

Explotación de los recursos marisqueros de las rías ante el cambio climático

Xosé Antón Álvarez Salgado

Doctor en Química, Universidad de Santiago de Compostela. Desarrolló su carrera investigadora en el campo de los procesos oceanográficos en el océano global, con especial énfasis en la oceanografía del mar de Galicia, su trascendencia para los servicios ecosistémicos prestados por las rías, y el impacto que el cambio climático puede tener en las sostenibilidad de esos servicios.

Isabel Fuentes Santos

Doctora en Estadística, Universidad de Santiago de Compostela. Desarrolló su carrera investigadora en el desarrollo y aplicación de herramientas estadísticas en distintos ámbitos, con especial énfasis en la investigación marina, la interacción entre la oceanografía y los sistemas de producción de las rías y la predicción del impacto que el cambio climático puede tener en estos procesos.

Silvia Piedracoba Varela

Doctora en Ciencias del Mar, Universidad de Vigo. Desarrolló su carrera investigadora especializándose en el análisis de datos hidrodinámicos e hidrográficos, y trabajando con bases de datos oceanográficas mayormente centradas en el afloramiento costero del noroeste de la Península Ibérica. Forma parte de CETMAR, donde asegura la calidad de los datos océano-meteorológicos para su difusión, y desarrolla productos y servicios para usuarios finales a través del Observatorio Costero de la Xunta de Galicia.

Las condiciones oceanográficas regionales y la geomorfología de la costa gallega están detrás de la elevada producción primaria de las rías, que sustenta al marisqueo, a las pesquerías artesanales y la acuicultura extensiva de mejillón. Así, la costa de Galicia ocupa el límite septentrional del sistema de afloramiento de la Corriente de Canarias. Puede decirse que los sistemas de afloramiento son "ecosistemas del viento" porque es el viento de componente norte lo que produce la elevación de agua oceánica, fría y rica en sales nutrientes, desde unos 200 metros de profundidad hasta "aflorar" en la costa, en superficie. Esta agua oceánica fertiliza la plataforma continental y las rías, estimulando la producción primaria. Con todo, para que esta fertilización finalice en recursos vivos explotables como la almeja, la sardina, el pulpo o el mejillón, hace falta además que esos nutrientes se utilicen de forma eficiente. El mar de Galicia es particularmente eficiente en la utilización de esos nutrientes por dos razones. La primera es que el viento en nuestra latitud es estacional, dominando el nordeste en primavera y verano y el viento del sudoeste en otoño e invierno (**Figura 1**). Esto significa que el fenómeno de afloramiento ocurre en la época en que normalmente se desarrolla la fase de larva planctónica de la mayor parte de los recursos marinos explotables, lo que facilita su supervivencia gracias a una abundante disponibilidad de alimento.

