

Impacto del cambio climático sobre la intensidad del afloramiento en la costa gallega

N. CASABELLA^{1*}, J.J. TABOADA² y M.N. LORENZO¹

**nu.casabella@gmail.com*

¹*EPhysLab, Facultad de Ciencias, Universidade de Vigo, España*

²*MeteoGalicia. Xunta de Galicia. Santiago de Compostela, España*

RESUMEN

Galicia está situada en el extremo norte del sistema de afloramiento de Canarias. Este fenómeno es muy relevante tanto para la dinámica propia del medio marino como desde un punto de vista socioeconómico, puesto que la fertilización de las aguas costeras hace que la productividad de las mismas aporte un importante valor añadido a la sociedad. Sin embargo, el cambio climático en el que estamos inmersos en la actualidad puede hacer cambiar la intensidad de este fenómeno y tener por lo tanto repercusiones en el futuro. El objetivo de este trabajo será el estudio de las posibles tendencias del afloramiento costero en las próximas décadas usando para ello los resultados de 3 modelos regionales de cambio climático ejecutados en el marco del proyecto europeo ENSEMBLES. Los resultados de los modelos muestran una tendencia positiva en el afloramiento hacia el futuro durante los meses de primavera y verano en la costa atlántica. Sin embargo se deben tomar estos resultados con cautela puesto que en el clima actual las estimaciones de los modelos están en general por debajo de las estimaciones realizadas por los reanálisis, si bien en ambos casos se observa una ausencia de tendencias en el clima actual.

Palabras Clave: índice de afloramiento, modelo de circulación general, modelos regionales, reanálisis.

1. Introducción

Los mares costeros son entre dos y cinco veces más productivos biológicamente que el mar abierto y aunque no todas las aguas por debajo de la superficie son ricas en nutrientes y por consiguiente no todos los fenómenos de afloramiento conllevan una mayor proliferación biológica, en gran parte esta mayor productividad biológica se debe a fenómenos de afloramiento. De hecho, alrededor del 90% de las zonas de pesca del mundo se concentran en el 2-3% del área total de los océanos, mayoritariamente zonas donde se producen fenómenos de

afloramiento costero. Conocer en profundidad cómo, cuándo y dónde se producen los fenómenos de afloramiento es por lo tanto de gran utilidad, principalmente para la actividad pesquera (Álvarez, 2005).

Galicia cuenta con una línea de costa con más de 1600 km, bañada por el mar Cantábrico y el océano Atlántico. El afloramiento en la costa gallega forma parte de un sistema general que se extiende a lo largo de la costa este del Atlántico norte desde aproximadamente 7.5 hasta 44 °N (Wooster *et al.*, 1976). Para su estudio, la costa gallega se puede dividir en tres regiones, la costa oeste que se extiende desde el norte de

Portugal hasta Cabo Fisterra, con un ángulo de aproximadamente 90° relativo al Ecuador; la costa intermedia desde Cabo Fisterra hasta Estaca de Bares, con un ángulo aproximado de 55°; y la costa norte, aproximadamente paralela al Ecuador.

El estudio de la dirección e intensidad del viento es muy importante para caracterizar el afloramiento. Entre abril y septiembre, los vientos predominantes del norte son favorables al afloramiento (Wooster *et al.*, 1976; Bakun y Nelson, 1991), e inducen al desplazamiento de aguas superficiales hacia el océano abierto y a la renovación por aguas profundas, normalmente más frías y ricas en nutrientes. Además de este afloramiento de primavera-verano, este fenómeno también puede ocurrir en invierno (Álvarez *et al.*, 2003). Este afloramiento en invierno ocurre bajo las mismas condiciones que en verano, por lo que tiene lugar con menor frecuencia. Según Bakun (1990), debido al calentamiento global y al aumento de los gases de efecto invernadero, se producirá un mayor gradiente térmico entre las masas continentales y oceánicas que dará lugar a una intensificación de los vientos favorables al afloramiento, por lo que se intensificará el afloramiento en los sistemas costeros de Canarias, California, Benguela y Perú. En este trabajo, Bakun (1990) también mostró que en el período de 1945 a 1985 hubo una intensificación de los vientos en los sistemas de afloramiento costero de California, Perú y Canarias (Marruecos e Iberia). Los registros en núcleos de sedimentos de Marruecos muestran un enfriamiento anómalo y sin precedentes del agua de la superficie del mar durante el siglo XX, lo cual es consistente con un aumento del afloramiento en el sistema de Canarias (McGregor *et al.*, 2007). En contra de este resultado, varios estudios recientes de tendencias en vientos y temperaturas

sugieren una reducción del afloramiento en la costa oeste ibérica (extremo norte del sistema de afloramiento de Canarias) (Lemos y Pires, 2004; Lemos y Sansó, 2006; Álvarez *et al.*, 2008; Álvarez-Salgado *et al.*, 2008). Además, Ruiz *et al.* (2009), indican una disminución de la intensidad y duración del afloramiento en los últimos 40 años debido a los cambios en el régimen de vientos, con una reducción significativa de la duración del período favorable al afloramiento en un 30% y de su intensidad en un 45%.

Los objetivos del presente trabajo son examinar la intensidad del afloramiento en el período 2061-2090 y compararla con la del período 1961-1990, y ver si los modelos corroboran en el clima actual los cambios que algunos autores han observado. Para ello se hará uso de modelos climáticos a nivel regional, concretamente de los resultados obtenidos en el proyecto ENSEMBLES. Se estudiarán los valores del índice de afloramiento (UI) en nueve puntos de la costa gallega según tres modelos regionales (RCM) y se analizará la tendencia tanto anual como mensual y en los distintos períodos de afloramiento (abril-septiembre) y no afloramiento (octubre-marzo). Esto se hará para las últimas décadas del presente siglo (2061-2090) y se comparará con los valores de las últimas décadas del siglo pasado (1961-1990). A continuación se examinará la serie completa entre 1961 y 2090 para evaluar las tendencias en dicho período. Además, para el período 1961-1990, se analizará la validez de los resultados de los modelos RCM's conducidos por modelos de circulación general comparándolos con los datos de dichos modelos regionales cuando son conducidos por los datos del reanálisis ERA-40, que equivaldría a la situación real.

