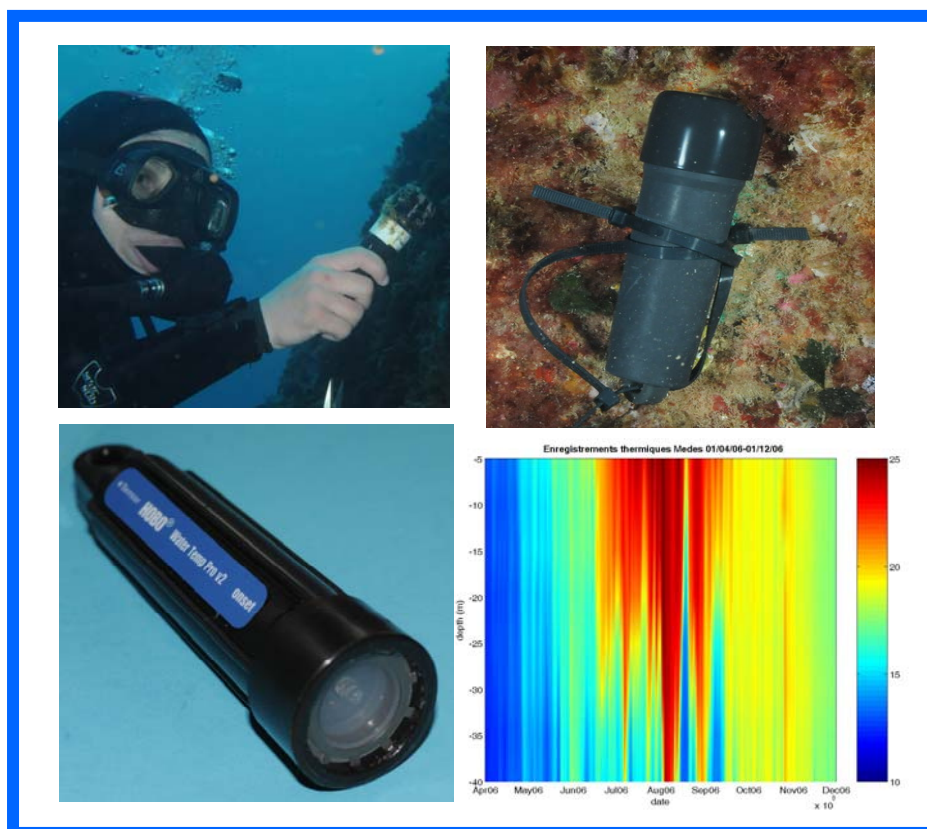




Mesures de temperatura a alta freqüència de l'Àrea Protegida de les Illes Medes



Contracte PDR 41/10 Institut de Ciències del Mar-CSIC

Responsable científic Joaquim Garrabou
Nathaniel Bensoussan, Emma Cebrian, Bernat Hereu i Cristina
Linares, Silvija Kipson i Nuria Teixido

Data Lliurament: Desembre 2010



Índex

Resum	2
Motivació i problemàtica	3
Material i mètodes	6
• Posició de l'estació de mesura	6
• Estratègia de mesura	6
• Campanyes de recuperació i instal·lació dels enregistadors de temperatura	9
• Sèries de dades analitzades	9
Resultats i discussió	10
• Trets generals del règim tèrmic de les aigües de les Illes Medes i el Montgrí	10
• Anàlisis dels períodes estivals	11
Conclusions	16
Referències	18

Resum

L'escalfament de les aigües de la Mediterrània NO i la seva relació amb canvis significatius en la distribució d'espècies i en casos de mortalitat massiva d'invertebrats va motivar el seguiment de la temperatura de les aigües marines del Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter. En dues etapes, Juliol del 2002 i Juliol 2004, es van instal·lar 8 enregistradors autònoms situats cada 5 m de fondària (5-40 m) a la Meda Gran (zona de la Pota del Llop). Els enregistradors varen ser programats per obtenir mesures horàries oferint a una imatge fina de la dinàmica de la estructura tèrmica de les aigües del Montgrí i les Illes Medes. Després de 9 anys de seguiment (2002-2010) els resultats obtinguts mostren una evolució estacional típica de la Mediterrània NO. Les aigües del parc mostren un règim tèrmic caracteritzat per temperatures estivals mitjanes moderades i el freqüent enfonsament de la termoclina durant el període estival. Tot i així, es varen observar diferències interanuals. Els estius del 2003, 2006 i 2009 varen presentar unes condicions més calentes que en els altres anys. L'any 2010 va mostrar unes característiques semblants a les mitjanes del període pel qual es tenen registres (2002-2010).

Motivació i problemàtica

En el context de canvi climàtic actual, conèixer la resposta dels ecosistemes front a l'escalfament esdevé una preocupació major per a la conservació del patrimoni natural del litoral mediterrani i, en concret, del patrimoni dels espais naturals protegits com el del Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter.

En la Mediterrània nord occidental s'ha constatat l'escalfament de l'aigua de mar al llarg del darrer segle (Romano & Lugrezy 2007, Bensoussan et al. 2009). L'escalfament observat s'ha relacionat principalment amb canvis en la distribució d'espècies i els esdeveniments de mortalitat massiva. Entre els esdeveniments de mortalitat massiva, destaquem els observats als estius del 1999 i 2003 que varen afectar a les poblacions d'invertebrats bentònics que de milers de km de la Mediterrània nord occidental (Cerrano et al. 2000, Perez et al. 2000, Garrabou et al. 2009). La causa d'aquestes mortalitats sembla cada cop més clarament lligada a unes condicions anormalment elevades de les temperatures estivals de l'aigua de mar (Coma et al. 2009, Garrabou et al. 2009). Fins ara la costa catalana no ha estat més que moderadament afectada, almenys si la comparem a les regions de Provença, Còrsega i Ligúria on s'han observat els nivells màxims d'afectació (Cerrano et al. 1999, Pérez et al. 2000, Linares et al. 2005, Garrabou et al. 2009). Però, en el context actual de canvi climàtic i de convergència de tots els models cap a: 1) un escalfament superior a la mitjana per al cas de la regió de la Mediterrània NO, i 2) un augment de la freqüència d'episodis extrems tals com les onades de calor, hem de témer en el futur la probable repetició de nous episodis de mortalitat.