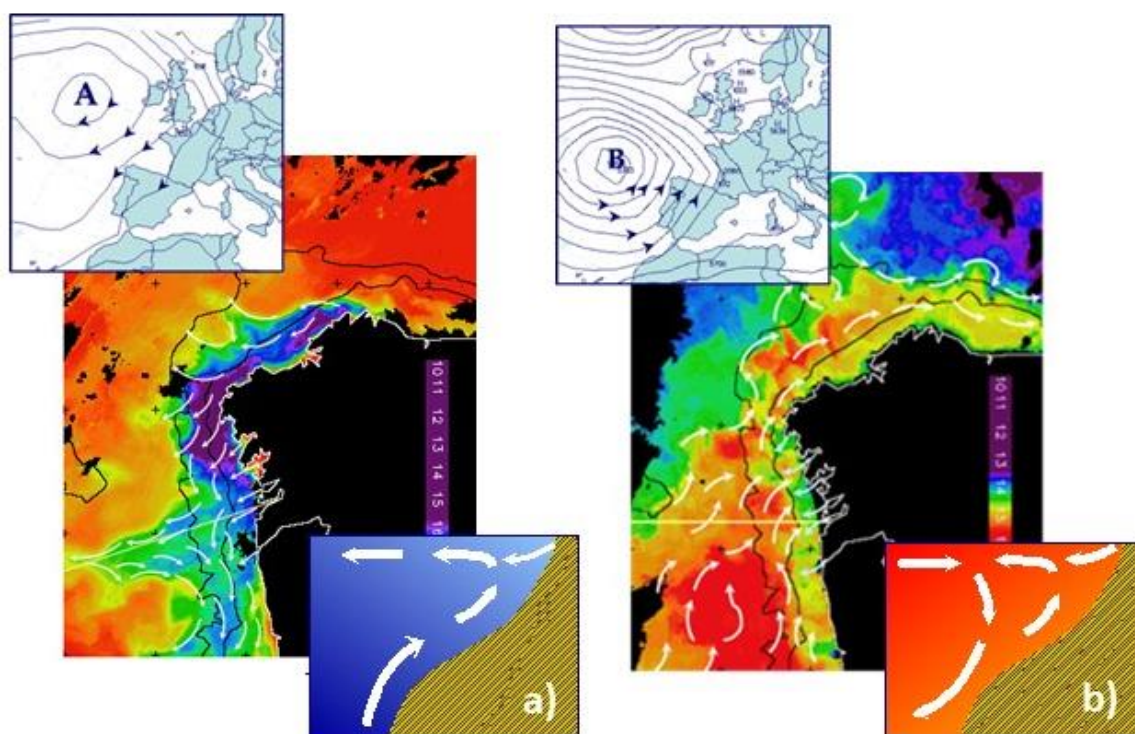


Figura 1. Condiciones oceanográficas medias en el mar de Galicia en el período favorable al viento del nordeste (primavera y verano), cuando se produce el fenómeno de afloramiento, y en el período favorable al viento del sudoeste (otoño e invierno). Las imágenes de satélite muestran el impacto de los vientos de nordeste enfriando las aguas costeras y de los vientos del sudoeste transportando agua cálida del sur. También se muestra la circulación de las rías en primavera-verano (positiva) y otoño-invierno (inversa). Adaptada de Álvarez-Salgado et al. (2010).

Además de estacional, el viento es intermitente, de forma que episodios de nordeste, las "nortadas", de intensidad y duración variable, desde unas horas a unos cuantos días, se suceden separados por períodos de calma. Esta sucesión de nortadas y calmas permite una utilización más eficiente de los nutrientes, que se inyectan durante las nortadas y se consumen durante las calmas (Álvarez-Salgado et al., 2010), evitando además una rápida dispersión de las larvas planctónicas hacia el océano abierto, donde la disponibilidad de alimento escasea (Queiroga et al., 2007).

La intrincada geomorfología de la costa gallega, con 1.500 Km de costa, y sus rías, particularmente las extensas, alargadas y profundas Rías Baixas, también contribuyen a una utilización más eficiente de los nutrientes que transportan las aguas afloradas, dado que ensanchan su tiempo de residencia, cuando se compara con otros sistemas de afloramiento que no presentan bahías ni plataformas continentales amplias como es el caso del afloramiento del Perú. La geomorfología presta además un apoyo adicional de crucial importancia: la protección de la costa contra los temporales del sudoeste en otoño e invierno, particularmente en las rías de Arousa, Pontevedra y Vigo, que cuentan con el abrigo de las islas de Sálvora, Ons y Cíes, que resguardan a los arenales situados en las zonas interiores de las rías, y permiten realizar actividades de pesca y marisqueo artesanal, que resultarían arriesgadas en la plataforma continental o en la parte exterior de las rías.

Llegados a este punto cabe preguntarse si, en el actual contexto de cambio climático, está asegurada la función del mar de Galicia como abastecedor de alimento en las próximas décadas. Responder a esta pregunta no es sencillo, pues exige: 1) diagnosticar si el cambio climático ha alterado las variables ambientales que afectan a los recursos vivos explotables; 2) pronosticar cómo esas variables ambientales se van a ver alteradas en las próximas décadas como resultado del cambio climático; y 3) evaluar cuál va a ser la respuesta del ecosistema en general, y de las especies explotadas en particular, a los cambios experimentados en las variables ambientales.

