

El clima del passat recent a la regió mediterrània occidental

Reconstruccions dels darrers 2.700 anys a partir
de sediments marins i estalagmites de coves

MERCÈ CISNEROS BERMEJO

Premi IEC de la Secció de Ciències i Tecnologia
de Geologia (en honor de Carmina Virgili) 2022



Institut
d'Estudis
Catalans

SECCIÓ
DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA

El clima del passat recent
a la regió mediterrània
occidental

El clima del passat recent a la regió mediterrània occidental

Reconstruccions dels darrers 2.700 anys a partir
de sediments marins i estalagmites de coves

MERCÈ CISNEROS BERMEJO

Premi IEC de la Secció de Ciències i Tecnologia
de Geologia (en honor de Carmina Virgili) 2022

Barcelona, 2023



Institut
d'Estudis
Catalans

SECCIÓ
DE CIÈNCIES
I TECNOLOGIA

Cisneros Bermejo, Mercè, autor

El Clima del passat recent a la regió mediterrània occidental : reconstruccions dels darrers 2.700 anys a partir de sediments marins i estalagmites de coves. — Primera edició. —

(Arxius de les seccions de ciències ; 153)

Bibliografia. — Premi IEC de la Secció de Ciències i Tecnologia de Geologia (en honor de Carmina Virgili), 2022

ISBN 9788499657165

I. Institut d'Estudis Catalans. Secció de Ciències i Tecnologia. II. Títol

III. Col·lecció: Arxius de les seccions de ciències ; 153

1. Paleoclimatologia — Illes Balears 2. Paleoclimatologia — Mediterrània Occidental

551.583.7(460.32)

551.583.7(4-14+6-16)

© Mercè Cisneros Bermejo

© 2023, Institut d'Estudis Catalans, per a aquesta edició

Carrer del Carme, 47. 08001 Barcelona

Primera edició: juliol de 2023

Text revisat lingüísticament per la Unitat d'Edició del Servei Editorial de l'IEC

Disseny de la coberta: Azcunce | Ventura

La il·lustració de la coberta ha estat realitzada amb la col·laboració de Zulema Galeano.

Compost per fotocomposició gama, s. l.

Imprès a Service Point FMI, SA

ISBN: 978-84-9965-716-5

Dipòsit Legal: B 12467-2023

DOI: 10.2436/10.2000.77.1



Aquesta obra és d'ús lliure, però està sotmesa a les condicions de la llicència pública de Creative Commons. Es pot reproduir, distribuir i comunicar l'obra sempre que se'n reconegui l'autoria i l'entitat que la publica i no se'n faci un ús comercial ni cap obra derivada. Es pot trobar una còpia completa dels termes d'aquesta llicència a l'adreça: <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/es/deed.ca>.

A proposta de la ponència formada pels senyors Lluís Cabrera Pérez i Josep Anton Muñoz de la Fuente, membres de la Secció de Ciències i Tecnologia, i Eulàlia Gili i Folch, membre de la Institució Catalana d'Història Natural, l'Institut d'Estudis Catalans, en sessió plenària tinguda el dia 16 de febrer de 2022, acordà de concedir el Premi IEC de la Secció de Ciències i Tecnologia de Geologia (en honor de Carmina Virgili) a la senyora Mercè Cisneros Bermejo pel seu treball *Reconstrucció climàtica dels darrers 2.700 anys a la Mediterrània occidental: sediments marins i estalagmites*.

Així mateix, la Secció de Ciències i Tecnologia publica la dita obra, la qual, amb el títol *El clima del passat recent a la regió mediterrània occidental. Reconstruccions dels darrers 2.700 anys a partir de sediments marins i estalagmites de coves*, és editada a cura del senyor Lluís Cabrera Pérez, membre de l'Institut d'Estudis Catalans.

Taula

Abreviacions	9
1. Introducció	11
2. Context històric a les Balears durant els darrers mil·lennis	21
3. Condicions de superfície de la mar a la regió central de la Mediterrània occidental durant els darrers 2.700 anys	25
4. Condicions de la mar profunda a la regió central de la Mediterrània occidental durant els darrers 2.700 anys	31
5. Variabilitat hidroclimàtica	37
6. El clima dels darrers 2.700 anys a la regió central de la Mediterrània occidental	45
7. Conclusions i noves línies d'investigació	53
Referències bibliogràfiques	57

Abreviacions

2K	2 kiloanys
AEMET	Agència Estatal de Meteorologia
BCE	anys abans de l'era actual (de l'anglès <i>before Common Era</i>)
CE	anys de l'era actual (de l'anglès <i>Common Era</i>)
com. pers.	comunicació personal
DWF	formació d'aigua fonda (de l'anglès <i>deep water formation</i>)
EMA	alta edat mitjana (de l'anglès <i>Early Middle Ages</i>)
IPCC	Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (de l'anglès <i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>)
ka	kiloany
LIA	petita edat de gel (de l'anglès <i>little Ice Age</i>)
LIW	aigua intermèdia llevantina (de l'anglès <i>Levantine intermediate water</i>)
Ma	milions d'anys
mab	metres sobre el fons de la mar (de l'anglès <i>meters above the bottom</i>)
MCA	anomalia climàtica medieval (de l'anglès <i>Medieval climate anomaly</i>)
mwd	metres de profunditat de l'aigua (de l'anglès <i>meters water depth</i>)
NAO	oscil·lació de l'Atlàntic nord (de l'anglès <i>North Atlantic oscillation</i>)
RP	període romà (de l'anglès <i>Roman period</i>)
SST	temperatura de la mar superficial (de l'anglès <i>sea surface temperature</i>)
TP	període talaiòtic (de l'anglès <i>talayot period</i>)
WMDW	aigua fonda de la Mediterrània occidental (de l'anglès <i>Western Mediterranean deep water</i>)
XRF	fluorescència de raigs X (de l'anglès <i>X-ray fluorescence</i>)

1. Introducció

Per tal d'explorar el clima dels darrers 2.700 anys a la regió balear, motivació d'aquest treball, s'ha considerat adient presentar prèviament alguns conceptes relacionats amb el funcionament del sistema climàtic i amb la disciplina de la paleoclimatologia i el tipus d'arxius que pot emprar. També s'introdueixen algunes particularitats de l'àrea d'estudi: la regió central de la Mediterrània occidental (fig. 1).

Aquest treball mostra tres estudis mitjançant els quals s'han reconstruït les condicions de la mar superficial, de la mar profunda i de la variabilitat hidroclimàtica, respectivament. Els dos primers es basen en l'estudi de sediments marins i el tercer, en espeleotemes de coves. Els resultats obtinguts són discutits de manera conjunta després de presentar els tres estudis individuals.

Nogensmenys, el viatge al passat que es proposa en aquest treball parteix de la situació actual d'escalfament global en la qual es troba el planeta. Aquest escalfament del sistema climàtic és inequívoc i la influència humana clara, malgrat que encara queda molt per entendre sobre els mecanismes complexos del clima. Per tant, l'estudi del clima del passat suposa un desafiament i el seu desenvolupament és requerit per tal de, per exemple, millorar les prediccions climàtiques.

1.1. L'ESCALFAMENT GLOBAL I LA MEDITERRÀNIA: TENDÈNCIES I PREDICCIONS

En el moment present, la Terra viu una situació sense precedents per causa del canvi global, amb el seu component climàtic al capdavant (Boada i Saurí, 2002). El clima és el conjunt de condicions normals que caracteritzen l'atmosfera d'un lloc específic, definides pels valors mitjans dels diferents elements climàtics

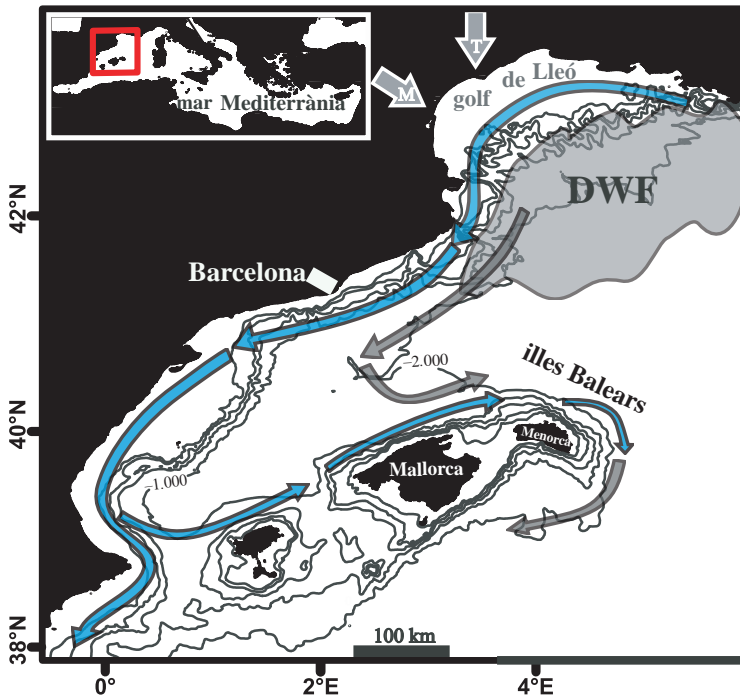


FIGURA 1. Mapa de la zona d'estudi a la Mediterrània occidental. A la part superior esquerra es pot observar el mapa general de la Mediterrània en què el requadre vermell assenjala la zona d'estudi. S'indica la circulació oceanogràfica superficial (fletxes blaves) i profunda (fletxes grises), els vents tramuntana (T) i mestral (M) i la regió on la formació de l'aigua profunda té lloc (DWF).
FONT: Elaboració pròpia.

(temperatura, precipitació i vent), llurs valors extrems i la freqüència o durada dels fenòmens atmosfèrics durant un període de temps molt llarg, segons l'Organització Meteorològica Mundial. Generalment, hom considera un període mínim de trenta anys per poder caracteritzar un clima. Cal no confondre'l amb el temps atmosfèric o meteorològic, que fa referència a les variacions atmosfèriques a curt termini, és a dir, variacions del rang de dies com a màxim.

Dins de l'àmbit del canvi climàtic, la recerca científica és recopilada, sintetitzada i avaluada periòdicament pel Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic (IPCC). Aquest òrgan, fundat l'any 1988 per l'Organització Meteorològica Mundial i el Programa de les Nacions Unides pel Medi Ambient, aglutina centenars de científics d'arreu del món. Segons els resultats publicats als informes de l'IPCC, les temperatures superficials de la Terra durant els últims trenta anys han estat successivament més calentes que en cap dècada precedent. L'anàlisi de temperatures arriba fins a l'any 1850, en què s'inicià el registre ins-

trumental global de temperatures més llarg (Brohan *et al.*, 2006). Aquest escalfament ha anat acompanyat —o, més ben dit, ha estat empès— per una injecció antròpica sense precedents de gasos amb efecte d'hivernacle, anomenats d'aquesta manera perquè atrapen la radiació solar captada i posteriorment reemesa per la Terra com a radiació infraroja, cosa que impedeix que torni cap a l'espai i provoca, consegüentment, l'escalfament de l'atmosfera.

Les modificacions recents del clima terrestre han generat impactes en els sistemes humans i naturals a tots els continents, oceans i mars. A la regió central de la Mediterrània occidental també s'han observat tendències i canvis derivats de l'escalfament global en les temperatures de la mar superficial (SST), en la formació d'aigua profunda i en la precipitació.

Simulacions climàtiques fetes per finals de segle a la regió de la Mediterrània mostren un increment de les SST i de la salinitat (Adloff *et al.*, 2015), el qual és més acusat a la conca oriental (Llasses *et al.*, 2016). Tot i això, aquestes prediccions climàtiques també assenyalen la regió balear com una de les més vulnerables a l'escalfament dintre de la conca occidental (fig. 2).

Pel que fa a la formació d'aigua profunda a la Mediterrània occidental, encara que la magnitud de la convecció no evidencia cap tendència per si mateixa (Herrmann *et al.*, 2017), les dades instrumentals confirmen un increment de la temperatura i de la salinitat de l'aigua fonda de la Mediterrània occidental (WMDW) (Rixen *et al.*, 2005; Schroeder *et al.*, 2010). Respecte de la situació actual de canvi climàtic i les incerteses derivades, alguns estudis basats en l'observació de dades de satèl·lit i en modelitzacions suggereixen un debilitament dràstic de la convecció profunda en el futur relacionat, en gran manera, amb: *a)* variacions en l'oceà Atlàntic i *b)* l'estratificació més intensa de la columna d'aigua (Somot *et al.*, 2006; Adloff *et al.*, 2015).

La Mediterrània s'està tornant més salina, en part per l'augment de l'evaporació associat a l'increment de les SST, però també degut a reduccions en la precipitació, d'una magnitud tan considerable que la regió és considerada un punt calent (en anglès *hot spot*) en termes hidrològics (Gibelin i Deque, 2003; Giorgi i Lionello, 2008; Mariotti *et al.*, 2008). De fet, totes les regions amb clima de tipus mediterrani (Xile, Àfrica sud-occidental i Austràlia sud-occidental) han patit una disminució de la precipitació en les últimes dècades, amb excepció del clima mediterrani d'Amèrica del Nord a Califòrnia (Seager *et al.*, 2015).

A causa de tot aquest context, podríem preguntar-nos, doncs, on serà l'aigua dolça que no ens cau amb la pluja o que marxa de la mar per evaporació. Hom suggereix que possiblement els patrons de pluja es veuran modificats i en algunes regions podria ploure molt més (Damià Gomis, com. pers.). Cal destacar que la resposta de la precipitació al canvi climàtic i al CO₂ pot ser lenta, de dècades a segles, però també més ràpida, i produir-se en pocs anys (Ceppi *et al.*, 2018).

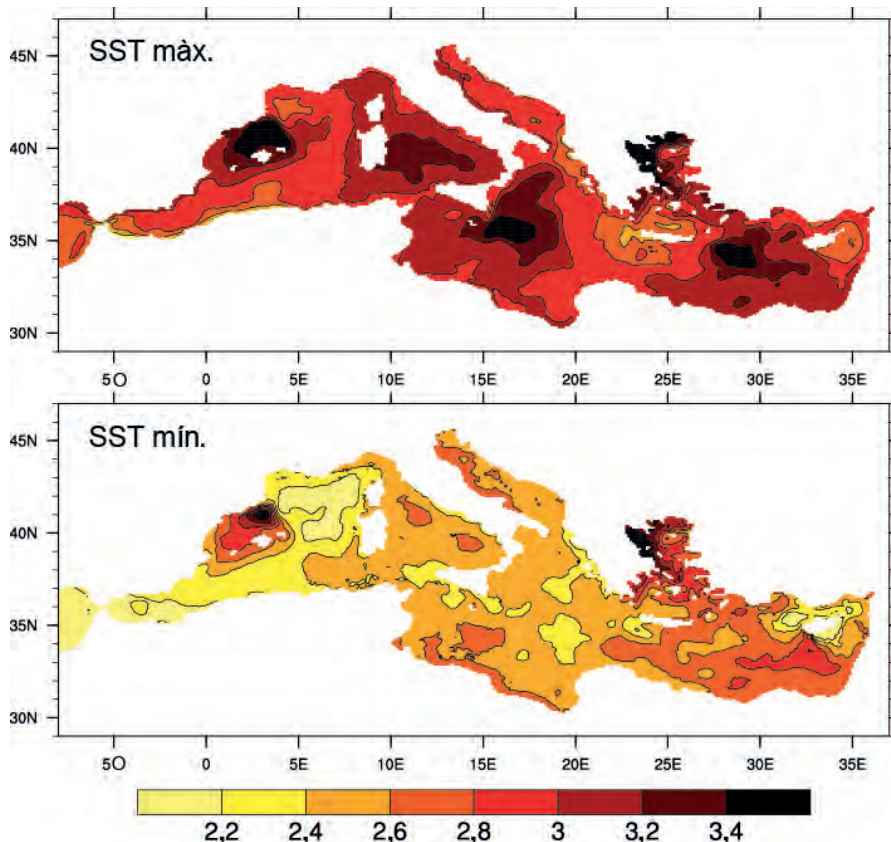


FIGURA 2. Simulacions de les anomalies de les temperatures de la mar superficial (SST) màximes i mínimes per al període 2070-2099 (respecte de 1961-1990) per a la regió mediterrània (en graus centígrads).

FONT: Modificada a partir d'Adloff *et al.* (2015).

A la Mediterrània occidental i durant les últimes dècades, hi ha hagut pluges intenses entre finals d'estiu i hivern, les quals han causat nombroses inundacions catastròfiques en diversos països, fins i tot amb víctimes mortals (Pastor *et al.*, 2001). Un exemple n'és l'aiguat de Sant Llorenç des Cardassar (Mallorca) el 9 d'octubre del 2018, en el qual van caure al torrent de la Begura de Salma 257 l/m² en deu hores, segons dades de radar d'AEMET. Cal destacar que la mitjana de precipitació anual en aquella zona és d'uns 800 mm. L'aiguat va causar tretze morts i desenes de desapareguts.

La disponibilitat d'aigua en una regió tan poblada com la Mediterrània ha tingut i té una gran importància històrica i, actualment, la tendència a condicions més

seques afecta l'agricultura i els cultius, com, per exemple, els de blat (Zampieri *et al.*, 2017). La comprensió dels mecanismes complexos i de les interaccions atmosfera - oceà superficial i profund dels climes pretèrits i presents suposa un repte en el context actual. A més, cal estudiar-los per tal de millorar les prediccions climàtiques tan necessàries per mitigar els impactes derivats del canvi climàtic.

1.2. SISTEMA CLIMÀTIC

1.2.1. *Interaccions atmosfera-oceà*

El sistema climàtic és compost per cinc components principals: l'atmosfera, la hidrosfera (oceans, rius i llacs), la criosfera (gel marí, mantells polars i altres glaceres), la superfície terrestre i la biosfera. Es tracta d'un sistema dinàmic i de gran complexitat, en el qual els diferents components interactuen entre ells, responen sovint de manera no lineal a diferents escales temporals i produint retroalimentacions (en anglès *feedbacks*). Les retroalimentacions són positives si amplifiquen l'efecte original i negatives si el redueixen. Per exemple, considerant l'atmosfera i l'oceà, si la temperatura del planeta augmenta, llavors hi haurà més evaporació i es produirà una retroalimentació positiva, ja que l'increment de vapor d'aigua amplificarà l'escalfament atès el seu fort potencial com a gas amb efecte d'hivernacle.

El sistema climàtic està influït per diversos forçaments externs, i la radiació solar n'és el més rellevant. És un sistema tan dinàmic que, fins i tot en absència de canvis en els forçaments externs, pot variar de manera natural, ja que les interaccions no lineals i els diferents temps de resposta dels seus components fan que no estiguin mai en equilibri i que estiguin canviant constantment. Per exemple, a les diferents capes de l'atmosfera el temps de resposta per intentar arribar a l'equilibri pot anar de dies a setmanes (troposfera, ~0-10 km) o pocs mesos (estratosfera, ~10-50 km). Els oceans tenen un temps de resposta molt més llarg, de l'ordre de dècades a segles o mil·lennis, donada la seva gran capacitat calorífica.

La circulació atmosfèrica global influeix en la circulació oceànica superficial. El corrent del Golf n'és un bon exemple. Aquest corrent, que neix al golf de Mèxic i es dirigeix cap l'Atlàntic nord, desplaça un gran volum d'aigua càlida en superfície, el qual modera els rigors climàtics hivernals a les latituds mitjanes i altes de l'occident europeu. La circulació oceànica superficial alimenta la circulació convectiva oceànica global. Aquesta circulació oceànica global està conformada pel transport meridional i per la convecció vertical de les aigües. Al seu torn, el transport meridional té un component horitzontal (aigües superficials) i un de convectiu (aigües fondes). A l'Atlàntic nord, les aigües calentes i salines provinents de les regions tropicals es tornen més denses i s'enfonsen, de manera que es formen aigües fondes que viatgen cap als oceans Índic i Pacífic. Progressiva-

ment, aquestes aigües fondes van guanyant flotabilitat i acaben aflorant a la superfície de manera dispersa a diferents indrets.

La circulació descrita fa que l'oceà actuï com un gran modulador climàtic, atès el paper clau que té en la distribució global de l'energia (Broecker i Denton, 1989), però també atesa la seva capacitat d'intercanviar gasos com el CO₂. Aquest gas amb efecte d'hivernacle es dissol a les aigües polars denses que s'enfonsen i converteixen l'oceà profund en un embornal de CO₂, i així es modula, també, el clima de la Terra.

1.2.2. Variabilitat climàtica natural i escales temporals

El registre geològic dona constància de variacions climàtiques molt pretèrites al llarg de la història de la Terra (4.560 Ma), com les glaciacions del Neoproterozoic fa ~750-650 Ma (Hoffman, 1998). A partir dels últims 65 Ma, el registre marí ens permet analitzar de manera continuada l'evolució climàtica terrestre, en què destaca el màxim tèrmic del Paleocè-Eocè fa ~56-34 Ma, com el període climàtic més càlid (Zachos *et al.*, 2001). En aquest període hi va haver temperatures i nivells de CO₂ més elevats que els actuals, però cal destacar que s'hi va arribar durant una transició llarga i no en poques dècades com succeeix ara.

Depenent de l'escala temporal en què ens focalitzem, els factors inductors de canvis dominants són diferents. A escales temporals de milions d'anys (10⁶-10⁹ anys), els grans canvis climàtics naturals han estat induïts per la tectònica global (Goodess *et al.*, 1992). A escales temporals de milers d'anys (10⁴-10⁵ anys), la variabilitat climàtica dels últims 3 Ma és determinada per la seqüència de períodes glacials/interglacials, que segueixen en bona part els cicles dels paràmetres orbitals de la Terra (excentricitat, obliquïtat i precessió). Els períodes glacials s'han caracteritzat per temperatures relativament fredes i concentracions baixes de CO₂ atmosfèric, mentre que els períodes interglacials, per temperatures més càlides i valors més alts de CO₂ atmosfèric. Actualment, ens trobem en un interglacial anomenat *Holocè*, l'inici del qual se situa fa 11.700 anys.

A escales temporals de centenars d'anys (10²-10³ anys), hi ha una variabilitat mil·lenària de freqüència més alta, que seria la més propera a la resolució dels registres mostrats en aquest treball. Alguns forçaments que cal tenir en compte en aquest cas són canvis en la circulació oceànica de l'Atlàntic nord i en entrades d'aigua dolça a l'Atlàntic nord, interaccions no lineals i retroalimentacions del sistema climàtic terrestre, canvis en el volum de gel i la variabilitat solar (Bond *et al.*, 2001; Siddall *et al.*, 2006).

