

WILL CLIMATE CHANGE COMPROMISE THE THERMAL COMFORT AREAS OF SOCIO-ECONOMICALLY IMPORTANT BIVALVE SPECIES IN THE RÍAS BAIXAS (NW SPAIN)?

Adrián CASTRO-OLIVARES^{1*}, Marisela DES¹, Celia OLABARRIA², María
Teresa DECASTRO¹, Elsa VÁZQUEZ², Magda Catarina SOUSA³, Ramón
GÓMEZ-GESTEIRA¹

¹ Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo, Environmental Physics
Laboratory (EPhysLab), Campus As Lagoas s/n, Ourense 32004, Spain.

² Centro de Investigación Mariña, Universidade de Vigo, Departamento de Ecoloxía
e Bioloxía Animal, Facultade de Ciencias do Mar, 36310 Vigo, Spain.

³ CESAM, Physics Department, University of Aveiro, Aveiro 3810-193, Portugal.

adrian.castro@uvigo.es, mDES@uvigo.es, colabarría@uvigo.es,
mdecastro@uvigo.es, eotero@uvigo.es, mcsousa@ua.pt, mgesteira@uvigo.es

RESUMEN

Los bivalvos infaunales *Ruditapes decussatus*, *Ruditapes philippinarum*, *Venerupis corrugata* y *Cerastoderma edule* forman parte de una de las pesquerías con mayor importancia socioeconómica en las Rías Baixas (NO de España). El calentamiento del océano podría afectar a estas pesquerías ya que el aumento de la temperatura daría lugar a un incremento del estrés al que se ven sometidas estas especies, reduciendo su productividad e incluso propiciando cambios en su distribución geográfica. En este estudio se analizó cómo el aumento de la temperatura del agua podría afectar a la distribución geográfica de las zonas de confort térmico de estos bivalvos a finales del siglo XXI. El modelo Delft3D se utilizó para simular la hidrodinámica de las Rías Baixas durante los meses de julio y agosto del periodo histórico (1990-2019) y el periodo futuro (2075-2099) bajo el escenario RCP8.5. Durante el periodo histórico, las zonas más favorables para especies intermareales como *R. decussatus*, *R. philippinarum* y *C. edule* se observaron principalmente en la parte interior de las rías. Para *V. corrugata*, las zonas con confort se sitúan en el intermareal inferior y submareal somero. Las proyecciones futuras sugieren un aumento general de la extensión de las zonas con condiciones térmicas óptimas en comparación con el periodo histórico para *R. decussatus*, *C. edule* y *V. corrugata*. En el caso de *R. philippinarum*, la extensión podría disminuir en el futuro. Por último, la productividad de estas especies podría verse reducida en las áreas de marisqueo situadas en las zonas menos profundas de los sectores interiores de las Rías Baixas debido al aumento de la temperatura del agua.

Palabras clave: Cambio climático; Confort térmico; Delft3D; Modelo mecanicista; Modelo hidrodinámico; Rías Baixas.

ABSTRACT

The infaunal bivalves *Ruditapes decussatus*, *Ruditapes philippinarum*, *Venerupis corrugata* and *Cerastoderma edule* are part of one of the most socio-economically important shellfisheries in the Rías Baixas (NW Spain). Ocean warming may affect these fisheries as the increase in water temperature would increase the stress conditions these species are subjected to. It could reduce their productivity and even change their geographical distribution. The present study analysed how rising ocean temperatures could affect the geographical distribution of the thermal comfort areas of these bivalves at the end of the 21st century. The Delft3D model was used to simulate the hydrodynamics of the Rías Baixas during the months of July and August of the historical period (1990-2019) and the future period (2075-2099) under the RCP8.5 scenario. Historically, the most comfortable areas for intertidal species such as *R. decussatus*, *R. philippinarum* and *C. edule* are mainly found in the inner part of the rias. For *V. corrugata*, the comfort zones are located in the lower intertidal and shallow subtidal. Future projections suggest a general increase in the extent of areas with optimal thermal conditions compared to the historical period for *R. decussatus*, *C. edule* and *V. corrugata* and a decrease for *R. philippinarum*. Finally, the productivity of these species could be reduced in the shellfishing areas located in the shallower areas of the inner sectors of the Rías Baixas due to the increase in water temperature.

Key words: Climate change; Delft3D; Hydrodynamic model; Mechanistic model; Rías Baixas; Thermal comfort.