Antes de diagnosticar hace falta identificar las variables ambientales relevantes, entre las que se encuentra la **intensidad, dirección, persistencia y frecuencia de los vientos** que, por un lado, dictan los episodios de afloramiento que fertilizan el mar de Galicia en primavera y verano, y por otro lado, los destructivos episodios climáticos extremos en otoño e invierno que, a través de la energía de las ondas, puede alterar la geomorfología de las playas (Fontán-Bouzas et al., 2024), estropear infraestructuras, y dificultar o incluso impedir las labores de extracción. El **calentamiento de las aguas superficiales** es otra variable a considerar, tanto por el incremento gradual de la temperatura, el llamado "calentamiento global", que puede llegar a estresar a las especies de interés comercial al superar su rango óptimo de temperatura, como por esos episodios de temperaturas extremas conocidos como "ola de calor", que pueden provocar mortandades masivas. También es necesario contemplar la intensidad y persistencia de los episodios extremos de **descenso brusco de la salinidad superficial**, principalmente en la parte interna de las

rías cerca de la desembocadura de los ríos principales, que se asocian a precipitaciones extremas y pueden provocar altas tasas de mortandad en los bancos marisqueros. Otra variable ambiental a tener en cuenta, particularmente relevante para el marisqueo a pie, es la **subida del nivel medio del mar**, que tiene implicaciones directas sobre la geomorfología de las playas en las que se extraen moluscos bivalvos de interés comercial como la almeja. Finalmente, para el caso de los moluscos bivalvos, la concha formada fundamentalmente de carbonato cálcico (CaCO_3) es muy sensible a la **acidificación oceánica**, es decir, a la gradual caída del pH que está experimentando el océano a causa de la disolución en el agua del dióxido de carbono (CO_2) acumulado en la atmósfera por consecuencia de las actividades humanas (Padín et al., 2020).

Analicemos entonces variable por variable, comenzando por el viento. El llamado "índice de surgencia", calculado a partir de la intensidad del viento del noreste, es una estimación del volumen de agua aflorada, que se reporta en $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}$ lineal de costa. Cuando se analiza la serie temporal de los valores de este índice frente a costa de las Rías Baixas desde 1967 hasta 2021, suavizada para poner el foco en la variabilidad de largo plazo (**Figura 2**), se observan ciertas diferencias en la extensión, en la intensidad y en el período en el que la intensidad del afloramiento es máxima. Ciertamente, el asunto del viento en la costa de Galicia, ha sido objeto de controversia científica, pues según los datos empleados y la forma de analizarlos, se interpretó que los vientos del nordeste fueron perdiendo intensidad a lo largo de la segunda mitad del siglo XX, mientras que otros estudios no apreciaban esa merma. Mirando la **Figura 2a**, parece que el único cambio que se observa claramente a largo plazo es que el período favorable al afloramiento es más corto actualmente (de mayo a septiembre) que a finales de la década de 1960 (de marzo a octubre). Es decir, el período favorable a los vientos del nordeste perdió terreno, lo que implica un descenso del grado de fertilización de las rías por el afloramiento. Con todo, hasta ahora no ha tenido un efecto destacable en la productividad de las rías, porque están recibiendo más nutrientes de los que pueden utilizar (Pérez et al., 2000).