A aquestes escales temporals i per a la nostra àrea d'estudi, hi ha treballs previs que assenyalen la influència de fluctuacions en patrons atmosfèrics com l'oscil·lació de l'Atlàntic nord (NAO) (p. ex., Ausín *et al.*, 2015). Així mateix, diver-

sos estudis de les condicions actuals descriuen que la NAO exerceix un gran control en la variabilitat interanual i pot ser definida com un balanç atmosfèric meridional al llarg del sector de l'Atlàntic nord (Hurrell, 1995). Consisteix en el gradient entre les altes pressions de les Açores i les baixes pressions d'Islàndia, entre les quals oscil·la d'est a oest. Quan ambdós centres de pressions estan ben desenvolupats, respectivament, es parla de fases positives de la NAO. Per contra, quan els centres estan poc desenvolupats, es parla de fases negatives de la NAO. El gradient entre els centres és més feble en les fases negatives que en les positives. Les configuracions positives de la NAO provoquen més vents amb tempesta i més forts que creuen l'Atlàntic en una posició més septentrional, la qual cosa resulta en hiverns temperats i humits a Europa i condicions més seques a la Mediterrània (fig. 3; Hurrell, 1995). Les configuracions negatives de la NAO, amb els canvis corresponents de la circulació atmosfèrica a l'Atlàntic, donen lloc a hiverns freds i secs a Europa i condicions més humides a la Mediterrània.

1.3. LA PALEOCLIMATOLOGIA: L'ESTUDI DEL CLIMA DEL PASSAT

La paleoclimatologia inclou la paleoceanografia, que s'ocupa de l'estudi de les condicions oceanogràfiques del passat a partir de registres marins. La paleoclimatologia s'ha desenvolupat de manera robusta durant les darreres dècades. Es tracta d'una ciència relativament jove que va començar a consolidar-se fa poc més de mig segle (Hays *et al.*, 1976). Aquesta ciència se serveix d'una gran varie-

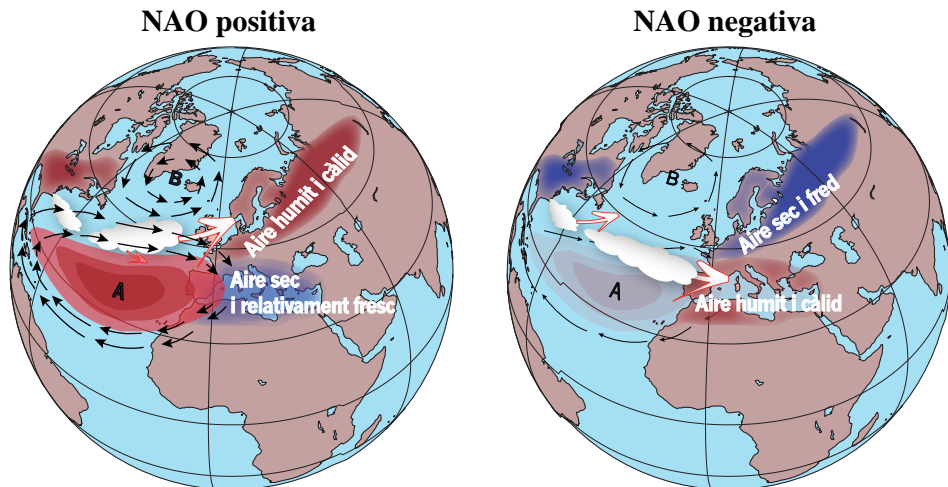


FIGURA 3. Esquematzació del patró atmosfèric de l'oscil·lació de l'Atlàntic nord (NAO).

FONT: Rumín-Caparrós (2017).

tat d'arxius naturals per estudiar el clima del passat, com ara sediments marins i lacustres, gel, coralls, espeleotemes i anells dels arbres, entre d'altres. Aquests arxius han permès estudiar les variacions climàtiques a diferents escales temporals, de milions d'anys a pocs anys.

1.3.1. Sediments marins com a arxius paleoclimàtics

Els sediments marins contenen una varietat notable d'indicadors paleoambientals, els quals, a més de permetre'ns reconstruir canvis en l'oceà, també ens aporten informació sobre les alteracions de l'atmosfera al llarg del temps. Una de les eines fonamentals de la paleoceanografia és la mesura dels isòtops de l'oxigen a les closques de foraminífers preservades en els dipòsits marins. Els foraminífers són organismes unicel·lulars que viuen tant al fons de l'oceà (espècies bentòniques) com a les aigües superficials, formant part del plàncton marí (espècies planctòniques). La gran majoria d'espècies de foraminífers formen closques de carbonat càlcic (CaCO_3) (fig. 4). La diferència en el seu pes atòmic fa que els isòtops de l'oxigen ^{16}O i ^{18}O es fraccionin diferentment durant el cicle hidrològic. Per exemple, el procés d'evaporació incorpora preferentment l'isòtop lleuger ^{16}O al vapor d'aigua atmosfèric, la qual cosa, de retruc, incrementa la proporció de l'isòtop pesat ^{18}O a l'aigua de mar. En el procés de calcificació, els foraminífers incorporen al seu esquelet el senyal de $\delta^{18}\text{O}$ de les aigües on viuen, però també hi ha un fraccionament en funció de la temperatura de l'aigua. Per aquest motiu, el senyal de $\delta^{18}\text{O}$ dels foraminífers és complex, ja que incorpora canvis en la relació evaporació-precipitació de l'oceà a escales regional i global, i també canvis en les temperatures locals.

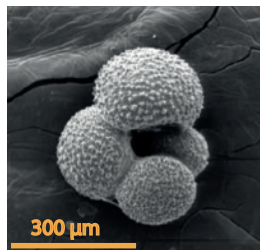


FIGURA 4. Espècimen del foraminífer planctònic *Globigerina bulloides*, el qual es pot fer servir com a termòmetre de la mar en el passat. La mida dels foraminífers pot variar des d'1 mm fins a diversos centímetres. Les espècies més antigues de foraminífers bentònics daten del període Càmbric, fa més de 485 Ma (Armstrong i Brasier, 2005). Les espècies planctòniques són més joves i daten des del Juràssic mitjà (180 Ma) fins als temps recents (Sen Gupta, 1999).

FONT: Fotografia de microscòpic electrònic feta per Isabel Cacho i emprada en Cisneros i Cacho (2017).

A més de la ràtio dels isòtops de l'oxigen, en el primer estudi que es presenta en aquest treball s'ha emprat una altra ràtio que permet analitzar independentment l'evolució de la SST. És la ràtio Mg/Ca, també en closques de foraminífers. Aquest indicador es basa en el fet que la substitució de Mg per Ca durant la calcificació creix exponencialment amb l'augment de SST (Lea, 1999; Rosenthal, 2007). La mesura d'aquest indicador a les mateixes closques de foraminífers que el $\delta^{18}\text{O}$ permet eliminar el senyal associat a la temperatura i, consegüentment, extreure el senyal original de $\delta^{18}\text{O}$ de les aigües marines (Elderfield i Ganssen, 2000; Barker *et al.*, 2005). Aquesta és precisament l'estratègia aplicada en el primer estudi mostrat en aquest treball per tal de reconstruir els canvis en els balanços de precipitació- evaporació en el passat.

Un altre indicador per reconstruir la SST, en ús sobretot des dels anys vuitanta del segle passat, és l'índex d'insaturació Uk'37, basat en la relació entre els diferents tipus d'alquenones preservades a la matèria orgànica sedimentària. Són compostos lipídics formats per metilcetones amb una cadena llarga de 37 àtoms de carboni diferent amb un nombre d'insaturacions variable. En una primera etapa, hom es va adonar que eren sintetitzades pel coccolitofòrid *Emiliania huxleyi* (Volkman *et al.*, 1980), una alga planctònica el registre fòssil més antic de la qual és de fa 268.000 anys (Thierstein *et al.*, 1977). Posteriorment, hom es va adonar que també les podien produir altres algues coccolitoforals (p. ex., Marlowe *et al.*, 1984). El grau d'insaturació d'aquests compostos està estretament relacionat amb la temperatura de l'aigua en què foren sintetitzats (Eglinton *et al.*, 1983; Brassell *et al.*, 1986).

Un dels components més comuns dels sediments marins són els fragments lítics, la caracterització granulomètrica i geoquímica dels quals pot usar-se per reconstruir canvis en la dinàmica atmosfèrica o, com el cas d'aquest treball, en la intensitat dels corrents marins (McCave *et al.*, 1995; Frigola *et al.*, 2007).

1.3.2. *Espeleotemes de coves com a arxius paleoclimàtics*

Pel que fa als espeleotemes, permeten estudiar paràmetres climàtics, com la temperatura i la precipitació, i també ambientals, com el recobriment vegetal. Hom n'analitza principalment els registres dels isòtops estables $\delta^{18}\text{O}$ i $\delta^{13}\text{C}$ i d'elements traça com el Mg i el Sr (McDermott, 2004; Fairchild i McMillan, 2007). Hi ha, però, altres paràmetres dels espeleotemes que també proporcionen informació climàtica, com ara els canvis en el gruix de les làmines i llur taxa de creixement, la tipologia morfològica estructural i les fàbriques o partícules allòctones atrapades (Frisia *et al.*, 2000; Stoll *et al.*, 2013; Martín-Chivelet *et al.*, 2017).

El problema, però, és que sovint el senyal isotòpic dels espeleotemes és difícil d'interpretar en termes de paleoclima. Més enllà que els estudis d'isòtops estables

en espeleotemes es remunten a unes poques dècades (Hendy i Wilson, 1968), la causa principal d'aquesta dificultat rau en la gran quantitat de factors que afecten els registres dels espeleotemes, d'ençà que s'origina la pluja fins que es forma l'espeleotema mateix. Hi ha un grapat de factors que poden afectar la composició dels isòtops estables mentre l'aigua arriba al sòl, travessa l'epicarst, goteja dins la cova i assoleix la superfície de l'estalagmita. Aquests són el temps de residència de l'aigua a l'epicarst, el grau d'interacció aigua-roca, la velocitat i la distància vertical de degoteig, la precipitació prèvia de la calcita, l'evaporació durant el degoteig, la desgasificació depenent de les concentracions de CO_2 i de variacions en la ventilació, i la temperatura a l'interior de la cova (Hendy, 1971; Tremaine *et al.*, 2011, entre d'altres).

Pel que fa als elements traça en espeleotemes, és força comú l'ús de les ràtios Mg/Ca i Sr/Ca. Les proporcions entre aquests elements també es poden veure afectades per alguns dels factors esmentats en el cas dels isòtops. Valors més alts de la ràtio Mg/Ca solen atribuir-se directament a períodes més secs (Fairchild *et al.*, 2000; Treble *et al.*, 2003).

Respecte dels avantatges que tenen els espeleotemes com a arxius paleoclimàtics, destaca la possibilitat d'emprar el mètode de datació per urani-tori, que proporciona cronologies precises i d'alta resolució. Els espeleotemes mostrats en aquest treball en són un bon exemple, ja que s'han pogut identificar tendències de la variabilitat climàtica seculars i fins i tot de dècades.

2. Context històric a les Balears durant els darrers mil·lennis

Els registres derivats de sediments marins i espeleotemes, els quals es mostraran en els capítols següents, cobreixen els darrers tres mil·lennis de l'Holocè tardà. Per a aquests darrers mil·lennis, s'han definit una sèrie de fluctuacions o períodes climàtics que no han estat sincrònics globalment, ni tampoc han estat uniformes a la regió mediterrània (Lionello, 2012). En aquest treball i per a la nostra zona d'estudi, aquests límits dels períodes climàtics han estat escollits tenint en compte aquells definits tradicionalment en la literatura (p. ex., Moreno *et al.*, 2012; Lirer *et al.*, 2013), així com també esdeveniments històrics de Menorca i Mallorca. I és que el clima i la caiguda o l'esplendor de les civilitzacions han anat de la mà.

D'aquesta manera, els períodes estudiats han estat definits com segueix: període talaiòtic (TP; des de 1100 fins a 123 BCE); període romà (RP; des de 123 BCE fins a 470 CE); alta edat mitjana o fosca edat mitjana (EMA; des de 470 fins a 900 CE), anomalia climàtica medieval (MCA; des de 900 fins a 1275 CE), petita edat de gel (LIA; des de 1275 fins a 1850 CE) i l'era industrial com el període més recent.

Les illes Balears van ser les últimes de tota la Mediterrània a ser colonitzades pels humans, i van quedar aïllades durant la major part de l'edat del bronze (Ramis, 2014). Investigacions arqueològiques suggereixen que el primer assentament humà a Mallorca va ocórrer durant ~3000 BCE (Ginés *et al.*, 2012). Des d'aleshores, s'han trobat restes funeràries tant a multitud de coves (Veny, 1982; Altamirano García i Alarcón García, 2018), com a diferents construccions, com les navetes (fig. 5). A la cova des Pas de Vallgornera (Mallorca), per exemple, han aparegut també restes d'espècies endèmiques de mamífers, com *Myotragus balearicus*, bòvid extint amb algun grau de parentiu amb els ovins, i se suggereix que la colonització humana en va promoure l'extinció (Bover i Alcover, 2003).



FIGURA 5. Diversos indrets de Mallorca i Menorca on les civilitzacions prehistòriques van deixar petjada. *a)* Cales Coves (Alaior, Menorca), on s'han trobat més d'un centenar de cavitats amb restes funeràries (Veny, 1982) i on recentment s'ha trobat el primer testimoni de cabells tenyits en rituals funeraris de l'edat del bronze (Altamirano García i Alarcón García, 2018). *b)* Naveta d'enterrament pretalaiòtica de Rafal Rubí (Alaior, Menorca). *c)* Talaiot del poblat de Son Fornés (Montuiri, Mallorca; Calvo i Guerrero, 2011). *d)* Poblament talaiòtic de la Torre d'en Galmés (Alaior, Menorca). *e)* Talaiot de Torelló (Maó, Menorca).

FONT: *a)* Fotografia pròpia (2018); *b)* fotografia pròpia (2018); *c)* Calvo i Guerrero (2011); *d)* fotografia pròpia (2018); *e)* Viquipèdia (<https://ca.wikipedia.org/wiki/Fitxer:TorellonetVell.jpg>).

El TP, equivalent en altres regions a l'anomenada *edat del bronze*, correspon a la cultura prehistòrica talaiòtica que va ocupar les illes de Menorca i Mallorca durant els anys 1100-123 BCE. Aital cultura deu la seva denominació als talaiots, construccions en forma de torre que es poden trobar aïllats o formant part dels poblats (fig. 5) i que constitueixen els elements més característics de l'arquitectura prehistòria de Menorca i Mallorca.

Hom diu que la prehistòria de les Balears acaba l'any 123 BCE amb la conquesta romana, que va durar fins a l'any 470 CE (De Cet *et al.*, 2012). Respecte de l'EMA, de manera històrica pròpiament es parla del *període vàndal* (455-534 CE) i del *període bizantí* (534-903 CE) (Cau, 2012). Durant l'MCA, a les Balears hi va haver esdeveniments històrics importants com expedicions freqüents per mar a

les illes, activitats de pirates, invasions i conquestes de les illes per part de musulmans i cristians.

El context climàtic fred de la LIA va anar acompanyat històricament de fets com la construcció prolífica de castells (hom anomena el segle XIII com el *segle dels castells*); la persecució d'heretges (Galileo Galilei inclòs) i la crema de bruixes per part de la Inquisició; una gran activitat marítima, i un important comerç d'esclaus. Tots aquests esdeveniments també van afectar les Balears (Colom, 2015), igual que ho va fer la pesta bubònica o negra.

D'aquesta manera, i donada la remarcable heterogeneïtat observada en els registres del planeta durant els diferents períodes dels últims 2K, queda palesa la dificultat d'entendre com els mecanismes que controlen el clima han funcionat i també la importància d'estudiar els patrons del passat en les diferents regions.

3. Condicions de superfície de la mar a la regió central de la Mediterrània occidental durant els darrers 2.700 anys

Els registres paleoclimàtics marins disponibles per als 2K a la Mediterrània no són gaire nombrosos i són més escassos tenint en compte només la regió occidental. D'altra banda, el conjunt existent de dades derivades d'indicadors marins dels 2K a la Mediterrània és, malauradament, massa dispers per poder reconèixer patrons comuns de variabilitat climàtica. Tot i això, s'han pogut observar alguns patrons, com el descrit a Roberts *et al.* (2012), que correspon a un balanç hidrològic entre la conca mediterrània occidental i oriental per als darrers 1.100 anys.

La mar Mediterrània ha estat considerada un «oceà a petita escala» (Stanley, 1972; Margalef, 1985), ja que es regeix per escales temporals i espacials reduïdes i pot ser utilitzada com a model per entendre el funcionament de processos i respostes de difícil abast amb les dimensions dels grans oceans. La conca occidental és la que té contacte directe amb l'oceà Atlàntic (a través de l'estret de Gibraltar). Per aital estret entra més aigua a la Mediterrània de la que en surt. Aquesta situació és el resultat de l'excés d'evaporació respecte de l'entrada d'aigua dels rius i de les precipitacions i, per tant, la Mediterrània esdevé una conca de concentració. D'aquesta manera, la salinitat augmenta notablement i afavoreix la formació d'aigües més denses i l'enfonsament consegüent. Aquesta circumstància condiciona que l'entrada d'aigua atlàntica a través de Gibraltar sigui per superfície (amb una salinitat més baixa) i la sortida d'aigua pròpia de la Mediterrània, per la part més profunda (p. ex., Malanotte-Rizzoli *et al.*, 2014). Cal destacar que la Mediterrània també actua com a regió de pèrdua de calor de l'oceà Atlàntic, ja que les aigües que surten de la Mediterrània per l'estret de Gibraltar són més fredes que les que hi entren (p. ex., Lionello, 2012; Schroeder *et al.*, 2012; Malanotte-Rizzoli *et al.*, 2014).

El patró general de circulació oceànica a la Mediterrània és predominantment ciclònic (Millot, 1999). Es defineixen tres àrees principals de formació d'ai-

gua intermèdia o profunda: *a*) el golf de Lleó, on es forma l'aigua fonda de la Mediterrània occidental; *b*) la conca levantina (part oriental de la mar Mediterrània), on es forma l'aigua intermèdia levantina (LIW), així com també l'aigua fonda levantina, i *c*) la mar Adriàtica, regió principal de formació de l'aigua fonda de la Mediterrània oriental (fig. 6).

L'aigua atlàntica, després d'entrar per Gibraltar, es va modificant progressivament a causa de la interacció aire-mar i la barreja de les aigües superficials, segons va avançant el seu viatge per la conca mediterrània (Send *et al.*, 1999). Aquesta aigua atlàntica modificada ocupa una capa de fondària variable, però no supera mai els 150 m. A la conca oriental també es pot detectar, però ja molt barrejada i fins a una fondària d'uns 50 m. A la nostra àrea d'estudi (nord de l'illa de Menorca), l'aigua atlàntica modificada arriba mitjançant el corrent balear, el qual avança cap al nord a través de la mar catalanobalear després d'haver-se separat del denominat *corrent del nord*. Aital corrent circula paral·lelament a la costa des del mar Lìgur, banya el golf de Lleó i la costa catalana fins a la mar d'Alborà (fig. 7). Al nord-est del promontori balear, un front oceanogràfic superficial separa l'aigua mediterrània transportada pel corrent del nord de l'aigua atlàntica modificada situada més al sud i que porta menys temps a la Mediterrània (Millot, 1999).

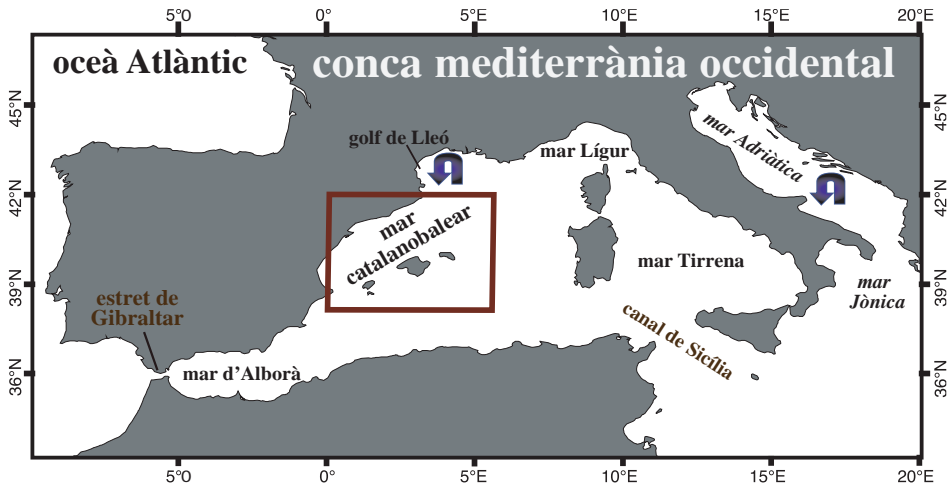


FIGURA 6. Mapa de la conca mediterrània occidental. S'hi indiquen els topònims de les subconques principals (en cursiva els que pertanyen a la conca oriental). El requadre vermell indica l'àrea efecte d'estudi. Les fletxes en blau fosc fan referència a les zones de convecció profunda: el golf de Lleó, on es forma l'aigua fonda de la Mediterrània occidental, i la mar Adriàtica, regió principal de formació de l'aigua fonda de la Mediterrània oriental.

FONT: Elaboració pròpia.

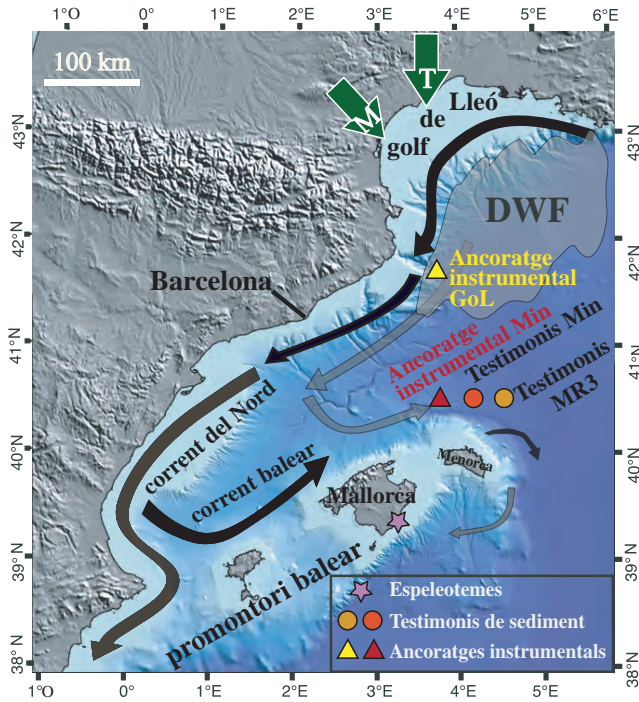


FIGURA 7. Àrea d'estudi a la Mediterrània centroccidental o mar catalanobalear. S'hi indiquen els principals trets climàtics i oceanogràfics: els vents tramuntana i mestral (T i M; fletxes verdes); circulació oceanogràfica superficial (fletxes negres) i profunda (fletxes grises); l'àrea ombrejada al golf de Lleó indica de manera aproximada la regió on té lloc la formació d'aigua profunda (DWF). Aquesta formació pot ser el resultat de la suma de dos processos: la convecció en mar obert i les cascades d'aigua densa de la plataforma. També s'hi representa la localització dels dos ancoratges instrumentals profunds, dels dos sets de testimoni de sediment i de les dues coves d'on provenen els cinc espeleotemes estudiats.

FONT: Elaboració pròpia.

