

## VARIABILIDADE E TENDENCIAS INTERANUAIS NO ZOOPLANCTO GALEGO

A. Bode<sup>1\*</sup>, M. T. Álvarez-Ossorio<sup>1</sup> e A. Miranda<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Instituto Español de Oceanografía  
Centro Oceanográfico da Coruña  
Apdo. 130. 15080 A Coruña.

<sup>2</sup> Instituto Español de Oceanografía  
Centro Oceanográfico de Vigo  
Apdo. 1552. 36280 Vigo.

\* Correo\_e: antonio.bode@co.ieo.es

### RESUMO

A análise das series temporais de observacións da abundancia, biomasa e composición do zooplankton nas augas próximas a Galicia amosa respostas diferentes destes organismos segundo a súa localización. No océano observouse unha diminución nos copépodos desde 1958. Na costa a abundancia e biomasa de zooplankton incrementáronse de forma xeral desde a década de 1990. Estes incrementos foron significativos na serie de Vigo e non na serie da Coruña. Tanto *Calanus helgolandicus*, unha especie típica das augas oceánicas, como *Acartia clausi*, típica das augas costeiras, aumentaron notablemente en Vigo, en especial no verán. Non obstante, unha especie de augas cálidas como *Temora stylifera*, que con anterioridade a 1982 non fora recoñecida nas augas ibéricas, é cada vez máis frecuente en todas as series, especialmente na costa. As tendencias observadas teñen unha relación significativa coa diminución na intensidade do afloramento e coas variacións no índice climático NAO, aínda que a resposta do zooplankton pode atrasarse varios anos. O efecto principal do afloramento parece ser máis directo (transporte) que indirecto (fertilización). Así, unha redución moderada da intensidade do afloramento reduciría a exportación do zooplankton ao océano, favorecendo a súa acumulación na costa.

### SUMMARY

The analysis of time-series on zooplankton abundance, biomass and species composition in marine waters near Galicia showed different responses according to geographical location. Copepod abundance decreased in the ocean since 1958, while both zooplankton abundance and biomass increased near the coast since 1990. Significant increasing trends over time were found in Vigo but not in A Coruña. *Calanus helgolandicus*, a typical oceanic species, and *Acartia clausi*, a coastal species, displayed large increments in Vigo, mainly in summer. *Temora stylifera*, a warm water species not present before 1982 in Iberian waters, became increasingly frequent in all series but particularly near the coast. The trends observed were significantly related to a reduction in the intensity of upwelling and variations in the NAO climatic index. The response of zooplankton, however, may be delayed for several years. Direct effects of upwelling (transport) may be more determining than indirect effects (fertilization) on zooplankton. In this way, a moderate reduction in upwelling intensity will reduce zooplankton export to the ocean, thus favouring its accumulation near the coast.

### INTRODUCCIÓN

A diversidade, a biomasa e a produción do zooplankton veñen determinadas principalmente polas condicións oceanográficas e a dinámica dos seus predadores. Na maior parte do océano a

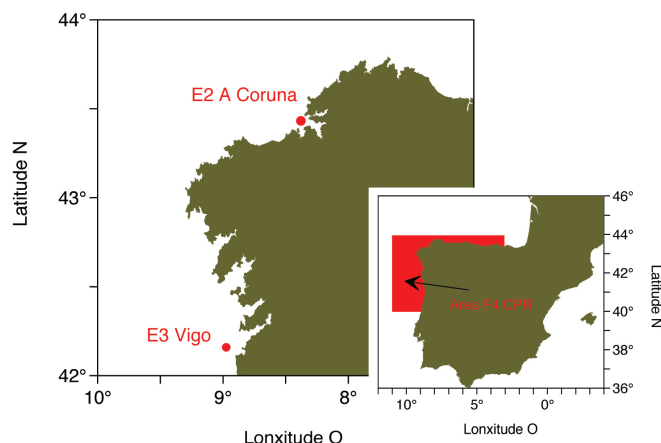
dependencia do ambiente é maior que a presión dos organismos consumidores de zooplancto, polo xeral peixes pero tamén aves e mamíferos mariños. Esta dependencia suxire que o rexistro temporal da composición e abundancia do zooplancto nunha rexión determinada pode amosar a influencia directa de cambios ambientais marcados, como as flutuacións climáticas. Así, coñécese a existencia de ciclos decadais na composición e abundancia de zooplancto que se relacionan con cambios nas correntes mariñas (frías ou cálidas) causados polo clima (Russell e cols., 1971).

Estudos recentes no Atlántico norte indican que nos últimos 50 anos se incrementaron as especies de zooplancto típicas de augas cálidas, mentres que as especies típicas de augas frías diminuíron (Beaugrand, 2003; Richardson e Schoeman, 2004). Estes cambios producíronse a grandes escalas espaciais, aínda que con diferenzas rexionais e non só como consecuencia directa do quentamento (Valdés e cols., 2007). Detectouse tamén un adiamento xeral da época de reprodución dalgunhas especies, sobre todo en rexión boreais (Edwards e Richardson, 2004; ICES, 2006). O feito de que estes cambios se producisen cun incremento relativamente pequeno da temperatura do océano ( $< 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) confirma que o zooplancto é un bo indicador do efecto do clima nos ecosistemas mariños.

En Galicia a influencia do afloramento estacional condiciona a composición e abundancia do zooplancto (Bode e cols., 2007). As especies dominantes están adaptadas aos frecuentes episodios de emerxencia de augas frías e a reproducirse co sustento proporcionado polas proliferacións de fitoplancto. Isto dá orixe a dous períodos de máxima abundancia: un na primavera e outro a finais do verán. Polo tanto, calquera cambio na frecuencia ou intensidade do afloramento pode afectar á comunidade zooplanctónica.

O obxectivo deste estudo é determinar os patróns de variabilidade e as tendencias interanuais do zooplancto en relación coa variabilidade oceanográfica e climática en Galicia.

