

Tendencias na temperatura superficial do mar ó longo da costa Atlántica da Península Ibérica

X. COSTOYA*, M. GÓMEZ-GESTEIRA, M. deCASTRO e F. SANTOS

**xurxocostoya@estudiantes.uvigo.es*

*EPhysLab (Environmental Physics Laboratory), Facultade de Ciencias,
Universidade de Vigo,
Campus As Lagoas s/n, Ourense, España*

RESUMO

Realizouse unha análise da tendencia da Temperatura Superficial do Mar (SST) na zona do Océano Atlántico situada ó oeste da Península Ibérica (12°W-30°W, 36°N-44°N) para o período 1900-2011. Nesta zona, a SST mostra un comportamento cíclico, en concordancia co comportamento observado no Atlántico Norte noutros estudos, cunha tendencia xeral ó incremento (0.05°C por década). Por outra banda, analizáronse as variacións da SST na zona costeira ó longo do arco Atlántico da Península Ibérica, dende o este do Golfo de Biscaia ata o Cabo San Vicente, a partir de datos de satélite, cunha resolución de 0.042 x 0.042 grados, para o período 1982-2010. Os resultados mostran un comportamento espacialmente homoxéneo, cun incremento en torno a 0.25°C por década para toda a zona de estudio, con variacións ó longo do ano, rexistrándose na primavera e no verán os maiores incrementos (ata 0.5°C por década). Os cambios observados na zona costeira mostran correlacións significativas cos índices da Oscilación Multidecadal do Atlántico (AMO) e da Oscilación do Atlántico Norte (NAO).

Palabras Clave: Temperatura superficial do mar, tendencias, Atlántico Norte.

1. Introducción

Os océanos xogan un papel crucial na regulación do clima (Folland *et al.*, 2001). Coñecer as variacións na temperatura superficial do mar (SST) resulta importante á hora de definir escenarios e políticas destinadas a reducir os efectos antropoxénicos no clima. Co fin de ampliar este coñecemento, nas últimas décadas creáronse diferentes bases de datos co propósito de aportar a comunidade científica datos fiables. Neste senso, merecen especial mención a Comprehensive Ocean Atmosphere Data Set (Woodruff *et al.*, 1987) e o World Ocean Atlas (Levitus e Boyer,

1994). Ademais, dende os anos 80 o desenvolvemento da tecnoloxía satélite permitiu a elaboración de novas bases de datos. Existen estudos (Reynolds *et al.*, 1989; Reynolds e Smith, 1995) que mostran a coherencia dos datos satélite cos datos oceanográficos previamente descritos.

Durante o último século produciuse un aumento da SST a nivel global (Folland *et al.*, 1984; Folland *et al.*, 1992; Parker *et al.*, 1994; Nicholls *et al.*, 1996; Casey e Cornillon, 2001). Esta tendencia non foi uniforme, senón que de acordo o Panel Intergubernamental Sobre Cambio Climático (IPCC, 2007) ó longo do pasado século alternáronse dous períodos de quecemento e un de

arrefriamento. O primeiro período de quecemento abarca o período 1910-1945, seguido dun período de arrefriamento que finalizou a mediados dos anos 70, momento no que comezou o segundo período de quecemento.

Este quecemento global, ademais de non ser uniforme no tempo tampouco o é no espazo, variando a súa intensidade duns océanos a outros (Paltridge and Woodruff, 1981; Folland *et al.*, 1990; Parker *et al.*, 1994; Smith *et al.*, 1994; Strong *et al.*, 2000; Casey and Cornillon, 2001). O incremento de temperatura no Océano Atlántico para o período 1969-2008 foi algo máis do dobre que o que tivo lugar no Océano Índico e no Pacífico (Levitus *et al.*, 2009). Ademais, o Océano Atlántico contribúe cunha maior cantidade de calor (Nerem *et al.*, 1999; Levitus *et al.*, 2000; Strong *et al.*, 2000). Máis concretamente observouse que no nordeste do Océano Atlántico existe unha tendencia ó incremento da temperatura dende mediados da década dos 70, en consonancia ca tendencia global (Koutsikopoulos *et al.*, 1998; Brander *et al.*, 2003; Planque *et al.*, 2003; Perry *et al.* 2005; Lemos e Sansó, 2006; Dulvy *et al.*, 2008; Gómez-Gesteira *et al.*, 2008; Michel *et al.*, 2009).

Este incremento da SST no nordeste do Océano Atlántico, unido a outros factores coma o debilitamento da circulación termohalina e o aumento da estratificación, leva asociados cambios nas comunidades e nos ecosistemas mariños (Chus *et al.*, 2011). Así, por exemplo, especies tropicais e subtropicais de peixes están ampliando o seu rango de distribución, aparecendo máis ó norte dende mediados dos anos 70 (Quéro *et al.* 1998; Stebbing *et al.* 2002). Especial atención merecen as zonas costeiras e estuarios xa que son utilizadas por especies de todo tipo coma zonas de refuxio para reproducirse e coma zona de

