

Explotación dos recursos marisqueiros das rías ante o cambio climático

Xosé Antón Álvarez Salgado

Doutor en Química, Universidade de Santiago de Compostela. Desenvolveu a súa carreira investigadora no eido dos procesos oceanográficos no océano global, con especial énfase na oceanografía do mar de Galicia, a súa transcendencia para os servizos ecosistémicos prestados polas rías, e o impacto que o cambio climático pode ter nas sustentabilidade de eses servizos.

Isabel Fuentes Santos

Doutora en Estatística, Universidade de Santiago de Compostela. Desenvolveu a súa carreira investigadora no desenvolvemento e aplicación de ferramentas estatísticas en distintos ámbitos, con especial énfase na investigación mariña, a interacción entre a oceanografía e os sistemas de produción das rías e a predición do impacto que o cambio climático pode ter nestes procesos.

Silvia Piedracoba Varela

Doutora en Ciencias do Mar, Universidade de Vigo. Desenvolveu a súa carreira investigadora especializándose na análise de datos hidrodinámicos e hidrográficos, e traballando con bases de datos oceanográficas maiormente centradas no afloramento costeiro do noroeste da Península Ibérica. Forma parte de CETMAR, onde asegura a calidade dos datos océano-meteorolóxicos para a súa difusión, e desenvolve produtos e servizos para usuarios finais a través do Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia.

As condicións oceanográficas rexionais e a xeomorfoloxía da costa galega están detrás da elevada produción primaria das rías, que sustenta ao marisqueo, ás pesquerías artesanais e a acuicultura extensiva de mexillón. Así, a costa de Galicia ocupa o límite setentrional do sistema de afloramento da Corrente de Canarias. Pode dicirse que os sistemas de afloramento son "ecosistemas do vento" porque é o vento de compoñente norte o que produce a elevación de auga oceánica, fría e rica en sales nutrientes, dende uns 200 metros de profundidade ata "aflorar" na costa, en superficie. Esta auga oceánica fertiliza a plataforma continental e as rías, estimulando a produción primaria. Con todo, para que esta fertilización remate en recursos vivos explotables como a ameixa, a sardiña, o polbo ou o mexillón, fai falla ademais que eses nutrientes se utilicen de forma eficiente. O mar de Galicia é particularmente eficiente na utilización deses nutrientes por dúas razóns. A primeira é que o vento na nosa latitude é estacional, dominando os nordés na primavera e verán e o vento do suroeste no outono e inverno (**Figura 1**). Isto significa que o fenómeno de afloramento ocorre na época en que normalmente se desenvolve a fase de larva planctónica da meirande parte dos recursos mariños explotables, o que facilita a súa supervivencia gracias a unha abundante dispoñibilidade de alimento.