2. Materiales y Métodos

Nuestro estudio se centrará tal y como comentamos en la introducción en el afloramiento que tiene lugar en Galicia. Dicha zona está situada en la región más occidental del continente europeo, en el extremo noroeste de la península Ibérica. Sus costas están bañadas por aguas del Océano Atlántico en el oeste y el Mar Cantábrico al norte.

Para hacer el presente trabajo se utilizaron los resultados de los modelos del proyecto ENSEMBLES, que tiene como uno de sus objetivos desarrollar un conjunto de predicciones de cambio climático para el futuro teniendo en cuenta los últimos desarrollos de modelos tanto de circulación general (GCM's) como regionales (RCM's). En dicho proyecto se ejecutaron una serie de modelos climáticos a nivel regional, conducidos por diferentes modelos climáticos a nivel global.

Los modelos han sido ejecutados bajo el escenario A1B o intermedio de cambio climático, que supone un crecimiento económico muy rápido, con una población mundial que alcanza un máximo a mediados de siglo y que después desciende, con una rápida disponibilidad de tecnologías más eficientes y con menor consumo energético y además supone una rápida convergencia entre las distintas regiones del mundo, facilitada por las mejores comunicaciones. La política energética supuesta en este escenario adopta un equilibrio entre todos los tipos de fuentes de energía, sin depender demasiado de una en particular y supone que la razón de mejora es similar en las tecnologías de suministro de las mismas.

En concreto, para el desarrollo de este trabajo se han utilizado tres modelos regionales (RCM's) conducidos por un único modelo global (GCM). Como GCM para conducir los diferentes RCM's se eligió el ECHAM5,

desarrollado por el Instituto Max Planck de Meteorología de Hamburgo, cuyos resultados en las latitudes medias del Atlántico norte son muy destacables (van Ulden and van Oldenborgh, 2006). Los modelos RCM escogidos fueron el RACMO, desarrollado en el Real Instituto Meteorológico de Holanda; el REMO, del Instituto Max Planck de Meteorología de Hamburgo; y el RCA, desarrollado en el Rossby Centre del Centro Meteorológico de Suecia. Por último, compararemos los resultados de estos modelos conducidos por el ECHAM5 con los obtenidos cuando las condiciones de contorno de los mismos son dadas por el reanálisis ERA-40.

Los datos que se analizarán para el estudio serán las componentes zonal (WU) y meridional (WV) de la velocidad del viento, para así poder calcular las componentes del transporte de Ekman y el índice de afloramiento. Se entiende por índice de afloramiento (UI) a la cantidad de agua desplazada a lo largo de un transecto paralelo a la costa, perpendicularmente a la misma, de forma que índices positivos indican transportes desde la costa e índices negativos hacia la costa. Este análisis se hará para el período de 1961 a 2090.

A partir de los datos de viento se han calculado las componentes del transporte de Ekman (Q_x , Q_y) en nueve puntos situados a lo largo de la costa gallega (Figura 1) para los períodos anteriormente indicados. Los tres primeros puntos se han situado en la costa oeste (41.93 °N, 350.96 °E; 42.42 °N, 350.99 °E; 42.75 °N, 350.74 °E). Otros tres puntos se han situado en la costa intermedia, entre el Cabo Fisterra y Estaca de Bares (43.18 °N, 350.60 °E; 43.52 °N, 351.31 °E; 43.83 °N, 351.90 °E). Los tres últimos se encuentran en la costa norte desde Estaca de Bares hasta el comienzo de la costa de Asturias (43.84 °N, 352.33 °E; 43.67 °N, 352.99 °E; 43.67 °N, 353.66 °E).

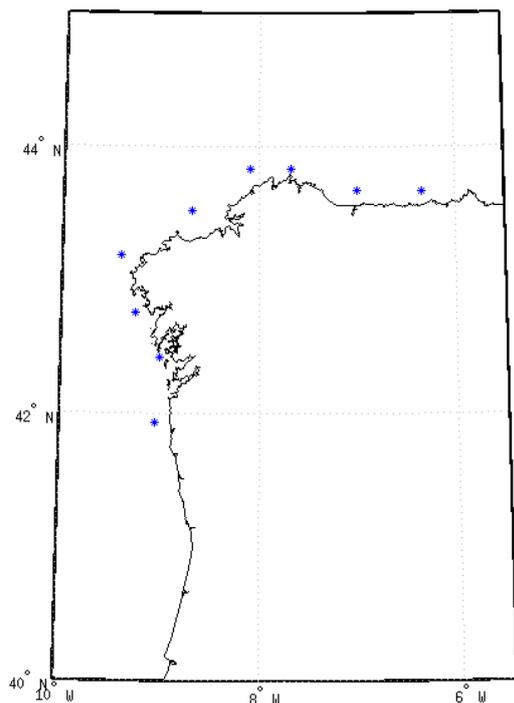


Fig. 1. Puntos del área de estudio.

El cálculo de UI dependerá de la orientación de la costa que se esté considerando. En zonas costeras la circulación debida al viento es compleja debido a la influencia de la tierra ya que la línea de costa no es regular. Esto hace que el afloramiento no sea totalmente uniforme a lo largo de la costa (Lazure & Jegou *et al.*, 1998).

Los valores del transporte de Ekman fueron calculados de acuerdo con Bakun (1973):

$$Q_x = \frac{\tau_y}{f\rho 1000} \quad (1)$$

$$Q_y = -\frac{\tau_x}{f\rho 1000} \quad (2)$$

donde Q_x y Q_y son los transportes de Ekman a lo largo de los ejes x e y, respectivamente, en $m^3s^{-1}km^{-1}$, ρ es la densidad del agua ($1025 kg m^{-3}$), f es el factor de Coriolis (dependiente de la latitud) en s^{-1} , y τ_x y τ_y son las componentes de la fuerza del viento sobre el mar, que fueron calculadas usando las siguientes ecuaciones:

$$\tau_x = \rho_a C_d W U \quad (3)$$

$$\tau_y = \rho_a C_d W V \quad (4)$$

donde ρ_a es la densidad del aire ($1.2 kg m^{-3}$) y C_d es el coeficiente de arrastre adimensional ($1.4 \cdot 10^{-3}$).