Les condicions ambientals de la superfície de la mar dels darrers 2.700 anys han estat estudiades mitjançant cinc testimonis de sediment provinents de dues localitats (testimonis MIN i MR3), mostrejats a un promontori de sediment format per l'acció de la branca que va cap al sud de l'aigua fonda de la Mediterrània occidental, al nord de Menorca (fig. 7). Es va emprar un sistema multimostrejador de testimonis de sediment (en anglès *multicorer*) en dues estacions diferents situades aproximadament a 50 km al nord de Menorca i a més de 2.000 m de profunditat.

La distància entre els testimonis MIN i MR3 és de ~30 km i ambdues estacions estan situades a una posició intermèdia del promontori de sediment, el

qual s'estén en un rang de profunditats de 2.000-2.700 m (Frigola, 2012; Mauffret, 1979). Els testimonis MIN van ser agafats en una localització 300 m més profunda que la dels testimonis MR3 (fig. 7).

Els testimonis MIN van ser mostrejats homogèniament a una resolució de 0,5 cm al laboratori. Els testimonis MR3 van ser mostrejats a una resolució de 0,5 cm per als primers 15 cm i a 1 cm, per a les seccions més profundes, amb excepció del testimoni MR3.1B, el qual es va mostrear cada 0,25 cm. La composició dels MR3 presentava argiles llimoses marró taronja amb foraminífers i nanofòssils, les quals indicaven una bioturbació lleugera i contenien capes enriquides en pteròpodes i fragments de gasteròpodes, així com també capes més fosques.

Per als models d'edat dels testimonis de sediment, s'ha emprat una metodologia basada en múltiples indicadors, com són el radiocarboni, els radionúclids ^{210}Pb i ^{137}Cs i l'element Mn. Respecte a les anàlisis de radiocarboni, es van mesurar 12 datacions de ^{14}C AMS, utilitzant mostres de 4-22 mg del foraminífer planctònic *Globorotalia inflata*, els espècimens del qual van ser seleccionats manualment de la fracció > 355 μm . Les concentracions del radionúclid natural ^{210}Pb van ser determinades per espectrometria alfa (Sanchez-Cabeza *et al.*, 1998). Les concentracions del radionúclid antropogènic ^{137}Cs al testimoni MIN1 van ser mesurades per espectrometria gamma mitjançant un detector intrínsec de Germani d'alta puresa. El perfil de Mn va ser obtingut mitjançant l'anàlisi de la composició elemental amb un sistema d'escaneig de testimonis Avaatech de fluorescència de raigs X (XRF) al Laboratori d'anàlisi no destructiva de materials geològics (CORELAB) de la Universitat de Barcelona. El mostreig es va dur a terme a cada centímetre i l'escaneig va tenir lloc a la superfície de la secció del testimoni directament.

En primer lloc, s'han reconstruït les SST derivades de la ràtio Mg/Ca analitzada al foraminífer planctònic *Globigerina bulloides* (fig. 4; Cisneros *et al.*, 2016). També s'ha treballat amb els canvis en el balanç evaporació-precipitació regional, reconstruïts a partir de la combinació de la ràtio Mg/Ca i mesures de $\delta^{18}\text{O}$ sobre el mateix foraminífer. Els espècimens del foraminífer planctònic *G. bulloides* van ser seleccionats de la fracció 250-355 μm , i aixafats i netejats separatament per les anàlisis de Mg/Ca i $\delta^{18}\text{O}$. Pel que fa a la ràtio Mg/Ca, i per avaluar la variabilitat interna dels resultats de les anàlisis, hom ha comparat els obtinguts en les dues seccions del testimoni MR3.1 (MR3.1A i MR3.1B), les quals es van analitzar per separat. La variabilitat interna mitjana obtinguda entre aquests registres de Mg/Ca ha estat de $\pm 0,09$ mmol mol $^{-1}$, aproximadament equivalent a < 0,15 °C i molt propera a les dades publicades per Elderfield *et al.* (2002).

Un dels grans reptes de la paleoceanografia és la validació i el calibratge dels indicadors amb mesures empíriques que enforteixin les quantificacions de la intensitat dels canvis del passat. En aquest treball s'ha fet un esforç en aquesta direcció, revisant el calibratge de SST a partir de mesures de Mg/Ca en *G. bulloides*

de mostres superficials de sediments de la Mediterrània occidental. Aquest estudi ha permès, a partir de l'anàlisi de dades oceanogràfiques regionals, establir que la ràtio Mg/Ca a *G. bulloides* reflecteix principalment condicions de SST primaverals. En aquest punt, cal notar que el rang de SST obtingudes en calibratges previs no reflectia condicions oceanogràfiques coherents per a la zona d'estudi.

Els resultats de Mg/Ca-SST s'han pogut contrastar amb reconstruccions de SST basades en l'anàlisi d'alquenones en els mateixos testimonis, compostos que segons diverses interpretacions reflecteixen principalment el senyal anual. La interpretació de l'evolució de les SST s'ha centrat en l'anàlisi d'una corba composta (en anglès *stack*) construïda a partir de l'apilament dels registres individuals dels cinc testimonis esmentats més amunt. Aquesta estratègia permet obtenir una bona representació de les estructures més robustes i eliminar possibles oscil·lacions inferiors representades pobrament a escala regional.

Tant el registre de la corba composta de Mg/Ca-SST com el derivat de les alquenones mostren consistentment una tendència cap al refredament al llarg del període estudiat. Des del màxim de les SST fins a l'RP, aquest refredament presenta valors compresos entre $1,7-2,0 \pm \text{C}^\circ \text{ka}^{-1}$ en el registre de Mg/Ca, i és menys pronunciat en el cas de les alquenones ($1,1 \pm \text{C}^\circ \text{ka}^{-1}$). La tendència cap al refredament és coherent amb la disminució de la insolació estival (fig. 8). El refreda-

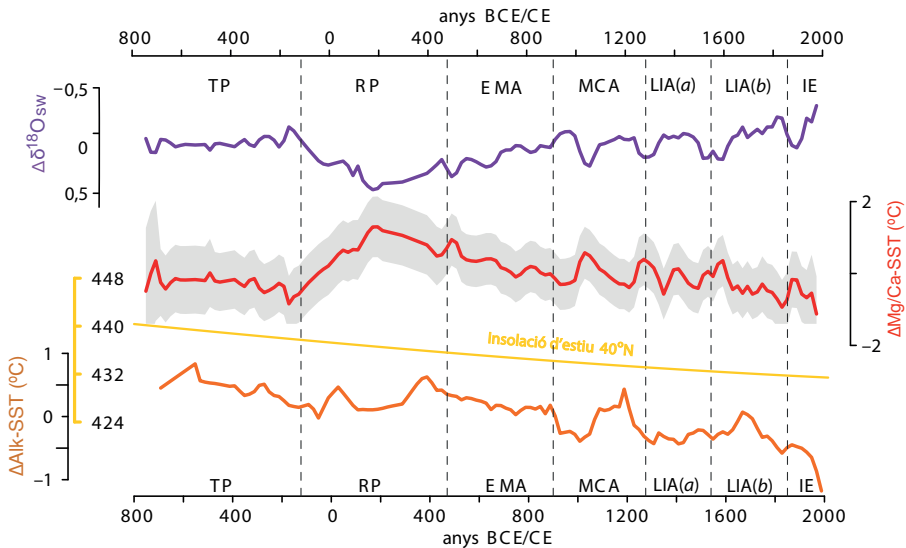


FIGURA 8. Registres de les corbes compostes de les anomalies de les temperatures de la mar superficial (SST; obtingudes a partir de Mg/Ca i alquenones) i $\delta^{18}\text{O}$, i la insolació d'estiu a 40° de latitud nord (Steinhilber *et al.*, 2009 i 2012).

FONT: Elaboració pròpia.

ment general és interromput de manera puntual per oscil·lacions de SST d'escala multiseccular.

Segons la corba composta obtinguda amb les SST-Mg/Ca, el període càlid més sostingut va tenir lloc durant l'RP. Durant l'EMA el refredament va ser progressiu, mentre que durant l'MCA hi va haver una variabilitat pronunciada, amb dues fases d'escalfament intens que assoleixen SST més càlides que a la LIA. Aquest últim període és molt inestable i fred, amb un primer subperíode més càlid i amb oscil·lacions de SST més grans (LIAa), i un segon subperíode més fred i amb oscil·lacions inferiors (LIAb). Aquests dos subperíodes de la LIA es diferencien millor en el registre de Mg/Ca-SST que en el de les alquenones. La comparació entre els registres de Mg/Ca-SST i de $\delta^{18}\text{O}_{\text{sw}}$ en closques de *G. bulloides* indica que, en general, a les fases més càlides el balanç evaporació-precipitació assolía valors més alts (fig. 8).

4. Condicions de la mar profunda a la regió central de la Mediterrània occidental durant els darrers 2.700 anys

Actualment, la formació d'aigua fonda (DWF) que té lloc a la Mediterrània occidental, i particularment al golf de Lleó, dona origen gairebé cada hivern a l'aigua fonda de la Mediterrània occidental (fig. 7). Aquesta DWF és fruit de la interacció de dos processos oceanogràfics: la formació i l'enfonsament de cascades d'aigua densa de plataforma (en anglès *cascading*) i la convecció a mar obert (MEDOC Group, 1970; Canals *et al.*, 2006; Durrieu *et al.*, 2013; entre d'altres). Els dos processos són causats per intercanvis intensos de calor entre la mar i l'atmosfera, induïts per vents de component N-NO freds, secs i persistents (tramuntana i mestral).

L'aigua fonda de la Mediterrània occidental és un dels components principals de la circulació termohalina mediterrània, es troba per sota de l'aigua intermèdia llewantina i contribueix parcialment en les característiques de l'aigua que surt de la Mediterrània (Stommel *et al.*, 1973; Lionello *et al.*, 2006). La seva temperatura oscil·la entre 12,75-12,90 °C i la salinitat entre 38,40-38,48 g/kg. L'aigua fonda de la Mediterrània occidental és principalment renovada pel procés de convecció a mar obert, però la contribució de cascades d'aigües denses des de la plataforma ha estat també proposada per diversos estudis (Bethoux *et al.*, 2002; Puig *et al.*, 2013; Durrieu de Madron *et al.*, 2013). En originar-se al golf de Lleó, una branca es dirigeix cap al sud i en trobar-se amb el promontori balear gira cap a l'est (fig. 7). Cal destacar que també s'han descrit altres tipus d'aigües secundàries (Salat i Font, 1985), com l'aigua intermèdia occidental d'hivern, que es forma prop del talús continental de la costa nord de la Mediterrània occidental durant l'hivern.

Hi ha dos factors principals que semblen explicar més del 70% de la variació interanual de la DWF: *a)* la variabilitat interanual de la pèrdua de flotabilitat a l'hivern induïda per la pèrdua de calor; *b)* el preconditionament de la columna

d'aigua abans de la convecció, principalment promoguda pel contingut de calor i sal de les capes superficials (Somot *et al.*, 2016). Les propietats de les masses d'aigua a la conca occidental poden estar també relacionades amb les variacions de les característiques de les aigües superficials i intermèdies com les atlàntiques i l'aigua intermèdia llevantina (Schroeder *et al.*, 2011; Somot *et al.*, 2016; Estournel *et al.*, 2016).

El procés de formació de cascades d'aigües denses de plataforma (Canals *et al.*, 2006) té lloc a la plataforma continental i, de vegades, poden descendir pel talús fins al fons de la conca, i interaccionar amb la convecció en mar obert i enfonsar grans volums d'aigua i sediments (Bethoux *et al.*, 2002; Durrieu de Madron *et al.*, 2013 i 2017). Les aigües denses formades per convecció en mar obert i per cascades d'aigües denses de plataforma poden interactuar i coexistir durant alguns anys (p. ex., Mertens i Schott, 1998; Durrieu de Madron *et al.*, 2013 i 2017). Nogensmenys, hi pot haver esdeveniments més importants de convecció en mar obert sense que l'aportació per enfonsament d'aigües denses des de la plataforma hagi estat notable (Durrieu de Madron *et al.*, 2017).

Les condicions de la mar properes al fons del passat van ser avaluades mitjançant la caracterització de la mida de gra als dos testimonis de sediment MIN. També es van emprar dades derivades de dos ancoratges instrumentals (en anglès *moorings*) fondejats en aigües profundes del golf de Lleó i el nord de l'illa de Menorca, respectivament, i equipats amb trampes de sediment, correntòmetres i sensors de temperatura. L'ancoratge instrumental del golf de Lleó va ser desplegat al marge, a l'eix del canó del cap de Creus a 968 m de profunditat i situat a 23 m sobre el fons de la mar (més detalls a Sanchez-Vidal *et al.*, 2015). L'altre ancoratge instrumental va ser desplegat al promontori de sediment construït per l'acció de la branca de l'aigua fonda de la Mediterrània occidental que va cap al sud, al nord de Menorca i a 2.052 m de profunditat (fig. 7).

La mida de gra es va analitzar a les fraccions total i no carbonatada dels testimonis MIN (a una resolució de 0,5 cm) i a les partícules decantades i recollides per les trampes de sediments dels ancoratges instrumentals, emprant un analitzador de la mida de partícules per difracció làser (Coulter LS230 Laser Diffraction Particle Size Analyser). Les mostres, un cop assecades, van ser oxidades amb una solució al 10 % d'aigua oxigenada, per tal de remoure'n la matèria orgànica, prèviament a l'anàlisi per obtenir-ne la fracció total. La distribució de la mida de gra de les partícules lítiques va ser obtinguda després de tractar les mostres destinades a la fracció descarbonatada amb àcid clorhídric. Al testimoni MIN2, van ser analitzades tant la fracció total com la descarbonatada, mentre que al MIN1, el testimoni més llarg, només es va analitzar la fracció total. A les mostres provinents de les trampes de sediment també es van analitzar ambdues fraccions (Cisneros *et al.*, 2019).

La fracció total del sediment integra la fracció lítica, incloent carbonats detrítics, així com també carbonats representatius de la producció biològica local. Per aquesta raó, es considera que la fracció descarbonatada representa millor la intensitat dels corrents de fons, ja que el senyal de la producció pelàgica ha estat remoguda amb els carbonats (McCave *et al.*, 1995). Tot i això, l'eliminació dels carbonats també afecta aquells d'origen detrític, la majoria fins i, consegüentment, els percentatges de la mida de gra de la fracció descarbonatada mostren sovint valors més alts, degut a l'efecte de l'aproximació al 100%. A més, les diferències entre les fraccions total i descarbonatada del mateix testimoni poden també ser afectades per distincions al llarg del testimoni en el contingut de carboni.

La interpretació de la mida de les partícules es basa principalment en la fracció més gran de 10 μm (fracció UP10). L'indicador UP10 integra el percentatge de volum de la fracció de la mida de gra més gran de 10 μm i ja ha estat prèviament emprat com a indicador de la variabilitat dels corrents profunds en la nostra àrea d'estudi (Frigola *et al.*, 2007). Altres indicadors de la mida de gra diferents de l'UP10 sovint són usats en la literatura per estudiar la intensitat dels corrents d'aigua profunda, com és el cas de la fracció de «llims seleccionats» (McCave *et al.*, 1995) i la ràtio llim/argila (Hall i McCave, 2000). La primera fracció esmentada (10-63 μm) és definida com la fracció més gran dels llims amb un comportament no cohesiu durant el transport i la deposició (McCave *et al.*, 1995). Per tant, ni la fracció de «llims seleccionats» ni la ràtio llim/argila tenen en compte la subpoblació de sorra fina ($> 63 \mu\text{m}$), la qual sí que és integrada a la fracció UP10, que pot ser retreballada per corrents de contorn intensos (Frigola *et al.*, 2007 i 2008). No obstant això, els resultats dels tres indicadors de la mida de gra dels dos testimonis de sediments i de les mostres de les trampes de sediments són comparables (Cisneros *et al.*, 2019).

La validesa de l'indicador UP10 per reconstruir canvis en la intensitat de la DWF en el passat ha quedat reforçada en aquest estudi per un seguit de dades oceanogràfiques obtingudes *in situ* entre l'octubre del 2012 i l'octubre del 2014 mitjançant els dos ancoratges instrumentals profunds. Aquestes dues línies instrumentades profundes mostren augments de la velocitat dels corrents marins profunds contemporanis amb episodis de cascades d'aigües denses de plataforma i de convecció a mar obert durant el febrer del 2013. L'anàlisi de la mida de gra de les partícules sedimentàries recollides amb les trampes de sediments instal·lades als ancoratges van revelar l'aparició de sorres amb una moda granulomètrica (40-100 μm) pròpia de les mostres relacionades amb esdeveniments de formació d'aigua fonda. Aquest tret granulomètric és coherent amb l'obtingut a les mostres de testimonis de sediments amb valors elevats d'UP10 atribuïdes, consegüentment, a episodis d'augment de la velocitat dels corrents de fons (fig. 9).

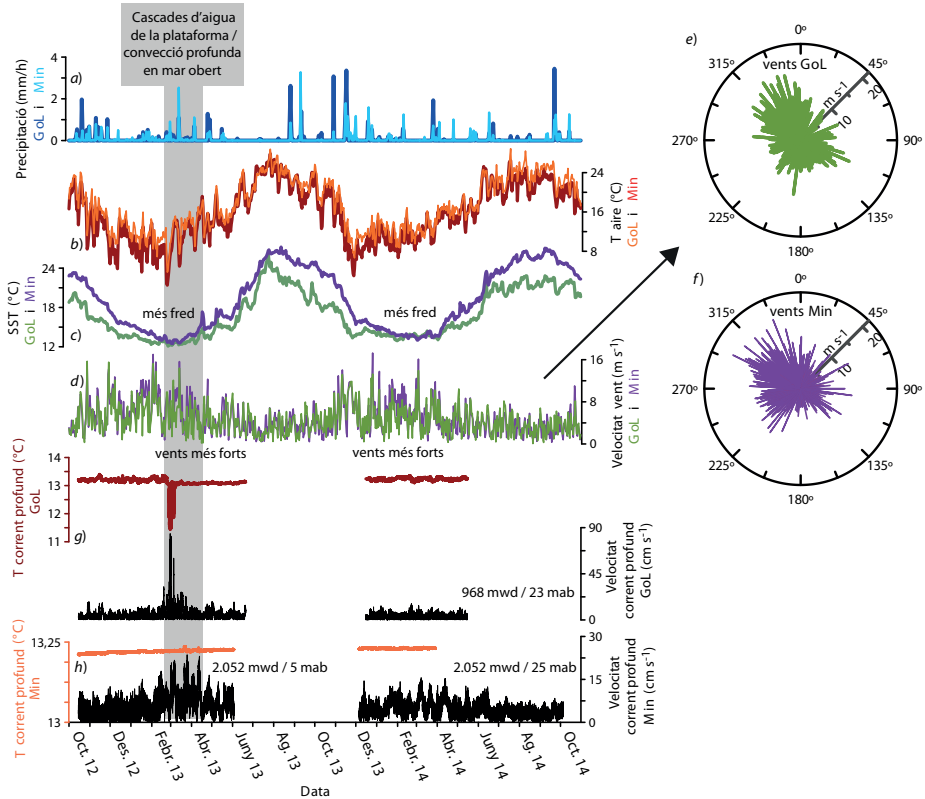


FIGURA 9. Condicions meteorològiques i dades dels ancoratges instrumentals mesurades durant l'octubre del 2012 i l'octubre del 2014 al golf de Lleó (GoL) i al nord de Menorca (Min). Dades meteorològiques: a) precipitació al golf de Lleó (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/in>) i a l'illa de Mallorca (www.balearsmeteo.com/sant_lorenzo); b-f) temperatures de l'aire, temperatures de la mar superficial (SST), velocitat i direcció del vent al GoL i al Min (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/in>). Dades oceanogràfiques obtingudes a partir dels ancoratges instrumentals: g-h) temperatura i velocitat dels corrents propers al fons en cada lloc dels ancoratges instrumentals. S'hi indica la profunditat a la qual es troba cada ancoratge en metres (mwd), així com també els metres sobre el fons de la mar (mab). L'àrea vertical ombrejada indica el període de formació de l'aigua fonda de la Mediterrània occidental produïda pels processos de cascades d'aigua densa de la plataforma i de convecció profunda en mar obert.

FONT: Modificada a partir de Cisneros *et al.* (2019).

El registre de formació d'aigua fonda per als últims 2.500 anys obtingut a partir de sediments del nord de Menorca indica que els esdeveniments més forts van ocórrer durant intervals relativament càlids, com l'RP, el final de l'MCA i la primera part de la LIA. En canvi, les dades indiquen una reducció progressiva de la convecció durant l'EMA, la qual acaba resultant en esdeveniments més febles

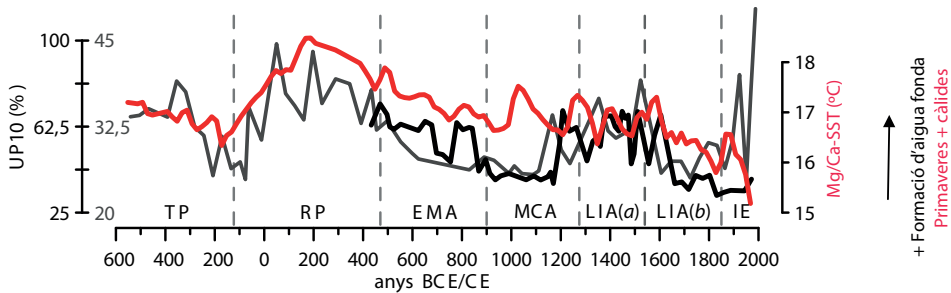


FIGURA 10. Comparació de les reconstruccions de la temperatura de la mar superficial (SST) i de la formació d'aigua fonda a la regió central de la Mediterrània occidental per als darrers 2.600 anys. En vermell: SST-Mg/Ca; corba composta. En negre i gris: formació d'aigua fonda reconstruïda mitjançant l'indicador UP10 (fracció de la mida de gra > 10 μm).

FONT: Elaboració pròpia a partir de Cisneros *et al.* (2016) (en vermell) i Cisneros *et al.* (2019) (en negre i gris).

de DWF durant la major part de l'MCA. Esdeveniments intensos de DWF apareixen majoritàriament associats a períodes d'increment del balanç evaporació-precipitació, i no tant a la pèrdua de flotabilitat provocada pel refredament hivernal de les aigües superficials. Els resultats suggereixen que les SST càlides durant els mesos de primavera haurien pogut tenir un paper important en l'increment del balanç evaporació-precipitació, afavorint la pèrdua de flotabilitat de les aigües de superfície degut a l'increment induït de la seva salinitat (fig. 10).

La comparació de la nova reconstrucció de formació d'aigua fonda amb altres registres oceanogràfics i climàtics indica situacions diferents abans i després de l'EMA. Abans de l'EMA, és a dir, durant el TP i l'RP, els episodis intensos de formació d'aigua fonda a la nostra àrea d'estudi van coincidir amb bones ventilacions de l'aigua intermèdia llevantina a la conca mediterrània oriental i fases positives de la NAO. Després de l'EMA, durant l'MCA i la LIA, hom observa tendències oposades en el mode d'operació de les cel·les de convecció de les conques occidental i oriental, la qual cosa és coherent amb resultats previs tant de reconstruccions hidroclimàtiques a la Mediterrània com de mesures instrumentals. D'això es desprèn l'existència d'un balanç climàtic (*seesaw*) est-oest a la mar Mediterrània. Els resultats palesen, per una banda, el caràcter complex de la relació entre el registre de formació d'aigua fonda i la reconstrucció de la NAO, particularment durant els últims 1.500 anys i, per una altra banda, les dificultats d'acotar els factors que desencadenen els canvis en la formació d'aigua fonda, canvis provocats probablement per interaccions i intensitats diferents en els patrons atmosfèrics com la NAO (Cisneros *et al.*, 2019).