1. INTRODUCCIÓN

Las zonas costeras, donde se incluyen los estuarios, se encuentran entre los ecosistemas más productivos del mundo. En estos hábitats se producen aproximadamente la mitad de las capturas anuales, donde las pesquerías de pequeña escala representan a casi el 50 % (Elliot et al., 2019).

Las Rías Baixas (NO España) se sitúan en el límite norte del sistema de afloramiento del Atlántico Norte oriental (Fig.1) y son una zona de alta productividad primaria. En esta zona, las pesquerías de bivalvos en el intermareal y submareal somero representan unos ingresos anuales de ~74 millones de euros (<http://www.pescadegalicia.gal>), siendo las más relevantes socioeconómicamente las almejas *Ruditapes decussatus* (Linnaeus 1758), *Ruditapes philippinarum* (Adams y Reeve, 1850), *Venerupis corrugata* (Gmelin, 1791) y el berberecho *Cerastoderma edule* (Linnaeus 1758).

La temperatura es uno de los factores ambientales que más influyen en la fisiología y distribución de los bivalvos (Sobral and Widdow, 1997). Los efectos de la temperatura sobre la fisiología dependen de la especie. Generalmente, los índices fisiológicos aumentan con la temperatura hasta que se alcanza un umbral después del cual el rendimiento disminuye. Temperaturas fuera del umbral térmico óptimo pueden tener efectos subletales sobre el crecimiento potencial, la reproducción o la supervivencia de los individuos y, en consecuencia, sobre la dinámica de la población y la distribución espacial de las especies (Domínguez et al., 2021).

La duración de la actividad reproductiva, particularmente del desarrollo gonadal y del desove, está directamente relacionada con la temperatura (Delgado and Pérez-Camacho, 2007; Vázquez et al., 2021). En el área de estudio, durante los meses de verano, *R. decussatus*, *R. philippinarum* y *V. corrugata* se encuentran en fase de desove y *C. edule* en la fase de reabsorción gonadal (Vázquez et al., 2021), por ello es fundamental entender el efecto que el cambio climático podría tener en la temperatura del agua y su posible impacto en estas especies.

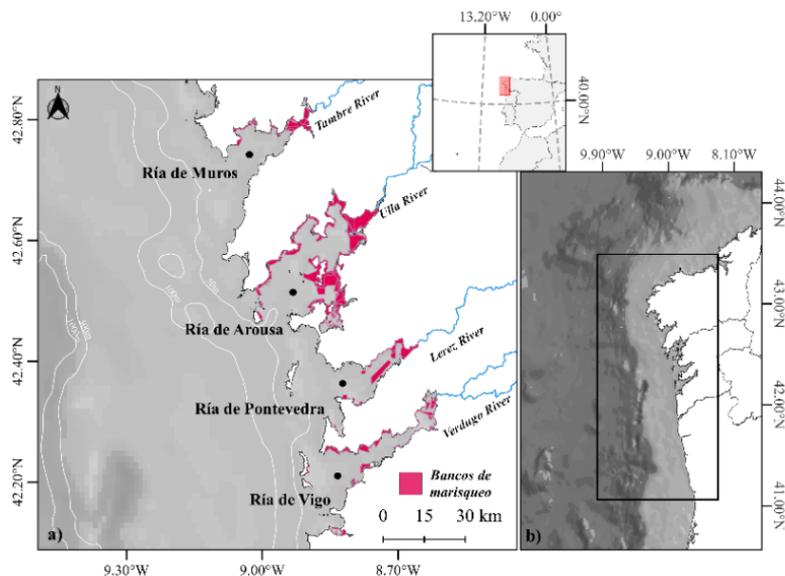


Fig. 1: a) Localización de la zona de estudio. Zonas de marisqueo de *R. decussatus*, *R. philippinarum*, *V. corrugata* y *C. edule* representadas en color púrpura. b) El rectángulo indica el área modelada.

Este estudio tiene como objetivo determinar cómo los cambios en la temperatura del agua a finales de siglo podrán afectar a la distribución geográfica de las áreas de confort térmico de *R. decussatus*, *R. philippinarum*, *V. corrugata* y *C. edule* en las Rías Baixas. Para ello, se simuló la hidrodinámica de las Rías Baixas durante julio y agosto en el periodo histórico (1990-2019) y en el futuro (F, 2075-2099) bajo el escenario de emisiones de gases de efecto invernadero RCP8.5 utilizando el modelo Delft3D-Flow. Los datos de temperatura del agua fueron utilizados para determinar cambios en la distribución geográfica de las zonas donde la temperatura del agua es óptima para cada una de las especies estudiadas.