crecemento antes de alcanzar a madurez. Tendo en conta que a tolerancia térmica das especies en fase xuvenil é menor ca na súa etapa adulta, o incremento na SST, unido a outros factores coma a redución da salinidade (Gosselind and Qian, 1997) está a provocar un aumento da taxa de mortalidade das especies autóctonas, favorecendo a reprodución e o desenvolvemento larval de especies orixinarias de rexións máis cálidas (Walther *et al.*, 2002; Diederich *et al.*, 2005). Estas especies convértense en invasoras favorecendo a degradación e incluso a desaparición de moitos ecosistemas mariños (Harris and Tyrrel, 2001; Frank *et al.*, 2005). Os ecosistemas costeiros son especialmente vulnerables ó cambio climático, xa que ademais de verse afectados polo incremento en SST tamén se ven influenciados por outros factores, coma por exemplo, o aumento do nivel do mar. Estes factores, unidos a que arredor do 20% da pesca mundial ten lugar en rexións próximas a costa, provoca que os impactos socioeconómicos derivados da variación do rango de distribución de especies e da súa abundancia sexan importantes. O incremento na temperatura do Océano Atlántico nesta área aparece como o principal factor á hora de explicar os cambios na abundancia de certas especies de interese, coma por exemplo a solla (*Platichthys flesus*) (Hermant *et al.*, 2010). Outras especies ó redor das cales xira unha importante actividade económica coma son os bivalvos poden sufrir un aumento da taxa de mortalidade como consecuencia do estrés térmico no verán. Thielges (2006) analizou este fenómeno en especies de berberechos, xa que este é o bivalvo máis común nas chairas de marea en Europa.

Un dos factores remotos que ten gran influencia nas características da SST no Atlántico Norte é a Circulación Termohalina (THC), que transporta

auga quente dende os trópicos ata latitudes máis ó norte aumentando a temperatura do Hemisferio Norte en varios grados (Vellinga e Wood, 2002). A THC pode analizarse mediante o índice de Oscilación Multidecadal do Atlántico (AMO), que é un patrón de variabilidade multidecadal da SST centrado no norte do Océano Atlántico cun ciclo entre 35 e 80 anos (Delworth et al., 1993; Timmermann et al., 1998; Kerr, 2000; Dima and Lohmann, 2007). A AMO ten influencia sobre o clima de América do Norte (Sutton e Hodson, 2005), sobre o fluxo dos ríos en U.S. (Enfield et al., 2001) e sobre as choivas no noroeste de Brasil (Folland et al., 2001). Ademais, afecta o número de furacáns e tormentas tropicais que se producen no Atlántico (Goldenberg et al. 2001).

O índice do patrón de teleconexión da Oscilación do Atlántico Norte (NAO), identificado a través da Análise en Componentes Principais Rotados (RPCA) (Barnston e Livezey, 1987), é o principal modo de variabilidade atmosférica na área de estudio. NAO describe unha oscilación meridional a gran escala da masa atmosférica no Atlántico Norte, que ten lugar entre as rexións do anticiclón subtropical das Azores e o sistema de baixas presións subpolar de Islandia (Walker e Bliss, 1932).

Este estudio persegue dous obxectivos: Dun lado coñecer a tendencia da SST na zona do Océano Atlántico situada ó oeste da Península Ibérica (12°W-30°W, 36°N-44°N) ó longo do século pasado e comezos deste. Por outra banda analizar a tendencia que segue a SST costeira ó longo da zona Atlántica na Península Ibérica, dende o este do Golfo de Biscaia ata o Cabo San Vicente, a partir de datos de satélite para o período 1982-2010. Ademais, a variabilidade da SST nestas zonas analizarase en función dos índices da AMO e da NAO.

2. Datos e procedemento

Os datos de SST obtivéronse de dúas bases de datos diferentes pero complementarias. A primeira delas, elaborada pola NOAA, dispoñible no seu sitio web <http://www.cdc.noaa.gov/>, é a Extended Reconstructed Sea Surface Temperature na súa versión 3 (ERRST.v3). A primeira reconstrución global de datos de SST (ERSST) (Smith and Reynolds, 2003) elaborouse en base os datos da Comprehensive Ocean Data Set (COADS), froito de Smith et al. (1996). Esta primeira versión cubría o período 1854-1997, cunha periodicidade mensual e unha resolución espacial de 2° x 2°. Posteriormente aplicáronse diversos filtros e melloras co fin de obter datos máis consistentes e fiables, dando coma resultado dúas versións posteriores, entre elas a utilizada neste traballo, ERSST.v3 (Smith et al., 2008). Esta versión dispón de datos dende 1854 ata a actualidade, cunha cobertura global, periodicidade mensual e unha cobertura espacial de 2° x 2°. Neste estudio tomáronse datos de SST dende os 12°W ata os 30°W e dende os 36°N ata os 44°N, o que supón unha malla cun total de 50 puntos ó oeste da Península Ibérica, para o período 1900-2011. Non se escolleu un número maior de anos porque os datos mostran maior consistencia a partir do ano 1880. Os datos mensuais de SST promediáronse anualmente, abarcando os 50 puntos da malla, e despois de calcular o ciclo anual obtivéronse as anomalías anuais para o período 1900-2011. As fluctuacións nos datos anuais suavizáronse aplicando unha media móbil (± 10 anos) co fin de destacar as tendencias a longo prazo.

A segunda base de datos de SST utilizada é a Advanced Very High Resolution Radiometer (AVHRR) on board NOAA series satellites. Os datos

corresponden á base Pathfinder na súa versión 5.2 (ftp://ftp.nodc.noaa.gov/pub/data.nodc/pathfinder/Version5.2/) cunha cobertura global, periodicidade diaria e resolución espacial de aproximadamente 0.042 x 0.042 grados dende 1982 ata 2010. Tomáronse datos dende os 36°N ata os 44°N e dende 1°W ata 12°W. A área de estudo dividiuse en cinco franxas costeiras (Figura 1), cunha amplitude que abrangue un grado en dirección perpendicular á liña de costa. Para as 5 zonas, partindo dos datos diarios calculouse unha media mensual, tomando polo menos 1000 puntos con valores válidos de SST para cada unha delas. A partir destes datos calculáronse as anomalías co fin de coñecer a tendencia mensual en cada zona.