Una vez obtenidos los valores de Q_x y Q_y , el índice de afloramiento puede ser calculado como la componente del transporte de Ekman en la dirección perpendicular a la línea de costa (Bakun, 1973; Nykjaer and Van Camp, 1994; Gómez-Gesteira *et al.*, 2006) mediante la siguiente fórmula:

$$UI = Q_{\perp} = -Q_x \sin \theta + Q_y \cos \theta \quad (5)$$

donde $\theta = \frac{\pi}{2} + \varphi$, y φ es el ángulo del vector unitario perpendicular a la línea de costa apuntando hacia la tierra con el Ecuador. Las unidades del índice de afloramiento serán las mismas que las del volumen de agua transportado, $m^3 s^{-1} km^{-1}$.

Para el cálculo de la significancia estadística de las tendencias en el afloramiento se ha utilizado el test de Mann-Kendall.

3. Resultados

Para realizar los cálculos del índice de afloramiento se comenzó utilizando los modelos RCM's considerando como condiciones de contorno los reanálisis ERA-40, que son denominadas condiciones de contorno perfectas. Esto quiere decir que los resultados obtenidos podríamos tomarlos como condiciones muy cercanas a la realidad. En la Figura 2 se muestra el índice de afloramiento del período 1961-1990 correspondiente a los 9 puntos indicados en la Figura 1. En general puede observarse como los meses en los que el índice de afloramiento es positivo, es decir, en los que se produce afloramiento, tienen lugar en las Rías Baixas entre abril y octubre, que es cuando los vientos tienen más probabilidades de soplar de componente

norte. Este margen se va estrechando a medida que nos movemos hacia el norte, puesto que entre Bares y Fisterra el viento más favorable para el afloramiento sería el nordeste que típicamente sucede con la frecuencia necesaria solamente en los meses de verano, y en la costa cantábrica, en la que se necesitan vientos de componente este.

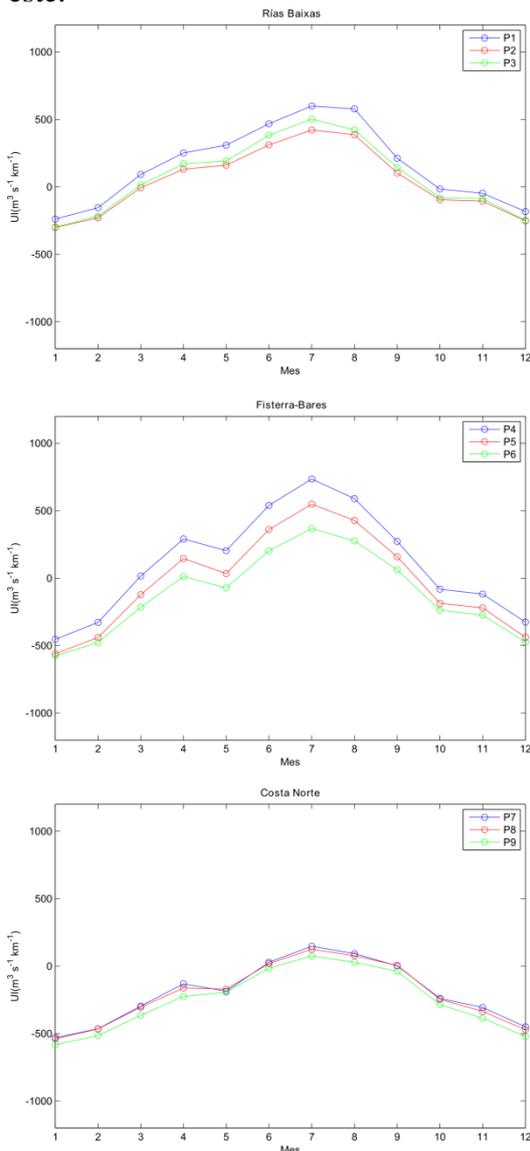


Fig. 2. UI mensual de los RCM's conducidos por el reanálisis ERA-40 en los 9 puntos de la Figura 1 durante el período 1961-1990.

Para estudiar el efecto del cambio climático sobre estos índices de afloramiento, estudiamos las tendencias del valor promedio anual de este valor en los puntos 2, 5 y 8 de la Figura 1 representando a las 3 costas de Galicia (Figuras 3 (a-c)). En estas gráficas se muestra el afloramiento promedio anual para los distintos RCM's considerando tanto condiciones de contorno generadas por el modelo ECHAM5 como generadas por el reanálisis ERA-40. Se puede apreciar que en general no existen tendencias significativas en los índices de afloramiento durante el período (1961-1990) cuando los RCM's son conducidos por los datos del reanálisis. También se observan con claridad las diferencias entre ambos promedios, indicando que los modelos de circulación general presentan un sesgo en el clima actual, que posiblemente pueda mantenerse en el futuro. En general este sesgo indica que los modelos tienden a subestimar la intensidad del afloramiento. Donde los valores son más parecidos es en las Rías Baixas. Además visualmente se puede intuir una cierta tendencia positiva en los RCM's conducidos por ECHAM5. Sin embargo esta tendencia no es estadísticamente significativa.

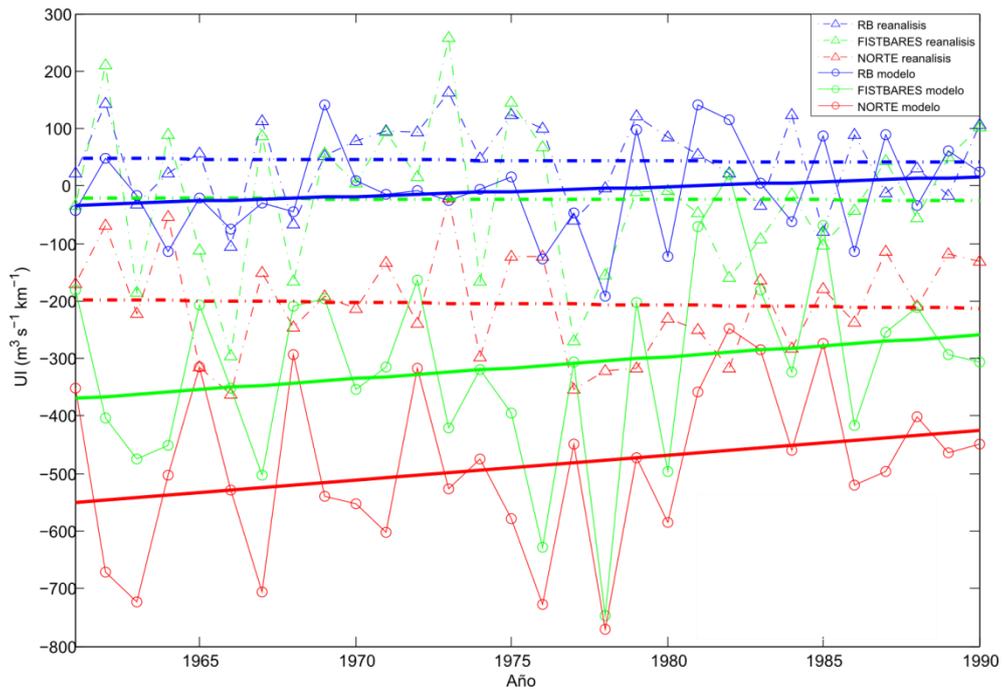


Fig. 3a. UI anual para el período 1961-1990 con el modelo RACMO conducido por el modelo ECHAM5 y por el reanálisis ERA-40.

