

# CONTEXT OCEANOGRÀFIC DE L'ILLA DE CABRERA

Damià Gomis

Gabriel Jordà

Rosa Balbín

Olga Reñones

Maite Vázquez

IMEDEA  
(Universitat de les Illes Balears – CSIC).  
Esporles

Centre Oceanogràfic de Balears,  
Instituto Español de Oceanografía.  
Palma

damia.gomis@uib.cat

Gomis, D., Jordà, G., Balbín, R., Reñones, O. i Vázquez, M. (2020). Context Oceanogràfic de l'illa de Cabrera. In: Grau, A.M., Fornós, J.J., Mateu, G., Oliver, P.A., Terrasa, B. (2020) Arxipèlag de Cabrera: Història Natural. Monografies de la Societat d'Història Natural de les Balears, 30. 738 pp. ISBN 978-84-09-23487-5

## RESUM

Cap territori està més condicionat per la mar que una illa, i més si es tracta d'una illa petita, com Cabrera. En aquest capítol es descriu el context oceanogràfic de l'illa des d'un punt de vista físic, atenent als paràmetres que es consideren més importants i que són: la temperatura i la salinitat, que condicionen els ecosistemes marins; l'onatge, que condiciona la morfologia de la costa i l'accessibilitat des de (o cap a) terres més fermes; els corrents marins i el nivell de la mar. La descripció comença caracteritzant les masses d'aigua i corrents marins de la Mediterrània Occidental, que és l'entorn més ample en el que s'insereix Cabrera. Tot seguit es fa un inventari de les dades oceanogràfiques existents; malgrat després no s'analitzin totes, l'inventari servirà com a registre actualitzat. A partir de les observacions es caracteritzen els paràmetres d'interès en termes de valors mitjans i extrems. S'analitzen també, quan això és possible, la variabilitat estacional, la variabilitat interanual i les eventuais tendències climàtiques. Aquesta caracterització es fa a dues escales espacials: primer a escala regional, emprant dades de satèl·lit i bases de dades històriques, i després a escala més local, a partir d'observacions obtingudes prop de Cabrera o a les costes de la mateixa illa. Per acabar, es comenten les projeccions climàtiques existents per il·lustrar, ni que sigui breument, els principals canvis que s'esperen com a conseqüència de l'escalfament global.

**Paraules clau:** *Illa de Cabrera, Oceanografia Física, Conca Mediterrània Occidental*

## ABSTRACT

No territory is more conditioned by the sea than an island, particularly in the case of a small island like Cabrera. This chapter describes the oceanographic context of Cabrera Island from a physical point of view, i.e. characterizing the parameters that are considered most important: the temperature and salinity, which condition marine ecosystems; the wave regime, which conditions the morphology of the coast and the communications with the mainland; the currents and sea level. The description begins by characterizing the water masses and currents of the Western Mediterranean, which is the broadest oceanographic context of Cabrera. Next, an inventory of the existing oceanographic data is presented; although not all listed data are analyzed later on, the inventory will serve to keep an updated record. The observations are then used to characterize the parameters of interest in terms of mean and extreme values. We also analyze, when this is possible, the seasonal variability, inter-annual variability and eventual long-term trends. The characterization is carried out at two spatial scales: first at a regional scale, using satellite data and historical databases, and then at local scale, using observations acquired near Cabrera or just at the coast of the island. Finally, we summarize the existing regional marine climate projections to illustrate, very briefly, the main changes that are expected as a result of global warming.

**Keywords** *Cabrera Island, Physical Oceanography, Western Mediterranean Basin*

## INTRODUCCIÓ: PARÀMETRES OCEANOGRÀFICS D'INTERÈS

Cap territori està més condicionat per la mar que una illa, i més si es tracta d'una illa petita, com Cabrera. La mar és, en primer lloc, el principal causant de l'aïllament que caracteritza un territori insular, el que separa aquest territori de terres més fermes. D'altra banda, la mar és també nexa d'unió i la manera (pràcticament la única, en el cas de Cabrera) d'arribar a l'illa. La mar, juntament amb l'atmosfera, també modela el territori, i els seus recursos han jugat i juguen un paper important pel que fa a la presència humana a l'arxipèlag. A la primera monografia que es va editar sobre Cabrera no hi consta cap capítol específic dedicat al context oceanogràfic, tot i que alguns aspectes es van incloure com a part d'altres capítols, concretament els dedicats a 'Aspectes hidrogràfics i planctònics dels voltants de l' arxipèlag de Cabrera' (Vives, 1993) i a 'El Bentos: El marc físic' (Ballesteros y Zabala, 1993). Ara, vint-i-cinc anys després, s'està en disposició de dibuixar amb un millor coneixement el marc regional de l'entorn marítim de Cabrera.

En aquest capítol es descriurà el context oceanogràfic de l'illa des d'un punt de vista estrictament físic, és a dir, atenent als paràmetres físics marins que es consideren més importants. La importància dels distints paràmetres s'ha interpretat en base a la seva influència sobre qualsevol altre aspecte de la realitat de Cabrera. Així, per exemple, la temperatura i la salinitat de l'aigua són importants perquè condicionen els ecosistemes costaners de l'illa. L'onatge, per la seva banda, condiciona la morfologia de la costa, per no parlar de l'accessibilitat des de (o cap a) terres més fermes. El nivell de la mar no tindria en principi massa importància, atès que les mareas a la Mediterrània Occidental són petites. El fet, però, que una de les conseqüències de la intervenció humana sobre el clima sigui un increment notable i continuat del nivell de la mar, fa que també s'hagi de prestar atenció a aquesta variable, sobre tot pel que fa al futur.

El context oceanogràfic de Cabrera començarà amb la descripció del seu marc regional més ample, que és la Mediterrània Occidental; concretament, es descriuran els principals corrents marins i masses d'aigua d'aquesta conca. Tot seguit es farà un inventari de les dades oceanogràfiques existents i que són rellevants per a la caracterització del context de l'illa de Cabrera, especialment d'aquelles que han estat obtingudes amb la finalitat específica de conèixer l'entorn de l'illa. Ens referim tan a campanyes oceanogràfiques esporàdiques, amb independència de la seva finalitat, com a monitoratges més periòdics i específics. Es nomenaran també les dades de satèl·lits i productes climatològics a nivell de conca, perquè tot i no ser particulars de la zona, a dia d'avui constitueixen una eina essencial per al seguiment continuat de paràmetres oceanogràfics. Malgrat després no s'analitzin totes aquestes dades, l'inventari servirà per tenir un registre actualitzat de les observacions marines existents al voltant de Cabrera.

A partir de les observacions es caracteritzaran els paràmetres d'interès en termes de valors mitjans i extrems; s'analitzarà també, quan això sigui possible, la variabilitat estacional, la variabilitat interanual i les eventuais tendències climàtiques. Aquesta caracterització es farà a dues escales espacials: i) a escala regional, especialment per al Mar Balear i la conca Algeriana, que són els àmbits més propers de Cabrera, emprant dades de satèl·lit i bases de dades històriques; ii) a escala local, a partir de les dades existents prop de Cabrera o a les costes de la mateixa illa. Per acabar, es comentaran les projeccions climàtiques existents en aquesta zona i que il·lustrin d'alguna manera els canvis que s'esperen com a conseqüència del canvi climàtic.

Una vegada exposat el guió d'aquest capítol i abans d'entrar a descriure el marc oceanogràfic, es comentarà breument cadascun dels paràmetres físics que es consideren d'interès i el perquè de la seva importància:

- » La temperatura ( $T$ ): és sens dubte un dels paràmetres fonamentals. Des del punt de vista físic la temperatura condiona (juntament amb la salinitat) la densitat de l'aigua, que és un paràmetre del qual depenen aspectes cabdals de la dinàmica marina (la descripció de la densitat es presenta més avall). A més, la temperatura és per sí mateixa un paràmetre de primer ordre pel que fa als ecosistemes: la seva distribució (tan horitzontal com vertical) condiona la distribució de la flora i la fauna marines. A més, en el context climàtic actual i futur, la temperatura és un dels paràmetres que experimentarà els canvis més importants, canvis que repercutiran de manera inevitable sobre els ecosistemes. Val a dir aquí que no només la temperatura mitjana és important; també és essencial la seva distribució al llarg de l'any i els valors extrems que s'assoleixen, principalment els màxims d'estiu. No de bades moltes espècies pateixen més degut als valors extrems que no degut a les variacions en la temperatura mitjana. Pel que fa a les observacions, la temperatura es pot mesurar tan 'in situ', mitjançant instruments d'alta precisió (entre 0.01 °C i 0.001 °C), com des de satèl·lits (amb una precisió menor i una resolució espacial de l'ordre de 1 km). La gran avantatge dels satèl·lits és que, des dels anys 80, han permès una cobertura periòdica i gairebé total dels oceans (excepte quan hi ha cobertura nuvolosa); la seva principal desavantatge és que només mesuren la temperatura superficial de l'aigua (els primers cm de la columna), que si bé poden ser representatius d'una capa superficial més gran, no ho són de les capes fondes. [Val a dir aquí que quan es parla d'aigües fondes, més que la Temperatura 'in situ', es sol emprar la temperatura potencial ( $\theta$ ). Aquesta és la temperatura que tindria la mateixa aigua si es moguéssim de la fondària a que està fins a superfície sense intercanviar calor (és a dir, tot just eliminant els canvis que la pressió produeix sobre la temperatura); es mesura igualment en °C.]
- » La salinitat ( $S$ ) és l'altre paràmetre hidrodinàmic que condiona la densitat de l'aigua; pel que fa a la distribució de la flora i fauna marines, la salinitat per sí mateixa no és tan important com la temperatura. La salinitat es mesura en Kg de sal per cada 1000 Kg d'aigua (unitats fins fa poc abreujades com a "psu" i ara sense dimensions), i el seu rang de variació tan temporal com espacial és relativament petit (tret de zones situades a la vora de la desembocadura de rius): en el 90% dels oceans del món la salinitat està entre 34 i 35, però la Mediterrània es troba precisament fora d'aquest 90%, amb valors de  $S$  entre 36.5 i 39. En el context actual de canvi climàtic, si bé es preveuen canvis en la salinitat, no s'espera que aquests afectin els ecosistemes de manera tan notòria com els de temperatura. La salinitat es pot mesurar també 'in situ', mitjançant instruments d'alta precisió (entre 0.01 i 0.001), i des de satèl·lits (amb una precisió molt menor i una resolució espacial molt pobre). Al igual que per a la temperatura, els satèl·lits només mesuren la salinitat superficial de l'aigua; la diferència respecte d'aquesta és que les mesures de salinitat des de l'espai són molt recents (uns pocs anys).
- » La densitat ( $\rho$ ) és la variable hidrodinàmica per excel·lència. A escales superiors a la desena de km, la distribució horitzontal de densitat és la responsable dels principals corrents marins, que s'estableixen com a resposta dinàmica a les diferències horitzontals de pressió causades per les diferències de densitat. En la vertical, la densitat sempre augmenta amb la fondària (del contrari la columna d'aigua seria inestable), però dependent de si aquest augment és important (columna d'aigua molt estratificada) o feble (columna més homogènia) s'inhibiran o afavoriran els moviments verticals d'aigua. Aquests moviments són fonamentals per al transport de nutrients des de les capes fondes fins a la capa fòtica o il·luminada, transport del qual depèn la producció de fitoplàncton. L'estratificació té un cicle estacional molt marcat: a l'estiu i començament de tardor, l'escalfament de les capes superficials accentua la diferència de temperatura respecte de les capes fondes i per tant la diferència de densitat, establint-se el que s'anomena com a termoclina (o piconoclina) estacional que inhibeix els moviments verticals. A l'hivern i començament de

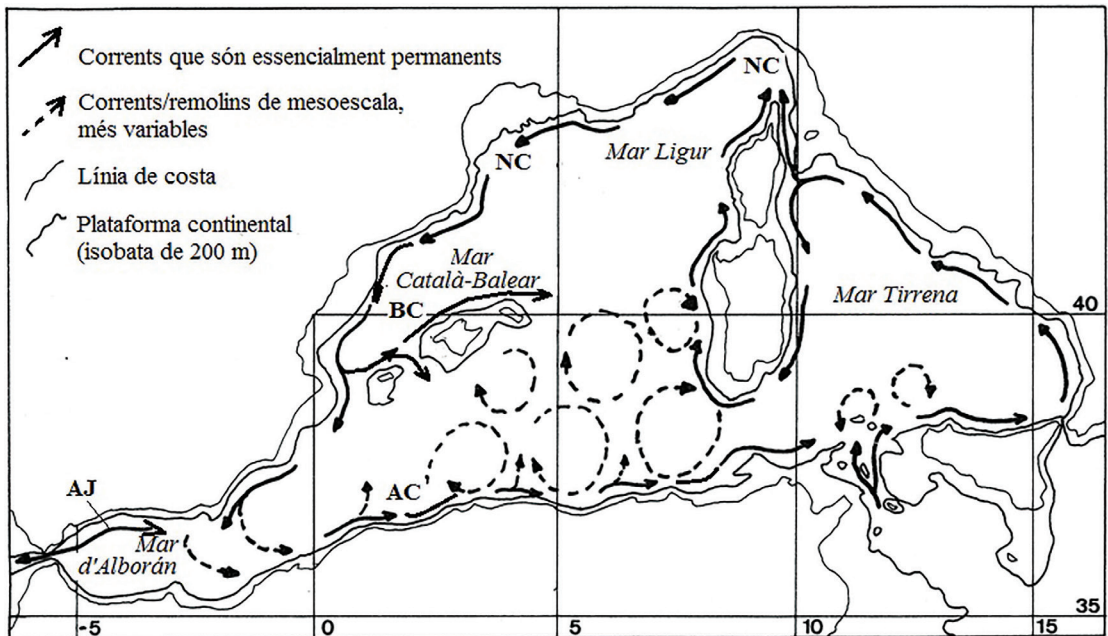
primavera, el refredament superficial i la mescla causada pels temporals fa disminuir les diferències verticals de densitat, afavorint els moviments verticals. La densitat no es mesura directament, sinó que es calcula a partir de la temperatura i la salinitat a partir d'una equació empírica (l'equació d'estat). De fet, la variable dinàmica d'interès no és la densitat 'in situ' o vertadera, que a les capes fondes es veu afectada també per la pressió, sinó la densitat que tindria la mateixa aigua si estigués en superfície (no sotmesa a pressió). Sense la contribució de la pressió, el rang de variació de la densitat és típicament de 1026 a 1029 kg/m<sup>3</sup>. Per no haver d'arrossegar xifres no significatives, a la densitat se li sol restar el valor de 1000, amb la qual cosa es diu que varia entre 26 i 29; a aquesta variable se l'anomena  $\sigma$  ( $\sigma_\theta$ , si en el seu càlcul es tenen en compte també les variacions de la temperatura degudes a la pressió).

- » Els corrents marins són els responsables del transport no només d'aigua, sinó de tot el que es mou amb aquesta (oxigen dissolt, nutrients, organismes planctònics,...). Els corrents afecten per exemple la dispersió de larves, i per tant les pesqueres. També els ecosistemes costaners estan condicionats per la intensitat dels corrents. Com ja s'ha dit abans, a escales més grans de la desena de km les diferències horitzontals de densitat són un dels motors principals dels corrents marins, tan superficials com fondos (són els anomenats 'corrents geostròfics'). També el vent, que actua a totes les escales, provoca corrents; si bé de manera directa només mou les capes més superficials, de manera indirecta pot posar en moviment també les capes fondes, com passa amb els grans girs oceànics. A la Mediterrània, però, els vents són en general variables i intermitents, i així són també els corrents associats. Hi ha molt poques mesures directes de corrents, i aquestes solen ser sempre locals. A escala regional, però, els corrents es poden obtenir de manera indirecta: i) d'una banda, els corrents geostròfics a qualsevol fondària es poden obtenir a partir de les variacions espacials de la densitat; ii) a partir dels anys 90 la mesura del nivell de la mar des de satèl·lits altimètrics ha fet possible inferir els corrents superficials; l'avantatge respecte a les mesures satel·litals de temperatura és que l'altimetria no es veu impedida per la cobertura nuvolosa, amb la qual cosa es poden inferir els corrents superficials (a una escala de desenes de km) de manera continuada i global.
- » L'onatge és el responsable de l'erosió costanera i també té impacte sobre els ecosistemes. En l'àmbit humà, l'onatge condiciona les comunicacions entre una illa i els territoris propers, així com també la pesca i activitats de lleure. Igual que per a la temperatura, l'onatge té un règim estacional molt marcat, de manera que els valors mitjans anuals no tenen molt de sentit més enllà de l'estadística. En canvi els valors extrems són molt rellevants, per quan aquests són en bona mesura els responsables dels impactes més importants. L'onatge es pot inferir de manera aproximada des de satèl·lits, però les millors observacions provenen de boies. Això sí, en tractar-se de mesures locals, cal algun tipus d'algorisme que, a partir de dades de vent, permeti inferir l'onatge allà on no es disposa de mesures.
- » El darrer paràmetre físic d'interès és el nivell de la mar. A l'arxipèlag Balear les marees tenen un rang molt petit (de l'ordre de 5 cm) i per tant tenen poc impacte. De fet, la pressió atmosfèrica té més rellevància que les marees, per quan fa pujar/baixar el nivell de la mar 1 cm per cada mb que disminueix/augmenta la pressió; això fa que en situacions marcadament ciclòniques/anticiclòniques la mar pugui estar més de 20 cm per sobre/davall del seu nivell normal. També el vent és un motor de canvi, especialment quan bufa perpendicularment a la costa. Però com s'ha dit abans, el nivell de la mar no seria una variable cabdal si no fos per l'augment que s'està produint degut el canvi climàtic. El fet que les pujades previstes al llarg d'aquest segle puguin alterar la fisonomia de la costa fa que aquesta variable s'hagi de considerar a dia d'avui entre les principals. El nivell de la mar també es mesura tan 'in situ' com des de satèl·lits. Les mesures in situ són molt precises (de l'ordre de 1 mm) i a la Mediterrània Occidental es disposa de dades que abasten més de 100 anys (unes poques dècades en el cas de les Illes Balears). Pel contra, les mesures de satèl·lit són globals, però de menys precisió (de l'ordre de 1 cm) i les sèries de dades arranquen a principis dels anys 90.