Figura 1. Localización dos puntos de mostraxe das series temporais de datos de zooplancto.



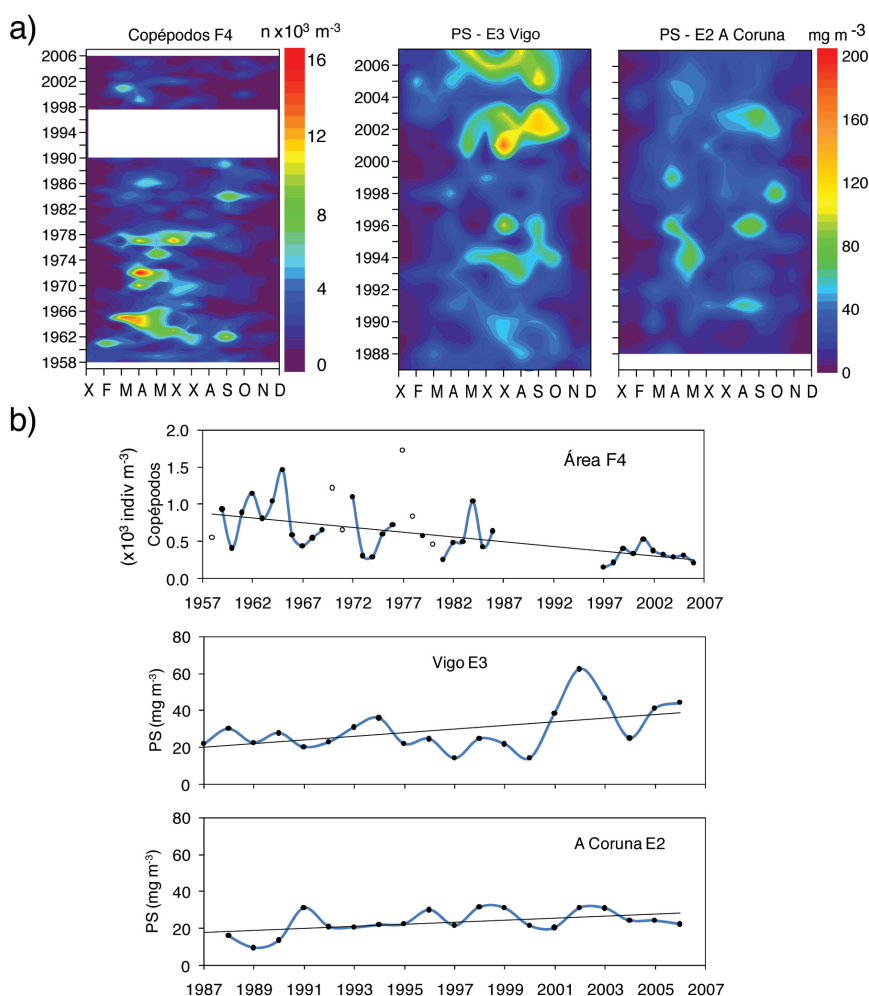
## MÉTODOS

Debido á importancia dos factores rexionais e locais, o estudo ten en conta, por unha banda, o zooplancto na rexión ibérica atlántica e, por outra, o da costa en dous puntos ao norte e ao sur do cabo Fisterra, respectivamente (figura 1). No primeiro caso, utilizáronse os datos da serie correspon-



dente a área F4 do Continuous Plankton Recorder (CPR), incluíndo datos mensuais de abundancia de especies de copépodos do período 1958-2004. As características das variables do CPR e a súa metodoloxía analítica detállanse en Richardson e cols. (2006). Para a zona costeira, analizáronse os datos mensuais de biomasa (estimada como peso seco) e abundancia de especies de copépodos na estación E3, fronte á ría de Vigo, e na estación E2, fronte á ría da Coruña, no período 1989-2006. Esas estacións pertencen ao programa RADIALES do Instituto Español de Oceanografía (Valdés e cols., 2007).

Figura 2. Variabilidade estacional e interanual da abundancia e biomasa de zooplancto no océano e na costa (a) e tendencias nos valores medios anuais (b). Copépodos: abundancia de copépodos. PS: peso seco do zooplancto. As áreas en branco indican períodos sen datos. No cálculo da tendencia interanual (táboa 1) empregáronse só os puntos recheos.



As tendencias interanuais estimáronse mediante regresión lineal dos valores medios anuais das variables e o ano de observación. Neste cálculo unicamente se empregaron os anos con polo menos oito meses con datos. Ademais, foi determinada a significación das correlacións entre as variables do zooplancto e o índice de afloramento para o punto  $43^\circ \text{ N}$ ,  $11^\circ \text{ O}$  (Lavin e cols., 1991) e mais

o índice climático NAO (Hurrell, 1995). O período mediado foi abril-setembro, no caso do índice de afloramento, e decembro-marzo, no caso do índice NAO. O cálculo destes índices descríbese no capítulo 13. Previamente á análise de correlación, a variabilidade das series foi descomposta secuencialmente en tendencia, compoñentes periódicos e autocorrelacións (Nogueira e cols., 1997), de xeito que só a variabilidade residual de cada serie (ruído branco) foi finalmente correlacionada cos índices ambientais tratados da mesma maneira. Para asegurar a continuidade das series, consideráronse separadamente os períodos con datos válidos en todos os anos. Ningunha das series presentou compoñentes periódicos significativos e só o índice NAO presentou autocorrelación (cun desfase de 5 anos) e mais a abundancia do copépodo *Temora stylifera* na estación da Coruña (neste caso cun desfase de 1 ano). As análises estatísticas fixéronse co programa MATLAB (Component Run Time versión 7.7).

