

Les foles de calor marines nel Cantábricu

Por **Paula Izquierdo Muruais**

Doctora en Bioloxía pola Universidá d'Uviéu

Cambeos drásticos na abundancia de la especie dominante Himantalia elongata en La Playa d'Artéu (Cuideiru).
[Semeyes de José Manuel Rico]

El cambéu climáticu a nivel global ye ún de los desafíos más importantes del nuesu tiempu (IPCC, 2023). Les actividaes humanes, como la quema de combustibles fósiles, la esplotación del suelu y los estilos de vida centraos nel consumu, foron los motores principales d'esti fenómenu. Nes últimes décadas, los sos efeutos fixéronse evidentes: aumentu de les temperatures globales, alteraciones nos patrones climáticos, dexelu de los casquetes polares, xuba del nivel de la mar y una mayor frecuencia ya intensidá de fenómenos climáticos estremos, ente otros. Estos impautos nun afeuten namás al mediu ambiente, sinón que tamién repercuten na estabilidá de les economíes y les estructures sociales actuales y futures.

Les foles de calor marines (FCM, OCM en castellanu) son periodos de temperatures anormalmente altes que puen durar dende díes hasta meses, estendese miles de quilómetros y alcanzar fondures d'hasta cientos de metros nel océanu; nun son cosa nueva y puen ser naturales, pero la so frecuencia ya intensidá medraron globalmente nel últimu sieglu.

L'océanu desempeña un papel perimportante nel bientar humanu. Dende'l puntu de vista económicu, contribúi col 2,5 % del productu interior brutu global, emplega al 1,5 % de la fuercia llaboral mundial y espérase qu'algame un valor estimáu de 3 mil millones de dólares estaonunidenses pa 2030 (OECD, 2016). Ecolóxicamente, l'océanu regula'l clima global al absorber y almacenar grandes cantidaes de dióxidu de carbonu, caltién l'equilibriu y los servicios de los ecosistemas y agospia hábitats imprescindibles pa sobrevivencia d'una gama de biodiversidá amplia, ente otres munches funciones esenciales. Conservar océanos saludables y sosteníos ye esencial p'algamar los oxetivos climáticos

y sociales y p'asegurar un futuru resiliente ya igualitariu, un futuru qu'anguaño s'alcuentra nuna encruciyada.

El calentamientu global de los océanos xurde como un tema central na investigación ambiental de les últimes décadas por mor de les sos fondes implicaciones pa los ecosistemas marinos y el planeta nel so conxuntu. Nesti contestu, debió a los sos efeutos na biodiversidá marina, los ecosistemas y les actividaes socioeconómiques rellacionaes, los fenómenos estremos de temperatura como les foles de calor marines recibieron cada vez más atención. Les foles de calor marines (FCM)¹ son periodos de temperatures anormalmente altes que puen durar dende díes hasta meses, estendese miles de quilómetros y

alcanzar fondures d'hasta cientos de metros nel océanu. Aunque nun son un fenómenu nuevu y puen ocurrir de manera natural, la so frecuencia ya intensidá medraron globalmente nel últimu sieglu, impulsaes pol cambéu climáticu. Debío a la preocupación creciente polos sos impautos, cuantificar les tendencias y patrones de les foles de calor marines establecióse como una prioridá.

El términu «fola de calor marina» apaeció per primer vez pa describir un momentu d'agües enforma calientes n'Australia occidental en 2011, marcando l'entamu de la investigación nesti campu. Sicasí, nun foi hasta 2016 que Hobday *et al.* (2016) foron a acordar una definición,

1. Olas de Calor Marinas (OCM) en castellanu.

describiendo les FCM como «fenómenos discretos y llargos d'agües anormalmente calientes». Tamién se definen cuantitativamente con criterios específicos: tienen que superar el percentil 90 del periodu climatolóxicu de referencia y durar, a lo menos, cinco díes consecutivos. Esti marcu facilitó la comparanza d'episodios de FCM a nivel mundial y ayudó a entender el so impautu nos ecosistemas marinos.

Les FCM xurden d'una combinación de factores llocales y globales. Llocalmente, orixínense dende cambeos na temperatura de la capa superficial del océanu, impulsaos por procesos como l'intercambéu de calor ente l'aire y la mar o les corrientes oceániques. A nivel global, el calentamientu oceánicu ye'l principal responsable del aumentu na so incidencia ya intensidá nes últimes décadas. Les proyeiciones de futuru suxeren que les FCM van volverse a nivel global más abundoses y más duraderes nos próximos años (Oliver *et al.*, 2019), fechu qu'amenaza la salú y sostenimientu de les comunidaes marines y pon en riesgu los servicios tan valoratibles que proporcionen los océanos.