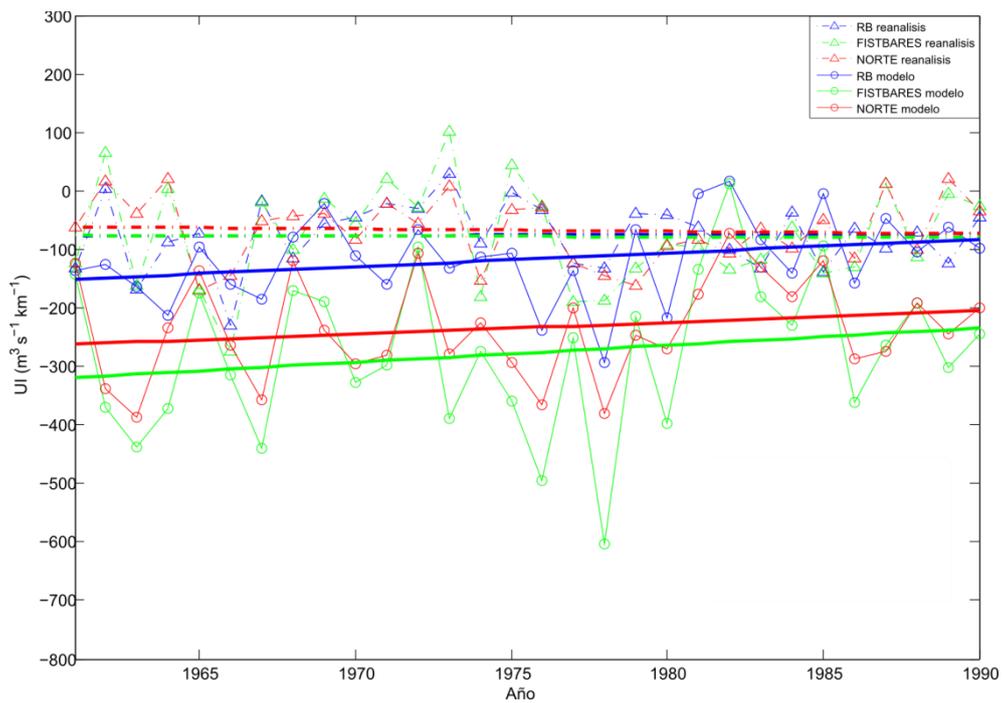


Fig. 3b. UI anual para el período 1961-1990 con el modelo RCA conducido por el modelo ECHAM5 y por el reanálisis ERA-40.

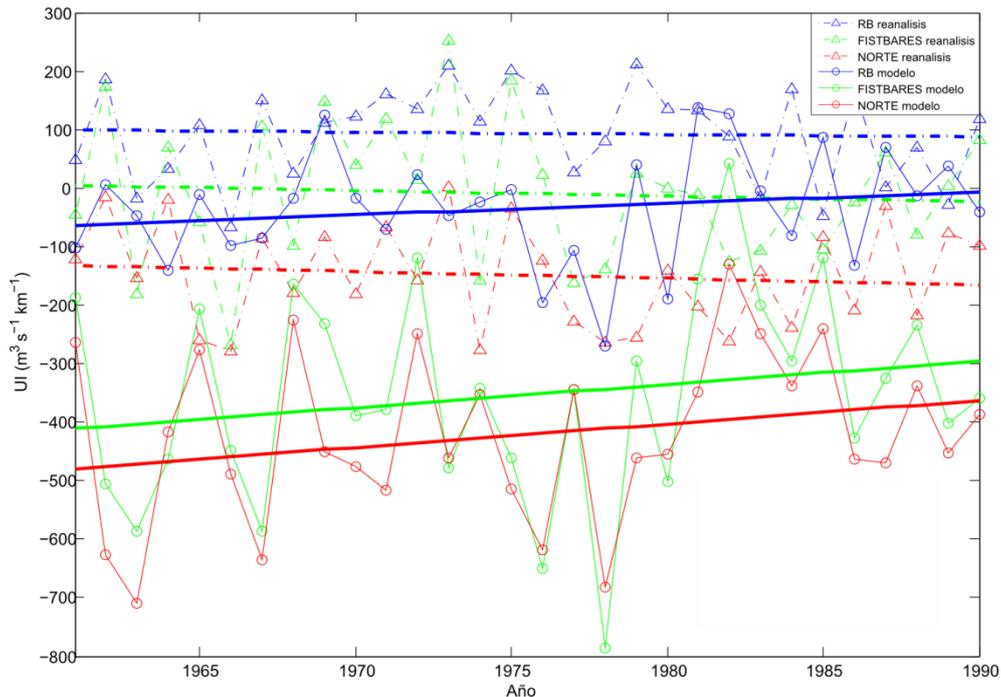


Fig. 3c. UI anual para el período 1961-1990 con el modelo REMO conducido por el modelo ECHAM5 y por el reanálisis ERA-40.

Para ver las diferencias en promedio entre el afloramiento que dan los modelos conducidos por el reanálisis y el que dan los modelos conducidos por el ECHAM5 para los diferentes puntos, se presenta la Tabla 1 en donde se muestra el caso particular del modelo RACMO. En ella podemos ver, al igual

que en la Figura 3 (a), que en todos los puntos el modelo conducido por ECHAM5 tiende a subestimar el índice de afloramiento, siendo la menor diferencia entre uno y otro caso en los puntos de las Rías Baixas. Esta diferencia sería como el ‘bías’ o sesgo, que eventualmente se podría aplicar al estudio para los resultados del futuro.

