupen un 8 i un 5,3% respectivament, mentre que l'agricultura de reguiu representa un 4,5% i les àrees urbanes un 2% del territori. Una planta de tractament d'aigües residuals a la ciutat de Manacor (27.707 habitants, 2008) aboca un volum diari mitjà de 4.007 m³ (2006) d'aigües tractades al torrent tributari de sa Cabana, i genera un flux continu, el qual és subseqüentment abocat al tram perenne del torrent de na Borges. Als pobles de Vilafranca de Bonany (2.625 habitants, 2007) i Sant Joan (1.866 habitants, 2007) hi ha també dues plantes de tractament més petites que aboquen un volum d'aigües tractades sensiblement inferior (707 m³, 2006) al torrent tributari de sa Peña. Aquests volums d'aigües depurades tendeixen a contenir baixes concentracions de matèria orgànica i sediment en suspensió. Tot i això, Manacor i en menor mesura les altres dues viles, tenen un sistema combinat de sanejament en què les aigües brutes i les pluvials entren a la mateixa estructura de drenatge. Durant episodis de precipitacions intenses, la capacitat d'aquest sistema sol sobrepasar-se i els col·lectors es veuen desbordats, per la qual cosa aboquen les aigües al torrent a través d'aquest sistema combinat amb què es transfereixen quantitats importants de sediment fi al sistema fluvial.

3. Mètodes

3.1. Volum de sediment fi resuspès del llit del torrent

El volum de sediment fi resuspès al llit del canal principal del torrent de na Borges fou quantificat mitjançant un cilindre (Lambert, Walling 1988). Aquest equipament consisteix en un cilindre d'1 m d'altura i un diàmetre de 0,48 m construït amb

làmina d'alumini de 0,81 mm de gruixa. Quan el cilindre és introduït al llit del torrent, permet formar i mostrejar una àrea coneguda del canal de 0,18 m². D'aquesta manera, es mesura l'altura de l'aigua dins el cilindre per calcular el volum afectat. A continuació, s'agita vigorosament l'aigua i la superfície del llit contingut dins el cilindre amb una vara per resuspèndre el sediment fi emmagatzemat al llit del canal (fig. 2a). Mentre l'aigua encara està en moviment dins el cilindre, es recull manualment una mostra de sediment en suspensió de 500 ml que permetrà estimar la concentració mitjana de sediment després del procés d'agitació. Finalment, una segona mostra és recollida en una garrafa (5 l) mitjançant una bomba d'extracció (fig. 2b), la qual proporcionarà suficient sediment per dur a terme una selecció de propietats a través d'anàlisis de laboratori, els resultats de les quals no es presenten en aquest article.

Aquest procediment de mostreig fou repetit en vuit localitzacions al llarg del canal principal del torrent de na Borges en increments aproximats de 3 km i cobrint trams de pendent homogenis (fig. 1a i 1c). Es realitzaren sis campanyes de mostreig en condicions de cabal base entre el novembre del 2004 i l'abril del 2005, amb intervals de temps d'un mes.

Les concentracions de sediment a les mostres d'aigua ($C_s(t)$; kg l⁻¹) foren determinades per filtratge. Mentrestant, el volum de sediment resuspès al llit per unitat de superfície d'àrea ($B_r(t)$; kg m⁻²) fou calculat de la manera següent:

$$B_r(t) = \frac{C_s(t)W_v(t)}{A} \quad (1)$$

on $W_v(t)$ és el volum d'aigua dins el cilindre (1), el qual fou calculat a partir de l'altura de l'aigua dins el cilindre i la superfície d'àrea (A ; m²).



Fig. 2. Mostreig de l'emmagatzematge temporal de sediment fi. Els procediments de l'agitació (a) i la bomba d'extracció d'aigua (b).

3.2. Acumulació temporal de sediment fi al llit del torrent

Les estimacions de la mitjana de sediments fins resuspesos obtinguts als diferents punts de mostreig es van extrapol·lar per calcular la mitjana total d'emmagatzematge de sediments fins al llit del torrent. Amb aquest objectiu, el canal principal del torrent de na Borges fou dividit en trams definits pels diferents punts de mostreig, i les estimacions de l'acumulació temporal de sediments fins obtinguts pels punts de mostreig foren assumits com a representatius de cada tram al qual s'associen. L'emmagatzematge de sediment en aquests trams individuals es va calcular utilitzant la informació sobre longitud i amplada mitjana de cada tram obtinguda a partir de mesures de camp, dades combinades posteriorment amb l'estimació mitjana d'emmagatzematge de sediment fi obtingut pels trams individuals derivats com la mitjana dels valors corresponents als punts de mostreig en els dos límits del tram. Els valors d'emmagatzematge de cada tram individual foren sumats per proporcionar

una estimació de l'emmagatzematge mitjà total de sediment fi al llit del torrent. El càlcul es dugué a terme de la manera següent:

$$S_c(t) = \sum_{i=1}^n R_{bi}(t) W_{br} L_{br} k \quad (2)$$

on S_c és l'emmagatzematge total de sediment a l'àrea d'estudi; R_{bi} és el sediment resuspès al lloc i en temps t (kg m^{-2}); W_{br} (m) és l'amplada del llit del canal en cada tram r ; L_{br} és la longitud del canal en cada tram (m); i k és un factor d'escala adimensional. Els valors de W_{br} s'han basat en les mesures dutes a terme pels autors a cada punt de mostreig, mentre que els valors de L_{br} han estat extrets del Mapa topogràfic balear (Escala 1:5.000).

Per tal de descriure les variacions temporals de l'emmagatzematge de sediment fi al llit del torrent, es determinà el canvi net (pèrdua o addició) en l'emmagatzematge (S_v ; t) de la manera següent:

$$S_v(t) = [S_{ci}(t)] - [S_{ci}(t-1)] \quad (3)$$

on $S_{ci}(t)$ és l'emmagatzematge total de sediment al llit al lloc i en temps t i temps $t - 1$ (l'ocasió prèvia de mostreig). La primera mesura d'emmagatzematge (novembre) no pot ser directament incorporada a l'estimació de l'equació (3), ja que no hi ha una mesura per al mes anterior. No obstant això, i considerant que el llit està sec durant l'estiu, tot sediment emmagatzemat durant el període humit precedent és estabilitzat i endurit. Amb tot, el valor de novembre pot ser usat per calcular l'increment en l'emmagatzematge des del principi del període humit ja que aquest valor reflecteix el total del nou sediment acumulat des del reinici de l'escolament per damunt del sediment estabilitzat i endurit.

3.3. Determinació de la matèria orgànica

El contingut de matèria orgànica també fou determinat usant el procediment de pèrdua per crema. Pesades unes submostres (>1 g), aquestes foren assecades en estufa a 105 °C durant una nit. Posteriorment, foren repesades per ser cremades en un forn de mufla a 500 °C durant quatre hores. Així, el valor de pèrdua per crema fou expressat en valors relatius després d'haver assecat les mostres de bell nou a 105 °C.

4. Resultats i discussió

4.1. Context hidrològic

Per poder dur a terme una descripció acurada dels processos d'acumulació de sediment fi al llit del torrent de na Borges, la caracterització prèvia de les dinàmiques hidrològiques i de transport de sediment durant l'any hidrològic 2004-2005 és de gran utilitat.

La precipitació mitjana a la conca fou de 542 mm, valor que es pot considerar normal si es compara amb la precipitació mitjana a llarg termini (572 mm). Estacionalment, la precipitació es concentrà a la tardor amb un

55%, mentre que a l'hivern fou del 21%, a l'estiu del 20% i a la primavera del 4%. La fig. 3 mostra l'enquadrament temporal del desenvolupament de les campanyes de mostreig d'emmagatzematge al llit del torrent amb les diferents crescudes ocorregudes, campanyes desenvolupades sempre *a posteriori* dels episodis de crescuda. Es comptabilitzaren tres episodis de crescuda importants (novembre, desembre i febrer), els quals transferiren sediment al llit del torrent amb diferents condicions hidrològiques per mor de les diferents interaccions estacionals entre les aigües superficials i subterrànies, i es van combinar amb els impactes antròpics. A Estrany et al. (2009a) es proporcionen més detalls sobre la magnitud i la dinàmica del transport de sediment al torrent de na Borges.

4.2. Volum de sediment fi resuspès del llit del torrent

L'estimació de la resuspensió de sediment fi al llit del torrent a partir de l'agitació de l'aigua i el llit varià espacial i temporalment, oscil·lant entre 0 i 13 kg·⁻² (quadre 1). La mitjana per als vuit punts de mostreig fou de 2,4 kg m⁻². Aquests valors poden ser vinculats a una combinació de factors. La naturalesa de les interaccions canal-aquífer en un riu temporal mediterrani com na Borges juntament amb els abocaments d'aigües residuals provinents dels sistemes combinats de sanejament durant les crescudes defineixen les variables espacials i temporals de les condicions d'emmagatzematge al llit al llarg del canal principal del torrent. Per afegit, els baixíssims valors clinomètrics d'aquest canal principal (< 0,5%) fan que l'energia del flux sigui exigua i que afavoreixin els processos d'acumulació. Per tant, els diferents règims fluvials, la influència dels sistemes combinats de sanejament i el baix pendent fan que aigües avall no s'observi una tendència a l'increment de l'emmagatzematge.

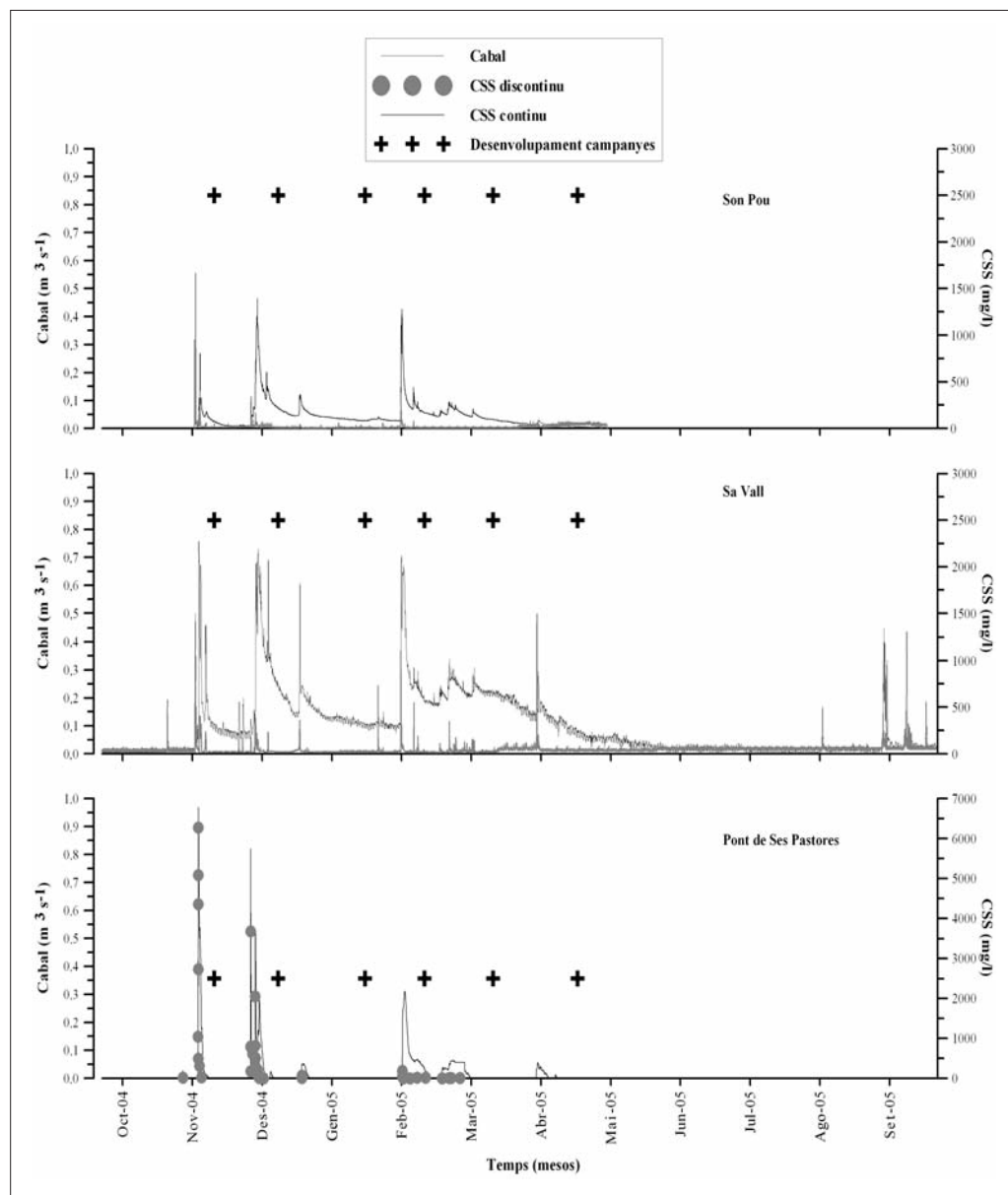


Fig. 3. Evolució del cabal i la concentració de sediment en suspensió (CSS) a les tres estacions hidromètriques del torrent de na Borges durant l'any hidrològic 2004-2005 amb resolució quinziminutal de les dades. Enquadrament temporal del desenvolupament de les campanyes de camp de mostreig d'emmagatzematge al llit del torrent de na Borges.

Quadre I. Volum de sediment fi al llit del torrent de na Borges. Els valors representen la quantitat total de material resuspès al llit calculada mitjançant el mètode d'agitació en el moment de mostreig (estació humida de l'any hidrològic 2004-2005).

B1				B2			B3			B4		
Cs	Material	Matèria		Cs	Material	Matèria	Cs	Material	Matèria	Cs	Material	Matèria
(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica		(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica	(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica	(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica
	(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)	
Nov04	0,0020	0,66	18,4	0,0007	0,14	29,8	---	---	---	0,0075	1,73	17,6
Des04	0,0085	3,98	12,8	0,0010	0,39	22,4	0,0022	1,25	16,0	0,0021	1,93	15,9
Gen05	0,0147	4,85	14,7	0,0040	1,11	19,3	0,0037	0,89	15,2	0,0237	9,97	15,3
Febr05	0,0059	2,59	11,6	0,0026	1,13	17,2	0,0030	1,91	12,0	0,0074	6,45	9,3
Març05	0,0149	5,38	14,0	0,0048	1,54	13,4	0,0056	2,41	14,9	0,0077	4,87	14,6
Abr05	0,0294	7,95	14,4	---	---	---	0,0253	2,53	15,7	0,0181	4,70	14,1
Mitjana	0,0126	4,24	14,3	0,0022	0,72	20,4	0,0066	1,50	14,7	0,0111	4,94	14,5
B5				B6			B7			B8		
Cs	Material	Matèria		Cs	Material	Matèria	Cs	Material	Matèria	Cs	Material	Matèria
(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica		(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica	(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica	(kg l ⁻¹)	resuspès	orgànica
	(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)		(kg m ⁻²)	(%)	
Nov04	0,0188	4,33	17,0	0,0005	0,13	19,5	---	---	---	0,0042	0,59	16,3
Des04	0,0073	3,64	13,4	0,0020	1,17	21,0	---	---	---	---	---	---
Gen05	0,0119	4,06	14,2	0,0027	1,10	39,6	---	---	---	---	---	---
Febr05	0,0062	3,43	10,0	0,0028	1,84	21,4	0,0085	1,18	16,6	0,0036	0,64	18,8
Març05	0,0046	1,92	16,0	0,0100	5,09	22,1	0,0068	0,54	15,2	---	---	---
Abr05	0,0126	4,16	22,5	0,0284	13,08	17,6	---	---	---	---	---	---
Mitjana	0,0102	3,59	15,5	0,0077	3,73	23,5	0,0025	0,29	15,9	0,0013	0,21	17,6

En aquest sentit, durant l'estiu una bona part del canal està sec per la qual cosa es redueix l'acumulació. Endemés, el segellament i l'encrostament hi són els processos dominants que fan disminuir la disponibilitat de sediment (Zhu et al. 1999). Per contra, durant l'hivern, quan el cabal base hi és present, l'escolament superficial, així com els processos biològics i físics al canal, proporcionen sediment al llit. Amb aquestes condicions, a l'inici de la tardor la disponibilitat i emmagatzematge al llit fou molt baix tot i que s'incrementà ràpidament amb les primeres crescudes del novembre i desembre. Durant l'hivern, tots els components hidrològics de la conca estaven actius, la qual cosa feia que les crescudes fossin més competents en la remoció del sediment al llit i afavorissin els processos de rentatge

de sediment amb el resultat d'un menor emmagatzematge després de la crescuda del febrer. En canvi, els valors d'acumulació foren significativament majors durant els mesos de març i abril quan tots els components hidrològics de la conca encara romanien actius, cosa que permetia la deposició de sediment.

El contingut mitjà de matèria orgànica al sediment del llit fou del 17%, encara que els valors oscil·laren des del 14% (punt B1) al 24% (punt B6). Una part de la matèria orgànica provenia de la producció *in situ* al llit del canal, tal com s'ha explicat anteriorment. Emperò, el major contingut de matèria orgànica (> 30%) de les mostres recollides a la xarxa de monitoratge del transport de sediment en suspensió de na Borges (Estrany 2009b), comparat amb el

sediment del llit, suggereix que la producció autòctona de material al llit fou limitada. Per tant, aquesta proporció de matèria orgànica està estretament relacionada amb l'abocament d'aigües residuals per part dels quatre sistemes combinats de sanejament localitzats a la conca del torrent de na Borges.

Segons que sembla, no hi ha més dades disponibles d'altres rius temporals mediterranis. Així, esdevé difícil jutjar si els valors descrits al quadre 1 són típics. No obstant això, els valors de resuspensió al canal obtinguts pel torrent de na Borges foren similars a aquells documentats d'altres rius on predominen les aportacions d'aigües subterrànies d'altres àrees del món. Per exemple, aplicant el mateix mètode seguit en aquest estudi, Walling i Amos (1999) trobaren que l'emmagatzematge al llit en diferents punts de mostreig dins un sistema fluvial a Dorset (Regne Unit) oscil·lava entre 0,1 i 15 kg m⁻².

La figura 4 permet fer una explicació més acurada de les dinàmiques temporals descrites anteriorment. D'aquesta manera, els majors valors mitjans de sediment resuspès (> 3,5 kg m⁻²) es corresponen amb aquells punts de mostreig amb un règim perenne (punts B4 i B5) o intermitent de llarga durada (punts B1 i B6, amb almenys nou mesos d'escolament l'any) gràcies a la presència de materials impermeables del Miocè inferior. A més, es troben majoritàriament afectats pels sistemes combinats de sanejament. A continuació es fa una descripció d'aigües avall:

— El punt B1 es localitza a l'inici del canal principal de na Borges, on es tanca la capçalera de la conca. Hi predomina un règim intermitent de llarga durada amb una important afecció per part de la depuradora de Vilafranca de Bonany, situada a 2,4 km aigües amunt. L'encrostament inicial de la tardor provocà una manca de disponibilitat al novembre, tot i que les aportacions dels

sistemes combinats de sanejament de Sant Joan i Vilafranca i les aportacions agrícoles (Estrany et al. 2009a) provocaren tot d'una un important emmagatzematge al desembre. Aquest sediment fou remogut en l'episodi de febrer per acabar el període d'estudi amb un notable emmagatzematge primaveral.

— El punt B4 es localitza al principi del tram perenne del barranc de na Borges, fet que permet una major disponibilitat a l'inici de la tardor en no produir-se l'encrostament. A més, al llarg de la tardor les crescudes provinents de la capçalera hi van dipositar sediment, fet que va provocar que el màxim fos al gener i febrer (10,0 kg m⁻² i 6,5 kg m⁻² respectivament), que posteriorment fou remogut amb les crescudes de febrer quan les dinàmiques influents permeteren tenir tots els components hidrològics actius. Mentrestant, a la primavera s'enregistraren valors més baixos perquè en aquest punt la majoria del sediment de capçalera ja no hi pot arribar amb el predomini de dinàmiques efluentes.

— Els punts B5 i B6 es localitzen al tram d'influx de la depuradora de Manacor tot i que les condicions locals i els règims fluvials d'ambdós punts fan que hi hagi diferències notables. Així, al punt B5 —a diferència dels punts B1, B4 i B6— el màxim de material resuspès es donà al principi del període d'estudi (4,3 kg m⁻²) ja que el règim perenne i la influència urbana feren que durant l'estiu qualsevol precipitació caiguda a la ciutat de Manacor generàs escolament alhora que sediment. En canvi, al punt B6 hi predomina un règim intermitent de llarga durada, que fa que el règim d'emmagatzematge anàs de menys a més al llarg del període d'estudi, la qual cosa assenyala que la influència del sistema de sanejament de la ciutat de Manacor va provocar que s'assolissin els majors valors de resuspensió a l'abril del 2005 (13,1 kg m⁻²).

Als quatre punts restants (B2, B3, B7 i B8), els valors mitjans de sediment resuspès

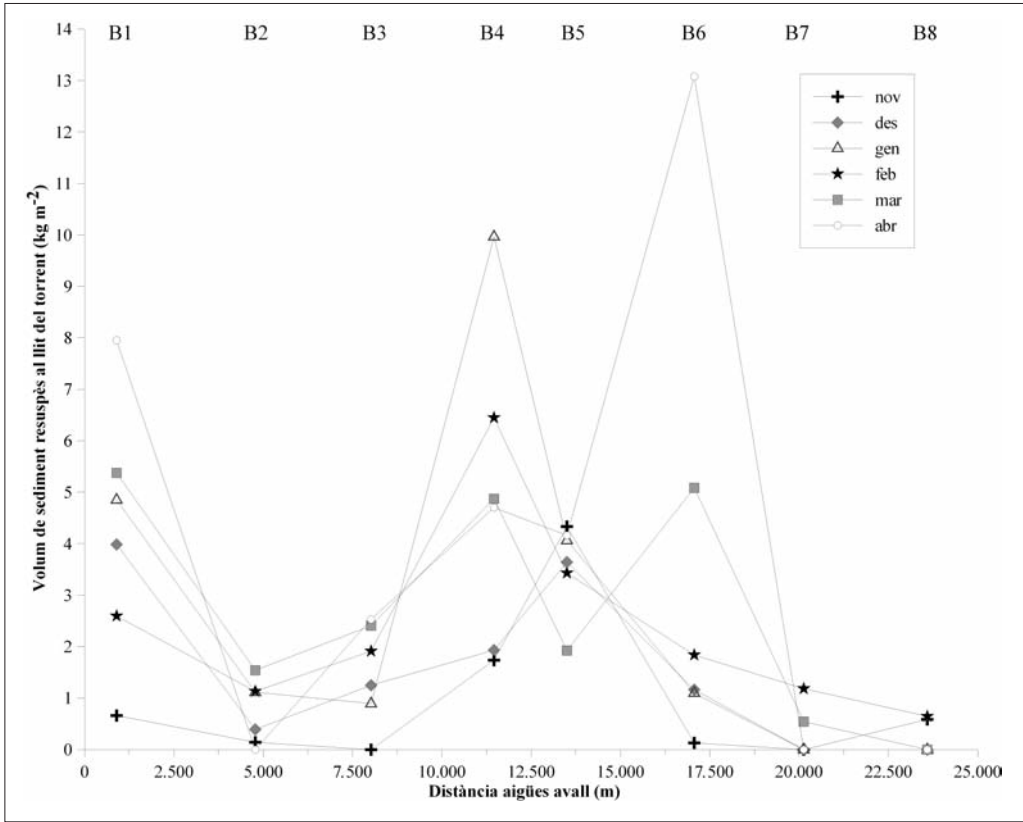


Figura 4. Variacions espacials i temporals en la transferència de sediment al llit del torrent de na Borges amb l'increment de la distància aigües avall.

foren sensiblement inferiors ($< 1,5 \text{ kg m}^{-2}$) atès que es localitzaven en trams amb règims intermitents de menor durada. A més, l'afecció per part dels sistemes combinats de sanejament és molt menor perquè es troben a una distància més gran respecte d'aquests. A continuació se'n fa una descripció més acurada d'aigües avall:

— El punt B2 es localitza en un tram amb més transmissivitat on el torrent de na Borges travessa els materials porosos del Lias (unitat de relleu de les serres centrals), i proporciona un règim fluvial intermitent d'una durada inferior als sis mesos. Així, a l'abril el canal ja estava sec. En aquest punt,

es presentà un progressiu increment del material resuspès mes a mes, ja que la majoria de crescudes únicament foren capaces de dipositar el poc sediment que transportaven. Per la seva part, la remoció de sediment gairebé no es produí ja que el baix pendent disminueix dràsticament la capacitat de transport del flux. Tot plegat fa que la resuspensió assoleixi uns valors baixos (mitjana de $0,7 \text{ kg m}^{-2}$), tenint en compte la major distància respecte de l'origen del sediment durant l'any 2004-2005 en què tributaris propers com Son Caules no arribaren a escoliar ni a aportar sediment, per tant:

— El punt B3 es localitza als materials impermeables del Miocè inferior amb un règim intermitent de durada inferior als sis mesos. Al novembre, en aquest punt, el torrent encara estava sec perquè es produeix un endarreriment en la resposta de l'escolament com a resultat de la recàrrega de l'aqüífer des d'aigües amunt. Una vegada s'ha assolit la presència de flux, la dinàmica temporal és molt semblant a la del punt B2, tot i que el valor mitjà de resuspensió és sensiblement superior ($1,5 \text{ kg m}^{-2}$) perquè aquest tram rep el flux del torrent de ses Fontanelles (fig. 1a), tributari que drena importants sistemes d'albellonatge.

— Els punts B7 i B8 es localitzen en el tram final del barranc de na Borges, on predominen les dinàmiques efluents gràcies a la presència de materials porosos del Miocè superior que provocaren que bona part de l'escolament s'infiltràs. Únicament els tres episodis importants descrits a la

subsecció 4.1 afectaren aquest tram baix del torrent, amb dues crescudes espasmòdiques generades als tributaris de les serres de Llevant al novembre i desembre, i una altra provinent de la capçalera al febrer quan la recàrrega dels aqüífers és màxima, i va predominar durant cert període de temps la influència. Aquests factors fan que els valors mitjans de resuspensió fossin els més baixos enregistrats ($0,3$ i $0,2 \text{ kg m}^{-2}$, respectivament al B7 i B8).

4.3. Acumulació temporal de sediment fi al llit del torrent

Els resultats de resuspensió de sediment fi presentats a l'anterior subsecció 4.1 foren extrapolats per calcular l'emmagatzematge total i temporal (quadre II) així com l'específic (fig. 5) de sediment fi per trams i per a tot el canal principal del torrent de na Borges.

Quadre II. Emmagatzematge de sediment fi al llit del torrent de na Borges a escala mensual i canvi net d'emmagatzematge entre les campanyes de camp i al llarg del període d'estudi.

Tram	Novembre		Desembre		Gener		Febrer		Març		Abril		PERÍODE D'ESTUDI	
	Sc ^a (t)	Sv ^b (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)	Sc (t)	Sv (t)
B1	10,2	---	61,5	51,3	55,5	-6,0	40,0	-15,5	83,0	42,9	122,7	39,7	372,9	122,7
B2	1,2	---	3,2	2,0	9,0	5,8	9,1	0,1	12,4	3,3	0,0	0,0	34,8	12,4
B3	0,0	---	23,7	23,7	16,9	-6,8	36,2	19,3	45,6	9,4	47,9	2,3	170,2	47,9
B4	17,2	---	19,2	2,0	99,1	79,9	64,1	-35,0	48,4	-15,7	46,8	-1,7	294,8	46,8
B5	80,8	---	67,9	-12,9	75,8	7,9	64,0	-11,8	35,9	-28,1	77,7	41,8	402,2	77,7
B6	1,7	---	15,4	13,7	14,5	-0,9	24,3	9,8	67,2	42,9	172,7	105,5	295,7	172,7
B7	0,0	---	0,0	0,0	0,0	0,0	13,3	13,3	6,1	-7,2	0,0	0,0	19,3	6,1
B8	13,8	---	0,0	0,0	0,0	0,0	15,2	15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	29,1	29,1
Total	124,0	---	190,9	79,8	270,8	79,9	266,2	-4,6	298,5	47,6	467,7	187,6	1.618,9	515,2

^aSc – Emmagatzematge de sediment

^bSv – Variació de l'emmagatzematge

L'acumulació temporal de sediment fi al llit (S_v) al llarg dels 26,8 km del canal principal del torrent de na Borges fou de 515,2 t, la qual va proporcionar un

emmagatzematge específic de $20,6 \text{ t km}^{-1}$. Comparant els valors d'acumulació extrapolats a les diferents campanyes de mostreig durant el període d'estudi

confirmarem que el total de sediment contingut al canal varià substancialment a escala temporal (C. V. 76,6%) i espacial (C. V. 89,5%). El novembre és el mes amb menor acumulació, moment en què els components hidrològics no estaven actius i l'encrostant predominava al llit del torrent. Al desembre ($S_v = 79,8$ t) i gener ($S_v = 79,9$ t) es produeix un increment notable gràcies a l'activació per saturació dels components hidrològics i a les diferents crescudes que transferiren sediment al canal. Al febrer ($S_v = -4,6$ t), en canvi, s'interrompé la tendència deposicional per un exhauriment del sediment i pel predomini dels processos d'erosió més que d'acumulació en un moment en què el canal principal està lliure de vegetació. Finalment, els mesos de març ($S_v = 47,6$ t) i abril ($S_v = 187,6$ t) suposaren el període de més

acumulació de sediment, justament quan els components hidrològics estaven totalment actius però amb un creixement de la vegetació dins el canal i un descens del cabal base, factors que afavoriren els processos d'acumulació per sobre els d'erosió.

Pel que fa a la variabilitat espacial, els trams de règim perenne o intermitents de llarga durada (B1, B4, B5 i B6) afectats pels sistemes combinats de sanejament són aquells on es diposità el 84% del sediment (419,8 t) en només el 46,2% de superfície del canal, que va superar en tots els casos les 9 t km⁻¹. En canvi, als trams de règim intermitent de curta durada (B2, B3, B7 i B8), que suposaven el 53,8% de la superfície del canal, només s'hi diposità el 16% del sediment (81,6 t).

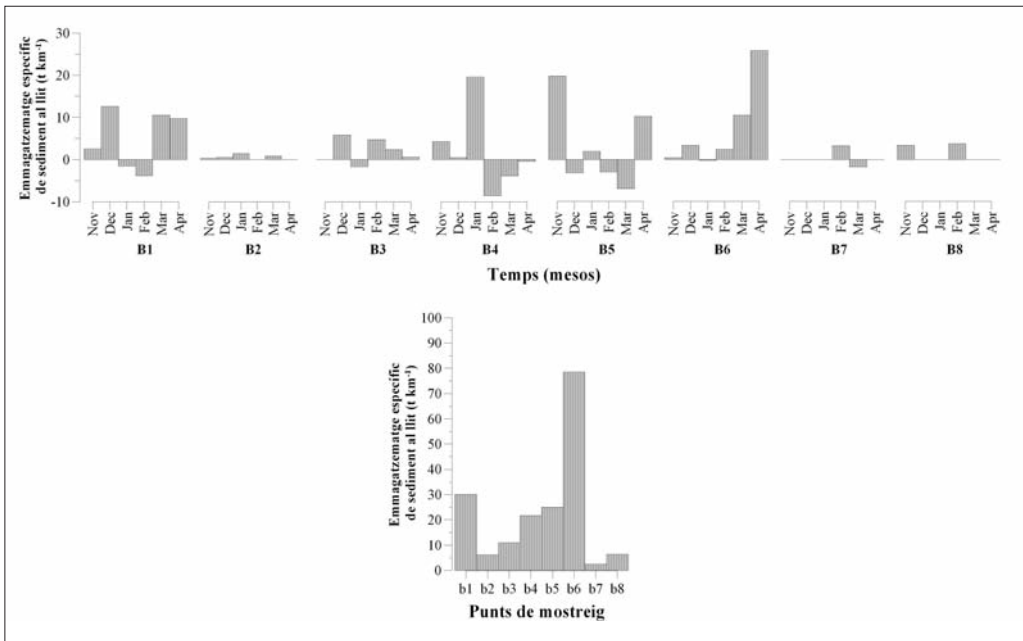


Figura 5. Emmagatzematge específic de sediment fi al llit (t km⁻¹) del torrent de na Borges a escala mensual (a) i durant tot el període d'estudi novembre de 2004 - abril de 2005 (b).

Gràcies a la xarxa de monitoratge del transport de sediment en suspensió a na Borges, on es mesura contínuament cabal i terbolesa a tres estacions d'aforament (fig. 1a), és possible comparar els valors d'emmagatzematge al llit del torrent amb les estimacions de sediment en suspensió a cada estació d'aforament (quadre III). Per això, cal considerar que l'erosió dels vessants d'una conca i els costats del llit del torrent durant precipitacions efectives mobilitza sediment fi que és transferit al sistema del canal principal, la qual cosa contribueix a la càrrega de sediment en suspensió. Una proporció d'aquesta càrrega de sediment en suspensió –que és transportada a través del

canal principal– és temporalment emmagatzemada al llit del torrent. Endemés, aquest sediment emmagatzemat pot ser remobilitzat i alhora redipositat aigües avall sense ser exportat a la desembocadura de la conca si l'energia de l'escolament és baixa. Amb tot, la càrrega de sediment en suspensió i l'emmagatzematge temporal de sediment són els dos components bàsics del balanç de sediment del canal principal i que interactuen en el transport de sediment en suspensió al torrent. Per tant, la càrrega de sediment en suspensió i el canvi d'emmagatzematge de sediment dins el tram representen l'entrada total de sediment fi al llit del torrent.

Quadre 3. Comparació de l'emmagatzematge de sediment fi amb la càrrega de sediment en suspensió als trams inclosos a cada estació d'aforament del torrent de na Borges durant el període d'estudi novembre de 2004 - abril de 2005.

Estació d'aforament (trams inclosos)	Entrada de sediment fi al llit (t)	Emmagatzematge en %	Càrrega en %
Son Pou (B1 i B2)	153,20	98,3	1,7
La Vall de la Nou (B1 a B5)	425,30	82,4	17,6
Pont de ses Pastores (B1 a B8)	654,53	79,4	20,6

Es fa palès que durant el període d'estudi prevalgueren les dinàmiques d'acumulació respecte de les d'exportació per mor de les pèrdues per transmissió i la baixa energia condicionada per l'escàs pendent, una de les principals característiques d'aquells rius on predominen les aportacions d'aigües subterrànies (Sear et al. 1999). Així, el tram del torrent que afora l'estació de son Pou és el que mostra una major capacitat d'emmagatzematge, el qual representa un 98,3% de l'entrada de sediment fi al llit per mor de l'escàs pendent i les pèrdues per

transmissió estacionals. El tram controlat per l'estació de la Vall de la Nou mostrarà una menor capacitat d'emmagatzematge, el qual representa el 82,4% de l'entrada de sediment fi al llit en un tram afectat per les activitats urbanes. Finalment, el tram controlat pel Pont de ses Pastores presentarà la capacitat d'emmagatzematge més reduïda, ja que aquest emmagatzematge només representà el 79,4% de l'entrada de sediment fi al llit causat per l'elevat pendent dels tributaris efímers de les serres de Llevant la qual cosa dona més competència erosiva al flux.

5. Conclusions

Els resultats exposats en aquest estudi proporcionen per primera vegada informació sobre la magnitud i la variabilitat espacio-temporal de l'emmagatzematge de sediment fi en un riu mediterrani temporal on predominen les aportacions d'aigües subterrànies. Els principals resultats i conclusions són resumits a continuació:

(1) El càlcul de la resuspensió de sediment fi al llit del torrent de na Borges a partir de l'agitació de l'aigua i el llit varià espacialment i temporalment, oscil·lant entre 0 i 13 kg m⁻². La mitjana per als vuit punts de mostreig fou de 2,4 kg m⁻². Els diferents règims fluvials amb predomini de pèrdues per transmissió, la influència dels sistemes combinats de sanejament i el baix pendent fan que aigües avall no s'observi una tendència a l'increment de l'emmagatzematge.

(2) Els majors valors mitjans de sediment resuspès (> 3,5 kg m⁻²) es corresponen amb aquells punts de mostreig amb un règim perenne o intermitent de llarga durada i afectats pels sistemes combinats de sanejament.

L'emmagatzematge de sediment fi al llit al llarg dels 26,8 km del canal principal del torrent de na Borges fou de 515,2 t, la qual cosa proporciona un emmagatzematge específic de 20,6 t km⁻¹.

(3) El total de sediment acumulat al canal varià substancialment a escala temporal (el coeficient de variació mensual fou del 76,6%). A escala espacial, els trams de règim perenne o intermitents de llarga durada afectats pels sistemes combinats de sanejament són aquells on es diposità el 84% del sediment.

(4) Si es comparen els valors d'emmagatzematge de sediment al llit amb la càrrega de sediment en suspensió es fa palès que durant el període d'estudi prevalgueren les dinàmiques d'acumulació.

Aquest estudi ha permès aclarir inicialment el paper que juguen els sistemes combinats de sanejament en els processos d'acumulació de sediment al llit. Per això, des del punt de vista de la gestió, caldrà identificar les fonts de sediments, per tal d'aplicar estratègies apropiades per controlar la mobilització de sediments i la seva posterior acumulació als llits. També hi ha una creixent consciència del paper dels sediments en suspensió com a vector del transport de nutrients i contaminants associats (per exemple: metalls pesants, fòsfor, PCB) als sistemes fluvials (Horowitz 1991; Owens et al. 2001). La font dels sediments influeix en les seves propietats químiques i físiques i la seva càrrega contaminant i, per tant, és una consideració important en la gestió dels sistemes fluvials contaminats.

Amb aquests resultats, els valors d'acumulació temporal de sediment fi al llit podran ser circumscrits en l'objectiu prioritari pel qual varen ser dissenyats i establerts: l'establiment d'un balanç de sediments. Nogensmenys, cal considerar que l'estimació de l'emmagatzematge de sediment fi fou establerta pel canal principal del torrent de na Borges sense incloure els tributaris més importants, on és probable que l'acumulació sigui també important. Igualment, el càlcul d'emmagatzematge de sediment al llit no té base temporal i representa una mesura instantània d'acumulació en el moment de mostreig. Així, els valors d'emmagatzematge exposats poden ser representatius de l'emmagatzematge a curt termini (< 1 any) (Adams, Beschta 1980; Frostick et al. 1984), sense pèrdues netes dins el sistema fluvial a escala temporal anual. Per això, és important tenir en compte que durant el període d'estudi no tingué lloc cap episodi de crescuda de certa magnitud que hauria permès remoure part del sediment emmagatzemat temporalment al llit, així com activar altres fonts de sediment més

enllà de les provinents dels sistemes combinats de sanejament, tenint en compte que les geofomes típiques dels rius on predominen les aportacions d'aigües subterrànies (baixa densitat de drenatge, baixa clinometria, vessants de vall rostos i fons de vall molt plans) i la presència de sistemes tradicionals de conservació del sòl limiten la connectivitat vessant-canal i, per tant, la transferència de sediments (Estrany et al. 2009a).

Malgrat aquestes limitacions, aquestes dades representen un important avanç en el coneixement actual d'un dels components clau dels balanços de sediment dels rius mediterranis temporals on predominen les aportacions d'aigües subterrànies. Amb el futur treball s'hauran d'intentar col·locar aquests resultats en el context més ampli del balanç de sediments per a la conca del torrent de na Borges així com fer una anàlisi rigorosa sobre els contaminants associats en aquests dipòsits i el seu impacte sobre els ecosistemes fluvials de na Borges.

Agraïments

Aquest estudi ha estat possible gràcies al finançament aportat pel Ministeri d'Educació i Ciència (Beca FPI dins el Projecte REN-2001-0281); el Ministeri de Medi Ambient i Medi Rural i Marí (Projecte LUCDEME); la Direcció General de Recursos Hídrics de la Conselleria de Medi Ambient (Govern de les Illes Balears), i el Centre Tecnològic Forestal de Catalunya. A més, els autors volen agrair a Joan Miquel Carmona l'ajut i l'assistència tècnica durant el treball de camp i laboratori.

Bibliografia

ADAMS, J. N., BESCHTA, R. L. (1980): «Gravel bed composition in Oregon

coastal streams». *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, núm. 37, pàg. 1514-1521.

CLARKE, S. J., WHARTON, G. (2001): «Sediment nutrient characteristics and aquatic macrophytes in lowland English rivers». *Science of the Total Environment*, núm. 266, pàg. 103-112.

ESTRANY, J., GARCIA, C. (2004): «Monitorización del transporte de sedimento en suspensión en la cuenca del torrent de na Borges (Mallorca): resultados preliminares». A: Benito, G.; Díaz Herrero, A. (eds). *Riesgos naturales y antrópicos en geomorfología*. SEG, pàg. 159-170, Toledo.

ESTRANY, J. (2009a): *Hidrologia i transport de sediment a una conca agrícola del pla de Mallorca*. Palma: Conselleria d'Agricultura i Pesca del Govern de les Illes Balears.

ESTRANY, J. (2009b): «Hydrology and sediment transport in the agricultural Na Borges River basin (Mallorca, Balearic Islands). A Mediterranean groundwater-dominated river under traditional soil conservation practices». Tesis doctoral inèdita. Palma: Universitat de les Illes Balears.

ESTRANY, J., GARCIA, C.; BATTALLA, R. J. (2009a): «Groundwater control on the suspended sediment load in the Na Borges River, Mallorca, Spain». *Geomorphology*, núm. 106(3-4), pàg. 292-303.

ESTRANY, J., GARCIA, C., ALBERICH, R. (2009b): «Streamflow dynamics in a Mediterranean temporary river». Manuscrit sotmès a revisió a *Hydrological Sciences Journal*, núm. 55(5), pàg. 717-736.

FROSTICK, L. E., REID, I., LAYMAN, J. T. (1984): «The infiltration of fine matrices into coarse-grained alluvial sediments and its implication for stratigraphical interpretation». *Journal of the Geological Society*, núm. 141, pàg. 955-965.

HOROWITZ, A. J. (1991): *A primer to trace-element chemistry*. Michigan, EUA: Lewis Publishers.

JENKINS, H. C., SELLWOOD, B. W., POMAR, L. (1990): *A field excursion guide to the Island of Mallorca*. Geologists' Association Guides. London: The Geologist's Association.

LAMBERT, C. P., WALLING, D. E. (1988): «Measurement of channel storage of suspended sediment in a gravel-bed river». *Catena*, núm. 15(1), pàg. 65-80.

MENCIÓ, A., MAS-PLA, J. (2008): «Assessment by multivariate analysis of groundwater-surface water interactions in urbanized Mediterranean streams». *Journal of Hydrology*, núm. 352(3-4), pàg. 355-366.

OWENS, P. N., WALLING, D. E., CARTON, J., MEHARG, A. A., WRIGHT, J., LEEKS, G. J. L. (2001): «Downstream changes in the transport and storage of sediment-associated contaminants (P, Cr and PCBs) in agricultural and industrialised basins». *Science of the Total Environment*, núm. 266, pàg. 177-186.

PONS-ESTEVA, A. (2000): «Evolució dels usos del sòl a les illes Balears: 1956-2000». *Territoris*, núm. 4, pàg. 129-145.

ROMERO, R., RAMIS, C. (2002): «Torrential daily rainfalls patterns in Mediterranean Spain and associated meteorological settings». *Tethys*, núm. 2.

ROSSELLÓ, V. M. (1964): *Mallorca. El Sur y Sureste. Las Islas Baleares. Estudio Geográfico y Económico*. Palma: Cámara Oficial de Comercio, Industria y Navegación.

SCULLION, J. (1983): «Effects of impoundments on downstream bed materials of two upland rivers in mid-Wales and some ecological implications of such effects». *Archives fur Hydrobiologie*, núm. 96, pàg. 329-344.

SEAR, D. A., ARMITAGE, P. D., DAWSON, F. H. (1999): «Groundwater dominated rivers». *Hydrological Processes*, núm 13(3), pàg. 255-276.

SHAW, E. M. (1994). *Hydrology in*

practice. London: Chapman & Hall.

SILVA, P. G., GOY, C., ZAZO, J., GIMÉNEZ, J., FORNÓS, J., CABERO, A., BARDAJÍ, T., MATEOS, R., GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, F. M., HILLAIRE-MARCEL, C., BASSAM, G. (2005): «Mallorca Island: geomorphological evolution and neotectonics». A: Desir, G.; Gutiérrez, F.; Gutiérrez, M. (eds.). *Field Trip Guides of Sixth International Conference on Geomorphology*, vol. II, pàg. 433-472. Saragossa: Universitat de Saragossa.

UNIÓ EUROPEA (2000): Directiva 2000/60/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de octubre del 2000, por la que se establece un marco comunitario de actuación en el ámbito de la política de aguas (Directiva marco del agua). *Diario Oficial de las Comunidades Europeas*, C L 327 22/12/2000.

WALLING, D. E., AMOS, C. M. (1999): «Source, storage and mobilisation of fine sediment in a chalk stream system». *Hydrological Processes*, núm. 13(3), pàg. 323-340.

WALLING, D. E., OWENS, P. N., LEEKS, G. J. L. (1998): «The role of channel and floodplain storage in the suspended sediment budget of the River Ouse, Yorkshire, UK». *Geomorphology*, núm. 22(3-4), pàg. 225-242.

WALLING, D. E., COLLINS, A. L. (2008): «The catchment sediment budget as a management tool». *Environmental Science & Policy*, núm. 11(2), pàg. 136-143.

WOODWARD, J. C. (1995): «Patterns of erosion and suspended sediment y yield in mediterranean river basins». A Foster, I. D. L., Gurnell, A. M.: Webb, B. W. (eds.). *Sediment and Water Quality in River Catchments*. Chichester: John Wiley & Sons.

ZHU, T. X., BAND, L. E., VERTESSY, R. A. (1999): «Continuous modeling of intermittent stormflows on a semi-arid agricultural catchment». *Journal of Hydrology*, núm. 226(1-2), pàg. 11-29.

***Caracterización del
régimen bioclimático
medio del área
metropolitana de Madrid,
mediante la aplicación de
la temperatura fisiológica
(PET)***

Felipe Fernández García

Grupo GEOCLIMA
Universidad Autónoma de Madrid
felipe.fernandez@uam.es

Encarna Galán

Grupo GEOCLIMA
Universidad Autónoma de Madrid

Rosa Cañada

Grupo GEOCLIMA
Universidad Autónoma de Madrid

CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN BIOCLIMÁTICO MEDIO DEL ÁREA METROPOLITANA DE MADRID, MEDIANTE LA APLICACIÓN DE LA TEMPERATURA FISIOLÓGICA (PET)

Felipe Fernández García
Encarna Galán
Rosa Cañada

RESUMEN: En este trabajo hemos caracterizado el bioclima del área madrileña a partir de los datos diarios del observatorio del aeropuerto de Barajas. Hemos obtenido la temperatura fisiológica (PET), máxima y mínima diaria, durante el periodo 1985-2004 y los diferentes umbrales de confort, siguiendo la metodología propuesta por la comisión 6 de la ISB. Se observa que, a partir de 2000, han aumentado los días extremadamente cálidos y se han adelantado estas situaciones a los meses de mayo y junio, descendiendo significativamente en Septiembre.

PALABRAS CLAVE: bioclima, Madrid, temperatura fisiológica.

ABSTRACT: In this paper we have characterized the bioclimate of Madrid on the basis of daily data from the observatory at Barajas Airport. We obtained the daily maximum and minimum physiological temperature (PET) during the period from 1985 to 2004. We also obtained the different comfort thresholds by following the methodology proposed by Committee 6 of the ISB. There was an increase in the number of extremely hot days from 2000 onwards and a prolongation of these conditions that includes the months of May and June, as well as a significant decline in September.

KEYWORDS: bioclimatology, Madrid, Physiological Equivalent Temperature (PET)

1. Introducción

En 1902 Philih Hauser publica su conocida obra «Madrid desde el punto de vista médico social» en la que dibuja una ciudad insalubre y con un alto riesgo de

epidemias y enfermedades atribuidas a las modificaciones que sobre el medio natural introduce una gran urbe, «cuyas emanaciones y deyecciones infectan el suelo y el aire, alterando al mismo tiempo las condiciones climatológicas naturales»; hoy,

cuando ha pasado más de un siglo desde esta visión, Madrid continúa siendo una ciudad contaminada, inconfortable y ambientalmente insostenible. El marco socioeconómico es muy diferente al de entonces, ya que a comienzos del siglo pasado pobreza era sinónimo de mala calidad de vida, hoy los problemas son propios de una sociedad desarrollada, cuya capacidad de transformación del medio natural se ha incrementado de forma notable: el clima urbano es uno de los mejores ejemplos de la acción modificadora del hombre, que es capaz de convertir la ciudad en una isla de calor y su atmósfera en una mezcla de gases contaminantes, con consecuencias muy negativas para la salud y el bienestar de sus habitantes.

Los estudios de clima urbano se enfrentan hoy a los retos que plantean las demandas de una sociedad preocupada, no tanto por conocer las características y mecanismos de ese clima, cuanto por las propuestas y medios para amortiguar sus efectos, tales como disminuir el calentamiento urbano, o conseguir un clima capaz de crear las mejores condiciones de confortabilidad. Todo ello supone un importante cambio en las líneas de investigación prioritarias en este campo, que son ahora las que analizan las relaciones del clima con el hombre, o el hombre y su ambiente atmosférico: la bioclimatología es la rama emergente de la actual situación y la que está experimentando los mayores cambios metodológicos para hacer frente a estas demandas.

El área metropolitana de Madrid es una zona eminentemente urbana, con una ciudad como Madrid de más de dos millones de personas y una serie de núcleos periféricos con poblaciones superiores a cien mil habitantes; en conjunto son más de cinco millones las personas que se concentran en un radio no superior a 50 km en torno a la ciudad. El efecto urbano sobre el clima es

muy importante y en los últimos años se observa un incremento en la frecuencia y duración de las olas de calor (Fernández García y Rasilla Álvarez, 2008). Establecer los umbrales a partir de los cuales se puede considerar estos eventos cálidos como fenómenos extraordinarios y de qué forma influye la ciudad y, en general, los diferentes usos del suelo, es uno de los temas prioritarios de la actual climatología urbana.

El clima urbano es un clima regional modificado, por ello el paso previo para poder evaluar la incidencia de la ciudad, consiste en definir las condiciones medias o *normales* de la zona, derivadas de los factores naturales del clima regional. Es lo que se pretende con estas notas: una aproximación a las condiciones climáticas naturales del área metropolitana de Madrid, desde la óptica bioclimática, es decir tratando de definir las diferentes situaciones de estrés térmico a las que se ve sometido el organismo humano, mediante el empleo de un índice capaz de integrar las diferentes variables que, de forma conjunta, contribuye al mismo.

El trabajo forma parte de un estudio más amplio, que estamos realizando con el fin de conocer mejor las características bioclimáticas de nuestra zona, la influencia de la urbanización y, en general de los diferentes usos del suelo, así como plantear medidas tendentes a mejorar las condiciones ambientales de Madrid. El trabajo se ha estructurado en tres apartados, los dos primeros tratan de analizar los métodos de estudio y los focos de interés de la actual climatología urbana, el cuarto analiza las características bioclimáticas del entorno madrileño, definiendo los valores medios de los diferentes umbrales de estrés térmico, definidos a partir de la temperatura fisiológicas (PET: *physiological equivalent temperature*), uno de los índices que está alcanzando mayor difusión en el contexto de la bioclimatología europea.

2. La climatología urbana ante los retos actuales: la componente bioclimática del clima urbano

La ciudad es uno de los principales focos de emisiones de GEI y, al mismo tiempo, una zona de especial vulnerabilidad a los impactos del calentamiento global, tanto por la agudización del calor por el efecto urbano, como por la gran concentración de personas que habitan las ciudades. La gravedad de esta situación ha rebasado el ámbito puramente científico y ha calado profundamente en los diversos estamentos sociales: las ciudades se organizan en redes para paliar los efectos de estos cambios y mantener una calidad de vida aceptable en el marco de un desarrollo sostenible y los gobiernos destacan como líneas prioritarias de sus políticas científicas las que se dirigen a reducir los impactos del hombre sobre el clima. En el caso concreto de España, El Ministerio de Medio Ambiente, a través de la «Oficina Española del Cambio Climático» ha elaborado el «Plan Nacional de Adaptación», que en lo referente al urbanismo y la construcción, señala que las estrategias de ordenación del territorio y los planes urbanísticos deben prestar una atención especial a la información climática, tanto para la elaboración de la normativa técnica sobre edificación, como para una adecuada realización de los proyectos que considere la situación climática de la localidad donde se ubican los edificios. Ello supone desarrollar estudios que permitan la elaboración de normas que conduzcan al aprovechamiento óptimo de las condiciones climáticas en los sectores urbanístico y de la construcción.

La situación que acabamos de describir ha supuesto cambios importantes en los objetivos y métodos de la climatología urbana actual, cuyo interés prioritario se focaliza en dos aspectos fundamentales: por un lado, el estudio de los procesos y meca-

nismos capaces de amortiguar la isla de calor, por otro, la mejora en la calidad del aire en las ciudades (Souch y Grimmond, 2006). Se trata, con ello, de prevenir con antelación los extremos térmicos y de crear las condiciones que mejor se adapten a los cambios previstos; o lo que es lo mismo, la caracterización de lo que algunos autores han denominado “el clima urbano ideal”, entendiéndolo como tal aquel que permita a los habitantes de las ciudades gozar de un aire limpio y una ausencia de estrés, mediante una correcta planificación (Katzshner 2000). Ello supone potenciar la componente bioclimática, con especial preferencia hacia la evaluación del impacto termofisiológico del entorno atmosférico, que en las áreas urbanas alcanzan valores preocupantes.

La atmósfera, en efecto, es la parte del entorno con el cual el organismo humano está en permanente estado de adaptación debido a las continuas variaciones que sus componentes presentan, tanto los relacionados con el complejo térmico (radiación, temperatura, humedad y viento), como con el conjunto químico que constituyen los diversos componentes del aire (Fig. 1).

En una atmósfera urbana estos dos conjuntos de variables sufren importantes modificaciones: las térmicas debido a todos los procesos energéticos que se producen en el interior de la ciudad y que comprende los flujos de radiación, asociados al calor latente y sensible, así como los flujos de calor almacenado en el suelo, los edificios y el generado por el hombre y sus actividades; la composición del aire se modifica debido a la contaminación, que incluye todo el proceso que comienza con las emisiones de los diferentes contaminantes y finaliza con la deposición de los mismos. La combinación de un espacio construido y unas actividades desarrolladas en la ciudad dan lugar a un sistema ambiental complejo y con repercusiones importantes sobre la salud y el bienestar de sus habitantes, tal y como se muestra en la figura 2.

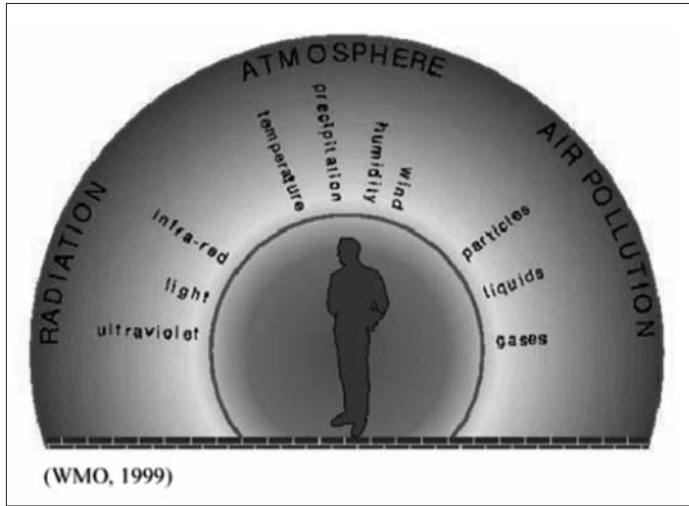
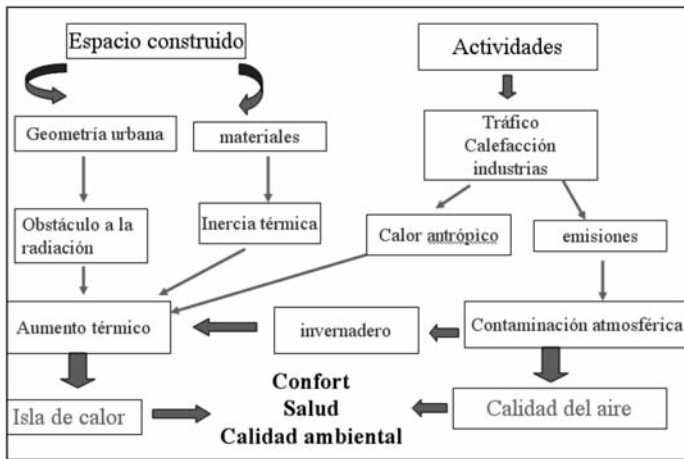


Fig. 1. El hombre y ambiente atmosférico.



Fuente: Fernández García, F.

Fig. 2. Sistema ambiental urbano.

La ciudad, en definitiva, aparece como un espacio de alto riesgo, especialmente en verano cuando el tráfico, los materiales, el trazado de las calles y el tipo de construcción, no adaptados a las condiciones climáticas, convierten el centro urbano en

una zona muy cálida; por su parte, el uso intensivo de energía concentrado en las áreas urbanas, las convierte en la principales fuentes de emisión de gases contaminantes y una seria amenaza para la salud humana.

Calidad del aire y confortabilidad climática son los dos factores de riesgo más acusados en las áreas urbanas, tanto por sus efectos directos sobre la mortalidad y morbilidad, como por el gran número de personas potencialmente expuestas. Numerosos informes demuestran una clara relación entre el aumento de la mortalidad y morbilidad y la exposición a largo plazo a diversos contaminantes (EEA, 2002 y 2005; Medina *et al.*, 2000). El aumento de la mortalidad y morbilidad provocados por las olas de calor es, también, un hecho demostrado y ha disparado las alertas y aumentado la sensibilidad de la población en numerosos países de nuestro entorno, especialmente tras los devastadores efectos de la reciente ola de calor de 2003 (García y Alberdi, 2004; Fischer *et al.*, 2004). En un reciente informe realizado por encargo de la Organización Mundial de la Salud (Coppe *et al.*, 2004), se indica que las olas de calor constituyen uno de los mayores riesgos para la población de las áreas urbanas, donde alcanzan especial virulencia como consecuencia del efecto de isla de calor y se recomienda como método de estudio el análisis de la acción conjunta de la temperatura, humedad, viento y radiación emitida por las superficies urbanas, variables todas ellas que de forma conjunta intervienen en el balance energético entre el hombre y su entorno.

3. La experiencia bioclimática en espacios abiertos

1. Índices bioclimáticos. La bioclimatología estudia las interacciones entre los procesos atmosféricos y los seres vivos. El objetivo final de las investigaciones en el campo de la bioclimatología es cuantificar las sensaciones térmicas y establecer escalas, que permitan determinar las respuestas de la persona ante unas

condiciones climáticas específicas. Todos los investigadores utilizan una metodología similar, consistente en el análisis combinado de diversas variables climáticas para obtener un índice sintético capaz de expresar las sensaciones térmicas experimentadas por el organismo humano; a partir de estos índices se definen diversas categorías de sensaciones, que van desde las muy frías a las muy cálidas (Fernández García, 1996).

Los primeros índices aparecen a finales del siglo XIX, desde entonces, se han sucedido las investigaciones en este campo dando lugar a la existencia de más de 150 índices de confort. La mayor parte de ellos tienen como objetivo determinar las condiciones de confort en el interior de los edificios, por ello su aplicación a espacios abiertos, como sería el caso de la ciudad, plantea importantes limitaciones. La primera deriva de que en espacios interiores se pueden controlar las diferentes variables que influyen sobre el confort, la segunda, por el carácter estático de estos índices que no consideran de forma adecuada las modificaciones que introducen el tipo de actividad, la ropa o las mismas condiciones climáticas, muy cambiantes tanto en el tiempo como en el espacio.

Para espacios exteriores, dos son los índices que han alcanzado mayor predicamento: el Wind Chill, o poder de enfriamiento por el viento y el THI, o índice termohigrométrico. El primero, combina la temperatura y la velocidad del viento y su uso está muy extendido en los climas fríos (Maarouf y Bitzos, 2000; Kessler, 1993, Bluestein y Zecher, 1999); el índice termo higrométrico, trata de describir las condiciones de equilibrio en zonas cálidas mediante la combinación de la temperatura y la humedad del aire (Fernández García, F. 2001; Unger, J. 1999). También estos dos índices presentan importantes limitaciones, debido a que ninguno de ellos integra todos los mecanismos y procesos que intervienen

en el balance energético entre el organismo humano y su entorno, por lo que sólo pueden ser aplicables a determinados climas o estaciones lo que dificulta su generalización.

Por ello, desde la segunda mitad del siglo pasado se viene trabajando en una línea tendente a la búsqueda de nuevos índices capaces eliminar estas limitaciones. Especialmente interesantes han resultado los estudios llevados a cabo para el acondicionamiento de espacios abiertos en Sidney con motivo de los Juegos Olímpicos (Pickup y Dear, (1999) y en Sevilla con motivo de la Expo 92 (Álvarez *et al.*, 1992); o los aplicados a la planificación (Jendritzky y Grätz, 1998) y en los estudios sobre la salud y la calidad ambiental en zonas urbanas (Höppe, 1999; Kalstein y Green, 1997; Blazejczyk, 1994 y 1996).

2. El índice térmico universal o UTCI. A pesar de los indudables avances que se han producido, no existe un consenso a la hora de establecer el mejor método o el índice más adecuado y la dispersión sigue predominando en los estudios bioclimáticos. Para hacer frente a esta situación la Organización Meteorológica Mundial (WMO) y la Sociedad Biometeorológica Internacional (ISB), han potenciado actuaciones dirigidas a integrar los diferentes grupos de trabajo para intentar buscar un índice válido para cualquier tipo de clima, época y lugar y susceptible de ser adaptado a las diferentes condiciones ambientales. En esta línea desarrolla sus trabajos la comisión 6 de la ISB, integrada en la COST 730, que bajo el título *Towards a Universal Thermal Climate Index (UTCI) for assessing the thermal environment of the human being*, inició su trabajo en 2001, bajo la coordinación de Gerd Jendritzky (Jendritzky *et al.* 2001, 2002).

Su principal objetivo consiste en establecer unas pautas metodológicas que permitan integrar a la bioclimatología en las nuevas líneas de investigación y adaptarla a

las nuevas demandas sociales, como la prevención, a corto plazo, de situaciones de riesgo asociadas a los eventos climáticos extremos y, a medio y largo plazo, la mejora y adecuación a las condiciones ambientales de las áreas edificadas. El grupo ha centrado sus trabajos en la revisión y puesta al día de tres aspectos:

— La modelización del balance energético del cuerpo humano en espacios exteriores y la identificación de las variables meteorológicas que influyen en este balance, con especial referencia a los flujos de radiación y la temperatura radiante;

— La elección del índice que mejor se adecúe a las diferentes y variadas condiciones ambientales y que integre, además de las variables meteorológicas, otras como el tipo de vestido o las diferentes actividades que el ciudadano desarrolla;

— La formulación de las escalas de sensaciones y los umbrales que mejor representen la percepción ambiental, incluyendo los factores de adaptación, tanto a las condiciones medias de una zona, como a los cambios que a corto plazo puedan producirse.

2.1. El modelo de simulación y el índice de confort. Los modelos de simulación tratan de describir matemáticamente el balance de energía del cuerpo humano mediante una combinación racional/empírica de ecuaciones que tratan de aproximarse al comportamiento real (Álvarez *et al.*, 1992). Los índices, por su parte, tratan de sintetizar de forma numérica las sensaciones a las que se ve sometido el organismo; generalmente se expresan en unidades térmicas (°C) y con ellos se puede caracterizar y describir las condiciones bioclimáticas de un lugar, tanto a escala espacial, como su régimen anual, estacional o diario.

En espacios abiertos los factores de estrés térmico son mucho más complejos que en espacios cerrados y, tal y como se puede observar de forma gráfica en la figura 3, en la ciudad los diferentes componentes del

escenario urbano (asfalto, paredes de los edificios, zonas verdes etc.) se convierten en los principales protagonistas del estrés térmico, especialmente durante los periodos cálidos cuando a la temperatura del aire se añade la radiación emitida por todos estos componentes. Es fundamental, por ello, que tanto el modelo como el índice seleccionado, reproduzcan lo más fielmente posible esta complejidad.

El modelo de simulación utilizado por la Comisión 6 de la ISB, (Cuadro I) se basa en más de 10^4 combinaciones en las que intervienen parámetros meteorológicos (radiación, temperatura, humedad y viento) y otros relacionados con el factor de aislamiento de la ropa. (Fiala *et al.*, 1999 y 2001).

En cuanto al índice, se ha optado por la **temperatura fisiológica equivalente** o

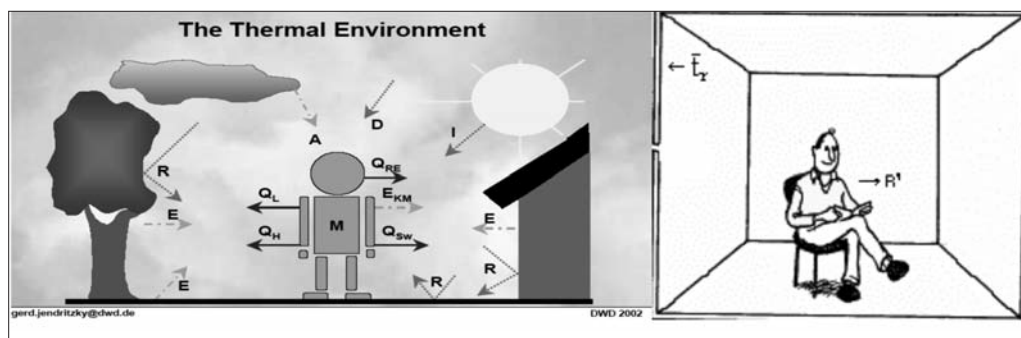


Fig. 3. Variables que influyen en el confort térmico en espacios abiertos (izquierda) y en espacios cerrados (derecha).

Cuadro I. Parámetros utilizados en el modelo de FIALA.

Variables meteorológicas:

- Temperatura del aire desde los 40°C hasta $+45^{\circ}\text{C}$, con incrementos de 5°C ;
- Humedad relativa entre 5% y 95%, con incrementos del 15%;
- Velocidad relativa del viento de 1,1, 2,2, 4,4, 8,8 y $17,6\text{ m s}^{-1}$;
- Temperatura radiante media para desviaciones respecto a la del aire ($T_a - T_{mr}$) desde -10 a $+40^{\circ}\text{C}$

Ropa:

- 0,4 clo para temperaturas entre 15°C y 35°C
- 0,9 entre 5°C y 25°C
- 1,8 entre -15°C y 5°C
- 2,6 entre -40°C y -10°C .

Otras características:

- Varón de 73,5 kg de peso y 1,75 m de estatura,
- caminando a 4 km/h en terreno llano, equivalente a una producción de calor interno de 135 W/m^2 , o 2,3 met

PET, en sus siglas en inglés (*Physiological Equivalent Temperature*). Se define como la temperatura de un entorno de referencia, en el que la percepción de frío o calor sería la misma que en las circunstancias reales. Así, una PET de 43°C indica que el ocupante de una sala en la que la temperatura del aire fuese de 43°C, alcanzaría el mismo grado de

estrés térmico que en las condiciones externas donde se registra el valor enunciado (Höppe, 1999). En el espacio de referencia las condiciones ambientales se reducen a una temperatura media radiante igual a la del aire; una velocidad del aire de 0,1 m/s y humedad relativa del 50%; en estas condiciones la neutralidad térmica, o lo que es lo mismo, la

Cuadro II. Valores de la PET en diferentes ambientes.

	T °C	T _{mr} °C	V m/s	V _p hPa	PET °C
En espacio interior	21	21	0.1	12	21
Invierno al sol	-5	40	0.5	2	10
Invierno a la sombra	-5	-5	5	2	-13
Verano al sol	30	60	1	21	43
Verano a la sombra	30	30	1	21	29

Fuente: Höppe, 1999

sensación de confort se alcanza con una de PET de 20°C. Cuando se modifican algunos de estos valores el valor de la PET y, consecuentemente, la sensación térmica, tal y como se muestra en la Cuadro II.

Todo esto es válido para una persona de 35 años, varón, de 1,75 metros de estatura y 75 kg de peso; el vestido es el adecuado a las condiciones normales del entorno, 0,5 clo en verano y 1,8 en invierno y su actividad se reduce a un paseo tranquilo, 4 km/h, y en terreno llano, lo que representa una producción de calor interno equivalente a 2 met.

Volviendo al Cuadro II, es interesante observar las importantes desviaciones que con respecto a la temperatura del aire experimenta la PET, en función de los valores de la temperatura radiante: así en un día con 30°C de temperatura ambiente, la temperatura radiante puede alcanzar 60°C y el valor del índice los 43°C; si ambas temperaturas, la del aire y la radiante, se igualan el índice desciende a 29°C. Esta gran

diferencia parece reflejar bastante bien la realidad, especialmente en las zonas exteriores donde, como cualquiera de nosotros habrá experimentado, las condiciones térmicas pueden variar muy rápidamente y de forma notoria al pasar de la sombra al sol, o por una zona asfaltada o cubierta de césped.

La inclusión de la temperatura radiante es el aspecto que convierte a la PET en uno de los índices más adecuados para su aplicación en espacios abiertos, donde la temperatura del aire y muy especialmente en los días cálidos de verano, no es suficiente para diferenciar los matices relacionados con los diferentes usos del suelo. Estudios realizados en varias ciudades europeas (Matzarakis *et al.*, 1999; Svenson *et al.*, 2002; Andrade, 2003; Jendritzky *et al.*, 2002; Gratz *et al.*, 1992; Friedrich *et al.*, 2001; Matzarakis y Rutz, 2005; Gulyas *et al.*, 2003) demuestran la utilidad e importancia de la temperatura radiante para

caracterizar los matices bioclimáticos que se producen dentro de las ciudades como consecuencia de los diversos materiales, usos del suelo y estructuras que aparecen en ellas.

2.2. Escalas de sensaciones. Es el otro aspecto necesario para definir y caracterizar desde la óptica bioclimática las condiciones de un lugar, sin embargo, establecer los umbrales a partir de los cuales cambian las sensaciones térmicas continúa siendo tema de discusión y estudio, puesto que están muy

influenciadas por factores psicológicos o personales que dificultan su generalización.

Inicialmente, los umbrales se fijan a partir de las correlaciones entre las variables físicas y las sensaciones que experimentan grupos de individuos, sometidos a diversas situaciones de estrés y en ambientes controlados. La realidad exterior es mucho más compleja, por lo que estos umbrales no pueden ser interpretados en términos absolutos y la misma escala puede dar lugar a sensaciones térmicas diferentes, tal y como

Cuadro III. Sensaciones térmicas en función del tipo de clima para valores similares de temperatura fisiológica equivalente.

PET °C	Sensaciones térmicas	
	Clima templado	Clima tropical
Inf. 4	Muy frío	Extremadamente frío
De 4 a 8	Frío	Muy frío
De 8 a 12	Fresco	Frío
De 12 a 16	Ligeramente fresco	Fresco
De 16 a 20	Neutro	Ligeramente fresco
De 20 a 24	Ligeramente cálido	Neutro
De 24 a 28	Cálido	Ligeramente cálido
De 28 a 32	Caluroso	Cálido
De 32 a 36	Muy cálido	Caluroso
De 36 a 40	Extremadamente cálido	Muy cálido
Sup. A 40		Extremadamente cálido

Fuente: Höppe, 2000

se muestra en el Cuadro III, en el que se indican las sensaciones en un clima templado, típico de la Europa centro occidental y un clima tropical húmedo.

Las mismas consideraciones se podrían hacer a una escala menor, tal y como hemos señalado en otros estudios (Fernández y Moreno, 2004), la escala de sensaciones no es la misma para un habitante de la sierra

madrileña, que para uno del la campiña, tampoco se puede considerar los mismos umbrales de frío o calor, en invierno o verano. Además, desde hace tiempo se conoce la relación que tiene la temperatura con la morbilidad y mortalidad y que la mayor tasa de mortalidad ocurre a temperaturas más elevadas en las regiones con temperaturas más altas, es decir, se produce un proceso de

adaptación a las circunstancias habituales de su medio físico (Alberdi *et al.*, 1998; Díaz *et al.*, 2002). Por ello los sistemas de alerta adoptado por los diversos gobiernos consideran umbrales de riesgo diferentes en función de las condiciones climáticas normales de la zona. Para hacer frente a esta situación, se han propuesto dos tipos de umbrales para establecer la escala de sensaciones a partir del índice PET:

umbral absoluto, basado en los valores en los que se produce el equilibrio térmico, según las pautas establecidas en los modelos experimentales y **umbral relativo**, que tiene en cuenta el factor de adaptación, en función de los valores típicos de cada época o región

climática, obtenidos a partir de los estadísticos de largas series climáticas.

El grupo 6 de la IBS fija la **escala absoluta** en 18°C y 23°C, como los límites del intervalo para el cual se obtiene la neutralidad térmica, de acuerdo con los resultados obtenidos por el modelo de simulación de Fiala: una PET de 18°C representa el umbral inferior de confort (*LCC, Lower Constant Comfort*), por debajo del cual comienzan a manifestarse sensaciones de frío; 23°C es el umbral superior o *UCC (Upper Constant Comfort)* e indica el valor a partir del cual comienzan a manifestarse sensaciones de malestar asociadas al calor (Cuadro IV).

Cuadro IV. Umbrales absolutos de la temperatura fisiológica, basado en el modelo de balance energético de Fiala.

PET (°C)	Sensación térmica	Nivel de estrés
Sup. 41	Muy cálido (bochornosos)	Extremo
35 a 41	Caluroso (muy cálido)	Fuerte, intenso
29 a 35	Cálido (caluroso)	Moderado
23 a 29	Ligeramente cálido (cálido)	Ligero
18* a 23**	Confortable	Nulo
13 a 18	Ligeramente frío (suave)	Ligero
8 a 13	Fresco	Moderado
4 a 8	Frío	Fuerte, intenso
Inf. 4	Muy frío	Extremo

** Umbral superior del intervalo de confort (UCI, en sus siglas en inglés)

* Umbral inferior del intervalo de confort (LCI)

La escala relativa se construye modificando el umbral superior e inferior del intervalo de confort, mediante la siguiente expresión:

Umbral inferior = $18 + (PET_{\min} - 18) \cdot 0,33$

Umbral superior = $23 + (PET_{\max} - 23) \cdot 0,33$

PET_{mx} y PET_{min} son los valores obtenidos tras aplicar a los datos diarios,

obtenidos con los valores climáticos de la zona, un filtro que tiene en cuenta los valores de los 30 días anteriores. Se basa en el hecho de que los cambios que se producen en el organismo, a fin de aclimatarse a las fluctuaciones de corto plazo, tienen lugar en un intervalo de una o dos semanas, pero desaparecen en el intervalo de un mes.