2. MÉTODOS

2.1. Simulación numérica

La temperatura del agua en las Rías Baixas fue simulada utilizando el modelo hidrodinámico Delft3D-Flow. Este modelo fue ejecutado para julio y agosto durante el periodo histórico (H, 1990-2019) y el periodo futuro (F, 2075-2099) bajo el escenario RCP8.5. Las simulaciones numéricas se realizaron utilizando la malla y la parametrización previamente implementadas y validadas por Des et al., (2019, 2020).

La malla computacional utilizada abarca desde 41.18° N hasta 43.50° N y desde 10.00° W hasta 8.33° W (Fig. 1b). La resolución horizontal de la misma aumenta desde la frontera oeste (2200 x 800 m) hasta la frontera este (220 x 140 m) en el interior de las Rías Baixas. La resolución vertical de la malla es de 16 capas sigma.

La batimetría se creó a partir de datos de distintas fuentes. Los datos para las rías de Muros y Arousa fueron obtenidos de las cartas náuticas del Instituto Hidrográfico de la Marina Española. La Secretaría General de Pesca proporcionó datos de ecosonda multihaz de las rías de Vigo y Pontevedra. La batimetría del estuario del río Miño fue proporcionada por el Instituto Hidrográfico de la Marina Portuguesa. Las áreas restantes se completaron con datos de la Carta Batimétrica General de los Océanos (GEBCO, <https://www.gebco.net/>).

Los datos de transporte (salinidad y temperatura) utilizados como entradas en la frontera abierta oceánica y como condiciones iniciales fueron obtenidos de las salidas del modelo global MOHC-HadGEM2-ES, ejecutado dentro del proyecto CMIP5 (<https://esgfnode.llnl.gov/projects/cmip5/>). El nivel del mar fue simulado a partir de las 13 componentes armónicas de marea principales obtenidas a partir del modelo TPXO 7.2 TOPEX/Poseidon Altimetry (<http://volkov.oce.orst.edu/tides/global.html>) e introducidas en la frontera abierta oceánica. Las descargas de agua dulce se obtuvieron del portal web Hype (<https://hypeweb.smhi.se/>) y se impusieron como condiciones de entrada del límite fluvial abierto. Se aplicó una reducción de la descarga del 25% para el futuro siguiendo las proyecciones del escenario RCP8.5 (<https://hypeweb.smhi.se/explore-water/climate-impacts/europe-climate-impacts/>).

Las condiciones de frontera en la superficie (componentes del viento, temperatura del aire, radiación solar neta, humedad relativa y presión a nivel del mar) se obtuvieron de los datos de salida del modelo regional MOHC-HadGEM2-ES-RCA4, ejecutado en el marco del proyecto CORDEX (<https://cordex.org/>). El intercambio de calor a través de la atmósfera se simuló utilizando el modelo "flujo absoluto, radiación solar neta". Los datos de viento y presión se impusieron variando espacialmente.

2.2. Modelo mecanicista: índice de confort térmico

Para analizar el posible impacto del calentamiento del océano sobre *R. decussatus*, *R. philippinarum*, *V. corrugata* y *C. edule* se utilizó un índice de confort térmico (TCI por sus siglas en inglés) basado en el rango óptimo de temperatura para cada una de las especies. El TCI indica el porcentaje de tiempo durante el cual la temperatura media diaria del agua del fondo se encuentra dentro del umbral térmico óptimo de la especie de interés. La temperatura media del agua del fondo fue calculada utilizando el modelo hidrodinámico anteriormente descrito, y el umbral térmico óptimo de cada especie se definió a partir de una revisión bibliográfica (ver Tabla 1). El TCI fue representado mediante mapas de confort térmico para cada especie y periodo analizado. Un porcentaje inferior al 50% se consideró como una posible situación de estrés térmico.

Con el fin de evaluar los efectos potenciales del cambio climático para la industria marisquera, se calculó la extensión de las zonas en las que el TCI era mayor o igual al 50% para cada especie y periodo analizado. También se consideró el rango de pro-

fundidad óptimo para cada especie, definido en base a la distribución óptima del hábitat (Molares et al., 2008), siendo 5 m para *R. decussatus*, *R. philippinarum* y *C. edule* y 15 m para *V. corrugata*.