En conseqüència, resulta crucial recollir informacions sobre el règim tèrmic en la zona costanera a fi de caracteritzar els règims hidrològics i poder detectar anomalies que podrien tenir conseqüències pels organismes. En particular, resulta important contribuir a l'adquisició de dades a llarg termini i gran escala per tal d'establir les bases de referència per tal de d'establir les tendències d'escalfament a nivell regional i contribuir a la detecció i caracterització d'anomalies tèrmiques.

Les observacions del règim tèrmic en el medi costaner són històricament rares. Com a excepció, la regió de la Costa Brava gaudeix de la sèrie històrica més llarga de la Mediterrània NO: la sèrie de l'Estartit (iniciada i mantinguda per en Josep Pascual). Aquesta sèrie proporciona, per la seva antiguitat (>30 anys de mesures), una perspectiva inestimable per al coneixement de l'evolució de les temperatures de l'aigua de mar durant les darreres dècades i per a establir un marc general sobre les condicions hidrològiques imperant en aquesta part de la Mediterrània. Tanmateix, la utilització d'enregistradors automàtics per a l'adquisició de dades de temperatura a alta resolució representa un canvi qualitatiu fonamental per al coneixement de les condicions a les que es troben exposats els organismes bentònics, el que a partir d'ara anomenarem el seu "règim tèrmic".

L'escalfament de l'aigua de mar es transmet des de la superfície cap a les capes d'aigua més fondes, i aquests fet l'acusen els organismes bentònics mostrant una resposta als episodis de mortalitat en massa que es troba molt lligada a la fondària (Garrabou et al. 2009). D'altra banda, hom ha pogut observar que el límit superior de la distribució batimètrica d'algunes de les espècies més sensibles a les elevades temperatures estivals (p.ex. corall vermell, gorgònies, certes esponges) varia segons la regió geogràfica, situant-se a més fondària quant més meridional sigui la localitat (Linares et al. 2008). Hi ha motius per a sospitar que aquest patró de distribució podria estar governat per la freqüència de repetició de processos de mortalitat passats (que per ser històrics mai van ser observats) directament dependents del règim tèrmic local. En aquest sentit, la costa del Montgrí i les Illes Medes presenten poblacions molt somes de gorgònies vermelles i d'algunes espècies d'esponges. Aquestes poblacions només han estat feblement afectades per casos de mortalitat en els anys 2003 i 2006 (Garrabou et al. 2009). Caracteritzar el règim hídric resulta molt important per tal d'establir les relacions entre les condicions tèrmiques i la resposta de les poblacions. Però també per tal d'anticipar la resposta de les poblacions al canvi climàtic a través d'anàlisis comparatius amb els règims tèrmics d'altres zones de la Mediterrània.

En aquest context, els membres de l'equip Medrecover (www.medrecover.org) varen iniciar al Juliol del 2002 l'adquisició de series de temperatura a alta resolució a les Illes Medes. Des de

Il·lavors l'adquisició dels registres de temperatura i la gestió de la base de dades que s'ha generat ha estat possible gràcies a l'iniciativa del grup Medrecover. L'anàlisi d'una part de les series ja ha estat publicada i ha permès posar en evidència l'existència de patrons en les condicions tèrmiques i el desenvolupament de nous descriptors dels règims tèrmics, alguns dels quals s'utilitzen en aquest informe (Bensoussan et al. 2010). L'any 2010 ha estat el suport del Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter, el que ha permès el manteniment de els registres de temperatura. També en el 2010 s'ha posat en marxa una xarxa regional d'estudi del règim tèrmic litoral de la Mediterrània NO front a l'escalfament global (www.t-mednet.org), a la qual s'han integrat les sèries de les Illes Medes. Dins aquesta xarxa, la costa del Montgrí i les Illes Medes presenten unes condicions fredes. Els registres de temperatura, doncs, contribueixen a la caracterització de les condicions tèrmiques a nivell regional tot assolint objectius d'interès local, ja que forneix la primera caracterització precisa del cicle de variació tèrmica interanual de les aigües litorals del Parc natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter.

Material i mètodes

• Posició de l'estació de mesura

L'estació de mesura es va situar a la zona de la Pota del Llop (NW de la Meda Gran). Aquesta zona està caracteritzada per presentar una topografia abrupta amb zones de parets verticals colonitzades per abundants poblacions de gorgònies i esponges. La zona de mostreig està exposada als freqüents vents de component N que bufen en la regió. Aquesta situació garanteix una elevada renovació de les masses d'aigua, per tant entenem que les condicions de temperatura mesurades a la Pota del Llop es poden considerar característiques de tota l'àrea de les Illes Medes i la propera costa del Montgrí.