5. Variabilitat hidroclimàtica

Els registres continuats d'espeleotemes per a la Mediterrània occidental i per als darrers 3.000 anys són escassos, tot i que el potencial paleohidrològic d'aquest tipus d'arxius per a la nostra àrea d'estudi ha estat provat per alguns estudis previs (Comas-Bru *et al.*, 2016; Dumitru *et al.*, 2017). Aquest tercer treball sobre variabilitat hidroclimàtica està basat principalment en cinc estalagmites, de les quals quatre corresponen a la cova Sa Balma des Quartó i una a les coves des Pirata. Ambdues coves es troben al sud-est de l'illa de Mallorca i estan formades per calcàries del Miocè superior (fig. 7; Ginés *et al.*, 2014). Actualment, el paisatge que les envolta consisteix en un bosc format per vegetació mediterrània (fig. 11), no gaire alterat per activitats antròpiques. Nogensmenys, ambdues coves semblen haver estat pretèritament utilitzades per éssers humans.

La cova Sa Balma des Quartó es pot dividir en dues zones genèticament diferenciades: l'externa, o balma, i la gran sala interior, o sala de Sa Calavera. Ambdues zones presenten mostres d'usos per part d'éssers humans: la balma presenta símptomes clars de modificacions (com murs de pedra seca que formen compartiments) i la sala interior es va fer servir com a lloc d'enterrament des de temps prehistòrics. L'accés a la cavitat consisteix en un forat petit i vertical a la roca exterior (fig. 12b), i durant les estacions fredes és quan la cova està més ventilada, en contraposició a la ventilació inferior durant les etapes càlides. Probablement, en temps ja més recents i quan es va compartimentar la balma, l'accés a la cavitat es va tancar amb pedres per tal d'evitar que hi penetressin animals domèstics, així com també evitar el risc d'accidents (fig. 12).

La gran sala interior o sala de Sa Calavera té el seu fons a 10,5 m per sobre del nivell de la mar i a 12,5 m de la superfície. Aquesta gran sala interior va ser formada per col·lapse i es poden trobar grans blocs caiguts del sostre coberts (fig. 13c), molts dels quals per colades de calcita. La sala té una rica decoració



FIGURA 11. Boscos mediterranis i màquies que envolten ambdues coves. S'hi poden trobar exemplars de tortugues mediterrànies (*Testudo hermanni*). Les espècies vegetals són escleròfiles i hi podem trobar arbres com l'alzina (*Quercus ilex*), diferents tipus de pins i arbusts com el llestiscle (*Pistacia lentiscus*) o del gènere *Juniperus* (Bolòs, 1996).

FONT: Elaboració pròpia.

d'espeleotemes i hi destaquen abundants estalactites fistulars (anomenades informalment *macarrons*; fig. 13d) de longitud considerable. És destacable la colada parietal en forma de cascada al centre de la sala, a la zona més elevada, la qual forma una petita saleta. Tant a les parets de la sala de Sa Calavera com als blocs caiguts de les roques miocèniques, es poden observar fòssils d'equinoderms de grans dimensions, pectínids i ostreïds (fig. 13e).

Les coves des Pirata van ser parcialment preparades per rebre visites turístiques a finals del segle XIX, tot i que alguns grafitos trobats dins alludeixen a l'any 1614 CE (Pasqual i Nicolau, 2006). Les coves des Pirata, juntament amb la cova des Pont i la cova de sa Piqueta, formen part d'un sistema d'una longitud actual de 3.020 m, dels quals 1.190 m són subaquàtics. El topònim de la cova fa referència a una llegenda que explica que un pirata ferit va trobar refugi en aquesta cavitat mentre esperava reunir-se amb els seus companys, però algunes persones de molta edat de Manacor coneixen la cavitat amb el nom de *cova de Ses Vistes* (Gràcia *et al.*, 2006). L'estalagmita estudiada d'aquesta cova va ser trobada a la porció del sud, que és la més gran i presenta una ornamentació destacada d'estalagmites i columnes de grans dimensions (Gràcia *et al.*, 2006). Dins la cova es poden trobar diversos llacs situats a l'altura del nivell freàtic (-32 m respecte de l'entrada).

Les cinc estalagmites estudiades han estat anomenades de la manera següent: Feni, Ciara, Multeix i Seán (de la cova Sa Balma) i Constantine (de la cova des

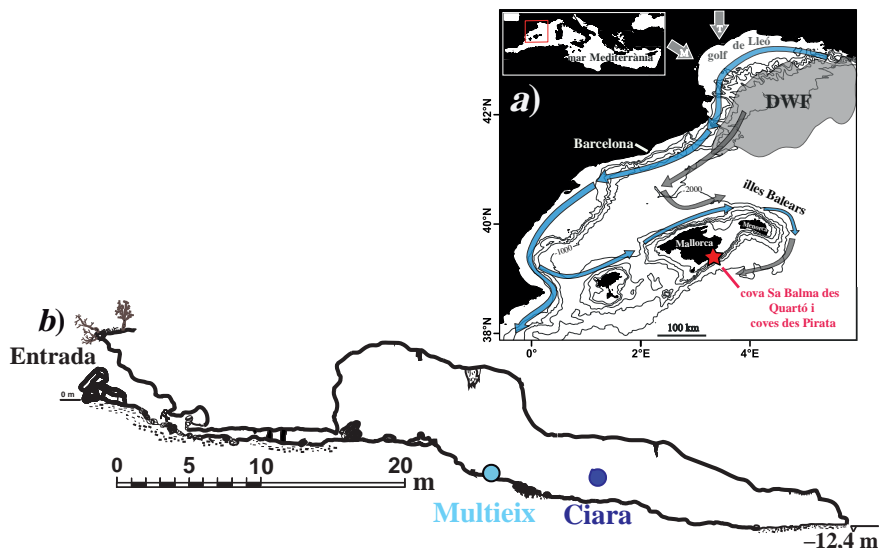


FIGURA 12. a) Mapa de situació de les coves a l'illa de Mallorca respecte de la Mediterrània occidental. També s'hi indica la circulació oceanogràfica superficial (fletxes blaves) i profunda (fletxes grises), els vents tramuntana (T) i mestral (M) i la regió on té lloc la formació de l'aigua profunda (DWF). b) Perfil longitudinal de la cova Sa Balma des Quartó. S'hi indica la possible posició de l'estalagmita Multieix i on va créixer l'estalagmita Ciara.

FONT: a) Elaboració pròpia; b) adaptada a partir de Bermejo *et al.* (2014).

Pirata). Pel que fa a Feni (15,5 cm de longitud), Multieix (30,5 cm de longitud), Seán (12 cm de longitud) i Constantine (9 cm de longitud) van ser trobades recolzades al terra de llurs respectives coves. És molt probable que l'estalagmita Multieix estigués a prop de la seva base, ja que la morfologia i longitud són similars a aquelles observades en les estalagmites que encara romanen actives a la mateixa àrea de la cova. Respecte a Ciara (42,5 cm de longitud), va créixer a la cambra principal de Balma (fig. 12b).

Respecte als models d'edat desenvolupats per a les estalagmites, es van fer un total de 61 datacions, emprant el mètode de datació per urani-tori i seguint un procediment químic per separar ambdós elements similar al descrit per Edwards *et al.* (1987). Excepte les datacions de l'estalagmita Constantine, les mostres les van preparar als laboratoris de la Universitat de Minnesota i van ser mesurades amb multicol·lector ICP-MS (Neptune Thermo Finnigan). Els models d'edat van ser fets utilitzant les datacions per urani-tori i fent servir el paquet Bchron (Parnell *et al.*, 2008) al programari lliure R.

Així mateix, també es van estudiar la composició mineralògica, l'estructura interna, la composició química elemental i els elements traça i isòtops estables de

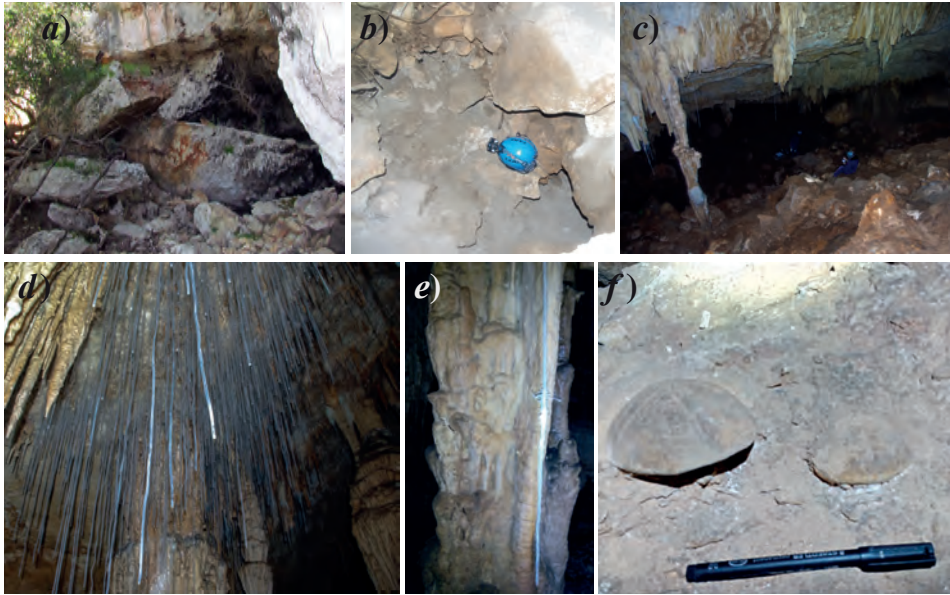


FIGURA 13. Imatges de la cova Sa Balma des Quartó. *a)* Zona externa o balma. *b)* Accés a la cavitat. *c)* Blocs caiguts a la gran sala interior o sala de Sa Calavera. *d)* Estalactites fistulars. *e)* Colada parietal. *f)* Equinoderms fòssils del gènere *Clypeaster* sp. continguts a les roques miocèniques. FONT: Elaboració pròpia.

les estalagmites. La composició mineralògica, duta a terme per difracció de raigs X, ens pot ajudar a distingir entre la presència d'aragonita o de calcita, de la qual cosa es pot derivar informació climàtica del moment en què va créixer l'estalagmita. En el nostre estudi no es va detectar aragonita a l'estalagmita analitzada amb aquesta tècnica (Multieix).

L'estructura interna es va estudiar mitjançant l'observació de les fàbriques i l'escaneig per microtomografia computeritzada (en anglès *micro-computed tomography*). Després de tallar longitudinalment les estalagmites en dues meitats, es van estudiar les fàbriques de la part axial d'aquestes meitats i es van observar al microscopi òptic les làmines primes. També es van fer algunes «làmines primes» emprant acetat (Feldmann *et al.*, 1989). Pel que fa a l'escaneig per microtomografia computeritzada, fins al moment són pocs els estudis que han avaluat el potencial d'aquesta tècnica en estalagmites relacionat amb anàlisis petrogràfiques i reconstruccions climàtiques (Mickler *et al.*, 2006; Vanghi *et al.*, 2015; Walczak *et al.*, 2015; Martínez-Pillado *et al.*, 2020). Aquesta tècnica va ser emprada a l'estalagmita Seán al voltant del centímetre 6, on un horitzó de material al·logènic pot ser observat a simple vista. A l'estalagmita Seán també es va estudiar la com-

posició qualitativa elemental mitjançant un sistema d'escaneig de testimonis Avaatech de fluorescència de raigs X al CORELAB de la Universitat de Barcelona. L'escaneig es va fer directament a la meitat de l'estalagmita a una resolució de 200 μm . Cal destacar la troballa inèdita derivada de les mesures de color de les fotografies d'alta resolució fetes a la mateixa estalagmita. La figura 14 assenyala la presència d'un gasteròpode, que curiosament va quedar encastat dins de l'estalagmita. Aquesta troballa a la capa detrítica enriquida en Ti a l'estalagmita Seán, juntament amb la descripció de les fàbriques, s'ha interpretat com una evidència d'una inundació extraordinària associada a un esdeveniment extrem de pluja abans de l'any 1622 CE, dins la LIA. Alguns estudis previs basats en fonts històriques apunten inundacions remarcables a l'illa de Mallorca durant el segle XVII i, particularment, durant la tardor dels anys 1618, 1620, 1635, 1655 i 1683 (Campaner, 1881).

Pel que fa a les mostres per a les anàlisis de $\delta^{18}\text{O}$, $\delta^{13}\text{C}$ i elements traça, van ser microperforades a una resolució d'1 mm al llarg de l'eix de creixement de les estalagmites. Les més de mil mostres destinades pels isòtops estables es van mesurar mitjançant un espectròmetre de masses. D'altra banda, les ràtios d'elements

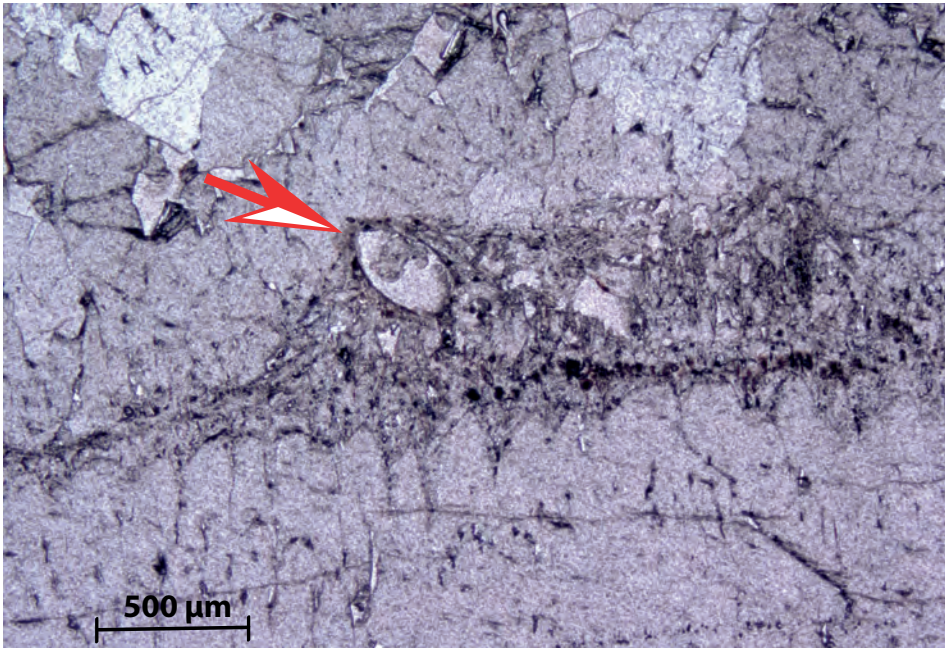


FIGURA 14. Fotografia de les fàbriques de l'estalagmita Seán formades abans de l'any 1622. La fletxa vermella indica la presència d'un gasteròpode.

FONT: Elaboració pròpia.

traça de més de mil mostres es van mesurar en un espectròmetre de masses de plasma inductivament acoblat als Serveis Científicotècnics de la Universitat de Barcelona.

A la pràctica, hom procura salvar la notable complexitat de factors que intervenen en els senyals isotòpics i d'elements traça en espeleotemes, i també les mancances dels coneixements actuals sobre el funcionament dels sistemes càrstics (Fairchild i Baker, 2012), mitjançant el monitoratge de les cavitats (fig. 15) durant períodes de temps de certa durada (Tremaine *et al.*, 2011). Es pot arribar a entendre així com i per què varien les dinàmiques característiques de cada cova, com ara la ventilació segons l'estació de l'any. Aquest coneixement és fonamental per entendre com queda preservat el senyal climàtic als espeleotemes.

La validesa de les cinc estalagmites mallorquines per proveir informació hidroclimàtica ha estat confirmada per la metodologia combinada de tots els indicadors esmentats, així com també pel monitoratge de la cova. Els valors de $\delta^{18}\text{O}$ més enriquits en l'isòtop pesat han estat interpretats com indicadors de condicions més seques, mentre que els empobriments s'han associat a condicions més humides. La integració dels registres derivats de les cinc estalagmites ha permès elaborar la primera reconstrucció regional de la variabilitat hidroclimàtica per als últims 2.700 anys, només amb una interrupció de 250 anys al final de l'MCA i

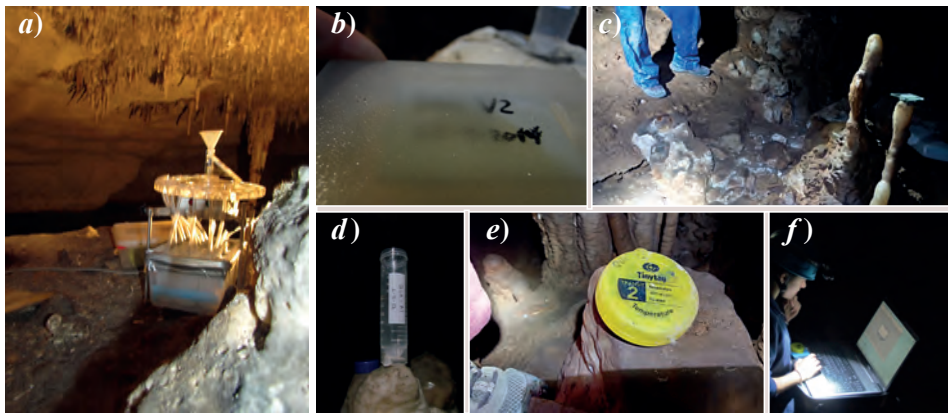


FIGURA 15. Fotografies del monitoratge dut a terme a coves de Mallorca entre els anys 2015-2019. *a)* Multicollector d'aigües. *b)* Vidre amb deposició de carbonat a les coves del Drac. *c-f)* Monitoratge a la cova Sa Balma des Quartó. Estacionalment s'han recollit dades de precipitació de carbonats a estalagmites actives (*b* i *c*), d'aigua de degoteig (*a* i *d*) i de temperatura (*e* i *f*), entre d'altres. A cada canvi d'estació es visitava les cova per tal de mesurar-ne la temperatura, la humitat i la quantitat de diòxid de carboni, així com també recollir mostres de carbonat càlcic i aigua dels degoteigs seleccionats.

FONT: Elaboració pròpia a partir de fotografies extretes de Cisneros (2019).

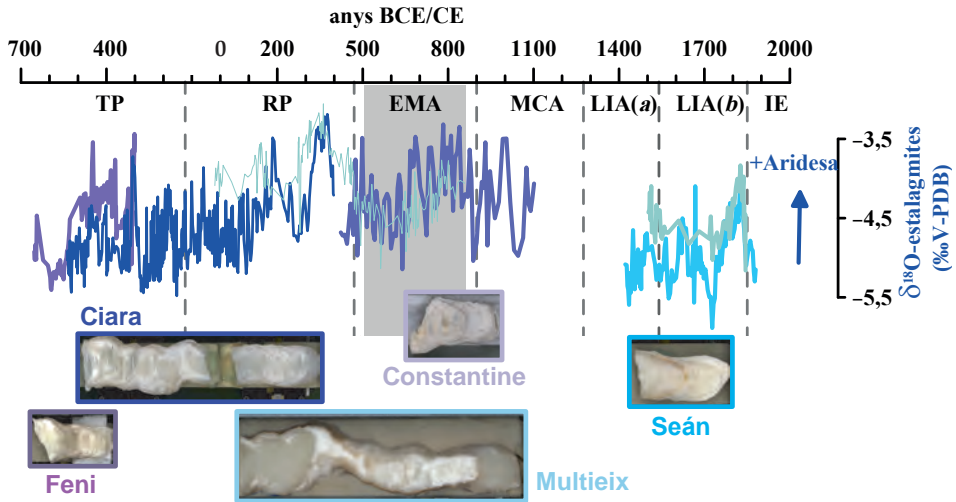


FIGURA 16. Fotografies de les estalagmites mallorquines efecte d'estudi i els seus registres de $\delta^{18}\text{O}$ corresponents als darrers 2.700 anys (Cisneros *et al.*, 2021).

FONT: Elaboració pròpia a partir de Cisneros (2019).

inici de la LIA, que s'ha interpretat que va ser causada per condicions d'aridesa extrema (fig. 16). D'altra banda, destaquen unes condicions generals més humides a començaments de l'RP, la primera meitat de l'EMA i la LIA, particularment a finals de la LIAb. En canvi, les condicions climàtiques van ser més seques al final de l'RP, a la segona meitat de l'EMA i durant tota l'MCA.

Considerant una escala de temps secular, s'observa que els intervals amb una NAO positiva persistent coincideixen freqüentment amb condicions més seques al llarg del període estudiat, mentre que els intervals amb una NAO persistentment negativa ho fan amb condicions més humides (Cisneros *et al.*, 2021).

6. El clima dels darrers 2.700 anys a la regió central de la Mediterrània occidental

La comparació dels tres tipus de reconstruccions presentats en aquest estudi, és a dir, els registres derivats dels sediments marins mostrejats al nord de Menorca (temperatures de la mar superficial i formació d'aigua fonda; Cisneros *et al.*, 2016 i 2019) i els de $\delta^{18}\text{O}$ derivats de les estalagmites de Mallorca (variabilitat hidroclimàtica; Cisneros *et al.*, 2021), pot ajudar a avaluar els patrons climàtics a la regió mediterrània centreoccidental per als darrers 2.700 anys (fig. 17). Per tal d'explorar els patrons regionals, en aquest apartat també es revisen les variacions climàtiques de l'àrea d'estudi en el context d'indicadors hidrològics i de temperatura de la península Ibèrica i l'Europa central per a cada un dels períodes estudiats.

De manera general i al llarg de tot el període estudiat a la regió central de la Mediterrània occidental, s'han observat relacions no estacionàries entre les condicions de temperatures de la mar superficial, formació d'aigua fonda i la variabilitat hidroclimàtica. Per exemple, determinats moments d'escalfament han estat de vegades coincidents amb condicions més humides, mentre que, durant altres moments, l'escalfament ha anat acompanyat de condicions més seques. Pel que fa a la DWF, tot i que els esdeveniments més intensos han estat sovint coincidents amb SST càlides, com durant l'RP, aquesta relació no ha estat estrictament sempre així, com, per exemple, durant l'MCA (fig. 17).

Les SST sembla que no han estat l'únic factor determinant en la intensificació de la DWF durant els últims 2.500 anys. I és que els canvis en el cicle hidrològic poden ser també crítics i determinar la salinitat superficial i, per tant, la intensitat de la DWF. Els resultats de la Mediterrània centreoccidental mostren una similitud significativa ($r = 0,6$; $p \text{ value} = 0$) al llarg de tot el període entre la DWF i les temperatures primaverals (SST-Mg/Ca). Aquest fet suggereix que les SST primaverals més càlides van poder afavorir la pèrdua de flotabilitat deguda a l'increment de la salinitat, i incrementar així el balanç evaporació-precipitació i,

d'aquesta manera, es confirma que la pèrdua de flotabilitat no va ser deguda únicament al refredament hivernal (Cisneros *et al.*, 2019).

