

¿COMO PODE INFLUÍR O CAMBIO DE TEMPERATURA NA BIOLOXÍA E NA DISTRIBUCIÓN DAS ALGAS BENTÓNICAS DE GALICIA?

F. X. Niell¹, C. Fernández², F. Gómez Figueiras³ e M. Ruiz-Nieto¹

¹ Departamento de Ecoloxía. Universidade de Málaga.

² Departamento de Organismos e Sistemas. Universidade de Oviedo.

³ Instituto de Investigacións Mariñas. CSIC. Vigo.

RESUMO

Segundo o coñecemento histórico que temos sobre a distribución das algas bentónicas considéranse os cambios dende 1930 ata hoxe. A hipóteses mas verosimil é que os grandes macrofitos poderían desaparecer si as temperaturas suben ca progresión media que amosáran neste periodo.

Doutra banda discútese a grande plasticidade individual, e a variabilidade xenética e poblacional que as dúas o mais xeracios das algas bentónicas presentan , porque a súa taxa de cambio es moito mas rápida que a variación da temperatura.

Unha diferenza no nivel do mar podería afectar a distribución vertical das algas directamente, co a que as algas desplazaríanse pra niveles superiores, ou se as augas teñen menos clorofila e permiten unha maior penetración da luz mesmo chegarían a niveles mas fundos que os actuais.

SUMMARY

In agreement with historical knowledge of benthonic seaweed distribution , changes from 1930 to the present have been considered. The most realistic prediction is that large macrophytes (fucoids and laminarians) could disappear if temperatures keep rising at the same average rate shown so far.

On the other hand, the high individual plasticity and the genetic and population variability of the seaweed with two or more generations per year change at a faster rate than temperature variation does.

The vertical distribution of the seaweed will be directly affected by a change in sea level, so seaweed would move to higher levels. It could be presumed that chlorophyll a concentration will decrease, allowing for higher light penetration, and seaweed may reach deeper levels than the current ones.

UN ILLAMENTO BIOXEOGRÁFICO

As algas macrofíticas son organismos característicos do litoral galego. Galicia é unha subprovincia bioxeográfica dentro da provincia lusitana (figura 1), que ten unha flora setentrionalizada (Niell, 1976), é dicir, máis semellante á das costas da Bretaña francesa, de Irlanda e de Gran Bretaña que ás floras veciñas das costas asturianas e portuguesas, con características moito máis meridionais.

A causa desta distribución é coñecida: a presenza do afloramento das augas profundas máis frías que as superficiais garante a supervivencia dos grandes esporófitos de especies cuxo centro de irradiación se encontra no norte de Europa (Llope e cols., 2006). Os efectos do afloramento xa se describiron directa ou indirectamente polos ficólogos clásicos (Hamel, 1928, e Lami, 1934) e constitúe unha constante nos estudos daquel tempo.



Figura 1. Galicia é un sector ou subprovincia bixeográfica da provincia lusitana que ten afinidades con Éire e Bretaña (dobre liña concéntrica). Está franqueada por floras rexionais con afinidades meridionais, a cantábrica e a portuguesa.

A meridionalización da flora

Máis recentemente, ao remate da Segunda Guerra Mundial, un científico francés, Edouard Fischer-Piette, percorreu as costas desde a Bretaña francesa ata Xibraltar cunha frecuencia anual e observou, con preciso detalle, o movemento das fronteiras de distribución das especies (figura 2) de algas no tránsito galaico-ástur, preto do cabo de Peñas, e na linde luso-galega, no río Limia (Fischer-Piette, 1955a e b, 1956, 1957a e b, 1958 e 1963; Ardré e cols., 1958). Falábase daquela de “meridionalización” das costas galegas polos primeiros síntomas que indicaban a progresión das especies de augas máis quentes e o confinamento de especies boreo-atlánticas, como *Fucus serratus*, *Chorda filum* e *Ascophyllum nodosum*, no fondo das Rías Baixas ou noutros lugares protexidos (Seoane-Camba, 1957; Van den Hoek e Donze, 1976; Niell, 1976 e 1977).

