

4.7. Tendències de la clorofil·la oceànica en temps de canvis globals

Francesc Peters

La clorofil·la és un pigment necessari per a la fotosíntesi, i serveix com a mesura indirecta de la biomassa de productors primaris (principalment fitoplàncton) a l'oceà. Tots els ecosistemes depenen totalment o parcial del carboni orgànic produït per la fotosíntesi, és a dir, l'ús de CO_2 i H_2O per sintetitzar sucres mitjançant l'energia de la radiació solar. A més a més, el fitoplàncton, com les plantes terrestres, necessita nutrients inorgànics per créixer, i és aquí on entra en escena el canvi global.

La preocupació sobre els efectes del canvi climàtic s'ha endinsat en la societat en els últims anys d'ençà que els científics tenen ara una alta certesa que la causa del canvi climàtic és humana (IPCC 2013). L'increment de la mitjana de la temperatura global és inqüestionable. Aquest increment també s'està traslladant a una pujada de la temperatura de l'oceà. La quantitat de calor per unitat de volum que es necessita per incrementar la temperatura de l'aigua de mar és 4.500 vegades més gran que per l'aire i dona una idea de la magnitud de l'escalfament global. Les masses d'aigua superficials de les regions tropicals, subtropicals i temperades solen estar minvades de nutrients inorgànics, limitant el creixement del fitoplàncton, mentre que les capes fondes són riques en aquests nutrients, però els manca llum solar. Els nutrients es difonen lentament cap amunt. Una de les conseqüències de l'escalfament de l'oceà superficial és que la difusió vertical dels nutrients des d'aigües fondes encara minva més i, per tant, s'espera que el fitoplàncton disminueixi.

El mar Mediterrani, sobretot per la profunditat de la seva conca i per la seva circulació «anti-estuàrica» respecte de l'oceà Atlàntic, és un mar

oligotròfic amb una concentració naturalment baixa de nutrients superficials i una biomassa clorofil·lica també baixa. Aquesta oligotròfia incrementa encara més cap al Mediterrani oriental, que es considera una de les àrees ultraoligotròfiques del món. Al mateix temps, la Mediterrània és una regió on el canvi climàtic es veu exacerbat, amb un potencial d'empobrir encara més les aigües superficials. La meua hipòtesi és que aquesta tendència hauria d'estar present en el senyal de la clorofil·la satel·lital. Així, en aquest treball analitzo una sèrie temporal de 20 anys de clorofil·la satel·lital en el mar Mediterrani.

Aproximació al problema amb dades de satèl·lit

Faig servir la concentració de clorofil·la superficial en el Mediterrani a partir d'observacions de múltiples satèl·lits i de Sentinel-3 OLCI (Volpe *et al.* 2019). Les dades han estat promitjades espacialment en 179 cel·les de 1×1 graus. Per a eliminar la tendència estacional (cicle anual) he utilitzat un ajust de spline cúbic als anys superposats per a cadascuna de les cel·les, i he treballat amb els residus de l'ajust. Llavors he ajustat una equació lineal a aquests residus. La significació estadística s'ha establert a $\alpha=0,05$. Finalment, per a visualitzar i comparar aquestes tendències a llarg termini he calculat un paràmetre Q_{10} , que dona el factor de multiplicació de la clorofil·la després de deu anys, segons $Q_{10} = 10^{b \cdot 10}$, on b és el pendent de la recta. He promitjat els valors de Q_{10} per a tot el Mediterrani i per a subregions. Els valors mitjans s'han comparat contra una hipòtesi nul·la de $Q_{10} = 1$ amb un test de t de dues cues.