Por su parte, 0,3 es un factor, que trata de incluir a la parte de la población que no se adapta completamente a los cambios y cuya contribución corresponde a un 1/3 del valor total del índice (Jendritzky et al., 2001, 2002).

4. Régimen bioclimático del área metropolitana de Madrid

El año bioclimático medio típico del área metropolitana de Madrid se ha obtenido a partir de la serie diaria del observatorio de Barajas en el periodo 1985-2004. El índice PET se ha calculado con la aplicación para PC del modelo RAYMAN (Matzarakis *et al.* 2000; Matzarakis y Rutz, 2005) y los valores utilizados han sido: las temperaturas máximas y mínimas diarias; la velocidad del viento, medidas a las 7 y 18 horas; la humedad relativa máxima y mínima; la

nubosidad media y la radiación. Los cálculos se han realizado para dos supuestos: en el primero con una temperatura radiante igual a la temperatura del aire y el otro con la temperatura media radiante calculada por el modelo Rayman. Los límites de las diferentes sensaciones de confort se han obtenido a partir de la media de ambos valores.

1. Régimen bioclimático medio en el área metropolitana de Madrid. A partir de los datos diarios del periodo 1985-2004 se ha calculado el valor medio de los diferentes umbrales de confort que correspondería a cada uno de los 365 días del año (Fig. 4) y los valores medios mensuales (Cuadro V). Se representa, por tanto, el año bioclimático medio, típico del área madrileña, en el que los umbrales de confort varían a lo largo del año en función de las características del clima de la zona.

El análisis mensual nos muestra que en

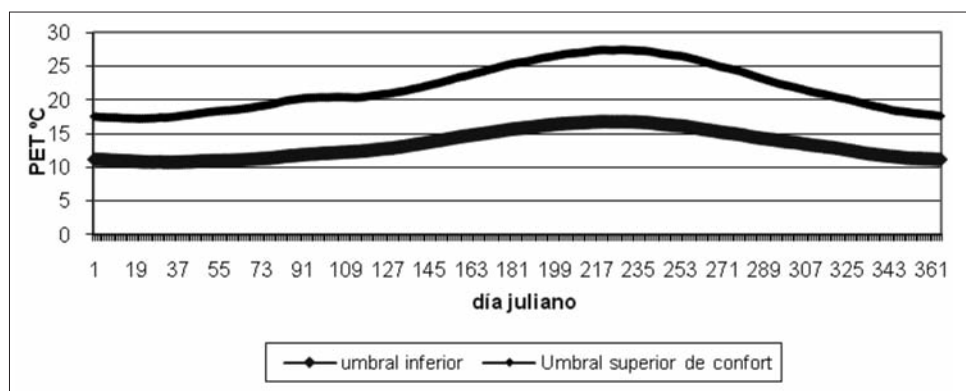


Fig. 4. Valores medios diarios de los umbrales de confort en Barajas (1985-2004).

enero las sensaciones de confort térmico se alcanzan con unos valores de la PET comprendidos entre los 11,6°C y 17,8°C, mientras que en agosto el intervalo de confortabilidad se sitúa entre los 17,1°C y

25,5°C. Del mismo modo, valores de la PET inferiores a -2,5°C en enero, indicarían situaciones extremadamente frías y en agosto valores superiores a 43,5°C situaciones de calor extremo.

Cuadro V. Umbrales de las diferentes sensaciones térmicas en función de los valores de la PET (°C)

mes	frío	fresco	Suave	UIC	USC	cálido	caluroso	muy cálido
En	-2,4	1,6	6,6	11,6	17,8	23,8	29,8	35,8
Fb	-2,6	1,4	6,4	11,4	18,1	24,1	30,1	36,1
Mr	-2,2	1,8	6,8	11,8	19,1	25,1	31,1	37,1
Ab	-1,3	2,7	7,7	12,7	19,8	25,8	31,8	37,8
My	-0,1	3,9	8,9	13,9	20,8	26,8	32,8	38,8
Jn	1,6	5,6	10,6	15,6	22,8	28,8	34,8	40,8
Jl	2,8	6,8	11,8	16,8	24,7	30,7	36,7	42,7
Ag	3,1	7,1	12,1	17,1	25,5	31,5	37,5	43,5
St	2,3	6,3	11,3	16,3	24,4	30,4	36,4	42,4
Oc	0,9	4,9	9,9	14,9	22,2	28,2	34,2	40,2
Nv	-0,5	3,5	8,5	13,5	20,2	26,2	32,2	38,2
Dc	-1,8	2,2	7,2	12,2	18,5	24,5	30,5	36,5

La frecuencia mensual de días clasificados de acuerdo con las diferentes sensaciones térmicas (fig. 5), muestra un claro contraste entre un verano corto, pero muy cálido y un invierno bastante más largo y frío. Junio, julio y agosto son los tres meses en los que las sensaciones cálidas y muy cálidas representan más del 50% de los días y los que tienen la máxima probabilidades de que se alcancen situaciones de máximo estrés térmico; otro rasgo característico del verano es la práctica desaparición de días confortables, compensado por un aumento de las noches con estas características, salvo un porcentaje muy débil de noches cálidas. Desde noviembre a marzo las sensaciones frías y muy frías alcanzan valores superiores al 40%, con un máximo en enero, mes en el que el 80% de los días tienen estas características. Abril y octubre, mayo y septiembre, presentan un ritmo bioclimático muy similar con un aumento de los días confortables o ligeramente cálidos, disminución de las noches frías y presencia

de algunos días cálidos y calurosos, más frecuentes en mayo y en septiembre; en estos dos meses, además, la duración del periodo del confort es bastante largo al aumentar las noches confortables.

2. Tendencias. En el área de Madrid sin influencia urbana, en el periodo de 20 años analizado (1985-2004), las sensaciones muy cálidas y muy frías constituyen un rasgo distintivo de nuestro clima. Tal y como se muestra en la figura 6, durante todos los años se registran estas situaciones en un número que varía entre 40 y 100, en las muy frías y 15 a 60 las muy cálidas; no aparece una tendencia clara y la simple visualización de ambos gráficos indican una cierta aleatoriedad.

No ocurre lo mismo con los días extremadamente cálidos, en los que (Fig. 7) se observa que hasta 1996 se distribuyen de forma más o menos aleatoria y con una frecuencia no muy elevada, de ahí su carácter excepcional; sin embargo los cuatro primeros años del siglo actual han registrado

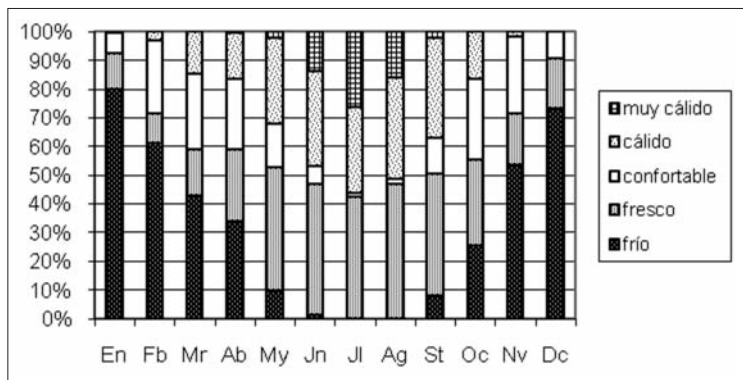


Fig. 5. Régimen bioclimático mensual.

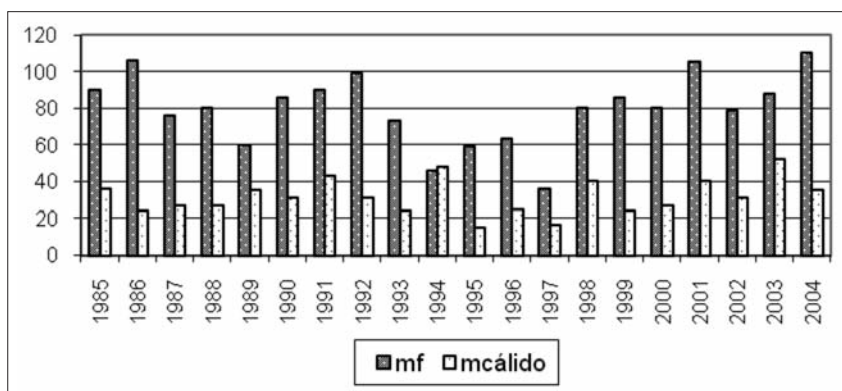


Fig. 6. Frecuencia de días muy fríos (azul) y muy cálidos (rojo) en Barajas durante el periodo 1985-2004.

todos ellos situaciones muy cálidas, con un máximo de nueve días en 2003, coincidiendo con la ya nombrada ola de calor de este año. Parece confirmarse, por tanto, la previsiones del IPCC de la mayor frecuencia de situaciones cálidas, que se están convirtiendo en habituales en el clima de nuestro entorno (Fernández y Rasilla, 2008). Se observa, también, un cambio de tendencia en los meses en los que se producen tales situaciones, de tal modo que hasta el año 2000 (Fig. 8) julio y agosto fueron los meses en los que estas situaciones alcanzaron mayor frecuencia, mientras que en junio únicamente se registró un día (en 1994); a

partir de 2000, comienzan a ser frecuentes también en junio, lo que sugiere que los días de calor excesivo, no sólo se han hecho más habituales, sino que además afectan a los tres meses estivales, reforzando el carácter estival de junio.

Además, a partir del año 2000 (Fig. 9) han aumentado el número de días muy cálidos en mayo, a la vez que disminuye su frecuencia en septiembre. Parece, por tanto, que se está produciendo un cambio de tendencia en el comienzo de la estación cálida: las situaciones típicas del verano comienzan su aparición en mayo y junio desbanca a septiembre como el tercer mes estival.

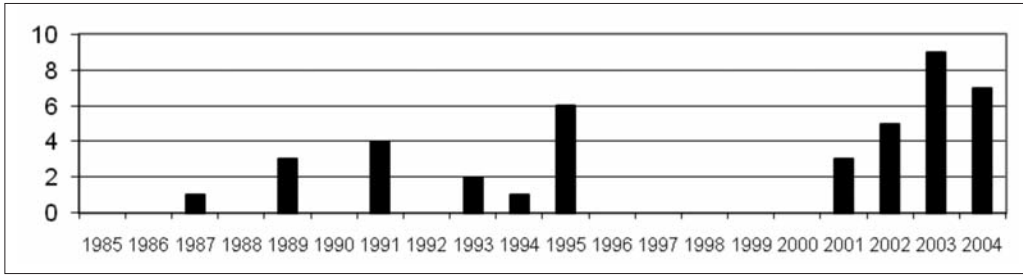


Fig. 7. Frecuencia de días extremadamente cálidos en Barajas durante el periodo 1985-2004.

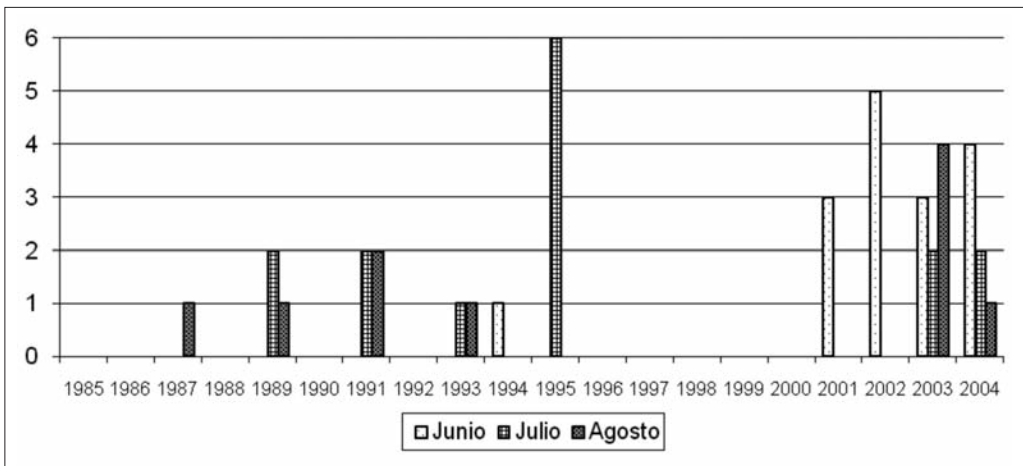


Fig. 8. Evolución interanual de del total de días extremadamente cálidos en los tres meses estivales.

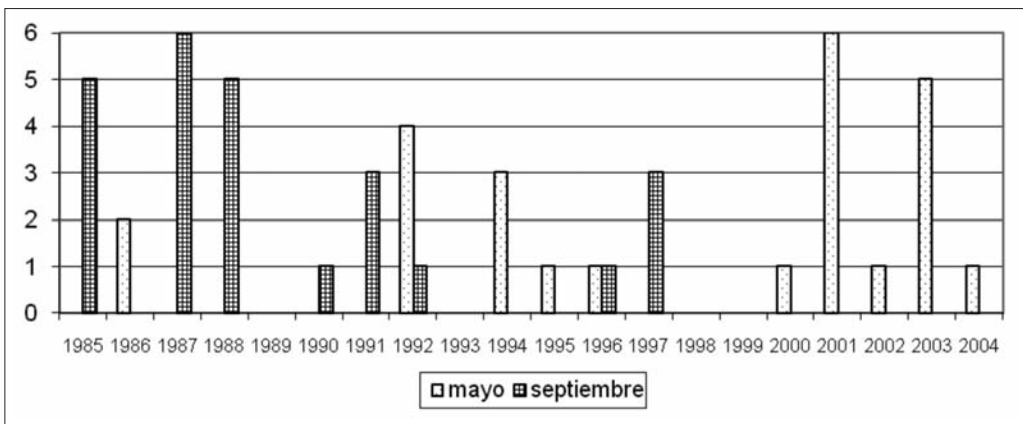


Fig. 9. Evolución interanual del total de días muy cálidos en mayo y septiembre.

Consideraciones finales

El estudio bioclimático del área de Madrid, que acabamos de realizar, trata de cubrir una laguna importante en el conocimiento del clima de nuestra zona, sigue una de las líneas de investigación de gran actualidad, como es la bioclimatología, y los resultados obtenidos son comparables a los de otras zonas de nuestro entorno, al utilizar una metodología similar.

El clima del área metropolitana madrileña se presenta en términos del estrés térmico al que se ven sometidos los habitantes de la zona: la temperatura fisiológica es la nueva variable que integra todas aquellas que contribuyen al confort térmico y el año bioclimático medio, que hemos definido, nos da una visión de las condiciones de confort o malestar que se suceden a lo largo del año.

A diferencia de otros índices, la escala de sensaciones se establece teniendo en cuenta el factor de adaptación a las condiciones climáticas del entorno, de tal manera que los umbrales varían a lo largo del año.

Las aplicaciones potenciales de este índice son muy variadas y entre ellas, destacamos: la caracterización de situaciones extremas, como olas de calor, que pueden provocar riesgos para la salud de las personas, tomando como referencia los valores diarios de la temperatura fisiológica; también, la estimación de los consumos energéticos, en calefacción o refrigeración, necesarios para mantener unas condiciones de confort aceptables y la definición del potencial climático-turístico de la zona.

Uno de los aspectos más interesantes del índice utilizado es la incorporación de la temperatura emitida por la superficie, lo que permite evaluar la incidencia de los diferentes usos del suelo y, por tanto, lo convierte en un excelente indicador de las transformaciones del clima regional derivadas de la urbanización.

Agradecimientos

Este trabajo se ha realizado en el marco del proyecto de investigación CGL2009-10057(subprograma CLI), financiado por el Ministerio de Ciencia e Innovación.

Bibliografía

ALBERDI, J.C. *et al.* (1998): «Daily mortality in Madrid community 1986-1992: relationship with meteorological variables». *Eur J. Epidemiol*, 14, pp. 571-578.

ÁLVAREZ, S. *et al.* (1992): *Control climático en espacios abiertos*, Madrid, U. de Sevilla, Junta de Andalucía - CIEMAT, 195 pp.

ANDRADE, H. y ALCOFORADO, M. J. (2008): «Microclimatic variation of thermal comfort in a district of Lisbon (Telheiras) at night». *Theoretical and Applied Climatology*, 92 (3-4), pp. 225-237.

ANDRADE, H. y LOPES, A. (1998): A utilização de um SIG para estimação das temperaturas em Lisboa, *Clima y ambiente urbano en ciudades Ibéricas e Ibero-Americanas* (Fernández García, Galán y Cañada, coord.), Parteluz, Madrid, pp. 85-91.

APHEIS (2002): *Health impact assesment of air pollution in 26 european cities. Air pollution and health: a european information system. Second year report 2000-2001*. Institut de Veille Sanitaire. Saint Maurice Cedex. 225 pp.

ARROYO ILERA, F. y FERNANDEZ GARCIA, F. (1991): *El confort térmico en Madrid*. Ediciones de la Universidad Autónoma. 112 pp.

BLAZEJCZYK, K. (1994): «New climatological and physiological model of the human heat balance outdoor (MENEX) and its applications in bioclimatological studies in different scales». En Blazejczyk y Krawczyk (ed.) *Bioclimatic research of the human heat balance*. Zeszyty IGIPZ PAN, 28, 2.

BLUESTEIN, M. y ZECHER, J. (1999): «A New Approach to an Accurate Wind Chill Factor». *Bulletin of Americ. Meteor. Soc.* n° 80, pp. 1893-1899.

BRAGER, G. y DE DEAR, R. (1998): «Thermal adaptation in the built environment: a literature review». *Energy and Buildings* n° 27, pp. 83-96.

BRUSE, M. (1999): *Simulating microscale climate interactions in complex terrain with a high-resolution numerical model: A case study for the Sydney CBD Area Model Description*. Bochum, Cologne, Department of Geography, University of Bochum, University of Cologne.

COPPE, C. et al. (2004): *Health and Global Environmental Change. Heat-waves: risks and responses*. World Health Organization, 80 pp.

DIAZ, J. et al. (2002): «Effects of extremely hot days on people older than 65 years in Seville (Spain) from 1986–1997». *International Journal of Biometeorology* n° 46, pp. 145-49.

EEA (2005): «Environment and health». En Aalst, R. (coord.) *European Environment Agency. Topic report 10/2005*, 40 pp.

FERNANDEZ GARCIA, F. (2001): «Clima y calidad ambiental en las ciudades: propuesta metodológica y aplicación al área de Madrid». En Raso, J. M y M. Vide, J. (eds.) *Proyectos y métodos actuales en Climatología*. Barcelona, Publicación de la Asociación Española de Climatología (AEC), Serie B, n° 1, pp. 41-66.

(2001): «Clima urbano y confort térmico en Madrid, España». *III Congresso Brasileiro de Biometeorologia*. Maringá, Brasil.

(2001-2002): «El clima urbano de Madrid y su influencia sobre el confort térmico». *Boletín de la Real Sociedad Geográfica*, CXXXVII-CXXXVIII, pp. 169-185.

(2003): «Fundamentos físicos y métodos de evaluación del confort climático

en los estudios de bioclimatología humana». En Martí Ezpeleta (ed.) *Publicaciones del Grupo de Climatología de la AGE*, Santiago de Compostela, ED. Universidad, pp. 135-170.

FERNANDEZ GARCIA, F. y MORENO JIMENEZ, A. (2004): «Confort climático y nivel de renta en la Comunidad de Madrid: un estudio exploratorio de su relación espacial». En *Historia, Clima y Paisaje. Estudios geográficos en memoria del profesor Antonio López Gómez*, Valencia, Ed. Universitat de Valencia, Universidad Autónoma de Madrid y Universitat de Alicante. pp. 305-321.

FERNANDEZ GARCIA, F. y RASILLA ÁLVAREZ, D. (2008): «Olas de calor e influencia urbana en Madrid y su área metropolitana». *Estudios Geográficos*, Volumen LXIX, n° 265, pp. 495-518.

FIALA, D., LOMAS, K. J. y STOHRER, M. (2001): «Computer prediction of human thermoregulatory and temperature responses to a wide range of environmental conditions». *International Journal of Biometeorology* n° 45, pp. 14-159.

FRIEDRICH, M., GRATZ, A. y JENDRITZKY, G. (2001): «Further development of the urban bioclimate model UBIKLIM, taking local wind systems into account». *Meteorol Z* n° 10, pp. 267-272.

GARCÍA, J.C y ALBERDI, J.C. (2004): «Impacto de la ola de calor del año 2003 en la mortalidad en el municipio de Madrid. Un análisis espacio temporal». *Geosanidad* n° 10.

GULYAS, A., UNGER, J. y MATZARAKIS, A. (2003): «Analysis of the thermophysiological significant conditions within a medium-sized city with continental climate (Szeged, Hungary)». *First International Conference on Urban climate*, Lodz, Poland.

HAUSER, PH. (1979): *Madrid bajo el punto de vista médico social*. Edición preparada por Carmen del Moral. Madrid, Editora Nacional, 2 vols.

- HOPPE, P. (1999): «The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment». *International Journal of Biometeorology* nº 43, pp. 71-75.
- (2002): «Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort», *Energy Building* nº 34, pp. 661-665.
- JENDRITZKY, G., MAAROUF, A. y STAIGER, H. (2001): «Looking for a Universal Thermal Climate Index UTCI for Outdoor Applications». *Windsor-Conference on Thermal Standards*, April 5-8, 2001, Windsor, UK. www.dwd.de/UTCI.
- JENDRITZKY, G. et al. (2002): «An Update on the Development of a Universal Thermal Climate Index». *15th Conf. Biomet. Aerobiol. and 16th ICB02*, 27 Oct – 1 Nov 2002, Kansas City, AMS, pp. 129-133
- MAAROUF, A. y BITZOS, M. (2000): *Windchill Indices. A Review of Science*. Meteorological Service of Canada.
- MATZARAKIS, A., RUTZ, F. y MAYER, H. (2002): «Validation of modelled radiant temperature within urban structures». *Fourth Symposium on the urban environment*, 20-24 May, Norfolk, Virginia, 7.3, pp. 72-73.
- MATZARAKIS, A. y RUTZ, F. (2005): *Visual manual RaymanPro*. Universidad de Freiburg, 58 pp.
- MAYER, H., MATZARAKIS, A. y IZIOMON, M. G. (2003): «Spatio-temporal variability of moisture conditions within the Urban Canopy Layer», *Theoretical and Applied Climatology* nº 76, pp. 165–79.
- PICKUP J. y DE DEAR R. J. (1999): «An Outdoor Thermal Comfort Index (Out-Set*), the Model and its Assumptions». En de Dear, R.J. y Potter J.C. (ed.): *Proceedings of the 15th International Congress of Biometeorology & International Conference on Urban Climatology*. Wesley Conference Centre, Sydney 08. - 12. Nov. 1999. Published by Macquarie University, Sydney, Australia, Nov. 1999.
- RASILLA ÁLVAREZ, D. y FERNANDEZ GARCIA, F. (2005): «Trends on extreme temperature days over the Iberian peninsula». *17th International Congress of Biometeorology. ICB 2005*. September 05-09, 2005. Gamisch-Partenkirchen (Germany).
- RASO, J.M. (2007): *El clima y la salud*. Barcelona, Davinci, col. Geoambiente XXI (Martín Vide, dir.). 233 pp.
- SOUCH, C. y GRIMMOND, C.S.B. (2006): «Applied climatology: urban climat». *Progress in Physical Geography* nº 30, 2, pp. 270–279.
- UNGER, J. (1999): «Comparisons of urban and rural bioclimatological conditions in the case of a Central European city». *Int. J. Biometeorology*, nº 43, pp. 139-144.
- WHO (2004): *Environmental health indicators for Europe. A pilot indicator based report*. World Health Organisation for European Region. 58 pp.

***Subministrament urbà
d'aigua i pluviometria
(1976-2007) a Palma,
Mallorca***

Antoni Ginard Bujosa

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears

Miquel Grimalt Gelabert

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears
Grup d'investigació de
Climatologia, Hidrografia, Riscs
Naturals i Territori

SUBMINISTRAMENT URBÀ D'AIGUA I PLUVIOMETRIA (1976-2007) A PALMA, MALLORCA

Antoni Ginard Bujosa
Miquel Grimalt Gelabert

RESUM: Palma, el principal nucli de població de l'illa de Mallorca, s'ha dotat durant les darreres dècades del segle XX d'un complex sistema de subministrament d'aigua, en el qual perviuen les surgències hídriques que històricament havien aportat recursos, que conviuen amb l'explotació d'altres tipus de fonts: es combina l'aprofitament de recursos superficials (pantans) amb les extraccions mitjançant pous als aqüífers subterranis de diverses unitats hidrogeològiques. A partir de 1995 també s'ha recorregut a la potabilització d'aigües subterranies salinitzades i a la dessalació d'aigua de mar.

S'analitza l'evolució del subministrament d'aigua per a usos urbans entre 1976 i 2007, molt marcada pel creixement demogràfic de la ciutat i l'increment de la presència de població no resident. L'objectiu central del treball és avaluar la relació entre la precipitació anual i estacional i el pes relatiu dels recursos hídrics superficials per a ús urbà. Els resultats mostren una relació relativament directa, en la qual influeixen factors diversos, des de l'estructura dels episodis de pluja fins a la política d'aprofitament dels recursos.

PARAULES CLAU: subministrament hídric, règim pluviomètric, Mallorca, Palma.

ABSTRACT: Palma, Mallorca's largest urban area, developed a complex water supply system during the last part of the twentieth century. In this system, different historical resources are combined with the use of other sources such as reservoirs and groundwater extractions from several aquifers. Salinated groundwater has been treated for drinking and the desalination of sea water has also been resorted to since 1995.

The evolution of the water supply for urban uses between 1976 and 2007, marked by population growth in the city and an increased presence of the non-resident population, was analyzed. The main objective of the study was to assess the relationship between annual and seasonal precipitation and the relative weight of surface water resources for urban use. The results show a relatively direct relationship that is influenced by various factors that range from the structure of rain to the political exploitation of resources.

KEYWORDS: water supply, rainfall regime, Mallorca, Palma.

1. Introducció

En l'estructura territorial de l'illa de Mallorca destaca el pes específic de la capital insular, Palma, que durant la segona meitat del segle XX ha concentrat més del 50 per cent de la població de l'illa i ha aglutinat una gran part dels serveis i grans infraestructures, la qual cosa ha derivat en una demanda creixent de recursos hídrics. La necessitat de nous cabals per a la ciutat s'ha traduït en la captació dels recursos en zones geogràfiques cada vegada més allunyades de l'àrea de consum, en un procés que afecta la totalitat de l'illa.

L'illa de Mallorca, on no hi ha corrents d'aigua superficial permanents, disposa d'uns recursos hídrics força limitats, que depenen directament de la pluviometria i que estan condicionats pel fet insular (la superfície total de l'illa és de 3.640 km²). A més de la captació de les surgències naturals, el subministrament d'aigua s'ha dut a terme mitjançant l'explotació dels recursos aquífers subterranis –en alguns casos excessiva–, que ha provocat la consegüent salinització per intrusió salina a les àrees litorals.

El subministrament d'aigua a l'àrea urbana de Palma exemplifica les característiques del territori, on es constata un canvi en la procedència i els usos de l'aigua. En un temps passat tenien una gran importància les aigües superficials (bàsicament fonts i surgències), les quals foren complementades i desplaçades per l'extracció de recursos subterranis. En l'actualitat, l'aigua prové de múltiples orígens, sobretot a causa de la introducció dels processos de dessalació d'aigua de mar i de potabilització de recursos salobres, que s'iniciava arran dels episodis de sequera de 1994 a 1995 i de 1999 a 2001.

A més de les limitacions dels recursos hídrics implícites a la condició insular (escassa superfície, inexistència de conques

hidrogràfiques extenses), cal considerar igualment les limitacions pluviomètriques, no tan sols en relació amb la quantitat anual mitjana de precipitació, sinó essencialment amb la seva extrema irregularitat.

L'anàlisi de la relació entre la pluviometria i les aportacions d'aigües superficials al subministrament urbà de Palma té el precedent (vegeu Ginard, A., Grimalt, M., Laita, M., 2001) que els signants duguerem a terme conjuntament amb la doctora Mercedes Laita Ruiz de Asúa. La seva memòria i el seu exemple ens han encoratjat a continuar el treball.

2. La diversitat de fonts hídriques en el subministrament urbà d'aigua a Palma

Els recursos hídrics superficials destinats al consum urbà de Palma (Fig. 1) es concreten en la captació de l'aigua de la *font de la Vila* (deu càrstica que històricament havia alimentat la capital insular), els pantans de *Cúber* i del *Gorg Blau* a la serra de Tramuntana i, en menor mesura, la *font de Mestre Pere* i la *font de na Bastera*, igualment surgències càrstiques.

La *font de la Vila*, que fou intensament aprofitada des de l'època medieval, constituïa la base sobre la qual s'organitzava el sistema canalitzat d'abastament urbà d'aigua a pressió, inaugurat l'any 1934, del qual fou gairebé l'única font de recursos fins a la dècada de 1950. El cabal de la font es regulava mitjançant uns dipòsits reguladors (*Son Tugores*), des d'on partien les canonades de conducció cap a la ciutat. L'aleshores nou sistema substituï una antiga síquia d'origen islàmic (amb presumibles precedents romans), subdividida en síquies menors i dissenyada per a aprofitaments múltiples, tant d'abastament urbà com de regadiu i de força motriu per mitjà de molins hidràulics.

Des de mitjan segle XX, les creixents necessitats hídriques de Palma s'anaren cobrint bàsicament a través d'una recerca constant de nous recursos subterranis, un procés que tenia com a fites fonamentals l'explotació inicial de les unitats aquíferes litorals dels voltants de la ciutat, amb els pous del *Pont d'Inca* i *es Rafal* i de *na Burguesa*. Tots aquests punts d'extracció se salinitzaren de manera ràpida i consecutiva. La salinització dels pous del *Pont d'Inca*, a partir de 1968, donava lloc a un pla d'ampliació per a l'abastament urbà. Posteriorment, començava l'explotació d'un conjunt d'unitats hidrogeològiques situades al vessant de la serra de Tramuntana, eventualment sense el perill de possibles salinitzacions per llandars poc permeables. Així, l'any 1973 s'iniciaven les extraccions d'aigua de la unitat aquífera de *s'Estremera*¹ i, més endavant, les d'Alaró i de Binissalem. L'any 1994 es posava en marxa l'explotació de l'aquífer de Llubí-Muro, a la zona de *sa Marineta*, situada al pla central de Mallorca, prop de la costa nord-oriental.² En definitiva, es tracta d'un procés caracteritzat per la captació de recursos des de pous cada vegada més allunyats de la ciutat. Els recursos d'algunes unitats hidrogeològiques estaven prèviament destinats a l'agricultura.

Paral·lelament a la recerca de nous sondeigs, els primers anys de la dècada de 1970, s'havien construït els pantans del *Gorg Blau* i *Cúber*, en un indret de màxima pluviometria de la serra de Tramuntana, arran d'un ambiciós projecte –derivat de la salinització dels pous del *Pont d'Inca*– per a l'aprofitament de recursos superficials. La possible construcció de pantans plantejava altres possibilitats, però tan sols se n'execu-

taren dos. El reduït nombre de pantans s'explica en bona part per les dificultats d'emmagatzemar aigua sobre un subsòl calcari intensament carstificat com el que predomina a les àrees que, per topografia i xarxa hidrogràfica, serien eventualment apropiades per a pantans.

El 1995 començava una nova etapa, que acabava amb l'autoabastament hídric de l'illa, a causa de la incorporació de la tecnologia de la dessalació i la potabilització d'aigües marines o aigües subterrànies salobres. Aquesta transformació tenia un complement momentani, gairebé anecdòtic, d'un episodi d'importació d'aigua de la conca de l'Ebre mitjançant vaixells cisterna (concretament entre 1995 i 1997).

Les realitzacions recents més significatives són, en primer lloc, la planta potabilitzadora de Son Tugores (1995), que redueix la salinitat de cabals extrets d'unitats subterrànies afectades per intrusió marina i considerades irrecuperables (*Pont d'Inca* i *na Burguesa*); en segon lloc, la posada en marxa, el 1999, de la dessaladora de la Badia de Palma, que processa aigües d'origen marí. Durant el moment àlgid de la sequera de 2000 a 2001 es dirigiren cap a la capital part dels cabals produïts per altres dessaladores menors que s'havien instal·lat com a actuació d'emergència en àrees turístiques litorals.

3. El pes específic de cada tipus de font en l'abastament hídric

Quan s'analitzen les dades estadístiques sobre l'aigua subministrada per a l'abastament urbà de Palma, es constata que entre

¹ Malgrat que la intrusió salina no afecta *s'Estremera*, l'aquífer ha estat objecte de sobreexplotació en algunes èpoques.

² Les extraccions de l'aquífer Llubí-Muro requereixen un control permanent per evitar la possible intrusió salina.

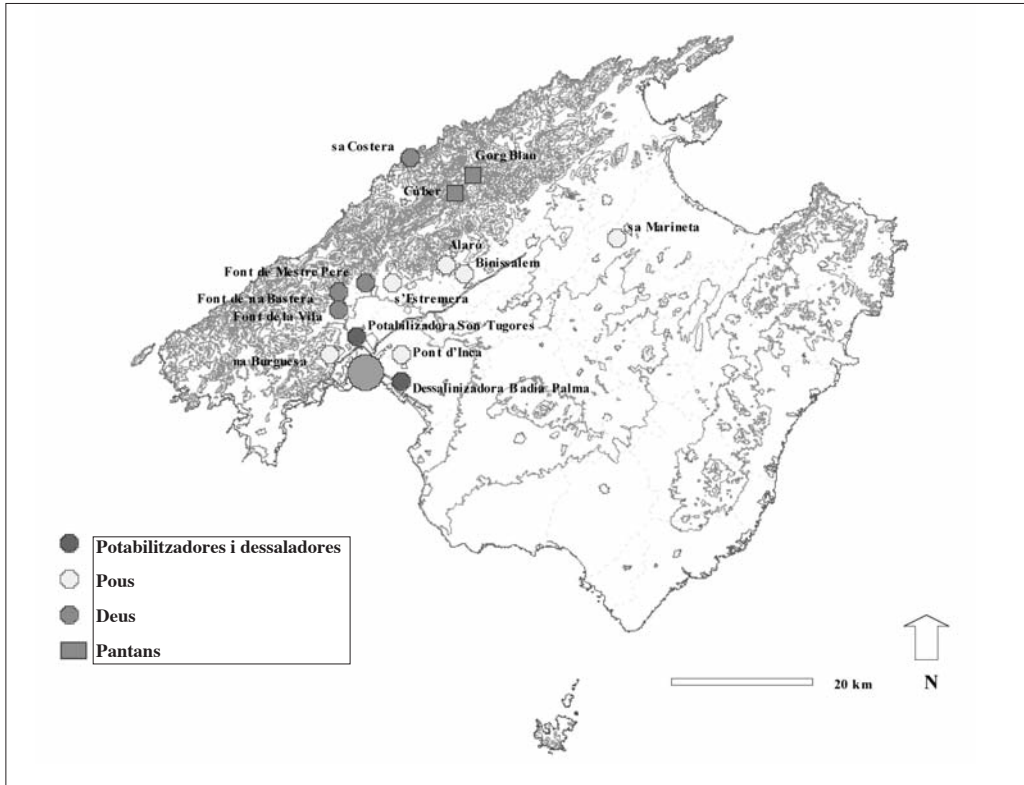


Fig. 1. Principals fonts de subministrament d'aigua per a l'abastament urbà de Palma.

1976 i 2007 s'ha mantingut un nivell de consum d'aigua entorn dels 40 hm³ anuals, sense que destaquï una relació directa entre el volum d'aigua i el notable increment que ha experimentat la població durant el mateix període, que passava de 234.098 habitants el 1970 a 396.570 en acabar l'any 2007. L'origen d'aquesta aparent anomalia potser s'ha de cercar en el deficient estat de les infraestructures durant els primers anys del període estudiat, amb un elevat volum de pèrdues d'aigua, que s'anaren corregint fins a mitjan dècada de 1980.

El Quadre I presenta de manera unificada l'evolució del pes específic de cada un dels grans grups de recursos hídrics destinats a l'abastament urbà de Palma.

En línies generals la distribució de l'aigua per grans tipus de recurs ofereix els aspectes següents:

— Un notable pes específic, encara que molt irregular en el temps, dels recursos superficials, entenen com a tals les surgències i els pantans. La seva participació en l'abastament se situa entorn del 30 per cent durant els escassos períodes en què s'ha produït una regularitat pluviomètrica (dècada de 1970, els anys que van entre 1995 i 1998 i els primers anys del segle XXI). Tot alternant amb els períodes esmentats, s'intercalen crisis pluviomètriques, que coincideixen amb les tres sequeres del lapse temporal estudiat i que s'han de situar entre 1981-84, 1988-89 i

1999-2001. En aquelles dates, l'aportació dels recursos superficials es minimitza fins a suposar menys del 10 per cent de l'aigua subministrada.

— Un important flux dels recursos generats amb la tecnologia del processament d'aigua salada, que s'inicia el 1995 i que assoleix el seu punt àlgid cap al 2000-2001, quan funcionaven a ple rendiment la planta potabilitzadora i la dessaladora, i a més es conduïa cap a Palma aigua processada a les dessaladores modulars, de menor capacitat.

— Un predomini absolut de l'explotació dels recursos subterranis, que arribaven a suposar la pràctica totalitat del subministrament urbà (més del 90 per cent) en moments de gran dèficit pluviomètric, com els anys 1999-2000.

— A partir de 2002 s'assoleix un model d'equilibri en l'origen de les aportacions d'aigua de diverses procedències per a l'abastament urbà de Palma. Aquest equilibri ha fet possible la recuperació dels nivells en determinades unitats aquífères. Fins i tot, durant l'any agrícola 2008-2009 es va produir una paralització temporal de la dessaladora de la Badia de Palma.

4. Les fonts de subministrament superficial i la seva importància

4.1. La font de la Vila

Situada en el mateix terme municipal de Palma, la *font de la Vila* és una deu càrstica que sorgeix aproximadament a 85 m sobre el nivell del mar. És el punt de drenatge d'una unitat hidrogeològica pràcticament confinada, situada al vessant meridional de la serra de Tramuntana. La zona d'infiltració abasta al voltant de 21 km², la major part dels quals se suposa que descarreguen a través de la font, malgrat que són possibles els transvasaments subterranis cap a altres unitats. Es tracta d'una unitat amb una notable transmissivitat, fins a 500 m²/dia

(Fuster, 1973), i el cabal màxim de resposta es manifesta aproximadament una setmana després dels episodis de precipitacions importants.

L'aprofitament de les aportacions de la font és gairebé total, gràcies als dipòsits reguladors construïts a la perifèria de la ciutat l'any 1934, que posteriorment s'han ampliat. Únicament en moments de precipitacions extremadament abundants (per exemple, de tardor-hivern de 2008-2009) s'aboquen excedents cap a la xarxa fluviotorrencial. Per aquest motiu, és possible resseguir el rendiment de les seves aportacions en una sèrie estadística continuada.

Les aportacions de la *font de la Vila* oscil·len àmpliament segons l'any, i en períodes de precipitacions abundants poden superar els 8 hm³, mentre que en anys de sequeres molt pronunciades no arriben a 1 hm³ (Fig. 2).

D'altra banda, a partir de 1996, es duia a terme la captació de les aportacions d'altres dues surgències càrstiques properes a Palma. La primera és la *font de Mestre Pere*, la qual té una resposta més ràpida que la *font de la Vila*, però amb un règim més irregular i uns volums anuals inferiors. La font s'havia aprofitat tradicionalment per al regadiu, i els sobrants s'abocaven al *torrent Gros*, principal artèria fluviotorrencial de la conca de Palma. La segona surgència, anomenada *font de na Bastera*, dins el municipi d'Esporles, és més regular que l'anterior i històricament havia regat una zona hortícola relativament important i mogut diversos molins hidràulics. En ambdós casos, les aportacions són inferiors i menys constants que en el cas de la *font de la Vila* i poden arribar a ser nul·les en moments d'escassetesa pluviomètrica extrema.

4.2. Els pantans

Els pantans de *Cúber* i del *Gorg Blau* se situen a la part central de la serra de

Quadre I. Origen de l'aigua subministrada a Palma per grans grups de recursos.

Any	Subministrament total (m ³)	% d'aigües superficials	% de dessaladores i potabilitzadores	Aigua importada de l'Ebre	% d'aigües subterrànies
1976	42.655.492	25,08	—	—	74,92
1977	42.057.134	21,46	—	—	78,54
1978	43.234.077	33,19	—	—	66,81
1979	47.679.990	35,52	—	—	64,48
1980	44.824.945	34,61	—	—	65,39
1981	45.640.337	35,16	—	—	64,84
1982	44.744.013	9,77	—	—	90,23
1983	42.731.295	15,75	—	—	84,25
1984	38.889.436	19,11	—	—	80,89
1985	36.092.598	30,56	—	—	69,44
1986	37.030.588	41,73	—	—	58,27
1987	40.163.171	53,26	—	—	46,74
1988	42.114.155	25,39	—	—	74,61
1989	43.483.181	9,01	—	—	90,99
1990	43.986.246	18,87	—	—	81,13
1991	41.969.793	43,29	—	—	56,71
1992	41.054.215	18,86	—	—	81,14
1993	39.297.295	15,70	—	—	84,30
1994	38.108.225	25,06	—	—	74,94
1995	39.728.235	21,16	17,05	9,57	52,22
1996	37.377.255	33,25	17,93	17,02	31,80
1997	35.692.317	33,12	24,93	9,04	32,91
1998	39.852.840	29,04	25,22	—	45,74
1999	44.629.015	23,83	34,00	—	42,17
2000	45.687.827	6,63	59,83	—	33,54
2001	41.928.664	22,50	54,14	—	23,35
2002	51.596.499	45,11	28,73	—	26,16
2003	42.728.530	39,61	34,32	—	26,07
2004	43.361.736	35,11	39,53	—	25,36
2005	44.175.381	30,05	45,88	—	24,07
2006	42.912.457	32,09	40,74	—	27,17
2007	40.849.579	39,05	35,32	—	25,63

Font: Elaboració personal a partir de Ginard (1995) i dels informes anuals d'EMAYA.

Tramuntana, tot coincidint amb la zona de major pluviositat de l'illa, on s'acumulen uns totals anuals de precipitació superiors als 1.400 mm. En el primer dels pantans es capta la capçalera del torrent de s'Estorell, mentre que en el segon es captura l'inici d'un altre curs fluviotorrencial, el del torrent del Gorg Blau - torrent de Pareis. Ambdós pantans funcionen com un sistema únic, amb el transvasament d'aigua del Gorg Blau a Cúber. El seu aprofitament s'inicià de manera experimental l'agost de 1974 i efectivament a partir de 1976.

El pantà del Gorg Blau té una conca de 7,93 km², una superfície embassada màxima de 59,90 ha i una capacitat total de 6,93 hm³. El pantà de Cúber té una conca de 7,32 km²,

una superfície embassada màxima de 59,30 ha i una capacitat total de 4,6 hm³. Ambdós estan connectats amb un transvasament que bombeja els cabals des del Gorg Blau (nivell màxim a 610 m s.n.m.) fins a Cúber (nivell màxim a 747 m s.n.m.), i des de Cúber baixen per gravetat fins a Palma.

No hi ha dades fidedignes de l'aigua que han recollit els pantans en cada un dels anys hidrològics, ja que durant episodis de precipitacions molt abundants han vessat àmpliament i durant alguns mesos pel nivell de coronament, de manera que les dades disponibles corresponen als recursos mobilitzats per al consum i, per tant, poden correspondre a cabals emmagatzemats en anys anteriors.

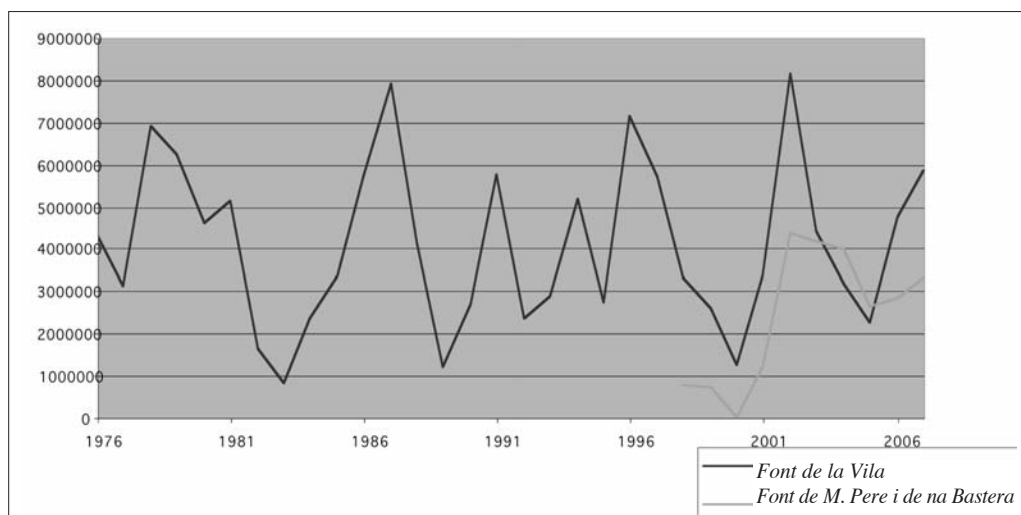


Fig. 2. Aportacions anuals de surgències (m³) per a l'abastiment urbà de Palma.

Els recursos embassats derivats cap a l'abastiment urbà s'expressen a la figura 3 i han oscil·lat àmpliament des dels valors òptims de 1987 (13,5 hm³) fins a nivells mínims de l'any 2000 (1,78 hm³). De fet, el darrer estiu del segle XX els pantans quedaren pràcticament buits.

4.3. Altres realitzacions

Recentment, la captació de recursos superficials s'ha estès a una altra surgència, en explotació experimental des de gener de 2009. Es tracta de la *font de sa Costera* (la denominació toponímica correcta seria la *font des Verger*), una font situada

pràcticament a la línia litoral de l'abrupta costa septentrional i que, a través d'un complex transvasament submarí, dirigeix els seus cabals cap a la vall de Sóller, des d'on s'impulsa fins al pla de Palma, creuant la part central de la serra de Tramuntana, pel túnel de Sóller. Quan funcioni a ple rendiment podria representar una aportació suplementària de l'ordre dels 12 hm³ per any, a pesar que els volums realment captats

poden ser molt variables per la irregularitat del seu règim. D'altra banda, es preveu incrementar els cabals amb la captació dels excedents del sistema de surgències de la vall de Sóller, capturats mitjançant un assut al torrent Major d'aquesta localitat. Així mateix, també es preveu que els volums d'aigua no usats per a l'abastament urbà es destinin a la recàrrega de l'aqüífer subterrani de *s'Estremera*.

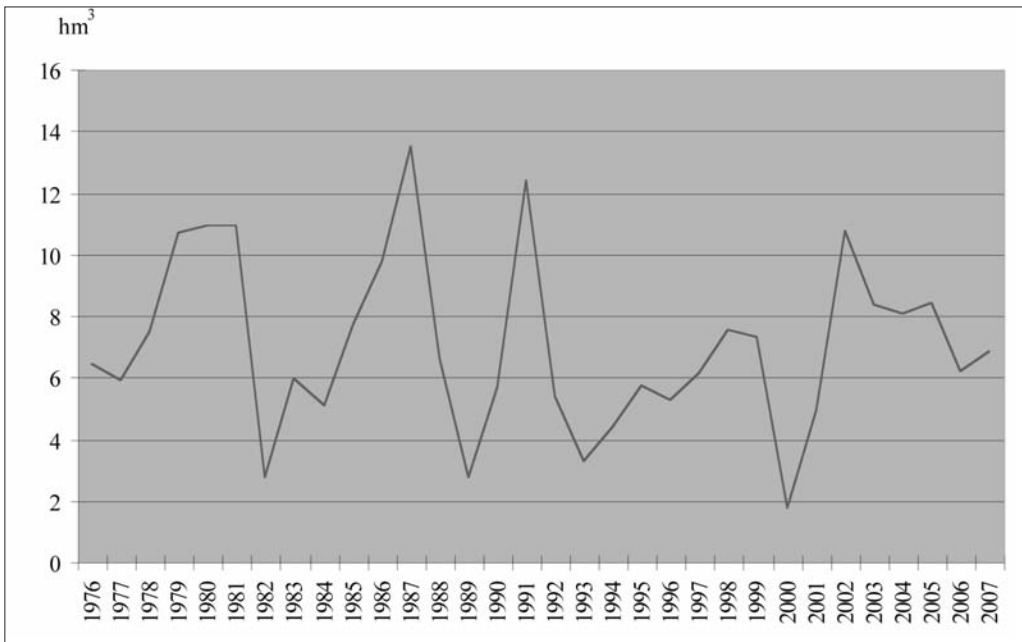


Fig. 3. Extraccions d'aigua als pantans de Mallorca (1976-2007).

5. Pluviometria i aportacions d'aigües superficials a Palma

La procedència dels recursos hídrics per al consum urbà està condicionada en bona part pel règim pluviomètric. Els recursos superficials són els més sensibles a les fluctuacions de la precipitació, i el seu aprofitament mostra, en línies generals, puntes relacionades amb els períodes més

humits. La suma de les aportacions de les diverses surgències i dels pantans exemplifica aquesta adequació al repartiment de les pluges.

Lògicament, les característiques de les fonts i les dels pantans difereixen, ja que les primeres obliguen a un aprofitament més o menys immediat dels recursos, mentre que els pantans permeten emmagatzemar aigua que pot aprofitar-se en anys hidrològics posteriors.

Per establir la relació entre les aportacions superficials d'aigua i la pluviometria s'han pres com a base les dades dels observatoris meteorològics situats a les àrees d'alimentació de les surgències, així com dels pantans, per als mateixos períodes de referència.

La *font de la Vila*, la *font de Mestre Pere* i la *font de na Bastera* poden relacionar-se amb la sèrie pluviomètrica d'Esporles (nucli de població situat a la zona de recàrrega de les dues primeres surgències); mentre que per a la darrera pot servir l'observatori de Son Pacs. Ambdues estacions meteorològiques disposen de sèries temporals llargues, perquè el seu funcionament es remunta a la dècada de 1930 i, amb poques interrupcions, s'han mantingut actives fins a l'actualitat.

L'estació d'Esporles presenta una sèrie completa a nivell mensual durant tot el període objecte d'anàlisi, mentre que la de Son Pacs ofereix petites llacunes d'informació que poden cobrir-se fent ús de les dades de les estacions confrontants d'Esporles i de Raixa.

No hi ha estacions pluviomètriques oficials amb dades de tot el període de referència dins els límits de la conca dels

pantans del *Gorg Blau* i de *Cúber*. Durant algunes dècades funcionava la de Son Torrella, situada a l'òptim pluviomètric insular i a la conca de Cúber, però la seva sèrie s'interrompia l'any 1988. De manera complementària s'ha acudit a la sèrie del monestir de Lluç, situat dins la mateixa conca hidrogràfica que el pantà del Gorg Blau, tot i que sobre un altre ramal afluent, però amb una sèrie que manté una bona correlació amb les situades a la zona d'alimentació dels pantans.

El període estudiat s'ha caracteritzat per una gran irregularitat pluviomètrica, amb l'alternança d'episodis de sequera i anys hidrològics excedentaris. Una anàlisi simple de la sèrie de precipitacions anuals, en aquest cas de Lluç, reflecteix aquest aspecte (Fig. 4): amb una precipitació mitjana anual de 1.235,22 mm, les quantitats anuals han oscil·lat des del mínim de 1983, amb 666,9 mm, fins al valor màxim de 1996, amb 2.007,9 mm. Destaquen fins a quatre sèries seques principals, que abasten respectivament els anys 1981-1984, 1988-1989, 1992-1995 i 1997-2000. En contrast, els períodes plujosos més o menys perllongats se situen en els extrems de la sèrie.

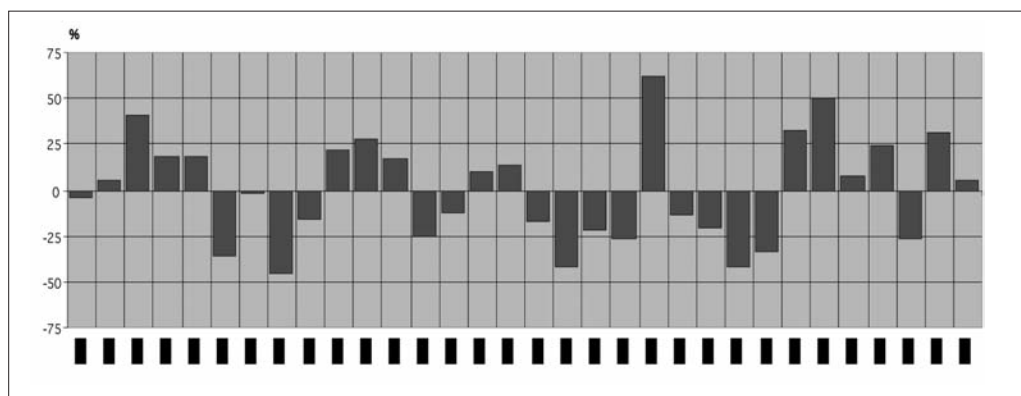


Fig. 4. Coeficient de variació (%) de la precipitació anual en relació amb la mitjana aritmètica entre 1976 i 2007.

En conjunt, l'evolució de les precipitacions totals anuals no mostra en els observatoris utilitzats cap tendència estadística significativa entre 1976 i 2007. La recta de tendència té un imperceptible coeficient de regressió positiu de 0,001 per a Lluç. En el cas d'Esporles, el valor és fins i tot inferior, amb 0,0006, i en aquest cas de signe negatiu. Les fluctuacions en la precipitació també són notables a l'observatori d'Esporles, en el qual la mitjana de la precipitació anual (654,18 mm) es troba bastant allunyada dels valors extrems de la sèrie (342,9 mm l'any 2000 i 1.023,9 mm l'any 1996).

Per assolir un major detall sobre el dèficit pluviomètric és possible optar per

treballar les dades a nivell mensual, fent ús d'índexs mòbils que expressin l'estat de les disponibilitats hídriques per a cada un dels mesos. En aquest cas, s'estableix un índex de sequera que, per a un mes determinat, és el resultat de sumar a la seva precipitació la que s'ha comptabilitzat en els onze mesos anteriors, i el resultat d'aquesta suma s'ha de dividir per la precipitació mitjana anual. S'ha calculat aquest índex per a l'observatori de Lluç.

La figura 5 permet apreciar que el moment hidrològicament més crític es produí cap a l'estiu de 2000, durant el qual el sistema de pantans quedà amb les reserves totalment esgotades.

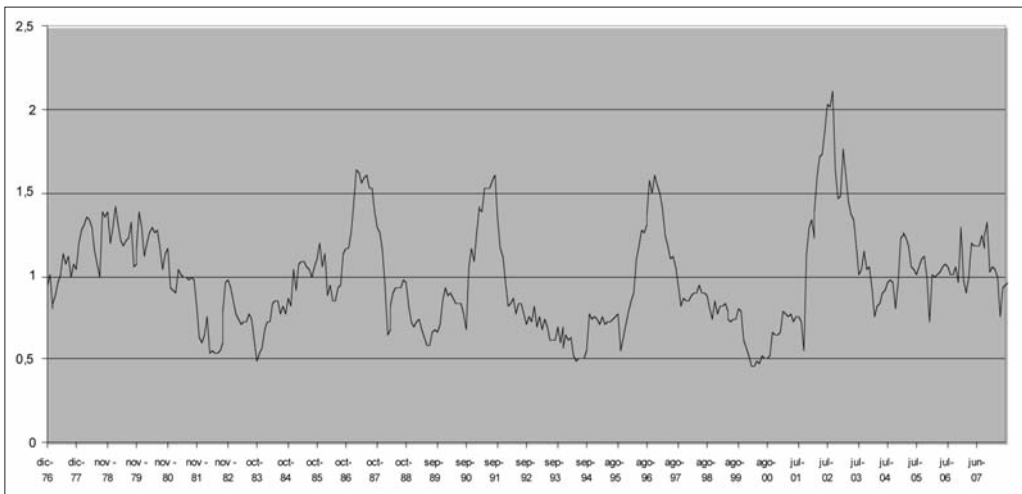


Fig. 5. Índex de sequera a l'estació de Lluç, durant el període 1976-2007.

Quan es relacionen la precipitació i les aportacions hídriques de diversos orígens (Fig. 6) és possible apreciar que la connexió entre una i altres no és del tot immediata.

L'anàlisi de la sèrie de precipitació d'Esporles i les aportacions de les surgències presenta un paral·lisme quasi total entre ambdues corbes, únicament

interromput a partir de 2001, a causa de l'explotació dels recursos d'altres surgències, a més de la font de la Vila. Estadísticament, la dependència és total, ja que s'obtenen uns valors de correlació de Pearson realment significatius: 0,76 si es considera la sèrie amb totes les deus; si únicament es tenen en compte les

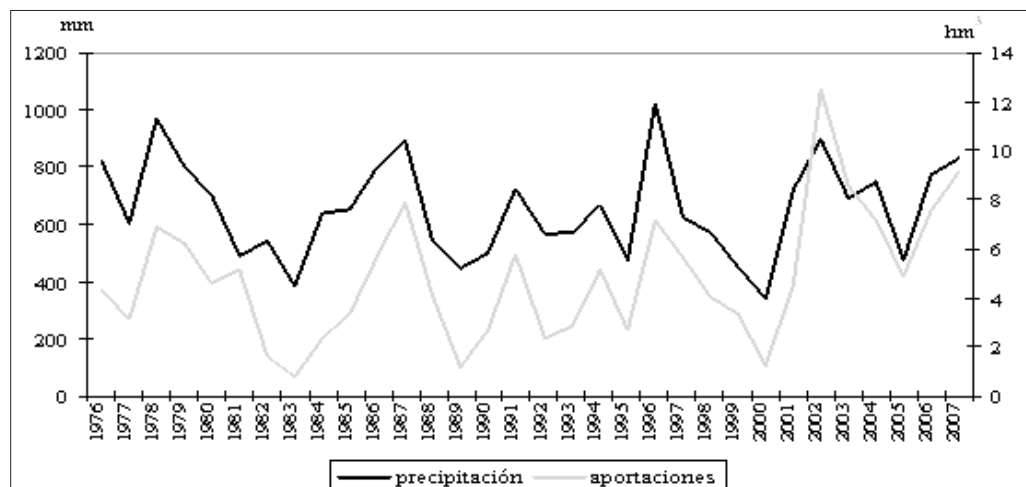


Fig. 6. Relació entre la precipitació i les aportacions de les surgències a Palma durant el període 1976-2007.

aportacions de la font de la Vila $\frac{3}{4}$ un aspecte, aquest, totalment necessari per obtenir una sèrie homogènia $\frac{3}{4}$, els valors de

correlació s'eleven fins a 0,84, tot reflectint, òbviament, una relació directa i inequívoca.

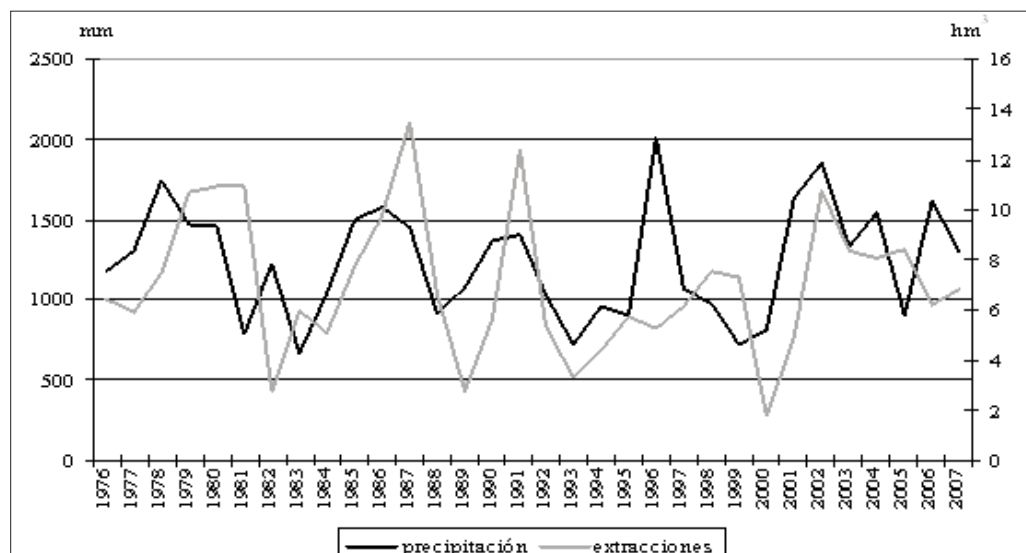


Fig. 7. Relació entre la precipitació i les extraccions als pantans de Mallorca durant el període 1976-2007.

Quan es tracten paral·lelament les sèries de precipitació de Lluc i les aportacions dels pantans (Fig. 7), no es deriva de la lectura una relació directa, sinó que s'hi aprecien diferències sensibles. En aquest cas, el valor de la correlació entre ambdues sèries resulta baix (0,34) i, per tant, insuficient per explicar una relació causa-efecte. Això no obstant, si es correlacionen les aportacions dels pantans amb la pluviometria de l'any anterior, s'obtenen resultats estadísticament significatius, amb un coeficient de correlació de Pearson més satisfactori (0,66). Així i tot, s'aprecia a la gràfica de l'explotació dels pantans que hi hagué una dissociació entre la precipitació de l'any 1996 (extremadament abundant) i les poques extraccions en aquell mateix any i, fins i tot, en el següent, la qual cosa es traduí en llargs períodes en què la presa vessava. Segurament, l'explicació d'aquesta anomalia es troba en l'operació de transvasament d'aigua de l'Ebre (importada des de Tarragona), planificada durant un període de sequera moderada (1994), però que aportà cabals a l'illa precisament durant un període de precipitacions intenses; la necessitat d'incorporar els recursos exteriors a la xarxa repercutia en un infraaprofitament dels recursos superficials.

6. Conclusions

Durant el període de 1995 a 2002 s'ha experimentat un canvi radical en l'aprofitament dels recursos hídrics per a l'abastament urbà de la ciutat de Palma. S'ha abandonat un model basat en l'explotació massiva dels recursos subterranis, amb el complement dels irregulars recursos superficials, per passar a un nou equilibri entre les diverses fonts d'aprovisionament hídric. La introducció de la potabilització i de la dessalació, juntament amb la captació de nous recursos superficials, ha permès

disminuir la dependència d'uns recursos subterranis que, en molts de casos, es trobaven al límit de l'esgotament o de la destrucció per intrusió marina.

De fet, l'autarquia hídrica de la major de les illes Balears s'havia romput simbòlicament amb l'arribada per via marítima de cabals del riu Ebre, en una operació més aparent que efectiva, però que marcava l'inici d'una nova etapa.

Aquest canvi ha estat possible per una conjuntura pluviomètrica favorable, que s'ha perllongat durant aquests primers anys del segle XXI. Aquesta circumstància pot derivar, un cop constatada la directa relació entre precipitació i recursos superficials, a la necessitat d'haver d'intensificar novament l'explotació dels recursos subterranis per fer front a hipotètiques etapes de sequera.

Agraïments

Treball finançat pel projecte RECABA CGL2008-06129-C02-02/CLI, 2009-2011.

Bibliografia

GINARD BUJOSA, A. (1995): *Evolució històrica de l'abastament d'aigua a Palma (1800-1995): un debat permanent*. Palma: EMAYA - Empresa Municipal de Aguas y Alcantarillado, SA (Ajuntament de Palma) (Col·lecció Gorg Blau; 2).

GINARD, A., GRIMALT, M., LAITA, M. (2001): «Pluviometria i aportacions d'aigües superficials al subministrament urbà de Palma (1975-1999)». A: RIERA, A. (coord.) *Actes de les I Jornades Tècniques Balears 2015: La gestió de l'aigua*. Palma: Caixa de Balears, "Sa Nostra", pàg. 169-178.

Informe Anual. Emaya (diversos anys).

Base de dades de la xarxa d'observatoris meteorològics.

***Ciclo diario de la
precipitación en las Islas
Baleares***

José A. Guijarro

Agencia Estatal de Meteorología,
Delegación Territorial en Illes
Balears
jaguijarro@inm.es

CICLO DIARIO DE LA PRECIPITACIÓN EN LAS ISLAS BALEARES

José A. Guijarro

RESUMEN: Se han recopilado los datos de precipitación horaria de 9 estaciones meteorológicas automáticas de las Islas Baleares que abarcan entre 14 y 19 años de observación. Con esta información se ha estudiado cómo varía el ciclo diario de la precipitación a lo largo del año, encontrando una gran regularidad en noviembre y diciembre, que luego da paso a un aumento de las precipitaciones durante la madrugada y, sobre todo en la mitad cálida del año, en las horas centrales del día. En conjunto, el mínimo de precipitación tiene lugar hacia el final de la tarde.

PALABRAS CLAVE: precipitación, distribución horaria, Islas Baleares.

ABSTRACT: Hourly precipitation data spanning 14 to 19 years of observation were compiled from nine automatic weather stations in the Balearic Islands. This information was used to study the annual variations in the daily precipitation distribution. This diurnal cycle displays a great regularity in November and December, then leads to increased rainfall during the late night, especially during the central hours of the day during the warm half of the year. The overall minimum precipitation takes place in late afternoon.

KEYWORDS: precipitation, hourly distribution, Balearic Islands.

1. Introducción

La precipitación suele estudiarse, desde un punto de vista climatológico, como aportación primaria a los recursos hídricos de una región, y más en el caso de las Islas Baleares, en que no cabe el aprovechamiento de aportes de otras zonas a través de redes fluviales. En este contexto, las variaciones temporales más estudiadas son la distribución estacional y la variabilidad interanual.

Sin embargo, cuando se mira la predicción del tiempo, se atiende a la precipitación como elemento perturbador de la mayoría de actividades humanas al aire libre, sean éstas lúdicas, domésticas (tender la ropa), o laborales, incluyendo su incidencia en el tráfico. Y como estas actividades tienen lugar en ciclos diarios bien definidos, la influencia de la precipitación será muy diferente según la hora en que tenga lugar.

Esta breve nota trata de estudiar cómo se reparte la precipitación a lo largo del día, y si presenta variaciones de unos meses a otros y entre distintas zonas del archipiélago Balear. Esto puede servir no sólo para valorar la incidencia de este elemento meteorológico en las actividades humanas a lo largo del año, sino también para reflejar los posibles patrones temporales de las situaciones meteorológicas productoras de precipitación.

2. Métodos

Para abordar el estudio del ciclo diario de la precipitación se ha recurrido a la información de las estaciones meteorológicas automáticas de la red de la Agencia Estatal de Meteorología. Esta red ha visto incrementada su densidad recientemente, pero el estudio se ha restringido a las nueve estaciones con registros más largos, instaladas entre 1989 y 1994 (Cuadro I y Fig. 1). Como quiera que los datos de las

Cuadro I. Estaciones meteorológicas automáticas utilizadas en el estudio, con sus coordenadas, año de inicio, años con datos, y precipitación anual media homogeneizada al periodo 1989-2008 (20 años).

N	Indic.	Nombre	X (km)	Y (km)	Z (m)	Inicio	Años funcionamiento	Precipitación anual (mm, 1989-2008)
1	B013	Lluc	490,2	4.408,3	490	1993	15,4	1.164,6
2	B228	Palma Portopí	467,9	4.378,5	3	1989	19,0	369,7
3	B248	Serra d'Alfàbia	475,5	4.398,6	1030	1994	13,7	637,1
4	B346A	Porreres Poliesportiu	502,0	4.374,5	120	1989	18,8	416,6
5	B434	Far de Portocolom	523,4	4.362,9	17	1993	15,3	434,6
6	B569	Far de Capdepera	541,0	4.396,5	60	1989	17,6	384,0
7	B780	Port de Pollença A. M.	508,6	4.417,9	2	1989	19,1	590,5
8	B893	Menorca Aeroport	604,9	4.413,8	85	1993	15,1	514,0
9	B954	Eivissa Aeroport	358,6	4.304,5	11	1994	15,1	422,3

estaciones meteorológicas automáticas suelen presentar frecuentes lagunas temporales por averías de distinta duración, se incluyen en el cuadro 1 los años efectivos de funcionamiento, calculados a partir del número de horas con datos válidos.

La precipitación de estas estaciones presenta grandes variaciones espacio-temporales, con precipitaciones medias anuales comprendidas entre los 425 mm del faro de Capdepera y 428 mm del aeropuerto

de Ibiza, hasta los 1.255 mm de Lluc, en pleno macizo montañoso de la sierra de Tramuntana de Mallorca. Pero todas ellas presentan el acusado mínimo estival propio del clima mediterráneo, como se puede observar en el Cuadro 2, en el que se dan las precipitaciones medias mensuales y anuales del mismo periodo 1989-2008, pero procedentes de las medidas convencionales realizadas con pluviómetros tipo Hellman en las mismas ubicaciones de las estaciones

automáticas (excepto en la sierra de Alfàbia, dotada únicamente con instrumentación de lectura automática), que deben considerarse más fiables que las de los pluviómetros automáticos. Las medias anuales de estos últimos son siempre inferiores, desde un insignificante 1% en el aeropuerto de Ibiza hasta un 19% en Palma Portopí. Aunque generalmente se atribuye este déficit de medida a pérdidas proporcionales a la intensidad de la precipitación, en un estudio

no se encontró que esta dependencia fuera estadísticamente significativa (Gujarro, 2002), por lo que estas diferencias pueden deberse a defectos de calibración, pero también a la pérdida de precipitación durante cortos periodos de falta de funcionamiento de la estación (inferiores a tres horas, límite máximo de tolerancia para calcular los datos diarios, paso previo a su vez para el cálculo de los totales mensuales).

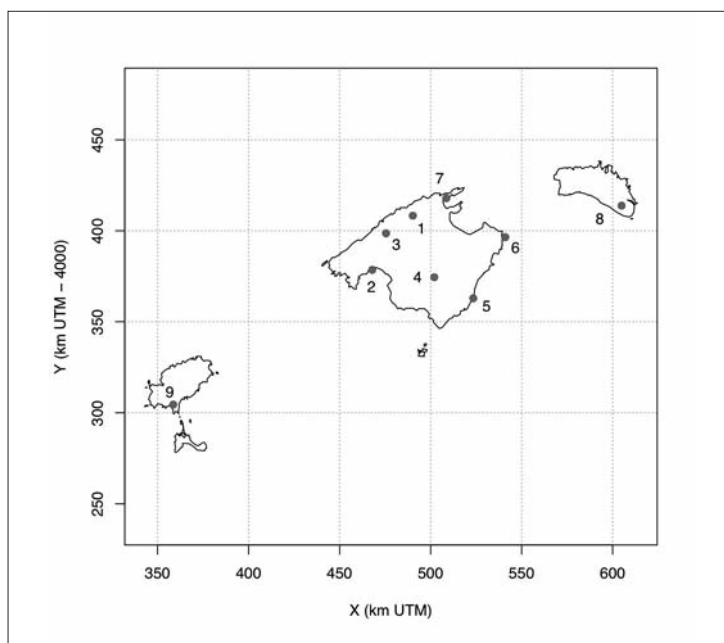


Fig. 1. Ubicación de las estaciones meteorológicas estudiadas.

Como el periodo de estudio contiene datos de entre 14 y 19 años según las estaciones, las frecuencias obtenidas no pueden considerarse suficientemente estables, de modo que este estudio tiene un carácter preliminar, hasta que en el futuro pueda contarse con registros de mayor dura-

ción. Una de las consecuencias de no contar con series suficientemente largas es que las frecuencias obtenidas presentan un aspecto «ruidoso», observándose a simple vista la ocurrencia de valores singularmente elevados (sobre todo en los meses más secos), producto sin duda de algún episodio

Cuadro II. Precipitaciones medias mensuales y anuales durante el periodo 1989-2008 (en mm) en las ubicaciones de las estaciones meteorológicas automáticas. (Medidas con pluviómetro Hellmann, excepto en B248).

Indic.	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
B013	128,0	93,0	70,9	103,2	80,1	26,5	18,7	45,6	104,8	183,9	206,2	194,3	1.255,2
B228	38,8	33,6	24,5	39,2	33,7	12,4	6,4	27,2	50,0	73,7	64,5	50,5	454,5
B248	63,8	50,7	35,4	61,3	54,7	16,8	6,6	28,4	52,2	82,8	95,8	88,6	637,1
B346A	43,7	38,4	26,4	38,9	46,1	12,9	9,7	23,8	55,9	72,5	75,5	63,4	507,2
B434	39,6	35,8	20,2	31,4	32,4	13,0	2,4	14,7	47,8	76,1	82,1	57,6	453,1
B569	27,1	31,9	19,1	32,3	25,7	13,8	3,5	20,3	54,5	64,6	81,4	50,6	424,8
B780	52,8	50,5	36,2	52,5	41,1	15,6	10,7	31,5	69,6	107,6	118,6	98,8	685,5
B893	47,9	44,1	33,3	45,7	34,0	15,9	4,4	21,7	58,0	82,2	97,4	63,8	548,4
B954	42,4	32,2	23,8	29,1	28,1	12,3	5,2	17,2	63,0	58,6	55,7	60,3	427,9

de precipitación inusualmente intenso. Para minimizar este efecto, se ha optado por reducir la resolución del ciclo diario, pasándola de horaria a bihoraria, con lo que además las tablas equilibran la resolución de los ciclos diario y anual, al contar con 12 clases en ambas dimensiones temporales.

Para estudiar la evolución anual del ciclo diario de la precipitación independientemente de la cantidad de la misma, se ha optado por eliminar su estacionalidad, para lo que las frecuencias de precipitación bihoraria se han calculado como porcentajes de la precipitación de cada uno de los meses, al igual que hicieron Oki y Musiaki (1994). Los fallos de funcionamiento por averías pueden considerarse lo suficientemente aleatorios como para no influir en los resultados.

Con las tablas de porcentajes de precipitación de cada estación se han calculado tanto las medias bihorarias anuales de cada estación como una tabla promedio para estudiar el comportamiento general del ciclo de la precipitación en las Islas Baleares. Las horas están expresadas en horario universal coordinado (UTC) y, dada la proximidad de las Islas Baleares al meridiano cero, se aproximan bastante a la hora solar, con un retardo de alrededor de 20 minutos, según la

longitud E de cada estación meteorológica y la época del año.