Os perfís verticais de distribución das algas nas Rías Baixas e no Cantábrico coñécense ben desde os traballos realizados nas correspondentes teses de doutoramento depositadas nas universidades de Barcelona (Niell, 1976) e Oviedo (Fernández, 1980), que se poden aínda hoxe tomar como testemuños e referencias válidas.

¿Que vai pasar? Hipóteses

A partir dos coñecementos que temos e das observacións recentes que fixemos, imos formular dúas hipóteses de cambio:

- 1) O quentamento vai facer desaparecer algunhas algas de porte fucoide e laminaral das costas galegas.



- 2) O cambio do nivel do mar causará un simple desprazamento da distribución vertical das algas que se poden adaptar doadamente ao cambio de temperatura; as especies con pouca capacidade de expansión poden perecer se a radiancia en profundidade e menor ao subir o nivel do mar.

OBSERVACIÓNS E CONSIDERACIÓNS

Observacións bioxeográficas

As especies boreais estanse a retraer nas fronteiras de Galicia. Miranda (1931) tipificou a zonación nas costas de Asturias ao E e W do cabo de Peñas (figura 3), que dous de nós verificamos uns anos máis tarde, atopando claras diferenzas nun momento de medio século (Fernández e Niell, 1982): *Himanthalia elongata* e *Fucus serratus* desapareceran na zona. C. Fernández visitou a zona occidental de Asturias no verán de 2007 e a maioría dos pés de fucáceas e laminariaceas desapareceran no intermareal rochoso. Observou, ademais, unha gran debilidade no recrutamento de novos individuos. A desaparición das cintas ou correas (*Himanthalia elongata*) e coñecida nalgúns locais desde os anos 50, cando se estaba formando unha densa poboación na entrada da ría de Pasaia en Guipúscoa, dato que o profesor R. Alvarado lle comunicou a un dos autores.

Quizais o futuro destas especies boreais se debe considerar irreversiblemente condenado, porque a recuperación, se a súa densidade pasa a ser crítica, será moi lenta e difícil.

Consideracións sobre a adaptación das algas

As algas teñen unha capacidade de adaptación máis rápida que a velocidade de quentamento do aire e da auga. A maioría delas teñen dúas xeracións por ano; ás veces unha das dúas xeracións é microscópica, no caso das laminarias é a xeración sexuada cuxa resistencia ás altas temperaturas aínda está en discusión. Schreiber e Kain (1979) opinan que é necesaria unha temperatura de 13 °C para acadar a gametoxénese; unha elevación da temperatura que non dese lugar a este mínimo sería letal para estas especies que xa están camiño de desaparecer de Galicia.

No mes de marzo, cando as augas están máis frías, medíanse 13 graos e agora, co aumento da temperatura da auga, este valor crítico (Ruiz Villareal e cols., este volume) pode manterse un tempo insuficiente para consumir a gametoxénese. Lüning (1980) resalta que por riba de 17-18 graos mesmo os esporófitos crecen mal; unha elevación da temperatura mantida moito tempo tería efectos directos na extinción das laminarias. Aínda que a temperatura non sería o único factor (Kain, 1979) que controlase o xurdimento de novos individuos, sería conveniente orientar a investigación neste senso para ver cal e a dependencia das algas dos cambios dela.

Outras algas que teñen dúas xeracións ou aquelas que teñen moitas cohortes anuais, como as Ulvaceas (limo, pelo, etc.), teñen unha enorme plasticidade xenética (figura 4); de feito, estas últimas chámanse oportunistas porque xorden e medran en calquera ambiente. A súa taxa de cambio e moito máis rápida que o quentamento de 0,03 °C ano⁻¹ estimado para a auga de mar nos últimos 30 anos (Ruiz Villareal e cols., este volume).

A adaptabilidade darase sen dúbida nestas algas que mudan de representantes dúas ou máis veces por ano. As fucáceas, como *Fucus*, *Himanthalia*, *Ascophyllum*, que son ciclospóreas diploides, son moi resistentes, pero é probable que sufran a acción directa do quentamento, como xa observamos nas costas da transición cantábrica entre Galicia e Asturias e se mencionou con anterioridade. Ademais, os seus pés son perennes e cambios no ambiente pódennles prexudicar máis que ás algas que mudan con maior frecuencia.