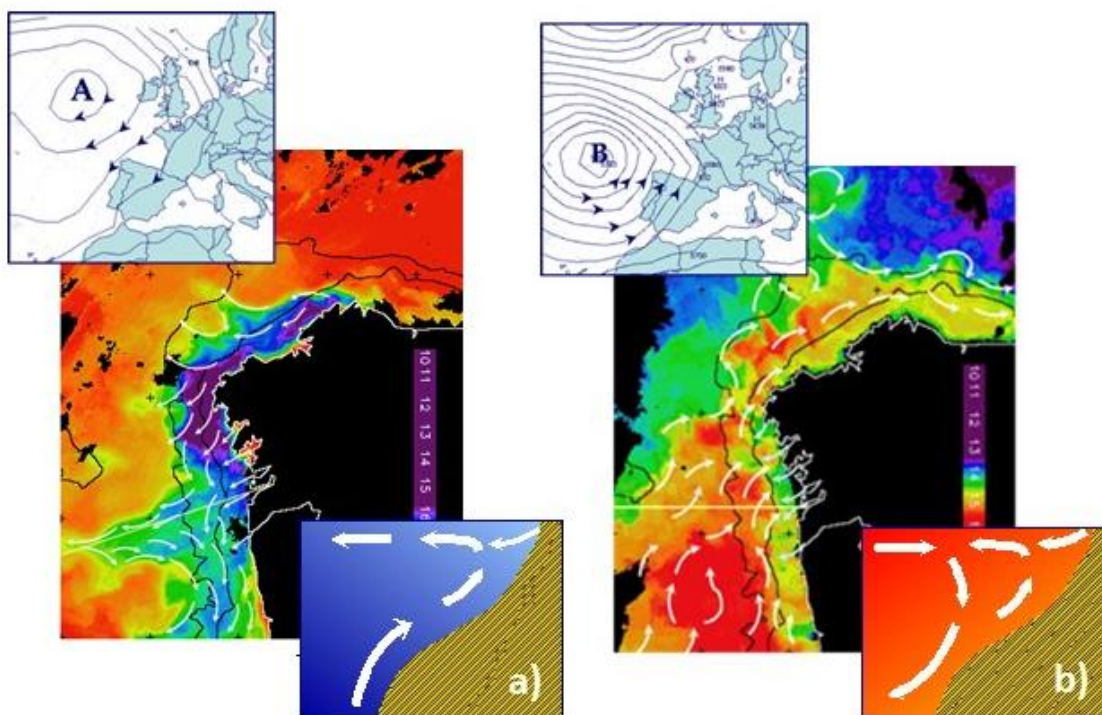


Figura 1. Condicións oceanográficas medias no mar de Galicia no período favorable ao vento do nordés (primavera e verán), cando se produce o fenómeno de afloramento, e no período favorable ao vento do suroeste (outono e inverno). As imaxes de satélite amosan o impacto dos ventos de nordés arrefriando as augas costeiras e dos ventos do suroeste transportando auga cálida do sur. Tamén se amosa a circulación das rías en primavera-verán (positiva) e outono-inverno (inversa). Adaptada de Álvarez-Salgado et al. (2010).

Ademais de estacional, o vento é intermitente, de forma que episodios de nordés, as "nortadas", de intensidade e duración variable, dende unhas horas a uns cantos días, se suceden separados por períodos de calma. Esta sucesión de nortadas e calmas permite unha utilización máis eficiente dos nutrientes, que se inxectan durante as nortadas e se consumen durante as calmas (Álvarez-Salgado et al., 2010), evitando ademais unha rápida dispersión das larvas planctónicas cara ao océano aberto, onde a dispoñibilidade de alimento escasea (Queiroga et al., 2007).

A intrincada xeomorfoloxía da costa galega, con 1.500 Km de costa, e as súas rías, particularmente as extensas, alongadas e profundas Rías Baixas, tamén contribúen a unha utilización máis eficiente dos nutrientes que transportan as augas afloradas, dado que alargan o seu tempo de residencia, cando se compara con outros sistemas de afloramento que non presentan baías nin plataformas continentais amplas como é o caso do afloramento do Perú. A xeomorfoloxía presta ademais un apoio adicional de crucial importancia: a protección da costa contra os temporais do suroeste en outono e inverno, particularmente nas rías de Arousa, Pontevedra e Vigo, que contan co abrigo das illas de Sálvora, Ons e Cíes, que resgardan aos areais situados nas zonas interiores das rías, e permiten realizar actividades de pesca e marisqueo artesanal, que resultarían arriscadas na plataforma continental ou na parte exterior das rías.

Chegados a este punto cabe preguntarse se, no actual contexto de cambio climático, está asegurada a función do mar de Galicia como abastecedor de alimento nas vindeiras décadas. Responder a esta pregunta non é sinxelo, pois esixe: 1) diagnosticar se o cambio climático ten alterado as variables ambientais que afectan aos recursos vivos explotables; 2) prognosticar como esas variables ambientais se van a ver alteradas nas vindeiras décadas como resultado do cambio climático; e 3) avaliar cal vai ser a resposta do ecosistema en xeral, e das especies explotadas en particular, aos cambios experimentados nas variables ambientais.