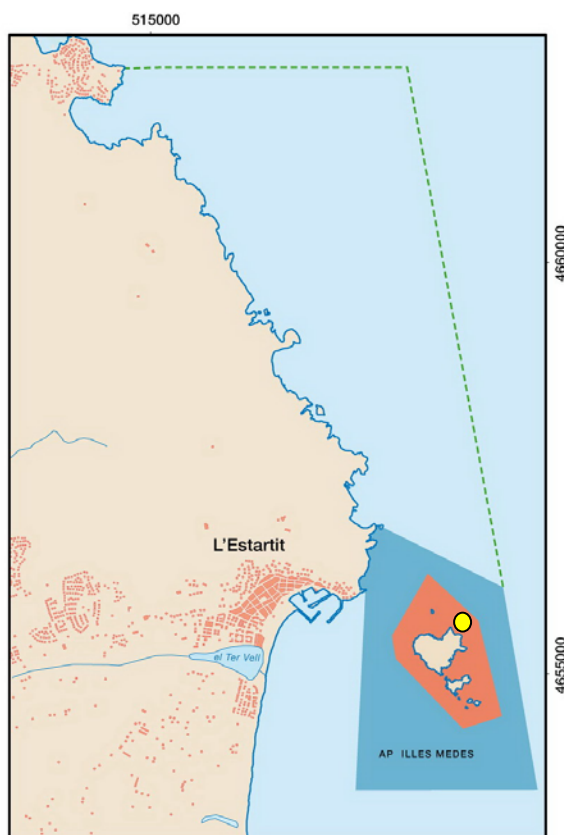


Figura 1. Mapa de localització de la vertical a la zona de la Pota del Llop (Meda Gran) dintre del Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter.

• Estratègia de mesura

La caracterització del règim tèrmic de les Illes Medes ha estat realitzada segons la mateixa estratègia d'obtenció de dades a alta resolució duta a terme a les altres localitats de la

Mediterrània NO (Bensoussan et al. 2010). Els enregistraments en les aigües de les Illes Medes es varen iniciar al Juliol del 2002 a tres fondàries (10, 25 i 35 m), dos anys més tard al juliol del 2004 es varen iniciar les mesures a 5 noves fondàries (5, 15, 20, 30 i 40 m). Des de llavors les mesures s'han obtingut ininterrompudament a les 8 fondàries.

Per obtenir les mesures, es van instal·lar ancoratges a la roca per fixar els 8 enregistradors autònoms de temperatura (per més informació sobre el procediment d'instal·lació del enregistradors podeu consultar la plana web t-mednet.org). En aquest informe ens referirem al conjunt de 8 enregistradors instal·lats entre els 5 i els 40 m com a una "vertical". Els enregistradors es programen per obtenir la temperatura amb un interval de 1 h. Així, disposem de 720 a 744 enregistraments per a cada mes i fondària. Aquesta densitat d'observacions, en el temps i sobre la vertical, permet accedir a una imatge fina de la dinàmica de la estructura tèrmica de les aigües costaneres a diferents escales de temps (hora, dia, estació).

Les sondes de temperatura empleades varen ser fins el 2010 del model "Tidbit Stowaway" (rang de mesura: -5°C $+37^{\circ}\text{C}$, precisió de 0.2°C , una resolució de 0.15°C) (Fig. 2). A partir de l'estiu del 2010, els enregistradors varen substituir per un nou model HOBO Water Pro V2 (rang de mesura $0-50^{\circ}\text{C}$, precisió de 0.2°C i una resolució de 0.02°C) doncs la pila té una durada més llarga i més important, a diferencia dels Tidbits, la substitució de la pila es possible en els HOBOS permeten reduir els costos de manteniment de la sèrie (Fig. 2).



Figura 2. Enregistradors emprats per l'obtenció de les sèries de temperatura de la vertical a la zona de la Pota del Llop (Meda Gran) dintre del Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter.

Per tal de garantir la coherència de les sèries des del 2009 s'han obtingut mesures de la mateixa fondària amb els dos tipus d'enregistradors. La comparació de les sèries permetrà establir les funcions d'intercalibració entre els models d'enregistradors.

Malgrat que els enregistradors presenten una autonomia de 4-6 anys, per tal de verificar el seu correcte funcionament es recuperen abans i després del període estival. Aquest procediment permet el reemplaçament i/o reinstal·lació dels ancoratges de fixació dels enregistradors que eventualment s'haguessin perdut augmentant així les probabilitats d'èxit en l'obtenció dels registres de l'estiu que són els més crítics per a les mortalitats massives de les comunitats bentòniques mediterrànies.

• **Calibració**

Igualment amb la finalitat de garantir la comparació i la fiabilitat de les mesures entre fondàries, llocs i anys, tots els termògrafs emprats foren calibrats abans de la seva instal·lació amb un termòmetre de referència ("SeaBird SBE39", precisió de la mil·lèsima) en les instal·lacions d'aquaris experimentals de l'Institut de Ciències del Mar de Barcelona. En la calibració els enregistradors de temperatura emprats per les mesures de camp així com la del termòmetre de referència es programen per enregistrar la temperatura cada 10 minuts. Tots els enregistradors es posen en un aquari d'uns 30 litres en la qual prèviament s'ha instal·lat una bomba d'aigua que garanteixi la circulació de l'aigua. Durant la calibració, els termòmetres realitzen mesures entre 12 i 24 h, període en el qual es fa variar la temperatura de l'aigua. Les mesures de cada enregistrador es comparen a la mesura del termòmetre de referència. Si la mitjana de les diferències és superior a $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$, l'enregistrador es descarta del següent cicle de mesures.

- **Campanyes de recuperació i instal·lació dels enregistradors de temperatura**

Els termòmetres es van recuperar durant la primavera i la tardor del 2010. En les dues campanyes es van recuperar tots els termòmetres de la vertical. Tots els enregistradors varen funcionar correctament.