## EL MARC OCEANOGRÀFIC DE L'ILLA DE CABRERA

En el context oceanogràfic, l'arxipèlag de Cabrera participa de la circulació i les masses d'aigua que caracteritzen la Mediterrània Occidental, i més concretament la conca Algeriana, que abasta des del nord d'Àfrica fins a les Illes Balears i Sardenya, i des del mar d'Alborán fins a Sicília. El tret fonamental de la Mediterrània Occidental es la circulació ciclònica (anti-horària) que flueix sobre la plataforma i talús continentals al llarg de pràcticament tota la conca (veure p.e. Millot, 1985): l'aigua Atlàntica (AW), que entra en superfície per Gibraltar i ocupa els primers 200 m de la columna d'aigua, travessa primer el Mar d'Alborán i després continua al llarg de la costa Algeriana, constituint el que es coneix com a Corrent d'Algèria (AC). Aquest corrent és sovint inestable i dóna lloc a la formació de remolins anticiclònics i ciclònics que es desprenen del corrent. Els primers són més persistents en el temps i sovint arriben a l'arxipèlag Balear (Millot i Taupier-Letage, 2005).

Quan el corrent d'Algèria arriba a Sicília, una part continua cap a la Mediterrània Oriental i una altra segueix les costes de la mar Tirrena i del mar Lligur (Astraldi i Gasparini, 1992), conformant el que es coneix com a Corrent del Nord (NC); quan aquest corrent arriba a la plataforma de la Península Ibèrica s'anomena també Corrent Català-Balear. En arribar al canal d'Eivissa el NC pot tenir comportaments distints: normalment, sempre hi ha una branca que no travessa el canal, sinó que flueix al llarg de la costa NO d'Eivissa primer i de Mallorca després (Salat, 1995; García-Ladona *et al.*, 1996), conformant el Corrent Balear (BC); aquest corrent es dilueix més allà del nord-est de Menorca. Una altra part del NC sol travessar el canal d'Eivissa i seguir en direcció SO al llarg del marge Ibèric, tot i que a vegades es produeixen situacions de bloqueig que impedeixen el pas d'aquesta branca. Un esquema de la circulació general a la conca Mediterrània Occidental es mostra a la Fig. 1.



**Figura 1** Esquema de la circulació superficial a la conca Occidental de la Mediterrània. Els corrents permanents representats són l'entrada d'aigua atlàntica per Gibraltar (AJ), el Corrent d'Algèria (AC), el Corrent del Nord (NC) i el Corrent Balear (BC). També s'han representat els girs transitoris de la conca Algeriana. [Versió adaptada d'una figura de Millot and Taupier-Letage, 2005].



Pel que fa al que era el Parc Nacional Marítim-Terrestre (PNMT) de Cabrera fins a l'any 2018, tot ell es situava sobre fons de menys de 150 m. En aquell domini només calia parlar d'aigua superficial i, per tant, d'aigua d'origen Atlàntic. A l'entorn de l'illa se n'hi troben dues classes d'AW: una és AW 'nova', que ha travessat recentment l'estret de Gibraltar, ha arribat a Cabrera directament des de la conca d'Algèria, i es caracteritza per la seva baixa salinitat ( $S < 37.5$ ); l'altra és AW 'resident', que arriba a Cabrera des del nord després de fer tota la volta a la conca Occidental, i que ha anat augmentant paulatinament de salinitat ( $S > 37.5$ ) degut a processos d'evaporació i mescla. La confluència d'aquestes dues masses d'aigua genera un front de salinitat que es situa pels voltants de l'arxipèlag Balear, sobre tot en primavera i estiu. La posició del front i per tant les aigües superficials que es puguin trobar just al voltant de Cabrera depenen de com ha estat el forçament atmosfèric durant l'hivern (Monserrat *et al.*, 2008; Balbín *et al.*, 2012b).

L'any 2018 es va ampliar considerablement el PNMT de Cabrera fins a la zona de l'escarpament Emil Boudot, situat al SE de Cabrera (Fig. 2). Des d'aquest punt el nou domini s'estén en la direcció sud-est-nord-est sobre una àrea de 80773 ha (que sumades a les de l'actual parc fan un total de 90794 ha) i amb un perímetre de 82.15 milles nàutiques. El nou domini es situa sobre fons que arriben a tenir més de 2000 m i, per tant, cal parlar d'altres masses d'aigua més enllà de les superficials. Pel que fa a masses d'aigua intermèdies, n'hi ha dues que arriben als voltants de Cabrera: l'Aigua Llevantina Intermèdia (LIW), situada típicament entre els 200 i 1000 m i que té el seu origen a la Mediterrània Oriental, i l'Aigua Intermèdia Occidental (WIW), situada típicament entre els 100 i 300 m. La WIW es forma els hiverns sobre la plataforma i talús de la conca (veure p.e. Vargas-Yáñez *et al.*, 2012) i és transportada pel NC fins al Golf de València i el canal d'Eivissa, on arriba a finals d'hivern o principis de primavera. Aquesta aigua, però, no continua sempre al llarg de la costa NO de les Balears; alguns anys s'hi troba i d'altres no. A nivells més fons (a partir de 1000 m i fins al fons) s'hi troba l'Aigua Fonda de la Mediterrània Occidental (WMDW). Aquesta aigua es forma per convecció hivernal al Golf de Lleó i al mar Lligur (grup MEDOC, 1970) i per esclavissaments en cascada al marge continental, sobre tot dintre dels canons que retallen la plataforma del Golf de Lleó i la costa catalana (Canals *et al.*, 2006; Puig *et al.*, 2013). La Taula I mostra els valors de temperatura potencial i salinitat que caracteritzen les masses d'aigua al voltant de l'arxipèlag Balear (López-Jurado *et al.*, 2008).

**Taula I.** Rangos de temperatura potencial ( $\theta$ , en °C) i salinitat (S) que caracteritzen les masses d'aigua rellevants per a la zona de Cabrera: Aigua Atlàntica superficial (AW), Aigua Intermèdia de la Mediterrània Occidental (WIW), Aigua Llevantina Intermèdia (LIW) i Aigua Fonda de la Mediterrània Occidental (WMDW).

Massa d'aigua / Water mass	Valors en origen / Values at origin	Valors locals / Local Values
AW	15.0 < $\theta$ < 18.0 36.15 < S < 36.50	15.0 < $\theta$ < 28.0 36.50 < S < 37.50
AW resident	13.0 < $\theta$ < 28.0 37.50 < S < 38.30	13.0 < $\theta$ < 28.0 37.50 < S < 38.20
WIW	12.5 < $\theta$ < 13.0 37.90 < S < 38.30	12.5 < $\theta$ < 13.0 37.90 < S < 38.30
LIW	14.0 < $\theta$ < 15.0 38.70 < S < 38.80	13.0 < $\theta$ < 13.4 38.45 < S < 38.60
WMDM	12.7 < $\theta$ < 12.9 38.40 < S < 38.48	12.7 < $\theta$ < 12.9 38.40 < S < 38.48

Com no pot ser d'altra manera, els ecosistemes marins guarden relació amb la posició dels fronts oceànics que separen masses d'aigua distintes, afectant la productivitat, els cicles de nutrients i carboni i l'ecologia tròfica (veure p.e. Landry *et al.*, 2012, i referències subsegüents). Això també es pot observar a les Illes Balears, on la variabilitat de mesoescala (estructures d'entre 10-100 km, veure p.e. Pinot *et al.*, 1995) determina les diferències interanuals en els patrons de les comunitats meroplànctòniques (Alemany *et al.*, 2010; Torres *et al.*, 2011). La localització dels fronts també determina la variabilitat interanual dels habitats de reproducció de grans depredadors pelàgics com la tonyina vermella i blanca (Reglero *et al.*, 2012). Finalment els fronts i remolins juguen un paper

molt important en la connectivitat genètica i fragmentació geogràfica entre distintes poblacions de la mateixa espècie de peixos (Schunter *et al.*, 2011). La influència dels paràmetres físics sobre els ecosistemes es tractarà, però, dintre dels capítols dedicat als sistemes naturals marins.

## DADES EXISTENTS I PROGRAMES DE MONITORATGE

Les dades oceanogràfiques existents i que són rellevants per a l'illa de Cabrera es poden separar en tres categories. D'una banda, les dades de satèl·lit, que són d'abast global però no per això s'han d'obviar; no de bades són l'únic tipus de dada que dona a la vegada una cobertura espacial completa dels voltants de l'illa i una continuïtat temporal. El segon tipus de dades són dades 'in situ' recollides en les proximitats de Cabrera però que no tenien l'illa com a objectiu. Aquí cal nomenar les bases de dades que abasten tota la conca Mediterrània Occidental i també els programes de monitoratge desenvolupats al voltant de l'arxipèlag Balear. Finalment hi hauria les dades que tenen com a objectiu concret el monitoratge de l'illa de Cabrera, i que per tant són del tot locals. A continuació es descriuen els tres tipus de dades.

### DADES DE SATÈL·LIT

Els programes d'observació de la terra d'agències espacials com la ESA i la NASA són una gran contribució a l'estudi dels oceans. Mitjançant sensors instal·lats a satèl·lits en òrbita actualment es pot mesurar la temperatura i salinitat de l'aigua, el nivell de la mar, l'onatge i el 'color' (a partir del qual es dedueixen concentracions de clorofil·la i sediments). Les dades satel·litals tenen com a gran avantatge la cobertura global i la seva continuïtat en el temps; alguns programes ja estan en marxa des de fa prou anys com per permetre estudis climàtics (p.e., aviat farà 40 anys de les primeres mesures de temperatura i 25 de les de nivell de la mar). Com a punts negatius d'aquest tipus d'observacions cal remarcar que només ofereixen informació de la superfície de la mar i que estan subjectes a distintes fonts d'error que cal corregir. La resolució espacial i temporal de les dades varia molt d'un tipus de mesura a un altra i no sempre són prou bones com per estudiar certs processos oceanogràfics.

L'observació de la temperatura superficial de l'aigua a partir tècniques radiomètriques passives va començar a principis dels anys 80; actualment es subministren dades fins a cada 12h a una resolució espacial d'1 km. Cal remarcar una vegada més que aquestes observacions depenen de l'absència de níguls i són sensibles a les característiques de l'atmosfera, per la qual cosa les dades originals requereixen d'un post-processat que fa augmentar la qualitat del producte però li redueix la resolució espacial i temporal.

L'altura del nivell de la mar es mesura mitjançant tècniques de radar actiu des de l'any 1992. Les dades d'altimetria no cobreixen tot l'oceà, sinó que s'obtenen al llarg de les traces sobrevolades pels satèl·lits i que (a aquestes latituds) poden estar separades entre 50 i 200 km. La separació de les traces és inversament proporcional a la periodicitat de les mesures, la qual oscil·la entre 30 i 7 dies. A partir de les dades originals es sol fer un post-procés que interpola els valors sobre una malla regular, la qual cosa simplifica la interpretació i els càlculs posteriors. Per a la Mediterrània, actualment existeix un producte diari amb una resolució espacial d'1/8° (uns 13 km); ara bé, malgrat el producte interpolat tenguí aquesta resolució, cal recordar que les dades originals amb les que es basen els productes tenen unes resolucions bastant més pobres. Des de l'any 2003 i gràcies a la missió GRACE es disposa també de mesures gravimètriques que complementen les mesures altimètriques de nivell de la mar. La gravimetria dona informació sobre els canvis de massa i per tant sobre la quantitat d'aigua que hi ha a un lloc determinat. Combinant-la amb mesures d'altimetria es poden deduir canvis en la densitat de la columna d'aigua. Ara bé, GRACE té una resolució espacial molt baixa (de l'ordre dels 100 km) i per tant només és útil per a estudis a escala de conca.

Una altra variable que fa temps que es mesura des de satèl·lit és el 'color' de l'aigua. En realitat el que es fa és mesurar amb un radiòmetre l'espectre de llum que arriba des de l'oceà. S'ha comprovat que l'anàlisi a distintes longituds d'ona dona informació sobre distintes tipus de partícules en suspensió. Mitjançant algorismes sofisticats es pot deduir per exemple la concentració de sediments o de clorofil·la, que és una mesura indirecta de la producció primària. Al treballar en el rang visible i infrarroig, les mesures estan afectades per la presència de níguls, la qual cosa requereix un post-procés acurat que redueixi els errors de les observacions. Distintes missions espacials han proporcionat dades de color de l'aigua des de finals dels anys '70 (es pot trobar un resum a <https://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>), cadascuna amb particularitats diferents pel que fa a la forma com s'obtenen les mesures i el tipus de processat posterior. Actualment per a la Mediterrània es disposa de productes que combinen tota la informació disponible produint mapes amb una resolució espacial i temporal de fins a 1 km i 1 dia, respectivament.

Finalment, l'any 2009, es va llançar la missió espacial SMOS (humitat del terra i salinitat de l'oceà, en les sigles angleses), promoguda per l'ESA, i l'any 2011 la missió AQUARIUS, promoguda per la NASA. Aquestes dues missions han mostrat per primera vegada la capacitat de mesurar des de l'espai la salinitat superficial de l'oceà. Les dues missions es basen en tècniques diferents (radiòmetre d'interferometria en banda L en el cas de SMOS i sensors radiomètrics PALS en el cas d'AQUARIUS). Es tracta de tecnologies molt noves i que encara tenen marge de millora pel que fa a la qualitat de les observacions i dels productes que s'obtenen a partir d'elles. La proximitat de les costes, la necessitat de tenir bones estimes dels processos atmosfèrics i la contaminació electromagnètica deguda a les xarxes de telefonia mòbil fan que les mesures brutes tinguin uns errors molt grans. De fet, sempre s'havia considerat que a la Mediterrània no es podrien obtenir mesures de salinitat des de satèl·lits, però els darrers avanços en tècniques de post-procés han permès crear uns productes 'Mediterranis' que tenen una resolució espacial d'uns 25 km i una resolució temporal diària. L'error dels mapes de salinitat és de  $\sim 0.45$  (<http://bec.icm.csic.es/>).

L'obtenció d'aquests productes satel·litals s'ha simplificat molt en els darrers temps, i totes les dades són d'accés públic (excepte alguns productes en temps real). Per a la Mediterrània cal destacar el servei Copernicus (<http://marine.copernicus.eu/>), que s'ha encarregat de compilar els distintes productes, posar-los en un format homogeni i distribuir-los mitjançant un únic portal web. En particular, Copernicus proveeix dades d'altimetria, temperatura superficial i color de l'aigua. També bona part de les dades de la NASA són d'accés lliure. Així per exemple, les dades de gravimetria es poden obtenir a <https://grace.jpl.nasa.gov/>. Finalment, mencionar que les dades de SMOS, estan disponibles a (<http://bec.icm.csic.es/>).

