

Evidencias de cambio climático na contorna do Val de Miñor

Juan José Hermida, Edita López, Ricardo Fernández,
Mario Fernández & M^a Angeles Saavedra

Autor para correspondencia: jhermida@edu.xunta.gal

Como citar este artigo: Hermida, J.J, López, E., Fernández, R., Fernández, M., Saavedra, A. (2023). Evidencias de cambio climático na contorna do Val de Miñor. *Revista Estudos Miñoráns* 22: 8-23

Resumo

O cambio climático orixinado pola acumulación de gases de efecto invernadoiro é un fenómeno amplamente estudado pola comunidade científica. Numerosas investigacións evidencian os efectos do cambio climático na variación da temperatura atmosférica, no réxime de precipitacións ou en variables oceanográficas como a elevación media do nivel do mar ou o incremento da temperatura das masas de auga oceánicas. Todas estas evidencias poñen de manifesto as causas do cambio climático a nivel global e rexional. Porén, son poucos os datos dos que se dispoñen acerca dos efectos do cambio climático a nivel local, concretamente na contorna do Val de Miñor. Hoxe existen dispositivos de recollida de datos en tempo real que rexistran variables medioambientais e que permiten dispoñer de datos dun xa amplo período de tempo. Estacións meteorolóxicas ou boias oceanográficas, permiten dispoñer de datos de temperatura atmosférica, precipitacións, temperatura da auga, concentración de clorofila e nutrientes. Neste traballo estudáronse series temporais de datos de diversas variables atmosféricas e oceanográficas na contorna do Val de Miñor co obxectivo de identificar tendencias nun escenario de cambio climático.

Palabras clave: Cambio climático, análise de series temporais, índice de afloramento, temperatura atmosférica, precipitacións, variables oceanográficas.

Abstract

Climate change caused by the accumulation of greenhouse gases is a phenomenon widely studied by the scientific community. Numerous investigations show the effects of climate change in the variation of atmospheric temperature, in the precipitation regime or in oceanographic variables such as the average rise in sea level or the increase in the temperature of oceanic water masses. All this evidence highlights the causes of climate change at a global and regional level. However, there is little data available about the effects of climate change at a local level, specifically in the area around the Val de Miñor. Today there are real-time data collection devices that record environmental variables and that allow data to be available over an already wide period of time. Meteorological stations or oceanographic buoys allow data on atmospheric temperature, precipitation, water temperature, chlorophyll concentration and nutrients to be available. In this work, temporal data series of various atmospheric and oceanographic variables were studied in the surroundings of the Val de Miñor with the aim of identifying trends in a climate change scenario.

Keywords: Climate change, time series analysis, upwelling index, atmospheric temperature, precipitation, oceanographic variables.

Introdución

Durante os últimos 100 anos os niveis globais de dióxido de carbono (CO_2), metano e outros oligogases aumentaron de maneira continua como resultado, principalmente, da queima de combustibles fósiles: carbón, petróleo e gas natural. A temperatura anual global media da atmosfera aumentou ó redor de 1°C durante os últimos 115 anos (1901 – 2016) sendo o período máis cálido da civilización moderna. O período de 1983 a 2012 é con gran probabilidade o período de 30 anos máis quentes nos últimos 880 anos no hemisferio norte e o período de 30 anos máis quente nos últimos 1400 anos (Primack & Vidal, 2019). Como resultado das actividades humanas, libéranse á atmosfera ó redor de 70 millóns de toneladas de CO_2 cada día. A concentración de dióxido de carbono na atmosfera aumentou nos últimos 100 anos de 290 partes por millón (ppm) a 415,58 ppm (xullo de 2022. Datos da *National Oceanic Atmospheric Administration*, NOAA). Na figura 1 móstrase a evolución da concentración de CO_2 no período 1980 – 2022. Os maiores incrementos absolutos de emisións antropoxénicas de gases de efecto invernadoiro producíronse entre 2000 e 2010, a pesar da maior cantidade de políticas para mitigar o cambio climático e para lograr o obxectivo de manter o quecemento global por debaixo dos 2°C .

A acumulación masiva destes gases provoca un quecemento global, que produce variacións no réxime de precipitación e doutras variables climáticas, cuxos efectos son inundacións, secas, incremento do nivel medio do mar e un posible aumento de intensidade e frecuencia de eventos climáticos extremos (Oñate-Valdivieso & Bosque, 2011). Os rexistros de datos amosan unha clara tendencia do fenómeno do cambio climático medido en termos de temperatura da atmosfera e das capas superficiais do océano.

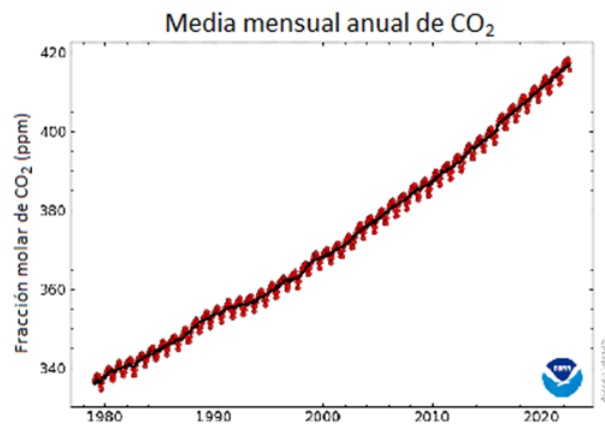


Figura 1. Valores medios mensuais de dióxido de carbono a nivel mundial en sitios de superficie mariña. A liña vermella representa os valores medios mensuais, centrados na metade de cada mes, e a liña negra representa os mesmos valores despois da corrección polo ciclo estacional medio (<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/global.html>).

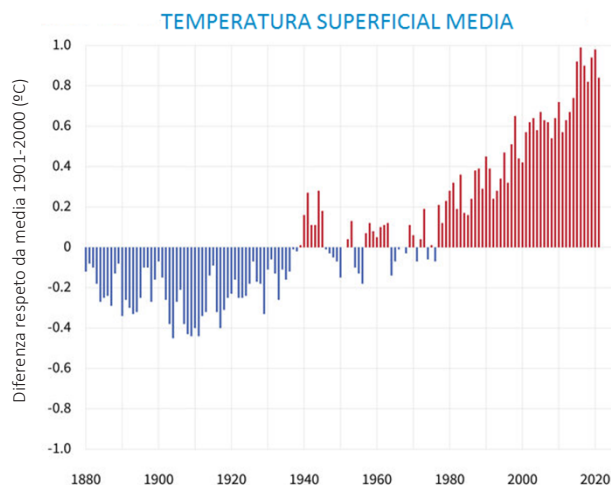


Figura 2. Temperaturas globais anuais de 1880 a 2021 en comparación coa media do século XX. (Datos de NOAA NCEI).

TENDENCIAS RECENTES DE TEMPERATURA (1990-2021)

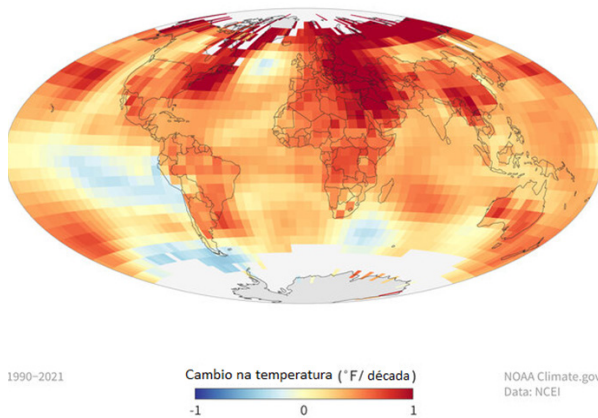


Figura 3. Tendencias na temperatura superficial media de 1990-2021. (Datos NOAA NCEI).

Na figura 2 móstranse as diferenzas das temperaturas globais anuais en comparación coa media do século XX para o período 1880 – 2021. A partir de mediados do século XX rexistráronse anomalías positivas (barras de cor vermella), é dicir, temperaturas globais por enriba da temperatura media dese mesmo século.

Porén, as variacións de temperatura atmosférica non son homoxéneas en todo o planeta. En xeral, como se pode observar na figura 3, as áreas terrestres queceron máis rápido que os océanos e o quecemento máis extremo (vermello escuro) rexistrouse nas latitudes altas do norte e en partes de Eurasia e Medio Oriente.

Como consecuencia deste incremento de temperatura tamén se eleva a temperatura media do océano. Como se pode ver na figura 4, o contido de calor no océano global estivo por enriba da media (barras vermellas) dende mediados da década de 1990.

CALOR OCEÁNICA COMPARADA COA MEDIA

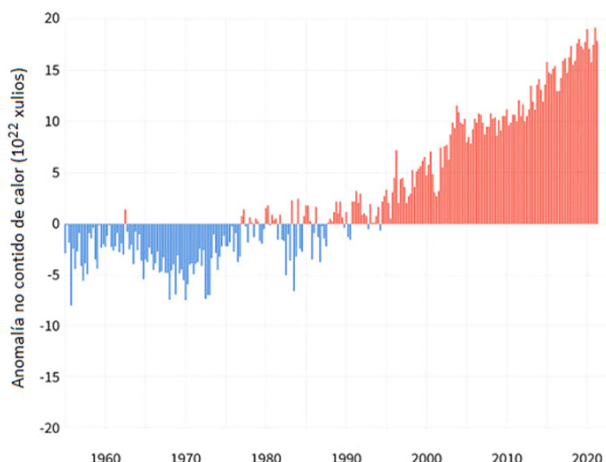


Figura 4. Contido de calor na media da capa máis superficial do océano en comparación coa media de 1955-2006. Gráfico de NOAA Climate.gov, baseado en datos de NOAA NCEI.

