

Resumen de Impactos en la zona costera: ecosistemas, comunidades e industrias

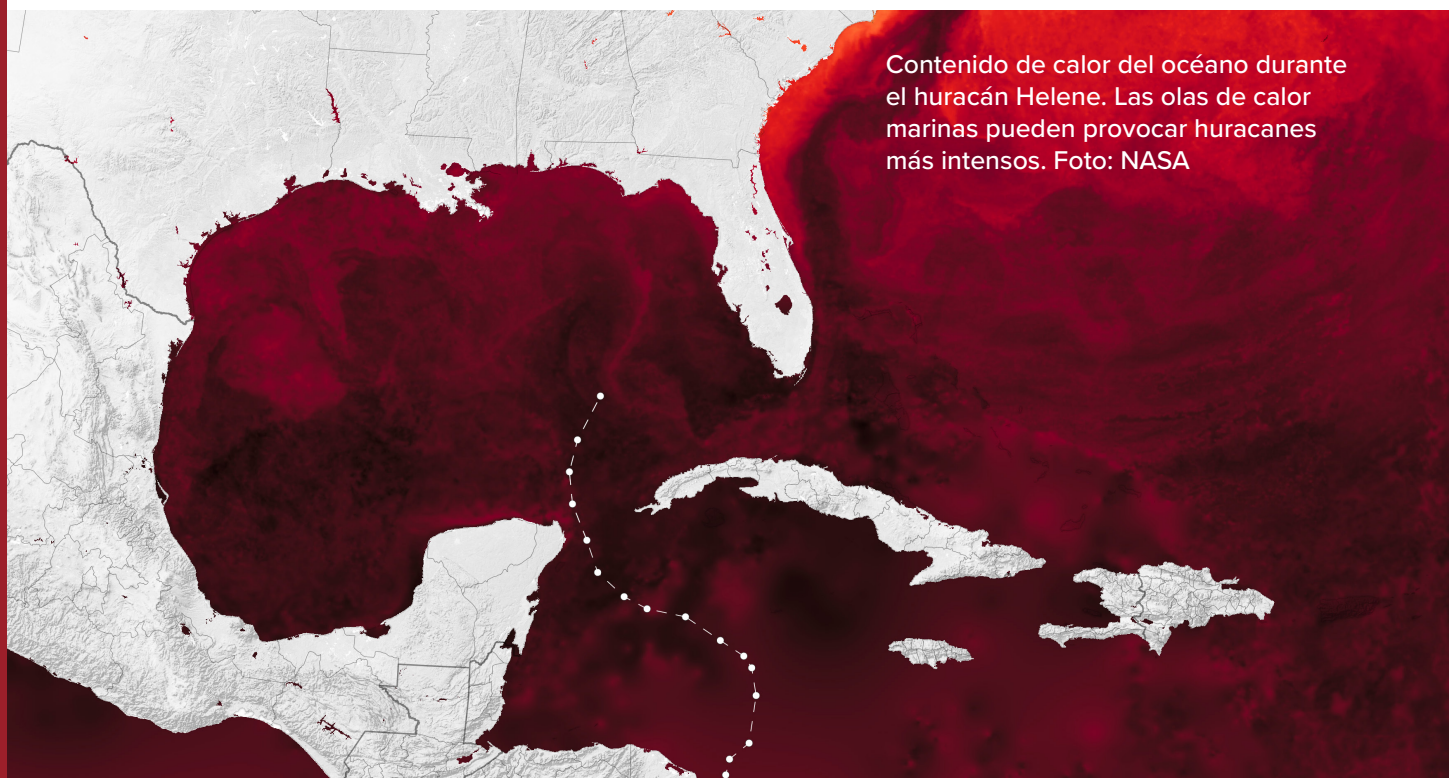
Las olas de calor marinas, períodos prolongados de temperaturas oceánicas superiores a lo normal, tienen un sinnúmero de impactos en los ecosistemas, las comunidades y las industrias costeras y marinas. Debido a su influencia en el clima y las tormentas, también pueden tener impactos que se extienden tierra adentro. Aquí ofrecemos una descripción general de los impactos de las olas de calor marinas en las comunidades costeras del Golfo de América (en adelante, el “Golfo”) y el Caribe, divididos a grandes rasgos en impactos económicos, sociales/culturales, de salud, de gobernanza y de especies/ecología.

Las olas de calor marinas pueden influir en el clima regional. Las olas de calor marinas se asocian con condiciones más cálidas y húmedas en las zonas costeras, tormentas eléctricas más severas en el sureste de Estados Unidos y un mayor riesgo de ciclones tropicales más frecuentes e intensos. Los huracanes y tornados se ven agravados por olas de calor marinas, aunque no necesitan una ola de calor marina para formarse. Por lo tanto, y por razones de espacio, no abordaremos aquí los impactos de las tormentas eléctricas y los ciclones tropicales, sino que nos centraremos en los impactos de las elevadas temperaturas oceánicas y las correspondientes altas temperaturas y humedad en zonas costeras.

Este documento sirve como referencia general sobre la ciencia y los impactos de las olas de calor marinas. Se puede encontrar información más detallada en una serie de informes breves centrados en:

- Temperaturas y humedad en zonas costeras
- Tormentas eléctricas severas
- Ciclones tropicales
- Floraciones algales nocivas
- Sargazos
- Pastos marinos
- Corales
- Almejas
- Ostiones
- Erizos de mar
- Cangrejos
- Peces
- Especies de megafauna

Además, los informes breves sobre olas de calor marinas relacionados con la agricultura, pesquería e infraestructura energética incluyen detalles sobre los impactos específicos en cada sector.





Económicos

Las olas de calor marinas pueden tener impactos económicos directos, como la pérdida de ingresos pesqueros debido a la disminución de especies de peces, e indirectos, como la reducción del rendimiento agrícola debido a enfermedades facilitadas por las altas temperaturas y la humedad.

Altas temperaturas del agua

Las temperaturas del agua anormalmente altas pueden afectar tanto positivamente como negativamente a las especies objeto de la pesca (p. ej., peces, moluscos, crustáceos y similares). Las especies tropicales pueden aumentar su prevalencia durante las olas de calor, y las que viven cerca del fondo marino pueden verse menos afectadas. Por lo tanto, estas pesquerías podrían sufrir menores costos o incluso experimentar impactos beneficiosos (Fredston et al., 2023; Smale et al., 2019). Sin embargo, debido a que las aguas del Caribe y Golfo ya son relativamente cálidas, es probable que muchas de las especies objeto se desplacen de sus zonas de pesca habituales o se vean afectadas negativamente de otra manera. Esto significa que las flotas pesqueras podrían verse obligadas a adaptar sus zonas de pesca para seguir a las especies objeto en movimiento (Farchadi et al., 2024), lo que requiere viajes más largos o desde diferentes puertos, lo que puede incrementar los costos. También puede haber cambios en el momento de pesca y disponibilidad de mariscos; picos de población de especies objeto antes de lo habitual debido a las olas de calor pueden saturar el mercado y reducir los ingresos por captura para los pescadores (Pershing et al., 2018)). Si las especies objeto experimentan descensos en la incorporación de nuevos miembros a sus poblaciones y descensos poblacionales generales debido al estrés, los pescadores podrían ver reducidas sus capturas o producción (Plumlee et al., 2024). Los costos de gestión también pueden aumentar, ya que los gestores de poblaciones deben evaluar la eficacia de las estrategias para ayudar a las poblaciones a recuperarse de los impactos de las olas de calor (Midway et al., 2024).

El impacto de las altas temperaturas del agua en las especies marinas también puede afectar el turismo y sus posibles ingresos. Por ejemplo, los corales pueden blanquearse y luego morir al exponerse a las olas de calor marinas de larga duración. Los arrecifes de coral son atracciones importantes para los turistas, especialmente para el snorkeling y el buceo. Por ejemplo, Florida

tiene un turismo dependiente de los arrecifes, y el turismo adyacente a ellos genera alrededor de 850 millones de dólares anuales (Spalding et al., 2017). Por lo tanto, el blanqueamiento y la disminución de los corales asociados a las olas de calor marinas pueden tener importantes impactos negativos en las industrias turísticas regionales, especialmente en Florida y el Caribe.

Altas temperaturas y humedad del aire

Las altas temperaturas y humedad del aire asociadas con las olas de calor marinas podrían afectar la productividad laboral y los ingresos del turismo costero, especialmente durante los meses cálidos de verano. En los meses fríos, el aumento de la temperatura podría favorecer un mayor turismo, dependiendo de las preferencias de los visitantes (Atzori et al., 2018; Rutty y Scott, 2013). Sin embargo, es probable que el turismo disminuya con el aumento de las temperaturas durante los ya calurosos meses de verano (Atzori et al., 2018; Rutty y Scott, 2013; Rutty et al., 2022). En cuanto a la seguridad laboral, en condiciones de calor y humedad, los trabajadores necesitarán trabajar con menor intensidad y más descansos para mantenerse seguros (Brimicombe et al., 2023). Esto implica una posible pérdida de productividad que podría conllevar una reducción de las ganancias durante los días especialmente calurosos. Los cambios en la temperatura del aire pueden afectar la demanda de energía. Durante los meses fríos del invierno, el aumento de las temperaturas puede reducir las necesidades de calefacción. Sin embargo, dado que el Golfo y el Caribe son relativamente cálidos, condiciones aún más cálidas y húmedas en verano provocarían un aumento en la demanda de refrigeración, a la vez que reducirían la eficiencia de las líneas de transmisión (Varianou Mikellidou et al., 2018; Ogden et al., 2019). La combinación de una mayor demanda con una menor oferta aumenta la probabilidad de precios elevados de la energía y apagones (Añel et al., 2017).

Las condiciones anormalmente cálidas y húmedas, especialmente en verano, pueden aumentar el riesgo de daños a los cultivos, problemas de reproducción y enfermedades. Estos impactos provocan una reducción de la producción agrícola y, por consiguiente, de las ganancias, a la vez que aumentan los precios al consumidor (Losinger, 2004; Savary et al., 2012). Sin embargo, en invierno, las olas de calor pueden reducir el riesgo de pérdidas de cosechas por heladas, lo cual es especialmente importante para los cítricos (Shannon y Motha, 2015).



Sociales y culturales

Además de los impactos económicos, las olas de calor marinas pueden afectar los medios de vida de las personas y las comunidades en general. Los impactos sociales y culturales negativos pueden deberse a la pérdida de especies culturalmente importantes o a la imposibilidad de realizar ciertas actividades en ciertos momentos del día.

Altas temperaturas del agua

Las altas temperaturas del agua pueden tener graves efectos negativos sobre las especies culturalmente relevantes del Golfo y el Caribe. Por ejemplo, en varias comunidades del estado de Veracruz, México, los pescadores mencionaron que utilizan tiburones y especies de peces como la sierra común no solo para generar ventas/ingresos, sino también como alimento, decoración, artesanías, productos medicinales y rituales (Escamilla-Pérez et al., 2021). Los hogares de este estado dependen de los recursos marinos para obtener hasta la mitad de sus alimentos (Aldasoro-Said y Ortiz-Lozano, 2021); por lo tanto, la disminución de las especies marinas alimenticias podría requerir ajustes en las dietas y la gastronomía locales. El desove de la sierra común (*Scomberomorus maculatus*) es sensible a la temperatura y la especie migra en función de la temperatura del agua (Quinlan, 2023; Schrandt et al., 2016), lo que significa que las olas de calor podrían afectar su abundancia o reproducción. Las especies del género de tiburones de importancia cultural (*Carcharhinus*) varían en su tolerancia a la temperatura, pero algunas (como *Carcharhinus plumbeus*) presentan una disminución en la habilidad de nadar de los juveniles cuando hay altas temperaturas (Crear et al., 2019). Otras (como *Carcharhinus limbatus*) muestran signos elevados de estrés tras ser capturadas y liberadas a altas temperaturas (Whitney et al., 2017). Si las especies marinas de importancia cultural se ven afectadas por las olas de calor marinas, estas influirán en las comunidades costeras (y, en especial, las de pesca) más allá de los impactos puramente económicos.

La industria pesquera en su conjunto también puede tener una importancia social y cultural considerable en algunas comunidades. Por ejemplo, el pueblo de San León, en la Bahía de Galveston, cuenta con un gran centro de pesca deportiva y su lema es “una pequeña comunidad de bebedores con un gran problema pesquero” (Jacob et al., 2010). Si bien la pesca es una actividad

económica importante, su importancia puede trascender los ingresos y convertirse en parte de la cultura local, aunque su importancia social varía según la comunidad (Jacob et al., 2010). En este caso, las disminuciones drásticas y constantes en las capturas pesqueras pueden tener impactos sociales en cascada en la comunidad (Lozada Pérez et al., 2022; Scyphers et al., 2019).

Altas temperaturas y humedad del aire

Una temperatura y humedad del aire superiores a lo normal pueden afectar la forma en que las personas, tanto residentes como turistas, se divierten. Por ejemplo, una encuesta realizada a turistas en Barbados, Santa Lucía y Tobago reveló que, en general, los turistas consideraban que las temperaturas inferiores a 23°C eran inaceptablemente bajas para el uso de la playa, y las superiores a 34°C, inaceptablemente altas para el uso de la playa (Rutty y Scott, 2013). Esto significa que un aumento de las temperaturas en la temporada de frío podría animar a algunas personas a usar la playa cuando normalmente no lo harían. Sin embargo, el aumento de las temperaturas en los meses calurosos de verano reduciría la probabilidad de usar la playa. El calor extremo (más probable con las olas de calor marinas de verano) puede provocar una disminución de la pesca deportiva en el Golfo y el sureste de EE. UU., aunque los pescadores podrían seguir saliendo de noche y podrían observar un aumento de la pesca en los meses más fríos (Dundas y von Haefen, 2020). En términos más generales, las personas pueden reducir su actividad física al aire libre y optar por actividades de ocio en interiores durante las estaciones cálidas, pero es más probable que realicen actividades físicas al aire libre durante las estaciones frías (Obradovich y Fowler, 2017; Zivin y Neidell, 2014). Dado que la región ya es calurosa, es probable que se produzcan descensos generales en la actividad recreativa al aire libre.



Salud

Las olas de calor marinas pueden influir indirectamente en la salud humana al influir en la dinámica de las especies marinas y en las condiciones climáticas costeras.

Altas temperaturas del agua

Las olas de calor marinas pueden influir en la aparición de floraciones algales nocivas. Estas floraciones pueden tener efectos negativos en la salud de las poblaciones humanas cercanas, envenenando los mariscos y causando irritación cutánea y respiratoria (Berdalet et al., 2016). Las olas de calor marinas pueden causar menos floraciones algales nocivas en verano en las zonas costeras con bajas concentraciones de nutrientes, pero son motivo de preocupación en invierno. En las zonas costeras con concentraciones de nutrientes relativamente altas, es más probable que las olas de calor marinas aumenten la incidencia de floraciones algales nocivas incluso en los meses cálidos, lo que requiere ajustes en el uso de las playas y la costa, así como en el abastecimiento de mariscos, para evitar impactos negativos en la salud humana.

La disminución de las capturas de especies de peces y las dificultades económicas resultantes pueden tener consecuencias para la salud mental de quienes trabajan en la industria pesquera (Scyphers et al., 2019). Hay pocos estudios que analizan directamente los impactos de las fallas o disminuciones de la pesca inducidas por las olas de calor marinas, pero los estudios de cierres de pesquerías documentan estrés/angustia y potencialmente depresión para los pescadores y miembros de la comunidad afectados (Scyphers et al., 2019; Smith et al., 2003).

Altas temperaturas y humedad del aire

Como se mencionó anteriormente, las temperaturas más altas de lo normal pueden influir en cómo y cuándo las personas pueden trabajar de forma segura. Dado que el Golfo y el Caribe son relativamente cálidos, el calor excesivo en verano es especialmente preocupante para la salud humana. La alta humedad reduce la eficacia del enfriamiento inducido por el sudor, y quienes trabajan en el agua (es decir, pescadores comerciales y de caña y socorristas), especialmente durante las olas de calor marinas, se encontrarán en condiciones particularmente húmedas (Alber-Wallerström y Holmér, 1985; Di Napoli et al., 2022; Pathmeswaran, 2023). Las temperaturas extremadamente altas

también pueden agravar la incomodidad y el estrés de los trabajadores pesqueros al desplazarse entre la cubierta del barco caliente y las bodegas de hielo frías para el almacenamiento de pescado (Johnson et al., 1998). Los efectos de las temperaturas y la humedad elevadas se extienden tierra adentro. El calor extremo puede ser especialmente peligroso para quienes trabajan al aire libre durante largas jornadas; los trabajadores agrícolas estadounidenses tienen 20 veces más probabilidades de morir por enfermedades relacionadas con el calor que la fuerza laboral civil en general (Murbach et al., 2020). Existen ajustes de gestión, como aumentos en el tiempo de descanso, cambios en el esfuerzo de los trabajadores y provisión de áreas de recuperación con control climático, que pueden mitigar esos riesgos (Brimicombe et al., 2023; Murbach et al., 2020).

Las altas temperaturas y la humedad también pueden influir en cómo y cuándo las personas pueden realizar actividades recreativas al aire libre de forma segura. Por ejemplo, existen pautas regionales para ayudar a reducir las enfermedades relacionadas con el calor y el esfuerzo de los atletas. Son basadas en la temperatura, la humedad y otras variables climáticas (como el viento y la radiación solar) (Grundstein et al., 2015). Los entrenamientos de fútbol por la tarde en julio y agosto hacen que los atletas sean particularmente propensos a sufrir enfermedades por calor (Grundstein et al., 2023); las olas de calor marinas de verano podrían agravar estas condiciones de calor y humedad. Reprogramar los entrenamientos en la noche podría ayudar a reducir la probabilidad de enfermedades por calor (Grundstein et al., 2023), aunque con las olas de calor marinas, estas condiciones de calor peligrosas podrían persistir hasta bien tarde.

Las altas temperaturas y la humedad también pueden afectar la infraestructura energética y provocar apagones, intencionales o no. Los fallos en la red eléctrica durante las olas de calor pueden aumentar el riesgo de agotamiento por calor y golpe de calor, ya que más residentes se exponen a las altas temperaturas sin aire acondicionado (Stone et al., 2021; Stone et al., 2023).

Las altas temperaturas atmosféricas también pueden afectar la salud mental. Por ejemplo, en el área metropolitana de Houston, los fenómenos meteorológicos extremos (incluidas las olas de calor) se asociaron con un aumento repentino de las visitas a urgencias por depresión y ansiedad (Adepoju et al., 2025). Es probable que estos impactos en la salud mental estén relacionados con los impactos económicos, sociales/culturales y de otro tipo sobre la salud analizados anteriormente; las altas temperaturas y la humedad pueden aumentar el estrés general de los residentes costeros en climas cálidos como los del Golfo y el Caribe.



Gobernanza

Las olas de calor marinas pueden influir en la gobernanza local y regional, más directamente en la pesca y las áreas marinas protegidas, pero también en las comunidades costeras afectadas por el calor y la humedad extremos.

Altas temperaturas del agua

Las olas de calor marinas presentan diversos desafíos de gobernanza, ya que las especies se desplazan a lugares inesperados o las pesquerías experimentan cambios potencialmente importantes en las especies o cantidades de captura. Por ejemplo, las olas de calor marinas pueden provocar cambios en el comportamiento y el movimiento de los mamíferos marinos y aumentar el riesgo de enredo, lo que requiere ajustes en las prácticas pesqueras para evitar conflictos entre humanos y fauna silvestre (Samhouri et al., 2021). Una gestión que puede ser eficaz en otros contextos puede ser menos eficaz durante las olas de calor marinas y podría tener impactos importantes en los ingresos y los medios de vida de la pesca (Samhouri et al., 2021). De igual manera, las olas de calor marinas pueden provocar una mortalidad superior a la habitual de las especies objeto, lo que amenaza la sostenibilidad a largo plazo de la pesquería y también requiere ajustes en la gestión (Barbeaux et al., 2020).

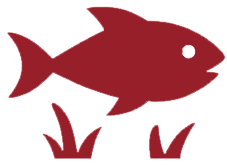
Las olas de calor marinas también pueden cambiar el momento de los desembarques, de modo que el mercado experimente un aumento inesperado en la oferta que reduzca los precios y las ganancias de los pescadores (Pershing et al., 2018). La comercialización y los ajustes en la capacidad de procesamiento pueden ayudar a reducir las fluctuaciones de precios y la disminución de las ganancias, lo cual es posible con una gobernanza proactiva y la colaboración (Pershing et al., 2018). Como complicación adicional, las especies pueden desplazarse a través de múltiples jurisdicciones, incluidas zonas económicas exclusivas internacionales, durante eventos de olas de calor marinas. (Welch et al., 2023). Esto significa que la gestión proactiva de las poblaciones de especies en conjunto requeriría de estrategias de gestión dinámica con cooperación transfronteriza (Welch et al., 2023). Parte de la gobernanza la realizan las propias comunidades pesqueras y también pueden gestionar los impactos de las olas de calor marinas (Pech et al., 2019). Animar a los pescadores a diversificar las especies objeto puede ayudar a

reducir el impacto de la disminución de cualquier especie en particular (Solís et al., 2020), aunque podría ser menos eficaz ante disminuciones o desplazamientos generalizados de especies. Adaptarse a los impactos de las olas de calor marinas en las pesquerías costeras puede afectar las prácticas de gobernanza y gestión existentes y requiere flexibilidad.

Altas temperaturas y humedad del aire

Las altas temperaturas y humedad, similares a las olas de calor de los meses de verano, requieren estrategias de gobernanza adaptativa para reducir los riesgos para la salud humana y la infraestructura (como se describió anteriormente). Existen numerosas escalas y tipos de respuestas, que van desde planes gubernamentales contra el calor extremo (p. ej., Houston y Tampa) hasta adaptaciones más autónomas y a pequeña escala (McGregor et al., 2024).

Las respuestas individuales y comunitarias son especialmente importantes en el Caribe, y la eficacia y el formato de las iniciativas gubernamentales pueden variar considerablemente entre ciudades y en toda la región (McGregor et al., 2024). Dado que la región ya es cálida, suele existir cierta aclimatación local y experiencia en la gestión del calor extremo, si se toma en serio. Sin embargo, las olas de calor marinas de verano pueden contribuir a elevar las temperaturas atmosféricas más allá de lo que las respuestas establecidas pueden mitigar (McGregor et al., 2024). Los posibles impactos negativos se extienden más allá de la salud humana y abarcan la infraestructura; las altas temperaturas y la humedad durante las estaciones cálidas pueden reducir la eficiencia de la transmisión de energía, a la vez que aumentan la demanda energética. La gestión del impacto en la red eléctrica puede incluir apagones rotativos, así como un desarrollo de infraestructura más proactivo para reducir las necesidades energéticas y gestionar los picos de demanda (Garland et al., 2024). La planificación proactiva podría ayudar a garantizar que las estructuras de gobernanza existentes (ya sean comunitarias o gubernamentales) estén preparadas para posibles picos de calor relacionados con las olas de calor marinas de verano.



Especies y ecosistemas

Los impactos de las olas de calor marinas en las especies marinas y costeras varían, pero es probable que existan impactos negativos que puedan repercutir en los ecosistemas, especialmente en los arrecifes de coral y los ecosistemas de pastos marinos. Sin embargo, estos impactos pueden extenderse tierra adentro y afectar a las especies semiacuáticas y terrestres.

Altas temperaturas del agua

Algunas especies, cuyo hábitat principal es el Golfo y el Caribe, se verán particularmente amenazadas por temperaturas del agua anormalmente altas. Por ejemplo, el rorcual de Rice (*Balaenoptera ricei*) solo se ha detectado en el Golfo y tiene un conjunto relativamente reducido de especies presas (Lettrich et al., 2023; NOAA Fisheries, 2024). Si estas especies presas abandonan el Golfo o sufren descensos poblacionales debido a las olas de calor marinas, el rorcual de Rice probablemente se vería gravemente afectada. Muchas especies podrían verse afectadas por las olas de calor marinas, tanto de forma positiva como negativa, y estos cambios influyen aún más en las interacciones entre las especies. Si los corales mueren debido a la exposición prolongada a altas temperaturas, las especies de arrecifes, que representan el 25 % de la biodiversidad marina a nivel mundial, pierden sus hábitats. Si las especies de pastos marinos mueren, especies como la corvina negra (*Pogonias cromis*), el cangrejo azul (*Callinectes sapidus*) y el tiburón cabeza de pala (*Sphyrna tiburo*) pierden sus hábitats de crianza y podrían ser más vulnerables a la depredación (Quinlan et al., 2023). Si el estrés térmico es lo suficientemente fuerte o duradero, puede haber un cambio desde los ecosistemas de pastos marinos hacia sistemas dominados por algas o sustratos sin vegetación (Serrano et al., 2021; Smith et al., 2023).

Altas temperaturas y humedad del aire

Las altas temperaturas y humedad del aire también pueden afectar a las especies semiacuáticas y terrestres que habitan en el Golfo y el Caribe. Por ejemplo, los adultos de la tortuga lora, en peligro de extinción, viven principalmente en hábitats costeros del Golfo y tienen una gran zona de anidación en Rancho Nuevo, México (NOAA Fisheries, 2025). Si bien la investigación sobre esta especie en particular es limitada, las altas temperaturas de la arena influyen en la proporción de sexos de las

crías y en el éxito de la eclosión en otras especies de tortugas marinas (Laloë et al., 2016; Lolavar y Wyneken, 2020; NOAA Fisheries, 2025). Las altas temperaturas y humedad del aire también pueden propiciar el desarrollo de enfermedades fúngicas en las plantas que afectan a las especies costeras (Jennings et al., 2014; Romero et al., 2021). Por ejemplo, las condiciones cálidas y húmedas comunes en el sureste de Estados Unidos y el Caribe son óptimas para el desarrollo del cancro resinoso del pino (*Fusarium circinatum*) (Ganley et al., 2009; Sturrock et al., 2011), que afecta gravemente a las especies de pino en el sureste de Estados Unidos. Si bien gran parte de las especies y el impacto ecológico de las olas de calor están directamente relacionados con las altas temperaturas del agua, las altas temperaturas y la humedad costeras pueden extender los impactos ecológicos de las olas de calor marinas a las especies del interior, tanto semiacuáticas como terrestres.