6.1. PERÍODE TALAIÒTIC

Per a aquest període, les estalagmites estudiades mostren valors de $\delta^{18}\text{O}$ relativament empobrits en comparació amb la resta de períodes, fet que suggereix condicions d'humitat. Tot i així, el segle IV BCE sembla ser caracteritzat per condicions més seques. D'altra banda, la tendència general de condicions de degoteig homogènies, apuntada per la caracterització de la microestratigrafia de les estalagmites, va ser coincident amb SST relativament fredes i bastant estables reconstruïdes a la Mediterrània centreoccidental (fig. 17).

Les condicions d'humitat i les SST relativament fredes observades per a aquest període a la zona d'estudi són comunes a la caracterització derivada de les reconstruccions a la península Ibèrica i a l'Europa central (Martín-Puertas *et al.*, 2009

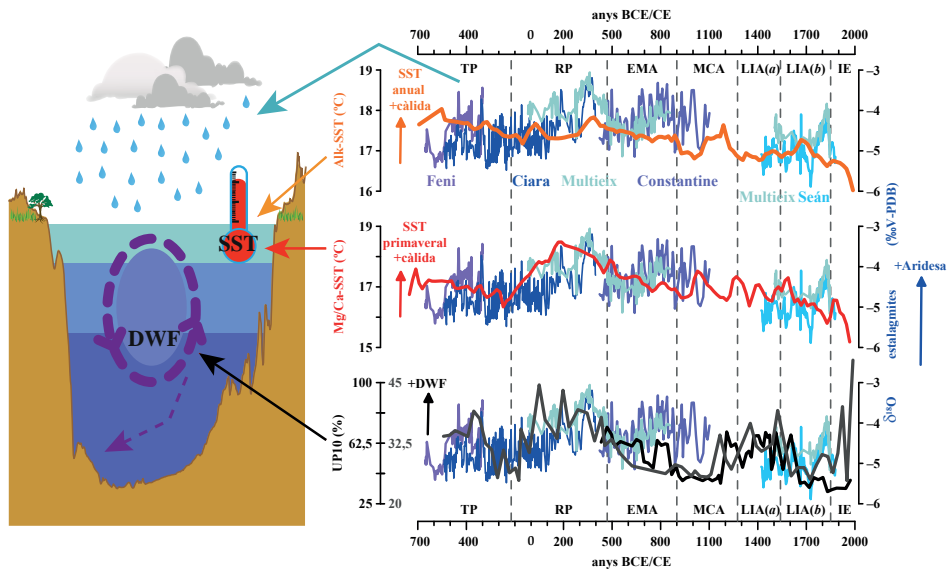


FIGURA 17. Compilació de les reconstruccions climàtiques de la regió central de la Mediterrània occidental per als darrers 2.700 anys. En blau: registres de $\delta^{18}\text{O}$ de les estalagmites de les coves de Mallorca (Cisneros *et al.*, 2021). En taronja i vermell: corbes compostes de les SST reconstruïdes a partir de la ràtio Mg/Ca analitzada a la closca del foraminífer planctònic *G. bulloides* i a partir de les alquenones, respectivament, al nord de les illes Balears (Cisneros *et al.*, 2016). En negre i gris: DWF a la mar Mediterrània nord-occidental reconstruïda mitjançant l'indicador UP10 (Cisneros *et al.*, 2019).

FONT: Elaboració pròpia a partir de Cisneros *et al.* (2016), Cisneros *et al.* (2019) i Cisneros *et al.* (2021).

i 2010; Morellón *et al.*, 2009; Büntgen *et al.*, 2011; Martín-Chivelet *et al.*, 2011; Pérez-Sanz *et al.*, 2013; Cisneros *et al.*, 2016). A una escala temporal de diverses dècades, les reconstruccions climàtiques disponibles per a les esmentades regions mostren una variabilitat molt semblant (fig. 18).

6.2. PERÍODE ROMÀ

Les taxes remarcables de creixement, els valors isotòpics relativament empobrits i les ràtios baixes obtingudes a l'estalagmita Ciara indiquen condicions més humides durant la major part d'aquest període. Tot i la certa estabilitat descrita en les taxes de degoteig mitjançant la microestratigrafia, s'han observat condicions més seques cap al final de l'RP. D'aquesta manera, la major part de l'RP apareix com un període humit i amb SST càlides, mentre que condicions més seques es desenvolupen quan les SST són màximes i comença el refredament que caracteritza el final de l'RP (Cisneros *et al.*, 2016). La DWF sembla haver estat intensa durant tot l'RP (fig. 17; Cisneros *et al.*, 2019). Les SST reconstruïdes a partir d'alquenones al golf de Lleó i a la Mediterrània central indiquen també condicions càlides durant aquest període (Jalali *et al.*, 2018).

Les condicions humides i càlides observades a l'àrea d'estudi durant l'RP han estat també descrites de manera general, en algunes regions de la península Ibèrica i l'Europa central (Martín-Puertas *et al.*, 2009 i 2010; Büntgen *et al.*, 2011 i 2016; Martín-Chivelet *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2012; Pérez-Sanz *et al.*, 2013; Corella *et al.*, 2016; Luterbacher *et al.*, 2016). Contràriament, en altres regions de la Península s'han observat condicions més seques (Morellón *et al.*, 2009; Jambriña-Enríquez *et al.*, 2014).

Cal destacar que, tot i les condicions generalment humides i càlides descrites per a aquest període en diverses regions, freqüentment les successions temporals en termes d'hidrologia i de temperatura mostren diferències entre algunes de les regions de la Península. Sovint, els registres de les Balears mostren una variabilitat multidecadal remarcablement comuna a registres del nord de la península Ibèrica. Alguns exemples en són les coves de Cobre, Kaite i Mayor, el llac de la Bassa de la Mora (fig. 18) o els llacs Enol i Arreo (Martín-Chivelet *et al.*, 2011; Moreno *et al.*, 2012; Pérez-Sanz *et al.*, 2013). D'altra banda, també són remarcables les tendències bastant oposades entre les condicions hidrològiques de la regió central de la Mediterrània occidental i l'Europa central al final de l'RP (fig. 18a).

6.3. ALTA EDAT MITJANA

Durant la transició RP-EMA, el pas de condicions seques a més humides (de valors isotòpics enriquits a més empobrits) és coincident amb un refredament

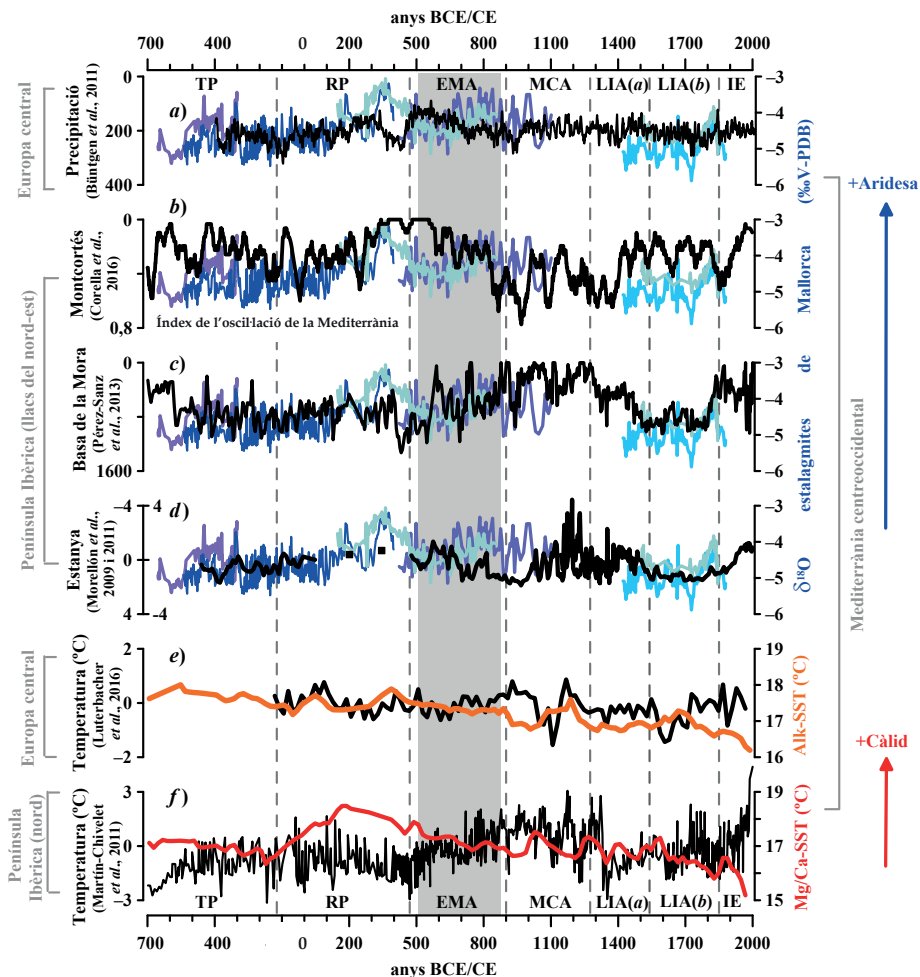


FIGURA 18. Registres de $\delta^{18}\text{O}$ de les estalagmites de la Mediterrània centrooccidental per als últims 2.700 anys (en blau; Cisneros *et al.*, 2021) comparats amb reconstruccions hidrològiques provinents: a) de l'Europa central i b-d) del nord-est de la península Ibèrica. Les temperatures de la mar superficial (SST) de l'àrea d'estudi (Cisneros *et al.*, 2016) són també comparades amb registres e) de l'Europa central i f) del nord de la península Ibèrica.

FONT: Elaboració pròpia modificada a partir de Cisneros (2019).

de les SST i una reducció progressiva de la DWF a l'àrea d'estudi (Cisneros *et al.*, 2016; Cisneros *et al.*, 2019). Registres costaners i deltaics del golf de Lleó i de la Mediterrània central també indiquen un refredament i episodis humits (Jalali *et al.*, 2018; Bassetti *et al.*, 2016). En general, l'inici de l'EMA a la nostra àrea d'estudi pot ser descrit com un període amb condicions de més humitat que aquelles

observades al final de l'RP, la qual cosa és adient amb l'alt nombre de tempestes reconstruït al golf de Lleó (fig. 19; Degeai *et al.*, 2015). Per contra, al final de l'EMA (a partir del segle VIII) s'han observat condicions més seques.

Les condicions relativament humides de l'EMA inicial passen a més seques, mentre que les SST mostren un refredament, tendències que semblen oposades a aquelles reconstruïdes a la península Ibèrica i a l'Europa central (fig. 18). Particularment, s'han descrit condicions seques i fredes durant el període 536-660 CE a l'Europa central (Büntgen *et al.*, 2011 i 2016), mentre que a la nostra àrea d'estudi durant aquests anys es donaren les condicions més humides i càlides de tota l'EMA.

També s'han observat diferències amb relació a les condicions hidroclimàtiques a la nostra àrea d'estudi i la freqüència de pluges extremes al nord de la península Ibèrica (fig. 18b; Corella *et al.*, 2016) des del final de l'RP, quan menys pluges extremes coincideixen amb unes condicions més humides, en oposició al desenvolupament més freqüent de pluges extremes sota condicions més seques. En particular, durant l'inici de l'EMA s'han reconstruït condicions més humides a la Mediterrània centroccidental, mentre que al nord de la península Ibèrica s'han descrit condicions excepcionals de freqüències molt baixes de pluges extremes (Corella *et al.*, 2016).

Contràriament i com es pot observar a la figura 18a-d, de manera general durant l'EMA alguns registres de la península Ibèrica presenten tendències similars a la zona d'aquest estudi (cap a condicions més seques/refredament) (Pérez-Sanz *et al.*, 2013). Específicament, s'han descrit condicions humides i fredes a la regió occidental del nord de la península Ibèrica (Jambrina-Enríquez *et al.*, 2014).

Abans i després de l'EMA, s'observa una relació diferent entre els patrons hidroclimàtics preenregistrats a les estalagmites de Mallorca i altres reconstruccions, com ara l'activitat de les tempestes al golf de Lleó (fig. 19c). La transició de condicions més humides a més seques que marquen les estalagmites mallorquines durant l'EMA, com es pot observar a la figura 19, va acompanyada de canvis relativament abruptes a la NAO (transició de fase negativa a positiva), a les tempestes del golf de Lleó (alta freqüència) i un mínim en la irradiació solar total. L'EMA també marca un canvi en la relació entre les cel·les convectives de la Mediterrània occidental i oriental, amb un comportament paral·lel abans d'aquest període i contrari després (fig. 19f). Durant l'EMA sembla haver-hi hagut, per tant, una transició durant la qual es va produir una reconfiguració atmosfèrica significativa.

6.4. ANOMALIA CLIMÀTICA MEDIEVAL

Els valors isotòpics relativament estables i els valors elevats d'elements traça observats a l'inici de l'MCA, juntament amb les taxes de creixement mínimes

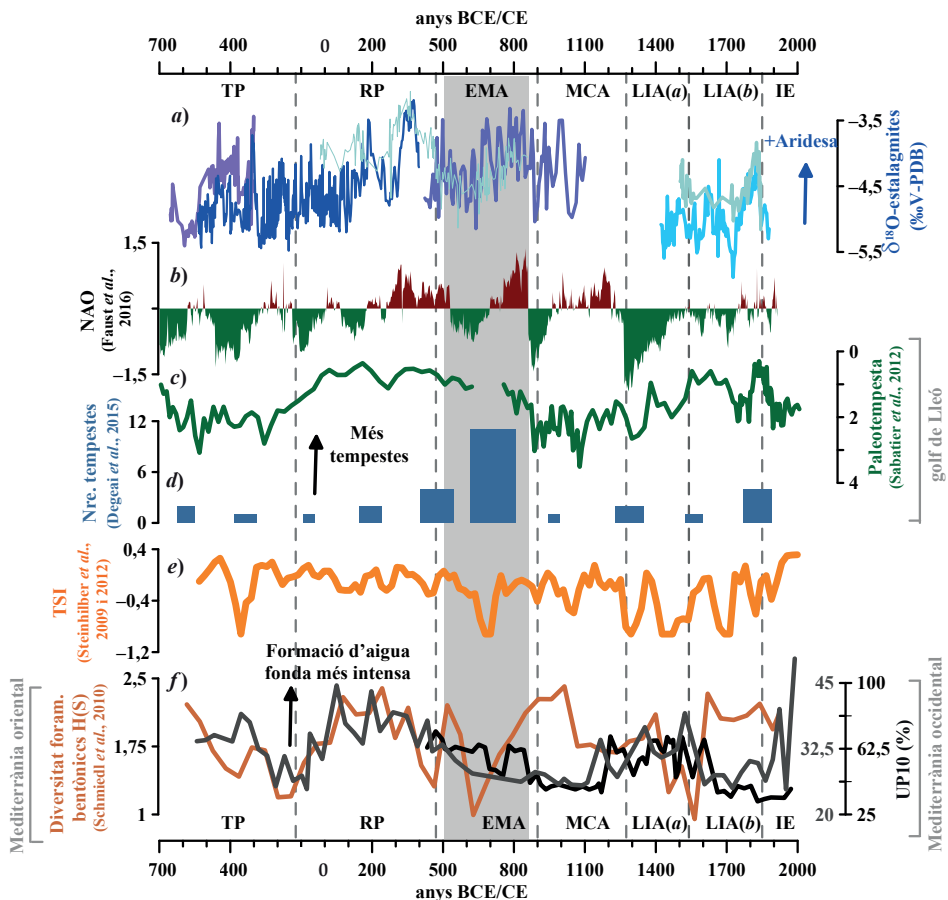


FIGURA 19. Comparació de les reconstruccions de la Mediterrània centrooccidental amb altres registres climàtics: *a*) registres de $\delta^{18}\text{O}$ derivats de les estalagmites (Cisneros *et al.*, 2021); *b*) oscil·lació de l'Atlàntic nord (NAO); *c-d*) tempestes reconstruïdes al golf de Lleó; *e*) irradiació solar total (TSI); *f*) teleconstrucció de la formació d'aigua fonda més intensa (negre i gris; Cisneros *et al.*, 2019) i ventilació de l'aigua intermèdia llevantina a la conca oriental (marró; indicador H(S)).

FONT: Elaboració pròpia modificada a partir de Cisneros (2019).

obtingudes a l'estalagmita Constantine, suggereixen unes condicions més seques durant aquest període respecte de tots els altres. Cal destacar que cap de les estalagmites efecte d'estudi no cobreix la totalitat de l'MCA (ni tampoc la primera part de la LIA); aitals períodes representen un hiatus en l'estalagmita Multieix, que és la que se solapa amb la majoria d'estalagmites. El període medieval també és caracteritzat a l'àrea d'estudi per una variabilitat significant en les SST i una

DWF no gaire intensa, excepte per al final, quan la DWF manifesta un increment (fig. 17).

Sembla que aquestes condicions més seques durant l'MCA van ser comunes a la Mediterrània centreoccidental i a la península Ibèrica (Morellón *et al.*, 2009; Martín-Puertas *et al.*, 2010; Moreno *et al.*, 2012; Pérez-Sanz *et al.*, 2013). La variabilitat hidroclimàtica remarcable observada a l'àrea d'estudi durant l'MCA ha estat també descrita al nord de la península Ibèrica (Corella *et al.*, 2016). Per contra, s'han descrit estius humits a l'Europa central (Büntgen *et al.*, 2011 i 2016).

Respecte a les temperatures, la majoria dels registres mostren condicions càlides al nord de la península Ibèrica i a l'Europa central. Cal destacar, però, que a la regió central de la Mediterrània occidental, durant aquest període no semblen haver-se donat SST particularment càlides o fredes (fig. 18). D'altra banda, a escala temporal de segles i pel que fa a les temperatures, s'han reconstituït tendències bastant oposades en registres del nord de la península Ibèrica i de l'Europa central (Büntgen *et al.*, 2011; Martín-Chivelet *et al.*, 2011; Cisneros *et al.*, 2016; Luterbacher *et al.*, 2016).

6.5. PETITA EDAT DE GEL

Els registres derivats de les dues estalagmites de Mallorca que van créixer durant aquest període suggereixen una estabilitat moderada en les taxes de degoteig i condicions generalment humides. Durant el primer subperíode de la LIA (LIAa; 1275-1540 CE), la formació d'aigua fonda va ser més intensa que durant el segon (LIAb; 1540-1850 CE). A escala temporal de diversos segles, la LIA és caracteritzada a l'àrea d'estudi per condicions humides (valors empobrits de $\delta^{18}\text{O}$) i SST fredes en comparació a la resta dels períodes coberts per als darrers 2.700 anys. També s'han reconstruït condicions fredes al golf de Lleó i a la Mediterrània central (Jalali *et al.*, 2018), i episodis humits al golf de Lleó (Bassetti *et al.*, 2016). Tot i això, tenint en compte les tendències a una escala temporal de l'ordre de dècades, les condicions més seques van ser coincidents freqüentment amb temperatures fredes, mentre que les condicions més humides van ser coincidents freqüentment amb temperatures càlides (fig. 17).

La LIA sembla haver estat caracteritzada per una distribució espacial generalment homogènia de les condicions climàtiques. També s'han descrit condicions fredes i humides a la península Ibèrica (Morellón *et al.*, 2009; Martín-Chivelet *et al.*, 2011; Pérez-Sanz *et al.*, 2013; Cisneros *et al.*, 2016) i a l'Europa central (Büntgen *et al.*, 2011; Luterbacher *et al.*, 2016). Tot i així, el moment i la intensitat dels canvis mostren, de nou, diferències regionals evidents (fig. 17).

7. Conclusions i noves línies d'investigació

La principal motivació d'aquest treball ha estat millorar l'estat actual dels coneixements sobre la sensibilitat de la regió central de la Mediterrània occidental a la variabilitat climàtica natural durant els darrers 3.000 anys. L'escassetat de registres paleoclimàtics d'aquest període representa una dificultat més gran per escatir l'expressió regional de diferents patrons climàtics, la qual és, d'altra banda, imprescindible no només per poder-ne entendre el funcionament en el passat, sinó també per preveure'n efectes futurs. Al fil d'aquesta motivació, l'assoliment dels objectius concrets ha comportat l'obtenció i l'anàlisi d'un seguit de registres de paràmetres climàtics i oceanogràfics de l'àrea de les illes Balears. Aitals registres poden ajudar a establir les teleconnexions que van determinar el clima passat i a albirar-ne el potencial per condicionar el clima futur, i fer bo el concepte lyellià segons el qual el present és la clau del passat, però potser també que el passat és la clau del futur.

En els estudis mostrats s'ha abordat la reconstrucció de les condicions marines superficials i profundes, i també de la variabilitat hidroclimàtica (precipitació), al llarg dels darrers 2.700 anys a la regió central de la Mediterrània occidental. Hom ha obtingut la informació necessària a partir de dos tipus d'arxius: sediments marins i estalagmites. La integració subsegüent de la informació ha permès comprendre millor la dinàmica del sistema climàtic en aquest període de temps. Convé assenyalar l'alta sensibilitat climàtica de l'àrea d'estudi, així com certes peculiaritats que li són pròpies, com a exemple que és una de les poques regions a tota la Mediterrània on es forma aigua fonda, concretament l'aigua fonda de la Mediterrània occidental.

Hom ha reconstruït les condicions superficials de la mar a partir de cinc testimonis de sediment provinents de dues localitzacions al nord de Menorca. Les cronologies s'han elaborat curosament integrant datacions absolutes i relatives.

L'anàlisi de les dades de SST, juntament amb perfils oceanogràfics, ha evidenciat que el senyal de Mg/Ca-SST reflecteix les condicions pròpies dels mesos d'abril i maig als 40 m superiors de la columna d'aigua. Per la seva banda, el senyal de les alquenones ha estat interpretat com una mitjana anual, tot i que decantada cap als mesos d'hivern, donat que la producció primària estival és extremament baixa. La mitjana anual integrada de les reconstruccions d'alquenones-SST explicaria el caràcter més suavitzat de les oscil·lacions en comparació amb els registres de Mg/Ca-SST.

Pel que fa a la circulació marina profunda, hom ha validat per primer cop l'aplicació de l'índex UP10 en registres fòssils per reconstruir la intensitat dels corrents de fons relacionats amb els episodis de formació d'aigua fonda al golf de Lleó. Els episodis més intensos van tenir lloc en intervals relativament càlids com l'RP, el final de l'MCA i la primera part de la LIA. Aquests episodis s'associen majoritàriament amb períodes d'augment del balanç evaporació-precipitació, més que amb la pèrdua de flotabilitat deguda únicament al refredament. Les dades suggereixen que les SST primaverals càlides hi van poder tenir un paper important incrementant el balanç evaporació-precipitació i afavorint així la pèrdua de flotabilitat per increment de la salinitat. Per contra, hi va haver una reducció progressiva de la convecció durant l'EMA, la qual va resultar en episodis febles de formació d'aigua fonda durant la major part de l'MCA.