## DADES 'IN-SITU'

Obtenir mesures a la mar és una tasca cara i laboriosa. Per una banda hi ha les campanyes oceanogràfiques, durant les quals un vaixell va mesurant perfils de distintes variables (temperatura, salinitat, oxigen, etc...) al llarg de tota la columna d'aigua a llocs concrets ('estacions'). Aquestes campanyes solen proporcionar una cobertura espacial raonablement bona però corresponen a un moment concret i sovint no són representatives d'un període de temps extens. Alternativament hi ha l'opció de fondejar instruments que mesurin de forma continuada, però a uns pocs punts; els fondejos ofereixen per tant una bona cobertura temporal, però just són representatius d'una zona molt concreta. En el marc oceanogràfic en el que s'insereix l'illa de Cabrera podem classificar la informació disponible i basada en mesures 'in-situ' en tres tipus: i) els productes sobre xarxes espacials regulars obtinguts a partir de dades històriques, i que solen ser a escala de conca; ii) les sèries temporals derivades de programes de monitoratge regional, en el marc dels quals s'obtenen mesures de forma periòdica a zones properes a Cabrera; iii) els programes de mostreig locals, fets directament a l'entorn immediat de l'illa i focalitzats en el seu estudi. Malgrat la qualitat de la informació del primer tipus de dades és inferior a les altres, té l'avantatge de cobrir un període de temps molt llarg (normalment de 1950 fins al present). Per l'altra banda, les dades locals són les més representatives de l'entorn de Cabrera, però malauradament encara tenen una cobertura temporal molt limitada.



## Productes a nivell de conca.

Pel que fa als productes en malla cal explicar que es basen en recopilar totes les observacions disponibles durant un període concret (p.ex. un mes determinat) i combinar-les per tal d'inferir un camp continu que cobreixi no només les zones on hi ha mesures sinó també on no n'hi ha. Òbviament aquest tipus de producte té les seves limitacions, però en molts de casos són l'única font d'informació disponible i l'única manera de tenir una aproximació contínua en el temps i l'espai de variables com la temperatura o la salinitat. Una descripció detallada dels tipus de productes disponibles a la Mediterrània i de les seves limitacions es pot trobar a Jordà *et al.*, (en preparació); aquí just se'n farà un breu resum.

Els productes en malla més emprats a la Mediterrània són els de MEDAR/MEDATLAS ((MEDAR-Group, 2002; Rixen *et al.*, 2005), l'EN4 del Hadley Centre (Good *et al.*, 2013) i el d'Ishii i Kimoto (2009). Els tres es basen en una compilació de tots els perfils disponibles (normalment els que estan emmagatzemats al *World Ocean Database*), en un control de qualitat que pretén netejar les dades dubtoses i en un procés d'interpolació de les dades discretes sobre una malla regular en l'espai i periòdica en el temps. Així per exemple, MEDAR/MEDATLAS, que és un producte estrictament Mediterrani, té una resolució horitzontal de  $1/4^\circ$  (~ 25km), però finalitza l'any 2000. Els altres dos són productes globals de menor resolució ( $1^\circ \approx 100$  km) però s'extenen fins al present. En tots els casos la resolució vertical és semblant. Malgrat sobre el paper els tres productes haurien de ser molt semblants, la realitat és que les diferències en el control de qualitat i l'algorisme d'interpolació es tradueixen en diferències no negligibles, sobretot pel que fa a la salinitat (Jordà i Gomis, 2013).

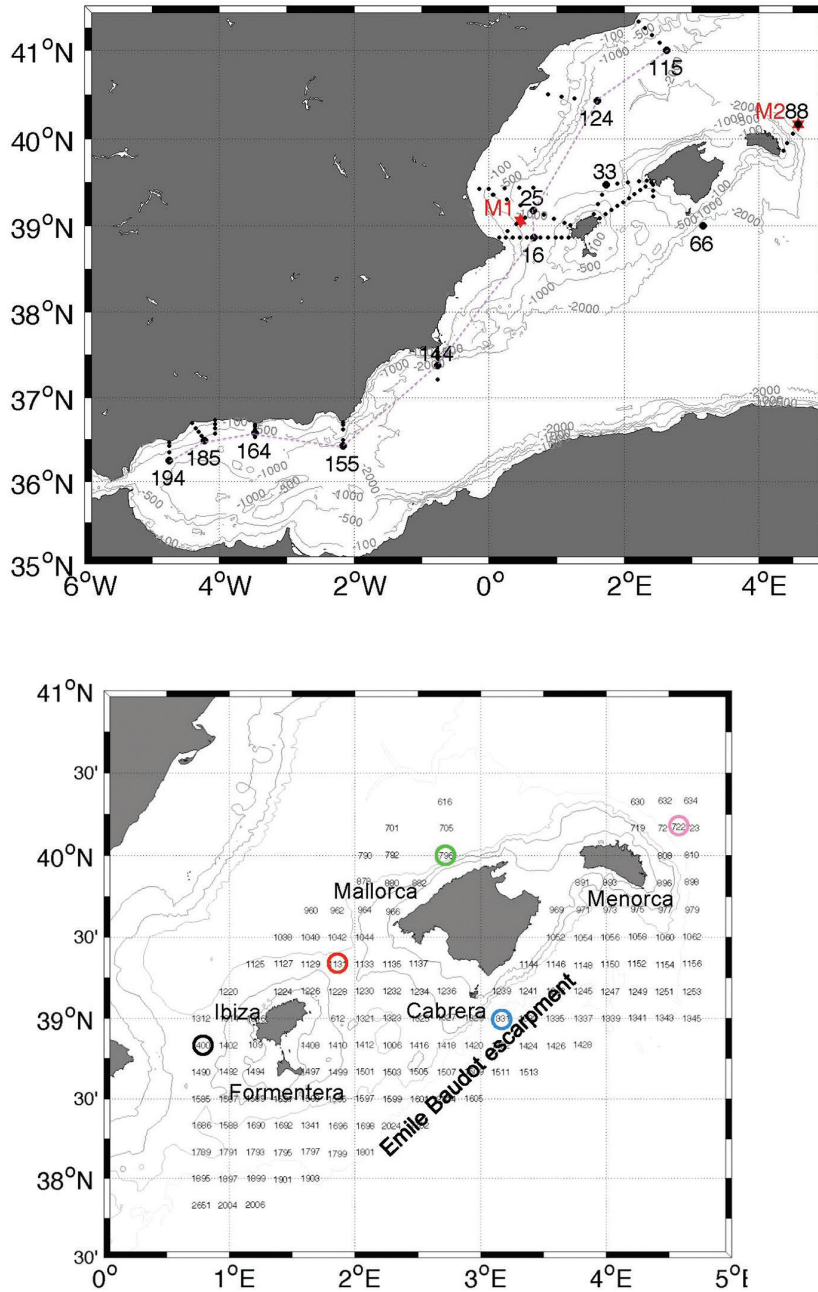
Finalment cal destacar una altra font de dades que són les simulacions numèriques. En aquestes simulacions s'executen models matemàtics que descriuen el comportament de l'oceà sota el forçament de camps atmosfèrics i proporcionen l'evolució espacial i temporal de distintes variables oceanogràfiques. A dia d'avui es disposa de simulacions numèriques d'onatge, nivell de la mar, corrents marins, temperatura, salinitat i fins i tot de variables biogeoquímiques (p.e. nutrients, oxigen, fitoplàncton,...). Ara bé, la qualitat i la fiabilitat no és la mateixa per a totes les simulacions i cal fer un treball de validació previ abans d'utilitzar-les per caracteritzar alguna zona en particular.

## Programes de monitoratge regional

Un primer exemple de programa de monitoratge a nivell regional és el que duu a terme l'Institut Espanyol de Oceanografia (IEO) a totes les costes espanyoles. Aquest programa, anomenat IEOOS (Lavín, 2014), es basa en sistemes d'observació diferents, fonamentalment instrumentació fixa (fondejos, boies de superfície, mareògrafs,...) i campanyes oceanogràfiques periòdiques (p.e. el programa RADIALES, veure Valdés *et al.*, 2002; Bode *et al.*, 2012). L'adquisició de dades multidisciplinars (físiques, químiques i biològiques) del programa RADIALES resol la variabilitat estacional i constitueix, ara per ara, el programa de monitoratge marí més llarg en el temps, juntament amb les dades d'onatge i nivell de la mar de Puertos del Estado.

Com a part de l'IEOOS, a la Mediterrània es va dissenyar el 2007 el programa RADMED ("RADiales del MEDiterráneo"), amb l'objectiu d'integrar diferents programes de monitoratge previs (ECOMALAGA, ECOMURCIA, ECOBALEARÈS, CIRBAL,...), alguns d'ells iniciats els anys 90. El programa RADMED ha unificat tècniques i estratègies de mostreig i anàlisi per tal d'optimitzar esforços i constituir un sistema operacional modern que aporti les dades requerides per investigadors i gestors. RADMED s'encarrega d'algunes de les avaluacions requerides per la Directiva Marc d'Estratègia Marina (Marine Strategy Framework Directive, MFSFD) per a les costes Mediterrànies espanyoles, abastant els paràmetres físics, químics i biològics (entre ells l'estructura i biomassa de les comunitats planctòniques). En aquests moments s'estan desenvolupant també programes de mostreig de paràmetres antropogènics que tenen un impacte sobre el medi marí, com contaminants i microplàstics. Les estacions del programa RADMED s'organitzen al llarg de transectes, normalment perpendiculars a la costa (la distribució d'estacions es mostra a la Fig. 2a). L'estació 66, situada sobre l'escarpament Emile Baudot, és la més propera a Cabrera, i s'està mostrejant des de 2007. Els detalls de periodicitat, estratègies de mostreig, etc. estan recollides a

López-Jurado *et al.*, (2015).



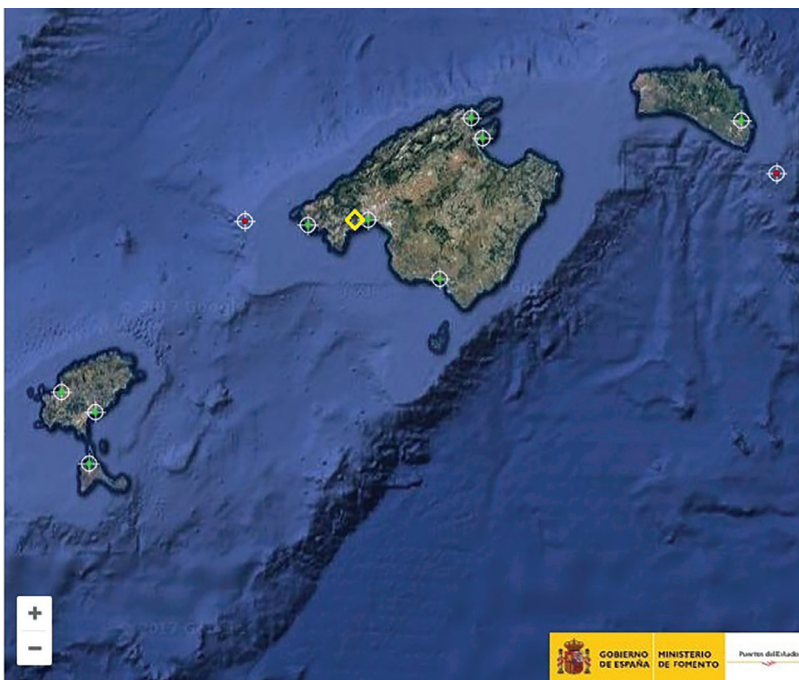
**Figura 2** (a) Estacions de mostreig del programa RADMED. Els punts més gruixats i numerats corresponen a estacions on es mostra tota la columna d'aigua. Les estrelles vermelles indiquen la posició dels fondejos. Les línies grises primes són les isòbates de 100, 500, 1000 i 2000 m. [Versió de la figura de López-Jurado *et al.*, 2015]. (b) Distribució d'estacions de la campanya Atame-0612, com un exemple dels mostrejos duts a terme en el marc del programa TUNIBAL. [Versió adaptada d'una figura de Balbín *et al.*, 2014].

L'IEO ha dut a terme també programes de monitoratge més específics, però que aporten dades molt valuoses; es tracta de TUNIBAL i BLUEFINN, que tenen com a objectiu l'estudi de la

tonyina (*Thunnus thynnus*). A TUNIBAL es van obtenir dades d'ictioplancton i ecologia de larves, però també de tots els paràmetres físics al voltant de l'arxipèlag Balear, que és una de les principals àrees de reproducció de la tonyina de l'Atlàntic Oriental. Les dades es van obtenir sobre una xarxa regular de 200 estacions separades 10 milles nàutiques (Alemany *et al.*, 2010). La continuació de TUNIBAL és el programa BLUEFINN. Els detalls sobre els dos programes es poden trobar a Balbín *et al.*, (2014). La distribució d'estacions de 2012 es mostra a la Fig. 2b.

Totes les dades físiques i bioquímiques obtingudes en el marc dels programes de monitoratge de l'IEO s'han recollit a la base de dades IBAMar. Recentment IBAMar s'ha completat amb dades històriques obtingudes amb ampolles Niskin o Nansen. Els paràmetres que inclou són T, S, oxigen dissolt, fluorescència, terbolesa, nutrients inorgànics dissolts (nitrat, nitrit i silicat) i clorofil·la- $\alpha$ . Malgrat les dades van ser obtingudes amb protocols diferents, totes han estat sotmeses a controls de qualitat i re-processades amb protocols comuns. Es pot accedir a la base de dades a través de l'enllaç <http://www.ba.ieo.es/ibamar>; els detalls de la base de dades estan també disponibles a Aparicio-González *et al.*, (2015).

Una altra institució d'àmbit estatal que manté xarxes d'instruments de mesura és Puertos del Estado. Una de les seves xarxes és REDMAR, constituïda pels mareògrafs instal·lats a ports de titularitat estatal (els detalls de la xarxa REDMAR es poden trobar a: [http://calipso.puertos.es/BD/informes/INT\\_3.pdf](http://calipso.puertos.es/BD/informes/INT_3.pdf)). La finalitat de REDMAR és mesurar, analitzar i guardar dades de nivell de la mar, a les quals es pot accedir en temps real. A dia d'avui la xarxa compta amb una trentena d'estacions arreu de les costes espanyoles i la seva antiguitat és variable (les més antigues daten de 1992). El SOCIB (Sistema d'Observació Costanera de les Illes Balears), una altra de les institucions rellevants a la que ens referirem més endavant, també té uns quants de mareògrafs instal·lats a les Illes, tot i que són més recents que els de Puertos del Estado. El mareògraf més proper a Cabrera és un d'aquests, i està instal·lat a Sa Ràpita. Finalment, l'IEO té un mareògraf instal·lat al port de Palma que va funcionar uns pocs anys a la dècada dels 60 i ara opera regularment des de 1997; les seves dades es poden descarregar del portal SeaDataNET (<https://www.seadatanet.org/>). La Fig. 3 mostra tots els mareògrafs de l'arxipèlag Balear.



**Figura 3** Sistema d'observació de Puertos del Estado al Mar Balear: els punts verds són mareògrafs de la xarxa REDMAR, alguns d'ells operats conjuntament amb el SOCIB; els punts vermells són dues boies de la xarxa exterior o d'aigües fondes. El rombe groc correspon al mareògraf de Palma operat per l'IEO.

A més a més de la xarxa de mareògrafs, Puertos del Estado gestiona també dues xarxes de boies, una de costanera i una d'exterior o d'aigües fondes. Les boies costaneres mesuren només onatge, mentre que a les boies de la xarxa exterior es mesuren també altres paràmetres oceanogràfics (temperatura, salinitat i corrents superficials) i atmosfèrics (temperatura de l'aire i vent). A l'arxipèlag Balear hi ha dues d'aquestes boies d'aigües fondes: la de Dragonera i la de l'Illa de l'Aire (Fig. 3). Els detalls sobre aquestes xarxes són a: [http://calipso.puertos.es/BD/informes/INT\\_3.pdf](http://calipso.puertos.es/BD/informes/INT_3.pdf).

Un altre programa de monitoratge regional més recent i més limitat, en el sentit de que només es centra en la temperatura, és la xarxa T-MedNet ([www.t-mednet.org](http://www.t-mednet.org)), creada pel grup de recerca MEDRECOVER (<http://www.medrecover.org/ca>) de l'Institut de Ciències del mar de Barcelona (CSIC). En el marc d'aquest estudi la importància de T-MedNet radica en que està recollint dades a la mateixa illa de Cabrera, tal i com es detallarà a la secció 3.2.3. A nivell regional, l'objectiu de T-MedNet és obtenir sèries llargues i d'alta resolució temporal de la temperatura de les aigües costaneres de la Mediterrània, facilitant-ne l'intercanvi i l'anàlisi de dades. El fet que siguin dades d'alta resolució temporal les fa especialment útils per avaluar les condicions ambientals a les que s'han adaptat les espècies i per identificar variacions espacials i temporals; també per detectar successos extrems i avaluar-ne el seu impacte biològic.

A la Mediterrània Occidental T-MedNet està recollint registres de temperatura a més de 20 indrets de manera estandaritzada; les sèries més llargues són les de Marsella i el Parc Nacional de Port-Cros, a França, que van començar el 1999. Les dades s'obtenen mitjançant sensors autònoms fixats a fons de roques que mesuren la temperatura a intervals de 5 m de fondària. Les dades es descarreguen normalment dues vegades a l'any i es posen a la xarxa, a disposició de tothom. Al mateix portal web es poden veure gràfics de la temperatura mitjana diària i la mitjana mensual; també el número de dies que la temperatura mitjana ha superats els llimars que es consideren crítics per a la supervivència d'algunes espècies d'invertebrats bentònics. A més a més de les estacions de Cabrera, que es descriuran a continuació, a les Illes Balears s'estan recollint dades de manera regular a Mallorca i Menorca, i més ocasionalment a Eivissa.