Las tablas de datos porcentuales se han obtenido con programas propios a partir de los datos obrantes en los archivos de la Agencia Estatal de Meteorología, y para su posterior análisis estadístico se ha usado el paquete R (R Development Core Team, 2008).

3. Resultados y discusión

La Fig. 2 presenta, en forma de diagramas de caja, la distribución de los valores medios anuales de las reparticiones horarias porcentuales calculadas para cada estación. Se observa que, en el conjunto de las nueve estaciones estudiadas, el ciclo diario medio anual presenta un máximo inmediatamente después del mediodía, para decrecer rápidamente hasta alcanzar el mínimo hacia el final de la tarde, en el intervalo de 18 a 20 horas UTC. Después, la precipitación vuelve a aumentar hasta medianoche, se mantiene estacionaria durante las primeras horas de la madrugada, y luego inicia un aumento progresivo hasta el mediodía. Este patrón es bastante concordante con el de actividad tormentosa observado en un estudio de climatología de descargas eléctricas en Baleares (Gujjarro y Heredia, 2005).

Las variaciones estacionales de este ciclo se pueden contemplar en el Cuadro 3, que presenta el porcentaje de precipitación medio de las nueve estaciones estudiadas. (Los datos están redondeados a números enteros para una mejor interpretación visual de la tabla). En enero se observa un máximo de precipitación durante la mañana, que en

meses sucesivos se amplía y abarca también las primeras horas de la tarde, al tiempo que aparecen máximos secundarios durante la madrugada o incluso al final del día (como en septiembre y junio). El año finaliza con una gran regularidad horaria de la precipitación en los dos últimos meses.

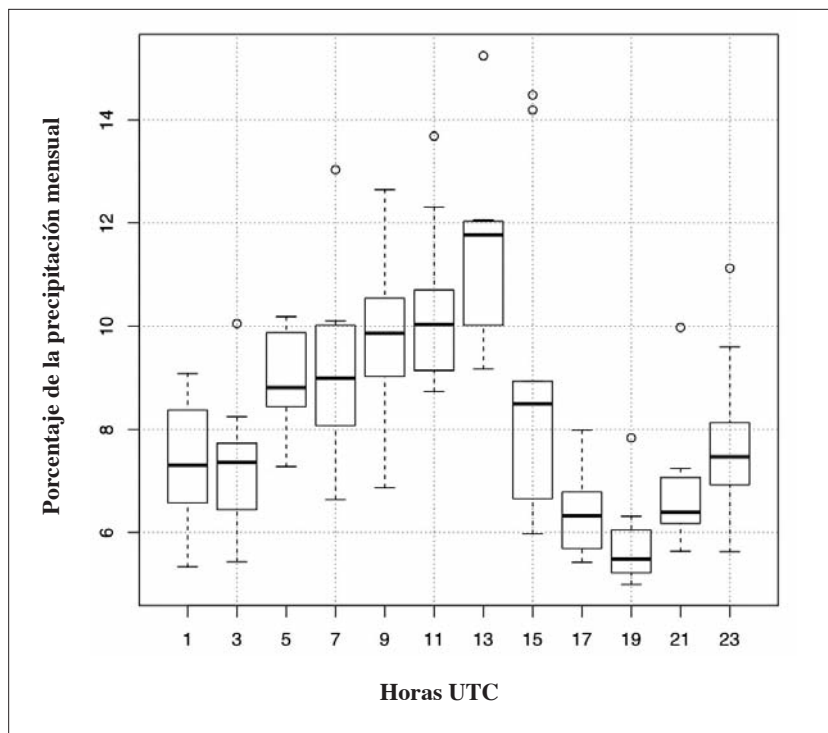


Fig. 2. Ciclo diario medio anual de la precipitación en las nueve estaciones estudiadas.

Los dos principales mecanismos productores de precipitación son el paso de frentes nubosos, que puede considerarse bastante independiente del ciclo diario, y el de procesos convectivos, muy ligados a la marcha del sol y los cambios térmicos asociados. La menor irradiación solar de la época invernal explica así la falta de un ciclo diario claro en los meses de noviembre y

diciembre, aunque en enero, todavía en pleno invierno, la menor temperatura del agua del mar circundante ya permite un contraste suficiente con la tierra calentada por el sol durante la mañana como para empezar a originar fenómenos convectivos.

Pero la incidencia de los procesos de convección es distinta en las zonas marítimas que en las continentales, pues en éstas

Cuadro III. Porcentaje medio de precipitación de las nueve estaciones estudiadas. (Horas UTC).

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	7	8	8	8	7	9	3	5	8	10	8	8
02-04	9	6	7	8	10	6	5	5	10	8	7	8
04-06	8	7	10	9	7	12	10	10	8	9	9	8
06-08	12	9	8	8	10	7	9	12	10	9	9	8
08-10	11	10	10	7	9	12	10	11	7	10	9	9
10-12	11	9	10	7	10	16	16	14	8	8	8	8
12-14	8	11	10	10	12	10	21	15	12	11	9	8
14-16	7	9	9	11	11	5	14	8	10	10	8	7
16-18	6	9	7	7	5	3	8	2	4	8	8	8
18-20	7	8	5	7	6	3	5	3	4	5	8	8
20-22	7	7	7	9	6	8	1	8	5	6	9	10
22-24	7	6	7	9	7	10	1	9	13	7	8	9

da lugar a máximos de precipitación en las horas centrales del día, mientras que en las zonas marítimas la mayor inestabilidad se alcanza durante la noche, al enfriarse radiativamente las capas superiores de la atmósfera mientras que las capas inferiores conservan la temperatura alimentadas por el calor acumulado en el mar (Granger, 2005). Estas diferencias se observan tanto a gran escala, ejemplificada en los distintos ciclos diurnos de precipitación de la parte oriental y occidental de Estados Unidos, como a escalas más pequeñas, como ponen de manifiesto Oki y Musiaki (1994) al señalar las diferencias existentes en Japón entre las estaciones costeras y las del interior. También en Colombia, en pleno cinturón tropical donde son frecuentes intensas precipitaciones cenitales, encontramos ciclos diurnos con lluvias más abundantes tras la puesta de sol en áreas de la vertiente Pacífica (Murillo *et al.*, 2005).

El archipiélago Balear puede considerarse como un territorio de ambiente puramente marítimo, y las tablas de frecuencias bihorarias de la precipitación de cada estación individual (ver anexo) son muy ruidosas y no permiten una agrupación

clara de las estaciones por su mayor o menor similitud. No obstante, sí se puede apreciar una mayor precipitación en Porreres en las horas centrales del día durante la mitad cálida del año, lo que se explica por la ya conocida mayor actividad convectiva que se da en el centro de Mallorca por efecto de la convergencia de las brisas de las bahías de Palma y Alcudia principalmente (Jansà y Jaume, 1946).

4. Conclusiones

El ciclo diario de la precipitación en el archipiélago Balear está sometido a variaciones estacionales, que van desde la regularidad de los meses de noviembre y diciembre hasta un notable contraste entre la precipitación convectiva de las horas centrales del día y un acusado mínimo al caer la tarde en los meses más cálidos del año, sobre todo en el interior de Mallorca.

En el conjunto del año es importante también la aportación de precipitaciones convectivas durante la madrugada, generadas en el mar circundante cuando está relativamente cálido.

Bibliografía

GRANGER, O. E. (2005): «Precipitation distribution». En John E. Oliver (Ed.) *Encyclopedia of World Climatology*, Springer, 854 pp.

GUIJARRO, J. A. (2002): «Influencia de la intensidad de la precipitación en las medidas de los pluviómetros de balancín en las Islas Baleares». *Rev. climatol.* n° 2, pp.15-20.

GUIJARRO, J. A. y HEREDIA, M. A. (2005): «Climatología de descargas eléctricas nube-tierra en las Islas Baleares». *Rev. climatol.* n° 4, pp. 9-19.

JANSÀ, J. M. y JAUME, E. (1946): «El

régimen de brisas en la isla de Mallorca». *Rev. de Geof.* n° 5, pp. 304-328.

MURILLO W., PALOMINO, R.; CÓRDOBA, S., ARAGÓN, G. y BANGUERO, E. (2005): «El régimen diario de la precipitación en el municipio de Quibdó (Colombia)». *Rev. climatol.* n° 5, pp. 1-7.

R Development Core Team (2008): *R: A language and environment for statistical computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.

OKI, T. y MUSIAKE, K. (1994): «Seasonal Change of the Diurnal Cycle of Precipitation over Japan and Malaysia». *J. of Appl. Meteor.* n° 33, pp.1445-1463.

Anexo

Tablas de porcentaje de precipitación (en base mensual) de las nueve estaciones estudiadas
B013 Lluc.

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	8	6	5	9	5	14	1	1	18	15	10	8
02-04	8	5	7	7	17	7	4	8	7	11	6	7
04-06	6	10	9	7	4	20	12	17	8	11	11	6
06-08	10	8	10	10	13	4	2	7	23	9	10	6
08-10	14	12	13	9	9	8	21	10	5	8	9	9
10-12	10	9	9	8	10	12	17	11	11	11	9	8
12-14	7	10	9	7	9	6	20	15	8	11	8	9
14-16	8	8	10	10	7	5	20	5	7	5	9	8
16-18	7	13	6	12	6	1	2	0	2	5	6	8
18-20	5	8	6	8	6	3	2	4	2	4	5	10
20-22	9	5	10	4	6	8	0	12	2	4	10	10
22-24	8	6	6	7	7	11	0	10	8	6	8	11

B248 Serra d'Alfàbia

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	8	10	3	8	5	9	1	1	3	6	8	11
02-04	8	4	3	9	7	7	4	4	20	8	7	8
04-06	9	4	8	7	7	11	22	18	6	9	5	7
06-08	11	7	7	9	8	16	2	15	8	10	8	7
08-10	12	22	8	7	9	21	24	6	13	13	12	6
10-12	8	10	14	7	12	10	9	7	4	6	7	11
12-14	7	12	11	9	18	3	29	17	10	11	8	10
14-16	4	12	16	13	7	5	6	7	4	11	13	6
16-18	4	6	5	8	9	0	1	0	7	11	5	8
18-20	9	7	9	6	11	3	3	6	3	4	7	8
20-22	8	5	10	8	3	13	0	4	1	4	10	10
22-24	12	3	5	7	6	4	0	16	19	6	10	10

B346A Porreres Poliesportiu

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	8	6	8	7	4	5	2	0	4	16	8	11
02-04	8	7	6	8	7	10	2	2	5	8	6	8
04-06	14	8	11	7	4	20	2	10	5	5	8	8
06-08	10	7	11	9	4	2	4	7	7	5	6	8
08-10	12	8	7	7	4	6	0	4	3	9	12	10
10-12	9	8	10	5	4	25	24	14	8	6	9	8
12-14	5	10	7	19	24	7	20	13	5	14	12	8
14-16	6	8	12	10	29	4	18	29	27	16	7	6
16-18	4	10	10	7	4	3	27	4	3	10	6	8
18-20	8	15	8	4	7	0	2	2	3	3	7	8
20-22	9	7	5	9	6	11	0	9	7	4	12	8
22-24	7	6	6	9	4	6	1	5	26	5	7	8

B434 Far de Portocolom

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	4	4	12	8	9	2	0	2	3	6	8	6
02-04	6	3	5	5	4	5	1	3	11	6	7	10
04-06	4	6	7	10	3	8	17	2	3	7	9	9
06-08	11	8	10	8	19	2	18	10	3	7	13	11
08-10	7	6	10	9	8	12	3	4	12	21	8	10
10-12	16	16	9	3	12	20	25	39	4	7	8	6
12-14	11	19	17	13	8	21	9	34	26	13	6	7
14-16	13	12	8	12	10	14	3	2	6	11	8	8
16-18	10	11	6	7	8	0	4	1	4	7	13	10
18-20	8	6	3	4	5	0	20	3	3	4	7	6
20-22	7	6	6	10	7	4	0	0	9	4	9	11
22-24	4	3	7	11	5	10	0	0	16	7	5	7

B569 Far de Capdepera

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	8	10	3	8	5	9	1	1	3	6	8	11
02-04	8	4	3	9	7	7	4	4	20	8	7	8
04-06	9	4	8	7	7	11	22	18	6	9	5	7
06-08	11	7	7	9	8	16	2	15	8	10	8	7
08-10	12	22	8	7	9	21	24	6	13	13	12	6
10-12	8	10	14	7	12	10	9	7	4	6	7	11
12-14	7	12	11	9	18	3	29	17	10	11	8	10
14-16	4	12	16	13	7	5	6	7	4	11	13	6
16-18	4	6	5	8	9	0	1	0	7	11	5	8
18-20	9	7	9	6	11	3	3	6	3	4	7	8
20-22	8	5	10	8	3	13	0	4	1	4	10	10
22-24	12	3	5	7	6	4	0	16	19	6	10	10

B780 Port de Pollença A. M.

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	5	8	12	9	4	5	0	17	14	6	7	6
02-04	10	8	9	10	10	6	4	3	17	5	8	7
04-06	7	9	11	6	6	9	15	18	11	11	10	6
06-08	15	12	8	5	7	13	2	15	7	17	11	9
08-10	10	11	13	7	8	22	17	7	4	7	9	12
10-12	11	6	6	7	12	8	10	16	11	7	5	9
12-14	7	8	12	8	15	10	36	3	10	8	10	8
14-16	8	8	7	12	14	1	11	4	4	7	5	6
16-18	7	6	5	7	6	0	1	4	4	11	8	8
18-20	8	7	5	8	6	0	3	4	3	8	14	8
20-22	6	8	4	12	4	14	1	5	6	4	8	12
22-24	6	9	8	9	9	12	0	3	9	8	5	9

B893 Menorca Aeroport

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	7	10	6	6	7	18	16	6	7	8	7	6
02-04	11	12	8	4	12	4	0	4	9	9	7	7
04-06	7	8	8	11	14	4	10	1	6	6	6	13
06-08	12	8	9	9	6	10	4	11	12	8	5	9
08-10	10	8	11	7	17	12	2	14	5	9	2	12
10-12	16	6	7	7	6	11	16	5	18	9	11	9
12-14	8	6	10	13	11	21	32	6	14	9	8	5
14-16	4	5	8	11	7	4	4	3	7	10	9	4
16-18	7	6	6	8	2	0	6	0	9	5	13	9
18-20	2	7	4	9	4	0	8	0	3	5	11	6
20-22	4	12	11	9	8	2	3	35	2	11	11	11
22-24	12	12	11	6	6	15	0	15	9	10	9	10

B954 Eivissa Aeroport

Horas	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
00-02	13	8	10	12	12	16	1	10	10	6	4	6
02-04	15	5	7	9	16	6	18	18	11	6	5	7
04-06	9	6	13	7	8	7	0	13	6	17	9	10
06-08	7	9	6	7	10	4	0	23	7	3	13	8
08-10	10	12	17	6	6	2	5	3	6	2	8	9
10-12	8	18	13	10	10	20	28	7	5	10	9	10
12-14	9	12	9	7	6	4	25	8	29	16	10	10
14-16	8	5	3	6	12	5	3	6	3	13	7	9
16-18	4	7	8	4	2	10	18	4	1	7	9	6
18-20	8	7	4	14	5	15	0	3	12	8	9	8
20-22	4	5	4	10	8	6	0	6	0	6	8	11
22-24	6	5	6	7	6	5	4	0	8	7	9	5

Primavera i canvi climàtic

Agustí Jansà Clar

Agència Estatal de Meteorologia
Delegación Territorial a les Illes
Balears
jansa@inm.es

PRIMAVERA I CANVI CLIMÀTIC

Agustí Jansà Clar

RESUM: L'escalfament observat a les illes balears els darrers trenta o quaranta anys, com a conseqüència del canvi climàtic, és més del doble del que s'observa a escala planetària. aquest escalfament presenta, a més, una gran estacionalitat. Concretament, a l'observatori de l'aeroport de palma l'escalfament és bastant feble a ple hivern, però presenta un índex màxim exagerat a la primavera i al principi de l'estiu (abril, maig i juny). el desequilibri radiatiu produït per la intensificació de l'efecte hivernacle no és suficient per explicar un escalfament tan important en aquesta època. hi ha d'haver algun mecanisme meteorològic addicional. per tal d'esbrinar a quin mecanisme meteorològic addicional correspon aquest escalfament exagerat, hem analitzat la dinàmica dels mesos de maig i juny entre el 1973 i el 2009, mitjançant les reanàlisis de ncep/ncar, a més d'alguns índexs de teleconnexió i alguns aspectes complementaris del temps local. el resultat és que el gran escalfament observat al maig i juny a les illes balears, a mallorca concretament, està associat amb un augment del predomini de l'anticicló subtropical en aquesta època, la qual cosa significa que és la prolongació de l'estiu dinàmic cap a la primavera. aquest fet, que és compatible amb la coneguda migració cap al nord del camí de les pertorbacions ciclòniques, seria un fet transitori, que de cara al futur s'hauria de desaccelerar, per permetre el desplaçament cap a ple estiu de l'escalfament màxim, tal com indiquen els escenaris climàtics construïts. el sosteniment d'un escalfament tan gran a la primavera no és compatible amb els escenaris climàtics disponibles.

PARAULES CLAU: canvi climàtic, temperatura, Palma, Illes Balears, primavera, anticicló subtropical.

ABSTRACT: The warming observed in the Balearic Islands during the past decades (i. e. thirty or forty years) is more than double that of the planetary warming associated with climate change. This significant regional warming shows an important annual variability. At Palma Airport, in particular, the observed warming is quite moderate in winter, but presents an exaggerated maximum in spring and the beginning of summer (April, May, June). The radiative disequilibrium induced by the intensification of the greenhouse effect is not enough to explain such substantial warming; an additional meteorological cause is involved. In order to investigate the additional meteorological mechanisms that contribute to this exaggerated warming, the dynamics of the months of May and June between 1973 and 2009 were analysed by using the NCEP/NCAR reanalyses, as well as teleconnection indices and some complementary weather data. The result is that the warming observed in May-June in the Balearics and Mallorca is associated with an increase in the domain of the subtropical anticyclone this time of the year, which is equivalent to a dynamical elongation of summer towards spring. This fact –compatible with the known northward migration of the cyclone track in the Northern Hemisphere– is probably transitory and will be forced to decelerate in the future. Therefore, looking to future climate scenarios, the largest increase in warming will be displaced to the central summer months (July-August). The sustenance of a major warming in spring is not well-matched with available climate scenarios.

KEYWORDS: climate change, temperature, Palma, Balearic Islands, spring, subtropical anticyclone.

1. Tendència observada de les temperatures. El cas de les temperatures d'abril a juny a l'aeroport de Palma

Existeix la percepció popular que, amb el canvi climàtic, un dels efectes que es poden estar produint a les Illes Balears és la pràctica desaparició de la primavera, és a dir, que passem directament de l'hivern a l'estiu gairebé sense transició. Això, que dit així pot semblar una exageració, en part també és veritat. Per il·lustrar aquest fet, ens hem fixat en les dades de temperatura mitjana diària de l'observatori de l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET) de

l'aeroport de Palma, dins del període en què tenim prou garantida l'homogeneïtat de la sèrie, almenys pel que fa a l'emplaçament i el seu entorn, és a dir, des del 1973 fins a l'actualitat (2009). Aquest últim període recent és el que presenta canvis més ràpids com a conseqüència del canvi climàtic antropogènic actual (IPCC 2007).

El quadre I i la figura 1 mostren les tendències mensuals de temperatura mitjana observades a l'esmentat observatori.

Totes les tendències són positives, és a dir, indiquen escalfament, però al llarg de l'any hi ha diferències ben notables. Per al conjunt de l'any tenim un escalfament de 0,54 °C / 10 anys. Però, en particular, a l'hivern (desembre, gener i febrer) l'escal-

Quadre I. Tendència de la temperatura mitjana mensual a l'observatori de l'aeroport de Palma, 1973-2009, expressada en °C / 10 anys.

Gen.	Febr.	Març.	Abr.	Maig	Juny	Jul.	Ag.	Set.	Oct.	Nov.	Des.
0,28	0,20	0,56	0,86	0,86	0,82	0,62	0,57	0,33	0,79	0,42	0,11

Font: AEMET

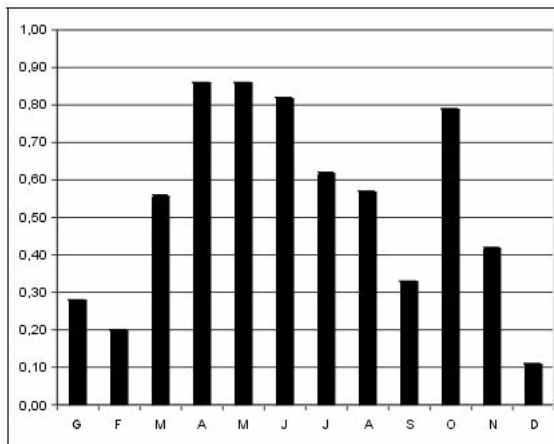


Fig. 1. Tendència de la temperatura mitjana mensual (1973-2009, en °C cada 10 anys), a l'observatori de l'aeroport de Palma (origen de dades AEMET).

fament mitjà és de tan sols de 0,2 °C / 10 anys, mentre que a la primavera i al principi de l'estiu (abril, maig i juny) l'escalfament mitjà és superior als 0,8 °C / 10 anys, de manera que, efectivament, l'estiu ha anat guanyant terreny a la primavera i el contrast entre els mesos de desembre, gener i febrer i els d'abril, maig i juny ha augmentat. Tot i que el març juga un paper intermedi, de pont, breu i relatiu, el pas de l'hivern a l'estiu ha tendit a fer-se més abrupte al llarg dels darrers trenta o quaranta anys.

Com és sabut, l'escalfament global actual del planeta és atribuït majoritàriament, amb una probabilitat d'encert molt alta, al desequilibri o forçament radiatiu que provoca l'augment d'origen antropogènic de la concentració dels anomenats gasos d'efecte hivernacle (IPCC 2007). L'escalfament no és uniforme al planeta, ni al llarg de l'any; primerament, perquè no ho és el forçament radiatiu en si mateix. Els condicionants astronòmics (durada del dia i la nit, distància del sol) provoquen diferències en el forçament radiatiu i són una primera causa de la diversificació espacial i temporal de l'escalfament, però aquesta no és l'única causa de la diferenciació. Com a conseqüència de l'escalfament global es produeixen, també, desajusts en la circulació atmosfèrica, de manera que en resulten diferències locals i regionals de les freqüències de les adveccions fredes i càlides i dels tipus de temps (anticiclònic o pertorbat i, per tant, assolellat i sec o ennuvolat i plujós): aquestes són causes meteorològiques que diversifiquen encara més l'escalfament global.

Entre una cosa i l'altra, les diferències que resulten són realment importants. En l'àmbit planetari s'accepta que l'escalfament mitjà és de prop de 0,7 °C en 100 anys, majoritàriament concentrat en els darrers trenta o quaranta anys (IPCC 2007). Però en trenta o quaranta anys l'escalfament a les Illes Balears ha estat més del doble, de prop

de 2 °C (per exemple, 0,54 °C / 10 anys, com hem vist, a l'aeroport de Palma). També hem vist que l'escalfament a l'aeroport de Palma, a més de ser globalment important, presenta una exagerada fluctuació estacional. En trenta o quaranta anys, als mesos del final de la primavera i el principi de l'estiu, l'escalfament ha superat àmpliament els 3 °C, mentre que hi ha mesos d'hivern que no s'ha arribat al mig grau, per davall de la mitjana planetària anual. És fàcil pensar que hi ha d'haver causes meteorològiques, no alienes al canvi climàtic, que, sumades al forçament radiatiu, poden ser la causa de l'exagerat escalfament observat a les Balears i, més concretament, a l'observatori de l'aeroport de Palma durant els mesos del final de la primavera i el principi de l'estiu.

Volem relacionar les anomalies tèrmiques observades els mesos del final de la primavera i el principi de l'estiu a l'aeroport de Palma amb anomalies d'algun tret definidor del tipus de temps, en el context del canvi climàtic. La relació del temps local amb els tipus de circulació i les pulsacions planetàries del clima va ser un tema d'estudi preferit per Mercedes Laita (Laita, Grimalt 1994, 1997; Laita 1995, 1998), tot i que la problemàtica considerada no era exactament la mateixa que afrontem aquí. Laita va triar periodicitats de dos mesos (ni massa llargues, ni massa curtes) per esbrinar fluctuacions anuals en alguns del seus estudis. Imitarem aquest detall i estudiarem el període bimestral de maig i juny, com a època de transició de la primavera a l'estiu.

2. Dades utilitzades. Primers resultats

Per als mesos de maig i juny, considerats conjuntament per al període 1973-2009, a més de les temperatures a l'aeroport de Palma, hem analitzat els tipus de temps

predominantment presents a la nostra regió, a través dels mapes mitjans, bimensuals, de geopotencial i vent (components u i v) en els nivells de 500 i 250 hPa. Complementàriament, també hem considerat alguns índexs de teleconnexió (NAO i SCAND), així com dades locals de nuvolositat, insolació i nombre de dies de pluja.

Els mapes mitjans a 500 i 250 hPa els hem obtingut a partir de les reanàlisis NCEP/NCAR, mitjançant l'aplicació interactiva que la National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) té disponible a través d'Internet (NOAA/ESRL/PSD 2009). Els índexs de teleconnexió estan disponibles al Climate Prediction Center del National Weather Service de la NOAA (NOAA/NWS/Climate Prediction Center 2009). Les altres dades són de l'Agència Estatal de Meteorologia (AEMET).

La inspecció visual dels mapes mitjans a 500 i 250 hPa ens mostra, en primer lloc, una bona coherència entre ambdós nivells i, en segon lloc, diferències clares de configuració entre els anys. Alguns anys, sobre la nostra regió, malgrat que es tracta d'una mitjana de dos mesos d'anàlisi i que això implica una forta suavització, la configuració arriba a ser de falca anticiclònica ben definida, mentre que en altres anys s'hi arriba a dibuixar o s'insinua amb prou claredat un tàlveg ciclònic (fig. 3). Hi ha anys en què la circulació és més ambigua, bastant zonal, amb vents forts situats cap al nord o cap al sud o a ambdues bandes, la qual cosa fa pensar en la presència simultània propera dels raigs polar i subtropical. Tot això és mal de sintetitzar i hem optat pel més simple, que és emprar el geopotencial i/o la component zonal del vent (u) sobre la vertical de Mallorca com a possibles indicadors del tipus de circulació, tant a 500 hPa com a 250 hPa.

Entre les temperatures de l'aeroport de Palma i el geopotencial i component zonal de vent a sobre, a 500 i 250 hPa, hem analitzat tendències i hem obtingut

correlacions directes i correlacions corregides de tendència (sobre sèries diferenciades). Finalment, també hem analitzat tendències i hem obtingut alguna correlació amb els índexs NAO i SCAND, així com amb els elements climatològics ja esmentats (nuvolositat, sol i dies de pluja). Per als càlculs estadístics, i en particular pel que fa a les significacions de tendències i correlacions, ha estat emprat el programa en R (R Development Core Team 2008).

Al quadre II no es mostren els valors originals mitjans (per a maig i juny) de les diverses magnituds considerades, sinó els valors mitjans de les *anomalies* de temperatura, geopotencial a 500 i 250 hPa i component zonal del vent als mateixos nivells. Per facilitar la comparació numèrica directa de les dades incloses, les anomalies de geopotencial es presenten en decàmetres, i encara dividint per 2, i les anomalies de vent, en decàmetres per segon. Les anomalies de temperatura es refereixen a valors homogeneïtzats per al període 1971-2000, obtinguts per J. A. Guijarro a la Delegació Territorial de l'AEMET a les Illes Balears. Les altres anomalies es refereixen a la mitjana de la mateixa sèrie (1973-2009). Al mateix quadre 2 s'inclouen les tendències observades, per dècada, amb la mateixa unitat en què es presenten els valors, així com els coeficients de correlació de Pearson entre la columna corresponent i la temperatura i també el coeficient de correlació entre la corresponent sèrie diferenciada o corregida de tendència (no mostrada) i la temperatura.

Les tendències són positives per al geopotencial a 500 i 250 hPa (la qual cosa indica reforçament del geopotencial o del caire anticiclònic) i són negatives per a la component zonal del vent. Totes aquestes tendències són estadísticament significatives amb un nivell de confiança del 95%, excepte la de vent a 500 hPa que sols és significativa a un nivell del 90%. Les tendències de geopotencial són fortes, de 13,8 m cada 10

anys a 500 hPa i de 20,4 m cada 10 anys a 250 hPa. La disminució de vent és relativament feble, 1,75 m s⁻¹ cada 10 anys al nivell de 250 hPa i la meitat al nivell de 500 hPa.

A la figura 2 es poden veure, gràficament, les seqüències de valors mitjans (per a maig i juny) de les anomalies de temperatura a l'aeroport de Palma (en °C) i de les anomalies de geopotencial a 500 hPa sobre Mallorca (en decàmetres geopotencials, dividint per 2). La tendència ascendent d'ambdues sèries és ben clara, així com el paral·lelisme que hi ha entre totes dues. La correlació és molt alta (0,84) i es manté gairebé invariable (0,82) si passem a sèries diferenciades, sense tendència. Si enlloc de geopotencial a 500 hPa fem geopotencials a 250 hPa, els resultats són gairebé idèntics (0,84 i 0,83 són els coeficients de correlació directa i després de corregir la tendència).

Entre la component zonal del vent i la temperatura no tenim tan bones correlacions amb les sèries directes, amb la qual cosa els resultats empitjoren sensiblement per a les sèries corregides de tendència. En qualsevol cas, pel que fa al vent, els resultats són millors a 250 hPa que a 500 hPa. La moderada correlació entre el vent zonal a 250 hPa i la temperatura a l'observatori de l'aeroport de Palma (amb un valor de 0,41) és significativa estadísticament (amb un nivell de confiança del 90%), mentre que la correlació amb el vent zonal a 500 hPa no és només més dèbil (0,23), sinó que a més no és significativa. A més, la correlació entre temperatura i vent zonal a 250 hPa minva clarament quan diferenciem les sèries, per eliminar tendències. La correlació corregida així baixa de 0,41 a 0,24.

3. Discussió. Prolongació dinàmica de l'estiu cap a la primavera. Teleconnexions. Temps present

El clima mediterrani es caracteritza per una alternança entre els períodes

d'influència de l'anticicló subtropical i els períodes en què són freqüents les pertorbacions ciclòniques associades al front polar o raig polar. L'anticicló subtropical domina pràcticament tot l'estiu i fa que en aquesta estació dominin les masses d'aire càlid, sense gairebé precipitacions i amb poca nuvolositat i insolació.

Com és sabut, l'alternança estacional entre el domini de l'anticicló subtropical i les pertorbacions del front polar es deu a la migració latitudinal d'ambdós grans sistemes de la circulació general atmosfèrica al llarg de l'any. A l'estiu, ambdós sistemes migren cap a latituds més altes, de manera que l'anticicló subtropical queda plenament establert a la nostra regió, mentre que a l'hivern ambdós sistemes (l'anticicló subtropical i el cinturó de les pertorbacions) baixen de latitud, de manera que el domini de l'anticicló a la nostra regió es fa només ocasional, no permanent.

Hi ha un consens força generalitzat en la teoria que, a l'hemisferi nord, el canvi climàtic provocaria una migració global, cap al nord, del cinturó de les pertorbacions del front polar (o raig polar) (Yin 2005; IPCC 2007). És bastant lògic pensar que a les regions mediterrànies això hauria de comportar una extensió temporal del període anual de predomini quasi permanent de l'anticicló subtropical, és a dir, un allargament de l'estiu, definit com l'època en què predomina clarament l'anticicló subtropical.

Creiem que això és el que ens mostra l'anàlisi dels mesos de maig i juny, del període 1973-2009, que hem fet referit a Mallorca. El ple estiu ha tendit a envair els mesos de maig i juny, que han sofert un gran augment de temperatura i, al mateix temps, un notable augment del geopotencial a nivells mitjans i alts, és a dir, un clar reforçament de l'anticicló subtropical. La relativa disminució del vent zonal a 250 hPa també seria consistent amb la migració cap

Quadre II. Anomalies de temperatura a l'aeroport de Palma i de geopotencial i component zonal de vent a 500 i 250 hPa, sobre Mallorca, 1973-2009, maig-juny.

<i>Any</i>	<i>d temp °C</i>	<i>d geop500 Dm / 2</i>	<i>d geop250 Dm / 2</i>	<i>d vent500 Dm / s</i>	<i>d vent250 Dm / s</i>
1973	0,2	0,9	1,3	0,2	0,2
1974	-0,7	-0,3	0,1	0,5	0,5
1975	-1,8	-2,6	-3,7	0,0	0,3
1976	-0,1	-0,6	-1,7	-0,6	-0,9
1977	-1,6	-2,8	-4,2	0,2	0,6
1978	-1,3	-2,1	-3,2	0,3	0,8
1979	0,0	0,7	0,6	-0,2	-0,4
1980	-1,0	-2,1	-2,4	0,4	0,8
1981	-0,4	-0,1	0,6	0,2	-0,3
1982	0,5	1,4	1,8	0,1	0,0
1983	0,4	-0,1	0,1	0,4	0,8
1984	-1,5	-3,1	-4,7	0,4	0,7
1985	-0,5	-1,1	-1,7	0,2	0,3
1986	0,4	1,7	2,3	-0,1	-0,3
1987	-0,5	-0,1	0,1	0,4	0,6
1988	0,5	-1,3	-1,7	0,3	0,7
1989	0,6	0,2	-0,9	-0,6	-0,5
1990	0,9	0,9	1,8	0,1	0,2
1991	-1,6	-1,1	-1,7	-0,1	-0,5
1992	-0,4	-1,8	-2,9	-0,7	-0,3
1993	0,9	0,2	-0,2	0,1	0,3
1994	0,9	1,4	2,6	0,2	0,0
1995	0,5	-0,3	-0,4	0,1	0,1
1996	0,0	-0,6	-1,2	-0,3	-0,3
1997	1,7	-0,3	0,3	0,3	0,3
1998	1,3	0,2	0,6	-0,3	-0,3
1999	2,1	1,9	2,6	0,4	0,3
2000	2,1	1,7	2,1	-0,3	-0,5
2001	1,1	1,2	1,3	-0,1	-0,1
2002	1,1	0,9	1,1	0,1	0,0
2003	2,8	2,7	3,8	-0,5	-0,8
2004	0,3	-0,6	-1,2	-0,4	-0,6
2005	2,4	2,4	3,8	0,0	-0,5
2006	2,2	2,4	3,1	0,0	-0,3
2007	1,8	0,2	0,6	0,1	0,2
2008	0,6	-1,1	-1,2	-0,1	0,0
2009	2,2	1,7	2,8	-0,2	-0,3
Tendència / 10 anys	0,84	0,69	1,02	-0,09	-0,17
Correlació amb temp.	0,84	0,84	-0,23	-0,41	
Correlació corregida	0,82	0,83	-0,10	-0,24	

Font: AEMET i NOAA/ESRL/PSD-NCEP/NCAR

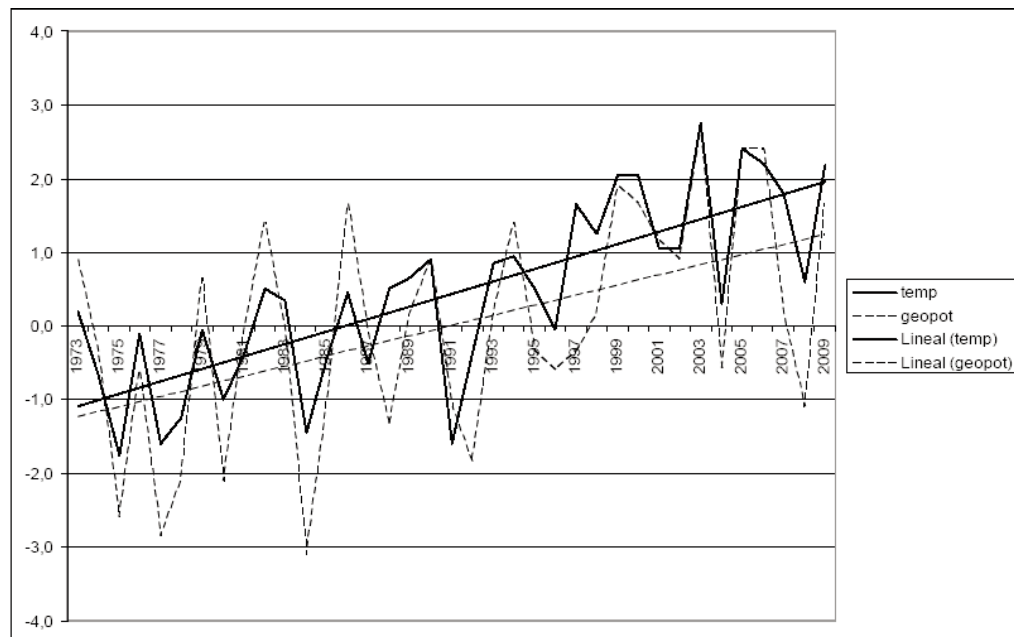


Fig. 2. Tendències simultànies de les anomalies de temperatura a l'observatori de l'aeroport de Palma (en °C, respecte de 1971-00) i de geopotencial a 500 hPa sobre Mallorca (en dm², respecte de 1973-09), durant els mesos de maig i juny (origen de dades AEMET i NCEP/NCAR, a través de NOAA/ESRL/PSD).

al nord del raig polar, als mesos de maig i juny.

Com a constatació addicional, en els períodes de maig i juny més càlids de la història recent (com 2003, 2005 o 2009), no sols és que el geopotencial presenti una clara anomalia positiva, sinó que el domini anticiclònic és ben palès als mapes mitjans de 500 hPa, que mostren una falca anticiclònica (fig. 3). El contrari succeeix en els períodes maig-juny més freds (com 1975, 1977 o 1991), quan la configuració dominant mostra un tàlveg més o menys clar.

La migració cap al nord de la trajectòria de les pertorbacions ciclòniques condueix a una menor freqüència de la presència de pertorbacions ciclòniques de certa importància a la Mediterrània (se n'exceptuarien les

baixes tèrmiques, molt breus) (Lionello et al. 2002; Guijarro et al. 2005). Això hauria de succeir tot l'any, però no hi ha dubte que s'hauria de notar més —o s'hauria d'haver notat més— en les èpoques marginals: en ple estiu ja hi havia predomini de l'anticicló subtropical i en ple hivern no arriba a desaparèixer la incidència freqüent de les depressions polars.

La minva de vent zonal a 250 hPa sobre la nostra regió també podria anar associada a la migració de la trajectòria de les pertorbacions o, el que és equivalent, a la migració cap al nord del raig polar. La relativa ambigüitat dels resultats, probablement es deu al fet que, de la mateixa manera que el predomini de la situació a la regió es fa anticiclònic, els

vents forts es desplacen cap al nord d'aquesta regió. Mentrestant, quan el predomini es fa molt ciclònic, arribant a haver-hi tàlveg gairebé permanent, els vents forts tampoc són a la regió, sinó que poden ser cap al sud.

En principi, podríem pensar que el reforçament anticiclònic sobre la nostra regió, especialment al maig i juny, que és ben clar i sens dubte està associat al gran augment de temperatures que hi ha hagut, també podria anar associat a canvis en els índexs de teleconnexió. Per esbrinar alguna cosa sobre aquest punt hem analitzat el comportament de les sèries de dos índexs de teleconnexió que ens són propers, relativament, el NAO (o oscil·lació nord-atlànica) i l'SCAND (o índex escandinau). El NAO relaciona anomalies de geopotencial cap a les illes Açores i cap a Islàndia i l'SCAND, cap a Ibèria-Mediterrània i cap a Escandinàvia. La fase positiva de l'SCAND consisteix en l'anomalia positiva cap a Escandinàvia i l'anomalia negativa cap a Ibèria-Mediterrània.

A part del fet que la correlació entre el NAO i la temperatura a l'aeroport de Palma és pràcticament nul·la, el NAO no presenta cap tendència estadísticament significativa en els darrers trenta o quaranta anys. L'SCAND, en canvi, sí que mostra una tendència apreciable. Al llarg dels darrers trenta anys i escaig, l'índex SCAND ha anat minvat, la qual cosa significa que la regió ibericomediterrània ha anat perdent caire ciclònic (o ha anat guanyant caire anticiclònic), mentre que Escandinàvia guanyava caire ciclònic, la qual cosa és, altra vegada, consistent en relació amb la migració de les pertorbacions cap al nord repetidament esmentada. Si ens referim al maig i juny la tendència es fa més clara que per al conjunt de l'any i resulta significativa estadísticament en un nivell de confiança del 90% (tot i que no ho és al nivell del 95%). Tot i això, l'índex SCAND presenta una

escassa correlació negativa, no significativa estadísticament, amb la temperatura a l'aeroport de Palma (-0,24). La correlació amb el geopotencial a 500 hPa sobre Mallorca sí que és significativa, amb un valor de 0,40.

La presència gairebé permanent de l'anticicló subtropical suposa la presència gairebé permanent d'aire càlid, subtropical, que és la massa d'aire constitutiva d'aquests anticiclons, i, per tant, suposa la presència gairebé permanent de temperatures altes. Així, el reforçament de l'anticicló al maig i juny ja és raó suficient per explicar l'augment de temperatures exagerat observat en aquesta època. Emperò, a més, la presència anticiclònica reforçada, quan succeeix al final de la primavera i al principi de l'estiu, en època de forta irradiació extraterrestre i de nits curtes, encara podria suposar més augment de temperatura, si implica, com es podria pensar, més bon temps, és a dir, temps més assolellat, menys plujós.

Hem utilitzat les dades de nuvolositat mitjana a 7, 13 i 18 hores UTC, la insolació eficaç, en hores, i el nombre de dies de pluja apreciable per comprovar aquest aspecte, amb resultats poc espectaculars. De fet, a l'aeroport de Palma, als mesos de maig i juny considerats en conjunt, no hi ha tendències significatives, ni de la nuvolositat mitjana a 7, 13 i 18 hores, ni del nombre de dies de pluja apreciable (igual o superior a 0,1 mm). La insolació eficaç sí que presenta una certa tendència negativa, de 5,6 hores per mes cada deu anys. De totes maneres, el nivell de significació no supera el 85%. La correlació entre el temps (nuvolositat, insolació, dies de pluja) i la temperatura és bastant acceptable pel que fa a la insolació (+0,46) i al número de dies de pluja (-0,43) i més reduïda per a la nuvolositat (-0,29), però és significativa estadísticament (al 90%) en el tres casos. Encara són més bones les correlacions entre el temps a l'aeroport de

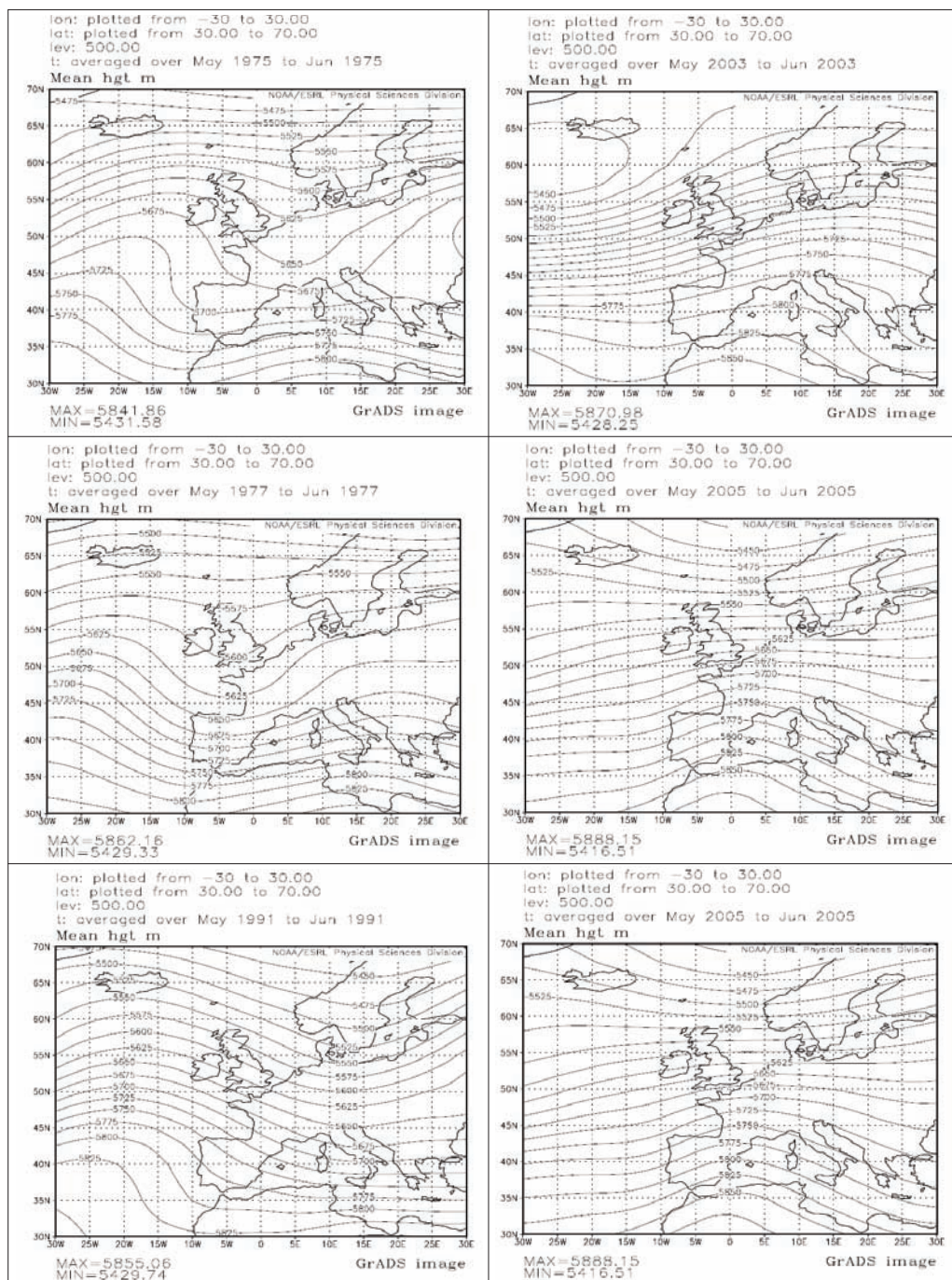


Fig. 3. Mapes mitjans de geopotencial a 500 hPa per a alguns dels períodes bimensuals (maig i juny) més freds (esquerra) i més càlids (dreta). Esquerra, de dalt a baix, anys 1975, 1977 i 1991. Dreta, de dalt a baix, anys 2003, 2005 i 2009 (origen de dades NCEP/NCAR a través de NOAA/ESRL/PSD).

Palma i el geopotencial a 500 hPa; aquestes correlacions són -0,52, +0,63 i -0,70 per a nuvolositat, insolació i dies de pluja, la qual cosa no diu altra cosa sinó que els anticiclons tendeixen a donar bon temps. D'una manera o altra, es pot donar per confirmat que la major temperatura en terra que comporta un major geopotencial en altura es deu no només al fet que aquest major geopotencial estigui relacionat amb la major presència de les masses d'aire subtropicals, sinó que també al bon temps associat a la presència anticiclònica.

4. Una mirada cap al futur: transitorietat de l'exagerat escalfament primaveral

Al llarg dels darrers trenta o quaranta anys, en relació amb el canvi climàtic antropogènic, al final de la primavera i al principi de l'estiu (maig i juny) s'ha produït a les Illes Balears un escalfament especialment fort, que sembla que estigui bàsicament lligat a un gran augment del predomini de l'anticicló subtropical en aquesta època. Què succeirà en el futur? Continuarà aquest comportament singular del final de la primavera i el principi de l'estiu, aquestes tendències particulars?

La manera d'esbrinar-ho és utilitzar models climàtics i, més concretament, els escenaris climàtics regionalitzats futurs, construïts d'acord amb els models climàtics. Hem emprat el material elaborat i recopilat per l'Agència Estatal de Meteorologia, parcialment publicat (AEMET 2008) i disponible per Internet (AEMET 2009).

De l'abundant material disponible, hem pogut consultar un total de vuit combinacions de diversos mètodes de regionalització estadística (anàlegs INM, SDSM i anàlegs FIC) i diversos models globals (CGCM2, ECHAM4, HadAM3 i

HADCM2SUL), que inclouen projeccions diferenciades per mesos, separades per temperatures màximes i temperatures mínimes i disponibles per als períodes 2071-00 (les vuit combinacions) i també 2011-40 i 2041-70 (sis combinacions).

Hi ha prou varietat de projeccions i, si ens fixem en Palma o Mallorca, podem comprovar que els màxims escalfaments, tant per a màximes com per a mínimes, no són en cap cas, ni en cap període, en el mesos d'abril, maig o juny, sinó que sempre són al juliol o agost o al juliol i agost. En algunes projeccions el màxim escalfament s'estén també cap a la tardor (setembre, fins i tot octubre), però mai cap a la primavera.

Hauríem de concloure que l'escalfament singular màxim dels mesos d'abril, maig i juny que s'ha observat durant els darrers trenta o quaranta anys, juntament amb la consolidació d'un major predomini de l'anticicló subtropical, almenys durant els mesos de maig i juny, seria o hauria estat una fase transitòria dins de l'evolució climàtica antropogènica. En altres paraules, aquesta seria una fase del canvi que ja no aniria gaire a més, sinó que es desacceleraria, tot i que no s'aturaria, ni, encara menys, tornaria enrere. A partir d'ara –o molt prest– el major escalfament s'hauria d'anar desplaçant cap al ple estiu; l'escalfament de final de primavera i principi d'estiu hauria de començar a minvar. El ritme de canvi recent en aquesta època és exagerat i no s'adiu amb el que donen les projeccions climàtiques pessimistes.

El gran escalfament observat al final de la primavera, associat a la sensació de desaparició de la primavera com a tal, hauria estat, no solament transitori, sinó bastant ràpid i concentrat: els sis bimestres de maig i juny més càlids són tots de després de 1998 (vegeu el quadre II).

5. Conclusions i perspectives

La variació de les temperatures els darrers trenta o quaranta anys a la regió de les Illes Balears, analitzada a través de les dades de l'observatori de l'aeroport de Palma, mostra un singular i potent escalfament als mesos d'abril, maig i juny. Hem analitzat el comportament de l'atmosfera en aquesta regió durant els mesos de maig i juny i hem pogut concloure que el gran i singular escalfament ha anat lligat a la consolidació del predomini de l'anticicló subtropical, predomini que ja existia en ple estiu i que, per tant, pot ser considerat una extensió de l'estiu cap a la primavera, amb el conseqüent escurçament, gairebé desaparició, de la primavera pròpiament dita. Aquest fenomen hauria de ser considerat una fase transitòria del canvi climàtic. De cara al futur, l'escalfament del final de la primavera i el principi de l'estiu perdria importància, es desacceleraria, mentre que augmentaria l'escalfament a ple estiu.

L'existència de fases transitòries en el canvi climàtic pot ser un tret ben interessant a tenir en compte i faria recomanable una vigilància molt continuada d'aquest canvi climàtic.

Agraïments

A José Antonio Guijarro, company de la Delegació Territorial de l'AEMET, per alguns comentaris i per la seva ajuda, amb els quals s'han pogut millorar alguns aspectes d'aquest treball.

Bibliografia

AEMET (2008). *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático para España*. Con contribuciones de Brunet, M.; Casado, M. J.; De Castro, M.; Galán, P.;

López, J. A.; Martín, J. M.; Pastor, A.; Petisco, E.; Ramos, P.; Ribalaygua, J.; Rodríguez, E.; Sanz, I.; Torres, L., Agencia Estatal de Meteorología.

AEMET (2009). *Escenarios de cambio climático*. <http://www.aemet.es/es/elclima/cambio_climat/escenarios>.

GUIJARRO, J. A., JANSÀ, A., CAMPINS, J. (2005). «Time variability of cyclonic geostrophic circulation in the Mediterranean». *Advances in Geosciences*, núm. 7, pàg. 45-49.

IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. A: Salomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, K. L. (eds.). Cambridge University Press, Regne Unit i New York, EUA.

LAITA, M.; GRIMALT, M. (1994). «Análisis objetivo del campo de presión en el Mediterráneo Occidental y clasificación del mismo para meses secos en las Islas Baleares». A: Justicia, A.; Domínguez, R.; García, E. (eds.) *Perfiles actuales de la geografía cuantitativa en España*. Universidad de Málaga / AGE, pàg. 117-128.

LAITA, M. (1995). *El fenómeno del Niño y su influencia climática en el Mediterráneo Occidental*. Tesi doctoral. Universitat de les Illes Balears.

LAITA, M.; GRIMALT, M. (1997). «Vorticity and pressure anomalies in the Western Mediterranean during El Niño / Southern Oscillation extremes». *International Journal of Climatology*, núm. 17, pàg. 475-482.

LAITA, M. (1998). «El Niño y su influencia en el régimen de lluvias en Baleares». *Territoris*, núm. 1, pàg. 189-201.

LIONELLO, P.; DALAN, F.; ELVINI, E. (2002). «Cyclones in the Mediterranean

region: the present and the doubled CO₂ climate scenarios». *Climate Research*, núm. 22, pàg. 147-159.

NOAA/ESRL/PSD, 2009. *The NCEP/NCAR Reanalysis Projecta at the NOAA/ESRL Physical Sciences Division*. <<http://www.cdc.noaa.gov/data/reanalysis/reanalysis.shtml>>.

NOAA/NWS/Climate Prediction Center (2009). *Northern Hemisphere Teleconnection Patterns*. <<http://www.cpc.noaa.gov/data/teledoc/telecontents.shtml>>.

YIN, J. H. (2005). «A consistent poleward shift of the storm tracks in simulations of 21st century climate». *Geophysical Research Letters*, núm. 32, L18701, doi: 10.1029/2005GL023684.

R DEVELOPMENT CORE TEAM (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. ISBN 3-900051-07-0. Vienna, Austria. <<http://www.R-project.org>>.

*Clasificación sinóptica
automática de Jenkinson y
Collison para los días de
precipitación mayor o
igual a 200 mm en la isla
de Mallorca*

Juan Llop Garau

Grup de Climatologia, Hidrologia,
Riscs Naturals i Territori
Universitat de les Illes Balears

Gabriel Alomar Garau

Grup de Climatologia, Hidrologia,
Riscs Naturals i Territori
Universitat de les Illes Balears

CLASIFICACIÓN SINÓPTICA AUTOMÁTICA DE JENKINSON Y COLLISON PARA LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN MAYOR O IGUAL A 200 MM EN LA ISLA DE MALLORCA

Juan Llop Garau
Gabriel Alomar Garau

RESUMEN: Se aplica el método de clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison a las precipitaciones de gran intensidad (200 mm en 24 horas) registradas en la isla de Mallorca durante el período 1939-2001, y por el que se consignan 49 episodios en los que se ha superado este límite pluviométrico. Los resultados permiten apreciar un predominio de situaciones sinópticas de componente Este, aun cuando el número de situaciones de componente Norte es también relativamente elevado, debido a factores geográficos relacionados fundamentalmente con la influencia de los relieves de la Serra de Tramuntana en Mallorca. El importante peso de esta misma componente Norte en los temporales asociados a precipitaciones muy intensas en Mallorca, no es sino un reflejo de la importancia de los procesos ciclogénicos en sectores situados al Este del archipiélago Balear, que a menudo no tienen consecuencias pluviométricas importantes en el litoral mediterráneo peninsular.

PALABRAS CLAVE: pluviometría, clasificación de Jenkinson y Collison, climatología sinóptica, Mediterráneo Occidental, Islas Baleares, Mallorca.

ABSTRACT: Synoptic automatic or objective classifications such as Jenkinson and Collison's allow us to study the different atmospheric situations with a common base in our study area. They were applied to days of rainfall with a minimum of 200 mm in the island of Mallorca and achieved results that came very close to the expected ones.

KEYWORDS: Jenkinson and Collison classification, synoptic situation, Mallorca, rainfall, cyclonic, Balearic Islands.

1. Introducción

Numerosas investigaciones de carácter climatológico desarrolladas en las últimas décadas en nuestro país, han propuesto catálogos de clasificaciones sinópticas subjetivas o manuales para adaptarlas al ámbito de estudio del Mediterráneo Occidental y al objeto de la investigación. Entre ellas se encuentran las de Linés (1981), Font Tullot (1983), Martín Vide (1991) o Capel Molina (2000). Se trata de un *corpus* científico de gran interés, y todas ellas aportan resultados que completan la comprensión climática del sector mediterráneo, si bien presentan el inconveniente de ser variadas y basadas en métodos sometidos a consideraciones subjetivas –como, de hecho, se suele indicar en los propios encabezados de los estudios al respecto–. Una dificultad añadida es la de la propia complejidad de la atmósfera en la región balear, en el sentido de que la presión atmosférica en superficie no guarda a menudo relación con la de los niveles superiores, o bien el gradiente de presión es poco preciso, y aún así se dan diferentes situaciones meteorológicas al mismo tiempo, sobre una región relativamente pequeña. La isla de Mallorca está situada precisamente en la parte central del Mediterráneo Occidental, una región subtropical a caballo entre las latitudes medias y las bajas, y en las que el estado atmosférico de la troposfera media influye de manera determinante en el comportamiento a nivel de la superficie.

La utilización de métodos de clasificación sinóptica automática u objetiva es adecuada y ventajosa en el sentido de que permite hacer comparaciones con métodos subjetivos como los que han ensayado otros investigadores para áreas próximas a la de las Islas Baleares. Para ello, la clasificación automática de Jenkinson y Collison (1977), adaptada a la península Ibérica por Spellman (2000), y ya utilizada por Martín Vide

(2002) en un estudio muy similar al que ahora se propone, permite un análisis detallado de las relaciones entre los episodios de precipitación y la situación sinóptica que los ha propiciado. El método fue propuesto inicialmente para las Islas Británicas, con muy buenos resultados, aunque esta adaptación, como la que propuso el mismo Spellman para la península Ibérica, tienen algunas limitaciones. De hecho, es común que un porcentaje variable de los días no quede bien clasificado. Por ejemplo, en el estudio de Spellman se comprueba que un 18,4% de los días se considera inclasificable, extremo que supone una cierta merma de la calidad de los datos resultantes. En este sentido, en el caso del presente trabajo se desconoce *a priori* la manera como actuará la clasificación al aplicarla a la isla de Mallorca, y al hacerlo, resulta que se han considerado inclasificables, como se verá, solamente 3 casos de los 49 examinados, es decir un 6,12 %, y aún así se ha intentado contrarrestar este hecho con el análisis de la dirección del viento dominante (cuadrantes) para apurar aún más si cabe el análisis final.

Métodos

El método de clasificación de Jenkinson y Collison utiliza única y exclusivamente datos de presión en superficie. La adquisición de estos datos, en formato *.nc*, se ha realizado a través del portal de Internet <https://dss.ucar.edu>, que contiene la base de datos *Daily Northern Hemisphere Sea Level Pressure Grids, continuing from 1899*. Esta tarea de recopilación ha ido acompañada posteriormente de la necesaria descodificación de la información –realizada mediante el programa ArcGIS–, con el fin de obtener una tabla de datos que se pudieran manipular a fin y efecto de usarlos para los objetivos del trabajo.

La clasificación de Jenkinson y Collison se basa en el establecimiento de 8 variables, deducidas, como se ha mencionado, exclusivamente a partir de la presión atmosférica en superficie:

P: Presión media en superficie (hPa).

W: Componente zonal del viento (superficial) geostrófico, calculada como gradiente de presión entre 35° y 45° N.

S: Componente meridiana del viento (superficial) geostrófico, calculada como gradiente de presión entre 10°W y 10°E.

D: Dirección del viento (° Azimut).

F: Velocidad del viento (m/s).

ZW: Componente zonal de la vorticidad.

ZS: Componente meridiana de la vorticidad.

Z: Vorticidad total.

Ya que los valores de estas variables se deducen sólo a partir de la presión atmosférica al nivel de la superficie, la clasificación de Jenkinson y Collison no puede diferenciar, llegado el caso, lo que es una depresión fría de una depresión de carácter térmico, como por ejemplo la que se produce en el interior de la península Ibérica en verano, durante las horas centrales del día.

En lo que se refiere al establecimiento de los límites del área de estudio, Spellman (2000) propone una retícula de 9 puntos para la península Ibérica, siendo sus extremos 15° W y 5° E. En el caso del presente trabajo, la retícula se ha desplazado 5° hacia el Este con la finalidad de que la isla de Mallorca, objeto espacial del estudio, quede más centrada dentro de los límites citados. Los 9 puntos resultantes se dan en la intersección de los paralelos 35° N, 40° N y 45° N, con los meridianos 10° W, 0° E y 10° E. A pesar de este desplazamiento de la cuadrícula, se han conservado las ecuaciones de cálculo para la península Ibérica. Así, conociendo la presión en superficie de estos puntos (p. ej., P1: 10°E-45°N, P2: 0°-45°N, ..., P9: 10°E-35°N. Fig. 1), se han hallado los valores de las 8 variables descritas anteriormente, a partir de las expresiones analíticas del Cuadro II. Hay que decir que retículas de características similares han sido utilizadas para otros análisis centrados en el área del Mediterráneo Occidental (Laita, 1995). El cálculo de este parámetro se basa en presupuestos utilizados igualmente para el cálculo automático de situaciones sinópticas (Martín Vide, 2002).

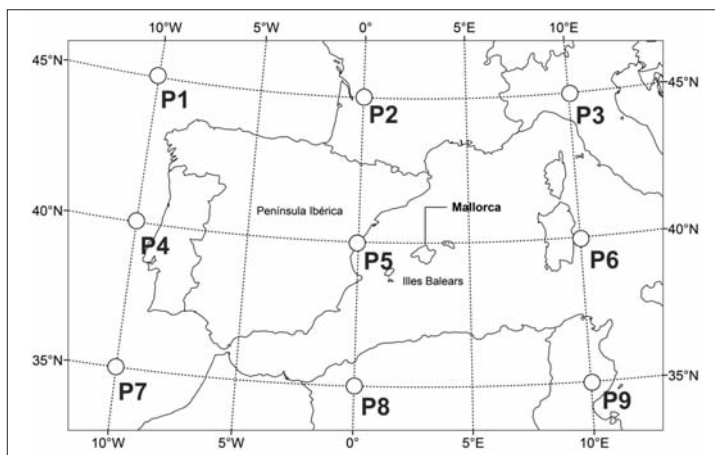


Fig. 1. Retícula para la aplicación del método de Jenkinson y Collison, con una desviación de 5° hacia el Este con respecto a la propuesta por Spellman (2000) para la península Ibérica.

Cuadro I. Expresiones analíticas para la península Ibérica de las variables del método de Jenkinson y Collison (1977).

$P = 0,0625[(P1+P3+P7+P9)+2(P2+P4+P6+P8)+4P5]$
$W = 0,25[(P7+2P8+P9)-(P1+2P2+P3)]$
$S = 0,653[0,25(P3+2P6+P9)-0,25(P1+2P4+P7)]$
$D = \arctg (W/S)$
$F = (W2+S2)1/2$
$ZW = 1,056[(P7+2P8+P9)-(P4+2P5+P6)]-0,951[(P4+2P5+P6)-(P1+2P2+P3)]$
$ZS = 1,305[0,25(P3+2P6+P9)-0,25(P2+2P5+P8)-0,25(P2+2P5+P8)+0,25(P1+2P4+P7)]$
$Z = ZW + ZS$

A partir de los valores de estas 8 variables, se aplican las cinco reglas siguientes para obtener el tipo sinóptico correspondiente:

1. La dirección del flujo viene dada por **D** (se usa una rosa de vientos de 8 rumbos, y se tiene en cuenta el signo de **W** y de **S**)
2. Si $|Z| < F$: Existe un tipo advectivo o direccional puro, definido según la regla 1 (N, NE, E, SE, S SW, W y NW).
3. Si $|Z| > 2F$: Existe un tipo ciclónico (C) si $Z > 0$, o anticiclónico (A) si $Z < 0$.
4. Si $F < |Z| < 2F$: Existe un tipo híbrido, según el signo de **Z** (regla 3) y la dirección del flujo (regla 1) (CN, CNE, CE, CSE, CS, CSW, CW, CNW, AN, ANE, AE, ASE, AS, ASW, AW y ANW).
5. Si $F < 6$ y $|Z| < 6$: Existe un tipo indeterminado (U).

3. Aplicación del método de Jenkinson y Collison a la isla de Mallorca

Con las correcciones ya mencionadas respecto del método propuesto por Spellman (2000) para la península Ibérica, se han calculado las situaciones sinópticas de los

días de precipitación igual o superior a 200 mm en la isla de Mallorca, habiéndose encontrado 49 casos con estos valores pluviométricos, distribuidos entre los años 1939 y 2001. En el Cuadro II se presentan estos 49 episodios fechados, y los resultados para cada uno de ellos de las variables establecidas según el método que se aplica, así como los tipos sinópticos resultantes y el cuadrante meteorológico que indica la dirección del viento dominante. Por otro lado, en el Cuadro III se resumen los tipos sinópticos recogidos en los 49 casos del Cuadro II. El Cuadro IV presenta, como complemento clarificador, la relación de los cuadrantes meteorológicos que indican la dirección del viento en superficie.

Los tipos sinópticos resultantes se señalan con las letras A (Anticiclónico) i y C (Ciclónico) si son anticiclones o ciclones puros, y, si es el caso, la componente direccional del viento para ese tipo: N (Norte), S (Sur), E (Este) o W (Oeste). En los casos en los que el tipo sinóptico corresponde a una Advección, se indica simplemente con la letra de la correspondiente componente direccional del viento: N, S, E o W. Los tipos inclasificables son los que se indican con la letra U.

El corodiagrama de la Figura 2, realizado a partir de las frecuencias relativas de los tipos sinópticos obtenidos, muestra con

claridad la predominancia del tipo ciclónico (C) –no en vano, se presenta en el 51,02% del total de los casos–, y sus tipos homólogos CNE (ciclónico con componente Nordeste) y CE (ciclónico con componente Este), que juntos representan el 16,32% de los casos.

Ello coincide con las comprobaciones de RASO NADAL (1978) según las cuales los mayores valores de precipitación en las islas Baleares se relacionan con ciclogénesis mediterráneas a modo de borrascas centradas y flujos de componente Este.

Cuadro II. Valores de las variables y tipo sinóptico según el método de Jenkinson y Collison para las fechas con precipitación igual o superior a 200 mm, en algún observatorio de la isla de Mallorca.

Fecha	P	W	S	D	F	Zw	Zs	Z	Tipo Sinóp.	Cuadrante
6/11/39	1019,88	11	3,918	70,395	11,68	-15,75	-4,57	-20,3	AW	III
28/9/40	1015,31	-1,75	-1,143	56,855	2,09	16,692	-3,59	13,1	C	I
16/4/42	1010,81	-9,25	-1,796	79,014	9,423	19,131	6,851	26	C	I
17/4/42	1009,5	-2,5	-3,265	37,441	4,112	11,517	-5,22	6,3	CNE	I
26/11/42	1018,13	-11,5	-2,612	77,203	11,79	19,662	-9,79	9,87	E	I
20/11/43	1016,19	-8,25	-4,081	63,679	9,204	21,348	2,284	23,6	C	I
11/10/46	1014,75	-3,85	-4,081	43,33	5,611	8,0223	6,394	14,4	C	I
24/1/48	1007,24	7,025	-1,91	-74,79	7,28	20,241	18,76	39	C	IV
21/1/51	1013,43	3,95	-9,273	-23,07	10,08	-13,62	6,003	-7,62	W	IV
14/3/55	1017,35	-2,45	-1,273	62,538	2,761	14,337	-14,9	-0,54	U	I
3/10/57	1014,22	-11,025	-5,665	62,805	12,4	28,091	8,58	36,7	C	I
4/10/57	1016,85	-8,5	-6,661	51,918	10,8	19,891	1,305	21,2	C	I
27/2/58	1017,94	-1,825	-17,29	6,026	17,38	14,368	-9,43	4,94	N	I
8/10/58	1020,64	-4,475	-5,469	39,292	7,066	0,9669	2,186	3,15	NE	I
17/11/58	1019,56	-6,575	-0,8	83,063	6,623	9,156	-1,79	7,36	CE	I
6/10/58	1019,75	1E-13	-3,885	-2E-12	3,885	-3,613	2,48	-1,13	U	IV
7/10/58	1019,07	-3,425	-5,142	33,665	6,179	8,0112	8,189	16,2	C	I
8/6/59	1018,84	-7,425	-11,12	33,738	13,37	6,7698	-4,73	2,04	NE	I
21/10/59	1021,08	-6,9	-8,62	38,677	11,04	17,818	7,83	25,6	C	I
22/10/59	1025,57	-6,825	-0,767	83,586	6,868	-10,36	-0,42	-10,8	AE	I
7/12/60	1000,13	6,7	2,6773	68,218	7,215	37,132	-6,13	31	C	III
8/12/60	1004,51	1,225	-11,25	-6,216	11,31	31,265	20,78	52	C	IV
24/9/71	1020,13	-4,1	0,3592	-84,99	4,116	4,7586	3,654	8,41	C	II
31/12/72	1021,12	-8,675	-5,338	58,393	10,19	16,141	-2,12	14	CNE	I
1/10/73	1016,94	-7,125	-9,354	37,296	11,76	8,4384	4,926	13,4	CNE	I
2/10/73	1015,98	-7,75	-5,942	52,521	9,766	22,457	4,698	27,2	C	I
17/2/74	1008,73	1,25	-7,379	-9,615	7,484	8,2905	16,7	25	C	IV
29/3/74	1011,62	-7,025	-3,836	61,361	8,004	3,2412	6,231	9,47	CE	I
30/3/74	1015,66	-8,125	-10,37	38,089	13,17	21,675	0,294	22	CNE	I
3/11/75	1023,14	-2	-5,191	21,069	5,563	2,9919	-0,07	2,93	N	I
4/11/75	1026,16	-8,45	-4,93	59,739	9,783	4,0458	-5,94	-1,89	NE	I
14/1/78	1016,45	-7,45	-4,604	58,286	8,758	30,949	-1,17	29,8	C	I
18/10/78	1012,26	-1	-9,305	6,1338	9,359	16,047	6,199	22,2	C	I
19/10/78	1013,91	-12,475	-7,232	59,898	14,42	43,642	6,036	49,7	C	I
20/10/78	1015,81	-9,6	-7,085	53,572	11,93	40,332	0,065	40,4	C	I
1/3/79	1014,53	2,225	-4,228	-27,75	4,778	7,7928	21,04	28,8	C	IV
21/12/79	1011,88	-12,6	-7,183	60,313	14,5	16,621	3,393	20	CNE	I
22/12/79	1004,78	-1,625	-11,28	8,1972	11,4	65,187	3,948	69,1	C	I
27/12/80	1025,9	2,05	-13,94	-8,365	14,09	-6,795	-7,31	-14,1	AW	IV
22/4/81	1014,8	-12,9	-3,494	74,847	13,36	20,171	7,569	27,7	C	I
29/9/86	1024,82	-11,475	-1,094	84,555	11,53	10,736	-4,08	6,66	E	I
6/9/89	1017,02	-10,925	1,2244	-83,61	10,99	10,049	0,228	10,3	S	II
8/10/90	1013,08	-7,825	-8,048	44,194	11,23	23,745	9,298	33	C	I
9/10/90	1017,83	-11,275	-4,979	66,173	12,33	17,401	-0,62	16,8	CE	I
5/10/95	1017,03	1,375	0,5714	67,435	1,489	-7,238	10,73	3,5	U	III
10/11/01	1015,37	-17,575	-11,74	56,263	21,13	-3,39	4,274	0,88	NE	I
14/11/01	1015,48	-4,525	-12,72	19,586	13,5	47,719	0,033	47,8	C	I
15/11/01	1020,01	-13,4	-6,628	63,682	14,95	32,309	6,068	38,4	C	I
15/12/01	1020,48	-10,375	1,5509	-81,5	10,49	33,646	-4,14	29,5	C	II

Cuadro III. Frecuencias absolutas y relativas de los tipos sinópticos existentes para las fechas con precipitación igual o superior a 200 mm en algún observatorio de la isla de Mallorca.

Tipo Sinóptico	Frecuencia Abs.	Frecuencia Rel. (%)
C	25	51,02
CNE	5	10,20
NE	4	8,16
CE	3	6,12
U	3	6,12
AW	2	4,08
E	2	4,08
N	2	4,08
W	1	2,04
AE	1	2,04
S	1	2,04
Total	49	100

Cuadro IV. Frecuencias absolutas y relativas de los cuadrantes meteorológicos que indican la dirección de viento dominante en superficie para los días de precipitación igual o superior a 200 mm en la isla de Mallorca.

Cuadrante	Frecuencia Abs.	Frecuencia Rel.
I	36	73,47
II	3	6,12
III	3	6,12
IV	7	14,29
Total	49	100

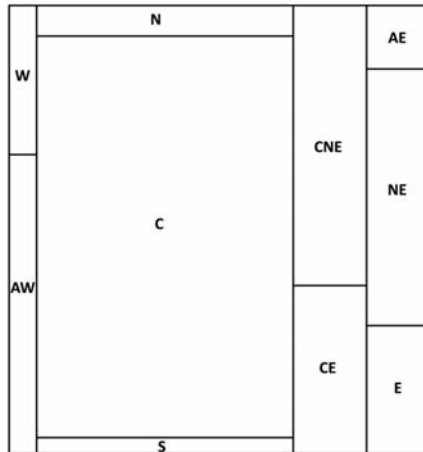


Fig. 2. Corodiagrama de las frecuencias relativas de los tipos sinópticos existentes para las fechas con precipitación igual o superior a 200 mm en algún observatorio de la isla de Mallorca.

Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos, visibles en los tablacuadros 2, 3 y 4, se observa que un 67,3% de los días con precipitación igual o superior a 200 mm en la isla de Mallorca pueden clasificarse como ciclónico (C) o ciclónico con componente Este (CNE o CE). De otro lado, un 12,2% se ha clasificado como de tipo advectivo con componente Este (NE o E). Todo ello pone de relieve el hecho importante de que el 79,5% de los episodios de precipitación que han superado los 200 mm en la isla de Mallorca –durante el período 1939-2000– presenta una circulación ciclónica bien diferenciada, o bien flujos en superficie de componente Este o ciclónicos con esta misma componente.

Aparecen, con todo, tres casos de tipo sinóptico anticiclónico, de los que dos casos corresponden a una componente Oeste (AW) y uno a una componente Este (AE), ocupando este tipo el 6,12% del total de los casos. Asimismo, se observan casos en los que aparecen otras componentes advectivas puras: dos de advección del Norte (N), una de advección del Oeste (W) y una de advección del Sur (S), que aunque se presentan con porcentajes bajos, no son menos interesantes, siendo igualmente interesantes los tres casos del tipo de situación que se ha convenido en nombrar como Inclasificable o Indeterminada (U). Se comprueba también que un 73,47% de los casos de viento en superficie es del cuadrante I, lo que deja aun más claro el hecho de que la mayoría de las situaciones presenta vientos en superficie de componente N, NE o E.