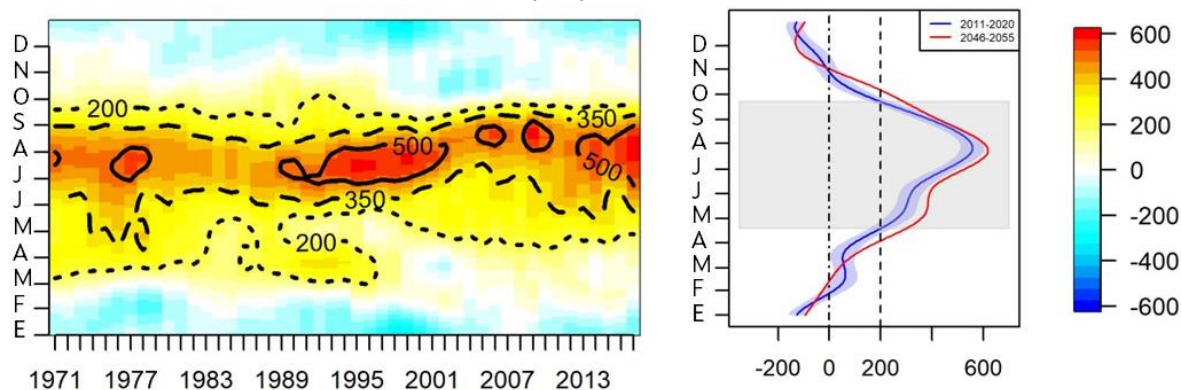


Figura 2. Evolución estacional del índice de afloramiento (en $\text{m}^3/\text{s}/\text{Km}$ de costa) desde 1967 a 2021 (media corrida de 5 años) (a); y ciclo estacional medio del índice de afloramiento para los períodos 2011-2020 (en azul) y 2045-2055 (en rojo) (b). Datos para (a) tomados de <http://www.indicedeafloramiento.ieo.es>. Proyecciones para (b) tomadas del modelo MPI-ESM-LR-RCA4 de EURO-CORDEX (<https://www.euro-cordex.net/>).

¿Qué nos depara el futuro? ¿Cómo va a ser el viento de nordeste a mediados del siglo XXI? La respuesta a esta pregunta hay que buscarla en las proyecciones climáticas, modelos que simulan las condiciones del clima en las próximas décadas en función de distintos escenarios de emisión de gases de efecto invernadero. Poniéndose en el caso más pesimista acerca de la evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero, esos modelos nos dicen que en la década 2046-2055, cuando se compara con la década 2011-2020, el período favorable a los nordestes se vuelve a extender de principio de abril a principio de octubre y el índice afloramiento en ese período va a aumentar sobre un 8% (**Figura 2b**). Esta ligera recuperación del afloramiento constituye una buena noticia para los recursos vivos explotable del mar de Galicia, rompiendo la incierta y preocupante tendencia anterior. Las causas de este cambio de tendencia hay que buscarlas en el aumento de la diferencia de temperatura entre la costa y el mar, que incrementa el gradiente de presión atmosférica entre la masa continental y la oceánica, produciendo una intensificación de los vientos del nordeste cerca de la costa (García-Reyes et al., 2015).

Desde el punto de vista negativo, debemos indicar que se va a producir un incremento de la frecuencia de los temporales de sudoeste característicos del invierno. Así, en el caso de la Ría de Arousa, donde el Observatorio Costero de la Xunta de Galicia mantiene dos estaciones meteorológica-oceanográficas (**Figura 4**) que registran en continuo la velocidad del viento, se observó que en el período 2011-2020 en la parte externa de la Ría de Arousa (Ribeira) la frecuencia de días con vientos de fuerza 6 (mayores de 45 Km/h) fue de 35 días cada año. Según las proyecciones de EURO-CORDEX esta frecuencia se va a incrementar un 40%, llegando a los 50 días/año, en el período 2046-2055. Por el contrario, en la parte interna (Cortegada) prácticamente no soplan vientos de fuerza 6, sólo 1 día/año, tanto en el período 2011-2020 como en el 2046-2055. Por tanto, es la parte exterior de las rías la que es actualmente, y seguirá siendo en las próximas décadas, la más vulnerable a los temporales de sudoeste.