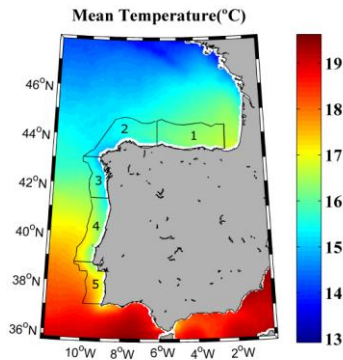


Fig. 1. Área de estudio delimitada en 5 franxas costeiras. Móstrase o valor medio da SST para a zona de estudio no período 1982-2010.

Debido ás condicións climáticas e a erros no sistema de satélite, incluso utilizando unha escala mensual, atópanse ocas baleiros na malla, especialmente durante os meses invernales como consecuencia da presenza de nubes que poden enmascarar grandes áreas. Estes baleiros cubríronse seguindo un proceso repetitivo: i) identificáronse os puntos baleiros, que poden tratarse de zonas continentais ou oceánicas nas que os valores de temperatura válidos non alcanzan o 10% do total de mostras; ii) os puntos pertencentes a áreas

continentais foron eliminados e non se utilizaron para as futuras interpolacións; iii) seleccionáronse unicamente os baleiros correspondentes ó mar; iv) estes puntos baleiros restantes asignóuselles un valor de SST tomando como referencia os puntos veciños, tanto en tempo como en espazo, con valores de SST válidos, de acordo as seguintes expresións:

$$SST_{i,j}^n = \frac{1}{N} \sum (M_{i,j}^{n-1} + M_{i,j}^n + M_{i,j}^{n+1}) \quad (1.a)$$

$$M_{i,j}^n = \begin{pmatrix} \frac{\theta_{i-1,j+1}^n T_{i-1,j+1}^n}{\sqrt{2}} & \theta_{i,j+1}^n T_{i,j+1}^n & \frac{\theta_{i+1,j+1}^n T_{i+1,j+1}^n}{\sqrt{2}} \\ \theta_{i-1,j}^n T_{i-1,j}^n & 0 & \theta_{i+1,j}^n T_{i+1,j}^n \\ \frac{\theta_{i-1,j-1}^n T_{i-1,j-1}^n}{\sqrt{2}} & \theta_{i,j-1}^n T_{i,j-1}^n & \frac{\theta_{i+1,j-1}^n T_{i+1,j-1}^n}{\sqrt{2}} \end{pmatrix} \quad (1.b)$$

$$M_{i,j}^{n\pm 1} = 0.5 \begin{pmatrix} \frac{\theta_{i-1,j+1}^{n\pm 1} T_{i-1,j+1}^{n\pm 1}}{\sqrt{3}} & \frac{\theta_{i,j+1}^{n\pm 1} T_{i,j+1}^{n\pm 1}}{\sqrt{2}} & \frac{\theta_{i+1,j+1}^{n\pm 1} T_{i+1,j+1}^{n\pm 1}}{\sqrt{3}} \\ \frac{\theta_{i-1,j}^{n\pm 1} T_{i-1,j}^{n\pm 1}}{\sqrt{2}} & \theta_{i,j}^{n\pm 1} T_{i,j}^{n\pm 1} & \frac{\theta_{i+1,j}^{n\pm 1} T_{i+1,j}^{n\pm 1}}{\sqrt{2}} \\ \frac{\theta_{i-1,j-1}^{n\pm 1} T_{i-1,j-1}^{n\pm 1}}{\sqrt{3}} & \frac{\theta_{i,j-1}^{n\pm 1} T_{i,j-1}^{n\pm 1}}{\sqrt{2}} & \frac{\theta_{i+1,j-1}^{n\pm 1} T_{i+1,j-1}^{n\pm 1}}{\sqrt{3}} \end{pmatrix} \quad (1.c)$$

Onde o sumatorio fai referencia a tódolos elementos da matriz M. T é a SST obtida do satélite, θ é a función da posición (i,j) e do tempo (n) que pode tomar dous valores: 0 cando o punto corresponde a un baleiro e 1 cando existe un valor válido para o punto. A importancia de cada punto veciño á hora de asignar o valor de SST a un punto baleiro asignouse en función da distancia en píxeles, outorgando maior importancia ó espazo que ó tempo. Finalmente, o valor normalizado, N, é a suma de tódolos termos da forma θ/\sqrt{m} , con m=1,2,3 o ∞ , dependendo do seu peso; v) os pasos iii) e iv) repetíronse ata encher tódolos baleiros. Aínda que este método é diferente ó utilizado por outros autores (Gomez-Gesteira et al., 2008; Relvas et al., 2009) os resultados obtidos son similares.

Co fin de coñecer a influencia dos factores de forzamento remotos realizáronse correlacións entre os índices AMO e NAO e os valores de SST. Tradicionalmente o cálculo do índice AMO realízase tomando a media

da anomalía da SST para a zona norte do Ecuador do Atlántico Norte (Enfield, 2001). Os datos do índice AMO para o período 1982-2010 obtivéronse do sitio web

<http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/climateindices/list/> onde están dispoñibles a escala mensual dende o ano 1856. Este índice calculouse coma a media da anomalía da SST para a rexión do Atlántico Norte.

Os datos do índice NAO obtivéronse a través do Climate Prediction Center (CPC) at the National Center of Environmental Prediction (NCEP) (<http://www.cpc.noaa.gov>). Estes datos están dispoñibles a escala mensual e con cobertura global dende 1950 ata a actualidade. Neste estudio, tomouse o índice NAO para o inverno (decembro-marzo), que é cando o modo é máis intenso e está mellor definido, dende 1982 ata 2010.