Especie	Rango profundidad (m)	Umbral térmico óptimo (°C)	Referencias
<i>R. decussatus</i>	<5m	18-25 °C	Matias et al. 2009; Macho et al. 2016
<i>R. philippinarum</i>	<5m	15-25 °C	Sobral and Widdow 1997; Delgado and Camacho, 2007
<i>V. corrugata</i>	<15m	15-20 °C	Albentosa et al. 1994; Molares et al. 2008; Macho et al. 2016
<i>C. edule</i>	<5m	17-23 °C	Domínguez et al. 2021

Tabla 1. Umbrales óptimos de tolerancia térmica para las especies analizadas.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Efectos del incremento de la temperatura sobre las áreas de confort térmico.

En el periodo histórico (H, 1990-2019), la mayor extensión de zonas de confort térmico (zonas con TCI > 50%) se localizan en la parte interna de las rías para las cuatro especies estudiadas (Figs. 2a, c, 3a, c, 4a, c y 5a, c). Además, las zonas intermareales son las más confortables para *R. decussatus* (Fig. 2a, c), *R. philippinarum* (Fig. 3a, c) y *C. edule* (Fig. 5a, c), mientras que las condiciones térmicas en el intermareal inferior y el submareal son óptimas para *V. corrugata* (Fig. 4a, c).

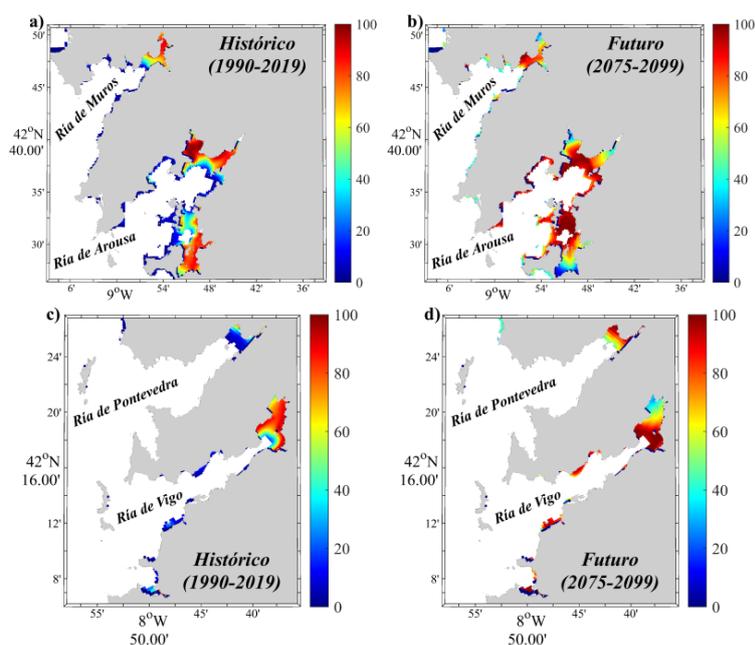


Fig. 2: Índice de confort térmico (TCI, %) para *R. decussatus* durante julio-agosto para las rías en el periodo histórico (1990-2019) (a y c) y el periodo futuro (2075-2099) (b y d).

En las Rías Baixas, la temperatura del agua está controlada principalmente por eventos de afloramiento/hundimiento y la radiación solar. Durante los eventos de afloramiento, frecuentes durante los meses de verano (Álvarez et al., 2005), el agua profunda rica en nutrientes y fría (~13 °C en la boca de las rías) entra en las rías provocando un descenso de la temperatura del agua. Esto favorece que las partes externas e intermedias sean más confortables para *R. philippinarum* y *V. corrugata* ya que su límite inferior óptimo es de 15 °C (Tabla 1) y menos confortables para *R. decussatus* y *C. edule* ya que sus límites inferiores óptimos son 18 y 17 °C respectivamente, y raramente se alcanzan estas temperaturas.

En partes internas de las rías, al ser más someras, la radiación solar es el principal factor regulando la temperatura del agua, sobre todo en el intermareal superior y medio, por lo que la temperatura del agua de fondo llega a sobrepasar el límite térmico superior óptimo de las cuatro especies, principalmente en el caso de *V. corrugata* (Fig. 4a, c), cuyo límite térmico superior (20 °C) es el más bajo de las especies analizadas. Aunque se observa un patrón general, entre rías se aprecian diferencias en la localización de las áreas de confort, probablemente debidas a las diferencias en la fisiografía de cada ría, que pueden limitar la extensión del efecto del afloramiento, especialmente en la parte más interna (Taboada et al., 1998; Álvarez et al., 2005).