## RESULTADOS E DISCUSIÓN

### *Variabilidade na abundancia e biomasa*

A maioría do zooplancto está constituído por copépodos, que se achegan ao 90% da abundancia total de individuos (Bode e cols., 2007). Polo tanto, as variacións nos copépodos son representativas dos cambios que ocorren en toda a comunidade zooplanctónica. Unha análise da serie da abundancia de copépodos no océano próximo a Galicia revela en primeiro lugar a diminución progresiva dos valores máximos de abundancia desde 1958, especialmente na primavera (figura 2a). Os maiores valores observáronse no período 1960-1970, diminuindo claramente desde entón. A pesar das fluctuacións, a tendencia interanual é significativa (táboa 1), de tal xeito que, de media, os valores de abundancia observados desde 1997 representan só o 40% dos observados antes de 1990 (figura 2b).

Na costa a variabilidade só se puido analizar nun período máis recente pola falta de series longas de datos. Neste caso estudouse a evolución da biomasa, correlacionada coa abundancia total e a de copépodos, xa que era fácil de determinar e dispoñíase dun período de datos maior. As series costeiras revelan diferenzas significativas coas do océano no período 1989-2006; é dicir, as series non están correlacionadas ( $P > 0,05$ ) e indican, xa que logo, diferenzas nas comunidades de zooplancto respectivas. Ademais existen diferenzas notables entre as de Vigo e as da Coruña (figura 2a), con maiores taxas de cambio nas primeiras (táboa 1). En Vigo obsérvase un incremento notable na biomasa zooplanctónica nos últimos anos. Este incremento non é continuo, xa que houbo algún período cunha diminución relativa (por exemplo, 1994-2000), pero en conxunto a tendencia é significativa e a biomasa media do período 2001-2006 supera nun 45% á media entre 1988 e 2000 (figura 2b). Os principais causantes destas fluctuacións son os máximos observados no verán e no outono, mentres que os de primavera son menos acusados. Na Coruña os valores de biomasa son menores que en Vigo, o patrón de dous máximos anuais repítese con maior regularidade e, ademais, o valor da tendencia media de variación interanual, aínda que significativa, é máis baixa que a de Vigo (táboa 1). Os máximos de biomasa observados nalgúns anos (por exemplo, 1994-1995, 2002) non presentan un patrón estacional claro, podéndose observar ben en primavera, ben no verán-outono. En todo caso, ningunha das series costeiras revela un adianto ou atraso nos máximos anuais, o que reflectiría modificacións nas épocas de reprodución, tal e como foi descrito no zooplancto do mar Cantábrico (Valdés e cols., 2007) e no mar do Norte (ICES, 2006).

Os resultados obtidos para a zona oceánica próxima a Galicia manteñen as tendencias descritas para o zooplancto do Atlántico Norte (Richardson e Schoeman, 2004; ICES, 2006). Con todo, a diminución de copépodos é menor que en zonas máis setentrionais, onde os máximos de abundancia



cia na primavera son moito máis acusados. Este estudo revela que os efectos locais son de grande importancia na zona costeira, como indica o aumento de biomasa en Vigo.

Táboa 1. Variables analizadas e tendencias anuais nos valores medios. b: tendencia (pendente da regresión lineal);  $r^2$ : coeficiente de determinación. P: significación. n: número de datos.

Variable	Abreviatura	Unidades	Zona	Período	b	$r^2$	P	n
Índice NAO	NAO	---	---	1958-2006	0,056	0,133	0,010	49
Índice de afloramento	UI	$\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-1}$	43° N, 11°W	1968-2006	-7,647	0,308	0,000	39
Abundancia de Copépodos	COP	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	F4	1958-2006	-12,870	0,283	0,000	39
Abundancia de Copépodos	COP	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	E2	1990-2006	0,098	0,421	0,004	18
Abundancia de Copépodos	COP	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	E3	1994-2006	0,552	0,457	0,011	13
Biomasa de zooplancto	PS	$\text{mg m}^{-3}$	E2	1989-2006	0,559	0,243	0,032	19
Biomasa de zooplancto	PS	$\text{mg m}^{-3}$	E3	1987-2006	0,985	0,235	0,030	20
<i>Acartia clausii</i>	ACA	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	F4	1958-2006	-6,009	0,256	0,001	39
<i>Acartia clausii</i>	ACA	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	E2	1994-2006	0,011	0,080	0,349	13
<i>Acartia clausii</i>	ACA	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	E3	1994-2006	0,043	0,202	0,123	13
<i>Calanus helgolandicus</i>	CHEL	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	F4	1958-2006	-0,058	0,028	0,313	39
<i>Calanus helgolandicus</i>	CHEL	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	E2	1994-2006	0,004	0,050	0,462	13
<i>Calanus helgolandicus</i>	CHEL	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	E3	1994-2006	0,054	0,556	0,003	13
<i>Temora stylifera</i>	TSTY	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	F4	1958-2006	0,041	0,307	0,007	35
<i>Temora stylifera</i>	TSTY	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	E2	1994-2006	0,276	0,009	0,708	18
<i>Temora stylifera</i>	TSTY	$\text{n} \times 10^3 \text{m}^{-3}$	E3	1994-2006	0,000	0,014	0,699	13