Para coñecer a significancia das tendencias e das correlacións que figuran neste estudio utilizouse o coeficiente de correlación de Spearman, pola súa robustez á desviacións e a súa resistencia á influencia dos valores extremos.

3. Resultados

Os datos de SST para o período 1900-2011 mostran unha tendencia ó incremento (0.05°C por década) na zona do Océano Atlántico situada ó oeste da Península Ibérica ($36^{\circ}\text{N} - 12^{\circ}\text{W}$, $44^{\circ}\text{N} - 30^{\circ}\text{W}$). Este incremento non é uniforme xa que se observa un comportamento cíclico con dous períodos de quentamento de intensidade moi similar interrompidos por un período de arrefriamento (Figura 2). No primeiro período de quentamento (1900-1938) detectouse un incremento na SST de 0.19°C por década, mentres que no segundo período de quentamento (1973-2011) o incremento observado foi de

0.25°C por década. O período de arrefriamento (1939-1972) mostra un decrecemento de -0.16°C por década, sendo a súa intensidade menor que a que presentan os períodos de quecemento.

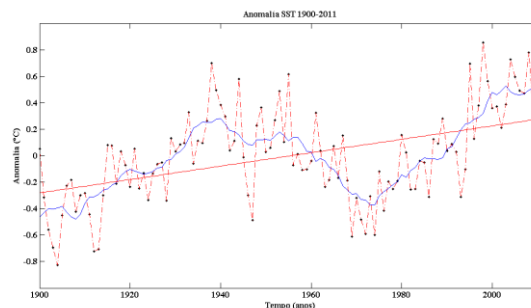


Fig. 2. Evolución da anomalía de SST para o período 1900-2011 na zona do Océano Atlántico situada ó oeste da Península Ibérica. A liña azul é o resultado de aplicar unha media móbil (± 10 anos) os valores das anomalías (puntos negros).

Os resultados obtidos están en consonancia cos datos recollidos no Panel Intergubernamental para o Cambio Climático (2007) para un período de estudo similar. A tendencia global na zona de estudo para o período 1900-2011 (0.05°C por década) está en consonancia co incremento para o Hemisferio Norte observado por Rayner *et al.* (2006) para o período 1901-2005 ($0.071 \pm 0.029^{\circ}\text{C}$ por década) e por Rayner *et al.* (2003) para o mesmo período ($0.065 \pm 0.020^{\circ}\text{C}$ por década). Ademais, os ciclos de quecemento e arrefriamento observados ó longo do século pasado e comezos deste tamén foron analizados en zonas próximas á zona de estudo, coma por exemplo o Golfo de Biscaia. Nesta zona, deCastro *et al.* (2009) detectaron tamén tres ciclos na variación da tendencia da SST ó longo do século pasado, dous de quecemento: 1910-1945 (0.17°C por década) e 1974-2007 (0.22°C por década) e un de arrefriamento 1945-1974 (-0.10°C por década). Tanto a magnitude dos valores obtidos coma os anos que abrangue cada ciclo son moi similares os resultados obtidos neste

estudio, a pesar de que as tendencias son sempre lixeiramente superiores neste caso.

A tendencia da SST ó longo da franxa costeira Atlántica da Península Ibérica para o período 1982-2010 móstrase na figura 3. Os puntos sinalan as zonas e os meses nos que a significancia é superior ó 95%. O maior incremento ten lugar na primavera e no verán para tódalas zonas, con valores de incremento case sempre superiores a 0.3°C por década.

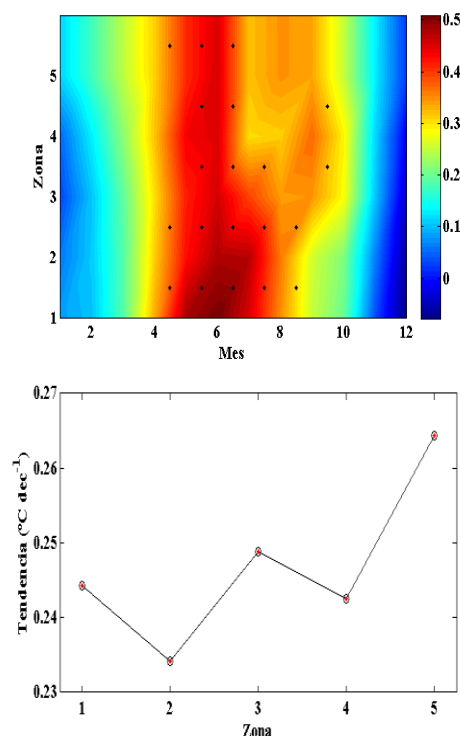


Fig. 3. Tendencia ($^{\circ}\text{C dec}^{-1}$) para cada unha das zonas da franxa Atlántica da Península Ibérica para o período 1982-2010. (a) Tendencia a escala mensual. Os puntos indican unha significancia do 95%. (b) Tendencia global para cada zona. Puntos cunha significancia superior ó 95% sinaláanse cun círculo.

A maior intensidade alcanza os 0.5°C por década, nas zonas situadas máis ó este entre a primavera e o verán. Durante o inverno e o outono o incremento nunca é significativo e a súa intensidade é menor respecto as outras estacións. Atendendo a tendencia global para cada unha das zonas (Figura 3b) o maior incremento ten lugar na situada máis ó sur (zona 5), aínda que tódalas

zonas alcanzan valores próximos, entre 0.23 e 0.27°C por década.

Na figura 4 preséntase a variación interanual dos valores da anomalía da SST para as cinco zonas da franxa costeira estudada.