Antes de diagnosticar cómpre identificar as variables ambientais relevantes, entre as que se atopa a **intensidade, dirección, persistencia e frecuencia dos ventos** que, por un lado, ditan os episodios de afloramento que fertilizan o mar de Galicia na primavera e verán, e por outro lado, os destrutivos episodios climáticos extremos no outono e inverno que, a través da enerxía das ondas, pode alterar a xeomorfoloxía das praias (Fontán-Bouzas et al., 2024), estragar infraestruturas, e dificultar ou incluso impedir as labores de extracción. O **quecemento das augas superficiais** é outra variable a considerar, tanto polo incremento gradual da temperatura, o chamado "quecemento global", que pode chegar a estresar ás especies de interese comercial ao superar o seu rango óptimo de temperatura, como por eses episodios de temperaturas extremas coñecidos como "ondas de calor", que poden provocar mortalidades masivas. Tamén é necesario contemplar a intensidade e persistencia dos episodios extremos de **descenso brusco da salinidade superficial**, principalmente na parte interna das rías preto da desembocadura dos ríos

principais, que se asocian a precipitacións extremas e poden provocar altas taxas de mortalidade nos bancos marisqueiros. Outra variable ambiental a ter en conta, particularmente relevante para o marisqueo a pe, é a **subida do nivel medio do mar**, que ten implicacións directas sobre a xeomorfoloxía das praias nas que se extraen moluscos bivalvos de interese comercial como a ameixa. Finalmente, para o caso dos moluscos bivalvos, a cuncha formada fundamentalmente de carbonato cálcico (CaCO_3) é moi sensible á **acidificación oceánica**, é dicir, á gradual caída do pH que está a experimentar o océano a causa da disolución na auga do dióxido de carbono (CO_2) acumulado na atmosfera a consecuencia das actividades humanas (Padín et al., 2020).

Analicemos entón variable por variable, comezando polo vento. O chamado "índice de afloramento", calculado a partir da intensidade do vento do nordés, é una estimación do volume de auga aflorada, que se reporta en $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}$ lineal de costa. Cando se analiza a serie temporal dos valores deste índice fronte a costa das Rías Baixas dende 1967 ata 2021, suavizada para poñer o foco na variabilidade de longo prazo (**Figura 2**), obsérvanse certas diferencias na extensión, na intensidade e no período no que a intensidade do afloramento é máxima. Certamente, o asunto do vento na costa de Galicia, ten sido obxecto de controversia científica, pois segundo os datos empregados e a forma de analizalos, interpretouse que os ventos do nordés foron perdendo intensidade ao longo da segunda metade do século XX, mentres que outros estudos non apreciaban esa diminución. Mirando a **Figura 2a**, semella que o único cambio que se observa claramente a longo prazo e que o período favorable ao afloramento é máis curto actualmente (de maio a setembro) que a finais da década de 1960 (de marzo a outubro). É dicir, o período favorable aos ventos do nordés perdeu terreo, o que implica un descenso do grao de fertilización das rías polo afloramento. Con todo, ata o de agora non ten tido un efecto salientable na produtividade das rías, porque están a recibir máis nutrientes dos que poden utilizar (Pérez et al., 2000).

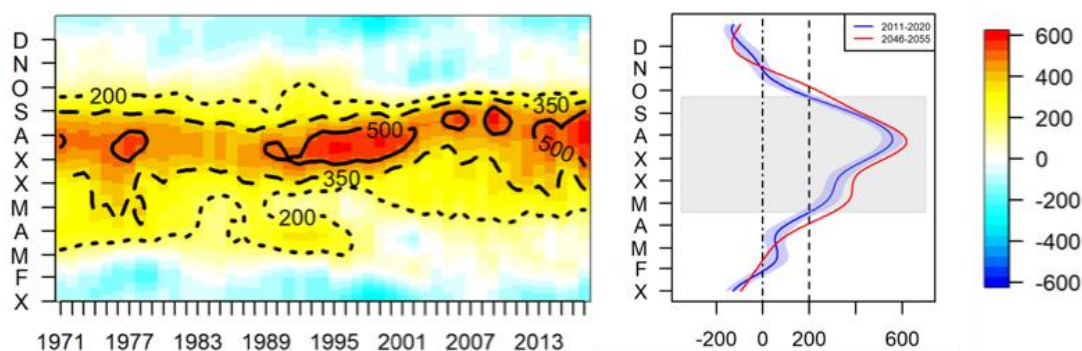


Figura 2. Evolución estacional do índice de afloramento (en $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}$ de costa) dende 1967 a 2021 (media corrida de 5 anos) (a); e ciclo estacional medio do índice de afloramento para os períodos 2011-2020 (en azul) e 2045-2055 (en vermello) (b). Datos para (a) tomados de <http://www.indicedeafloramiento.ieo.es>. Proxeccións para (b) tomada do modelo MPI-ESM-LR-RCA4 de EURO-CORDEX (<https://www.euro-cordex.net/>).