- **Sèries de dades analitzades**

Les dades que conformen aquest informe inclouen totes les dades disponibles des del juliol del 2002 fins la tardor del 2010, cobrint així 9 períodes estivals.

Gestió i tractament de les sèries

Les dades obtingudes han estat validades i integrades en una base de dades que acull tota la sèrie de dades de temperatura disponibles per l'estació de les Illes Medes seguint els procediments emprats per les altres series de dades disponibles per la Mediterrània NO.

Les sèries temporals de temperatura han estat analitzades per mitjà dels programes de software Excel i Matlab per tal de sintetitzar la informació a les diferents escales de temps (dia, mes, estació de l'any) mitjançant els descriptors estadístics clàssics (mitjana, desviació típica, coeficient de variació, extrems i rang de variació) i altres descriptors específics. El període de mesura (1 h) permet estimar les durades totals de pas i els límits significatius de temperatura. En particular, les anàlisis s'han focalitzat en el període estival que s'ha definit arbitràriament entre 1 de Juliol i el 30 de Setembre de cada any d'estudi, donat que es en aquest és el període en el que l'augment anormal de la temperatura pot tenir conseqüències dramàtiques per les comunitats bentòniques.

Les dades validades així com els fitxers contenint les estadístiques descriptives han estat adjuntats al informe en format electrònic (Fitxers InformeTemperatura_Medes_2002-2010.xls).

Resultats i discussió

• Trets generals del règim tèrmic de les aigües de les Illes Medes i el Montgrí

L'examen de les mitjanes mensuals permet analitzar les tendències d'evolució estacional de l'estructura tèrmica. Hom observa una estructura clàssica per a la Mediterrània nord occidental amb una fase homoterma i una d'estratificació tèrmica que presenta un màxim estival normalment durant el mes d'agost (Fig. 3). L'estratificació es redueix al setembre, mes que presenta les temperatures més elevades en fondària (40 m). El mes d'octubre dona pas a una etapa homoterma de la columna d'aigua relativament calenta (al voltant dels 18-19°C) que es va refredant paulatinament fins assolir els seus mínims al voltant dels 12-13 °C al mesos de febrer-març. El mes d'Abril la temperatura es manté al voltant dels seus mínims anuals (13°C), però a partir de llavors la temperatura augmenta ràpidament assolint valors 3-5°C superiors al mes de juny que donen pas a una nova fase de estratificació anual. Si bé el patró estacional es repeteix pels diferents anys, s'observen diferències interanuals tant en el valors estivals i hivernals assolits com en la dinàmica hidrològica (*timing* i magnitud d'estratificació). Destaquem per exemple els estius del 2006 i 2009 que assoliren els valors més elevats amb temperatures mitges durant els mesos de Juliol i Agost (Fig. 3).

Les temperatures mínimes observades corresponen a les normals per la Mediterrània i oscil·len entre els 12-13 °C. Tanmateix en alguns anys les temperatures mitjanes del mesos d'hivern han estat fins i tot inferiors al voltant dels 11,5 °C (Fig. 3). Es destacable que en el 2006 es va observar una clara inversió tèrmica a on les capes superficials foren més fredes que les fondes. Aquest fenomen està lligat a l'influència de les aigües del Ter. La temperatura mínima enregistrada correspon als 10,3 °C mesurat a 10 m el mes de Febrer del 2006.

Les temperatures màximes observades en el període 2002-2010 s'assoleixen preferentment en el mes d'Agost i varien al voltant dels 24°C, i més excepcionalment arriben als 25 °C. La temperatura màxima registrada a les Illes Medes entre el 2002 i el 2010 es de 25,6 °C a 10 m

durant l'estiu del 2003. Globalment l'oscil·lació tèrmica a les Illes Medes en la zona superficial pot superar els 15 graus mentre que les zones fondes rarament sobrepassa els 10 graus.