A nivell de les Illes Balears la institució més rellevant pel que fa al monitoratge oceanogràfic és el SOCIB. A més del mareògraf de Sa Ràpita anomenat abans, el SOCIB disposa d'altres mareògrafs, boies, i estacions meteorològiques distribuïdes arreu de l'arxipèlag Balear; els instruments més propers a Cabrera són l'estació meteorològica de Ses Salines i la boia de la Badia de Palma. A més a més dels instruments fixos, SOCIB gestiona una flota de *gliders* que duen a terme transectes entre illes i entre les illes i la península. Es pot trobar tota la informació a: <http://www.socib.eu/?seccion=facilities>.

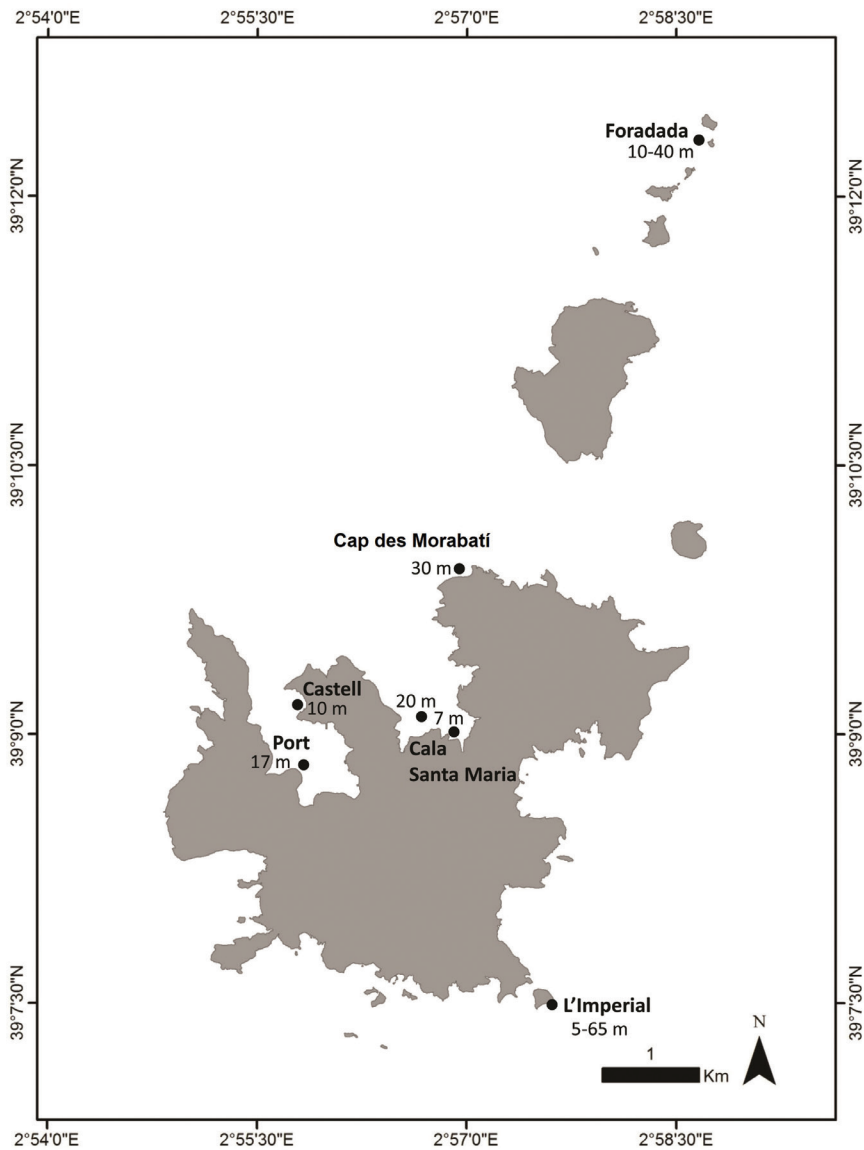
Finalment, entre les dades interessants cal considerar també les dels instruments fondejats en el marc de projectes de recerca com per exemple IDEADOS. L'objectiu d'aquest projecte era determinar les relacions entre les condicions ambientals i les comunitats nectobentòniques a dues zones amb distintes característiques geomorfològiques i hidrodinàmiques, una situada al nord i l'altra al sud de l'arxipèlag Balear, prop de Cabrera (Massutí *et al.*, 2014). A cada zona es va instal·lar un fondeig sobre un fons de 900 m que van estar operatius entre novembre de 2009 i febrer de 2011; cada línia estava equipada amb quatre sensors de temperatura i salinitat (situats a 850, 700, 500 i 300 m de la superfície) que van obtenir dades cada 10 min, dos correntòmetres (a 850 i 500 m) que van obtenir dades cada 30 min, i una trampa de sediments situada al fons que va obtenir una mostra cada 10 dies. Tots els detalls es poden trobar a Amores (2014).

## Dades obtingudes a les costes de Cabrera

A nivell estrictament local la quantitat de dades disponibles és petita, però no negligible. Com s'ha dit abans, l'illa de Cabrera està essent monitoritzada per la xarxa T-MedNet, que hi té dues estacions: a Imperial s'estan recollint dades de temperatura des de 2007 entre 5 y 65 m de fondària, mentre que a Na Foradada s'estan recollint dades des de 2009 entre 10 i 40 m de fondària (a Na Foradada les dades recollides entre 2009 i 2012 es van obtenir en el marc del projecte EPIMHAR; va ser el 2103 que es va incorporar l'estació a la xarxa T-MedNet). Els equips responsables de les

dades són del Centre d'Estudis Avançats de Blanes (CSIC), que recull les d'Imperial, i del Centre Oceanogràfic de Balears de l'IEO, que recull les de Na Foradada. Els sensors instal·lats a les dues estacions són models HOBO Water Temp Pro v2, que tenen una precisió de 0.2°C i una resolució de 0.15°C.

A Cabrera s'han recollit també sèries de temperatura en el marc del monitoratge de praderies de *Posidonia oceanica*. D'una banda, el grup de Canvi Global de l'IMEDEA té sensors instal·lats al port de Cabrera, a 17 m de fondària, des de 2001; el mateix grup va instal·lar també sensors a Cala Santa Maria, a 7 m de profunditat, i a Es Castell, a 10 m de profunditat (ambdues sèries comencen l'estiu de 2009). D'altra banda, en el marc del projecte PINNA el grup IMPACT@SEA del Centre Oceanogràfic de Balears de l'IEO va instal·lar sensors a Cala Santa Maria, a 20 m de fondària, i al Cap de Morabatí, a 30 m de fondària (ambdues sèries comencen el 2011). En tots els casos els sensors instal·lats són models TidbiT v2, que tenen una precisió de 0.2°C i una resolució de 0.02°C a 25 °C. La localització de totes les dades obtingudes a les costes de Cabrera es mostra a la Fig. 4.



**Figura 4** Localització de les sèries temporals de temperatura obtingudes a Cabrera: illot de Sa Foradada (entre 10 i 40 m), illot Imperial (entre 5 i 65 m), Cala Santa Maria (20 m) i Cap de Morabatí (30 m).



# CARACTERITZACIÓ DELS PARÀMETRES D'INTERÈS A DISTINTES ESCALES

La caracterització dels distints paràmetres oceanogràfics es farà en base a la seva escala espacial (regional vs. local) i temporal (variacions estacionals, interanuals i a llarg termini).

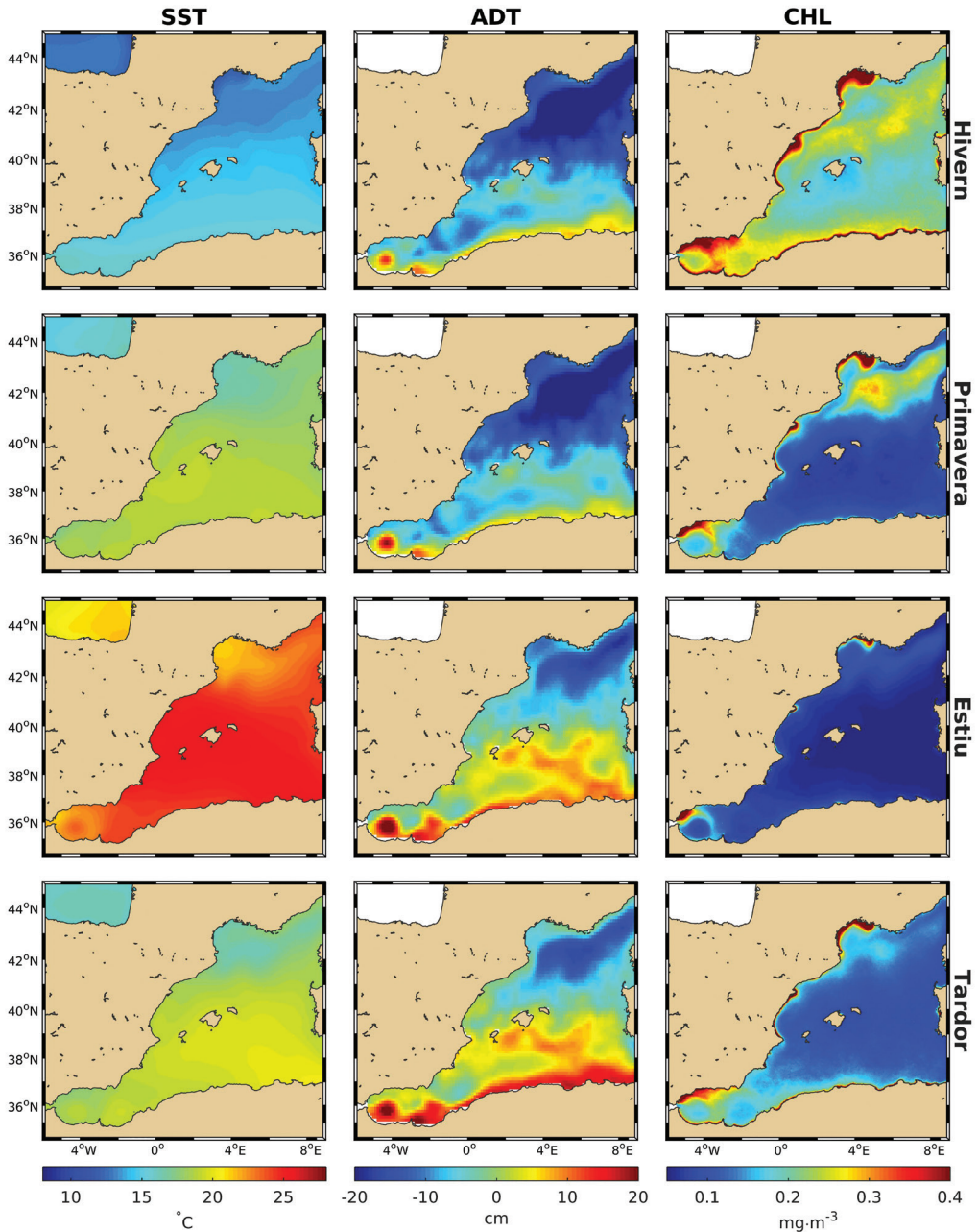
## ESCALA REGIONAL

Les dades de satèl·lit ens donen una visió de les variacions estacionals a nivell de conca, i malgrat només siguin camps superficials, són útils per posar en context les variacions als voltants de Cabrera. Pel que fa a la temperatura superficial (Fig. 5, columna esquerra), es pot veure que tota la conca occidental varia de forma bastant homogènia al llarg de l'any. Les temperatures mitjanes durant l'hivern varien latitudinalment entre els 10°C del Golf de Lleó i els 15°C de les costes africanes. A l'estiu l'estructura espacial és diferent, amb un màxim de temperatura al voltant de les Balears que és de l'ordre de 26-27 °C i amb mínims de 21-22°C al Golf de Lleó i mar d'Alborán. La tardor i la primavera mostren situacions intermèdies, amb valors entre 18 i 20°C. El gradient latitudinal és òbviament degut a l'efecte de la radiació solar, més intensa a latituds baixes. Els mínims relatius de temperatura durant l'estiu al mar d'Alboran i al llarg de la costa Africana estan associats a l'entrada d'aigua Atlàntica (més freda que la Mediterrània durant l'estiu) transportada al llarg de la costa africana pel corrent d'Algèria (Fig. 1).

Una altra variable observable des de satèl·lit és el nivell de la mar. Aquesta variable integra diversos processos físics: en primer lloc, reflecteix els canvis en la densitat de l'aigua (l'escalfament de l'aigua augmenta el seu volum específic i per tant el nivell de la mar); en segon lloc, reflecteix també desequilibris entre el balanç hídric en superfície (evaporació vs. precipitació) i l'entrada d'aigua des de l'Atlàntic; finalment, canvis en els corrents impliquen també canvis en els gradients espacials del nivell de la mar. En el cas de la Mediterrània Occidental (Fig. 5, columna central), s'observen diferències d'uns 30 cm entre regions (entre -20 i 10 cm a l'hivern i entre -10 i 20 cm a l'estiu, valors referits a una mitjana). Aquests gradients espacials estan associats als patrons de corrents superficials (veure Fig. 1): es pot veure, per exemple, un gradient important perpendicular a la costa africana associat a l'entrada d'aigües Atlàntiques i el seu recorregut al llarg del tal·lus algerià. De fet, hi ha un gradient perpendicular al llarg de totes les costes (valors més alts a costa que a mar obert), que reflecteix el circuit ciclònic dels corrents costaners al voltant de tota la conca. Sobre-imposat a aquest patró es veuen també estructures de mesoescala (remolins i meandres) i variacions locals dels corrents mitjans. També cal destacar que, encara que no sigui molt aparent, hi ha diferències estacionals en el nivell mitjà de la conca, que està uns 15-20 cm més alt a l'estiu que a l'hivern.

Les imatges satel·litals de color de l'aigua (Fig. 5, columna dreta) permeten inferir informació sobre la concentració de clorofil·la, la qual està directament relacionada amb la concentració de fitoplàncton i la producció primària. A la Mediterrània Occidental aquesta producció té un marcat caràcter estacional, amb valors més alts en superfície a l'hivern, quan l'aigua està més mesclada i permet que els nutrients de les capes intermèdies arribin a la zona fòtica (la zona il·luminada de la columna d'aigua). A l'estiu, pel contra, l'escalfament superficial implica un augment de l'estratificació que dificulta l'arribada de nutrients a la capa fòtica. Això és reflecteix en un mínim generalitzat de clorofil·la. Sobre-imposat a aquest patró general hi ha trets locals; així, a les embocadures dels rius principals (el Roina i l'Ebre) hi ha valors molt alts, associats als nutrients aportats pels rius. També al mar d'Alborán els valors són alts, en aquest cas associats a l'afiorament costaner de Màlaga induït pels vents regionals. En primavera destaca un màxim de clorofil·la a la part nord de la conca; aquest màxim està relacionat amb l'anomenat 'bloom' de primavera i es produeix quan la columna d'aigua es va re-estratificant després de la mescla hivernal. Pel que fa a les Balears cal destacar que malgrat s'observi també una variació estacional, els valors són més baixos que a molts altres indrets de la conca durant tot l'any. Finalment dir que les mesures satel·litals de clorofil·la són just un indicador de la producció primària en superfície. Hi ha processos que permeten la producció primària a capes més fondes i que donen lloc a un màxim subsuperficial al final de primavera (el 'màxim profund de clorofil·la', o DCM en les sigles angleses). Malauradament hi ha poques observacions que permetin

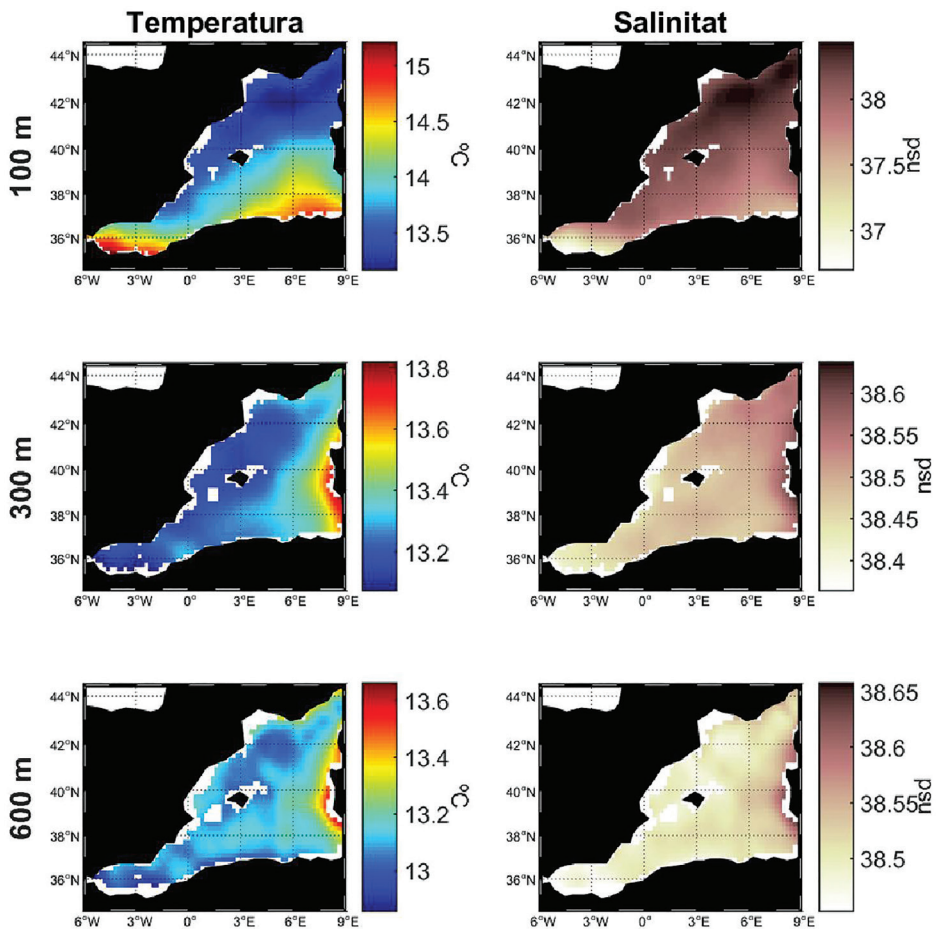
una caracterització completa d'aquest procés.