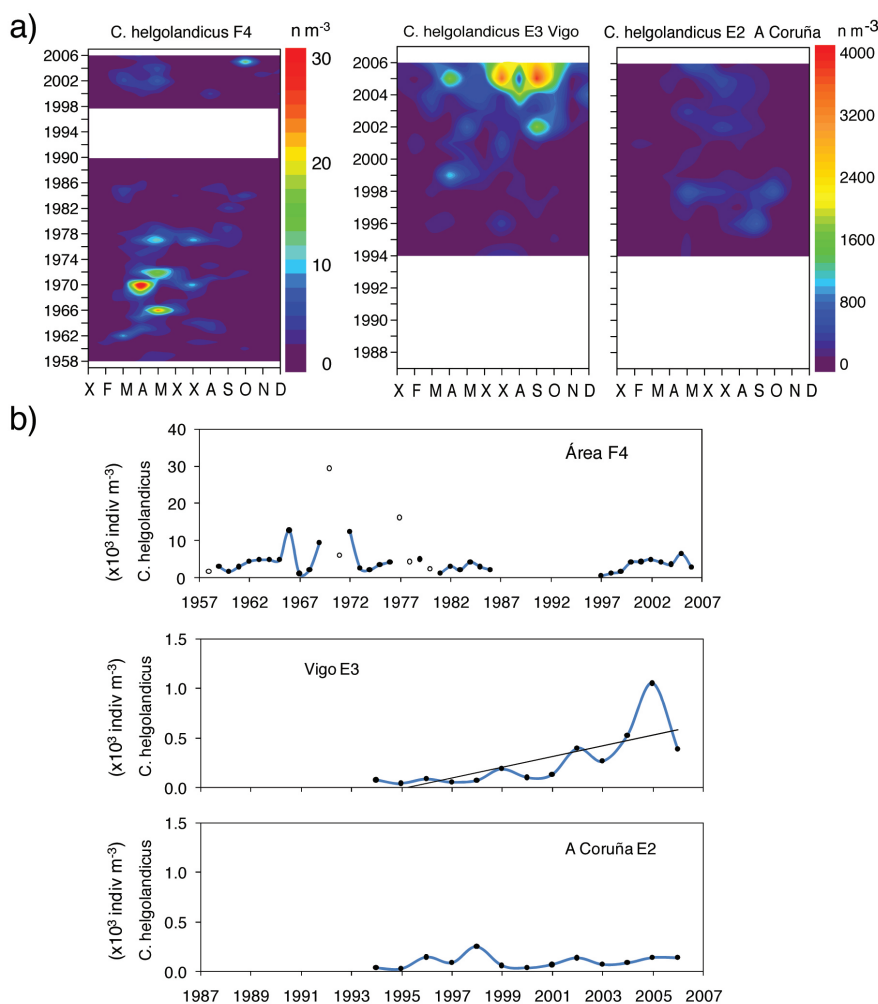
### Variabilidade nas especies de zooplancto

Tanto no océano como na costa, as series temporais analizadas non revelan grandes cambios na biodiversidade de zooplancto. Non obstante, atopáronse variacións na abundancia dalgunhas especies características. A modo de exemplo analizamos as variacións na abundancia de tres especies de copépodos: *Calanus helgolandicus*, unha especie de tamaño relativamente grande e máis abundante en augas oceánicas (Beaugrand e cols., 2000); *Acartia clausi*, unha especie de pequeno tamaño típica das zonas costeiras e de afloramento (Alcaraz, 1979); e *Temora stylifera*, unha especie característica de augas cálidas (Valdés e cols., 2007).

A serie de *C. helgolandicus* no océano amosa unha diminución xeral, polo menos nos valores máximos, desde a década de 1960 (figura 3a). Os maiores valores obsérvanse na primavera, especialmente entre 1965-1975, con máximos secundarios moito menores no outono, desaparecendo practicamente nos últimos anos. Na costa a situación é claramente diferente, cun grande incremento na abundancia desta especie desde o ano 2000 en Vigo, mentres que na Coruña os valores de abundancia son moito mais baixos e non presentan unha tendencia interanual significativa (figura

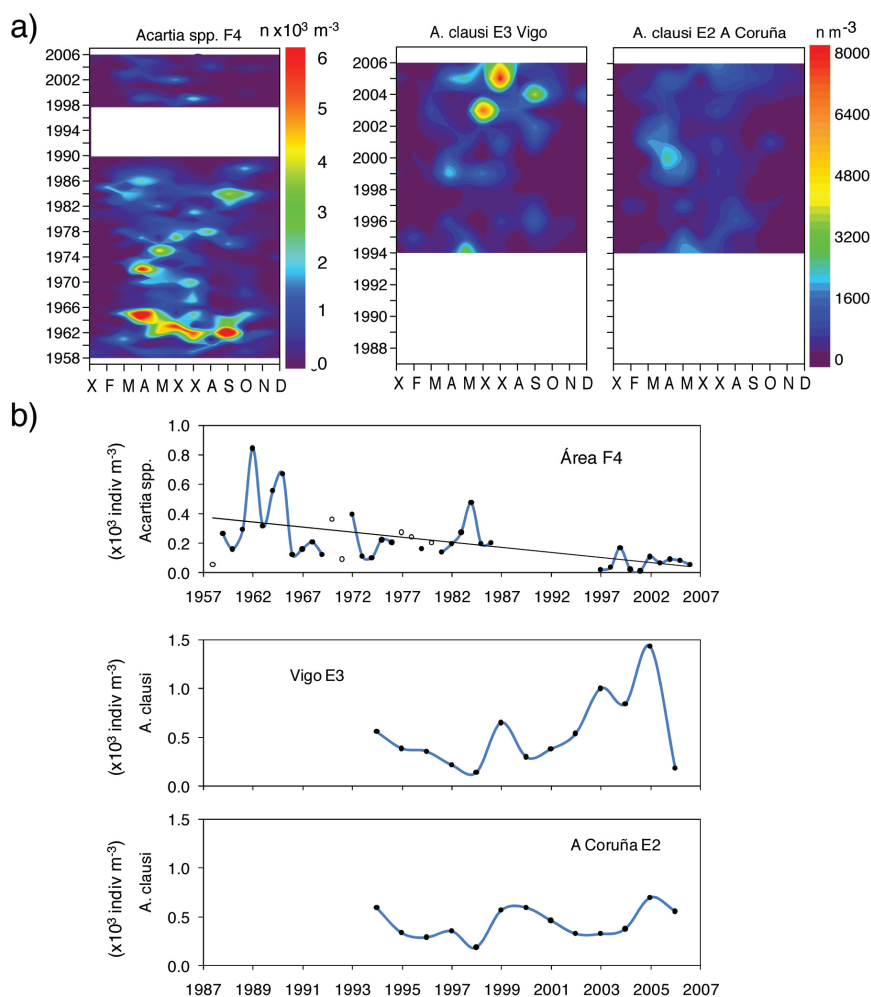
3b). En Vigo os maiores incrementos de abundancia obsérvanse a finais do verán e no outono, ao contrario que no océano. Outros estudos mostraron unha expansión de *C. helgolandicus* cara ao norte de Europa en anos recentes, co centro da súa distribución próximo a 55° N (Beaugrand, 2003), desprazando especies típicas de augas máis frías, como *C. finmarchicus*. Ese desprazamento tivo importantes consecuencias ecolóxicas e económicas, por canto *C. finmarchicus*, mais non *C. helgolandicus*, é unha das principais presas do bacallau, e interpretoise como resultado non só do quentamento das augas, senón tamén debido á advección de diferentes masas de auga no norte de Europa (Beaugrand, 2003; Pershing e cols., 2004). En Galicia non hai rexistros de *C. finmarchicus* e mesmo *C. helgolandicus* incrementou significativamente a súa abundancia nos últimos anos (por exemplo, en Vigo), o que suxire que a substitución destas dúas especies non é probable que ocorra mentres continúe o quentamento das augas.