TENDENCIAS DA CALOR OCEÁNICA (1193-2020)

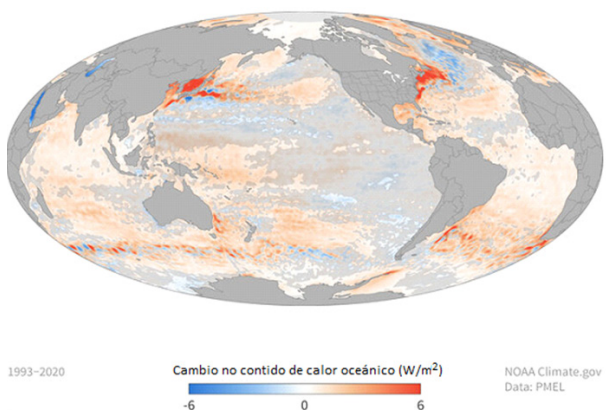


Figura 5. Cambio no contido de calor nas capas superficiais do océano entre 1993 e 2020. (Imaxe de NOAA Climate.gov baseada en datos de John Lyman).

Ó igual que sucede coa temperatura da atmosfera, o incremento de calor nas capas superficiais do océano non ocorreu de xeito homoxéneo en todo o planeta. Como se pode ver na figura 5, aínda que a maioría dos lugares gañaron calor (cor laranxa) a magnitude destes cambios non foi homoxénea.

Ademais destas evidencias a nivel global, a análise de datos a nivel rexional evidencia tamén un incremento na temperatura media de 0,5 °C/década nos últimos 30 anos en Galicia (Álvarez *et al.*, 2011). Así, o *Informe de cambio climático de Galicia* (2017) recolle un aumento significativo da temperatura media de 0,20 °C/década no territorio galego entre os anos 1961 e 2015 (Figura 5 bis).

No caso da variación das precipitacións a nivel rexional, non hai conclusións claras, pero sábese que aumentaron significativamente en outono e diminuíron en inverno (Álvarez *et al.*, 2011; Ceballos *et al.*, 2012). Os datos rexistrados en Galicia proxectan que o número de precipitacións diminuírá, pero serán máis intensas e de curta duración (Bode *et al.*, 2008).

A subida da temperatura media rexional tamén é apreciable na superficie oceánica. A partir de datos do COADS (*The Comprehensive Ocean-Atmosphere Data Set*,

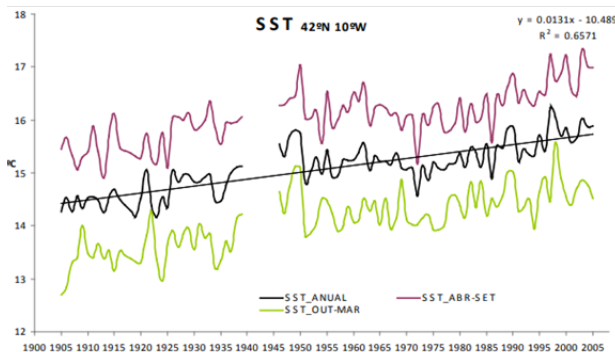


Figura 6. Evolución da temperatura superficial oceánica durante o período 1900-2005. SST: Sea Surface Temperature. (Datos: proxecto COADS).



Figura 5 bis. Temperatura media no período 1961-2015. (Informe de cambio climático de Galicia 2012-2015 Xunta de Galicia).

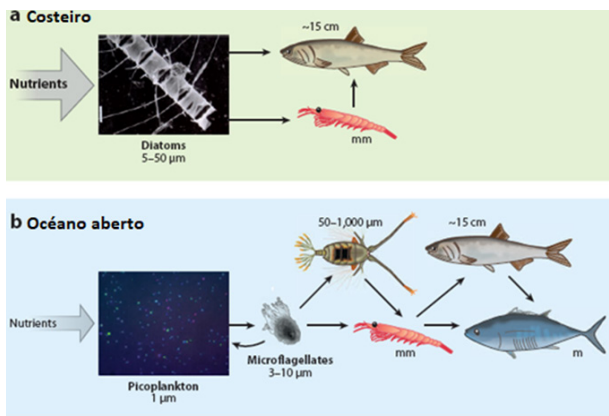


Figura 7. Modelo conceptual da cadea trófica costeira (a) e oceánica (b). A cadea trófica costeira (a) destaca por unha maior cantidade de nutrientes, un maior tamaño de base (diatomeas) e unha transferencia enerxética directa das diatomeas ó resto de especies. Por outra parte, a cadea trófica mariña (b) resalta por unha menor cantidade de nutrientes, un menor tamaño de base (picoplancto) e por unha cantidade considerable de organismos intermediarios coma os microflaxelados. Imaxe tomada de Chavez et al. (2010)

a colección máis extensa de datos mariños de superficie do mundo durante os últimos dous séculos) evidénciase un aumento da temperatura superficial do mar. Na figura 6 represéntase a evolución da temperatura superficial oceánica no período comprendido entre 1900 e 2005. Existe un incremento da temperatura media anual (cor negra) e da temperatura media estacional (estación outubro-marzo en verde e abril-setembro en morado). Os diferentes valores de temperatura media presentan unha tendencia cunha pendente positiva.

O quecemento global afecta polo tanto ao océano, unha fonte de ingresos moi importante para todas as rexións costeiras. Segundo datos da FAO, a acuicultura

e a pesca son o medio de subsistencia de entre o 10% e o 12% da poboación mundial, e estímase que 58,5 millóns de persoas traballaban en 2020 a tempo completo ou parcial, de maneira ocasional ou cun estado non especificado, na pesca e a acuicultura; destas persoas, aproximadamente o 21 % eran mulleres. Por sector, o 35 % destas persoas estaban empregadas na acuicultura e o 65 % na pesca (FAO, 2022). Se ademais se ten en conta que, e segundo o IPCC, cerca do 50% da poboación mundial vive preto do litoral, o quecemento do océano poderá alterar as condicións oceanográficas e polo tanto a produtividade primaria dos ecosistemas mariños, que é esencial na regulación da concentración atmosférica de dióxido de carbono e oxíxeno e sobre todo na produtividade do sistema.

A produción primaria é un proceso baseado no paso de moléculas inorgánicas oxidadas de carbono a moléculas de carbono orgánicas como consecuencia da fotosíntese; a cal precisa luz solar, auga e nutrientes, e lévase a cabo principalmente grazas a microorganismos microscópicos de plancto á deriva que habitan na capa máis superior do océano, denominada zona eufótica. Por debaixo desta zona eufótica aumenta a concentración de nutrientes (Sverdrup *et al.*, 1942; Barber & Chavez, 1983) polo afundimento da materia orgánica derivada da propia produción primaria.

Para coñecer a produción primaria úsase a clorofila, o principal pigmento fotosintético de ambientes terrestres e mariños, por ser un constituínte distintivo cunha distribución universal entre algas e cianobacterias fotoautotróficas, polo que se usa como índice da biomasa de fitoplancto, xa que permite extrapolar a súa concentración á abundancia de fitoplancto (Reynolds, 2006). O estudo desta variable será moi interesante pola súa importante implicación na produción do sistema costeiro.

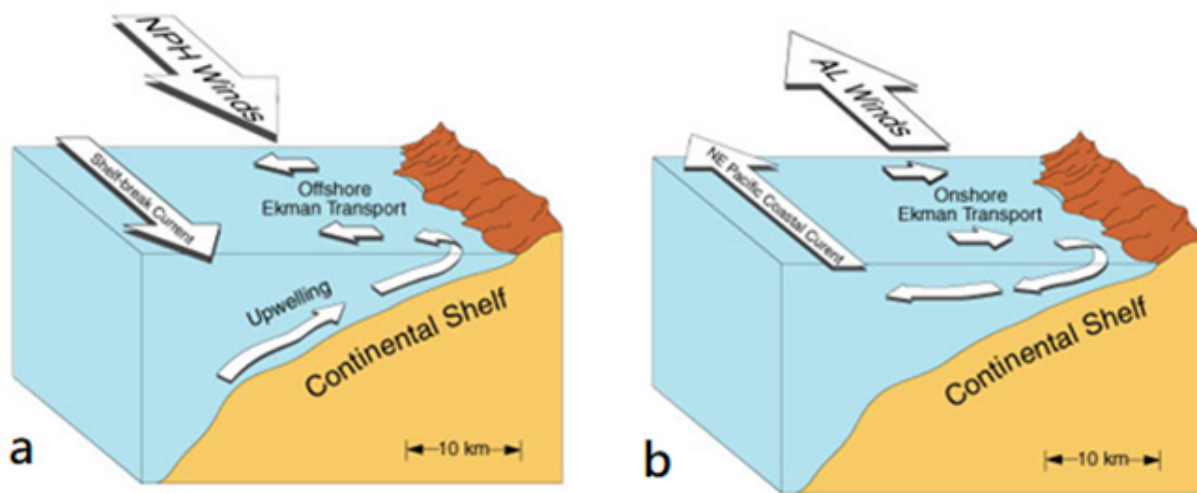


Figura 8. Modelo conceptual do afloramento (a) e o afundimento (b). Imaxe modificada de Thomson (1981).

O fitoplancto é a base da cadea trófica, polo que da súa abundancia depende a produtividade do sistema (Platt & *al.*, 1992). A maior tamaño dos organismos que constitúen o fitoplancto, menos serán os organismos intermedios na cadea trófica e haberá, polo tanto, menos perda por transferencia enerxética entre niveis tróficos. Por conseguinte, a maior tamaño e cantidade de fitoplancto, menor complexidade da cadea trófica e máis eficacia na transmisión de enerxía ós niveis superiores (Figura 7). O aumento na eficacia da cadea trófica ten gran repercusión positiva na pesca, xa que induciría un incremento dos organismos da parte máis alta da cadea trófica (consumidores primarios, secundarios e terciarios) os cales son aproveitados polo sector pesqueiro para a venda.