**Figura 5** Climatologies estacionals obtingudes a partir de dades de satèl·lit. Columna esquerra: temperatura superficial de la mar (°C), a partir de dades del període 1985-2016; columna central: anomalia de nivell de la mar (cm), a partir de dades del període 1993-2016; columna dreta: clorofil·la (mg/m<sup>3</sup>), a partir de dades del període 1997-2015. Els mapes de cada fila corresponen a les distintes estacions de l'any; de dalt a baix: hivern, primavera, estiu i tardor.

Per completar la visió que ens aporten les dades de satèl·lit es presenten també els camps mitjans de temperatura i salinitat a distintes fondàries, que són part d'un nou producte hidrogràfic per a la Mediterrània (Jordà *et al.*, en preparació). En aquest cas no interessa tant analitzar les variacions estacionals, que en fondària són molt menys marcades que en superfície. A 100 m (Fig. 6, fila

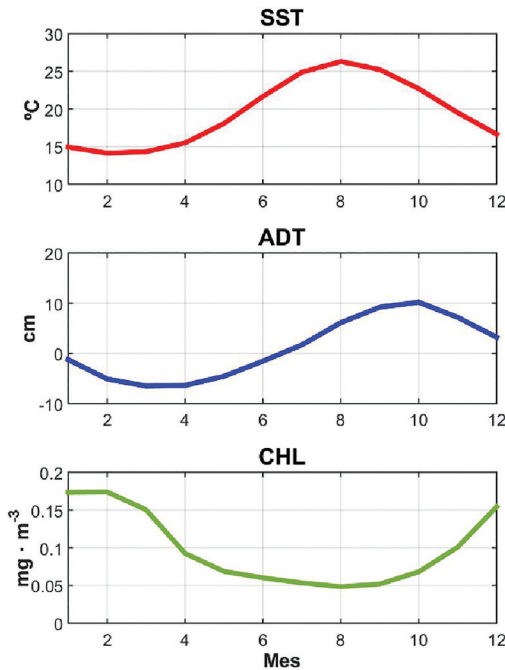
superior) el camp de temperatura mostra un patró semblant al de nivell de la mar (Fig. 5), malgrat el primer sigui més suau que el segon degut al processat aplicat per crear el producte. Es pot veure un màxim de temperatura al llarg de la costa africana lligat amb l'entrada d'aigües Atlàntiques, més calentes de mitjana que les aigües Mediterrànies residents ( $-15^{\circ}\text{C}$  i  $13^{\circ}\text{C}$ , respectivament). Aquestes aigües són exportades mitjançant remolins de mesoescala cap a latituds més altes (Millot *et al.*, 1999) arribant aproximadament fins als  $40^{\circ}\text{N}$ . El mínim de temperatura es troba a la part nord, a mar obert, i està relacionat amb les aigües residents més antigues que han anat refredant-se al llarg dels anys. El camp de salinitat a 100 m mostra una imatge anàloga, on les aigües provinents de l'Atlàntic tenen baixa salinitat ( $< 37$ ) i les aigües residents salinitats més altes (fins a valors majors de 38.5). A 300 i 600 m (Fig. 6, files central i inferior), les imatges són molt semblants i significativament diferents, respectivament, a les de la capa superior. Primer de tot cal destacar que les variacions espacials de temperatura i salinitat són molt més petites (les barres de colors de la Fig. 6 són de només  $0.7^{\circ}\text{C}$  a 300 i 600 m, mentre que és de  $2^{\circ}\text{C}$  a 100 m; en salinitat, les barres són de  $0.3/0.2$  a 300/600 m i de 2 a 100 m). Això és degut a que aquestes aigües estan menys exposades als efectes atmosfèrics i a l'entrada d'aigua Atlàntica, de tal manera que els canvis són molt més lents i els gradients espacials es suavitzen poc a poc per processos difusius. Apart d'això, tan a aigües intermèdies com fondes es veu un patró molt semblant, amb aigües més calentes i salades a la vora de Còrsega i Sardenya. Es tracta de LIW formada a la conca Llevantina, tal i com ja s'ha explicat en dibuixar el marc regional de masses d'aigua.



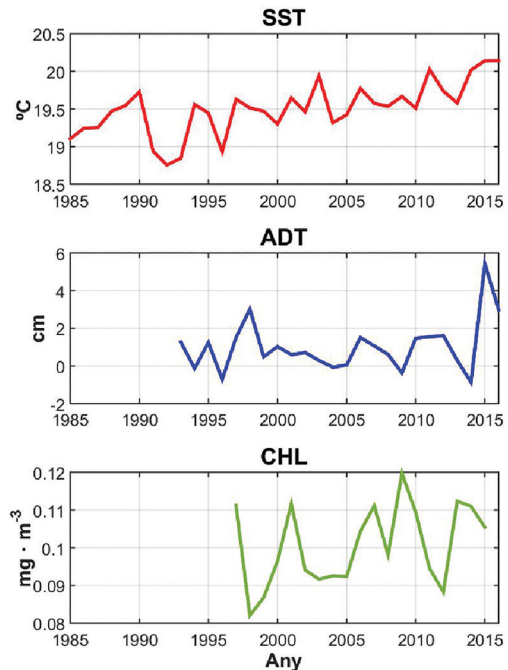
**Figura 6** Climatologies de temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ) i salinitat a distintes fondàries obtingudes a partir de totes les observacions disponibles durant els períodes que es detallen a la Fig. 5. [Versió adaptada d'una figura de Jordà *et al.*, (en preparació)].

## ESCALA LOCAL

A partir de les dades de satèl·lit es poden analitzar també les variacions estacionals de la temperatura superficial a l'entorn de Cabrera (Fig. 7, gràfic superior). El valor mitjà és de 19.5°C i les variacions típiques entre estiu i hivern són de més de 10 °C, amb un mínim de 14°C per febrer-març i un màxim de 26°C durant l'agost. Cal recordar que això són valors mitjans mensuals, i que en determinats anys els valors mensuals poden diferir significativament de la seva mitjana; així per exemple, l'any 2003 la mitjana del mes d'agost va ser de 29°C, mentre que el 2005 la mitjana de febrer va ser de 12.5°C. Més encara, durant situacions particulars que poden durar uns pocs dies (ones de calor o de fred), les temperatures poden ser significativament superiors o inferiors a la seva mitjana mensual.



**Figura 7** Cicles estacionals de distintes variables obtinguts a partir de dades de satèl·lit a un punt prop de Cabrera. Gràfic superior: temperatura superficial de la mar (°C); gràfic central: anomalia de nivell de la mar (cm); gràfic inferior: clorofil·la ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ). Els períodes que abasten cada tipus de dada són els de la Fig. 5.



**Figura 8** Variabilitat interanual de distintes variables obtinguda a partir de dades de satèl·lit a un punt prop de Cabrera. Gràfic superior: temperatura superficial de la mar (°C); gràfic central: anomalia de nivell de la mar (cm); gràfic inferior: clorofil·la ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ).

Pel que fa a les variacions espacials al voltant de Cabrera, les diferències observades en temperatura són molt petites ( $< 0.1^\circ\text{C}$ ) tan a l'hivern com a l'estiu. Pel que fa a les variacions interanuals (Fig. 8, gràfic superior), la mitjana anual pot variar  $1^\circ\text{C}$  d'un any per l'altre. Els anys més freds (des que hi ha mesures de satèl·lit) van ser 1991-1993 (mitjana anual de  $18.7^\circ\text{C}$ ) i els més calents van ser 2014-2016 (mitjana anual de  $20.1^\circ\text{C}$ ). De fet, les sèries interanuals mostren clarament una tendència a l'escalfament de les aigües superficials de Cabrera que és de l'ordre de  $0.25^\circ\text{C}$  per dècada. És a dir, des que hi ha registres satèl·litals (els darrers 22 anys) la temperatura ha pujat  $0.5^\circ\text{C}$ . Per posar aquest augment en context cal tenir en compte que l'estiu de 2003, que va ser extremadament calorós i va tenir greus impactes sobre els ecosistemes marins (veure p.e. Marbà i Duarte, 2010) la temperatura va ser  $2.5\text{-}3^\circ\text{C}$  més alta que la mitjana.



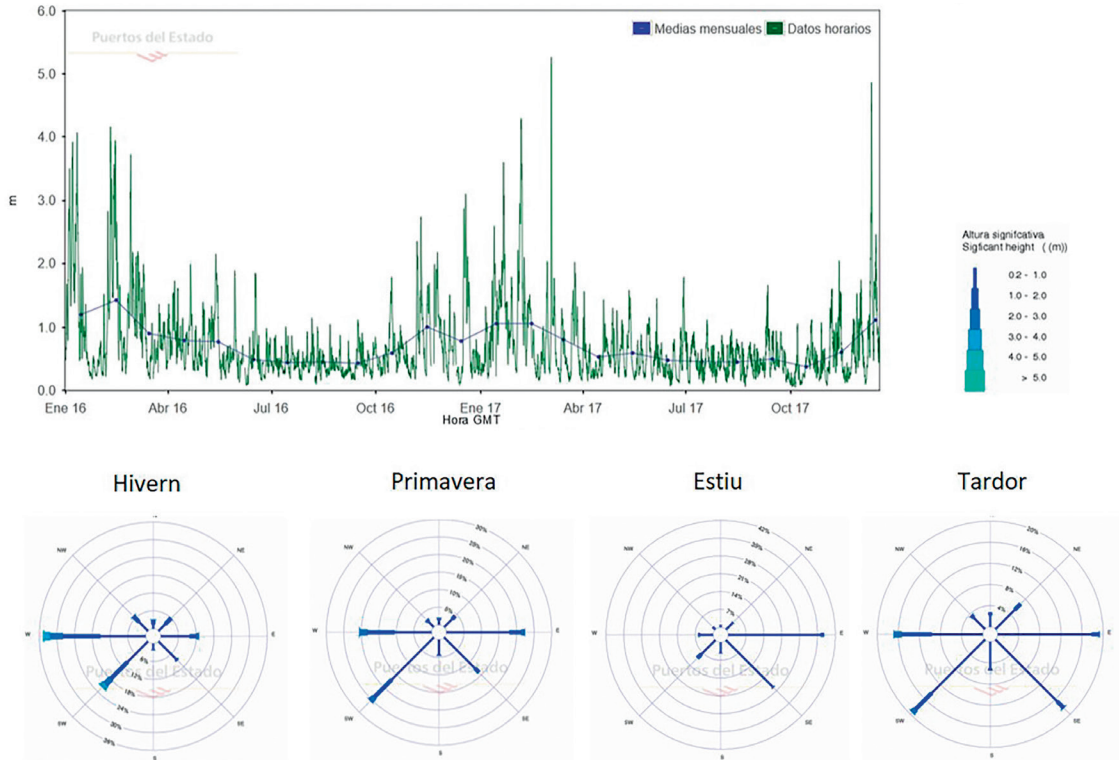
Les dades d'altimetria obtingudes al voltant de Cabrera mostren també un cicle estacional de nivell de la mar, amb una diferència entre el màxim i el mínim de 17 cm (Fig. 7, gràfic central). El mínim es dona el mes de març, i el màxim el mes d'octubre. Les dades altimètriques no són prou fines com per apreciar diferències entre distintes zones al voltant de l'illa. Pel que fa a les variacions interanuals de nivell de la mar (Fig. 8, gràfic central) es veu que d'un any per altre el nivell mitjà pot variar fins a 6 cm, encara que típicament no varia més de 2-3 cm. El màxim de nivell mitjà anual es va registrar el 2015, associat a un canvi en el règim de vents a la zona Atlàntica que va fer entrar a la Mediterrània més aigua del que és habitual (Jordà *et al.*, 2017a). Pel que fa a les tendències a llarg termini, malgrat es sap que la Mediterrània està experimentant una pujada del nivell mitjà (Calafat i Jordà, 2011), les dades d'altimetria són massa curtes com per poder quantificar la pujada al voltant de Cabrera. Cal remarcar que les mesures d'altimetria no representen tota la variabilitat del nivell de la mar. Degut al processat que es fa per augmentar la qualitat de les observacions es filtren els processos d'alta freqüència (grosso modo aquells que duren menys d'un mes). Les marees (poc importants a aquesta zona), el vent i la pressió atmosfèrica també poden fer variar localment el nivell de la mar fins a 30 cm d'un dia per l'altre. Si es tinguessin en compte aquests processos la diferència entre el màxim i el mínim de nivell de la mar arribaria a ser de 80 cm. Malauradament no es disposa de mareògrafs que mesurin el nivell de la mar a Cabrera i no podem fer una caracterització acurada dels processos locals.

Pel que fa a la clorofil·la en superfície el valor mitjà al voltant de Cabrera és de  $0.1 \text{ mg/m}^3$ , amb diferències entre la part nord i sud de l'illa menors de  $0.02 \text{ mg/m}^3$ . També s'observa un marcat cicle estacional, amb un valor mitjà d'hivern que arriba als  $0.18 \text{ mg/m}^3$  i un mínim durant l'estiu de l'ordre de  $0.05 \text{ mg/m}^3$  (Fig. 7, gràfic inferior). Ara bé, en aquest cas les variacions mensuals que no estan associades al cicle estacional són molt importants. El màxim anual no sempre cau el mateix mes, per exemple, i molts d'anys la mitjana d'hivern arriba a  $0.2\text{-}0.3 \text{ mg/m}^3$  (el 2001 i el 2009 fins i tot es van superar els  $0.4 \text{ mg/m}^3$ ). En canvi les variacions interanuals són relativament petites, de  $0.01 \text{ mg/m}^3$ , i de les dades observades no s'aprecia cap tendència a llarg termini.

Pel que fa a les ones, les boies més properes a Cabrera són massa llunyanes com per caracteritzar el seu règim d'onatge de manera acurada (veure Fig. 2). Aquest s'ha d'obtenir per tant de simulacions numèriques com per exemple els retroanàlisis que duu a terme de manera operacional Puertos del Estado (<http://www.puertos.es/es-es/oceanografia/Paginas/portus.aspx>). Aquestes simulacions han demostrat ser de gran fiabilitat quan es comparen amb observacions in situ, i per tant permeten caracteritzar de forma fiable l'onatge de la zona de Cabrera. La Fig. 9 mostra que la major part del temps les ones són petites: un 75% del temps no superen el metre d'altura significativa. Entre els mesos de novembre i març és quan es concentren els valors més alts, causats per tempestes sobre la mar. La major part d'aquestes tempestes es produeixen enfora de Cabrera i per tant el que arriba a l'illa és mar de fons, amb períodes d'ona llargs (8-10 s). Durant temporals especialment forts l'onatge a la zona ha arribat a superar els 6 m d'altura, i cada any es registren tempestes durant les quals es superen els 4-5 m (Fig. 9, gràfic superior). La direcció de l'onatge canvia al llarg de l'any (Fig. 9, gràfics inferiors): a l'hivern les ones provenen sobre tot de l'oest i sud-oest, mentre que a l'estiu el poc onatge que hi ha prové de l'est i sud-est. Durant la primavera i la tardor els dos règims coexisteixen en una proporció similar. Cal destacar que degut a l'efecte d'apantallament de l'illa de Mallorca, l'onatge del nord i nord-oest, els més intensos i freqüents en el conjunt del Mar Balear, no tenen un impacte significatiu a la zona de Cabrera.