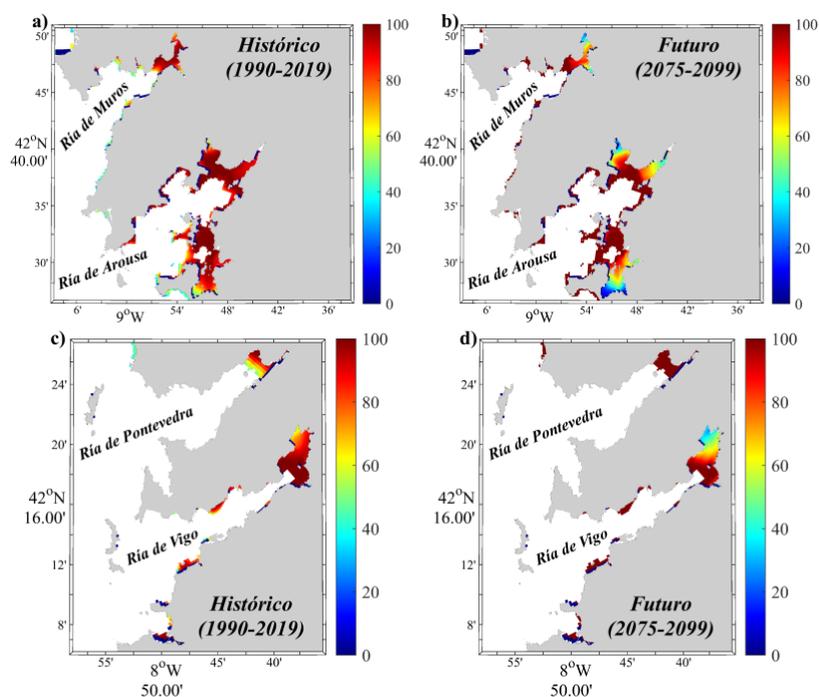


Fig. 3: Índice de confort térmico (TCI, %) para *R. philippinarum* durante julio-agosto para las rías en el periodo histórico (1990-2019) (a y c) y el periodo futuro (2075-2099) (b y d).

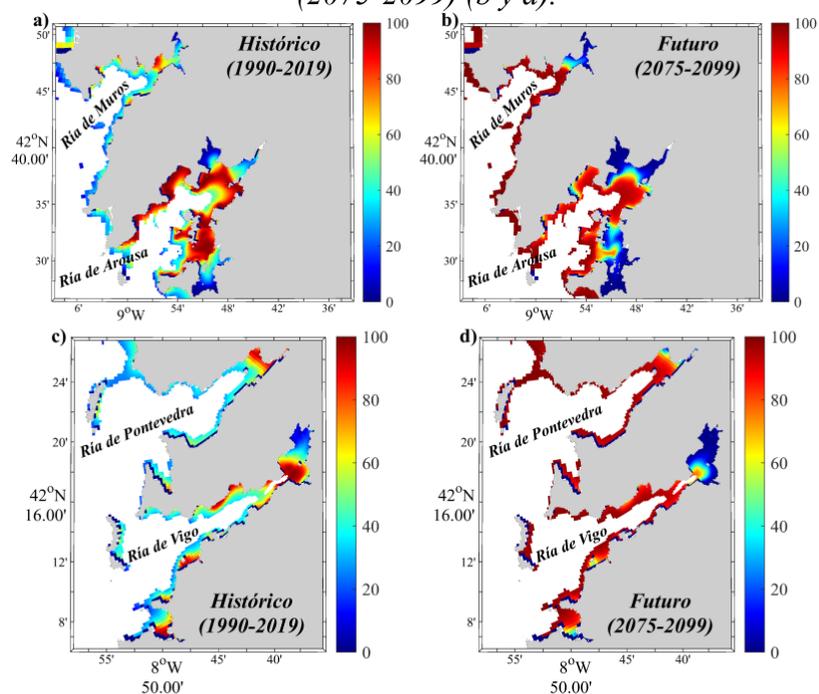


Fig. 4: Índice de confort térmico (TCI, %) para *V. corrugata* durante julio-agosto para las rías en el periodo histórico (1990-2019) (a y c) y el periodo futuro (2075-2099) (b y d).