	ERA-40	ECHAM5	Diferencia
Punto 1	155,57	116,96	38,61
Punto 2	43,04	-9,53	52,57
Punto 3	74,53	8,07	66,47
Punto 4	111,34	-147,08	258,42
Punto 5	-24,52	-315,75	291,24
Punto 6	-117,27	-383,73	266,46
Punto 7	-194,43	-535,16	340,73
Punto 8	-205,83	-489,07	283,23
Punto 9	-252,16	-502,21	250,05

TABLA 1. Promedio del UI anual ($\text{m}^3 \text{s}^{-1} \text{km}^{-1}$) para el período 1961-1990 del reanálisis ERA-40 y del modelo RACMO conducido por el modelo ECHAM5.

En la Figura 4(a-c) se muestran las gráficas del índice de afloramiento anual en el período 1961-2090 según los tres modelos RCM utilizados: RACMO, RCA y REMO, conducidos por el modelo ECHAM5. Estos cálculos se hicieron para los puntos 2, 5 y 8

indicados en la Figura 1. Según vemos en las tres figuras, los tres modelos muestran bastante variabilidad interanual pero se observa una tendencia positiva en el índice de afloramiento de cara al futuro. Es destacable que el RCA (Figura 4b)

indica unos valores del UI entre 100 y -600 $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-1}$, mientras que RACMO (Figura 4a) y REMO (Figura 4c) varían entre 300 y -800 $\text{m}^3\text{s}^{-1}\text{km}^{-1}$. Además, RACMO y REMO indican que el UI en las Rías Baixas es el más alto de las tres zonas, seguido del de Fisterra-Bares y

por último el de la Costa Norte. Sin embargo el RCA indica que hasta el año 2030 el UI de Fisterra-Bares está por debajo del de la Costa Norte, y a partir de ese año será mayor el UI en Fisterra-Bares.

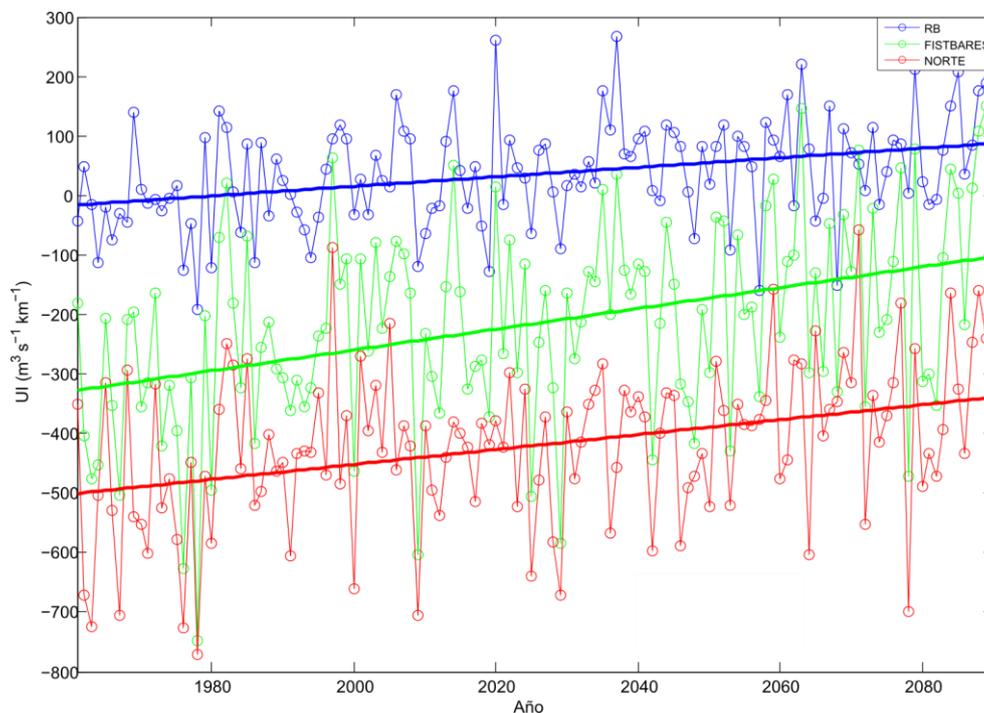


Fig. 4a. UI para el período 1961-2090 según el modelo RACMO conducido por el modelo ECHAM5 en el escenario A1B.

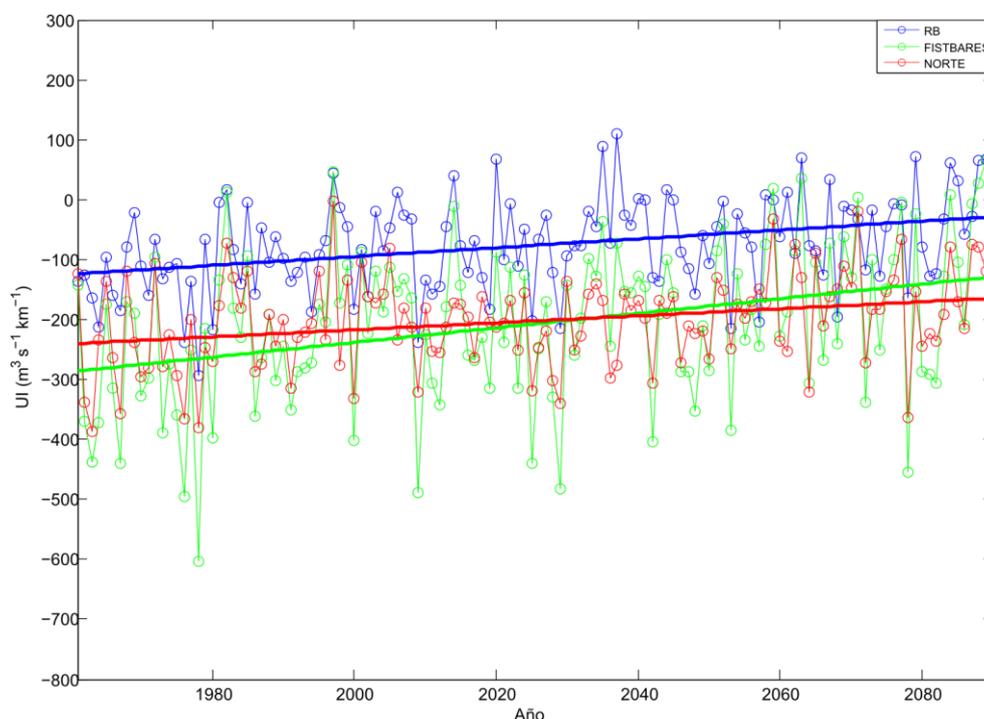


Fig. 4b. UI para el período 1961-2090 según el modelo RCA conducido por el modelo ECHAM5 en el escenario A1B.