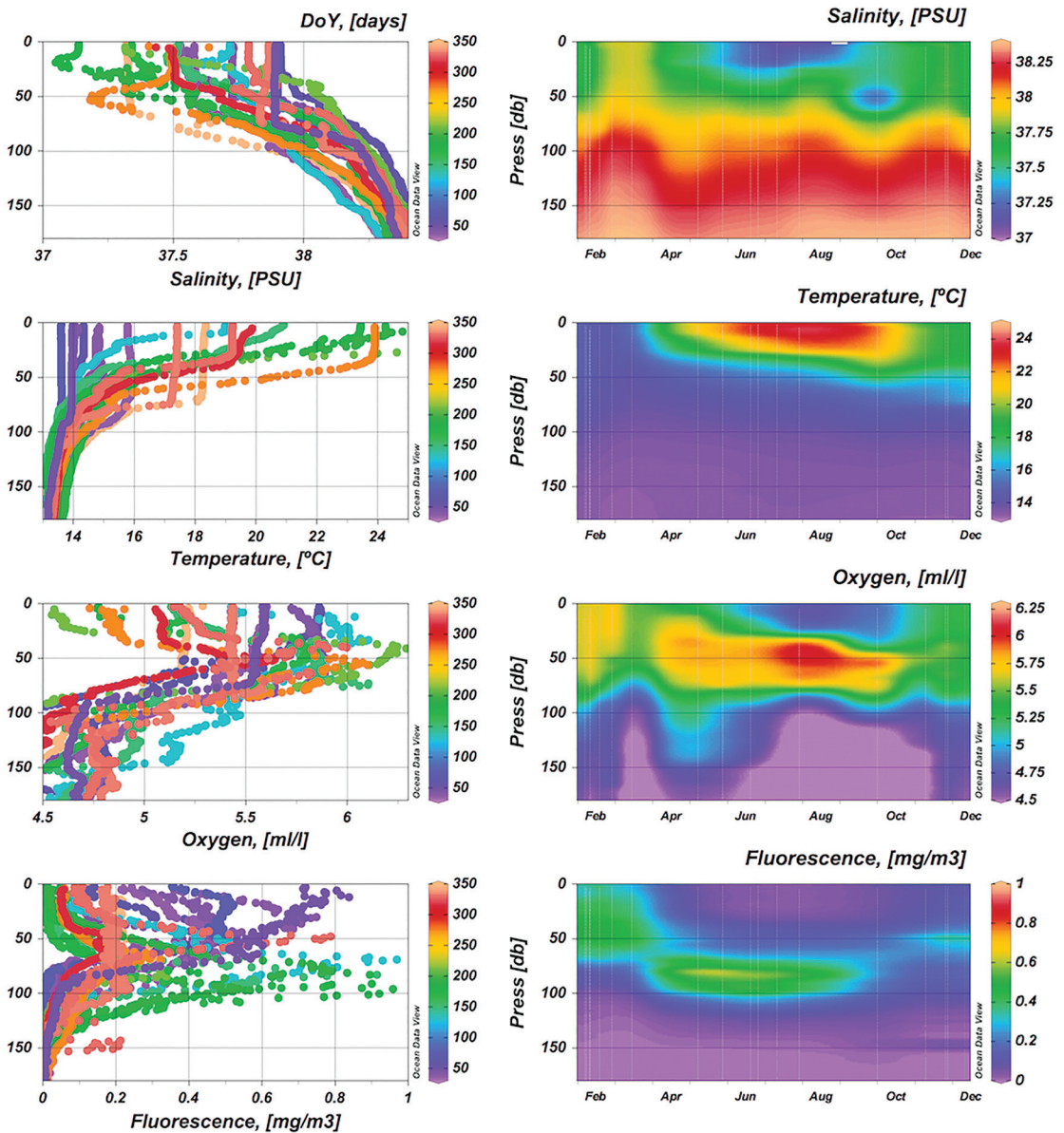
Pel que fa a les dades 'in-situ', els valors mitjans i la variabilitat estacional dels principals paràmetres hidrogràfics de les Illes Balears s'han descrit en un marc més general a Manca *et al.*, (2004), utilitzant la base de dades MEDAR-MEDATLAS. També els han descrit Vargas-Yáñez *et al.*, (2007), Balbín *et al.*, (2012a) i Vargas-Yáñez *et al.*, (2017) a partir de la base de dades IBAMar (Aparicio-González *et al.*, 2015). El que es presenta a continuació és una anàlisi particularitzada per a l'arxipèlag de Cabrera.





**Figura 9** Gràfic superior: sèrie temporal d'altura significativa d'onatge durant els anys 2016-2017; en verd es representen les dades horàries i en blau les mitjanes mensuals. Gràfics inferiors: roses d'onatge, que indiquen la freqüència i la direcció de procedència de l'onatge per a cadascuna de les estacions de l'any. Les dades i les figures s'han obtingut del sistema de predicció i retroanàlisi d'onatge de Puertos del Estado.

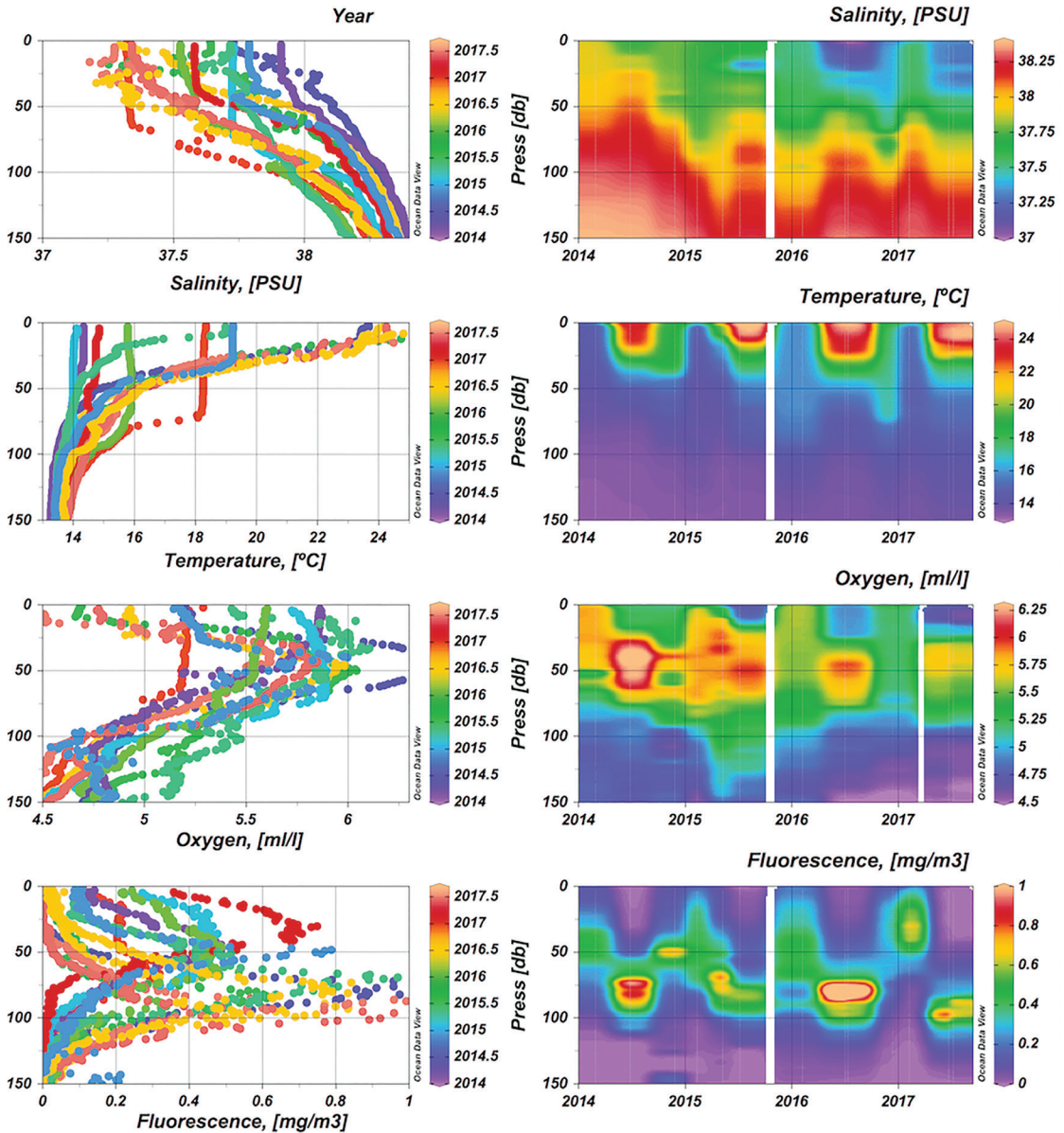
La Fig. 10 mostra la variabilitat estacional de la temperatura, salinitat, fluorescència (un altre indicador de la presència de clorofil·la) i oxigen dissolt de l'AW que es troba als voltants de Cabrera. Les dades s'han obtingut a l'estació RADMED 66 situada prop de l'illa (veure Fig. 2a). La temperatura mostra molt clarament l'evolució de la termoclina d'estiu. La salinitat no presenta un patró estacional clar, perquè la posició del front que separa AW recent de l'AW resident varia d'un any per l'altre, tal i com s'explicarà després. L'oxigen dissolt i la fluorescència mostren l'evolució estacional de l'oxigen d'origen biològic. És interessant conèixer el calendari i el progrés de l'oxigen dissolt d'origen biològic, perquè el seu cicle anual és un mode de variabilitat dominant en la biologia i la química de l'oceà. Les dades de fluorescència ajuden a visualitzar el cicle estacional de la capa fòtica, dominat per la radiació solar que penetra a través la superfície; això fa que el màxim es trobi els primers mesos de l'estiu i el mínim a l'hivern. El senyal de fluorescència comença a estar ben definit a principis de primavera, quan ocupa tota la capa fòtica. El senyal incrementa la seva fondària durant la primavera i principis de l'estiu, mentre que es fa més somer a finals d'estiu i tardor. Al voltant del mes d'abril la fluorescència superficial s'esvaeix, probablement a causa de l'esgotament dels nutrients superficials, i apareix un intens màxim subsuperficial. Les dades d'oxigen mostren que a la capa de mescla les concentracions s'aproximen a la saturació. De fet, a l'estiu, quan la producció neta de la comunitat és més alta, s'observa sobresaturació. A les aigües situades per davall de la capa de mescla, l'oxigen produït per fotosíntesi no pot fugir cap a la atmosfera degut a la forta estratificació de la termoclina estacional. Això dona com a resultat la sobresaturació d'oxigen subsuperficial observada entre juny i octubre. La sobresaturació desapareix quan el forçament atmosfèric hivernal romp l'estratificació i aprofundeix la capa de mescla, donant lloc a concentracions d'oxigen properes a la saturació. A la columna d'aigua el màxim d'oxigen sempre s'observa lleugerament per sobre del màxim de fluorescència subsuperficial. Eventualment s'observa també un increment d'oxigen dissolt a finals d'hivern i començament de primavera, que té a veure amb l'arribada a la zona de WIW formada recentment (i per tant més oxigenada).



**Figura 10** Variabilitat estacional de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinitat, fluorescència/clorofil·la ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) i oxigen dissolt ( $\text{ml}/\text{l}$ ) a la capa superior de la columna d'aigua. Les observacions s'han obtingut entre 2014 i 2017 a l'estació RADMED 66, situada prop de Cabrera (veure Fig. 2a). La variabilitat estacional s'il·lustra de dues maneres: mitjançant els perfils discrets recollits en diferents dies de l'any (DoY, panells de l'esquerra), i mitjançant una interpolació continua en el temps (panells de la dreta).

La Fig. 11 mostra la variabilitat interanual de la temperatura, salinitat, fluorescència i oxigen dissolt de l'AW que es troba als voltants de Cabrera; en aquest cas s'han obtingut a partir de dades de l'estació RADMED 66 i també d'algunes dades de les campanyes TUNIBAL recollides a la mateixa posició. La sèrie és massa curta com per parlar d'oscil·lacions decadal i manco encara de tendències (a la Figura es representa només el període 2014-17 per motius de claredat), però sí permet fer un parell d'observacions interessants. I és que mentre la temperatura mostra un cicle estacional regular (examinat a la Fig. 10), la salinitat presenta molta més variabilitat d'un any per l'altre, depenent de la posició del front de salinitat a finals de primavera i principis d'estiu. El màxim

profund de clorofil·la (reflectit en el màxim subsuperficial de fluorescència) té una estructura espacial de molt petita escala, i per tant els valors màxims anuals representats a la figura depenen molt de la localització d'aquestes petites estructures respecte del punt de mostreig. Això fa que la variabilitat interanual que es pot observar en una ubicació determinada (en aquest cas a l'estació 66) no aportï informació acurada sobre la variabilitat interanual real en l'entorn. De la mateixa manera, a aquestes profunditats l'oxigen dissolt en primavera i estiu està bàsicament determinat per la producció biològica, mentre que a l'hivern la seva concentració és homogènia a tota la capa de mescla i ve determinada per la solubilitat de l'oxigen en equilibri amb l'atmosfera.



**Figura 11** Variabilitat interanual de la temperatura ( $^{\circ}\text{C}$ ), salinitat, fluorescència/clorofil·la ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) i oxigen dissolt ( $\text{ml}/\text{l}$ ) a la capa superior de la columna d'aigua. Les observacions s'han obtingut entre 2014 i 2017 a l'estació RADMED 66, situada prop de Cabrera (veure Fig. 2a). La variabilitat interanual s'il·lustra de dues maneres: mitjançant els perfils discrets recollits en diferents anys (panells de l'esquerra) i mitjançant una interpolació contínua en el temps (panells de la dreta).

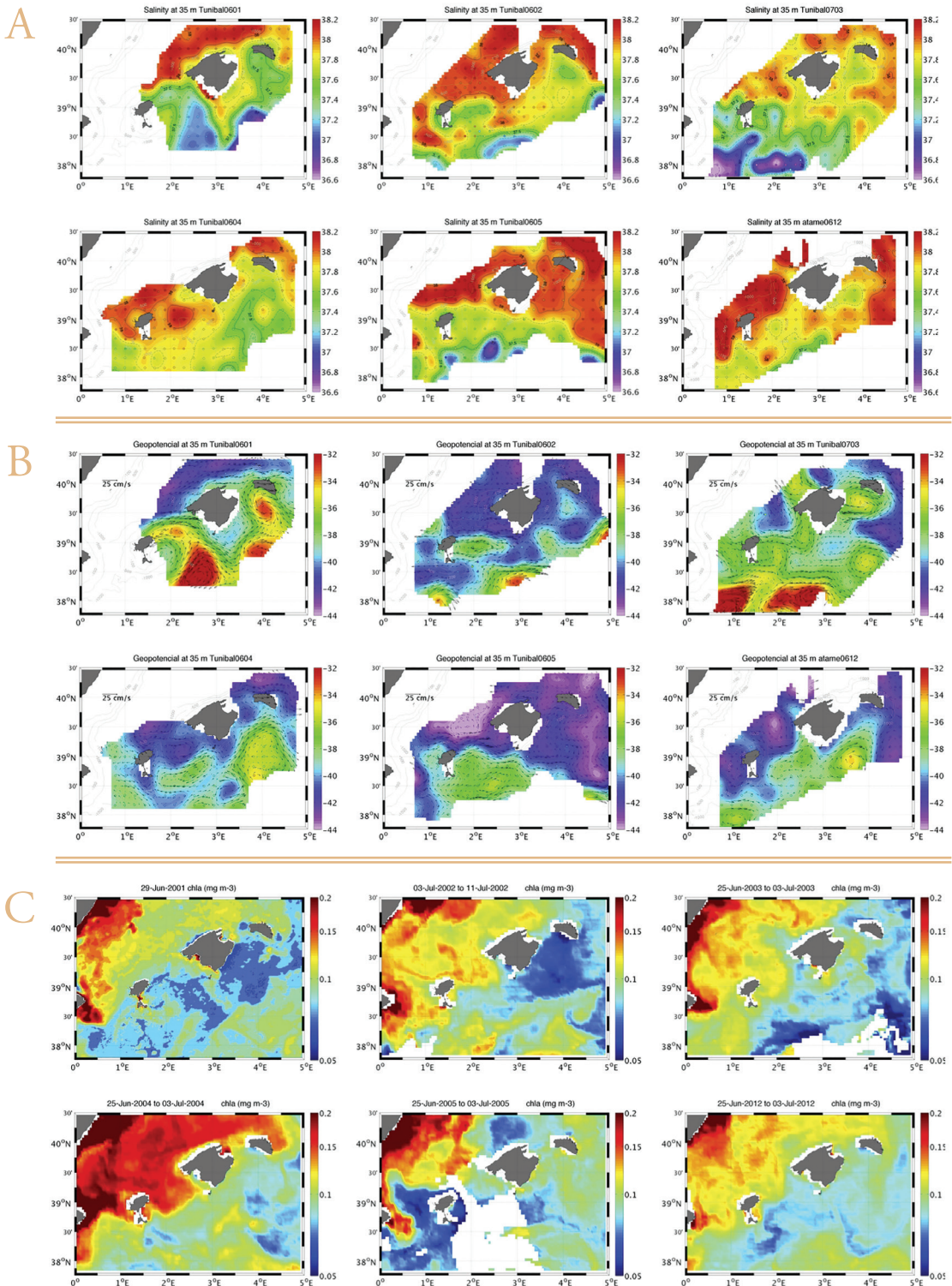


Per completar l'anàlisi de les dades de l'estació 66 es mostren també dades d'un entorn més gran obtingudes durant les campanyes TUNIBAL que es van dur a terme cada any del 2001 al 2005 i després el 2012. Les Figures 12a i 12b mostren la salinitat a 35 m de fondària i l'altura dinàmica també a 35 m (prenent com a nivell de referència 60 m); de l'altura dinàmica se n'han deduït els corrents geostrofcics associats. La Fig. 12c mostra la clorofil·la-a superficial durant les dates de les campanyes; en aquesta regió i durant els mesos d'estiu a la clorofil·la- $\alpha$  se la relaciona amb AW resident degut als nutrients provinents de les descàrregues de rius que rep aquesta massa d'aigua en el seu períple per totes les costes de la conca (Bethoux, 1989). El que mostren aquestes figures es resumeix a continuació; una descripció més detallada es pot trobar a Balbín *et al.*, (2014).