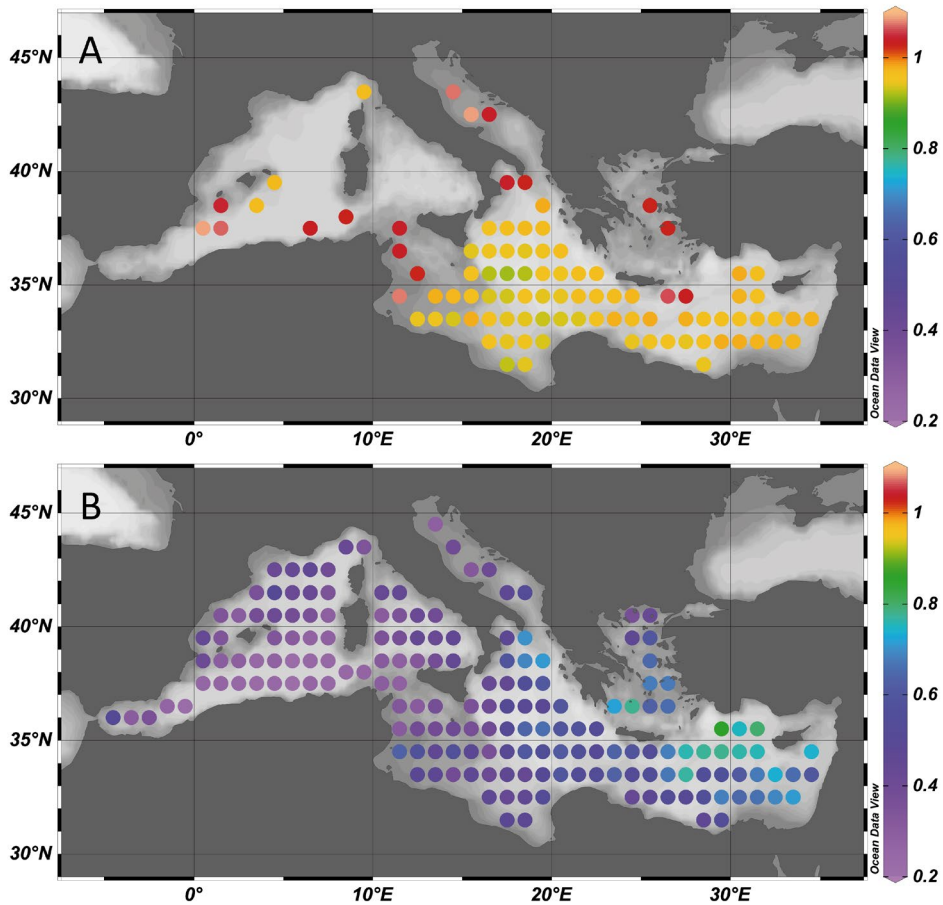


Figura 1. Valors de Q_{10} derivats de les sèries temporals de clorofil·la satel·lital. Només es mostren cel·les amb tendències significatives ($p \leq 0,05$). A, tendències per a la sèrie sencera (1998 a 2017). B, tendències derivades pels últims anys (2013-2017).

Tendències de la clorofil·la en el Mediterrani

A la sèrie 1998-2007 hi ha una lleugera, però estadísticament significativa, tendència de la clorofil·la a decreixen en el Mediterrani amb una Q_{10} de 0,98 (figura 1A). Però hi ha diferències regionals. No s'observa cap tendència significativa pel Mediterrani occidental ni pel mar Egeu. Hi ha una tendència a incrementar la clorofil·la a l'Adriàtic, mentre que decreixements de la clorofil·la s'observen al Jònic i al Mediterrani oriental. Malgrat això, la sèrie temporal dels residus de l'ajust estacional no sol ser una tendència monotònica creixent o decreixent. En general, s'observen tendències

creixents per a la primera meitat de la sèrie i decreixents després. En una segona anàlisi, he focalitzat en els darrers cinc anys de la sèrie (2013-2017). Llavors s'observa una tendència forta i decreixent de la clorofil·la (figura 1B) amb una Q_{10} mitjana per al Mediterrani de 0,47 (taula 1). Els decreixements més grans es troben al Mediterrani occidental, a l'Adriàtic i al mar Jònic, mentre que al mar Egeu i al Mediterrani oriental s'observen decreixements una mica menors.