La predominancia de situaciones del Este responde a unos resultados esperados, teniendo en cuenta el importante aporte de humedad del mar Mediterráneo a las masas de aire que se encuentran en su seno, favoreciendo la ocurrencia de lluvias

torrenciales de manera similar a lo que ocurre en la parte levantina de la península Ibérica. También es esperada y lógica la abundancia relativa de situaciones de componente Norte, ya que la sierra de Tramuntana, siendo una alineación montañosa que discurre paralela e inmediata a la costa noroeste de la isla, a lo largo de unos 90 km, y con elevaciones que superan los 1.000 m, actúa como efecto de disparo en la formación de nubosidad orográfica de tormenta. Hay que mencionar también el hecho de que los notables registros pluviométricos debidos a una circulación de componente Norte encuentran su causa en la presencia de un área depresionaria en el centro y en la zona oriental de la cuenca del Mediterráneo occidental, cuyos centros de acción ocasionan importantes precipitaciones en las partes septentrional y oriental de las islas Baleares.

Agradecimientos

Trabajo financiado por el proyecto RECABA CGL2008-06129-C02-02/CLI, 2009-2011.

Bibliografía

CAPEL MOLINA, J.J. (2000): *El clima de la península Ibérica*, Ariel, Barcelona.

FONT TULLOT, I. (1983): *Climatología de España y Portugal*. Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

JENKINSON, A.F. y COLLISON, P. (1977): *An initial climatology of Gales Wales over the north North seaSea*, Synoptic Climatology Branch Memorandum, 62, Meteorological Office, London.

LAITA, M. (1995): *El fenómeno de El Niño y su influencia en el Mediterráneo occidental*. Tesis Doctoral inédita. Departament de Ciències de la Terra. Universitat de les Illes Balears. II vols.

LAITA, M. y GRIMALT, M. (1997): «Vorticity and pressure anomalies in the western Mediterranean during El Niño / Southern Oscillation extremes». *International Journal of Climatology*, vol. 17, núm. 5, pp. 475-482.

MARTÍN VIDE, J. (1991): *Mapas del tiempo: fundamentos, interpretación e imágenes de satélite*. Oikos-Tau, Barcelona, 170 pp.

MARTÍN-VIDE, J. (2002): «Aplicación de la clasificación sinóptica automática de Jenkinson y Collison a días de precipitación torrencial en el este de España». eEn CUADRAT, VICENTE y SAZ (ed.), *La información climática como herramienta de*

gestión ambiental, VII Reunión Nacional de Climatología, pp. 123-127, Asociación de Geógrafos Españoles, Universidad de Zaragoza.

LINÉS, A. (1981): *Perturbaciones típicas que afectan a la península Ibérica y precipitaciones asociadas*, Instituto Nacional de Meteorología, Madrid.

RASO NADAL, J. M. (1978): *El Clima de Baleares*. Universitat de Barcelona. Departament de Geografia. Tesis Doctoral.

SPELLMAN, G. (2000): «The application of an objective weather-typing system to the Iberian peninsula». *Weather*, Vol. 55, pp. 375-385.

*Reducción del riesgo de
extremos pluviométricos en
España: últimos avances*

Jorge Olcina Cantos

Instituto Universitario de Geografía
Universidad de Alicante

Territoris (2012), 8:
153-176

REDUCCIÓN DEL RIESGO DE EXTREMOS PLUVIOMÉTRICOS EN ESPAÑA: ÚLTIMOS AVANCES

Jorge Olcina Cantos

RESUMEN: Los extremos pluviométricos son un rasgo común de las condiciones climáticas en latitudes ibéricas. Las proyecciones climáticas señalan un posible incremento en la manifestación de lluvias torrenciales y sequías, lo que aumentará la peligrosidad climática de forma destacada. La reducción del riesgo en sociedades avanzadas se ha convertido en una acción prioritaria de los gobiernos. Se analizan las medidas de mitigación del riesgo de extremos pluviométricos (lluvias torrenciales causantes de inundaciones y sequías) en España, destacando las relacionadas con la ordenación del territorio, que han tenido un desarrollo importante durante los últimos años, impulsadas por la promulgación de una nueva generación de leyes del suelo y ordenación del territorio en el marco de la sostenibilidad ambiental y territorial.

PALABRAS CLAVE: Riesgo, inundaciones, sequías, medidas de reducción del riesgo, cartografía de riesgo.

ABSTRACT: Synoptic automatic or objective classifications such as Jenkinson and Collison's allow us to study the different atmospheric situations with a common base in our study area. They were applied to days of rainfall with a minimum of 200 mm in the island of Mallorca and achieved results that came very close to the expected ones.

KEYWORDS: Jenkinson and Collison classification, synoptic situation, Mallorca, rainfall, cyclonic, Balearic Islands.

Los modelos climáticos indican para las latitudes ibéricas, y especialmente para las regiones del Mediterráneo, un aumento de la irregularidad climática. Este es tal vez el aspecto más inquietante de la actual hipótesis de cambio climático por efecto invernadero, porque el desarrollo frecuente de extremos atmosféricos puede perturbar de forma importante la vida de las sociedades.

Con visión regional, en el marco de las latitudes medias, pero con una posición meridional –cuenca del Mediterráneo–, la menor disponibilidad de agua para una población creciente y el desarrollo frecuente de

fenómenos de torrencialidad pluviométrica se presentan como los procesos de causa atmosférica que van a caracterizar el incremento del riesgo en la cuenca del Mediterráneo (Fig. 1).

Se asiste, pues, a un momento decisivo en la historia reciente en latitudes mediterráneas, porque las consecuencias del cambio climático no presumen un escenario de menor riesgo frente a los peligros de la naturaleza sino que éste, de no ponerse en marcha programas de reducción del riesgo, se va a incrementar, con lo que ello supone de alteración de la dinámica socio-económica de los países ribereños.

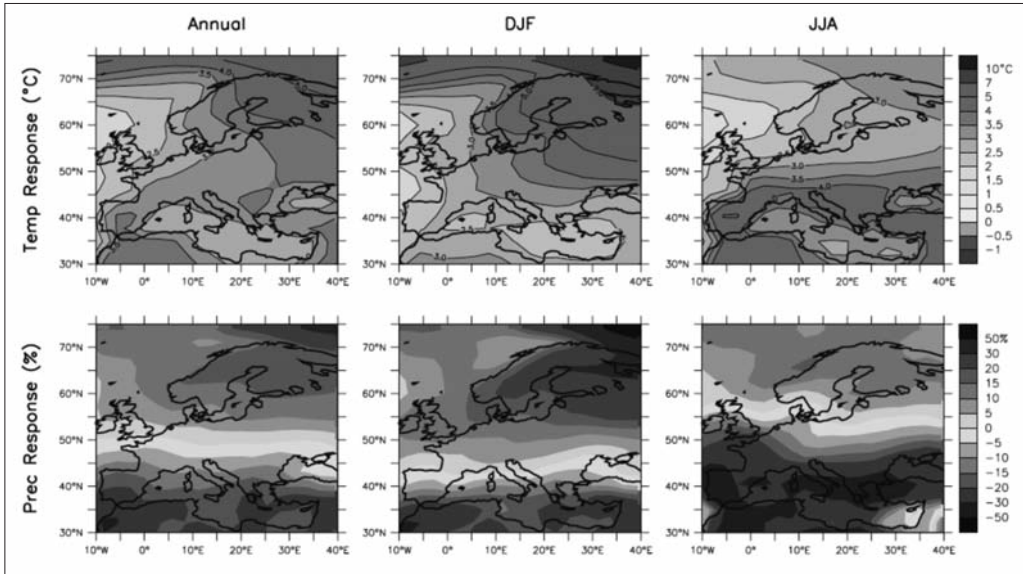


Fig. 1. Efectos del cambio climático por efecto invernadero en las temperaturas y las precipitaciones de la cuenca mediterránea. Fuente: IV Informe IPCC, 2007.

En relación con ello, en los últimos años se ha puesto en marcha en España diferentes políticas de prevención, reducción, mitigación o adaptación al cambio climático y a los extremos pluviométricos por parte de diversos actores, en relación con la escala de trabajo objeto de tratamiento. Europa, el Estado Español y las comunidades autónomas han desarrollado actuaciones ejecutivas y legislativas orientadas a la reducción mitigación o adaptación ante estos tres aspectos (cambio climático, inundaciones y sequías). Por su parte, la escala local resulta fundamental para la puesta en marcha de acciones en esta línea, aunque resultan escasas –para la importancia que deberían tener estas medidas locales– las actuaciones de este tipo llevadas a cabo al respecto en el conjunto de municipios españoles. Estas últimas se han orientado más a la prevención del cambio climático que a la reducción de riesgos naturales o, específicamente, climáticos (Cuadro I).

A la vista de la serie de medidas que se han desarrollado –y se siguen llevando a cabo– por parte de las diversas administraciones, se impone una reflexión: la necesidad de coordinar políticas y actuaciones; aspecto que no siempre se pone en práctica. Así por ejemplo, algunas Comunidades Autónomas han desarrollado, durante los últimos años, cartografía de riesgo de inundación y planes de reducción del riesgo basados en la ordenación del territorio. Los resultados de esta cartografía no son siempre coincidentes con los que se han desarrollado al amparo de la Directriz Básica de Inundaciones y no van a resultar coincidentes con el reciente programa cartográfico puesto en marcha por el Ministerio de Medio Ambiente, a través de las Confederaciones Hidrográficas (Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables) para el cumplimiento de la Directiva 60/2007 de gestión de inundaciones en el territorio europeo. Tendrán que establecerse

Cuadro I. Actores de las políticas de reducción del cambio climático y de extremos pluviométricos (inundaciones y sequías) en España.

ESCALA	POLÍTICAS	ESTADO
EUROPA	<ul style="list-style-type: none"> – Directiva Marco del Agua – Directiva de Gestión de Espacios Inundables – Fondos Europeos para la realización de actuaciones de prevención de riesgos hidrológicos (encauzamientos, trasvases) – Libro Verde del Cambio Climático en Europa 	<ul style="list-style-type: none"> – En fase de desarrollo – En fase de desarrollo – Ejecutado
ESTADO	<ul style="list-style-type: none"> – Legislación de aguas (Ley del Plan Hidrológico Nacional 2001, mod.) – Programa “Agua” – Legislación del suelo (Ley 8/2007) – Planes de Gestión de Sequías (Conf. Hidrográficas) – Estrategia de Adaptación al Cambio Climático (Oficina Española del Cambio Climático-MMA) – Predicción meteorológica – Directriz Básica de Inundaciones 	<ul style="list-style-type: none"> – En fase de desarrollo – Ejecutado – En fase de desarrollo – En fase de desarrollo – Ejecutado – En fase de desarrollo – Ejecutado – Ejecutado
CC.AA.	<ul style="list-style-type: none"> – Leyes y Planes de Ordenación del Territorio – Legislación del Suelo – Cartografía de riesgo de inundaciones – Programas de reutilización de aguas residuales urbanas (sequías) – Legislación que ampara la puesta en marcha de desaladoras – Planes regionales de adaptación al Cambio Climático – Planes de prevención de Inundaciones (Directriz Básica de Inundaciones) 	<ul style="list-style-type: none"> – En fase de desarrollo – En fase de desarrollo – En fase de desarrollo (algunas) – En fase de desarrollo – En fase de desarrollo (algunas) – En fase de desarrollo (algunas) – En fase de desarrollo (algunas)
DIPUTACIONES-COMARCAS	<ul style="list-style-type: none"> – Planes de infraestructura (abastecimiento de agua) – Planes de ordenación del territorio de escala subregional 	<ul style="list-style-type: none"> – Ejecutado – En fase de desarrollo (algunas)
LOCAL	<ul style="list-style-type: none"> – Planificación del suelo – Construcción de desaladoras –municipales– para garantizar abastecimiento – Planes municipales de prevención de inundaciones – Estrategias locales de mitigación del cambio climático 	<ul style="list-style-type: none"> – Ejecutado – Ejecutado – En fase de desarrollo (algunas) – En fase de desarrollo (algunas)

Elaboración propia

los mecanismos de cooperación precisos para evitar duplicidades de información. E idénticas consideraciones pueden señalarse con la cuestión de la realización de instalaciones de desalación cuya puesta en marcha desarrollan Comunidades Autónomas o algunos Ayuntamientos sin atender las actuaciones planificadas desde el Estado.

Es, por tanto, necesario desarrollar mecanismos de cooperación y gobernanza territorial necesarios para que las medidas y programas de reducción del riesgo y del cambio climático que se diseñan desde las diferentes Administraciones puedan llevarse a término por encima de disparidad de criterios y diferente priorización de éstas.

1. Políticas, medidas y estrategias de mitigación de inundaciones y sequías

La prevención de inundaciones y sequías se ha llevado a cabo en España en virtud de la aplicación de dos medidas principales:

- acciones curativas o actuaciones estructurales, esto es, realización de obras de infraestructura para reducir los efectos futuros de inundaciones y sequías. Este es el tipo de medidas que se han tenido un mayor desarrollo en nuestro país y siempre después de la ocurrencia de un evento catastrófico.
- actuaciones preventivas, que intentan evitar las consecuencias de sequías e

inundaciones a partir de la ordenación territorial y de la educación y comunicación social del riesgo. Estas medidas aunque tienen un desarrollo reciente en España, se presentan como el conjunto de acciones más sostenibles y económicas a medio y largo plazo.

La tabla adjunta recoge el conjunto de medidas llevadas a cabo para mitigar los efectos de los extremos hidrológicos en nuestro país.

A estas medidas hay que añadir el conjunto de ayudas económicas y declaraciones de zonas catastróficas a áreas afectadas por inundaciones o sequías, amparadas en decretos administrativos, estatales o autonómicos y la implantación de sistemas de seguro, agrarios, particulares y colectivos.

Cuadro II. Medidas, políticas y estrategias para la reducción de extremos hidrológicos llevadas a cabo en España.

INUNDACIONES		SEQUÍAS
<ul style="list-style-type: none"> - Adaptación de actuaciones territoriales a la dinámica torrencial de los cursos fluviales - Riesgos de turbias - Aterrazamientos - Avisos a las poblaciones (toque de campanas, soplido de caracolas, telégrafo, teléfono,...) - Gaviones de protección ante crecidas - Embalses 	<p>ACTUACIONES TRADICIONALES</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Acueductos - Embalses - Perforación de pozos - Aprovechamiento de aguas pluviales (aljibes) - Riegos de turbias - Rogativas "pro pluviam"
<ul style="list-style-type: none"> - Predicción meteorológica - Presas de laminación de crecidas - Canalizaciones - Desvío y nuevo trazado de tramos de cauces - Colectores de agua pluvial en áreas urbanas - Elaboración de cartografía de riesgo 	<p>ACTUACIONES ENCAMINADAS A INCREMENTAR LA OFERTA DE RECURSOS EXISTENTES</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Incremento artificial de precipitaciones - Sobreexplotación de acuíferos - Trasvases - Desalación de aguas marinas y salobres continentales
<ul style="list-style-type: none"> - Planes de reducción del riesgo mediante ordenación territorial - Legislación del suelo y de la ordenación del territorio - Educación para el riesgo - Comunicación del riesgo 	<p>ACTUACIONES ORIENTADAS AL APROVECHAMIENTO RACIONAL DE LOS RECURSOS EXISTENTES (de riego localizado)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Educación ambiental. Medidas de ahorro en los domicilios - Planificación racional de los usos agrarios del agua (políticas agrarias, ordenación de regadíos, selección de cultivos rentables, adopción de sistemas - Reutilización de aguas residuales depuradas - Control de pérdidas y moderación del gasto en espacios urbanos

En este conjunto de medidas para la prevención de extremos pluviométricos en España, destacan tres actuaciones por su adecuación a los principios de la sostenibilidad territorial: la ordenación del territorio, la comunicación del riesgo y la educación para el riesgo. Las dos últimas apenas han merecido atención durante los últimos años en nuestro país; la ordenación del territorio, por su parte, está siendo empleada, desde hace una década, como una medida para la gestión prudente, racional y sensata del territorio. Y dicha gestión tiene en la reducción del riesgo un elemento básico, primero, para el buen funcionamiento de una sociedad.

2. La consideración de los riesgos naturales en los procesos de ordenación del territorio en España

El riesgo puede entenderse como la plasmación territorial de actuaciones llevadas a cabo por el ser humano en el medio natural y que no han tenido en cuenta el comportamiento, a veces extremo, de la naturaleza.

Las medidas de defensa ante riesgos naturales son variadas: preventivas (encaminadas a evitar daños) o paliativas (ideadas para reparar las pérdidas ocasionadas por un episodio natural de rango extraordinario); sectoriales (destinadas a encarar un único riesgo) o generales (que contemplan medidas orientadas a la defensa ante la totalidad de riesgos naturales que azotan un espacio geográfico); estatales o internacionales.

El avance en las prácticas de reducción del riesgo ha ido acompañado de la promulgación de abundante normativa legal, específica y sectorial, que contempla medidas para reducir los efectos de los diversos riesgos naturales. Entre estas disposiciones destacan las leyes orientadas a mejorar el “orden de cosas” en un territorio;

esto es, la ordenación de usos y actividades en un espacio geográfico a diversas escalas.

El conocimiento adecuado del medio es un factor básico en la configuración de morfologías territoriales y de tramas urbanas, y así ha sido valorado por la legislación urbanística y del territorio desde la conformación del urbanismo español contemporáneo a mediados del siglo XX. La propia Ley de 12 de mayo 1956 sobre Régimen del suelo y ordenación urbana contenía ya referencias a la necesidad de estudios sobre “el estado del territorio” (art. 9.2.a) a la hora de la planificación urbanística. Es cierto que las menciones a la necesaria inserción de estudios detallados del medio físico son escuetas y a ello se ha unido el escaso interés o la falta de formación específica en los equipos redactores de los documentos de ordenación del territorio y planeamiento municipal a la hora de analizar y valorar su importancia. La legislación estatal y, desde la década de los años ochenta del pasado siglo, las normas autonómicas sobre ordenación del territorio y planificación del suelo han ido incorporando esta cuestión en sucesivos textos legales. Los planes de ordenación territorial, a diferente escala, se han convertido en un instrumento clave para la plasmación de políticas del territorio. Y en este sentido, la redacción de un documento de planificación territorial, puede convertirse, en una herramienta eficaz para la prevención de la peligrosidad natural.

De los peligros naturales que afectan al territorio español, las inundaciones son las que han merecido un tratamiento más detallado en las normas territoriales y urbanísticas con objeto de reducir el riesgo. Por su parte, la sismicidad ha merecido un tratamiento específico, desde 1972, con la aprobación de sucesivas normativas de construcción sismorresistentes, de aplicación en territorios de elevada peligrosidad. Y junto a estos dos, otros peligros naturales

como vulcanismo, temporales de viento, sequías, fenómenos atmosféricos extraordinarios para la actividad agraria (granizos, heladas, viento) se contemplan también en la

normativa sectorial correspondiente (Cuadro III).

A este repertorio normativo habría que sumar la legislación ambiental y territorial

Cuadro III. Legislación ambiental y territorial y consideración de los riesgos naturales en España.

LEGISLACIÓN	CONSIDERACIÓN DE LA PELIGROSIDAD NATURAL
Ley de Costas (1988)	<ul style="list-style-type: none"> - Establece perímetros de protección de la costa. - Dominio Público Marítimo-Terrestre limitado por la zona afectada en los máximos temporales conocidos.
Ley de Aguas (2001)	<ul style="list-style-type: none"> - Establece perímetros de protección del Dominio Público Hidráulico y delimita zonas inundables (mod. del Reglamento de Dominio Público Hidráulico R.D. 9/2008).
Plan Hidrológico Nacional (2001)	<ul style="list-style-type: none"> - Gestión de sequías e inundaciones. Las diferentes Demarcaciones Hidrográficas han ido redactando Planes de Gestión de Sequías. - Necesidad de cooperación entre administraciones a la hora de tener en cuenta los riesgos del agua en la planificación territorial.
Ley del Suelo (2008)	<ul style="list-style-type: none"> - Zonas con riesgo natural deben declararse suelo no urbanizable. - Incorporación de mapas de riesgo en el informe de sostenibilidad ambiental que acompaña los documentos de planeamiento.
Normativa sismorresistente (2002) y Código Técnico de Edificación (2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Determina las zonas con riesgo sísmico. Establece normativa para la construcción de edificaciones en las zonas con riesgo - Exigencias de seguridad de edificios frente a rayos, escorrentías, sismos. Exigencia de instalaciones para el suministro sostenible de agua.
Ley del Seguro Agrario Combinado (1978)	<ul style="list-style-type: none"> - Incluye la necesidad de realizar estudios de peligrosidad de episodios atmosféricos de rango extraordinario (heladas, granizos, viento, etc.).
Directrices Básicas de Protección Civil (1994 y 1995)	<ul style="list-style-type: none"> - Recomienda la elaboración de cartografía de riesgo (sísmico, volcánico y de inundaciones).
Legislación de impacto ambiental (2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Actividades, planes y programas deben someterse a procedimientos de evaluación de impacto. Tanto en los informes de sostenibilidad ambiental (planes y programas) como en los estudios de impacto ambiental debe relacionarse un análisis de riesgos con inclusión de cartografía.
Derecho a la información en materia ambiental (2006)	<ul style="list-style-type: none"> - Cuando exista amenaza inminente para la salud humana, las administraciones deben difundir toda la información existente al respecto.
Gestión Medioambiental (Reglamento UE 761/2001)	<ul style="list-style-type: none"> - En las de carácter territorial debe incluirse un análisis de riesgos.

de las Comunidades Autónomas que tienen competencias amplias en estas cuestiones y que en algunos casos han ido aprobando normas –y planes– que contemplan la reducción del riesgo mediante la ordenación territorial; y asimismo, los documentos (Estrategia Territorial Europea, 1999 y Agenda Territorial Europea 2007) y las normativas emanadas desde Europa (Directiva del Agua, 2000 y Directiva de gestión de espacios inundables, 2007) que, adaptadas en mayor o menor medida a la legislación estatal, son asimismo de obligada observan-

cia en los procesos de planificación territorial.

En la actualidad, cualquier plan o programa de actuación territorial que se apruebe en nuestro país debe incorporar un análisis de riesgos y su correspondiente cartografía. De manera que si no existe normativa autonómica derivada, debe cumplirse lo establecido en la Ley 9/2006, de evaluación ambiental de planes y programas y en el R.D. Legislativo 2/2008 del suelo, en esencia lo dispuesto en sus artículos 12 y 15. (Fig. 2).

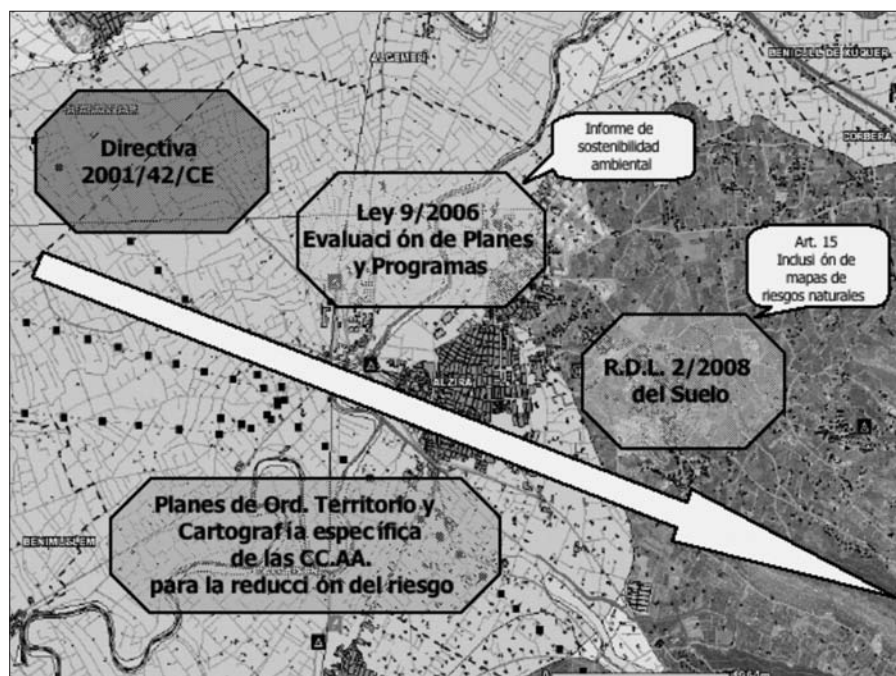


Fig. 2. Incorporación de los análisis de riesgo a la planificación territorial y urbanística.

Algunas Comunidades Autónomas han desarrollado en los últimos años leyes y planes de ordenación territorial para la reducción de los riesgos –básicamente inundaciones– con lo que la elaboración de

cartografías de riesgo y la aplicación de determinaciones específicas para la reducción de los riesgos es un procedimiento habitual en los procesos de planeamiento territorial y urbanístico.

Como se ha indicado, las inundaciones han merecido atención preferente entre las medidas de reducción del riesgo mediante la planificación prudente del territorio. Es diversa la relación de planes orientados a la

reducción de las inundaciones con medidas de ordenación del territorio. La tabla adjunta resume la tipología de planes de prevención del riesgo de inundaciones existentes en España (Cuadro IV).

Cuadro IV. Tipos de planes para la reducción del riesgo de inundaciones en España.

TIPOS DE PLANES	ÁMBITOS
DIRECTIVA 60/2007 DE GESTIÓN DEL RIESGO DE INUNDACIONES EN EUROPA	<ul style="list-style-type: none"> - De obligado cumplimiento en todos los países europeos. - Planes de Gestión de Inundaciones - Elaboración de cartografía de riesgo de inundación (Sistema Nacional de Cartografía de Áreas Inundables. Ministerio de Medio Ambiente)
DE PROTECCIÓN CIVIL CON REPERCUSIÓN EN LOS PROCESOS DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO (BASADOS EN LA DIRECTRIZ BÁSICA DE INUNDACIONES DE 1995)	<ul style="list-style-type: none"> - Ámbito regional → Planes de Emergencia de las Comunidades Autónomas <ul style="list-style-type: none"> - Navarra - Galicia - País Vasco - Comunidad Valenciana - Cataluña (INUNCAT) - Andalucía - Ámbito local → El 75 % de los municipios españoles carece de planes municipales de emergencia para la prevención del riesgo de inundaciones.
DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO (BASADOS EN LAS LEGISLACIONES AUTONÓMICAS DE ORDENACIÓN DEL TERRITORIO)	<p>Específicos</p> <ul style="list-style-type: none"> - Enfoque integral de cuenca <ul style="list-style-type: none"> País Vasco (Plan Territorial Sectorial de Ordenación de Márgenes de los Ríos y Arroyos de la Comunidad Autónoma del País Vasco, Vertiente Cantábrica, 1998 y Vertiente Mediterránea, 1999) Cataluña (Planes de Espacios Fluviales) - Enfoque municipal <ul style="list-style-type: none"> Andalucía (Plan de Prevención de Avenidas e Inundaciones en cauces urbanos andaluces, 2002) Comunidad Valenciana (Plan de Acción Territorial para la Prevención del Riesgo de Inundaciones en la Comunidad Valenciana, 2003) <p>Generales (contemplan el riesgo de inundaciones)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Planes Territoriales de escala regional o subregional de las Comunidades Autónomas que incluyen indicaciones sobre el riesgo de inundaciones <ul style="list-style-type: none"> - Andalucía - País Vasco - Canarias - Baleares - Murcia (litoral) - Aragón - Castilla y León - Navarra
PLANIFICACIÓN URBANA	<ul style="list-style-type: none"> - Planes Generales de Ordenación Urbana que recogen normas para la reducción del riesgo de inundación <ul style="list-style-type: none"> - Ley del Suelo 2008 - Leyes del Suelo y de Ordenación del Territorio de las Comunidades Autónomas - Planes específicos para la reducción de escorrentías urbanas: <ul style="list-style-type: none"> - Plan contra las inundaciones de la ciudad de Alicante - Plan de instalación de depósitos de agua pluvial de Barcelona

Destacan las experiencias del País Vasco y de la Comunidad Valenciana que han desarrollado planes sectoriales de ordenación del territorio para la reducción del riesgo de inundaciones. En el País Vasco se han desarrollado los Planes Territoriales Sectoriales de Ordenación de Márgenes de los Ríos y Arroyos de la Comunidad Autónoma del País Vasco (vertiente Cantábrica, 1998 y vertiente Mediterránea, 1999). Se trata de una de las figuras de ordenación (plan territorial sectorial) prevista en la legislación vasca de ordenación del territorio cuyo desarrollo, para la cuestión específica de las inundaciones, estaban previsto en el

propio documento de Directrices de Ordenación del Territorio, aprobadas definitivamente en 1997. Se trata de unos interesantes documentos, con rango normativo, sobre tratamiento integral de las márgenes de cursos fluviales, pionero, en su carácter, en el conjunto de regiones españolas. En ellos se manejan 3 componentes (Medioambiental, Hidráulica y Urbanística) a partir de las cuales se realiza una tipología de márgenes, cada una de las cuales con sus criterios de ordenación específicos. El Cuadro V sintetiza dichos criterios para cada una de las categorías identificadas.

Cuadro V. Tipos de márgenes y regulación de usos contemplada en los planes territoriales sectoriales de ordenación de las márgenes de los ríos y arroyos del país vasco (vertientes cantábrica y mediterránea).

COMPONENTES	TIPOS DE MÁRGENES	USOS PROHIBIDOS
Medioambiental	De interés naturalístico preferente	Se establece una «Área de Protección de Cauce» en la que se prohíbe toda operación que implique la alteración del medio. A falta de documentos de ordenación específicos se respetará un retiro mínimo de 50 m. a la línea de deslinde del cauce público. Se prohíbe la instalación de industrias agrarias, extractivas, instalaciones técnicas de servicio de carácter no lineal, escombreras y vertederos de residuos sólidos.
	Con vegetación bien conservada	Se respetará un retiro mínimo de 10 m. respecto del borde exterior de la orla de vegetación de ribera para cualquier intervención de alteración del terreno natural.
	En zonas con riesgo de erosión, deslizamientos y vulnerabilidad de acuíferos	Se evitarán actividades que impliquen deterioro de la cubierta vegetal o lleven aparejados movimientos de tierras. Se prohíben los vertidos que puedan contaminar los acuíferos, escombreras y vertederos de residuos sólidos

Hidráulico	Con necesidad de recuperación	Prohibidas las industrias agrarias (salvo piscifactorías), escombreras y vertederos de residuos sólidos, residencial aislado e instalaciones peligrosas
	Se distinguen 8 tramos, desde arroyos con cuenca afluyente entre 1 y 10 km ² hasta tramos de ríos con superficie de cuenca afluyente superior a 600 km ²	Las líneas de inundación establecidas en el Plan Integral de Prevención de Inundaciones del País Vasco y en el Estudio Hidráulico de los Ríos Autonómicos se incluyen con la finalidad de informar sobre las zonas urbanas inundables que deben ser objeto de medidas de protección y no con el fin de establecer «Líneas de retiro de la edificación».
Urbanístico	Márgenes en ámbito rural	Se prohíbe la cobertura de cauces con cuenca afluyente superior a 0,5 km ² .
	Márgenes ocupadas por infraestructuras de comunicaciones interurbanas	Las nuevas vías de comunicación interurbana se diseñarán para que no queden afectadas por avenidas de período de retorno de 500 años.
		En zonas inundables por avenidas de 500 años se prohíbe en los edificios de nueva planta la habilitación de viviendas y locales para la residencia permanente de personas por debajo de la cota de inundación de 500 años.
	Márgenes de ámbitos desarrollados	En las zonas inundables por las avenidas de 10 años se prohíbe la instalación de equipos de seguridad y emergencia que puedan quedar fuera de servicio en caso de inundación. Se regulan los equipamientos comunitarios en áreas inundables así como los aparcamientos subterráneos ubicados dentro del perímetro de un área inundable.
	Márgenes con potencial de nuevos desarrollos urbanísticos	La totalidad de nuevos desarrollos urbanísticos se dispondrán preferentemente en zonas no inundables. Las nuevas tramas se diseñarán de forma que no dificulten el caudal de avenida sino que faciliten el avenamiento

Fuente: Gobierno Vasco. Departamento de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio.

Además de la regulación específica de usos en las diferentes categorías de márgenes señaladas, ambos Planes Territoriales Sectoriales integran una normativa general de aplicación a todas ellas que comprende, por ejemplo, desde tratamientos pormenorizados para aquellos puentes antiguos que situados en zonas urbanas «supongan un obstáculo hidráulico de cara a la prevención de inundaciones»; asimismo se señala que las actuaciones de protección y rehabilitación de cascos históricos situados en las márgenes de ríos en zonas potencialmente inundables «deberá compatibilizarse con las actuaciones de encauzamientos, rectificación, ampliación o apertura de cauces necesarias para la prevención de inundaciones». Para la protección de embalses de abastecimiento y captaciones de agua se define una banda de protección de 200 m. de ancho medida desde la línea correspondiente al máximo nivel normal de embalse, aguas arriba de la presa y dentro de su propia cuenca afluyente. Asimismo se incluye una normativa sobre infraestructuras próximas a los cauces (colectores, conducciones de agua, gaseoductos, redes de telecomunicaciones, etc.). Por su parte, para las actuaciones hidráulicas se señala que, con carácter general, se evitarán los encauzamientos cubiertos y, en áreas de nuevos desarrollos urbanísticos, se propondrán preferentemente, soluciones blandas que compatibilicen la prevención de inundaciones con la conservación de vegetación de ribera para favorecer la vitalidad ecológica de los ríos; en zonas urbanas con encauzamientos insuficientes se estudiarán formulas de tratamiento del lecho del río mediante el sistema de doble cauce.

En la Comunidad Valenciana, pese a la fecha temprana de aprobación de la Ley de Ordenación del Territorio (Ley 6/1989,

derogada por Ley 4/2004), no se ha redactado aún ningún documento de ordenación del territorio de escala regional (Estrategia Territorial Valenciana, según señala la Ley 4/2004). La figura de ordenación territorial de escala superior al municipio empleada ha sido el Plan de Acción Territorial que se define como el documento que desarrolla el Plan de Ordenación del Territorio de la Comunidad Autónoma y que puede tener a) carácter sectorial o, b) carácter integrado. Con referencia a los riesgos naturales, el gobierno autonómico ha elaborado, en fecha reciente (2003), un Plan de Acción Territorial de carácter sectorial para la prevención del riesgo de inundaciones (PATRICOVA, enero 2003) que intenta dar una solución integral de este fenómeno, a través de un diagnóstico de zonas de riesgo y de un conjunto de medidas estructurales y no estructurales que abarcan desde la escala de cuenca fluvial a la propia planificación de usos del suelo, de aplicación en la escala municipal (PGOU).

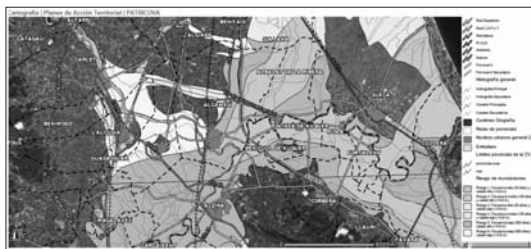
En la ficha adjunta se resumen los aspectos más relevantes del Plan de Acción Territorial de prevención del riesgo de inundaciones en la Comunidad Valenciana.

Son éstos dos ejemplos interesantes de empleo de la ordenación territorial como herramienta para la reducción del riesgo de inundaciones a escala regional. Hay otros, asimismo, relevantes (Islas Baleares, Cataluña, Andalucía). En todos ellos, las determinaciones territoriales están precedidas por la elaboración de una cartografía de riesgo (o al menos de peligrosidad) donde se clasifican las áreas en función del grado de riesgo que soportan. De ahí que la cartografía de riesgo se presenta como herramienta esencial para la planificación de usos en el territorio.

PATRICOVA

(Plan de Acción Territorial para la prevención del Riesgo de Inundaciones en la Comunidad Valenciana)

- Aprobado por Acuerdo del Consell de 28 de enero de 2003
- Los planes generales y sus modificaciones en trámite a partir de 20 de marzo de 2003 deben adaptarse al Patricova antes de su aprobación definitiva.
- Consultable en www.gva.es (Consellería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda).
- Integra 3 documentos: Memoria, Cartografía y Normativa Urbanística
- Doble escala de análisis: cuenca de drenaje y municipio
- Reducción del riesgo de inundación mediante medidas de ordenación territorial y actuaciones hidrológico-forestales.
- Se contempla la posibilidad de elaborar "estudios de inundabilidad" de detalle que deben incorporar los contenidos establecidos en los artículos 16 y 17
- Se ha cartografiado todo el territorio de la Comunidad Valenciana (escala de base, 1: 80.000, adaptada al Sistema de Información Territorial de la Comunidad Valenciana para que sea utilizable en planificación urbanística: escala 1: 2.000)
- Se han establecido 6 niveles de riesgo a partir de 2 variables: períodos de retorno (25, 100 y 500 años) y calado del agua (< 0 > 80 cm.)



Normativa urbanística y territorial

- Los Planes de Acción Territorial, los Planes Generales y sus instrumentos de desarrollo modificativos, deberán analizar las condiciones de drenaje superficial del territorio, tanto de las aguas caídas en su ámbito de actuación como las de las cuencas vertientes que le afecten. Dicho análisis se contendrá en la parte informativa de los mismos.
- El planeamiento general ha de clasificar como suelo no urbanizable de especial protección el dominio público hidráulico y las zonas de inundación de riesgo 1 (período de retorno de 25 años y calado superior a 80 cm.), salvo que estén clasificadas como suelo urbano. En tales zonas queda prohibida cualquier edificación no prevista en el planeamiento municipal a fecha 20 de febrero de 2003.
- No puede generar en modo alguno incremento significativo de riesgo de inundación en su término municipal ni en otros
- El suelo no urbanizable afectado por riesgo de inundación:
 - No puede ser reclasificado en urbanizable o urbano, salvo en municipios de elevado riesgo en los que justificadamente pueden también excepcionarse las limitaciones de uso siguientes:
 - En las zonas que han merecido nivel de riesgo 2, 3 ó 4 se prohíbe la construcción de viviendas, granjas, establecimientos hoteleros y campamentos de turismo, centros escolares o sanitarios, parques de bomberos, cementerios, y otros usos y actividades.
 - En las zonas con nivel de riesgo 5 ó 6, se prohíben los usos anteriores, pero se permite la construcción de viviendas y de establecimientos hoteleros, previa la adopción de medidas adecuadas de edificación.
- El **suelo urbanizable** afectado por riesgo de inundación sin programa para el desarrollo de actuaciones integradas (PAIs) ha de someterse a estudio de inundabilidad, que determinará la conveniencia de desclasificar todo o parte del suelo, las condiciones de ordenación pormenorizada precisas, las obras de defensa necesarias y la disposición y forma de las edificaciones
- El **suelo urbano o urbanizable** afectado por el riesgo analizado, con programa aprobado, debe analizarse por los ayuntamientos la incidencia de éste e imponer la adecuación correspondiente
- La ordenación pormenorizada de suelos urbanizables colindantes con los cauces debe disponer espacios libres y zonas verdes longitudinales a los mismos, con los requisitos establecidos para los jardines por la legislación urbanística, sin que puedan considerarse zonas verdes los espacios ocupados por los cauces
- En zonas sujetas a cualquier nivel de riesgo:
 - a) Las edificaciones de una planta deberán contar con azotea accesible desde el interior mediante escalera.
 - b) La disposición de las edificaciones no se orientará de forma transversal al sentido del flujo de la inundación.
 - c) Se prohíben usos residenciales, industriales y comerciales a cota inferior a la rasante de la calle.
- En **zonas de riesgo 2, 3 y 4**:
 - a) No se permitirán las plantas de sótano o semisótano, salvo en uso residencial intensivo y con destino exclusivo para aparcamiento de coches. Deberá cumplirse con una serie de requisitos:
 - 1) El acceso será estanco.
 - 2) Se contará con sistema de bombeo no conectado al alcantarillado y alimentado con grupo electrógeno.
 - 3) La rampa de acceso estará sobreelevada 10 cm sobre la rasante de la acera.
 - b) Las acometidas a la red de alcantarillado no permitirán el flujo de agua en sentido contrario.
 - c) Puertas, ventanas y cerramientos de fachada serán estancos hasta una altura de 1,5 metros sobre la rasante
- Los Planes Generales deben preservar las zonas de sacrificio y las vías de flujo desbordado, es decir, las llanuras de inundación y los canales de escorrentía.
- Los sistemas de drenaje de aguas pluviales se harán con las siguientes condiciones:
 - a) Estará dimensionadas para periodos de retorno de al menos 15 años;
 - b) El diámetro mínimo de las conducciones será de 400 mm;
 - c) Los imbornales y sumideros tendrán 50 cm. de longitud en los verticales de bordillo y 1.250 cm² de superficie en los horizontales.
- Se deben señalar los badenes inundables y los campamentos de turismo y zonas de acampadas situadas en áreas de riesgo.

3. Cartografías de riesgo: herramienta básica para la planificación territorial

La cartografía de riesgos es la herramienta de acreditación legal del nivel de peligrosidad y vulnerabilidad de un territorio ante un episodio natural de rango extraordinario. Se trata de un producto esencial en los estudios de riesgo natural que ha experimentado un avance muy notable en los últimos años en relación con la aplicación de las modernas tecnologías cartográficas. La posibilidad de relacionar, de forma inmediata, usos del suelo con la peligrosidad natural, a fin de establecer grados de exposición y vulnerabilidad ante un episodio de rango extraordinario, ha impulsado la elaboración de cartografías de riesgo; con la ventaja añadida de su posible actualización continua. La elaboración de un mapa de riesgo, donde se localicen territorios vulnerables ante un peligro climático y su nivel de riesgo es básica para la gestión eficaz de un espacio geográfico.

La ley del suelo 2008 (R.D. Legislativo 2/2008) ha venido a completar, de modo eficaz, el procedimiento para la clasificación del suelo no urbanizable en los territorios con riesgos naturales. Se mantiene la obligación de clasificar como suelo rural (no urbanizable) aquellos «con riesgos naturales o tecnológicos, incluidos los de inundación o de otros accidentes graves, y cuantos otros prevea la legislación de ordenación territorial o urbanística» (art. 12). Pero se ha avanzado un poco más respecto a la anterior Ley del Suelo de 1998 que no explicitaba la manera de «acreditar» el riesgo de un territorio. Evidentemente no hay mejor modo de acreditar el riesgo existente en un espacio geográfico que plasmando esta condición en un mapa. Por ello, en la nueva ley del suelo de 2008, a partir de ahora las actuaciones urbanísticas deben ir acompañadas de un informe de sostenibilidad ambiental donde se incluyan, entre otros

estudios, un mapa de riesgos naturales del ámbito objeto de ordenación (art. 15). Es la primera vez que una normativa del suelo española obliga a incorporar cartografía de riesgo entre la documentación que debe acompañar los nuevos desarrollos urbanísticos. No obstante, ni en la mencionada nueva ley del suelo española, ni en ninguna de las legislaciones del suelo y ordenación del territorio existentes en las Comunidades Autónomas, se contempla la posibilidad de expropiar propiedades situadas en zonas de alto riesgo, como se señala en la legislación francesa de reducción del riesgo mediante ordenación territorial (Ley Barnier 1995, mod. 2002). De ahí que la solución a los problemas de riesgo existentes tendrá que acudir, también, a la puesta en marcha de medidas estructurales.

En los últimos años se ha desarrollado cartografía de riesgo de peligros naturales extremos cuyo uso es esencial para el posterior establecimiento de medidas de planificación territorial. El Cuadro VI recoge las experiencias más destacadas para la delimitación del riesgo de inundaciones a diferentes escalas que se han puesto en marcha en Europa y España, durante los últimos años.

La aprobación de la Directiva 60/2007 de evaluación y gestión del riesgo de inundación en el territorio europeo, supone un avance definitivo en la consideración de políticas integrales de gestión del riesgo en Europa, donde se apuesta por la ordenación del territorio como medida principal de reducción de la vulnerabilidad. La Directiva obliga a la elaboración de una cartografía detallada de riesgo de inundación que debe incluir dos clases de mapas: «mapas de inundaciones» y mapas indicativos de los daños derivados de las inundaciones o «mapas de riesgo de inundación». Esta cartografía se realizará a escala de demarcación hidrográfica –según la denominación oficial contemplada en la Directiva Marco de Agua 2000/60– y deberá estar concluida en 2013.

Cuadro VI. Cartografía de riesgo para la reducción del riesgo de inundaciones mediante la ordenación del territorio en Europa y España.

UNIÓN EUROPEA	ESPN (Project 1.3.1.) EC-PESETA project (impacts of climatic change in Europe) ESPN (2007-2013)	MAPAS DE PELIGROSIDAD Y DE RIESGO 1:30.000.000 Resolución variable: de 5 Km. a 100 m. EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TERRITORIO EUROPEO
ESTADO (a partir de 2007)	Demarcaciones Hidrográficas	SISTEMA NACIONAL DE CARTOGRAFÍA DE ZONAS INUNDABLES (S.I.G., LIDAR) variable (1:750.000, 1:1.200.000; 1:1.400.000)
PAÍS VASCO (1998)	PLAN TERRITORIAL SECTORIAL	MAPAS 1:35.000
CATALUÑA (2000)	PLAN TERRITORIAL SECTORIAL	MAPAS 1:10.000 TO 1:1.000
VALENCIA (2004)	PLAN TERRITORIAL SECTORIAL	MAPAS BASE 1:80.000 CARTOGRAFÍA DE DETALLE 1: 2.000
ANDALUCIA (desde 1999)	PLAN DE ORDENACIÓN TERRITORIAL DE ESCALA REGIONAL Y PLANES SUBREGIONALES DE ORDENACIÓN	VARIABLE SEGÚN EL ÁREA DE TRABAJO --- REGIONAL 1:400.000 SUBREGIONAL 1:50.000 LOCAL 1: 10.000
MURCIA (2003)	PLAN TERRITORIAL GENERAL (FRANJA LITORAL)	MAPAS 1:275.000
MADRID (2007)	CARTOGRAFÍA REGIONAL DE RIESGO DE INUNDACIÓN	MAPAS 1: 30.000

Los **mapas de inundaciones** incluirán las zonas geográficas que podrían inundarse según las hipótesis siguientes:

- (a) alta probabilidad de inundación (período de retorno probable de 10 años);
- (b) probabilidad media de inundación (período de retorno probable de 100 años);
- (c) baja probabilidad de inundación (fenómenos extremos).

Para cada una de estos niveles de probabilidad tendrá que indicarse los niveles del agua previstos, la velocidad de la corriente, cuando proceda y las zonas en las que podría producirse erosión de las orillas y sedimentación de arrastres.

Por su parte, los **mapas indicativos de daños derivados de inundaciones** («mapas de riesgo de inundación») indicarán los daños potenciales asociados a éstas expresados por medio de los parámetros siguientes:

- (a) número de habitantes que pueden verse afectados
- (b) daños económicos potenciales en la zona
- (c) daños potenciales al medio ambiente.

Para el cumplimiento de lo establecido en esta Directiva se ha puesto en marcha en España el proyecto denominado «Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables» que desarrolla el Ministerio de Medio Ambiente. Una vez se elaboren los mapas de riesgo de todas las demarcaciones hidrográficas, estos constituirán la cartografía oficial de consulta a efectos de cumplimiento del art. 15 del R.D. Legislativo 2/2008, del Suelo. Mientras tanto, en aquellas Comunidades Autónomas que han desarrollado cartografías de riesgo, éstos son los que deben consultarse a efectos territoriales y urbanísticos, o bien los mapas que puedan existir derivados de los planes municipales de emergencia de las Directrices Básicas de Protección Civil.

En este nuevo contexto, hay que esperar un avance significativo en las cartografías de riesgo en los próximos años. Los mapas de riesgo de inundación tendrán que completarse con cartografía de riesgo de los restantes peligros naturales que afectan al territorio español en sus diferentes regiones, puesto que todos ellos –y también los mapas de riesgo tecnológico– son de obligada observancia a la hora de determinar la situación básica del suelo en los procesos de planeamiento urbano.

4. Soluciones frente a las sequías

El desarrollo de una secuencia seca activa un mecanismo de alerta cuyo objetivo básico es la obtención de recursos de agua para satisfacer las demandas. En los países ibéricos, ante una secuencia seca que causa una disminución acusada de recursos de agua superficiales, las soluciones tradicionales han consistido en la construcción de acueductos para dotar de aguas a espacios urbanos o agrarios o, en la tradición cristiana, la petición de ayuda al Santísimo mediante advocaciones realizadas a su persona o a Vírgenes o santos locales. En este sentido, hay una rica tradición de realización de «*rogativas pro pluviam*» en nuestro país cuyo ceremonial está recogido en los archivos eclesiásticos o civiles. En las tierras áridas del sureste ibérico (Almería, Murcia, Alicante) era común el aprovechamiento de aguas de avenida (riesgos de turbias) para paliar la natural aridez de los campos y proporcionar riegos eventuales a los cultivos.

Desde el último tercio del siglo XIX otra solución tradicional ante una secuencia de indigencia pluviométrica ha sido el aprovechamiento intenso de recursos de agua subterráneos. En España, la entrada en vigor de la Ley de Aguas de 13 de junio de 1879 estableció el marco legal para llevar a cabo este tipo de actuación, puesto que otorgaba

la propiedad de las aguas alumbradas a los propietarios que practicaran una perforación en sus predios. La ampliación de la superficie de regadío dependiente del uso de aguas subterráneas ocurrida a lo largo del presente siglo ha llevado a situaciones insostenibles de aprovechamiento de recursos hipogeos en algunas regiones españolas, agravadas en años de sequía. Algunos sistemas acuíferos, declarados por ley sobre-

explotados, siguen soportando una elevada presión de las extracciones con su corolario bajo la forma de pérdida de calidad de las aguas e incremento en los costes de extracción debido a la necesidad de practicar bombeos cada vez a mayor profundidad. Amén de repercusiones ambientales manifiestas, por ejemplo, en los humedales manchegos (Fig. 3).

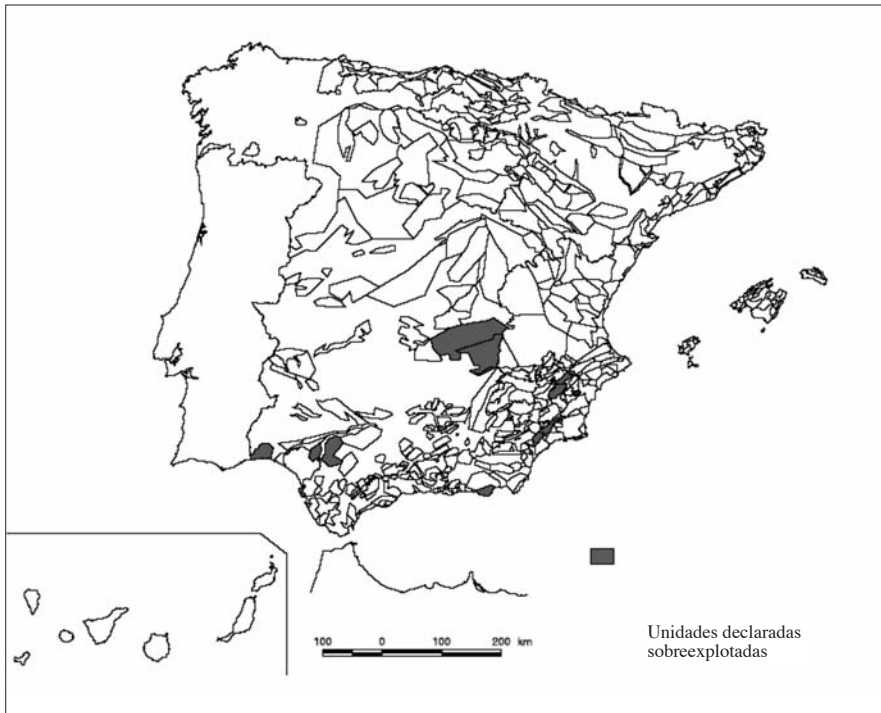


Fig. 3. Unidades hidrogeológicas declaradas sobreexplotadas en España. Fuente: Ministerio de Medio Ambiente. Libro Blanco del Agua, 2000.

Las actuaciones frente a las sequías son posibles una serie actuaciones que pueden agruparse en dos grandes grupos:

El primero de ellos reúne el conjunto de actuaciones que aboga por la regulación de los recursos existentes y si éstos no son suficientes para satisfacer las demandas

existentes el aumento de la oferta de recursos en una región o cuenca hidrográfica. Entre ellas se incluyen la construcción de embalses, los trasvases desde cuencas con excedentes de recursos a otras con déficit y, con carácter más reciente, el empleo de aguas desaladas de origen marino o

procedente de acuíferos salinizados. Escasos efectos han tenido los intentos de aumentar la oferta de precipitaciones mediante la siembra de nubes con yoduro de plata. Todas estas medidas cuentan con ejemplos en el territorio de la península Ibérica.

El segundo grupo tiene por objeto optimizar la oferta disponible de agua, es decir, aprovechar racionalmente los recursos existentes en una región o cuenca hidrográfica mediante medidas de educación ambiental, planificación racional de los usos agrarios del agua, políticas de reducción de la demanda (agrícola, urbana), reutilización de las aguas residuales. Se trata del conjunto de medidas que deberán constituir el eje de las políticas del agua en España y Portugal si nos atenemos a los principios de la sostenibilidad ambiental que se incluyen en la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea (Directiva 60/2000).

Cuando se desarrolla una secuencia de sequía en España se ponen en marcha una serie de mecanismos de la Administración. Se dictan decretos especiales con ayudas económicas para los sectores económicos más perjudicados por la falta de agua (principalmente el agrícola) y se crean Comisiones de Sequía encargadas de llevar a cabo el seguimiento temporal de la situación. En la última secuencia seca de 2005 España ha creado estas Comisiones y se han publicado decretos con medidas para paliar los efectos de sequía. El Ministerio de Medio Ambiente en España, es el organismo que coordina la información elaborada por esta comisión.

Junto a ello y en relación con la gestión de las sequías y las políticas hidráulicas llevadas a cabo en los dos países ibéricos, hay que señalar que éstas han estado presididas por el criterio del aumento de los recursos existentes en territorios con déficit de recursos estructural (sureste peninsular) o coyuntural (Júcar, Segura, Sur de España, Cuencas de Cataluña). La construcción de

embalses y la interconexión de cuencas han sido los ejes de la política hidráulica en ambos países con el fin de favorecer la extensión de la superficie de regadío o de asegurar los abastecimientos de agua en las ciudades. A esta filosofía de la planificación hidráulica responden el Plan Hidrológico Nacional de España de 2001, con la medida más importante del mismo, el trasvase de aguas desde el Ebro a las regiones del litoral mediterráneo (Cataluña, Valencia, Murcia y Almería). Se trata de una gran obra de infraestructura que tuvo fuerte contestación social. De hecho, el trasvase del Ebro, contemplado en el Plan Hidrológico Nacional español de 2001 fue finalmente derogado en junio de 2004.

Este planteamiento ha comenzado a cambiar en el contexto de una planificación del agua más sostenible. A la propuesta de Plan Hidrológico Nacional, convertida en Ley (Ley 10/2001), que tenía como actuación más destacada el trasvase de aguas desde el río Ebro hacia las regiones del litoral mediterráneo, ha seguido el Programa «Agua» puesto en marcha en 2004. El programa «Agua» apuesta por la utilización racional de los recursos existentes en las diferentes cuencas hidrográficas (depuración y reutilización, mejora de los regadíos) y en aquellas regiones con escasez natural de recursos, en general todas las del litoral mediterráneo, se ha optado por la instalación de plantas desaladoras para uso urbano y agrícola. La figura adjunta resume el conjunto de medidas adoptadas en el programa «Agua» (Fig. 4). Esta nueva filosofía en la planificación de recursos tiene en cuenta los principios de la Directiva Marco del Agua de la Unión Europea e intenta evitar los conflictos territoriales que suelen llevar consigo las transferencias de recursos de agua entre cuencas hidrográficas, como quedo de manifiesto tras la aprobación inicial del trasvase desde el río Ebro a las regiones mediterráneas.

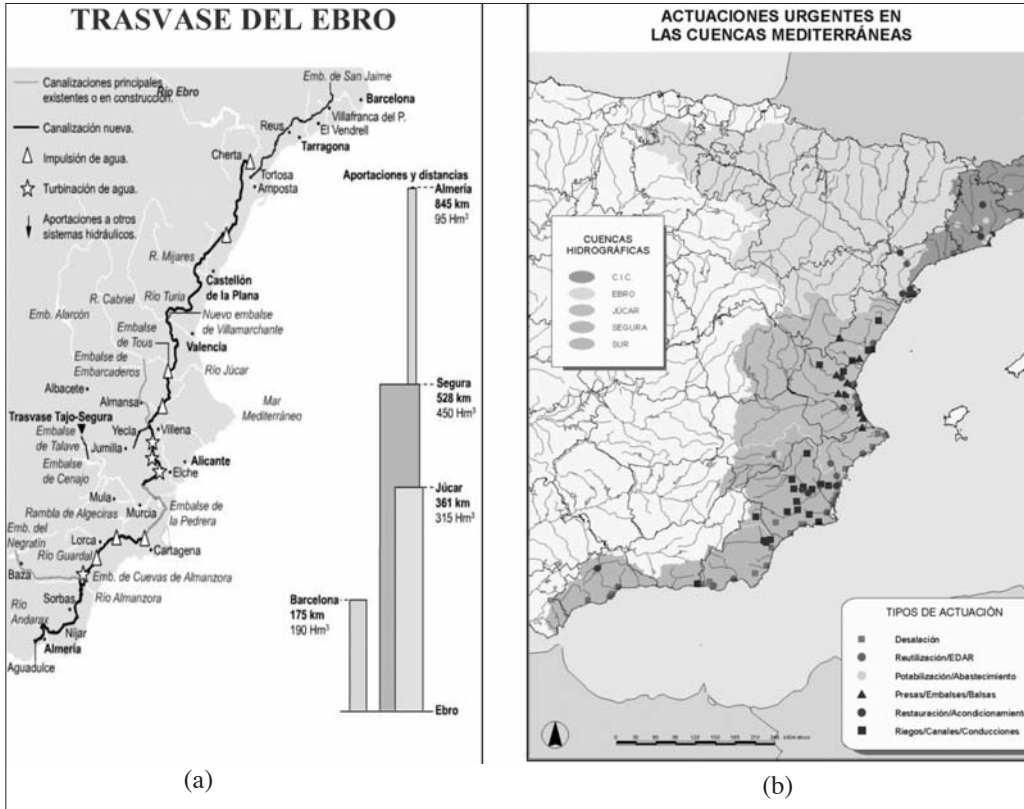


Fig. 4. Comparación de alternativas de planificación hidrológica en el litoral mediterráneo español. (a) Traspase del Ebro contemplado en el Plan Hidrológico Nacional de 2001, derogado. (b) Actuaciones contempladas en el programa «Agua» (2005). Fuente: Ministerio de Medio Ambiente.

Al margen de estas actuaciones llevadas a cabo en los dos países ibéricos, una apuesta fundamental para la gestión eficaz de las sequías es la educación de la población ante este episodio natural. En ambos países esta tarea constituye un eje importante de sus políticas hidráulicas, pero los avances en este sentido son lentos. En España algunas compañías de distribución de agua potable en grandes ciudades (Madrid, Sevilla, Barcelona, Valencia, Alicante, Murcia) llevan a cabo campañas de sensibilización y fomento del ahorro domiciliario de agua en períodos de sequía. Durante la sequía de

1990-95 el propio Ministerio de Medio Ambiente puso en marcha, de manera coordinada con las confederaciones Hidrográficas del centro y sur de España, una campaña de información y concienciación ciudadana para la implantación de medidas de ahorro de agua en los domicilios. Esta misma campaña se ha activado durante la última sequía de 2005. En algunas ciudades estas medidas han propiciado importantes ahorros en el consumo que llegan al 20% del agua consumida.

Iniciativas de este tipo están siendo difundidas en España entre la «Red de

ciudades y pueblos para la sostenibilidad», que agrupa a 140 municipios de Cataluña (70% de la población total), conscientes de la importancia de una gestión eficaz de los recursos de agua para garantizar un desarrollo sostenible en sus territorios. Es así como se puede garantizar una gestión del agua más eficaz, compatibilizando recursos y demandas para garantizar el mantenimiento de las actividades económicas actuales.

5. Un último eslabón: los planes de sequía de las confederaciones

hidrográficas

La Ley del Plan Hidrológico Nacional (Ley 10/2001), vigente, señala en su art. 27.2 que «los Organismos de cuenca elaborarán en los ámbitos de los Planes Hidrológicos de cuenca correspondientes, en el plazo máximo de dos años desde la entrada en vigor de la presente Ley, planes especiales de actuación en situaciones de alerta y eventual sequía, incluyendo las reglas de explotación de los sistemas y las medidas a aplicar en relación con el uso del dominio

Cuadro VII. Elaboración de planes de gestión de las sequías (art. 27, ley 10/2001) por parte de las Confederaciones hidrográfica y organismos del agua.

CONFEDERACIÓN u ORGANISMO GESTOR	ESTADO
NORTE	Elaborado
GALICIA COSTA	Por elaborar
AGENCIA VASCA DEL AGUA (Ley 1/2006)	Por elaborar
DUERO	Elaborado
EBRO	Elaborado
AGENCIA CATALANA DEL AGUA	Elaborado
TAJO	Elaborado
JÚCAR	Elaborado
SEGURA	Elaborado
GUADIANA	Elaborado
GUADALQUIVIR	Elaborado
AGENCIA ANDALUZA DEL AGUA	En la Cuenca Mediterránea Andaluza se ha creado un Comité de Gestión de Sequía. Por elaborar el Plan en los dos ámbitos de planificación y gestión (atlántico y mediterráneo)
BALEARES	Por elaborar
CANARIAS	Por elaborar

Fuente: Ministerio de Medio Ambiente. Confederaciones Hidrográficas.

público hidráulico. Los citados planes, previo informe del Consejo de Agua de cada cuenca, se remitirán al Ministerio de Medio Ambiente para su aprobación». En cumplimiento de este precepto, los diferentes organismos de cuenca ha elaborado Planes de Gestión de Sequías, tal y como se relaciona en la tabla adjunta

La estructura de los documentos elaborados es similar en todos los casos. Se realiza una delimitación del ámbito objeto de planificación, se analizan los aspectos climáticos de las sequías y se estudian los episodios más significativos ocurridos en los últimos decenios. Se estudian, a continuación, los recursos totales existentes y los volúmenes posibles en situaciones de sequía; se detallan escenarios de sequía, en relación con las precipitaciones y los volúmenes posibles en cada momento y se describen niveles de sequía. Por último, se concretan las medidas a tomar, los mecanismos de seguimiento y control del plan y el conjunto de requerimientos ambientales de la cuenca que se incluyen en la propia planificación y gestión de la situación de emergencia.

En todos los casos se ha hecho un esfuerzo muy notable de recopilación de datos existentes y de modelización de escenarios, para establecer niveles de riesgo ajustados a la realidad de cada cuenca. Se trata de un paso muy importante para la gestión más eficaz de las situaciones de sequía y base para la redacción de los nuevos Planes Hidrológicos de Cuenca (Demarcación Hidrográfica) que se están revisando –o lo harán en los próximos años– en cumplimiento de la Directiva Marco del Agua 2000/60. Y asimismo, van a ser pieza importante en futuras actuaciones de planificación del agua en España.

A este respecto, algunos municipios –entidades mancomunadas o ámbitos comarcales– españoles y sus organismos (empresas, mancomunidades, etc.) de distribución de aguas han elaborado, en los úl-

timos años, planes de emergencia en situación de sequía. Se trata de una iniciativa muy positiva que debería ser exigible legalmente a aquellos municipios de más de 20.000 hab. (Ley de Bases del Régimen Local). Se podrían adaptar, así, a la escala local las determinaciones previstas en los planes de sequía que han elaborado las confederaciones hidrográficas, diseñando escenarios concretos para cada ámbito.

6. Conclusiones

Las latitudes ibéricas van a ser escenario de un mayor desarrollo de excesos pluviométricos en las próximas décadas, si se cumplen las previsiones de cambio climático (IPCC, 2007). El carácter de territorio de riesgo de nuestra geografía se va a incrementar aún más por incremento de la peligrosidad natural. Es necesario que los territorios comiencen a adaptarse a esta realidad; debemos comenzar a planificar los nuevos territorios del cambio global, que van a ser afectados por las consecuencias del calentamiento planetario. En nuestro país, junto a la subida de temperaturas y el comportamiento más anárquico de las precipitaciones, los dos aspectos que deben preocupar a la hora de poner en marcha medidas de adaptación al cambio climático son el posible incremento de extremos atmosféricos (especialmente lluvias torrenciales y sequías) y el aumento estimado del nivel del mar.

En el conjunto de medidas de adaptación de los territorios al cambio climático y al aumento de la peligrosidad atmosférica, la ordenación del territorio se presenta como la más económica y racional en el moderno contexto de la sostenibilidad ambiental y territorial. En los últimos años se han puesto en marcha en nuestro país medidas y planes de reducción de extremos pluviométricos con estos supuestos. En ellos, la elaboración de cartografía de peligrosidad y vulnerabilidad es un aspecto básico para la determi-

nación posterior de restricciones en el futuro uso del suelo que favorezcan la reducción del riesgo. Es un aspecto que va a tener un importante desarrollo en el futuro, en el que la participación del geógrafo debe tener protagonismo destacado como especialista en cuestiones territoriales, climáticas y de análisis de riesgo.

Agradecimientos

Quisiera expresar mi enorme agradecimiento al Departament de Ciències de la Terra de la Universitat de les Illes Balears y, especialmente, a aquellas personas encargadas de la coordinación de este número homenaje de la revista *Territoris*, por la oportunidad ofrecida para expresar con este humilde trabajo la enorme conmoción y tristeza que ha supuesto la inesperada pérdida de Mercedes Laita para la climatología y geografía de nuestro país.

Bibliografía

AYALA-CARCEDO, F. J. y OLCINA CANTOS, J. (2002): *Riesgos Naturales*. Editorial Ariel. Col. Ciencia, Barcelona, 1512 pp.

BECK, U. (2002): *La sociedad del riego global*. Madrid, Ed. Siglo XXI.

DAUPHINE, A. (2003): *Risques et catastrophes. Observer, spatialiser, comprendre, gérer*. París, Armand Colin.

FLEISCHHAUER, M., GREIVING, S. y WANCZURA, S. (eds.) (2006): *Natural Hazards and Spatial Planning in Europe*, Versandbuchhandlung & Verlag Dorothea Rohn, Dortmund, 204 pp.

GENERALITAT VALENCIANA (2001): *Plan de Acció Territorial de caràcter sectorial sobre prevenció del risc de inundació en la Comunitat Valenciana*. Conselleria de Obres Públiques, Urbanismo y Transportes. Documento de exposició pública.

GIL OLCINA, A. (1989): «Causas climáticas de las riadas». En GIL OLCINA, A. y MORALES GIL, A. (eds.): *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*, Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, Alicante, pp.15-30.

GIL OLCINA, A. y MORALES GIL, A. (eds.) (1989): *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del mediterráneo*. Instituto Universitario de Geografía de la Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, Alicante, 586 pp.

GIL OLCINA, A., OLCINA CANTOS, J. y RICO AMORÓS, A. M. (Eds.) (2004): *Aguaceros, aguaduchos e inundaciones en áreas urbanas alicantinas*. Publicaciones de la Universidad de Alicante, Alicante, 735 pp.

IGME y CONSORCIO DE COMPENSACIÓN DE SEGUROS (2004): *Pérdidas por terremotos e inundaciones en España durante el período 1987-2001 y su estimación para los próximos 30 años (2004-2033)*. Consorcio de Compensación de Seguros, Madrid, 98 pp.

MILLÁN M. y ESTRELA, M^a. J. (2008): «Meso-meteorología mediterránea: procesos de retroalimentación climática y escenarios del cambio climático». En ESTRELA, M.J. (ed.): *Riesgos Climáticos y Cambio Global en el Mediterráneo Español. ¿Hacia un clima de extremos?.* Colección Interciencias, pp. 29-38.

MMA (2007): *Generación de escenarios regionalizados de cambio climático en España*. Primera Fase. 145 p.

MORALES GIL, A., BRU RONDA, C. y BOX AMORÓS, M. (1983): «Las crecidas en los barrancos de las Ovejas y del Agua Amarga. Alicante, octubre de 1982». *Estudios Geográficos* n° 170-171, Madrid, pp. 143-180.

OLCINA CANTOS, J. (1994): *Riesgos climáticos en la península Ibérica*. Libros

Penthalon. Acción divulgativa, Madrid, 440 pp.

OLCINA CANTOS, J. (2004): «Riesgo de inundaciones y ordenación del territorio en la escala local. El papel del planeamiento urbano municipal». *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* nº 37 (monográfico «Agua y Ciudad»), pp. 49-84.

OLCINA CANTOS, J. (2004): «Riesgos fluviales y ordenación del territorio». En Gil Olcina, A. (coord.) *Alteración de los regímenes fluviales peninsulares*. Fundación CajaMurcia, Murcia, pp. 45-97.

OLCINA CANTOS, J. y RICO AMORÓS, A. (1998): «Los riesgos climáticos en la ordenación urbana». *Arquitectura Técnica* nº 33, Valencia, pp. 37-44.

OLCINA CANTOS, J., RICO AMORÓS, A. M. y MIRÓ PÉREZ, J. J. (1998): «El factor climático en los documentos de ordenación urbana. Propuesta de método de análisis del clima en el planeamiento municipal». En Fernández García, F.; Galán Gallego, E. y Cañada Torrecilla, R. (coord.) *Clima y ambiente urbano en ciudades ibéricas e ibero-americanas*. Madrid, Editorial Parteluz, pp. 381-397.

REGUEIRO, M. (ed.) (2008): *Guía metodológica para la elaboración de cartografías de riesgos naturales en España*. Ministerio de vivienda e Ilustre Colegio Oficial de Geólogos, Madrid, 187 pp.

RICO AMORÓS, A. (1998): *Agua y desarrollo en la Comunidad Valenciana*.

Publicaciones del Universidad de Alicante. Alicante, 163 pp.

SCHMIDT-THOMÉ, P. (Ed.) (2005): *ESPON Project 1.3.1 – The spatial effects and management of natural and technological hazards in general and in relation to climate change* (Draft Final Report, Espoo, Geological Survey of Finland), 193 pp.

SCHMIDT-THOMÉ, P. (Ed.) (2005): *The spatial effects and management of natural and technological hazards in Europe*. Luxemburgo. ESPON, (thematic project 1.3.1.).

SCHMIDT-THOMÉ, P. (Ed.) (2006): *Natural and Technological Hazards and Risks Affecting the Spatial Development of European Regions*. Geological Survey of Finland, Espoo, 167 pp.

VERA REBOLLO, J. F. (1989): «Protección de cauces en la planeamiento urbanístico y la ordenación del territorio: Estado de la cuestión a través del caso de Alicante». *Avenidas fluviales e inundaciones en la cuenca del Mediterráneo*, Instituto Universitario de Geografía, Universidad de Alicante y Caja de Ahorros del Mediterráneo, Alicante, pp. 565-574.

VERA REBOLLO, J. F. y OLCINA CANTOS, J. (2002): «Riesgos Naturales en la costa». En *Revista OP, Ingeniería y Territorio* nº 61, vol. III (El litoral), pp. 50-59.

***La toponímia del Mapa
topogràfic de Menorca a
escala 1:5.000. Una
anàlisi geogràfica***

Antoni Ordinas Garau

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears

Joana M. Petrus Bey

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears

Jaume Servera Nicolau

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears

LA TOPONÍMIA DEL MAPA TOPOGRÀFIC DE MENORCA A ESCALA 1:5.000. UNA ANÀLISI GEOGRÀFICA

Antoni Ordinas Garau
Joana M. Petrus Bey
Jaume Servera Nicolau

RESUM: S'explica la composició i els detalls metodològics del recull de la toponímia de Menorca del Mapa topogràfic a escala 1:5.000, que constitueix el major corpus toponímic de l'illa fins a hores d'ara, alhora que es contextualitza dins el conjunt dels estudis i treballs toponímics relatius a Menorca. Finalment, s'analitza des del punt de vista quantitatiu la toponímia obtinguda per tal d'establir quins són els elements geogràfics més presents i representatius a la vegada que s'hi descobreixen els genèrics més freqüents. Des d'ambdues perspectives es pretén esbrinar si la toponímia menorquina aconsegueix o no els principis de transparència i de significativitat territorial.

PARAULES CLAU: Menorca, toponímia, mapa topogràfic, anàlisi geogràfica.

ABSTRACT: The toponymy of Minorca displayed in the topographic map with a scale of 1:5,000, which is the most extensive toponymic corpus on the island to date, explains its composition and the methodological details of collection, while contextualizing it within the series of toponymic studies and works related to the island. Lastly, the toponymy is analyzed through a quantitative analysis to establish the most representative geographical elements and discover the most frequent generics. From both perspectives, an attempt was made to verify whether Minorcan toponymy achieves the principles of transparency and territorial significance.

KEYWORDS: Minorca, toponymy, topographic map, geographical analysis.

1. El marc geogràfic

Menorca és una illa paradigmàticament mediterrània on l'impacte humà sobre el medi natural ha estat menor que a les altres illes majors de l'arxipèlag. El seu territori està definit per l'existència de dues comarques naturals: la Tramuntana, la meitat nord de l'illa, una àrea aturonada i humida sobre afloraments de materials silícis del paleozoic, impermeables, i

calcaris del secundari en què predominen els alzinars i brolles de bruc; i el Migjorn, la meitat sud, on els pinars, ullastrars i vegetació arbustiva s'estén sobre un substrat calcarenític escullós del miocè superior extremadament permeable. No obstant això, l'activitat agrària i ramadera és present indistintament als dos sectors on s'ha alterat la vegetació i el medi primigeni i ha hi aparegut un paisatge on les tanques de pedra en sec dedicades a conreus her-

bacis –pastures, farratges i cereals– són l'element morfològicament dominant. De fet, és el territori balear on el sector primari encara té major protagonisme, tot i que tampoc no ha quedat al marge del procés de terciarització i especialització turística de les darreres dècades que s'ha traduït en una urbanització progressiva de certs indrets del litoral, per bé que el grau d'intensitat d'aquest procés de litoralització ha estat menor que el de la resta de les illes majors. Aquests trets han afavorit tant la permanència de la toponímia tradicional com una relativa menor presència de la neotoponímia sorgida arran de l'expansió turística.