La comparació de la nova reconstrucció de la formació d'aigua fonda amb altres registres oceanogràfics i climàtics indica situacions diferents abans i després de l'EMA. Abans de l'EMA, és a dir, en el TP i l'RP, van coincidir episodis intensos de formació d'aigua fonda a la nostra àrea d'estudi amb bones ventilacions de l'aigua intermèdia lleuantina a la conca mediterrània oriental i fases positives de la NAO. Després de l'EMA, durant l'MCA i la LIA, hom observa tendències oposades en el mode d'operació de les cel·les de convecció de les conques occidental i oriental, la qual cosa és coherent amb resultats previs tant de reconstruccions hidroclimàtiques a la Mediterrània com de mesures instrumentals. D'això es desprèn l'existència d'un balanç climàtic est-oest a la mar Mediterrània.

S'ha estudiat la variabilitat hidrològica dels darrers 2.700 anys mitjançant cinc estalagmites de les coves de Sa Balma des Quartó i des Pirata, a Mallorca, les quals han resultat ser bons arxius hidroclimàtics de la regió central de la Mediterrània occidental. Els valors relativament pesats de la relació $\delta^{18}\text{O}$ s'interpreten com condicions més seques, mentre que els valors més lleugers s'interpreten com condicions més humides. D'aquesta manera, s'ha elaborat el primer registre hidrològic basat en aquest tipus d'arxius per a la nostra zona d'estudi i per a aquest període.

Els registres obtinguts indiquen unes condicions dominantment humides a l'inici de l'RP, a la primera meitat de l'EMA i durant tota la LIA, que contrasten

amb les condicions més seques enregistrades per a l'RP tardà (anys 200-470 CE), la segona meitat de l'EMA (anys 700-900 CE) i tota l'MCA. La presència en una de les estalagmites, anterior a l'any 1622 CE, és a dir, dins la LIA, d'un nivell detrític enriquit en Ti ha estat interpretada com un marcador d'inundacions associat a un episodi extrem de pluja.

La comparació entre els registres de $\delta^{18}\text{O}$ de les estalagmites estudiades i els registres hidroclimàtics de la península Ibèrica corrobora que els patrons regionals van ser força heterogenis durant l'RP i l'EMA. En canvi, a l'MCA i la LIA els patrons regionals van ser més homogenis. La compilació de registres de SST, formació d'aigua fonda i hidroclimàtics reproduïts en aquest treball, i prèviament, suggereix patrons climàtics no estacionaris a la regió central de la Mediterrània occidental al llarg dels períodes que conformen els darrers 2.700 anys. Tot plegat revela canvis en les configuracions dels patrons atmosfèrics i les teleconnexions. La variabilitat climàtica va ser més complexa i/o va tenir una freqüència més alta en l'RP tardà i la primera meitat de l'EMA. Els nostres resultats palesen que l'EMA va ser possiblement un període de transició durant el qual es va produir una reconfiguració atmosfèrica significativa.

Com succeeix sovint en treballs d'aquesta mena, i més enllà dels objectius inicials, pel camí han sorgit també nous reptes i dubtes. Això vol dir que caldrà seguir produint i avaluant noves reconstruccions climàtiques regionals amb una bona resolució a fi i efecte de continuar posant llum a les complexitats del sistema climàtic. Encara queda molt per acabar d'entendre els processos, mecanismes, retroalimentacions, efectes de llindar i connexions entre els patrons atmosfèrics i els tipus de clima regionals i llur variabilitat a diferents escales de temps. I tot això sense oblidar que en el temps present hi ha també patrons atmosfèrics significatius que encara no han estat ben definits ni són compresos del tot. Entenem que els resultats de la recerca sobre aquestes qüestions pot ajudar a aïllar i resoldre incògnites sobre l'escalfament global en curs. Les reconstruccions que teniu a les mans tal vegada facilitin la realització i la millora de models predictius (o retropredictius), ja que estan fonamentades en registres més llargs que no els instrumentals, cosa que podria reduir incerteses. Naturalment, també cal mantenir i augmentar l'esforç d'adquisició de dades climàtiques instrumentals, de manera que hom pugui disposar de sèries cada cop més llargues.

De manera més particular, també suggerim aprofundir en els registres de les estalagmites presentats en aquest treball, i d'altres espeleotemes. Són arxius que encara han d'oferir moltes dades valuoses en termes paleoclimàtics. En aquest context, convindria considerar completar la informació derivada de les reconstruccions hidroclimàtiques dels últims segles amb la continguda en documents històrics, en particular els registres de sequeres i inundacions amb cronologies força acurades recollides en rogatòries eclesiàstiques i altres fonts. També seria

interessant contrastar, quan fos possible, els registres hidroclimàtics de les estalagmites amb dades instrumentals, amb una doble finalitat: millorar la interpretació dels registres del passat recent i calibrar d'alguna manera les variacions que hom hi ha observat. A més, l'anàlisi estadística dels registres espeleotèmics podria aportar llum sobre períodes de retorn i episodis hidrològics extrems i, potser, aplicar-los a les prediccions del present i a situacions futures. De feina per fer, no en faltará, per tant, per a qui vulgui endinsar-se en el món fascinant de les reconstruccions paleoclimàtiques i paleoceanogràfiques.

Referències bibliogràfiques

- ADLOFF, F.; SOMOT, S.; SEVAULT, F.; JORDÀ, G.; AZNAR, R.; DÉQUÉ, M.; HERRMANN, M.; MARCOS, M.; DUBOIS, C.; PADORNO, E.; ALVAREZ-FANJUL, E.; GOMIS, D. (2015). «Mediterranean Sea response to climate change in an ensemble of twenty first century scenarios». *Climate Dynamics* [en línia], 45, p. 2775-2802. <<https://doi.org/10.1007/s00382-015-2507-3>>.
- ALTAMIRANO GARCÍA, M.; ALARCÓN GARCÍA, E. (2018). «Bone tools for the deceased: Approaches to the worked osseous assemblage from the Bronze Age funerary cave of Biniadris (Menorca, Spain)». *Quaternary International* [en línia], 472, p. 108-114. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2017.12.052>>.
- ARMSTRONG, H.; BRASIER, M. (2005). «Foraminifera». A: *Microfossils*. Oxford: Blackwell Publishing, p. 142-187.
- AUSÍN, B.; FLORES, J. A.; SIERRO, F. J.; CACHO, I.; HERNÁNDEZ-ALMEIDA, I.; MARTRAT, B.; GRIMALT, J. O. (2015). «Atmospheric patterns driving Holocene productivity in the Alboran Sea (Western Mediterranean): A multiproxy approach». *The Holocene* [en línia], 25, p. 583-595. <<https://doi.org/10.1177/0959683614565952>>.
- BARKER, S.; CACHO, I.; BENWAY, H.; TACHIKAWA, K. (2005). «Planktonic foraminiferal Mg/Ca as a proxy for past oceanic temperatures: A methodological overview and data compilation for the Last Glacial Maximum». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 24, p. 821-834. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2004.07.016>>.
- BASSETTI, M. A.; BERNÉ, S.; SICRE, M. A.; DENNIELOU, B.; ALONSO, Y.; BUSCAIL, R.; JALALI, J.; HEBERT, B.; CHRISTOPHE MENNITI, C. (2016). «Holocene hydrological changes of the Rhone River (NW Mediterranean) as recorded in the marine mud belt». *Climate of the Past*, 12, p. 1539-1553.
- BERMEJO, J.; MATEU, T.; LÓPEZ, B.; MINGUILLÓN, R.; HERRÁEZ, G.; VILLAR, A. (2014). «Cova de sa Balma des Quartó (Manacor, Mallorca)». *Endins*, 36, p. 59-64.
- BETHOUX, J. P.; DURRIEU DE MADRON, X.; NYFFELER, F.; TAILLIEZ, D. (2002). «Deep water in the western Mediterranean: Peculiar 1999 and 2000 characteristics, shelf formation hypothesis, variability since 1970 and geochemical inferences». *Journal of*

- Marine Systems* [en línia], 33-34, p. 117-131. <[https://doi.org/10.1016/S09247963\(02\)00055-6](https://doi.org/10.1016/S09247963(02)00055-6)>.
- BOADA, M.; SAURÍ, D. (2002). *El canvi global*. Barcelona: Rubes.
- BOLÒS, O. de (1996). *La vegetació de les Illes Balears*. Barcelona: Institut d'Estudis Catalans. 269 p.
- BOND, G.; KROMER, B.; BEER, J.; MUSCHELER, R.; EVANS, M. N.; SHOWERS, W.; HOFFMANN, S.; LOTTIBOND, R.; HAJDAS, I.; BONANI, G. (2001). «Persistent solar influence on North Atlantic climate during the Holocene». *Science* [en línia], 294, p. 2130-2136. <<https://doi.org/10.1126/science.1065680>>.
- BOVER, P.; ALCOVER, J. A. (2003). «Understanding late quaternary extinctions: The case of *Myotragus balearicus*». *Journal of Biogeography*, 30, p. 771-781.
- BRASSELL, S. C.; EGLINTON, G.; MARLOWE, I. T.; PFLAUMANN, U.; SAMTHEIN, M. (1986). «Molecular stratigraphy: A new tool for climatic assesment». *Nature*, 320, p. 129-133.
- BROECKER, W. S.; DENTON, G. H. (1989). «The role of ocean-atmosphere reorganizations in glacial cycles». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 53, p. 2465-2501.
- BROHAN, P.; KENNEDY, J. J.; HARRIS, I.; TETT, S. F. B.; JONES, P. D. (2006). «Uncertainty estimates in regional an global observed temperature changes: A new data set from 1850». *Journal of Geophysical Research* [en línia], 111. <<https://doi.org/10.1029/2005JD006548>>.
- BÜNTGEN, U.; MYGLAN, V. S.; LJUNGQVIST, F. C.; MCCOEMICK, M.; COSMO, N. di; SIGL, M.; JUNGCLAUS, J.; WAGNER, S.; KRUSIC, P. L.; ESPER, J.; KAPLAN, J. O.; VAAN, M. A. C. de; LUTERBACHER, J.; WACKER, L.; TEGEL, W.; KIRDYANOV, A. V. (2016). «Cooling and societal change during the Late Antique Little Ice Age from 536 to around 660 AD». *Nature Geoscience* [en línia], 9, 231-236. <<https://doi.org/10.1038/ngeo2652>>.
- BÜNTGEN, U.; TEGEL, W.; NICOLUSSI, K.; MCCORMICK, M.; FRANK, D.; TROUET, V.; KAPLAN, J. O.; HERZIG, F.; HEUSSNER, K. U.; WANNER, H.; LUTERBACHER, J.; ESPER, J. (2011). «2500 years of European climate variability and human susceptibility». *Science* [en línia], 331, p. 578-582. <<https://doi.org/10.1126/science.1197175>>.
- CALVO, M.; GUERRERO, V. M. (2011). *La cultura talayòtica*. Vol. I. Edició a cura de M. Calvo i A. Aguares. Calvià: Ajuntament de Calvià. Patrimoni Cultural, p. 89-112.
- CAMPANER, A. (1881). *Cronicón Mayoricens*. Palma: Establecimiento tipográfico de Juan Colomer y Salas. 611 p. ill.
- CAU, M. A. (2012). «Urban change in Late Antiquity in the Balearic Islands». A: CHRISTIE, N.; AUGENTI, A. (ed.). *Vrbes Extinctae. Approaches to archaeologies of abandoned classical towns*. Aldershot-Burlington: Ashgate Publishing Company, p. 115-144.
- CEPPI, P.; ZAPPA, G.; SHEPHERD, T. G.; GREGORY, J. M. (2018). «Fast and slow components of the extratropical atmospheric circulation response to CO₂ forcing». *Journal of Climate* [en línia], 31, 3, p. 1091-1105. <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-17-0323.1>>.
- CISNEROS, M.; CACHO, I. (2017). «Forams the seathermometers of the past». Blog de l'European Geosciences Union [en línia]. <<https://blogs.egu.eu/divisions/cl/2017/11/24/forams-the-sea-thermometers-of-the-past/>>.
- CISNEROS, M.; CACHO, I.; FRIGOLA, J.; CANALS, M.; MASQUÉ, P.; MARTRAT, B.; CASADO, M.; GRIMALT, J. O.; PENA, L. D.; MARGARITELLI, G.; LIRER, F. (2016). «Sea surface

- temperature variability in the centralwestern Mediterranean Sea during the last 2700 years: A multi-proxy and multi-record approach». *Climate of the Past* [en línia], 12, p. 849-869. <<https://doi.org/10.5194/cp-12-849-2016>>.
- CISNEROS, M.; CACHO, I.; FRIGOLA, J.; SANCHEZ-VIDAL, A.; PEDROSA-PÀMIES, R.; RUMÍN-CAPARRÓS, A.; CANALS, M. (2019). «Deep-water formation variability in the north-western Mediterranean Sea during the last 2500 yr: A proxy validation with present-day data». *Global and Planetary Change* [en línia], 177, p. 56-68. <<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2019.03.012>>.
- CISNEROS, M.; CACHO, I.; MORENO, A.; STOLL, H.; TORNER, J.; CATALÀ, A.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H.; FORNÓS, J. J. (2021). «Hydroclimate variability during the last 2700 years based on stalagmite multi-proxy records in the central-western Mediterranean». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 269, 107137. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2021.107137>>.
- COLOM, M. J. (2015). *El tribunal de Inquisición de Mallorca (1578-1700)*. Tesi doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Història Moderna.
- COMAS-BRU, L.; MCDERMOTT, F.; WERNER, M. (2016). «The effect of the East Atlantic pattern on the precipitation $\delta^{18}\text{O}$ -NAO relationship in Europe». *Climate Dynamics* [en línia], 47, p. 2059-2069. <<https://doi.org/10.1007/s00382-015-2950-1>>.
- CORELLA, J. P.; VALERO-GARCÉS, B. L.; VICENTE-SERRANO, S. M.; BRAUER, A.; BENITO, G. (2016). «Three millennia of heavy rainfalls in Western Mediterranean: Frequency, seasonality and atmospheric drivers». *Scientific Reports* [en línia], 6, 38206. <<https://doi.org/10.1038/srep38206>>.
- DE CET, M.; DUTTMANN, R.; GORNÉS, S.; GUAL, J.; MÜLLER, J.; RISCH, R.; SINTES, E.; WILLIÉ, B. (2012). «Changing settlement patterns in the Mediterranean context: A case study of Menorca (Balearic Islands) from prehistory to the 19th century AD». *A: Proceedings of the 40th Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology* (Southampton, 26-29 març 2012). Amsterdam: Amsterdam University Press, p. 389-399.
- DEGEAI, J. P.; DEVILLERS, B.; DEZILEAU, L.; OUESLATI, H.; BONY, G. (2015). «Major storm periods and climate forcing in the Western Mediterranean during the Late Holocene». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 129, p. 37-56. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.10.009>>.
- DUMITRU, O. A.; FORRAY, F. L.; FORNÓS, J. J.; ERSEK, V.; ONAC, B. P. (2017). «Water isotopic variability in Mallorca: A path to understanding past changes in hydroclimate: Stable isotope variability in Mallorcan waters. Hydrologic». *Hydrological Processes* [en línia], 31, p. 104-116. <<https://doi.org/10.1002/hyp.10978>>.
- DURRIEU DE MADRON, X.; HOUPERT, L.; PUIG, P.; SANCHEZ-VIDAL, A.; TESTOR, P.; BOSSE, A.; ESTOURNEL, C.; SOMOT, S.; BOURRIN, F.; BOUIN, M. N.; BEAUVERGER, M.; BEGUERY, L.; CALAFAT, A.; CANALS, M.; CASSOU, C.; COPPOLA, L.; DAUSSE, D.; D'ORTENZIO, F.; FONT, J.; HEUSSNER, S.; KUNESCH, S.; LEFEVRE, D.; GOFF, H. le; MARTÍN, J.; MORTIER, L.; PALANQUES, A.; RAIMBAULT, P. (2013). «Interaction of dense shelf water cascading and open-sea convection in the northwestern Mediterranean during winter 2012: Shelf cascading and open-sea convection». *Geophysical Research Letters* [en línia], 40, p. 1379-1385. <<https://doi.org/10.1002/grl.50331>>.

- DURRIEU DE MADRON, X.; RAMONDENC, S.; BERLINE, L.; HOUPERT, L.; BOSSE, A.; MARTINI, S.; GUIDI, L.; CONAN, P.; CURTIL, C.; DELSAUT, N.; KUNESCH, S.; GHIGLIONE, J. F.; MARSALEIX, P.; PUJO-PAY, M.; SÉVERIN, T.; TESTOR, P.; TAMBURINI, C.; THE ANTARES COLLABORATION (2017). «Deep sediment resuspension and thick nepheloid layer generation by open-ocean convection: BNL generation by open-ocean convection». *Journal of Geophysical Research* [en línia]: *Oceans*, 122, p. 2291-2318. <<https://doi.org/10.1002/2016JC012062>>.
- EDWARDS, R. L.; CHEN, J. H.; WASSERBURG, G. J. (1987). « ^{238}U - ^{234}U - ^{230}Th - ^{232}Th systematics and the precise measurement of time over the past 500,000 years». *Earth and Planetary Science Letters*, 81, p. 175-192.
- EGLINTON, G.; BRASSELL, S. C.; HOWELL, V. J.; MAXWELL, J. R. (1983). «The role of the organic geochemistry in the Deep Sea Drilling Project (DSDP/IPOD)». A: BJOJØRY, M. I. [et al.] (ed.). *Advances in Organic Geochemistry: 1981*. Chichester: Wiley, p. 391-400.
- ELDERFIELD, H.; GANSEN, G. (2000). «Past temperature and $\delta^{18}\text{O}$ of surface ocean waters inferred from foraminiferal Mg/Ca ratios». *Nature*, 405, p. 442-445.
- ELDERFIELD, H.; VAUTRAVERS, M.; COOPER, M. (2002). «The relationship between shell size and Mg/Ca, Sr/Ca, $\delta^{18}\text{O}$, and $\delta^{13}\text{C}$ of species of planktonic foraminifera». *Geochemistry, Geophysics, Geosystems* [en línia], 3 (8), p. 1-13. <<https://doi.org/10.1029/2001GC000194>>.
- ESTOURNEL, C.; TESTOR, P.; DAMIEN, P.; D'ORTENZIO, F.; MARSALEIX, P.; CONAN, P.; KESSOURI, F.; DURRIEU DE MADRON, X.; COPPOLA, L.; LELLOUCHE, J. M.; BELAMARI, S.; MORTIER, L.; ULSER, C.; BOUIN, M. N.; PRIEUR, L. (2016). «High resolution modeling of dense water formation in the north-western Mediterranean during winter 2012-2013: Processes and budget». *Journal of Geophysical Research* [en línia]: *Oceans*, 121, 5367-5392. <<https://doi.org/10.1002/2016JC011935>>.
- FAIRCHILD, I. J.; BAKER, A. (2012). *Speleothem science: From process to past environments* [en línia]. Oxford, Regne Unit: John Wiley & Sons. <<http://dx.doi.org/10.1002/9781444361094>>.
- FAIRCHILD, I. J.; BORSATO, A.; TOOTH, A. F.; FRISIA, S.; HAWKESWORTH, C. J.; HUANG, Y. M.; MCDERMOTT, F.; SPIRO, B. (2000). «Controls on trace elements (Sr-Mg) compositions of carbonate cave waters: Implications for speleothem climatic records». *Chemical Geology*, 166, p. 255-269.
- FAIRCHILD, I. J.; McMILLAN, E. (2007). «Speleothems as indicators of wet and dry periods». *International Journal of Speleology* [en línia], 36, p. 69-74. <<http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.36.2.2>>.
- FELDMANN, R. M.; CHAPMAN, R. E.; HANNIBAL, J. T. (ed.). (1989). «Paleotechniques». *The Paleontological Society*, 4. [Número especial]
- FRIGOLA, J. (2012). *Variabilitat climàtica ràpida a la conca occidental del Mediterrani: registre sedimentològic*. Tesi doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona. Departament d'Estratigrafia, Paleontologia i Geociències Marines.
- FRIGOLA, J.; MORENO, A.; CACHO, I.; CANALS, M.; SIERRO, F. J.; FLORES, J. A.; GRIMALT, J. O. (2008). «Evidence of abrupt changes in Western Mediterranean Deep Water circulation during the last 50 kyr: A high-resolution marine record from the Balearic

- Sea». *Quaternary International* [en línia], 181, p. 88-104. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2007.06.016>>.
- FRIGOLA, J.; MORENO, A.; CACHO, I.; CANALS, M.; SIERRO, F. J.; FLORES, J. A.; GRIMALT, J. O.; HODELL, D. A.; CURTIS, J. H. (2007). «Holocene climate variability in the western Mediterranean region from a deepwater sediment record». *Paleoceanography* [en línia], 22, PA2209. <<https://doi.org/10.1029/2006PA001307>>.
- FRISIA, S.; BORSATO, A.; FAIRCHILD, I. J.; MCDERMOTT, F. (2000). «Calcite fabrics, growth mechanisms, and environments of formation in speleothems from the Italian Alps and southwestern Ireland». *Journal of Sedimentary Research*, 70, p. 1183-1196.
- GIBELIN, A. L.; DEQUE, M. (2003). «Anthropogenic climate change over the Mediterranean region simulated by a global variable resolution model». *Climate Dynamics*, 20, p. 237-339.
- GINÉS, J.; FORNÓS, J.; GINÉS, A.; MERINO, A.; GRÀCIA, F. (2014). «Geologic constraints and speleogenesis of Cova des Pas de Vallgornera, a complex coastal cave from Mallorca Island (Western Mediterranean)». *International Journal of Speleology*, 43 (2), p. 105-124.
- GINÉS, A.; GINÉS, J.; GÓMEZ-PUJOL, L.; ONAC, B. P.; FORNÓS, J. J. (ed.) (2012). *Mallorca: A Mediterranean benchmark for Quaternary studies*. Palma: Societat d'Història Natural de les Illes Balears. (Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears; 18). 220 p.
- GIORGI, F.; LIONELLO, P. (2008). «Climate change projections for the Mediterranean region». *Global and Planetary Change*, 63, p. 90-104.
- GOODESS, C. M.; PALUTIKOF, J. P.; DAVIS, T. D. (1992). *The nature and causes of climate change: Assessing the long-term future*. Londres: Belhaven Press. 248 p.
- GRÀCIA, F.; CLAMOR, B.; FORNÓS, J. J.; JAUME, D.; FEBRER, M. (2006). «El sistema Pirata-Piqueta (Manacor, Mallorca): geomorfologia, espeleogènesi, hidrologia, sedimentologia i fauna». *Endins*, 29, p. 25-64.
- HALL, I. R.; MCCAVE, I. N. (2000). «Palaeocurrent reconstruction, sediment and thorium focussing on the Iberian margin over the last 140 ka». *Earth and Planetary Science Letters*, 178, p. 151-164.
- HAYS, J. D.; IMBRIE, J.; SHACKLETON, N. J. (1976). «Variations in the Earth's orbit: Pacesetter of the ice ages». *Science* [en línia], 194 (4270), p. 1121-1132. <<http://www.jstor.org/stable/1743620>>.
- HENDY, C. H. (1971). «The isotopic geochemistry of speleothems I. The calculation of the effects of different modes of formation on the isotopic composition of speleothems and their applicability as palaeoclimatic indicators». *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 35, p. 801-824.
- HENDY, C. H.; WILSON, A. T. (1968). «Palaeoclimatic data from speleothems». *Nature* [en línia], 219, p. 48-51. <<https://doi.org/10.1038/219048a0>>.
- HERRMANN, M.; AUGER, P. A.; ULSSES, C.; ESTOURNEL, C. (2017). «Long-term monitoring of ocean deep convection using multisensors altimetry and ocean color satellite data». *Journal of Geophysical Research* [en línia]: *Oceans*, 122, p. 1457-1475. <<https://doi.org/10.1002/2016JC011833>>.