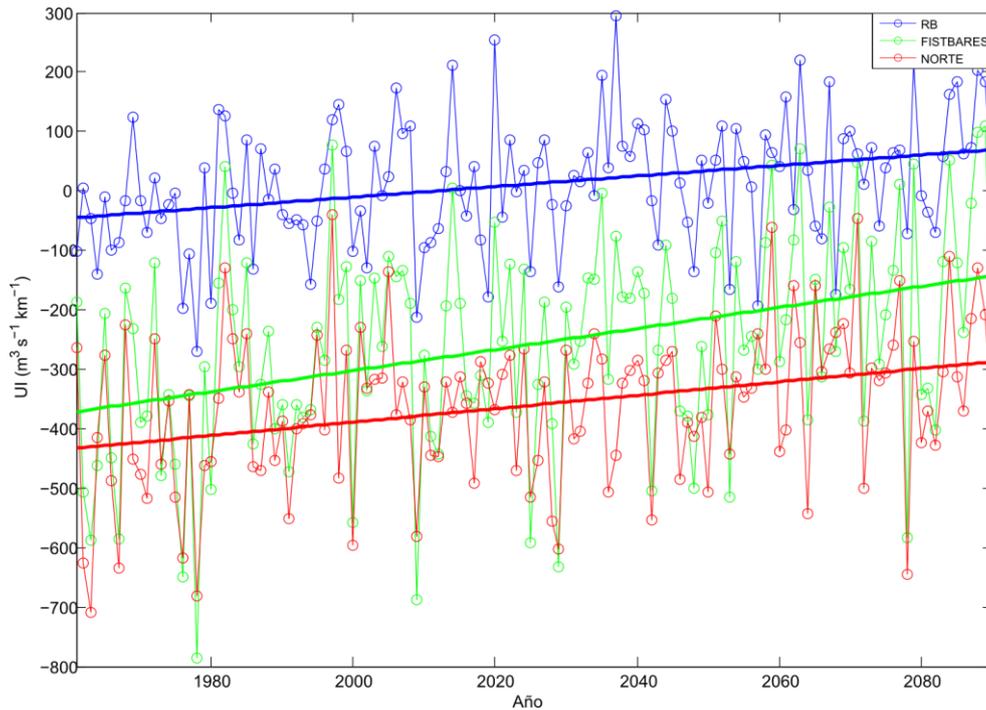


Fig. 4c. UI para el período 1961-2090 según el modelo REMO conducido por el modelo ECHAM5 en el escenario A1B.

Si dividimos el período anual en período de afloramiento y período sin afloramiento de acuerdo a lo dicho en la sección 2, podemos ver en la Figura 5 (a-b), para el caso particular del modelo RACMO conducido por el modelo ECHAM5, que el aumento más acusado del afloramiento se produce en el

período que va de abril a septiembre, mientras que entre octubre y marzo tan solo se predicen pequeños aumentos en los índices de afloramiento en la costa de Fisterra-Bares y en la costa Norte para el período 1961-2090.

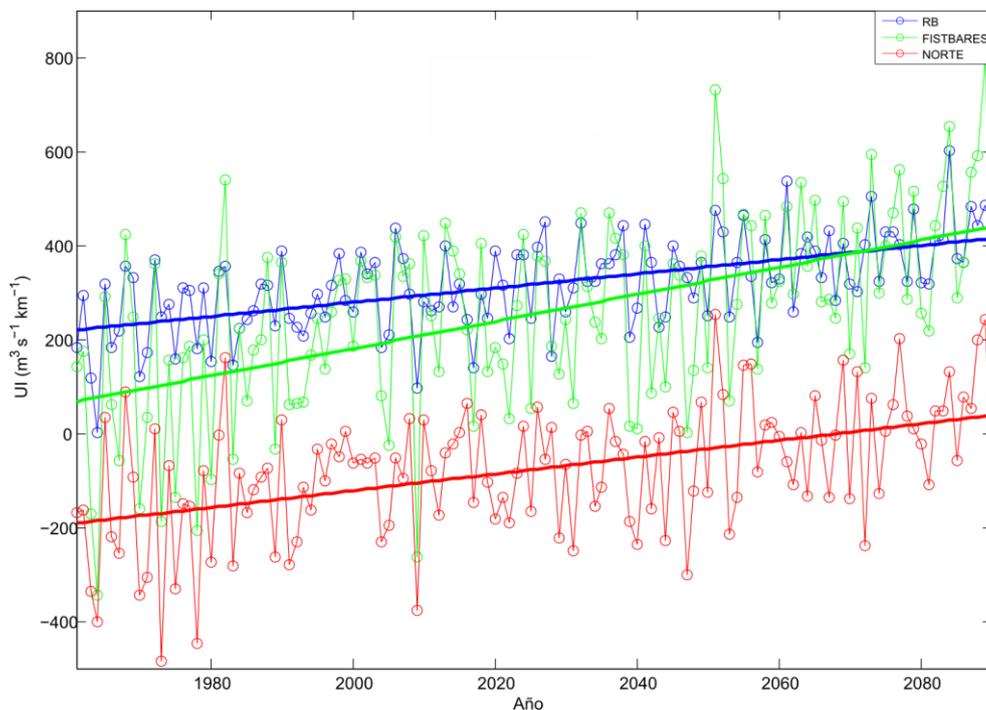


Fig. 5a. UI entre abril y septiembre para el período 1961-2090 según el modelo RACMO conducido por el modelo ECHAM5.