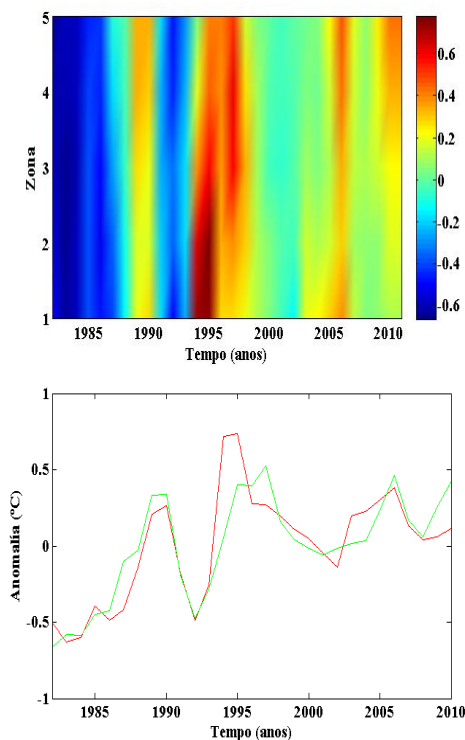


Fig. 4. (a) Evolución a escala anual da anomalía da SST para as cinco zonas en que se dividiu a franxa costeira Atlántica da Península Ibérica para o período 1982-2010. (b) Comparación da evolución interanual de SST entre a zona 1 (vermello) e a zona 5 (verde).

Durante a década dos 80 e ata mediados dos 90, prevalecen de maneira maioritaria as anomalías negativas na totalidade das zonas, acadando valores de ata -0.6. Sen embargo, dende mediados dos 90, momento no que se rexistran os valores positivos de anomalía máis altos, especialmente nas zonas máis ó nordeste (en torno a 0.6), ata a actualidade, predominan as anomalías positivas. Nos últimos anos a tendencia ó incremento é algo superior nas zonas máis ó sur, sendo algo menor nas situadas no Golfo de Biscaia (Figura 4b).

Co fin de analizar a variabilidade interdecadal da SST aplicouse unha

media móbil de 21 anos, centrada en cada ano da serie. Dos anos anteriores a 1992 e dos posteriores o 2000 non se obtiveron resultados xa que non son elementos centrais da serie e non é posible abarcar un período de 21 anos. Os resultados obtidos (Figura 5) mostran unha tendencia positiva para a maioría da zona de estudo, alcanzando nas primeiras décadas os valores máis intensos (ata 0.4°C por década) e diminuíndo paulatinamente a intensidade, chegando incluso na última década a contar con valores de tendencia negativos na zona 2 (área punteada).

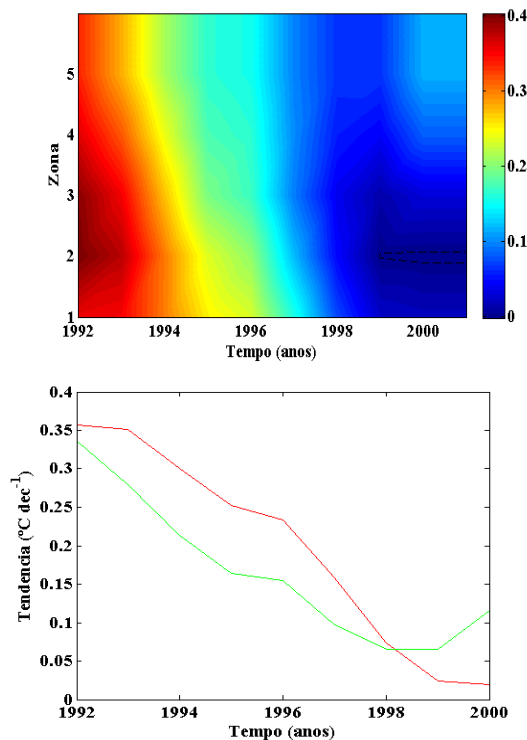


Fig. 5. Variabilidade da SST en función da tendencia calculada aplicando unha media móbil de 21 anos centrada en cada un dos anos da serie. (a) Gráfico para as cinco zonas. (b) Comparación entre a zona 1 (vermello) e a zona 5 (verde).

Atendendo a figura 5b, obsérvanse certas diferenzas na variabilidade decadal da tendencia entre as dúas zonas situadas nos extremos da zona de estudo. Durante as primeiras décadas a zona situada máis ó sur (zona 5) conta cuns valores menores de incremento (liña verde). Sen embargo, na última

década a situación é inversa, posto que o crecemento da SST é maior na zona 5 ca na zona 1 (liña vermella), onde a tendencia segue a diminuír ata acadar un valor próximo a 0.

As variacións nas tendencias da SST ó longo do período de estudo poden explicarse tendo en conta cambios nos patróns atmosféricos, relacionados ca evolución dos principais modos de variabilidade climática. No caso da zona de estudo o principal é a Oscilación do Atlántico Norte (NAO). Na figura 6a representáanse os valores do índice NAO (liña negra) xunto as anomalías na SST das zonas 1 (liña vermella) e 5 (liña verde). Aínda que a simple vista non se pode afirmar que exista unha clara correlación entre o índice NAO e os valores de SST para todo o período de estudo, a análise dos valores de correlación (Figura 6b) mostra valores significativos de correlación para dous subperíodos: 1982-1995 e 1997-2010. Dende 1982 ata 1995 (liña sólida) existe unha correlación positiva entre o índice NAO e a SST, mentres que durante o período 1997-2010 (liña descontinua) a correlación é negativa. Esta variación pode deberse o cambio de fase da NAO detectado nos anos 1995-1996 (Halpert and Bell, 1997).