Conclusiones

Las olas de calor marinas pueden tener impactos económicos, sociales/culturales, de salud, económicos y ecosistémicos en las zonas costeras del Golfo, el sudeste de EE. UU. y el Caribe. La extensión e intensidad de estos impactos dependerán tanto de las características de la ola de calor marina (p. ej., cuándo se produce, cuánto dura y qué tan intensa es) como de las características regionales (p. ej., si se trata de una comunidad dependiente de la pesca, si el gobierno local cuenta con un plan contra el calor extremo). Si bien algunos impactos de las olas de calor marinas pueden ser positivos (por ejemplo, la reducción de las necesidades de calefacción en invierno), muchos de los probables impactos en el Golfo y el Caribe son negativos. La gestión proactiva de la infraestructura y las industrias (como los sistemas energéticos y la agricultura), junto con la gestión de especies basada en los ecosistemas, puede ayudar a mitigar algunos de estos impactos, pero cualquier gestión debe basarse en la experiencia local y tener en cuenta la capacidad y las condiciones locales.

Referencias

- Adepoju, Omolola, Lulu Xu, Summer Chavez, Patrick Dang, Mary Tipton, Maria Perez Arguelles, Gail J. Butteroff, and Man Chiu Wong. 2025. "Back-to-Back Climate Shocks and the Mental Health Crisis: A Texas-Sized Surge in Depression and Anxiety ER Visits." *The American Journal of Emergency Medicine*, February. <https://doi.org/10.1016/J.AJEM.2025.02.038>.
- Alber-Wallerström, B., and I. Holmér. 1985. "Efficiency of Sweat Evaporation in Unacclimatized Man Working in a Hot Humid Environment." *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 54 (5): 480–87. <https://doi.org/10.1007/BF00422956>.
- Aldasoro-Said, G., and L. Ortiz-Lozano. 2021. "Marine Resource Dependence in Rural Coastal Communities South of the Reef Corridor of the Southwest Gulf of Mexico." *Ocean & Coastal Management* 211 (October): 105778. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2021.105778>.
- Añel, Juan A., Manuel Fernández-González, Xavier Labandeira, Xiral López-Otero, and Laura de la Torre. 2017. "Impact of Cold Waves and Heat Waves on the Energy Production Sector." *Atmosphere* 2017, Vol. 8, Page 209 8 (11): 209. <https://doi.org/10.3390/ATMOS8110209>.
- Atzori, Roberta, Alan Fyall, and Graham Miller. 2018. "Tourist Responses to Climate Change: Potential Impacts and Adaptation in Florida's Coastal Destinations." *Tourism Management* 69 (December): 12–22. <https://doi.org/10.1016/J.TOURMAN.2018.05.005>.
- Barbeaux, Steven J., Kirstin Holsman, and Stephani Zador. 2020. "Marine Heat Wave Stress Test of Ecosystem-Based Fisheries Management in the Gulf of Alaska Pacific Cod Fishery." *Frontiers in Marine Science* 7 (August): 562630. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2020.00703>.
- Berdalet, Elisa, Lora E. Fleming, Richard Gowen, Keith Davidson, Philipp Hess, Lorraine C. Backer, Stephanie K. Moore, Porter Hoagland, and Henrik Enevoldsen. 2016. "Marine Harmful Algal Blooms, Human Health and Wellbeing: Challenges and Opportunities in the 21st Century." *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 96 (1): 61–91. <https://doi.org/10.1017/S0025315415001733>.
- Brimicombe, Chloe, Chun Hay Brian Lo, Florian Pappenberger, Claudia di Napoli, Pedro Maciel, Tiago Quintino, Rosalind Cornforth, and Hannah L. Cloke. 2023. "Wet Bulb Globe Temperature: Indicating Extreme Heat Risk on a Global Grid." *GeoHealth* 7 (2): e2022GH000701. <https://doi.org/10.1029/2022GH000701>.
- Crear, Daniel P, Rich W Brill, Peter G Bushnell, Robert J Latour, Gail D Schwieterman, Rachel M Steffen, and Kevin C Weng. 2019. "The Impacts of Warming and Hypoxia on the Performance of an Obligate Ram Ventilator." *Conservation Physiology* 7 (1): coz026. <https://doi.org/10.1093/conphys/coz026>.
- Di Napoli, Claudia, Theodore Allen, Pablo A. Méndez-Lázaro, and Florian Pappenberger. 2022. "Heat Stress in the Caribbean: Climatology, Drivers, and Trends of Human Biometeorology Indices." *International Journal of Climatology* 43 (1): 405. <https://doi.org/10.1002/JOC.7774>.
- Dundas, Steven J, and Roger H von Haefen. 2020. "The Effects of Weather on Recreational Fishing Demand and Adaptation: Implications for a Changing Climate." <https://doi.org/10.7910/DVN/0SXOP2>.
- Escamilla-Pérez, B. E., L. Ortiz-Lozano, D. O. Molina-Rosales, and A. Espinoza-Tenorio. 2021. "Cultural Importance of Marine Resources Subject to Fishing Exploitation in Coastal Communities of Southwest Gulf of Mexico." *Ocean & Coastal Management* 208 (July): 105605. <https://doi.org/10.1016/J.OCECOAMAN.2021.105605>.
- Farchadi, Nima, Heather Welch, Camrin D. Braun, Andrew J. Allyn, Steven J. Bograd, Stephanie Brodie, Elliott L. Hazen, et al. 2024. "Marine Heat Waves Redistribute Pelagic Fishing Fleets." *Fish and Fisheries* 25 (4): 602–18. <https://doi.org/10.1111/FAF.12828>.
- Fredston, Alexa L., William W.L. Cheung, Thomas L. Frölicher, Zoë J. Kitchel, Aurore A. Maureaud, James T. Thorson, Arnaud Auber, et al. 2023. "Marine Heat Waves Are Not a Dominant Driver of Change in Demersal Fishes." *Nature* 2023 621:7978 621 (7978): 324–29. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06449-y>.
- Ganley, Rebecca J., Michael S. Watt, Lucy Manning, and Eugenia Iturrity. 2009. "A Global Climatic Risk Assessment of Pitch Canker Disease." *Canadian Journal of Forest Research* 39 (11): 2246–56. <https://doi.org/10.1139/X09-131>.
- Garland, Jasmine, Kyri Baker, and Ben Livneh. 2024. "The Climate-Energy Nexus: A Critical Review of Power Grid Components, Extreme Weather, and Adaptation Measures." *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability* 4 (3): 032002. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/AD79DD>.
- Grundstein, Andrew, Castle Williams, Minh Phan, and Earl Cooper. 2015. "Regional Heat Safety Thresholds for Athletics in the Contiguous United States." *Applied Geography* 56 (January): 55–60. <https://doi.org/10.1016/J.APGEOG.2014.10.014>.
- Grundstein, Andrew, Earl Cooper, and Susan Yeargin. 2023. "Planning for Heat: Time Activity Patterns, Heat Hazards, and Exertional Heat Illnesses among American Interscholastic Football Players." *Theoretical and Applied Climatology* 154 (3–4): 1013–20. <https://doi.org/10.1007/S00704-023-04614-X>.
- Hayashida, Hakase, Richard J Matear, and Peter G Strutton. 2020. "Background Nutrient Concentration Determines Phytoplankton Bloom Response to Marine Heat Waves." *Global Change Biology* 26 (9): 4800–4811. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.15255>.

- Jacob, Steve, Priscilla Weeks, Benjamin G. Blount, and Michael Jepson. 2010. "Exploring Fishing Dependence in Gulf Coast Communities." *Marine Policy* 34 (6): 1307–14. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2010.06.003>.
- Jennings, Lisa Nicole, Jamison Douglas, Emrys Treasure, and Grizelle González. 2014. "Climate Change Effects in El Yunque National Forest, Puerto Rico, and the Caribbean Region." U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. <https://doi.org/10.2737/srs-gtr-193>.
- Johnson, G. David, Cecelia Formichella, J. Stephen Thomas, Dulal Bhaumik, Frank v. Degruy, and Catherine A. Riordan. 1998. "Stress and Distress among Gulf of Mexico Shrimp Fisherman." *Human Organization* 57 (4): 404–13.
- Laloë, Jacques Olivier, Nicole Esteban, Jessica Berkel, and Graeme C. Hays. 2016. "Sand Temperatures for Nesting Sea Turtles in the Caribbean: Implications for Hatchling Sex Ratios in the Face of Climate Change." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 474 (January): 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2015.09.015>.
- Lettrich, Matthew D., Michael J. Asaro, Diane L. Borggaard, Dorothy M. Dick, Roger B. Griffis, Jenny A. Litz, Christopher D. Orphanides, et al. 2023. "Vulnerability to Climate Change of United States Marine Mammal Stocks in the Western North Atlantic, Gulf of Mexico, and Caribbean." *PLOS ONE* 18 (9): e0290643. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0290643>.
- Lolavar, Alexandra, and Jeanette Wyneken. 2020. "The Impact of Sand Moisture on the Temperature-Sex Ratio Responses of Developing Loggerhead (*Caretta caretta*) Sea Turtles." *Zoology* 138 (February). <https://doi.org/10.1016/j.zool.2019.125739>.
- Losinger, Willard C. 2005. "Economic Impact of Reduced Milk Production Associated with Johne's Disease on Dairy Operations in the USA." *Journal of Dairy Research* 72 (4): 425–32. <https://doi.org/DOL:10.1017/S0022029905001007>.
- Lozada Perez, Coral Marie, David Yoskowitz, and Richard McLaughlin. 2022. "Livelihoods in Transition across the Gulf of Mexico: A Three Case Study Approach." ProQuest Dissertations and Theses. United States -- Texas: Texas A&M University - Corpus Christi.
- McGregor, Glenn. 2024. "Heat Wave Responses: Adaptation." In *Heat Waves*, 493–548. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-031-69906-1_12.
- Midway, Stephen R., Frederick S. Scharf, Michael A. Dance, Nancy J. Brown-Peterson, Joseph C. Ballenger, Nicolette S. Beeken, Russell J. Borski, et al. 2024. "Southern Flounder: Major Milestones and Remaining Knowledge Gaps in Their Biology, Ecology, and Fishery Management." *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 32 (3): 450–78. <https://doi.org/10.1080/23308249.2024.2341017>.
- Murbach, Matthew D, Daniel T Schwartz -, Michael J Wilensky, Miguel F Morales, Bryna J Hazelton, Michelle Tigchelaar, David S Battisti, and June T Spector. 2020. "Work Adaptations Insufficient to Address Growing Heat Risk for U.S. Agricultural Workers." *Environmental Research Letters* 15 (9): 094035.
- NOAA Fisheries. 2024. "Rice's Whale." John Wiley and Sons Inc. November 26, 2024. <https://doi.org/10.1111/RAQ.12811>.
- NOAA Fisheries. 2025. "Kemp's Ridley Turtle." February 28, 2025. <https://www.fisheries.noaa.gov/species/kemps-ridley-turtle>.
- Obradovich, Nick, and James H. Fowler. 2017. "Climate Change May Alter Human Physical Activity Patterns." *Nature Human Behaviour* 1:5 1 (5): 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41562-017-0097>.
- Ogden, Joan M, Maurice R Greenberg, Amy Myers Jaffe, Joshua Busby, Jim Blackburn, Christina Copeland, Sara Law, and Paul A Griffin. 2019. "CLIMATE CHANGE IMPACTS ON CRITICAL U.S. ENERGY INFRASTRUCTURE." *Impact of Climate Risk on the Energy System. Examining the Financial, Security, and Technology Dimensions*. Council on Foreign Relations. <http://www.jstor.org/stable/resrep21839.6>.
- Pathmeswaran, Charuni. 2023. "Double Trouble: Understanding Co-Occurring Terrestrial and Marine Heat Extremes." <https://doi.org/10.26190/unsworks/25179>.
- Pecl, Greta T., Emily Ogier, Sarah Jennings, Ingrid van Putten, Christine Crawford, Hannah Fogarty, Stewart Frusher, et al. 2019. "Autonomous Adaptation to Climate-Driven Change in Marine Biodiversity in a Global Marine Hotspot." *Ambio* 48 (12): 1498–1515. <https://doi.org/10.1007/s13280-019-01186-x>.
- Pershing, Andrew J, Katherine E Mills, Alexa M Dayton, Bradley S Franklin, and Brian T Kennedy. 2018. "EVIDENCE FOR ADAPTATION FROM THE 2016 MARINE HEATWAVE IN THE NORTHWEST ATLANTIC OCEAN." *Oceanography* 31 (2): 152–61. <https://www.jstor.org/stable/26542661>.
- Plumlee, Jeffrey D, Sean P Powers, David L Kimbro, John C Lehrter, Jason Herrmann, and John Mareska. 2024. "Increasing Duration of Heat Waves Poses a Threat to Oyster Sustainability in the Gulf of Mexico." *Ecological Indicators* 162: 112015. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112015>.
- Quinlan, John A, Mark Nelson, Caitlyn Savoia, Rachel Skubel, James D Scott, Lisa Ailloud, Cameron Ainsworth, et al. 2023. "Results from the Gulf of Mexico Climate Vulnerability Analysis for Fishes and Invertebrates." NOAA Technical Memorandum. <https://doi.org/10.25923/5svf-se47>.
- Rutty, M, and D Scott. 2013. "Differential Climate Preferences of International Beach Tourists." *Climate Research* 57 (3): 259–69. <https://www.int-res.com/abstracts/cr/v57/n3/p259-269/>.
- Rutty, Michelle, Micah Hewer, Natalie Knowles, and Siyao Ma. 2022. "Tourism & Climate Change in North America: Regional State of Knowledge." *Journal of Sustainable Tourism* 32 (9): 1924–47. <https://doi.org/10.1080/09669582.2022.2127742>.

- Samhouri, Jameal F., Blake E. Feist, Mary C. Fisher, Owen Liu, Samuel M. Woodman, Briana Abrahms, Karin A. Forney, et al. 2021. "Marine Heat Wave Challenges Solutions to Human–Wildlife Conflict." *Proceedings of the Royal Society B* 288 (1964). <https://doi.org/10.1098/RSPB.2021.1607>.
- Savary, Serge, Andrea Ficke, Jean-Noël Aubertot, and Clayton Hollier. 2012. "Crop Losses Due to Diseases and Their Implications for Global Food Production Losses and Food Security." *Food Security* 4 (4): 519–37. <https://doi.org/10.1007/s12571-012-0200-5>.
- Schrandt, Meagan N., Kevan C. Gregalis, and Sean P. Powers. 2016. "Differential Predictors of Adult versus Juvenile Distributions of Two Coastal Pelagic, Surf Zone Fishes along the Northern Gulf of Mexico." *Transactions of the American Fisheries Society* 145 (6): 1358–73. <https://doi.org/10.1080/00028487.2016.1223753>.
- Scyphers, Steven B., J. Steven Picou, and Jonathan H. Grabowski. 2019. "Chronic Social Disruption Following a Systemic Fishery Failure." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 116 (46): 22912–14. <https://doi.org/10.1073/pnas.1913914116>.
- Sen Gupta, Alex, Mads Thomsen, Jessica A Benthuyssen, Alistair J Hobday, Eric Oliver, Lisa v Alexander, Michael T Burrows, et al. 2020. "Drivers and Impacts of the Most Extreme Marine Heat Wave Events." *Scientific Reports* 10 (1): 19359. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75445-3>.
- Shannon, Harlan D., and Raymond P. Motha. 2015. "Managing Weather and Climate Risks to Agriculture in North America, Central America and the Caribbean." *Weather and Climate Extremes* 10 (December): 50–56. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2015.10.006>.
- Smale, Dan A, Thomas Wernberg, Eric C J Oliver, Mads Thomsen, Ben P Harvey, Sandra C Straub, Michael T Burrows, et al. 2019. "Marine Heat Waves Threaten Global Biodiversity and the Provision of Ecosystem Services." *Nature Climate Change* 9 (4): 306–12. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>.
- Smith, Suzanna, Steve Jacob, Michael Jepson, and Glenn Israel. 2003. "After the Florida Net Ban: The Impacts on Commercial Fishing Families." *Society & Natural Resources* 16 (1): 39–59. <https://doi.org/10.1080/08941920309174>.
- Solís, Daniel, Juan J. Agar, and Julio del Corral. 2020. "Diversification, Efficiency and Productivity in Catch Share Fisheries." *Fisheries Research* 226 (June): 105532. <https://doi.org/10.1016/J.FISHRES.2020.105532>.
- Spalding, Mark, Lauretta Burke, Spencer A. Wood, Joscelyne Ashpole, James Hutchison, and Philine zu Ermgassen. 2017. "Mapping the Global Value and Distribution of Coral Reef Tourism." *Marine Policy* 82 (August): 104–13. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOL.2017.05.014>.
- Stone, Brian, Evan Mallen, Mayuri Rajput, Carina J. Gronlund, Ashley M. Broadbent, E. Scott Krayenhoff, Godfried Augenbroe, Marie S. O'Neill, and Matei Georgescu. 2021. "Compound Climate and Infrastructure Events: How Electrical Grid Failure Alters Heat Wave Risk." *Environmental Science and Technology* 55 (10): 6957–64. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.1C00024>.
- Stone, Brian, Carina J. Gronlund, Evan Mallen, David Hondula, Marie S. O'Neill, Mayuri Rajput, Santiago Grijalva, et al. 2023. "How Blackouts during Heat Waves Amplify Mortality and Morbidity Risk." *Environmental Science and Technology* 57 (22): 8245–55. <https://doi.org/10.1021/ACS.EST.2C09588>.
- Varianou Mikellidou, Cleo, Louisa Marie Shakou, Georgios Boustras, and Christos Dimopoulos. 2018. "Energy Critical Infrastructures at Risk from Climate Change: A State of the Art Review." *Safety Science* 110 (December): 110–20. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2017.12.022>.
- Welch, Heather, Matthew S. Savoca, Stephanie Brodie, Michael G. Jacox, Barbara A. Muhling, Thomas A. Clay, Megan A. Cimino, et al. 2023. "Impacts of Marine Heat Waves on Top Predator Distributions Are Variable but Predictable." *Nature Communications* 14 (1). <https://doi.org/10.1038/S41467-023-40849-Y>.
- Whitney, Nicholas M., Connor F. White, Paul A. Anderson, Robert E. Hueter, and Gregory B. Skomal. 2017. "The Physiological Stress Response, Postrelease Behavior, and Mortality of Blacktip Sharks (*Carcharhinus limbatus*) Caught on Circle and J-Hooks in the Florida Recreational Fishery." *Fishery Bulletin* 115 (4): 532–43. <https://doi.org/10.7755/FB.115.4.9>.
- Zivin, Joshua Graff, and Matthew Neidell. 2014. "Temperature and the Allocation of Time: Implications for Climate Change." *Journal of Labor Economics* 32 (1): 1–26. <https://doi.org/10.1086/671766>.



Agricultura terrestre y silvicultura

Mensaje clave

Las olas de calor marinas impactan indirectamente la agricultura y la silvicultura terrestre al influir en las temperaturas costeras, la humedad, los tornados y los huracanes. Las altas temperaturas pueden provocar la pérdida de cosechas en verano. Sin embargo, la reducción del riesgo de heladas en invierno puede beneficiar a las especies susceptibles a las heladas. Los tornados y huracanes causan daños extensos a las industrias agrícolas y silvícolas que pueden tener impactos duraderos.

Descripción general:

Las condiciones en el océano pueden influir en las condiciones de la costa y el interior, especialmente en lo que respecta al clima que influye en la agricultura local. El sureste de EE. UU. y el Caribe desempeñan un papel importante en la producción agrícola estadounidense. Por ejemplo, Georgia lidera la nación en producción de nueces pecanas, Florida ocupa el segundo lugar en producción de cítricos y Texas lidera la nación en producción de algodón y ganado (USDA, 2024; USDA National Agricultural Statistics Service, 2023; 2024a). Puerto Rico, a pesar de su tamaño relativamente pequeño, tuvo \$703 millones en producción agrícola en 2022 (USDA National Agricultural Statistics Service, 2024b). Los estados del sudeste de EE. UU. también tienen importantes industrias silvícolas, por ejemplo, cuentan con 40 % de las tierras forestales del país y producen aproximadamente el 60 % de la madera del país (Motha, 2011; Oswalt y Smith, 2014).

Las olas de calor marinas se asocian con temperaturas y humedad más altas en las zonas costeras (véase el informe breve sobre temperaturas costeras). Aunque la agricultura en el Caribe y el Golfo está diseñada para el calor, ha habido reducciones severas en el rendimiento de los cultivos y pérdida de forraje para el ganado (y, a veces, muerte) asociadas con las temperaturas extremas del verano (Shannon y Motha, 2015). Las altas temperaturas afectan el desarrollo de los cultivos. Por ejemplo, por encima de 32°C, la Brassica oleracea (un tipo de cultivo que incluye la col, el brócoli y las coles de Bruselas) presenta una expansión foliar comprometida, una reducción del peso fresco y una menor eficiencia fotosintética, y algunos subtipos presentan cambios en las tasas de intercambio gaseoso (Rodríguez et al., 2015). Las temperaturas del suelo superiores a 35°C pueden causar la muerte de las plántulas de soja, y las temperaturas del aire superiores a 30°C pueden afectar la germinación del trigo (Motha, 2011). La temperatura también puede influir en la reproducción de los cultivos. Por ejemplo, las temperaturas del aire superiores a 36°C provocan una disminución de la viabilidad del polen del maíz (Motha, 2011). Por otro lado, algunos cultivos regionales son particularmente susceptibles a las heladas (p. ej., los cítricos (Shannon y Motha, 2015)) y las olas de calor marinas de los meses de invierno pueden contribuir a reducir las pérdidas relacionadas con las heladas. Las altas temperaturas en el verano pueden poner en peligro a los trabajadores agrícolas; los trabajadores agrícolas estadounidenses tienen 20 veces más probabilidades de morir por enfermedades relacionadas con el calor que la fuerza laboral civil en general



Silvicultura en el Sureste de los EE.UU.: Los estados del sureste de EE. UU. cuentan con 40 % de las tierras forestales del país y producen aproximadamente el 60 % de la madera del país. Foto: Servicio Forestal del USDA.

(Murbach et al., 2020). Existen ajustes de gestión, como aumentos en el tiempo de descanso, cambios en el esfuerzo de los trabajadores y provisión de áreas de recuperación con control climático, que pueden mitigar esos riesgos (Murbach et al., 2020).

Tanto las altas temperaturas como la alta humedad se asocian con brotes de enfermedades fúngicas en las plantas a nivel mundial, y la humedad desempeña un papel especialmente importante (Romero et al., 2021). La alta humedad también puede conllevar riesgos para el ganado, como la alta mortalidad de embriones de pollo, la inflamación pulmonar en corderos, el estrés térmico generalmente alto y la alta prevalencia e

infectividad de algunas enfermedades fúngicas (Xiong et al., 2017). Sin embargo, la alta humedad puede reducir la transmisión de algunos patógenos aéreos, como el virus de la gripe, y puede disminuir la supervivencia de algunas bacterias, aunque aumenta la supervivencia de otras (Xiong et al., 2017).

Las olas de calor marinas también se asocian con tormentas eléctricas y ciclones tropicales más frecuentes e intensos (véase las secciones sobre tormentas eléctricas y ciclones tropicales). Los tornados, especialmente frecuentes en partes de Misisipi y Alabama, pueden dañar bosques, dañando ramas (con menor intensidad) o arrancando árboles (con mayor intensidad (Fortuin et al., 2022)). En el caso de algunos árboles de madera dura del sur de Misisipi, un modelo indicó una probabilidad superior al 50 % de arrancamiento en un plazo de 30 años, aproximadamente la época en que se cosechan algunas especies maderables en la región (Fortuin et al., 2022). Los huracanes también han causado graves daños en la región. Por ejemplo, el huracán Katrina, además de causar la muerte de más de 1.800 personas, provocó la muerte de millones de pollos, la pérdida de unos 3 millones de dólares en leche debido a cortes de electricidad y la muerte o daños extremos a 320 millones de árboles grandes (Motha, 2011; Shannon y Motha, 2015). El huracán Floyd no fue un huracán poderoso, pero las fuertes lluvias provocaron graves inundaciones que mataron a millones de animales de granja y propagaron la contaminación de las lagunas de residuos agrícolas y otras instalaciones en el este de Carolina del Norte (Motha, 2011). Las temporadas de huracanes de 2017 y 2018 costaron miles de millones de dólares en pérdidas a la agricultura, la ganadería y la industria forestal en el sureste de los EE. UU. y el Caribe (Wiener et al., 2020). Específicamente, los huracanes Irma y María tuvieron impactos devastadores en Puerto Rico, con estimaciones de que María destruyó más del 80% del valor de los cultivos agrícolas de Puerto Rico en 2017, especialmente afectando las cosechas de plátano, banano y café. Estas pérdidas afectaron gravemente a las fincas más pequeñas, lo que provocó reducciones de más del 50 % en el número de fincas de menos de 10 acres en comparación con 2012 (Kenner et al., 2023). La recuperación es un desafío para todos, pero especialmente para aquellos cultivos que se vuelven más valiosos a medida que envejecen (por ejemplo, nueces pecanas, madera (Wiener et al., 2020)). Esto no tiene en cuenta los impactos a largo plazo del trauma y las dificultades personales en las comunidades agrícolas de la región.

Existen estrategias que pueden ayudar a los agricultores a mitigar los riesgos económicos de las condiciones climáticas extremas (incluidos los huracanes), como la contratación de seguros para cultivos, la diversificación de fuentes de ingresos alternativas y la agricultura en múltiples ubicaciones (Shannon y Motha, 2015; Wiener et al., 2020). En el sector forestal, estrategias como la reducción de la rotación de rodales, la diversificación de los estilos de manejo de rodales y la plantación de especies resistentes al viento pueden reducir los daños causados por huracanes (Wiener et al., 2020). Sin embargo, existe información limitada sobre estrategias de mitigación específicas para cada especie o cultivo que sirvan de base para la gestión de las explotaciones agrícolas (Wiener et al., 2020).