Que nos depara o futuro? Como vai ser o vento de nordés a mediados do século XXI? A resposta a esta pregunta hai que buscala nas proxeccións climáticas, modelos que simulan as condicións do clima nas próximas décadas en función de distintos escenarios de emisión de gases de efecto invernadoiro. Poñéndose no caso máis pesimista acerca da evolución das emisións de gases de efecto invernadoiro, eses modelos dinnos que na década 2046-2055, cando se compara coa década 2011-2020, o período favorable aos nordés vólvese estender de principio de abril a principio de outubro e o índice de afloramento nese período vai aumentar sobre un 8% (**Figura 2b**). Esta lixeira recuperación do afloramento constitúe unha boa noticia para os recursos vivos explotable do mar de Galicia, rompendo a incerta e preocupante tendencia anterior. As causas deste cambio de tendencia hai que buscalas no aumento da diferenza de temperatura entre a costa e o mar, que incrementa o gradiente de presión atmosférica entre a masa continental e a oceánica, producindo unha intensificación dos ventos do nordés preto da costa (García-Reyes et al., 2015).

Pola parte negativa, indicar que se vai producir un incremento da frecuencia dos temporais de suroeste característicos do inverno. Así, no caso da Ría de Arousa, onde o Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia mantén dúas estacións meteorolóxica-oceanográficas (**Figura 4**) que rexistran en continuo a velocidade do vento, observouse que no período 2011-2020 na parte externa da Ría de Arousa (Ribeira) a frecuencia de días con ventos de forza 6 (maiores de 45 Km/h) foi de 35 días cada ano. Segundo as proxeccións de EURO-CORDEX esta frecuencia vaise incrementar un 40%, chegando aos 50 días/ano, no período 2046-2055. Pola contra, na parte interna (Cortegada) practicamente non sopran ventos de forza 6, so 1 día/ano, tanto no período 2011-2020 como no 2046-2055. Por tanto, é a parte exterior das rías a que é actualmente, e seguirá sendo nas próximas décadas, a máis vulnerable aos temporais de suroeste.

Que ten pasado coa temperatura superficial das augas do mar de Galicia? Aquí temos que distinguir entre as augas oceánicas, afastadas da plataforma continental, e as augas costeiras. A **Figura 3a** amosa o incremento da temperatura superficial media en 42° N 10°W (recadro na **Figura 3b**) dende o ano 1900 ata 2020, cun incremento medio de 0.12°C cada década. Esta taxa de aumento non ten sido homoxénea, como nos amosa a **Figura 3b**, onde se observa que o quecemento dende 1982 ata 2020 no mar de Galicia foi menor cando nos achegamos á costa. Así, mentres que en Fisterra o quecemento foi de 0,05 °C por década, no mar aberto, onde non chega o efecto do afloramento, alcanzou os 0,20 °C por década (Piedracoba et al., 2024). Por tanto, o afloramento ten contribuído a evitar que as augas costeiras de Galicia se quentasen á mesma velocidade que as augas oceánicas, manténdose dentro do rango óptimo para as especies explotadas.

No futuro, considerando o peor escenario de emisións de gases de efecto invernadoiro á atmosfera, as proxeccións suxiren que a temperatura superficial das augas oceánicas vai seguir aumentando a unha taxa media de 0,24 °C por década. Botando una ollada rápida á **Figura 3a**, podemos constatar que mentres que a temperatura media do Océano Atlántico en fronte a Galicia era de 14,5°C aos inicios do século XX, pode alcanzar os 17,5°C

a finais do século XXI. Non deixa de impresionar que a nosa especie será responsable de aumentar a temperatura superficial do noso mar 3°C en 200 anos. Afortunadamente, en caso de cumprirse o prognóstico de recuperación do afloramento en intensidade e duración nas vindeiras décadas (**Figura 2b**), este seguirá protexendo ás augas costeiras deste quecemento desbocado.