Los impautos ecolóxicos y socioeconómicos de les FCM son estremaos y de gran fondura. Puen causar acontecimientos de mortalidá masiva, perda de praderes marines y viesques d'algues, blanquiamientu de corales, aumentu nocivu d'algues, cambeos na distribución d'especies y la reestructuración o mesmo l'agotamientu d'ecosistemas marinos. Estos impautos refléxense na economía al traviés de riesgos pa la salú, reducción del turismu, disminución de cuotes de pesca, piesllu de pesqueríes y, inclusive, tensiones polítiques (Smith *et al.*, 2021). A medida que les FCM intensifiquen el conflictu ente humanos y vida salvaxe, ser a entender les respuestas específiques de los eco-

Los impautos ecolóxicos y socioeconómicos de les FCM son estremaos y de gran fondura. Puen causar acontecimientos de mortalidá masiva, perda de praderes marines y viesques d'algues, blanquiamientu de corales, aumentu nocivu d'algues, cambeos na distribución d'especies y la reestructuración o mesmo l'agotamientu d'ecosistemas marinos.

sistemas vuélvese esencial pa dirixir esfuerzos efeutivos de conservación y xestión n'estremaes rexones del mundu.

Siguiendo esta problemática, pue ponese'l focu nel mar Cantábricu y el golfu de Vizcaya, entornos marinos templaos con carauterístiques úniques que los definen: patrones de circulación relativamente débiles influenciaos pol Atlánticu, un meciú d'estratificación de les mases d'agua de calter estacional pronunciáu y procesos llocales como l'afloramientu costeru, la descarga de ríos y la dinámica de mareas, que provoquen fluctuaciones importantes na producción primaria na plataforma continental (Borja *et al.*, 2019). Esta ye una rexón única pa la investigación

Los análisis nel golfu de Vizcaya, amuesen un claru aumentu de la temperatura superficial del mar, con incrementos d'ente 0,10 y 0,25° C por década, y tamién tendencias consistentes a lo llargo de los últimos 40 años, nos que s'observa un incrementu notable na so frecuencia (~75-80 % más de días de FCM por década) y duración (2,5-3 días más llargos por década). Dende la Estaca de Bares al País Vascu, la incidencia de FCM multiplicóse por seis nes últimes cuatro décadas.

ambiental, con una llarga tradición n'estudios y exploración, pero con una fienda importante nel siguimientu y carauterización de FCM. A raíz de la medra na so frecuencia ya intensidá en tol mundu, y a la vista de los sos impautos perxudiciales y duraderos nos ecosistemas marinos, nos últimos cinco años centré los míos esfuerzos n'entender les FCM y abordar tres aspectos clave na so exploración: carauterización, detectabilidad y evaluación d'impautos. El productu final d'esi esfuerzu constituye la mio tesis doctoral y los resultaos que saquen apurren conocencies nueves sobre la incidencia y duración de les FCM nel golfu de Vizcaya nes últimes décadas.

LA TEMPERATURA NA SUPERFICIE LA MAR

La tesis dedica una atención significativa a la estimación de tendencias a llargu plazu nes temperatures de la superficie de la mar y carauterístiques clave de les FCM, ente otres variables ambientales d'interés. Los análisis, efeutuaos a diferentes escales espaciotemporales nel golfu de Vizcaya, amuesen un claru aumentu de la temperatura superficial de la mar, con incrementos d'ente 0,10 y 0,25° C por década. Les FCM tamién amuesen tendencias consistentes a lo llargo de los últimos 40 años, nos que s'observa un incrementu notable na so frecuencia (~75-80 % más de días de FCM por década) y duración (2,5-3 días más llargos por década)

siguiendo un patrón asemeyáu al que s'observa a nivel global. Concretamente na costa Cantábrica, dende'l cabu Estaca de Bares al País Vascu, la incidencia de FCM multiplicóse por seis

nes últimas cuatro décadas. Esti aumentu ta estrechamente rellacionáu cola tendencia al calentamientu de los océanos alimentáu pol cambéu climáticu global. Na última década, al rodiu de la metá de les FCM rexistraes na costa cantábrica produxéronse baxo la so influencia. N'otres pallabres: estes FCM nun ocurriríen nun siendo pol calentamientu oceánicu d'anguaño (Figura 1).