Daños causados por tormentas: La recuperación es un desafío para todos, pero especialmente para aquellos cultivos que se vuelven más valiosos a medida que envejecen (por ejemplo, madera). Foto: National Association of State Foresters.

Esto significa que, si bien las olas de calor marinas pueden tener impactos directos limitados en la agricultura y la silvicultura terrestres, pueden aumentar la probabilidad de condiciones potencialmente dañinas para los trabajadores y los cultivos. El aumento de las temperaturas estivales y la mayor intensidad de las tormentas eléctricas y los huracanes pueden provocar pérdidas de cultivos, ganado y madera, además de afectar la salud y el bienestar de los trabajadores.

Conjuntos de datos de temperatura de uso común

Los análisis se basan principalmente en datos de temperatura del aire si se analiza directamente la relación entre la temperatura y los cultivos. Sin embargo, los análisis de los impactos relacionados con el ENOS utilizan diversos índices, algunos de los cuales (como el Índice de El Niño Oceánico) se basan en anomalías de la temperatura de la superficie del mar en el Pacífico tropical detectadas de manera remota.

Otras secciones relevantes

- Ciclones tropicales
- Temperaturas y humedad en zonas costeras
- Tormentas eléctricas severas

Recursos y comunidades de práctica

- World Agrometeorological Information Service (USA) (<https://wamis.org/wamis/usa/>)
- AgroClimate (<http://agroclimate.org/>)
- USDA NRCS (<https://www.nrcs.usda.gov/>)



Los impactos del huracán: María destruyó más del 80 % del valor de los cultivos agrícolas de Puerto Rico en 2017, especialmente afectando las cosechas de plátano, banano y café. Foto: USDA

Referencias

- Kenner, Bart, Dylan Russell, Constanza Valdes, Andrew Sowell, Xuan Pham, Angel Terán, and James Kaufman. 2023. "Puerto Rico's Agricultural Economy in the Aftermath of Hurricanes Irma and Maria: A Brief Overview." U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service. <https://doi.org/10.22004/AG.ECON.335421>.
- Motha, Raymond P. 2011. "The Impact of Extreme Weather Events on Agriculture in the United States." In *Challenges and Opportunities in Agrometeorology*, edited by S.D. Attri, L.S. Rathore, M.V.K. Sivakumar, and S.K. Dash, 1st ed., 397–407. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19360-6_30.
- Murbach, Matthew D, Daniel T Schwartz -, Michael J Wilensky, Miguel F Morales, Bryna J Hazelton, Michelle Tigchelaar, David S Battisti, and June T Spector. 2020. "Work Adaptations Insufficient to Address Growing Heat Risk for U.S. Agricultural Workers." *Environmental Research Letters* 15 (9): 094035. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/AB86F4>.
- Oswalt, Sonja N., and Brad W. Smith. 2014. "U.S. Forest Resource Facts and Historical Trends." https://www.fs.usda.gov/sites/default/files/legacy_files/media/types/publication/field_pdf/forestfacts-2014aug-fs1035-508complete.pdf.
- Rodríguez, Víctor M., Pilar Soengas, Virginia Alonso-Villaverde, Tamara Sotelo, María E. Cartea, and Pablo Velasco. 2015. "Effect of Temperature Stress on the Early Vegetative Development of Brassica Oleracea L." *BMC Plant Biology* 15 (1): 1–9. <https://doi.org/10.1186/S12870-015-0535-0>.
- Romero, Ferran, Sabrina Cazzato, Florian Walder, Susanne Vogelgsang, S. Franz Bender, and Marcel G. A van der Heijden. 2022. "Humidity and High Temperature Are Important for Predicting Fungal Disease Outbreaks Worldwide." *New Phytologist* 234 (5): 1553–56. <https://doi.org/10.1111/NPH.17340>.
- Shannon, Harlan D., and Raymond P. Motha. 2015. "Managing Weather and Climate Risks to Agriculture in North America, Central America and the Caribbean." *Weather and Climate Extremes* 10 (December): 50–56. <https://doi.org/10.1016/J.WACE.2015.10.006>.
- U.S. Department of Agriculture. 2024. "The Southern Region Grows a Delicious Slice of the Nation's Agricultural Pie | Home." September 16, 2024. <https://www.usda.gov/about-usda/news/blog/southern-region-grows-delicious-slice-nations-agricultural-pie>.
- U.S. Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service. 2024a. "2024 TEXAS AGRICULTURAL STATISTICS." Austin. https://www.nass.usda.gov/Statistics_by_State/Texas/Publications/Annual_Statistical_Bulletin/tx-bulletin-2024-web-updated.pdf.
- U.S. Department of Agriculture National Agricultural Statistics Service. 2024b. "USDA Releases 2022 Puerto Rico Census of Agriculture." News Release. July 18, 2024. <https://www.nass.usda.gov/Newsroom/2024/07-18-2024.php>.
- Wiener, Sarah S., Nora L. Álvarez-Berrios, and Angela B. Lindsey. 2020. "Opportunities and Challenges for Hurricane Resilience on Agricultural and Forest Land in the U.S. Southeast and Caribbean." *Sustainability* 2020, Vol. 12, Page 1364 12 (4): 1364. <https://doi.org/10.3390/SU12041364>.
- Xiong, Yan, Qing shi Meng, Jie Gao, Xiang fang Tang, and Hong fu Zhang. 2017. "Effects of Relative Humidity on Animal Health and Welfare." *Journal of Integrative Agriculture* 16 (8): 1653–58. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(16\)61532-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(16)61532-0).

Sobre los autores: Le Dr. Renata Poulton Kamakura recibió una Beca de Investigación y Política Científica del Golfo de la Academia Nacional de Ciencias, siendo GCOOS la oficina anfitriona. La Dra. Chris Simoniello es gerente de Difusión y Educación del Sistema de Observación Oceanográfica y Costera del Golfo de América (GCOOS por sus siglas en inglés). Con sede en el Departamento de Oceanografía de la Universidad Texas A&M, GCOOS es el componente regional del Sistema Integrado de Observación Oceánica de Estados Unidos dedicado al Golfo de América.



GCOOS
GULF OF AMERICA
COASTAL OCEAN
OBSERVING SYSTEM

20
YEARS

Temperatura y humedad costeras y urbanas

Mensaje clave

Las olas de calor marinas en aguas costeras se asocian con un calor húmedo más extremo en tierra firme, lo que puede tener consecuencias para la salud humana. Esto es especialmente importante para las ciudades costeras, donde el efecto isla de calor urbana implica que las ciudades ya son relativamente calurosas.

Descripción general

Las condiciones en la superficie del océano influyen en las condiciones del aire que se encuentra sobre él; por lo tanto, el aumento de la temperatura oceánica puede provocar un aumento de la temperatura y la humedad del aire por encima del agua. Si ese aire se desplaza tierra adentro, trae temperaturas más cálidas y húmedas a las zonas costeras (p. ej., Hu, 2021).

Las ciudades son relativamente cálidas en comparación con las zonas rurales en la mayor parte del mundo (excepto en regiones particularmente áridas, p. ej., Fan et al., 2017). Estas temperaturas urbanas relativamente altas, conocidas también como el efecto de la isla de calor urbana, se deben principalmente a la escasa cobertura vegetal, la gran cantidad de pavimento y la alta concentración de consumo energético por las personas y emisión de calor (p. ej., aires acondicionados y automóviles (Oke et al., 2017)).

Existe evidencia de que las olas de calor marinas ocurren juntas con las olas de calor terrestres y el calor húmedo extremo, pero las razones de esta relación aún se están estudiando y probablemente varíen según la región (Hu, 2021; Jia et al., 2024; Pathmeswaran et al., 2022; Pathmeswaran, 2023; Sato et al., 2024). Las temperaturas oceánicas más cálidas se traducen en un aire más cálido y húmedo por encima del océano. Si este aire se desplaza tierra adentro, aunque en verano la tierra suele ser más cálida que el océano durante el día, el aire oceánico proporcionará menos enfriamiento o traerá más humedad de lo habitual (Gu et al., 2025; Hu, 2021; Jia et al., 2024; Oppong et al., 2024; Pathmeswaran, 2023, Capítulo 4). Este enfriamiento reducido también podría ocurrir si la menor diferencia de temperatura entre la tierra y el agua disminuye la intensidad de la brisa marina de la tarde, lo que transporta aire oceánico menos frío hacia el interior (Gu et al., 2025; Oppong et al., 2024; Pathmeswaran et al., 2022; Pathmeswaran, 2023; Sato et al., 2024). Alternativamente, las olas de calor marinas pueden aumentar las temperaturas terrestres al reducir la formación de nubes bajas y aumentar el calor directo del sol (Sato et al., 2024).

El estrés por calor es la principal causa de muerte relacionada con el clima a nivel mundial (World Health Organization, 2024). Es probable que las zonas cercanas al Golfo y al Caribe experimenten una mayor exposición a temperaturas potencialmente letales (Dahl et al., 2019; Di Napoli et al., 2022). El aumento de la humedad puede tener efectos adversos para la salud al reducir la eficacia del enfriamiento inducido por el sudor (Alber-Wallerström y Holmér, 1985; Di Napoli et al., 2022; Pathmeswaran, 2023). Como la presencia de olas



El estrés por calor: El aumento de la humedad puede tener efectos adversos para la salud al reducir la eficacia del enfriamiento inducido por el sudor. Foto: Mikael Blomkvist.

de calor marinas puede agravar la intensidad y duración de las olas de calor atmosféricas, la planificación proactiva para el calor extremo agravado por las olas de calor marinas podría reducir las enfermedades y la mortalidad relacionadas con el calor.

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Los estudios utilizaron principalmente datos satelitales de temperatura de la superficie del mar. Las fuentes y tipos de datos meteorológicos costeros y urbanos utilizados variaron (Hu, 2021; Pathmeswaran, 2023; Sato et al., 2024).

- No existen umbrales claros; en la mayoría de los casos, se utiliza la definición de ola de calor marina de Hobday et al., (2016) (5 o más días por encima del percentil 90 de temperatura, con base en una línea base de 30 años). En ocasiones, utilizan anomalías de la temperatura de la superficie del mar.
- Incluso para alguien que realiza un trabajo ligero, una temperatura de bulbo y globo húmedo (combinación de temperatura, humedad, radiación solar y viento) de 33 °C se considera peligrosa. Para trabajos muy pesados, una temperatura de bulbo y globo húmedo de 25C puede ser peligrosa (Brimicombe et al., 2023).

Recursos y comunidades de práctica

- American Public Health Association Extreme Heat Resource Hub (<https://www.apha.org/topics-and-issues/climate-health-and-equity/extreme-heat>)
- CDRI Community of Practice for Extreme Heat Management in Public Transport Systems (<https://cdri.world/upload/>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Gulf Tree (<http://www.gulftree.org/>)
- NIHHIS Centers of Excellence (<https://www.heat.gov/pages/nihhis-centers-of-excellence>)
- NIHHIS Planning and Preparing Tools (<https://www.heat.gov/pages/planning-and-preparing>)

Referencias

- Alber-Wallerström, B., and I. Holmér. 1985. "Efficiency of Sweat Evaporation in Unacclimatized Man Working in a Hot Humid Environment." *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 54 (5): 480–87. <https://doi.org/10.1007/BF00422956>
- Brimicombe, Chloe, Chun Hay Brian Lo, Florian Pappenberger, Claudia di Napoli, Pedro Maciel, Tiago Quintino, Rosalind Cornforth, and Hannah L. Cloke. 2023. "Wet Bulb Globe Temperature: Indicating Extreme Heat Risk on a Global Grid." *GeoHealth* 7 (2): e2022GH000701. <https://doi.org/10.1029/2022GH000701>.
- Dahl, Kristina, Rachel Licker, John T. Abatzoglou, and Juan Declet-Barreto. 2019. "Increased Frequency of and Population Exposure to Extreme Heat Index Days in the United States during the 21st Century." *Environmental Research Communications* 1 (7): 075002. <https://doi.org/10.1088/2515-7620/AB27CF>.
- Di Napoli, Claudia, Theodore Allen, Pablo A. Méndez-Lázaro, and Florian Pappenberger. 2022. "Heat Stress in the Caribbean: Climatology, Drivers, and Trends of Human Biometeorology Indices." *International Journal of Climatology* 43 (1): 405. <https://doi.org/10.1002/JOC.7774>.
- Fan, Chao, Soe W. Myint, Shai Kaplan, Ariane Middel, Baojuan Zheng, Atiqur Rahman, Huei Ping Huang, Anthony Brazel, and Dan G. Blumberg. 2017. "Understanding the Impact of Urbanization on Surface Urban Heat Islands—A Longitudinal Analysis of the Oasis Effect in Subtropical Desert Cities." *Remote Sensing* 2017, Vol. 9, Page 672 9 (7): 672. <https://doi.org/10.3390/RS9070672>.
- Gu, Xihui, Zaiming Jiang, Yansong Guan, Ming Luo, Jianfeng Li, Lunche Wang, Xiang Zhang, Dongdong Kong, and Liangyi Wang. 2025. "Frequent Land-Ocean Transboundary Migration of Tropical Heatwaves under Climate Change." *Nature Communications* 16 (1): 3400. <https://doi.org/10.1038/s41467-025-58586-9>.
- Hobday, Alistair J., Lisa v. Alexander, Sarah E. Perkins, Dan A. Smale, Sandra C. Straub, Eric C.J. Oliver, Jessica A. Benthuisen, et al. 2016. "A Hierarchical Approach to Defining Marine Heat Waves." *Progress in Oceanography* 141 (February): 227–38. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2015.12.014>.
- Hu, Leiqiu. 2021. "A Global Assessment of Coastal Marine Heat Waves and Their Relation With Coastal Urban Thermal Changes." *Geophysical Research Letters* 48 (9). <https://doi.org/10.1029/2021GL093260>.
- Jia, Liwei, Thomas L. Delworth, Xiaosong Yang, William Cooke, Nathaniel C. Johnson, Liping Zhang, Youngji Joh, Feiyu Lu, and Colleen McHugh. 2024. "Seasonal Predictions of Summer Compound Humid Heat Extremes in the Southeastern United States Driven by Sea Surface Temperatures." *Npj Climate and Atmospheric Science* 2024 7:1 7 (1): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s41612-024-00723-0>.
- Oke, T. R., G. Mills, A. Christen, and J. A. Voogt. 2017. *Urban Climates*. illustrated ed. Cambridge University Press.
- Oppong, Frederick Boakye, Keneshia K Hibbert, and Jorge Gonzalez-Cruz. 2024. "Extreme Heat in the Caribbean: Impacts on Wellbeing and Buildings Energy Infrastructure—The 2023 Summer Case." *ASME Journal of Engineering for Sustainable Buildings and Cities* 5 (3): 1–25. <https://doi.org/10.1115/1.4066382>.
- Pathmeswaran, Charuni. 2023. "Double Trouble: Understanding Co-Occurring Terrestrial and Marine Heat Extremes." <https://doi.org/10.26190/unsworks/25179>.
- Pathmeswaran, Charuni, Alex sen Gupta, Sarah E. Perkins-Kirkpatrick, and Melissa Anne Hart. 2022. "Exploring Potential Links Between Co-Occurring Coastal Terrestrial and Marine Heat Waves in Australia." *Frontiers in Climate* 4 (March): 792730. <https://www.frontiersin.org/journals/climate/articles/10.3389/fclim.2022.792730/full>.
- Sato, Hirota, Kazuto Takemura, Akira Ito, Takafumi Umeda, Shuhei Maeda, Youichi Tanimoto, Masami Nonaka, and Hisashi Nakamura. 2024. "Impact of an Unprecedented Marine Heat Wave on Extremely Hot Summer over Northern Japan in 2023." *Scientific Reports* 2024 14:1 14 (1): 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65291-y>.
- World Health Organization. 2024. "Heat and Health." May 28, 2024. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/climate-change-heat-and-health>.



Corales

Mensaje clave

Las olas de calor marinas, especialmente con más de cuatro grados por semana de calentamiento (y aún más cuando esté por encima de ocho grados por semana de calentamiento) están asociados con el blanqueamiento de los corales y, si no se revierten, pueden conducir a disminuciones en la diversidad y abundancia de especies que habitan en los arrecifes.

Descripción general

Las olas de calor marinas se definen como períodos con temperaturas oceánicas más altas de lo normal. Estas temperaturas elevadas pueden tener graves consecuencias para las especies marinas, especialmente para aquellas como los corales, que no pueden alejarse de las aguas más cálidas.

Los corales son animales invertebrados emparentados con las anémonas de mar y las medusas. Los corales duros, que producen esqueletos de carbonato de calcio, forman los arrecifes de coral (NOAA Fisheries, 2022). Estos arrecifes son los lugares con mayor diversidad de especies en el océano y son importantes para la supervivencia de muchas otras especies; se estima que albergan el 25 % de toda la vida marina (NOAA Fisheries, 2020; National Ocean Service, 2022). Los arrecifes de coral se encuentran en diversas partes del mundo, incluyendo el Golfo y el Caribe.

Las olas de calor marinas se asocian con el estrés y el blanqueamiento de los corales. El blanqueamiento de los corales es el proceso por el cual las algas simbióticas, que producen alimento para los corales, son expulsadas y los corales se vuelven blancos (NOAA, 2024). Las olas de calor marinas estresan a los corales y a sus algas simbióticas y, si las temperaturas elevadas son lo suficientemente intensas o prolongadas, los corales se blanquean de forma reversible o, con el tiempo, irreversible (Donner et al., 2017; Gleeson y Strong, 1995; Smale et al., 2019). Hay una medida llamada “grados por semanas de calentamiento” que combina la intensidad y la duración de las olas de calor marinas en un solo número. Se define como la suma de la cantidad en que las temperaturas de la superficie del mar superan un determinado umbral de blanqueamiento por semana durante un período de 12 semanas (NOAA Coral Reef Watch, 2024). Por ejemplo, un valor de cuatro grados por semana de calentamiento podría referirse a cuatro semanas en las que cada una estuvo 1°C por encima del umbral de blanqueamiento, o una semana en la que estuvo 1,5 °C por encima y una semana en la que estuvo 2,5 °C por encima del umbral de blanqueamiento. En general, valores que superan los ocho grados por semana de calentamiento indican una alta probabilidad de blanqueamiento de los corales y la muerte de especies sensibles. Con cuatro grados por semana de calentamiento, es probable que se produzca un blanqueamiento importante, pero menos extenso (Donner et al., 2017; Eaken et al., 2010; NOAA Coral Reef Watch, 2024). Durante los eventos de blanqueamiento en el Caribe y el Golfo, se han estimado valores de hasta 12-16 grados por semana de calentamiento,



Coral cuerno de alce: Coral cuerno de alce saludable en Horseshoe Reef en los Cayos de Florida antes del evento de blanqueamiento del verano de 2023. Foto: NOAA.



Coral cuerno de ciervo: Una ola de calor marina prolongada en 2023 provocó un blanqueamiento generalizado como el que se observa en estos corales cerebro y cuerno de ciervo en el arrecife Sombrero Key, en los Cayos de Florida. Foto: NOAA.

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Si bien algunos análisis utilizan la temperatura de la superficie del mar obtenida por satélite (por ejemplo, Cetina-Herida et al., 2023; Feng et al., 2023), es importante utilizar también las temperaturas en el arrecife cuando estén disponibles. El blanqueamiento de arrecifes mesofóticos o más profundos puede ocurrir sin blanqueamiento de arrecifes superficiales, porque es posible tener olas de calor marinas subsuperficiales sin una ola de calor marina superficial (por ejemplo, de una capa de mezcla superior más profunda de lo habitual o un flujo hiperpícnico (Riegl et al., 2003; Smith et al., 2016)). Por lo tanto, un análisis basado en la temperatura de la superficie del mar podría subestimar el blanqueamiento en arrecifes mesofóticos o más profundos. Por ello, algunos análisis utilizaron datos a profundidad del arrecife (p. ej., Johnston et al., 2019; Smith et al., 2016).

- Mayor riesgo de blanqueamiento con más de cuatro grados por semana de calentamiento e impactos aún más amplios con más de ocho

grados por semana de calentamiento (Donner et al., 2017; Eaken et al., 2010)

- En el Santuario Nacional Marino Flower Garden Banks, con variaciones entre las secciones este y oeste, generalmente se observa blanqueamiento después de 2-3 meses a temperaturas de 29 °C o 3-4 semanas a 30 °C (Johnston et al., 2019).
- En el canal Packery, Texas, los corales crípticos podrían tolerar temperaturas de hasta al menos 31,5 °C (Epps et al., 2024).
- En las Islas Vírgenes de los Estados Unidos, se desarrolló una versión local de la medida de grados por semana de calentamiento, y se utilizó un umbral (la línea base por encima de la cual se calculan los grados por semana de calentamiento) de 29,5 °C a 30 m, y este disminuyó aproximadamente 0,26 °C por cada 10 m de profundidad. Dicho de otro modo, los corales más profundos mostraron signos de blanqueamiento a temperaturas más bajas (Smith et al., 2016).

asociados con una mortalidad más generalizada (Eakin et al., 2010; Feng et al., 2023).

En ocasiones, el blanqueamiento es reversible, y la exposición a temperaturas moderadamente altas puede aumentar la resistencia de los corales ante olas de calor marinas moderadas en el futuro (Li, 2023; Smith et al., 2023). El estrés por calor también puede aumentar la susceptibilidad a enfermedades, lo que puede reducir aún más la cobertura coralina junto con el blanqueamiento provocado por otras causas (p. ej., la enfermedad blanca en especies de *Orbicella* — Smith et al., 2016). Generalmente, los impactos de las olas de calor marinas pueden verse agravados por otras condiciones, como la exposición prolongada a la luz, las enfermedades o la contaminación (Gonzalez-Espinosa et al., 2021; Riegl et al., 2003; Smith et al., 2016; Smith et al., 2023).

Algunas especies de corales son más susceptibles al calor extremo que otras, y existe evidencia de adaptación local, de modo que la misma especie de coral de aguas poco profundas pueden tolerar temperaturas más altas que individuos de aguas más profundas (Smith et al., 2016). Los corales en aguas más profundas pueden estar expuestos a temperaturas y condiciones de luz más bajas, lo que puede resultar en menores tasas de mortalidad, pero también en un crecimiento más lento y una mayor vulnerabilidad a las altas temperaturas (Ruiz-Díaz et al., 2020; Smith et al., 2016). Por otro lado, existen algunos corales costeros y poco profundos en el Canal Packery de Texas que pueden tolerar temperaturas de hasta 31,5°C (Epps et al., 2024). Además, los individuos que se encuentran en el límite más cálido del área de distribución de su especie tienen mayor probabilidad de sufrir estrés por las olas de calor marinas. Esto es porque se encuentran más cerca de un límite térmico de la especie que aquellos en el centro o el límite frío del área de distribución (Smith et al., 2023). Existe cierta evidencia de que los umbrales de blanqueamiento están aumentando con el tiempo, lo que podría ser una señal de aclimatación de los corales o de adaptación a largo plazo al aumento de las temperaturas oceánicas,

pero también podría deberse a la pérdida de especies más susceptibles (Donner et al., 2017; Sully et al., 2019).

Es crucial monitorear la intensidad y duración de las olas de calor marinas para detectar el riesgo potencial de blanqueamiento, así como para reducir otros factores de estrés que podrían agravar el estrés coralino (p. ej., la contaminación). Existen intentos de aumentar la tolerancia térmica de los corales y reducir su exposición a la luz durante las olas de calor marinas usando técnicas de geoingeniería y genética, pero estas estrategias aún son objeto de investigación y debate (Australian Institute of Marine Science, 2024; Miller et al., 2024; Tollefson, 2021). Cabe destacar que, si bien las áreas marinas protegidas pueden ser útiles para la conservación de los corales en general, podrían ser menos efectivas para reducir los impactos de las olas de calor marinas (Bruno et al., 2019).

Recursos y comunidades de práctica

- Coral Reef Alliance (<https://coral.org/en/where-we-work/western-caribbean/>)
- Coral Reef Watch (<https://www.coralreefwatch.noaa.gov/main/>)
- Coral Restoration Consortium (<https://www.crc.world/>)
- El Programa Nacional de Vigilancia de Arrecifes de Coral (<https://www.aoml.noaa.gov/es/ncrmp/>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- IFAS Coral Reef Resources (https://edis.ifas.ufl.edu/topics/coral_reefs)
- Santuarios Marinos Nacionales (<https://sanctuaries.noaa.gov/espanol/>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- U.S. Marine Biodiversity Observation Network (<https://marinebon.org/us-mbon/>)



Blanqueamiento de los corales: Serie de tiempo que muestra el blanqueamiento y la muerte del coral cuerno de alce en 2023. La última imagen muestra el esqueleto del coral siendo colonizado por algas filamentosas. Foto: NOAA.