Durant la campanya del 2001 la regió estava dominada per una entrada d'AW recent i per tant de salinitat baixa que es va estendre cap al nord a través del Canal d'Eivissa, mentre l'àrea més septentrional del mar Balear estava ocupada per AW resident (Fig. 12a). La confluència de les dues masses d'aigua es detecta com un front de salinitat que separa les aigües més salines (al nord) de les menys salines (al sud). Associat al front es pot observar un corrent geostrofcic intens (-40 cm/s) que s'estén del nord d'Eivissa fins al sud-est de Menorca, fent meandres (Fig. 12b). Aquest corrent incideix sobre Cabrera com un corrent del oest - nord-oest que duu AW recent a la zona occidental de l'arxipèlag, mentre que la zona oriental roman sota la influència d'AW resident. Al juny de 2002, pel contra, la major part de la zona estava ocupada per AW resident (Fig. 12a), sense transport d'AW recent a través dels canals excepte algunes intrusions menors entre les illes de Cabrera i Menorca. Aquell any, per tant, tota Cabrera estava sota la influència d'AW resident i no hi havia cap corrent dominant en el seu entorn. Una situació pareguda es va viure el 2003, amb la major part de l'arxipèlag Balear sota la influència d'AW resident; en aquest cas l'AW recent es va situar al sud d'Eivissa i només es van observar petites intrusions cap al nord al canal d'Eivissa. Al sud del front de salinitat es van formar dos remolins anticiclònics intensos, mentre el corrent associat al front es localitzava al llarg del paral·lel 38.5° N (Fig. 12b). El juny de 2004 l'AW resident ocupava la part occidental i septentrional de l'àrea d'interès; en aquest cas la característica hidrogràfica més important va ser la presència de mescla d'AW recent i AW resident al sud de Mallorca i Menorca. Pel que fa a Cabrera, el juny de 2004 va rebre AW resident des de l'oest (Fig. 12b), mentre l'AW recent es situava a l'est de l'illa. El juny de 2005, l'AW recent va ocupar la part sud-oest de l'àrea d'estudi, incloent els canals d'Eivissa i Mallorca, mentre l'AW resident va ocupar la part oriental. Aquell any el front que separa les dues masses d'aigua va descriure meandres entre Eivissa i Mallorca, tombant després cap a la conca algeriana. Finalment, el juny de 2012 tota l'àrea va tornar a ser ocupada per AW resident i el front de salinitat es va situar en el límit meridional del domini. El límit septentrional del front va estar associat a un corrent geostrofcic en direcció est. En aquestes condicions l'arxipèlag de Cabrera es va trobar majoritàriament sota la influència d'AW resident, però rebent AW recent des del sud-oest.

La conclusió fonamental que es pot extreure de les Figures 11 i 12 és que la variabilitat interanual local en el cas de Cabrera està del tot lligada a la posició del front de salinitat en primavera i estiu. Aquest front, que separa l'AW recent de l'AW resident determina les condicions mediambientals fonamentals a que es veuen exposats els ecosistemes de l'illa (AW recent ó AW resident) al llarg de l'any. I si una cosa mostren les figures és que no hi ha dos anys iguals.

Finalment, es mostren les sèries obtingudes a la mateixa illa de Cabrera. La Fig. 13 mostra sèries temporals de temperatura mitjana mensual registrada a diferents nivells entre 10 i 40 m des de 2009 a 2017 a Na Foradada. De finals de novembre a març, la temperatura és gaire be la mateixa a totes les fondàries, a conseqüència de l'homogeneització hivernal de la columna d'aigua. Els valors mínims s'assoleixen cada any entre febrer i març a totes les fondàries, variant entre 13.8 i 14.9°C a 10 m i entre 13.8 i 14.8°C a 40 m. Les variacions interanuals de les temperatures mensuals mínimes són petites (de l'ordre de 1°C), tot i que hi ha un fet destacable, i és que han pujat paulatinament durant el període mostrejat. Així per exemple, a partir de 2016 la temperatura mensual mínima no ha baixat dels 14°C a cap de les fondàries mostrejades.



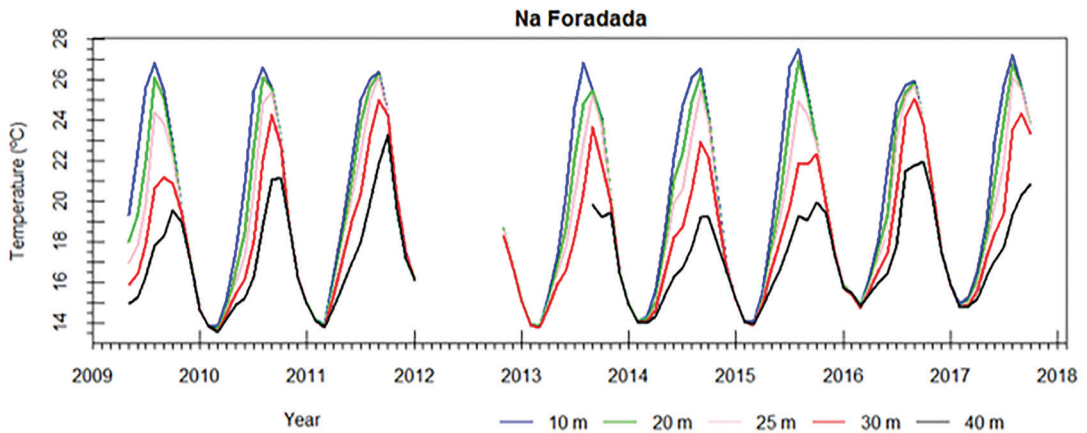
**Figura 12** Mapes de salinitat (a) i altura dinàmica (referida a 600 m) (b) a 35 m de fondària obtinguts durant les campanyes TUNIBAL dutes a terme anualment entre el 2001 i el 2005 i després el 2012. L'indicatiu que es mostra a cada mapa està format pel nom de la campanya seguit del mes (06=juny, 07=juliol) i l'any (01 a 05 i 12) en que va començar cadascuna d'elles. Amb l'altura dinàmica es mostren també els corrents geostrofcics associats. En els sis darrers panells (c) es mostra mostra la clorofil·la superficial mesurada des de satèl·lit (MODIS Aqua) a les mateixes dates de les campanyes.



A partir de març la columna d'aigua comença a estratificar-se, arribant a la màxima estratificació (deguda a la màxima diferència de temperatura entre nivells) en els mesos d'estiu. La màxima diferència de temperatura entre els 10 i 40 m oscil·la entre els 4°C de 2016 i els gaire bé 8°C de 2014. Pel que fa als valors mensuals màxims, s'assoleixen entre els mesos d'agost i setembre entre 10 i 25 m, normalment per setembre a 30 m i per octubre a 40 m. Els valors mensuals màxims oscil·len entre 25.9 y 27.5°C a 10 m i entre 19.2 i 23.3°C a 40 m; és a dir, les variacions interanuals són de l'ordre de 1.5°C als nivells superiors i de gaire bé 4°C a 30 i 40 m. A aquestes fondàries la temperatura mitjana mensual va assolir els valors màxims (de l'ordre de 23°C) el 2011 i el 2016. Pel que fa a màxims absoluts només s'han superat els 28°C el 2015 (a 10 m). Pel que fa a temperatures mitjanes diàries, no han baixat mai dels 14°C des de 2016 a cap de les fondàries mostrejades. La Taula II recull diversos paràmetres estadístics, com el percentatge de dies per any i fondària en que la temperatura ha estat superior a 23°C, 25°C i 27°C (valors llindars relacionats amb observacions de mortalitat massiva d'algunes espècies).

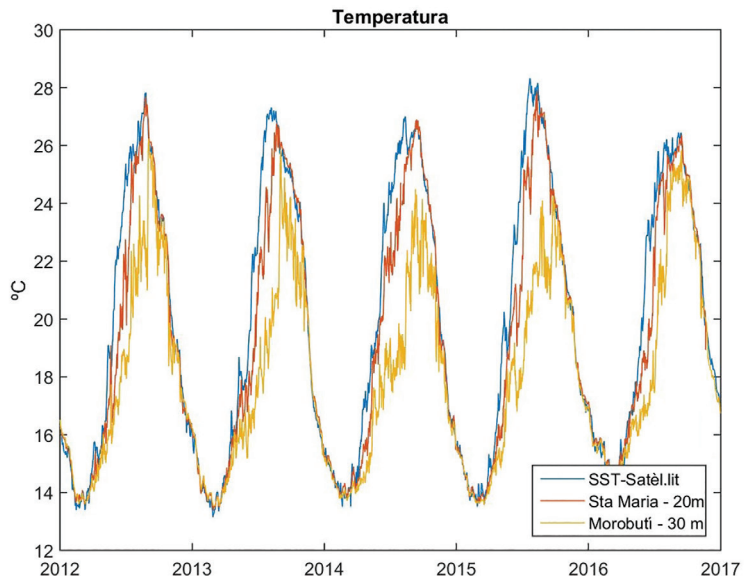
**Taula II.** Percentatge de dies (per a diferents anys i fondàries) en que la temperatura ha estat superior a 23°C, 25°C i 27°C (valors llindars relacionats amb successos de mortalitat massiva de distintes espècies). Les dades provenen de les sèries temporals recollides a Na Foradada.

>23°C	10m	20m	25m	30m	40m
<b>2009</b>					
2010	29.0	24.1	20.3	15.3	0.0
2011	34.8	32.6	26.0	20.0	7.1
<b>2012</b>					
2013	32.9	26.6	18.1	7.4	0.0
2014	35.9	26.3	20.3	6.0	0.0
2015	31.5	28.2	20.5	4.1	0.0
2016	34.5	32.5	29.7	22.3	1.7
2017	44.2	36.0	31.4	20.5	0.0
<b>&gt;25°C</b>					
<b>2009</b>					
2010	21.1	15.9	11.5	1.4	0.0
2011	23.3	17.3	15.3	7.4	0.0
<b>2012</b>					
2013	21.1	12.9	6.8	0.8	0.0
2014	20.8	13.4	6.6	0.0	0.0
2015	20.8	14.5	4.7	0.0	0.0
2016	22.0	18.1	16.7	7.9	0.0
2017	24.4	20.5	14.9	5.3	0.0
<b>&gt; 27°C</b>					
<b>2009</b>					
2010	5.3	0.0	0.0	0.0	0.0
2011	1.4	0.0	0.0	0.0	0.0
2012	0.3	0.0	0.0	0.0	0.0
<b>2012</b>					
2013	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0
2014	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2015	12.9	4.9	0.0	0.0	0.0
2016	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2017	8.9	4.3	2.3	0.0	0.0



**Figura 13** Sèries temporals de temperatura mitjana mensual (°C) registrada a diferents fondàries entre 10 i 40 m entre 2009 i 2017 a Na Foradada. Dades recollides pel Centre Oceanogràfic de Balears de l'IEO en el marc del projecte EPIMHAR i com a node de la xarxa T-MedNet.

Les sèries temporals de Cala Santa Maria (20 m fondària) i de Morabatí (30 m fondària) mostren resultats similars. Si les comparem a més amb les dades de temperatura superficial obtingudes a partir de satèl·lit (Fig. 14) es veu com el mes de març comença l'estratificació. Així, a principis d'agost el màxim anual es troba en superfície, però per setembre les temperatures superficials i les obtingudes a 20 m s'equiparen a Santa Maria. A Morabatí, a 30 m de fondària, també s'arriba al màxim anual a finals d'agost, però les temperatures són 2-3°C més baixes que a Santa Maria a 20 m. A partir d'octubre-novembre l'homogeneització de la columna d'aigua arriba als 30 m i es manté fins la primavera següent. Igual que a Na Foradada, també s'aprecia una pujada progressiva del mínim anual, però la durada de la sèrie és massa curta com per extreure'n conclusions sobre tendències a llarg termini. Addicionalment aquestes sèries ens aporten altres informacions interessants: primer, que les variacions de temperatura en un mateix dia poden arribar a ser de 5°C a 20 m de fondària (Santa Maria) i de ~7-8°C a 30 m (Morabatí). Aquestes variacions són màximes durant l'estiu i molt més petites (màxim de 0,5-1°) durant l'hivern. Un segon aspecte a remarcar són les diferències entre les sèries de Santa Maria i Morabatí: malgrat la seva proximitat les diferències són de 2 i 3 °C. El fet de tractar-se de dades obtingudes a fondàries diferents no basta per explicar la magnitud d'aquestes diferències, que probablement siguin degudes a fenòmens de petita escala poc estudiats.



**Figura 14** Sèries de temperatura (°C) a Cala Santa Maria (20 m) i Cap de Morabatí (30 m). Dades recollides pel Centre Oceanogràfic de Balears de l'IEO en el marc del projecte PINNA. També s'han inclòs dades de temperatura superficial de satèl·lit.

## FUTUR OCEANOGRÀFIC DE CABRERA

A dia d'avui no s'ha fet cap estudi específic sobre l'impacte del canvi climàtic a l'entorn marí de Cabrera, però s'espera que l'evolució en aquesta zona no difereixi molt del que passarà a la resta de les illes Balears. Pel que fa al nivell de la mar, per exemple, s'espera una pujada generalitzada a tota la Mediterrània, fruit principalment de la fusió de gel continental i de l'expansió tèrmica deguda a l'escalfament de l'aigua. Els estudis més recents (p.e. Jordà i Gomis, en preparació) mostren que la Mediterrània seguirà essencialment l'evolució de l'Atlàntic NE, i que els canvis que allà es produeixen es propagaran cap a dintre de la conca. Segons els distints escenaris d'emissions de gasos d'efecte hivernacle les projeccions per a finals del segle XXI mostren pujades que van dels 40 cm en un escenari optimista fins als 80 cm en un escenari on a les properes dècades continuen augmentant les emissions de gasos. A l'entorn concret de les Balears els models mostren que el nivell podria augmentar 5-10 cm més que la mitjana degut a canvis en la circulació. Finalment cal indicar que aquesta seria la pujada del nivell mitjà, i que a sobre s'hi superposaria la variabilitat típica derivada del vent i la pressió atmosfèrica.

Sobre les tempestes marines els estudis existents no indiquen massa canvis; l'escalfament global tindria un efecte moderat sobre el règim de vents i onatge de la Mediterrània Occidental, amb canvis menors del 10 % tant en el règim mitjà com en els successos extrems (Lionello *et al.*, 2008; Jordà *et al.*, 2012a; Casas-Prat i Sierra, 2013; Conte i Lionello, 2013). El vent i onatge a la Mediterrània Occidental estan molt determinats per les rutes de les borrasques que venen de l'Atlàntic, i a dia d'avui no hi ha conclusions clares sobre si l'escalfament global modificarà substancialment o no aquestes borrasques i les seves rutes. Hi ha un cert consens en que hi haurà una lleugera disminució en el nombre de ciclons, però pot ser hi hagi també un lleuger increment en la seva intensitat (Pinto *et al.*, 2007).