O tamaño e a prosperidade do fitoplancto dependerá da abundancia de nutrientes na zona eufótica, esencialmente ferro, fósforo e nitróxeno disoltos, sendo este último o máis facilmente medible. Canto maior sexa a concentración de nutrientes na zona eufótica, maior será o tamaño e a cantidade de fitoplancto. O proceso físico que devolve nutrientes á zona eufótica depende da zona xeográfica. Consecuentemente, a produción primaria será máis eficaz nas zonas costeiras onde os procesos físicos que devolven nutrientes á zona eufótica sexan máis comúns e fortes, tendo como resultado un sistema cunha alta cantidade de biomasa e como consecuencia unha gran fonte de ingresos para a civilización costeira rexional (Dillon & Rigler, 1974; Wetzel, 2001).

Na rexión das Rías Baixas o principal proceso físico que retorna os nutrientes á zona eufótica é o fenómeno de afloramento-afundimento. O afloramento é un fenómeno extremadamente importante na prosperidade e abundancia de biomasa nas Rías Baixas. Baséase no ascenso de auga máis fría e máis rica en nutrientes que substitúe a capa de auga superficial, máis cálida e máis pobre en nutrientes, desprazada como consecuencia do vento (Ekman, 1905, figura 8). Na costa de Galicia o afloramento prodúcese maioritariamente na época estival, xa que o vento predominante é do norte, producindo así un arrefriamento e unha fertilización das augas, o que favorece a abundancia de fitoplancto en superficie e a concentración de clorofila, mentres que en outono e inverno, cando o vento predominante é do sur, o fenómeno apreciable é o afundimento (a tendencia á retención das augas costeiras nas rías diminuindo a fertilización contra a costa).

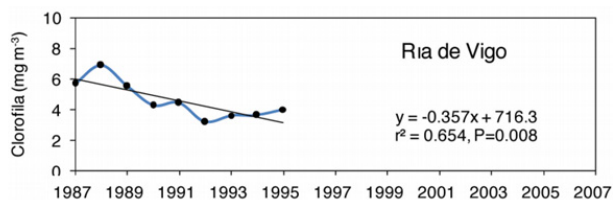


Figura 9. Gráfica do proxecto CLIGAL da evolución da clorofila na Ría de Vigo.

Bakun (1990) predixo que o cambio climático daría lugar a unha intensificación do afloramento nos sistemas de afloramento costeiros de Banguela, Perú, California, e Canarias (sistema de afloramento onde se sitúa Galicia). O fortalecemento do que fala Bakun afirma que se debe a que os continentes se quentan máis rápido que os océanos e, polo tanto, prodúcese un aumento no contraste termal entre terra e océano. Así mesmo, isto provocaría un incremento nos gradientes de presión entre terra e océano e, finalmente, reflectiríase nun aumento dos ventos favorables ao afloramento. Non obstante, e en contraposición co estudo de Bakun, recentes estudos de temperaturas e tendencias en ventos difiren da hipótese de Bakun. Traballos máis actuais amosan unha redución do afloramento no extremo norte do sistema de afloramento de Canarias, extremo onde se localiza Galicia (Lemos & Pires, 2004; Lemos & Sansó, 2006; Álvarez & *al.*, 2008; Álvarez-Salgado & *al.*, 2008). Esta redución do afloramento na costa galega podería ter unha relación directa coa diminución de clorofila en superficie detectada na ría de Vigo no proxecto CLIGAL (Análise das Evidencias e Impactos do Cambio Climático en Galicia, figura 9).

Ata o de agora, a maioría dos datos sobre os que se pon en evidencia o fenómeno do cambio climático proceden de estudos a nivel global e rexional, pero existen poucas evidencias a nivel local. É posible detectar os efectos do cambio climático en variables climáticas atmosféricas e variables oceanográficas na contorna do Val de Miñor?

Actualmente, existe unha ampla rede de estacións meteorolóxicas, boias oceanográficas e estacións de recollidas de datos que proporcionan multitude de rexistros históricos de datos atmosféricos e oceanográficos (temperatura media, temperatura mínima, temperatura máxima ou precipitación e distintas variables oceanográficas) que abarcan dende principios de século ata os nosos días, aos cales se pode acceder de maneira pública e aberta.

Neste traballo fórmulase que, dado que foi posible atopar evidencias de cambio climático en estudos atmosféricos e oceanográficos a nivel global e rexional, deberían detectarse estas mesmas evidencias a nivel local a partir dunha ampla serie de datos atmosféricos e variacións na concentración de clorofila e na súa relación coa estrutura de tamaños do fitoplancto nos últimos anos. Para a comprobación desta hipótese propuxémonos o obxectivo de realizar unha análise de series temporais de datos de temperatura atmosférica, precipitación, clorofila total en función dos tamaños do fitoplancto en superficie (tanto da clorofila total como da pertencente ao fitoplancto de máis de 10 micras como da proporción de clorofila presente no fitoplancto de maior tamaño respecto do total), concentración de nitratos (NO₃), temperatura do océano (en superficie e profundidade) e do índice de afloramento.

Material e métodos

Analizáronse series de datos de temperatura e de precipitación na zona do Baixo Miño usando os datos das estacións meteorolóxicas do Rosal e de Oia proporcionados por Meteogalicia na súa páxina web (www.meteogalicia.gal), abarcando o período 2003-2018. As series históricas de datos de temperatura do océano, salinidade, nutrientes e clorofila obtivéronse do IEO (Instituto Español de Oceanografía), da estación E3 de Vigo grazas ó Sistema de Observación do Océano Costeiro 'Radial de Vigo' que, como parte do programa de series temporais de oceanografía e plancto RADIALES (<https://www.seriestemporales-ieo.net/>), executa e xestiona o Centro Oceanográfico de Vigo (COV) do CN-IEO, mentres que a serie histórica de datos do índice de afloramento (UI) obtívose da rede de boias oceanográficas de Galicia, do modelo FNMOC (http://www.indicedeafloramiento.ieo.es/index1_es.php) (Figura 10).

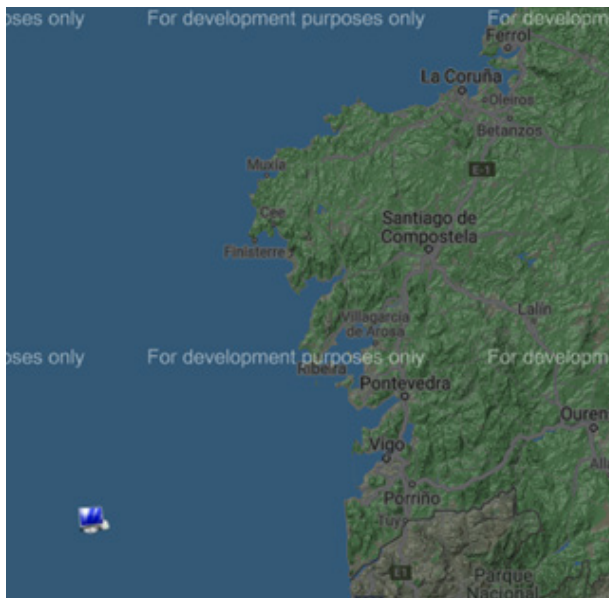


Figura 10. Localización xeográfica da boia onde se recolleron os datos do índice de afloramento (UI).

Análise de series temporais: o modelo

Unha serie temporal é a observación dunha variable V ao longo do tempo. Estas observacións deben ser tomadas en intervalos regulares de tempo e están formadas por tres compoñentes aditivos segundo a seguinte expresión: $V_t = T_t + S_t + \mathcal{E}_t$, onde

T_t , é a compoñente de tendencia ó longo do tempo, a cal proxecta o comportamento a gran escala da serie, o que resultará interesante para analizar a evolución da variable ao longo do tempo.

S_t , é a compoñente estacional e presenta un comportamento periódico, o cal resultará interesante para a análise de cambios na periodicidade.

\mathcal{E}_t , denomínase erro e recolle a parte imprevisible da serie temporal, a análise deste erro ou residuo ofreceranos un aproveitamento completo dos datos.

Para realizar unha análise de tendencias dunha serie temporal de datos, estes deberán ser regulares, non poderá, polo tanto, haber datos faltantes, porén os datos dos que se dispón presentan ausencias de datos ocasionados en moitos casos por avarías dos dispositivos electrónicos de recollida de datos. Para facer as variables regulares e cubrir os datos faltantes no caso das variables atmosféricas, estes ocios foron reconstituídos mediante interpolación/extrapolación lineal a partir dos datos circundantes, mentres que para as variables oceanográficas realizouse unha imputación de datos eliminando a compoñente estacional da serie temporal, e realizando unha imputación da datos faltantes por interpolación na serie desestacionalizada e, a continuación, engádese de novo o compoñente estacional.

Análise de datos atmosféricos

No presente traballo construíronse dúas matrices de datos en EXCEL, unha a partir dos datos diarios anuais e outra de datos mensuais.

Variable	Profundidade (m)	Período	Porcentaxe de datos faltantes
Temperatura	0	1997-2019	20.4%
	75	1997-2019	21.2%
NO ₃	0	1996-2019	16.9%
	75	1996-2019	15.8%
UI	-	1970-2020	0.163%
Clorofila T.	0	2000-2018	19.5%
Clorofila G.	0	2000-2018	19.5%
Clorofila %	0	2000-2018	19.5%

Táboa 1. Porcentaxe de datos faltantes para cada unha das variables nos períodos de tempo dos que se dispuxo de datos. Clorofila T= Concentración de clorofila total. Clorofila G= concentración da clorofila presente no fitoplancto de máis de 10 μm . Clorofila %= Porcentaxe da Clorofila G respecto da Clorofila T.