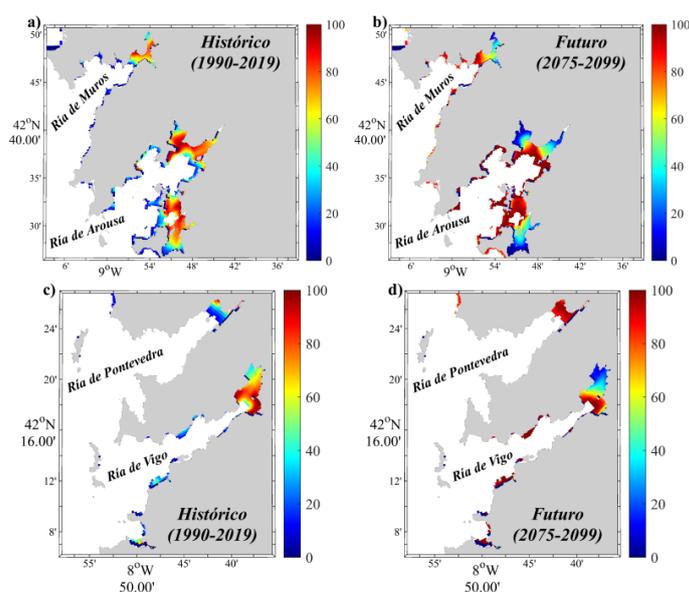


Fig. 5: Índice de confort térmico (TCI, %) para *C. edule* durante julio-agosto para las rías en el periodo histórico (1990-2019) (a y c) y el periodo futuro (2075-2099) (b y d).

Las proyecciones para el futuro (F, 2075-2099) sugieren que los cambios en la temperatura del agua afectarán a la productividad de las cuatro especies en distinta medida. De forma general se proyecta una disminución de las condiciones de confort térmico en las áreas más someras de la parte interna de las cuatro rías. El TCI proyectado en dichas zonas se sitúa por debajo del 50% para *R. decussatus* (Fig. 2b, d) y *R. philippinarum* (Fig. 3b, d), e incluso en algunas zonas el TCI podría ser inferior al 30% para *V. corrugata* (Fig. 4b, d) y *C. edule* (Fig. 5b, d). Por el contrario, a finales de siglo el incremento de la temperatura podría propiciar un aumento del TCI en la parte externa y media de las rías para las cuatro especies, que superaría el 50% e incluso alcanzaría el 100% para *R. philippinarum* y *V. corrugata* en la parte externa. A pesar de que las partes externas y medias el incremento de temperatura podría ser mayor que en las partes internas debido a que se espera una disminución de la eficacia de los eventos de afloramiento (Sousa et al., 2020), se observa que la reducción del TCI será mayor en la parte interna. Esto es debido a que durante el periodo histórico la temperatura del agua en la parte interna se encuentra cerca del límite superior del rango térmico óptimo de las especies y este podría verse superado al aumentar la temperatura. Por el contrario, en el histórico la temperatura del agua en muchas zonas de la parte externa y media no llega a superar el umbral inferior, que sí podrá superarse en el futuro. Además, el aumento tanto de la radiación solar como de la temperatura del aire (Lee et al., 2021) podrán aumentar el estrés sobre las especies, y especialmente en la parte interna de las rías ya que se caracterizan por ser más someras.

En general, la localización de las zonas de confort térmico a lo largo del siglo XXI podría verse modificada, pasando de encontrarse mayoritariamente en áreas someras en la parte interna a situarse en áreas más profundas dentro del rango de distribución y ganar extensión en la parte media y externa de las rías. Es probable que a finales de siglo la producción de las cuatro especies descienda en las zonas de marisqueo

localizadas en la parte más interna y somera de las rías de Vigo y Arousa debido al incremento del estrés térmico, siendo *V. corrugata* y *C. edule* las especies más afectadas.

3.2. Cambios en la extensión de las áreas de confort térmico

La extensión total del área de confort térmico obtenida para el periodo histórico (1990-2019) es de 68.44 km² para *R. decussatus*, 111.60 km² para *R. philippinarum*, 128.39 km² para *V. corrugata* y 73.38 km² para *C. edule* (Tabla 2). Se espera que a finales de siglo esta extensión aumente para *R. decussatus*, *V. corrugata* y *C. edule* (de forma no significativa). En cambio, la extensión total para *R. philippinarum* podría disminuir en 9.85 km² en el periodo futuro a pesar de ser la especie con el umbral térmico óptimo más amplio (15-25 °C). Esto se debe a que a finales de siglo las zonas de confort perdidas en las zonas someras de la parte interna no se ven compensadas por la extensión donde el índice de confort podría mejorar.