Tódolos valores de correlación contan cun nivel de significancia superior ó 95% (cadrados), ca excepción da zona 5, onde é superior ó 90% (círculos). Os valores de correlación positivos (1982-1995) están en torno a un valor de 0.5 para tódalas zonas, mentres que os valores de correlación negativos (1997-2010) son algo superiores para a zona 1, en torno a -0.8, que para a zona 5, a situada máis ó sur onde acada un valor de aproximadamente -0.5.

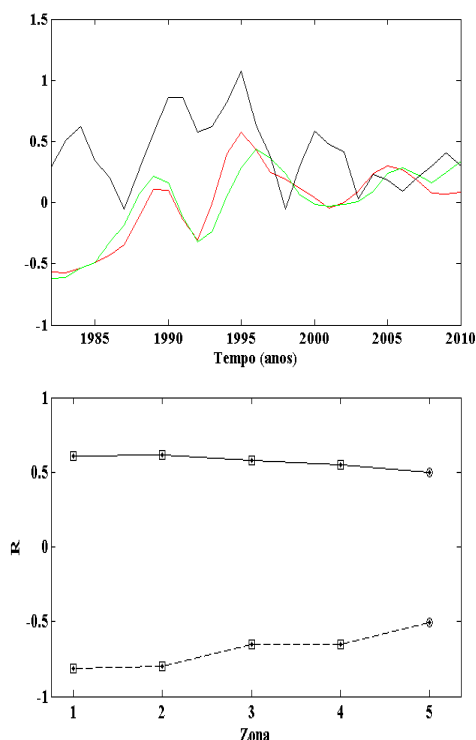


Fig. 6. (a) Evolución temporal do índice NAO (negra) e anomalías da SST na zona 1 (vermello) e na zona 5 (verde). Aplicouse unha media móbil co ano anterior e posterior para suavizar a serie. (b) Coeficiente de correlación do índice NAO e a SST para o período 1982-1995 (liña sólida) e 1997-2010 (liña descontinua). Os círculos (cadrados) indican un nivel de significancia do 90% (95%). As correlacións entre a NAO e a SST establecéronse considerando un ano de retraso.

O índice AMO, como se dixo anteriormente, aporta información acerca de cambios na SST no Atlántico Norte. Este índice AMO e a anomalía da SST presentan unha correlación significativa positiva nas diferentes zonas (Figura 7), sendo o valor de dita correlación sempre superior a 0.62 e algo maior nas zonas situadas máis ó sur, chegando a superar o valor de 0.7 na zona 5.

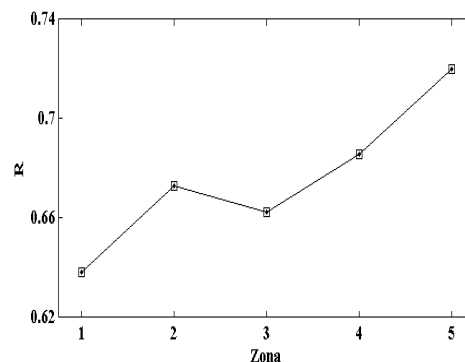


Fig. 7. Coeficiente de correlación do índice AMO e a SST para o período 1982-2010. Os cadrados (círculos) indican un nivel de significancia superior ó 95% (90%).

4. Conclusións

A análise dos datos de SST na área do Océano Atlántico situada ó oeste da Península Ibérica (36°N – 12°W, 44°N – 30°W) e na franxa costeira Atlántica da mesma achéganos as seguintes conclusións:

1. Durante o período 1900-2011 a SST mostra un comportamento cíclico na parte do Océano Atlántico situada ó oeste da Península Ibérica. Así, para os períodos 1900-1938 e 1973-2011 tivo lugar un quentamento, de maior intensidade no segundo período. Sen embargo, entre eses dous períodos (1939-1972) tivo lugar un arrefriamento, o que non evita que a tendencia global resultante sexa de quecemento (0.05°C por década).
2. Ó longo da franxa costeira Atlántica da Península Ibérica produciuse un incremento da SST do orde de 0.25°C por década para o período 1982-2010, mostrando un comportamento espacialmente homoxéneo en toda a franxa costeira. Dito incremento é especialmente intenso e

significativo durante a primavera e o verán, chegando a alcanzar unha taxa de incremento de 0.5°C por década na zona máis ó nordeste.

3. O incremento da SST na franxa costeira non é homoxéneo no tempo. Atendendo a variación interanual da SST, nos primeiros anos de estudio prevalecen os anos onde a tendencia é negativa, sen embargo, a mediados da década dos 90 prodúcese un cambio rexistrándose os maiores incrementos en toda a franxa costeira estudada para o período 1982-2010. Ademais, a tendencia ó incremento reduciuse na última década para toda a zona de estudio, chegando a ser negativa nalgunha zona.
4. Tanto o índice da NAO coma o índice da AMO mostran correlacións significativas cos datos de SST para o período 1982-2010. No caso do índice NAO existe unha correlación positiva ata mediados da década dos 90, sendo negativa a partir destes anos, o que se relaciona co cambio de fase da NAO nos anos 1995-1996. Mentres que o índice AMO correlaciónase positivamente ca SST ó longo de toda a franxa costeira Atlántica da Península Ibérica.

Agradecementos

Este traballo foi financiado polo Campus de Excelencia Internacional “Campus do Mar” dentro do programa, “Bolsas de Máster Campus do Mar”.