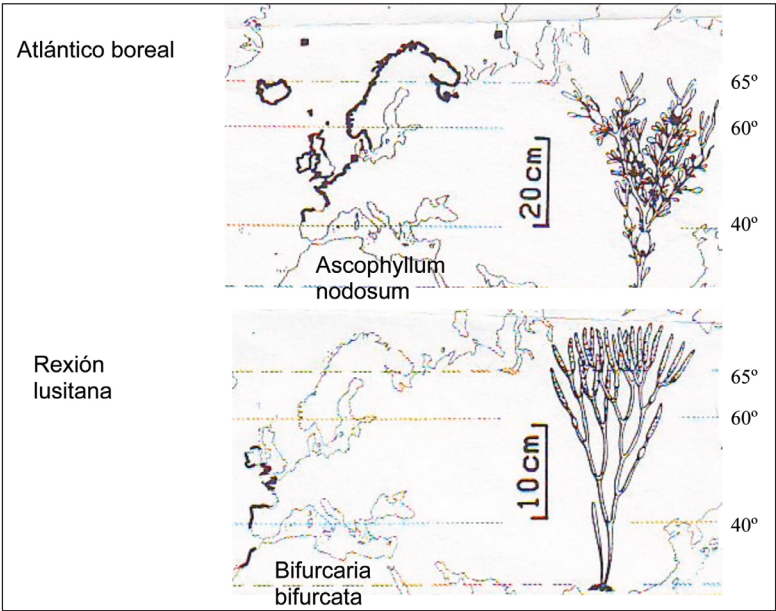


Figura 2. Dúas distribucións de algas que teñen o centro en Galicia (*Bifurcaria bifurcata*) e a súa fronteira meridional (*Ascophyllum nodosum*). Son dous exemplos que abranguen a maioría das distribucións de organismos litorais das costas galegas (modificado de Lüning, 1980).

Zonas batidas	
Miranda (1931)	Fernández e Niell (1982)
As. Liques terrestres	Hs. Liques terrestres
As. Verrucaria	Hs. Verrucaria-Littorina
As. Lithophyllum tortuosum	Hs. Chthamalus-Littorina L. tortuosum
As. Corallina	Hs. Corallina
As. Himanthalia	Hs. Bifurcaria
As. Chondrus	Hs. Gelidium latifolium
As. Laminarias	Hs. Saccorhiza-Cystoseira (borde oriental) Laminaria ochroleuca (borde occidental)
Zonas protexidas	
Miranda (1931)	Fernández e Niell (1982)
As. Verrucaria-Hildenbrandia	Hs. Verrucaria
As. Pelvetia	Hs. Pelvetia
As. Fucus spiralis	Hs. Fucus spiralis
As. Fucus vesiculosus	Hs. Fucus vesiculosus
As. Fucus serratus	Hs. Gelidium pusillum-Gigartina acicularis
As. Corallina	Hs. Bifurcaria-Anemonia
As. Gigartina acicularis-Gelidium pusillum	Hs. Gracilaria foliifera
As. Laminaria saccharina Cystoseira baccata Chorda filum	Hs. Cystoseira baccata

Figura 3. Amósanse as diferenzas na zonación desde 1931 a 1978 na fronteira cantábrica de Galicia. Cámbianse especies de afinidades boreais por especies con máis afinidade meridional (Fernández e Niell, 1982).

As algas e o nivel do mar

Estímase certo que o nivel do mar subiu entre 20 e 30 cm (2,12 en Santander; 2,51 na Coruña e 2,9 en Vigo) desde a metade do século pasado, segundo as estimacións de Marcos e cols. (2005). ¿Cal é o efecto da inmersión sobre as algas do intermareal? Hai un efecto directo e outro indirecto que atenúa a penetración da luz en profundidade. A hipótese que consideramos máis adecuada é que os niveis de distribución vanse mover lentamente, no ritmo en que a superficie do mar estea máis alta pola rápida capacidade de renovación das poboacións da maior parte das algas.