Magar que'l calentamientu global del océanu ye'l principal fautor qu'esplica l'apaición de FCM en tol mundu, los fenómenos atmosféricos de variación climática tamién xueguen un papel perimportante pa xenerar temperatures

superiores a la media. Ún de los fenómenos más influyentes nel Atlánticu noreste ye'l Patrón del Atlánticu Este, que tien una fase positiva que s'asocia con temperatures atmosféricas y oceániques perriba de lo normal en tola rexón. Nel golfu de Vizcaya, esti patrón esplica, aproximadamente, el 25 % de la variación na temperatura superficial de la mar (Borja *et al.*, 2019) y, amás, paez desempeñar un papel clave na apaición de FCM. Una de les investigaciones previes, llevada alantre en dos llocalidaes intermareales de la costa cantábrica, reveló que más del 75 % de les FCM rexistraes nelles ente 1998

y 2019 coincidieron cola fase positiva del Patrón del Atlánticu Este, lo que suxer una fuerte influencia d'esti fenómenu atmosféricu na apaición de temperatures oceániques estremes. Si bien el futuru de les FCM nel golfu de Vizcaya sigue siendo una incógnita, l'aumentu na frecuencia y duración de la fase positiva del Patrón del Atlánticu Este na última década (NOAA Climate Prediction Center, 2024) apunta a que van seguir teniendo una incidencia significativa na rexón, lo que xenerará una serie d'impautos en dellos niveles.

Los efeutos ecolóxicos y socioeconómicos del calentamientu oceánicu y la mayor frecuencia de FCM son especialmente visibles nes zones costeres (Smith *et al.*, 2021). Estes árees, que s'alcuentren ente les más dinámiques y productives del planeta, agospian ecosistemas diversos y fráxiles y son mui sensibles a les presiones climátiques. Por ello, nestes rexones ye perimportante contar con evaluaciones precises de la temperatura pa diseñar estratexes