Referencias

- Barnston A. G., and R. E. Livezey, 1987. Classification, seasonality and persistence of low-frequency atmospheric circulation patterns. *Mon. Wea. Rev.*, 115, 1083-1126.
- Brander K, Blom G, Borges MF, Erzini K, Henderson G, MacKenzie BR, Mendes H, Ribeiro J, Santos AMP, Toresen R., 2003. Changes in fish distribution in the eastern North Atlantic: are we seeing a coherent response to changing temperature? *ICES Marine Science Symposia*, 219, 261–270.
- Casey, K.S., Cornillon, P., 2001. Global and regional sea-surface temperature trends. *Journal of Climate*, 14, 3801–3818.
- Chust G, Borja Á, Caballero A, Irigoien X and others., 2011. Climate change impacts on coastal and pelagic environments in the southeastern Bay of Biscay. *Clim. Res.*, 48, 307-332.
- deCastro M, Gómez-Gesteira M, Alvarez I, Gómez-Gesteira JL., 2009. Present warming within the context of cooling–warming cycles observed since 1854 in the Bay of Biscay. *Cont. Shelf Res.*, 29, 1053–1059.
- Delworth, T.L., Manabe, S., Stouffer, R.J., 1993. Interdecadal variability of the thermohaline circulation in a couple ocean-atmosphere model. *Journal of Climate*, 6, 1993-2001.
- Diederich, S., G. Nehls, J. E. E. van Beusekom, and K. Reise., 2005. Introduced Pacific oyster (*Crassostrea gigas*) in the northern Wadden Sea: Invasion accelerated by warm summers?, *Helgoland Mar. Res.*, 59, 97–106.
- Dima, M., Lohmann, G., 2007. A hemispheric mechanism for the Atlantic Multidecadal Oscillation. *Journal of Climate*, 20, 2706-2719.

- Dulvy NK, Rogers SI, Jennings S, Stelzenmüller V, Dye SR, Skjoldal HR., 2008. Climate change and deepening of the North Sea fish assemblage: a biotic indicator of warming seas. *J. Appl. Ecol.*, 45, 1029–1039.
- Enfield, D.B., Mestas-Nuñez, A.M., Trimble, P.J., 2001. The Atlantic multidecadal oscillation and its relation to rainfall and river flows in the continental U.S.. *Geophysical Research Letters* 28, 10, 2077-2080.
- Folland, C., Parker, D., Kates, F., 1984. Worldwide marine temperature fluctuations 1856–1981. *Nature*, 310, 670–673.
- Folland, C., Parker, D., Karl, T., Vinnikov, K., 1990. Observed climate variations and change. In: Houghton, J., Jenkins, G., Ephraums, J. (Eds.), *Climate Change: The IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, pp. 195–238.
- Folland, C., Nicholls, N., Nyenzi, B., Parker, B., Vinnikov, K., 1992. Observed climate variability and change. In: Houghton, J., Jenkins, G., Ephraums, J. (Eds.), *Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment*. Cambridge University Press, pp. 135–170.
- Folland, C.K., et al., 2001. Global temperature change and its uncertainties since 1861. *Geophysical Research Letters*, 28 (13), 2621–2624.
- Frank, K. T., B. Petrie, J. S. Choi, and W. C. Leggete., 2005. Trophic cascades in a formerly cod-dominated ecosystem, *Science*, 308, 1621–1623.
- Gómez-Gesteira M, deCastro M, Alvarez I, Gómez-Gesteira JL., 2008. Coastal sea surface temperature warming trend along the continental part of the Atlantic Arc (1985–2005). *J. Geophys Res. C: Oceans* 113(4), art no C04010.
- Goldenbergn, S.B., Landsea, C.W., Mestas-Nuñez, A.M., Gray, W.M., 2001. The recent increase in Atlantic hurricane activity: Causes and implications. *Science*, 293, 474-479.
- Gosselin, L. A., and P. Y. Qian., 1997. Juvenile mortality in benthic marine invertebrates, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 146, 265–282.
- Harris, L. G., and M. C. Tyrrell., 2001. Changing community states in the Gulf of Maine: Synergism between invaders, overfishing and climate change, *Biol. Invasions*, 3, 9–21.
- Halpert, M. S., and G. D. Bell., 1997: *Climate Assessment for 1996*. Bull. Amer. Met. Soc., 78, S1-S49.
- Hermant M, Lobry J, Bonhommeau S, Poulard JC, Le Pape O., 2010. Impact of warming on abundance and occurrence of flatfish populations in the Bay of Biscay (France). *J Sea Res* 64, 45–53.
- Intergovernmental Panel on Climate Change. 2007. *Climate Change 2007: the physical science basis*. Contribution of Working Group 1 to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental panel on Climate Change, Cambridge University Press, Cambridge, UK.
- Kerr, R.A., 2000. A North Atlantic climate pacemaker for the centuries. *Science*, 288 (5473), 1984-1986.
- Koutsikopoulos C, Beillois P, Leroy C, Taillefer F., 1998. Temporal trends and spatial structures of the sea surface temperature in the Bay of Biscay. *Oceanol Acta* 21, 335–344.
- Michel S, Vandermeirsch F, Lorance P., 2009. Evolution of upper layer temperature in the Bay of Biscay during the last 40 years. *Aquat Living Resour* 22, 447–461.
- Nerem, R. S., D. P. Chambers, E. W. Leuliette, G. T. Mitchum, and B. S. Giese., 1999. Variations in global mean sea level associated with the 1997–1998 ENSO event: Implications for measuring long-term