Empregouse o test Shapiro-Wilk para analizar a normalidade dos residuos, e o test non paramétrico Mann-Kendall para detectar as tendencias nas series de datos mensuais.

Análise de datos oceanográficos

A partir dos datos rexistrados, construíuse unha matriz de datos das variables obxecto de estudo. Da temperatura e concentración de nitratos (NO₃) seleccionáronse os valores superficiais e en profundidade (75 m). Os períodos de tempo dos que se dispuxo de datos non foron os mesmos para todas as variables analizadas. As series de datos non foron completas en ningún caso, a variable con maior cantidade de datos faltantes foi a temperatura en profundidade onde faltaron o 21,2% dos datos de todo o período (Táboa 1).

Para a análise das variables realizouse unha descomposición nos seus tres compoñentes por Regresión Loess, un

método robusto de descomposición de series temporais que se utiliza normalmente nas análises económicas e medioambientais. A descomposición permitiu obter, a partir dos datos brutos da variable, as tres compoñentes da serie temporal segundo o modelo definido previamente. Unha vez descomposta a variable, obtidos os residuos e comprobada a estacionalidade, mediante un axuste ao modelo ARIMA, *AutoRegresive Integrated Moving Average* (AR, *Autoregresivo*; I, *Integrado* e MA, *Medias Móviles*), comprobouse a interdependencia dos valores dos residuos coa finalidade de que nestes non quedase información correspondente á compoñente de estacionalidade e validar así o procedemento de descomposición da variable realizado anteriormente.

Para analizar a compoñente de tendencia, fíxose un estudo paramétrico mediante a regresión Loess e un estudo non paramétrico Mann-Kendall. Ademais, realizouse un test estacional Mann-Kendall (SMK) para analizar os da-

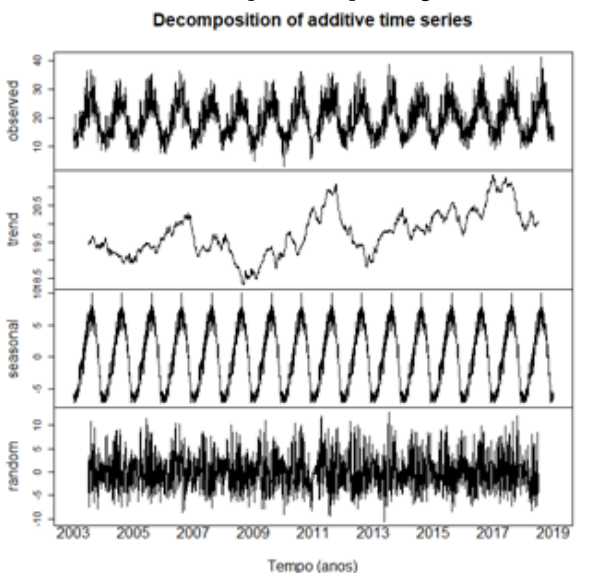


Figura 12. Compoñentes da temperatura máxima.

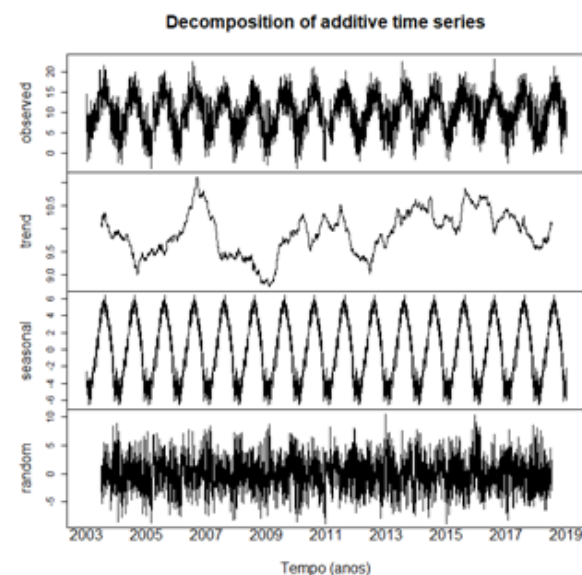


Figura 13. Compoñentes da temperatura mínima.

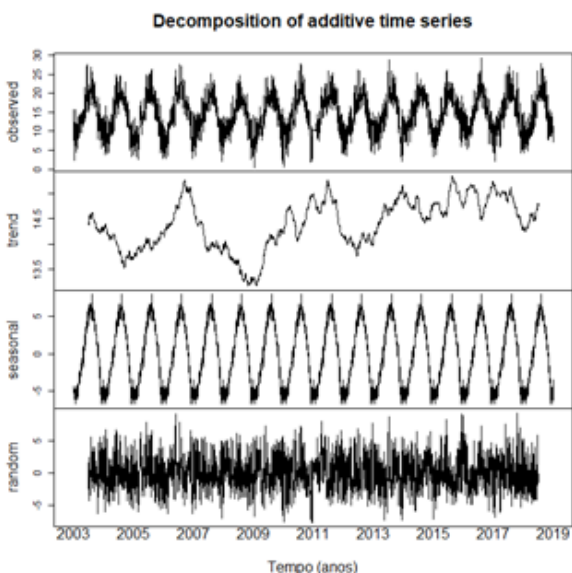


Figura 11. Compoñentes da temperatura media.

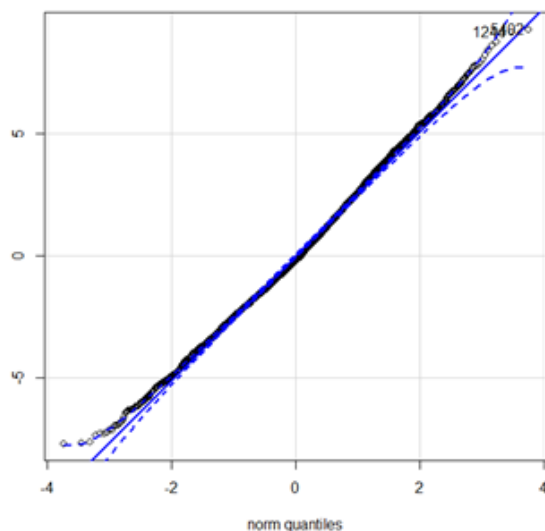


Figura 14. Gráfico QQ-Plot dos residuos da temperatura media.

tos de tendencias monótonas nos datos estacionais. Finalmente, realizouse o test de Pettitt, trátase dunha proba non paramétrica para probar un cambio na tendencia central dunha serie de tempo.

En todos os casos, a análise estatística das series temporais de datos realizouse co software libre *RStudio ver. 2021.09.0*.

Resultados

Variables atmosféricas

Datos diarios anuais (O Rosal)

Nas Figuras 11, 12 e 13 móstrase a serie de tempo da temperatura media, máxima e mínima, respectivamente, e as estimacións das tres compoñentes teóricas de cada unha (estacional, tendencia e erro). A representación gráfica das

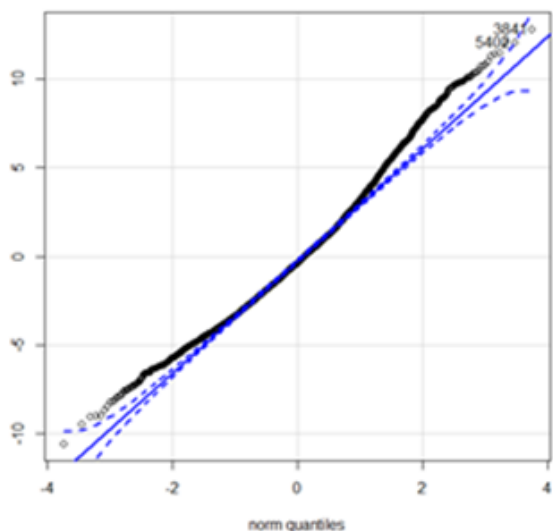


Figura 15. Gráfico Q-Q Plot dos residuos da temperatura máxima.

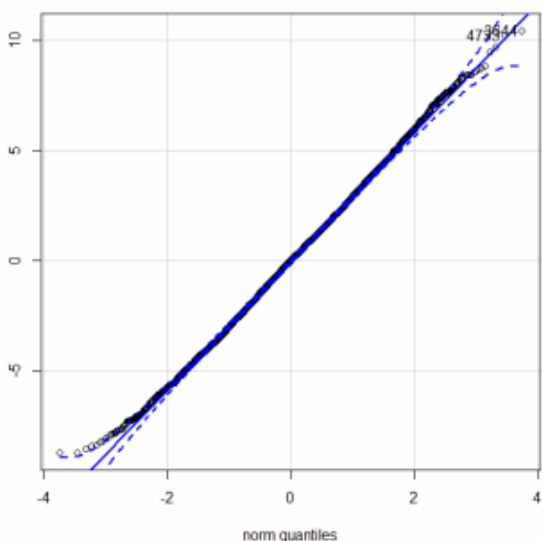


Figura 16. Gráfico Q-Q Plot dos residuos da temperatura mínima.

medicións nos tres casos mostra un marcado comportamento periódico.

Para estudar a normalidade dos residuos representáronse os gráficos QQ-Plot (Figuras 14, 15 e 16) e realizouse o test Shapiro-Wilk. O P-valor<0,05 nos tres casos confirmou que as variables non seguen unha distribución normal.

Representouse a compoñente da tendencia da temperatura media (Figura 17) e unha análise mediante regresión confirmou a existencia de tendencia positiva (coeficiente de determinación $R^2=0,2967$ e p-valor<0,05) sendo a ecuación da recta: $T_{med}=13,91 + 1,67 \cdot 10^{-4} t$ (1), onde t é o tempo.