Referencias

- Australian Institute of Marine Science. 2024. "Assisted Evolution." 2024. <https://www.aims.gov.au/research-topics/environmental-issues/climate-change/assisted-evolution>.
- Bruno, John F., Isabelle M. Côté, and Lauren T. Toth. 2019. "Climate Change, Coral Loss, and the Curious Case of the Parrotfish Paradigm: Why Don't Marine Protected Areas Improve Reef Resilience?" *Annual Review of Marine Science* 11 (Volume 11, 2019): 307–34. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-010318-095300>
- Cetina-Heredia, P, and M E Allende-Arandía. 2023. "Caribbean Marine Heat Waves, Marine Cold Spells, and Co-Occurrence of Bleaching Events." *Journal of Geophysical Research: Oceans* 128 (10): e2023JC020147. <https://doi.org/https://doi.org/10.1029/2023JC020147>.
- Donner, Simon D, Gregory J M Rickbeil, and Scott F Heron. 2017. "A New, High-Resolution Global Mass Coral Bleaching Database." *PLOS ONE* 12 (4): e0175490-. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0175490>.
- Eakin, C Mark, Jessica A Morgan, Scott F Heron, Tyler B Smith, Gang Liu, Lorenzo Alvarez-Filip, Bart Baca, et al. 2010. "Caribbean Corals in Crisis: Record Thermal Stress, Bleaching, and Mortality in 2005." *PLOS ONE* 5 (11): e13969-. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0013969>.
- Epps, Ashleigh M., Morgan N. Bruce, Maryssa Dailey, and Keisha D. Bahr. 2024. "Cryptic Corals Thriving in Dynamic Environments May Hold Key Insights into Future Coral Reef Habitats." *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 299 (April): 108659. <https://doi.org/10.1016/J.ECSS.2024.108659>.
- Feng, Yu-Ting, Brandon J Bethel, Yuan Tian, Chang-Ming Dong, Junhong Liang, Yu-Long Yao, Jianguo Yuan, Ying Chen, Si-Jie Chen, and Yang Yu. 2023. "Marine Heat Waves in the Gulf of Mexico 1983-2021: Statistics, Recent Intensifications, and Threats on Coral Reefs." *Advances in Climate Change Research* 14 (4): 560–72. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.accre.2023.08.006>.
- Gleeson, M W, and A E Strong. 1995. "Applying MCSST to Coral Reef Bleaching." *Advances in Space Research* 16 (10): 151–54. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0273-1177\(95\)00396-V](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0273-1177(95)00396-V).
- Johnston, Michelle A, Emma L Hickerson, Marissa F Nuttall, Raven D Blakeway, Travis K Sterne, Ryan J Eckert, and George P Schmahl. 2019. "Coral Bleaching and Recovery from 2016 to 2017 at East and West Flower Garden Banks, Gulf of Mexico." *Coral Reefs* 38 (4): 787–99. <https://doi.org/10.1007/s00338-019-01788-7>.
- Li, Xinru. 2023. "Dynamics of Warm-Season Marine Heat Waves and Their Ecological Impacts." Vancouver. <https://open.library.ubc.ca/collections/24/items/1.0433096>.
- Miller, Margaret W, Sandra Mendoza Quiroz, Liam Lachs, Anastazia T Banaszakid, Valé Rie, F Chamberland, James R Guest, et al. 2024. "Assisted Sexual Coral Recruits Show High Thermal Tolerance to the 2023 Caribbean Mass Bleaching Event." Edited by Erik v. Thuesen. *PLOS ONE* 19 (9): e0309719. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0309719>.
- National Ocean Service. 2022. "Coral Reefs." November 1, 2022. <https://oceanservice.noaa.gov/ocean/corals/>.
- NOAA. 2024. "What Is Coral Bleaching?" June 16, 2024. https://oceanservice.noaa.gov/facts/coral_bleach.html.
- NOAA Coral Reef Watch. 2024. "Satellites & Bleaching | 5km Degree Heating Week (DHW) Product." 2024. https://coralreefwatch.noaa.gov/product/5km/tutorial/crw10a_dhw_product.php.
- NOAA Fisheries. 2022. "Corals." May 23, 2022. <https://www.fisheries.noaa.gov/corals>.
- Riegl, B, and W E Piller. 2003. "Possible Refugia for Reefs in Times of Environmental Stress." *International Journal of Earth Sciences* 92 (4): 520–31. <https://doi.org/10.1007/s00531-003-0328-9>.
- Ruiz-Diaz, Claudia Patricia, Carlos Toledo-Hernández, Juan Luis Sánchez-González, and Brenda Betancourt. 2022. "The Effects of Depth-Related Environmental Factors on Traits in *Acropora Cervicornis* Raised in Nurseries." *Water* 2022, Vol. 14, Page 212 14 (2): 212. <https://doi.org/10.3390/W14020212>.
- Smale, Dan A, Thomas Wernberg, Eric C J Oliver, Mads Thomsen, Ben P Harvey, Sandra C Straub, Michael T Burrows, et al. 2019. "Marine Heat Waves Threaten Global Biodiversity and the Provision of Ecosystem Services." *Nature Climate Change* 9 (4): 306–12. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>.
- Smith, Tyler B, Joanna Gyory, Marilyn E Brandt, William J Miller, Jonathan Jossart, and Richard S Nemeth. 2016. "Caribbean Mesophotic Coral Ecosystems Are Unlikely Climate Change Refugia." *Global Change Biology* 22 (8): 2756–65. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.13175>.
- Smith, Kathryn E., Michael T. Burrows, Alistair J. Hobday, Nathan G. King, Pippa J. Moore, Alex sen Gupta, Mads S. Thomsen, Thomas Wernberg, and Dan A. Smale. 2023. "Biological Impacts of Marine Heat Waves." *Annual Review of Marine Science* 15 (Volume 15, 2023): 119–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437>.
- Sully, S., D. E. Burkepile, M. K. Donovan, G. Hodgson, and R. van Woesik. 2019. "A Global Analysis of Coral Bleaching over the Past Two Decades." *Nature Communications* 2019 10:1 10 (1): 1–5. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-09238-2>.
- Tollefson, Jeff. 2021. "Can Artificially Altered Clouds Save the Great Barrier Reef?" *Nature*, August 1, 2021. <https://doi.org/10.1038/D41586-021-02290-3>.

Quahog del Norte y del Sur (*Mercenaria mercenaria* y *M. campechiensis*)

Mensaje clave

La exposición a temperaturas elevadas (p. ej., superiores a 30 °C) puede tener efectos negativos en todas las etapas de su ciclo vital, desde huevos y larvas hasta almejas juveniles y adultas. El estrés fisiológico y el riesgo de mortalidad en almejas adultas se asocian con la exposición prolongada (más de 2 meses) o severa (superior a 34 °C) al calor.

Descripción general

Las olas de calor marinas, períodos prolongados de temperaturas oceánicas más altas de lo normal, afectan negativamente a una variedad de especies intermareales, incluidas las almejas.

La almeja americana y la almeja bola (*Mercenaria mercenaria* y *M. campechiensis*, respectivamente) son dos especies de almejas que se encuentran en diversas partes de Norteamérica y el Caribe (Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, 2024; Smithsonian Environmental Research Center, 2024). *M. mercenaria* vive en regiones arenosas y limo-arenosas en las regiones intermareales medias hasta aproximadamente 18 m de profundidad; es más común en arrecifes de ostras, mientras que *M. campechiensis* se encuentra principalmente en hábitats de arena y pastos marinos (Smithsonian Environmental Research Center, 2024). Donde ambas especies se encuentran juntas, puede hibridar (Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, 2024; Smithsonian Environmental Research Center, 2024).

Las olas de calor marinas afectan a las especies de *Mercenaria* en todas sus etapas de vida. A temperaturas superiores a 27-30°C durante 8-15 semanas, *M. mercenaria* puede experimentar una disminución de la fecundación y el éxito de eclosión, una disminución de la dureza de la concha y un mayor estrés oxidativo (Ivanina et al., 2013; Matoo et al., 2013). Los huevos, en particular, no se desarrollan satisfactoriamente por encima de 32,5°C (Davis y Calabrese, 1964). La tasa metabólica de *M. mercenaria* también aumenta a temperaturas más altas, lo cual puede ser perjudicial si no se dispone de suficientes fuentes de alimento para compensar, incluso si sus fuentes de alimento no pueden sobrevivir a altas temperaturas (Davis y Calabrese, 1964; Ivanina et al., 2013). En relación con estas respuestas al estrés, los adultos de *M. mercenaria* experimentan una mayor mortalidad a temperaturas superiores a 27 °C en comparación con 22 °C después de cinco o más semanas de exposición (Ivanina et al., 2013). Tanto los adultos de *M. mercenaria* como de *M. campechiensis* muestran signos de alto estrés a nivel molecular después de menos de cuatro semanas de exposición a altas temperaturas, lo que regula positivamente los genes relacionados con el manejo del estrés por calor (Song et al., 2022). *M. campechiensis* parece tener más problemas con las altas temperaturas (34 °C en este caso), posiblemente porque tiende a vivir en aguas más profundas que *M. mercenaria* y normalmente

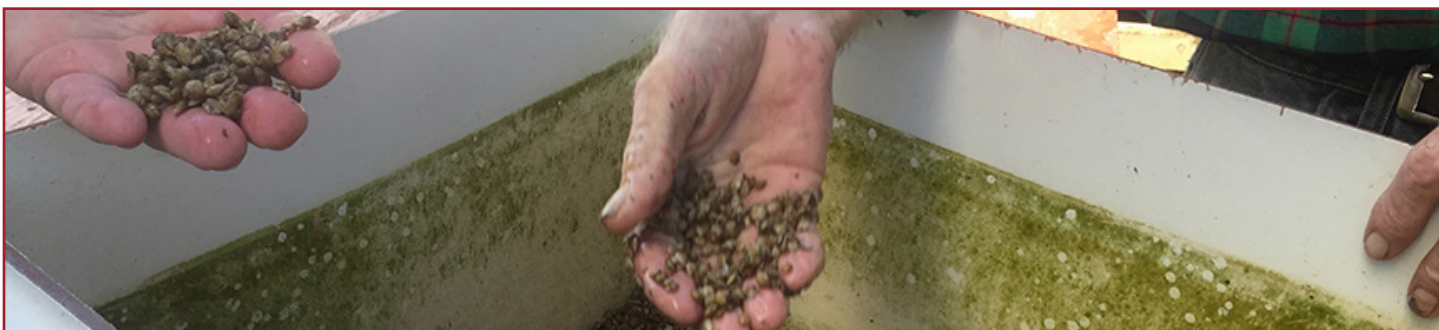


***Mercenaria campechiensis*:** Al vivir en hábitats de arena y pastos marinos, la almeja bola podría sobrevivir mejor en temperaturas elevadas. Foto: Brenda Bowling, Texas Parks and Wildlife Department

experimenta fluctuaciones de temperatura más leves (Song et al., 2022). Sin embargo, las respuestas de *M. campechiensis* a la temperatura no están tan bien estudiadas.

Otros factores pueden estresar a las almejas e interactuar con la temperatura para afectar su reproducción y crecimiento. Por ejemplo, los huevos de *M. mercenaria* son particularmente sensibles a la baja salinidad (por debajo de 20 ppb), especialmente a temperaturas superiores a 27 °C (Davis y Calabrese, 1964). Sin embargo, en salinidades más altas (22,5-27 ppb), el crecimiento larvario de *M. mercenaria* puede ser considerable incluso a 30 °C.

Esto significa que las olas de calor marinas, especialmente si implican exposiciones prolongadas a temperaturas superiores a 27-30 °C o exposiciones más cortas a temperaturas superiores a 32,5-34 °C, pueden provocar una disminución de la reproducción y la supervivencia de las almejas adultas. La gestión para minimizar otros factores de estrés (p. ej., la baja salinidad) o reducir la exposición a la temperatura en entornos acuícolas podría minimizar los impactos negativos en las almejas.



Impacto de la temperatura: A temperaturas elevadas, las almejas pueden experimentar una disminución en la fertilización y la eclosión. Foto: Departamento de Agricultura y Servicios al Consumidor de Florida. Foto: Florida Department of Agriculture and Consumer Services.

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Los estudios incluidos aquí fueron todos experimentales y, por lo tanto, utilizaron sensores de temperatura dentro de tanques experimentales (Davis y Calabrese, 1964; Ivanina et al., 2013; Matoo et al., 2013; Song et al., 2022).

- 27 °C-30 °C para algunos efectos fisiológicos negativos (incluida la mortalidad) después de 8-15 semanas (Ivanina et al., 2013; Matoo et al., 2013)
- Efectos negativos drásticos en el desarrollo de los huevos por encima de 32,5 °C (Davis y Calabrese, 1964)
- Posible daño proteico en adultos tras cuatro semanas de exposición a temperaturas alrededor de 34 °C (Song et al., 2022)

Recursos y comunidades de práctica

- Aquaculture Information Exchange (<https://aquainfoexchange.org/register/>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Gulf Shellfish Institute (<https://www.gulfshellfish.org/>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- Shellfish Growers Climate Coalition (<https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-priorities/tackle-climate-change/climate-change-stories/shellfish-growers-climate-coalition/>)
- U.S. Marine Biodiversity Observation Network (<https://marinebon.org/us-mbon/>)

Referencias

- Davis, Harry C, and Anthony Calabrese. 1964. "Combined Effects of Temperature and Salinity on Development of Eggs and Growth of Larvae of *M. Mercenaria* and *C. Virginiana*." *Fishery Bulletin* 63 (3).
- Florida Fish and Wildlife Conservation Commission. 2024. "Hard Clams - General Information." 2024. <https://myfwc.com/research/saltwater/mollusc/hard-clams/information/>.
- Ivanina, Anna v, Gary H Dickinson, Omera B Matoo, Rita Bagwe, Ashley Dickinson, Elia Beniash, and Inna M Sokolova. 2013. "Interactive Effects of Elevated Temperature and CO2 Levels on Energy Metabolism and Biomineralization of Marine Bivalves *Crassostrea Virginica* and *Mercenaria Mercenaria*." *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 166 (1): 101–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.05.016>.
- Matoo, Omera B, Anna v Ivanina, Claus Ullstad, Elia Beniash, and Inna M Sokolova. 2013. "Interactive Effects of Elevated Temperature and CO2 Levels on Metabolism and Oxidative Stress in Two Common Marine Bivalves (*Crassostrea Virginica* and *Mercenaria Mercenaria*)." *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 164 (4): 545–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2012.12.025>.
- Smithsonian Environmental Research Center. 2024. "*Mercenaria Mercenaria*." 2024. https://invasions.si.edu/nemesis/species_summary/-57.
- Song, Jingwei, James D. Austin, and Huiping Yang. 2022. "Comparative Transcriptomics of the Northern Quahog *Mercenaria Mercenaria* and Southern Quahog *Mercenaria Campechiensis* in Response to Chronic Heat Stress." *Marine Biotechnology* 24 (2): 276–92. <https://doi.org/10.1007/s10126-022-10101-7>.

Sobre los autores: Le Dr. Renata Poulton Kamakura recibió una Beca de Investigación y Política Científica del Golfo de la Academia Nacional de Ciencias, siendo GCOOS la oficina anfitriona. La Dra. Chris Simoniello es gerente de Difusión y Educación del Sistema de Observación Oceanográfica y Costera del Golfo de América (GCOOS por sus siglas en inglés). Con sede en el Departamento de Oceanografía de la Universidad Texas A&M, GCOOS es el componente regional del Sistema Integrado de Observación Oceánica de Estados Unidos dedicado al Golfo de América.



GCOOS
GULF OF AMERICA
COASTAL OCEAN
OBSERVING SYSTEM



Cangrejos intermareales

Mensaje clave

A pesar de variaciones a nivel de especie y probablemente a nivel de sitio, es probable que las especies de cangrejos intermareales en el Atlántico tropical sufran una mayor mortalidad de adultos y un éxito reproductivo reducido en temperaturas en aguas poco profundas superiores a 39-41 °C.

Descripción general

Las olas de calor marinas, períodos prolongados de temperaturas oceánicas superiores a lo normal, afectan a diversas especies marinas, incluyendo a los cangrejos que habitan la zona intermareal. Estos crustáceos se desplazan entre el agua y la tierra, aunque su tolerancia a la inmersión y la desecación varía (p. ej., Capparelli et al., 2022). Por lo tanto, son vulnerables tanto a las altas temperaturas del aire como del agua.

La tolerancia térmica de los cangrejos varía según la especie y la ubicación. Por ejemplo, cuatro especies de cangrejos violinistas del Golfo y el Caribe comienzan a experimentar una alta mortalidad a temperaturas entre 39 °C y 41 °C (Capparelli et al., 2022). Si bien estas temperaturas son superiores a las que estas especies experimentan normalmente (Capparelli et al., 2022), las temperaturas en aguas poco profundas pueden superarlas durante las olas de calor marinas (p. ej., Capparelli et al., 2024). Una de las especies de cangrejo violinista, *Leptuca speciosa*, quien tiene la menor tolerancia a la temperatura (Capparelli et al., 2022), presenta comportamientos que le ayudan a evitar la exposición a altas temperaturas del agua. Durante una ola de calor, los individuos de *L. speciosa* pueden agruparse en rocas o ramas expuestas para evitar el agua con temperaturas que se acerquen a su nivel de tolerancia térmica (alrededor de 39 °C (Capparelli et al., 2024)), aunque no pueden permanecer fuera del agua durante mucho tiempo (Capparelli et al., 2022).



Supervivencia del cangrejo de piedra: Especies de importancia comercial como el cangrejo de piedra presentan una menor supervivencia larvaria y juvenil a temperaturas más altas. Foto: Andrea Westmoreland.

La tolerancia a la temperatura también varía según la etapa de vida. Por ejemplo, los juveniles de *L. speciosa* comienzan a experimentar mortalidad a temperaturas más bajas que los adultos (Capparelli et al., 2024). Las temperaturas más altas también pueden afectar las tasas de muda, aunque algunas especies experimentan

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Estos resultados fueron principalmente experimentales; sin embargo, las temperaturas se basaron en una combinación de la temperatura del aire observada, la temperatura de la superficie del agua y la temperatura del agua intersticial. En general, se observan resultados negativos para los adultos en aguas con temperaturas superiores a 40 °C y disminuciones en la supervivencia durante las primeras etapas de vida por encima de los 30C, especialmente con alta salinidad o pH bajo.

- *Callinectes sapidus* (cangrejo azul): La tasa de muda disminuye entre 27 °C y 34 °C (Leffler, 1972; Quinlan et al., 2023)
- *Leptuca panacea* (gulf sand fiddler crab): Comienza a presentar alta mortalidad de adultos (>50 %) alrededor de los 40,5 °C (Capparelli et al., 2022)
- *Leptuca speciosa* (cangrejo violinista brillante): Alta mortalidad de adultos entre 39 °C y 40 °C (Capparelli et al., 2022; Capparelli et al., 2024)
- *Maguithrax spinosissimus* (cangrejo rey del Caribe): Menor supervivencia larvaria a pH 7,7 y 31 °C en comparación con pH 8 a 28 °C (Gravinese et al., 2022): Muda más rápida a 31 °C en comparación con 28 °C (lo que podría reducir el riesgo de depredación) (Gravinese et al., 2022)
- *Menippe adina* (cangrejo de piedra del golfo): Menor supervivencia de larvas y juveniles a 35C en comparación con 30 °C (Brown et al., 1992; Quinlan et al., 2023)
- *Minuca rapax* (cangrejo violinista de esteros): Comienza a presentar alta mortalidad de adultos (>50 %) entre 39 °C y 40 °C (Capparelli et al., 2022)
- *Minuca vocator* (cangrejo violinista del Atlántico): Comienza a presentar alta mortalidad de adultos (>50 %) entre 39 °C y 40 °C (Capparelli et al., 2022)



Supervivencia en olas de calor: Los cangrejos azules constituyen una pesquería valiosa que podría verse afectada por el aumento de la frecuencia de las olas de calor marinas, lo que puede afectar especialmente a las primeras etapas de vida de los cangrejos. El impacto de las olas de calor marinas también puede verse exacerbado por otros factores, como los cambios en la salinidad o el pH. Foto: Jeremy Thorpe.

aumentos y otras disminuciones (Gravinese et al., 2020; Quinlan et al., 2023). La eclosión y el éxito larvario también pueden disminuir a temperaturas superiores a 31°C, especialmente a pH bajo (Gravinese et al., 2020; Quinlan et al., 2023).

Esto significa que, dependiendo del momento y la intensidad de las olas de calor marinas, las especies de cangrejo, especialmente durante las primeras etapas de su vida, pueden verse sometidos a temperaturas superiores a sus tolerancias normales. Algunas especies de cangrejo cuentan con comportamientos adaptativos que las protegen de los impactos de las altas temperaturas del agua, pero estas pueden ser especialmente perjudiciales cuando se acompañan de otros factores de estrés, como la alta salinidad o pH bajo.

Recursos y comunidades de práctica

- Aquaculture Information Exchange (<https://aquainfoexchange.org/register/>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- U.S. Marine Biodiversity Observation Network (<https://marinebon.org/us-mbon/>)

Referencias

- Brown, Susan D., Theresa M. Bert, Wendy A. Tweedale, Joseph J. Torres, and William J. Lindberg. 1992. "The Effects of Temperature and Salinity on Survival and Development of Early Life Stage Florida Stone Crabs *Menippe Mercenaria* (Say)." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 157 (1): 115–36. [https://doi.org/10.1016/0022-0981\(92\)90078-O](https://doi.org/10.1016/0022-0981(92)90078-O).
- Capparelli, Mariana v., John C. McNamara, Carl L. Thurman, Rosela Pérez-Ceballos, Mario A. Gómez-Ponce, José Gilberto Cardoso-Mohedano, and Gabriel M. Moulatlet. 2022. "Can Tolerances of Multiple Stressors and Calculated Safety Margins in Fiddler Crabs Predict Responses to Extreme Environmental Conditions Resulting from Climate Change?" *Marine Pollution Bulletin* 179 (June): 113674. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2022.113674>.
- Capparelli, Mariana v., Rosela Pérez-Ceballos, Nancy Yolimar Suárez-Mozo, and Gabriel M. Moulatlet. 2024. "Tolerance and Behavioral Responses of Crabs in Disturbed Mangroves during a Heat Wave Event." *Marine Pollution Bulletin* 200 (March): 116165. <https://doi.org/10.1016/J.MARPOLBUL.2024.116165>.
- Gravinese, Philip M., Shelby A. Perry, Angelo Jason Spadaro, Albert E. Boyd, and Ian C. Enochs. 2022. "Caribbean King Crab Larvae and Juveniles Show Tolerance to Ocean Acidification and Ocean Warming." *Marine Biology* 169 (5): 1–12. <https://doi.org/10.1007/S00227-022-04053-8>.
- Leffler, C. W. 1972. "Some Effects of Temperature on the Growth and Metabolic Rate of Juvenile Blue Crabs, *Callinectes Sapidus*, in the Laboratory." *Marine Biology* 14 (2): 104–10. <https://doi.org/10.1007/BF00373209>.
- Quinlan, John A, Mark Nelson, Caitlyn Savoia, Rachel Skubel, James D Scott, Lisa Ailloud, Cameron Ainsworth, et al. 2023. "Results from the Gulf of Mexico Climate Vulnerability Analysis for Fishes and Invertebrates." NOAA Technical Memorandum. <https://doi.org/10.25923/5svf-se47>.

Sobre los autores: Le Dr. Renata Poulton Kamakura recibió una Beca de Investigación y Política Científica del Golfo de la Academia Nacional de Ciencias, siendo GCOOS la oficina anfitriona. La Dra. Chris Simoniello es gerente de Difusión y Educación del Sistema de Observación Oceanográfica y Costera del Golfo de America (GCOOS por sus siglas en inglés). Con sede en el Departamento de Oceanografía de la Universidad Texas A&M, GCOOS es el componente regional del Sistema Integrado de Observación Oceánica de Estados Unidos dedicado al Golfo de América.



GCOOS
GULF OF AMERICA
COASTAL OCEAN
OBSERVING SYSTEM



Infraestructura energética

Mensaje clave

Las olas de calor marinas, al aumentar el riesgo de tormentas severas y calor extremo, pueden afectar la eficiencia, la vida útil y la salud general de la infraestructura energética regional. Sin embargo, la climatización y la gestión de sistemas energéticos proactivas podrían limitar algunos de estos riesgos.

Descripción general

La conexión entre las olas de calor marinas y la infraestructura energética no se ha estudiado en profundidad. Es probable que estas olas de calor marinas tengan un impacto directo limitado en la infraestructura energética, pero pueden generar condiciones que someten a presión y potencialmente dañen los sistemas energéticos regionales.

Si las olas de calor marinas agravan la temperatura y la humedad del interior (véase la sección sobre la temperatura y humedad costeras) pueden sobrecargar la infraestructura energética existente durante los meses de verano debido al aumento de la demanda de refrigeración (Oppong et al., 2024; Garland et al., 2024; Varianou Mikellidou et al., 2018). Las altas temperaturas del aire y la humedad también pueden aumentar el riesgo de fallas en las líneas de transmisión, disminuyendo la energía disponible (Varianou Mikellidou et al., Garland et al., 2024; Ogden et al., 2019). Las altas temperaturas del aire también afectan el rendimiento de las turbinas de vapor utilizadas en la refinación de petróleo, aumentan el deterioro de los transformadores eléctricos y reducen la eficiencia y la vida útil de las celdas de energía solar (Patt et al., 2013; Varianou Mikellidou et al., 2018). Muchos de estos impactos se observarán con un clima generalmente más cálido, pero pueden ser agravados por el estrés agudo de temperatura y humedad facilitado por las olas de calor marinas. Si las olas de calor marinas ocurren en los meses más fríos, podrían reducir la demanda energética de calefacción y la probabilidad de olas de frío que puedan dañar la infraestructura solar (Amonkar et al., 2023; Patt et al., 2013). Sin embargo, dado que los estados del sureste de EE. UU. (incluidos los estados del Golfo de EE. UU.) y el Caribe son relativamente cálidos, con un clima más cálido probablemente se producirá un aumento neto de la demanda térmica (Amonkar et al., 2023).

Las olas de calor marinas también se asocian con una mayor probabilidad de tormentas que pueden dañar la infraestructura energética. Las altas temperaturas en el Golfo se asocian con tormentas eléctricas severas en el sureste de EE. UU. (véase la sección sobre tormentas eléctricas). Estas tormentas eléctricas severas pueden provocar granizo, tornados y rayos que, dependiendo de su gravedad, pueden dañar la infraestructura energética (Patt et al., 2013; Varianou Mikellidou et al., 2018). Sin embargo, algunas infraestructuras eléctricas pueden fabricarse para ser más resistentes a las tormentas; por ejemplo, las placas solares pueden construirse para ser más resistentes a las tormentas de granizo, y la protección contra rayos puede ayudar a



Infraestructura energética marina en riesgo: Si bien las olas de calor marinas pueden no afectar directamente a la infraestructura energética marina, las tormentas tropicales y los huracanes que estas pueden exacerbar la ponen en riesgo. Foto: Gulf Research Program

moderar el riesgo de rayos en los sistemas fotovoltaicos (Patt et al., 2013).