Missatge que ens emportem

Sembla que hi ha un punt de canvi en el sistema quant al decreixement de la clorofil·la

Taula 1. Sumari de valors Q_{10} per a la concentració de clorofil·la (mitjana, se: error estàndard, i n: número de cel·les) pel mar Mediterrani i les subregions†. Significació del test de t contra $Q_{10}=1$ és $p<0,05$ (*), $p<0,01$ (**) o $p<0,001$ (***)

	Mediterrani	Mediterrani occidental	Adriàtic	Jònic	Egeu	Mediterrani oriental
n	179	65	6	49	11	48
Anys 1998-2017						
Mitjana (se)	0,985*** (0,003)	1,002 (0,003)	1,041* (0,013)	0,966*** (0,005)	1,004 (0,005)	0,970*** (0,003)
Anys 2013-2017						
Mitjana (se)	0,474*** (0,012)	0,336*** (0,010)	0,400*** (0,036)	0,483*** (0,015)	0,601*** (0,039)	0,633*** (0,016)

† Mediterrani occidental (des de l'estret de Gibraltar a l'estret de Sicília), el mar Adriàtic (baixant a 40°N), el mar Jònic (des de 40°N fins a Àfrica i des de l'estret de Sicília als 20°E), el mar Egeu (des de Creta cap al nord, entre Grècia a l'oest i Turquia a l'est), i el Mediterrani oriental (des dels 20°E cap a l'est, excloent el mar Egeu).

en el Mediterrani que es troba entre el 2007 i el 2017, depenent de la cel·la específica considerada. Podem especular que el declivi en els aportaments continentals de fòsfor degut a canvis legislatius en el Mediterrani nord parcialment explicarien el decreixement de la clorofil·la. Però quan s'observa una tendència sinòptica per a tot el Mediterrani, s'espera un efecte a gran escala relacionat amb la disponibilitat de nutrients més que no pas declivis locals o costaners. Aquesta tendència encaixaria amb la hipòtesi d'una major separació entre les masses d'aigua superficials i profundes degut a l'increment de la temperatura de l'aigua. Altres estudis també estan observant tendències en el decreixement de la clorofil·la oceànica (Gregg i Rousseaux 2019), aportant confiança a aquests resultats. Malgrat tot, els valors absoluts del decreixement romanen incerts.

La clorofil·la reflecteix la biomassa fitoplànctonica i sabem que la biomassa està relacionada amb la biodiversitat (Irigoien *et al.* 2004). Per una biomassa fitoplànctonica baixa hi ha una relació directa amb la riquesa d'espècies i, per tant, esperaríem una reducció de la biodiversitat del fitoplàncton. Aquest és un aspecte preocupant ja que la Mediterrània es considera un exponent en biodiversitat marina (Coll *et al.* 2010). Tanmateix, si les altes taxes d'extinció observades per organismes terrestres són extrapolables al plàncton, un estrès addicional lligat a la biomassa podria desestructurar fortament els ecosistemes marins. Més enllà d'aspectes d'estabilitat de l'ecosistema, es preveuen con-

seqüències importants per les pesqueres que depenen directament o indirecta de la biomassa fitoplànctonica. Aquest treball també destaca la importància de tenir sèries temporals llargues quan s'adrecen temes de canvi climàtic. Les tendències són sovint petites i les sèries llargues són crucials per determinar la significació estadística entre el soroll inherent.

Si les tendències decreixents observades pels anys 2013-2017 es mantenen, els nivells de clorofil·la en el Mediterrani d'aquí a 10 anys seran aproximadament la meitat dels actuals per a tota la conca, una mica més en l'est i decreixent cap a l'oest. Això serà un canvi dràstic per tot l'ecosistema.

Referències

- Coll M., Piroddi C., Steenbeek J., *et al.* 2010. The biodiversity of the Mediterranean Sea: Estimates, patterns, and threats. *PLoS ONE* 5: e11842.
- Gregg W.W., Rousseaux C.S. 2019. Global ocean primary production trends in the modern ocean color satellite record (1998-2015). *Environ. Res. Lett.* 14: 124011.
- IPCC. 2013. Climate Change 2013: The physical science basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Stocker T.F., Qin D., *et al.* (Eds). Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Irigoien X., Huisman J., Harris R.P. 2004. Global biodiversity patterns of marine phytoplankton and zooplankton. *Nature* 429: 863867.
- Volpe G., Colella S., Brando V.E., *et al.* 2019. Mediterranean ocean colour Level 3 operational multi-sensor processing. *Ocean Sci.* 15: 127-146.

DOI: <https://doi.org/10.20350/digitalCSIC/14092>