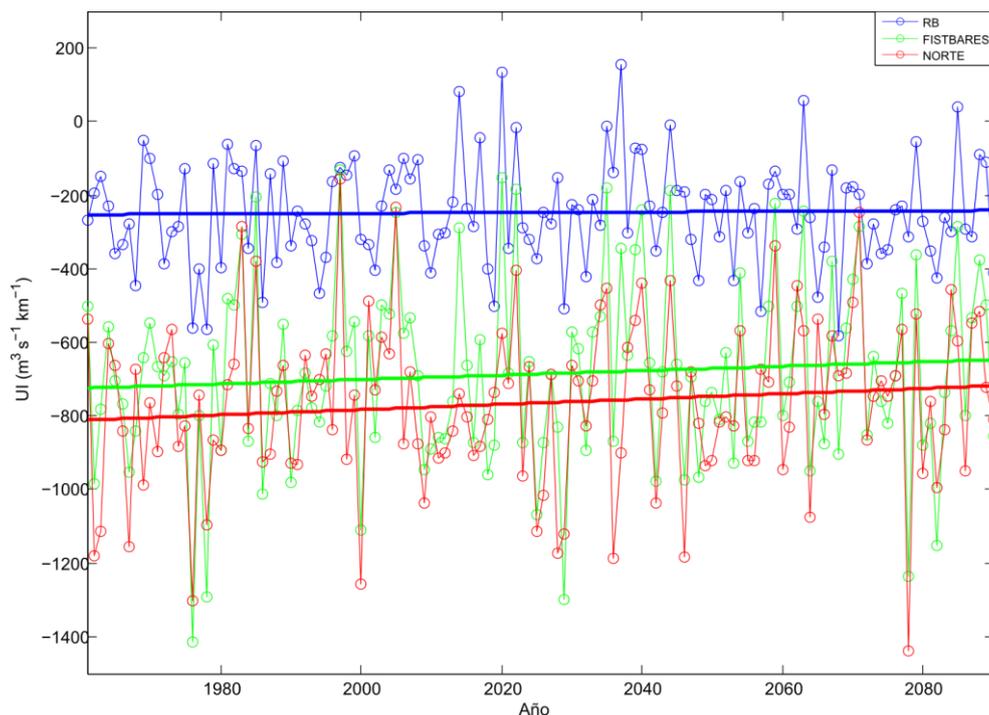


Fig. 5b. UI entre octubre y marzo para el período 1961-2090 según el modelo RACMO conducido por el modelo ECHAM5.

A modo de resumen de los resultados presentados en las figuras 3-5 se incluye una tabla (Tabla 2) en la que se pueden ver los valores de la tendencia decadal en el afloramiento. Solamente se incluyen aquellos valores que resultan estadísticamente significativos según el test de Mann-Kendall. En esta tabla se puede ver que en los períodos no

favorables al afloramiento no se ven tendencias significativas, que sí lo son en todos los casos en el período entre Abril y Septiembre. Esto quiere decir que el afloramiento promedio anual se incrementará debido al incremento en la parte del año favorable a este fenómeno.

		abril-sept	oct-mar	anual
RB	RACMO	15,10	-	8,01
	RCA	11,34	-	7,39
	REMO	13,74	-	8,87
FIST-BARES	RACMO	28,86	-	17,45
	RCA	20,40	-	12,18
	REMO	26,14	-	17,73
NORTE	RACMO	17,82	-	12,52
	RCA	8,54	-	5,86
	REMO	15,22	-	11,29

TABLA 2. Tendencias del UI ($m^3 s^{-1} km^{-1}$) por década para el período 1961-2090 tanto anuales como diferenciando el período de afloramiento del período de no afloramiento. Dichas tendencias han sido calculadas aplicando el test de Mann Kendal y son significativas al nivel 0.05.

En la Tabla 3 se representan las diferencias en promedio entre los índices de afloramiento de los períodos 1961-1990 y 2061-2090 para los meses

del año con afloramiento, sin afloramiento, y en promedio anual. Los resultados indican que las diferencias entre el futuro y el pasado son mayores

en los meses con afloramiento que en promedio anual, y éstas a su vez mayores que en los meses sin

afloramiento. Estas diferencias son más pequeñas en la costa de las Rías Baixas.

		abril-sept	oct-mar	anual
RB	RACMO	152,22	5,74	79,15
	RCA	115,52	34,07	74,89
	REMO	139,25	39,92	89,72
FIST-BARES	RACMO	301,40	74,31	188,13
	RCA	210,17	55,08	132,80
	REMO	267,06	115,70	191,56
NORTE	RACMO	177,13	96,64	136,98
	RCA	81,05	49,99	65,55
	REMO	146,39	101,59	124,04

TABLA 3. Diferencias promedio del UI ($m^3 s^{-1} km^{-1}$) entre 1961-1990 y 2061-2090.

Por último se estudian en la Figura 6 los resultados de las medias mensuales del índice de afloramiento en los períodos de 1961-1990 y 2061-2090, en todos los puntos indicados en la Figura 1, y con el ECHAM5 como condición de contorno. Se muestran tan solo los resultados del modelo RACMO porque los de los tres modelos son muy parecidos. En las tres áreas de estudio se pronostica que los meses de mayor afloramiento son los de verano, y el modelo indica que en el futuro el índice aumentará durante estos meses. Esto puede ser debido a que en el futuro tengan lugar más situaciones con vientos de componente norte. En los demás meses del año (menos en diciembre y enero) el índice de afloramiento también será en el futuro algo mayor que en el pasado, pero no tanto como en verano, con lo que estos incrementos podrían tener un efecto positivo sobre el sector pesquero gallego. La zona de Fisterra-Bares será la que más note el aumento de dicho índice durante el verano. Los UI más altos promediados durante todo el año se observan en las Rías Baixas, seguida de Fisterra-Bares y por último la costa Norte.

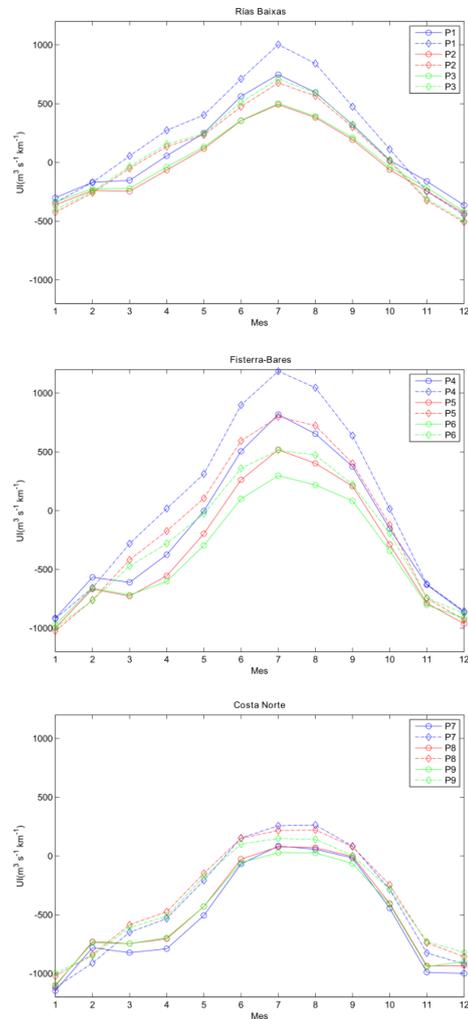


Fig. 6. UI mensual en las tres áreas de estudio según el modelo RACMO conducido por el ECHAM5 en el escenario A1B para el período 1961-1990 (línea continua y círculos) y 2061-2090 (línea discontinua y rombos).