De manera similar, las altas temperaturas del agua en el Golfo y el Caribe se asocian con ciclones tropicales y huracanes más frecuentes y extremos (véase la sección sobre tormentas tropicales). Los huracanes pueden causar daños extremos a la infraestructura energética debido a una combinación de fuertes vientos, lluvias, marejadas ciclónicas y escombros (Reed et al., 2010; Varianou Mikellidou et al., 2018). Las plataformas petroleras y gasíferas marinas son particularmente vulnerables, y tanto para la infraestructura petrolera y gasífera marina como terrestre, la combinación de daños e inundaciones también puede provocar la

liberación de sustancias químicas peligrosas (Reed et al., 2010; Rostami y Reza Rahimpour, 2023). De igual manera, las plataformas eólicas marinas tendrán que lidiar con los posibles impactos de olas y vientos extremos provocados por huracanes y otras condiciones meteorológicas severas, aunque existen estrategias de diseño que pueden mitigar el riesgo (Hallowell et al., 2018; Rose et al., 2012). La recuperación del sistema energético tras los huracanes puede ser relativamente rápida, pero también puede ser muy lenta, dependiendo del grado de reducción de la producción eléctrica y de los daños (Gargani, 2022; Reed et al., 2010).

En general, las olas de calor marinas quizás no influyan directamente en los sistemas energéticos marinos y terrestres, pero pueden aumentar el riesgo de condiciones que sometan a presión y dañen la infraestructura energética con el tiempo.

Recursos y comunidades de práctica

- Climate and Resilience Community of Practice (<https://gulfseagrant.org/2024/01/31/climate-and-resilience-cop-meeting-set-for-april/>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Gulf Tree (<http://www.gulftree.org/>)

Otros secciones relevantes

- Ciclones tropicales
- Temperaturas y humedad en zonas costeras
- Tormentas eléctricas severas

Referencias

- Amonkar, Yash, James Doss-Gollin, David J. Farnham, Vijay Modi, and Upmanu Lall. 2023. "Differential Effects of Climate Change on Average and Peak Demand for Heating and Cooling across the Contiguous USA." *Communications Earth & Environment* 2023 4:1 4 (1): 1–9. <https://doi.org/10.1038/s43247-023-01048-1>.
- Gargani, Julien. 2022. "Impact of Major Hurricanes on Electricity Energy Production." *International Journal of Disaster Risk Reduction* 67 (January): 102643. <https://doi.org/10.1016/J.IJDRR.2021.102643>.
- Garland, Jasmine, Kyri Baker, and Ben Livneh. 2024. "The Climate-Energy Nexus: A Critical Review of Power Grid Components, Extreme Weather, and Adaptation Measures." *Environmental Research: Infrastructure and Sustainability* 4 (3): 032002. <https://doi.org/10.1088/2634-4505/AD79DD>.
- Hallowell, Spencer T., Andrew T. Myers, Sanjay R. Arwade, Weichiang Pang, Prashant Rawal, Eric M. Hines, Jerome F. Hajjar, et al. 2018. "Hurricane Risk Assessment of Offshore Wind Turbines." *Renewable Energy* 125 (September): 234–49. <https://doi.org/10.1016/J.RENENE.2018.02.090>.
- Ogden, Joan M, Maurice R Greenberg, Amy Myers Jaffe, Joshua Busby, Jim Blackburn, Christina Copeland, Sara Law, and Paul A Griffin. 2019. "CLIMATE CHANGE IMPACTS ON CRITICAL U.S. ENERGY INFRASTRUCTURE." *Impact of Climate Risk on the Energy System. Examining the Financial, Security, and Technology Dimensions*. Council on Foreign Relations. <http://www.jstor.org/stable/resrep21839.6>.
- Oppong, Frederick Boakye, Keneshia K Hibbert, and Jorge Gonzalez-Cruz. 2024. "Extreme Heat in the Caribbean: Impacts on Wellbeing and Buildings Energy Infrastructure—The 2023 Summer Case." *ASME Journal of Engineering for Sustainable Buildings and Cities* 5 (3): 1–25. <https://doi.org/10.1115/1.4066382>.
- Patt, Anthony, Stefan Pfenninger, and Johan Lilliestam. 2013. "Vulnerability of Solar Energy Infrastructure and Output to Climate Change." *Climatic Change* 121 (1): 93–102. <https://doi.org/10.1007/S10584-013-0887-0>.
- Reed, Dorothy A., Mark D. Powell, and Julie M. Westerman. 2010. "Energy Infrastructure Damage Analysis for Hurricane Rita." *Natural Hazards Review* 11 (3): 102–9. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)NH.1527-6996.0000012](https://doi.org/10.1061/(ASCE)NH.1527-6996.0000012).
- Rose, Stephen, Paulina Jaramillo, Mitchell J. Small, Iris Grossmann, and Jay Apt. 2012. "Quantifying the Hurricane Risk to Offshore Wind Turbines." *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 109 (9): 3247–52. <https://doi.org/10.1073/PNAS.111769109>.
- Rostami, Parisa, and Mohammad Reza Rahimpour. 2023. "Effect of Hurricane and Storm on Oil, Gas, and Petrochemical Industries." *Crises in Oil, Gas and Petrochemical Industries: Disasters and Environmental Challenges*, January, 135–52. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95154-8.00017-7>.
- Varianou Mikellidou, Cleo, Louisa Marie Shakou, Georgios Boustras, and Christos Dimopoulos. 2018. "Energy Critical Infrastructures at Risk from Climate Change: A State of the Art Review." *Safety Science* 110 (December): 110–20. <https://doi.org/10.1016/J.SSCI.2017.12.022>.



Peces de aleta

Mensaje clave

Las olas de calor marinas pueden tener efectos en los peces, como cambios en su distribución, aumento del estrés y mortalidad. Sin embargo, la tolerancia a la temperatura y las respuestas de comportamiento a las altas temperaturas varían considerablemente según la especie y la ubicación.

Descripción general

Las olas de calor marinas, como períodos de temperaturas oceánicas elevadas, afectan a los organismos marinos, incluidos los peces. Existen más de 1,442 especies de peces en el Golfo, incluyendo más de 51 especies de tiburones y 49 especies de rayas (Chen, 2017). El Sistema de Información sobre Peces Costeros del Gran Caribe, administrado por el Instituto Smithsonian de Investigaciones Tropicales, incluye 1.694 especies presentes en el Caribe, el Golfo y la costa norte de Sudamérica (STRI, 2023).

Muchos peces son ectotérmicos, especialmente los peces óseos (es decir, los que no son tiburones ni rayas), por lo que dependen de las condiciones externas para obtener calor y, por lo tanto, prosperan en un rango de temperaturas relativamente estrecho (Gale et al., 2013; Haesemeyer, 2020). Incluso las especies de tiburones y rayas, que poseen cierta termorregulación interna, se acercan a sus límites de temperatura en los trópicos (Osgood et al., 2021). Sin embargo, los peces también son móviles y pueden ajustar su ubicación (tanto en profundidad como horizontalmente) para ajustar su exposición a la temperatura. Debido a que existe tanta variación en las tolerancias a la temperatura y la movilidad de las especies, nos centramos aquí en las diferentes formas en que las olas de calor marinas pueden afectar a los peces, empezando por las respuestas de comportamiento y pasando a las respuestas fisiológicas y la mortalidad.

Como se mencionó anteriormente, los peces pueden realizar ajustes de comportamiento para evitar las altas temperaturas durante las olas de calor marinas. Ejemplos de estos comportamientos protectores incluyen la reubicación (ya sea cambiando de profundidad o de posición horizontal), cambios en los patrones de búsqueda de alimentos o movimiento, y una menor inversión en la reproducción (Smith et al., 2023). Por ejemplo, a altas temperaturas, algunos peces de arrecife aumentan su búsqueda de alimento para obtener suficiente alimento y contrarrestar el aumento de la demanda metabólica (Smith et al., 2023). Se conoce que algunos tiburones extienden temporalmente su área de distribución cientos o incluso miles de kilómetros durante las olas de calor marinas para adaptarse al movimiento de presas, el aumento de la demanda metabólica y la exposición individual a la temperatura (Osgood et al., 2021; Smith et al., 2023). Sin embargo, algunas respuestas de comportamiento no son ventajosas; por ejemplo, algunas especies de peces óseos son más propensas a altas temperaturas a chocar con objetos (Gale et al., 2013). Una menor inversión reproductiva puede favorecer la supervivencia de los



Gestión de peces: Las poblaciones de peces como el abadejo podrían beneficiarse de enfoques de gestión basados en ecosistemas. Foto: Florida Fish and Wildlife Conservation Commission.

adultos, pero también provoca una disminución del reclutamiento y, con el tiempo, de la población general de los peces.

Especialmente cuando la intensidad, extensión o duración de las olas de calor marinas supera lo que los cambios de comportamiento pueden amortiguar, las altas temperaturas también tendrán impactos fisiológicos (Smith et al., 2023). Estos efectos incluyen deterioro de la función cardíaca, mayor susceptibilidad a enfermedades, disminución de la eficiencia de conversión alimenticia, aumento de los niveles de hormonas del estrés y mayor demanda metabólica (Andrews y Stickney, 1972; Eaton et al., 2022; Gale et al., 2013; Smith et al., 2023). Estos impactos pueden generar una disminución del crecimiento y, con el tiempo, un aumento de la mortalidad. Por ejemplo, si los peces no encuentran alimento suficiente para compensar el aumento de la demanda metabólica a altas temperaturas, comenzarán a perder peso, lo cual es especialmente peligroso para los juveniles (Cox y Coutant, 1981; Smith et al., 2023). Algunas especies, como el lenguado arenoso del sur (*Paralichthys lethostigma*), pueden presentar proporciones de sexos sesgadas debido a las altas temperaturas (Midway et al., 2024), lo que influye en el potencial reproductivo futuro de la población.

Estas tensiones fisiológicas, e incluso algunos cambios de comportamiento, pueden provocar un aumento de la mortalidad. Por ejemplo, el aumento de la búsqueda de alimento puede hacer que las especies de arrecife sean más vulnerables a la depredación (Smith et al., 2023). De igual manera, algunas especies de peces óseos presentan mayores tasas de captura a temperaturas más altas, lo que puede distorsionar las evaluaciones de las poblaciones e impactar la gestión pesquera (Bacheler y Shertzer, 2020; Smith et al., 2023). Los peces óseos capturados y posteriormente liberados en aguas más cálidas también experimentan una mayor mortalidad posterior a la liberación, lo cual es especialmente preocupante para la pesca recreativa (p. ej., (Gale et al., 2013; Whitney et al., 2017)). A nivel mundial, se han registrado eventos de muerte masiva en poblaciones de peces óseos, tanto silvestres como de cultivo, debido a las altas temperaturas, a menudo en combinación con otros factores de estrés (p. ej., infecciones bacterianas y floraciones algales nocivas (Smith et al., 2023)).

Aun así, una ola de calor marina podría no ser perjudicial para todas las especies de peces en una ubicación determinada. Las olas de calor marinas en regiones templadas pueden permitir que los peces tropicales se desplacen a zonas que, de otro modo, habrían sido demasiado frías para ellos (Smale et al., 2019), y los estuarios de las costas del Golfo y del Atlántico de EE. UU. podrían experimentar un aumento en la abundancia de peces con temperaturas ligeramente más cálidas (Oke et al., 2022). Es posible que los peces demersales, que viven y se alimentan cerca del fondo marino, sufran menos impactos negativos que las especies que se encuentran en zonas más altas de la columna de agua (Fredston et al., 2023). Sin embargo, dado que las aguas del Golfo y el Caribe ya son relativamente cálidas, es probable que algunas especies se vean afectadas negativamente por las olas de calor, aunque se necesita más investigación.

Ciertos rasgos o características pueden hacer que las poblaciones o especies de peces sean particularmente susceptibles a los impactos negativos de las olas de calor marinas. Por ejemplo, las especies con bajas tasas de reproducción o con tasas lentas de crecimiento poblacional tendrán más dificultades para recuperarse de las disminuciones poblacionales, incluida la mortalidad inducida por la temperatura (p. ej., el tiburón martillo común y el mero estriado (Quinlan et al., 2023). Las especies con alta especificidad de hábitat o que dependen de ecosistemas sensibles a la temperatura (como los arrecifes de coral) también pueden ser particularmente vulnerables a los impactos de las olas de calor marinas (p. ej., el esturión del Golfo y el abadejo (Quinlan et al., 2023; Smale et al., 2019; Smith et al., 2023). Los individuos que se encuentran en el límite cálido del área de distribución de su especie tienen mayor probabilidad de experimentar los efectos negativos de las olas de calor marinas porque se encuentran más cerca de los límites superiores de la tolerancia térmica de su especie (Smale et al., 2019; Smith et al., 2023).

La gestión de las poblaciones de peces en el contexto de las olas de calor marinas se beneficia del conocimiento de las respuestas específicas de cada especie (e incluso de cada población) a la temperatura a lo largo de sus

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Muchos de los artículos citados aquí combinan diversos conjuntos de datos de temperatura. Los estudios a gran escala suelen basarse en datos satelitales de la temperatura de la superficie del mar (p. ej., Smale et al., 2019). Sin embargo, dado que los peces son móviles y pueden cambiar de profundidad, los datos de temperatura a nivel de los peces, o al menos los datos de temperatura subsuperficial, pueden proporcionar una imagen mucho más precisa de la exposición a la temperatura (p. ej., Bacheler y Shertzer, 2020).

Los umbrales de temperatura varían considerablemente según la especie y la población.

Recursos y comunidades de práctica

- Aquaculture Information Exchange (<https://aquainfoexchange.org/register/>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Santuarios Marinos Nacionales (<https://sanctuaries.noaa.gov/espanol/>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrants.noaa.gov/our-story/about-seagrants/>)
- U.S. Marine Biodiversity Observation Network (<https://marinebon.org/us-mbon/>)

etapas de vida. En ausencia de estos datos (que faltan para muchas especies regionales), existen algunas medidas generales que pueden ser eficaces. Reducir otros factores de estrés (p. ej., la contaminación, la presión pesquera y las condiciones anóxicas) puede ayudar a minimizar las condiciones que podrían agravar el peligro del estrés inducido por la temperatura. Aunque, para ello, es importante tener en cuenta que las poblaciones de peces pueden desplazarse durante las olas de calor marinas y que las tasas de capturabilidad pueden aumentar, lo que requiere ajustes en los protocolos de evaluación de poblaciones y mapas de probables ubicaciones de la población. En términos más generales, los peces se ven afectados por las condiciones, incluidas las temperaturas, que dañan sus hábitats y presas (por ejemplo, el blanqueamiento de los corales y la disminución de pastos marinos). Por lo tanto, la gestión basada en ecosistemas puede ser otra herramienta útil para gestionar las poblaciones de peces en el Golfo y el Caribe (Haugen et al., 2024; NOAA Fisheries, 2024).



Impactos de la temperatura: Las olas de calor marinas en regiones templadas pueden permitir que los peces tropicales se desplacen a zonas que, de otro modo, habrían sido demasiado frías para ellos. Foto: Flower Garden Banks National Marine Sanctuary/University of North Carolina Wilmington Underseas Vehicle Program.

Referencias

- Andrews, James W, and Robert R Stickney. 1972. "Interactions of Feeding Rates and Environmental Temperature on Growth, Food Conversion, and Body Composition of Channel Catfish." *Transactions of the American Fisheries Society* 101 (1): 94–99. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1972\)101%3C94:IOFRAE%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1972)101%3C94:IOFRAE%3E2.0.CO;2).
- Bacheler, Nathan M., and Kyle W. Shertzer. 2020. "Catchability of Reef Fish Species in Traps Is Strongly Affected by Water Temperature and Substrate." *Marine Ecology Progress Series* 642 (May): 179–90. <https://doi.org/10.3354/MEPS13337>.
- Chen, Yong. 2017. "Fish Resources of the Gulf of Mexico." In *Habitats and Biota of the Gulf of Mexico: Before the Deepwater Horizon Oil Spill*, edited by C. Herb Ward, 1st ed., 2:869–1038. Springer New York. https://doi.org/10.1007/978-1-4939-3456-0_1.
- Cox, David K, and Charles C. Coutant. 1981. "Growth Dynamics of Juvenile Striped Bass as Functions of Temperature and Ration." *Transactions of the American Fisheries Society* 110 (2): 226–38. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1981\)110%3C226:GDOJSB%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1981)110%3C226:GDOJSB%3E2.0.CO;2).
- Eaton, Katherine M., Adam Hallaj, James A. Stoeckel, and Moisés A. Bernal. 2022. "Ocean Warming Leads to Increases in Aerobic Demand and Changes to Gene Expression in the Pinfish (*Lagodon Rhomboides*)." *Frontiers in Ecology and Evolution* 9 (January): 809375. <https://doi.org/10.3389/fevo.2021.809375>.
- Fredston, Alexa L., William W.L. Cheung, Thomas L. Frölicher, Zoë J. Kitchel, Aurore A. Maureaud, James T. Thorson, Arnaud Auber, et al. 2023. "Marine Heat Waves Are Not a Dominant Driver of Change in Demersal Fishes." *Nature* 2023 621:7978 621 (7978): 324–29. <https://doi.org/10.1038/s41586-023-06449-y>.
- Gale, Marika Kirstin, Scott G. Hinch, and Michael R. Donaldson. 2013. "The Role of Temperature in the Capture and Release of Fish." *Fish and Fisheries* 14 (1): 1–33. <https://doi.org/10.1111/J1467-2979.2011.00441.X>.
- Haesemeyer, Martin. 2020. "Thermoregulation in Fish." *Molecular and Cellular Endocrinology* 518 (December): 110986. <https://doi.org/10.1016/J.MCE.2020.110986>.
- Haugen, J. B., J. S. Link, K. Cribari, A. Bundy, M. Dickey-Collas, H. M. Leslie, J. Hall, et al. 2024. "Marine Ecosystem-Based Management: Challenges Remain, yet Solutions Exist, and Progress Is Occurring." *Npj Ocean Sustainability* 2024 3:1 3 (1): 1–11. <https://doi.org/10.1038/s44183-024-00041-1>.
- Midway, Stephen R, Scharf Frederick S., Dance Michael A., Brown-Peterson Nancy J., Ballenger Joseph C., Beeken Nicolette S., Borski Russell J., et al. 2024. "Southern Flounder: Major Milestones and Remaining Knowledge Gaps in Their Biology, Ecology, and Fishery Management." *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* 32 (3): 450–78. <https://doi.org/10.1080/23308249.2024.2341017>.
- NOAA Fisheries. 2024. "Understanding Ecosystem-Based Fisheries Management." November 26, 2024. <https://www.fisheries.noaa.gov/insight/understanding-ecosystem-based-fisheries-management>.
- Oke, Tobí A., Stacy Y. Zhang, Spencer R. Keyser, and Lauren A. Yeager. 2022. "Sea-Surface Temperature Anomalies Mediate Changes in Fish Richness and Abundance in Atlantic and Gulf of Mexico Estuaries." *Journal of Biogeography* 49 (9): 1609–17. <https://doi.org/10.1111/JBI.14451>.
- Osgood, Geoffrey J., Easton R. White, and Julia K. Baum. 2021. "Effects of Climate-Change-Driven Gradual and Acute Temperature Changes on Shark and Ray Species." *Journal of Animal Ecology* 90 (11): 2547–59. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.13560>.
- Smale, Dan A, Thomas Wernberg, Eric C J Oliver, Mads Thomsen, Ben P Harvey, Sandra C Straub, Michael T Burrows, et al. 2019. "Marine Heat Waves Threaten Global Biodiversity and the Provision of Ecosystem Services." *Nature Climate Change* 9 (4): 306–12. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>.
- Smith, Kathryn E., Michael T. Burrows, Alistair J. Hobday, Nathan G. King, Pippa J. Moore, Alex sen Gupta, Mads S. Thomsen, Thomas Wernberg, and Dan A. Smale. 2023. "Biological Impacts of Marine Heat Waves." *Annual Review of Marine Science* 15 (Volume 15, 2023): 119–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437>.
- STRI. 2023. "Introduction to the Greater Caribbean." 2023. <https://biogeodb.stri.si.edu/caribbean/en/pages/generalinfo>.
- Quinlan, John A, Mark Nelson, Caitlyn Savoia, Rachel Skubel, James D Scott, Lisa Ailloud, Cameron Ainsworth, et al. 2023. "Results from the Gulf of Mexico Climate Vulnerability Analysis for Fishes and Invertebrates." NOAA Technical Memorandum. <https://doi.org/10.25923/5svf-se47>.

Sobre los autores: Le Dr. Renata Poulton Kamakura recibió una Beca de Investigación y Política Científica del Golfo de la Academia Nacional de Ciencias, siendo GCOOS la oficina anfitriona. La Dra. Chris Simoniello es gerente de Difusión y Educación del Sistema de Observación Oceanográfica y Costera del Golfo de América (GCOOS por sus siglas en inglés). Con sede en el Departamento de Oceanografía de la Universidad Texas A&M, GCOOS es el componente regional del Sistema Integrado de Observación Oceánica de Estados Unidos dedicado al Golfo de América.



GCOOS
GULF OF AMERICA
COASTAL OCEAN
OBSERVING SYSTEM

20
YEARS

Pesquerías

Mensaje clave

Las olas de calor marinas pueden afectar directamente a las pesquerías al influir en las poblaciones y la calidad de las especies objeto, así como indirectamente al aumentar las condiciones que son perjudiciales para los trabajadores y/o la infraestructura. Existen opciones de adaptación relacionadas con la gestión de poblaciones de especies y la reducción del riesgo económico para los pescadores, pero su viabilidad depende del contexto.

Descripción general

Las olas de calor marinas, períodos prolongados de temperaturas oceánicas superiores a lo normal, impactan la pesca al afectar a las especies de peces, alterar su hábitat, afectar la seguridad de los trabajadores y, potencialmente, agravar las amenazas de huracanes. La pesca deportiva del sureste de EE. UU. genera más de 15.000 millones de dólares en ventas anuales para más de 4,5 millones de pescadores (NOAA Fisheries, 2024). Las ventas comerciales del Golfo y el sureste de EE. UU. generaron más de 37.000 millones de dólares en ventas y más de 1.000 millones de dólares en ingresos en 2022 (National Marine Fisheries Service, 2024). Las pesquerías del Golfo, el sureste de EE. UU. y el Caribe varían en sus características, pero todas las regiones están expuestas a altas temperaturas (Link y Marshak, 2018). Debido a la exposición ambiental, las pesquerías estadounidenses del sureste recibieron casi 506 millones de dólares en asistencia federal para desastres pesqueros relacionados con causas ambientales entre 1994 y 2020 (Bellquist et al., 2021).

Las pesquerías capturan una variedad de especies, desde bivalvos (p. ej., ostiones) hasta peces óseos (p. ej., huachinango). En adelante, nos referiremos a las especies capturadas como “especies objeto” en conjunto, especificando el nombre de la especie o grupo cuando corresponda.

Como se explica en las secciones sobre almejas, ostiones, cangrejos y peces, las olas de calor marinas pueden afectar directamente la reproducción, el crecimiento, el desarrollo y la futura supervivencia de las especies objeto. Los impactos no son uniformes entre especies o regiones (p. ej., véase la sección sobre peces); sin embargo, los impactos negativos de las olas de calor marinas para las especies objeto no son infrecuentes. Las fallas de reclutamiento, ya sea debido a tensiones fisiológicas directas o disminuciones en el hábitat de crianza o reproducción (véase las secciones sobre corales y pastos marinos), conducen a reducciones en las poblaciones de especies objeto y, por lo tanto, a una reducción de los ingresos pesqueros (Smith et al., 2023). Si las altas temperaturas conducen a aumentos en las tasas de captura (Bacheler y Shertzer, 2020; Smith et al., 2023), las olas de calor pueden requerir ajustes en los métodos de evaluación de poblaciones para asegurar que las poblaciones se mantengan por encima de los niveles objetivo (Bacheler y Shertzer, 2020; Smith et al., 2023). Si las altas temperaturas conducen a disminuciones en la disponibilidad de alimentos, las especies objeto pueden seguir presentes, pero en un



Gestión de la pesca: Las olas de calor marinas pueden tener impactos directos e indirectos en la pesca comercial, provocando pérdidas de ingresos y producción. Foto: Mississippi State University Extension Service

tamaño más pequeño de lo habitual o mostrar signos de estrés que reducen la calidad (Cox y Coutant, 1981; Davis y Calabrese, 1964; Smith et al., 2023). Si las especies móviles se desplazan fuera de su área de distribución habitual, las flotas pesqueras deberán modificar sus ubicaciones o adaptarse a la cambiante composición de las especies (Farchadi et al., 2024; Smith et al., 2023). Por ejemplo, la flota estadounidense de palangre pelágico del Atlántico se desplaza estacionalmente para seguir el hábitat de los peces, desplazándose hacia el sur en invierno/primavera y hacia el norte en verano/otoño. Las olas de calor marinas en el Atlántico sur provocan desplazamientos mayores, más allá de estos movimientos estacionales normales de la flota (Farchadi et al., 2024).

Las olas de calor marinas pueden agravar las olas de calor terrestres o provocar un aumento de la temperatura y la humedad, lo que afecta la seguridad de los trabajadores y los ingresos del turismo (véase la sección sobre temperatura y humedad costeras). Los trabajadores pesqueros suelen estar expuestos al frío (especialmente debido a la hipotermia causada por el frío, la humedad y el viento (Quandt et al., 2013)), y estos riesgos pueden verse mitigados por las olas de calor marinas de invierno. Sin embargo, los efectos en verano pueden ser menos positivos. La alta humedad reduce la

eficacia del enfriamiento inducido por el sudor, y quienes se encuentran en el agua, especialmente durante las olas de calor marinas, se encuentran en condiciones particularmente húmedas (Alber-Wallerström y Holmér, 1985; Di Napoli et al., 2022; Pathmeswaran, 2023). En condiciones de calor y humedad, los trabajadores necesitarán trabajar con menor intensidad y más descansos para garantizar su seguridad, lo que requiere ajustes en sus expectativas de rentabilidad (Brimicombe et al., 2023). Las temperaturas extremadamente altas también pueden agravar la incomodidad y el estrés de los trabajadores al desplazarse entre la cubierta caliente y las bodegas de hielo frías para el almacenamiento de pescado (Johnson et al., 1998). Las altas temperaturas también pueden afectar al turismo, probablemente reduciéndolo en la cálida costa del Golfo durante los meses de verano (Atzori et al., 2018; Rutty et al., 2022). El turismo puede ser importante para los pescadores comerciales, ya que los viajes chárter, las excursiones turísticas y la mayor demanda de mariscos por parte de los restaurantes pueden generar ingresos adicionales.