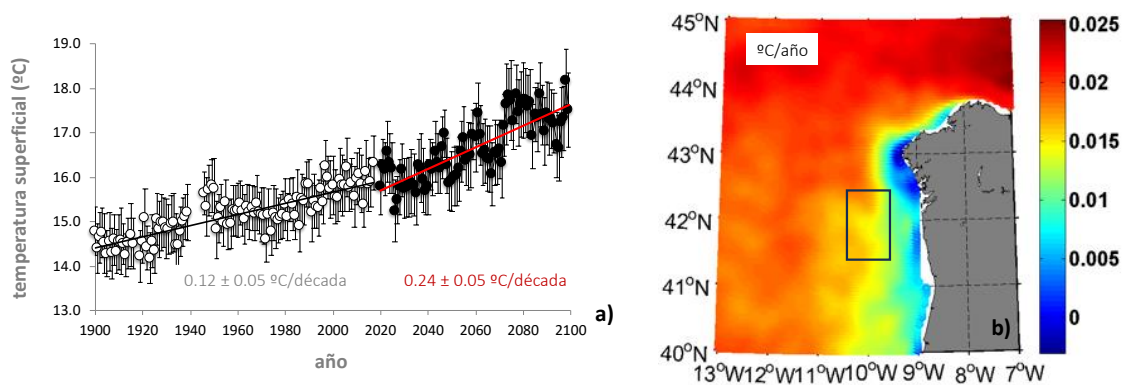


Figura 3. Evolución temporal da temperatura media superficial do mar de Galicia en 42°N 10°W (recadro no panel 3b) de 1900 a 2020 (círculos brancos), e predición de 2020 a 2100 (círculos negros) (a); variación espacial do incremento anual da temperatura superficial do mar de Galicia no período 1982-2020. Datos medidos de 1900 a 2020 tomados de www.coads.noaa.gov. Proxección de 2020 a 2100 tomados do modelo oceánico POLCOMS-ERSEM (Butenschon et al., 2016). Panel (b) tomado de Piedracoba et al. (2024).

Para o caso concreto da Ría de Arousa, os datos de temperatura superficial da auga rexistrados polo Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia indican que no período 2011-2020, en Ribeira, na parte exterior da ría, a temperatura superficial superou os 20°C en torno a 10 días por ano (**Figura 4a**). Pola contra, en Cortegada, na parte interior da ría, os 20°C superáronse 50 días cada ano (**Figura 4b**). Estes resultados deixan ás claras que a parte interior da ría, e os recursos que alí se explotan, son os máis vulnerables ao aumento de temperatura. A mediados do século XXI, no máis pesimista dos escenarios climáticos, en Ribeira superaríanse os 20°C 14 días cada ano (40% máis en que en 2011-2020) e en Cortegada 59 días cada ano (20% máis que en 2011-2020).

Na estación de Cortegada, moi preto da desembocadura do Ría Ulla, tamén se rexistra a salinidade superficial (**Figura 4c**), e puido observarse que entre 2008 e 2023 ocorreron un total de 6 episodios nos que a salinidade caeu bruscamente por debaixo dos 5 g/L. Estes episodios, asociados a un aumento do caudal do Río Ulla como resultado de precipitacións intensas, se son suficientemente prolongados, poden provocar mortalidades masivas dos moluscos bivalvos dos bancos marisqueiros en praias próximas á desembocadura do río. Precipitacións por riba dos 34 L /m² acumulados nun día considéranse episodios extremos nas comarcas da Ría de Arousa e producíronse de media 6 días cada ano no período 2011-2020. As proxeccións climáticas de Meteogalicia (<https://www.meteogalicia.gal>) estiman

que o número de días de precipitacións extremas aumentará a súa frecuencia a 8 días por ano cara o derradeiro cuarto do século XXI (30% máis que en 2011-2020). Por tanto, é previsible que o risco de que estas mortalidades ocorran aumente ao longo deste século. O feito de que o caudal do Río Ulla, como outros moitos ríos que desembocan nas Rías Galegas, estea regulado por unha presa, dá pé á posibilidade de controlar parcialmente as caídas de salinidade asociadas aos episodios de precipitación extrema.