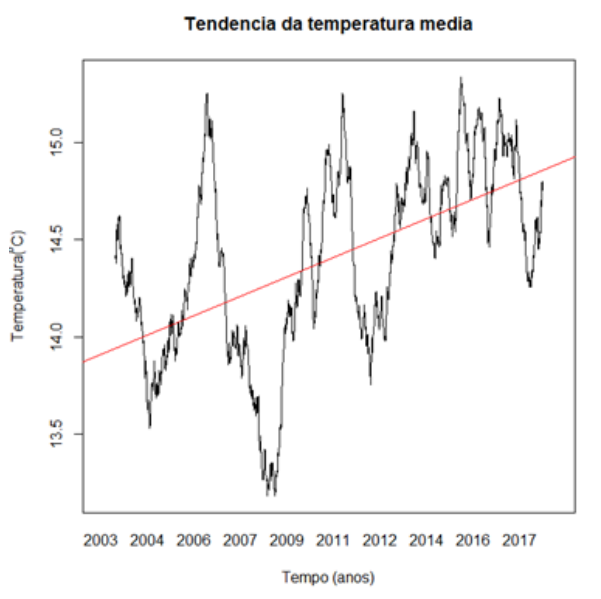


Figura 17. Liña de regresión sobre a tendencia da temperatura media.

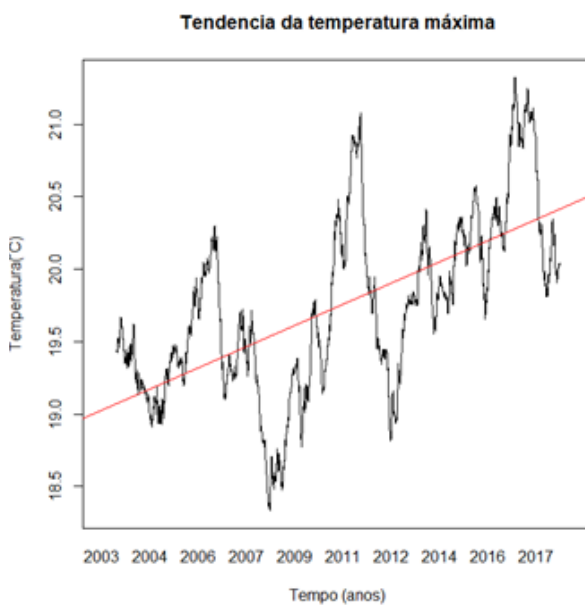


Figura 18. Liña de regresión sobre a tendencia da temperatura máxima.

No caso da temperatura máxima (Figura 18) e a temperatura mínima (Figura 19) realizouse a mesma análise (coeficientes de determinación $R^2=0,3964$ e $R^2=0,1257$ respectivamente, p -valor $<0,05$ en ambas variables) sendo neste caso as ecuacións das rectas de regresión:

$$T_{\text{máx}}=19,03 + 2,45 \cdot 10^{-4} t \quad (2)$$

$$T_{\text{mín}}=9,62 + 1,05 \cdot 10^{-4} t \quad (3)$$

A liña de regresión confirmou en ambas unha tendencia ascendente significativa.

Na Figura 20, a serie de tempo da precipitación e as súas compoñentes amosan unha tendencia cun marcado

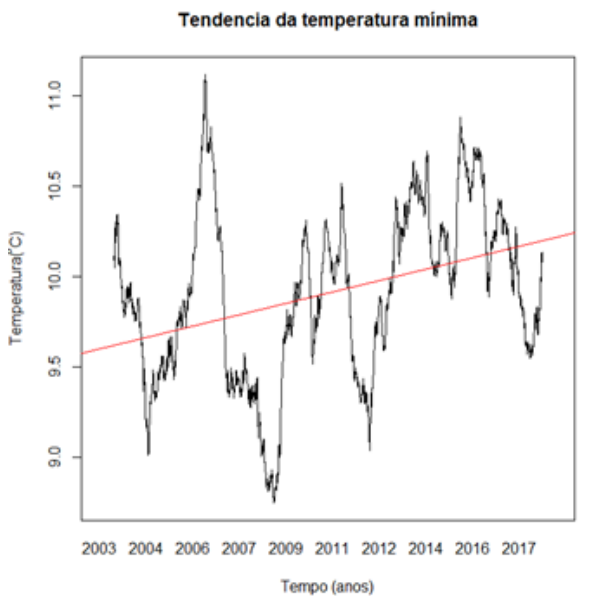


Figura 19. Liña de regresión sobre a tendencia da temperatura máxima.

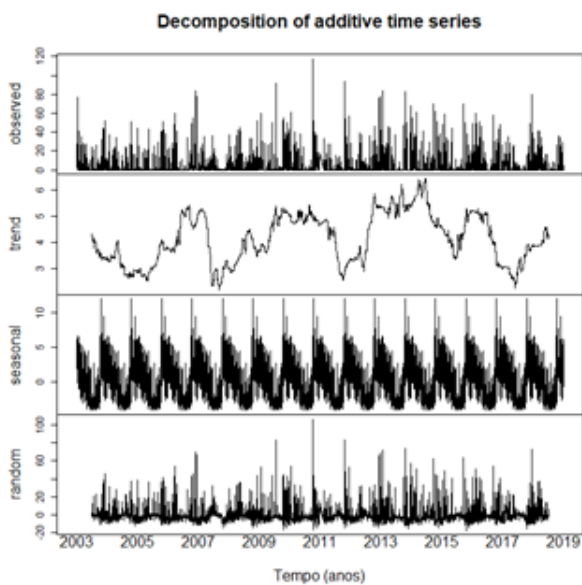


Figura 20. Descomposición da variable correspondente á precipitación.

comportamento aleatorio. Na Figura 21 represéntase a compoñente da tendencia, unha análise mediante regresión constatou a existencia de tendencia positiva (coeficiente de determinación $R^2=0,07517$, p -valor $<0,05$). Aprécianse períodos de choivas abundantes seguidos doutros máis secos, pero en xeral non se detectan cambios nas precipitacións ao longo do tempo. Con todo, os tests estatísticos non poden considerarse concluíntes a longo prazo, xa que este modelo so explica un 7,5% dos datos.

A compoñente estacional da precipitación (Figura 22) mostra un comportamento regular. Os datos máximos coinciden sempre coa segunda quincena de outubro e os datos mínimos coa primeira quincena de agosto.

Datos mensuais (O Rosal).

Analizouse a compoñente estacional mediante o test paramétrico de Mann-Kendal, constatándose que, asumindo unha significación $\alpha=0,05$, nos meses de febreiro, abril e maio, pódese asumir un incremento da temperatura media nestes últimos 15 anos. Por outra banda, nos meses de setembro e outubro rexistrouse un descenso da temperatura (Táboa 2).

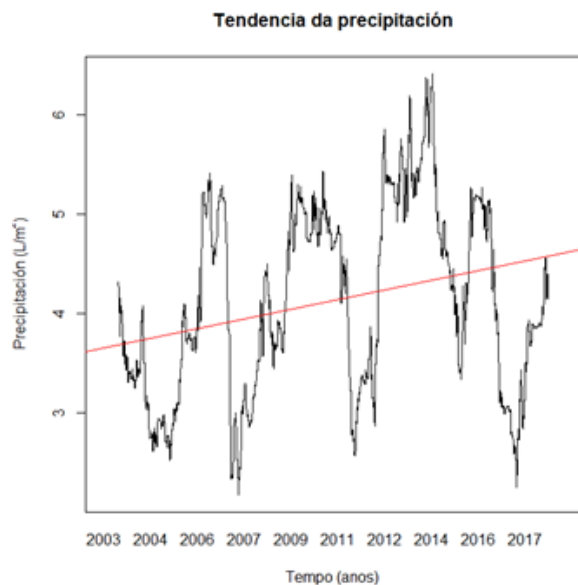


Figura 21. Liña de regresión sobre a tendencia da precipitación.

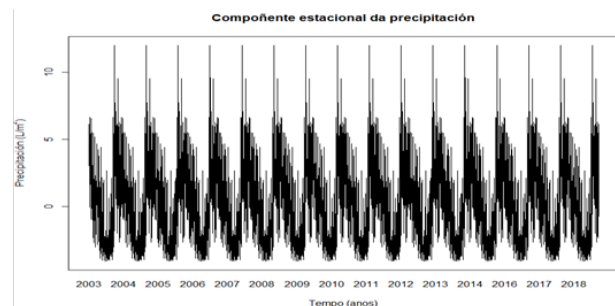


Figura 22. Compoñente estacional da precipitación

Mes	Estatístico	P-valor	Mes	Estatístico	P-valor
Xaneiro	28	0,2241	Xullo	32	0,1628
Febreiro	50	0,0273*	Agosto	-42	0,0649
Marzo	56	0,1327	Setembro	-72	0,0014**
Abril	62	0,0060**	Outubro	-58	0,0102*
Maio	71	0,0016**	Novembro	-30	0,1916
Xuño	42	0,0649	Decembro	24	0,2554

*p-valor<0,05 **p-valor<0,01

Táboa 2. Análise da compoñente estacional da temperatura media mediante o test de Mann-Kendal.