Las olas de calor marinas también pueden aumentar la probabilidad y/o intensidad de los huracanes (véase la sección sobre ciclones tropicales). Los huracanes pueden dañar directamente las pesquerías (p. ej., los criaderos de ostiones), así como la infraestructura pesquera (p. ej., embarcaciones e instalaciones de almacenamiento) (Motha, 2011). Por ejemplo, el huracán María provocó una disminución del 20 % en los desembarques comerciales en Puerto Rico. La pesca artesanal perdió alrededor de 17,8 millones de dólares, gran parte de los cuales se debió a daños en los buques pesqueros y la infraestructura costera. La combinación de cortes de electricidad y escaseces de combustible dificultó aún más la recuperación (Agar et al., 2020). La pesca artesanal cubana también experimentó pérdidas de ingresos debido a los daños en la infraestructura y el tiempo de pesca perdido en las reparaciones tras los huracanes Irma y Alberto. A corto plazo, los pescadores también tuvieron que desplazarse más lejos de la costa para pescar debido a la disminución de algunas especies objeto, aunque otras eran más frecuentes que antes en el entorno costero (Ramenzoni et al., 2020). La pesquería de la baya también ha sufrido numerosos huracanes. De 2005 a 2009, tan solo en las dos primeras semanas tras la emisión de alertas de huracán e inmediatamente después de su llegada a tierra, la pesquería experimentó pérdidas inmediatas de ingresos cercanas a un millón de dólares (Solís et al., 2013). Los huracanes pueden afectar a la pesca al provocar la pérdida de ingresos pesqueros, daños a la infraestructura y cambios en la abundancia o distribución de las especies objeto.

Existen opciones de adaptación para la pesca, aunque la estrategia adecuada depende del tipo de pesquería, los recursos disponibles, el grado de impacto de las olas de calor marinas y las probables condiciones futuras. Por ejemplo, ajustar la capacidad de procesamiento y la comercialización puede gestionar los precios de mercado para sustentar los medios de vida de la industria a pesar de las condiciones extremas (p. ej., (Pershing et al., 2018)). Reducir la presión pesquera durante las olas de calor marinas también puede ayudar a evitar la sobrepesca facilitada por tasas de captura superiores a lo normal, y reducir el estrés excesivo sobre las especies objeto (Bacheler y Shertzer, 2020; Gale et al., 2013; Smith et al.,

Recursos y comunidades de práctica

- Aquaculture Information Exchange (<https://aquainfoexchange.org/register/>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Gulf Shellfish Institute (<https://www.gulfshellfish.org/>)
- Gulf Region Oyster Network (<https://estuaries.org/oyster-network/>)
- Oyster Community of Practice (<https://masgc.org/oyster-community-of-practice-summary>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- Shellfish Growers Climate Coalition (<https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-priorities/tackle-climate-change/climate-change-stories/shellfish-growers-climate-coalition/>)

Otros secciones relevantes

- Almejas
- Temperaturas y humedad en zonas costeras
- Corales
- Cangrejos
- Peces
- Microalgas
- Ostiones
- Sargazos
- Pastos marinos
- Ciclones tropicales

2023). Diversificar las especies objeto puede ayudar a los pescadores a sobrevivir a los cambios en la abundancia de especies o a los cierres de pesquerías con un menor impacto económico (Solís et al., 2020). Modificar el volumen de producción planificado, modificar el entorno o ajustar los plazos puede ser eficaz en el contexto de la acuicultura (Hobday et al., 2018). La gobernanza cooperativa puede ayudar a los actores del sector a gestionar el riesgo y evitar consecuencias imprevistas, como caídas drásticas en los precios de las especies objeto debido a capturas tempranas inesperadamente grandes (PersHING et al., 2018). Los pronósticos estacionales pueden orientar el momento y la intensidad de estas estrategias de gestión adaptativa en regiones que generalmente son adecuadas para las especies objeto, pero que ocasionalmente experimentan olas de calor marinas (Hobday et al., 2018). Si las condiciones hacen que la región sea a menudo inadecuada para las especies objeto, o que sea probable que lo sea en el futuro, puede ser prudente trasladar las granjas (por ejemplo, para acuicultura) o planificar un cambio de zonas de pesca o de especies objeto (Hobday et al., 2018). La gestión y el monitoreo de especies objeto podrían beneficiarse de la recopilación de datos por y para los propios pescadores, quienes tienen una visión directa de las fluctuaciones de las poblaciones de especies. Esta estrategia puede brindarles la oportunidad a los pescadores de participar en la recopilación de datos esenciales para la gestión de especies que, de otro modo, suelen carecer de datos (Lozada Pérez et al., 2022; Quinlan et al., 2023).

Referencias

- Agar, Juan J, Manoj Shrivani, and Daniel Matos-Caraballo. 2020. "The Aftermath of Hurricane María on Puerto Rican Small-Scale Fisheries." *Coastal Management* 48 (5): 378–97. <https://doi.org/10.1080/08920753.2020.1795967>.
- Atzori, Roberta, Alan Fyall, and Graham Miller. 2018. "Tourist Responses to Climate Change: Potential Impacts and Adaptation in Florida's Coastal Destinations." *Tourism Management* 69 (December): 12–22. <https://doi.org/10.1016/J.TOURMAN.2018.05.005>.
- Bacheler, Nathan M., and Kyle W. Shertzer. 2020. "Catchability of Reef Fish Species in Traps Is Strongly Affected by Water Temperature and Substrate." *Marine Ecology Progress Series* 642 (May): 179–90. <https://doi.org/10.3354/MEPS13337>.
- Bellquist, Lyall, Vienna Saccomanno, Brice X. Semmens, Mary Gleason, and Jono Wilson. 2021. "The Rise in Climate Change-Induced Federal Fishery Disasters in the United States." *PeerJ* 9 (April): e11186. <https://doi.org/10.7717/peerj.11186>.
- Brimicombe, Chloe, Chun Hay Brian Lo, Florian Pappenberger, Claudia di Napoli, Pedro Maciel, Tiago Quintino, Rosalind Cornforth, and Hannah L. Cloke. 2023. "Wet Bulb Globe Temperature: Indicating Extreme Heat Risk on a Global Grid." *GeoHealth* 7 (2): e2022GH000701. <https://doi.org/10.1029/2022GH000701>.
- Cox, David K, and Charles C Coutant. 1981. "Growth Dynamics of Juvenile Striped Bass as Functions of Temperature and Ration." *Transactions of the American Fisheries Society* 110 (2): 226–38. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1981\)110%3C226:GDOJ SB%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1981)110%3C226:GDOJ SB%3E2.0.CO;2).
- Davis, Harry C, and Anthony Calabrese. 1964. "Combined Effects of Temperature and Salinity on Development of Eggs and Growth of Larvae of *M. Mercenaria* and *C. Virginiana*." *Fishery Bulletin* 63 (3).
- Farchadi, Nima, Heather Welch, Camrin D. Braun, Andrew J. Allyn, Steven J. Bograd, Stephanie Brodie, Elliott L. Hazen, et al. 2024. "Marine Heat Waves Redistribute Pelagic Fishing Fleets." *Fish and Fisheries* 25 (4): 602–18. <https://doi.org/10.1111/FAF.12828>.
- Gale, Marika Kirstin, Scott G. Hinch, and Michael R. Donaldson. 2013. "The Role of Temperature in the Capture and Release of Fish." *Fish and Fisheries* 14 (1): 1–33. <https://doi.org/10.1111/J.1467-2979.2011.00441.X>.
- Hobday, Alistair J., Claire M. Spillman, J. Paige Eveson, Jason R. Hartog, Xuebin Zhang, and Stephanie Brodie. 2018. "A Framework for Combining Seasonal Forecasts and Climate Projections to Aid Risk Management for Fisheries and Aquaculture." *Frontiers in Marine Science* 5 (APR): 331717. doi: 10.3389/fmars.2018.00137
- Johnson, G. David, Cecelia Formichella, J. Stephen Thomas, Dulal Bhaumik, Frank v. Degruy, and Catherine A. Riordan. 1998. "Stress and Distress among Gulf of Mexico Shrimp Fisherman." *Human Organization* 57 (4): 404–13.
- Lozada Perez, Coral Marie, David Yoskowitz, and Richard McLaughlin. 2022. "Livelihoods in Transition across the Gulf of Mexico: A Three Case Study Approach." ProQuest Dissertations and Theses. United States -- Texas: Texas A&M University - Corpus Christi.
- Motha, Raymond P. 2011. "The Impact of Extreme Weather Events on Agriculture in the United States." In *Challenges and Opportunities in Agrometeorology*, edited by S.D. Attri, L.S Rathore, M.V.K. Sivakumar, and S.K. Dash, 1st ed., 397–407. Springer, Berlin, Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-642-19360-6_30.
- National Marine Fisheries Service. 2024. "Fisheries Economics of the United States, 2022." U.S. Dept. of Commerce, NOAA Tech. Memo. NMFS-F/SPO-248B. <https://s3.amazonaws.com/media.fisheries.noaa.gov/2024-11/FEUS-2022-SPO248B.pdf>.
- NOAA Fisheries. 2024. "Southeast: Fisheries." 2024. <https://www.fisheries.noaa.gov/region/southeast/fisheries>.
- Pershing, Andrew J, Katherine E Mills, Alexa M Dayton, Bradley S Franklin, and Brian T Kennedy. 2018. "EVIDENCE FOR ADAPTATION FROM THE 2016 MARINE HEATWAVE IN THE NORTHWEST ATLANTIC OCEAN." *Oceanography* 31 (2): 152–61. <https://www.jstor.org/stable/26542661>.
- Plumlee, Jeffrey D, Sean P Powers, David L Kimbro, John C Lehrter, Jason Herrmann, and John Mareska. 2024. "Increasing Duration of Heat Waves Poses a Threat to Oyster Sustainability in the Gulf of Mexico." *Ecological Indicators* 162: 112015. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112015>.
- Quinlan, John A, Mark Nelson, Caitlyn Savoia, Rachel Skubel, James D Scott, Lisa Ailloud, Cameron Ainsworth, et al. 2023. "Results from the Gulf of Mexico Climate Vulnerability Analysis for Fishes and Invertebrates." NOAA Technical Memorandum. <https://doi.org/10.25923/5svf-se47>.
- Ramenzoni, Victoria C, Daily Borroto Escuela, Armando Rangel Rivero, Patricia González-Díaz, Vanessa Vázquez Sánchez, Laura López-Castañeda, Armando Falcón Méndez, et al. 2020. "Vulnerability of Fishery-Based Livelihoods to Extreme Events: Local Perceptions of Damages from Hurricane Irma and Tropical Storm Alberto in Yaguajay, Central Cuba." *Coastal Management* 48 (5): 354–77. <https://doi.org/10.1080/08920753.2020.1802198>.
- Rutty, Michelle, Micah Hewer, Natalie Knowles, and Siyao Ma. 2022. "Tourism & Climate Change in North America: Regional State of Knowledge." *Journal of Sustainable Tourism* 32 (9): 1924–47. <https://doi.org/10.1080/09669582.2022.2127742>.
- Smith, Kathryn E., Michael T. Burrows, Alistair J. Hobday, Nathan G. King, Pippa J. Moore, Alex sen Gupta, Mads S. Thomsen, Thomas Wernberg, and Dan A. Smale. 2023. "Biological Impacts of Marine Heat Waves." *Annual Review of Marine Science* 15 (Volume 15, 2023): 119–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437>.
- Solís, Daniel, Larry Perruso, Julio del Corral, Brent Stoffle, and David Letson. 2013. "Measuring the Initial Economic Effects of Hurricanes on Commercial Fish Production: The US Gulf of Mexico Grouper (Serranidae) Fishery." *Natural Hazards* 66 (2): 271–89. <https://doi.org/10.1007/s11069-012-0476-y>.
- Solís, Daniel, Juan J. Agar, and Julio del Corral. 2020. "Diversification, Efficiency and Productivity in Catch Share Fisheries." *Fisheries Research* 226 (June): 105532. <https://doi.org/10.1016/J.FISHRES.2020.105532>.



Floraciones de algas nocivas

Mensaje clave

Cuando hay altos niveles de nutrientes, las olas de calor marinas pueden agravar las posibles floraciones algales nocivas. Sin embargo, con bajos niveles de nutrientes (y generalmente en el Golfo), las temperaturas elevadas se asocian con una reducción de floraciones algales nocivas.

Descripción general

Las olas de calor marinas se definen como períodos prolongados de temperaturas anormalmente cálidas (superiores a lo normal) en el océano. Estas temperaturas, superiores a lo habitual, afectan a los organismos marinos, incluidas las algas. Este informe se centrará en las microalgas; véase el breve informe sobre sargazos para un análisis de una macroalga común.

Las algas son pequeños organismos que, al igual que las plantas, utilizan la fotosíntesis para convertir la energía solar en alimento. Son acuáticas y se encuentran en arroyos, ríos y océanos. Algunas algas producen toxinas que afectan a los peces y otros organismos, incluyendo a los humanos. Cuando hay una gran cantidad de plancton tóxico, esto se describe como una floración algal nociva. Dependiendo de la especie que causa la floración algal nociva y el modo en que el agua se decolora, las floraciones también se denominan mareas rojas, mareas amarillas o mareas marrones. En el Golfo, la especie predominante de floraciones algales nocivas que causa la marea roja es *Karenia brevis*, aunque también hay otras especies presentes en el Golfo y el Caribe (p. ej., *Aureoumbra lagunensis*, *Alexandrium monilatum*, especies de *Karlodinium* y especies de *Ostreopsis* (National Ocean Service, 2024; NOAA, 2016; U.S. National Office for Harmful Algal Blooms, 2019).

Las temperaturas más altas causadas por las olas de calor marinas pueden aumentar o disminuir la biomasa de algas dependiendo de otras condiciones presentes, especialmente los niveles y las proporciones de nutrientes (como la proporción de nitrógeno y fósforo). En zonas con pocos nutrientes, las altas temperaturas suelen provocar una disminución de la biomasa de algas y, por lo tanto, reducen la probabilidad de una floración algal (Errera et al., 2014; Hayashida et al., 2020; Sen Gupta et al., 2020; Tominack et al., 2020; Zhan et al., 2024). A temperaturas más altas, el plancton necesita consumir más energía para sobrevivir con tasas metabólicas más altas. Como resultado, necesita producir o adquirir más alimento. Si no hay suficientes nutrientes o no hay combinaciones adecuadas de nutrientes (especialmente nitrógeno para *K. brevis* en el Golfo (Vargo et al., 2008), muere, lo que reduce su biomasa, aunque las especies más pequeñas podrían sobrevivir (Zhan et al., 2024). Sin embargo, en condiciones de altos niveles de nutrientes, las temperaturas más altas pueden promover el crecimiento de algas, ya que pueden satisfacer la mayor demanda metabólica (Hayashida et al., 2020; Sen Gupta et al., 2020). En lugar de morir, pueden crecer y/o reproducirse más rápidamente. Sin embargo,



Olas de calor marinas y las floraciones algales nocivas:

El impacto de las olas de calor en las floraciones de algas nocivas depende de múltiples factores, como las condiciones nutricionales y otras variables ambientales. Foto: Nadine Slimak

otras variables ambientales (como la velocidad del viento, la salinidad, la disponibilidad de luz, las corrientes oceánicas y las concentraciones de dióxido de carbono) también pueden influir en la biomasa de *K. brevis* (Errera et al., 2014; Tominack et al., 2020). Por ejemplo, en zonas donde la surgencia aporta nutrientes, si las olas de calor marinas se asocian con una reducción de la surgencia, puede haber disminuciones en la biomasa algal debido a la combinación del aumento de temperatura y la reducción de nutrientes debido al debilitamiento de la surgencia (Zhan et al., 2024).

Esto significa que, dependiendo de las concentraciones de nutrientes, las olas de calor marinas (especialmente cuando elevan las temperaturas por encima de 27C-30 C en el caso de *Karenia brevis*) pueden ser o preocupantes o hasta beneficiosas. Los estudios que analizan *Karenia brevis* en el Golfo (específicamente en Florida y Texas — Errera et al., 2014; Tominack et al., 2020) generalmente han observado efectos beneficiosos, donde las temperaturas más altas se asocian con una reducción de la biomasa de *K. brevis*. Sin embargo, existe evidencia contradictoria sobre si las altas temperaturas aumentarán la toxicidad de las floraciones algales nocivas (Griffith y Gobler, 2020), por lo que sigue siendo importante monitorear las aguas costeras tanto para detectar la presencia como la toxicidad de las floraciones algales nocivas.

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Los análisis a menudo utilizan datos de temperatura de la superficie del mar derivados por satélite (p. ej., Sen Gupta et al., 2020; Zhan et al., 2024), aunque algunos utilizan productos que integran la temperatura de la superficie del mar con datos in situ para obtener un poco más de profundidad (p. ej., 1-5 m para Hayashida et al., 2020).

- Por encima de 27 °C-30 °C para *Karenia brevis* en el Golfo (Errera et al., 2014; Tominack et al., 2020)
- Definición general de ola de calor marina de Hobday et al., 2016

Recursos y comunidades de práctica

- GCOOS HABScope (<https://habforecast.gcoos.org>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org>)
- HABCAST (<https://www.flseagrant.org/harmful-algal-blooms/habcast/>)
- National Harmful Algal Bloom Observing Network (<https://ioosassociation.org/nhabon/>)
- Santuarios Marinos Nacionales (<https://sanctuaries.noaa.gov/involved/>)
- One Health Harmful Algal Bloom Community of Practice (<https://www.cdc.gov/harmful-algal-blooms/programs/index.html>)
- CDC Enfermedades asociadas a la proliferación de algas nocivas (<https://www.cdc.gov/harmful-algal-blooms/es/site.html>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)

Referencias

- Errera, R M, S Yvon-Lewis, J D Kessler, and L Campbell. 2014. "Responses of the Dinoflagellate *Karenia Brevis* to Climate Change: PCO2 and Sea Surface Temperatures." *Harmful Algae* 37: 110–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hal.2014.05.012>.
- Griffith, Andrew W, and Christopher J Gobler. 2020. "Harmful Algal Blooms: A Climate Change Co-Stressor in Marine and Freshwater Ecosystems." *Harmful Algae* 91: 101590. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.hal.2019.03.008>.
- Hayashida, Hakase, Richard J Matear, and Peter G Strutton. 2020. "Background Nutrient Concentration Determines Phytoplankton Bloom Response to Marine Heat Waves." *Global Change Biology* 26 (9): 4800–4811. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/gcb.15255>.
- Hobday, Alistair J., Lisa v. Alexander, Sarah E. Perkins, Dan A. Smale, Sandra C. Straub, Eric C.J. Oliver, Jessica A. Benthuyssen, et al. 2016. "A Hierarchical Approach to Defining Marine Heat Waves." *Progress in Oceanography* 141 (February): 227–38. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2015.12.014>.
- National Ocean Service. 2024. "What Are Phytoplankton?" June 16, 2024. <https://oceanservice.noaa.gov/facts/phyto.html>.
- NOAA. 2016. "What Is a Harmful Algal Bloom?" April 27, 2016. <https://www.noaa.gov/what-is-harmful-algal-bloom>.
- Sen Gupta, Alex, Mads Thomsen, Jessica A Benthuyssen, Alistair J Hobday, Eric Oliver, Lisa v Alexander, Michael T Burrows, et al. 2020. "Drivers and Impacts of the Most Extreme Marine Heat Wave Events." *Scientific Reports* 10 (1): 19359. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75445-3>.
- Tominack, Sarah A, Kara Z Coffey, David Yoskowitz, Gail Sutton, and Michael S Wetz. 2020. "An Assessment of Trends in the Frequency and Duration of *Karenia Brevis* Red Tide Blooms on the South Texas Coast (Western Gulf of Mexico)." *PLOS ONE* 15 (9): e0239309-. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239309>.
- U.S. National Office for Harmful Algal Blooms. 2019. "HAB Species by Name." 2019. <https://hab.whoi.edu/species/species-by-name/>.
- Vargo, Gabriel A., Cynthia A. Heil, Kent A. Fanning, L. Kellie Dixon, Merrie Beth Neely, Kristen Lester, Danylle Ault, et al. 2008. "Nutrient Availability in Support of *Karenia Brevis* Blooms on the Central West Florida Shelf: What Keeps *Karenia* Blooming?" *Continental Shelf Research* 28 (1): 73–98. <https://doi.org/10.1016/J.CSR.2007.04.008>.
- Zhan, Weikang, Ming Feng, Ying Zhang, Xinchun Shen, Haigang Zhan, and Qingyou He. 2024. "Reduced and Smaller Phytoplankton during Marine Heat Waves in Eastern Boundary Upwelling Systems." *Communications Earth & Environment* 5 (1): 629. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01805-w>.



Aves marinas, mamíferos y tortugas marinas

Mensaje clave

Las olas de calor marinas tienen efectos principalmente indirectos en aves marinas, mamíferos y tortugas marinas. El aumento de la temperatura del agua, especialmente durante la época reproductiva, puede afectar la disponibilidad de presas y la calidad del hábitat, así como modificar las fechas de migración y la distribución general de las especies.

Descripción general

Las olas de calor marinas, períodos de temperaturas oceánicas elevadas, afectan a los organismos marinos o a quienes dependen del océano para su alimentación. Aquí, utilizamos el término megafauna para referirnos a especies relativamente grandes que dependen de los ecosistemas marinos, específicamente aves marinas, mamíferos y tortugas marinas (los tiburones se incluyen en la sección sobre peces). Estas se agrupan debido a la escasez de datos, pero debido a las diferencias en su biología, los impactos de las olas de calor marinas también varían considerablemente. Por lo tanto, aquí nos centramos en las tendencias generales.

A escala global, a menudo las olas de calor marinas tienen efectos negativos en aves y mamíferos (Smale et al., 2019). La mayoría de las investigaciones se han centrado en los impactos indirectos de las olas de calor marinas en la megafauna (p. ej., debido a cambios en la distribución de presas o peligros como las toxinas de las floraciones algales nocivas (Cavole et al., 2016; Smith et al., 2023; Woehler y Hobday, 2023)). Estos efectos indirectos pueden ser positivos o negativos. Por ejemplo, los huracanes, que a menudo son más intensos y frecuentes con las olas de calor marinas, reestructuran los ecosistemas costeros y suelen afectar negativamente a las aves de pantano a corto plazo, aunque a largo plazo suelen recuperarse e incluso prosperar gracias a la perturbación (Woodrey et al., 2012). Si una ola de calor marina se acompaña de una mayor estratificación del agua, las presas de las aves marinas pueden concentrarse más cerca de la superficie o volverse inaccesibles y difíciles de alcanzar, lo que influye en la condición corporal de las aves y, en última instancia, en su supervivencia (Woehler y Hobday, 2023). Los efectos directos son menos claros. Los efectos directos del aumento de la temperatura del agua y del aire en las inmediaciones sobre los cetáceos (es decir, ballenas y delfines) parecen ser mínimos, al menos para las poblaciones de alta mar (Lettrich et al., 2023). Sin embargo, las altas temperaturas del aire, que pueden acompañar a las olas de calor marinas, pueden reducir el éxito de la eclosión y generar proporciones de sexos sesgadas en las crías de algunas tortugas marinas (Laloë et al., 2016; Lolavar y Wyneken, 2020).

Ciertas características pueden hacer que las poblaciones o especies sean más susceptibles a los impactos negativos de las olas de calor marinas. Por ejemplo, las especies con tiempos de generaciones largos o con tasas de crecimiento poblacional lentas tendrán más dificultades para recuperarse de las disminuciones de su población, incluidas las provocadas por la mortalidad inducida por la temperatura (p. ej.,



Zonas de alimentación de las tortugas marinas:

Las tortugas marinas pueden expandir su área de distribución cientos de kilómetros más allá de sus límites habituales en respuesta a las olas de calor marina. Foto: Josué Rodríguez

los cachalotes tienen un tiempo de generación de 26 a 32 años, con un intervalo entre nacimientos de 4 a 7 años (Lettrich et al., 2023)). La especificidad de la dieta y el hábitat puede aumentar la vulnerabilidad de las especies a los cambios climáticos en general, incluyendo el aumento de las temperaturas oceánicas (Lettrich et al., 2023). Por ejemplo, las aves marinas y los pinnípedos (p. ej., las focas) a menudo dependen de zonas de reproducción específicas y, por lo tanto, pueden experimentar mortalidad o fallos reproductivos debido a cambios en la cantidad de presas cerca de dichas zonas de reproducción (Smith et al., 2023; Woehler y Hobday, 2023). Sin embargo, algunas especies (como el ave marina tropical Pardela de Audubon) pueden adaptarse bien a las temperaturas de la superficie del mar más cálidas si estas ocurren durante la temporada no reproductiva (Precheur et al., 2016; Woehler y Hobday, 2023).

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Los umbrales de temperatura varían considerablemente según la especie y la población.

Gran parte de la megafauna considerada aquí son especies con alta movilidad. Por lo tanto, las olas de calor marinas pueden provocar grandes cambios en la distribución de las especies. Por ejemplo, las tortugas marinas pueden expandir su área de distribución cientos de kilómetros más allá de sus límites habituales en respuesta a las olas de calor marinas (Smith et al., 2023). Algunas aves marinas podrían modificar sus fechas de migración debido a las olas de calor marinas, lo que a menudo resulta en un menor éxito reproductivo y, finalmente, una disminución de las poblaciones (Woehler y Hobday, 2023). Estos cambios pueden facilitar el turismo, pero también pueden aumentar el riesgo de que los mamíferos y tortugas marinos se enreden en las artes de pesca (Smith et al., 2023).