- HODGE, E. J. (2004). «Palaeoclimate of the Western Mediterranean region: Results from speleothems». Tesi doctoral. Bristol: Universitat de Bristol. [Inèdit]
- HOFFMAN, P. F. (1998). «A Neoproterozoic snowball Earth». *Science* [en línia], 281, p. 1342-1346. <<https://doi.org/10.1126/science.281.5381.1342>>.
- HURRELL, J. W. (1995). «Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation». *Science* [en línia], 269, p. 676-679. <<https://doi.org/10.1126/science.269.5224.676>>.
- JALALI, B.; SICRE, M. A.; KLEIN, V.; SCHMIDT, S.; MASELLI, V.; LIRER, F.; BASSETTI, M. A.; TOUCANNE, S.; JORRY, S. J.; INSINGA, D. D.; PETROSINO, P.; CHÂLES, F. (2018). «Deltaic and costal sediments as recorders of Mediterranean regional climate and human impact over the past three millennia». *Paleoceanography and Paleoclimatology* [en línia], 33, p. 579-593. <<https://doi.org/10.1029/2017PA00329>>.
- JAMBRINA-ENRÍQUEZ, M.; RICO, M.; MORENO, A.; LEIRA, M.; BERNARDEZ, P.; PREGO, R.; RECIO, C.; VALERO-GARCÉS, B. L. (2014). «Timing of deglaciation and postglacial environmental dynamics in NW Iberia: The Sanabria Lake record». *Quaternary Science Reviews*, 94, p. 136-158.
- LEA, D. W. (1999). «Trace elements in foraminiferal calcite». A: SEN GUPTA, B. K. (ed.). *Modern Foraminifera*. Regne Unit: Kluwer Academic Publishers, p. 259-277.
- LIONELLO, P. (2012). *The climate of the Mediterranean region: From the past to the future*. Burlington, MA: Elsevier Science.
- LIONELLO, P.; MALANOTT-RIZZOLI, R.; BOSCOLO, R.; ALPERT, P.; ARTALE, V.; LI, L.; LUTERBACHER, J.; MAY, W.; TRIGO, R.; TSIMPLIS, M.; ULBRICH, U.; XOPLAKI, E. (2006). «The Mediterranean climate: An overview of the main characteristics and issues». A: *Mediterranean climate variability (MedClivar)*. Amsterdam: Elsevier, p. 1-26.
- LIRER, F.; SPROVIERI, M.; FERRARO, L.; VALLEFUOCO, M.; CAPOTONDI, L.; CASCELLA, A.; PETROSINO, P.; INSINGA, D. D.; PELOSI, N.; TAMBURRINO, S.; LUBRITTO, C. (2013). «Integrated stratigraphy for the Late Quaternary in the eastern Tyrrhenian Sea». *Quaternary International* [en línia], 292, p. 71-85. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2012.08.2055>>.
- LLASSES, J.; JORDÀ, G.; GOMIS, D.; ADLOFF, F.; MACÍAS, D.; HARZALLAH, A.; ARSOUZE, T.; AKTHAR, N.; LI, L.; ELIZALDE, A.; SANNINO, G. (2016). «Heat and salt redistribution within the Mediterranean Sea in the Med-CORDEX model ensemble». *Climate Dynamics* [en línia], 51, p. 1119-1143. <<https://doi.org/10.1007/s0382-016-3242-0>>.
- LUTERBACHER, J.; WERNER, J. P.; SMERDON, J. E.; FERNÁNDEZ-DONADO, L.; GONZÁLEZ-ROUCO, F. J.; BARRIOPEDRO, D.; LJUNGQVIST, F. C.; BÜNTGEN, U.; ZORITA, E.; WAGNER, S.; ESPER, J.; MCCARROLL, D.; TORETI, A.; FRANK, D.; JUNGCLAUS, J. H.; BARRIENDOS, M.; BERTOLIN, C.; BOTHE, O.; BRÁZDIL, R.; CAMUFFO, D.; DOBROVOLNÝ, P.; GAGEN, M.; GARCÍA-BUSTAMANTE, E.; GE, Q.; GÓMEZ-NAVARRO, J. J.; GUIOT, J.; HAO, Z.; HEGERL, G. C.; HOLMGREN, K.; KLIMENKO, V. V.; MARTÍN-CHIVELET, J.; PFISTER, C.; ROBERTS, N.; SCHINDLER, A.; SCHURER, A.; SOLOMINA, O.; GUNTEN, L. von; WAHL, E.; WANNER, H.; WETTER, O.; XOPLAKI, E.; YUAN, N.; ZANCHETTIN, D.; ZHANG, H.; ZEREFOS, C. (2016). «European summer temperatures since Roman times». *Environmental Research Letters* [en línia], 11, 24001. <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/2/024001>>.

- MALANOTTE-RIZZOLI, P.; ARTALE, V.; BORZELLI-EUSEBI, G. L.; BRENNER, S.; CRISE, A.; GACIC, M.; KRESS, N.; MARULLO, S.; RIBERA D'ALCALÀ, M.; SOFIANOS, S.; TANHUA, T.; THEOCHARIS, A.; ALVAREZ, M.; ASHKENAZY, Y.; BERGAMASCO, A.; CARDIN, V.; CARNIEL, S.; CIVITARESE, G.; D'ORTENZIO, F.; FONT, J.; GARCIA-LADONA, E.; GARCIA-LAFUENTE, J. M.; GOGOU, A.; GREGOIRE, M.; HAINBUCHER, D.; KONTOYANNIS, H.; KOVACEVIC, V.; KRASKAPOULOU, E.; KROSKOS, G.; INCARBONA, A.; MAZZOCCHI, M. G.; ORLIC, M.; OZSOY, E.; PASCUAL, A.; POULAIN, P. M.; ROETHER, W.; RUBINO, A.; SCHROEDER, K.; SIOKOU-FRANGOU, J.; SOUVERMEZOGLOU, E.; SPROVIERI, M.; TINTORÉ, J.; TRIANTAFYLLOU, G. (2014). «Physical forcing and physical/biochemical variability of the Mediterranean Sea: A review of unresolved issues and directions for future research». *Ocean Science* [en línia], 10, p. 281-322. <<https://doi.org/10.5194/os-10-281-2014>>.
- MARGALEF, R. (ed.) (1985). «Introduction to the Mediterranean». A: *Western Mediterranean*. Oxford: Pergamon Press, p. 1-16.
- MARIOTTI, A.; ZENG, N.; YOON, J. H.; ARTALE, V.; NAVARRA, A.; ALPERT, P.; LI, L. Z. X. (2008). «Mediterranean water cycle changes: Transition to drier 21st century conditions in observations and CMIP3 simulations». *Environmental Research Letters* [en línia], 3, 044001. <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/3/4/044001>>.
- MARLOWE, I. T.; BRASSELL, S. C.; EGLINTON, G.; GREEN, J. C. (1984). «Long chain unsaturated ketones and esters in living algae and marine sediments». *Organic Geochemistry*, 6, p. 135-141.
- MARTÍN-CHIVELET, J.; MUÑOZ-GARCÍA, M. B.; CRUZ, J. A.; ORTEGA, A. I.; TURRERO, M. J. (2017). «Speleothem architectural analysis: Integrated approach for stalagmite-based paleoclimate research». *Sedimentary Geology* [en línia], 353, p. 28-45. <<https://doi.org/10.1016/j.sedgeo.2017.03.003>>.
- MARTÍN-CHIVELET, J.; MUÑOZ-GARCÍA, M. B.; EDWARDS, R. L.; TURRERO, M. J.; ORTEGA, A. I. (2011). «Land surface temperature changes in Northern Iberia since 4000 yr BP, based on $\delta^{13}\text{C}$ of speleothems». *Global and Planetary Change* [en línia], 77, p. 1-12. <<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.02.002>>.
- MARTÍN-PUERTAS, C.; JIMÉNEZ-ESPEJO, F.; MARTÍNEZ-RUIZ, F.; NIETO-MORENO, V.; RODRIGO, M.; MATA, M. P.; VALERO-GARCÉS, B. L. (2010). «Late Holocene climate variability in the southwestern Mediterranean region: An integrated marine and terrestrial geochemical approach». *Climate of the Past* [en línia], 6, p. 807-816. <<https://doi.org/10.5194/cp-6-807-2010>>.
- MARTÍN-PUERTAS, C.; VALERO-GARCÉS, B. L.; BRAUER, A.; MATA, M. P.; DELGADO-HUERTAS, A.; DULSKI, P. (2009). «The Iberian-Roman Humid Period (2600-1600 cal yr BP) in the Zoñar Lake varve record (Andalucía, southern Spain)». *Quaternary Research* [en línia], 71, p. 108-120. <<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2008.10.004>>.
- MARTÍNEZ-PILLADO, V.; IRIARTE, Y. E.; ÁLVARO, A.; ORTEGA, N.; ARANBURU, A.; ARSUGA, J. L. (2020). «The red coloration of Goikoetxe Cave's speleothems (Busturia, Spain): An indicator of paleoclimatic changes». *Quaternary International* [en línia], 566-567, p. 141-151. <<https://doi.org/10.1016/j.quaint.2020.04.006>>.
- MAUFFRET, A. (1979). «Etude géodynamique de la marge des Illes Baléares». *Mémoires de la Société Géologique de France*, LVI, p. 1-96.

- MCCAVE, I. N.; MANIGHETTI, B.; ROBINSON, S. G. (1995). «Sortable silt and fine sediment size / composition slicing: Parameters for paleocurrent speed and paleoceanography». *Paleoceanography*, 10, p. 593-610.
- MCDERMOTT, F. (2004). «Palaeo-climate reconstruction from stable isotope variations in speleothems: A review». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 23, 901-918. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2003.06.021>>.
- MEDOC, G. (1970). «Observation of formation of Deep Water in the Mediterranean Sea». *Nature*, 227, p. 1037-1040.
- MERTENS, C.; SCHOTT, F. A. (1998). «Interannual variability of deep-water formation in the northwestern Mediterranean». *Journal of Physical Oceanography* [en línia], 28, p. 1410-1424. <[https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1998\)028<1410:IVODWF>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1998)028<1410:IVODWF>2.0.CO;2)>.
- MICKLER, P. J.; STERN, L. A.; BANNER, J. L. (2006). «Large kinetic isotope effects in modern speleothems». *Geological Society of America Bulletin* [en línia], 118, p. 65-81. <<https://doi.org/10.1130/B25698.1>>.
- MILLOT, C. (1999). «Circulation in the Western Mediterranean Sea». *Journal of Marine Systems*, 20, p. 423-442.
- MORELLÓN, M.; VALERO-GARCÉS, B.; VEGAS-VILARRÚBIA, T.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; ROMERO, Ó.; DELGADO-HUERTAS, A.; MATA, P.; MORENO, A.; RICO, M.; CORELLA, J. P. (2009). «Lateglacial and Holocene palaeohydrology in the western Mediterranean region: the Lake Estanya record (NE Spain)». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 28, p. 2582-2599. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.05.014>>.
- MORENO, A.; PÉREZ, A.; FRIGOLA, J.; NIETO-MORENO, V.; RODRIGO-GÁMIZ, M.; MARTRAT, B.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; MORELLÓN, M.; MARTÍN-PUERTAS, C.; PABLO, J.; BELMONTE, Á.; SANCHO, C.; CACHO, I.; HERRERA, G.; CANALS, M.; GRIMALT, J. O.; JIMÉNEZ-ESPEJO, F.; MARTÍNEZ-RUIZ, F.; VEGAS-VILARRÚBIA, T.; VALERO-GARCÉS, B. L. (2012). «The Medieval climate anomaly in the Iberian Peninsula reconstructed from marine and lake records». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 43, p. 16-32. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2012.04.00>>.
- PARNELL, A. C.; HASLETT, J.; ALLEN, J. R. M.; BUCK, C. E.; HUNTLEY, B. (2008). «A flexible approach to assessing synchronicity of past events using Bayesian reconstructions of sedimentation history». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 27, p. 1872-1885. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2008.07.009>>.
- PASQUAL, A.; NICOLAU, M. E. (2006). «Anàlisi dels grafitis de sa Cova des Pirata i de sa Cova des Pont». *Endins*, 29, p. 65-74.
- PASTOR, F.; ESTRELA, M.; PEÑARROCHA, D.; MILLÁN, M. (2001). «Torrential rains on the Spanish Mediterranean Coast: Modelling the effects of the sea surface temperature». *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 40, p. 1180-1195.
- PÉREZ-SANZ, A.; GONZÁLEZ-SAMPÉRIZ, P.; MORENO, A.; VALERO-GARCÉS, B.; GIL-ROMERA, G.; RIERADEVALL, M.; TARRATS, P.; LASHERAS-ÁLVAREZ, L.; MORELLÓN, M.; BELMONTE, A.; SANCHO, C.; SEVILLA-CALLEJO, M.; NAVAS, A. (2013). «Holocene climate variability, vegetation dynamics and fire regime in the central Pyrenees: The Basa de la Mora sequence (NE Spain)». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 73, p. 149-169. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2013.05.010>>.

- PUIG, P.; DURRIEU DE MADRON, X.; SALAT, J.; SCHROEDER, K.; MARTÍN, J.; KARAGEORGIS, A. P.; PALANQUES, A.; ROULLIER, F.; LOPEZ-JURADO, J. L.; EMELIANOV, M.; MOUTIN, T.; HOUPERT, L. (2013). «Thick bottom nepheloid layers in the western Mediterranean generated by deep dense shelf water cascading». *Progress in Oceanography* [en línia], 111, p. 1-23. <<https://doi.org/10.1016/j.pocean.2012.10.003>>.
- RIXEN, M.; BECKERS, J. M.; LEVITUS, S.; ANTONOV, J.; BOYER, T.; MAILLARD, C.; FICHAUT, M.; BALOPOULOS, E.; IONA S.; DOOLEY, H.; GARCIA, M. J.; MANCA, B.; GIORGETTI, A.; MANZELLA, G.; MIKHAILOV, N.; PINARDI, N.; ZAVATARELLI, M. (2005). «The western Mediterranean deep water: A proxy for climate change: The Mediterranean-A climate proxy». *Geophysical Research Letters* [en línia], 32. <<https://doi.org/10.1029/2005GL022702>>.
- ROBERTS, N.; MORENO, A.; VALERO-GARCÉS, B. L.; CORELLA, J. P.; JONES, M.; ALLCOCK, S.; WOODBRIDGE, J.; MORELLÓN, M.; LUTERBACHER, J.; XOPLAKI, E.; TÜRKES, M. (2012). «Palaeolimnological evidence for an East-West climate see-saw in the Mediterranean since AD 900». *Global and Planetary Change* [en línia], 84-85, p. 23-34. <<https://doi.org/10.1016/j.gloplacha.2011.11.002>>.
- ROSENTHAL, Y. (2007). «Elemental proxies for reconstructing Cenozoic seawater paleotemperatures from calcareous fossils». A: HILLAIRE-MARCEL, C.; VERNAL, A. de (ed.). *Developments in Marine Geology*. Vol. 1. Elsevier, p. 765-797.
- RUMÍN-CAPARRÓS, A. (2017). *Teleconnexions atmosfèriques i resposta oceanogràfica a les mars Mediterrània nord-occidental i Cantàbrica*. Tesi doctoral. Barcelona: Universitat de Barcelona. 265 p.
- SALAT, J.; FONT, J. (1985). «Masses d'aigua i circulació a la Mediterrània». A: *L'oceanografia: Introducció a l'ecologia marina mediterrània*. Barcelona: Diputació de Barcelona. (Quaderns d'Ecologia Aplicada; 8), p. 61-98.
- SANCHEZ-CABEZA, J.; MASQUÉ, P.; ANI-RAGOLTA, I. (1998). « ^{210}Pb and ^{210}Po analysis in sediments and soils by microwave acid digestion». *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 227, p. 19-22.
- SANCHEZ-VIDAL, A.; LLORCA, M.; FARRÉ, M.; CANALS, M.; BARCELÓ, D.; PUIG, P.; CALAFAT, A. (2015). «Delivery of unprecedented amounts of perfluoroalkyl substances towards the deep-sea». *Science of the Total Environment* [en línia], 526, p. 41-48. <<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2015.04.080>>.
- SCHROEDER, K.; GARCÍA-LAFUENTE, J.; JOSEY, S. A.; ARTALE, V.; BUONGIORNO NARDELLI, B.; CARRILLO, A.; GACIC, M.; GASPARINI, G. P.; HERRMANN, M.; LIONELLO, P.; LUDWIG, W.; MILLOT, C.; ÖZSOY, E.; PISACANE, G.; SÁNCHEZ-GARRIDO, J. C.; SANNINO, G.; SANTOLEN, R.; SOMOT, S.; STRUGLIA, M.; STANEV, E.; TAUPIER-LETAGE, I.; TSIMPLIS, M. N.; VARGAS-YÁÑEZ, M.; ZERVAKIS, V.; ZODIATIS, G. (2012). «Circulation of the Mediterranean Sea and its variability». A: LIONELLO, P. (ed.). *The climate of the Mediterranean region, from the past to the future*. Amsterdam: Elsevier Insights.
- SCHROEDER, K.; HAZA, A. C.; GRIFFA, A.; ÖZGÖKMEN, T. M.; POULAIN, P.; GERIN, R.; PEGGION, G.; RIXEN, M. (2011). «Relative dispersion in the liguro-provençal basin: From sub-mesoscale to mesoscale». *Deep-Sea Research Part I*, 58, p. 861-882.
- SCHROEDER, K.; JOSEY, S. A.; HERRMANN, M.; GRIGNON, L.; GASPARINI, G. P.; BRYDEN, H. L. (2010). «Abrupt warming and salting of the Western Mediterranean Deep Water

- after 2005: Atmospheric forcings and lateral advection». *Journal of Geophysical Research* [en línia], 115, C08029. <<https://doi.org/10.1029/2009JC005749>>.
- SEAGER, R.; HOERLING, M.; SCHUBERT, S.; WANG, H.; LYON, B.; KUMAR, A.; NAKAMURA, J.; HENDERSON, N. (2015). «Causes of the 2011-14 California drought». *Journal of Climate*, 28, p. 6997-7024. <<https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00860.1>>.
- SEN GUPTA, B. K. (1999). «Introduction to modern Foraminifera». A: SEN GUPTA, B. K. (ed.). *Modern Foraminifera*. Regne Unit: Kluwer Academic Publishers, p. 3-6.
- SEND, U.; FONT, J.; KRAHMANN, G.; MILLOT, C.; RHEIN, M.; TINTORE, J. (1999). «Recent advances in observing the physical oceanography of the western Mediterranean Sea». *Progress in Oceanography*, 44, p. 37-64.
- SIDDALL, M.; STOCKER, T. F.; SPAHNI, R.; BLUNIER, T.; MCMANUS, J. I.; BARD, E. (2006). «Using a maximum simplicity paleoclimate model to simulate millennial variability during the last four glacial cycles». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 25, p. 3185-3197. <<https://doi.org/3110.1016/j.quascirev.2005.3112.3>>.
- SOMOT, S.; HOUPERT, L.; SEVAULT, F.; TESTOR, P.; BOSSE, A.; TAUPIER-LETAGE, I.; BOUIN, M. N.; WALDMAN, R.; CASSOU, C.; SANCHEZ-GOMEZ, E.; DURRIEU DE MADRON, X.; ADLOFF, F.; NABAT, P.; HERRMANN, M. (2016). «Characterizing, modelling and understanding the climate variability of the deep water formation in the North-Western Mediterranean Sea». *Climate Dynamics* [en línia], 51, p. 1179-1210. <<https://doi.org/10.1007/s00382-016-3295-0>>.
- SOMOT, S.; SEVAULT, F.; DEQUÉ, M. (2006). «Transient climate change scenario simulation of the Mediterranean Sea for the twenty-first century using a high-resolution ocean circulation model». *Climate Dynamics*, 27, p. 851-879.
- STANLEY, D. J. (ed.) (1972). *The Mediterranean Sea: A natural sedimentation laboratory*. Stroudsburg, PA: 765 Dowden, Hutchinson & Ross.
- STEINHILBER, F.; ABREU, J. A.; BEER, J.; BRUNNER, I.; CHRISTL, M.; FISCHER, H.; HEIKKILÄ, U.; KUBIK, P. W.; MANN, M.; MCCracken, K. G.; MILLER, H.; MIYAHARA, H.; OERTER, H.; WILHELMS, F. (2012). «9400 years of cosmic radiation and solar activity from ice cores and tree rings». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* [en línia], 109, p. 5967-5971. <<https://doi.org/10.1073/pnas.1118965109>>.
- STEINHILBER, F.; BEER, J.; FRÖHLICH, C. (2009). «Total solar irradiance during the Holocene». *Geophysical Research Letters* [en línia], 36, L19704. <<https://doi.org/10.1029/2009GL040142>>.
- STOLL, H. M.; MORENO, A.; MENDEZ-VICENTE, A.; GONZALEZ-LEMONS, S.; JIMENEZ-SANCHEZ, M.; DOMINGUEZ-CUESTA, M. J.; EDWARDS, R. L.; CHENG, H.; WANG, X. (2013). «Paleoclimate and growth rates of speleothems in the northwestern Iberian Peninsula over the last two glacial cycles». *Quaternary Research* [en línia], 80, p. 284-290. <<https://doi.org/10.1016/j.yqres.2013.05.002>>.
- STOMMEL, H.; BRYDEN, H.; MANGELSD, P. (1973). «Does some of Mediterranean outflow come from great depth?». *Pure and Applied Geophysics*, 105 (4), p. 879-889.
- THIERSTEIN, H. R.; GEITZENAUER, K. R.; MOLFINO, K. R.; SHACKLETON, N. J. (1977). «Global synchronicity of late Quaternary coccolith datum levels: Validation by oxygen isotopes». *Geology*, 5, p. 400-404.