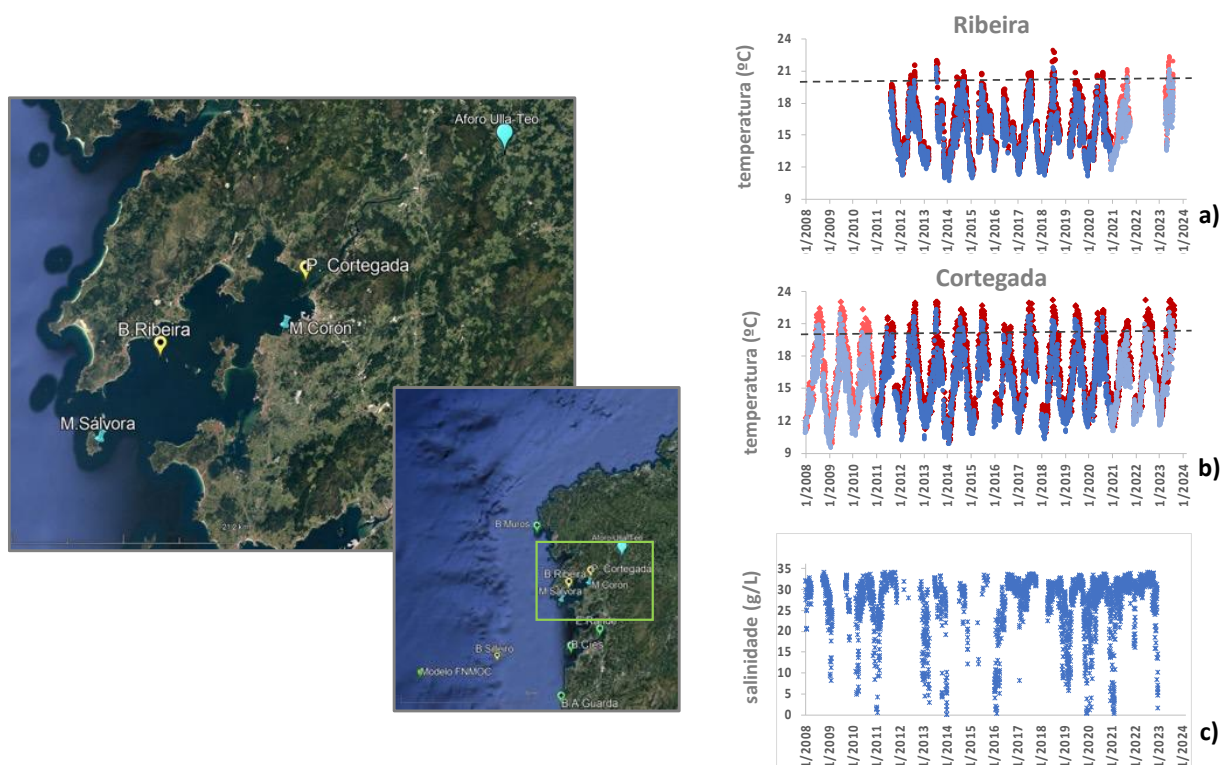


Figura 4. Series temporais da media (azul) e máximo diario (vermello) da temperatura superficial do mar en Ribeira (a) e Cortegada (b). Tamén se amosa a salinidade superficial de Cortegada (c). Datos tomados do Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia.

Outra variable relevante neste contexto é a subida do nivel do mar. O mareógrafo do porto de Vigo leva rexistrando a altura media do nivel do mar dende o ano 1945, e ten detectado un aumento lineal de 2,4 cm por década (**Figura 5**). Por tanto, o nivel do mar subiu uns 19 cm dende que se instalou o mareógrafo hai case 80 anos. Esta subida no nivel medio do mar, tradúcese nunha perda de areas de 10 a 20 metros segundo o perfil das praias, afectando, entre outras moitas actividades económicas, á extracción marisqueira a pé, polo seu impacto na dinámica da praia, a súa erosión (particularmente combinada co impacto das ondas durante os temporais de suroeste), e a perda de superficie explotable.