Figura 3. Variabilidade estacional e interanual da abundancia de *Calanus helgolandicus* no océano e na costa (a) e tendencias nos valores medios anuais (b). As áreas en branco indican períodos sen datos. No cálculo da tendencia interanual (táboa 1) empregáronse só os puntos recheos.



A abundancia de *Acartia* spp. no océano (non se rexistra a especie *A. clausi* na serie do CPR) amosa un patrón similar ao da abundancia total de copépodos, cunha diminución clara nos valores máximos do outono e os anuais (figura 4a). Na década de 1960 observáronse os maiores valores, mentres que o valor de abundancia medio no período 1997-2006 foi equivalente ao 25% do medido anteriormente. A tendencia interanual á diminución de abundancia desta especie no océano resultou significativa (figura 4b). Porén, as tendencias observadas na costa non foron significativas (táboa 1). Neste caso as series costeiras da abundancia de *A. clausi* presentan un patrón semellante entre si, cunha diminución entre 1994 e 1998 e un aumento posterior. En Vigo os máximos dos períodos estivais desde o ano 2000 foran crescendo progresivamente (figura 4a), aínda que a tendencia interanual non resulta significativa debido á elevada variabilidade e á diminución do valor medio anual no ano 2006 (figura 4b). As oscilacións da abundancia desta especie na Coruña foron máis reducidas.

Figura 4. Variabilidade estacional e interanual da abundancia de *Acartia clausi* no océano e na costa (a) e tendencias significativas nos valores medios anuais (b). As áreas en branco indican períodos sen datos. No cálculo da tendencia interanual (táboa 1) empregáronse só os puntos recheos.





Contrariamente ao que sucedeu coas especies anteriores *T. stylifera*, comezou a aparecer na serie oceánica en 1977, incrementando o seu número ata acadar un máximo no ano 2000 (figura 5a). Esta especie aparece fundamentalmente a finais do verán e no outono, aínda que nos últimos anos tamén se rexistraron individuos na primavera. A tendencia interanual no océano resulta significativa, debido probablemente a que esta especie aparece con baixos valores na capa superficial do océano (figura 5b, táboa 1). Non obstante, os valores de abundancia son moito maiores nas estacións costeiras, tendo unha presenza habitual en Vigo desde 1996 e moito máis destacable na Coruña. Os máximos de abundancia estacionais en Vigo apareceron tanto na primavera como no verán e outono, mentres que na Coruña se concentraron sobre todo no outono. En ambas as localidades a abundancia desta especie de augas cálidas presentou períodos con valores medios anuais de abundancia elevados ( $> 20$  indiv.  $m^{-3}$ ), especialmente na Coruña entre os anos 1996 e 2000 (figura 5a). Debido a estes períodos de máxima abundancia, as tendencias interanuais das series costeiras de *T. stylifera* non resultan significativas no período estudado; no entanto, non hai que esquecer que esta especie non se citara en Galicia ata moi recentemente. Con anterioridade a 1982 esta especie atopárase só nunha localidade do mar Cantábrico, mentres que desde entón se vén rexistrando de forma habitual na totalidade da costa norte da península Ibérica, coas maiores abundancias cara ao norte e ao leste (Valdés e cols., 2007). O incremento na abundancia desta especie, que se expande por todo o Atlántico norte xunto con outras especies de copépodos termófilas e oportunistas (Beaugrand, 2003), atribúeselle a unha maior estratificación das augas reforzada polo quentamento da superficie (Lindley e Daykin, 2005).