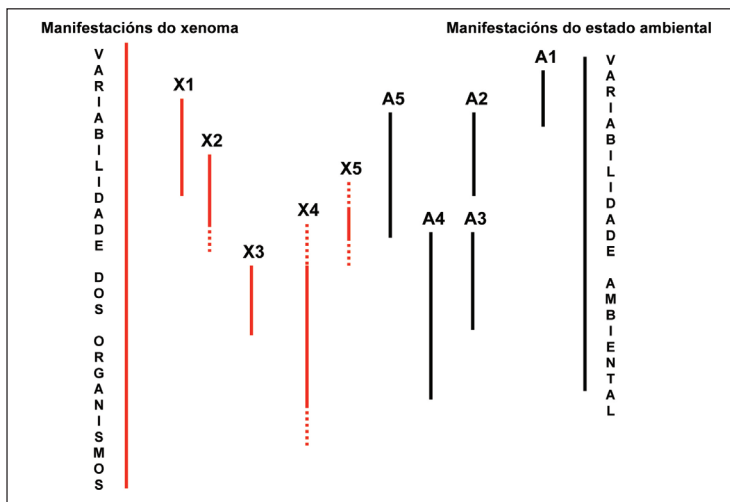


Figura 4. Simúlase a amplitude dos xenomas (X) seleccionados coa variabilidade ambiental (A) que abranguen. Os xenomas teñen éxito selectivo se todo ou parte do segmento que representa a súa amplitude (X) coincide totalmente ou en parte cos segmentos que representan a variabilidade ambiental (A). Exemplo: o xenoma X_1 é o único que sobrevive nas condicións A_1 ; o X_3 pode vivir nas condicións 4 e 5.

Esta probado que o limiar superior da distribución das algas vén determinado polos factores físicos relacionados coa emersión e que o inferior depende máis das relacións de competencia entre as especies. As interaccións entre os factores e as especies non empezan de novo, senón que se promoven entre estruturas espaciais que xa están ben consolidadas. A ocupación previa do espazo é unha vantaxe para a supervivencia; normalmente no espazo que xa está ocupado a competencia é difícil de consumir e a segregación tamén, os invasores non teñen éxito (figura 5).

Os horizontes superiores ocupados por *Pelvetia* e *Fucus spiralis* presentan distribución da biomasa en manchas, entre os núcleos destas algas non hai vexetación. Estes espazos libres, se sobe o nivel do mar, poderán ser ocupados por propágulos destas especies ou polas especies de horizontes inferiores, pero no substrato xa ocupado non hai lugar material para novos pés. A fixación das algas dos horizontes superiores e diversa, *Pelvetia canaliculata* non recruta novos individuos, *Fucus spiralis* recrútaos nunha rocha lisa, pero os embrións das especies dos niveis baixos non soportan a emersión se non existe unha capa de algas verdes ou vermellas que os acolla e que os protexa da desecación. Nas Rías Baixas existen exemplos de dispersión de algas que dan formas ananas (*Fucus muscoides*, Niell e cols., 1980) nos niveis altos, con pouca probabilidade de supervivencia a pesar das súas adaptacións morfolóxicas; este morfotipo provén da dispersión de cigotos de *Fucus vesiculosus* que medran no medio mareal.

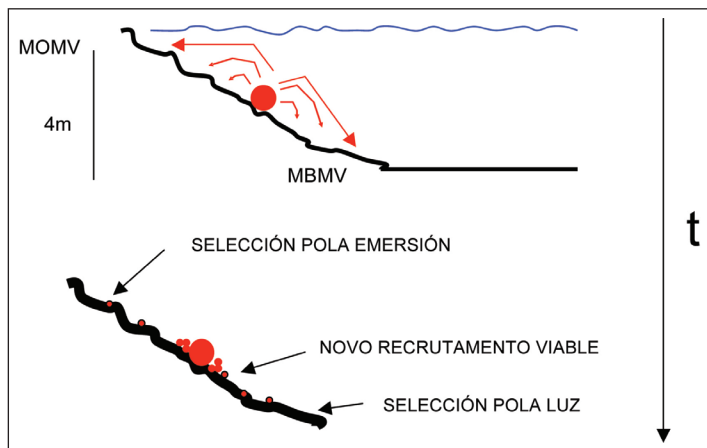


Figura 5. O esquema representa a dispersión ao azar dos propágulos das algas do litoral e a selección por presión ambiental que non e ao azar, é direccional.