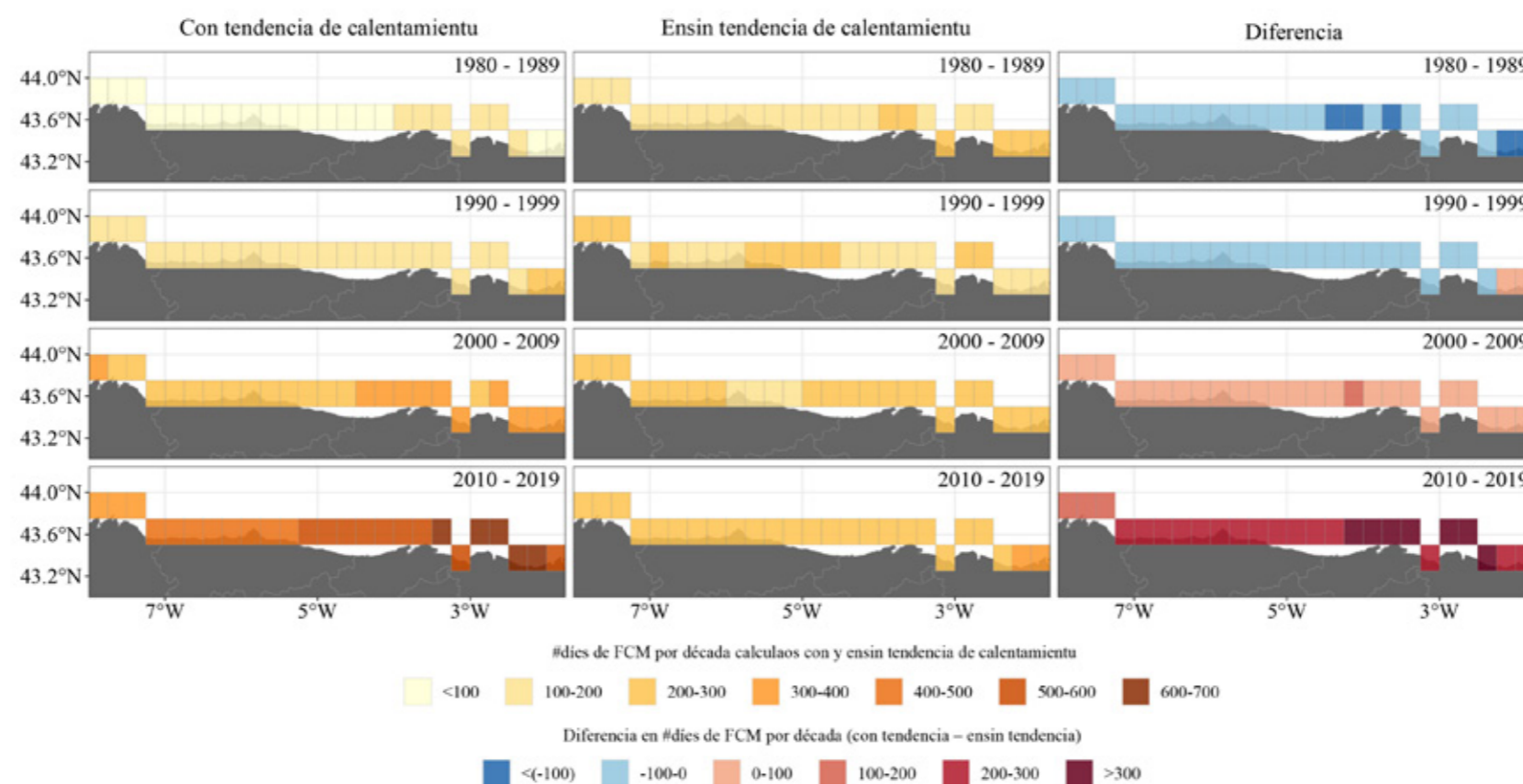


Figura 1. Promediu de días con foles de calor marines por década a lo llargo de la costa del mar Cantábricu (n=25). Les foles de calor indentificáronse al traviés de series temporales de temperatura que: I) consideraron la tendencia al calentamientu oceánicu (primer columna) y II) nun consideraron esa tendencia (segunda columna). Na tercer columna amuézase la diferencia nel número de días de foles de calor ente dambos enfoques [con tendencia – ensin tendencia].

que miren polos ecosistemas marinos frente a los efeutos del calentamientu global y de les FCM. Sicasí, estrayer datos fiables ye un desafío. Los dos métodos principales de siguimientu de temperatures superficiales del mar, dende satélite ya *in situ* presenten diferencies notables cuando s'apliquen a nivel costeru. Per un llau, les midíes de satélite tienen una cobertura espaciu-temporal amplia y puen algamase de manera cenciella, pero, cuando s'apliquen en zones costeres, la proximidad de la tierra y otros procesos llocales, como l'afloramientu, compliquen el siguimientu precisu de temperatures. Per otru llau, les midíes *in situ*, anque son de mayor precisión a nivel costeru, suelen tener una cobertura espaciu-temporal reducida y desixen un esfuercu grande pa la so instalación, caltenimientu y atropu de datos.

Pa superar esta llende, desarrollemos un modelu de regresión que combina datos de temperatura *in situ* y satelitales, y qu'amás tien en cuenta la influencia de dos procesos oceánicos que son a modular les discrepancies ente dambos: l'afloramientu costeru y la estratificación estacional. Esti modelu reconcilió dambes fontes de datos y produxo una serie meyorada de temperatura que:

- I. reproducía de manera fiable les temperatures de la superficie de la mar cerca de la costa,
- II. conservaba la resolución espaciu-temporal del satélite y que, por too ello,
- III. meyoraba la detección de FCM a nivel costeru.