¿Qué ha pasado con la temperatura superficial de las aguas del mar de Galicia? Aquí tenemos que distinguir entre las aguas oceánicas, alejadas de la plataforma continental, y las aguas costeras. La **Figura 3a** muestra el incremento de la temperatura superficial media en 42° N 10°W (recuadro en la **Figura 3b**) desde el año 1900 hasta 2020, con un incremento medio de 0.12°C cada década. Esta tasa de aumento no ha sido homogénea, como nos muestra la **Figura 3b**, donde se observa que el calentamiento desde 1982 hasta 2020 en el mar de Galicia fue menor cuando nos acercamos a la costa. Así, mientras que en Fisterra el calentamiento fue de 0,05 °C por década, en el mar abierto, donde no llega el efecto del afloramiento, alcanzó los 0,20 °C por década (Piedracoba et al., 2024). Por tanto, el afloramiento ha contribuido a evitar que las aguas costeras de Galicia se calentaran a la misma velocidad que las aguas oceánicas, manteniéndose dentro del rango óptimo para las especies explotadas.

En el futuro, considerando el peor escenario de emisiones de gases de efecto invernadero a la atmósfera, las proyecciones sugieren que la temperatura superficial de las aguas oceánicas va a seguir aumentando a una tasa media de 0,24°C por década. Echando un vistazo rápido a la **Figura 3a**, podemos constatar que mientras que la temperatura media del Océano Atlántico frente a Galicia era de 14,5°C a comienzos del siglo XX, puede alcanzar los 17,5°C a finales del siglo XXI. No deja de impresionar que nuestra especie será responsable de aumentar la temperatura superficial de nuestro mar 3°C en 200 años. Afortunadamente, en caso de cumplirse el pronóstico de recuperación del afloramiento en intensidad y duración en las próximas décadas (**Figura 2b**), éste seguirá protegiendo a las aguas costeras de este calentamiento desbocado.

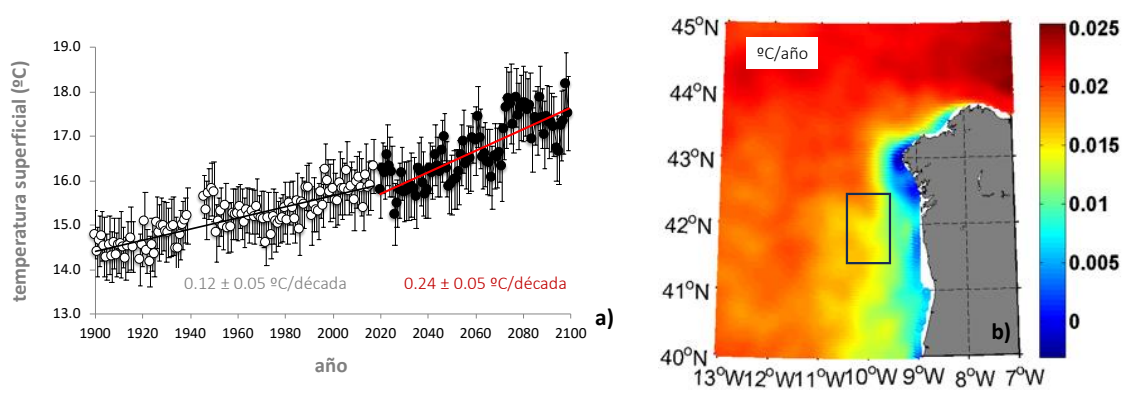


Figura 3. Evolución temporal de la temperatura media superficial del mar de Galicia en 42°N 10°W (recuadro en el panel 3b) de 1900 a 2020 (círculos blancos), y predicción de 2020 a 2100 (círculos negros) (a); variación espacial del incremento anual de la temperatura superficial del mar de Galicia en el período 1982-2020. Datos medidos de 1900 a 2020 tomados de www.coads.noaa.gov. Proyección de 2020 a 2100 tomados del modelo oceánico POLCOMS-ERSEM (Butenschon et al., 2016). Panel (b) tomado de Piedracoba et al. (2024).