Pel que fa a la temperatura i la salinitat, l'evolució d'aquestes variables està íntimament lligada als canvis que es puguin produir en els fluxos de calor i aigua amb l'atmosfera. La majoria d'estudis projecten un augment de l'evaporació i una disminució de la precipitació, que en el marc d'un escenari moderat de concentracions de gasos d'efecte hivernacle provocaria a un augment d'entre un 20% i un 40% en la pèrdua d'aigua (Dubois *et al.*, 2012). El mateix estudi mostra també una disminució en la pèrdua de calor envers l'atmosfera, la qual cosa afavorirà l'escalfament de l'aigua. Alguns d'aquests canvis ja s'han detectat a les darreres dècades (Vargas-Yáñez *et al.*, 2010; Vargas-Yáñez *et al.*, 2017); pel que fa als canvis futurs, Adloff *et al.*, (2015) han quantificat la pujada de la temperatura superficial de l'aigua entre 1.73 i 2.97°C per al període 2070-2099 respecte a finals del segle XX. Aquesta pujada en la temperatura mitjana tindrà un efecte clar sobre les onades de calor, que s'espera que augmentin radicalment en freqüència i magnitud: d'haver-n'hi una devers cada 5 anys en l'actualitat a haver-n'hi una cada any cap a finals del segle XXI (Jordà *et al.*, 2012b). L'estudi d'Adloff *et al.*, (2015) també quantifica l'efecte dels canvis en els fluxos d'aigua sobre la salinitat, mostrant una pujada de la salinitat superficial d'entre 0.48 i 0.89 per al període 2070-2099 respecte a finals del segle XX. Si es miren els canvis sobre tota la columna d'aigua aquests seran més petits a mesura que augmenta la fondària. Així, fent la mitjana sobre tota la columna d'aigua s'esperen canvis de temperatura d'entre 0.9 i 1.3°C, i canvis en la salinitat d'entre 0.3 i 0.5 per a finals del segle XXI sota un escenari moderat d'emissions.

És d'esperar que els canvis projectats per a les variables físiques tinguin un impacte notable sobre els ecosistemes marins i sobre les infraestructures costaneres. L'augment del nivell de la mar implicarà una gran reducció de la superfície d'algunes platges (veure p.e. Enríquez *et al.*, 2017) i les infraestructures costaneres com ports i passejos seran més vulnerables a l'onatge de les tempestes. L'augment de la temperatura implicarà un augment de l'estrès sobre els ecosistemes marins (Marbà *et al.*, 2015), amb una probable substitució d'algunes espècies locals per espècies invasores. També hi ha estudis que pronostiquen una pèrdua de gran part de les praderies de Posidònia (Jordà *et al.*, 2012b).

## AGRAÏMENTS

Bona part dels gràfics d'aquest capítol s'han obtingut a partir de dades recollides en el marc de diversos programes de monitoratge citats en el text. Així per exemple, una part de les dades obtingudes a Cabrera ho van ser el marc del projecte “Estado de conservación del bivalvo amenazado *Pinna nobilis* en el Parque Nacional del Archipiélago de Cabrera” (IP: Dra. Salud Deudero; amb la col·laboració d'Elvira Álvarez en el treball de camp), subvencionat per el “Organismo Autónomo de Parques Nacionales” del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (Ref. 024/2010). Les referències citades segur que podrien ser més nombroses, però per raons d'espai no s'han pogut posar tots els treballs que són rellevants per a aquest capítol. Finalment, s'agraeix la contribució en temps dedicat per part de personal que participa en els projectes de Pla Nacional CLIMPACT (CGL2014-54246-C2-1-R) i CLIFISH (CTM2015 66400-C3-2-R).

## REFERÈNCIES

- 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*, 45, 2775-2802. Doi:10.1007/s00382-015-2507-3.
- Alemaný, F., Quintanilla, L., Velez-Belchí, P., García, A., Cortés, D., Rodríguez, J.M., Fernández de Puelles, M.L., González-Pola, C., López-Jurado, J.L., 2010. Characterization of the spawning habitat of Atlantic bluefin tuna and related species in the Balearic Sea (western Mediterranean). *Progress in Oceanography* 86, 21–38.
- Amores, Á., 2014. *Mesoscale hydrodynamics around the Balearic Islands: spatio-temporal variability and its relation with fishing resources*. Ph.D. thesis. Universitat de les Illes Balears.
- Aparicio-González, A., López-Jurado, J.L., Balbín, R., Alonso, J.C., Amengual, B., Jansá, J., García, M.C., Moyá, F., Santiago, R., Serra, M., Vargas-Yáñez, M., 2015. Ibar database: Four decades of sampling on the western mediterranean sea. *Data Science Journal* 13, 172–191.
- Astraldi, M., Gasparini, G., 1992. The seasonal characteristics of the circulation in the north mediterranean basin and their relationship with the atmospheric-climatic conditions. *Journal of Geophysical Research* 97, 9531–9540.
- Balbín, R., Aparicio, A., López-Jurado, J., Flexas, M., 2012a. Interannual variability of Dissolved Oxygen values around the Balearic Islands, in: *EGU General Assembly Conference Abstracts*, p. 7591.
- Balbín, R., Flexas, M., López-Jurado, J., Peña, M., Amores, A., Alemaný, F., 2012b. Vertical velocities and biological consequences at a front detected at the Balearic Sea. *Continental Shelf Research* 47, 28–41.
- Balbín, R., López-Jurado, J.L., Flexas, M.M., Reglero, P., Velez-Velchí, P., González-Pola, C., Rodríguez, J.M., García, A., Alemaný, F., 2014. Interannual variability of the early summer circulation around the Balearic Islands: driving factors and potential effects on the marine ecosystem. *Journal of Marine Systems* 138, 70–81.
- Ballesteros, E., Zabala, M., 1993. El bentos: el marc físic. Capítol del llibre “*Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*”, Alcover, J. A., Ballesteros, E., Fornós, J. J. (Eds.). CSIC-Ed. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2, 663-685.
- Bode, A., Lavín, A., Valdés, L., 2012. *Cambio climático y oceanográfico en el Atlántico del norte de España*. Instituto Español de Oceanografía.
- Calafat, F.M., Jordà, G., 2011. A Mediterranean sea level reconstruction (1950–2008) with error budget estimates. *Global and Planetary Change*, 79 (1–2), 118-133.
- Canals, M., Puig, P., de Madron, X., Heussner, S., Palanques, A., Fabres, J., 2006. Flushing submarine canyons. *Nature* 444, 354–357.
- Casas-Prat, M., Sierra, J. P., 2013. Projected future wave climate in the NW Mediterranean Sea. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118(7), 3548-3568.
- Conte D., Lionello P., 2013. Characteristics of large positive and negative surges in the Mediterranean Sea and their attenuation in future climate scenarios. *Global and Planetary Change* 111, 159–173.
- Dubois C., Somot, S., Calmanti, S., Carillo, A., Déqué, M., Dell'Aquila, A., Elizalde-Arellano, A., Gualdi, S., Jacob, D., Lheveder, B., Li, L., Oddo, P., Sannino, G., Scoccimarro, E., Sevault, F., 2012. Future projections of the surface heat and water budgets of the Mediterranean sea in an ensemble of coupled atmosphere-ocean regional climate models. *Climate Dynamics*, 39(7-8), 1859-1884.
- Enriquez, A.R., Marcos, M., Alvarez-Ellacuría, A., Orfila, A., Gomis, D., 2017. Changes in beach shoreline due to sea level rise and waves under climate change scenarios: application to the Balearic Islands (Western Mediterranean). *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 17, 1075–1089.
- García-Ladona, E., Castellón, A., Font, J., Tintoré, J., 1996. The Balearic current and volume transports in the Balearic basin. *Oceanologica Acta* 19, 489–497.
- Good, S. A., Martin, M. J., Rayner, N. A., 2013. EN4: quality controlled ocean temperature and salinity profiles and monthly objective analyses with uncertainty estimates. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 118, 6704-6716, doi:10.1002/2013JC009067.
- Ishii, M., Kimoto, M., 2009. Reevaluation of historical ocean heat content variations with time-varying XBT and MBT

- depth bias corrections. *Journal of Oceanography*, 65, 287–299.
- Jordà, G., Gomis, D., Alvarez-Fanjul, E., Somot, S., 2012a. Atmospheric contribution to Mediterranean and nearby Atlantic sea level variability under different climate change scenarios. *Global and Planetary Change*, 80-81, 198–214.
- Jordà, G., Marbà, N., Duarte, C., 2012b. Mediterranean seagrass vulnerable to regional climate warming. *Nature Climate Change* (11), Vol. 2, 821–824.
- Jordà, G., Gomis, D., 2013. Reliability of the steric and mass components of Mediterranean sea level as estimated from hydrographic gridded products. *Geophys. Res. Lett.*, 40, 3655–3660, doi:10.1002/grl.50718.
- Jordà, G., Nerem R. S., Croteau, M., Wiese, D., 2017a. Direct and indirect estimates of Mediterranean mass variability. *Geophysical Research Abstracts*, 19, EGU2017-17775-1.
- Jordà, G., Von Schuckmann, K., Josey, S.A., Caniaux, G., García-Lafuente, J., Sammartino, S., Ozsoy, E., Polcher, J., Notarstefano, G., Poulain, P.-M., Adloff, F., Salat, J., Naranjo, C., Schroeder, K., Chiggiato, J., Sannino, G., Macías, D., 2017b. The Mediterranean Sea heat and mass budgets: Estimates, uncertainties and perspectives. *Progress in Oceanography*, 156, 174–208, doi:10.1016/j.pocean.2017.07.001.
- Jordà, G., Gomis, D., en preparació. Vulnerability of marginal seas to sea level rise: The case of the Mediterranean Sea.
- Jordà, G., Houpert, L., Bosse, A., Testor, P., Llasses, J., Troupin, C., en preparació. Mapping the temperature and salinity of the Mediterranean Sea from 1950 to present. Product description and sources of uncertainty.
- Landry, M., Ohman, M., Goericke, R., Stukel, M., Barbeau, K., Bundy, R., Kahru, M., 2012. Pelagic community responses to a deep-water front in the California Current Ecosystem: overview of the A-Front study. *Journal of Plankton Research* 34, 739–748.
- Lavin, A., 2014. *The Spanish Institute of Oceanography Observing System*, in: 7th EuroGOOS conference: Operational Oceanography for Sustainable Blue Growth.
- Lionello, P., Cogo, S., Galati, M. B., Sanna, A., 2008. The Mediterranean surface wave climate inferred from future scenario simulations. *Global and Planetary Change*, 63(2), 152–162.
- López-Jurado, J.L., Balbín, R., Alemany, F., Amengual, B., Aparicio-González, A., Fernández de Puelles, M.L., García-Martínez, M.C., Gazá, M., Jansá, J., Morillas-Kieffer, A., Moyá, F., Santiago, R., Serra, M., Vargas-Yáñez, M., 2015. The radmed monitoring programme as a tool for msfd implementation: towards an ecosystem-based approach. *Ocean Science* 11, 897–908.
- López-Jurado, J.L., Marcos, M., Monserrat, S., 2008. Hydrographic conditions affecting two fishing grounds of Mallorca island (Western Mediterranean): during the IDEA Project (2003-2004). *Journal of Marine Systems* 71, 303–315.
- Manca, B., Burca, M., Giorgetti, A., Coatanoan, C., Garcia, M., Iona, A., 2004. Physical and biochemical averaged vertical profiles in the Mediterranean regions: an important tool to trace the climatology of water masses and to validate incoming data from operational oceanography. *Journal of Marine Systems* 48, 83–116.
- Marbà, N., Duarte, C., 2010. Mediterranean warming triggers seagrass (*Posidonia oceanica*) shoot mortality. *Global Change Biology*, doi: 10.1111/j.1365-2486.2009.02130.x
- Marbà, N., Jordà, G., Agustí, S., Duarte, C.M., 2015. Footprints of climate change on Mediterranean Sea biota *Frontiers in Marine Science*, 2, 1–11. doi: 10.3389/fmars.2015.00056
- Massutí, E., Olivar, M., Monserrat, S., Rueda, L., Oliver, P., 2014. Towards understanding the influence of environmental conditions on demersal resources and ecosystems in the western mediterranean: Motivations, aims and methods of the ideados project. *Journal of Marine Systems* 138, 3–19.
- MEDAR-Group, 2002. *MEDATLAS 2002 Mediterranean and Black Sea database of temperature, salinity and biochemical parameters climatological atlas.*, in: 4 CD-ROM, European Commission Marine Science and Technology Programme (MAST). IFREMER.
- MEDOC-Group, 1970. Observation of formation of deep water in the Mediterranean Sea. *Nature* 227, 1037–1040.
- Millot, C., 1985. Some features of the algerian current. *Journal of Geophysical Research* 90, 7169–7176.
- Millot, C., 1999. Circulation in the Western Mediterranean. *Journal of Marine Systems*, 20, 423–442.
- Millot, C., Taupier-Letage, I., 2005. Circulation in the mediterranean sea, in: *The Mediterranean Sea*. Springer Berlin / Heidelberg. volume 5 part K of The Handbook of Environmental Chemistry, pp. 323–334.
- Monserrat, S., López-Jurado, J.L., Marcos, M., 2008. A mesoscale index to describe the regional circulation around the balearic islands. *Journal of Marine Systems* 71, 413–420.
- Pinot, J.M., Tintoré, J., López-Jurado, J.L., de Puelles, M.L.F., Jansá, J., 1995. Three-dimensional circulation of a mesoscale eddy/front system and its biological implications. *Oceanol. Acta* 18, 389–400.
- Pinto, J. G., Ulbrich, U., Leckebusch, G. C., Spanghel, T., Reyers, M., Zacharias, S., 2007. Changes in storm track and cyclone activity in three SRES ensemble experiments with the ECHAM5/MPI-OM1 GCM. *Climate Dynamics*, 29(2-3), 195–210.
- Puig, P., de Madron, X.D., 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* 111, 1–23.
- Reglero, P., Ciannelli, L., Alvarez-Berastegui, D., Balbín, R., López-Jurado, J., Alemany, F., 2012. Geographically and environmentally driven spawning distributions of tuna species in the western Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series* 463, 273–284.
- Rixen M., et al., (2005), The Western Mediterranean Deep Water: A proxy for climate change, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L12608, doi:10.1029/2005GL022702.



- Salat, J., 1995. The interaction between the Catalan and Balearic currents in the southern Catalan Sea. *Oceanologica acta* 18, 227–234.
- Schunter, C., Carreras-Carbonell, J., Macpherson, E., Tintoré, J., Vidal-Vijande, E., Pascual, A., Guidetti, P., Pascual, M., 2011. Matching genetics with oceanography: directional gene flow in a mediterranean fish species. *Molecular Ecology* 20, 5167–5181.
- Torres, A., Reglero, P., Balbín, R., Urtizberea, A., Alemany, F., 2011. Coexistence of larvae of tuna species and other fish in the surface mixed layer in the NW Mediterranean. *Journal of Plankton Research* 33, 1793–1812.
- Valdés, L., Lavín, A., Fernández de Puellas, M., Varela, M., Anadon, R., Miranda, A., Camiñas, J., Mas, J., 2002. *Spanish Ocean Observation System*. IEO Core Project: studies on time series of oceanographic data. Elsevier Oceanography Series 66, 99–105.
- Vargas-Yáñez, M., García-Martínez, M.d.C., Moya-Ruiz, F., Tel, E., Parrilla-Barrera, G., Plaza-Jorge, F., Lavín, A., 2007. *Cambio climático en el Mediterráneo español*. Instituto Español de Oceanografía.
- Vargas-Yáñez, M., Zunino, P., Benali, A., Delpy, M., Pastre, F., Moya, F., García-Martínez, M.d.C., Tel, E., 2010. How much is the western mediterranean really warming and salting? *Journal of Geophysical Research: Oceans* (1978–2012) 115.
- Vargas-Yáñez, M., Zunino, P., Schroeder, K., López-Jurado, J., Plaza, F., Serra, M., Castro, C., García-Martínez, M., Moya, F., Salat, J., 2012. Extreme Western Intermediate Water formation in winter 2010. *Journal of Marine Systems* 105–108, 52–59.
- Vargas-Yáñez, M., García-Martínez, M. C., Moya, F., Balbín, R., López-Jurado, J. L., Serra, M., Zunino, P., Pascual, J., Salat, J., 2017. Updating temperature and salinity mean values and trends in the Western Mediterranean: The RADMED project. *Progress in Oceanography*, 157, 27–46.
- Vives, F., 1993. Aspectes hidrogràfics i planctònics dels voltants de l'arxipèlag de Cabrera. Capítol del llibre “*Història Natural de l'Arxipèlag de Cabrera*”, Alcover, J. A., Ballesteros, E., Fornós, J. J. (Eds.). CSIC-Ed. Moll, Mon. Soc. Hist. Nat. Balears, 2, 487-502.