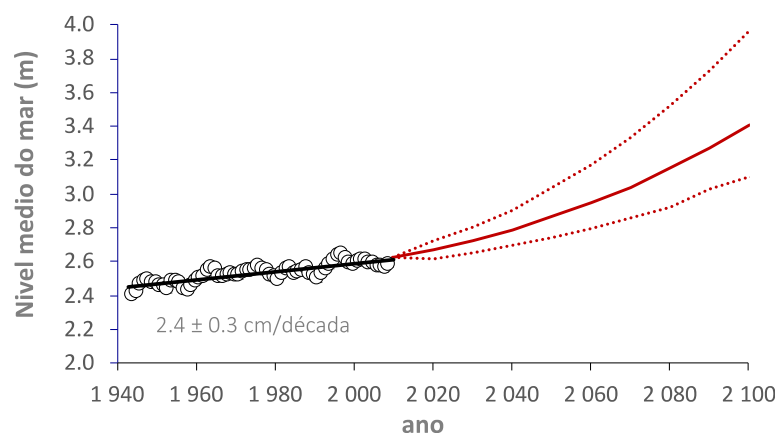


Figura 5. Evolución temporal da altura media do nivel do mar no mareógrafo do porto de Vigo dende 1945 ata 2015 (círculos brancos) (tomado de indamar.ieo.es) e predición de 2015 a 2100 (liña vermella) (tomada de IPCC AR6 https://sealevel.nasa.gov/data_tools/17).

E como vai evolucionar no futuro o nivel do mar? As previsións son alarmantes: para 2050 prognostícase que o nivel do mar estará 40 cm por riba do nivel de 1945 e cara o final do século, alcanzará os 100 cm, de forma que o impacto sobre a liña de costa non terá precedentes, e no caso particular dos areas, poden chegar a perderse ata 100 m de praia.

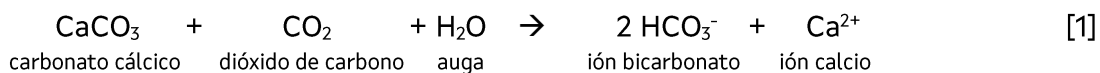
Finalmente, para terminar este repaso das variables que poden afectar á explotación dos recursos mariños vivos das rías, o seu diagnóstico pasado e prognóstico futuro, quedáanos falar da acidificación oceánica. As rías estanse a volver máis ácidas como consecuencia da entrada no mar de CO₂ proveniente da queima de combustibles fósiles. Así, para o caso da Ría de Arousa (**Táboa 1**), cómpre distinguir entre a parte exterior (menos ácida) e a interior (máis ácida). Entre 1980 e 2020 o pH diminuíu en torno ás 0,05 unidades. Esta lixeira diminución non ten posto en risco a viabilidade dos organismos que contan con estruturas de carbonato cálcico, como as cunchas de ameixa ou outros bivalvos explotados nas rías.

Táboa 1. Valores de pH na parte interna e externa da Ría de Arousa medidos en 1980 e 2020 (Padín et al., 2020) e prognóstico para 2050 e 2100 no escenario máis desfavorable de emisión de gases de efecto invernadoiro (elaboración propia).

	1980	2020	2050	2100
Arousa exterior	8,15	8,05	7,95	7,80
Arousa interior	8,10	7,95	7,85	7,70

Cara ao ano 2050, considerando o peor dos escenarios de emisións de gases de efecto invernadoiro, reduciríase en 0,10 unidades o pH respecto ao ano 2020, quedando en 7,95 no exterior e 7,85 no interior da Ría de Arousa. Finalmente, a predición para final do século

XXI rebaixa o pH a 7,80 e 7,70 no exterior e interior de Arousa, respectivamente. Estes niveis de pH xa son baixos de abondo para que a concentración de ión carbonato (CO_3^{2-}) na auga diminúa ata o punto de que as estruturas de carbonato cálcico deixen de ser estables e comecen a súa disolución segundo a ecuación [1]. Por tanto, ata o ano 2050 o problema da acidificación oceánica non vai a ser alarmante, pero a partir desa data comezará a ser un dos máis preocupantes impactos do cambio climático.



En resumo, os ventos do nordés, "motor" deses "ecosistemas do vento" que son as nosas rías, parece que van recuperar terreo e intensidade nas próximas décadas, garantindo a dispoñibilidade de alimento que precisan os recursos vivos explotados nas rías. Tamén van seguir axudando a que a temperatura superficial da auga das rías aumente moito máis moderadamente que no océano aberto, creando unha especie de "refuxio climático" capaz de retrasar no tempo o momento en que se supere o rango de temperatura óptima para o crecemento e desempeño das especies explotadas. Os episodios de precipitación extrema van aumentar ao longo do século XXI, acrecentando o risco de caídas abruptas e prolongadas da salinidade, que provocan mortalidades masivas nos bivalvos cultivados nos areais da zona interna das rías. Cómpre explorar seriamente a posibilidade de regular o caudal das presas como medida de adaptación a este risco do cambio climático. O nivel medio do mar subiu linealmente nos derradeiros 80 anos, e farao exponencialmente ao longo do século XXI, chegando a estar 1 m por encima do nivel do mar en 1945 para o ano 2100. Este cambio afectará ao perfil das praias e a explotación dos seus recursos marisqueiros. Dentro dos recursos marisqueiros, os moluscos de cuncha están ademais ameazados pola progresiva acidificación da auga das rías, que pode chegar a provocar a corrosión do carbonato cálcico das cunchas. Esta ameaza comezará a ser preocupante a partir de mediados do século XXI.