Esto significa que, si bien se han identificado pocos impactos directos de las olas de calor marinas en la megafauna del Caribe y del Golfo, existen numerosos posibles impactos indirectos. Las especies que dependen de presas o hábitats específicos pueden ser especialmente vulnerables. Las especies con menor especificidad de hábitat pueden cambiar sus áreas de distribución, especialmente si las olas de calor ocurren durante la temporada no reproductiva. Aún hay mucha incertidumbre sobre cómo las olas de calor marinas afectarán a las comunidades regionales de megafauna, pero ejemplos del oeste de Australia y la costa del Pacífico de Norteamérica muestran que las olas de calor marinas extremas pueden tener un impacto significativo en las redes tróficas marinas y, por consiguiente, en la megafauna marina (Cavole et al., 2016; Nowicki et al., 2019; Smith et al., 2023; Woehler y

Recursos y comunidades de práctica

- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- National Marine Sanctuaries (<https://sanctuaries.noaa.gov/espanol/>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- U.S. Marine Biodiversity Observation Network (<https://marinebon.org/us-mbon/>)

Hobday, 2023). Por lo tanto, la gestión de la megafauna marina se beneficiaría de una estrategia basada en el ecosistema, protegiendo las poblaciones de presas clave y los hábitats de reproducción junto con los individuos de las especies de interés. Sin embargo, a medida que las especies se desplazan, puede ser prudente adaptar proactivamente las actividades cercanas, como la pesca y el turismo, para evitar conflictos y aumentar los beneficios de la megafauna marina en lugares inusuales.

Referencias

- Cavole, Leticia M, Alyssa M Demko, Rachel E Diner, Ashlyn Giddings, Irina Koester, Camille M L S Pagniello, May-Linn Paulsen, et al. 2016. "Biological Impacts of the 2013–2015 Warm-Water Anomaly in the Northeast Pacific: Winners, Losers, and the Future." *Oceanography* 29 (2): 273–85. <http://www.jstor.org/stable/24862690>.
- Laloë, Jacques Olivier, Nicole Esteban, Jessica Berkel, and Graeme C. Hays. 2016. "Sand Temperatures for Nesting Sea Turtles in the Caribbean: Implications for Hatchling Sex Ratios in the Face of Climate Change." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 474 (January): 92–99. <https://doi.org/10.1016/j.jembe.2015.09.015>.
- Lettrich, Matthew D., Michael J. Asaro, Diane L. Borggaard, Dorothy M. Dick, Roger B. Griffis, Jenny A. Litz, Christopher D. Orphanides, et al. 2023. "Vulnerability to Climate Change of United States Marine Mammal Stocks in the Western North Atlantic, Gulf of Mexico, and Caribbean." *PLOS ONE* 18 (9): e0290643. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PONE.0290643>.
- Lolavar, Alexandra, and Jeanette Wyneken. 2020. "The Impact of Sand Moisture on the Temperature-Sex Ratio Responses of Developing Loggerhead (Caretta caretta) Sea Turtles." *Zoology* 138 (February). <https://doi.org/10.1016/j.zool.2019.125739>.
- Nowicki, Robert, Michael Heithaus, Jordan Thomson, Derek Burkholder, Kirk Gastrich, and Aaron Wirsing. 2019. "Indirect Legacy Effects of an Extreme Climatic Event on a Marine Megafaunal Community." *Ecological Monographs* 89 (3): e01365. <https://doi.org/10.1002/ECM.1365>.
- Oswald, Stephen A., and Jennifer M. Arnold. 2024. "Challenges of Quantifying Direct Heat Stress Effects of Climate Change on Seabirds." *Marine Ecology Progress Series* 737 (June): 25–29. <https://doi.org/10.3354/meps14324>.
- Precheur, Carine, Christophe Barbraud, Fred Martail, Maurice Mian, Jean Claude Nicolas, Ronald Brithmer, David Belfan, Béatrice Conde, and Vincent Bretagnolle. 2016. "Some like It Hot: Effect of Environment on Population Dynamics of a Small Tropical Seabird in the Caribbean Region." *Ecosphere* 7 (10): e01461. <https://doi.org/10.1002/ECS2.1461>.
- Smale, Dan A, Thomas Wernberg, Eric C J Oliver, Mads Thomsen, Ben P Harvey, Sandra C Straub, Michael T Burrows, et al. 2019. "Marine Heat Waves Threaten Global Biodiversity and the Provision of Ecosystem Services." *Nature Climate Change* 9 (4): 306–12. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0412-1>.
- Smith, Kathryn E., Michael T. Burrows, Alistair J. Hobday, Nathan G. King, Pippa J. Moore, Alex sen Gupta, Mads S. Thomsen, Thomas Wernberg, and Dan A. Smale. 2023. "Biological Impacts of Marine Heat Waves." *Annual Review of Marine Science* 15 (Volume 15, 2023): 119–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437>.
- Watwood, Stephanie L., Patrick J.O. Miller, Mark Johnson, Peter T. Madsen, and Peter L. Tyack. 2006. "Deep-Diving Foraging Behaviour of Sperm Whales (Physeter macrocephalus)." *Journal of Animal Ecology* 75 (3): 814–25. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2006.01101.x>.
- Woehler, Eric J., and Alistair J. Hobday. 2023. "Impacts of Marine Heat Waves May Be Mediated by Seabird Life History Strategies." *Marine Ecology Progress Series*. Inter-Research. <https://doi.org/10.3354/meps14333>.
- Woodrey, Mark S., Scott A. Rush, Julia A. Cherry, Bryan L. Nuse, Robert J. Cooper, and Anna Joy J. Lehmickie. 2012. "Understanding the Potential Impacts of Global Climate Change on Marsh Birds in the Gulf of Mexico Region." *Wetlands* 32 (1): 35–49. <https://doi.org/10.1007/S13157-011-0264-6/>.



Ostra oriental (*Crassostrea virginica*)

Mensaje clave

Las olas de calor marinas (especialmente con temperaturas superiores a 30 °C) pueden disminuir el éxito del ostión del este (*Crassostrea virginica*) a lo largo de las etapas de su vida, desde la fecundación y eclosión hasta la supervivencia adulta

Descripción general

Las olas de calor marinas, períodos prolongados de temperaturas oceánicas superiores a lo normal, afectan a diversas especies marinas, incluidos los ostiones. Los ostiones son moluscos bivalvos que proporcionan un hábitat para otras especies, contribuyen a la filtración del agua y proporcionan alimento para comunidades costeras (NOAA Fisheries, 2024). *Crassostrea virginica* o el ostión del este es la única especie de ostión nativo de la costa atlántica de Norteamérica. Solía ser muy abundante, pero sus números han disminuido. *C. virginica* crece en las aguas costeras de los cinco estados de los EE. UU. del Golfo y hasta el Golfo de San Lorenzo en Canadá, usualmente en aguas de menos de 10 m de profundidad (Anson, 2011; NOAA Fisheries, 2024).

Las olas de calor marinas afectan a los ostiones en todas sus etapas de vida. A altas temperaturas, especialmente por encima de 27-30 °C, *C. virginica* puede sufrir una disminución del éxito de la fecundación, una disminución de la tasa de eclosión, una disminución de la microdureza de la concha, un aumento del estrés oxidativo, una disminución del crecimiento y un aumento de la mortalidad (Ivanina et al., 2013; Lowe et al., 2017; Matoo et al., 2013; McFarland et al., 2022; Rybovich et al., 2016). También hay evidencia de que sus tasas metabólicas aumentan a altas temperaturas (Ivanina et al., 2013), lo que puede ser especialmente problemático si sus fuentes de alimento no pueden tolerar altas temperaturas, lo que lleva a los ostiones a morir de hambre (Davis y Calabrese, 1964). Debido a estos impactos, más de 11 días con temperaturas superiores al percentil 90 de la temperatura normal han provocado un bajo reclutamiento de ostiones en las granjas ostrícolas del Golfo (Plumlee et al., 2024). Los ostiones también pueden verse afectadas por la salinidad alta o baja, lo que puede agravar los impactos de las olas de calor marinas (especialmente con salinidad inferior a 10 (Lowe et al., 2017; McFarland et al., 2020; Rybovich et al., 2016).

Por lo tanto, cuando hay una ola de calor marina (especialmente con temperaturas superiores a 30 °C), si bien se puede sobrevivir a unos pocos días de exposición moderada, sería prudente implementar una gestión para reducir la exposición de los ostiones al calor, minimizar otros factores estresantes (especialmente la salinidad) o prepararse para una cosecha reducida.



Supervivencia del ostión del este: Las olas de calor marinas afectan a los ostiones en todas sus etapas de vida, especialmente cuando se combinan con otros factores estresantes. Foto: NOAA

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Gran parte de los artículos que estudian los impactos de la temperatura en los ostiones fueron experimentales, los cuales utilizaron datos de temperatura obtenidos en tanques (Ivanina et al., 2013; Matoo et al., 2013; McFarland et al., 2022). Sin embargo, también se ha utilizado la temperatura del aire (evaluada para comprobar su coherencia con las temperaturas de la superficie del mar) (Plumlee et al., 2024).

- En el caso de *Crassostrea virginica*, generalmente se observan signos de estrés, disminución del éxito reproductivo y aumento de la mortalidad a temperaturas superiores a 27-30 °C (Ivanina et al., 2013; Lowe et al., 2017; Matoo et al., 2013; McFarland et al., 2022; Rybovich et al., 2016).
- Más de 11 días en condiciones de ola de calor marina, según la definición de Hobday et al., 2016, se asocian con un reclutamiento deficiente en las bahías de Mobile y Apalachicola (Plumlee et al., 2024).

Recursos y comunidades de práctica

- Aquaculture Information Exchange (<https://aquainfoexchange.org/register/>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Gulf Shellfish Institute (<https://www.gulfshellfish.org/>)
- Gulf Region Oyster Network (<https://estuaries.org/oyster-network/>)
- Oyster Community of Practice (<https://masgc.org/oyster-community-of-practice-summary>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- Shellfish Growers Climate Coalition (<https://www.nature.org/en-us/what-we-do/our-priorities/tackle-climate-change/climate-change-stories/shellfish-growers-climate-coalition/>)
- U.S. Marine Biodiversity Observation Network (<https://marinebon.org/us-mbon/>)

Referencias

- Anson K, Arnold W, Banks P, Berrigan M, Pollack J, Randall B, Reed D. Eastern Oyster In Gulf of Mexico Data Atlas (Internet). Stennis Space Center (MS): National Centers for Environmental Information; 2011. (6 screens). Available from: <https://gulfatlas.noaa.gov/>.
- Davis, Harry C, and Anthony Calabrese. 1964. "Combined Effects of Temperature and Salinity on Development of Eggs and Growth of Larvae of *M. mercenaria* and *C. virginiana*." *Fishery Bulletin* 63 (3).
- Hobday, Alistair J., Lisa v. Alexander, Sarah E. Perkins, Dan A. Smale, Sandra C. Straub, Eric C.J. Oliver, Jessica A. Benthuyssen, et al. 2016. "A Hierarchical Approach to Defining Marine Heat Waves." *Progress in Oceanography* 141 (February): 227–38. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2015.12.014>.
- Ivanina, Anna v, Gary H Dickinson, Omera B Matoo, Rita Bagwe, Ashley Dickinson, Elia Beniash, and Inna M Sokolova. 2013. "Interactive Effects of Elevated Temperature and CO2 Levels on Energy Metabolism and Biomineralization of Marine Bivalves *Crassostrea Virginica* and *Mercenaria Mercenaria*." *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 166 (1): 101–11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2013.05.016>.
- Lowe, Michael R., Troy Sehlinger, Thomas M. Soniat, and Megan K.La Peyre. 2017. "Interactive Effects of Water Temperature and Salinity on Growth and Mortality of Eastern Oysters, *Crassostrea Virginica*: A Meta-Analysis Using 40 Years of Monitoring Data." 36 (3): 683–97. <https://doi.org/10.2983/035.036.0318>.
- Matoo, Omera B, Anna v Ivanina, Claus Ullstad, Elia Beniash, and Inna M Sokolova. 2013. "Interactive Effects of Elevated Temperature and CO2 Levels on Metabolism and Oxidative Stress in Two Common Marine Bivalves (*Crassostrea Virginica* and *Mercenaria Mercenaria*)." *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology* 164 (4): 545–53. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2012.12.025>.
- McFarland, K, J Vignier, E Standen, and A K Voley. 2022. "Synergistic Effects of Salinity and Temperature on the Eastern Oyster *Crassostrea Virginica* throughout the Lifespan." *Marine Ecology Progress Series* 700: 111–24. <https://www.int-res.com/abstracts/meps/v700/p111-124/>.
- NOAA Fisheries. 2024. "Eastern Oyster." September 6, 2024. <https://www.fisheries.noaa.gov/species/eastern-oyster>.
- Plumlee, Jeffrey D, Sean P Powers, David L Kimbro, John C Lehrter, Jason Herrmann, and John Mareska. 2024. "Increasing Duration of Heat Waves Poses a Threat to Oyster Sustainability in the Gulf of Mexico." *Ecological Indicators* 162: 112015. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2024.112015>.
- Quinlan, John A, Mark Nelson, Caitlyn Savoia, Rachel Skubel, James D Scott, Lisa Ailloud, Cameron Ainsworth, et al. 2023. "Results from the Gulf of Mexico Climate Vulnerability Analysis for Fishes and Invertebrates." NOAA Technical Memorandum. <https://doi.org/10.25923/5svf-se47>.
- Rybovich, Molly, Megan K. la Peyre, Steven G. Hall, and Jerome F. la Peyre. 2016. "Increased Temperatures Combined with Lowered Salinities Differentially Impact Oyster Size Class Growth and Mortality." 101–13. <https://doi.org/10.2983/035.035.0112>.



Sargazo

Mensaje clave

Las olas de calor marinas pueden provocar disminuciones en la biomasa de sargazo durante los calurosos meses de verano (tanto por un menor crecimiento como por un aumento de la mortalidad), pero el sargazo ha aparecido regularmente en la región desde 2011 y es probable que permanezca, aunque el momento de su llegada puede cambiar.

Descripción general

Las olas de calor marinas, períodos prolongados de temperaturas elevadas, pueden afectar a las especies marinas, incluyendo el sargazo. El sargazo es un género de algas pardas que flotan en el agua en lugar de adherirse al fondo marino (NOAA, 2024). El sargazo puede servir de alimento y hábitat a diversas especies marinas; es esencial para especies pesqueras como el pez limón, el pez ballesta común y la tortuga caguama. Sin embargo, al ser empujado hacia la costa, puede obstruir las tuberías de entrada de agua, causar irritación respiratoria y ocasionar costosas limpiezas (NOAA, 2024; National Ocean Service, 2023; Zhang et al., 2024). El sargazo constituye una parte esencial del Mar de los Sargazos, una zona oceánica frente a la costa atlántica de Estados Unidos, delimitada en parte por la Corriente del Golfo. Sin embargo, el Atlántico tropical experimenta actualmente un gran aumento de biomasa de sargazo casi anualmente, y este puede desplazarse entre el Caribe, el Golfo y el Atlántico tropical mediante corrientes, vientos y remolinos (Marsh et al., 2022; Podlejski et al., 2024; Zhang et al., 2024). Varias islas del Caribe han experimentado recientemente un gran aumento de biomasa de sargazo que afecta el uso de las playas y la pesca (Hayward y Joseph, 2018).

El crecimiento del sargazo disminuye y la mortalidad aumenta a altas temperaturas, aunque los umbrales específicos varían según la especie, el subtipo y la región. El crecimiento del sargazo en el Mar de los Sargazos y la Corriente del Golfo disminuye y la mortalidad aumenta con temperaturas del agua superiores a 28-30 °C (Marsh et al., 2022; Marsh et al., 2023; Podlejski et al., 2024). Sin embargo, estos límites térmicos podrían no ser los mismos en el Caribe y el Golfo; por ejemplo, una especie muestreada cerca de Puerto Morelos, México, presentó un mayor crecimiento a 31 °C que a 28 °C (Magaña-Gallegos et al., 2023; Marsh et al., 2023). Por lo tanto, se necesita más investigación de las poblaciones de sargazo regionales para confirmar los límites térmicos locales. Sin embargo, el aumento general de las temperaturas podría provocar cambios en la composición de especies de sargazo hacia especies o subtipos más tolerantes a la temperatura y, dependiendo de la época del año, provocar cambios en el momento de su llegada en una determinada región (Marsh et al., 2023; Podlejski et al., 2024). También es posible que las olas de calor marinas puedan estresar indirectamente a macroalgas como sargazo debido a cambios en la herbivoría o daños causados por tormentas, pero estos impactos son poco conocidos, especialmente en la región (Straub et al., 2019).



Hábitat esencial: El sargazo constituye un hábitat esencial para la tortuga caguama y otras especies, pero al ser empujado hacia la costa puede causar diversos problemas. Foto: NOAA.

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Los tratamientos experimentales utilizaron registradores de temperatura (Magaña-Gallegos et al., 2023), mientras que los análisis a mayor escala a menudo se basan en la temperatura de la superficie del mar, ya que el sargazo flota principalmente en la superficie cuando está vivo (Marsh et al., 2023).

- Aumento de la mortalidad y disminución del crecimiento por encima de los 28-30 °C en el Mar de los Sargazos (Marsh et al., 2022; Marsh et al., 2023)
- Disminución del crecimiento de *Sargassum natans* recolectados en Puerto Morelos, México entre 28 y 31 °C (Magaña-Gallegos et al., 2023)
- Crecimiento creciente de *Sargassum fluitans* recolectados en Puerto Morelos, México, entre 28 y 31 °C (Magaña-Gallegos et al., 2023)



Sargazo en la costa: Varias islas del Caribe han experimentado recientemente un gran aumento de biomasa de sargazo que afecta el uso de las playas y la pesca. Foto: NOAA/AOML

Recursos y Comunidades de práctica:

- EPA Eventos de inundación de sargazo (<https://www.epa.gov/habs/sargassum-inundation-events-sies-impacts-human-health>)
- NOAA office for coastal management (<https://coast.noaa.gov/>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- Sargasso Sea Commission (<https://www.sargassoseacommission.org/index.php>)
- University of South Florida satellite-based Sargassum Watch System (<https://optics.marine.usf.edu/projects/SaWS.html>)

Referencias

- Anna Hayward, R., and Debra D. Joseph. 2018. "Social Work Perspectives on Climate Change and Vulnerable Populations in the Caribbean: Environmental Justice and Health." 11 (5): 192–97. <https://doi.org/10.1089/ENV.2018.0008>.
- Magaña-Gallegos, Eden, Marta García-Sánchez, Caroline Graham, Aramis Olivios-Ortiz, Amy N.S. Siuda, and Brigitta I. van Tussenbroek. 2023. "Growth Rates of Pelagic Sargassum Species in the Mexican Caribbean." *Aquatic Botany* 185 (March): 103614. <https://doi.org/10.1016/J.AQUABOT.2022.103614>.
- Marsh, Robert, Hazel A. Oxenford, Shelly Ann L. Cox, Donald R. Johnson, and Joshua Bellamy. 2022. "Forecasting Seasonal Sargassum Events across the Tropical Atlantic: Overview and Challenges." *Frontiers in Marine Science* 9 (August): 914501. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2022.914501>.
- Marsh, Robert, Nikolaos Skliris, Emma L. Tompkins, Jadunandan Dash, Victoria Dominguez Almela, Thierry Tonon, Hazel A. Oxenford, and Mona Webber. 2023. "Climate-Sargassum Interactions across Scales in the Tropical Atlantic." *PLOS Climate* 2 (7): e0000253. <https://doi.org/10.1371/JOURNAL.PCLM.0000253>.
- National Ocean Service. 2023. "Sargassum: From Sea to Shore." September 20, 2023. <https://oceanservice.noaa.gov/news/sargassum/>
- NOAA. 2024. "What Is Sargassum?" August 21, 2024. <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/sargassum.html>.
- Podlejski, Witold, Léo Berline, Julien Jouanno, Nicolas Barrier, and Christophe Lett. 2024. "Drivers of Growth and Decay of Sargassum in the Tropical Atlantic: A Lagrangian Approach." *Progress in Oceanography* 229 (December): 103364. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2024.103364>.
- Straub, Sandra C., Thomas Wernberg, Mads S. Thomsen, Pippa J. Moore, Michael T. Burrows, Ben P. Harvey, and Dan A. Smale. 2019. "Resistance, Extinction, and Everything in Between – The Diverse Responses of Seaweeds to Marine Heat Waves." *Frontiers in Marine Science* 6 (December): 473578. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2019.00763>.
- Zhang, Yingjun, Chuanmin Hu, Dennis J. McGillicuddy, Brian B. Barnes, Yonggang Liu, Vassiliki H. Kourafalou, Shuai Zhang, and Frank J. Hernandez. 2024. "Pelagic Sargassum in the Gulf of Mexico Driven by Ocean Currents and Eddies." *Harmful Algae* 132 (February): 102566. <https://doi.org/10.1016/J.HAL.2023.102566>.

Pastos marinos

Mensaje clave

Es probable que las especies de pastos marinos del Golfo y el Caribe estén cerca de sus máximos térmicos y, por lo tanto, sean especialmente vulnerables a las olas de calor marinas del verano.

Descripción general

Las olas de calor marinas, períodos prolongados de temperaturas elevadas, tienen un fuerte impacto en especies que son elementos importantes de los ecosistemas marinos, incluidas los pastos marinos. Los pastos marinos son el único grupo de plantas marinas con flores. Proporcionan una variedad de servicios ecosistémicos, desde la captura de carbono hasta la crianza de peces y la estabilización de sedimentos (Nguyen et al., 2021). Dos especies nativas de pastos marinos en el Golfo y el Caribe son *Thalassia testudinum* (hierba de tortuga) y *Syringodium filiforme* (hierba de manatí) (Marbà et al., 2022). Otra especie, *Halophila stipulacea*, nativa del Mar Rojo y el Océano Índico, es cada vez más abundante en el Caribe y la costa de Florida (Wesselmann et al., 2021).

S. filiforme tiene un límite térmico superior más alto que *T. testudinum*, pero las olas de calor marinas estivales pueden superar la tolerancia térmica de ambas especies, lo que podría provocar eventos de muerte masiva, especialmente en estuarios poco profundos (p. ej., Carlson et al., 2018). En general, las plantas que viven en entornos con temperaturas más variables son más tolerantes a condiciones más cálidas que aquellas en condiciones térmicas más estables, pero las que viven en entornos poco profundos pueden estar expuestas a temperaturas especialmente altas que resultan letales (Carlson et al., 2018; Nguyen et al., 2021). Si bien la tolerancia térmica de *H. stipulacea* no es muy estudiado en el Caribe, su tolerancia térmica máxima en el Mar Rojo y el Mediterráneo es mayor que la de *S. filiforme* y *T. testudinum* (Wesselmann et al., 2020; Wesselmann et al., 2021). Esta mayor tolerancia significa que *H. stipulacea* podría ser menos vulnerable a temperaturas extremas que las otras dos especies nativas de pastos marinos.

Las praderas de pastos marinos pueden recuperarse de los eventos de muerte masiva si se restablecen las condiciones favorables (Carlson et al., 2018; Serrano et al., 2021). Sin embargo, si el estrés es lo suficientemente fuerte o duradero, puede haber cambios en las especies de pastos marinos dominantes o incluso un cambio desde los ecosistemas de pastos marinos hacia sistemas dominados por algas o por sustratos sin vegetación (Serrano et al., 2021; Smith et al., 2023). Incluso si los pastos marinos sobreviven, se han documentado otros impactos negativos de las altas temperaturas, como la disminución de la tasa de crecimiento, la degradación de la clorofila y el daño al ADN (Nguyen et al., 2021). Si bien los pastos marinos presentan diversas respuestas que les permiten tolerar cierto estrés térmico (por ejemplo, la asignación de mayor biomasa bajo tierra (Nguyen et al., 2021), las olas



Supervivencia de los pastos marinos: Los pastos marinos nativos del Golfo y el Caribe, como la hierba de tortuga, probablemente se encuentren cerca de sus tolerancias térmicas máximas, lo que las hace vulnerables a las olas de calor. Foto: Jon Brucker, DEP

de calor marinas en el Golfo y el Caribe podrían superar la capacidad de amortiguación de estas respuestas para las especies nativas de pastos marinos.

Por lo tanto, algunos pastos marinos nativos del Golfo y el Caribe son vulnerables, especialmente a las olas de calor marinas de verano, aunque la especie no nativa *H. stipulacea* podría ser menos afectada. El monitoreo y la restauración de praderas especialmente poco profundas o de especies más vulnerables pueden contribuir a la recuperación de los ecosistemas de pastos marinos tras las olas de calor marinas (Serrano et al., 2021).

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Los análisis a gran escala a veces utilizan temperaturas de la superficie del mar obtenidas remotamente (Carlson et al., 2018; Marbà et al., 2022). Sin embargo, los satélites pueden tener dificultades para detectar con precisión las temperaturas de aguas muy cercanas a la costa. Por lo tanto, los sensores in situ también son valiosos (Carlson et al., 2018).