Mes	Estatístico	P-valor	Mes	Estatístico	P-valor
Xaneiro	41	0,0706	Xullo	29	0,2069
Febreiro	44	0,0528	Agosto	-3	0,9281
Marzo	42	0,0643	Setembro	-34	0,1373
Abril	57	0,0113**	Outubro	-58	0,0101**
Maio	46	0,0427*	Novembro	-39	0,0867
Xuño	10	0,6853	Decembro	25	0,2349

Mes	Estatístico	P-valor	Mes	Estatístico	P-valor
Xaneiro	33	0,1492	Xullo	46	0,0423*
Febreiro	42	0,0643	Agosto	-17	0,4708
Marzo	44	0,0523	Setembro	-40	0,0791
Abril	64	0,0045**	Outubro	-56	0,0427*
Maio	60	0,0077**	Novembro	-41	0,0714
Xuño	46	0,0427*	Decembro	53	0,0097

*p-valor<0,05 **p-valor<0,01

Táboa 3. Análise da compoñente estacional da temperatura máxima por mes (a) e da temperatura media das máximas diarias do mes (b) mediante o test de Mann-Kendal.

Nas Táboas 3a e 3b pódese observar a mesma análise para a temperatura máxima e para a media das máximas diarias por mes. En ámbolos casos, nos meses de abril e maio pode asumirse un incremento e en outubro un descenso, pero só no segundo caso hai un incremento en xuño e xullo.

Nas Táboas 4a e 4b pódese observar a temperatura mínima e a media das mínimas diarias por mes, que en ámbolos casos indica un incremento nos meses de febreiro e un descenso en agosto e setembro. En cambio, só no segundo caso pode asumirse un ascenso en marzo e un descenso en outubro.

Estes contrastes estatísticos repetíronse para a precipitación (Táboa 5) pero neste caso non existiu ningún mes que presente unha tendencia significativa.

Datos diarios anuais e mensuais (Oia).

A análise anterior realizouse cos datos da estación meteorolóxica de Oia (Pontevedra). Os resultados foron algo diferentes, cunha significación $\alpha=0,05$, só se puido asumir un incremento das temperaturas media e máxima ao longo do tempo (coeficiente de determinación $R^2=0,02575$ e $R^2=0,1214$, respectivamente). A análise da compoñente estacional das dúas series mediante o test non paramétrico de Mann-Kendal indicou que esta tendencia foi homoxénea en todos os meses.

No caso da precipitación observouse un importante incremento (coeficiente de determinación $R^2=0,429$, $p<0,05$). Tras aplicar o test non paramétrico de Mann-Kendall, para estudar posibles fluctuacións da pluviosidade mes a mes, de-

Mes	Estatístico	P-valor	Mes	Estatístico	P-valor
Xaneiro	44	0,0528	Xullo	21	0,3664
Febreiro	62	0,0061**	Agosto	-48	0,0343*
Marzo	35	0,1254	Setembro	-68	0,0025**
Abril	20	0,3923	Outubro	-38	0,0957
Maio	68	0,0027**	Novembro	-8	0,7526
Xuño	42	0,0643	Decembro	19	0,3731

Mes	Estatístico	P-valor	Mes	Estatístico	P-valor
Xaneiro	10	0,6853	Xullo	35	0,1254
Febreiro	58	0,0101*	Agosto	-58	0,0102*
Marzo	46	0,0427*	Setembro	-64	0,0043**
Abril	42	0,0649	Outubro	-58	0,0102*
Maio	84	0,0001***	Novembro	-24	0,3004
Xuño	32	0,1619	Decembro	12	0,5857

*p-valor<0,05 **p-valor<0,01 ***p-valor<0,001

Táboa 4. Análise da compoñente estacional da temperatura mínima por mes (A) e a media das mínimas diarias por mes (B) mediante o test de Mann-Kendal.

Mes	Estatístico	P-valor	Mes	Estatístico	P-valor
Xaneiro	14	0.5583	Xullo	-34	0.1373
Febreiro	36	0.1150	Agosto	-25	0.2794
Marzo	24	0.3004	Setembro	10	0.6853
Abril	2	0.9640	Outubro	-32	0.1628
Maio	34	0.1373	Novembro	0	1.0000
Xuño	-7	0.7868	Decembro	-2	0.9640

Táboa 5. Análise da compoñente estacional da precipitación mediante o test de Mann-Kendal.

tectouse que este incremento foi homoxéneo en todos os meses excepto no mes de outubro ($p < 0,05$).

Análise de datos oceanográficos

Descomposición das variables

A gráfica 23 mostra a descomposición da serie de datos da variable de índice de afloramento (UI) e as estimacións das tres compoñentes teóricas (tendencia, estacional e erro ou residuos).

Esta mesma descomposición realizouse para as demais variables oceanográficas.

Análise da interdependencia dos residuos

O axuste ó modelo ARIMA da compoñente de residuos obtida amosou que en todas as variables analizadas os resi-

duos non foron interdependentes e, polo tanto, non queda neles ningunha información. Na comprobación gráfica do modelo pode observarse que todos os p-valores se sitúan sobre a banda de confianza do 95% (figura 24).

Análise paramétrica da tendencia

Representouse a compoñente da tendencia de cada unha das variables e axustouse unha liña de tendencia. Na figura 25 amósase a representación da compoñente de tendencia e a liña de tendencia axustada correspondente á variable UI. Na táboa 6 indícanse as tendencias detectadas en cada unha das variables analizadas, dando todas significativas excepto temperatura e nitratos en profundidade e porcentaxe de clorofila (táboa 6).

Análise non paramétrico da tendencia

Sobre a compoñente de tendencia aplicouse o test non paramétrico de Mann-Kendall. Os p-valores resultantes

amósanse na táboa 7 onde todos son significativos menos a salinidade superficial, a temperatura e os NO_3 a 75 metros e a porcentaxe de clorofila no fitoplancto de maior tamaño. En todos os casos, estes resultados coinciden cos obtidos no test paramétrico.

Análise da tendencia estacional

Analizouse a compoñente estacional mediante o test estacional de Mann-Kendall. Tal e como se amosa na táboa 8, algúns meses presentan p-valores significativos, resultando

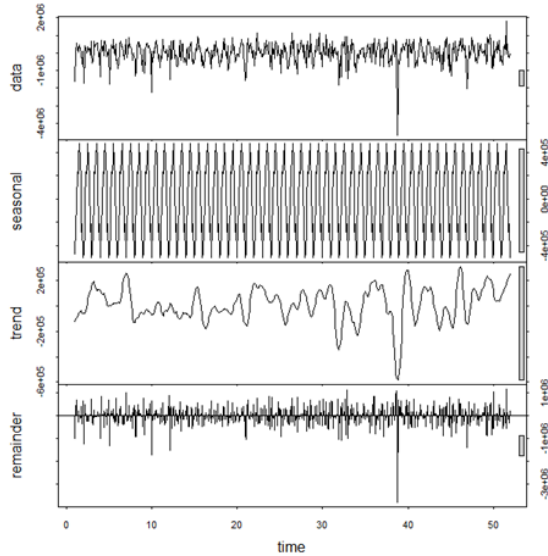


Figura 23. Descomposición da variable UI. As gráficas de arriba abaixo representan os datos brutos (data), a compoñente estacional (seasonal), a compoñente de tendencia (trend) e a compoñente de residuos (remainder), respectivamente.

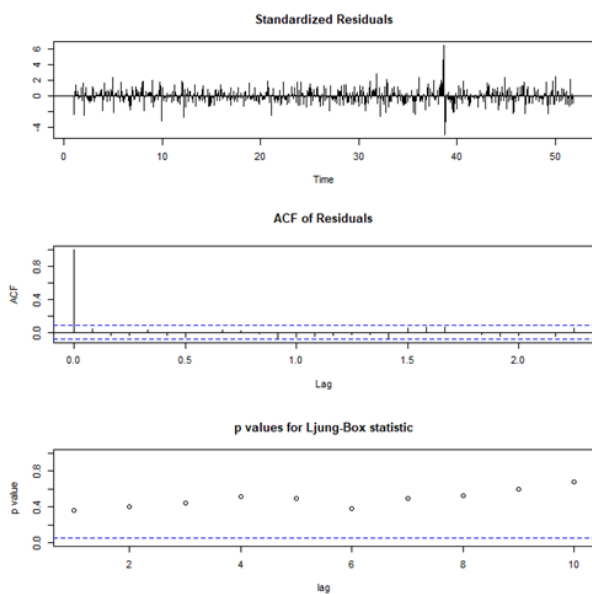


Figura 24. Comprobación gráfica do modelo ARIMA sobre a variable UI.

tendencias mensuais positivas do UI en setembro e febreiro e do NO_3 en agosto e setembro. Por outra parte, o UI mostra un descenso en Abril e o NO_3 en novembro.

Estudo de puntos de cambio de tendencia

Finalmente realizouse o test de Pettit para atopar os puntos de inflexión da tendencia. Os puntos de inflexión significativos atopados amósanse na táboa 9.

Discusión

Tal e como se deriva dos resultados obtidos, hai evidencias dos efectos do cambio climático na contorna do Val de Miñor tanto nas variables atmosféricas analizadas como nas variables oceanográficas. Os resultados que se obtiveron neste traballo confirmaron unha tendencia ascendente significativa na temperatura media, máxima e mínima que concorda cos resultados obtidos tanto pola Xunta de Galicia no seu informe (2016) como por Álvarez *et al.* (2011) a nivel rexional e IPCC (2014) a nivel global nos anos anteriores. Á súa vez, no caso da precipitación tamén se detectou unha tendencia crecente, que se contrapón á idea de que cada vez chove menos, pero unha posible explicación sería que o número de choivas diminuíu pero en cambio aumentaron as precipitacións intensas de curta duración, tal e como predicía Bode *et al.* (2009).

Os resultados a nivel mensual amosan que, no caso das temperaturas, existe unha tendencia crecente nos meses de febreiro, marzo, abril, maio e xuño, e unha tendencia decrecente nos meses de agosto, setembro e outubro.