- TREBLE, P.; SHELLEY, J. M. G.; CHAPPELL, J. (2003). «Comparison of high-resolution subannual records of trace elements in a modern (1911-1992) speleothem with instrumental climate data from southwest Australia». *Earth and Planetary Science Letters*, 216, p. 141-153.
- TREMAINE, D. M.; FROELICH, P. N.; WANG, Y. (2011). «Speleothem calcite farmed in situ: Modern calibration of $\delta^{18}\text{O}$ and $\delta^{13}\text{C}$ paleoclimate proxies in a continuously-monitored natural cave system». *Geochimica et Cosmochimica Acta* [en línia], 75, p. 4929-4950. <<https://doi.org/10.1016/j.gca.2011.06.005>>.
- VANGHI, V.; IRIARTE, E.; ARANBURU, A. (2015). «High resolution X-Ray computed tomography for petrological characterization of speleothems». *Journal of Cave and Karst Studies* [en línia], 77, p. 75-82. <<https://doi.org/10.4311/2014ES0102>>.
- VENY, C. (1982). *La necrópolis protohistórica de Cales Coves. Menorca*. Madrid: Consejo Superior de Investigaciones Científicas: Instituto Español de Prehistoria. (Bibliotheca Praehistorica Hispana; XX)
- VOLKMAN, J. K.; EGLINTON, G.; CORNER, E. D. S.; SARGENT, J. R. (1980). «Novel unsaturated straight-chain C37-C39 methyl ethyl ketones in marine sediments and coccolithophore *Emiliania huxleyi*». *Physics and Chemistry of the Earth*, 12, p. 219-227.
- WALCZAK, I. W.; BALDINI, J. U. L.; BALDINI, L. M.; MCDERMOTT, F.; MARSDEN, S.; STANDISH, C. D.; RICHARDS, D. A.; ANDREO, B.; SLATER, J. (2015). «Reconstructing high-resolution climate using CT scanning of unsectioned stalagmites: A case study identifying the mid-Holocene onset of the Mediterranean climate in southern Iberia». *Quaternary Science Reviews* [en línia], 127, p. 117-128. <<https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2015.06.013>>.
- ZACHOS, J.; PAGANI, M.; THOMAS, E.; BILLUPS, K. (2001). «Trends rhythms, and aberrations in global climate 65 Ma to present». *Science*, 292, p. 686-693.
- ZAMPIERI, M.; CEGLAR, A.; DENTENER, F.; TORETI, A. (2017). «Wheat yield loss attributable to heat waves, drought and water excess at the global, national and subnational scales». *Environmental Research Letters* [en línia], 12, 064008. <<https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa723b>>.

ARXIUS DE LES SECCIONS DE CIÈNCIES

Títols publicats*

- 1/1 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 1, núm. 1 (1 novembre 1911)
- 1/2 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 1, núm. 2 (1 juliol 1912)
- 1/3 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 1, núm. 3 (31 desembre 1912)
- 2/1 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 2, núm. 1 (1913)
- 2/2 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 2, núm. 2 (1914)
- 2/3 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 2, núm. 3 (1914)
- 3/1 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 3, núm. 1 (1915)
- 3/2 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 3, núm. 2 (1915)
- 3/3 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 3, núm. 3 (1915)
- 4/1 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 1 (1916)
- 4/2 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 2 (1916)
- 4/3 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 3 (1916)
- 4/4 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 4 (1916)
- 4/5 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 5 (1916)
- 4/6 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 6 (1916)
- 4/7 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 7 (1916)
- 4/8 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 8 (1916)
- 4/9 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 4, núm. 9 (1916)
- 5/1 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 5, núm. 1 (1917)
- 5/2 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 5, núm. 2 (1917)
- 5/3 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 5, núm. 3 (1917)
- 5/4 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 5, núm. 4 (1917)
- 5/5 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 5, núm. 5 (1917)
- 5/6 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 5, núm. 6 (1917)
- 6/1 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 6, núm. 1 (1918)
- 6/2-5 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 6, núm. 2-5 (1918)
- 6/6-9 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 6, núm. 6-9 (1918)
- 7 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 7 (1919)
- 8 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 8 (1920)
- 9 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 9 (1921)
- 10 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 10 (1922)
- 11 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 11 (1923)
- 12 *Arxius de l'Institut de Ciències*, any 12 (1924)
- 13 Frederic DURAN, *Histopatologia d'una nova capa d'epiteli semiescamós pla que cobreix les mucoses digestives* (1947)
- 14 Eduard FONTSERÈ, *Assaig d'un vocabulari meteorològic català* (1948)

* Els volums 1 al 12 es corresponen amb els volums (anys) de la revista *Arxius de l'Institut de Ciències*, que es deixà d'editar l'any 1924. Així mateix, els volums 28, 29, 32, 34, 36, 38 al 42, 44, 46, 47, 50, 52 i 55 es corresponen amb els números 18 al 33 de la revista *Treballs de la Societat Catalana de Biologia*, que es continua editant com a publicació periòdica independent. D'altra banda, fins al volum 99, aquesta col·lecció es denominà «Arxius de la Secció de Ciències», ja que les dues seccions de ciències actuals (la Secció de Ciències Biològiques i la Secció de Ciències i Tecnologia) eren una sola, la Secció de Ciències.

- 15 Pius FONT I QUER, *Morfologia, nomenclatura i geografia de l'«Arenaria aggregata» (L.) Lois* (1948)
- 16 Enric GUITER, *Estudis sobre la hidròlisi en química mineral* (1949)
- 17 Ferran SUNYER I BALAGUER, *Una nova generalització de les funcions gairebé-periòdiques* (1949)
- 18 Pius FONT I QUER (dir.), *Flora catalana. Descripció de les plantes que es fan a les terres catalanes i països limítrofs*, vol. 1, 'Scabiosa' L. (1950)
- 19 Leandre CERVERA, *L'acció de les radiacions sobre les cèl·lules vives* (1950)
- 20 Leandre CERVERA (cur.), *Homenatge a Ramon Turró. Recull d'estudis sobre la seva vida i la seva obra* (1950)
- 21 Eduard FONTSERÈ, *La tramuntana empordanesa i el mestral del golf de Sant Jordi* (1950)
- 22 Josep-Ramon GUIX, *Potencialització dels antibiòtics per mitjà dels raigs X* (1953)
- 23 Francesc MASCLANS, *Els noms vulgars de les plantes a les terres catalanes* (1954)
- 24 Josep LAPORTE, *Noves idees sobre farmacologia de la coagulació* (1954)
- 25 P[are] SALVADOR DE LES BORGES, *Arnau de Vilanova moralista* (1957)
- 26 Oriol de BOLÒS, *El paisatge vegetal de dues comarques naturals: la Selva i la Plana de Vic* (1959)
- 27 Delfí ABELLA, *L'orientació antropològica existencial de la psiquiatria* (1962)
- 28 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1963), vol. 18
- 29 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1964), vol. 19
- 30 Francesc MASCLANS, *Flora del Segrià i l'Urgell, a la plana occidental catalana* (1966)
- 31 Maria-Antònia MASSANELL, *Algues aquàtiques del Parc d'Aigües Tortes* (1966)
- 32 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1966), vol. 20
- 33 Ferran SUNYER I BALAGUER, *Sobre un espai de funcions enteres d'ordre infinit* (1967)
- 34 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1967), vol. 21
- 35 Fernando GONZÁLEZ-NÚÑEZ, *La hidronefrosi. La seva correcció quirúrgica* (1967)
- 36 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1967), vol. 22
- 37 Josep VIGO, *La vegetació del massís de Penyagolosa* (1968)
- 38 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1968), vol. 23
- 39 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1968), vol. 24
- 40 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1968), vol. 25
- 41 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1969), vol. 26
- 42 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1969), vol. 27
- 43 August COROMINAS, *Contribució a l'estudi bioquímic dels lípids: lipidúries* (1970)
- 44 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1970), vol. 28
- 45 Enric CASASSAS, *Estudi sobre la reactivitat envers els ions metàl·lics d'alguns reactius quelatants amb grups-SH i sobre la formació de complexos per alguns mercaptoàcids alifàtics* (1971)
- 46 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1971), vol. 29
- 47 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1971), vol. 30
- 48 Joan ALSINA, *La mercaptohidroquinona com a reactiu en l'anàlisi inorgànica* (1972)
- 49 Salvador MIRACLE, *Una formulació variacional de la mecànica estadística dels sistemes infinits i la regla de les fases de Gibbs* (1972)
- 50 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1972), vol. 31
- 51 Robert BARGALLÓ, *Morfologia ultraestructural de l'espermiogènesi de «Sagitta setosa»* (1972)

- 52 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1973), vol. 32
- 53 Joan RIERA, *Idealisme i positivisme en la medicina catalana del segle XIX* (1973)
- 54 Francesc MASCLANS, *Els noms catalans dels bolets. (Ordre dels agaricals)* (1975)
- 55 *Treballs de la Societat Catalana de Biologia* (1976), vol. 33
- 56 Josep M. NÚÑEZ i Josep PÉREZ, *Distribució del balanç de la radiació a Catalunya* (1977)
- 57 Salvador ALEGRET, *Diccionari de l'utilitatge químic* (1977)
- 58 Lluís MARQUET, *Vocabulari de luminotècnia* (1979)
- 59 M. Àngels CARDONA, *Funcionalisme i ecologia d'algunes comunitats vegetals barcelonines* (1980)
- 60 Ramon FOLCH i GUILLÈN, *La flora de les comarques litorals compreses entre la riera d'Alforja i el riu Ebre* (1980)
- 61 *Centenari de la naixença d'Albert Einstein* (1981)
- 62 Daniel de MAS, *La geomorfologia del Vallès Oriental* (1981)
- 63 Josep M. DRUDIS, *Síntesi de compostos policíclics pentagonals* (1982)
- 64 Joan J. GUIMERÀ, *Estudi estructural de les zones de fractura de Garraf i de Vallcarca (massís de Garraf)* (1982)
- 65 Jaume AGUSTÍ, *Ciència i tècnica a Catalunya en el segle XVIII. La introducció de la màquina de vapor* (1983)
- 66 Enric RAS, *Directrius per a un enllaç Mallorca-Eivissa de transmissió d'energia mitjançant corrent continu* (1982)
- 67 Joan J. GUINOVART, Àngels MOR i Emili ITARTE, *Estudi de les proteïno-quinases independents d'AMP cíclic de fetge de rata* (1983)
- 68 Ramon M. MASALLES, *Flora i vegetació de la Conca de Barberà* (1983)
- 69 Ramon LAPIEDRA, *Les equacions de la mecànica relativista predictiva. Una família de solucions* (1983)
- 70 Antoni MÉNDEZ, *Cotes sobre l'aparent violació de la simetria d'inversió temporal a les interaccions febles* (1984)
- 71 M. Àngels MARQUÈS, *Les formacions quaternàries del delta del Llobregat* (1984)
- 72 Joan Manuel VILAPLANA, *Estudi del glacialisme de les valls de la Valira d'Ordino i d'Arinsal (Andorra)* (1984)
- 73 Joandomènec ROS, Ignasi OLIVELLA i Josep M. GILI, *Els sistemes naturals de les illes Medes* (1984)
- 74 Esmaragda CAUS, *Biostratigrafia i micropaleontologia de l'Eocè mitjà i superior del Pre-pirineu català* (1984)
- 75 Manuel CASTELLET (cur.), *El desenvolupament de les matemàtiques al segle XIX* (1984)
- 76 David JOU, *Equacions de Gibbs generalitzades i extensió de la termodinàmica dels processos irreversibles* (1984)
- 77 Joaquim CASAL, *Contribució a l'estudi de la fluïdització homogènia* (1984)
- 78 Rosa M. CROS, *Flora briològica del Montnegre* (1985)
- 79 Josep A. PLANA, *Estudi climàtic i balanç hídric de la conca de la Noguera Ribagorçana* (1985)
- 80 Néstor L. HLADUN, *Aportació a la flora, morfologia i vegetació dels líquens de la part alta del Montseny* (1985)
- 81 Oriol RIBA i Salvador REGUANT, *Una taula dels temps geològics* (1986)
- 82 Adriana GARAU, *Deambulació al camp obert i postulat dels fàrmacs d'Eysenck* (1986)

- 83 Joan M. MATA, *Estructura fina del camp de vent superficial i difusió de contaminants en certes situacions de mesoscala* (1986)
- 84 Mikel ZABALA, *Fauna dels briozous dels Països Catalans* (1986)
- 85 Joan de SOLÀ-MORALES, *Equacions de Navier-Stokes en un canal amb obstacle* (1986)
- 86 Josep MIRET, *Contribució a l'estudi de la imatge psicològica de la pell* (1986)
- 87 Daniel de MAS, *El relleu del Vallès Occidental. (L'evolució geomorfològica quaternària del Vallès Occidental)* (1989)
- 88 Xavier FONT, *Estructura, tipologia i ecologia de les pastures montanes de la Cerdanya* (1989)
- 89 Josep M. TURA, Joan RODÉS i Adolf TRAVERIA, *Estudi per tècniques físiques d'anàlisi (SEM, EDX, SIMS, LAMMA, XRD i XRF) de microcristalls exògens i endògens i de traces metàl·liques en patologia humana* (1989)
- 90 Àngel M. ROMO, *Flora i vegetació del Montsec. (Pre-pirineus catalans)* (1989)
- 91 M. Victòria VIVES, *Contribució al coneixement de la fauna herpetològica de Catalunya* (1990)
- 92 Albert PERMANYER, *Sedimentologia i diagènesi dels esculls miocènics de la conca del Penedès* (1990)
- 93 Josep M. MATA, *Els minerals de Catalunya* (1990)
- 94 Carme JUNQUÉ, *Desorganització diferencial del català i el castellà en afàsics bilíngües* (1990)
- 95 Jordi CASAL, *Contribució a l'estudi de la leucosi bovina. Mètodes de diagnòstic i prevalença a Catalunya* (1990)
- 96 Josep M. MONTANER, *La modernització de l'utilatge mental de l'arquitectura a Catalunya: 1714-1859* (1990)
- 97 F. Xavier de las HERAS, *Geoquímica orgànica de conques lacustres fòssils* (1991)
- 98 Cèsar BLANCHÉ, *Revisió biosistemàtica del gènere 'Delphinium' L. a la península Ibèrica i a les illes Balears* (1991)
- 99 Empar CARRILLO i Josep M. NINOT, *Flora i vegetació de les valls d'Espot i de Boí* (1992), 2 v.
- 100 Josep AMAT i Enric CASASSAS (cur.), *Trenta-dos aspectes de ciència i tecnologia* (1995)
- 101 Enric BALLESTEROS, *Els vegetals i la zonació litoral: espècies, comunitats i factors que influeixen en la seva distribució* (1992)
- 102 Joaquim SALES, *Composts organometàl·lics d'elements de transició amb grups policlorofenil. Influència dels efectes estèrics i electrònics en llur estabilitat* (1992)
- 103 Assumpció MALGOSA, *La població talaiòtica de Mallorca. Les restes humanes de l'illot des Porros (s. VI-II aC)* (1992)
- 104 Josep CHABÀS, *L'astronomia de Jacob ben David Bonjorn* (1992)
- 105 Xavier FONT, *Estudis geobotànics sobre els prats xeròfils de l'estatge montà dels Pirineus* (1993)
- 106 Agustí REVENTÓS, *Geometria axiomàtica* (1993)
- 107 Josep PLA, *Axiomes alternatius de la teoria de conjunts i llur influència en matemàtiques* (1993)
- 108 Christian PAPIÓ, *Ecologia del foc i regeneració en garrigues i pinedes mediterrànies* (1994)
- 109 Teresa FRANQUESA, *El paisatge vegetal de la península del cap de Creus* (1995)
- 110 Boris P. SOBOLEV (ed.), *Multicomponent crystals based on heavy metal fluorides for radiation detectors* (1994)

- 111 Ferran SAGARRA, *Barcelona, ciutat de transició (1848-1868). El projecte urbà a través dels treballs de l'arquitecte Miquel Garriga i Roca* (1996)
- 112 David JOU, *Matèria i materialisme* (1997)
- 113 Mireia GIRALT, *Líquens epífits i contaminació atmosfèrica a la plana i les serralades litorals tarragonines* (1996)
- 114 Oriol de BOLÒS, *La vegetació de les illes Balears. Comunitats de plantes* (1996)
- 115 Romà TAULER, *Anàlisi de mescles mitjançant resolució multivariant de corbes* (1997)
- 116 Josep YLLA, *Història natural del lepidòpter 'Graellsia isabelae' (Graells, 1849)* (1997)
- 117 Carles CASTELL, *Ecofisiologia de dues espècies rebrotadores mediterrànies: l'arboç ('Arbutus unedo') i l'alzina ('Quercus ilex')* (1997)
- 118 Eulàlia PLANAS, *Incendis d'hidrocarburs. Efectes sobre equips de procés* (1998)
- 119/1 Lluís CORTADA, *Estructures territorials, urbanisme i arquitectura poliòrcètics a la Catalunya preindustrial, vol. 1, De l'antiguitat al segle XVII* (1998)
- 119/2 Lluís CORTADA, *Estructures territorials, urbanisme i arquitectura poliòrcètics a la Catalunya preindustrial, vol. 2, Segles XVIII i XIX* (1998)
- 120 Maria BOSCH, *Biologia de la reproducció de la tribu 'Delphinieae' a la Mediterrània occidental* (1999)
- 121 Carles FERNÀNDEZ, *Morfoestructura i paleobiologia dels ortofragmínids de la Mesogea (Discocyclinidae i Orbitoclypeidae, Foraminifera)* (1999)
- 122 Joan SIMON i Josep VICENS, *Estudis biosistemàtics en 'Euphorbia' L. a la Mediterrània occidental* (1999)
- 123 Estanislau ROCA, *Montjuïc, la muntanya de la ciutat* (2a ed., 2000; la 1a ed. [1994] no fou publicada per l'IEC)
- 124 Boris P. SOBOLEV, *The rare earth trifluorides, part 1, The high temperature chemistry of the rare earth trifluorides* (2000)
- 125 Carles MARTÍN-CLOSAS, *Els caròfits del Juràssic superior i el Cretaci inferior de la península Ibèrica = Upper Jurassic and lower Cretaceous charophytes from the Iberian Peninsula* (2000)
- 126 Sergi BONET, M[ailo] BRIZ, E[lisabet] PINART, S[ílvia] SANCHO, N[úria] GARCIA-GIL i E[lena] BADIA, *Morfologia espermàtica en porcí = Morfología espermática en porcino = Morphology of boar spermatozoa* (2000)
- 127 Montserrat BOQUERAS, *Líquens epífits i fongs liquenícoles del sud de Catalunya. Flora i comunitats* (2000)
- 128 Lluís MERCADER, Domènec LLORIS i Jaume RUCABADO, *Tots els peixos del mar català. Diagnosi i claus d'identificació* (2001; 2a ed., actual., 2003)
- 129 Anna M. ROMANÍ, *Biofilms fluvials. Metabolisme heterotròfic i autotròfic en rius mediterranis* (2001)
- 130 Lluís ROVIRA, Pau SENRA i David JOU, *Estudis bibliomètrics sobre la recerca en física a Catalunya* (2001)
- 131 *El delta de l'Ebre. Estudi multidisciplinari* (2001)
- 132 Boris P. SOBOLEV, *The rare earth trifluorides, part 2, Introductions to materials science of multicomponent metal fluoride crystals* (2001)
- 133 Jacint CORBELLÀ i Edelmira DOMÈNECH, *Científics del Priorat* (2002)
- 134 *Una mostra de la biologia i la patologia cel·lulars del sistema nerviós a Catalunya. Cent cinquantè aniversari del naixement del Santiago Ramón y Cajal* (2003)
- 135 Carles BAS, Francesc MAYNOU, Francesc SARDÀ i Jordi LLEONART, *Variacions demogràfiques a les poblacions d'espècies demersals explotades. Els darrers quaranta anys a Blanes i Barcelona* (2003)

- 136 Emil G. RACOVITZA, *Assaig sobre els problemes bioespeleològics* (2004)
- 137 Àngels LONGÁN, *Els líquens epífits com a indicadors de l'estat de conservació del bosc mediterrani* (2006)
- 138 Josep GESTI, *El poblament vegetal dels Aiguamolls de l'Empordà* (2006)
- 139 M. Carme CASAS, *Estudi tipològic, ecològic i funcional de les pastures de la plana de Vic* (2008)
- 140 Jacint CORBELLA, *L'Institut de Fisiologia de Barcelona (1920-1939)* (2009)
- 141 Esther CLAVERO, *Diatomees d'ambients hipersalins costaners. Taxonomia, distribució i empremtes en el registre sedimentari* (2009)
- 142 Teresa BUCHACA, *Pigments indicadors: estudi del senyal en estanys dels Pirineus i de la seva aplicació en paleolimnologia* (2009)
- 143 Alfons CARPIO, *Ciència i política exterior francesa a l'Espanya de Franco: el cas dels físics catalans* (2010)
- 144 Manuel CASTELLET (cur.), *Selecta Ferran Sunyer i Balaguer* (2012)
- 145 Jacint CORBELLA, *Metges i medicina d'Occitània* (2012)
- 146 Núria CARRERA, *Inversió tectònica i evolució estructural de la Cordillera Oriental meridional (Valles Calchaquíes, NW de l'Argentina)* (2013)
- 147 Enric ORTEGA, *Diccionari etimològic dels noms científics dels ocells dels Països Catalans* (2017)
- 148 *Natura: ús o abús? (2018-2019). Ús i abús de la natura, impactes i propostes de gestió. El cas de Catalunya com a paradigma* (2021)
- 149 Maria del Mar ROVIRA, *Casa de la Congregació de la Missió a Barcelona. De l'església de Sant Sever i Sant Carles Borromeu dels paüls a la parròquia mercedària de Sant Pere Nolasc (1703-2017)* (2021)
- 150 Sergi GONZÁLEZ, *Precipitació i circulacions mesoescalars en zones d'orografia complexa* (2021)
- 151 Natàlia BLÁZQUEZ-PALLÍ, *Estratègies de bioremediació en aqüífers contaminats. Mètodes per investigar la viabilitat d'aquests processos i per implementar in situ aquesta tecnologia d'una manera exitosa* (2022)
- 152 Guillem BLANCO, *La conjectura de Yano* (2023)
- 153 Mercè CISNEROS, *El clima del passat recent a la regió mediterrània occidental. Reconstruccions dels darrers 2.700 anys a partir de sediments marins i estalagmites de coves* (2023)

El clima del passat recent a la regió mediterrània occidental

La doctora Mercè Cisneros Bermejo (1982) és llicenciada en ciències ambientals per la Universitat Autònoma de Barcelona (2010) i doctora en ciències del mar per la Universitat de Barcelona, amb la tesi titulada *Reconstrucció climàtica dels darrers 2.700 anys a la Mediterrània occidental: sediments marins i estalagmites* (2019).

La seva recerca ha estat focalitzada a reconstruir el clima del passat mitjançant anàlisis geoquímiques en sediments marins del nord de l'illa de Menorca i en estalagmites de coves de Mallorca. D'una banda, mitjançant els registres derivats dels sediments marins, ha estudiat les condicions de les aigües marines superficials (temperatures), així com també les condicions de les aigües profundes (formació d'aigua fonda). De l'altra, mitjançant els registres derivats de les estalagmites, ha reconstruït la variabilitat hidroclimàtica.

Aquestes reconstruccions poden ampliar el coneixement d'escenaris futurs i de les respostes als canvis actuals que el nostre ambient està experimentant. El present és la clau del passat i el passat és la clau del futur. Endemés, durant el període que cobreix la seva recerca, hi va haver importants transicions i canvis en les civilitzacions i en els sistemes socials, com aquells de l'època talaiòtica a les illes Balears o del període romà.

Actualment, combina registres geoquímics obtinguts mitjançant arxius naturals (sediments marins i estalagmites de coves) amb informació climàtica derivada de fonts històriques. Aquesta metodologia permet, per exemple, entendre millor els esdeveniments climàtics extrems (per exemple, aiguats i sequeres) dels darrers segles (petita edat de gel) a la regió catalana dels Pirineus.