## *Relacións co clima e o afloramento*

Na serie oceánica, e despois de eliminar as tendencias e a autocorrelación, só os valores medios anuais de abundancia de copépodos se correlacionan significativamente cos índices ambientais no período 1958-1986 (táboa 2). Así e todo, a tendencia da correlación entre a abundancia e valores do mesmo ano do índice NAO é negativa, mentres que a tendencia é de signo positivo se comparamos os valores de abundancia cos do índice NAO cun desfase de catro anos. No primeiro caso, a correlación negativa débese ao incremento do índice NAO durante gran parte do século pasado (capítulo 2), e que no Atlántico nororiental se relacionou co incremento do vento de compoñente norte e unha maior fertilización das augas por efecto do afloramento (Beaugrand, 2003), pero tamén cunha maior temperatura das augas no inverno e maior turbulencia na capa superficial (Beaugrand e cols., 2000). Estes factores poden provocar un incremento nos custos metabólicos do zooplancto e, polo tanto, reducir a súa capacidade reprodutiva, o que se traduciría nunha diminución da abundancia nos anos con valores de NAO positiva. Na rexión oceánica próxima a Galicia o incremento nos últimos 48 anos na biomasa de fitoplancto (un indicador da produción primaria) non é significativo (capítulo 16), mentres que o valor do índice de afloramento descendeu significativamente (capítulo 14). A diminución da abundancia de copépodos na zona oceánica pode estar relacionada co aumento da temperatura superficial que inflúe na profundidade máxima de mestura invernol das augas (capítulo 14) e na achega de nutrientes para o crecemento do plancto na primavera (capítulo 15). Estes resultados contrastan cos atopados no Mediterráneo occidental, onde a composición do zooplancto se relaciona máis directamente cos valores da NAO (Molinero e cols., 2005). Non debemos esquecer que o índice NAO reflicte as condicións climáticas seguindo un eixe norte-sur de influencia atmosférica en Europa, mentres que Galicia está situada nunha zona de transición oceanográfica entre a influencia do sistema de afloramento do noroeste de África e as condicións máis tépedas do golfo de Biscaia. Neste último, estudos anteriores atoparon relacións débiles ou pouco significativas entre as condicións oceanográficas e o índice NAO (Planque e cols., 2003), o que suxire unha maior influencia de factores locais e das correntes costeiras.

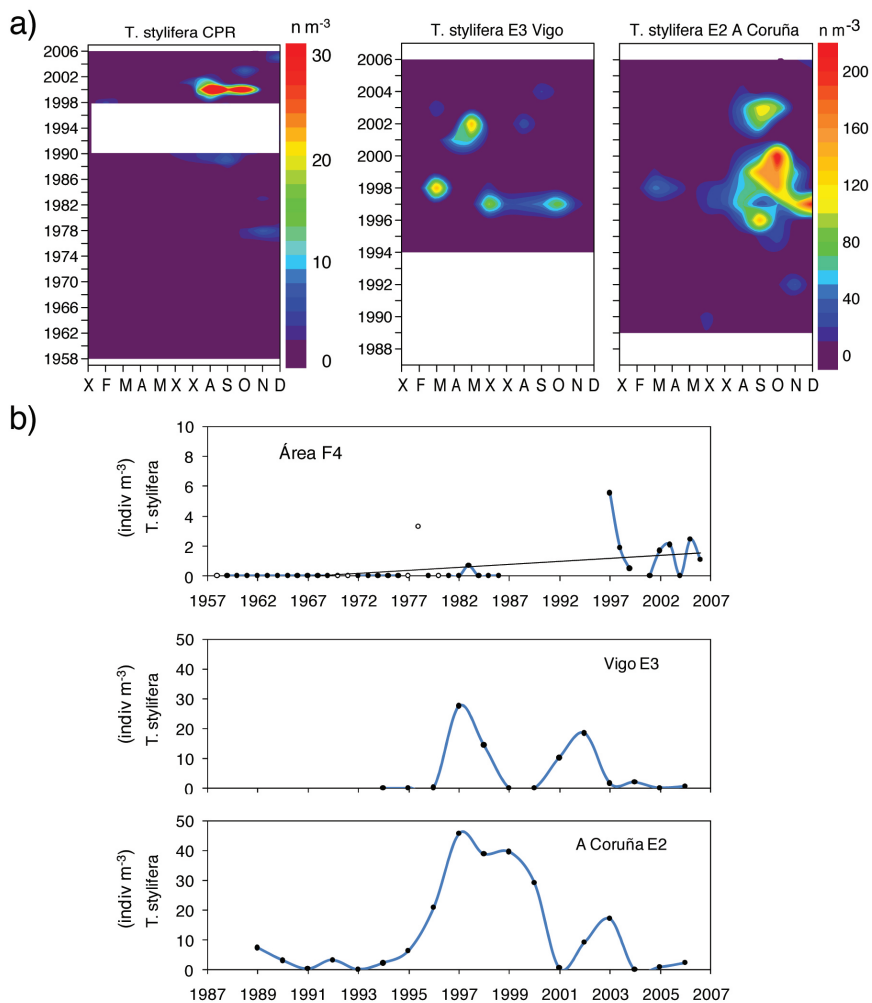




Máis difícil de explicar é a correlación positiva atopada cun desfase de catro anos entre os valores da NAO e de abundancia. Tamén a correlación entre a abundancia de copépodos e o índice de afloramento é significativa, aínda que cunha tendencia de signo negativo, se temos en conta un desfase de catro anos. Neste caso non se obtivo correlación significativa entre os valores de abundancia e de afloramento medidos no mesmo ano. Unha diminución do afloramento como a observada en Galicia nos últimos 40 anos (capítulo 13) é coincidente coa diminución xeral da abundancia de zooplancto, polo menos na rexión oceánica inmediata. Sen dúbida, a falta de continuidade desta serie constitúe unha limitación importante para encontrar relacións estatísticas claras entre os copépodos e os índices ambientais, especialmente nos últimos anos. Non obstante, as correlacións significativas considerando desfases de varios anos suxiren que a resposta do zooplancto ás variación de grande escala nas condicións ambientais pode ser demorada por varias xeracións. Os retardos entre a resposta do plancto fronte a cambios ambientais son ben coñecidos no plancto mariño (por exemplo, Duarte, 1990). Estes retardos ocorren tanto a escala dos procesos fisiolóxicos como do crecemento individual e das poboacións, e amplifícanse na rede trófica. Deste xeito, os cambios no ambiente, ademais de lles afectaren directamente aos organismos presentes no momento do cambio, pódense transmitir progresivamente desde os produtores primarios aos consumidores, como no caso do zooplancto. O feito de que non haxa correlacións significativas entre ningunha das especies de copépodos analizadas neste estudo e os índices ambientais, considerando a serie oceánica, suxire tamén que os principais cambios no zooplancto se producen máis na abundancia total da comunidade (e probablemente tamén na biomasa) que nas especies individuais.