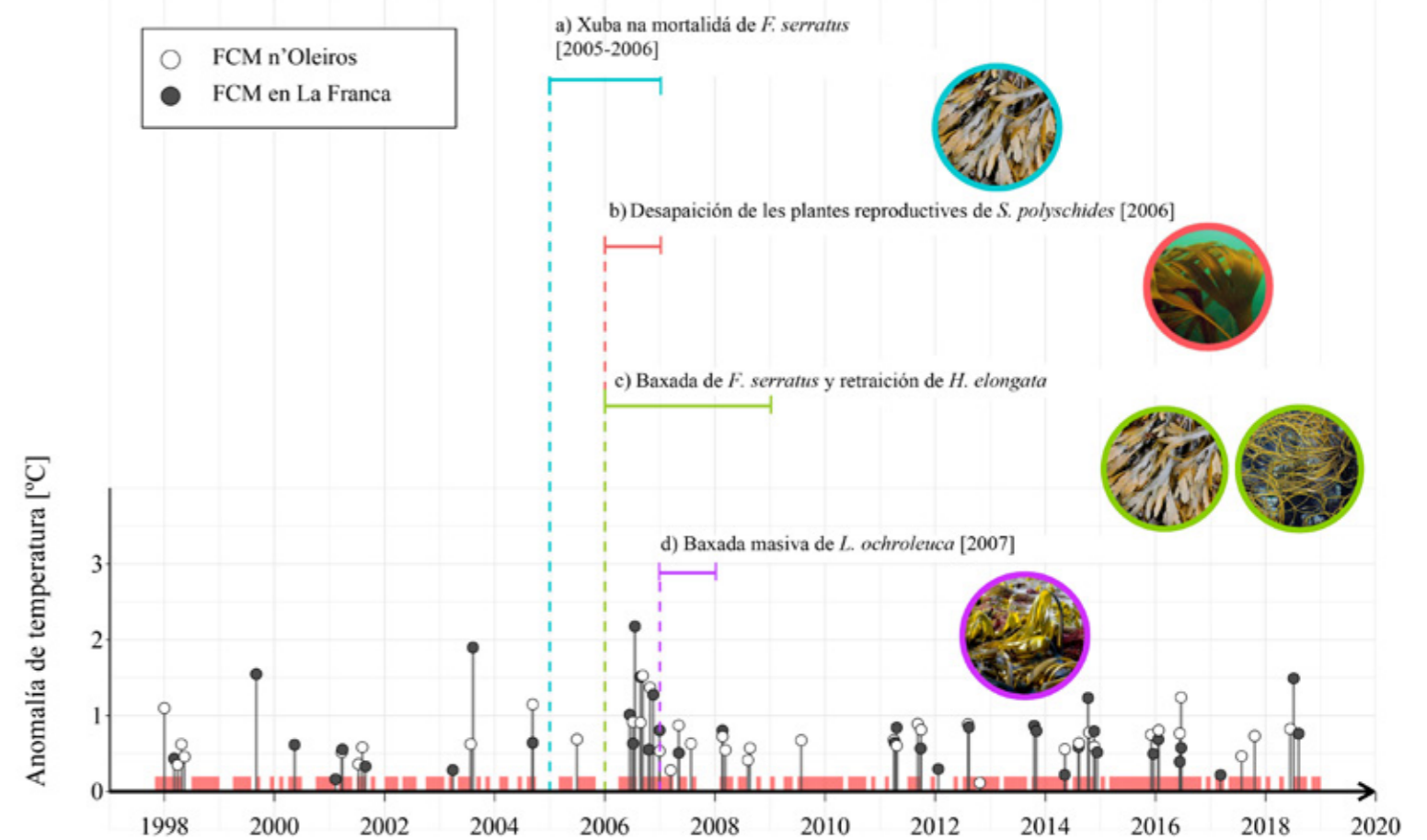
Gracies a esta reconstrucción, pudimos facer un siguimientu d'un mou fiable de la incidencia y carauterístiques de les FCM qu'ocurrieron nes últimes cuatro décadas a lo llargo de la

costa cantábrica, lo que tien el potencial de facilitar predicciones más precises al rodiu de los sos impautos a nivel costeru y meyorar la planificación de midíes de conservación pa estos entornos, que contienen ecosistemas d'una importancia esencial.

Nel futuru cercanu podríamos ver cambeos importantes na biodiversidá marina de rexones como'l golfu de Vizcaya: desplazamientos nos rangos de distribución d'especies, acontecimientos de mortalidá masiva, alteraciones nes redes alimentaries, o reestructuraciones estenses de los ecosistemas marinos, ente otros.

EFEUTOS NA BIODIVERSIDÁ

A nivel global, espérase que los grandes ecosistemas marinos de tol mundu enfrenten nos próximos años un aumentu xeneralizáu na frecuencia de FCM, lo que representa una amenaza fonda pa los organismos que los habiten, inclusive si llograren adautase al calentamientu promediu de los océanos (Guo *et al.*, 2022). Esto significa que nel futuru cercanu podríamos ver cambeos importantes na biodiversidá marina de rexones como'l golfu de Vizcaya: desplazamientos nos rangos de distribución d'especies, acontecimientos de mortalidá masiva, alteraciones nes redes alimentaries, o reestructuraciones estenses de los ecosistemas marinos, ente otros (Smith *et al.*, 2021). Anque tovía nun se conocen con detalle los impautos ecolóxicos de les FCM nel golfu de Vizcaya, la tesis examina la so influencia en dos comunidaes marines clave:



les macroalgues que formen l'hábitat y los pexes peláxicos pequeños.

Los **macroalgues** son un componente críticu de los ecosistemas marinos: constitúin la base de la rede trófica, proporcionen hábitats esenciales pa una gran variedá d'especies y contribúin de manera activa al atropu de carbonu. Nes últimes décadas, les FCM desempeñaron un papel significativu na so decadencia en distintes rexones del planeta, lo que pue desencadenar efeutos dominó que conduzan a la perda de biodiversidá y, n'última instancia, a la francedura del ecosistema (Straub *et al.*, 2019).