Agradecementos:

Os contidos presentados neste artigo xeráronse no marco do proxecto TransformaAr (Horizon 2020, <https://cordis.europa.eu/project/id/101036683/results>) e o "Programa de Ciencias Mariñas de Galicia", financiado pola Unión Europea-Next Generation EU y FEMP, o Ministerio de Ciencia e Innovación e a Xunta de Galicia. Ademais, a European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund e a Xunta de Galicia financian o Observatorio Costeiro da Xunta de Galicia.

Álvarez-Salgado X.A., A.V. Borges, F.G. Figueiras, L. Chou (2010). Iberian margin: the Rías. En: Carbon and Nutrient Fluxes in Continental Margins: A Global Synthesis, IGBP Book Series, editado por K.-K. Liu, L. Atkinson, R. Quiñones y L. Talae-McManus, Springer, Berlin, ISBN: 978-3-540-92734-1, capítulo 2.6, pp. 103-120.

Butenschon M., J. Clark, J.N. Aldridge, J.I. Allen, Y. Artioli, J. Blackford, J. Bruggeman, P. Cazenave, S. Ciavatta, S. Kay e outros (2016). ERSEM 15.06: a generic model for marine biogeochemistry and the ecosystem dynamics of the lower trophic levels. Geosci. Model Dev. 9, 1293-1339. DOI: 10.5194/gmd-9-1293-2016.

Fontán-Bouzas Á., T. Abreu, C. Ferreira, P.A. Silva, L. López-Olmedilla, J. Guitián, A.M. Bernabeu, J. Alcántara-Carrió (2024). Morphodynamic Response of Open and Embayed Beaches to Winter Conditions: Two Case Studies from the North Atlantic Iberian Coast. *Journal of Marine Sciences and Engineering*, 12, 168. DOI: 10.3390/jmse12010168.

García-Reyes M., W. J. Sydeman, D.S. Schoeman, R.R. Rykaczewski, B.A. Black, A.J. Smit, S.J. Bograd (2015). Under Pressure: Climate Change, Upwelling, and Eastern Boundary Upwelling Ecosystems. *Frontiers in Marine Science*, doi: 10.3389/fmars.2015.00109.

Labarta, U., Fernández-Reiriz, M.J. (2019). The Galician mussel industry: innovation and changes in the last forty years. *Ocean and Coastal Management* 167, 208-218. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2018.10.012.

Padín, X.A., Velo, A., Pérez, F.F. (2020). ARIOS: a database for ocean acidification assessment in the iberian upwelling system (1976-2018). *Earth System Science Data* 12, 2647-2663. DOI: 10.5194/essd-12-2647-2020.

Pérez F.F., X.A. Álvarez-Salgado, G. Rosón (2000). Stoichiometry of nutrients (C, N, P and Si) consumption and organic matter production in a coastal inlet affected by upwelling. *Marine Chemistry* 69: 217–236. DOI: 10.1016/S0304-4203(99)00107-3.

Piedracoba S., P. Conde, X.A. Álvarez-Salgado, S. Torres (2024). Seasonal, interannual and long-term variability of sea surface temperature in the NW Iberian upwelling, 1982-2020. *Journal of Geophysical Research: Oceans* 129, e2024JC021075. DOI: 10.1029/2024JC021075.

Queiroga H., T. Cruz, A. dos Santos, J. Dubert, J.I. González-Gordillo, J. Paula, A. Peliz, , M. Santos (2007). Oceanographic and behavioural processes affecting invertebrate larval dispersal and supply in the western Iberia upwelling ecosystem. *Progress in Oceanography* 74: 174-191. DOI: 10.1016/j.pocean.2007.04.007.