Las cuatro especies estudiadas tienen una gran relevancia socioeconómica para la región (Vázquez et al., 2021). A pesar de las restricciones impuestas debido a la pandemia de COVID-19 y la reducción del 14% de las capturas (Villasante et al., 2021), su contribución en 2020 y 2021 ha sido de unos 57 millones de euros (www.pescagalicia.com). Las condiciones de estrés térmico prolongado, como muestran las proyecciones futuras en las partes internas de las rías, podrían reducir la productividad de los bancos marisqueros afectados, ya que lo que el estrés térmico provoca, por ejemplo, un incremento del tiempo necesario para que los individuos alcancen la talla comercial (Sobral and Widdows, 1997). Además, el estrés térmico también podría afectar a la reproducción de *R. decussatus*, *R. philippinarum* y *V. corrugata* ya que durante los meses de estudio estas especies se encuentran en el principal periodo de desove. Así, el aumento de la temperatura podría reducir el éxito reproductivo al afectar a diversos mecanismos como los cambios en el momento y la duración de la reproducción, y el número y tamaño de los gametos (Ojea et al., 2008; Petes et al., 2008; Cerviño-Otero, 2011).

Especie	H	F	ΔA^{F-H}	TA
<i>R. decussatus</i>	68.44	97.27	28.83	115.44
<i>R. philippinarum</i>	111.60	101.76	-9.85	115.44
<i>V. corrugata</i>	128.39	139.54	11.15	225.48
<i>C. edule</i>	73.38	74.42	1.05	115.44

Tabla 2. Extensión del área (km²) por encima de la distribución batimétrica de *R. decussatus* (5m), *R. philippinarum* (5m), *V. corrugata* (15m) y *C. edule* (5m) donde se supera el índice de confort el 50% del tiempo. ΔA representa el aumento de la extensión de la zona para el futuro en relación con el periodo histórico. TA es la superficie total por encima de 5 o 15 m, según la especie analizada.

4. CONCLUSIONES

Este estudio analizó el efecto del cambio climático en la distribución geográfica de las áreas de confort térmico para *Ruditapes decussatus*, *Ruditapes philippinarum*, *V. corrugata* y *C. edule* en las Rías Baixas (NO España) durante los meses de verano.

Para ello se evaluaron las condiciones de confort a finales de siglo (2075-2099) bajo el escenario RCP8.5 comparándolas con el periodo histórico (1990-2019).

En el periodo histórico, las zonas de confort térmico para *R. decussatus*, *R. philippinarum* y *C. edule* se localizan principalmente en zonas someras situadas en la parte interna de las rías. También se observaron zonas de confort para *R. philippinarum* y *V. corrugata* en las zonas del intermareal inferior y del submareal con poca profundidad en partes medias y externas de las rías debido a su límite térmico inferior óptimo de 15 °C. Se espera que la extensión total de las áreas de confort se incremente a lo largo del siglo XXI para todas las especies excepto *R. philippinarum*, aunque se producirán modificaciones en la distribución geográfica de las zonas de confort. Esta podría aumentar hacia las partes externas e intermedias de las rías. Mientras que en la parte interna podría disminuir, disminuyendo la productividad de los bancos de marisco. Por ello, el marisqueo a pie podría ser el más afectado.

REFERENCIAS

- Albentosa, M., Beiras, R., & Camacho, A. P. (1994). Determination of optimal thermal conditions for growth of clam (*Venerupis pullastra*) seed. *Aquaculture*, 126(3-4), 315-328. doi: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(94\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(94)90048-5)
- Álvarez, I., deCastro, M., Gomez-Gesteira, M., & Prego, R. (2005). Inter-and intra-annual analysis of the salinity and temperature evolution in the Galician Rías Baixas–ocean boundary (northwest Spain). *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 110(C4). doi: <https://doi.org/10.1029/2004JC002504>
- Cerviño-Otero, A. (2011). Ciclo reproductivo, cultivo en criadero y en el medio natural de la almeja babosa *Venerupis pullastra* (Montagu, 1803) (Doctoral dissertation, Universidad de Santiago de Compostela)
- Delgado, M., & Pérez-Camacho, A. (2007b). Comparative study of gonadal development of *Ruditapes philippinarum* (Adams and Reeve) and *Ruditapes decussatus* (L.) (Mollusca: Bivalvia): Influence of temperature. *Scientia Marina*, 71(3), 471-484. doi: <https://doi.org/10.3989/scimar.2007.71n3471>
- Des, M., DeCastro, M., Sousa, M. C., Dias, J. M., & Gómez-Gesteira, M. (2019). Hydrodynamics of river plume intrusion into an adjacent estuary: The Minho River and Ria de Vigo. *Journal of Marine Systems*, 189, 87-97. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jmarsys.2018.10.003>
- Des, M., Gómez-Gesteira, M., deCastro, M., Gómez-Gesteira, L., & Sousa, M. C. (2020a). How can ocean warming at the NW Iberian Peninsula affect mussel aquaculture?. *Science of The Total Environment*, 709, 136117. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.136117>
- Domínguez, R., Olabarria, C., Woodin, S. A., Wethey, D. S., Peteiro, L. G., Macho, G., & Vázquez, E. (2021a). Contrasting responsiveness of four ecologically and economically important bivalves to simulated heat waves. *Marine Environmental Research*, 164, 105229. doi: <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105229>
- Elliott, M., Day, J. W., Ramachandran, R., & Wolanski, E. (2019). A synthesis: what is the future for coasts, estuaries, deltas and other transitional habitats in 2050 and beyond? In *Coasts and Estuaries* (pp. 1-28). Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814003-1.00001-0>