Nel sur del golfu de Vizcaya, les poblaciones autóctones de macroalga esperimentaron una

Figura 2. Anomalía de temperatura [por exemplu, temperatura que supera la llende del percentil 90] de les foles de calor marines rexistraes nos llugares costeros d'Oleiros (puntos abiertos) La Franca (puntos sólidos). Indíquense los periodos de cambeos poblacionales significativos en comunidaes llocales de macroalgues, documentaos en: [a] Viejo *et al.* [2011], [b] Fernández [2011], [c] Duarte *et al.* [2013] y [d] Voerman *et al.* [2013]: *Fucus serratus*, *Saccharhiza polyschides*, *Himantalia elongata* y *Laminaria ochroleuca*. Les barras coloraes amuesen les fases positives del patrón atlánticu este.

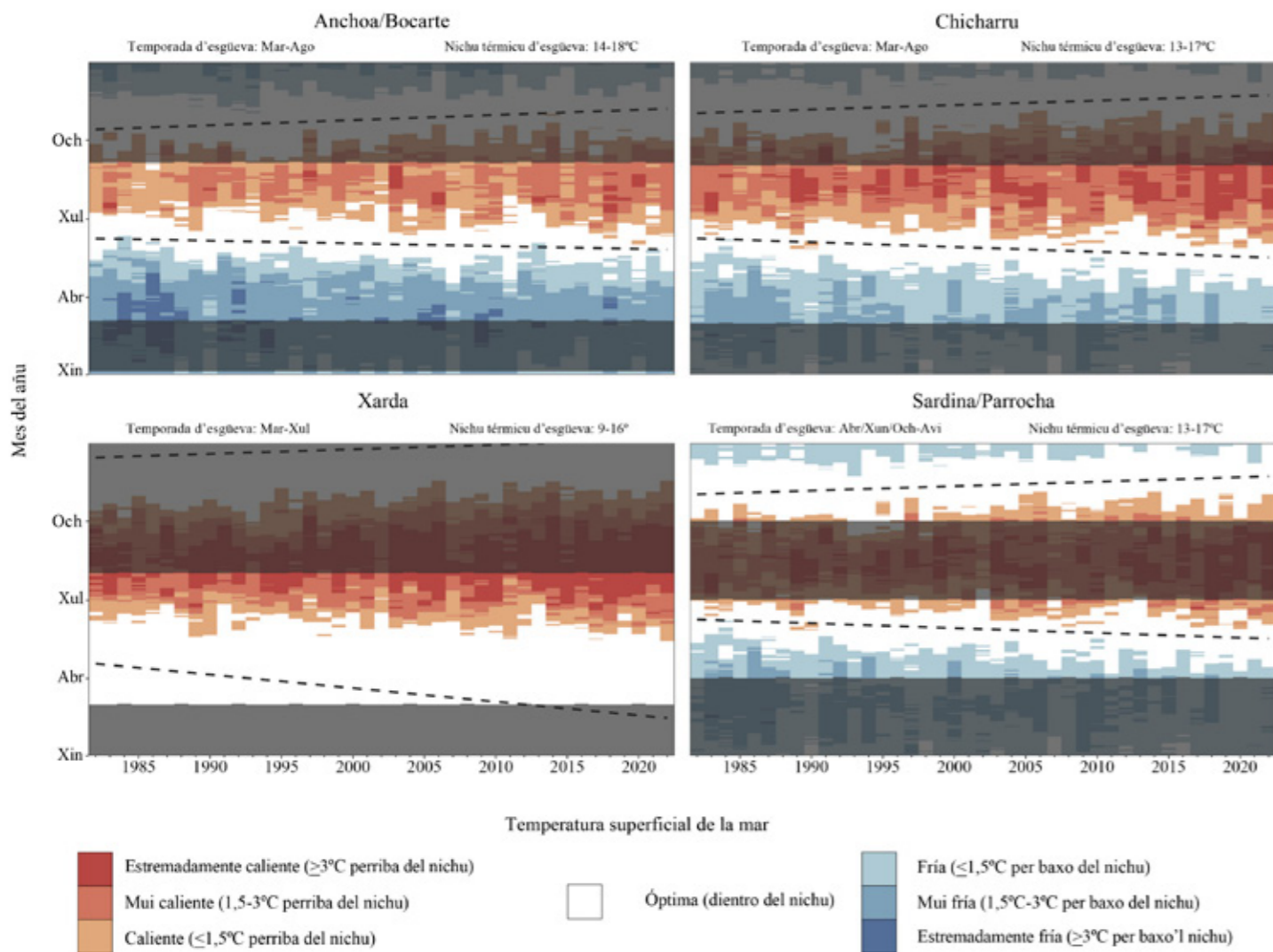


Figura 3. Diagrama de Hovmöller qu'amuesa les temperatures medies diaries de la superficie de la mar na plataforma continental del golfu de Vizcaya nel periodu de 1982 a 2022, clasificaes según la so proximidá al nichu térmicu de la esgüeva de cada especie. Lo asolombrao resalta les temporaes d'esgüeva de cada especie. Les llinies discontinues indiquen la evolución de los momentos estimaos del añu nos que les temperatures s'averen a la media del nichu térmicu de la esgüeva de cada especie.

regresión progresiva nes últimes cinco décadas, paralelamente a la espansión d'especies non autóctones con afinidá por temperatures más calientes, lo que s'atribuyó en gran medida al calentamientu oceánicu (Arriaga *et al.*, 2023). Anque'l calentamientu a llargu plazu pue inducir estrés subletal na fisioloxía de la macroalga, la esposición prrollongada a temperatures superiores a la media pue resultar na disminución de les poblaciones, contraiciones nel so rangu de distribución o, inclusive, estinciones llocales (Straub *et al.*, 2019). Nesti contestu, ún de los capítulos de la tesis suxer una posible correllación ente la incidencia de les FCM na costa del Cantábricu central y cambeos na presencia y distribución de poblaciones de macroalgues documentaes na lliteratura² (Figura 2). Les implicaciones d'esta correllación pal funcionamientu de los ecosistemas marinos del Cantábricu puen ser importantes, sobre too teniendo en cuenta que s'espera que'l fluxu d'enerxía dende los niveles más baxos de la cadena trófica amenorgue progresivamente nel futuru cercanu baxo la influyencia del cambéu climáticu (Ullah *et al.*, 2018).