Para el caso concreto de la Ría de Arousa, los datos de temperatura superficial del agua registrados por el Observatorio Costero de la Xunta de Galicia indican que en el período 2011-2020, en Ribeira, en la parte exterior de la ría, la temperatura superficial superó los 20°C en torno a 10 días por año (**Figura 4a**). Por el contrario, en Cortegada, en la parte interior de la ría, los 20°C se superaron 50 días cada año (**Figura 4b**). Estos resultados dejan a las claras que la parte interior de la ría, y los recursos que allí se explotan, son los más vulnerables al aumento de temperatura. A mediados del siglo XXI, en el más pesimista de los escenarios climáticos, en Ribeira se superarán los 20°C 14 días cada año (40% más en que en 2011-2020) y en Cortegada 59 días cada año (20% más que en 2011-2020).

En la estación de Cortegada, muy cerca de la desembocadura del Río Ulla, también se registra la salinidad superficial (**Figura 4c**), y pudo observarse que entre 2008 y 2023 ocurrieron un total de 6 episodios en los que la salinidad cayó bruscamente por debajo de

los 5 g/L. Estos episodios, asociados a un aumento del caudal del Río Ulla como resultado de precipitaciones intensas, si son suficientemente prolongados, pueden provocar mortandades masivas de los moluscos bivalvos de los bancos marisqueros en playas próximas a la desembocadura del río. Precipitaciones por encima de los 34 L/m² acumulados en un día se consideran episodios extremos en las comarcas de la Ría de Arousa y se produjeron de media 6 días cada año en el período 2011-2020. Las proyecciones climáticas de Meteogalicia (<https://www.meteogalicia.gal>) estiman que el número de días de precipitaciones extremas aumentará su frecuencia a 8 días por año hacia el último cuarto del siglo XXI (30% más que en 2011-2020). Por tanto, es previsible que el riesgo de que estas mortandades ocurran aumente a lo largo de este siglo. El hecho de que el caudal del Río Ulla, como otros muchos ríos que desembocan en las Rías Gallegas, esté regulado por una presa, da pie a la posibilidad de controlar parcialmente las caídas de salinidad asociadas a los episodios de precipitación extrema.