- *Thalassia testudinum*: Alta mortalidad tras múltiples exposiciones de más de dos días a temperaturas de 32 °C a 33 °C (Florida) (Carlson et al., 2018; Marbà et al., 2022); alta mortalidad de pastos después de 4 semanas a 36 °C y 1 semana a 37 °C (Redfish Bay, TX) (McMillan, 1984); presenta mortalidad después de una exposición aguda (~24 horas) a 39 °C (Redfish Bay, TX) (McMillan, 1984)
- *Syringodium filiforme*: Alta mortalidad después de 4 semanas de exposición a 36 °C (Redfish Bay, TX) (Marbà et al., 2020; McMillan, 1984); alta mortalidad después de más de 6 horas de exposición a 39°C (Redfish Bay, TX y St. Croix, Islas Vírgenes) (McMillan, 1984)
- *Halophila stipulacea*: Alta mortalidad en torno

a 36 °C-39 °C dependiendo de la población (temperaturas más bajas en la costa de Grecia y Chipre; más altas en la costa de Arabia Saudita) (Wesselmann et al., 2020)

- *Halodule wrightii*: Alta mortalidad después de 4 semanas de exposición a 37 °C (Redfish Bay, TX) (McMillan, 1984); comienza a presentar mortalidad después de 72-120 horas de exposición a 39°C (Redfish Bay, TX) (McMillan, 1984)

Recursos y comunidades de práctica

- Seagrass Community of Practice (<http://gomseagrass.cnlworld.org/index.html>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrass.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- U.S. Marine Biodiversity Observation Network (<https://marinebon.org/us-mbon/>)

Referencias

- Carlson, Daniel F., Laura A. Yarbro, Sheila Scolaro, Michael Poniatowski, Vicki McGee-Absten, and Paul R. Carlson. 2018. "Sea Surface Temperatures and Seagrass Mortality in Florida Bay: Spatial and Temporal Patterns Discerned from MODIS and AVHRR Data." *Remote Sensing of Environment* 208 (April): 171–88. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2018.02.014>.
- Marbà, Núria, Gabriel Jordà, Scott Bennett, and Carlos M. Duarte. 2022. "Seagrass Thermal Limits and Vulnerability to Future Warming." *Frontiers in Marine Science* 9 (May): 860826. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2022.860826>.
- McMillan, Calvin. 1984. "The Distribution of Tropical Seagrasses with Relation to Their Tolerance of High Temperatures." *Aquatic Botany* 19 (3–4): 369–79. [https://doi.org/10.1016/0304-3770\(84\)90049-4](https://doi.org/10.1016/0304-3770(84)90049-4).
- Nguyen, Hung Manh, Peter J Ralph, Lázaro Marín-Guirao, Mathieu Pernice, and Gabriele Procaccini. 2021. "Seagrasses in an Era of Ocean Warming: A Review." *Biological Reviews* 96 (5): 2009–30. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/brv.12736>.
- Serrano, Oscar, Ariane Arias-Ortiz, Carlos M Duarte, Gary A Kendrick, Paul S Lavery, O Serrano, A Arias-Ortiz, C M Duarte, G A Kendrick, and P S Lavery. 2021. "Impact of Marine Heat Waves on Seagrass Ecosystems," 345–64. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71330-0_13.
- Smith, Kathryn E., Michael T. Burrows, Alistair J. Hobday, Nathan G. King, Pippa J. Moore, Alex sen Gupta, Mads S. Thomsen, Thomas Wernberg, and Dan A. Smale. 2023. "Biological Impacts of Marine Heat Waves." *Annual Review of Marine Science* 15 (Volume 15, 2023): 119–45. <https://doi.org/10.1146/annurev-marine-032122-121437>.
- Wesselmann, Marlene, Andrea Anton, Carlos M. Duarte, Iris E. Hendriks, Susana Agustí, Ioannis Savva, Eugenia T. Apostolaki, and Núria Marbà. 2020. "Tropical Seagrass Halophila Stipulacea Shifts Thermal Tolerance during Mediterranean Invasion." *Proceedings of the Royal Society B* 287 (1922). <https://doi.org/10.1098/RSPB.2019.3001>.
- Wesselmann, Marlene, Rosa M. Chefaoui, Núria Marbà, Ester A. Serrao, and Carlos M. Duarte. 2021. "Warming Threatens to Propel the Expansion of the Exotic Seagrass Halophila Stipulacea." *Frontiers in Marine Science* 8 (December): 759676. <https://doi.org/10.3389/FMARS.2021.759676>.

Sobre los autores: Le Dr. Renata Poulton Kamakura recibió una Beca de Investigación y Política Científica del Golfo de la Academia Nacional de Ciencias, siendo GCOOS la oficina anfitriona. La Dra. Chris Simoniello es gerente de Difusión y Educación del Sistema de Observación Oceanográfica y Costera del Golfo de América (GCOOS por sus siglas en inglés). Con sede en el Departamento de Oceanografía de la Universidad Texas A&M, GCOOS es el componente regional del Sistema Integrado de Observación Oceánica de Estados Unidos dedicado al Golfo de América.



GCOOS
GULF OF AMERICA
COASTAL OCEAN
OBSERVING SYSTEM

20
YEARS

Tormentas eléctricas severas

Mensaje clave

Las olas de calor marinas en el Golfo pueden proporcionar aire cálido y húmedo necesario para tormentas eléctricas severas en el interior, aunque ese aire debe viajar hacia el norte para que aparezcan granizos o tornados extensos.

Descripción general

Las olas de calor marinas se definen como períodos prolongados de temperaturas anormalmente cálidas (superiores a lo normal) en el océano. Estas aguas cálidas impactan en los ecosistemas, las comunidades y las industrias cercanas al agua, pero estos impactos también pueden extenderse tierra adentro.

Cuando hay temperaturas más altas de lo normal en el Golfo, el aire encima de esa agua también tiende a ser más cálido y, como resultado, puede retener más humedad. Si ese aire se desplaza tierra adentro y se topa con aire frío, puede producirse un rápido ascenso de aire cálido y húmedo, propicio para tormentas eléctricas severas que pueden provocar granizo y/o tornados.

Existe evidencia de que las altas temperaturas en el Golfo se asocian con tormentas eléctricas y granizo más severos al este de las Montañas Rocosas entre marzo y mayo (Molina et al., 2016). Esta asociación es particularmente clara en el sureste de los EE. UU. en abril y es más probable cuando las aguas del Pacífico norte son más frías de lo habitual y las del Golfo más cálidas de lo habitual (o condiciones asociadas con la fase de La Niña del ciclo ENOS) (Allen et al., 2015; Chu et al., 2019; Edwards y Weiss, 1996). Esto probablemente se deba a que las condiciones en el Pacífico norte pueden facilitar un empuje hacia el norte del aire cálido y húmedo del Golfo (Chu et al., 2019). Sin embargo, el aire cálido y húmedo del Golfo, en particular con puntos de rocío superiores a 65 °F/18 °C, también se asocia con tornados en otoño (Evans y Guyer, 2006). De manera similar, las temperaturas de la superficie del mar anormalmente cálidas en el norte del Golfo se asocian con eventos de granizo en la región de las Grandes Llanuras del Sur de EE. UU. (Texas, Oklahoma, Kansas, Colorado), con las mayores frecuencias de granizo entre marzo y mayo (Jeong et al., 2020).

Esto significa que, si bien las olas de calor marinas por sí solas no son suficientes para causar tormentas eléctricas severas en el sureste de Estados Unidos, conviene estar alerta. Cuando hay una ola de calor marina, es importante estar especialmente atento a las condiciones que podrían empujar ese aire cálido y húmedo hacia el norte, especialmente en primavera. Las temperaturas del agua, más altas de lo normal, y el aire más cálido y húmedo que las acompaña, pueden generar la energía necesaria para tormentas eléctricas severas tierra adentro.

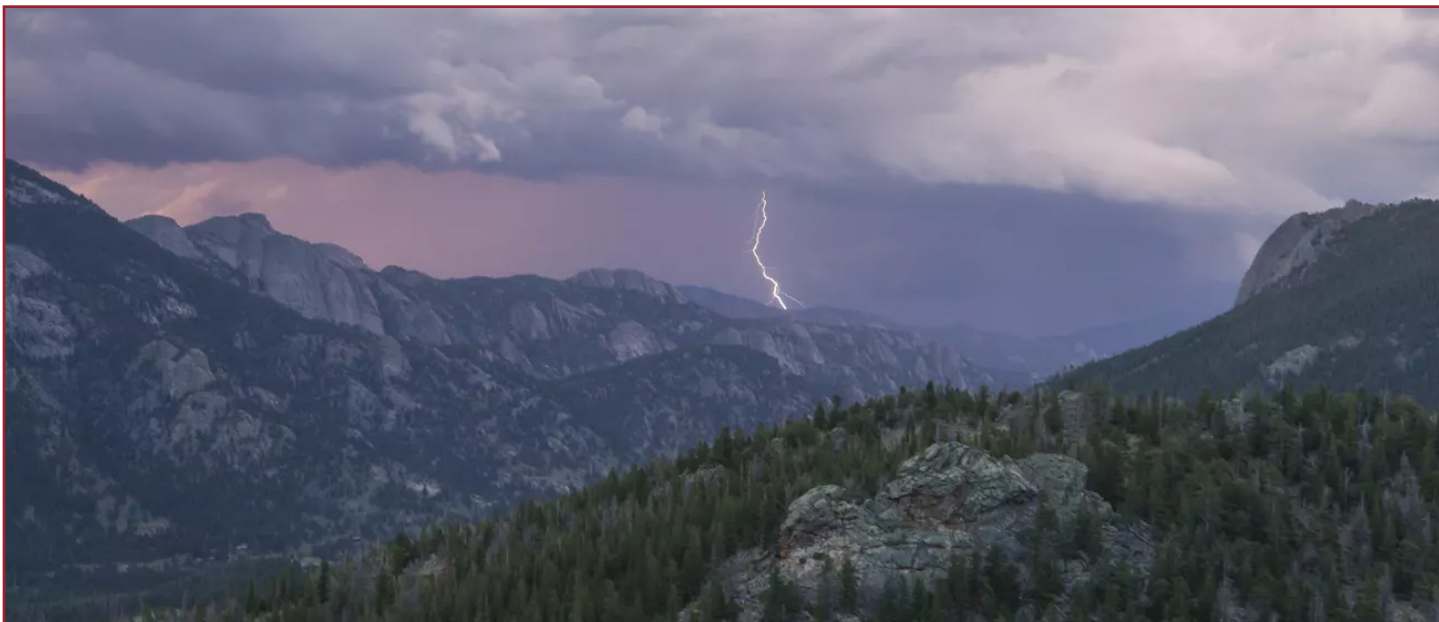


Conciencia del clima: Las temperaturas más altas de lo normal en el Golfo pueden generar aire cálido y húmedo que genera la energía necesaria para tormentas eléctricas severas. Foto: Josh Sorenson

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes:

Los análisis de las relaciones entre las olas de calor marinas y las tormentas eléctricas severas generalmente utilizan datos de temperatura de la superficie del mar obtenidos de manera remota, pero también pueden basarse en datos de boyas.

- El aire húmedo con puntos de rocío superiores a 65 °F/18 °C se asocia con tornados en otoño (Evans y Guyer, 2006)
- Temperaturas cálidas en el mes de abril (sin umbral claro) (Allen et al., 2015; Chu et al., 2019; Edwards y Weiss, 1996; Molina et al., 2016)



Impactos de las olas de calor marinas tierra adentro: Existe evidencia de que las altas temperaturas en el Golfo se asocian con tormentas eléctricas y granizo más severos al este de las Montañas Rocosas entre marzo y mayo. Foto: National Park Service

Recursos y comunidades de práctica

- Gulf Tree (<http://www.gulftree.org/>)
- OSHA Tornado Preparedness and Response (<https://www.osha.gov/tornado/preparedness>)
- VORTEX-SE (<https://masgc.org/vortex-se-engagement>)

Referencias

- Allen, John T., Michael K. Tippett, and Adam H. Sobel. 2015. "Influence of the El Niño/Southern Oscillation on Tornado and Hail Frequency in the United States." *Nature Geoscience* 8 (4): 278–83. <https://doi.org/10.1038/ngeo2385>.
- Chu, J.-E, A Timmermann, and J.-Y Lee. 2019. "North American April Tornado Occurrences Linked to Global Sea Surface Temperature Anomalies." *Sci. Adv.* Vol. 5. <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.aaw9950>.
- Evans, Jeffry S, and Jared L Guyer. 2006. "The Relationship of Cool Season Significant Tornado Events and Buoy Data in the Western Gulf of Mexico." P3.1. 23rd Conference on Severe Local Storms. 23rd Conference on Severe Local Storms. St. Louis, MO: American Meteorological Society. http://www.ndbc.noaa.gov/maps/west_gulf_hist.shtml.
- Edwards, Roger, and Steven J. Weiss. 1996. "Comparisons Between Gulf of Mexico Sea Surface Temperature Anomalies and Southern U.S. Severe Thunderstorm Frequency in the Cool Season." 18th AMS Conference on Severe Local Storms. San Francisco, CA.
- Jeong, Jong Hoon, Jiwen Fan, Cameron R. Homeyer, and Zhangshuan Hou. 2020. "Understanding Hailstone Temporal Variability and Contributing Factors over the U.S. Southern Great Plains." *Journal of Climate* 33 (10): 3947–66. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0606.1>.
- Molina, M. J., R. P. Timmer, and J. T. Allen. 2016. "Importance of the Gulf of Mexico as a Climate Driver for U.S. Severe Thunderstorm Activity." *Geophysical Research Letters* 43 (23): 12,295–12,304. <https://doi.org/10.1002/2016GL071603>.

Sobre los autores: Le Dr. Renata Poulton Kamakura recibió una Beca de Investigación y Política Científica del Golfo de la Academia Nacional de Ciencias, siendo GCOOS la oficina anfitriona. La Dra. Chris Simoniello es gerente de Difusión y Educación del Sistema de Observación Oceanográfica y Costera del Golfo de América (GCOOS por sus siglas en inglés). Con sede en el Departamento de Oceanografía de la Universidad Texas A&M, GCOOS es el componente regional del Sistema Integrado de Observación Oceánica de Estados Unidos dedicado al Golfo de América.



GCOOS
GULF OF AMERICA
COASTAL OCEAN
OBSERVING SYSTEM

20
YEARS

Ciclones tropicales/huracanes

Mensaje clave

Las olas de calor marinas en el Golfo y el Caribe pueden aumentar el riesgo de ciclones tropicales más frecuentes y extremos, incluso al facilitar la rápida intensificación de los ciclones tropicales/huracanes que pasan por regiones dónde se encuentran dichas olas de calor marinas.

Descripción general

Las olas de calor marinas se definen como períodos prolongados de temperaturas anormalmente cálidas (superiores a lo normal) en el océano. Estas aguas cálidas impactan los ecosistemas, las comunidades y las industrias cercanas al agua, pero también pueden generar tormentas que afectan a las comunidades de toda la región.

Las altas temperaturas generan el aire cálido y húmedo que alimenta los ciclones tropicales. Los huracanes requieren la evaporación de agua cálida. El aire húmedo es impulsado hacia arriba y se condensa en nubes si no es destruido por los vientos de gran altitud, mientras que el aire cálido proveniente de la superficie del agua continúa siendo impulsado hacia arriba. A medida que este proceso continúa, la presión en el núcleo del sistema disminuye hasta que se convierte en un huracán (NOAA, 2024). La energía potencial del agua cálida (y el aire cálido y húmedo resultante) se puede estimar con base en la temperatura de la superficie del mar o el contenido de calor del océano, y valores más altos de ambos se han asociado con una mayor intensidad de ciclones tropicales (Liu et al., 2025; Murakami et al., 2018; Kafatos et al., 2006; Radfar et al., 2024; Trenberth et al., 2018). También hay evidencia de que las aguas más cálidas se asocian con la formación de más huracanes (Murakami et al., 2018), y los huracanes generalmente requieren agua a 27°C o más (NOAA, 2024). Sin embargo, el agua cálida no es suficiente para la formación de huracanes y ciclones tropicales; otros factores como la cizalladura del viento (que en el Golfo puede ser modulada por las temperaturas en el Pacífico central (Kim et al., 2009)) y la estratificación del océano influyen en cuándo y si se formarán los ciclones y si experimentarán una rápida intensificación (Liu et al., 2025; Lopez et al., 2024; Radfar et al., 2024; Shi et al., 2025).

Esto no solo ocurre en el Atlántico norte. A nivel mundial, los ciclones tropicales que atraviesan olas de calor marinas tienden a generar más precipitaciones y a extenderlas a un área más extensa (Choi et al., 2024; Russel et al., 2019). Dado que los ciclones son más intensos y pueden aumentar rápidamente su intensidad, pueden causar más daños con menos tiempo para evacuar o reaccionar. Por ejemplo, a medida que el huracán Ian avanzaba hacia Florida, en la plataforma continental occidental de Florida tocó aguas con temperaturas entre 1 y 2 °C más cálidas que el promedio de largo plazo de verano/otoño en la superficie y entre 2 y 3 °C por debajo de la superficie. A medida que avanzaba, su categoría aumentó de 3 a 5 en un día y



Supervivencia ante un huracán: El huracán Ian de 2022 tocó tierra en el condado de Lee, Florida, tras intensificarse de categoría 3 a 5 en menos de 24 horas, causando la muerte de 156 personas. Foto: The National Guard

causó la muerte de 156 personas y daños estimados en 112.900 millones de dólares (Liu et al., 2025; Bucci et al., 2023).

Esto significa que, cuando se producen olas de calor marinas en el Caribe y el Golfo, conviene estar especialmente atentos a la probabilidad de que ciclones tropicales atraviesen estas zonas de aguas anormalmente cálidas. De ser así, existe una mayor probabilidad de que se intensifiquen rápidamente y potencialmente traigan vientos más fuertes y más precipitaciones de lo que cabría esperar en otras circunstancias.

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Los análisis de las relaciones entre las olas de calor marinas y los ciclones tropicales y huracanes se pueden realizar con datos de temperatura de la superficie del mar obtenidos de manera remota (o estimaciones del contenido de calor del océano), pero en aguas poco profundas (como en la plataforma continental de Florida) los datos de boyas con estimaciones tanto de la superficie como por debajo de la superficie pueden proporcionar estimaciones más precisas del contenido de calor del agua (por ejemplo, Liu et al., 2025; Trenberth et al., 2018).

- Las temperaturas oceánicas de 27 °C o más favorecen la formación de huracanes (NOAA, 2024)
- Intensificación rápida con alto contenido de calor y temperaturas oceánicas (sin umbrales claros)
- Se observó con temperaturas 1-2 °C más altas de lo normal en la superficie y 2-3 °C más altas de lo normal debajo de la superficie en septiembre en la costa de Florida (Liu et al., 2025)
- Definición general de ola de calor marina de Hobday et al., 2016

Recursos y comunidades de práctica

- FEMA Preparación para Huracanes (<https://www.fema.gov/emergency-managers/risk-management/hurricanes>)
- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Gulf Tree (<http://www.gulftree.org/>)
- Regional Sea Grant offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)

Referencias

- Bucci, Lisa, Laura Alaka, Andrew Hagen, Sandy Delgado, and Jack Beven. 2023. "Hurricane Ian (AL092022): 23-30 September 2022." National Hurricane Center. https://www.nhc.noaa.gov/data/tcr/AL092022_Ian.pdf.
- Choi, Hwan Young, Myung Sook Park, Hyeong Seog Kim, and Seonju Lee. 2024. "Marine Heat Wave Events Strengthen the Intensity of Tropical Cyclones." *Communications Earth and Environment* 5 (1). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01239-4>.
- Hobday, Alistair J., Lisa v. Alexander, Sarah E. Perkins, Dan A. Smale, Sandra C. Straub, Eric C.J. Oliver, Jessica A. Benthuyssen, et al. 2016. "A Hierarchical Approach to Defining Marine Heat Waves." *Progress in Oceanography* 141 (February): 227–38. <https://doi.org/10.1016/J.POCEAN.2015.12.014>.
- Kafatos, Menas, Donglian Sun, Ritesh Gautam, Zafer Boybeyi, Ruixin Yang, and Guido Cervone. 2006. "Role of Anomalous Warm Gulf Waters in the Intensification of Hurricane Katrina." *Geophysical Research Letters* 33 (17). <https://doi.org/10.1029/2006GL026623>.
- Kim, Hye-Mi, Peter J. Webster, and Judith A. Curry. 2009. "Impact of Shifting Patterns of Pacific Warming on North Atlantic Cyclones." *Science* 325 (5936): 77–79. <https://doi.org/10.1126/science.1174062>.
- Liu, Yonggang, Robert H. Weisberg, Luis Sorinas, Jason A. Law, and Alexander K. Nickerson. 2025. "Rapid Intensification of Hurricane Ian in Relation to Anomalously Warm Subsurface Water on the Wide Continental Shelf." *Geophysical Research Letters* 52 (1). <https://doi.org/10.1029/2024GL113192>.
- Lopez, Hosmay, Sang Ki Lee, Robert West, Dongmin Kim, Gregory R. Foltz, Ghassan J. Alaka, and Hiroyuki Murakami. 2024. "Projected Increase in the Frequency of Extremely Active Atlantic Hurricane Seasons." *Science Advances* 10 (46): eadq7856. <https://doi.org/10.1126/sciadv.adq7856>.
- Murakami, H, E Levin, T L Delworth, R Gudgel, and P-C Hsu. 2018. "Dominant Effect of Relative Tropical Atlantic Warming on Major Hurricane Occurrence." *Science* 362 (6416): 794–99. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.aat6711>.
- NOAA. 2024. "How Does the Ocean Affect Hurricanes?" 2024. <https://oceanexplorer.noaa.gov/facts/hurricanes.html>.
- Radfar, Soheil, Hamed Moftakhari, and Hamid Moradkhani. 2024. "Rapid Intensification of Tropical Cyclones in the Gulf of Mexico Is More Likely during Marine Heat Waves." *Communications Earth and Environment* 5 (1). <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01578-2>.



Erizo de mar verde (*Lytechinus variegatus*)

Mensaje clave

Aunque *L. variegatus* es una especie de erizo con una distribución geográfica relativamente amplia y que tiene comportamientos que le ayuden a disminuir su exposición al estrés, se enfrenta a disminuciones potencialmente mortales en su capacidad fisiológica después de 5 a 10 días de exposición a altas temperaturas del agua.

Descripción general

Las olas de calor marinas, períodos prolongados de temperaturas oceánicas superiores a lo normal, afectan a diversas especies marinas, incluyendo a los erizos de mar. El Erizo Verde de Mar o *Lytechinus variegatus* se encuentra en el Atlántico occidental, desde Brasil hasta Carolina del Norte y el Caribe (Brothers et al., 2015; Watts et al., 2013). Se encuentra mayormente en hábitats de pastos marinos y su herbivoría afecta directamente la densidad de dichos pastos marinos (Watts et al., 2013).

L. variegatus tiene algunos comportamientos que puede usar para reducir el estrés. Puede reducir su exposición a la luz (un factor de estrés además de la temperatura) cubriéndose con algún tipo de desecho marino (Brothers et al., 2015). Aunque es útil durante exposiciones agudas (p. ej., un día), tras 10 días de exposición a 32°C, sufre un deterioro neuromuscular que limita su capacidad para cubrirse y para enderezarse tras voltearse (Brothers et al., 2015). Cinco días de exposición a altas temperaturas aumentan el metabolismo de *L. variegatus*, a la vez que reducen su eficiencia de ingestión y su tasa de consumo (Lemoine y Burkepile, 2012). A consecuencia, tras una exposición prolongada a altas temperaturas, *L. variegatus* no podría obtener los nutrientes que necesita para sobrevivir y moriría (probablemente entre 32 °C y 33 °C (Lemoine y Burkepile, 2012)).

Esto significa que, a pesar de tener una distribución geográfica amplia y algunos comportamientos que le ayuden a disminuir su exposición al estrés, es probable que *L. variegatus* tenga dificultades con varios días consecutivos de exposición a altas temperaturas (superiores a 31 °C-32 °C). Como es un herbívoro importante en los ecosistemas de pastos marinos, durante las olas de calor marinas, la gestión de los pastos marinos debe considerar no sólo la tolerancia al calor de dichos pastos marinos, sino también el cambio de la herbivoría de especies como *L. variegatus*.



Lytechinus variegatus: Los erizos de mar tendrán dificultades para sobrevivir durante varios días consecutivos de exposición a altas temperaturas. Foto: NOAA.



Cubriéndose: Los erizos de mar se cubren con algún tipo de desecho marino. Con las altas temperaturas, pierden esta capacidad. Foto: Friends of the Tampa Bay Aquatic Preserves.



Las interconexiones importan: Durante las olas de calor marinas, la gestión de los pastos marinos también debe considerar el cambio de la herbivoría de especies como *L. variegatus*. Foto: James St. John.

Conjuntos de datos de temperatura de uso común y umbrales de temperatura pertinentes

Los estudios incluidos fueron experimentales y, por lo tanto, se basaron en datos de temperatura obtenidos en tanques.

- Estrés mortal con más de 5 días a temperaturas superiores a 31 °C
- Aumento del metabolismo con disminución de la eficiencia de consumo e ingestión tras cinco días a 31 °C (Lemoine y Burkepile, 2012)
- Deterioro neuromuscular tras 10 días de exposición a 32 °C (Brothers et al., 2015)

Recursos y comunidades de práctica

- Gulf of America Alliance (<https://gulfofamericaalliance.org/>)
- Regional Sea Grant Offices (<https://seagrant.noaa.gov/our-story/about-sea-grant/>)
- U.S. Marine Biodiversity Observation Network (<https://marinebon.org/us-mbon/>)

Referencias

- Brothers, C. J., and J. B. McClintock. 2015. "The Effects of Climate-Induced Elevated Seawater Temperature on the Covering Behavior, Righting Response, and Aristotle's Lantern Reflex of the Sea Urchin *Lytechinus Variegatus*." *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 467 (June): 33–38. <https://doi.org/10.1016/J.JEMBE.2015.02.019>.
- Lemoine, Nathan P, and Deron E Burkepile. 2012. "Temperature-Induced Mismatches between Consumption and Metabolism Reduce Consumer Fitness." *Ecology* 93 (11): 2483–89.
- Watts, Stephen A., James B. McClintock, and John M. Lawrence. 2013. "*Lytechinus*." *Developments in Aquaculture and Fisheries Science* 38 (January): 475–90. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-396491-5.00031-9>.

Sobre los autores: Le Dr. Renata Poulton Kamakura recibió una Beca de Investigación y Política Científica del Golfo de la Academia Nacional de Ciencias, siendo GCOOS la oficina anfitriona. La Dra. Chris Simoniello es gerente de Difusión y Educación del Sistema de Observación Oceanográfica y Costera del Golfo de América (GCOOS por sus siglas en inglés). Con sede en el Departamento de Oceanografía de la Universidad Texas A&M, GCOOS es el componente regional del Sistema Integrado de Observación Oceánica de Estados Unidos dedicado al Golfo de América.



GCOOS
GULF OF AMERICA
COASTAL OCEAN
OBSERVING SYSTEM

20
YEARS