Los **pexes peláxicos pequeños**, pela cueta, desempeñen roles perimportantes en dos frentes: ecolóxicu y comercial. Nun sen ecolóxicu, son fundamentales na cadena alimentaria, yá qu'actúen como puntos esenciales de tresferencia d'enerxía ente los niveles tróficos altos y baxos. Comercialmente, representen un porcentaxe importante de la pesca y contribúin d'un mou significativu a los ingresos económicos, la seguridá alimentaria y el

sofitu a la industria al traviés de la producción de farina y aceite de pescáu. Sicasí, la sobrepesca y el cambéu climáticu llevaron a una mengua nes poblaciones de pexes marinos en tol mundu, lo que compromete la provisión sostenida d'estos bienes y servicios (IPCC, 2023).

Les comunidaes de pexes puen reaccionar de manera diferente a les FCM en función de les sos estratexes de vida y la so sensibilidá a les condiciones ambientales. Na plataforma continental del golfu de Vizcaya, observemos que les FCM, anguaño, nun afeuten a la sobrevivencia temprana del bocarte/anchoa y la parrocha/sardina, pero tienen efeutos opuestos na xarda y el chicharru, favoreciendo al primeru y perxudicando al segundu. Tamién detectemos una frecuencia creciente de temperatures estremadamente altes pa la esgüeva (más de 3° C perriba del nichu térmicu), lo qu'indica que les condiciones del golfu de Vizcaya tán volviéndose, amodo, menos adecuades pa estes especies (Figura 3). Los últimos informes espeyen que les poblaciones de bocarte, xarda, chicharru y otres especies de pexe típiques de llatitúes más baxes tán redistribuyéndose nel Atlánticu noroeste en respuesta al calentamientu oceánicu, desplazándose pa los polos nes llendes más septentrionales de los sos rangos de distribución y contrayéndose nes llendes más meridionales (Gordó-Vilaseca *et al.*, 2023). Esto suxer una probabilidad menor de la presencia d'estes especies nel golfu de Vizcaya col tiempu, lo que sorraya la necesidá de reformes na xestión de les sos poblaciones p'asegurar el so sostenimientu y prevenir posibles conflictos pesqueros.