- Lee, J. Y., Marotzke, J., Bala, G., Cao, L., Corti, S., Dunne, J. P., ... & Zappa, G. (2021). Future global climate: scenario-based projections and near-term information. IPCC.
- Macho, G., Woodin, S. A., Wethey, D. S., & Vázquez, E. (2016). Impacts of sublethal and lethal high temperatures on clams exploited in European fisheries. *Journal of Shellfish Research*, 35(2), 405-419. doi: <https://doi.org/10.2983/035.035.0215>
- Matias, D., Joaquim, S., Leitao, A., & Massapina, C. (2009). Effect of geographic origin, temperature and timing of broodstock collection on conditioning, spawning success and larval viability of *Ruditapes decussatus* (Linné, 1758). *Aquaculture International*, 17(3), 257-271. doi: <https://doi.org/10.1007/s10499-008-9197-3>
- Molares, J., Parada, J. M., Navarro-Pérez, E., & Fernández, A. (2008). Variabilidad interanual de las ventas de los principales recursos marisqueros de Galicia y su relación con las condiciones ambientales. *Rev Gal Rec Mar*, 2, 1-42.
- Ojea, J., Pazos, A. J., Martínez, D., Novoa, S., García-Martínez, P., Sánchez, J. L., & Abad, M. (2008). Effects of temperature regime on broodstock conditioning of *Ruditapes decussatus*. *Journal of shellfish research*, 27(5), 1093-1100. doi: <https://doi.org/10.2983/0730-8000-27.5.1093>.
- Petes, L. E., Menge, B. A., & Harris, A. L. (2008). Intertidal mussels exhibit energetic trade-offs between reproduction and stress resistance. *Ecological Monographs*, 78(3), 387-402. doi: <https://doi.org/10.1890/07-0605.1>.
- Sobral, P., & Widdows, J. (1997). Effects of elevated temperatures on the scope for growth and resistance to air exposure of the clam *Ruditapes decussatus* (L.), from southern Portugal. *Scientia Marina*, 61, 163-171.
- Sousa, M. C., Ribeiro, A., Des, M., Gomez-Gesteira, M., deCastro, M., & Dias, J. M. (2020). NW Iberian Peninsula coastal upwelling future weakening: Competition between wind intensification and surface heating. *Science of the Total Environment*, 703, 134808. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134808>
- Taboada, J. J., Prego, R., Ruiz-Villarreal, M., Gómez-Gesteira, M., Montero, P., Santos, A. P., & Pérez-Villar, V. (1998). Evaluation of the seasonal variations in the residual circulation in the Ria of Vigo (NW Spain) by means of a 3D Baroclinic model. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 47(5), 661-670. doi: <https://doi.org/10.1006/ecss.1998.0385>.
- Vázquez, E., Woodin, S. A., Wethey, D. S., Peteiro, L. G., & Olabarria, C. (2021). Reproduction Under Stress: Acute Effect of Low Salinities and Heat Waves on Reproductive Cycle of Four Ecologically and Commercially Important Bivalves. *Frontiers in Marine Science*, 1076. doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.685282>
- Villasante, S., Tubío, A., Ainsworth, G., Pita, P., Antelo, M., & Da-Rocha, J. M. (2021). Rapid Assessment of the COVID-19 Impacts on the Galician (NW Spain) Seafood Sector. *Frontiers in Marine Science*, 1410. doi: <https://doi.org/10.3389/fmars.2021.737395>