2. Els estudis de toponímia a Menorca

Menorca va ser pionera en la recopilació i estudi de la toponímia, gràcies especialment a la figura de Josep Mascaró Passarius qui, ja des de la dècada de 1940 va elaborar un mapa toponímic de l'illa (Mascaró 1946-1951) en un moments en què les facilitats per obtenir topònims eren inversament proporcionals a les possibilitats cartogràfiques i tècniques. Aquests començaments prometedors, que foren continuats en forma d'alguns treballs interessants, però malauradament inèdits (Casasnovas 1952), acabarien a les darreres dècades en un declivi important tant en reculls com en publicacions. Com a excepcions dins aquesta darrera etapa d'escassa activitat toponímica, s'han de remarcar el recull del *Mapa topogràfic Balear* (1990), i la celebració de dos col·loquis de la Societat d'Onomàstica a Maó (1986) i a Ciutadella i Maó (2002) que han donat lloc a dos números del *Butlletí Interior* d'aquesta societat en els quals hi ha algunes aportacions d'àmbit menorquí. En aquesta línia també cal esmentar les II Jornades de

Recerca Històrica de Menorca celebrades a Ciutadella (2006), dedicades a l'estudi de l'onomàstica menorquina. La revista *Treballs de Geografia*, editada per la Universitat de les Illes Balears (UIB), també inclou una aproximació temàtica a la toponímia del medi físic de Menorca (Ordinas 1992), i encara més específicament s'han tractat els genèrics orogràfics de la comarca del Migjorn (Ordinas 2004)

3. El recull toponímic del Mapa topogràfic de Menorca a escala 1:5.000

Per encàrrec de l'aleshores denominada Conselleria d'Obres Públiques i Ordenació del Territori del Govern Balear, es va dur a terme, a finals dels anys vuitanta, l'aixecament cartogràfic del territori menorquí a escala 1:5.000. L'organisme cartogràfic encarregat de la realització del projecte fou l'Institut Cartogràfic de Catalunya (ICC), el qual delegà a un equip de geògrafs del departament de Ciències de la Terra de la UIB –alguns d'ells menorquins– la recopilació toponímica que havia de bastir l'esmentat mapa. Les condicions d'aquesta gran escala –la major i mai aplicada abans a l'illa–, juntament amb el detall i la precisió que permeten pràcticament la total identificació dels distints elements del territori, converteixen aquesta cartografia en idònia per als reculls de toponímia, fins i tot exhaustius. No obstant això, no era l'exhaustivitat l'objectiu final perseguit, sinó que, com en qualsevol mapa topogràfic, la toponímia forma un sostre més del sistema gràfic que no cal sobredimensionar perquè una excessiva densitat toponímica podria anar en detriment d'altres tipus d'informació planimètrica i altimètrica. En qualsevol cas, es plantejava una ingent tasca de recollida toponímica que havia de bastir el mapa de

majors dimensions dut a terme fins aleshores.

El nou mapa es va dividir en fulls d'una extensió lleugerament superior als 8 km² (més concretament, 3.570 m de longitud i 2.310 m de latitud, de la qual cosa resulta una superfície de 8.246.700 m² o 8,2467 km²), amb un total de 114 fulls corresponents a l'illa de Menorca. L'organització dels fulls en aquesta escala sorgeix de desenvolupar la dels que formen el mapa director a escala 1:50.000. La seva composició i correspondència per a l'illa de Menorca és:

Full 617 bis:	Cap de Menorca
Full 618:	Ciudadella
Full 619:	Son Saura
Full 645 bis:	Cala en Brut
Full 646:	Alaior
Full 647:	Maó
Full 673:	Illa de l'Aire

Cada un dels fulls a escala 1:50.000 se subdivideix en 64 fulls a escala 1:5.000, que s'identifiquen a partir de dos dígets, ambdós

de l'1 al 8. El primer es refereix a la columna (vertical i d'esquerra a dreta, o d'oest a est), i el segon a la fila (horitzontal i de dalt a baix, o de nord a sud).

En una primera fase, la fita assolida amb l'aixecament d'aquest mapa, tant des del punt de vista cartogràfic com toponímic, presentava l'impediment de no englobar tot el territori de l'illa. Al·legant raons de seguretat, se censurà la cartografia relativa a diverses zones restringides a usos militars (Son Olivaret, a Ciudadella, i la Mola, a Maó). Així mateix, cal advertir que no tota la toponímia recollida apareix finalment plasmada al mapa, ja que pel seu caràcter topogràfic, tal com ja hem assenyalat abans, la informació toponímica és objecte d'una selecció i una composició que no sempre permeten reproduir la totalitat del material recollit sobre el terreny. En qualsevol cas, les dades relatives al recull toponímic de Menorca i al de tot el territori de les Illes Balears del *Mapa topogràfic balear a escala 1:5.000* són les següents:

Quadre I. Dades del recull toponímic de Menorca i del conjunt de les Balears.

	MENORCA	TOTAL BALEARS
Superfície		
km²	701,84	4.545
(%)	(14,0%)	(97,1%)
Nombre de fulls	114	770
Nombre de topònims	6.715	50.029
(%)	(13,4%)	(100%)
Densitat (topònims/km²)	9,3	11,01

Aquestes xifres posen de manifest que la toponímia arrebegada per bastir el *Mapa topogràfic de Menorca a escala 1:5.000* va suposar el major recull toponímic d'aquesta illa, fet el 1990 i encara avui no superat.

3.1. Metodologia i fonts

Abans de dur a terme treball de camp, es fa un treball de gabinet per facilitar la tasca de recollida. Aquest va consistir en la consulta dels reculls i de les fonts cartogràfiques preexistents, entre les quals

cal destacar el mapa de Menorca de Mascaró (1946-1951) i el de Seguí (1983), els quals foren de gran ajut per a les zones litorals, però alhora insuficients per a les zones d'interior.

D'altra banda, en no disposar de grups autòctons de toponimistes experimentats o predisposats a la tasca, finalment es va haver de crear una expedició mixta de geògrafs menorquins i mallorquins. El treball de camp tenia com a primer objectiu la recerca d'un bon informador per a cada indret del territori, molt sovint coincident amb un lloc o unitat d'explotació agrària. El resultat donà un balanç de dos centenars d'informadors entrevistats sobre el terreny durant la campanya que, un cop acabada, donà peu a una tercera fase: la de codificar i passar en net la toponímia recollida. Aquesta tasca consistia a situar sobre el mapa els topònims identificats mitjançant números correlatius i tancats dins un cercle, de manera que destacassin sobre el fons cartogràfic. Quan els topònims no es referien a indrets puntuals, sinó lineals o zonals, s'indicava la trajectòria o la superfície mitjançant fletxes. Paral·lelament, s'emplenaven uns llistats –un per a cada full del mapa–, encapçalats per la numeració que identifica

el full a partir de l'escala 1:50.000 i el seu títol, el qual correspon al topònim de l'entitat de població més significativa. A continuació, i en correspondència amb els números adjudicats al mapa, s'escriuen els topònims de manera precisa, amb una casella per a cada lletra, i se'ls assignava un codi d'acord amb la classificació, proporcionada per l'ICC amb vista a la posterior retolació cartogràfica dels topònims i que es basa en la realitat del fet designat, o sia, al referit i no al referent.

4. Composició i anàlisi de la toponímia

Basant-nos en l'esmentada codificació de l'ICC –de caràcter numèric i formada per cinc dígits–, utilitzada per a la col·locació i retolació de la toponímia sobre el mapa 1:5.000, hem pogut fer una primera aproximació a la realitat geogràfica de la toponímia recollida. La comptabilització, resumida i en xifres absolutes, de la toponímia menorquina recollida i posteriorment tabulada, a partir de la informació que proporciona la classificació de l'ICC, és la que segueix:

Quadre II. Classificació i recompte de la toponímia del *Mapa topogràfic de Menorca a escala 1:5.000*.

1. POBLAMENT: INDRETS D'HABITACIÓ PERMANENT	Nombre de topònims
Nuclis de població (ciutat, caseria, colònia, poble, llogaret, urbanització, barri, raval, vila)	82
Parts de nucli urbà (barri, raval, avinguda, passeig, plaça)	65
Edificació aïllada (masia, casa, molí)	1.156
Edificació aïllada habitada o no temporalment (barraca, cabana, pallissa, cobert, pleta)	139
2. POBLAMENT: IMPLANTACIÓ INDUSTRIAL	Nombre de topònims
Indústries (energètiques, agroalimentàries, de construcció, electricitat i electrònica, fusta i suro, metall, paper, reciclatge, extractives, mecàniques, navals, químiques, tèxtils, locals industrials abandonats, polígons industrials, altres indústries, magatzems)	42

3. POBLAMENT: SERVEIS DE COMUNICACIÓ I TRANSPORT	Nombre de topònims
Instal·lacions (aparcament, duana, estació, baixador, terminal)	2
Trànsit aeri (aeroport, aeròdrom, heliport, pistes, torre de control, far aeri)	4
Trànsit marítim (dàrsena, far, moll, port)	25
Transport per rail (ferrocarril)	0
Vies de comunicació (autopista, autovia, carretera, carretera comarcal, carretera local, camí, viaducte, pont, túnel)	361
Sistemes transport (gasoducte, aqüeducte, oleoducte, línia d'alta tensió, torre de comunicació)	0

4. POBLAMENT: SERVEIS COMUNITARIS	Nombre de topònims
Centres administratius (ajuntament, Parlament, Generalitat, Diputació, govern civil, palau de justícia, jutjat, consolat)	4
Centres comercials (àrea de serveis, grans magatzems, mercat, supermercat, gasolinera, cooperativa)	6
Centres serveis socials (asil, cementiri, fossar, centre cívic, guàrdia urbana, parc de bombers, orfenat, presó, biblioteca)	11
Llocs d'interès historicocultural (castell, ciutadella, força, muralla, museu, necròpolis, poblat, menhir, pedra, dolmen, talaia, torre de defensa, torre de gaita, monument, aqüeducte, taula, naveta, talaiot)	138
Centres docents (acadèmia, escola, col·legi, escola tècnica, guarderia, institut, parvulari, seminari, universitat)	15
Centres sanitaris (hospital, ciutat sanitària, balneari, clínica, dispensari, maternitat, sanatori mental)	4
Centres religiosos (abadia, monestir, priorat, ermita, capella, oratori, convent, santuari, església, catedral, basílica)	18
Centres d'esbarjo (complex poliesportiu, poliesportiu cobert, estadi, camp d'esports, piscina pública, plaça de toros, club nàutic)	21
Hostaleria (càmping)	2
Centres de recerca (observatori astronòmic, observatori meteorològic)	0
Senyals (vèrtex geodèsic)	4

5. MEDI FÍSIC: OROGRAFIA TERRESTRE I MARÍTIMA	Nombre de topònims
Elevacions del terreny en general (massís, muntanyes, serra, serralada, serrat, mola, pujol, tossal, tossa, turó)	102
Punts elevats d'una muntanya (agulla, cresta, bony, cap, cim, penya, pic, puig, punta, roc, roca, tue, tuca)	91
Depressió de la superfície terrestre (coll, collada, port, coma, clot, fondo, rasa, sot, vall, conca, congost, afrau, estret, forat)	27
Pas a través d'una carena (grau, pas)	5
Espadat de roca (balç, cinglera, espadat, penya-segat)	29
Terreny planer (ras, rasos, pla, plana)	115
Terreny pendent (costa, falda, pala)	137
Cavitats naturals (avenc, bòfia, abric, balma, bora, forat, tuta, grallera, cova)	145
Indrets (parada, tros, partida, passant, peça, sort, camp, bosc, bac, baga, obac, obaga, solà, solana, solell, pleta, pletiu, devesa, era, hort, horta, paratge, mirador)	2.266
Relleu litoral i marí (arxipèlag, cap, punta, costa, delta, escull, faralló, niell, dunes, illa, illot, platja, platjola, port natural, arenal, areny, sorral, istme)	940
6. MEDI FÍSIC: HIDROGRAFIA	Nombre de topònims
Masses d'aigua naturals (albufera, aiguamoll, maresme, pantà, golf, badia, cala, estany, ivó, llacuna, freu, estret de mar)	227
Masses d'aigua artificials (bassa, cisterna, pou, dipòsit)	52
Cursos d'aigua naturals (riu, riera, rambla, rial, torrent, barranc, rasa, fondo, reguer, sot, salt, saltant, cascada, font, bullidor, deu)	185
Cursos d'aigua artificials (canal, séquia, rec, tub, canonada)	47
Obres hidràuliques (assut, presa, peixera, resclosa, escullera, sínia)	10

El quadre II mostra que gairebé una tercera part dels topònims es refereixen al poblament, mentre que les dues terceres parts restants corresponen al medi físic. Dels

quatre grans capítols dedicats al poblament, destaca força el relatiu als indrets de població permanent en reunir més del 68% de la toponímia humanitzada, mentre que en

l'altre extrem cal remarcar la implantació industrial, amb una escassa representació toponímica.

No obstant això, la toponímia relativa a la població en disseminat de Menorca és menor que l'enregistrada a Mallorca i a Eivissa. Això es deu al fet que en el cas de Menorca la població en poblament disseminat queda limitada pràcticament als llocs que, tot i ser relativament nombrosos, presenten encara una baixa densitat relativa. Contrasta, per tant, la propietat menorquina mitjana/gran poc fragmentada amb el cas de la més gran de les Pitiüses on es dona l'extrem oposat: petites propietats, producte d'una tradicional i repetida fragmentació, on s'aixeca un habitatge unifamiliar permanent que caracteritza una població extremadament disseminada.

El medi físic, en canvi, al qual es refereixen prop del 68% dels topònims, es troba dividit només en dos grans blocs de representació desigual. Es tracta de

l'orografia terrestre i marítima (88%) i la hidrografia (12%). Tot i així, paradoxalment, arran de la comparació amb la resta de les illes, es constata la relativa pobresa oronímica de Menorca, ja que innumerables pujols, costers, colls, comellars, etc. no apareixen en la toponímia identificats com a tals, sinó que massa sovint, com que formen part de les tanques omnipresents i que envaeixen la pràctica totalitat del territori, els accidents orogràfics perden el protagonisme, des del punt de vista toponímic, a favor de la tanca que els enclou. Això explica bàsicament per què tant les eminències com les depressions del terreny són rarament enregistrades en la toponímia, especialment interior, de Menorca.

Per tal d'assolir un nivell d'anàlisi més acurat, hem seleccionat els casos que presentaven les freqüències més elevades de les entrades de la codificació de l'ICC. Aquests han resultat ser els següents:

Quadre III. Freqüències (codificació ICC).

Urbanització	55	Bosc, marina, garriga	309
Masia, casa	1.156	Pleta, tanca	1.647
Barraca, cabana	137	Era	23
Camí	255	Hort, horta	75
Necròpolis, poblat	31	Paratge	43
Talaia, torre de defensa	20	Cap	31
Talaiot	63	Punta, costa	755
Mola, pujol, turó	82	Escull, faralló	43
Bony, cap, cim, penya, puig, punta, roca	88	Illa, illot	47
Pla, plana	115	Platja, platjola ⁵⁰	
Costa, falda	137	Cala	209
Forat, cova	145	Pou, cisterna	35
Parada, tros, peça		Torrent, barranc	139
sort, camp	169	Font	46
		Canal	40

Malgrat que aquets són els fets del territori amb major freqüència toponímica, la qual cosa ja ens aproxima a la

caracterització del territori insular, per aprofundir-hi i comprovar el grau de transparència de la toponímia, s'ha calculat

el percentatge territorial de Menorca sobre el conjunt de l'arxipèlag, que ha resultat ser el 14%. Aquest mateix percentatge s'ha aplicat sobre el total de freqüències balears de cada una de les entrades abans seleccionades i la xifra resultant s'ha agafat com a índex 100.

Seguidament, s'ha aplicat l'índex 100 a cada una de les entrades per tal de ponderar el nivell de transparència i el grau de significativitat d'acord amb el valor obtingut. Els resultats obtinguts i ordenats jeràrquicament han estat els que apareixen al quadre IV:

Quadre IV. Aplicació de l'índex 100.

<u>Talaiot</u>	<u>428,5</u>	Urbanització	152,2
Necròpolis, poblat	375,3	<u>Pou, cisterna</u>	<u>112,6</u>
<u>Canal</u>	<u>324,6</u>	Torrent, barranc	93
Cala	277,9	Camí	92,2
Bosc, marina, garriga	259,9	Mola, pujol, turó	86,6
Era	228,1	Barraca, cabana	75,1
Punta, costa	210,9	Font	63,5
Costa, falda	207,3	Masia, casa	55,2
<u>Illa, illot</u>	<u>204,7</u>	Bony, cap, cim, penya, puig, punta, roca	40,7
Pleta, tanca	199,1	Hort, horta	39,1
Talaia, torre de defensa	178,5	Parada, tros, peça	
Forat, cova	177,6	sort, camp	23,5
Cap	169	Paratge	13,9
Escull, faralló	163,3		
Pla, plana	158,8		
Platja, platjola	154,6		

De l'anàlisi del quadre 4, destaca, com a principal tret, el fet que talaiots, poblats i necròpolis encapçalen el rànquing, deixant constància de l'abundància del patrimoni arqueològic de l'illa. Encara amb un índex superior a 300 hi apareixen els canals, tot i que hem de considerar que aquesta significació és deu més a l'escassa representació de la resta de les illes que a la relativa abundància a Menorca. No és el cas, en canvi, de la resta de casos que presenten un índex superior a 200. L'extensió i articulació del litoral menorquí explica per si mateix que s'hi trobin cales, puntes litorals, illes i illots. El cas de bosc, garriga, però sobretot marina, tampoc resulta estrany dins el context paisatgístic menorquí pel que fa a la vegetació natural (Grimalt, Ordinas,

Caldentey 2009). També és ben representativa de l'orografia menorquina la nombrosa presència de costers, costes, i faldes, que configuren un paisatge predominantment aturonat. Precisament, aquesta forta presència del terme coster en la toponímia menorquina ja va ser assenyalada en un estudi monogràfic sobre la terminologia geogràfica del paisatge natural menorquí (Ordinas 1992, p.146). La presència d'eres, en correspondència quasi unívoca amb la dels llocs, ens recorda la Menorca tradicional i agrària, on l'era constituïa una part fonamental de la infraestructura de les explotacions.

Amb un índex encara superior a 100 i inferior a 200, hi apareixen tanques i pletes, talaies i torres de defensa, coves i forats,

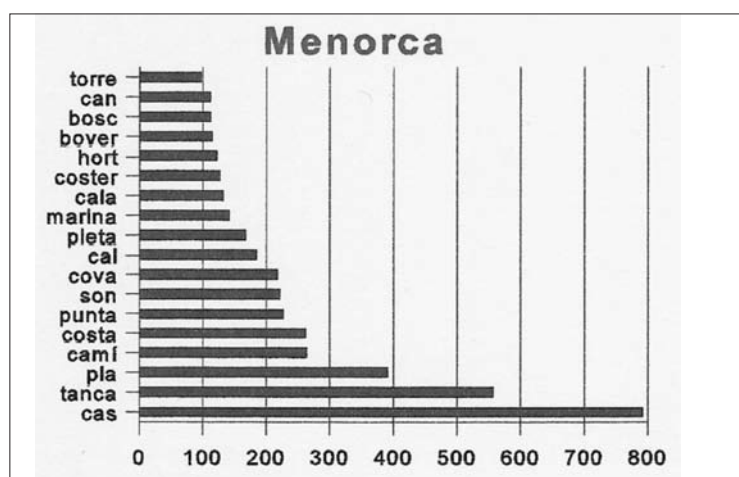
caps litorals, esculls i farallons, plans i planes, platges, urbanitzacions i pous. Cap d'aquests desdiu del conjunt dels elements que caracteritzen el territori de Menorca. Fins i tot, el nombre de topònims que destaquen l'horitzontalitat del terreny (plans i planes) és sensiblement superior a Menorca en front d'Eivissa.

Finalment, amb un índex inferior a 100, hi trobam una sèrie d'elements que tot i ser nombrosos –recordem que aquest ha estat el criteri de la seva selecció–, no arriben a la densitat mitjana del conjunt de l'arxipèlag. En aquest cas, potser s'hauria d'explicar, no mitjançant el principi de la transparència, sinó tal volta mitjançant el de l'excepcionalitat, un tipus particular de comportament toponímic en què els noms de lloc, en contextos determinats, tendeixen a reflectir abans les característiques excepcionals de l'entorn on s'insereixen que les característiques «típiques» (Tort 2003). Així, per exemple, no es pot negar la significativitat territorial que a Menorca tenen els barrancs que solquen la comarca del Migjorn tot i el seu relatiu escàs nombre. L'explicació del fet que aquest grup que no arribi a l'índex 100 pot deure's a la baixa densitat relativa que té al territori menorquí, com en el cas dels llocs, tot i

que tampoc es pot descartar atribuir-ho a una baixa densitat d'arplega toponímica. En qualsevol cas, a part dels que ja s'han esmentat, ens referim als casos de camins; moles, pujols i turons; barraques i cabanes; fonts; penyes, puigs, roques... i horts i hortetes.

5. La terminologia geogràfica present en els genèrics de la toponímia de Menorca

Arran de l'anàlisi dels genèrics presents en els topònims menorquins i de la seva intensitat o freqüència, podem descobrir així mateix que hi ha una clara correspondència entre aquests i els trets fonamentals de l'espai en què se situen, a més de la terminologia geogràfica pròpia de cada territori en qüestió (Ordinas 2001). El baix nivell d'urbanització i rururbanització —almenys en comparació amb la resta de les Illes Balears— que presenta el paisatge menorquí queda també palès en la toponímia, on bona part dels genèrics més freqüents corresponen semànticament als aspectes físics del paisatge, tal com s'observa a la figura 1.



Font: elaboració pròpia.

Fig. 1. Genèrics més freqüents en la toponímia de Menorca.

La presència dominant d'apel·latius referits al camp de la geomorfologia ja deixa entreveure el major impacte del relleu i dels seus accidents dins aquest context insular. Dos factors són els de major pes a l'hora d'explicar aquesta abassegadora majoria d'orònims: la insularitat, origen d'un important nombre de topònims, i ensembles de genèrics, articuladors dels 285,7 quilòmetres del litoral, i la intensa accidentalitat del territori, conseqüència de l'acció erosiva sobre dos sistemes prou diferenciats. D'una banda, la forta i alterna presència de *plans* i *costers* a la meitat nord de l'illa, que coincideix amb la zona d'aflorament del devonià, fa que només aquests dos genèrics conjuntament suposin el 84% dels topònims inclosos en l'apartat que exclou les formes positives i negatives. I, de l'altra, una relativa abundància dels grans barrancs solquen la meitat sud formada pel miocènic. És destacable juntament amb *barranc*, l'apel·latiu *canal* que apareix fortament escampat arreu de l'illa i esdevé el màxim representant de les depressions allargades quan no arriben a la magnitud del barranc.

Un altre tret diferenciador del paisatge físic que queda igualment reflectit en la toponímia és la magra presència del relleu positiu interior, especialment en l'àmbit de la mesotoponímia, sense cap genèric destacat, només una representació molt discreta de *puig*, *pujol* i *serra*.

La millor manera d'aclarir aquesta correspondència entre la realitat física i la seva nomenclatura és ordenar els termes més corrents. Són aquests, incloent-hi les seves formes derivades i plurals: *pla*, *punta* (litoral), *cova*, *marina*, *cala*, *coster*, *canal*, *barranc*, *font*, *cap* (litoral), *torrent* i *platja*, que conjuntament suposen el 65,6% d'aquesta part de la toponímia. Per contra, destaquen com a exemplars rars: *comellar*, *vall*, *replà*, *ferradura*, *forat*, *turó*, *esquena* i *cocó*. Tots plegats no arriben al 0,9% de presència en el conjunt dels topònims físics analitzats.

D'altra banda, si ens fixam en el nombre de genèrics apareguts al marge de la seva freqüència, tenim coneixement del nivell de riquesa terminològica. I és en els orònims on es localitza la major diversitat, més que res per la varietat de les formes litorals que contrasta amb la fretura de les de l'interior. Bastaria enumerar les condicions climàtiques, la manca d'aigua i la pressió humana del territori menorquí per esbossar les raons de la feble representació obtinguda per la hidronímia i la fitonímia. Precisament pel que fa a la darrera, a Menorca, tal volta una de les peculiaritats de la designació de les masses vegetals és la pràctica absència del genèric *bosc*, que contrasta amb la massiva presència del terme *marina* i la seva forma diminutiva *marineta*.

Quant a la part humanitzada del paisatge té una representació relativament migrada de genèrics toponímics. Sols destaquen per una abundosa presència en la toponímia la partícula *cas*, i les variants *cal* i *can* –i els respectius femenins–, *tanca*, *camí*, *son*, *pleta*, *hort*, *bouer/bover* i *camp*. Hi caldria afegir el *lloc* si no fos perquè el terme per si mateix apareix escassament en la toponímia.

Tot i que les tanques són nombrosíssimes –i sovint, ja ho hem dit, eclipsen toponímicament la nomenclatura de les distintes formes orogràfiques que ocupen–, no totes inclouen el genèric a la pròpia denominació, i moltes són identificades mitjançant l'article pronominal femení *na* seguit d'un descriptor. Dins la mateixa categoria, si bé amb un índex de repetició toponímica molt menor, caldria situar-hi els genèrics *pleta* i *quintana*, tipologies igualment presents en tots els llocs menorquins.

El *lloc* mateix és indubtablement un dels termes –o accepcions– més característics de Menorca, encara que en la nomenclatura toponímica apareix escassament perquè hi abunden els hagiopònims i la toponímia d'origen àrab que només parcialment els primers aconseguiren sepultar. Resulta

igualment curiosa la confusió que una part important dels informadors demostra entre la partícula categoritzadora de *sant* que encapçala el nom de molts de llocs i la partícula possessiva *son*. Al costat del terme *lloc* també resulta privatiu de la menor de les Balears, *stricto sensu*, l'ús del terme *estància*. Singularitzen igualment la nomenclatura toponímica de Menorca les particulars accepcions de *sínia* i *hortal*, pertanyents a la temàtica agrícola, i *pont*, *garita* i *bouer* pel que fa a la ramadera, en què cal destacar la important presència de topònims relacionats amb la tan característica ramaderia bovina. Completen així mateix aquesta enumeració les nombroses *eres*, omnipresents a la ruralia illenca.

Temàticament a part, però compartint el mateix paisatge, hem de destacar finalment el subconjunt terminològic amb què s'identifiquen els nombrosos arqueotopònims i que està format per *talaia*, *antigot*, *naveta*, *taula* i *claper*.

Finalment, hi ha una sèrie d'accepcions que, al marge de presentar una major o menor freqüència i presència toponímiques, es caracteritzen per un elevat grau d'exclusivitat territorial. Es tracta, per tant, d'accepcions geogràfiques genuïnament menorquines: *androna*, *antigot*, *baixamar*, *bancal*, *barbada*, *barquera*, *bitlo*, *boval/boal*, *bover/bouer*, *camada*, *cambra*, *campet*, *colàrsega*, *estància*, *frare*, *freginal*, *lloc*, *llogaret*, *mal lloc*, *mitgera*, *mitjanja*, *mosquera*, *passadora*, *pont*, *ramer*, *sella*, *sínia*, *taula*, *trona*, *vela*, *vinya*.

En definitiva, resulta evident que a Menorca es localitza una terminologia geogràfica amb prou personalitat que, si bé presenta, evidentment, afinitats amb la de la resta de les illes i dels Països Catalans, conjumina i aporta elements definidors i prou diferenciats respecte de la resta de l'arxipèlag.

6. Conclusions

En primer lloc, s'ha de remarcar la importància, no només pel volum de topònims obtingut sinó també pel moment en què s'efectuà el recull, del corpus toponímic arreplegat arran de la confecció del *Mapa topogràfic de Menorca a escala 1:5.000*, a vegades menystingut per alguns iniciats en les tasques d'arreplega toponímica que l'ignoren sistemàticament. Cal recordar que l'esmentat recull es va fer l'any 1990 i amb unes condicions, per tant, més favorables que les actuals pel que fa a la disponibilitat de bons informadors en el treball de camp. Tot i això, malgrat el seu gran abast, mai es va pretendre que fos un recull exhaustiu: l'objectiu de bastir toponímicament un mapa topogràfic queda fora de l'abast de la creació d'un mapa estrictament toponímic. La incommensurabilitat d'aquesta darrera tasca juntament amb la transformació del camp menorquí, que comporta la progressiva pèrdua de població pagesa per diversos factors (rendibilitat, mecanització, etc.), que ja en la majoria de casos ha desembocat en el complet abandó dels llocs –es calcula en poc més de 300 els encara actius–, fan pràcticament inassolible l'exhaustivitat de la recollida toponímica de Menorca. Els pobladors, treballadors i coneixedors en general de la toponímia d'aquests indrets han anat desapareixent, i amb ells un percentatge de microtopònims que el 1990 ja estimàvem que estava entre un 20 i un 25% del total. Actualment, quasi vint anys després, aquests percentatges s'han de revisar a la baixa, i és ben probable que prop de la meitat de la microtoponímia, especialment d'interior, s'hagi perdut per sempre amb la desaparició dels seus darrers coneixedors. No debades, a les àrees de conradís, la parcel·lació, urbanització i rururbanització han accentuat el procés de desaparició i substitució de la toponímia

tradicional per una neotoponímia més adient als nous usos i percepcions que els actuals pobladors tenen d'aquests espais.

Quant a l'anàlisi geogràfica del corpus toponímic, els resultats obtinguts a partir de la seva classificació i comptabilització, tant pel que fa a la codificació de l'ICC com a la dels genèrics toponímics més freqüents, evidencien el compliment del principi de transparència, dit d'una altra manera, l'habitualitat, els fets normals i reiterats considerats com a significatius en el pla territorial (Tort 2003) queden reflectits en la toponímia de manera repetida i abundosa, de manera que hi ha una clara sintonia i correspondència entre la toponímia i els trets més característics del territori i el seu paisatge. D'altra banda, també s'hi detecten casos que s'acosten a una major singularitat, però que no perden la significativitat territorial, i constitueixen l'anomenat principi de significativitat territorial. D'aquesta manera inclouen aspectes de la geografia d'una determinada contrada que es mostren d'alguna manera destacats o rellevants respecte de la resta d'aspectes d'aquesta contrada, tot i que, sovint, aquesta rellevància no és explícita o tan explícita ja que no té un important suport numèric de topònims, sinó que exigeix un coneixement i una interpretació per part de l'observador del medi geogràfic a que es fa referència (Tort 2003). L'anàlisi de la toponímia menorquina que apareix al corpus sobre el qual s'ha treballat, i malgrat les seves limitacions, permet afirmar que s'acompleixen els principis de transparència i de significativitat territorial que alguns geògrafs que treballen en toponímia, ja des de l'escola de Quebec, han formulat i aplicat en diversos territoris d'arreu del món.

Bibliografia

CAMPS, F. (1917): «Topònims menorquins composts de Lluc». *La Veu de Mallorca*. 4-I-1917 i 5-IV-1917.

CASASNOVAS CAMPS, M. A., FLORIT NAVARRO, M. P. (1994): «Onomàstica i toponímia del terme des Mercadal (Menorca) segons el padró general de 1829». *Butlletí Interior Societat d'Onomàstica*. LVIII: 33-44.

CASASNOVAS MARQUÈS, L. (1951): «Alrededor de nuestra toponímia». *El Iris*. Menorca.

CASASNOVAS MARQUÈS, L. (1952): *La toponímia de Menorca*. Tesi doctoral inèdita en Filologia Romànica. Barcelona.

CASASNOVAS MARQUÈS, L. (1955): «Nomenclatura agrícola en la toponímia menorquina». *Miscel·lània Filològica dedicada a Mn. Griera*. I: 159-174. Ciutadella: José Allés Quintana.

COSTA SAVOIA, E. (1989): «Les senyes dels pescadors de Fornells (Menorca)». *Butlletí Interior Societat d'Onomàstica*. XXXVI: 28.

DE LA LLANA, A. (1994): *Cases de lloc i d'estància des terme de Sant Lluís*. Ajuntament de Sant Lluís: Sant Lluís.

FERRER, J. (1909): «Nuevos datos sobre la isla de Menorca. Nomenclatura que emplean los pescadores de esta isla para designar los diferentes puntos de la accidentada costa de Menorca». *Revista de Menorca*. IV: 177, 235, 287, 341, 367 i seg.

GRIMALT, M., ORDINAS, A., CALDENTEY, J. (2009): «El paisatge vegetal de Menorca a través de la fitotoponímia». *Documents d'Anàlisi Geogràfica*, núm. 55, pàg. 93-115.

HERNÁNDEZ, P. (1947-50): «Topónimos menorquines». *El Iris*. Del 6-XII-1947 al 7-X-1950.

LOPEZ CASASNOVAS, J. (1982): «La toponímia de Menorca. Estudis. Estat

actual». *Butlletí Interior Societat d'Onomàstica*. IX: 25-31.

LÓPEZ CASASNOVAS, J. F. (1994): «La toponímia a Menorca. Estat dels estudis». *Jornades de la Secció Filològica de l'IEC a Menorca (8 i 9 d'octubre de 1993)*. Barcelona, Maó; IEC; IME, pàg. 45-56.

MARI, A. (1982): «Alguns topònims del terme d'Es Castell». *Menorca*. 20-II-1982: 19.

MARTÍNEZ ESTEBAN, A. (1994): *Vies de comunicació i poblament rural del terme des Mercadal*. Menorca: IME-Ajuntament des Mercadal.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1946-1951): *Mapa General de Menorca*. (14 làm. de 30 × 38 cm). Maó: Imp. M. Sintes Rotger. (Reedic. 1987. Palma de Mallorca: M. Portas).

MASCARÓ PASARIUS, J. (1953): *Nomenclátor de Menorca. Catálogo de accidentes de la costa. Catálogo de fincas rústicas y breves notas arqueológicas*. Ciutadella: Impr. Gabriel Camps.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1954): «Erratas en la toponímia de la cartografia menorquina». *Monte Toro*. Menorca.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1955): «La religión en la toponímia menorquina». *Monte Toro*. 120, Menorca.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1973): *Nomenclátor de Menorca II. Catálogo de fincas rústicas*. Ciutadella: Imp. Allés.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1976): *Mapa de Menorca*. (70 × 49 cm). Palma de Mallorca: Gràfiques Miramar.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1980): «La toponímia cartogràfica de Menorca a través del temps». *Menorca*. 16-XI-1980.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1981): «Cartografía de Menorca». *Geografía e Historia de Menorca*. II: 864-910.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1982): *Mapa topográfico de Menorca*. (escala 1:50.000. 136 × 98 cm). Barcelona: Ed. Savir.

MASCARÓ PASARIUS, J. (1982): *Geografía e Historia de Menorca*. Ciutadella: Al·les, Artes Gráficas.

MASCARÓ PASARIUS, J. (2005): *Corpus de toponímia de Menorca*. (2 volums). Palma: Ed. Hora Nova.

ORDINAS GARAU, A. (1991): «Menorca a través de la seva toponímia». *El Mirall*, núm. 47, pàg. 19-21.

ORDINAS GARAU, A. (1992): «Oronímia, hidronímia i fitonímia. Una aproximació a la terminologia geogràfica del paisatge natural menorquí». *Treballs de Geografia*, núm. 44, pàg. 145-152.

ORDINAS GARAU, A. (2001): *Geografía i Toponímia a les Illes Balears. La terminologia geogràfica en els noms de lloc*. (Els treballs i els dies, 48). Mallorca: Ed. Moll.

ORDINAS GARAU, A. (2004): «Els ensenyaments fisiogràfics de la toponímia. Genèrics orogràfics del Migjorn». A: FORNÓS, J. J.; OBRADOR, A.; ROSSELLÓ, V. M. (eds.). *Història natural del Migjorn de Menorca: el medi físic i l'influx humà*. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, núm. 11, pàg. 315-326.

PONS CAMPS, P. (2003): *Cases del camp migjorner*. Es Migjorn Gran: Ajuntament des Migjorn Gran.

ROSSELLÓ BORDOY, G. (1986): «Algunes notes sobre toponímia de Mallorca i Menorca». *Homenaje a D. Jesús García Pastor, bibliotecario*. Palma de Mallorca, pàg. 79-84.

SALORD, J. (1952): «Toponímia y arqueología. Sa Canassia = L'Esclésia». *Monte Toro*.

SALORD, J. (1952): «Toponímia y Arqueología». *El Iris*. Menorca.

SEGUÍ CHINCHILLA, J. I. (1983): *La costa de Menorca*. (22 mapes + 1 mapa guia). Maó: Club Marítim de Mahón.

TORT, J. (2000): «La geografia, els noms de lloc i la descripció del territori». A:

MATEU, J. F., CASANOVA, E. (eds.). *Estudis de Toponímia Valenciana*. València, Denes, pàg. 491-497.

TORT, J. (2000): «Els noms de lloc i la geografia. La toponímia com a eina per a la conceptualització de l'espai». *Butlletí Interior Societat d'Onomàstica*, núm. 83, pàg. 86-98.

TORT, J. (2001): «La toponímia com a camp de coneixement interdisciplinari. Algunes bases teòriques i epistemològiques per a l'estudi dels noms de lloc». *Scripta Nova*, núm. 86.

TORT, J. (2002): *La toponímia del Baix*

Camp. Una interpretació geogràfica. Reus: Associació d'Estudis Reusencs.

TORT, J. (2003): «A propòsit de la relació entre toponímia i geografia: el principi de 'significativitat territorial'». A: CASANOVA, E.; VALERO, L. R. (eds.). *XXIX Col·loqui de la Societat d'Onomàstica*. Teulada: Denes. pàg. 675-688.

VIDAL BENDITO, T. (1969): «Evolución de la agricultura y de la propiedad rural en la isla de Menorca». *Revista de Menorca*, núm. 5-46, 85-125, 151-170.

*Influencia de los factores
geográficos en las
inundaciones de los valles
cantábricos navarros*

Javier M. Pejenaute Goñi

Centro Asociado de la UNED de
Pamplona

Departamento de Geografía e
Historia

jpejenaute@pamplona.uned.es

INFLUENCIA DE LOS FACTORES GEOGRÁFICOS EN LAS INUNDACIONES DE LOS VALLES CANTÁBRICOS NAVARROS

Javier M. Pejenaute Goñi

RESUMEN: Los valles cantábricos navarros han padecido numerosas inundaciones, que han generado cuantiosos daños. Este artículo, que tiene como objetivo el estudio de los factores geográficos que las originan, contempla cinco apartados: el clima y las precipitaciones; el relieve, en el que inciden la pendiente, orientación, y naturaleza del terreno; la vegetación; el comportamiento hidrológico de los ríos; y los obstáculos creados por el hombre que alteran las condiciones naturales.

PALABRAS CLAVE: Inundaciones históricas, factores, valles cantábricos navarros, precipitaciones intensas, riesgo.

ABSTRACT: The Cantabrian valleys of Navarre have undergone several floods that have caused considerable damage. This paper aims to study the geographical features that generate these floods by using the following variables: climate and rainfall; relief-considering slope, orientation and nature; vegetation; hydrological behaviour of rivers; and man-made obstacles that alter natural conditions.

KEYWORDS: historical floods, factors, Cantabrian valleys of Navarre, heavy rainfall, risk.

1. Introducción

Los valles cantábricos navarros, fronterizos con Guipúzcoa y Francia, pertenecientes a la Confederación Hidrográfica Norte, comprenden, según la Zonificación Navarra 2000, las áreas de Baztan, Cinco Villas, Bertizarana-Malerreka, Basaburua Artea y Barrena, y Araitz, y sus núcleos más poblados son: Elizondo, Bera, Leitza, Lesaka y Doneztebe. El territorio está recorrido por el río Baztan-Bidasoa y las cabeceras del Urumea y Oria, Nivelle y

Nive, que desembocan en el mar Cantábrico por Guipúzcoa y Francia.

Han padecido muchas avenidas que han generado cuantiosos daños (Ibáñez et al., 2000; Pejenaute, 1991 y 1996; Prieto y Lamas, 1985; Gobierno Vasco, 2006 y 2007). Se ha realizado la identificación, caracterización y clasificación de los episodios históricos de inundación ocurridos en el período 1881-2007. El número total de inundaciones históricas de primer (13), segundo (34) y tercer nivel (126) demuestran que los valles cantábricos navarros

tienen alto riesgo de padecer estos episodios (Pejenaute, 2008). El hecho de que las inundaciones intensas se repitan últimamente con cierta intensidad (mayo de 2007 y febrero de 2009), hace pensar que, pese a las actuaciones realizadas, es un evento atmosférico extremo no dominado.

Se ha dividido el área afectada en tres tramos y catorce subtramos de la red de drenaje superficial, con características hidrogeológicas y ecológicas similares (Pejenaute, 2008). El primero incluye los ríos que tienen su cabecera en Navarra, desaguan en el Oria y Urumea e inundan los valles guipuzcoanos. El segundo, el más extenso, comprende el alto Bidasoa, desde la cabecera hasta la desembocadura del río Ezkurra, y el bajo Bidasoa, desde éste hasta Endarlatsa. Finalmente, el tercero, La Nive-La Nivelle, abarca ríos que desembocan en el mar Cantábrico, vía Francia (Fig. 1).

Esta investigación, que forma parte de un proyecto más amplio en vías de realización, financiado por la Fundación Caja Navarra (programa *tú eliges, tú decides*) tiene como objetivo el estudio de los factores geográficos, relacionados con el medio físico, que dan lugar a las inundaciones. Se estudia el clima, con las precipitaciones (cantidad, distribución temporal, intensidad, tipos, dinámica atmosférica) y temperatura que influye en la evaporación; el relieve, en el que inciden la pendiente, altitud, orientación, y la naturaleza del terreno (permeabilidad, grado de resistencia frente a la erosión); la vegetación que consume grandes cantidades de agua del suelo y protege de la erosión; el comportamiento hidrológico de los ríos (caudaloidad, regularidad, variaciones, estiajes, carga en suspensión); y finalmente, los obstáculos creados por el hombre que alteran las condiciones naturales. Se estima indispensable comprender las causas que provocan las inundaciones para poder afrontarlas.

2. Climatología peligrosa

Las características climáticas de los valles cantábricos navarros (temperaturas, precipitaciones y evapotranspiración) favorecen las avenidas. Tienen un clima muy lluvioso de tipo atlántico, debido a la proximidad al mar Cantábrico, a la altitud cercana al nivel del mar, a la orientación de sus montañas, y a su situación, bien orientada, en la zona de entrada de las borrascas atlánticas.

Las precipitaciones, abundantes y muy contrastadas, se sitúan entre mil seiscientos y dos mil quinientos milímetros anuales. Estas diferencias son debidas a la mayor o menor proximidad al mar Cantábrico y a la situación de los valles con respecto a las pantallas climáticas de la zona. Invierno es la estación más húmeda, seguida de primavera y otoño, que también son muy lluviosas, y no hay sequía estival. Se registran de 160 a 180 días de lluvia en las partes bajas y de 180 a 190 en las montañas. Parte de la precipitación invernal se presenta en forma de nieve, sobre todo en el reborde pirenaico, si bien permanece poco tiempo en el suelo por la menor altitud de las montañas y la suavidad térmica, por lo que se dan casos de deshielo rápido que originan fuertes crecidas.

Las isoyetas siguen las curvas de nivel (Fig. 1), de tal manera que las precipitaciones disminuyen en las partes bajas de las cubetas, fondos de los valles y laderas de sotavento, y aumentan en las áreas montañosas. Las zonas más lluviosas superan los 2.200mm: cabecera del río Baztan en el macizo de Quinto Real, tramo 2a1; y regatas que nacen en el macizo de Cinco Villas, y montes del Bidasoa, tramos 1c y 2b1. Hay un área extensa en forma de U con precipitaciones entre 2.000mm y 2.200mm, que se convierte en un auténtico nido de inundaciones, y que abarca los sectores occidental, central y oriental.

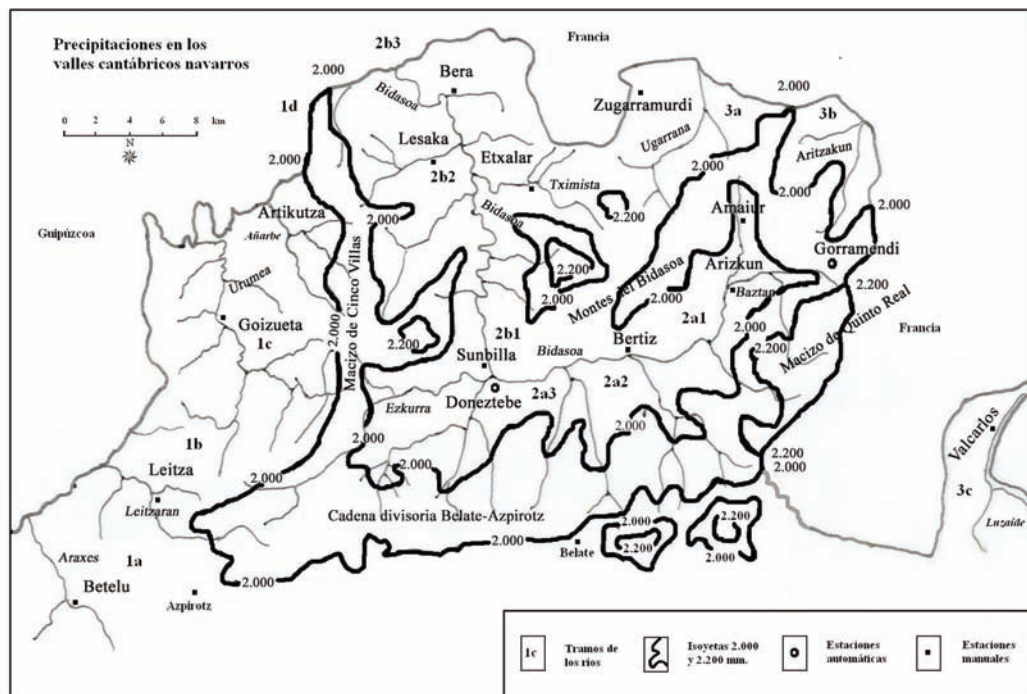


Fig. 1. Precipitaciones en los valles cantábricos navarros.

Cuadro 1. Precipitaciones máximas diarias previstas en los valles cantábricos a partir de la estimación de la distribución de valores máximos Gumbel (Pejenaute, 2002).

Observatorios	T2 (mm)	T5 (mm)	T10 (mm)	T15 (mm)	T20 (mm)	T25 (mm)	T50 (mm)	T100 (mm)
Artikutza	113,2	148,8	172,4	185,7	195,1	202,2	224,3	246,3
Arano Arrambide	90,8	120,4	140,0	151,1	158,8	164,8	183,2	201,4
Doneztebe	74,3	96,7	111,6	119,9	125,8	130,3	144,2	158,0
Amaiur	82,1	110,0	128,6	139,0	146,3	151,9	169,3	186,5

Estos valles anotan precipitaciones máximas diarias elevadas para distintos períodos de retorno (Cuadro I). Cuando las precipitaciones son generales e intensas en algunos tramos, las inundaciones son extraordinarias. Si, además, llueve mucho en las zonas bajas, se multiplica el efecto de la riada, al concentrarse en un mismo lugar las aguas procedentes de las partes altas y las de la lluvia directa (agosto de 1983).

La disposición del relieve del conjunto de la zona condiciona la génesis y la tipología de las crecidas. Estos valles, rodeados de alineaciones montañosas, que suponen barreras a la circulación habitual de la atmósfera, provocan los tres tipos de inundaciones más importantes: las originadas por los temporales atlánticos de otoño e invierno; las de deshielo con fusión repentina de la nieve de las cumbres en la estación invernal; y las convectivas del

semestre cálido, debido al calentamiento y ascenso de masas de aire húmedas.

Las lluvias torrenciales provocadas por los temporales de invierno y otoño, dan crecidas más prolongadas en el tiempo, que tienen lugar principalmente en enero, diciembre y octubre. Son precipitaciones frontales más duraderas, de carácter ciclónico orográfico, que generan crecidas generales, de mucha extensión espacial, originadas por una circulación zonal en altura de fuerte gradiente, que se ondula con anormal rapidez, y pasa de una situación poco lluviosa del Oeste, a otra muy inestable del Noroeste o del Norte.

Afecta a Navarra una vaguada fría con eje Islandia-Islas Británicas-Mediterráneo occidental, que convertida en borrasca cerrada, se sitúa en la parte oriental de Navarra (octubre 1953 y 1992; diciembre 1926 y 1992; enero 1899). El gradiente de presión, muy elevado en la Península, oscila entre 1.000-1.004 hPa y 1.020-1.024 hPa, y en la topografía de 500 milibares entre 5.400 m y 5.700 m. En esta topografía, la temperatura en invierno se sitúa entre -28 °C y -32°C, y en otoño entre los -20°C y -28°C.

Estos temporales resultan muy problemáticos cuando hay un rápido deshielo. Para ello tiene que nevar; después, aumentar bruscamente las temperaturas (viento solano); y registrar lluvias intensas (diciembre de 1930 y 1980, y marzo de 1930). Se trata de inundaciones lentas, duraderas y más previsibles, con una elevada generación de escorrentía; entonces, el agua desciende de las montañas, desborda los ríos y produce daños de consideración. La peligrosidad se agrava cuando coincide la marea alta con los picos de las crecidas (Urumea en San Sebastián y Bidasoa en Irún), que provocan la subida del nivel de las aguas y el retraso del desagüe fluvial (octubre de 1933; diciembre de 1959).

Las tormentas breves e intensas provocadas por embolsamientos fríos en las capas

altas, que tienen lugar en la estación cálida (junio, agosto, mayo y septiembre), han dado lugar a las inundaciones más violentas, porque originan lluvia intensa en un corto espacio de tiempo, que provoca avenidas locales, repentinas, de tipo *flash-flood*, y difíciles de prever. Destacan, por su intensidad y daños ocasionados, las vaguadas del Noreste, depresiones formadas en procesos de retrogresión, con fuertes movimientos verticales (junio de 1895, agosto de 1983 y mayo de 2007). Las masas de aire de procedencia septentrional, en su giro ciclónico, se cargan de humedad a su paso, primeramente por el mar Mediterráneo, y después, por el mar Cantábrico y, al llegar a Navarra, forman células convectivas, dibujadas en el radar. La baja adopta una posición submeridiana en sus comienzos, para pasar después a meridiana, siendo entonces cuando se registran intensas precipitaciones en poco tiempo (Fig. 2).

Con este tipo de situación, resulta difícil la predicción del momento, la intensidad y la localización exacta, debido a la importancia de la orografía local. Es fundamental el seguimiento continuo del radar y la mejora de los sistemas de alerta. El 4 de mayo de 2007, en las imágenes del radar vasco de vigilancia de Kapilduy (Fig. 2), se observa la formación de diversas tormentas móviles que se desplazaban en el sentido Norte-Sur, con dos células convectivas de pequeña escala, dotadas de movimiento propio, localizadas, respectivamente, en los montes del Bidasoa y en la alineación oriental del macizo de Cinco Villas.

Los balances de humedad superan los 1.000 mm y oscilan desde los próximos a 1.000 mm de los observatorios menos irrigados a los casi 1.400 mm de los más húmedos (Cuadro II). Los más irrigados no tienen ningún mes deficitario o sólo julio, y los menos anotan déficit en julio y agosto, salvo Doneztebe, que lo hace también en junio. Con estos valores es frecuente que

coincidan lluvias intensas y suelos saturados de agua, por ello es importante observar las

condiciones hidrológicas previas a las crecidas.

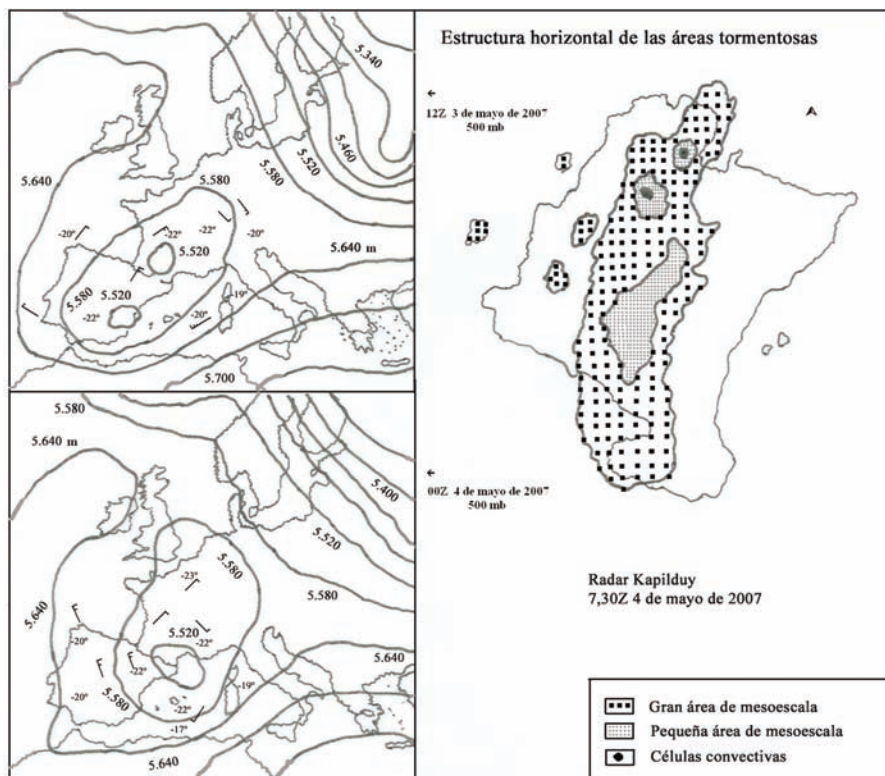


Fig. 2. Estructura horizontal de las tormentas, día 4 de mayo de 2007 en Navarra.

Cuadro II. ETP, balance y déficit de humedad aplicando el método de Thornthwaite.

Observatorio	Tramo	Altitud (m)	ETP (mm)	Balance (mm)	Déficit (mm)	Meses
Leitza	1b	475	674	1.377	48	Jl, Ag
Artikutza	1c	313	686	1.912	—	—
Arizkun	2a1	261	697	1.344	39	Jl, Ag
Erratzu	2a1	282	745	1.211	34	Jl
Doneztebe	2a3	140	739	1.056	177	Jn, Jl, Ag
Bera	2b2	50	740	1.236	83	Jl, Ag
Zugarramurdi	3a	137	747	1.002	23	Jl.
Valcarlos	3c	320	697	1.028	109	Jn, Jl, Ag

Elaboración propia a partir de datos del Estudio Agroclimático de Navarra, 2001.

2. El relieve

Un segundo factor físico que influye es el relieve y dentro del mismo, primeramente, la altitud, pendiente y orientación; y en segundo lugar, la naturaleza del terreno, que incluye aspectos claves como la permeabilidad, el grado de resistencia frente a la erosión, y las características morfológicas de los cursos de los ríos.

Estos valles, situados en la parte septentrional de la divisoria de aguas cantábrico-mediterráneo, tienen una orografía accidentada en la que destacan varias alineaciones montañosas, superiores a los 1.000 m: la cadena divisoria Belate-Azpirotz al Sur; el macizo de Cinco Villas, que se sitúa en las partes occidental y central (montes del Bidasoa); y el de Quinto Real en la oriental. Entre estas montañas, se encuentra el corredor de Bera-Ainhoa y las cubetas de Igantzi, Aranatz, Sunbilla, Lesaka, Etxalar y Baztan. Predomina una orografía compleja de valles encajados que discurren por gargantas estrechas y retorcidas.

Los tramos de los ríos tienen poca extensión de cuenca (Fig. 1), pero no por ello dejan de generar importantes puntas de crecida con gran probabilidad de coincidencia. Los más extensos son el 2a1, Baztan-Artesiaga (270 km²), el 1c, Urumea-Añarbe (164 km²), y el 2a3, Zeberia-Ezkurra-Espelura (142 km²). El resto son ríos de cuencas reducidas, unos más extensos, como el 1a, Araxes-Oria (75,2 km²), 2b3, Endara-Txingudi, y 2a2, Artesiaga-Zeberia-Marin, ambos próximos a 60 km². Y el resto, de escasa superficie, se sitúa entre los 40 y 60 km².

Las características topográficas favorecen la inundación. Se trata de valles profundos, rodeados de fuertes pendientes y en cuyos fondos aparecen pocas llanuras y no muy amplias. Las regatas y barrancos que alimentan los ríos tienen mucha pendiente, corto recorrido –hasta que llegan al río

principal– y poco terreno llano para expansionarse. La costa se encuentra próxima, por lo que la pendiente es acusada, y se pasa, en poca distancia, de las montañas a las zonas llanas, o sea de unos 1.200 m al nivel del mar.

Los mapas topográfico y de pendientes no se corresponden, pues se alcanzan valores altos de pendiente en altitudes modestas. La mayor parte del territorio tiene una pendiente entre el 10 y el 20% (Gran Atlas Geográfico e Histórico de Navarra, 1986), que aumenta en sus cabeceras al 30%, la supera en pequeños sectores, y desciende del 10% en los pocos fondos de las depresiones. Son escasas las zonas inferiores al 10% y las superiores al 30%. Éstas, se dan en la parte Norte del macizo de Quinto Real, en el macizo de Cinco Villas y en la sierra de Aralar (tramos 3b, 2b2 y 1a). Más frecuentes son las pendientes medias entre el 20 y el 30% del macizo de Cinco Villas, montes del Bidasoa, macizo de Quinto Real, cadena divisoria, y sierra de Aralar (tramos 1b y 1c; 2b1 y 3a; 2a1; 2a2; 1a).

Hay un desnivel importante entre las montañas y las localidades. En los tramos del bajo Bidasoa (2b1, 2b2, 2b3) los afluentes del curso alto presentan desniveles importantes desde sus cabeceras en el macizo de Cinco Villas y montes del Bidasoa hasta los núcleos de población. Como los ríos van encajonados, las redes hidrográficas locales y comarcales no tienen la figura dendrítica habitual, y las confluencias fluviales se hacen en forma ortogonal. Son zonas de riesgo las pequeñas llanuras que se abren en los lóbulos cóncavos de los meandros, y los lugares en donde desembocan las regatas del monte.

Las fuertes pendientes del terreno dan lugar a que, a igualdad de precipitaciones, tanto el coeficiente de esorrentía como la punta de la onda de avenida aumenten. Resulta muy peligrosa la avenida súbita, provocada por lluvias intensas, con tiempo

de concentración mínimo e insuficiente de la riada. Cuando esto se produce, los testigos hablan de una gran ola o montaña de agua y lodo, que se precipita sobre las zonas llanas (2 de junio de 1913 en Erratzu; 17 de agosto de 1927 en Valcarlos; 25 de agosto de 1983 en Bera; 4 de mayo de 2007 en Etxalar). Resulta necesario mantener limpias pistas y riberas de vertederos y escombreras, y eliminar obstáculos.

La orientación favorable de las montañas a la trayectoria de las borrascas da lugar a cuatro pantallas pluviométricas, donde se gestan las inundaciones. La Noroccidental o del macizo de Cinco Villas, de orientación N-S y NO-SE (Erakurri, 1.139 m; Mendaur, 1.135 m) con el 65,2% de las inundaciones de primer y segundo nivel. La Norte o de los montes del Bidasoa, de orientación NE-SO (Izkolegui, 816 m; Legate, 870 m; Alkurruntz, 932 m), con el 63,04%. La Nororiental o del macizo de Quinto Real, de orientación NNO-SSE (Gorramendi, 1.081 m; Autza, 1.306 m; Ortanzurieta, 1.579 m) con el 45,6%. Y la meridional o de la cadena divisoria Belate-Azpirotz-Aralar, de orientación zonal (Irumugarrieta 1.427 m; Txaruta, 1.082; Sayoa, 1.419 m), con el 28,3% de las inundaciones (Fig. 1).

El territorio de los valles cantábricos navarros se formó en los ciclos geológicos herciniano, (era primaria) y alpino (secundaria y terciaria). La orogenia herciniana, cuyos restos están presentes en los macizos de Cinco Villas y Quinto Real, dio lugar a estructuras de plegamiento y a una intrusión granítica (peñas de Aya, en la parte Noroccidental). Forman un relieve dominado por una red de aristas de intersección de vertientes que se identifica con la divisoria de aguas de los ríos y regatas, que señala la dirección y orientación de las unidades de relieve y que constituye puntos de referencia en las crecidas fluviales (Fig. 3). Estas montañas fueron erosionadas y convertidas en una penillanura pretriásica, y sólo

permanece su basamento rígido, más o menos metamorfizado. En el plegamiento alpino, las rocas, poco plásticas, se fracturaron.

La resistencia de las rocas a la erosión influye en las inundaciones. Dominan las rocas silíceas en los macizos hercinianos, que aparecen en dos zonas distintas: al Norte de una línea que enlaza Leitza-Donzatebe-Elizondo-sierra de Gorramendi; y una segunda, en el extremo oriental, macizo de Quinto Real (Fig. 3). Son rocas metamórficas (pizarras, esquistos, cuarcitas), cuya distinta resistencia a la erosión diferencial deja en resalte crestas de cuarcitas, y excava, con mayor o menor facilidad, los esquistos y las pizarras, sin formar un relieve apalachense, salvo en el extremo oriental. Forman un paisaje de sierras quebradas y valles encajonados y retorcidos de vertientes abruptas, que describen espectaculares meandros, labrados por los ríos Bidasoa y Urumea-Añarbe, que recogen las aguas torrenciales de innumerables regatas que descienden de las cumbres. Como los macizos se encuentran próximos al nivel del mar, semejan verdaderas montañas, salpicadas de cubetas o depresiones excavadas por la erosión. La intrusión granítica de peñas de Aya forma pitones de vertientes abruptas donde hay granito fino (peñas de Aya 806 m) y colinas suaves y valles tortuosos, donde abunda el grueso, más erosionable.

En los bordes de este macizo antiguo aparece una cubierta detrítica permotriásica, de conglomerados y areniscas, muy resistentes a la erosión, que ha modelado un paisaje de crestas en la cabecera del río Baztan, y en algunas zonas marginales (Norte del Leitzaran, Ezkurra, y cabeceras del Artesiaga y Zeberia-Marin), cursos altos 2a1, 2a2, 1b y 3b.

El dominio alpino ocupa menos territorio y se sitúa al Sur de la línea Leitza-Gorramendi, y en alguna zona marginal del extremo septentrional, siempre rodeando a

los macizos de Cinco Villas y Quinto Real. Afecta, casi en su totalidad, a los sectores 1a, 1b y 2a3 y sólo, a los cursos más bajos de los tramos 2a1 y 2a2. Son terrenos de cobertura mesozoica en los que alternan rocas resistentes, calizas y dolomías, con

otras de escasa dureza, margas y flysch. Aparecen aristas estructurales o crestas de intersección de vertientes, resalte de bancos rocosos resistentes de calizas, destacados por la erosión diferencial (Fig. 3).

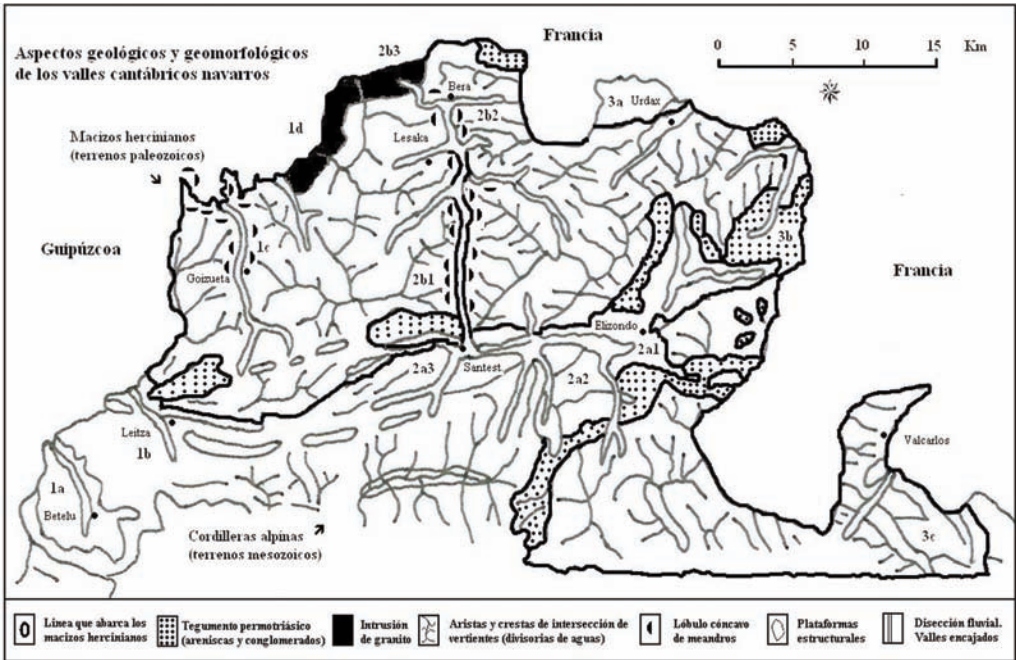


Fig. 3. Aspectos geológicos y geomorfológicos de los valles cantábricos navarros.

Las características litológicas de los valles cantábricos navarros, con presencia de rocas paleozoicas y del mesozoico, dan lugar a suelos principalmente impermeables, que no favorecen las pérdidas hídricas hacia conductos subterráneos, y reducen poco la escorrentía superficial. La mayor parte del territorio integrado en el macizo paleozoico, tramos 1c, 1d, 2b y 3a tiene suelos impermeables. El resto es impermeable en conjunto, con niveles permeables intercalados, salvo algunas bandas paralelas permeables en terrenos secundarios. Por lo

tanto, el terreno es poco favorable a la presencia de acuíferos de cierta importancia; existen pequeños y de ámbito local que son los que alimentan los manantiales que se utilizan para el abastecimiento de los pueblos.

El estudio pormenorizado de la morfología de los cursos alto, intermedio y bajo ayuda a entender el problema de las crecidas. En los valles cantábricos navarros predominan los cursos altos de los ríos, y los bajos en los valles guipuzcoanos, próximos al mar.

Los cursos altos ocupan en el primer tramo la cabecera del Araxes hasta las proximidades de Betelu, todo el río Leitzarán, y las cabeceras del Urumea-Añarbe y Oiartzun. En el segundo, las cabeceras del Baztan hasta Erratzu; las regatas Artesiaga y Zeberia-Marin; el Espelura antes de Oiz y Donamaria; el Ezkurra hasta Zubieta; el Latsa hasta Aranatz; y el Tximista antes de Etxalar. Y en el tercero, la cabecera del Ugarana y los cursos casi completos del Aritzakun y el Luzaide.

Se forman de la unión de muchos cauces pequeños e intermitentes que nacen en las montañas. El río que se inunda en las partes bajas, muchas veces en Guipúzcoa, está dividido y disperso en las partes altas, y con altas precipitaciones, drena y evacua el agua sobrante, y arrastra tierras y vegetales. Se trata de cursos torrenciales, veloces por la fuerte pendiente, en los que predominan los procesos de erosión y transporte, que producen deslizamientos y desprendimientos de rocas, arrastradas a los ríos principales. La concentración rápida de la escorrentía y las fuertes puntas de caudal se deben a su corto recorrido y gran pendiente, a la estrechez de sus valles y cauces, y a las densidades bajas de drenaje. Se ha observado continuamente la simultaneidad entre afluentes en las distintas inundaciones históricas, por lo que la disponibilidad de tiempo de reacción es muy pequeña.

El curso intermedio de menor pendiente, ocupa en el primer sector el Araxes y el Urumea desde las proximidades de Betelu y Goizueta respectivamente, hasta Guipúzcoa; en el segundo, el Baztan-Bidasoa desde Erratzu y Amaiur hasta Doneztebe, y el curso final del Ezkurra; y pequeños ríos del tercero, como el tramo final del Luzaide.

La zona más extensa de este tramo es la cuenca del Baztan-Bidasoa, que antes de Elizondo es una cubeta sinclinal formada por la acción erosiva sobre ofitas, arcillas y

margas del triásico. En su fondo, donde se encuentran las localidades y los cultivos, dominan formas más suaves. En su recorrido se encuentran aluviones silíceos y depósitos periglaciares en lengua de barro y bloques, y fondos planos aluviales, muchos de ellos con problemas de crecidas (Floristán, 2000). Algunas regatas caudalosas que proceden de los macizos hercinianos se unen al curso principal.

El Bidasoa, de Oronoz a Doneztebe, discurre por la parte central de la depresión intermedia, cuyos aluviones recubren el fondo; se abre en Narbarte, para llegar después a la llanura de inundación Legasa-Donztebe-Oteiza, terreno de asentamientos y cultivos, expuestos a las avenidas. Su afluente, el río Ezkurra, ha excavado en el *flysch* del cretácico, y en su orilla se asientan Zubieta, Ituren, Elgorriaga y Doneztebe, con meandros que cubren las aguas. Se une en Doneztebe con el Espelura y, juntos, canalizados, desembocan en el río Bidasoa.

El curso bajo está relacionado con los tramos medios y altos, y las laderas montañosas. Incluye, en Navarra, el Bidasoa desde Doneztebe hasta su desembocadura, las partes bajas de las regatas Latsa, Onin, Tximista y Zia; y el Ugarana desde las proximidades de Urdax hasta la frontera francesa. Estas regatas tienen un carácter torrencial más acusado, e introducen en el cauce principal materiales erosionados.

En este tramo, el Bidasoa cambia su dirección hacia el Norte a partir de Doneztebe, para pasar por un angosto canal, los montes del Bidasoa y Berroaran. Su curso se vuelve sinuoso mientras atraviesa el macizo paleozoico, y forma numerosos meandros pronunciados y terrazas fluviales. Existen problemas de inundación en zonas urbanas, donde el crecimiento industrial y urbano han llevado a la ocupación del espacio fluvial (Sunbilla, Ventas de Igantzi, Etxalar, Lesaka, Bera, Urdax), y en las áreas de confluencia de los sistemas fluviales.

Finalmente, el agua procedente de los valles navarros inunda las ciudades guipuzcoanas (Tolosa, Andoain, Lasarte, Hernani) y, además, la marea alta, en el caso de San Sebastián, e Irun-Hondarribia, taponan la salida al mar del agua.

3. La vegetación

La vegetación arbórea que acompaña a los ríos cantábricos influye en las crecidas de los ríos. Se puede afirmar que sirve de freno a las elevadas precipitaciones porque consume grandes cantidades de agua del suelo y las raíces protegen el suelo de la erosión. Las condiciones climáticas (suavidad térmica, pocas y débiles heladas, abundancia y regularidad de precipitaciones) favorecen el desarrollo de la vegetación arbórea: bosque caduco, pinares y alisedas. Además, el paisaje vegetal cubre el terreno de hierba (prados) y matas (landas).

Los valles cantábricos tienen vegetación eurosiberiana con árboles de hoja caduca, entre los que sobresale el haya, que prefiere las montañas umbrosas, entre los 600 y 1.700 m de altitud, y los suelos fértiles, calizos y permeables; el roble, que se localiza en el fondo de los valles y laderas bajas; y el castaño, que busca los terrenos silíceos. Disminuyen el riesgo de inundaciones, pues las hojas de los árboles frenan la caída de las gotas de lluvia, y forman un manto esponjoso, que facilita la penetración y absorción del agua. Con lluvias torrenciales, el suelo es un auténtico depósito, que retiene cantidad de agua que se filtra lentamente hacia sus raíces. Además, el agua que corre ladera abajo encuentra árboles y arbustos, muy asentados por sus raíces profundas, que forman una red protectora de la arroyada.

También es tierra de pinares autóctonos y de repoblación, cuyo efecto protector es inferior al de los anteriores. Cuando la lluvia

es abundante, la capacidad de retención se supera pronto y gran cantidad de agua llega al suelo.

Se han talado muchos hayedos para convertirlos en prados de diente en las montañas y robledales en prados de siega en los fondos llanos. Las pequeñas raíces de las hierbas de los prados forman un entramado que, con lluvias suaves y continuadas, retienen muy bien la capa superficial del suelo de estructura muy porosa. Pero ante lluvias torrenciales, su capacidad se sobra y el agua resbala ladera abajo sin encontrar obstáculos que frenen su avance. En las laderas de mayor pendiente, el prado empapado y pesado produce deslizamientos del terreno expuestos a la erosión y a la formación de barrancos.

La aliseda es el bosque galería que acompaña a los cauces encajados de ribera. Se forma sobre suelo aluvial y está compuesta, en el estrato arbóreo, por alisos, fresnos de hoja ancha, sauces blancos y avellanos. Su flora herbácea es variada y de porte elevado. Contribuye a fijar el suelo frente al arrastre de las aguas en las crecidas. Por el lado de tierra firme contacta con los bosques mixtos de roble común, fresnos y avellanos. Cuando faltan éstos, la aliseda se rodea de campos de cultivo o prados de siega.

El río Bidasoa mantiene una aliseda relativamente continua en buena parte de su recorrido, si bien se ha ido reduciendo por la ocupación humana. El río Ezkurra, antes de llegar a Zubieta, conserva bien la vegetación de ribera y después alternan zonas mejor y peor conservadas. Lo mismo sucede en la regata Marín y en el Onin. Los ríos Zeberia y Tximista son los que mejor conservan la vegetación de ribera. Su eliminación favorece la aceleración de la masa de agua, al encontrar menos obstáculos a su paso. En algunos lugares, no es bueno el estado de las riberas y del ecosistema: basuras, ocupación del espacio de ribera por cultivos y edificios,

bosques ribereños en mal estado, ruptura de la continuidad del río.

Si se comparan los mapas de vegetación potencial y actual se observa que, a través del tiempo, los hayedos y sobre todos los robledales, han retrocedido mucho, pues ocupaban los mejores terrenos. A la transformación de bosque en prados, hay que añadir la tala para el suministro de madera. En Cinco Villas, Baztan, Urumea, Leizaran y Araitz sólo se conservan, por debajo de 600-700 m, pequeños rodales de robledal y de repoblación de coníferas. En cambio, la superficie potencial y real del hayedo es bastante parecida. Además se ha modificado el área forestal, con cambio de especies, podas y limpiezas, favoreciendo el paso del bosque al pastizal.

Con la deforestación, el suelo retiene menos agua, y aumenta la dimensión, frecuencia y la fuerza de las inundaciones. Las zonas de fuertes pendientes y laderas, sin bosques, son favorables a una escorrentía rápida, mientras que el recubrimiento del bosque la retrasa. Por eso, si se cuida el bosque autóctono en las cabeceras (divisoria de Belate-Azpirotz, montes del Bidasoa, macizos de Cinco Villas y Quinto Real), las inundaciones en los valles guipuzcoanos no serán tan fuertes. Sería interesante respetar lo que se tiene, y recuperar los cauces y riberas de los tramos castigados con especies autóctonas.