2. N. del editor: ver Rico-Ordás, *Ciencias* 8, pp. 20-29, y Rodríguez-López, *Ciencias* 13, pp. 4-15.

CONCLUSIÓN

La base de la xestión caltenible de los océanos ye la investigación, yá que proporciona la conocencia y la evidencia necesaries pa tomar decisiones informaes, inxertar midíes de conservación efeutives y asegurar la salú y la resiliencia a llargu plazu de los océanos globales. Nesti sentíu, facer un siguimientu de la incidencia de FCM nel golfu de Vizcaya y entender cómo afeuten la biodiversidá y el funcionamientu de los ecosistemas marinos llocales ye esencial pa la preservación del equilibriu ecolóxicu y el sostenimientu de los medios de vida y les actividaes económicques que dependen de los sos recursos. Equí preséntense les contribuciones principales: un análisis de les tendencias de les FCM nes últimes cuatro décadas, una metodoloxía meyorada pa detectales a nivel costeru y una comprensión más fonda de la so influencia ya impautos en dos comunidaes marines significatives de la rexón. El nuesu oxetivu ye qu'esti trabayu nun espeye namás los efeutos de les FCM nel golfu de Vizcaya, sinón que tamién inspire esfuerzos d'investigación, conservación y formulación de polítiques pa trabayar hacia un futuru más caltenible pa les comunidaes marines y humanes que lu habiten.

Referencies bibliográfiques

- Arriaga, O., Wawrzynkowski, P., Ibáñez, H., Muguerza, N., Díez, I., Pérez-Ruzafa, I., Gorostiaga, J. M., Quintano, E., & Becerro, M. A. (2023). Short-term response of macroalgal communities to ocean warming in the Southern Bay of Biscay. *Marine Environmental Research* 190. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2023.106098>
- Borja, A., Amouroux, D., Anschutz, P., Gómez-Gesteira, M., Uyarra, M. C., & Valdés, L. (2019). Chapter 5—The Bay of Biscay. En C. Sheppard (Ed.). *World Seas: An Environmental Evaluation (Second Edition)*, pp. 113–152. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-805068-2.00006-1>
- Gordó-Vilaseca, C., Stephenson, F., Coll, M., Lavin, C., & Costello, M. J. (2023). Three decades of increasing fish biodiversity across the northeast Atlantic and the Arctic Ocean. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 120(4). <https://doi.org/10.1073/pnas.2120869120>
- Guo, X., Gao, Y., Zhang, S., Wu, L., Chang, P., Cai, W., Zscheischler, J., Leung, L. R., Small, J., Danabasoglu, G., Thompson, L., & Gao, H. (2022). Threat by marine heatwaves to adaptive large marine ecosystems in an eddy-resolving model. *Nature Climate Change* 12(2), pp. 179–186. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01266-5>
- Hobday, A. J., Alexander, L. V., Perkins, S. E., Smale, D. A., Straub, S. C., Oliver, E. C. J., Benthuisen, J. A., Burrows, M. T., Donat, M. G., Feng, M., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Scannell, H. A., Sen Gupta, A., & Wernberg, T. (2016). A hierarchical approach to defining marine heatwaves. *Progress in Oceanography* 141, pp. 227–238. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2015.12.014>
- IPCC. (2023). Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *IPCC, Geneva, Switzerland*, pp. 35–115. <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
- NOAA Climate Prediction Center. (2024). *EA: Plotted Historical Time Series*. NOAA National Weather Service. https://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/teledoc/ea_ts.shtml
- Oliver, E. C. J., Burrows, M. T., Donat, M. G., Sen Gupta, A., Alexander, L. V., Perkins-Kirkpatrick, S. E., Benthuisen, J. A., Hobday, A. J., Holbrook, N. J., Moore, P. J., Thomsen, M. S., Wernberg, T., & Smale, D. A. (2019). Projected Marine Heatwaves in the 21st Century and the Potential for Ecological Impact. *Frontiers in Marine Science* 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00734>
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). (2016). The Ocean Economy in 2030. *OECD Publishing, Paris*. <https://doi.org/10.1787/9789264251724-en>
- Smith, K. E., Burrows, M. T., Hobday, A. J., Sen Gupta, A., Moore, P. J., Thomsen, M., Wernberg, T., & Smale, D. A. (2021). Socioeconomic impacts of marine heatwaves: Global issues and opportunities. *Science* 374. <https://doi.org/10.1126/science.abj3593>
- Straub, S. C., Wernberg, T., Thomsen, M. S., Moore, P. J., Burrows, M. T., Harvey, B. P., & Smale, D. A. (2019). Resistance, Extinction, and Everything in Between – The Diverse Responses of Seaweeds to Marine Heatwaves. *Frontiers in Marine Science* 6. <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fmars.2019.00763>
- Ullah, H., Nagelkerken, I., Goldenberg, S. U., & Fordham, D. A. (2018). Climate change could drive marine food web collapse through altered trophic flows and cyanobacterial proliferation. *PLoS Biology* 16(1). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.2003446>