4. Conclusiones

En el presente trabajo se han estudiado los cambios que se esperan en la costa de Galicia para la segunda mitad del siglo XXI en el índice de afloramiento. Los estudios se han hecho sobre tres ejecuciones de modelos regionales del proyecto ENSEMBLES bajo el escenario A1B. Los resultados de los modelos muestran que la tendencia del afloramiento entre abril y octubre será a aumentar en la costa oeste y costa intermedia de Galicia. En la costa norte los valores promedio del afloramiento seguirán siendo negativos, con lo que el fenómeno seguirá siendo más esporádico que en la costa atlántica. Además, las diferencias entre el clima actual y el futuro parece que se darán principalmente en el período entre abril y septiembre, con lo que los modelos regionales de ENSEMBLES indican que bajo el escenario A1B las condiciones de afloramiento favorables se incrementarán. Sin embargo, al comparar los valores del índice de afloramiento para el pasado con los resultados de los modelos conducidos con el modelo ECHAM5 y los resultados de los modelos conducidos por los datos del reanálisis ERA-40, observamos que en general los modelos tienden a infravalorar el valor del índice de afloramiento. Por otro lado, es también necesario puntualizar que para el período 1961-1990 los modelos no muestran la tendencia positiva significativa que se advierten para las próximas décadas.

Referencias

Álvarez I. 2005. Hidrografía e hidrodinámica de los estuarios gallegos bajo la influencia de forzamientos externos. Universidad de Vigo. Ph.D. Thesis.

Álvarez I., deCastro M., Prego R. and Gómez-Gesteira M. 2003.

Hydrographic characterization of a winter-upwelling event in the Ria of Pontevedra (NW Spain). *Estuarine Coastal and Shelf Science*, 56, 869-876.

Álvarez I., Gómez-Gesteira M., deCastro M. and Dias J. M. 2008. Spatiotemporal evolution of upwelling regime along the western coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research*, 113, C07020.

Álvarez-Salgado X. A., Labarta U., Fernández-Reiriz M. J., Figueiras F. G., Roson G., Piedracoba S., Filgueira R. and 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. 1973. Coastal Upwelling Indexes, west coast of North America, 1946-71. NOAA Technical Report NMF 671, 103.

Bakun A. 1990. Global climate change and intensification of coastal upwelling. *Science*, 247, 198-201.

Bakun A. and Nelson C. 1991. The seasonal cycle of wind stress curl in subtropical eastern boundary current regions. *Journal of Physical Oceanography*, 21, 1815-1834.

Blanton, J. O., Atkinson, L. P., Castillejo, F. and Montero, A. L. 1984. Coastal upwelling of the Rias Bajas, Galicia, northwest Spain, I; hydrographic studies, Rapp.P.V. Reun. Cons. Int. Explor. Mer. 183, 179-190.

Fraga, F. 1987. Oceanografía de la plataforma gallega. Academia Galega de Ciencias. Santiago de Compostela. 48.

Fraga, F. y Margalef, R. 1979. Las Rias Gallegas. Estudio y explotación del mar en Galicia. Cursos y congresos, Universidad de Santiago, Santiago de Compostela, 101-122.

- Frouin, R., Fiuza, A. F. G., Ambar, I. and Boyd, T. J. 1990. Observations of a poleward surface current off the coasts of Portugal and Spain during winter. *Journal of Geophysical Research* 95, 679-691.
- Gómez-Gesteira, M., Moreira, C., Alvarez, I., deCastro, M., 2006. Ekman transport along the Galician coast (NW, Spain) calculated from forecasted winds. *Journal of Geophysical Research* 111, C10005, doi:10.1029/2005JC003331.0
- Haynes, R., Barton, E. D. and Pilling, I. 1993. Development, persistence and variability of upwelling filaments off the Atlantic coast of the Iberian Peninsula. *Journal of Geophysical Research* 98, 22681-22692.
- Lazure, P. and Jegou, A. M. 1998. 3D modelling of seasonal evolution of Loire and gironde plumes on Biscay Bay continental shelf. *Oceanologica Acta* 21(2), 165-177.
- Lemos R. T. and Pires H. O. 2004. The upwelling regime off the West Portuguese coast, 1941-2000. *International Journal of Climatology*, 24: 511-524.
- Lemos R. T. and Sansó B. 2006. Spatio-temporal variability of ocean temperature in the Portugal Current System. *Journal of Geophysical Research*, 111, C04010, doi:10.1029/2005JC003051.
- McGregor H. V., Dima M., Fischer H. W. and Mulitza S. 2007. Rapid 20th-Century Increase in Coastal Upwelling off Northwest Africa. *Science*, 315, 637-639.
- Nykjaer L. and L. Van Camp. 1994. Seasonal and interannual variability of coastal upwelling along northwest Africa and Portugal from 1981 to 1991. *Journal of Geophysical Research* 99(C7): 14197-14207.
- Ruiz M., Álvarez-Salgado X. A., Cabanas J.M., Fernández F., González C., Herrera J.L., Piedracoba S. y Rosón G. 2009. Variabilidade Climática e Tendencias Decadais nos Forzamentos Meteorolóxicos e as Propiedades das Augas Adxacentes a Galicia.
- Van Ulden A. P., G.J. Van oldenbourgh 2006. Large-scale atmospheric circulation biases and changes in global climate model simulations and their importance for climate change in Central Europe. *Atmos. Chem. Phys.*, 6, 863-881.
- Wooster W. S., Bakun. A. and McClain D. R. 1976. The seasonal upwelling cycle along the eastern boundary of the North Atlantic. *Journal of Marine Research*, 34, 131-141.