Como pode apreciarse na Táboa 10, cada vez fai máis calor nos meses anteriores ás estacións de primavera e verán e máis

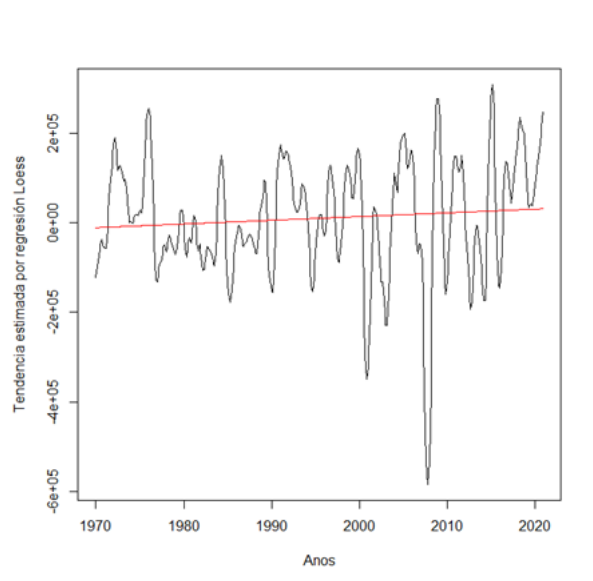


Figura 25. Tendencia estimada por regresión Loess da variable UI xunto cunha liña axustada da tendencia en vermello.

Variable	Profundidade (m)	Coefficiente de determinación	Tendencia	p-valor
UI	-	0,00841	+	0,02326
NO ₃	0	0,02169	+	0,01505
	75	0,01004	+	0,09846
Temperatura	0	0,05599	-	8,64·10 ⁻⁵
	75	0,01185	-	0,07253
Clorofila T.	0	0,05625	+	0,00039
Clorofila G.	0	0,04780	+	0,00110
Clorofila %	0	0,00287	+	0,42940

Táboa 6. Análise da tendencia mediante regresión Loess.

Variable	Profundidade (m)	p-valor
UI	-	0,00010
NO ₃	0	3,51*10 ⁻⁶
	75	0,20170
Temperatura	0	8,64*10 ⁻⁵
	75	0,71970
Clorofila T.	0	8,37*10 ⁻⁵
Clorofila G.	0	0,00021
Clorofila %	0	0,43230

Táboa 7. Análise da tendencia mediante o test de Mann-Kendall.

Variable	Mes	Estatístico	P-valor
UI	Abril	- 365	0,00311
	Setembro	263	0,03334
	Febreiro	131	0,00060
NO ₃ (0 m)	Agosto	113	0,00157
	Setembro	99	0,00572
	Novembro	-85	0,02652

Táboa 8. Análise da compoñente estacional media mediante o test de Mann-Kendall.

Variable	Profundidade (m)	Punto de inflexión
UI	-	1990 Xuño
NO ₃	0	2002 Xuño
	75	2002 Xullo
	0	2014 Setembro
Temperatura	75	2005 Agosto
	0	2010 Setembro
Clorofila G.	0	2002 Xaneiro
Clorofila %	0	2006 Marzo

Táboa 9. Análise dos puntos de inflexión mediante o test de Pettit.

	Febreiro	Marzo	Abril	Maio	Xuño	Agosto	Setembro	Outubro
tmed	x		x	x			x	x
tmax			x	x				x
tmedtmax			x	x	x			x
tmin	x			x		x	x	
tmedtmin	x	x	x	x		x	x	x

Táboa 10. Resumo da tendencia mensual da temperatura.

tmed= Temperatura media mensual, tmax=Temperatura máxima mensual, tmedtma=media das temperaturas máximas mensuais, tmin=Temperatura mínima mensual, tmedtmin=media das temperaturas mínimas mensuais // amarelo= ascenso da temperatura, azul=descenso da temperatura

frío nos meses anteriores ao outono e ao inverno, polo que poderíamos estar asistindo a un adiantamento das estacións.

No caso das precipitacións mensuais, non se detecta ningunha tendencia, polo que, durante estes quince anos de estudo, a precipitación por meses non variou, contrariamente ao que afirma Álvarez *et al.* (2011) que propón que as precipitacións diminuírían en inverno e aumentarían en outono a nivel rexional. Esta contradición podería deberse a que as análises de tendencias baseadas en períodos de rexistros curtos son moi sensibles ás datas de inicio e final, e non reflicten de maneira xeral as tendencias climáticas a longo prazo (IPCC, 2014). Isto suxire a necesidade de analizar series temporais máis extensas.

A comparación dos resultados obtidos a partir dos datos recollidos na estación meteorolóxica do Rosal cos da estación meteorolóxica de Oia pon de manifesto a influencia do relevo nas condicións climáticas locais. Mentres que Oia posúe unha meteoroloxía fortemente influenciada polo Océano Atlántico, con temperaturas máis suaves e maiores precipitacións por mor dos temporais, O Rosal desfruta dun clima máis “continental” con temperaturas máis elevadas e menores precipitacións. A Serra da Groba, con altitudes de ata 600 m, supón unha barreira xeográfica causante do efecto Foehn: as masas de aire oceánicas cargadas de humidade arrefriáanse e descargan en forma de precipitacións ó ascender a cotas de maior altitude, descendendo ó Val do Rosal con menor humidade e máis cálidas (figura 26).

Con respecto ás variables oceanográficas analizadas, os resultados obtidos amosan unha tendencia positiva significativa do índice de afloramento no período estudado, concordando coa predición de Bakun (1990), que predicía unha intensificación do afloramento no sistema costeiro de Canarias. Por outra banda, os resultados rebaten os estudos de Lemos & Pires (2004), Lemos e Sansó (2006) e Álvarez-Salgado & *al.* (2008), os cales reflectían un descenso do afloramento no extremo norte do sistema costeiro de Canarias. A intensificación do índice de afloramento pode vir dada, seguindo a hipótese de Bakun, polo quecemento global e o aumento dos gases de efecto invernadoiro, xa que se produ-

ce un maior gradiente térmico entre as masas continentais e oceánicas, o cal dá lugar a unha intensificación dos ventos favorables ao afloramento (ventos do norte).

En consonancia coa tendencia positiva do índice de afloramento, detéctase un descenso da temperatura superficial oceánica, xa que o aumento do afloramento induce unha maior penetración de augas oceánicas frías. Este descenso da temperatura contradí os resultados rexionais do proxecto COADS e os modelos predictivos de Álvarez *et al.* (2011), os cales predicían aumentos na media anual arredor de 2 °C nas masas de auga superficiais da costa galega (Álvarez *et al.*, 2011). Estas predicións amósanse na Figura 27, onde se observa, seguindo o código de cores, un aumento de arredor de 2 °C na costa.

Outro factor influenciado polo UI é a concentración de nutrientes, que neste traballo se refire á concentración de nitratos. Segundo Klapper (1991), as máis importantes achegas de nitróxeno aos ecosistemas acuáticos son subministrados polas augas superficiais e correntes subterráneas (afloramento) e pola fixación microbiana do nitróxeno atmosférico na auga, polo tanto, o aumento do índice de afloramento e da concentración de nitróxeno atmosférica mostrada polo IPCC, coinciden cos resultados deste traballo, os cales mostran un aumento significativo de NO₃ en superficie.

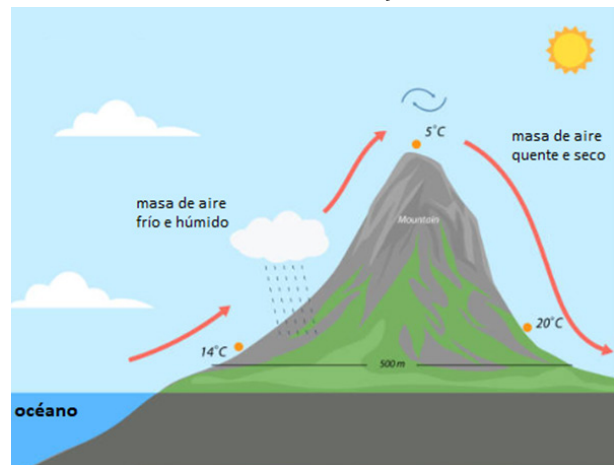


Figura 26. Representación esquemática do efecto Foehn.

Así mesmo, estas altas concentracións de nutrientes facilitan a produción primaria e, polo tanto, inducen un aumento da concentración de clorofila, o que coincide cos resultados obtidos e contradí os resultados do proxecto CLIGAL. Ademais, en sistemas máis produtivos, cunha maior concentración de nutrientes, aparece un aumento do fitoplancto de maior tamaño e, polo tanto, a clorofila aumentaría na proporción daquela presente no fitoplancto de máis de 10 micras. Non obstante, as variacións da porcentaxe de clorofila presente no fitoplancto de maior tamaño no período de tempo analizado non foron significativas.

Ante un cambio na estrutura de tamaños de fitoplancto, pódense predicir unha serie de consecuencias positivas para o sector pesqueiro, xa que o aumento de tamaño do fitoplancto, base da cadea trófica, leva consigo un aumento na eficacia do sistema e, polo tanto, unha maior obtención de recursos pesqueiros (organismos da parte alta da cadea trófica, peixes). A pesar disto, este traballo non mostra un cambio significativo na estrutura de tamaños da clorofila, mais si que mostra un aumento da concentración total, o cal repercutiría positivamente na pesca, xa que aumentaría a cantidade de fitoplancto (base da cadea trófica).