Na costa, pola contra, a maior parte das correlacións significativas entre as variables do zooplancto e os índices ambientais obtívose co índice de afloramento (táboa 2). Só *T. stylifera* en Vigo está correlacionada co índice NAO, con tendencia negativa e cun desfase dun ano. Ademais, a abundancia de copépodos na Coruña desde 1990 presenta unha correlación positiva co índice de afloramento do ano anterior, como ocorre tamén con *T. stylifera* en ambas as dúas localidades costeiras con desfases de un a dous anos. Estes resultados contrastan coa correlación negativa obtida no caso de *C. helgolandicus* en Vigo, cun desfase de cinco anos nos valores do índice de afloramento. A diferenza da zona oceánica, onde o efecto do afloramento se traduce nun incremento de produtividade, na zona costeira un afloramento intenso produce a exportación do plancto cara ao océano, de maneira que a abundancia e a biomasa medida na costa pode ser mesmo menor que a presente en condicións de afloramento débil. Así, ao reducirse a intensidade do afloramento desde a década de 1960, o incremento de zooplancto na costa explicaría-se por unha menor exportación. Tamén a presenza das rías favorece a existencia de áreas de reprodución do zooplancto, o que explicaría o aumento significativo dalgunhas especies en Vigo pero non na Coruña. Con todo, a redución do afloramento non é aínda o suficientemente importante como para causar unha diminución apreciable da produtividade, polo menos no caso do zooplancto da costa galega. Isto vén apoiado pola falla de correlacións significativas entre os índices ambientais e *A. clausi*, unha especie típica do afloramento galego (Alcaraz, 1979). Na costa cantábrica, en contraste, observouse unha redución na biomasa de zooplancto ao mesmo tempo que se incrementaba a estratificación da columna de auga como consecuencia do quentamento da superficie (Valdés e cols., 2007). Os efectos observados na costa indican a importancia dos factores locais como moduladores da influencia das condicións climáticas xerais sobre o zooplancto, como se demostrou no Mediterráneo (Molinero e cols., 2005). O estudo destes factores constitúe, pois, un reto para comprender a variabilidade na resposta do zooplancto ante cambios nas condicións oceanográficas e climáticas a escala rexional.

Figura 5. Variabilidade estacional e interanual da abundancia de *Temora stylifera* no océano e na costa (a) e tendencias nos valores medios anuais (b). As áreas en branco indican períodos sen datos. No cálculo da tendencia interanual (táboa 1) empregáronse só os puntos recheos.



## CONCLUSIÓN

A análise das series temporais de medidas sobre o zooplancto mariño en Galicia revela a existencia de tendencias interanuais significativas nos últimos 45 anos. Estas tendencias están relacionadas coa variabilidade oceanográfica, principalmente o quentamento superficial e a intensidade do afloramento, e coas condicións climáticas do Atlántico norte. No entanto, as respostas observadas na zona oceánica inmediata a Galicia e na costa non sempre son coincidentes. No océano observouse unha diminución na abundancia de zooplancto, especialmente nos últimos 10 anos. Esta diminución aféctalles tanto a especies tipicamente costeiras (por exemplo, *A. clausi*) como ás oceánicas (por exemplo, *C. helgolandicus*); no entanto, nos últimos anos veñen aparecendo especies típicas de augas cálidas con abundancia crecente (por exemplo, *T. stylifera*). A causa pódese atribuír a unha redución na intensidade do afloramento a pesar da existencia de valores positivos do índice climático NAO, que no norte de Europa se relaciona cunha maior frecuencia dos ventos de compoñente

norte (e, polo tanto, favorables ao afloramento). Isto indica que na resposta do zooplancto prevalecen os efectos directos da diminución do afloramento, é dicir, unha redución da exportación desde a costa, fronte aos indirectos resultado da diminución en produción primaria ao reducirse a achega de nutrientes. Deste xeito, o incremento de zooplancto na costa deberíase a unha maior retención cos afloramentos menos intensos, mentres que a redución da intensidade non é aínda suficiente para afectar á produtividade planctónica.

A pesar do incremento xeral na biomasa e abundancia de zooplancto na costa, observáronse respostas diferentes en Vigo e na Coruña. No primeiro caso produciuse un incremento moi notable dos copépodos (especialmente nos últimos anos), tanto nas especies costeiras como nas oceánicas. Este incremento non resultou significativo no caso da Coruña, onde, en cambio, a abundancia media anual de copépodos está correlacionada co valor do índice de afloramento no ano anterior. En calquera caso, as recentes tendencias de cambio nas condicións oceanográficas, principalmente o incremento de temperatura e a redución do afloramento, favorecen a expansión de especies termofílicas e oportunistas como *T. stylifera*, que se incrementa apreciablemente por todo o Atlántico norte, incluíndo as rexións costeira e oceánica de Galicia.

Os resultados obtidos suxiren que os efectos dos cambios climáticos sobre o zooplancto se poden atrasar por varios anos desde o seu inicio, probablemente debido ás interaccións na rede trófica, polo que non sempre se poderán observar cambios inmediatos na comunidade. Este estudo revela a importancia de dispoñer de series temporais longas e continuas de medidas sobre a abundancia e composición do zooplancto para poder analizar a súa resposta aos cambios climáticos e oceanográficos. As series existentes na costa cobren os últimos 20 anos, pero resultan aínda insuficientes para determinar a importancia relativa dos factores locais fronte aos rexionais na dinámica zooplanctónica.

Táboa 2. Tendencias lineais significativas entre os índices ambientais (X, variables independentes) e as variables do zooplancto (Y, variables dependentes) a diferentes retardos (en anos) e períodos. a: intercepción na orixe, b: tendencia,  $r^2$ : coeficiente de determinación, P: significación. Nomes de variables explicados na táboa 1.