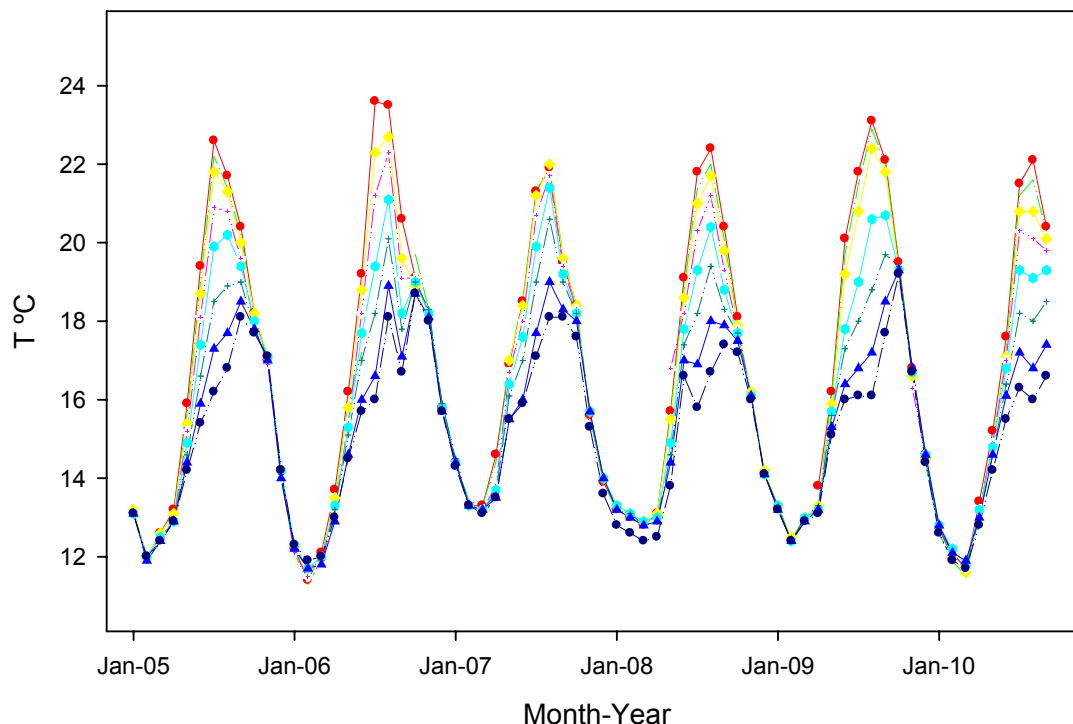


Figura 3. Mitjanes mensuals de temperatura entre 5-40 m de fondària de la vertical de la Pota del Llop (Meda Gran) Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i el Baix Ter pels anys 2005 al 2010.

● Anàlisi dels períodes estivals

Els períodes estivals es caracteritzen per temperatures mitjanes que varien entre 21-22 °C en superfície i els 16-17 °C a 40 m. Malgrat les variacions interanuals, la superposició de les diferents corbes anuals permet identificar un patró per les Illes Medes (Fig. 3). Tanmateix en superfície (5-15 m) els estius dels anys 2003, 2006 i 2009 es desmarquen dels altres anys (Figs. 4 i 5). Una altra de les característiques del règim tèrmic de les Illes Medes es l'augment del coeficient de variació (CV) en fondària que ens indica una major variabilitat relativa en els canvis de temperatura en fondària que en superfície (Fig. 3). En general, tots els anys presenten el mateix patró de variabilitat, i només l'estiu del 2007 mostra un CV inferior a la resta d'anys.

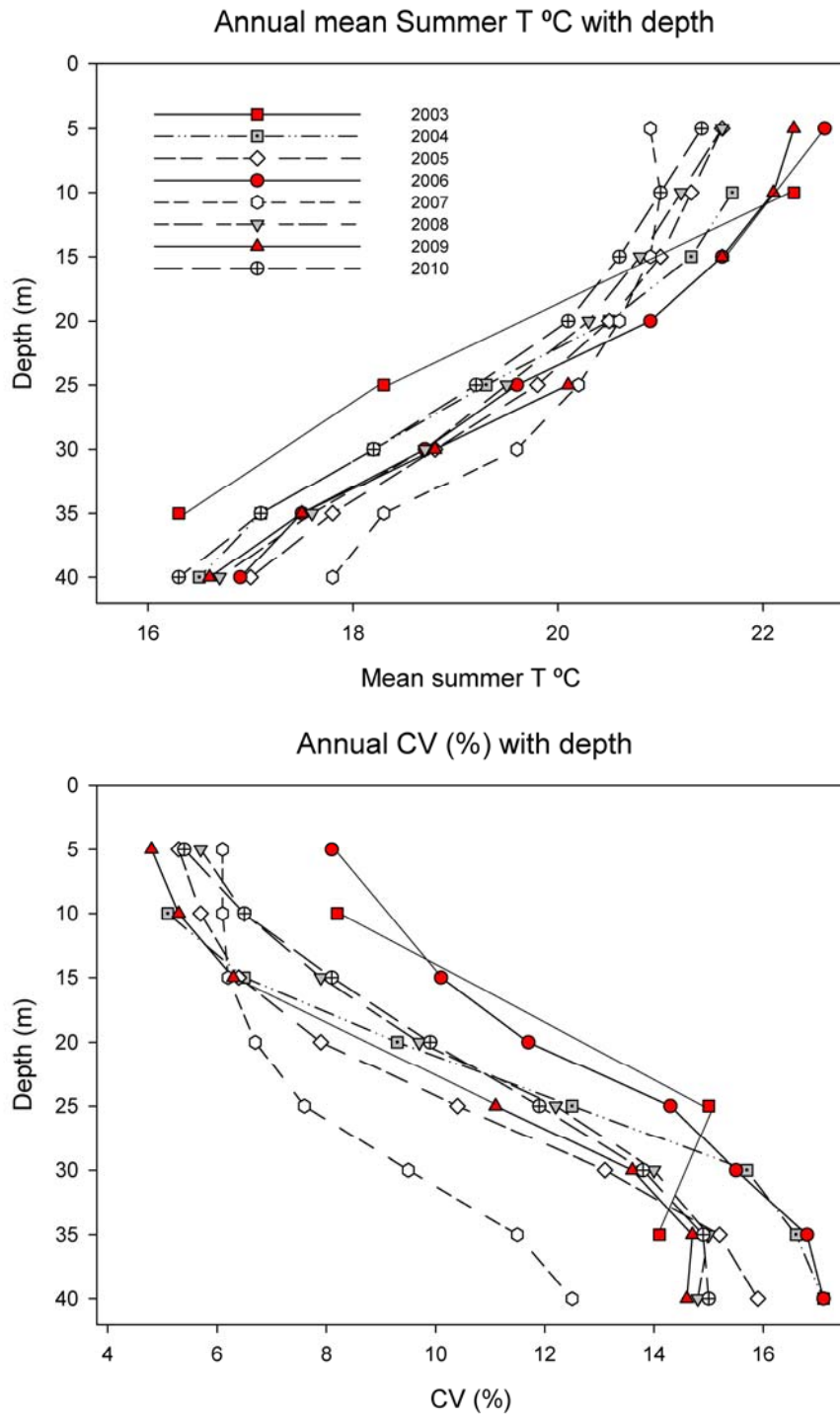


Figura 4. Temperatures mitjanes i coeficient de variació (CV) entre 5-40 m corresponents al període estival (1 de juliol al 30 de setembre) de la vertical de la Pota del Llop (Meda Gran) Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter.