4. El comportamiento hidrológico de los ríos

Las características de los ríos cantábricos (caudaloidad, irregularidad, variaciones mensuales, crecidas y estiajes, transporte de carga por suspensión), aportan datos de interés para conocer las inundaciones. Son ríos de cuencas estrechas y de escasa longitud, pues las montañas donde nacen se encuentran próximas al mar. Recorren la

zona más lluviosa de Navarra, con balance hídrico excedentario, muy elevado en las cabeceras. Tienen una aportación natural media, que supone el 14,6% del volumen total medio circulante por Navarra y el 28,8% del generado en Navarra. Su régimen es pluvial más que nival, pues aunque caen nevadas invernales en las montañas, permanecen poco tiempo en el suelo por la moderación de las temperaturas.

La escasa extensión de sus cuencas genera un caudal absoluto limitado, inferior a $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ (Leizaran $4,25 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; Añarbe $2,31 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; Endara $0,26 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; Baztan $5,15 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y el Ezkurra $6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$), salvo en los ríos Urumea y Bidasoa. El coeficiente de variación mensual en Endarlatsa y Ereñozu (Fig. 4), señala las diferencias que hay entre los meses con caudal elevado, todos los de la estación fría, y los de bajo caudal, el resto, que coinciden con la estación cálida. Las diferencias entre el mes más caudaloso, febrero, y el menos, septiembre, muestran cierto contraste, que es, sin embargo, inferior al de los ríos mediterráneos. Como no hay verano seco, la curva de variaciones de caudal es poco pronunciada en sus altas y bajas. Sin embargo, de junio a septiembre, se aprecia un estiaje importante, precisamente cuando se genera sólo el diecisiete por ciento de los recursos medios anuales y es la época en que hay mayor demanda de agua.

Más interesante con respecto a las inundaciones resulta el caudal relativo o específico, que es elevado, al contrario de lo que sucede con el absoluto. Se sitúa entre los 40 y $60 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$, casi todos llevan de media entre 40 y $50 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$ y algunos superan dicha cifra, como el Añarbe $57,1 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$ y el Urumea $57,87 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$. Es decir, se trata de ríos cortos pero con alta abundancia específica; quizás los más caudalosos específicos de la Península. Prueba de ello es el río Bidasoa en Endarlatsa que aporta un caudal específico de $42,47 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$, con

máximo en febrero ($91,99 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$), diciembre ($65,66 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$) y marzo ($63,47 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$); y mínimo en septiembre ($9,38 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$), agosto ($14 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$) y julio ($16,5 \text{ l s}^{-1} \text{ km}^2$).

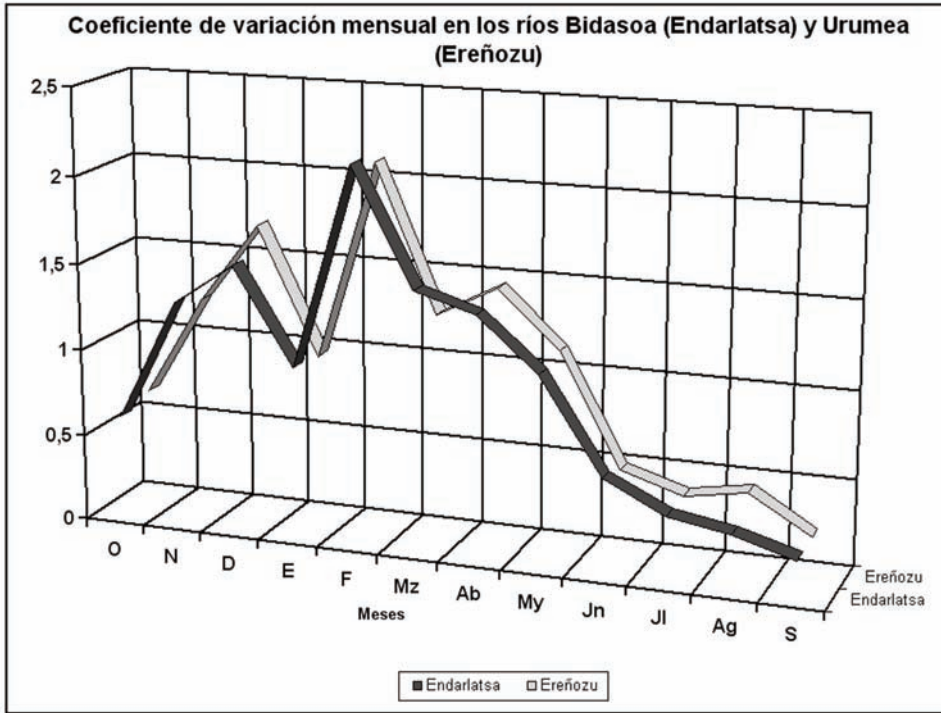


Fig. 4. Coeficiente de variación mensual en Enderlatsa y Ereñozu.

Los ríos cantábricos, con pocas diferencias de caudal entre unos años y otros por las lluvias seguras, tienen un coeficiente de irregularidad entre uno y dos (Añarbe 1,16; Endara 1,64; Leitzaran 1,80), aunque algunos superan dicha cifra (Urumea en Ereñozu 2,59 y Oria en Alegria 2,2). Eso no quiere decir que no se den crecidas y sequías, y que haya un contraste acusado en los caudales extremos diarios (el Bidasoa en Enderlatsa $686,8 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $0,10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$; el Urumea en Ereñozu $421 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ y $0,10 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$). A pesar de ello, los estiajes no son tan fuertes como los de los ríos andaluces de parecido tamaño.

Se observan en las avenidas dos tipos distintos de hidrogramas. El originado por precipitaciones intensas de tormenta produce una curva de ascenso brusca que refleja un rápido proceso de concentración de caudal. Es el caso de la inundación de primer nivel del río Bidasoa del 4 de mayo de 2007, debida a elevadas precipitaciones, 33 mm y 54 mm que cayeron, respectivamente, en tres y seis horas. Tal cantidad de lluvia dio lugar a una crecida con perfil muy apuntado y poco tiempo de reacción. En cinco horas subió el nivel del río de 2,15 m a 5,79 m (3,64 m), superó su capacidad de evacuación, y produjo avenidas. La punta de

crecida mantuvo su nivel alto durante cuatro horas, para descender pausadamente en un proceso de laminación (Fig. 5). Se superaron

los umbrales de prealerta y emergencia, 4,50 m y 5,50 m respectivamente.

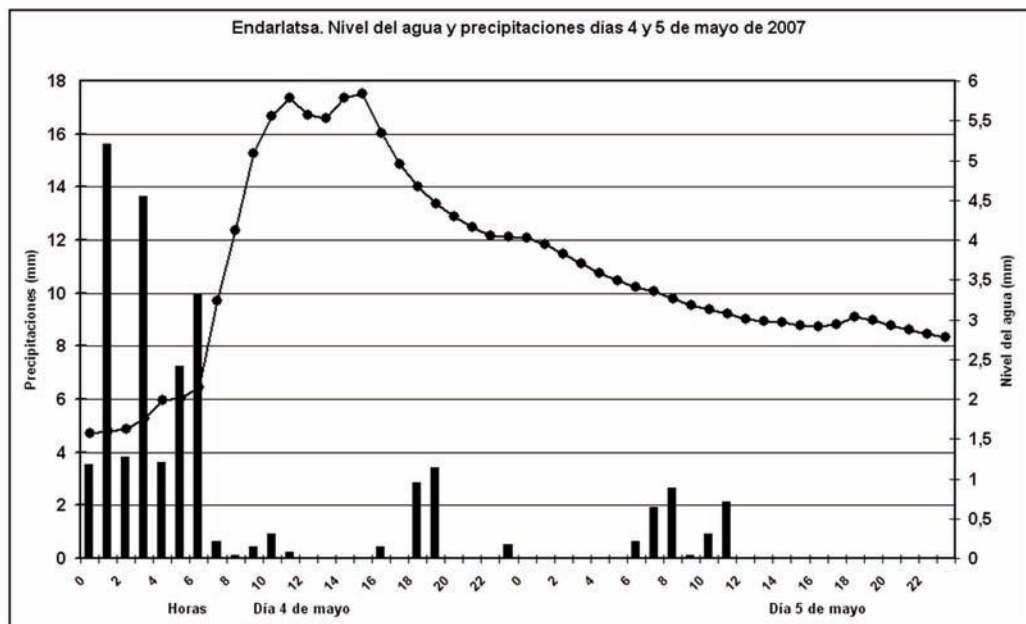


Fig. 5. Nivel del río Bidasoa en Endarlatsa y precipitaciones, 4 y 5 de mayo de 2007.

Con este tipo de crecidas, la fuerza erosiva del agua origina desprendimientos en las márgenes, y el río invade las llanuras laterales. Por otra parte, las regatas del curso alto, que atraviesan zonas de fuerte pendiente, antes de llegar al río principal, anegan aquellos lugares que no han sido bien planificados. La presencia de pequeños subtramos que bajan de las montañas, favorece la generación de peligrosas avenidas súbitas, a veces sobre cauces de poco caudal y con gran capacidad de erosión. Además, la escorrentía es alta por el predominio de rocas impermeables. Es complicada la regulación natural por la inestabilidad de las laderas que favorecen los deslizamientos y la erosión y transporte de torrentes.

En cambio, los temporales atlánticos de la estación fría dan unas crecidas distintas, más prolongadas en el tiempo, como las de los días 11 y 12 de febrero de 2009. Esta tardanza puede ser suficiente para rebajar el peligro en los puntos más vulnerables. El hidrograma refleja la inundación de segundo nivel del río Urumea de la madrugada del 12 de febrero de 2009, en que se recogieron 28,5 mm en once horas y con una máxima intensidad de 5,2 mm en una hora. Con estas cifras, se produjo una curva de ascenso bastante más sostenida; el nivel del agua subió de 1,5 m a 2,7 m en diez horas, por lo que hubo más tiempo de reacción, aunque se superaron los umbrales de prealerta y emergencia (Fig. 6)

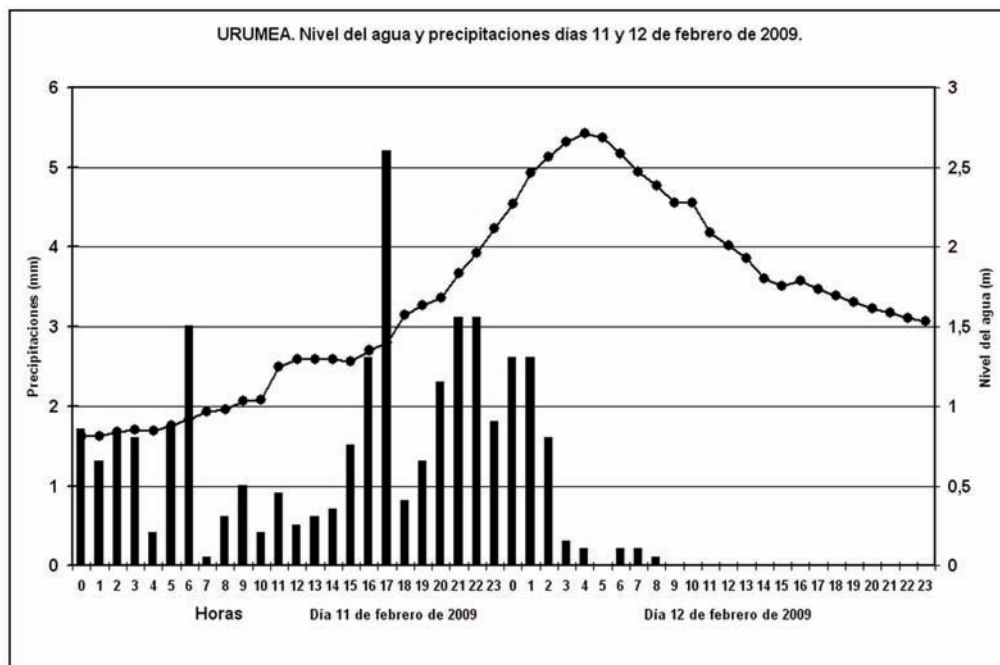


Fig. 6. Nivel del río Bidasoa en Endarlatsa y precipitaciones, 11 y 12 de febrero de 2009.

5. Alteración de las condiciones naturales

La modificación de los cauces de los ríos ha extremado los efectos de las inundaciones y contribuido a aumentar la punta de las crecidas. Estas variaciones han sido poco pronunciadas en los tramos altos, e importantes en las pocas zonas llanas existentes, en donde, debido a su configuración topográfica, se asienta la población. La invasión del cauce por urbanización abusiva, edificios urbanos e industriales, en zonas inundables agravan los daños, circunstancia que se da con mucha frecuencia en los valles guipuzcoanos donde hay menos espacios para edificar. En la figura 7 se representan los principales obstáculos situados a lo largo de los ríos: embalses; centrales, presas y molinos; puentes; y canalizaciones.

La capacidad de regulación artificial de los valles cantábricos es baja, porque no hay mucha posibilidad en cuencas estrechas de fuerte pendiente y sin dimensiones apropiadas, por lo que el efecto laminador apenas se percibe. Por ello, hay pocos embalses y de escasa capacidad (Añarbe y Artikutza, Urumea-Añarbe, tramo 1c de 44 hm³ y 1,6 hm³ de capacidad; San Antón y Domiko, río Endara, 2b3, con 5,1 hm³ y 0,8 hm³, para el abastecimiento de Irún y Fuenterrabía; Mendaur y Leurtza, 0,8 hm³, ríos Ezkurra y Espelura, para la generación de energía hidroeléctrica, 2a3), y mucha derivación de caudales a las pequeñas centrales hidroeléctricas (Fig. 7).

Las centrales, molinos y presas, muy abundantes, suponen una alteración importante del régimen hidrológico de los cauces, porque dificultan la circulación del río. Algunas, peligrosas por su altura y perfil

vertical, no se utilizan y están mal comunicadas. La retención o rotura de las presas, en caso de fuertes lluvias, provoca el

incremento del volumen, velocidad, punta de la crecida y evacuación posterior de los ríos y regatas.

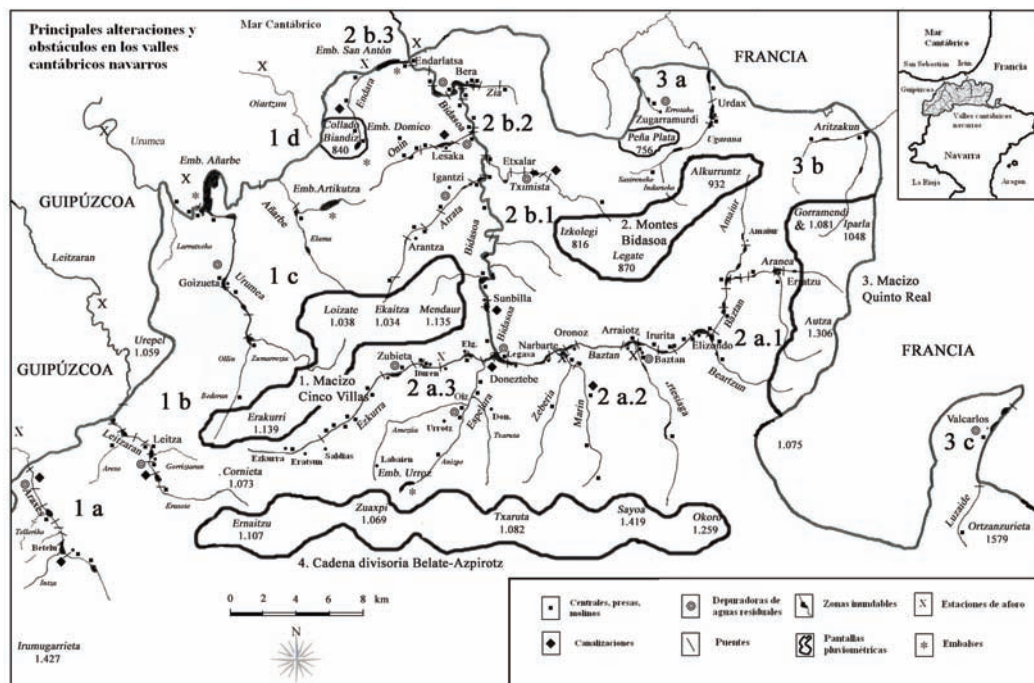


Fig. 7. Principales obstáculos en los ríos cantábricos navarros.

Desde tiempos lejanos se instalaron pequeñas presas en las regatas altas y, en tiempos más recientes, se aprovecharon los saltos de agua para energía eléctrica. Estas presas han elevado el nivel del agua y, con intensas lluvias, se produce una mayor acumulación de agua, y se multiplica la velocidad de la corriente. Debido a la alteración producida por la retención de aguas de las presas y el depósito de limos debajo de ellas, el caudal circulante es muy inferior al natural. Por eso y por las innumeras detracciones de agua existentes, los cauces principales y las regatas tienen un fuerte estiaje. También se ha observado un represamiento por obstrucción en los puentes, que tienen una capacidad de

desagüe insuficiente (Fig. 7).

Se han realizado algunos encauzamientos artificiales y canales en los ríos de los valles cantábricos (Fig. 7). Los cubiertos, que aparecen en algunas poblaciones, si no tienen dimensiones adecuadas, se sobran con precipitaciones intensas. El estrechamiento del cauce por la canalización hace que el agua alcance mayor altura y más velocidad. Aunque sirve para disminuir la avenida en las zonas cercanas, aumenta el caudal punta, y el problema se traslada a otras zonas más bajas. Además, la ruptura de una defensa provoca que la crecida se esparza por las zonas llanas, pues el canal eleva la corriente por encima del nivel del terreno inundable. El reciente canal de Doneztebe, que hasta

ahora ha aguantado las riadas, se rebasó ligeramente en las últimas inundaciones de segundo nivel de febrero de 2009.

La Confederación Hidrográfica del Norte y el Gobierno de Navarra desarrollan un programa de eliminación de los obstáculos más importantes de los ríos cantábricos. Desde el año 2005 se han permeabilizado o derribado más de diez obstáculos, algunos peligrosos, como Berrizaun (confluencia Bidasoa y Latsa, tramo 2b2), o la presa del molino viejo de Etxalar (regata Tximista, 2b2).

Después de una riada se observa que la reconstrucción se hace en condiciones muy parecidas a las que provocaron su destrucción. Se planifican canalizaciones de cauces en sitios concretos sin saber exactamente sus consecuencias. Y seguramente los problemas se repetirán si no se toman las medidas oportunas.

6. Conclusiones

El número total de inundaciones históricas y, en concreto, las más recientes de febrero de 2009, demuestra que los valles cantábricos navarros se encuentran en una zona con riesgo de avenidas, que son peligrosas por su formación rápida, poco tiempo de concentración, y velocidad originada por la fuerte pendiente de los ríos. Se trata de un fenómeno inesperado y no fácil de explicar, por los factores geográficos interrelacionados que actúan.

La climatología de los valles favorece la presencia y alta frecuencia de avenidas: posición próxima al mar Cantábrico, fuente de humedad; precipitaciones anuales y máximas diarias abundantes; balance hídrico excedentario, muy elevado en las cabeceras; y situación en la línea de entrada de los temporales atlánticos y de las tormentas estivales.

El relieve favorece la concentración rápida de la escorrentía y la disponibilidad

de poco tiempo de reacción. La orogenia herciniana dominante da lugar a una complicada red de aristas de intersección de vertientes, puntos de referencia en las crecidas fluviales. Las masas nubosas entran desde el mar Cantábrico a los valles navarros siguiendo cuatro trayectorias, en las que se sitúan las montañas, bien orientadas, que actúan como pantallas pluviométricas. Los valles se encuentran en una zona de terrenos impermeables con escasas pérdidas hídricas subterráneas. Las rocas metamórficas forman sierras quebradas, y valles encajonados y retorcidos de vertientes abruptas, que dibujan amplios meandros y pocas llanuras de expansión, que recogen las aguas torrenciales de innumerables regatas de las cumbres.

Los bosques de hoja caduca, y la aliseda de las riberas, aportan, en un principio, condiciones mitigadoras de las inundaciones. Pero su transformación en prados, la eliminación de la vegetación de ribera y la tala indiscriminada suponen una menor retención de agua y un aumento de la carga sólida. Las laderas desnudas en pendiente son favorables a una escorrentía rápida. Lo prudente sería respetar lo que se tiene, y recuperar, con especies autóctonas, los cauces y riberas de los tramos castigados.

Las características hidrológicas de los ríos cantábricos explican las inundaciones. Se trata de ríos cortos pero con alta abundancia específica, que las crecidas provocan desprendimientos y deslizamientos. La presencia de regatas que bajan de las montañas incrementa la generación de peligrosas avenidas súbitas, a veces sobre cauces de poco caudal y con gran capacidad de erosión. Es complicada la regulación natural por la inestabilidad de las laderas, que favorecen los deslizamientos y la erosión y el transporte de sedimento en cauces torrenciales.

La modificación de los cauces y la presencia de obstáculos situados a lo largo de

los ríos –embalses, centrales eléctricas, puentes, canalizaciones- suponen una alteración importante del régimen hidrológico de los cauces. Estas variaciones son poco pronunciadas en los tramos altos e importantes en las pocas zonas llanas, en donde, debido a su configuración topográfica, se concentra la actividad humana. Cuando el agua supera su capacidad de evacuación, ocupa la llanura de inundación.

Sería interesante la adopción de medidas para reducir el riesgo de inundación mediante el estudio de las aguas en las laderas y el fomento de la repoblación de masas forestales con especies autóctonas, sobre todo en los cursos altos y medios; la planificación conjunta de los diferentes puntos de la cuenca; la retirada de población de los lugares más peligrosos; y la construcción de las vías de comunicación sin coincidir con las zonas de crecidas de los ríos. No se trata de buscar soluciones para lugares concretos, sino realizar actuaciones globales en todos los tramos.

Bibliografía

FLORISTÁN, A. et al. (1986): *Gran Atlas Geográfico e Histórico de Navarra*, tomo 1 Geografía, Pamplona, Caja de Ahorros de Navarra.

FLORISTÁN, A. et al. (1991): *El agua en Navarra*, Pamplona, Caja de Ahorros de Navarra.

FLORISTÁN SAMANES, A. (2000): *Geografía de Navarra. El solar* (tomos 1 y 2, *las Comarcas* (tomo 5). Pamplona, El Diario de Navarra.

GOBIERNO DE NAVARRA (2001): *Estudio agroclimático de Navarra*. Pamplona, Dpto. de Agricultura, Ganadería y Alimentación, Servicio de Estructuras Agrarias.

GOBIERNO DE NAVARRA y CRANA (2007): *Foro del Agua de Navarra*. Documento Técnico para la Participación Pública en la Cuenca del Bidasoa.

GOBIERNO VASCO (2006): *Caracterización de las masas de agua superficiales de la CAPV*. Departamento de Transportes y Obras Públicas.

GOBIERNO VASCO (2007): *Mapa de inundabilidad de la CAPV*. Departamento de Transportes y Obras Públicas.

GOBIERNO VASCO (2007): *Mapa de inundabilidad de la CAPV*. Departamento de Transportes y Obras Públicas.

IBISATE, A., OLLERO, A. y ORMAETXEA, O. (2000): «Las inundaciones en la vertiente cantábrica del País Vasco en los últimos veinte años: principales eventos, consecuencias territoriales y sistemas de prevención». *Serie Geográfica*, nº 9, Departamento de Geografía, Prehistoria y Arqueología. Universidad del País Vasco.

PEJENAUTE GOÑI, J. (1991): «Estudio de las precipitaciones torrenciales de agosto de 1983 en Navarra». *Lurralde*, 14, pp. 117-142.

PEJENAUTE GOÑI, J. (1996): «Estudio de un episodio de lluvia torrencial en Navarra con efectos de inundación». *Espacio, tiempo y forma*, Serie VI, Geografía, t. 9, pp. 133-177.

PEJENAUTE GOÑI, J. (2002): «Precipitaciones máximas diarias en las comarcas navarras», *El agua y el clima, III Congreso de la Asociación Española de Climatología*, Universitat de les Illes Balears, Palma de Mallorca, pp. 305-314.

PEJENAUTE GOÑI, J. (2008): «Inundaciones históricas en los valles cantábricos navarros (1881-2007)», *Cambio climático regional y sus impactos, VI Congreso de la Asociación Española de Climatología*, Universidad Rovira i Virgili de Tarragona, Publicaciones de la Asociación Española de Climatología, Serie A, nº 6, pp. 209-221.

PRIETO, C. y LAMAS, J. L. (1985): «Avenidas extraordinarias en el País Vasco». *Geología y prevención de daños por inundaciones*. IGME, pp. 247-334.

*Sobre las anomalías de
precipitaciones en las Islas
Baleares durante 2008*

Climent Ramis Noguera

Grup de Meteorologia.
Departament de Física.
Universitat de les Illes Balears

Víctor Homar Santaner

Grup de Meteorologia.
Departament de Física.
Universitat de les Illes Balears

Romualdo Romero March

Grup de Meteorologia.
Departament de Física.
Universitat de les Illes Balears

SOBRE LAS ANOMALÍAS DE PRECIPITACIONES EN LAS ISLAS BALEARES DURANTE 2008

**Climent Ramis
Víctor Homar
Romualdo Romero**

RESUMEN: Se presenta un estudio de las anomalías de la precipitación en las islas Baleares durante el año 2008 respecto al período 1951-2007. Se analizan las variables ‘número de días de precipitación’ y ‘cantidad de precipitación’. Se comprueba que en 2008 ambas variables representan un extremo en las respectivas distribuciones de frecuencia para el bimestre mayo-junio y el trimestre octubre-noviembre-diciembre. Destaca especialmente el mes de mayo, en el que se registraron valores sin precedentes en ambas variables.

PALABRAS CLAVE: anomalías de precipitación, Islas Baleares, teleconexión.

ABSTRACT: The anomalies in precipitation in the Balearic Islands during 2008 with respect to the period from 1951 to 2007 are presented. The ‘number of days of precipitation’ and ‘precipitation amount’ variables were considered and it was found that both variables displayed an extreme in the respective frequency distributions for the May-June and October-November-December intervals in 2008. The month of May was an absolute extreme in both variables.

KEYWORDS: Precipitation anomalies. Balearic Islands, teleconnections.

1. Introducción

La precipitación es probablemente la variable meteorológica más sensible a la variabilidad interanual del sistema climático. Al observar un diagrama en el que se representa la serie temporal de las precipitaciones anuales (o mensuales) de un observatorio, se hace inmediatamente evidente este hecho. Los valores no son constantes, presentan oscilaciones alrededor del valor medio, que en algunos casos llegan a ser del mismo orden de magnitud que el propio

valor medio. Esta variabilidad interanual de la precipitación está íntimamente ligada a la variabilidad interanual de la circulación atmosférica, en particular a la de las circulaciones ciclónicas que son, en términos genéricos, las productoras de precipitación, al provocar ascensos del aire húmedo de las capas inferiores troposféricas y propiciar la condensación del vapor de agua que contiene. La variabilidad de la circulación atmosférica se suele sintetizar por medio de patrones que pueden ser descritos, de forma compacta, en términos

de índices de circulación como el conocido Oscilación del Atlántico Norte (NAO en lenguaje anglosajón). Valores altos del índice están relacionados con la formación de bajas profundas en el Atlántico con sus trayectorias desplazadas al norte, dando lugar a tiempo húmedo y cálido en Europa y seco en el Mediterráneo. Valores bajos están relacionados con la formación de depresiones débiles en el Atlántico con sus trayectorias desplazadas hacia el sur, dando aire húmedo sobre el Mediterráneo y tiempo frío en Europa.

Uno de los fenómenos meteorológico-oceanográficos que ha sido reconocido como una causa de importante variabilidad interanual es el conocido como El Niño/La Niña, íntimamente relacionado con la Oscilación del Sur (conjuntamente conocidos como ENSO en lenguaje anglosajón; Philander, 1989). Sus efectos, al modificar la estructura de las células ecuatoriales de Walker y meridianas de Hadley, se propagan a grandes distancias de donde se produce el fenómeno, con las consiguientes consecuencias sobre el tiempo y el clima en regiones lejanas. Es el denominado fenómeno de las teleconexiones. Son bien conocidos los efectos que produce ENSO en el continente norteamericano (Namias, 1978). Su señal también ha sido identificada en Europa (Fraedrich y Muller, 1992), aunque de una forma mucho menos clara.

El Mediterráneo Occidental, y consecuentemente las islas Baleares, por su posición geográfica está entre la zona afectada de forma regular por el cinturón de bajas presiones asociadas al frente polar y la zona dominada frecuentemente por el anticiclón de las Azores. Es una franja de transición situada entre el clima templado de latitudes medias y el clima cálido subtropical. Por esta razón el tiempo en esta zona es especialmente sensible a la variabilidad interanual de la circulación atmosférica. A

este principal control del tiempo hay que añadir las especiales características orográficas de las tierras que rodean el Mediterráneo Occidental, que pueden realzar o anular los efectos que se producirían sin la orografía. En particular, las perturbaciones atmosféricas que suelen dar lugar a precipitaciones en las islas Baleares suelen corresponder a flujos del norte o a perturbaciones desarrolladas dentro de la propia cuenca mediterránea (Romero *et al.*, 1999). Así, se han definido unos patrones de circulación en términos de variables de la propia cuenca (p. e., Oscilación del Mediterráneo Occidental -WeMO en lenguaje anglosajón-; Martín-Vide y López-Bustins, 2006) en un intento de caracterizar la circulación en la cubeta mediterránea. El WeMO presenta relación con la precipitación en la zona levantina española. La teleconexión de El Niño/La Niña sobre la circulación ciclónica/anticiclónica en el Mediterráneo Occidental y sobre la precipitación en las Islas Baleares ha sido estudiada por Laita y Grimalt (1997) y Laita (1998). Sus resultados muestran una señal débil pero identificable. Respecto a la precipitación total anual se demuestra que los años de El Niño son lluviosos mientras que los años siguientes a La Niña son especialmente secos. También se concluye que los bimestres enero-febrero, julio-agosto y septiembre-octubre son lluviosos en los años de El Niño. Para los años de La Niña se obtiene que el bimestre mayo-junio es lluvioso mientras que el bimestre mayo-junio del año siguiente a un año de La Niña es especialmente seco.

Las islas Baleares (Fig. 1) tienen un régimen pluviométrico caracterizado por presentar el máximo de precipitación durante los meses de septiembre, octubre, noviembre y diciembre y el mínimo durante julio y agosto (Guijarro 1986). El máximo pluviométrico del año coincide con la época

en la cual el número de días de lluvia es mayor (Sumner *et al.* 2001). El otoño es también cuando, por término medio, el número de días de tormenta es más alto (Gayá *et al.* 2001). La variabilidad pluviométrica interanual es notable. Esta variabilidad, bien conocida por los habitantes de las islas, puede conducir, debido al régimen pluviométrico indicado, a un déficit de agua en verano, precisamente la época de mayor demanda como consecuencia de una economía fundamentada en el turismo estival.

El año 2008 fue especialmente húmedo en las islas Baleares. Durante algunos meses se registraron precipitaciones importantes que representan fuertes anomalías sobre los valores indicados por la climatología. En este trabajo se presenta un estudio de estas anomalías, cuantificando su magnitud e intenta relacionarlas con algunos de los índices que caracterizan los patrones de circulación atmosférica. El apartado 2 presenta la metodología utilizada, el 3 los principales resultados, y en el apartado 4 se describen las conclusiones más relevantes.

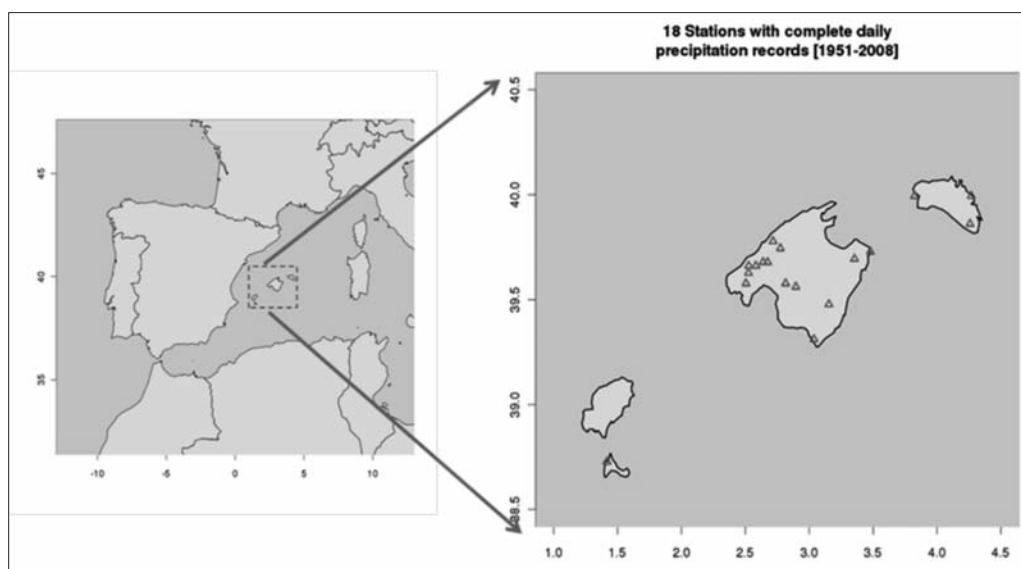


Fig. 1 Las islas Baleares y las estaciones pluviométricas utilizadas en el estudio.

Metodología

Para analizar la anomalía pluviométrica se han considerado los datos de 18 estaciones de las Islas Baleares que tienen la serie pluviométrica diaria completa desde 1951 (Fig. 1). Estas estaciones han sido utilizadas por el Grup de Meteorologia de la UIB en el marco del Observatori del Clima

de les Illes Balears (OCLIB) para hacer un seguimiento de la evolución de la precipitación en las islas Baleares. Se ha obtenido el régimen pluviométrico anual en las islas, calculando los valores medios mensuales de precipitación considerando las 18 estaciones durante el periodo 1951-2007. Análogamente se ha calculado el número medio mensual de días de lluvia (superior a 1 mm)

durante el periodo indicado. Se ha determinado la distribución de frecuencias de las cantidades de precipitación y de los días de lluvia para todos los meses así como para el bimestre mayo-junio y el trimestre octubre-noviembre-diciembre para el periodo 1951-2008. Los valores medios y las distribuciones de frecuencia se han comparado con los valores observados durante 2008. Finalmente se han obtenido los valores de

diferentes índices de circulación (NAO, SOI) que corresponden a estos intervalos con el fin de analizar su relación con resultados anteriores.

Resultados

La figura 2 muestra la distribución anual de la media mensual de los días de lluvia (superior o igual a 1 mm) y su comparación

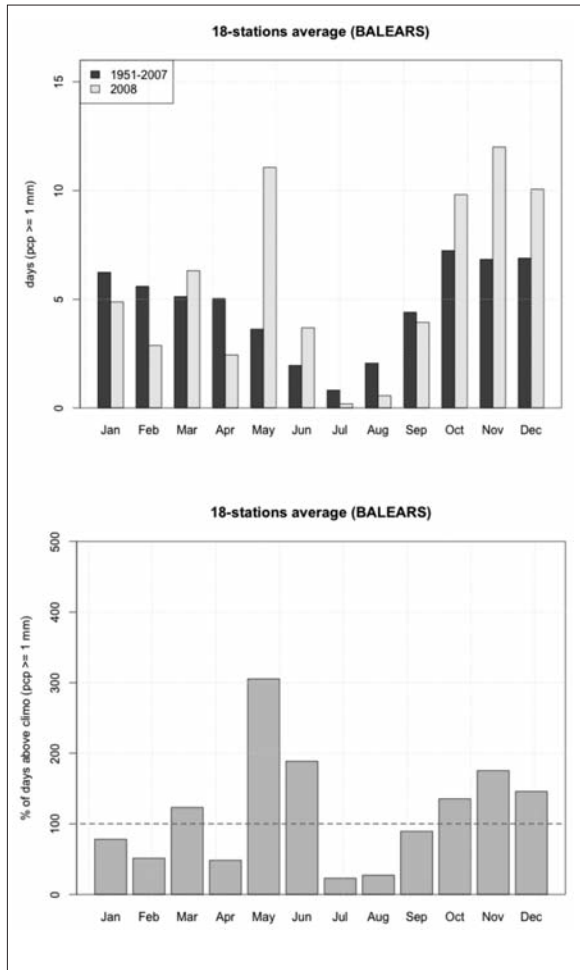


Fig. 2. Arriba: Comparación del número de días con precipitación igual o superior a 1 mm en las islas Baleares entre 2008 y la climatología referida al periodo 1951-2007. Abajo: Porcentaje de días mensuales de precipitación en 2008 igual o superior a 1 mm respecto de la climatología referida al periodo 1951-2007.

con los datos correspondientes a 2008. La climatología indica que octubre, noviembre y diciembre son los meses con mayor número de días de lluvia. Al comparar 2008 con la climatología, se observa que el número de días de lluvia fue superior a la media durante marzo, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre. La anomalía en los días de precipitación es especialmente importante en mayo y junio, donde el número relativo de días de precipitación es del orden del 300% en

mayo y del orden del 180% en junio. Para los meses con mayor número de días de precipitación se alcanzan valores del 170% en noviembre. La distribución de frecuencias de los días de lluvia deducida del periodo 1951-2008 para el bimestre Mayo-Junio exhibe una distribución bimodal, siendo el valor de 2008 el mayor de toda la serie (Fig. 3). La figura 4 muestra la distribución análoga para el cuarto trimestre (octubre, noviembre y diciembre) y la situación del año 2008. La distribución es

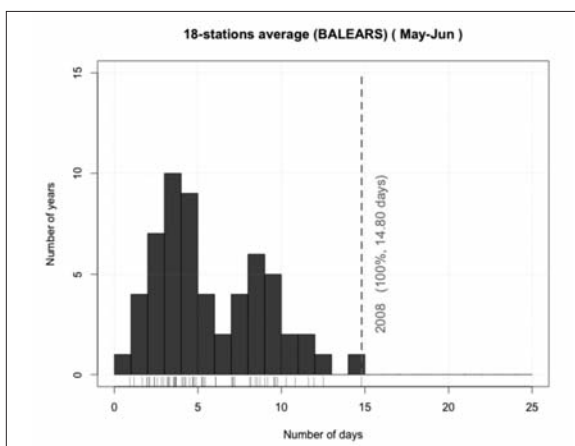


Fig. 3. Frecuencia del número de días de precipitación correspondiente al bimestre mayo-junio (periodo 1951-2008). La línea a trazos vertical indica la situación del bimestre de 2008.

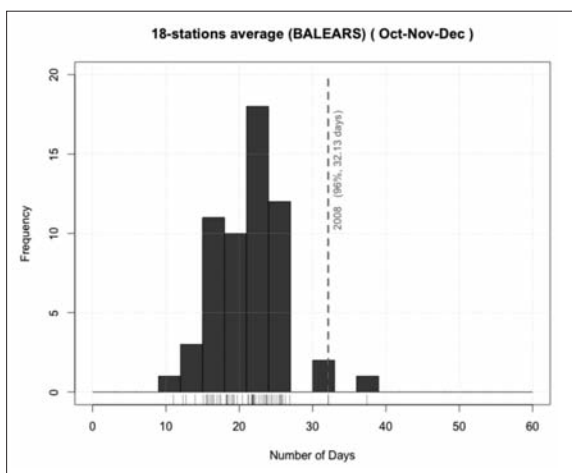


Fig. 4. Frecuencia del número de días de precipitación correspondiente al trimestre octubre, noviembre y diciembre (periodo 1951-2008). La línea a trazos vertical indica la situación del trimestre de 2008.

también bimodal aunque menos marcada que la anterior: el valor de 2008 se sitúa en el percentil 96. Estamos entonces frente a valores extremos en relación al número de días de precipitación observados en las islas Baleares durante los últimos 58 años.

Las distribuciones de los días mensuales con precipitación mayor que 1 mm para cada uno de los cinco meses considerados muestran importante diferencias entre los dos meses de primavera y los otros tres (Fig. 5). Debe destacarse que el número de días

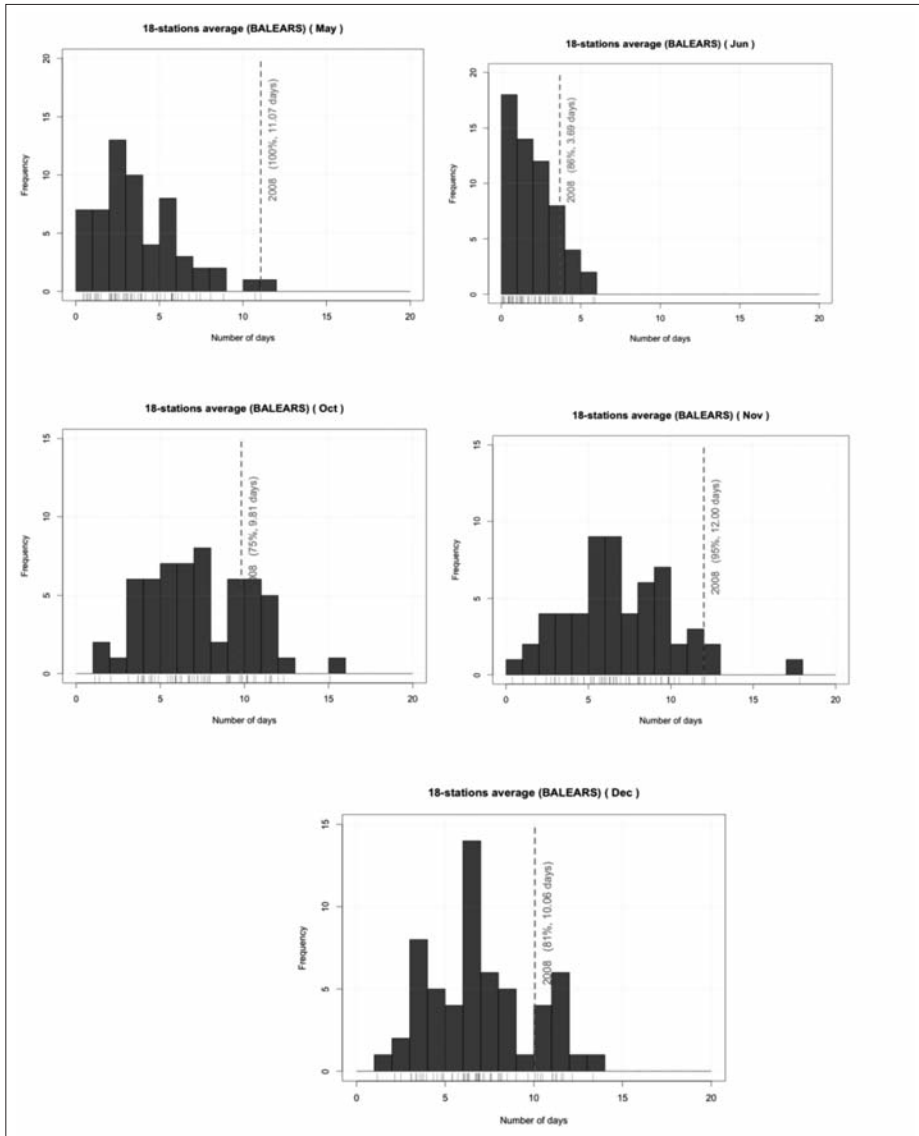


Fig. 5. Frecuencia del número de días de precipitación correspondiente a los cinco meses con mayor porcentaje de días de precipitación de 2008 (periodo 1951-2008). La línea a trazos vertical indica la situación del correspondiente mes de 2008.

de lluvia de mayo ocupa el percentil 100, en junio el 86, en octubre el 75, en noviembre el 95 y en diciembre el 81. Por lo tanto, mayo y noviembre representan extremos en la serie climatológica considerada. Mayo es un extremo absoluto. En particular la estación de la AEMET en Sóller (B061) registró durante mayo el máximo número de días de lluvia en las islas Baleares con 14 días de lluvia. Éste es el mayo con mayor

número de días de lluvia en la serie de la estación durante el período de estudio aunque lejos de los 24 días lluviosos registrados en noviembre de 1958, récord absoluto en las islas Baleares durante el periodo 1951-2008.

La figura 6 muestra la distribución anual de la lluvia media mensual (periodo 1951-2007) comparada con la precipitación mensual de 2008. Puede observarse que

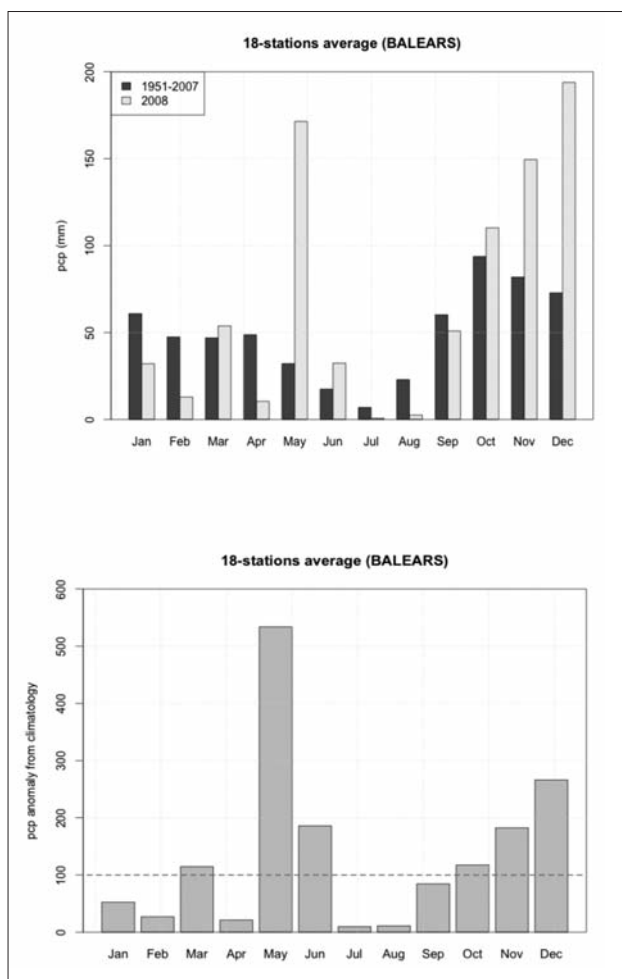


Fig. 6.-Arriba: Comparación de la lluvia mensual en 2008 respecto a la climatología referida al periodo 1951-2007. Abajo: Porcentaje de precipitación mensual en 2008 respecto a la climatología referida al periodo 1951-2007.

durante marzo, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre la precipitación fue superior a la media climatológica, especialmente durante mayo, junio, noviembre y diciembre. El valor de mayo presenta una precipitación anómala positiva del orden del 530% respecto a la climatología, junio del 180%, noviembre del 170% y diciembre del

270%. La figura 7 muestra la distribución de frecuencias de la precipitación total bimestral mayo-junio para el periodo 1951-2008 y se indica la posición de la lluvia bimestral correspondiente a 2008. Se observa la alta frecuencia de años con escasa precipitación. El valor correspondiente a 2008 ocupa el percentil 100. La figura 8

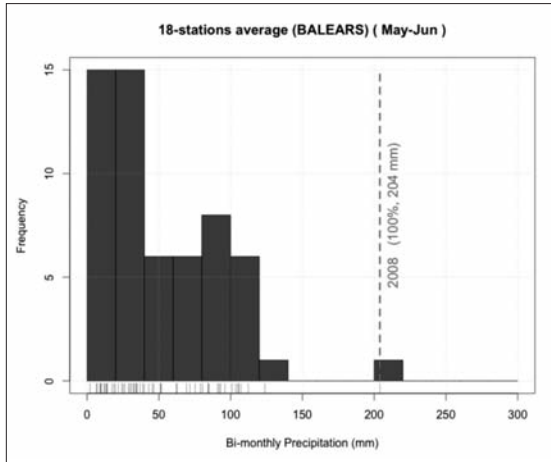


Fig. 7. Distribución de la precipitación bimestral de mayo y junio (periodo 1951-2008). La línea a trazos vertical indica la precipitación del correspondiente bimestre de 2008.

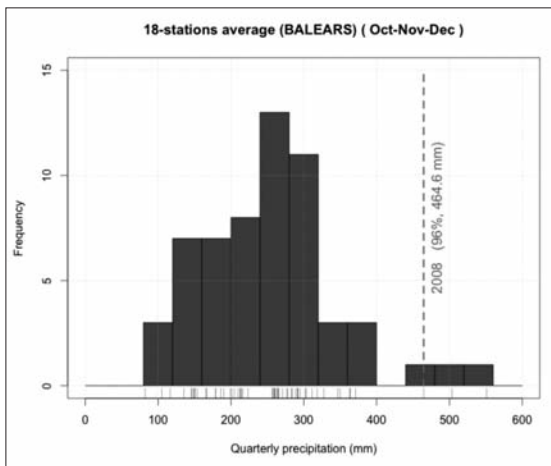


Fig. 8. Distribución de la precipitación trimestral de octubre, noviembre y diciembre (periodo 1951-2008). La línea a trazos vertical indica la precipitación trimestral de 2008.

presenta la distribución de frecuencias de la lluvia total trimestral correspondiente a octubre, noviembre y diciembre para el periodo 1951-2008 y se indica la posición de la lluvia trimestral correspondiente a 2008. La mayor frecuencia aparece en cantidades de precipitación del orden de 260 mm. Nuevamente encontramos que la cantidad de precipitación de 2008 está en el percentil 96.

La figura 9 presenta la distribución de las cantidades totales de precipitación correspondientes a los cinco meses considerados. Vuelve a ser importante la diferente distribución entre los meses de mayo y junio respecto a los meses de final de año. Los valores observados en 2008 ocupan el percentil 100 en mayo, el 82 en junio, el 61 en octubre, el 93 en noviembre y el 100 en diciembre. Podemos concluir que, por las

cantidades recogidas, se está en un extremo absoluto en mayo y diciembre respecto de los valores que la climatología nos enseña para las islas Baleares. En particular, la estación AEMET de Son Net (Puigpunyent) registró el máximo acumulado para mayo de 2008 de todas las estaciones de Baleares con 287,5 mm, muy superior al anterior récord del mayo de 1966 (150,2 mm), aunque por debajo del récord absoluto de la estación para el periodo de estudio registrado el mes de noviembre de 1958 (358,2 mm).

La relación con los patrones de circulación puede realizarse a través de los valores de los índices que caracterizan estos patrones. Se han considerado el índice NAO y el SOI (Cuadro I). Para NAO solamente se indican los valores de 2008 por su relación mucho más directa con la zona mediterránea.

Cuadro I.

	Mes	NAO	SOI
2007	Julio		-0,5
	Agosto		0,1
	Septiembre		0,2
	Octubre		0,6
	Noviembre		0,9
	Diciembre		1,8
2008	Enero	0,89	1,9
	Febrero	0,73	2,7
	Marzo	0,08	1,1
	Abril	-1,07	0,6
	Mayo	-1,73	-0,3
	Junio	-1,39	0,3
	Julio	-1,27	0,2
	Agosto	-1,16	0,8
	Septiembre	1,02	1,5
	Octubre	-0,04	1,3
	Noviembre	-0,32	1,5
	Diciembre	-0,28	1,5

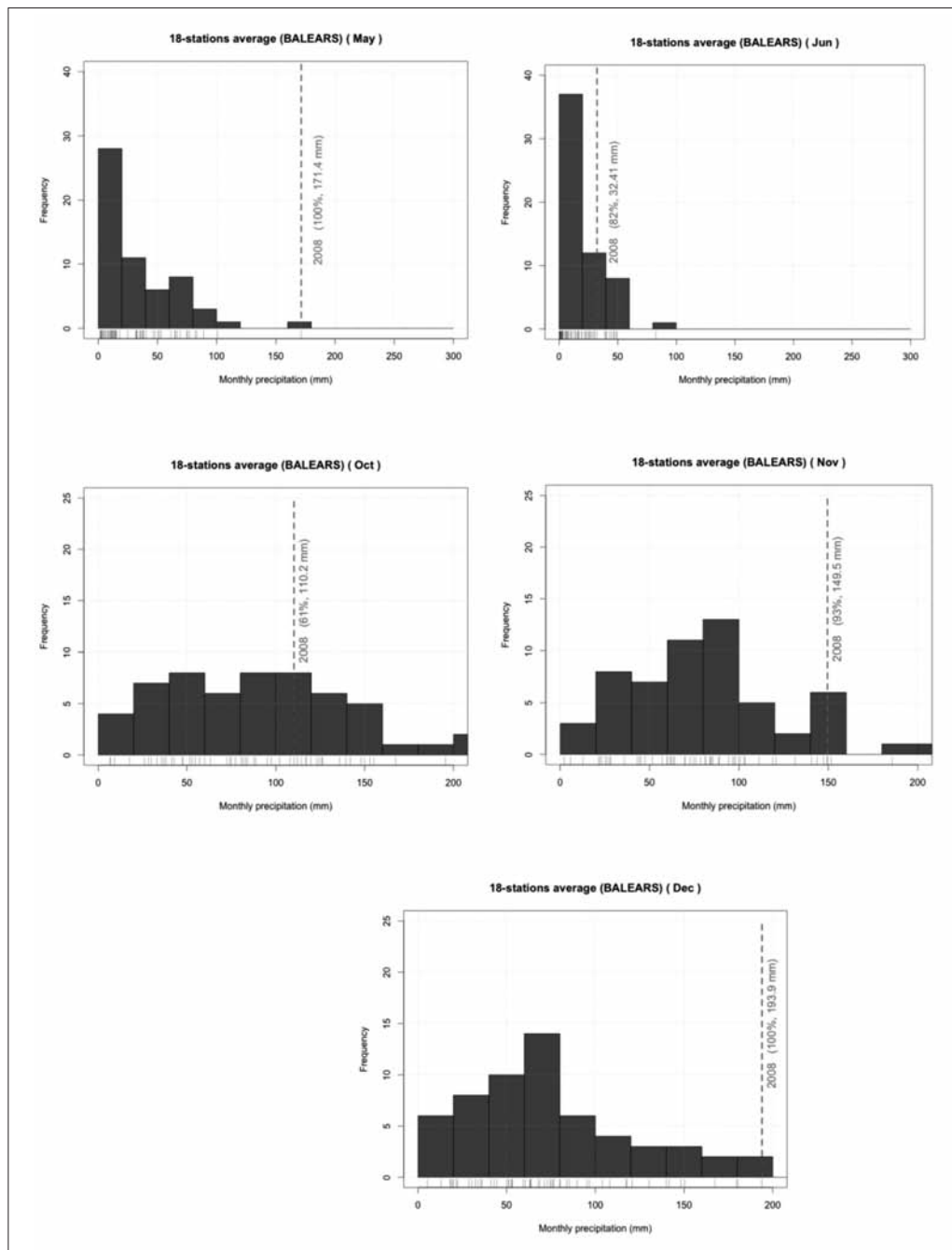


Fig. 9. Frecuencia de la precipitación mensual correspondiente a los cinco meses con mayor precipitación de 2008 (periodo 1951-2008). La línea a trazos vertical indica la situación del correspondiente mes de 2008.

Puede observarse que los valores del NAO son negativos, especialmente durante mayo y junio. Estos valores indican la formación de depresiones a latitudes bajas en el Atlántico con trayectorias desplazadas hacia el Sur, produciendo aporte de humedad hacia el Mediterráneo. Este resultado para un año particular coincide con los resultados obtenidos en anteriores estudios.

Los valores correspondientes al índice SOI son positivos para prácticamente toda la segunda mitad del 2007 y el 2008, lo que demuestra que se está en una situación de perturbación fría o La Niña. Dentro de la variedad de resultados obtenidos para la teleconexión del ENSO en Europa puede concluirse que nuestro resultado no permite confirmar ni rechazar ninguno de los anteriores.

Conclusiones más relevantes

Los resultados obtenidos confirman que el año 2008 presentó anomalías importantes en el régimen de precipitaciones en las islas Baleares. Estas anomalías se produjeron principalmente en los meses de marzo, mayo, junio, octubre, noviembre y diciembre.

El bimestre mayo-junio es un extremo absoluto para los días de precipitación (percentil 100), si bien este máximo es más consecuencia de la anomalía producida en mayo (300% del valor climatológico, percentil 100) que de la observada en junio (180% del valor climatológico, percentil 86). El trimestre octubre-noviembre-diciembre también puede considerarse un extremo (percentil 96), presentando la anomalía más importante el mes de noviembre.

En cuanto a las cantidades de precipitación, el bimestre mayo-junio es reiteradamente un extremo absoluto (percentil 100) siendo nuevamente consecuencia de la cantidad de precipitación recogida durante mayo (530% de la indicada por la climatología, percentil 100). El

trimestre octubre-noviembre-diciembre también debe ser considerado como un extremo (percentil 96) sin embargo en este caso la mayor anomalía corresponde al mes de diciembre (270% de la precipitación media, percentil 100).

Los valores del índice NAO son negativos, lo cual coincide con los resultados estadísticos que indican que en estas configuraciones atmosféricas las depresiones alcanzan latitudes bajas aportando humedad sobre el Mediterráneo. El análisis de los valores del índice SOI no permite relacionar de forma significativa éstos con las anomalías de precipitación observadas.

Un análisis específico de las circulaciones durante el año 2008 puede aportar más luz a la explicación de las causas del régimen pluviométrico anómalo en las islas Baleares en base a patrones atmosféricos generales.

Bibliografía

FRAEDRICH, K. y MÜLLER, K. (1992): «Climate anomalies in Europe associated with ENSO extremes». *International Journal of Climatology* nº 12, pp. 25-31.

GAYÀ, M., HOMAR, V., ROMERO, R. y RAMIS, C. (2001): «Tornadoes and waterspouts in the Balearic Islands: Phenomena and environment characterization». *Atmosphere Research* nº 56, pp. 253-267.

GUIJARRO, J. A. (1986): *Contribución a la Bioclimatología de Baleares*. Tesis Doctoral, Universidad de las Islas Baleares.

LAITA, M. y GRIMALT, M. (1997): «Vorticity and pressure anomalies in the western Mediterranean during El Niño/southern oscillation extremes». *International Journal of Climatology* nº 17, pp. 475-482.

LAITA, M. (1998): «El Niño y su influencia en el régimen de lluvias de Baleares». *Territoris* nº 1, pp. 189-201.

MARTÍN-VIDE, J. y LÓPEZ-BUS-

TINS, J. A. (2006): «The Western Mediterranean oscillation and rainfall in the Iberian peninsula». *International Journal of Climatology* nº 26, pp. 1455-1475.

NAMIAS, J. (1978): «Multiple causes of the North American abnormal Winter 1976-77». *Monthly Weather Review* nº 106, pp. 279-295.

PHILANDER, S. G. H. (1989): *El Niño, La Niña and the Southern Oscillation*. Academic Press.

ROMERO, R.; SUMNER, G.; RAMIS, C. y GENOVÉS, A. (1999): «A classification of the atmospheric circulation patterns producing significant daily rainfall in the Spanish Mediterranean area». *International Journal of Climatology* nº 19, pp. 765-785.

SUMNER, G.; HOMAR, V. y RAMIS, C. (2001): «Precipitation seasonality in eastern and southern coastal Spain». *International Journal of Climatology* nº 21, pp. 219-247.

***Pluges torrencials a la vall
de Sóller: 1951-2000***

Joan Rosselló Geli

Universitat de les Illes Balears
Departament de Ciències de la Terra
Grup de Climatologia, Hidrologia,
Riscs Naturals i Territori
joan.rossellogeli@uib.es

Territoris (2012), 8:
227-239

PLUGES TORRENCIALS A LA VALL DE SÓLLER: 1951-2000

Joan Rosselló Geli

RESUM: S'analitzen les dades diàries de les estacions de l'AEMET (Agència Espanyola de Meteorologia), a la segona meitat del segle XX, cercant precipitacions extraordinàries que superen els 100 mm en 24 hores, per observar el seu repartiment estacional i territorial. S'observa que el comportament estacional de la pluja manté la tendència clàssica de les Balears, amb màxims a la tardor, i també que elements com l'orografia fan un paper important en la distribució territorial de les precipitacions.

PARAULES CLAU: pluges torrencials, estacions AEMET, segle XX, repartiment estacional, repartiment territorial, Sóller.

ABSTRACT: The daily rainfall data from the AEMET raingauges was analyzed for the second half of the 20th century. A search for precipitation of more than 100 mm in 24 hours was undertaken in order to ascertain the rainfall's spatial and seasonal distribution. The seasonal behavior of rainfall maintains the classic trend in the Balearic Islands, with a maximum in autumn and variables such as orography playing an important role in its territorial distribution.

KEYWORDS: heavy rain, AEMET raingauges, 20th century, seasonal distribution, spatial distribution, Sóller.

1. Introducció

Les pluges torrencials constitueixen un risc meteorològic de gran impacte socio-econòmic, com indiquen Grimalt (1992) o Martín Vide i Llasat (2000). La vall de Sóller no és aliena a aquest fenomen, amb importants efectes sobre el medi, bé en forma de revingudes, tant històriques (Rullan, 1875 i 1885) com contemporànies (Rosselló, 1999), bé d'esllavissades (Rosselló, 2009).

A partir de la informació obtinguda de la xarxa d'estacions pluviomètriques establerta

a la vall, hom analitza les precipitacions superiors als 100 mm en 24 hores, un llinar establert per Martín Vide i Llasat (2000) com aquell que provoca episodis amb problemes de drenatge o inundacions a la costa mediterrània de la península Ibèrica, i també el llinar que afavoreix processos d'esllavissament (Komac, 2006).

La vall de Sóller està situada al centre de la serra de Tramuntana de Mallorca (Fig. 1), factor que determina uns trets pluviomètrics característics, atesa la influència de l'orografia o la localització propera a la costa.

El període temporal triat, 1951-2000, ve donat per l'existència d'un nombre d'estacions prou extens pel que fa a l'espai, així com unes sèries de dades relativament llargues i de qualitat acceptable.

L'objectiu del treball és observar si el repartiment d'aquestes pluges torrencials s'adequa al model mediterrani, marcat per la

sequera estival i un major nombre de precipitacions a la tardor. També s'observarà la distribució territorial de les precipitacions i altres trets com la durada temporal dels fenòmens plujosos o la influència de les quantitats caigudes respecte dels totals mensuals i anuals de cada estació pluviomètrica.



Fig. 1. Localització de la zona estudiada a la serra de Tramuntana.

2. Les estacions pluviomètriques

Les estacions pertanyen a la xarxa de l'AEMET. En el període estudiat, fins a 14 estacions arrebeguen dades diàries, encara que no totes abasten els 50 anys analitzats (Quadre I).

Territorialment, la xarxa presenta una cobertura espacial prou acceptable, encara que dues zones de la vall, la zona sud-oest i la nord, queden fora de l'abast dels pluviògrafs, com mostra la figura 2, on apareixen representades les principals estacions de la zona.

Les dades de precipitació són recollides diàriament per un observador de l'AEMET, que en remet un butlletí mensual a la seu de l'agència a Palma. La qualitat de les dades és bona, malgrat que hom ha apreciat errades a nivell diari (Grimalt, 1992), com per exemple que pluges d'una jornada apareixen repartides en dues; o llacunes de tipus mensual, i fins i tot anual, que solen ser més extenses com més ens apropam al final de la vida útil de l'estació. A tall d'exemple, l'estació B046 Bàltx d'Avall té 17 mesos incomplets entre 1984 i 1987,

quan acaba la seva activitat, i la B049 Bàltx d'Amunt sols té 4 anys complets dels 12 en què estigué activa (Rosselló, 2010).

En general però, el conjunt d'informacions

recollides pels observatoris de l'AEMET permet fer una caracterització correcta del repartiment de les pluges torrencials als municipis de Sóller i Fornalutx.

Quadre I. Les estacions pluviomètriques de la vall de Sóller.

Codi AEMET	Nom	UTM X	UTM Y	Any d'inici d'observacions	Any final d'observacions
B046	Bàltx d'Avall	477,9	4407,3	1961	1987
B049	Bàltx d'Amunt	476,7	4406,1	1961	1972
B051	Far de sa Creu	473,5	4405,5	1961	1985
B054	Es Marroig	478,8	4403,7	1982	2000
B055	Monnàber	480,2	4405,1	1961	1988
B056	Binibassí	477,2	4403,2	1968	2000
B057	Binirrossí	477,5	4403,9	1979	1998
B058	Biniaraix	477,4	4402,5	1979	2000
B059	Can Bartola	473,1	4398,4	1961	1980
B061	Sóller	475,8	4402,0	1961	2000
B061A	Sóller II	475,9	4402,0	1969	2000
B062	Sa Vinyassa	477,9	4402,2	1985	2000
B069	Can Roc	474,7	4403,8	1968	1987
B075	Far P. Grossa	472,8	4405,5	1961	2000

3. Resultats

El tractament de les dades diàries de cada estació ens ha permès destriar 81 episodis amb quantitats superiors als 100 mm en 24 hores (Quadre II). L'anàlisi d'aquests episodis permet una caracterització temporal i territorial de les pluges torrencials a la vall de Sóller, així com la contribució d'aquests episodis a les precipitacions totals mensuals i anuals.

3.1. Anàlisi estacional

S'han distribuït els 81 esdeveniments per mesos i estacions, primer de manera global, per als 50 anys estudiats, i després per decennis.

La distribució estacional de les pluges torrencials (Quadre III) exhibeix una concentració a la tardor molt clara, amb 14 casos el novembre i 12 l'octubre. Així mateix, el desembre en té també 12 episodis i, curiosament, el març en té 10.

Tot i això, la tardor suposa el 40% dels casos (33), l'hivern, el 29% (24), la primavera, el 19% (19) i l'estiu, només el 6%, amb 5 episodis torrencials (Fig. 3).

En aquest apartat es comprova si aquesta distribució es mantenia al nivell desenal. Així, es dividiren els 81 esdeveniments entre els 5 decennis del període d'estudi (Quadre IV). A primera vista sembla que es manté la tendència mostrada anteriorment. Ara bé, dues dècades mostren diferències

destacables, la 1961-70 i la 1971-80. A la primera dècada, la majoria de casos tenen lloc a la primavera (6), i a la tardor i l'hivern en tenen lloc 3 en cada estació. A la segona dècada, l'hivern té una majoria d'episodis torrencials, 12 dies, seguit per 8 casos a la primavera. La tardor tan sols presenta 5 jornades per damunt dels 100 mm en 24

hores, un 19% del total enfront del 46% de l'hivern o el 31% de la primavera (Fig. 4). Pel que fa als altres tres decennis, el domini de les jornades plujoses a la tardor és molt clar, el 50% dels casos a la dècada 1961-70, un 53% a la dècada dels 80 i un 50% a la dels anys 90.

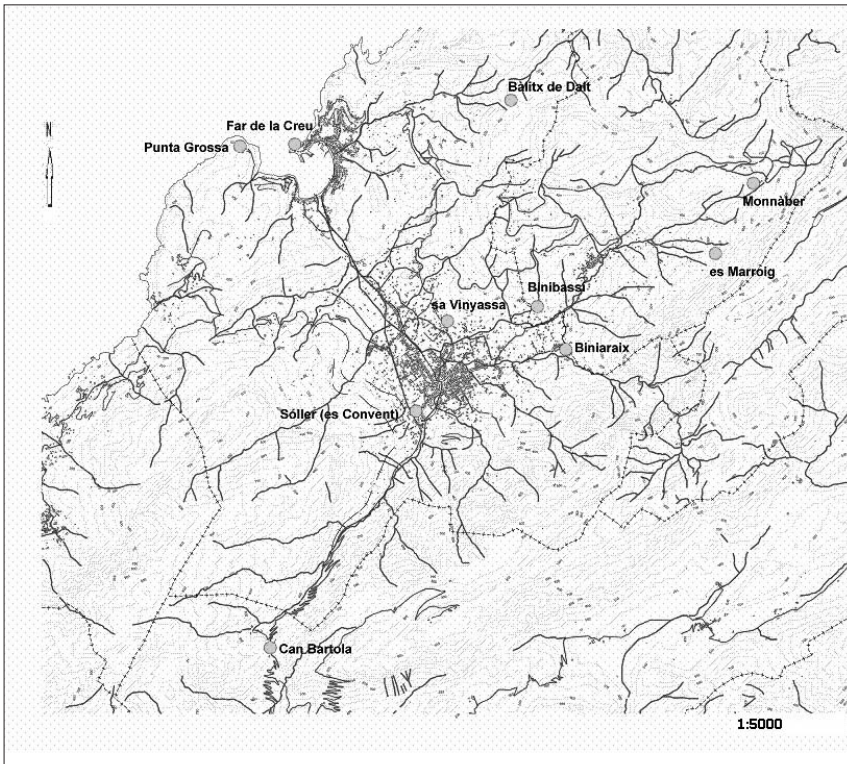


Fig. 2. Localització de les estacions a la Vall.

3.2. Evolució temporal

Un total de 81 jornades de pluja superior als 100 mm en 50 anys fa suposar que cada any n'hi ha hagut 1,64 casos, cosa que no ha passat. Si repartim les jornades en els 5

decennis que abasta l'estudi, s'observa com el nombre d'esdeveniments torrencials mostra una tendència minvant com més ens acostam al segle XXI.

Quadre II. Precipitacions superiors a 100 mm en 24 hores registrades durant el període 1951-2000 a la vall de Sòller.

Data	Estació	Precipitació (mm)	Data	Estació	Precipitació (mm)
6-03-1951	Far de sa Creu	108,0	22-01-1972	Monnàber	102,0
21-11-1951	Sóller	200,0	31-12-1972	Binibassí	197,0
23-91-1952	Sóller	118,0	1-10-1973	Binibassí	200,5
7-04-1954	Far de sa Creu	100,2	2-10-1973	Bàltx d'Avall	260,0
14-03-1955	Sóller	127,1	17-02-1974	Sóller	105,0
24-09-1955	Far de sa Creu	101,2	19-02-1974	Can Bartola	109,8
22-07-1956	Far de sa Creu	105,0	29-03-1974	Binibassí	194,7
7-10-1957	Sóller	150,0	30-03-1974	Binibassí	154,5
8-10-1957	Far de sa Creu	133,5	11-03-1975	Monnàber	113,0
24-11-1957	Monnàber	112,8	6-02-1976	Monnàber	100,5
17-12-1957	Monnàber	121,0	24-08-1976	Sóller	138,0
7-10-1958	Far de sa Creu	204,0	14-01-1978	Can Bartola	182,3
8-10-1958	Bàltx d'Amunt	243,4	18-10-1978	Binibassí	215,0
9-10-1958	Bàltx d'Avall	132,6	19-10-1978	Monnàber	140,0
17-11-1958	Monnàber	189,4	21-12-1978	Binibassí	212,4
22-11-1958	Bàltx d'Amunt	157,3	1-03-1979	Binirrossí	263,0
28-11-1958	Monnàber	132,8	21-12-1979	Binirrossí	304,0
7-06-1959	Bàltx d'Avall	197,0	22-12-1979	Bàltx d'Avall	280,3
8-06-1959	Bàltx d'Amunt	210,5	17-01-1980	Monnàber	167,0
20-10-1959	Bàltx d'Avall	127,4	27-12-1980	Binirrossí	215,0
21-10-1959	Sóller	329,0	28-12-1980	Sóller	131,8
22-10-1959	Monnàber	369,8	21-04-1981	Monnàber	126,0
17-11-1959	Can Bartola	104,4	28-11-1982	Can Roc	127,2
8-12-1960	Monnàber	185,0	30-11-1982	Monnàber	152,0
9-12-1960	Can Bartola	112,3	11-11-1984	Monnàber	109,0
9-02-1962	Monnàber	195,0	15-11-1985	Binibassí	100,7
21-04-1962	Monnàber	121,0	16-11-1985	Monnàber	110,0
25-09-1962	Can Bartola	110,4	9-12-1985	Bàltx d'Avall	181,2
22-10-1964	Monnàber	103,2	12-07-1986	Binibassí	110,0
12-01-1965	Monnàber	153,5	28-09-1986	Biniarix	107,0
14-05-1966	Monnàber	126,3	29-09-1986	Bàltx d'Avall	212,4
15-05-1966	Monnàber	106,7	16-11-1986	Binirrossí	106,5
30-11-1967	Bàltx d'Avall	211,1	10-12-1986	Binirrossí	120,0
1-04-1968	Monnàber	137,3	10-01-1987	Binirrossí	114,0
29-04-1969	Monnàber	104,0	12-02-1987	Bàltx d'Avall	126,1
13-03-1970	Monnàber	137,0	27-04-1988	Es Marroig	106,9
14-12-1970	Monnàber	105,0	25-01-1991	Binibassí	168,9
1-05-1971	Binibassí	104,0	2-05-1991	Binibassí	111,5
25-09-1971	Binibassí	148,0	23-09-1993	Sóller	101,4
26-09-1971	Monnàber	167,0	14-10-1996	Binibassí	128,1
10-11-1971	Monnàber	153,0			

Quadre III. Distribució mensual dels episodis de pluges torrencials.

Mes	Nombre d'esdeveniments
Gener	7
Febrer	5
Març	10
Abril	6
Maig	4
Juny	2
Juliol	2
Agost	1
Setembre	7
Octubre	12
Novembre	14
Desembre	12

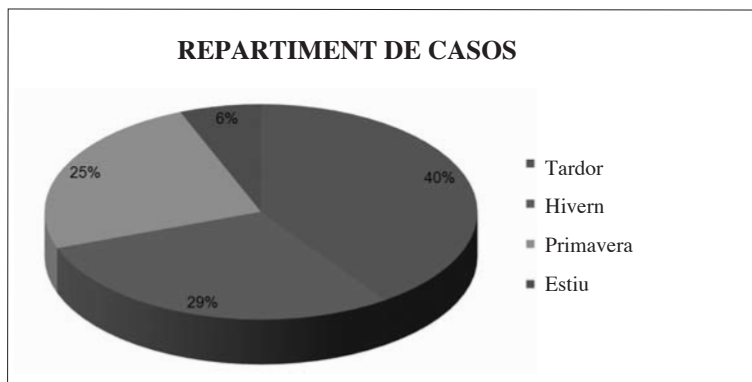


Fig. 3. Distribució relativa estacional dels episodis de pluges torrencials.

Quadre IV. Distribució mensual dels episodis per dècades.