Período	X	Y	zona	retardo	$r^2$	a	b	P
1958-1986	NAO	COP	F4	0	0,141	0,000	-75,069	0,045
	NAO	COP	F4	+4	0,348	10,949	121,880	0,002
	UI	COP	F4	+4	0,235	16,320	-1,213	0,014
1990-2006	UI	COP	E2	+1	0,317	0,036	0,003	0,023
1994-2006	UI	TSTY	E2	+1	0,458	0,608	0,072	0,016
	UI	TSTY	E2	+2	0,386	1,042	0,066	0,041
	UI	CHEL	E3	+5	0,661	-0,001	-0,001	0,014
	NAO	TSTY	E3	+1	0,515	0,000	-0,003	0,009

## AGRADECEMENTOS

Este estudo non se podería ter feito sen o traballo sistemático e continuado dos investigadores e técnicos que manteñen os programas de observación do plancto no océano. Agradecemos especialmente a D. Johns os datos do Programa CPR (SAHFOS) e a todos os integrantes do Programa

RADIALES (IEO) a súa colaboración na obtención das mostras de zooplankto. E. Nogueira e G. González-Nuevo (IEO) facilitaron o software empregado nas análises estatísticas. Parte da análise foi feita como contribución ao proxecto REFORZA (PGIDIT06RMA60401PR), da Consellería de Innovación e Industria da Xunta de Galicia. A versión final do traballo mellorouse cos comentarios e suxestións dun revisor anónimo. A redacción deste traballo foi financiada parcialmente pola Consellería de Medio Ambiente e Desenvolvemento Sostible da Xunta de Galicia (Programa CLIGAL) a través dun convenio de colaboración entre o Centro Tecnolóxico do Mar (CETMAR) e o IEO.

## BIBLIOGRAFÍA

- Alcaraz M. (1979). Ecología, competencia y segregación de grupos de especies asociadas de copépodos del género *Acartia* en la Ría de Vigo. *Investigación Pesquera* **43**, 689-707.
- Beaugrand G. (2003). Long-term changes in copepod abundance and diversity in the north-east Atlantic in relation to fluctuations in the hydroclimatic environment. *Fisheries Oceanography*, **12**(4/5), 270-283.
- Beaugrand G., Ibáñez F. and Reid P. C. (2000). Spatial, seasonal and long-term fluctuations of plankton in relation to hydroclimatic features in the English Channel, Celtic Sea and Bay of Biscay. *Marine Ecology Progress Series* **200**, 93-102.
- Bode A., Varela M. e Álvarez-Ossorio M. T. (2007). O ecosistema peláxico. En: *Ecología*, A. Cordero e R. Barreiro (eds.), Proxecto Galicia. Hércules de Ediciones, A Coruña, pp. 513-533.
- Duarte C. (1990). Time lags in algal growth: generality, causes and consequences. *Journal of Plankton Research* **12**, 873-883.
- Edwards M. and Richardson A. J. (2004). Impact of climate change on marine pelagic phenology and trophic mismatch. *Nature*, **430**, 881-884.
- Hurrell J. W. (1995). Decadal trends in the North Atlantic Oscillation: Regional temperatures and precipitation. *Science*, **269**, 676-679.
- ICES (2006). Zooplankton monitoring results in the ICES area: Summary status report 2004/2005. *ICES Cooperative Research Report*, **281**, 1-43.
- Lavin A., Díaz del Río G., Cabanas J. M. y Casas G. (1991) Afloramiento en el Noroeste de la Península Ibérica. Índices de afloramiento para el punto 43° N 11° W. Periodo 1966-1989. *Informes Técnicos del Instituto Español de Oceanografía*, **91**, 1-40.
- Lindley J. A. and Daykin S. (2005). Variations in the distributions of *Centropages chierchiae* and *Temora stylifera* (Copepoda: Calanoida) in the north-eastern Atlantic Ocean and western European shelf waters. *ICES Journal of Marine Science*, **62**(5), 869-877.
- Molinero J. C., Ibáñez F., Nival P., Buecher E. and Souissi S. (2005) The North Atlantic climate and the northwestern Mediterranean plankton variability. *Limnology and Oceanography*, **50**(4), 1213-1220.
- Nogueira E., Pérez F. F. and Ríos A. F. (1997). Seasonal patterns and long-term trends in an estuarine upwelling ecosystem (Ría de Vigo, NW Spain). *Estuarine Coastal and Shelf Science* **44**, 285-300.



- Pershing A. J., Greene C. H., Planque B. and Fromentin J. M. (2004). The influences of climate variability on North Atlantic zooplankton populations. In: *Marine ecosystems and climate variation - The North Atlantic*. N. C. Stenseth, G. Ottersen, J. W. Hurrell and A. Belgrano (eds.), Oxford University Press, Oxford, pp. 59-69.
- Planque B., Beilouis P., Jégou A. M., Lazure P., Petitgas P. and Puillat I. (2003). Large-scale hydro-climatic variability in the Bay of Biscay: the 1990s in the context of interdecadal changes. *ICES Journal of Marine Science*, **219**, 61-70.
- Richardson A. J. and Schoeman D. S. (2004). Climate impact on plankton ecosystems in the Northeast Atlantic. *Science*, **305**, 1609-1612.
- Richardson A. J., Walne A. W., John A. W. G., Jonas T. D., Lindley J. A., Sims D. W., Stevens D. and Witt M. (2006). Using continuous plankton recorder data. *Progress in Oceanography*, **68**, 27-74.
- Russell F. S., Southward A. J., Boalch G. T. and Butler E. I. (1971). Changes in biological conditions in the English Channel off Plymouth during the last half century. *Nature*, **234**, 468-470.
- Valdés L., López-Urrutia A., Cabal J., Álvarez-Ossorio M., Bode A., Miranda A., Cabanas M., Huskin I., Anadón R., Álvarez-Marqués F., Llope M. and Rodríguez N. (2007). A decade of sampling in the Bay of Biscay: What are the zooplankton time series telling us?. *Progress in Oceanography*, **74**, 98-114.