L'augment de la variabilitat en fondària s'explica pels fenòmens d'enfonsament de la termoclina en aquesta zona (Fig. 5). Aquests enfonsaments estarien relacionats amb episodis de vent de component nord característics de la zona. En aquest sentit és destacable l'estiu del 2006, en el que es va observar un intens escalfament durant el mes de Juliol de les capes més somes i que gràcies als episodis de tramuntana del mes d'agost ocorreguts aquell any varen provocar l'enfonsament de les aigües calentes amb el conseqüent refredament (Fig. 5).

Durant els períodes estivals s'observa una gran inestabilitat de l'estructura tèrmica (Fig. 5). A títol d'exemple, en la Figura 5 es presenten els enregistrament pels estius del 2006 i 2009, que mostraren unes condicions calentes, i els corresponents als anys 2005 i 2010 que presentaven condicions estivals considerades com normals. Durant els estius s'observen oscil·lacions verticals de la termoclina entre mitjans de Juny i finals de Setembre de més de 20 m a l'escala d'un a uns pocs dies que estan fortament relacionades amb la força dels vents de component nord i de Garbí. S'observen també variacions interanuals en el nombre i magnitud de les oscil·lacions, així com en els valors de temperatura assolits (Fig. 5).

Les anàlisis dels règims tèrmics en d'altres zones de la Mediterrània també mostren uns patrons en els respectius règims tèrmics estivals (Bensoussan et al. 2010). Aquestes especificitats locals són patents malgrat les diferències interanuals, que s'observen com en el cas de les Illes Medes. Les condicions locals estarien lligades a diferents factors com l'orografia/batimetria i l'influència dels diferents factors que modelen les principals característiques hidrodinàmiques de la regió de la Mediterrània NO com els vents orogràfics de component nord i les intrusions del corrent nord sobre la zona de la plataforma continental (per més informació veure Bensoussan et al. 2010).

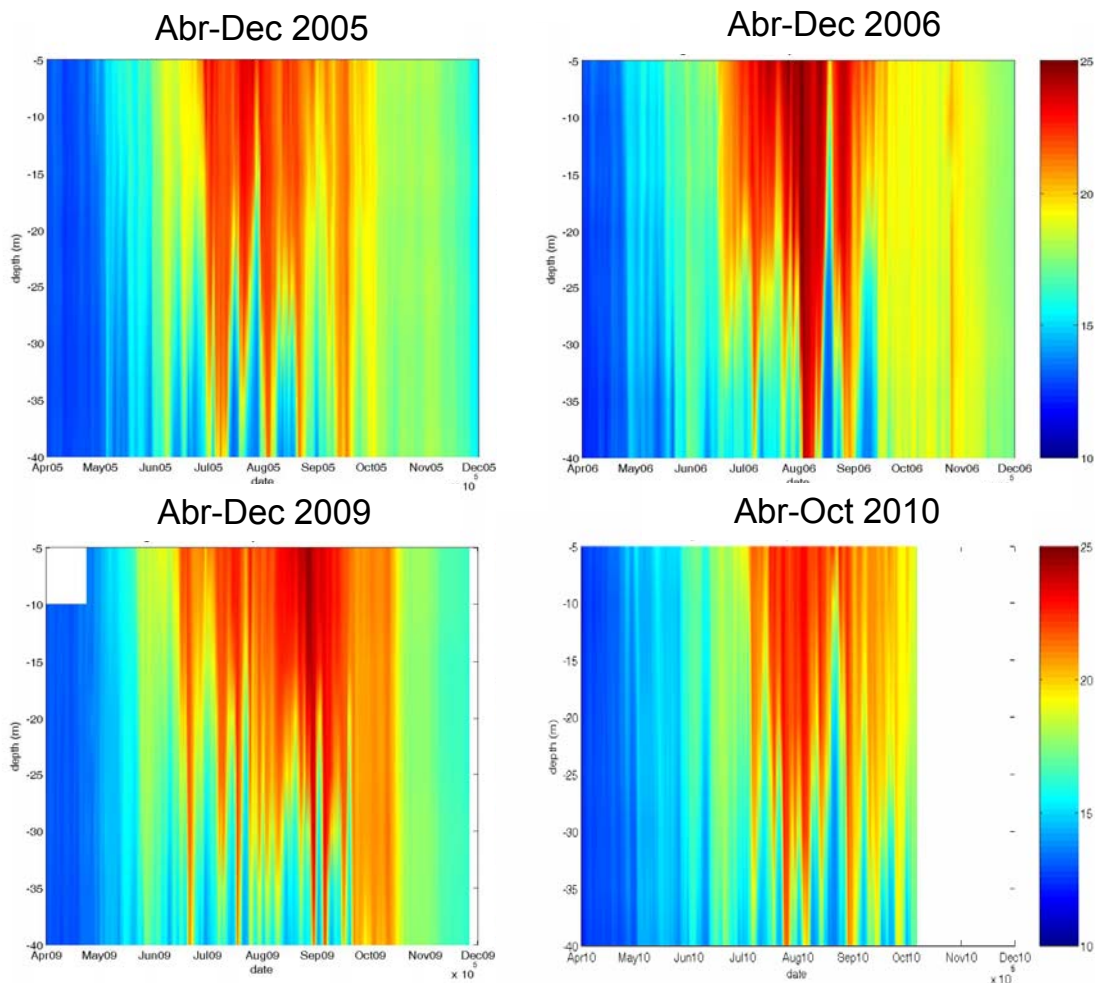


Figura 5. Enregistraments tèrmics entre 5-40 m de la vertical de la Pota del Llop (Meda Gran) Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter en els anys 2005, 2006, 2009 i 2010.