O desprazamento non é tan predicible como o modelo máis sinxelo permite pensar. A distribución presente, a ocupación actual do espazo, actuará como factor histórico ou estado inicial, diferente en cada caso, impedindo a recolonización franca das especies invasoras.

Na figura 5 amósase cal é o mecanismo de colonización: o primeiro é a dispersión absolutamente ao azar en todas direccións; despois a fixación, só posible en lugares non ocupados previamente; en terceiro lugar actúan as presións de selección ambientais; e logo, moi posteriormente, os desprazamentos por outras especies.

Nos niveis profundos, cerca da extinción da luz, as algas teñen unha capacidade de dispersión moi limitada e sería probable que non se estendesen cara a horizontes máis altos onde o recubrimento é total e non hai lugares baleiros para ocupar.

Na ría de Vigo a media de concentración da clorofila na auga diminuíu de 7 mg m^{-3} a 4 mg m^{-3} en oito anos (Figueiras e cols., 1986), polo que a luz penetraría a máis profundidade. Facendo un cálculo sinxelo, a profundidade ata a que chegaría o 1% de irradiancia sería 1,75 veces maior. É dicir, se a profundidade co 1% de luz chegaba a 10,4 m, coa concentración de clorofila tras o cambio de temperatura chegaría a 17,2 m; neste caso os 25 cm de incremento do nivel do mar non terían efecto ningún e as algas mesmo poderían estenderse en profundidade se a concentración de clorofila planctónica diminuíse na auga pola elevación da temperatura. En resumo, a concentración de partículas de clorofila é máis importante que o espesor da capa da auga na penetración da luz (figura 6).

A luz cando perde irradiancia non o fai uniformemente, certas radiacións filtranse máis que outras. A proporción entre as radiacións infravermellas e vermellas ten a importancia dun activador de limiar, é o regulador da aparición de formas erectas (Dring e Lüning, 1983), da esporoxénese e da gametoxénese (Hader e Tevini, 1987), controla tamén a síntese e a expresión da actividade de moitas enzimas (Mhor e Oelze-Karow, 1976 e Lange e cols., 1971). A radiación infravermella é menos penetrante que a vermella; se a proporción de IR é menor dun 1,2, e isto ocorre na profundidade do 1% de irradiancia, as actividades mencionadas non “espertan” (figura 7).



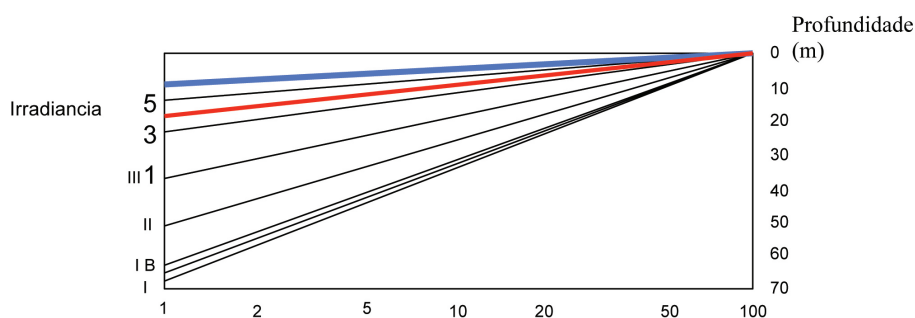


Figura 6. A penetración da luz nas augas veu definida por Jerlov, 1976 (I, IB, II, III). As augas das rías corresponden ás augas de tipo 3-5; o perfil das rías nos 80 está sinalado en azul e, coa diminución da concentración de clorofila, a luz penetraría a maior profundidade como indica a liña vermella.