Mes	1951-60	1961-70	1971-80	1981-90	1991-2000
Gener	1	1	3	1	1
Febrer	0	1	3	1	0
Març	2	1	7	0	0
Abril	1	3	0	2	0
Maig	0	2	1	0	1
Juny	2	0	0	0	0
Juliol	1	0	0	1	0
Agost	0	0	1	0	0
Setembre	1	1	2	2	1
Octubre	8	1	2	0	1
Novembre	6	1	1	6	0
Desembre	3	1	6	2	0

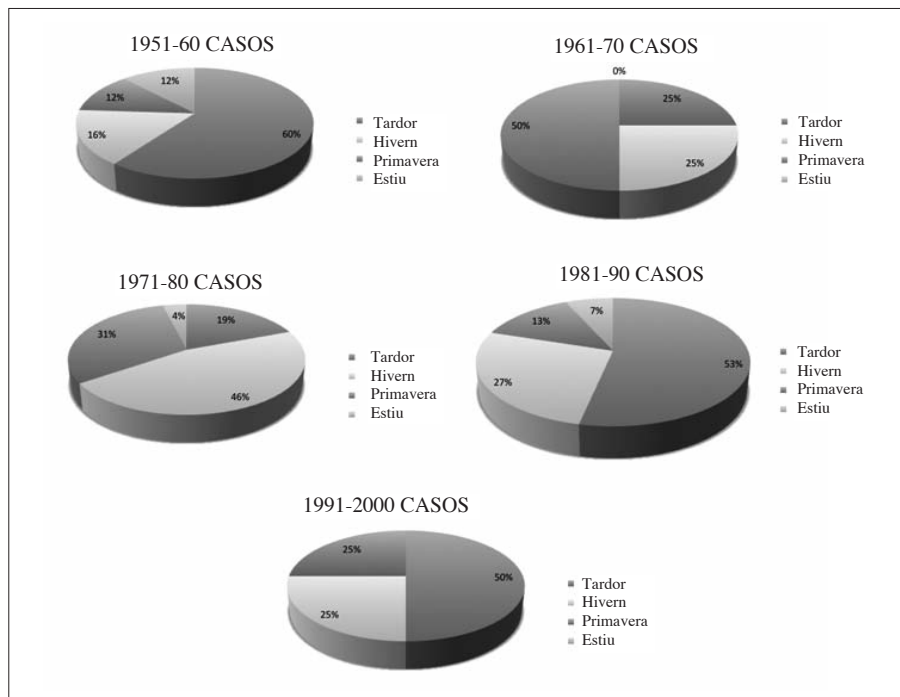


Fig. 4. Distribució relativa estacional dels episodis per dècades.

Al Quadre V podem veure el nombre de casos per dècada. Si durant els anys 50 foren 25 els dies amb pluges superiors als 100 mm, a la dècada següent foren només 12. Els anys 70 s'assoleix de bell nou la xifra de 25 jornades torrencials, però a partir de 1981 el declivi és constant, a la dècada dels 80 només s'arriba als 15 casos, i els anys 90 són 4 els esdeveniments plujosos registrats.

Sembla clara la relació entre dècades plujoses, com foren els anys 50 i 70, i els

esdeveniments torrencials, i al contrari, hi ha una disminució de casos en decennis secs com els anys 60 o 80.

3.3. Durada dels episodis

Com assenyalen Martín Vide i Llasat (2000, 18), «les seqüències de dies plujosos consecutius són, en general, breus, més encara les de dies amb quantitats destacades». En el cas de la vall de Sòller, podem apreciar com el nombre de jornades seguides

Quadre V. Distribució dels episodis per dècades.

Dècada	Episodis
1951-60	25
1961-70	12
1971-80	26
1981-90	15
1991-2000	4

amb pluges superiors als 100 mm és, com a màxim, de 3 dies de durada. Aquest fet, emperò, tan sols es dona en dues ocasions al llarg dels 50 anys estudiats, i les dues vegades és a final de la dècada dels 50, concretament els dies 7, 8 i 9 d'octubre de 1958 i 20, 21 i 22 d'octubre de 1959. Destaca aquest darrer episodi, quan la inundació de l'Horta i el Camp de sa Mar provocà greus danys materials i l'evacuació en barca de moltes persones.

Més habituals, fins a 12 ocasions, són els esdeveniments de dos dies de durada (Quadre VI). Destaquen els anys 70, quan es repetiran fins a 6 vegades, i ocasionaran

també inundacions destacades el 1974 i el 1978. A la dècada dels 60 només en una ocasió trobam un episodi de dos dies, i els anys 80 en trobam dos. Com a curiositat, els darrers 10 anys del segle XX no succeí cap esdeveniment torrencial que superàs les 24 hores de durada.

Si observam el repartiment estacional d'aquestes tandes de pluja, trobam que les més llargues, de 3 dies, apareixen a la tardor, concretament a l'octubre. Les tandes de dos dies mostren un repartiment més irregular, destaquen de bell nou els mesos d'octubre i desembre, amb 3 casos, i el setembre, amb 2.

Quadre VI. Jornades de precipitacions torrencials consecutives.

Dècada	Episodis de dos dies	Episodis de tres dies
1951-1960	7 i 8-10-1957 7 i 8-06-1959 8 i 9-12-1960	7, 8 i 9-10-1958 20, 21 i 22-10-1959
1961-1970	14 i 15-05-1966	
1971-1980	25 i 26-09-1971 1 i 2-10-1973 29 i 30-03-1974 18 i 19-10-1978 21 i 22-12-1979 27 i 28-12-1980	
1981-1990	15 i 16-11-1985 28 i 29-09-1986	

3.4. Distribució territorial

La dissimetria costa-interior en el repartiment de les pluges és quelcom ja assenyalat per Grimalt (1992) i que queda prou clar analitzant les mitjanes anuals de les estacions. Segons Jansà (1998), la mitjana anual a Sóller és de 880 mm, mentre que al Port la mitjana és només de 523,4 mm (al far de la Punta Grossa) i a

Monnàber, una estació de muntanya, s'assoleixen els 1.148 mm.

En el cas de les pluges torrencials, la distribució espacial segueix la mateixa tendència. Dels 81 registres superiors als 100 mm en 24 hores, només són 6 els casos en què la quantitat de pluja més gran es recull al Port de Sóller, i tots 6 tenen lloc els anys 50; destaquen els 204,0 mm del dia 7

d'octubre de 1958, l'única vegada en què a la costa se superen els 200 mm en 24 hores en la segona meitat del segle XX.

Des de 1961 fins al 2000 només en una ocasió una estació costanera, el far de la Punta Grossa, ha recollit més de 100 mm en 24 hores, concretament l'1 d'octubre de 1973, quan es precipitaren 117,8 mm. El màxim registrat aquest mateix dia a la vall foren 200,5 mm a Binibassí, una estació situada al vessant de ponent del puig Major.

3.5. Contribució als totals mensuals i anuals

Les quantitats precipitades en 24 hores contribueixen poderosament a l'increment

del total mensual i anual de les estacions pluviomètriques. Se n'han destriat alguns exemples, que apareixen al Quadre VII.

Pel que fa als totals mensuals, la contribució suposa entorn del 50% en 8 dels 10 casos destriats. Cal destacar una aportació fins al 98% del total mensual en 24 hores a Binirrossí el 21 de desembre de 1979; mentre que el mínim (un 44%) el trobam a Monnàber el dia 22 d'octubre de 1959.

Respecte als totals anuals, l'aportació d'una sola jornada de pluges oscil·la entre l'11% i el 26%, fet que mostra la importància que tenen aquestes precipitacions torrencials, que poden suposar gairebé una quarta part dels totals anuals precipitats.

Quadre VII. Exemples de pluges torrencials i la seva contribució mensual i anual.

Estació	Data	Precipitació (mm) en 24 hores	Total mensual en mm (%)	Total anual en mm (%)
Far de sa Creu	7-10-1958	204,0	398,6 (51%)	1.018,0 (20%)
Sóller	21-10-1959	329,0	685,1 (48%)	1.418,5 (23%)
Monnàber	22-10-1959	369,8	837,9 (44%)	1.930,4 (19%)
Bàltx d'Avall	30-11-1967	211,1	278,9 (76%)	826,2 (26%)
Bàltx d'Avall	2-10-1973	260,0	296,0 (88%)	1.432,6 (18%)
Binibassí	18-10-1978	215,0	354,4 (61%)	1.098,3 (20%)
Sóller	1-03-1979	225,5	270,7 (83%)	1.276,9 (18%)
Binirrossí	21-12-1979	304,0	310,7 (98%)	Sense dades
Sóller	25-01-1991	162,2	290,5 (56%)	1.053,1 (15%)
Binibassí	14-10-1996	128,1	251,9 (51%)	1.147,6 (11%)

4. Algunes conclusions

En aquest treball s'ha realitzat un estudi d'aproximació a les precipitacions superiors a 100 mm en 24 hores, del qual es poden extreure algunes conclusions:

El repartiment estacional segueix la tendència de l'anomenat clima mediterrani, amb un domini d'aquestes precipitacions a la tardor (33 casos), i un mínim a l'estiu (5 casos). Malgrat tot, trobam irregularitats a la tendència quan observam el repartiment de la precipitació per dècades. Tenim així una

alternança amb l'hivern (anys 70) i amb la primavera (anys 60). La presència d'un gran nombre de temporals a l'hivern a la part central de la serra de Tramuntana sembla quelcom habitual. A més, es denota un repunt de precipitacions a la primavera (Grimalt *et al.*, 2006), fet que es detecta també en el cas de la vall de Sóller. Mensualment, el mes que concentra el major nombre d'episodis torrencials és el novembre, amb 14, seguit per l'octubre i el desembre (12 casos). Es manté la tendència del domini de la tardor, seguida per l'hivern.

Cal destacar també el total assolit al mes de març, 10 jornades plujoses, que si bé permet parlar d'un màxim a la primavera, no es correspon amb l'assenyalat per Grimalt *et al.* (2006), que indiquen l'existència d'un increment d'aquestes jornades, a Mallorca, al mes d'abril.

La presència de jornades de pluges torrencials sembla que va lligada a etapes marcades per totals anuals elevats a les estacions de referència, és a dir, lligada a èpoques plujoses com foren els anys 70, els més humits d'aquests 50 anys i els que més jornades (25) presenten, juntament amb els anys 50. En canvi, a mesura que ens acostam al segle XXI, minva el nombre d'episodis, i s'assoleix un mínim entre 1991 i 2000, quan tan sols se'n registren 4 casos, tot plegat en una dècada per si bastant seca.

Encara que la durada majoritària d'aquests aiguats torrencials és de 24 hores, pel límit temporal de mesura establert per l'AEMET, s'han pogut destriar episodis continuats en què es recullen més de 100 mm en dies seguits. S'han trobat 2 episodis de 3 dies i 12 de 2 dies, el que representa entorn del 10% dels casos. Coincideix, doncs, aquesta distribució amb els patrons de precipitació analitzats a Catalunya (Martín Vide i Llasat, 2000). Pel que fa a l'estació, aquestes tandes de pluges apareixen principalment a la tardor, encara que s'ha donat un cas a l'estiu i dos a la primavera.

Pel que fa al repartiment territorial, sembla clara la dissimetria costa-interior. A les estacions costaneres només s'han trobat 7 episodis per damunt dels 100 mm en els 50 anys analitzats, i 6 foren en la dècada dels 50. A mesura que s'avança cap a l'interior i s'incrementa l'altitud, augmenten les jornades torrencials; destaca així el cas de l'estació de Monnàber, amb més de 35 registres en què se superen els 100 mm en 24 hores en els 31 anys que fa que funciona. Sembla, doncs, clara la importància dels

relleus que envolten la Vall en l'increment de les pluges, l'anomenat reforçament orogràfic.

Les pluges torrencials contribueixen poderosament a incrementar la quantitat total mensual i anual recollida per les estacions. S'han trobat casos en què la precipitació d'un dia arriba a suposar el 98% del total mensual, malgrat que $\frac{3}{4}$ de mitjana $\frac{3}{4}$ aquesta pluja diària suposa entorn del 50% de la suma mensual de precipitacions. Pel que fa als totals anuals, les pluges poden suposar una quarta part de la quantitat final registrada, dada que indica que les xifres són importants. De fet, en 16 dels 81 casos se superen els 200 mm precipitats, amb màxims que assoleixen fins a 369,8 mm (Monnàber, 22 d'octubre de 1959) o 304,0 (Binirrossí, 21 de desembre de 1979).

Així doncs, la vall de Sóller és un indret on són habituals fenòmens de precipitació torrencial, i s'hi assoleixen quantitats importants de precipitació en períodes curts de temps. Aquestes jornades es concentren a la tardor i l'hivern, encara que poden aparèixer a qualsevol mes de l'any. Territorialment, la incidència s'incrementa des de la costa cap a l'interior, i s'arriba als màxims a les estacions situades a major altura respecte del nivell de la mar.

Bibliografia

GRIMALT, M. (1992): *La geografia del risc a Mallorca. Les inundacions*. Institut d'Estudis Baleàrics. Palma de Mallorca.

GRIMALT, M. [et al.] (2006): «Distribución espacial y temporal de las precipitaciones intensas en Mallorca». A: Cuadrat, J. M. [et al.] (eds.). *Sociedad y medio ambiente*. Asociación Española de Climatología. Zaragoza, pàg. 411-420.

KOMAC, M. (2006): «Rainstorms as a landslide-triggering factor in Slovenia». *Geophysical Research Abstracts*, núm. 8.

JANSÀ, A. (1998): «L'aigua i la pluja». A: Alabern, R. [et al.] (eds.). *L'aigua i la vida. La seva utilització*. Fundació la Caixa-UIB. Palma de Mallorca, pàg. 49-66.

MARTÍN VIDE, J.; LLASAT, M. C. (2000): «Las precipitaciones torrenciales en Cataluña». *Sèrie Geogràfica*, núm. 9, pàg. 17-26.

ROSSELLÓ, J. (1999): *Cabals a la vall de Sóller: episodis d'escorrentia intensa 1976-1980*. Memòria d'investigació inèdita. Palma, Universitat de les Illes Balears.

ROSSELLÓ, J. (2009): «Riscs naturals, aproximació als fenòmens extrems a Sóller i

Fornalutx». III Jornades d'Estudis Locals. Ajuntament de Sóller. 169-186.

ROSSELLÓ, J. (2010): «Pluges intenses a la vall: 1961-2000». IV Jornades d'Estudis Locals. Ajuntament de Sóller. 143-157.

RULLAN, J. (1875): *Historia de Sóller en sus relaciones con la general de Mallorca*. Imprenta Guasp. Palma de Mallorca.

RULLAN, J. (1885): «Inundación de Sóller y Fornalutx». Capítulo adicional a la *Historia de Sóller en sus relaciones con la general de Mallorca*. Imprenta Guasp. Palma de Mallorca.

*Los tráficos
internacionales y las
compañías de bajo coste
en las Islas Baleares.
Movilidad versus
sostenibilitat*

Joana M. Seguí Pons

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears
joana.segui-pons@uib.es

María Rosa Martínez Reynés

Departament de Ciències de la Terra
Universitat de les Illes Balears
mrmartinez@syacsl.com

LOS TRÁFICOS INTERNACIONALES Y LAS COMPAÑÍAS DE BAJO COSTE EN LAS ISLAS BALEARES. MOVILIDAD *VERSUS* SOSTENIBILIDAD

Joana M. Seguí
M. Rosa Martínez

RESUMEN: En las Islas Baleares, los vuelos de bajo coste constituyen una de las novedades más recientes y destacadas del binomio transporte aéreo-turismo. Suponen cambios cualitativos y cuantitativos en el conjunto de desplazamientos aéreos y en las compañías operadoras al incrementar la movilidad y la accesibilidad, no sólo de visitantes sino de residentes. Sin embargo, el crecimiento de los movimientos aéreos nos conduce a analizar sus principales impactos, entre ellos la emisión de gases de efecto invernadero. Se apuntan soluciones técnicas más sostenibles y se vislumbran nuevas estrategias para el sector que intentan contrarrestar los efectos generados por los aumentos constantes de la demanda.

PALABRAS CLAVE: turismo, transporte aéreo, compañías aéreas de bajo coste, sostenibilidad, movilidad, Islas Baleares

ABSTRACT: Low-cost flights in the Balearic Islands are one of the most recent and prominent pairing of air transport and tourism. They have led to qualitative and quantitative changes in all air travel and airline companies, due to increased mobility and accessibility of not only visitors but residents as well. However, the growth in aircraft movements has led us to analyze their impacts, including the emission of greenhouse gases. The paper highlights the most sustainable solutions and the new strategies for the industry that are emerging in order to counteract the effects generated by increased demand.

KEYWORDS: Tourism, air transport, low cost carriers, sustainability, mobility, the Balearic Islands.

1. Introducción

El transporte constituye un componente fundamental en la articulación del sistema económico y territorial moldeado por el turismo, en tanto que actúa como interfaz entre el origen y el destino de los turistas y como soporte de los desplazamientos

internos que dan respuesta a las necesidades de ocio de los visitantes en destino.

El transporte se erige, pues, en una de las variables fundamentales del desarrollo turístico, ya que condiciona tanto la movilidad de los turistas en origen, como la accesibilidad de los destinos demandados. Transporte aéreo y desplazamientos

turísticos forman un binomio inseparable y, aunque no sea éste el modo mayoritario en los desplazamientos por ocio, sí lo es en los destinos internacionales. En las Islas Baleares, los aeropuertos constituyen la puerta de entrada del 96% de los más de trece millones de turistas llegados el pasado año (2008).

Las nuevas demandas postfordistas, con periodos vacacionales cada vez más fragmentados, los precios más asequibles, y la generalización de Internet, por citar algunas causas, han propiciado la aparición de un nuevo tipo de modalidad aérea,¹ como son las compañías de bajo coste (CBC) que se han ido apoderando, año tras año, de nuevas cuotas de mercado.²

El mercado aéreo es muy ágil, cambia rápidamente y aún mucho más el sector de bajo coste. En los últimos años, se han producido a escala internacional reestructuraciones de compañías aéreas y España y las Baleares tampoco han sido ajenas al proceso. Estas regiones se han visto afectadas tanto por cierres, como por deslocalizaciones de compañías y algunos expertos se centran en estas nuevas compañías para explicar el reordenamiento

que se produce en el sector, sobre todo, en los últimos cinco años. Hasta ahora, han contado con unas tasas de crecimiento considerables, hasta el punto, según Merino (2008), que han obligado a las compañías tradicionales a replantearse sus modelos de gestión y a adoptar estrategias similares a las de aquellas. En España, la fusión de dos CBC, Vueling y Clickair (CBC de Iberia), constituyen un ejemplo destacado de los cambios recientes.

Las nuevas CBC se han ido apoderando de los destinos tradicionalmente chárter, aunque no sólo exclusivamente. Sirven mejor los viajes a la carta del nuevo modelo turístico postfordista, marcado por la diferenciación. Las operaciones se han incrementado y las perspectivas futuras son de mayores movimientos, por lo que los niveles de sostenibilidad no mejoran los de otras modalidades de transporte aéreo más tradicionales. Ciertamente, el Acuerdo de Cielos Abiertos de 30 de marzo de 2008 por el que todas las compañías aéreas de la UE pueden efectuar vuelos directos hacia EEUU desde cualquier lugar de Europa, y no sólo desde su país de origen, incrementará forzosamente la competencia y abaratará

¹ La historia de los vuelos de bajo coste se remonta a los inicios de los 70, en Estados Unidos, a través de la compañía *Southwest Airlines*. La primera en Europa fue *Ryanair*, a mitad de la década de los ochenta y diez años antes de la liberalización del mercado europeo, que estableció un vuelo diario entre Irlanda e Inglaterra (Govern Balear, 2006, págs.37-38).

² Según el Instituto de Estudios Turísticos de España (Instituto de Estudios Turísticos, 2008, págs. 87-88), las Compañías de Bajo Coste se definen por una serie de características, que aunque no todas comparten, en términos generales sí las distinguen de las compañías «tradicionales». Pueden citarse: venta directa de sus pasajes (vía Internet o telefónica utilizando *call centers*); no emiten billetes; no tienen oficinas en el extranjero; no tienen programas de fidelización; no tienen servicio a bordo (ni comida, ni periódicos, ni revistas,...); minimizan los costes operativos (gracias a mejores productividades, menores costes de mantenimiento, no pagan márgenes a las agencias, el tipo de avión, etc.); utilizan mayoritariamente vuelos regulares; maximizan la ocupación de sus vuelos; maximizan la utilización de los aviones (realizan un mayor número de vuelos al día por avión); minimizan el tiempo que permanece en tierra un avión en cada aeropuerto; maximizan la flexibilidad para adquirir trayectos (sólo ida, sólo vuelta, ida y vuelta); no tienen clase *business* ni primera; utilizan aviones muy homogéneos (mayoritariamente 737); son empresas independientes (de los tour operadores y de las compañías aéreas tradicionales); no realizan conexiones (priorizan los vuelos punto a punto); no comercializan asientos dentro de paquetes turísticos; utilizan estrategias de marketing basadas casi exclusivamente en ofertas de sus tarifas; no tienen asientos numerados.

vuelos, con lo que se abren nuevas posibilidades de rutas transoceánicas para este tipo de compañías (Francis *et al.*, 2007). La Comisión Europea calcula que aumentará el pasaje en un 50% (Merino, 2008).

Como norma general, las CBC vuelan a través de rutas directas, evitando los *hubs* de conexión, instalados por las compañías estructuradas en alianzas, en los aeropuertos de mayor tráfico, con tasas más elevadas (Hernández, 2008 a). Esas compañías establecen conexiones en aeropuertos de segundo nivel y para las ciudades dónde se han establecido constituyen elementos dinamizadores de su conectividad y de su economía, aportándoles una visibilidad de la que carecían. Posicionan nuevos destinos y orígenes en el mercado turístico europeo, más bien regionales y hasta ahora marginales, generando flujos cuando éstos no se producían. Los vuelos se generan también fuera de periodo vacacional, puesto que son regulares, induciendo a viajar fuera de los periodos establecidos por las chárter. Al mismo tiempo, para sus residentes, generan una mayor movilidad con una más amplia red de destinos, sin escalas, y con un acceso a tarifas más asequibles. Por ello afirmamos que estas nuevas modalidades de vuelos inducen la demanda, no sólo por el trasvase de pasajeros de las compañías llamadas tradicionales, sino por la nueva generación de viajes que provocan.

El aeropuerto de Son Sant Joan (Mallorca, Islas Baleares) fue el más transitado por las compañías de bajo coste en España en 2007, seguido de los aeropuertos de Barcelona y Málaga. Se ha convertido en el *hub* de la CBC *Air Berlin*. La modalidad de *hub*, –estrategia propia de compañías aéreas tradicionales que comparten alianzas, para minimizar los recursos–, por parte de una compañía de bajo coste, convierte al aeropuerto de Mallorca en único en esta modalidad, caracterizada por la conexión punto a punto.

Un análisis detallado del impacto de las CBC en nuestra comunidad ocupa la primera parte del artículo, mientras dedicamos la segunda parte a analizar la relación turismo y transporte aéreo y sus impactos en el medio ambiente.

2. Los flujos turísticos europeos hacia España. Las Compañías de Bajo Coste

En Europa, los países que gestionan la mayor parte de los vuelos aéreos internacionales son los de mayor peso demográfico, los destinos turísticos y los que concentran los *hubs* aeroportuarios de mayor tráfico. En el año 2007, cinco países, Reino Unido (15,7%), Alemania (14,8%), Francia (10,1%), Italia (10%) y España (7,6%), recibieron el 58 % de los mismos. Destacan los operados por CBC en el Reino Unido y en España en cuyos países representan el 42% y el 37,7% del total de los vuelos (Instituto de estudios Turísticos, 2008). Fueron igualmente los dos primeros destinos en este tipo de vuelos, con el 33,3% y el 14,4% respectivamente, pues recibieron conjuntamente el 48% de los realizados en Europa, seguidos de Alemania (13,5%), Italia (7,5%) y Francia (6,1%).

En el año 2007, el tráfico aéreo internacional de Europa con destino España arrojó un volumen final de 59,8 millones de pasajeros. Las CBC llegaron a alcanzar casi el 40% de la demanda de pasajeros internacionales, con un aumento del 33% respecto del año anterior. Por su parte, y en sentido inverso, las compañías tradicionales, con el 60 % restante del flujo, experimentaron un descenso del superior al 3%. La cuota de mercado de las CBC ha ido aumentando a un ritmo del 6% anual desde el 2003, a costa de las compañías aéreas tradicionales que, salvo en los años 2000 y 2006, en los que tuvieron un crecimiento del

número de pasajeros, han acumulado pérdidas el resto de los años. Los resultados iniciales para el 2008, siguen en la misma línea³ (Instituto de estudios Turísticos, 2008), aunque se ralentiza la demanda.

Las relaciones entre turismo, transporte aéreo y compañías de bajo coste se explicitan todavía más al analizar la procedencia de los mercados emisores y el peso de estos vuelos en sus países, así como la importancia de los mismos en el país de destino, España. Reino Unido y Alemania, los principales mercados emisores de turismo, canalizaron hacia España, vía aérea, 28,9 millones de pasajeros, el 48,4% de todos los internacionales.

El Reino Unido, con 17,8 millones de pasajeros –el 30% de los flujos recibidos–, se erige en el primer mercado emisor. Tanto de las CBC, como de las compañías aéreas tradicionales (34,4% y 26,7% respectivamente de los pasajeros recibidos en nuestro país), el Reino Unido direccionó el 20,7% de sus vuelos hacia España y cerca de la mitad de ellos fueron operados por compañías de bajo coste. El principal destino de los vuelos procedentes de Alemania fue también España –14,1%–, con un total de 11 millones de pasajeros y el 18,4% de los flujos internacionales de llegada a nuestro país. Los alemanes constituyen el segundo país emisor de turismo hacia nuestro país. Las islas Baleares recibieron el 37,9% de los mismos. Por primera vez en los últimos años, más de la mitad de los alemanes viajaron con una CBC (56%) y también fue España el principal destino de este tipo de

vuelos. El 26% de todas las llegadas internacionales en CBC en España son alemanas así como el 13,6% de las compañías tradicionales.

Esos dos países concentran el 60,5% de los pasajeros llegados en CBC a España. El Reino Unido, 8,2 millones y Alemania, 6,2 millones, mientras el resto de países se situaron a una considerable distancia

Entre las diez principales relaciones aéreas encontramos cuatro conexiones con el aeropuerto de Son Sant Joan (Mallorca) procedentes de Colonia, Dusseldorf, Hamburgo y Dortmund (Fig. 1). La instalación del *hub* de Air Berlin en el citado aeropuerto es su principal generador. El aeropuerto mallorquín es el que recibió un mayor número de pasajeros internacionales en vuelos de CBC (4,5 millones y el 19% del total de los llegados a España en esta tipología), pues seis de cada diez pasajeros fueron alemanes.

Son precisamente las relaciones con origen Alemania y Reino Unido y con destino Baleares, con 4,2 y 3,5 millones de pasajeros respectivamente, las que constituyen las vías aéreas más transitadas entre España y Europa en el año 2007. Al mismo tiempo, si se analizan las rutas de las CBC también fueron los pasajeros transportados entre Alemania y Baleares los más numerosos (2,9 millones), seguidos de los que optaron por las rutas entre el Reino Unido y Andalucía (1,9 millones), Comunidad Valenciana y Cataluña (1,7 millones de pasajeros conjuntamente).

³ En el año 2008 las CBC alcanzan en España casi el 50% de la demanda de las llegadas de pasajeros internacionales, registrando un crecimiento del 11,1% respecto al 2007. Las compañías tradicionales con el 51,6% restante del flujo experimentaron un descenso interanual del 7,8% (www.soitu.es/actualidad, 17-02-2009). En el cuarto trimestre del 2008 se refleja la crisis y la bajada de pasaje que se confirma en los primeros meses del año 2009, pues, hasta febrero, han descendido un 13% frente al descenso del 15,4% registrado por las compañías tradicionales (www.soitu.es/actualidad, 24-03-2009).

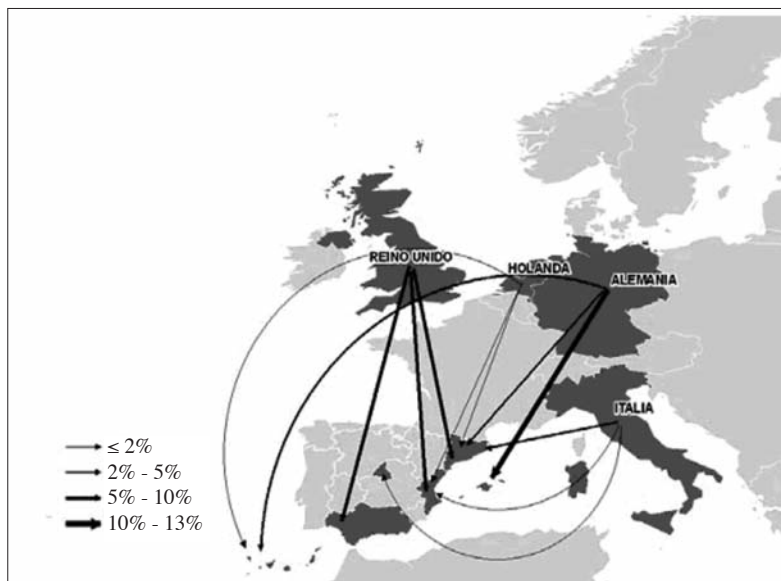


Fig. 1. Pasajeros internacionales de compañías aéreas de bajo coste con destino España por país de origen en 2007. Fuente: Instituto de Estudios Turísticos, 2008.

2.1. Composición y distribución territorial de los flujos de CBC en España

De los 59,8 millones de pasajeros internacionales que llegaron a España en 2007, 23,9 millones lo fueron a través de CBC y 35,9 millones por medio de compañías tradicionales. Del conjunto de comunidades autónomas, sólo seis, las más turísticas, junto con el *hub* del aeropuerto de Madrid concentraron el 96,2% de todos los flujos. Éstas fueron, Madrid (24,4%), Cataluña (19,7%), Baleares (17,2%), Canarias (15,7%), Andalucía (10,8%) y Comunidad Valenciana (8,6%) (Instituto de Estudios Turísticos, 2008).

La distribución por comunidades autónomas de los flujos de bajo coste realza mayormente la presencia del turismo y altera la posición de las CCAA en los flujos aéreos globales. Del 93,6% de los flujos, Cataluña concentró el 24,5% de las llegadas (5,8 millones de pasajeros), seguida de Baleares

(21,3% de la demanda, con 5 millones), Andalucía (15,1%, con 3,6 millones), Comunidad Valenciana (14,4%, con 3,4 millones), Madrid (9,3%, con 2,2 millones) y Canarias (9,2%, con 2,1 millones de pasajeros). Estas dos últimas fueron también las que mayor número de pasajeros internacionales recibieron de las compañías tradicionales y ello por diferentes razones. Madrid, con 12,3 millones, por ser el mayor *hub* de España y Canarias, en segunda posición en esta tipología de tráfico, con 7,2 millones de pasajeros, que aún siendo destino turístico destacado, se encuentra menos significada en el conjunto de vuelos de bajo coste, de conexión directa, por su localización geográfica periférica (Fig. 2).

Al igual que en años anteriores, los principales aeropuertos en volumen de pasajeros llegados en CBC fueron Palma (Mallorca) Barcelona y Málaga. Son Sant Joan fue el que más pasajeros internacio-

nales recibió, un total de 4,5 millones (19% del total de CBC de España) procedentes principalmente de Alemania y Reino Unido.

Air Berlin transportó el 46,1% de los mismos (Fig. 3).

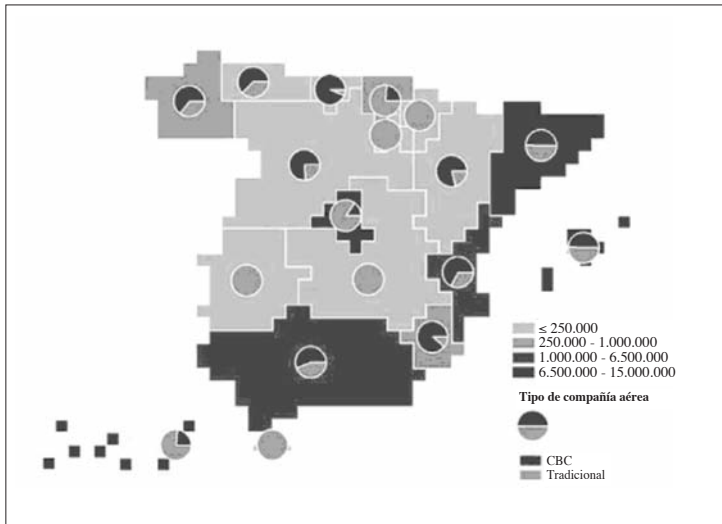


Fig. 2. Pasajeros internacionales llegados a España por comunidad autónoma de destino en 2007. Fuente: Instituto de Estudios Turísticos, 2008.

El aeropuerto de Barcelona, con 3,4 millones y el 14,3% de los flujos, aparece como el segundo aeropuerto de CBC de España. Sus pasajeros procedieron en su mayoría de tres mercados; Reino Unido (25,2%), Alemania (14,9%) e Italia (14%) y las compañías *Clickair*, *Easyjet* y *Vueling* concentraron el 68,5% del pasaje.

Málaga en 2007 ocupa la tercera posición, con 2,6 millones de pasajeros y el 11,1% del flujo internacional en este tipo de tráfico. Reino Unido continuó siendo su principal emisor (55,4%) y la compañía *Easyjet Airlines* la más operativa con el 34,2% del pasaje.

Las principales comunidades autónomas de destino para los 8,2 millones de británicos que accedieron a nuestro país en CBC fueron Andalucía, Comunidad Valenciana y Cataluña, con el 64,7% de los

pasajeros. En los dos primeros destinos destacó *Easyjet Airlines* y en Cataluña, *Ryanair*. Los destinos de las compañías tradicionales fueron las Islas Baleares y Canarias y, en menor medida, Andalucía (Fig. 4). Alemania, con 6,2 millones de pasajeros en CBC dirigió sus flujos hacia Baleares, Canarias y Cataluña, que se significan igualmente en el tráfico de las compañías tradicionales, a las que se añade Madrid. En las llegadas insulares destacó *Air Berlin* y en Cataluña, *Ryanair*.

3. Los tráficos turísticos en las Islas Baleares

Baleares fue la tercera comunidad autónoma que más pasajeros internacionales recibió en el año 2007 (10,3 millones), un 3,6% más que en 2006. Los aeropuertos de

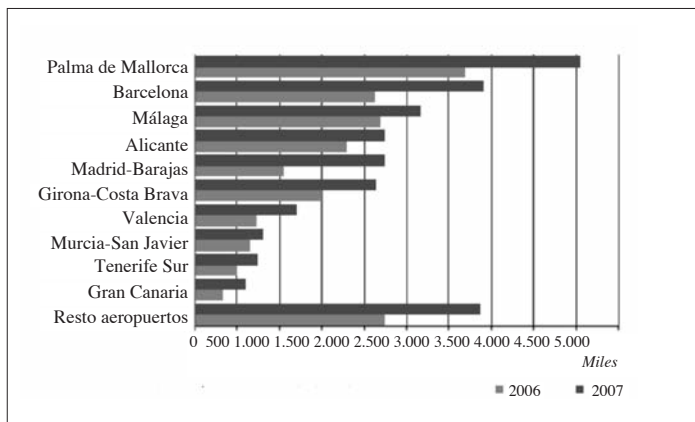


Fig. 3. Pasajeros internacionales llegados a España en compañías aéreas de bajo coste por aeropuerto de destino. Años 2006-2007. Fuente: Instituto de Estudios Turísticos, 2008.

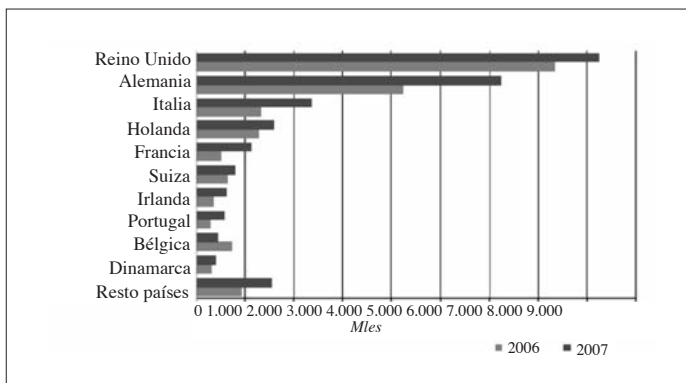


Fig. 4. Pasajeros internacionales llegados a España en compañías aéreas de bajo coste por país de origen. Años 2006-2007. Fuente: Instituto de Estudios Turísticos, 2008.

Baleares reciben el 17,2% de los casi 60 millones de llegadas hacia los aeropuertos españoles en esta modalidad tráfico. Esta comunidad se posiciona en tercer lugar, precedida de Madrid, con el 24%, y de Barcelona, con el 19,7% de movimientos.

El carácter marcadamente turístico del mayor aeropuerto regional, Son Sant Joan, le valió en 2007 la posición catorce entre los veinte primeros aeropuertos europeos, anteponiéndose a algunos situados en capitales de países, pero que disponen de menor pasaje: Copenhague, Oslo, Viena y Moscú, u

otros como Manchester o Zurich. Sin embargo, la escasa diversificación de los mercados emisores concentrados, en un 75%, en el Reino Unido y Alemania provoca un desequilibrio de las conexiones directas con otros destinos, pues las relaciones aéreas internacionales deben pasar forzosamente por Madrid y Barcelona, lo que incrementa vuelos, tiempo y costes. La deslocalización progresiva de Iberia del aeropuerto de El Prat y su concentración en la T4, en Madrid, ha sido negativa para Baleares pues ha alargado trayectos.

El año 2008, y después de varias décadas de crecimiento ininterrumpido, a causa de los efectos de la crisis económica internacional, el descenso para el conjunto de aeropuertos de Baleares fue del 2,2%, con casi 700.000 pasajeros menos (Cuadro I), porcentaje superior al experimentado en el

aeropuerto de Palma que aminora su tráfico un 1,7%, e inferior al que se produce en Eivissa, del 2,4%, y en Menorca, del 6,3%. Estas dos islas, por su tamaño y características, son más sensibles a las oscilaciones del mercado turístico internacional (Govern de les Illes Balears, 2009).

Cuadro I. Evolución del número de pasajeros en los aeropuertos de las Islas Baleares (llegadas y salidas). Fuente: Govern de les Illes Balears, 2009.

AÑOS	Aeropuertos Islas Baleares (10 ³)	Son Sant Joan (Mallorca) (10 ³)
1990	15,272	11,334
1995	20,166	14,733
2000	26,659	19,411
2005	27,996	21,241
2006	29,559	22,408
2007	30,766	23,228
2008	30,082	22,833

El tráfico regular, hoy, es el predominante, con un 77% de los flujos (Cuadro II), composición diametralmente opuesta a la predominante hasta los años 2000, sesgada hacia el chárter. El motor del cambio han sido las CBC, de carácter

internacional, sobre todo, hacia las que se ha direccionado este tipo de tráfico, a la vez que también han absorbido tráfico regular de itinerarios como el de Palma-Barcelona (*Vueling-Clickair*, al dejar de operar Iberia).

Cuadro II. Composición del tráfico aéreo por tipologías en las Islas Baleares (llegadas y salidas) en 2008. Fuente: Govern de les Illes Balears, 2009.

TRÁFICO	REGULAR		CHARTER		TOTAL	
	Aeropuertos Islas Baleares	Son Sant Joan (Mallorca)	Aeropuertos Islas Baleares	Son Sant Joan (Mallorca)	Aeropuertos Islas Baleares	Son Sant Joan
(Mallorca)						
DOMÉSTICO	9.553.571 (97,8%)	6.244.764 (98,7%)	213.833 (34%)	84.655 (28,2%)	9.767.404 (100%)	6.329.4219
INTERNACIONAL	13.460.151 (66%)	11.850.576 (71,8%)	6.806.861 (34%)	4.645.090 (28,2%)	20.287.012	16.495.666
OTROS	47.739	7.862			47.739	7.862
TOTALS	23.061.461 (23,3%)	18.103.202 (76,7%)	7.020.694 (79,3%)	4.729.745 (20,7%)	30.082.155 (100)	22.832.947 (100)

Como ya se ha señalado, dos son las nacionalidades predominantes, alemanes e ingleses, tanto en el mercado nacional como en el regional de Baleares, sin embargo se aprecian diferencias importantes en uno y otro en la significación de los tráficos (Cuadro III).

Las Islas Baleares recibieron el 37,9% del conjunto de alemanes llegados a España, -18,6% de todas las llegadas internacionales aeroportuarias hacia nuestro país, con 11,1 millones de pasajeros-. Al propio tiempo hacia Baleares se canalizaron el 19,9% de todos los pasajeros ingleses -29,8% de todos los recibidos por los

aeropuertos españoles, 17,8 millones-. En el tráfico regional, los alemanes representaron el 41% de todas las entradas, con 4,2 millones de viajeros, mientras que los ingleses se significaron con el 34,5% de los movimientos y 3,55 millones de viajeros. Alemanes e ingleses se erigen en el 75,5% del conjunto de las entradas internacionales hacia nuestra comunidad. El área de influencia de los vuelos alemanes se extiende hacia su país vecino, Austria. Y, de este modo, los austriacos en Baleares, con tan sólo el 1,8% de los movimientos de llegada y el 1% del tráfico nacional, constituyen el 32,8% de todos los canalizados hacia España.

Cuadro III. Pasajeros llegados a España por vía aérea, según el país de origen y la comunidad autónoma de destino en 2007. Fuente: Instituto de Estudios Turísticos, 2008.

	Andalucía	Baleares (Iles)	Canarias	Cataluña	C. Valenc.	Galicia	Madrid	Murcia	Pais Vasco	Resto CCAA	TOTAL
Alemania	829.273	4.214.681	2.609.908	1.477.703	525.657	21.134	1.188.242	59.115	166.456	39.176	11.128.828
Argentina	6			55.157		1.591	502.290				559.214
Austria	25.611	190.186	112.592	135.835	205	19	113.931		344	1.270	579.104
Bélgica	248.190	103.650	253.009	430.217	204.922	38	375.235	18.546	39.949	58.653	1.722.138
Dinamarca	174.486	178.557	276.445	167.402	50.134		172.349			84	1.019.452
Estados Unidos	204	149	18	235.505	509	139	784.535	7	200	10	1.021.266
Francia	440.484	226.467	100.038	1.127.962	335.365	66.298	1.603.686	202	103.981	37.555	4.048.413
Holanda	274.063	190.556	416.542	773.190	266.644	51	609.213	17	105	229	2.534.501
Irlanda	365.004	163.592	473.165	339.328	126.955	8.031	220.177	69.556	32.568	382	1.799.536
Italia	334.252	458.418	222.112	1.744.604	433.938	33.233	1.728.236	4	44.899	111.817	5.145.614
Noruega	103.073	113.298	331.646	92.644	145.395	236	73.980	30.601		873	892.047
Portugal	11.808	192.834	51.960	449.742	24.567	3.171	686.256	8	28.021	4.629	1.457.044
Reino Unido	3.153.227	3.550.243	3.477.592	2.591.166	2.642.846	101.753	1.265.333	728.414	136.068	189.701	17.827.175
Suecia	98.946	171.891	361.223	181.708	72.704	3	132.424		9	122	1.019.136
Suiza	150.578	309.158	149.224	490.520	134.059	4.878	496.256	8	44	124	1.734.870
Resto Países	229.694	222.541	547.876	1.492.732	168.822	12.306	4.622.547	1.835	38.837	21.650	7.358.019
TOTAL	6.438.899	10.286.221	9.383.350	11.785.415	5.132.722	252.881	14.574.690	908.313	591.481	466.275	59.847.357

3.1. Las CBC y las compañías tradicionales: el aeropuerto de Son Sant Joan y los flujos turísticos

Se han producido algunos cambios cualitativos y cuantitativos en la demanda de transporte aéreo que han modificado la dinámica del sistema aeroportuario de las Islas, específicamente la del aeropuerto de Son Sant Joan. Las CBC no sólo han impactado en la disminución de los pasajeros procedentes de compañías tradicionales, sobre todo en tráfico internacional, objeto de

este trabajo, sino que, en líneas generales, han contribuido a disminuir la estacionalidad de los flujos, verdadero talón de Aquiles de las infraestructuras y de la ocupación en los destinos turísticos de clima templado.

Si nos atenemos al tráfico hacia España de las compañías tradicionales, los pasajeros recibidos por las Islas Baleares representaron el 14,5% de los flujos y nos posicionaron en la cuarta posición del ranking nacional de comunidades, precedidas por las de Madrid -34,3%- , Canarias -20%- y

Cataluña -16,5%- mientras Andalucía, a mayor distancia -7,9%-, se situaba en quinta posición.

Las compañías tradicionales de pasajeros internacionales en Baleares han experimentado un decrecimiento del 13,4% respecto del año 2006, porcentaje muy por encima al del conjunto nacional que fue del 3,3%. Este descenso se debe principalmente a que los principales mercados de origen, Reino Unido y Alemania, redujeron el número de

pasajeros en este tipo de vuelos, en un 2% y un 38% respectivamente -ésta, la mayor caída de los últimos años-, al canalizar su demanda hacia la modalidad de bajo coste. Británicos y alemanes englobaron el 70% del pasaje de llegada de las compañías aéreas tradicionales, sin embargo, al predominar el mercado británico, se invierten los pesos respecto del conjunto de entradas aéreas en Baleares en las que los alemanes son mayoritarios (Cuadro IV).

Cuadro IV. Pasajeros llegados a España en compañías aéreas tradicionales, según el país de origen y la comunidad autónoma de destino en 2007. Fuente: Instituto de Estudios Turísticos, 2008.

	Andalucía	Baleares (Illes)	Canarias	Cataluña	C. Valenc.	Galicia	Madrid	Murcia	Pais Vasco	Resto CCAA	TOTAL
Alemania	271.684	1.238.906	1.442.558	673.711	99.832	200	1.016.452	1	140.499	9.091	4.892.073
Argentina	6			55.157		1.591	502.290				559.214
Bélgica	206.217	93.730	253.009	246.590	114.784	38	310.806	18.546	39.949	6.446	1.290.460
Dinamarca	83.485	102.274	197.984	94.051	263		148.499			8	626.635
Estados Unidos	204	149	18	235.505	509	139	784.535	7	200	10	1.021.266
Francia	309.259	207.795	90.273	742.481	146.502	50.613	1.233.142	202	101.246	37.555	2.925.281
Holanda	11.765	28.668	137.681	314.882	447	51	452.940	17	105	171	950.413
Irlanda	242.608	159.797	370.219	168.820	77.525	8.031	148.970		12.173	382	1.188.930
Italia	116.013	330.360	185.658	724.620	105.622	1.441	1.272.985	4	44.756	4.919	2.784.935
México	7	3		38.250		11	447.398				485.672
Noruega	39.509	102.415	311.208	39.778	67.051	120	26.379	1.446		873	589.080
Portugal	11.151	40.901	39.575	188.491	20.476	3.104	538.347	8	28.021	4.629	878.649
Reino Unido	1.221.434	2.401.058	3.177.454	901.464	933.756	7.356	821.532	81.749	44.454	1.744	9.593.196
Suecia	25.932	160.641	349.152	50.948	638	3	94.835		9	122	682.386
Suiza	72.738	131.971	69.046	272.046	11.506	4.878	368.388	8	44	124	930.770
Resto Países	211.101	204.894	567.431	1.186.910	121.466	12.314	4.174.535	1.835	38.946	22.920	6.541.573
TOTAL	2.823.113	5.203.562	7.191.266	5.933.704	1.700.377	89.890	12.341.833	103.823	450.402	88.994	35.940.533

A pesar de los decrementos, también Baleares ocupó el segundo puesto del ranking de compañías tradicionales alemanas e inglesas, precedida de Canarias, al transportar el 25,3% de los pasajeros alemanes -1,2 millones- y el 25% los ingleses -2,4 millones-. Mientras los viajeros alemanes representaron en el espacio aéreo regional el 23,8% de los movimientos, cifra que duplica el peso del conjunto del estado (13,6%), los británicos se significaron con el 46,1% de los movimientos de Baleares, cifra que también duplica las llegadas en el conjunto de los aeropuertos nacionales (26,7%).

Por su parte, en Baleares se recibieron 5,08 millones de pasajeros en CBC en el 2007, con un incremento del 29,7% respecto del año anterior (Cuadro V). Dos países fueron el origen de ocho de cada diez pasajeros llegados. Alemania, con 2,97 millones de pasajeros, el 58,5% de los flujos de CBC regionales, duplica en porcentaje el peso de esta nacionalidad en el conjunto nacional (26,1%). Baleares recibió en CBC cerca de cinco de cada diez pasajeros alemanes llegados en bajo coste a España (47,7%).

El Reino Unido, con 1,14 millones, representó el 22,6% de las llegadas en este

segmento, sin embargo el porcentaje es muy inferior al que los flujos ingleses representan en el conjunto del Estado (34,4%). El aeropuerto de Son Sant Joan movilizó el 14% de los británicos llegados en CBC al territorio nacional, siendo Cataluña, la Comunidad Valenciana y Andalucía las que más se significaron.

Alemanes y británicos representan el 81% del tráfico regional en CBC, siendo más del doble el peso de los primeros sobre los segundos. El resto de países realizó aportaciones casi insignificantes si se comparan con ellos. Suiza, con el 3,5% de

los flujos y poco más de 177.000 pasajeros, destinó el 22% de sus llegadas a Baleares. Los austríacos, con el 3,3%, y en torno a 166.000 viajeros, usuarios del *hub*, representan el 57% del total de los llegados a España en CBC, Holanda, con el 3,2% y poco más de 161.000 pasajeros, junto con Portugal, son los más representativos. Este último, país de destino, junto con España del *hub* de Air Berlin, aporta el 3% de los movimientos regionales, con tan sólo 151.000 pasajeros, pero éstos representan el 26,3% de los flujos enviados a España en bajo coste.

Cuadro V. Pasajeros llegados a España en compañías aéreas de bajo coste, según el país de origen y la comunidad autónoma de destino en 2007. Fuente: Instituto de Estudios Turísticos, 2008.

	Andalucía	Balears (Illes)	Canarias	Cantabria	Cataluña	C. Valenc.	Madrid	Murcia	País Vasco	Resto CCAA	TOTAL
Alemania	557.589	2.975.775	1.167.350	28.063	803.992	425.825	171.790	59.114	25.957	21.280	6.236.755
Austria	9.537	166.752	61.606		55.308						293.203
Bélgica	41.973	9.920		342	183.627	90.138	64.629			41.049	431.678
Dinamarca	91.001	76.283	78.461		73.351	49.871	23.850				392.817
Francia	131.225	18.672	9.765		385.481	188.863	370.544		2.735	15.685	1.123.132
Holanda	262.298	161.888	278.861	263	458.308	266.197	156.273				1.584.088
Irlanda	122.396	3.795	102.946	373	170.508	49.430	71.207	69.556	20.395		610.606
Italia	218.239	128.058	36.454	54.532	1.019.984	328.316	455.251		143	119.498	2.360.679
Noruega	63.564	10.883	20.438		52.866	78.344	47.601	29.155		116	302.967
Portugal	657	151.933	12.385	4	261.251	4.091	147.909				578.395
Reino Unido	1.931.793	1.149.185	300.138	61.913	1.689.702	1.709.090	443.801	646.665	91.614	177.448	8.233.979
Suecia	73.014	11.250	12.071		130.760	72.066	37.589				336.750
Suiza	77.840	177.187	80.178		218.474	122.553	127.868				804.100
Resto países	34.660	41.078	31.431		348.099	47.561	114.545		235	66	617.675
TOTAL	3.615.786	5.082.659	2.192.084	145.490	5.851.711	3.432.345	2.232.857	804.490	141.079	408.323	23.906.824

Aunque, como ya hemos apuntado, las CBC ocupan un lugar destacado en el conjunto de los flujos recepcionados por los aeropuertos españoles, pues constituyen el 40% de los movimientos, con casi veinticuatro millones de pasajeros –frente al 60% y casi treinta y seis millones de llegadas de las compañías tradicionales–, aquéllas ocupan un lugar preferente en el espacio aéreo insular, y ello, por el peso del aeropuerto de Palma. Mientras en los flujos internacionales de las compañías tradicionales el aeropuerto de Son Sant Joan

aglutinó el 10,4% de los mismos, en el segmento de las CBC gestionó el 19% de los movimientos, erigiéndose en el aeropuerto de España más transitado por compañías de bajo coste.

Son Sant Joan recibió en su conjunto 8,28 millones de pasajeros, el 80,5% del tráfico internacional global de Baleares y el 90% del de las CBC de la región -con 4,54 millones-. Este aeropuerto recogió el 54,8% de todos sus pasajeros internacionales en CBC. La presencia de estas compañías fue mucho menor en los otros dos aeropuertos

de la comunidad autónoma. En Eivissa, de los 1,3 millones de pasajeros recibidos, tan sólo el 33% lo fue en CBC, mientras en Menorca, con 0,67 millones de pasajeros internacionales, tan sólo el 15% lo fue en este tipo de tráfico (Cuadro VI).

En la implantación de las CBC en las Baleares ha jugado un papel fundamental la configuración de un *hub* en Son Sant Joan a partir de una de ellas, *Air Berlín*. La estrategia *hub* concentra operaciones en un punto intermedio entre los orígenes y destinos, en este caso, zonas norte y sudoccidental (España y Portugal) de Europa, respectivamente, por el cual pasa gran parte del tráfico aéreo (Noguera, 2006).

Air Berlin aparece tipificada como CBC (Instituto de Estudios Turísticos, 2008), aunque participe de características de las compañías tradicionales. Fue una de las primeras en comercializar por Internet y cuenta con una clientela fiel de turistas residentes alemanes en Mallorca. Fue la primera compañía alemana que voló desde aeropuertos marginales como Münster-Osnabrück, Nuremberg, Paderborn, Dresden o Dortmund y vuela hoy tanto a aeropuertos principales (Palma) como secundarios (Reus, Tarragona). Puede definirse como una compañía de «tarifas bajas que ofrece servicios tradicionales» (Noguera, 2006, págs. 48-50).

Cuadro VI. Pasajeros llegados a los aeropuertos de las Islas Baleares por segmentos de tráfico en 2007. Fuente: Instituto de Estudios Turísticos, 2008.

AEROPUERTO	CBC	%	Tradicional	%	TOTAL	%
Palma	4.541.262	54,80	3.741.565	45,20	8.282.827	100
Ibiza	437.849	32,90	892.543	67,10	1.330.392	100
Menorca	103.548	15,40	569.454	84,60	637.002	100
Islas Baleares	5.082.659	49,40	5.203.562	50,60	10.286.221	100
Aeropuertos españoles	23.906.824	39,90	35.940.533	60,10	59.847.357	100

El *hub* de bajo coste convierte el aeropuerto de Mallorca en único en esta modalidad, caracterizada, más bien, por la conexión punto a punto. En el año 2007 el *hub* fue monopolizado casi en exclusiva por Air Berlin y Niki, que transportaron el 45% de los pasajeros en CBC de Baleares y el 50% de los que se canalizaron por el aeropuerto de Son Sant Joan. Como ya se ha señalado, este aeropuerto cuenta además con tráfico procedente de aerolíneas regulares estructuradas en alianzas, de menor cuantía, aunque más estable a lo largo del año y también con tráfico *chárter*, de marcado componente turístico. Son Sant Joan no

constituye el prototipo más atractivo para este tipo de compañías, cuyo éxito depende del tipo de aeropuerto escogido (Barret, 2004; Warnock-Smith, Potter, 2005; Pels, Njegovan, Behrens, 2009) puesto que en los meses de verano, como destino turístico preferente, se encuentra muy saturado, a la vez que las tasas son las de un aeropuerto de primer nivel. Aún así se constata su capacidad de atracción para todo tipo de tráfico turístico.

El *hub*, junto con el resto de CBC de las Islas ha posicionado las Baleares en el segundo destino del ranking español de llegadas en CBC, con el 21,3% de los

pasajeros, y el aeropuerto de Son Sant Joan en el primero en este segmento de tráfico. Cataluña es la primera comunidad receptora de estos flujos con el 24,5% de las llegadas, Andalucía se situó en la tercera posición, con el 15,1% de los pasajeros, seguida de la Comunidad Valenciana, con el 14,4%, de Madrid, con el 9,3% y de Canarias con el 9,2%. El *hub* ha incrementado la capacidad de articulación del aeropuerto de Mallorca en el contexto nacional y europeo, al ampliar su red de destinos directos, situados a distancias muy asequibles para los residentes, en períodos de vacaciones de corta duración y con tarifas muy atractivas, aunque se polaricen los flujos hacia los dos principales mercados emisores. Este es el caso de los aeropuertos alemanes más intensamente conectados con Baleares: Frankfurt, Berlín, Hamburgo, pero también de Londres, Bruselas, Viena o Lisboa.

Los elevados niveles de demanda de transporte han tenido hasta ahora un fiel reflejo en las necesidades de ampliación de infraestructuras. El espacio destinado a infraestructuras de transporte en Baleares se extiende sobre el 6% del espacio antropizado, más de 2.000 hectáreas. De ellas, más de la mitad son para las zonas aeroportuarias (Observatorio de la sostenibilidad en España, 2007). La escala territorial, las conexiones intermodales de sus entornos y la difícil coexistencia con los usos residenciales y turísticos, entre otras causas, por la contaminación acústica (más del 63% de la población localizada en la corona de un kilómetro, en torno al aeropuerto de Son Sant Joan sufre molestias; Seguí *et al.*, 2004), desaconsejan a día de hoy cualquier expansión de estas infraestructuras.

Cierto es que el *hub* ha beneficiado Mallorca desestacionalizando, relativamente, los movimientos, con una cuarta parte de los mismos continuados a lo largo

del año. Sin embargo, cabe señalar que ello ha implicado nuevas intervenciones en el lado de tierra en las infraestructuras, a efectos de canalizar las operaciones cuyo éxito estriba en realizar los aportes de los aeropuertos europeos de procedencia y las dispersiones hacia los destinos de España y Portugal, y sus vueltas, de la forma más rápida posible para permitir los cuatro grandes movimientos diarios de idas y venidas. Consisten éstas en la reestructuración de la terminal C para destinarla en exclusiva al *hub*. Básicamente se trata de incrementar la capacidad de la misma para dar servicio a los flujos derivados de las 32.000 interconexiones anuales que AENA prevé en el futuro inmediato para ese nodo articulador. Una de las actuaciones más evidentes será la ampliación de la dotación de puertas de embarque que pasarán de las 20 actuales a las 33 futuras.

Aunque se han hecho considerables esfuerzos y la legislación es prolífica, el tema de la sostenibilidad territorial aeroportuaria no parece resuelto por varias razones. La comunidad vive mayoritariamente del turismo. Los procesos participativos en las decisiones territoriales no han sido habituales en una comunidad gobernada mayoritariamente por partidos de derechas. Y a todo ello se añade el que la planificación de los aeropuertos y su gestión se encuentran centralizadas por el organismo autónomo AENA, que depende del Ministerio de Fomento y, por tanto, del gobierno central. Mientras la planificación y ordenación territoriales son competencia del gobierno autónomo, los aeropuertos se encuentran centralizados, sin embargo sus ampliaciones comportan impactos que van más allá de las simples alteraciones territoriales puntuales, afectan al conjunto insular, área de influencia de la actividad turística, y ponen en entredicho el modelo de sostenibilidad territorial diseñado.

4. Turismo, transporte aéreo y cambio climático

Entre los impactos ambientales imputables a la industria de las vacaciones, ocupan un lugar relevante aquellos que se derivan precisamente del Transporte. Así lo expresa claramente el último estudio de UNWTO del 2008 *Climate Change and Tourism. Responding to global change* en el que se cuantifica en un 75% la aportación del sector al impacto global del Turismo sobre la huella climática. En el mismo estudio se muestra el importante peso del transporte aéreo en relación a los otros modos y servicios del producto turístico.

De los principales impactos relacionados con el transporte aéreo a escala local o global, trataremos el de la contaminación atmosférica por la emisión de gases de efecto invernadero de las aeronaves: vapor de agua, óxido de nitrógeno (N₂O) y dióxido de carbono (CO₂), siendo éste último el indicador comúnmente utilizado para evaluar la sostenibilidad del sector. Dejamos de lado, por tanto, otro tipo de impactos no menos importantes tales como el consumo de territorio y la consabida contaminación acústica. Sin duda, la emisión de dióxido de carbono a la atmósfera, constituye –en términos medioambientales–, el problema más grave del transporte aéreo puesto que sus efectos trascienden desde la escala local a la global. El efecto dinamizador de ese modo sobre los flujos turísticos le coloca, además, como uno de los flancos más sensibles en la lucha por la sostenibilidad del turismo.

Tal como muestra el citado informe de UNWTO del año 2008, de entre los segmentos que componen el producto turístico, el transporte aéreo sería el más

impactante para la atmósfera puesto que, a escala mundial, de él se deriva el 40% de todo el gas carbónico imputable al turismo. Supera, así, las emisiones producidas por el automóvil (el 32%), las derivadas de los consumos energéticos en los alojamientos turísticos (21%) y las que se originan en otras actividades complementarias. Pero si analizamos la distribución de CO₂ emitido exclusivamente por los distintos modos de transporte, el aéreo ve incrementada su participación hasta alcanzar el 60% (Fig. 5).

La demanda de transporte aéreo es mayoritaria para los desplazamientos a escala internacional (OMT, 2.008, p. 2), por lo que, el 63% de las emisiones del transporte aéreo turístico se produce en viajes internacionales y sólo el 37% en desplazamientos en el ámbito doméstico. Aquí los coches registran su mayor cuota, el 85% de todo el CO₂ lanzado por ese modo de transporte en el conjunto de los desplazamientos turísticos (Fig. 6).

La aportación del turismo al calentamiento de la atmósfera pone en evidencia la cruz de un sector extremadamente dinámico, expansivo y generador de fuertes beneficios.⁴ Una cruz que se presenta como una clara amenaza: los efectos del cambio climático sobre aquellos destinos turísticos que, paradójicamente, han podido situarse en el mercado mundial precisamente gracias al desarrollo del transporte aéreo.

Si no se frena la tendencia actual respecto del incremento de las emisiones de gas carbónico los principales destinos del mundo, en sólo una centuria, podrían sufrir cambios climáticos significativos (veranos e inviernos más cálidos, incremento de catástrofes por fenómenos extremos); desaparición de las líneas litorales en su configuración actual por la elevación del

⁴ El año 2007 los ingresos totales mundiales sólo para el turismo internacional alcanzaron los 856 mil millones de dólares, con una participación de España de 58 mil millones, OMT, 2008.

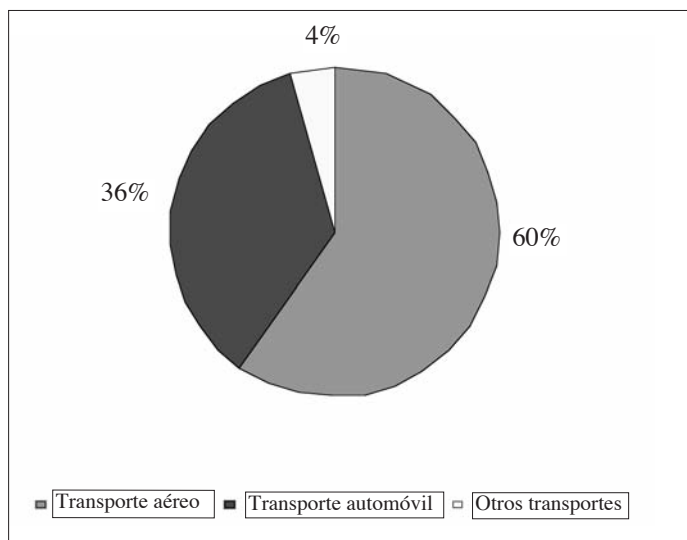


Fig. 5. Distribución modal de emisiones de CO₂ para los desplazamientos turísticos a escala mundial en 2005. Excluidos movimientos de un solo día (excursiones). Fuente: UNWTO, 2008.

nivel de mar;⁵ disminución de la biodiversidad terrestre y marina; sequías y escasez de agua; incremento de determinadas enfermedades e incluso procesos de desestabilización política por las tensiones que generarían esos problemas .

Aunque las perspectivas sean menos alarmantes para el Mediterráneo, para sus destinos turísticos de sol y playa, como Baleares, la subida del nivel del mar constituye una amenaza muy seria puesto que conduciría inevitablemente a cambios morfológicos de las franjas costeras, entre los que no es de menor entidad la desaparición de muchas de las playas bajas y

arenosas que constituyen su principal recurso.

Así pues, el debate actual en torno a la sostenibilidad del transporte aéreo gira básicamente sobre la reducción del consumo de combustible de las aeronaves y su ecoeficiencia.⁶ No es una preocupación nueva ya que en los últimos años la confluencia de la normativa –progresivamente más exigente respecto de las emisiones de gases invernadero– y los avances técnicos en motores, materiales y diseño han conseguido reducir significativamente el consumo energético y las emisiones.⁷ Con ello se ha roto la perversa relación «incremento de la demanda /

⁵ Según la UNWTO (2008) en el año 2100 el nivel del mar podría haber ascendido entre 31 cm. y 65 cm. como consecuencia del aumento de temperaturas oceánicas y la fusión de los glaciares.

⁶ La ecoeficiencia implica el equilibrio entre la producción de servicios, los recursos utilizados y la generación de residuos. Así un sector es más ecoeficiente si es capaz de ofrecer más servicios al tiempo que ahorra recursos y reduce impactos.

⁷ Valga como ejemplo la reducción del 40% de combustible en un consumo medio entre el Boeing 707 de finales de los años 50 y los últimos ejemplares de éste modelo, al tiempo que, la eficiencia energética de las aeronaves –en términos globales– ha incrementado en el 70% desde los años 60 (Hernández, 2008 a, p. 18; EADS, 2.007; Air Transport Action Group, 2009).

incremento de las emisiones» ya que si el crecimiento de aquella en los últimos años se mueve en torno a un 5% anual, el de las emisiones de CO₂ lo hace en un 3% (ATG, 2.009). Es más, la ecoeficiencia de las

aeronaves se ha incrementado hasta representar actualmente el 8% del PIB mundial en tanto que las emisiones representan sólo el 2% de todas las provocadas por las actividades humanas (EADS, 2.007).

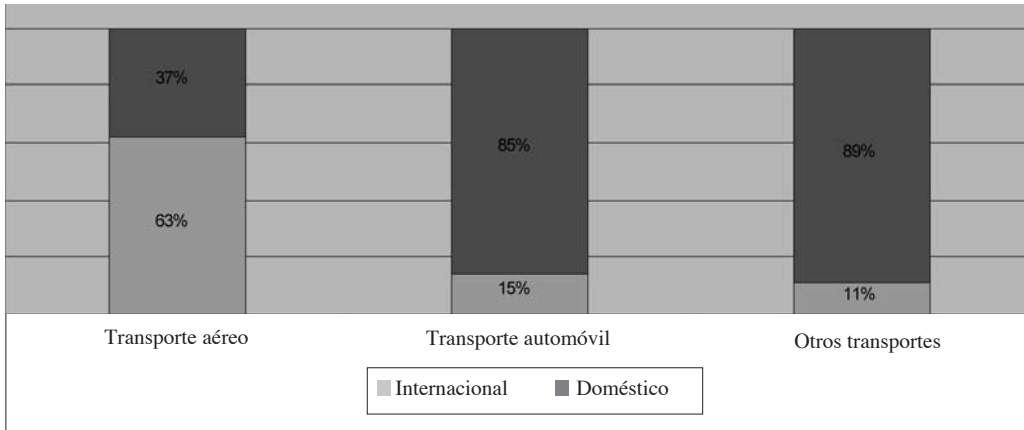


Fig. 6. Distribución de emisiones de CO₂ según modo de transporte utilizados para los desplazamientos turísticos domésticos e internacionales a escala mundial en 2005. Excluidos movimientos de un solo día (excursiones). Fuente: UNWTO, 2008.

Sin embargo, a pesar de tales avances, y como consecuencia del incremento de los movimientos y de los flujos turísticos, cada vez de mayor extensión sobre el planeta, la contabilidad global muestra que las emisiones de dióxido de carbono siguen y seguirán incrementándose año a año. Esta situación llevará a duplicar las tasas de CO₂ ya en el año 2030 y eso aún en el supuesto de que las líneas aéreas inviertan en la adquisición de las aeronaves más ecoeficientes disponibles en el mercado.⁸

5. Compañías de Bajo Coste y sostenibilidad en la Unión Europea

El modo aéreo participa en la cuota global de dióxido de carbono emitido por el transporte (21% del total de emisiones) en Europa en un 12%, y sitúa la UE en un lugar relevante a escala mundial en tanto que responsable de la mitad del CO₂ emitido por el transporte aéreo internacional en el conjunto de los países desarrollados (Flamarich, 2009). Aún así, si trasladamos el

⁸ Así lo argumentan expertos tan relevantes en el sector como la Asociación Británica por una Aviación Sostenible, institución integrada por importantes operadores aéreos como British Airways, Virgin Atlantic, la entidad industrial Airbus y el mayor operador aeroportuario del mundo, el BAA (*Actualidad 24horas.com*, enero 2009).

peso real del modo a una relación con el resto de actividades emisoras de gas carbónico, su responsabilidad desciende a una tasa de sólo el 3%, frecuentemente aducida por los operadores aéreos para relativizar el problema.

La influencia del turismo en el fenómeno y su correlato en términos de sostenibilidad queda bien ejemplarizado en la siguiente y desequilibrada relación: mientras que los desplazamientos turísticos por vía aérea acaparan sólo el 20% del total de todos los viajes en todos los modos en la UE, las emisiones suponen el 55% del total de las producidas en transporte turístico, porcentaje, sin embargo, inferior a la media mundial que se sitúa en torno al 60%, (UNWTO 2008, p. 124-125). Lo más preocupante es que, lejos de reducirse, las emisiones se han incrementado en Europa en un 87% tan sólo desde 1990 como consecuencia del fuerte incremento de los desplazamientos aéreos, de tal manera que se han neutralizado los efectos que las mejoras técnicas y las restricciones normativas hayan podido tener sobre las cuotas del CO₂ expulsado a la atmósfera en la región.

Entre el año 1990 y el año 2006 el número de pasajeros transportados en Europa se ha incrementado en el 114%. Y las proyecciones efectuadas por la Agencia Europea de Medio Ambiente apuntan a un crecimiento para el año 2.010 del 145%.⁹ Con la experiencia previa y ante las perspectivas de un continuo crecimiento de la demanda, la ecuación se ha de completar

necesariamente con nuevos incrementos de las emisiones. Por tanto, la Comisión Europea se ha visto obligada a adoptar modificaciones legislativas en su estrategia medioambiental para hacer más restrictivas sus políticas de emisiones en transporte aéreo. En esa línea encajan dos grandes programas europeos: «*Clean Sky*» y «*Single European Sky ATM Research Programme (SESAR)*». (<http://www.enviro.aero/splash.html>).

Recientemente, y como un paso más en esa línea estratégica de restricciones, la Comisión Europea ha propuesto incluir la aviación en el programa de comercio de emisiones de CO₂ (*Emission Trading Scheme*, ETS). De esta forma las compañías aéreas dispondrían de una cuota máxima de emisiones de gases invernadero que se concretaría a partir del promedio de los años 2004-2006. Aquellas compañías que se excedieran en sus cuotas deberían adquirir esos excedentes a aquellas que no hubieran alcanzado el límite establecido que suelen ser las que disponen de las flotas más modernas y ecoeficientes. En principio estaba prevista su implantación en dos fases, para los vuelos *intra* UE la aplicación se iniciaría en el año 2011 y para los *extra* UE en el año 2012. Pero de momento la implantación es incierta porque el programa de intercambio de emisiones (ETS) que ya se sigue en otros sectores industriales, no ha sido bien recibido por todas las partes, especialmente en lo que se refiere a los vuelos exteriores a la UE, para los que EEUU se ha opuesto radicalmente.

⁹ Cuando se realizaron estas proyecciones, en el año 2007, aún no había surgido en toda su extensión la crisis económica mundial en la que estamos inmersos actualmente. Por ello, desde finales del año 2008, lejos de incrementarse los flujos turísticos y aéreos según las previsiones, éstos han retrocedido. Según la OMT, el turismo a escala mundial creció solamente un 2% en el año 2008, crecimiento que se debe a un buen comportamiento en la primera mitad del año ya que en el segundo semestre se contrajo en un 1%. A nivel regional, Europa registró una pérdida del 3% en ese segundo semestre. Por su parte IATA viene consignando caídas del tráfico aéreo en los tres últimos meses del año 2008 que oscilan entre el 1,3% y el 4,6% a escala mundial, y una caída del 3,4% en Europa en el mes de noviembre (El Economista.es, 2008). Es de suponer que cuando se remonte este período económicamente crítico, volvamos a vivir un nuevo proceso expansivo para el turismo y el transporte aéreo sobre las mismas pautas que lo han sustentado hasta ahora y con las mismas repercusiones ambientales que estamos describiendo.

Las CBC, en principio, las que con mayor probabilidad podrían ceder parte de sus cuotas por ser las mejor dotadas en términos de eficiencia, tampoco han aplaudido las medidas. Aducen en su rechazo dos argumentos. El primero se basa en la capacidad que tienen las instituciones de intervenir en procedimientos efectivos sobre el ahorro energético, como la optimización de las rutas y la reducción de los atascos y demoras en aeropuertos en tanto que con estos procedimientos se alcanzarían los objetivos globales. El programa europeo citado, como ya se ha comentado, se destina precisamente a cubrir ese déficit operativo. Los operadores esperan que, una vez implementado, los resultados disuadan a la Comisión Europea de sus intenciones.

El segundo argumento, entendemos que de un mayor calado, estriba en que necesariamente el comercio de cuotas va a suponer un encarecimiento de las operaciones que ha de redundar, al final, en el precio del billete. La propia Comunidad Europea calcula que la implantación de ese comercio va a suponer un incremento en los billetes de entre 1,8 y 9 euros para los trayectos de ida y vuelta en un horizonte del año 2020. Sin embargo, mientras que el gobierno europeo considera que estos incrementos no van a tener efectos significativos en la demanda, las CBC afirman que tendrán consecuencias negativas para las islas mediterráneas (*Las emisiones de los aviones se limitarán para combatir el cambio climático*, CE 2006; Muñoz, 2008).

Llaman la atención estos argumentos por parte de unos operadores que, en general, mantienen una política muy avanzada con

respecto al medioambiente, aunque sean fruto de estrategias de rentabilidad e imagen.¹⁰ Efectivamente, las CBC cuentan con las flotas más modernas y eficientes del mercado. Ello les aporta ventajas competitivas evidentes si tenemos en cuenta que las aeronaves más modernas, del tipo Boeing 373 y Airbus 320 son actualmente las que operan con un menor consumo de combustible y, por ello, generan menores costos en el cómputo global de la explotación. Otro elemento clave a considerar es la mayor ocupación por vuelo frente a las compañías tradicionales. Como consecuencia derivada de todo lo anterior, las CBC pueden presumir de ser las más ecoeficientes presentando *ratios* de emisiones/km/pasajero inferiores incluso a las del transporte rodado.¹¹

Las flotas de las CBC que operan en Baleares son un buen exponente de lo que se argumenta, especialmente las dos principales por el volumen de sus flujos: la alemana *Air Berlín* y la británica *EasyJet Airlines*, cuyas flotas se componen de los más modernos y ecoeficientes aviones del momento para cortas y medias distancias, básicamente los últimos modelos del Boeing 737 y del Airbus A320 y A321, con una edad media de tres años y medio en el caso de la compañía británica y de poco más de cinco años en el caso de la alemana.