La disponibilitat de les series de temperatura a alta resolució han permès el desenvolupament d'altres descriptors de les condicions tèrmiques estivals que permeten una descripció més acurada de les condicions dels estius "normals" i aquells amb condicions anormalment elevades. En aquest context, en el cas de les Illes Medes, l'anàlisi dels percentatges de temps a $> 23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ens permeten diferenciar clarament els estius del 2003, 2006 i 2009 com els més calents dels 9 anys de seguiment (Fig. 6). Les diferències són especialment evidents en els primers 25m, encara que també s'observen en fondària. Així si en els anys considerats normals el temps a $>23 \text{ }^{\circ}\text{C}$ rarament supera el 10% en els primers metres i gairebé nul en fondària durant període estival. Mentre que en els anys més calents els percentatges foren entre 2 i 5 vegades superiors arribant fins al 50% a 10 m en l'estiu del 2006 (Fig. 6).

Les darreres dades experimentals de termotolerància disponibles dels invertebrats afectats per casos de mortalitat massiva mostren que el llindar de 24 i 25°C és crític per moltes espècies (Metalpa et al. 2005, Torrents et al. 2008, Ferrier-Pagès et al. 2009). Per tant el context tèrmic en les aigües de les Illes Medes, fins i tot en els anys més calents, està lluny de les condicions favorables pel desenvolupament de mortalitats massives associades a la temperatura observades en durant els darrers anys en la Mediterrània NO.

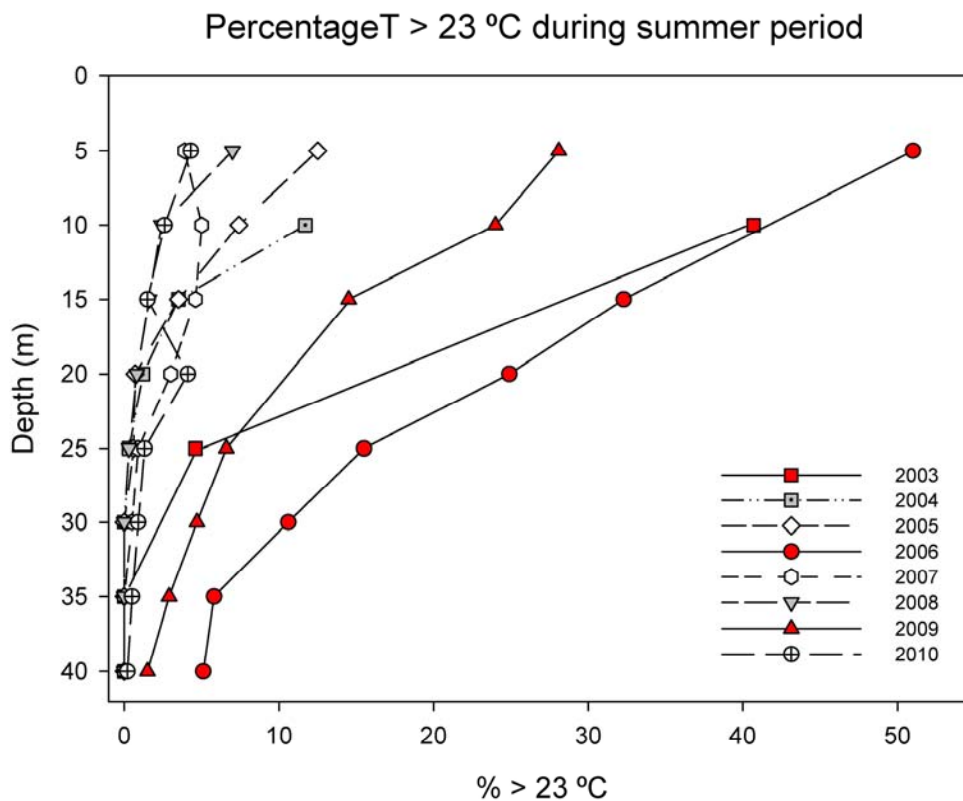


Figura 6. Percentatge de temps estival (1 juliol a 30 de Setembre) que la temperatura de l'aigua ha superat els 23 °C entre 5 i 40 m a la vertical de la Pota del Llop (Meda Gran) Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter

Conclusions

Les sèries de temperatura obtingudes a les Illes Medes reforcen el coneixement del règim tèrmic de la costa catalana i permeten establir sòlidament l'existència de particularitats en aquesta zona en relació als règims tèrmics de les costes provençal, lligur i corsa (Bensoussan et al. 2010). Dels 9 anys de registres, els estius del 2003, 2006 i 2009 varen presentar els valors més elevats. Aquestes anomalies no varen ser locals sino que en diferent magnitud es varen observar a escala regional (Bensoussan et al. 2010, Garrabou et al. dades no publicades). Tanmateix només en l'estiu del 2003, que va mostrar els valors més elevats, es varen observar casos de mortalitat en les poblacions més somes de gorgònies de les Illes Medes (Garrabou et al. 2009). En el 2009, els valors assolits foren inferiors als dels anys 2003 i 2006. Mentre que en el 2006, l'escalfament es va produir durant el mes de juliol. A més l'arribada de vents de tramuntana durant el mes d'agost del 2006 va provocar l'enfonsament i un refredament suficient de les aigües superficials evitant l'exposició dels organismes a un context de temperatures elevades (Fig. 4, Bensoussan et al. 2009). De fet aquesta característica hidrològica de les aigües de les Illes Medes i el Montgrí sembla que actuaria com una eficaç regulador per evitar l'augment de les temperatures més enllà dels 25 °C en les capes superficials (5-20 m). En d'altres zones de la Mediterrània NO en el mateix rang de fondàries es poden arribar a assolir temperatures 26-27 °C (Bensoussan et al. 2010). Molt probablement aquesta característica ha evitat el desencadenament de forts fenòmens de mortalitat a la costa catalana. Tanmateix, una eventual reducció de la freqüència de vents de component nord durant el període estival, podria tenir severes conseqüències per les poblacions bentòniques, especialment d'aquelles que ocupen una distribució batimètrica més soma en el Parc Natural del Montgrí, Illes Medes i Baix Ter.