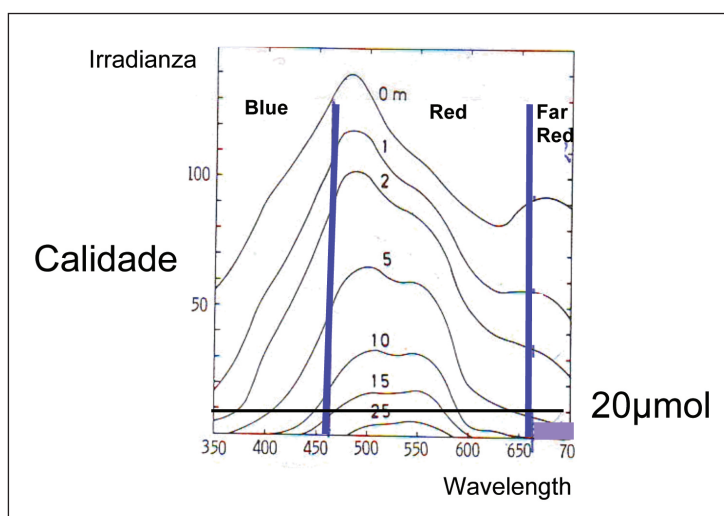


Figura 7. O perfil da penetración das distintas lonxitudes de onda varía como na figura 6 segundo as súas propiedades ópticas. A liña paralela sitúa o punto de compensación entre os 15 e 24 metros. Neste punto o crecemento é nulo. O recadro violeta sinala o valor do índice IR/R (infravermello/vermello) para que moitas actividades se induzan. Se a irradiancia é maior, o estímulo non ten resposta.

CONCLUSIÓN

- 1) O quentamento pode levar á desaparición das fucais e laminariais nas costas galegas. Posiblemente, outras algas con varias xeracións ou cohortes ao ano poderanse adaptar aos cambios de temperatura, xa que a súa plasticidade evoluciona máis rapidamente que os mencionados cambios.
- 2) Unha elevación do nivel do mar causada pola dilatación térmica e o a fusión do xeo polar e continental suporía un desprazamento dos limiares de distribución vertical de moitas especies. Isto sería fácil se non fose porque a colonización por recrutamento dos espazos colonizados e moi improbable.

- 3) O risco de desaparición das algas que viven a luz tenue (un 10% da irradiancia) a profundidades de 12-15 e máis metros é *a priori* grande, porque a súa capacidade de expansión é reducida e o crecemento moi lento. Veríase compensada se a concentración planctónica de clorofila diminúise. A expansión destas algas sería posible en profundidade se a concentración de clorofila planctónica diminúe.

RECOMENDACIÓN

Cómpre xerar estudos de control na costa e caracterizar fisioloxicamente os tipos de algas das costas de Galicia para poder facer hipóteses adecuadas sobre a influencia do incremento de temperatura.

Bibliografía

- André F., Cabañas-Ruesgas F., Fischer-Piette E. et Seoane-Camba J. A. (1958). Petite contribution à une monographie de la Ría de Vigo. *Bull. de l'Institut Ocean. de Monaco*, 1127, 56 pp.
- Dring M. J. and Lüning, K. (1983). Photomorphogenesis of marine macro-algae. In *Shropshire, W. Jr. e Mohr, H. (eds), Encyclopedia of Plant Physiology. New series 16B: Photomorphogenesis*. Springer, Berlin, pp. 545-568.
- Fernández C. (1980). *Estudios estructurales y dinámica del fitobentos intermareal (Facies rocosa) de la región de Cabo Peñas, con especial atención a la biología de Saccorhiza polyschides* (Le Jol.) Batt. Tesis doctoral. Universidad de Oviedo 256 pp.
- Fernández C. y Niell F. X. (1982). Zonación del fitobentos intermareal de la región de Cabo Peñas (Asturias) *Invest. Pesq.*, **46**, 121-141.
- Figueiras F. G. y Niell F. X. (1986). Visibilidad del disco de Secchi, clorofila a y materia orgánica particulada en la ría de Pontevedra (NO España) *Invest. Pesq.*, **50**, 607-637.
- Fischer-Piette E. (1955). Sur les déplacements des frontières biogéographiques intercotidales, observables en Espagne: situation en 1954-55. *C. R. Acad. Sc. Paris*, **241**, 447-449.
- Fischer-Piette E. (1955b). Repartition le long des côtes septentrionales de l'Espagne des principales espèces peuplant les rochers intercotidaux. *Ann. Inst. Ocean.*, **31**(2), 38-124.
- Fischer-Piette E. (1956). Sur les déplacements des frontières biogéographiques intercotidales actuellement en tours en Espagne: situation en 1956. *C. R. Acad. Sc. Paris*, **242**, 2782-2784.
- Fischer-Piette E. (1957a). Sur les progrès des espèces septentrionales dans le bios intercotidale ibérique: situation en 1956-57. *C. R. Acad. Sc. Paris*, **245**, 372-375.
- Fischer-Piette E. (1957b). Sur les déplacements des frontières biogéographiques observées du long des côtes ibériques dans le domaine intercotidal. *Inst. Biol. Aplic.*, **26**, 1301-1303.
- Fischer-Piette E. (1958). Sur l'écologie de la non-vesiculisation du *Fucus vesiculosus*, L. *Rev. Gen. Bot.*, **68**, 302-316.
- Fischer-Piette E. (1963). La distribution des principaux organismes nord-iberiques en 1954-1955. *Ann. De L'Institut. Ocean.*, **40**(3), 165-311.