- sea level change, *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3005-3008.
- Nicholls, N., Gruza, G.V., Jouzel, J., Karl, T., Ogallo, L., Parker, D., 1996. Observed climate variability and change. In: Houghton, J., Jenkins, G., Ephraums, J. (Eds.), *Climate Change 1995: The Science of Climate Change*. Cambridge University Press, pp. 133–192.
- Lemos, R. T., and B. Sansó., 2006. Spatio-temporal variability of ocean temperature in the Portugal Current System, *J. Geophys. Res.*, 111, C04010, doi:10.1029/2005JC003051.
- Levitus, S., and T. Boyer., 1994. Temperature, in *World Ocean Atlas 1994*, NOAA Atlas NESDIS, vol. 4, edited by M. E. Conkright, S. Levitus, and T. P. Boyer, 117, pp., NOAA, Washington, D.C.
- Levitus, S., J. I. Antonov, P. B. Timothy, and C. Stephens (2000), Warming of the World Ocean, *Science*, 287, 2225– 2229.
- Levitus S, Antonov J, Boyer T, Locarnini RA, Garcia HE, Mishonov AV., 2009. Global ocean heat content 1955–2008 in light of recently revealed instrumentation problems. *Geophys Res Lett* 36:L07608 doi:10.1029/ 2008 GL 037155.
- Paltridge, G., Woodruff, S., 1981. Changes in global surface temperature from 1880 to 1977 derived from historical records of sea surface temperature. *Monthly Weather Review*, 109, 2427–2434.
- Parker, D.E., Jones, P., Folland, C., Bevan, A., 1994. Interdecadal changes of surface temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research*, 99, 14339–14373.
- Perry AL, Paula JL, Ellis JR, Reynolds JD., 2005. Climate change and distribution shifts in marine fishes. *Science*, 308, 1912–1915.
- Planque B, Beillois P, Jégou AM, Lazure P, Petitgas P, Puillat I., 2003. Large scale hydroclimatic variability in the bay of Biscay. the 1990 s in the context of interdecadal changes. *ICES Mar Sci Symp.*, 219, 61–70.
- Quéro JC, Du Buit MH, Vayne JJ., 1998. The records of tropical fishes and the warming of the European Atlantic waters. *Oceanol Acta* 21, 345–351.
- Rayner, N.A., Parker, D.E., Horton, E.B., Folland, C.K., Alexander, L.V., Rowell, D.P., Kent, E.C., Kaplan, A., 2003. Global analyses of sea surface temperature, sea ice, and night marine air temperature since the late nineteenth century. *Journal of Geophysical Research*, 108, 4407.
- Rayner, N.A., et al., 2006. Improved analyses of changes and uncertainties in sea surface temperature measured in situ since the mid-nineteenth century: the HadSST2 data set. *Journal of Climate*, 19, 446–469.
- Relvas, P., Luis, J. and Santos, A.M.P., 2009. Importance of the mesoscale in the decadal changes observed in the northern Canary upwelling system. *Geophys. Res. Lett.*, 36, L22601, doi:10.1029/2009GL040504.
- Reynolds, R. W., T. M. Smith, C. K. Folland, and D. E. Parker., 1989. Biases in satellite-derived sea-surface-temperature data, *Nature*, 341, 728–731.
- Reynolds, R. W., and T. M. Smith., 1995. A high-resolution global sea surface temperature climatology, *J. Clim.*, 8, 1571– 1583.
- Smith, T.M., Reynolds, R.W., Ropelewski, C.F., 1994. Optimal averaging of seasonal sea-surface temperatures and associated confidence intervals (1860–1989). *Journal of Climate*, 7, 949–964.
- Smith, T.M., Reynolds, R.W., Livezey, R.E., Stokes, D.C., 1996. Reconstruction of historical sea-surface temperatures using empirical

- orthogonal functions. *Journal of Climate*, 9, 1403–1420.
- Smith, T.M., Reynolds, R.W., 2003. Extended reconstruction of global sea-surface temperatures based on COADS data (1854–1997). *Journal of Climate*, 16, 1495–1510.
- Smith, T.M., Reynolds, R.W., Peterson, T.C., Lawrimore, J., 2008. Improvements to NOAA’s historical merged land–ocean surface temperature analysis (1880–2006). *Journal of Climate*.
- Stebbing ARD, Turk SMT, Wheeler A, Clarke KR., 2002. Immigration of southern fish species to south-west England linked to warming of the North Atlantic (1960–2001). *J. Mar. Biol. Assoc. UK*, 82, 177–180.
- Strong, A.E., Kearns, E.J., Gjovig, K.K., 2000. Sea-surface temperature signals from satellite—an update. *Geophysical Research Letters*, 27, 1667–1670.
- Sutton, R.T., Hodson, D.L.R., 2005. Atlantic Ocean forcing of North American and European summer climate. *Science*, 290, 2133–2137.
- Thieltges, D. W. (2006), Parasite induced summer mortality in the cockle *Cerastoderma edule* by the trematode *Gymnophallus choledochus*, *Hydrobiologia*, 559(1), 455–461.
- Timmermann, A., Latif, M., Voss, R., Grötzner, A., 1998. Northern hemispheric interdecadal variability: A coupled air-sea mode. *Journal of Climate*, 11, 1906–1931.
- Vellinga, M., Wood, R.A., 2002. Global climatic impacts of a collapse of the Atlantic thermohaline circulation. *Climate Change*, 54, 251–267.
- Walker, G. T., and E. W. Bliss., 1932. *World Weather V. Mem. Roy. Meteor. Soc.*, 4, No. 36, 53–84.
- Walther, G. R., E. Post, P. Convey, A. Menzel, C. Parmesan, T. J. C. Beebee, J. M. Fromentin, O. Hoegh-Guldber, and F. Bairlein (2002), Ecological responses to recent climate change, *Nature*, 416, 389–395.
- Woodruff, S., R. Slutz, R. Jenne, and P. Steurer., 1987. A comprehensive ocean-atmosphere data set, *Bull. Am. Meteorol. Soc.*, 68, 1239–1250.