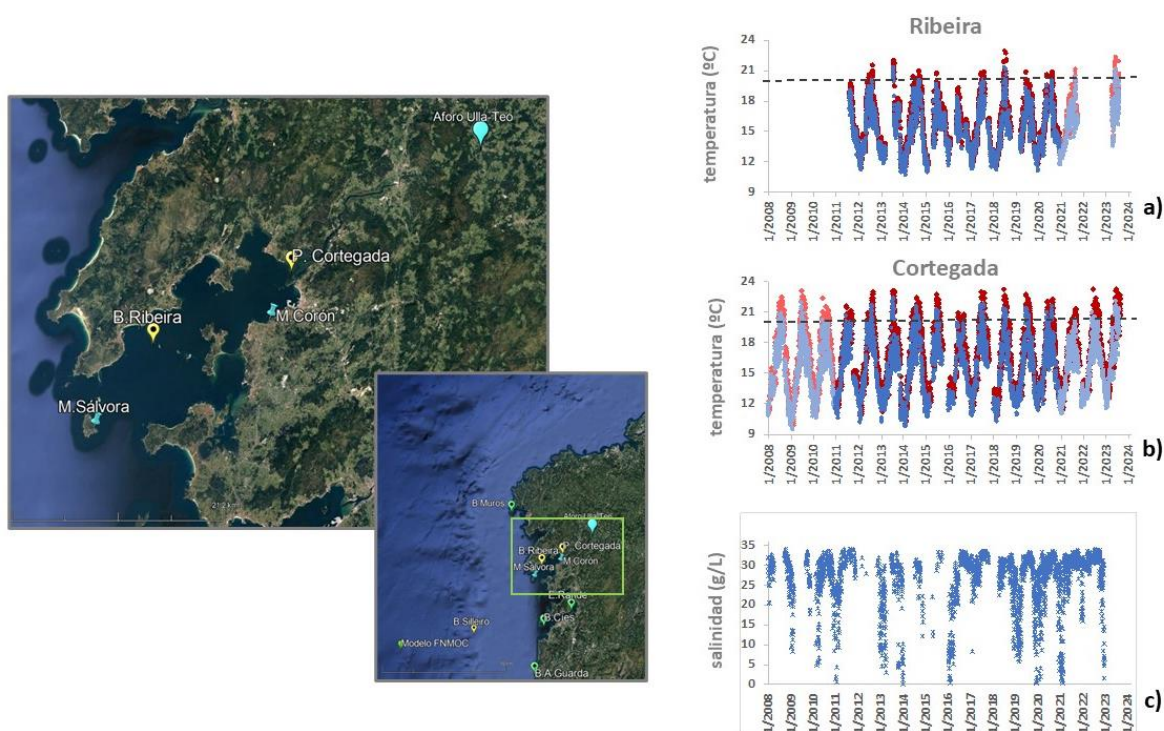


Figura 4. Series temporales de la media (azul) y máximo diario (rojo) de la temperatura superficial del mar en Ribeira (a) y Cortegada (b). También se muestra la salinidad superficial de Cortegada (c). Datos tomados del Observatorio Costero de la Xunta de Galicia.

Otra variable relevante en este contexto es la subida del nivel del mar. El mareógrafo del puerto de Vigo lleva registrando la altura media del nivel del mar desde el año 1945, y ha detectado un aumento lineal de 2,4 cm por década (**Figura 5**). Por tanto, el nivel del mar subió unos 19 cm desde que se instaló el mareógrafo hace casi 80 años. Esta subida en el nivel medio del mar, se traduce en una pérdida de arenales de 10 a 20 metros según el perfil de las playas, afectando, entre otras muchas actividades económicas, a la extracción marisquera a pie, por su impacto en la dinámica de la playa, su erosión (particularmente

combinada con el impacto de las olas durante los temporales de sudoeste), y la pérdida de superficie explotable.

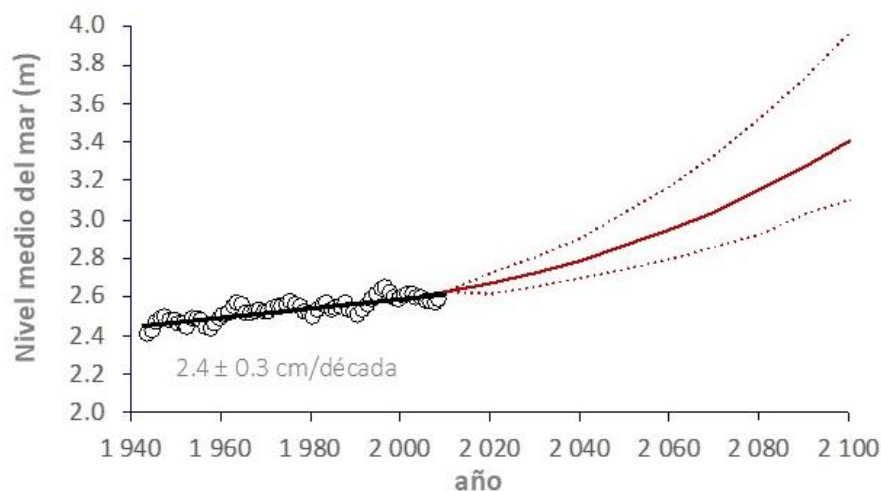


Figura 5. Evolución temporal de la altura media del nivel del mar en el mareógrafo del puerto de Vigo desde 1945 hasta 2015 (círculos blancos) (tomado de indamar.ieo.es) y predicción de 2015 a 2100 (línea roja) (tomada de IPCC AIRE6 https://sealevel.nasa.gov/data_tools/17).

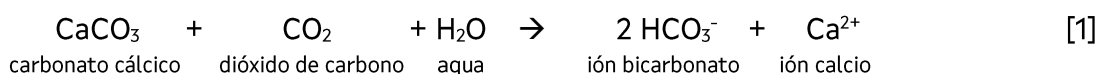
¿Y cómo va a evolucionar en el futuro el nivel del mar? Las previsiones son alarmantes: para 2050 se pronostica que el nivel del mar estará 40 cm por encima del nivel de 1945 y hacia el final del siglo, alcanzará los 100 cm, de forma que el impacto sobre la línea de costa no tendrá precedentes, y en el caso particular de los arenales, pueden llegar a perderse hasta 100 m de playa.