- Hader D. P. and Tevini M. (1987) *General Photobiology*. Pergamon Press (ed.). 323 pp
- Hamel G. (1928). Les algues de Vigo. *Rev. Algol.*, **4**, 81-95.
- Hoek C. Van der and Donze M. (1967) Algal phytogeography of the european atlantic coast. *Blumea*, **15**, 63-89.
- Jerlov N. G. (1976). *Marine optics*. Amsterdam: Elsevier.
- Kain J. M. (Mrs. N. S. Jones), (1979). A view of the genus *Laminaria*. *Oceanograf. Mar. Biol. Ann. Rev.* **17**, 101-161.
- Kirk, John T. O. (1983). Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press (ed.) 401 pp.
- Lami R. (1934). Nébulosité et brumes regionales comme facteur posible de la répartition géographique des algues marines. *Rev. Algol.*, **7** (1-2), 181-182.
- Lange H., Shropshire W. Jr. and Mohr H. (1971) An analysis of phytochrome-mediated anthocyanin synthesis. *Plant Physiol.*, **47**, 649-655.
- Llope M., Anadón R., Viesca L., Quevedo M., González-Quirós R. and Stenseth N.C. (2006). Hydrographic dynamics in the Southern Bay of Biscay: integrating multi-scale physical variability over the last decade (1993-2003). *J. Geophys. Res.*, **111**, C0921.
- Lüning K. (1980). Critical levels of light and temperature regulating the gametogenesis of three *Laminaria* species (Phaeophyceae). *J. Phycol.*, **16**, 1-15.
- Marcos M., Gomis D., Monserrat S., Álvarez-Fanjul E., Pérez B. and García-Lafuente J (2005). Consistency of long sea-level time series in the northern coast of Spain. *J. Geophys. Res.*, **110**, C03008, doi:10.1029/2004JC002522.
- Miranda F. (1931). Sobre las algas y cianofíceas del Cantábrico especialmente de Gijón. *Trab. Mus. Nac. Cienc. Nat. Serie Botánica*, **25**, 106 pp.
- Mohr H. and Oelze-Karow H. (1976). Phytochrome action as a threshold phenomenon. In: *Light and Plant Development*. Smith, H. (ed.) Butterworth, London, pp. 257-284.
- Niell F. X. (1976). *Estudios sobre la estructura, dinámica y producción del fitobentos intermareal (facies rocosa) de la Ría de Vigo*. Tesis doctoral. Universidad de Barcelona 181 pp
- Niell F. X. (1977). Distribución y zonación de las algas bentónicas en la facies rocosa del sistema intermareal de las rías bajas gallegas. *Invest. Pesq.*, **41**, 219-237.
- Niell F. X., Miranda A. and Pazo J. P. (1980). Studies on the morphology of the megacaul limicola of *Fucus vesiculosus* L. with taxonomical comments *Bot. Mar.*, **23**, 303-307.
- Ruiz Villarreal M., Álvarez Salgado X. A., Cabañas J. M., Fernández Pérez F., González Castro C., Herrera Cortijo J. L., Piedracoba Varela S. e Rosón Porto G. (2009). Variabilidade climática e tendencias decadais nos forçamentos meteorolóxicos e as propiedades das augas adyacentes a Galicia. Neste volume
- Seoane-Camba J. (1957). Algas superiores de las Rías Bajas Gallegas. *Invest. Pesq.*, **8**, 15-28.