Ens sembla fonamental prosseguir aquests estudis per tal de definir una línia de base representativa de les condicions de les Illes Medes-Montgrí, d'afinar la comprensió dels mecanismes i d'explicar les raons de la resposta diferencial que mostren els mateixos organismes front a les darreres anomalies tèrmiques segons les regions geogràfiques.

L'integració de les series de dades de les Illes Medes a la xarxa T-MedNet (www.t-mednet.org) serà de gran utilitat per assolir aquestes informacions.

També, en aquest sentit, dintre del projecte BIOROCK (finançat pel Ministerio de Ciencia e Innovación) i pilotat pel nostre equip de recerca (www.medrecover.org) hem continuat l'adquisició de dades sobre l'estat de les poblacions de les Illes Medes d'aquelles espècies que han estat afectades per les mortalitats en altres zones de la Mediterrània (Garrabou et al. 2009). Aquestes dades seran valuoses per establir les relacions entre les condicions de temperatura i la resposta biològica.

Davant dels escenaris d'escalfament per les properes dècades, sembla urgent tenir una millor comprensió dels mecanismes que desencadenen els processos de mortalitat per tal de proposar mesures de gestió que garanteixin la conservació del nostre valuós patrimoni natural.

Referències

- Bensoussan, N., Romano J.C., Harmelin, J.G, Crisci, C, Pascual, J., Garrabou, J. (2009) Warming trends, regional fingerprints and future trajectories of NW Mediterranean coastal waters. 1st Mediterranean Symposium on Coralligenous, Tabarka, Tunisia pp. 166-167
- Bensoussan, N., Romano J.C., Harmelin, J.G., Garrabou, J. (2010) High resolution characterization of northwest Mediterranean coastal waters thermal regimes: to better understand responses of benthic communities to climate change. *Estuarine, coastal and Shelf Science* 87:431-441
- Cerrano C, Bavestrello G, Bianchi CN *et al.* (2000) A catastrophic mass-mortality episode of gorgonians and other organisms in the Ligurian Sea (Northwestern Mediterranean), summer 1999. *Ecology Letters*, 3, 284-293.
- Coma R, Ribes M, Serrano E, Jimenez E, Salat J, Pascual J (2009) Global warming-enhanced stratification and mass mortality events in the Mediterranean PNAS
www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.0805801106
- Ferrier-Pagès, C., Tambutté, E., Zamoum, T., Segonds, N., Merle, P.L., Bensoussan, N., Allemand, D., Garrabou, J., Tambutté, S., (2009) Physiological response of the symbiotic gorgonian *Eunicella singularis* to a long-term temperature increase. *Journal of Experimental Biology* 212, 3007-3015.
- Garrabou, J., Coma, R., , Chevaldonné, P., Cigliano, M., Diaz, D., Harmelin, J.G., Gambi, M.C., Kersting, D. K., Lejeune, C, Linares, C., Marschal, C, Pérez, T. Ribes, M., Romano J.C., Teixido, N., Serrano, E., Torrents, O., Zabala, M., Zuberer, F., Cerrano, C. A (2009) Mass mortality in NW Mediterranean rocky benthic communities: effects of the 2003 heat wave. *Global Change Biology* 15, 1090–1103.
- Linares C, Coma R, Diaz D, Zabala M, Hereu B, Dantart L (2005) Immediate and delayed effects of a mass mortality event on gorgonian population dynamics and benthic community structure in the NW Mediterranean Sea. *Marine Ecology Progress Series*, 305, 127-137.
- Linares C, Coma R, Garrabou J, Diaz D, Zabala M (2008) Size distribution, density and disturbance of two Mediterranean gorgonians: *Paramuricea clavata* and *Eunicella singularis*. *Journal of Applied Ecology* 45, 688-699
- Metalpa, R., Bianchi, C.N., Peirano, A., Morri, C., (2005) Tissue necrosis and mortality of the temperate coral *Cladocora caespitosa*. *Italian Journal of Zoology* 72, 271-276.
- Perez T, Garrabou J, Sartoretto S, Harmelin JG, Francour P, Vacelet J (2000) Mass mortality of marine invertebrates: an unprecedented event in the Northwestern Mediterranean. *Comptes Rendus de l'Académie des Science Paris, Science de la Vie*, 323, 853-865.
- Romano J-C, Lugrezi M-C (2007) Série du marégraphe de Marseille : mesures de températures de surface de la mer de 1885 à 1967. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences de Paris, Séries Géosciences*, 339: 57-64.
- Torrents, O., Tambutté, E., Caminiti, N., Garrabou, J., (2008) Upper thermal thresholds of shallow vs. deep populations of the precious Mediterranean red coral *Corallium rubrum* (L.): Assessing the potential effects of warming in the NW Mediterranean. *Journal of Experimental Marine Biology Ecology* 357, 7-19.