6. A modo de conclusión

Las relaciones entre turismo, transporte aéreo y compañías de bajo coste posicionan España –el segundo destino turístico del mundo y las Islas Baleares, el tercer destino

¹⁰ EasyJet ha establecido su propio sello ambiental como compromiso con sus clientes y accionista de transparencia en su política medioambiental y hace de ello un elemento de diferenciación.

¹¹ Una compañía aérea de alta ocupación con una flota de una edad media de 4 años presenta un consumo medio de 95,7 y emite unos 95,7 g de CO₂ pasajero/kilómetro. Un coche de la más avanzada tecnología en torno a 100 g CO₂ pasajero/kilómetro (Jordà, 2.008 p. 30).

turístico de España— entre los territorios receptores más significados de Europa en este tipo de tráfico, lo que les conduce de lleno a participar de la problemática de la sostenibilidad ambiental del transporte aéreo.

La dinámica del sistema aeroportuario de las Islas, específicamente del aeropuerto de Son Sant Joan, ha sufrido cambios cualitativos y cuantitativos por la incursión de las CBC. Éstas inducen a la demanda, no sólo por el trasvase de pasajeros de las compañías llamadas tradicionales, sino por la nueva generación de viajes que provocan, al operar a cortas distancias. Junto con la mayor desestacionalización de los flujos, la instalación del *hub* por parte de *Air Berlin* ha incrementado la capacidad de articulación de Mallorca en el contexto nacional y europeo, al ampliar su red de destinos directos. Ésta aparece muy sesgada por el peso de los aeropuertos alemanes y británicos y desequilibrada con respecto a otros destinos pues las relaciones aéreas internacionales deben pasar forzosamente por Madrid y Barcelona, lo que incrementa vuelos, tiempo y costes a la par que aumenta los niveles de insostenibilidad.

En las Baleares, con una estructura económica liderada por la actividad turística, desde los años sesenta, el crecimiento económico sostenible ha de pasar, necesariamente, por enfocar los impactos ambientales del turismo de manera incardinada con los producidos en el transporte aéreo, es decir, la capacidad aeroportuaria y la planificación del modelo turístico deben ir en consonancia. Es evidente que en términos de legislación medioambiental la región se halla sujeta a la normativa europea y, por tanto, las actuaciones pertinentes se objetivan sobre la exigencia del cumplimiento estricto de esas normativas en nuestros cielos y aeropuertos.

Seguir en la línea de reforzar la participación del tráfico aéreo en compañías de

bajo coste no parece añadir nuevos elementos de riesgo ambiental al proceso ya que, como se ha visto, se trata de operadores que compiten precisamente en el terreno de la sostenibilidad. Además, el espectro de su mercado cuenta con un segmento de demanda de nuevos productos turísticos —no directamente relacionados con el turismo estacional de verano— más amplio que el segmento acaparado por las tradicionales lo que, a priori, podría tener consecuencia favorables para la relación-turista-medio natural en destino.

Cabe preguntarse, sin embargo, hasta que punto el éxito de las CBC puede suponer para Baleares fuertes incrementos en las cifras de tráfico aéreo en el futuro. Y conviene plantearse porque, si es así, supondrá repetir el modelo desarrollista vivido hasta ahora con las compañías tradicionales y chárter. Un modelo que no sólo va a contribuir aún más a generar impactos locales —como el cambio de usos del suelo, modificación del paisaje y contaminación acústica—, sino también globales por emisiones de gas carbónico que, a la larga, van a incidir de forma determinante sobre el cambio climático y, por ello, sobre el medio físico insular, concretamente, sobre su principal recurso, el litoral. La evaluación de los costes aproximados de tales impactos en la economía de los destinos turísticos como Baleares es difícil, pero parece claro que pueden ser considerables si tenemos en cuenta que en torno al 80% de la producción de riqueza regional depende directa o indirectamente del turismo y éste, hoy por hoy, basa un muy alto porcentaje en el recurso playa.

En el último estudio de UNWTO del 2008, *Climate Change and Tourism. Responding to global change* se cuantifica en un 75% la aportación del transporte al impacto global del Turismo sobre la huella climática y el importante peso del transporte aéreo en relación a los demás modos. La

emisión de dióxido de carbono a la atmósfera constituye el problema más grave del transporte aéreo puesto que sus efectos trascienden desde la escala local a la global. Éste genera el 40% de todo el gas carbónico imputable al turismo a escala mundial. Supera las emisiones producidas por el automóvil, del 32%, y las derivadas de los consumos energéticos en los alojamientos turísticos, del 21%.

El efecto dinamizador de ese modo sobre los flujos turísticos le coloca, además, como uno de los flancos más sensibles en la lucha por la sostenibilidad del turismo, pues el debate actual en torno a la sostenibilidad del transporte aéreo gira básicamente sobre la reducción del consumo de combustible de las aeronaves y su ecoeficiencia.

En Europa, las emisiones de CO₂ han crecido un 87% desde 1990 como consecuencia del fuerte incremento de los desplazamientos aéreos, y en ellos juegan un papel muy destacado los movimientos turísticos en los que destacan los destinos tanto de España como de Baleares. Estos aumentos han neutralizado los efectos que las mejoras técnicas y las restricciones normativas hayan podido tener sobre las cuotas del CO₂ expulsado a la atmósfera. Las previsiones a medio plazo no indican cambios significativos.

Bibliografía

AENA. <http://www.aena.es/csee/Satellite?pagename=Estadisticas/Home> [Consultado abril 2009].

ALEDO TUR, A. (2008): «De la tierra a suelo: la transformación del paisaje y el nuevo turismo residencial». *Albor* n° 729, pp. 99-112.

AGENCIA EUROPEA PARA EL MEDIO AMBIENTE *Climate for a transport change*. [en línea]. 2008, <http://reports.eea.europa.eu>. [Consultado 22/01/2009].

AIR TRANSPORT ACTION GROUP (ATAG). La eficiencia operativa. www.enviro.aero. [en línea] 2009. <http://www.enviro.aero/> [Consultado día 22/01/2009].

BARRETT, S. D. (2004): «How do the demands for airport services differ between full-service carriers and low-cost carriers?» *Journal of Air Transport Management* n° 10(1), pp. 33-39.

BEL, G. y FAGEDA, X. (2007): *Aeroports i poder*. Barcelona: Edicions 62. 199 p.

BIEGER, A. y WITTMER, A. (2006): «Air transport and tourism—Perspectives and challenges for destinations, airlines and governments». *Journal of Air Transport Management* n° 12(1), pp. 40-46.

BLASCO PERIS, A. (2001): *Turismo y Transporte*. 1ª edición. Madrid: Editorial Síntesis.

BUTTON, K. y ISON, S. (2008): «The Economics of Low Cost Airlines». *Research in Transportation Economics* n° 24(1).

CARBAJOSA, A. (2009): «Bruselas propone incluir a los aviones en el comercio de emisiones de CO₂». [en línea]. *El País Digital*. http://delors.homeunix.com/hypatia/noticias/09_medio_ambiente/recursos.naturales/efecto.invernadero/ELPAIS.21.DIC.2006.NEWS [consultado 10 enero 2009].

CIRER COSTA, J. C. (2008): «Climate change, environmental taxes and the future of tourist destinations on beach sun». *Munich Personal RePEc Archive (MPRA)* [en línea] <http://mpra.ub.uni-muenchen.de/9712>. [consultado 15/01/2009].

COMISIÓN EUROPEA (2006): *Las emisiones de los aviones se limitarán para combatir el cambio climático*. [en línea]. <http://ec.europa.eu/news>. [Consultado 21/01/2009].

DAVIDSON, R. (2001): *Viajes y turismo en Europa*. MARTÍN PINILLA, JUAN (Traductor). 2ª edición. Madrid: Editorial Síntesis.

EADS (2007): *Informe anual*. [en línea] <http://reports.eads.net/2007>. [consultado 21/01/2009].

EASYJET (2008): *EasyJet ecoJet para reducir las emisiones de CO₂ en un 50% en 2015*. [en línea] <http://www.easyjet.com> [Consultado 16/12/2008.].

«El transporte aéreo de pasajeros se resiente de la crisis y cae un 4,6% en noviembre». [en línea] *El Economista.es*. 30 diciembre 2008.

<http://www.economista.es/economia/noticias/945959/12/08/Economia-Turismo-El-transporte-aereo-de-pasajeros-se-resiente-de-la-crisis-y-cae-un-46-en-noviembre.html>2008. [Consultado 07/01/2009].

«El transporte aéreo duplicará sus emisiones de dióxido de carbono en 2030, pese a los aviones más eficientes». [en línea] *Actualidad 24 horas.com* <http://www.actualidad42horas.com> [consultado enero 2009].

FLAMARICH, J. (2009): «Los aviones entran en el comercio europeo de derechos de emisiones» *Sostenible*.

FRANCIS, G. *et al.* (2007): «The transferability of the low-cost model to long-haul airline operations», *Tourism Management* nº 28(2), pp. 391-398.

GAMIR, A. y RAMOS, D. (2002): *Transporte aéreo y territorio*. 1ª edición. Barcelona: Ariel Geografía.

GARCÍA VEGA, M. A. (2007): «Hacia un nuevo orden aéreo». *El País, Negocios. Extra Transportes y Logística/Los movimientos corporativos*. 17 Junio 2007, p. II.

GOETZ, A. R., GRAHAM, B. (2004): «Air transport globalization, liberalization and sustainability: post-2001 policy dynamics in the United States and Europe». *Journal of Transport Geography* nº 12(4), pp. 265-276.

GOVERN DE LES ILLES BALEARS (2009):. *El Turisme a les Illes Balears. Dades Informatives 2008*. [en línea]. INESTUR Institut d'Estratègia Turística.

<http://www.inestur.es/p/index.php>. [Consulta abril 2009].

GOVERN DE LES ILLES BALEARS (2008). *Les Illes Balears en Xifres. 2007* [en línea]. Conselleria de Turisme.

http://www.caib.es/ibae/xifres/2007/les_balears_catala_angl.htm. [Consulta abril 2009].

GOVERN DE LES ILLES BALEARS (2007): *El sector turístic balear en 2006*. Colecció Estudis Turístics. [en línea] Conselleria de turisme. <http://www.inestur.es>. [Consultado 23/01/2009].

GOVERN DE LES ILLES BALEARS (Varios años): *El Turisme a les Illes Balears. Dades Informatives*. [en línea]. <http://www.inestur.es>. Conselleria de Turisme.

GRAHAM, A. (2006): «Have the major forces driving leisure airline traffic changed?» *Journal of Air Transport Management* nº 12(1), pp. 14-20.

HERNÁNDEZ LUIS, J. A. (2008a): «Turismo de masas y Transporte. El gran reto del turismo del siglo XXI». *Scripta Nova* Vol. XII, nº 258.

HERNÁNDEZ LUIS, J.A. (2008b): *El turismo de masas. Evolución y perspectivas*. Madrid, Editorial Síntesis.

<http://www.enviro.aero/splash.html>

INSTITUTO DE ESTUDIOS TURÍSTICOS (2008): *Turismo, tráfico aéreo y Compañías Aéreas de Bajo Coste 2007*. Secretaria de Estado de Turismo y Comercio. Secretaria General de Turismo. Madrid. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Subsecretaría. Secretaría general técnica. División de información, documentación y publicaciones. Centro de publicaciones. <http://www.iet.tourspain.es> [consultado enero 2009].

JORDÀ SANUY, C. (2008): «Impacto ambiental del transporte aéreo y de las infraestructuras aeroportuarias». *Ingeniería y Territorio* nº 83, pp. 26-33.

LOBO MONTERO, P. y GARCÍA MORENO, B. (2008): «Turismo, transporte

aéreo y compañías de bajo coste». *Estudios turísticos* n° 175-176, pp. 13-40.

MERINO, I. (2008): «“Low cost”, “slow travel” y otros inventos». *El País, El Viajero* 18.10.08. p. 13.

MUÑOZ, F. (2008): «El intercambio de cuotas por emisiones de CO₂ perjudicará económicamente a las islas, según Middelmann» [en línea]. *Hosteltur* 14 abril 2008. <http://www.hosteltur.com> [consultado enero 2009].

NOGUERA, A. (2006): *Las compañías aéreas de bajo coste*. Col·lecció Estudis Turístics, 4. INESTUR Institut d'estratègia turística. Govern de les Illes Balears.

http://www.inestur.es/p/todos_documento.php?id_sec=63&id_subsec=88&cat=2. [consulta abril 2009].

OBSERVATORIO DE LA SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA -OSE (2006). *Cambios de Ocupación del Suelo en España*. [En línea]. Madrid: Universidad de Alcalá, 19 de noviembre de 2007. <http://www.sostenibilidad-es.org/> [consultado 22 de noviembre 2007]

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL TURISMO (1995): *Políticas de aviación y de turismo*. 1ª Edición española. Madrid. Mundiprensa.

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL TURISMO (2008): *Panorama del Turismo internacional* [en línea] Madrid.

http://www.unwto.org/facts/eng/pdf/highlights/UNWTO_Highlights08_sp_LR.pdf. [consultado diciembre 2008]

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL TURISMO (2008): «Ingresos por turismo internacional en 2007». *Barómetro del turismo mundial* [en línea], n° 6(2) <http://www.unwto.org> [consultado enero 2009].

ORGANIZACIÓN MUNDIAL DEL TURISMO Y PROGRAMA DE NACIONES UNIDAS PARA EL MEDIO-AMBIENTE -UNWTO (2008): *Climate changes and Tourism. Responding to global challenges*. 1ª edición. Madrid, OMT.

PELS, E., NJEGOVAN, N. y BEHRENS, C. (2009): «A Low-cost airlines and airport competition». *Transportation Research Part E* n° 45, pp. 335-344.

PRATS, F. (2008): «Turismo y cambio climático en España. Reflexiones para el debate». Ministerio de Medio Ambiente. *Ambienta* n° 76, pp. 29-34.

RAMOS PÉREZ, D. (2001): *Transporte aéreo, territorio e insularidad en Canarias*. 1ª Edición. Las Palmas, Tauro Producciones.

SEGUÍ, J. M. y MARTÍNEZ M. R. (2008): «Las nuevas pautas de movilidad y su impacto en las infraestructuras de transporte en Baleares». *Scripta Nova* [en línea]. <http://www.ub.es/geocrit/-xcol/169.htm>.

SEGUÍ, J.M. (2007): «La movilidad turística internacional en Canadá y en Québec». *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* n° 43, pp. 1-27.

SEGUI, J. M. et al. (2004): «El problema del ruido en los entornos aeroportuarios. El caso del aeropuerto de Palma de Mallorca». *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles* n° 38, pp. 225-243.

SERRANO MARTÍNEZ, J. M. (2008): «Grandes centros de transporte aéreo y flujos turísticos en Europa». *Cuadernos de Turismo* n° 9, pp. 137-164.

WARNOCK-SMITH, D y POTTER, P. (2005): «An exploratory study into airport choice factors for European low-cost airlines». *Journal of Air Transport Management* n° 11, pp. 388-392.

*Los extremos térmicos en
el litoral mediterráneo:
evolución y factores de
forzamiento*

Javier Sigró Rodríguez

Centro en Cambio Climático (C3),
Universitat Rovira i Virgili
javier.sigro@urv.cat

Manola Brunet India

Centro en Cambio Climático (C3),
Universitat Rovira i Virgili
Climate Research Unit, University
of East Anglia
manola.brunet@urv.cat

Enric Aguilar Anfrons

Centro en Cambio Climático (C3),
Universitat Rovira i Virgili
enric.aguilar@urv.cat

LOS EXTREMOS TÉRMICOS EN EL LITORAL MEDITERRÁNEO: EVOLUCIÓN Y FACTORES DE FORZAMIENTO

Javier Sigró Rodríguez
Manola Brunet India
Enric Aguilar Anfrons

RESUMEN: A partir de series temporales de temperatura máxima y mínima diaria de 6 observatorios de largo recorrido situados en el litoral mediterráneo de la Península Ibérica, se han obtenido diversos índices basados en percentiles con objeto de caracterizar la evolución de los extremos de temperatura en esta región. Dichos índices indican una significativa disminución en el número de días y noches fríos, al mismo tiempo que un creciente número de días supera el umbral definido para las noches y días cálidos. Los mayores incrementos/decrementos se producen durante la estación estival, y han experimentado un robusto incremento en las tendencias a partir de inicios de los años 70.

La relación de estos extremos térmicos con factores de forzamiento atmosférico y marino apunta a la temperatura superficial del Mar Mediterráneo Occidental como el principal factor de forzamiento asociado a los cambios en los extremos de temperatura. Las series analizadas permiten explicar porcentajes de la variabilidad de las series de extremos que llegan a superar el 50% durante la estación estival, cuando más fuerte es la relación entre la señal marina y los extremos térmicos.

PALABRAS CLAVE: cambio climático, extremos de temperatura, teleconexiones, temperatura superficial del mar.

ABSTRACT: Extreme temperature indices on the Spanish Mediterranean coast were assessed by employing long daily maximum and minimum temperature time series corresponding to six stations located in this area. The analysis indicates a significant decrease in the number of cold days and nights. Likewise, there is an increase in the number of days exceeding the thresholds defined for characterising warm nights and days. The largest increases/decreases have taken place during the summer season, particularly from early-1970s onwards.

The relationships between the extreme indices and atmospheric patterns of variability together with Western Mediterranean sea surface temperatures were established. The sea surface temperature was detected as the principal forcing factor, explaining up to 50% of the variability during summer, while the relationship between the estimated temperature extreme indices was the strongest.

KEYWORDS: climate change, temperature extremes, teleconnections, surface sea temperature.

1. Introducción

La creciente preocupación ante las implicaciones del cambio climático debido a sus efectos sobre el medio físico, económico y social ha llevado al aumento del interés sobre la evolución reciente de diversas variables climatológicas, entre ellas la temperatura del aire como principal indicador del sistema climático, tanto a escala planetaria como regional o local.

La ocurrencia de acontecimientos meteorológicos extremos es especialmente preocupante por sus efectos negativos sobre la salud humana (grupos de riesgo, golpes de calor, enfermedades infecciosas), el medio natural (erosión, incendios forestales, efectos sobre las comunidades bióticas) o sobre las actividades socio-económicas (daños en infraestructuras, suministro de agua).

Ante una situación de calentamiento global urge conocer cuál es la evolución que están experimentando los extremos climáticos, si se están produciendo cambios en su distribución de frecuencia, y cuáles son los factores de forzamiento que actúan sobre dichos acontecimientos. En este contexto, en los últimos años se ha realizado un importante esfuerzo por parte de la comunidad científica para ahondar en el conocimiento de la ocurrencia y mecanismos de los extremos climáticos.

A escala europea, Klein-Tank *et al.* (2002) -en el marco del proyecto ECA&D- analizaron 5 estaciones de temperatura españolas entre las 199 utilizadas para el conjunto europeo, destacando desde 1976 un incremento significativo en el número de días y noches calidas, así como una reducción significativa en la ocurrencia de días y noches frías. Con un conjunto de obser-

vaciones de carácter secular, entre ellas 22 españolas, Moberg *et al.* (2006) estudian la evolución de extremos termoplumiométricos europeos en el marco del proyecto europeo EMULATE¹. En concreto, la evolución de los percentiles 02 y 98 de la temperatura máxima diaria y la temperatura mínima diaria indican tendencias significativas al incremento térmico para el periodo 1901-2005, especialmente relevantes en la Península Ibérica durante el verano, con incrementos superiores a los 2,5°C en el percentil 02 de la temperatura máxima, los mayores detectados para el conjunto europeo.

Recientes estudios detallan los cambios en las olas de calor estival en la Europa Occidental (Della Marta *et al.*, 2007), así como cambios en la función de densidad de probabilidad de la temperatura máxima diaria y de la frecuencia de los extremos de las temperaturas estivales (Della Marta *et al.*, 2007b).

En el marco de la Península Ibérica (PI), Rodríguez Puebla *et al.* (2004) señalan el incremento producido en el número de días cálidos estivales en la segunda mitad del siglo XX, especialmente acentuado desde principios de la década de los 70. Brunet *et al.* (2007a) cuantifican, para el periodo 1850-2005, en 0,74 días/década la reducción del número de días fríos y 0,54 días/década la disminución en las noches frías. Por el contrario, los días cálidos se incrementan en 0,53 días/década y las noches cálidas en 0,49 días/década.

La relación entre extremos térmicos, persistencia de extremos cálidos y su efecto sobre la salud se describe para Madrid en García Herrera *et al.* (2002) y García Herrera *et al.* (2005), donde para incrementos por encima del umbral de los 36 °C, cada

¹ European and North Atlantic daily to MULTidecadal climATE variability: <http://www.cru.uea.ac.uk/cru/projects/emulate>

incremento en 1°C produce incrementos en la mortalidad del 21%. Prieto *et al.* (2004) analizan el impacto de las noches extremadamente frías durante los 5 meses más fríos del año para el periodo 1958-2003.

La ocurrencia de eventos extremos cálidos y fríos en la PI y su relación con la circulación atmosférica se ha abordado en diversos trabajos. García Herrera *et al.* (2005) examina las diferentes condiciones sinópticas que generan días extremadamente cálidos en Lisboa y Madrid, mientras que la relación no lineal de la NAO con los días extremadamente fríos se describe en Prieto *et al.* (2002). Pereira *et al.* (2008) analizan las temperaturas extremas de la segunda mitad del siglo XX en Lisboa indicando una disminución de las noches frías estivales en relación con la mayor ocurrencia de situaciones anticiclónicas en el norte de África que favorecen el aporte de aire cálido y seco en la PI.

En la fachada mediterránea de la PI, Miró *et al.* (2006) señalan un incremento en la persistencia de días cálidos en el verano de la región valenciana, especialmente los meses de Julio y Agosto, relacionándolo con la temperatura superficial del Mar Mediterráneo en las costas valencianas. La evolución de los índices de extremos térmicos a escala anual en el litoral mediterráneo se aborda para el periodo 1901-2005 por Sigró *et al.* (2008), mostrando tendencias en los índices de extremos térmicos con reducciones (incrementos) significativas en los extremos fríos (cálidos) diurnos y nocturnos, con una mayor contribución al calentamiento atribuida en el Mediterráneo al incremento en las noches cálidas, tendencias que se robustecen notablemente durante las últimas 3 décadas.

El presente trabajo tiene como objetivo el análisis de la evolución de los extremos térmicos en el litoral mediterráneo, el área que ha experimentado un mayor incremento

de la temperatura del aire en las últimas décadas, y su relación con factores de forzamiento de carácter atmosférico o marino.

Para ello este trabajo se divide en la presente sección introductoria y en las siguientes: en la segunda sección se detalla la metodología utilizada; en la tercera parte se describe la evolución de los índices de extremos térmicos y se analizan las tendencias calculadas para dichos índices; en la cuarta se explora la relación con los factores de forzamiento; la quinta y sexta parte del artículo recogen respectivamente las conclusiones y la bibliografía utilizada.

2. Metodología y datos

Para la extracción de los índices de extremos térmicos se han utilizado los registros de la temperatura máxima y mínima diaria de seis observatorios (Albacete, Alicante, Barcelona, Málaga, Murcia y Valencia), controladas de calidad y homogeneizadas, procedentes de la base de datos *Spanish Daily Adjusted Temperature Series* (SDATS) del Centro en Cambio Climático (C3) de la Universidad Rovira i Virgili (Brunet *et al.*, 2006, 2008) para el periodo 1901-2005. Estos observatorios se distribuyen de manera homogénea por el conjunto del litoral mediterráneo de la PI (Fig. 1) y permiten una representación razonable de éste ámbito desde la perspectiva de los campos térmicos.

La definición de extremos climáticos presenta diferencias remarcables entre investigadores según su delimitación en función de efectos sobre la salud o sobre el medio, o por su interés como indicadores del cambio climático para definirlos. En este trabajo hemos optado por este último enfoque, utilizando algunos de los índices definidos por el *Expert Team on Climate Change Detection and Indices* (ETCCDI:

<http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDI/>) para la caracterización de extremos térmicos. Se han seleccionado en concreto los siguientes índices, que proporcionan información sobre los eventos extremos de carácter moderado: días cálidos (TX90, número de días/año en que se supera el percentil 90 de la temperatura máxima diaria); días fríos (TX10, número de días/año en que no se supera el percentil 10 de la temperatura máxima diaria); noches cálidas (TN90,

número de días/año en que se supera el percentil 90 de la temperatura mínima diaria); y noches frías (TN10, número de días/año en que no se supera el percentil 10 de la temperatura mínima diaria). Con objeto de examinar también el comportamiento de los episodios más extremos, se han calculado también los índices correspondientes a días y noches extremadamente cálidas o frías (TX98, TN98, TX02, TN02).



Fig. 1. Localización de los observatorios del litoral mediterráneo pertenecientes a la base de datos SDATS.

Para su cálculo se ha utilizado el programa informático *EMULATE Extremes indices Software* generado en el marco del proyecto *European and North Atlantic daily to MULTidecadal climate variability* (EMULATE) desarrollado por Walther (2004) para el cálculo de índices de extremos termoplumiométricos a escala estacio-

nal. Este programario incorpora además el procedimiento de corrección “*Bootstrap*” propuesto por Zhang *et al.* (2004) para evitar la introducción artificial de inhomogeneidades al principio y final del periodo base usado para el cálculo de los índices basados en percentiles.

Los índices de los extremos analizados se han generado individualmente para cada uno de los 6 observatorios a partir de las series estacionales construidas con la temperatura máxima y mínima diarias. Posteriormente se han integrado en una única serie regional representativa del conjunto del territorio analizado mediante una serie promedio ponderada según el algoritmo descrito por Jones y Hulme (1996).

La estimación de las tendencias de las series de índices para el periodo completo y los diversos subperíodos establecidos por Brunet *et al.* (2007a), en función de su comportamiento térmico diferenciado, se ha calculado mediante el estimador robusto de tendencias no paramétrico de Sen (1968), aplicado de forma similar a la realizada por Zhang *et al.* (2000).

Con el objetivo de analizar las relaciones entre las series de índices de extremos de temperatura en el litoral mediterráneo y diversos factores de forzamiento atmosférico y marino, se ha optado por examinar las correlaciones con la Oscilación del Atlántico Norte (North Atlantic Oscillation; NAO), como primer modo de variabilidad atmosférica en el Atlántico y Europa (Barnston y Livezey, 1987) y un patrón de variabilidad más centrado en el Mediterráneo como es la Oscilación del Mediterráneo Occidental (Western Mediterranean Oscillation; WeMO). Para representar la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental se ha escogido la base de datos HadSST2 (Rainer *et al.*, 2006) proporcionada por la *Climate Research Unit* de la Universidad de East Anglia (Reino Unido).

En concreto se ha utilizado el índice NAO, principal modo de variabilidad atmosférica del Atlántico Norte, definido por Hurrell (1995) como la diferencia normalizada entre Ponta Delgada y Reykjavik para la estación invernal y el

índice NAO definido por Jones *et al.* (1997) como la diferencia normalizada entre Gibraltar y Reykiavik el resto de las estaciones. El índice de la WeMO -definido por Martín Vide y López Bustins (2006)- corresponde a la diferencia de presión normalizada entre Padua (Italia) y San Fernando (España).

Por su parte, la temperatura superficial del mar (Sea Surface Temperature; SST) del área occidental del Mediterráneo agrupa la señal de temperatura superficial de las aguas mediterráneas comprendidas entre los 5°W-15°E y los 35°N-45°N de la base de datos HadSST2.

Para identificar las variables atmosféricas y marinas con influencia en la evolución de los extremos de temperatura se ha identificado en un primer paso aquéllas que presentan un grado de asociación significativo mediante el coeficiente de correlación no paramétrico Rho de Spearman. Las variables con correlación significativa se han incluido en un modelo de regresión lineal múltiple con entrada sucesiva de dichas variables para identificar cuáles de ellas contribuyen al modelo.

3. Evolución de los extremos de temperatura

La evolución de los índices estacionales de los extremos térmicos basados en percentiles para el litoral mediterráneo se caracteriza por una mayor tendencia en los extremos moderados (Fig. 2), mientras que los índices de percentiles más extremos (Fig. 3) presentan un comportamiento más estable con tendencias menores y poco significativas en algunos casos, característica que se repite para el conjunto de las estaciones del año.

Todos los índices de extremos moderados referidos al número de noches y días fríos (TN) muestran, sin excepción, una

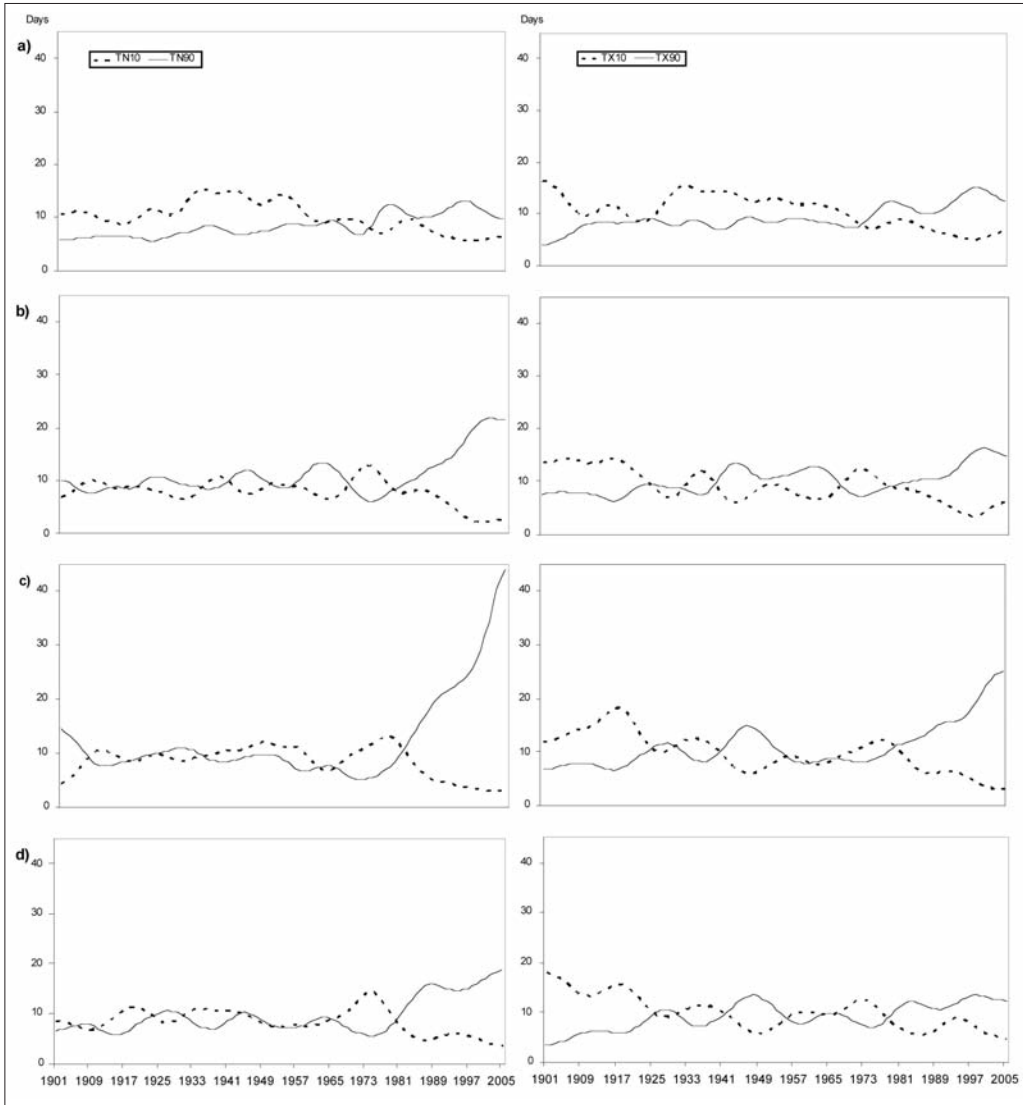


Fig. 2. Series correspondientes a los índices de extremos moderados. Noches frías y cálidas (TN10, TN90) a la izquierda y días fríos y cálidos (TX10, TX90) a la derecha. a) Invierno; b) primavera; c) verano; d) otoño.

evolución de carácter negativo, mientras que el conjunto de índices relativos a las noches y días cálidos (TX) indican un incremento en el número de días por encima de dichos umbrales.

Las tendencias correspondientes al conjunto del periodo 1901-2005 (Cuadro I) corroboran esta evolución, tanto para los índices de extremos moderados como para el resto. Las noches cálidas por encima del

percentil 90 (98) registran las mayores tendencias de carácter positivo, entre 0,76 días/década en verano y 0,37 días/década en invierno (0,20 y 0,11), con valores para la

primavera y el otoño más similares a los estivales, 0,64 y 0,66 días/década respectivamente (0,19 y 0,20).

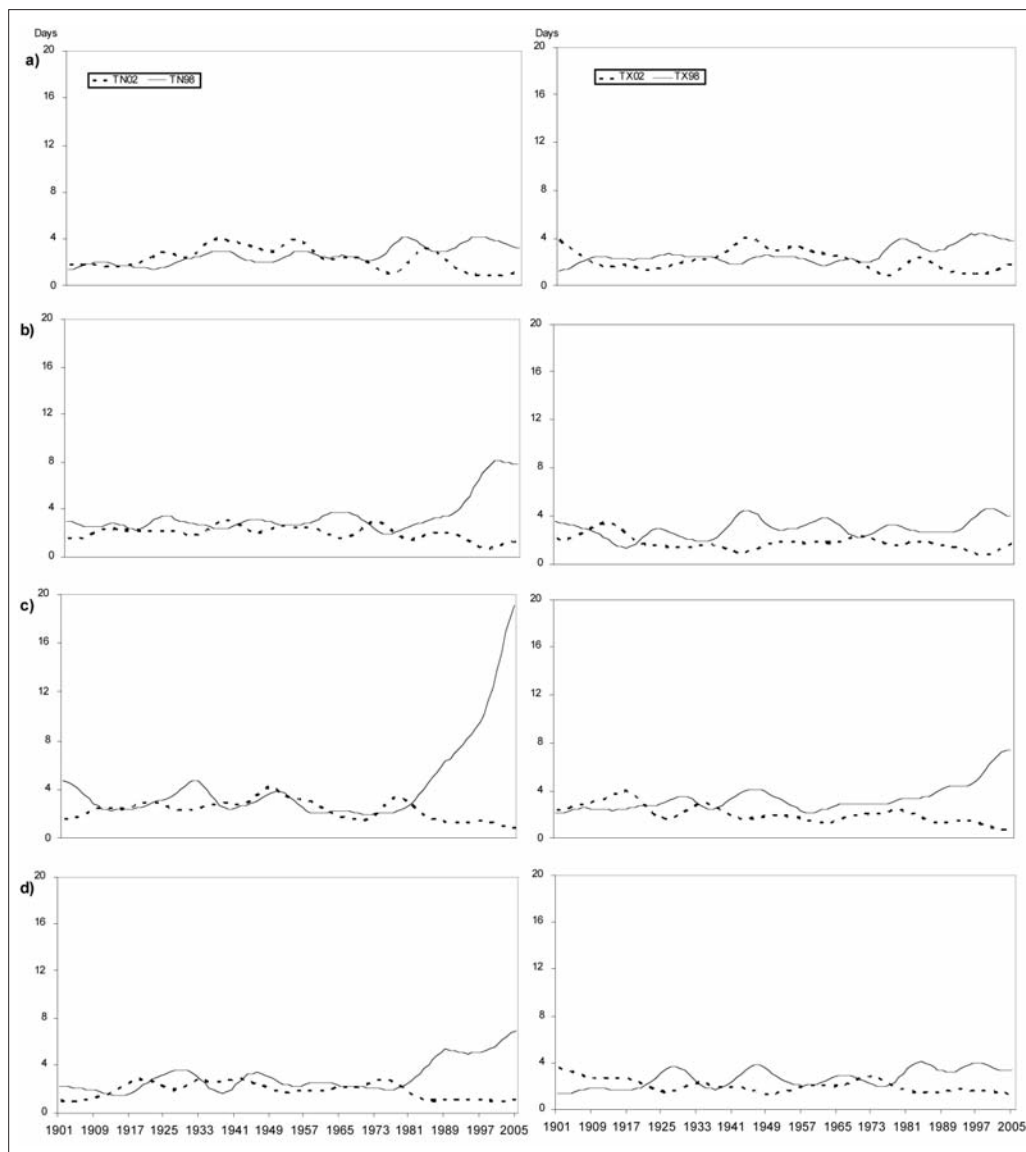


Fig. 3. Series correspondientes a los índices más extremos. Noches frías y cálidas (TN02, TN98) a la izquierda y días fríos y cálidos (TX02, TX98) a la derecha. a) Invierno; b) primavera; c) verano; d) otoño.

Este acentuado incremento en el número de noches cálidas está acompañado de un incremento algo menor, pero también vigoroso, en el número de días cálidos, TX90 (98). En este caso, pero, no hay debilitamiento de la tendencia en invierno, con el mayor incremento igualmente en el verano, 0,69 días/década (0,17), pero muy similar al producido el resto de las estaciones.

Si el mayor incremento corresponde a las noches cálidas de verano, el mayor decremento se localiza en los días fríos de la misma estación, con una disminución de 0,93 días/década. El resto de estaciones presenta tendencias algo menores en el TX10, con valores no superiores a -0,66 días/década. Los días extremadamente fríos, por su parte, se mueven entre una disminución de -0,11 días/década en verano a la no significativa reducción de 0,04 días/década en invierno.

Únicamente el índice relacionado con las noches frías, TN10, no presenta las mayores tendencias durante el verano, sino durante los meses invernales, -0,47 días/década. La disminución de noches extremadamente frías (TN02) se produce, en cambio, durante

la estación estival, -0,09 días/década, siendo ésta la única con tendencia significativa.

Estas tendencias presentan diferencias con las mostradas por Brunet *et al.* (2007b) para el conjunto peninsular, en el que se indicaban mayores reducciones (incrementos) en los días fríos (cálidos) que en las noches, ya que para el litoral mediterráneo los mayores cambios en la evolución de los índices de extremos de temperatura se producen también en la disminución del número de días fríos, pero no con el incremento de días cálidos sino de las noches cálidas.

Tal y como puede observarse en la figura 2, la evolución de los índices no es lineal, sino que se observan periodos con diferente incremento en el valor de los índices de extremos. Con objeto de caracterizar estas diferencias se han analizado las tendencias de las series de índices para los diferentes subperiodos identificados por Brunet *et al.* (2007a) en la evolución de las temperaturas máximas y mínimas españolas y en los índices de extremos para el conjunto español (Brunet *et al.*, 2007b)

Cuadro I. Tendencias decadales (días/década) de las series de extremos de temperatura del litoral mediterráneo para el periodo 1901-2005. En **negrita** la significación es del 0,01 y en *cursiva* la significación es de 0,05.

	Invierno	Primavera	Verano	Otoño
	1901-2005	1901-2005	1901-2005	1901-2005
TN02	-0,02	-0,02	-0,09	0,00
TN10	-0,47	-0,38	-0,30	-0,37
TN90	0,37	0,64	0,76	0,66
TN98	0,11	0,19	0,20	0,20
TX2	-0,04	-0,07	-0,11	<i>-0,05</i>
TX10	-0,66	-0,69	-0,93	-0,79
TX90	0,66	0,51	0,69	0,66
TX98	0,13	0,01	0,17	0,14

Los incrementos decadales de estas tendencias (Cuadro II) muestran para la primera mitad del siglo XX, en concordancia con la evolución del conjunto peninsular, una ausencia de incrementos o decrementos significativos en el número de noches frías y noches cálidas. Los extremos diurnos, en cambio, indican un incremento de los días cálidos (1.73 días/década) y un decremento de los días fríos (-2.06 días/década) que son mayores durante el otoño, aunque también muestran significación durante los meses de verano. Durante el verano únicamente es significativa la disminución de días fríos y extremadamente fríos, mientras que el invierno no arroja tendencias significativas en ninguno de los índices.

El subperiodo siguiente, 1950-1972 se caracteriza por una ausencia de significación en las tendencias, aunque el signo de las pendientes indica una inversión de las tendencias respecto las del conjunto del periodo, más marcada en los índices TX.

Es en el último subperiodo 1973-2005, correspondiente a la fase de incremento térmico más vigoroso observado en las temperaturas españolas (Brunet *et al.*, 2007a y b), cuando se detecta una intensificación en la pendiente de las tendencias. La excepción son los meses invernales, con tendencias similares a las de todo el periodo y sin significación estadística.

Las mayores tendencias en verano, primavera y otoño corresponden al incremento en el número de noches cálidas (extremadamente cálidas), que con incrementos decadales de 10,56 (4,09) días/década, 5,63 (1,74) días/década y 4,29 (1,55) días/década, constituyen los más elevados coeficientes estimados en este análisis. Este aumento se corresponde con una disminución más reciente en el número de noches frías, de entre 2 y 3 días/década.

Los índices correspondientes a días (TX) presentan significación estadística en dos

estaciones, el verano y la primavera, con un aumento en el número de días cálidos que llega a los 4 días/década en verano, mientras que el número de días fríos disminuye en la misma cantidad que las noches frías.

La evolución de los extremos térmicos en el litoral coincide con el comportamiento de la temperatura máxima y mínima diaria en este sector (Brunet *et al.*, 2007a), con menores tasas de cambio hasta inicios de la década de los 70 y un fuerte incremento en la pendiente de las tendencias durante este último subperiodo, mayor que para el resto de la España peninsular.

En conclusión, podemos afirmar que los mayores cambios en la evolución de los índices de extremos de temperatura en el litoral mediterráneo de la PI se producen como consecuencia de la disminución del número de días fríos e incremento de las noches cálidas, aunque en el último subperiodo 1973-2005, para el que se estiman los mayores coeficientes, se produce un incremento de las noches y días cálidos a mayor ritmo de lo que disminuyen los días y noches frías.

4. Relación con los factores de forzamiento

En este apartado se examinan las relaciones entre las series de índices de extremos de temperatura en el litoral mediterráneo y diversos factores de forzamiento atmosférico (NAO y WeMO) y marino (SST del Mediterráneo Occidental).

La principal influencia sobre los extremos de la temperatura corresponde a la SST del Mediterráneo Occidental (Cuadro II). Se observan elevadas y significativas correlaciones entre los índices de extremos térmicos y las SSTs, en todas las estaciones exceptuando al invierno, que no muestra correlaciones significativas ni con las SST ni con los índices atmosféricos.

Todas las correlaciones significativas son de carácter positivo con los índices correspondientes a noches y días cálidos, mientras que tienen carácter negativo con los índices que reflejan la evolución de las noches y días fríos. Estas correlaciones apuntan hacia la existencia de una relación entre el calentamiento de la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental y el incremento de extremos cálidos de temperatura, así como con el decremento en los extremos fríos.

La distribución anual de esta influencia está bien diferenciada. Durante la primavera

los coeficientes de correlación entre SST e índices de extremos son del orden de 0,60 para los extremos moderados y algo menores para los índices más extremos. Esta diferencia en el coeficiente de correlación se refleja en el porcentaje de la varianza de los índices de extremos que estas variables explican (Cuadro III). La temperatura superficial del mar durante la primavera explica en torno al 35% de la varianza de los extremos moderados, mientras que en el caso de los índices más extremos este porcentaje se mueve entre el 10% y el 22%.

Las débiles correlaciones detectadas con la

Cuadro II. Tendencias decadales (días/década) de las series de extremos de temperatura del litoral mediterráneo para los diferentes subperiodos de calentamiento/enfriamiento. En **negrita** la significación es del 0,01 y en *cursiva* la significación es de 0,05.

	Invierno					Primavera			
	1901-2005	1901-1949	1950-1972	1973-2005		1901-2005	1901-1949	1950-1972	1973-2005
TN02	-0,09	0,13	<i>-1,06</i>	<i>-0,26</i>	TN02	<i>-0,02</i>	0,04	<i>-0,08</i>	<i>-0,17</i>
TN10	<i>-0,30</i>	0,95	0,42	-2,16	TN10	-0,38	<i>-0,06</i>	<i>-0,11</i>	-2,66
TN90	0,76	<i>-0,27</i>	<i>-2,62</i>	10,56	TN90	0,64	0,50	0,10	5,63
TN98	0,20	0,00	<i>-0,58</i>	4,09	TN98	0,19	0,02	0,24	1,74
TX02	-0,11	<i>-0,25</i>	0,23	<i>-0,12</i>	TX02	-0,07	-0,31	0,23	0,00
TX10	-0,93	-1,69	1,54	-2,31	TX10	-0,69	-1,71	1,36	-2,51
TX90	0,69	1,11	<i>-1,40</i>	4,34	TX90	0,51	0,65	<i>-1,52</i>	2,71
TX98	0,17	<i>0,35</i>	<i>-0,42</i>	1,07	TX98	0,01	0,00	0,36	0,27
	Verano					Otoño			
	1901-2005	1901-1949	1950-1972	1973-2005		1901-2005	1901-1949	1950-1972	1973-2005
TN02	-0,09	0,13	<i>-1,06</i>	<i>-0,26</i>	TN02	0,00	0,16	0,31	<i>-0,50</i>
TN10	<i>-0,30</i>	0,95	0,42	-2,16	TN10	-0,37	0,46	1,38	-2,87
TN90	0,76	<i>-0,27</i>	<i>-2,62</i>	10,56	TN90	0,66	0,61	<i>-0,67</i>	4,29
TN98	0,20	0,00	<i>-0,58</i>	4,09	TN98	0,20	0,25	0,00	1,55
TX02	-0,11	<i>-0,25</i>	0,23	<i>-0,12</i>	TX02	<i>-0,05</i>	<i>-0,22</i>	<i>0,64</i>	0,00
TX10	-0,93	-1,69	1,54	-2,31	TX10	-0,79	-2,06	2,50	<i>-0,99</i>
TX90	0,69	1,11	<i>-1,40</i>	4,34	TX90P	0,66	1,73	<i>-0,87</i>	<i>2,31</i>
TX98	0,17	<i>0,35</i>	<i>-0,42</i>	1,07	TX98p	0,14	<i>0,18</i>	0,37	0,29

Cuadro III. Coeficientes de correlación de Spearman significativos al 99% entre las series estacionales de extremos de temperatura y los índices estacionales correspondientes a la WeMO, NAO y SST. El número del acrónimo (13, 14, 15, 16) corresponde respectivamente a invierno, primavera, verano y otoño. El invierno no se incluye porque no presenta correlaciones significativas con ninguno de los índices seleccionados. Índices con (*) indican que corresponde a la estación del año anterior.

	WEMO13	WEMO14	WEMO15*	WEMO16*	NAO13	NAO14	NAO15*	NAO16*	SST_13	SST_14	SST_15*	SST_16*
TN02N14										-0,37		
TN05N14										-0,52		
TN10N14										-0,59		
TN90N14										0,64		
TN95N14									0,25	0,62		
TN98N14										0,54		
TX02N14										-0,34		
TX05N14										-0,50		
TX10N14						-0,27			-0,26	-0,60		
TX90N14						0,25				0,61		
TX95N14										0,56		
TX98N14										0,39		
	WEMO13	WEMO14	WEMO15	WEMO16*	NAO13	NAO14	NAO15	NAO16*	SST_13	SST_14	SST_15	SST_16*
TN02N15			0,40									-0,31
TN05N15			0,27							-0,26		-0,57
TN10N15			0,28							-0,34		-0,66
TN90N15										0,32		0,62
TN95N15										0,29		0,58
TN98N15										0,26		0,53
TX02N15		0,28	0,38						-0,33	-0,40		-0,53
TX05N15		0,34	0,45						-0,33	-0,48		-0,71
TX10N15		0,36	0,49						-0,38	-0,50		-0,74
TX90N15		-0,37	-0,26						0,30	0,39		0,51
TX95N15		-0,31							0,35	0,33		0,40
TX98N15		-0,31							0,26	0,28		0,34
	WEMO13	WEMO14	WEMO15	WEMO16	NAO13	NAO14	NAO15	NAO16	SST_13	SST_14	SST_15	SST_16
TN02N16												
TN05N16										-0,31		-0,34
TN10N16				0,29						-0,35		-0,48
TN90N16			-0,29						0,28	0,34	0,40	0,54
TN95N16									0,29	0,35	0,41	0,50
TN98N16			-0,29		0,27				0,28	0,37	0,35	0,45
TX02N16			0,25									-0,35
TX05N16			0,31				0,25			-0,33	-0,26	-0,51
TX10N16			0,32							-0,36		-0,59
TX90N16			-0,31						0,30	0,36		0,45
TX95N16			-0,31						0,29	0,30		0,36
TX98N16										0,26		0,28

NAO sólo tienen una contribución significativa para los días fríos de primavera, en los que junto con la SST permiten explicar el 35,8% de la variabilidad de estos extremos.

El verano es la estación del año con mayores coeficientes de correlación, tanto con la SST como con patrones atmosféricos. Los extremos moderados de la temperatura muestran correlaciones elevadas con la SST estival, superiores a 0,50 en todos los casos, y llegando a -0,74 para el número de días fríos. Los índices más extremos tienen coeficientes algo menores, moviéndose entre 0,30 y 0,53. Por su parte, se estiman también correlaciones significativas con el índice de la WeMO estival, con coeficientes que llegan hasta 0,49 con los extremos de días fríos.

Es interesante observar que, contrariamente a la primavera, durante el verano las condiciones térmicas del Mediterráneo Occidental y de la circulación atmosférica de la estación anterior, e incluso dos estaciones anteriores en el caso de la SST, presentan relación con los índices de extremos de temperatura.

Al examinar los porcentajes de varianza explicados por las regresiones se advierte una clara diferencia entre los factores que afectan a los índices nocturnos y a los diurnos. Aunque en ambos está presente la SST del verano, en los primeros es la única variable significativa, que explica hasta el 35% de la varianza de las noches frías, mientras que en los índices TX, se incorpora la influencia de las SST de invierno en el caso de los extremos fríos y de la WeMO de primavera en los días cálidos. Esta conjunción de factores atmosféricos y marinos permite explicar el valor relativo de 51,4% para el índice de número de días fríos durante el verano.

En los meses de otoño es cuando se detecta un mayor número de influencias sobre la evolución de los índices de extremos. Aparte de la SST de otoño, también influyen las SST del resto de estaciones del año, con correlaciones

menores cuanto más retardo hay entre las señales, y algunos índices atmosféricos como la NAO de invierno y la WeMO de otoño.

Esta diversidad de señales significativas permite que los modelos de regresión expliquen, en el caso de los índices de extremos moderados, porcentajes superiores al 40%, excepción hecha de los días fríos, con un porcentaje inferior. También la viabilidad de las noches extremadamente cálidas está explicada en un 35% por las SST otoñales e invernales y la NAO de invierno.

Estos resultados indican una clara influencia de la SST del Mediterráneo Occidental sobre los extremos térmicos en el litoral mediterráneo de la PI, que permite explicar de forma mucho más robusta las señales de los índices de extremos que los índices atmosféricos empleados. No hay que descartar pero, tal y como señala Prieto et al. (2002), que la influencia de la NAO sobre los extremos sea de carácter no lineal u obedezca a las características del índice utilizado (Castro et al., 2002).

5. Conclusiones

Durante el periodo 1901-2005 los extremos térmicos en el Mediterráneo Occidental muestran una significativa disminución en el número de días y noches fríos, mientras que el conjunto de índices relativos a las noches y días cálidos indican un incremento en el número de días por encima de los umbrales definidos.

La mayor contribución al calentamiento en el litoral mediterráneo se produce por la disminución del número de días fríos y el incremento en el número de noches cálidas. Las mayores tasas de cambio se estiman para los meses de verano, mientras que durante el invierno se producen en general menores tendencias, exceptuando la

Cuadro IV. Porcentaje de varianza explicada de las series de índices de temperatura calcula por regresión lineal múltiple de las variables con contribución significativa. El número del acrónimo (13, 14, 15, 16) corresponde respectivamente a invierno, primavera, verano y otoño. Índices con (*) indican que corresponde a la estación del año anterior.

Índices	Variables significativas	% varianza explicada	Índices	Variables significativas	% varianza explicada
TN0214	SST_14	16,8	TX0214	SST_14	10,0
TN1014	SST_14	27,8	TX1014	SST_14, NAO14	35,8
TN9014	SST_14	36,2	TX9014	SST_14	34,6
TN9814	SST_14	22,2	TX9814	SST_14	15,4
TN0215	SST_15	7,1	TX0215	SST_15, SST_13	24,0
TN1015	SST_15	35,5	TX1015	SST_15, SST_13	51,4
TN9015	SST_15	26,9	TX9015	SST_15, WEMO14	27,2
TN9815	SST_15	15,1	TX9815	SST_15	10,8
TN0216		0	TX0216	SST_16	16,3
TN1016	SST_16, SST_14	21,4	TX1016	SST_16, SST_14	45,4
TN9016	SST_16, NAO13, SST_13, SST_15	41,2	TX9016	SST_16, WEMO16, SST_14	41,8
TN9816	SST_16, NAO13, SST_13	35,1	TX9816	SST_16	7,6

disminución de las noches frías, que tiene su máximo precisamente durante la estación invernal.

Estos cambios en los valores extremos se agudizan durante el último subperiodo analizado, 1973-2005, que coincide con el vigoroso y sostenido calentamiento experimentado en la España peninsular durante esas décadas. Así, de primavera a otoño se detectan ratios de incremento/decremento mucho mayores a las calculadas para el resto de subperiodos, con el máximo incremento en los 10,56 días/década en el número de noches cálidas.

El principal factor de forzamiento asociado a los cambios en los extremos de temperatura es la temperatura superficial del Mediterráneo Occidental, tanto de la estación en que se produce el extremo como de las estaciones anteriores. Dichas

temperaturas permiten explicar porcentajes de la variabilidad de las series de extremos que llegan a superar el 50% durante la estación estival, cuando más fuerte es la relación entre la señal marina y los extremos térmicos.

Bibliografía

BARNSTON, A. G. y LIVEZEY, R. E. (1987): «Classification, Seasonality and Persistence of Low-Frequency Atmospheric Circulation Patterns». *Monthly Weather Review* nº 115, pp. 1083-1126.

BRUNET, M., SALADIÉ, O., JONES, P. D., SIGRÓ, J., MÖBERG, A., AGUILAR, E., WALTHER, A., LISTER, D., LÓPEZ, D. y ALMARZA, C. (2006): «The development of a new daily adjusted temperature

dataset for Spain (1850-2003)». *International Journal of Climatology*, n° 26, pp. 1777-1802.

BRUNET, M., JONES, P. D., SIGRÓ, J., SALADIÉ, O., AGUILAR, E., MOBERG, A., DELLA-MARTA, P. M., LISTER, D., WALTHER, A. y LOPEZ, D. (2007a): «Temporal and spatial temperature variability and change over Spain during 1850-2005». *Journal of Geophysical Research-Atmospheres* n° 112, D12117, doi:10.1029/2006JD008249.

BRUNET, M., JONES, P. D., SIGRÓ, J., SALADIÉ, O., AGUILAR, E., MOBERG, A., LISTER, D. y WALTHER, A. (2007b): «Long-term extreme temperature and precipitation change over Spain». *Contributions to Science* n° 3 (3), pp. 333-344, DOI: 10.2436/20.7010.01.1 ISSN: 1575-6343

BRUNET, M., SALADIÉ O., JONES, P. D., SIGRÓ, J., AGUILAR, E., MOBERG, A., LISTER, D., WALTHER, A. y ALMARZA, C. (2008): *A case-study/guidance on the development of long-term daily adjusted temperature datasets*. WMO-TD-1425/WCDMP-66, Geneva: 43 pp.

CASTRO-DÍEZ, D., POZO-VÁZQUEZ, F., RODRIGO S. y ESTEBAN-PARRA, M. J. (2002): «NAO and winter temperature variability in southern Europe». *Geophysical Research Letters* n° 29, doi. 10.1029/2001GL014042, 2002

DELLA-MARTA P. M., LUTERBACHER, J., VON WEISSENFLOH, H., XOPLAKI, E., BRUNET, M. y WANNER, H. (2007a): Summer heat waves over western Europe 1880-2003, their relationship to large scale forcings and predictability. *Climate Dynamics* 29, pp. 251-275, doi: 10.1007/s00382-007-0233-1.

DELLA-MARTA, P. M., HAYLOCK, M. R., LUTERBACHER, J. y WANNER, H. (2007b): «Doubled length of western European summer heat waves since 1880».

Journal of Geophysical Research n° 112, D15103, doi:10.1029/2007JD008510.

GARCÍA-HERRERA, R., PRIETO, L., DÍAZ, J., HERNÁNDEZ, E. y DEL TESO, M. T. (2002): «Synoptic conditions leading to Extremely Hot temperatures in Madrid». *Annales Geophysicae* n° 20, pp. 237-245.

GARCÍA-HERRERA, R., DÍAZ, J., TRIGO, R. M. y HERNANDEZ, E. (2005): «Extreme summer temperatures in Iberia: health impacts and associated synoptic conditions». *Annales Geophysicae* n° 23, pp. 239-251.

HURRELL, J. W. (1995): «Decadal trends in the North Atlantic Oscillation and relationships to regional temperature and precipitation». *Science* n° 269, pp. 676-679.

JONES, P. D. y HULME, M. (1996): «Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations». *International Journal of Climatology* n° 16, pp. 361-377.

JONES, P. D., JÓNSSON, T. y WHEELER, D. (1997): «Extension to the North Atlantic Oscillation using early instrumental pressure observations from Gibraltar and South-West Iceland». *International Journal of Climatology* n° 17, pp. 1433-1450.

KLEIN TANK, A., WIJNGAARD, J. y VAN ENGELEN, A. (2002): «Climate of Europe. Assessment of observed daily temperature and precipitation extremes». *European Climate Assessment & Dataset project ECA&D, KNMI, DeBilt, Netherlands*.

MARTIN-VIDE, J. y LOPEZ-BUSTINS, J.A. (2006): «The Western Mediterranean Oscillation and Rainfall in the Iberian Península». *International Journal of Climatology* n° 26 (11), pp. 1455-1475.

MIRÓ J. J., ESTRELA, M. J. y MILLÁN, M. (2006): «Summer temperature trends in a Mediterranean area (Valencia región)». *International Journal of Climatology* n° 26, pp.1051-1073.

- MOBERG, A., JONES, P. D.; LISTER, D., WALTHER, A., BRUNET, M., JACOBET, J., ALEXANDER, L. V., DELLA-MARTA, P. M., LUTERBACHER, J., YIOU, P., CHEN, D. L., TANK A. M. G. K., SALADIE, O., SIGRO, J., AGUILAR, E. *et al.*, (2006): «Indices for daily temperature and precipitation extremes in Europe analysed for the period 1901-2000». *Journal of Geophysical Research-Atmospheres*, 111, (D22): Art. No. D22106.
- PEREIRA, P., MORAIS, L. y UBEDA, X. (2008): «Comportamiento de las temperaturas extremas en la segunda mitad del XX en Lisboa». En Sigró et al. *Cambio Climático Regional y sus Impactos*. Publicaciones de la AEC, Serie A – 6, pp. 413-424.
- PRIETO, L., GARCÍA-HERRERA, R., DÍAZ, J., HERNÁNDEZ, E. y DEL TESO, M. T. (2002): «NAO influence on extreme winter temperatures in Madrid». *Annales Geophysicae* n° 20, pp. 2077-2085.
- PRIETO, L., GARCÍA-HERRERA, R., DÍAZ, J., HERNÁNDEZ, E. y DEL TESO, M. T. (2004): «Minimum Extreme Temperaturas over Peninsular Spain». *Global and Planetary Change* n° 4, pp. 59-71.
- RAYNER, N. A., BROHAN, P., PARKER, D. E., FOLLAND, C. K., KENNEDY, J. J., VANICEK, M., ANSELL, T. y TET, S. F. B. (2006): «Improved analyses of changes and uncertainties in marine temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 dataset». *Journal of Climate* n° 19, pp. 446-469.
- RODRÍGUEZ-PUEBLA, C., FRÍAS, M. D. y ENCINAS, A. H. (2004): «Relaciones entre los extremos de temperatura máxima y patrones de circulación en el Atlántico Norte». *XXVIII Jornadas Científicas. La Meteorología y clima Atlánticos. 5º Encuentro Hispano-Luso de Meteorología, Badajoz*, Spain, 11-13 February, p. 6. Pub. de la Asociación Española de Meteorología, Badajoz.
- SEN, P. K. (1968): «Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau». *Journal of the American Statistical Association* n° 63, pp. 1379-1389.
- SIGRÓ, J., BRUNET, M., AGUILAR, E. y SALADIÉ, O. (2008): «Variaciones temporales en los índices de extremos térmicos en el patrón SEES (South-Eastern and Eastern Spain) de la red SDATS (Spanish Daily Adjusted Temperature Series)». En Estrela, M. J. *Riesgos Climáticos y Cambio Global en el Mediterráneo español ¿Hacia un Clima de Extremos?*, UNED, Col. Interciencias 34, pp. 77-96.
- WALTHER, A. (2004): *EMULATE Extremes Indices Software*, <http://www.cru.uea.ac.uk/projects/emulate/public/>
- ZHANG, X., HEGERL, G., ZWIERS, F. W. y KENYON, J. (2004): «Avoiding inhomogeneity in percentile-based indices of temperature extremes». *Journal of Climate*, 18, pp. 1641-1651.
- ZHANG, X.; VINCENT, L. A., HOGG, W. D. y NIITSOO, A. (2000): «Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century». *Atmosphere and Ocean*, 38, pp. 395-429.

NORMES PER ALS AUTORS

La revista **TERRITORIS** del Departament de Ciències de la Terra de la UIB és oberta a totes les persones interessades en la ciència geogràfica i en l'anàlisi territorial. Cada original serà sotmès a la valoració de lectors externs. El Consell de Redacció es reserva la facultat d'efectuar-hi les correccions d'estil que estimi necessàries.

Una vegada acceptada la publicació d'un article, el Consell de Redacció s'encarregarà d'enviar-lo a l'autor amb la intenció que es faci càrrec de la correcció de les proves d'impremta i/o de les anotacions expressades pels lectors externs. Es procurarà que el text corregit es retorni al Consell de Redacció abans de deu dies.

Text. Se n'han d'enviar tres còpies impreses en paper, en folis DIN A4, i en disquet (format Word). L'espaiat interlineal ha de ser d'1,5. Els marges (superior, inferior, dret i esquerre) han de ser de 2,5 cm. El text no pot superar els vint folis en total, incloent-hi gràfics, mapes, notes i bibliografia.

L'original ha d'anar encapçalat pel títol de l'article, el nom i els cognoms de l'autor o els autors i la filiació institucional o el centre de treball. Cada article ha d'anar precedit per un resum, redactat en el mateix idioma del treball i en anglès, d'una extensió màxima de sis línies en cada idioma.

Després de cada resum s'han d'indicar les paraules clau representatives del contingut del treball, també en el mateix idioma del treball i en anglès.

Al text, i mitjançant anotació marginal en vermell, s'ha d'indicar el lloc aproximat on han d'aparèixer les figures (mapes, fotos i gràfics). Aquest tipus de material no es publicarà en color.

Els epígrafs s'han de jerarquitzar mitjançant l'ús de majúscula i minúscula, de major a menor, i anteposant, per aquest ordre, numeració romana, numeració aràbiga, lletra majúscula i lletra minúscula.

Notes i citacions. Les notes a peu de pàgina s'han d'utilitzar excepcionalment i només per donar-hi text addicional, mai referències bibliogràfiques.

Les citacions bibliogràfiques al text han de dur només el cognom de l'autor en minúscula, l'any i, en cas de reproduir part d'un text, la pàgina (Santos, 1996, 34). Si hi ha més de tres autors, s'ha de donar el primer seguit de et al. La referència completa s'ha de fer a la bibliografia.

Quadres. Han d'estar inserits en el text. Tots han de dur numeració romana i un títol breu, en minúscula.

Figures. Han de dur numeració aràbiga (Fig. 1, etc.) indistinta per a fotografies, mapes i gràfics. En tots els casos és obligatori enviar-les també en suport informàtic, en format TIFF, EPS o JPEG i a una resolució de 300 punts per polzada. Les fotos s'han d'enviar en paper i perfectament contrastades, amb indicació al dors del nom de l'autor i el número d'ordre. En els mapes i plànols, l'escala ha de ser sempre gràfica, mai numèrica, i s'hi ha d'indicar el nord.

Els dibuixos s'han d'enviar en net en paper vegetal normalitzat (DIN A4, DIN A3, etc.). Els que ofereixin defecte de delineació, de retolació o que utilitzin semiologia incorrecta, seran delineats de nou per la revista, i aquesta enviarà a l'autor el càrrec corresponent.

Bibliografia. Ha d'anar al final de l'article, en foli a part, per ordre alfabètic d'autors, d'acord amb el model següent, segons es tracti d'un llibre o un article de revista:

BERNAL SANTA OLALLA, B. (2001): *Las casas baratas en Burgos*. Burgos, Dossols.

TROITIÑO VINUESA, M. Á. (1998): «Turismo y desarrollo sostenible en ciudades históricas». *Ería*, núm. 47, pàg. 211-227.

NORMAS PARA LOS AUTORES

La revista **TERRITORIS**, del Departament de Ciències de la Terra de la UIB, está abierta a todas las personas interesadas en la ciencia geográfica y en el análisis territorial. Cada original será sometido a valoración por parte de lectores externos. El Consejo de Redacción se reserva la facultad de efectuar las correcciones de estilo que estime precisas.

Una vez se haya aceptado la publicación de un artículo, el Consejo de Redacción se encargará de enviarlo al autor con la intención de que se haga cargo de la corrección de las pruebas de imprenta y/o de las anotaciones expresadas por los lectores externos. Se intentará que la devolución del texto corregido al Consejo de Redacción no exceda de los 10 días.

Texto. Se enviarán tres copias impresas en papel, en hojas DIN A4, y en disquete (formado Word). El espaciado interlineal utilizado será de 1,5. Los márgenes (superior, inferior, derecha e izquierda) utilizados son de 2,5 cm. El texto no podrá superar las 20 hojas en total, incluyendo gráficos, mapas, notas y bibliografía.

El original irá encabezado por el título del artículo, el nombre y apellidos del autor o autores, la filiación institucional o centro de trabajo. Cada artículo debe estar precedido por un resumen, redactado en el mismo idioma del trabajo y en inglés, con una extensión máxima de 6 líneas cada uno. A cada uno de los resúmenes seguirán las palabras clave representativas del contenido del trabajo, también en el mismo idioma del trabajo y en inglés.

En el texto, y mediante anotación marginal en rojo, se indicará el lugar aproximado en el que deben entrar las figuras (mapas, fotos y gráficos). No se publicará este tipo de material en color.

Los epígrafes se jerarquizarán mediante el uso de la mayúscula y minúscula, de mayor a menor y anteponiendo, por este orden, numeración romana, numeración arábiga, letra mayúscula y letra minúscula.

Notas y citas. Las notas a pie de página se utilizarán excepcionalmente y sólo para contener texto adicional y nunca referencias bibliográficas.

Las citas bibliográficas en el texto llevarán solamente el apellido del autor en minúscula, el año y, en el caso de reproducir parte de un texto, la página (Santos, 1996, 34). De existir más de tres autores, se citará el primero, seguido de et al. La referencia completa se hará en bibliografía.

Cuadros. Estarán insertados en el texto. Todos llevarán numeración romana y un título breve, en minúscula.

Figuras. Llevarán numeración arábiga (Fig. 1, etc.) indistinta para fotografías, mapas y gráficos. En todos los casos es obligatorio su envío también en soporte informático, en formato TIFF, EPS o JPG i a una resolución de 300 puntos por pulgada. Las fotos se enviarán en papel y perfectamente contrastadas, indicando al dorso el nombre del autor y el número de orden. En los mapas y planos, la escala debe de ser siempre gráfica, nunca numérica y se indicará el Norte.

Los dibujos se enviarán en limpio en papel vegetal normalizado (DIN A4, DIN A3, etc.). Aquellos que ofrezcan defecto de delineación, de rotulación o que utilicen semiología incorrecta, serán delineados de nuevo por la Revista, pasando al autor el correspondiente cargo.

Bibliografía. Irá al final del artículo, en hoja aparte, por orden alfabético de autores, de acuerdo con el siguiente modelo según se trate de un libro o artículo revista:

BERNAL SANTA OLALLA, B. (2001): *Las casas baratas en Burgos*. Burgos, Dossoles.

TROITIÑO VINUESA, M. Á (1998): «Turismo y desarrollo sostenible en ciudades históricas». *Ería*, nº 47, págs. 211-227.

AUTHOR GUIDELINES

The journal **TERRITORIS**, published by the Department of Earth Sciences of the University of the Balearic Islands (UIB), will consider papers by all those interested in geography and territorial studies. Each original will be assessed by external readers. The Editorial Committee reserves the right to make any stylistic corrections that are deemed necessary.

Once a paper has been accepted for publication, the Editorial Committee will send the galleyproofs and/or comments by the external readers to the author for the paper to be corrected. Efforts must be made to return the corrected version to the Editorial Committee within 10 days.

Text. Three copies of the paper must be submitted, printed on A4 size sheets of paper, together with a copy on diskette (in Word format). 1.5 line spacing must be used and 2.5 cm margins (top, bottom, left and right). The text of the article may not exceed a total of 20 sheets of paper, including graphs, maps, notes and the bibliography.

The original must be headed by the title of the paper, the name and surnames of the author or authors and the institution or work centre to which they belong. Each paper must be preceded by an abstract, drafted in the same language as the paper and in English, each with a maximum of 6 lines. Each abstract should be followed by keywords representative of the content of the paper, also in the same language as the paper and in English.

In the text, via notes in the margin in red, the approximate place where any figures should be placed (maps, photos and graphs) must be indicated. This type of material will not be published in colour.

Notes and Citations. Footnotes should only be used in exceptional cases and only for additional text, never for bibliographical references.

Bibliographical citations within the text should only show the surname of the author in small letters, the year and, if part of a text is reproduced, the page number (e.g. Santos, 1996, 34). If there are more than three authors, the first should be cited, followed by et al. The full reference should be shown in the bibliography.

Tables. Tables must be inserted in the text. All should be numbered with Roman numerals and must bear a brief title in small letters.

Figures. These should be numbered with Arabic numerals (Fig. 1 etc.), whether they are photos, maps or graphs. In all cases, they must also be presented in a computerized format (TIFF, EPS or JPEG) with a resolution of 300 DPI. Photos must be sent on paper. They should have a perfect contrast and, on the back, should indicate the name of the author and the order in which they are numbered. Maps and plans must always include a graphic scale (never a numerical one), and the direction north.

Final copies of drawings should be sent on standard plant fibre paper (A4, A3 etc).

Bibliography. This should go at the end of the paper, on a separate sheet of paper. The authors should be listed in alphabetical order, as per the following examples for a book and article from a journal:

BERNAL SANTA OLALLA, B. (2001): *Las casas baratas en Burgos*. Burgos, Dosssoles.

TROITIÑO VINUESA, M. Á (1998): «Turismo y desarrollo sostenible en ciudades históricas». *Ería*, no. 47, pp. 211-227.

NORMES À L'USAGE DES AUTEURS

La revue **TERRITORIS** du Département des Sciences de la Terre de l'UIB (Université des Iles Baléares) est ouverte à toutes les personnes intéressées par la géographie et l'analyse territoriale. Chaque original sera soumis à une évaluation de la part de lecteurs externes. Le conseil de rédaction se réserve le droit d'effectuer les corrections de style qu'il jugera pertinentes.

Dès lors que la publication d'un article aura été acceptée, le conseil de rédaction se chargera de le retourner à l'auteur afin qu'il procède à la correction des épreuves d'imprimerie et/ou des annotations consignées par les lecteurs externes. Le délai maximum recommandé pour la réexpédition du texte corrigé au conseil de rédaction sera de 10 jours.

Texte. Le texte devra être envoyé en trois exemplaires sur papier de format DIN A4 et être accompagné d'une copie sur disquette (format Word). L'espace interligne utilisé sera de 1,5 et les marges (supérieure, inférieure, de droite et de gauche) de 2,5 cm. La longueur maximum du texte ne devra pas dépasser 20 pages au total, graphiques, cartes, notes et bibliographie inclus.

Devront figurer en tête de l'original le titre de l'article, les nom et prénom de l'auteur ou des auteurs, ainsi que la filiation institutionnelle ou le lieu de travail. Chaque article devra être précédé d'un résumé, rédigé dans la même langue que l'article ainsi qu'en anglais, d'une longueur maximum de 6 lignes. Chaque résumé sera suivi des mots-clés représentatifs du contenu du travail, également dans les deux langues.

Dans le texte, l'endroit approximatif où devront être insérées les figures (cartes, photographies et graphiques) devra être signalé au moyen d'une note en rouge dans la marge. Ce matériel ne sera pas publié en couleur.

Notes et citations. Les notes de bas de page ne seront utilisées que de façon exceptionnelle et contiendront uniquement un texte additionnel et non pas des références bibliographiques.

Les citations bibliographiques insérées dans le texte devront indiquer uniquement le nom de l'auteur en minuscules, l'année et, s'il s'agit de la citation d'un passage, la page (Santos, 1996,34). Dans le cas de plusieurs auteurs, le premier sera cité suivi de "et al.". La référence complète devra figurer dans la bibliographie.

Tableaux. Ils seront insérés dans le texte. Ils devront porter la numérotation romaine et une légende courte en lettres minuscules.

Figures. Elles seront numérotées en chiffres arabes (Fig. 1, etc.) qu'il s'agisse de photographies, cartes ou graphiques. Dans tous les cas, l'envoi sur support informatique est obligatoire, au format TIFF, EPS ou JPEG et avec une résolution de 300 points par pouce. Les photographies devront être envoyées sur papier et parfaitement contrastées, avec indication au dos du nom de l'auteur et du numéro d'ordre. En ce qui concerne les cartes et les plans, l'échelle doit toujours être graphique et non pas numérique et le Nord indiqué.

Les dessins seront envoyés au propre sur papier calque naturel normalisé (DIN A4, DIN A3, etc.).

Bibliographie. Elle devra figurer à la fin de l'article, sur une feuille à part, par ordre alphabétique des auteurs, suivant le modèle ci-dessous selon qu'il s'agit d'un livre ou d'un article-revue:

BERNAL SANTA OLALLA, B. (2001): *Las casas baratas en Burgos*. Burgos, Dosssoles.

TROITIÑO VINUESA, M. Á (1998): «Turismo y desarrollo sostenible en ciudades históricas». *Ería*, n° 47, p. 211-227.



Universitat de les
Illes Balears