Por outra parte, as tendencias das variables analizadas non se producen do mesmo xeito en todos os meses do ano. A clorofila e a temperatura presentan unha tendencia monótona. Non obstante, detectamos unha variación positiva en setembro do índice de afloramento que coincide coa tendencia positiva da concentración de nitratos en agosto e setembro. O afloramento está relacionado directamente coa época estival, xa que nesta época os ventos son favorables ao afloramento (veñen do norte), e inversamente relacionado coa época invernal, xa que nesta época os ventos son favorables ao

afundimento (ventos do sur), polo que a tendencia positiva no índice de afloramento en setembro pode suxerir un alongamento da época estival. Ademais, detectamos unha variación negativa no mes de abril do afloramento, o cal seguindo a analogía previa pode suxerir un retardo da primavera.

As tendencias estacionais das variables atmosféricas e oceanográficas estudadas non semellan ser coherentes, pois, mentres que a partir dos datos atmosféricos parece estar producíndose un adiamento das estacións con primaveras quentes e outonos fríos, os datos oceanográficos suxiren un alongamento do verán e un adiamento na primavera. Ante esta aparente contradición debe terse en conta que, por un lado, o funcionamento das masas oceánicas é moito máis complexo que o das masas de aire, e, por outro lado, o océano posúe unha maior resiliencia á hora de sufrir cambios por mor do cambio climático. Serán necesarias máis investigacións que requirirán de series de datos temporais máis extensas.

Finalmente, os puntos de inflexión detectados polo test de Pettit abren unha porta nova de estudo e outro posible enfoque a analizar, xa que suxiren cambios de tendencia. Quedando como un interesante obxecto de estudo a análise das variables separadas e analizadas independentemente seguindo o punto de inflexión.

O cambio climático é unha realidade con consecuencias globais, rexionais e locais que, lenta e inevitablemente, cambiará os nosos ecosistemas, a nosa paisaxe e a nosa sociedade.

Conclusións

1. A análise dos datos indica un lixeiro incremento da temperatura media, máxima e mínima no Rosal. En Oia, produciuse un incremento da temperatura media, a temperatura máxima experimentou un leve incremento, mentres que a temperatura mínima non experimentou cambios no período de tempo analizado.
2. A partir dos datos do Rosal e de Oia, os cambios climáticos detectados non seguen un patrón homoxéneo.
3. Na estación meteorolóxica do Rosal non se observan cambios na pluviosidade. O rexistro da estación meteorolóxica de Oia detecta un importante incremento da precipitación. Neste caso, a análise de tendencia estacional de Mann-Kendall indica que este incremento foi homoxéneo en todos os meses excepto no mes de outubro.

4. A orografía local parece ser un factor determinante nas condicións climáticas locais.

5. Detéctase un incremento significativo do fenómeno de afloramento no sistema costeiro galego como consecuencia do cambio climático.

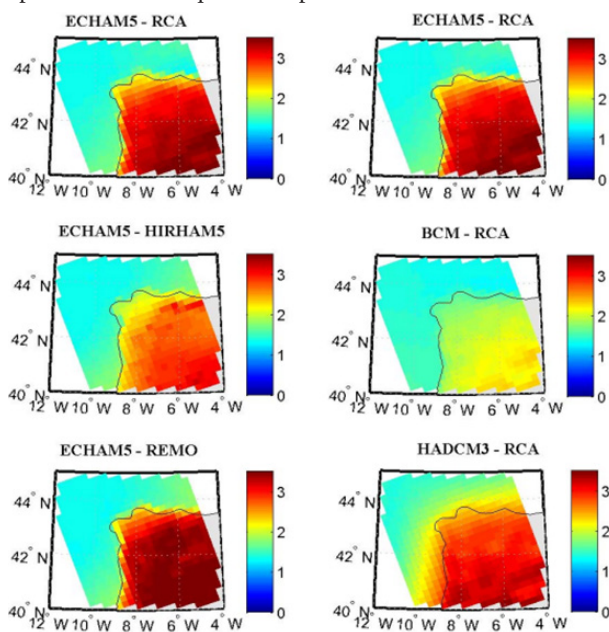


Figura 27. Aumento medio previsto mediante variantes de modelos ECHAM 5 e RCA por Álvarez & al. (2011).

6. As variables amosan un comportamento consecuente ao aumento do UI, cun descenso da temperatura superficial oceánica e cun aumento da concentración superficial de NO_3 .

7. A análise dos datos indica un incremento da concentración de clorofila total, similar ao incremento detectado na clorofila presente no fitoplancto, de máis de 10 micras como consecuencia da variación das variables analizadas.

8. Os puntos de inflexión detectados suxiren cambios de tendencia que deberán ser estudados con maior detenemento.

Agradecementos. O noso agradecemento a Beatriz Mouríño (Grupo de Oceanografía Biolóxica, UVIGO), Antonio Bode, Eva Teira, Gloria Fiestras (Departamento de Investigación Operativa, UVIGO) e Emilio Fernández (Dpto. de Ecoloxía e Bioloxía Animal, UVIGO) e ó programa “Radial de Vigo”.

Este traballo foi realizado ao abeiro das Resolúcións do 12 de xuño de 2018 e do 26 de maio de 2020, da Dirección Xeral de Educación, Formación Profesional e Innovación Educativa, pola que se regula o bacharelato de excelencia en Ciencias e Tecnoloxía (STEMbach).

Bibliografía

- ÁLVAREZ, I., GÓMEZ-GESTEIRA, M., DE CASTRO, M. & DIAS, J. M. (2008). Spatiotemporal evolution of upwelling regime along the western coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research* 113: 1-14.
- ÁLVAREZ, V., TABOADA, J. J., LORENZO, M. N. (2011) Cambio climático en Galicia en el siglo XXI: Tendencias y variabilidad en temperaturas y precipitaciones. *Avances en Ciencias de la Tierra* 2, 65-85.
- ÁLVAREZ-SALGADO, X.A., LABARTA, U., FERNÁNDEZ-REIRIZ, M.J., FIGUEIRAS, F.G., ROSON, G., PIEDRACOBIA, S., FILGUEIRA, R. & CABANAS, J. M. (2008). Renewal time and the impact of harmful algal blooms on the extensive mussel raft culture of the Iberian coastal upwelling system (SW Europe). *Harmful Algae*, 7(6): 849-855.
- BAKUN, A. (1990). Global climate change and intensification of coastal upwelling. *Science* 247: 198-201.
- BARBER, R. & CHAVEZ, F. (1983). Biological consequences of El Niño. *Science, New Series*. 222: 1203-1210.
- BODE, A., ÁLVAREZ-SALGADO, X. A., RUIZ-VILLARREAL, M., BARRÓN, R., CASTRO, C. G., MOLARES VILA, J. & VARELA, M. (2009) *Impacto do cambio climático nas condicións oceanográficas e nos recursos marinos. Evidencias e impactos do cambio climático en Galicia*: 619-635. URL: <http://hdl.handle.net/10261/110771>
- CEBALLOS, A., MORÁN, E. & LÓPEZ, J.I. (2012). Análisis de la variabilidad espacio-temporal de las precipitaciones en el sector español de la cuenca del Duero (1961-2005). *Boletín de la asociación de Geógrafos Españoles*. 61-2013: 235-259.
- CHAVEZ, F., MESSÍE, M. & PENNINGTON, J.T. (2010). Marine Primary Production in Relation to Climate Variability and Change. *The Annual Review of Marine Science* 3:227-260.
- DILLON, P.J. & RIGLER, F.H. (1974). The phosphorous-chlorophyll relationship in lakes. *Limnology and Oceanography* 19(5): 767-773.
- EKMAN, V.W. (1905). On the influence of the Earth's rotation on ocean-currents. *Arkiv för matematik, astronomi och fysik*. 2(11):1-53.
- FAO. 2022. El estado mundial de la pesca y la acuicultura 2022. Hacia la transformación azul. Roma.
- INFORME DE CAMBIO CLIMÁTICO DE GALICIA 2012-2015 (2016). Subdirección Xeral de Meteoroloxía e Cambio Climático, Secretaría Xeral de Calidade e Ambiental da Consellería de Medio Ambiente e Ordenación do Territorio, Xunta de Galicia.
- INFORME DEL SECTOR PESQUERO ESPAÑOL (2017). CEPESCA.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007). Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Summary for Policemakers. Paris. 21 pp.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2007). *AR4 Synthesis Report: Climate Change 2007*.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC) (2014). *AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014*.
- 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 [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp.
- Klapper, H. (1991). CONTROL OF EUTROPHICATION IN INLAND WATERS. Ellis Horwood, New Cork and London, 298 pp.
- LEMO, R. T. & PIRES, H. O. (2004). The upwelling regime off the West Portuguese coast, 1941- 2000. *International Journal of Climatology* 24: 511-524.
- LEMO, R. T. & SANSÓ, B. (2006). Spatio-temporal variability of ocean temperature in the Portugal Current System. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 111 (4): 1-14.
- OÑATE-VALDIVIESO, F. & BOSQUE, J., (2011). Estudio de tendencias climáticas y generación de escenarios regionales de cambio climático en una cuenca hidrográfica binacional en América del Sur. *Estudios Geográficos* 270: 147-172.
- PLATT, T., JAUHARY, P. & SATHYEBDRANATH, S. (1992). The importance and measurement of new production. In: P. Falkowski & A. Woodhead (eds.). Primary productivity and biogeochemical cycles in the sea. *Environ. Sci. Res.*, 43: 273-284.
- PRIMACK, R. & VIDAL, O. (2019). *Introducción a la biología de la conservación*. Fondo de cultura económica. México.
- REYNOLDS, C. S. (2006). *The ecology of phytoplankton*. Cambridge University Press. Nueva York.
- SVERDRUP, H., JOHNSON, M. & FLEMING, R. (1942) *Los océanos, su física, química y biología general*. Prentice Hall. Nueva York.
- THOMSON, R.E. (1981). Oceanography of the British Columbia coast. *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 291 p.
- WETZEL, R. 2001. *Limnology, Lake and River Ecosystems*. Academic Press. San Diego