Finalmente, para terminar este repaso de las variables que pueden afectar a la explotación de los recursos marinos vivos de las rías, su diagnóstico pasado y pronóstico futuro, nos queda hablar de la acidificación oceánica. Las rías se están volviendo más ácidas a consecuencia de la entrada en el mar de CO₂ procedente de la quema de combustibles fósiles. Así, para el caso de la Ría de Arousa (**Tabla 1**), hace falta distinguir entre la parte exterior (menos ácida) y la interior (más ácida). Entre 1980 y 2020 el pH disminuyó en torno a las 0,05 unidades. Esta ligera merma no ha puesto en riesgo la viabilidad de los organismos que cuentan con estructuras de carbonato cálcico, como las conchas de almeja u otros bivalvos explotados en las rías.

Tabla 1. Valores de pH en la parte interna y externa de la Ría de Arousa medidos en 1980 y 2020 (Padín et al., 2020) y pronóstico para 2050 y 2010 en el escenario más desfavorable de emisión de gases de efecto invernadero (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

Hacia el año 2050, considerando el peor de los escenarios de emisiones de gases de efecto invernadero, se reduciría en 0,10 unidades el pH respecto al año 2020, quedando en 7,95 en el exterior y 7,85 en el interior de la Ría de Arousa. Finalmente, la previsión para final del siglo XXI rebaja el pH a 7,80 y 7,70 en el exterior e interior de Arousa, respectivamente. Estos niveles de pH ya son suficientemente bajos para que la concentración de ión carbonato (CO_3^{2-}) en el agua disminuya hasta el punto de que las estructuras de carbonato cálcico dejen de ser estables y comiencen su disolución según la ecuación [1]. Por tanto, hasta el año 2050 el problema de la acidificación oceánica no va a ser alarmante, pero a partir de esa fecha comenzará a ser uno de los más preocupantes impactos del cambio climático.



En resumen, los vientos del nordeste, "motor" de esos "ecosistemas del viento" que son nuestras rías, parece que van a recuperar terreno e intensidad en las próximas décadas, garantizando la disponibilidad de alimento que necesitan los recursos vivos explotados en las rías. También van a seguir ayudando a que la temperatura superficial del agua de las rías aumente mucho más moderadamente que en el océano abierto, creando una especie de "refugio climático" capaz de retrasar en el tiempo el momento en que se supere el rango de temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo de las especies explotadas. Los episodios de precipitación extrema van a aumentar a lo largo del siglo XXI, acrecentando el riesgo de caídas abruptas y prolongadas de la salinidad, que provocan mortandades masivas en los bivalvos cultivados en los arenales de la zona interna de las rías. Es necesario explorar seriamente la posibilidad de regular el caudal de las presas como medida de adaptación a este riesgo del cambio climático. El nivel medio del mar ha subido linealmente en los últimos 80 años, y lo hará exponencialmente a lo largo del siglo XXI, llegando a estar 1 m por encima del nivel del mar de 1945 para el año 2100. Este cambio afectará al perfil de las playas y la explotación de sus recursos marisqueros. Dentro de los recursos marisqueros, los moluscos de concha están además amenazados por la progresiva acidificación del agua de las rías, que puede llegar a provocar la corrosión del carbonato cálcico de las conchas. Esta amenaza comenzará a ser preocupante a partir de mediados del siglo XXI.

Agradecimientos:

Los contenidos presentados en este artículo fueron generados en el marco del proyecto TransformaAr (Horizon 2020, <https://cordis.europa.eu/project/id/101036683/results>) y el "Programa de Ciencias Marinas de Galicia", financiado por la Unión Europea-Next Generation EU y FEMP, el Ministerio de Ciencia e Innovación y la Xunta de Galicia. Además, la European Maritime, Fisheries and Aquaculture Fund y la Xunta de Galicia financian el Observatorio Costero de la 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. Talaue-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.